

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KALİTE KONTROLDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN  
KULLANILMASI VE ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE BİR UYGULAMA**

**DOKTORA TEZİ**

**SEBAHATTİN TİRYAKİ**

**TEMMUZ 2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Sebahattin TİRYAKİ Tarafından Hazırlanan**

**KALİTE KONTROLDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN  
KULLANILMASI VE ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE BİR UYGULAMA**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25 /06/2019 gün ve 1808 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
DOKTORA TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Erdoğan GAVCAR**

**Üye : Prof. Dr. Emrullah DEMİRCİ**

**Üye : Prof. Dr. Hasan SERİN**

**Üye : Doç. Dr. Aytaç AYDIN**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÜÇÜNCÜ**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

“Kalite Kontrolde İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Kullanılması ve Orman Ürünleri Endüstrisinde Bir Uygulama” adlı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez konusunun seçiminden sonuçlandırılmasına kadar her aşamada bilgi, deneyim ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam sayın Doç. Dr. Aytaç AYDIN’a minnet ve şükranlarımı sunarım. Doktora Tez İzleme Komitesi’nin değerli üyeleri sayın hocalarım Prof. Dr. Emrullah DEMİRCİ ve Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÜÇÜNCÜ’ye katkılarından dolayı teşekkür ederim. Araştırmaya konu olan işletmeden elde edilen verilerin değerlendirilmesi sürecinde bilgi ve deneyimleri ile katkılarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Burak BİRGÖREN, Prof. Dr. Murat Caner TESTİK, Prof. Dr. Cenk ÖZLER, Doç. Dr. Sevda BORAN ve Dr. Öğr. Üyesi Nadir ERSEN’e şükranlarımı sunarım. Çalışmada kullanılan verilerin gerek temininde ve gerekse sonraki süreçte yardımlarını esirgemeyen ve her türlü kolaylığı gösteren işletme üretim müdürü Orm. End. Müh. S. Arda SOYLU’ya, işletme müdürü ve çalışanlarına teşekkür ederim. Son olarak ise tüm çalışmam boyunca sabır ve anlayışları ile her zaman yanımda olarak bana destek olan babam Ahmet TİRYAKİ ve annem Şahide TİRYAKİ’ye sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje numarası: FDK-2016-5390.

Çalışmanın orman ürünleri sanayinde çalışan bilim insanları ve sanayicilere yararlı olmasını dilerim.

Sebahattin TİRYAKİ  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum “Kalite Kontrolde İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Kullanılması ve Orman Ürünleri Endüstrisinde Bir Uygulama” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Aytaç AYDIN’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/07/2019

Sebahattin TİRYAKİ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	IX
SUMMARY .....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kalite ve Kalite Kontrolün Teorik Çerçevesi.....	3
1.2.1. Kalite Kavramı .....	3
1.2.2. Kalitenin Tarihsel Gelişimi .....	5
1.2.3. Kaliteyi Oluşturan Temel Unsurlar .....	7
1.2.4. Kalite Maliyetleri .....	8
1.2.5. Kalite Kontrol.....	9
1.2.6. Kalite Kontrolün İstatistik Bilimi ile İlişkisi.....	11
1.2.7. İstatistiksel Kalite Kontrol .....	11
1.2.8. İstatistiksel Proses Kontrol.....	13
1.3. Kontrol Grafikleri.....	15
1.3.1. Kontrol Grafiklerine Genel Bir Bakış .....	15
1.3.2. Kontrol Grafiklerinin Oluşturulmasında Bazı Önemli Kavramlar.....	17
1.3.2.1. Örneklem Hacmi ve Örneklem Sayısı.....	17
1.3.2.2. Standart, Spesifikasyon ve Tolerans .....	17
1.3.2.3. Kontrol Limitleri .....	18
1.3.2.4. Değişkenlik.....	18
1.3.2.5. Faz I ve Faz II.....	19
1.3.3. Tek Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol Grafikleri .....	21

1.3.3.1.	Shewhart Kontrol Grafikleri.....	21
1.3.3.1.1.	Nicel Kontrol Grafikleri .....	23
1.3.3.1.1.1.	$\bar{x} - R$ Kontrol Grafikleri .....	23
1.3.3.1.1.2.	$\bar{x} - s$ Kontrol Grafikleri .....	24
1.3.3.1.1.3.	Bireysel Gözlem Değerleri (I) ve Hareketli Aralık (MR) Kontrol Grafikleri .....	25
1.3.3.1.2.	Nitel Kontrol Grafikleri.....	27
1.3.3.1.2.1.	Kusurlu Oranı (p) Kontrol Grafiği .....	27
1.3.3.1.2.2.	Kusurlu Sayısı (np) Kontrol Grafiği.....	28
1.3.3.1.2.3.	Kusur Sayısı (c) Kontrol Grafiği .....	29
1.3.3.1.2.4.	Birim Başına Kusur Sayısı (u) Kontrol Grafiği .....	30
1.3.3.2.	Birikimli Toplam (CUSUM) Kontrol Grafiği .....	31
1.3.3.3.	Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Grafiği.....	32
1.3.4.	Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol Grafikleri .....	34
1.3.4.1.	Hotelling $T^2$ Kontrol Grafiği .....	35
1.3.4.1.1.	Alt Grup Veriler İçin Düzenlenen $T^2$ Kontrol Grafiği .....	35
1.3.4.1.2.	Bireysel Gözlemler İçin Düzenlenen $T^2$ Kontrol Grafiği.....	41
1.3.4.2.	Çok Değişkenli Birikimli Toplam (MCUSUM) Kontrol Grafiği .....	43
1.3.4.3.	Çok Değişkenli Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (MEWMA) Kontrol Grafiği.....	43
1.3.4.4.	Genelleştirilmiş Varyans  S  Kontrol Grafiği. ....	44
1.4.	Kontrol Dışı Değişkenlerin Belirlenmesi .....	46
1.4.1.	Mason, Young, Tracy (MYT) Ayırıştırma Yöntemi .....	46
1.5.	Tek ve Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinin Varsayımları.....	47
1.5.1.	Doğrusallık Varsayımı .....	47
1.5.2.	Normallik Varsayımı.....	48
1.5.2.1.	Tek Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Normallik Varsayımı .....	48
1.5.2.2.	Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Normallik Varsayımı.....	48
1.5.3.	Varyans Kovaryans Matrislerinin Eşitliği (Eş-Varyanslık) Varsayımı.....	49
1.5.4.	Gözlem Değerlerinin Bağımsızlığı (Otokorelasyon Olmaması) Varsayımı .....	50
1.6.	Proses Yeterlilik Analizi .....	51
1.7.	Orman Ürünleri Sanayi Sektörü.....	53
1.7.1.	Orman Ürünleri Sanayi Hakkında Genel Bilgiler .....	53

1.7.2.	Liflevhanın Tanımı ve Liflevha Endüstrisi ile İlgili Genel Bilgiler.....	54
1.7.3.	Türkiye’de Liflevha Endüstrisinin Tarihsel Gelişimi ve Genel Durumu....	55
1.7.4.	Türkiye’nin Liflevha Üretimi ve Dış Ticaret Durumu.....	56
1.8.	Literatür Özeti .....	58
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	69
2.1.	Materyal .....	69
2.2.	Yöntem .....	72
2.2.1.	Kalite Değişkenlerinin Belirlenmesi. ....	72
2.2.2.	Örnekleme Alma. ....	73
2.2.3.	Kalite Değişkenlerine Ait Testlerin Yapılışı .....	74
2.2.3.1	Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Testlerinin Yapılışı.....	76
2.2.3.2.	Yüzey ve Kenar Vida Tutma Kabiliyeti Testlerinin Yapılışı.....	78
2.2.4.	Kontrol Grafikleri ile İlgili Uygulamalar .....	79
2.2.4.1.	Varsayımların Gözlem Değerlerine Uygulanması .....	79
2.2.4.2.	Kontrol Grafiği Seçimi .....	81
2.2.4.3.	Seçilen Kontrol Grafiklerine Ait Bazı Özellikler.....	81
2.2.4.4.	Kontrol Grafiklerinin Tasarlanması ve Proses Uygulanması .....	82
2.2.4.5.	Kontrol Dışı Gözlemlerin Tespiti ve Yorumlanması .....	84
2.2.5.	Proses Yeterlilik Analizinin Uygulanması .....	85
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	86
3.1.	Verilerin Ön Analizi ile İlgili Bulgular .....	86
3.2.	Faz I Verilerinin Varsayımlar Açısından Değerlendirilmesi .....	88
3.2.1.	Faz I İçin Doğrusallık Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	88
3.2.2.	Faz I İçin Normal Dağılım Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	89
3.2.2.1.	Faz I İçin Tek Değişkenli Normal Dağılım Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	89
3.2.2.2.	Faz I İçin Çok Değişkenli Normal Dağılım Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	92
3.2.3.	Faz I İçin Eş - Varyanslık Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	93
3.2.4.	Faz I İçin Gözlem Değerlerinin Bağımsızlığı (Otokorelasyon Olmaması) Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	94
3.3.	Kontrol Grafikleri Kullanılarak MDF Üretim Prosesinin Analiz Edilmesi.....	101
3.3.1.	Hotelling T <sup>2</sup> Kontrol Grafiği Kullanılarak Prosesin Analiz Edilmesi.....	101



3.3.1.1.	Hotelling $T^2$ Kontrol Grafiği ile Faz I Aşamasının Uygulanması.....	102
3.4.	RVK'nın Varsayımlar Açısından Değerlendirilmesi .....	112
3.4.1.	RVK İçin Doğrusallık Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	112
3.4.2.	RVK İçin Normallik Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	113
3.4.2.1.	RVK İçin Tek Değişkenli Normallik Varsayımı ile İlgili Bulgular.....	113
3.4.2.2.	RVK İçin Çok Değişkenli Normallik Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	116
3.4.3.	RVK İçin Eş - Varyanslık Varsayımı ile İlgili Bulgular .....	118
3.4.4.	RVK İçin Gözlem Değerlerinin Bağımsızlığı (Otokorelasyon Olmaması) Varsayımı ile İlgili Bulgular.....	118
3.5.	Farklı Kontrol Grafikleri ile Faz II Aşamasının Uygulanması .....	125
3.5.1.	Hotelling $T^2$ ve Genelleştirilmiş Varyans Kontrol Grafikleri Kullanılarak Faz II Aşamasının Uygulanması .....	126
3.5.2.	$\bar{x}$ ve R Kontrol Grafikleri Kullanılarak Faz II Aşamasının Uygulanması.....	132
3.6.	Proses Yeterlilik Analizi ile İlgili Bulgular.....	142
3.7.	Kontrol Grafikleri ve Yeterlilik Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi ..	145
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	166
5.	KAYNAKLAR.....	172
6.	EKLER .....	188
ÖZGEÇMİş		

Doktora Tezi

ÖZET

KALİTE KONTROLDE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL TEKNİKLERİNİN  
KULLANILMASI VE ORMAN ÜRÜNLERİ ENDÜSTRİSİNDE BİR UYGULAMA

Sebahattin TIRYAKI

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Aytaç AYDIN  
2019, 187 Sayfa, 1 Sayfa Ek

Bir üretim prosesinde üretilen ürünlerin kalite değişkenlerine ait değerlerin önceden belirlenen standartlardan sapma göstermesi durumunda prosese müdahale ederek meydana gelebilecek kayıpların önüne geçilmesi hem zaman hem de maliyet açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bakımdan, üretim proseslerinin kontrol altında tutulması adına istatistiksel proses kontrol yöntemleri kullanılarak yürütülecek çalışmaların işletmelere önemli katkılar sağlayacağı açıktır. Bu çalışmada, orman ürünleri sanayinde faaliyet gösteren bir levha işletmesinde üretilen Orta Yoğunlukta Liflevha'ların üretim prosesinin kontrol durumu ve prosesin tüketici spesifikasyonlarını sağlamadaki başarısı bazı kalite değişkenleri açısından araştırılmıştır. Bu amaçla, değişkenlere ait toplanan veriler çok değişkenli Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans ve tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R grafikleri kullanılarak incelenmiştir. Ek olarak, prosesin tüketici spesifikasyonlarını karşılama derecesini tespit etmek için proses yeterlilik analizinden faydalanılmıştır. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde oluşan sinyallerin  $T^2$  değerleri Mason – Young – Tracy yöntemi ile ayrıştırılmış ve her bir sinyale hangi kalite değişkeninin daha fazla katkı sağladığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak; üretim prosesinin kalite değişkenlerinin ortalamalarındaki kayma seviyesini ortaya koyan  $\bar{x}$  ve Hotelling  $T^2$  grafikleri için kontrolde olmadığı, gözlemlerin varyans yapısındaki değişkenliği gösteren R ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri açısından ise önemli bir problemin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, yeterlilik analizi üretim prosesinin sadece bir kalite değişkeni hariç tüketici spesifikasyonlarını karşılamada başarılı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Genelleştirilmiş Varyans, İstatistiksel proses kontrol, Hotelling  $T^2$ , Kalite kontrol, Proses yeterlilik analizi, Orta Yoğunlukta Liflevha

Ph.D. Dissertation

SUMMARY

USE OF STATISTICAL PROCESS CONTROL TECHNIQUES IN QUALITY CONTROL AND AN APPLICATION IN THE FOREST PRODUCTS INDUSTRY

Sebahattin TIRYAKI

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Forest Industrial Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Aytaç AYDIN  
2019, 187 Pages, 1 Pages Appendix

If the values of the quality variables of the products produced in a production process deviate from the predetermined standards, the prevention of the losses that may occur by interfering with the process is of great importance in terms of both time and cost. In this respect, it is obvious that the studies to be carried out by using statistical process control methods to keep the production processes under control will make significant contributions to the enterprises. In this study, the control status of the production process of Medium Density Fiberboards produced in a board manufacturing enterprise operating in the forest products industry and the success of the process in meeting consumer specifications was investigated in terms of some quality variables. For this purpose, the collected data of the variables were examined by using multivariate Hotelling  $T^2$  and Generalized Variance and univariate  $\bar{x}$  and R charts. In addition, the process capability analysis was utilized to detect the degree of meeting customer specifications of the process. The  $T^2$  values of the signals formed in the Hotelling  $T^2$  chart were decomposed by Mason-Young-Tracy method and it was determined which quality variable contributed more to each signal. As a result; it is detected that the process was not in control for the  $\bar{x}$  and Hotelling  $T^2$  charts, which reveal the shift level in the mean of quality variables, and there was no a major problem in terms of R and Generalized Variance charts that show the variability in the variance structure of the observations. Additionally, the capability analysis showed that the production process was successful in meeting consumer specifications except for only one quality variable.

**Key Words:** Generalized Variance, Statistical process control, Hotelling  $T^2$ , Quality control, Process capability analysis, Medium Density Fiberboard

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Kalite maliyetleri .....	9
Şekil 2. İstatistiksel kalite kontrolün bileşenleri .....	12
Şekil 3. Tipik bir proses yapısı.....	13
Şekil 4. İstatistiksel proses kontrolün yedi önemli aracı.....	14
Şekil 5. Tipik bir Shewhart kontrol grafiği yapısı.....	15
Şekil 6. Kontrol grafiği kullanarak proses iyileştirme .....	16
Şekil 7. Kontrol grafiklerinin oluşturulmasında Faz I ve Faz II aşamaları.....	20
Şekil 8. Shewhart kontrol grafiklerinin sınıflandırılması.....	22
Şekil 9. Bağımsız iki değişken için kontrol elipsi.....	36
Şekil 10. Bağımlı iki değişken için kontrol elipsi .....	37
Şekil 11. $p=2$ kalite değişkeni için Ki-Kare kontrol grafiği.....	38
Şekil 12. Türkiye liflevha endüstrisinin üretim, ihracat ve ithalat miktarlarının yıllara göre değişimi .....	57
Şekil 13. MDF üretiminde iş akışı .....	70
Şekil 14. 18 x 2440 x 2800mm boyuta sahip MDF'lerin kesim planı ve test örneklerin elde edilişi.....	75
Şekil 15. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü test örneği ve testin gerçekleştirilmesi .....	77
Şekil 16. Yüzey vida tutma kabiliyeti test örneği ve testin gerçekleştirilmesi .....	78
Şekil 17. Kenar vida tutma kabiliyeti test örneği ve testin gerçekleştirilmesi .....	79
Şekil 18. Hotelling $T^2$ kontrol grafiğinde Faz I ve Faz II aşamaları .....	83
Şekil 19. Eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	86
Şekil 20. Elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler ....	86
Şekil 21. Yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	87
Şekil 22. Kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	87
Şekil 23. Faz I için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği .....	90
Şekil 24. Faz I için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği.....	90
Şekil 25. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği .....	91
Şekil 26. Faz I için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği.....	91

Şekil 27. Faz I için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve $x^2$ değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren serpilme grafiği .....	92
Şekil 28. Faz I için eğilme direncinin otokorelasyon fonksiyon grafiği .....	94
Şekil 29. Faz I için eğilme direncinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği .....	95
Şekil 30. Faz I için elastikiyet modülünün otokorelasyon fonksiyon grafiği .....	96
Şekil 31. Faz I için elastikiyet modülünün kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	96
Şekil 32. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği .....	97
Şekil 33. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	98
Şekil 34. Faz I için kenar vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	99
Şekil 35. Faz I için kenar vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	99
Şekil 36. 50 veri grubu için oluşturulan Hotelling $T^2$ kontrol grafiği.....	104
Şekil 37. 50 veri grubu için oluşturulan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği.....	105
Şekil 38. 28 veri grubu için oluşturulan Hotelling $T^2$ kontrol grafiği.....	108
Şekil 39. 28 veri grubu için oluşturulan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği.....	109
Şekil 40. RVK için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	111
Şekil 41. RVK için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	111
Şekil 42. RVK için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	111
Şekil 43. RVK için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler .....	112
Şekil 44. RVK için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği .....	114
Şekil 45. RVK için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği .....	115
Şekil 46. RVK için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği .....	115
Şekil 47. RVK için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği.....	116
Şekil 48. RVK için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve $x^2$ değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren serpilme grafiği .....	117
Şekil 49. RVK için eğilme direncinin otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	119
Şekil 50. RVK için eğilme direncinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	119
Şekil 51. RVK için elastikiyet modülünün otokorelasyon fonksiyon grafiği .....	121
Şekil 52. RVK için elastikiyet modülünün kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği .....	121
Şekil 53. RVK için yüzey vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	122

Şekil 54. RVK için yüzey vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	123
Şekil 55. RVK için kenar vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	124
Şekil 56. RVK için kenar vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği.....	124
Şekil 57. Faz II için oluşturulan Hotelling $T^2$ kontrol grafiği.....	128
Şekil 58. Faz II için oluşturulan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği.....	129
Şekil 59. Faz II için Hotelling $T^2$ kontrol grafiğinde oluşan sinyallere en fazla katkı sağlayan değişkenler.....	131
Şekil 60. Faz II için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait $\bar{x}$ kontrol grafiği.....	133
Şekil 61. Faz II için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait R kontrol grafiği.....	134
Şekil 62. Faz II için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait $\bar{x}$ kontrol grafiği.....	135
Şekil 63. Faz II için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait R kontrol grafiği.....	136
Şekil 64. Faz II için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait $\bar{x}$ kontrol grafiği...	137
Şekil 65. Faz II için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait R kontrol grafiği..	138
Şekil 66. Faz II için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait $\bar{x}$ kontrol grafiği ...	139
Şekil 67. Faz II için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait R kontrol grafiği...	140
Şekil 68. Eğilme direnci değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları.....	142
Şekil 69. Elastikiyet modülü değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları.....	143
Şekil 70. Yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları.....	144
Şekil 71. Kenar vida tutma kabiliyeti değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları.....	145

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Yıllar itibarı ile liflevha (MDF, HDF ve diğer liflevhalar) üretim, ihracat ve ithalat miktarları .....	56
Tablo 2. Farklı şartlarda kullanılacak levhalar için standart değerler .....	76
Tablo 3. Proses yeterlilik indeksleri için önerilen minimum değerler .....	85
Tablo 4. Faz I için kalite değişkenlerinin korelasyon matrisi .....	88
Tablo 5. Faz I için kalite değişkenlerinin Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları .....	89
Tablo 6. Faz I için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve $x^2$ değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon analizi sonuçları .....	93
Tablo 7. Faz I için kalite değişkenlerinin Box's M testi sonuçları.....	93
Tablo 8. Faz I için eğilme direncinin Box Ljung istatistiği tablosu .....	95
Tablo 9. Faz I için elastikiyet modülünün Box Ljung istatistiği tablosu .....	97
Tablo 10. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu .....	98
Tablo 11. Faz I için kenar vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu .....	100
Tablo 12. Faz I aşamasının 1. adımında ulaşılan $T^2$ değerleri .....	102
Tablo 13. Faz I aşamasının 2. adımında ulaşılan $T^2$ değerleri .....	106
Tablo 14. Faz I aşamasının özeti .....	110
Tablo 15. RVK'nın istatistiksel özeti .....	110
Tablo 16. RVK'ya ait gözlemlerin korelasyon matrisi .....	113
Tablo 17. RVK'ya ait gözlemlerin Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları .....	114
Tablo 18. RVK için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve $x^2$ değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon analizi sonuçları .....	117
Tablo 19. RVK için kalite değişkenlerinin Box's M testi sonuçları .....	118
Tablo 20. RVK için eğilme direncinin Box Ljung istatistiği tablosu.....	120
Tablo 21. RVK için elastikiyet modülünün Box Ljung istatistiği tablosu .....	122
Tablo 22. RVK için yüzey vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu .....	123
Tablo 23. RVK için kenar vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu.....	125
Tablo 24. Faz II veri kümesinin istatistiksel özeti.....	126
Tablo 25. Faz II için elde edilen $T^2$ değerleri.....	127
Tablo 26. Hotelling $T^2$ kontrol grafiğinde Faz II aşamasının özeti.....	130
Tablo 27. Kalite değişkenlerine ait $\bar{x}$ ve $\bar{R}$ istatistikleri .....	132

Tablo 28. $\bar{x}$ kontrol grafikleri için Faz II aşamasının özeti .....	141
Tablo 29. $\bar{x}$ , Hotelling $T^2$ ve MYT ayrıştırma yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması.....	146
Tablo 30. Hotelling $T^2$ kontrol grafiğinde oluşan sinyallere kalite değişkenlerinin katkılarının anlamlılık düzeyleri .....	151
Tablo 31. Genelleştirilmiş Varyans ve R grafiklerinin karşılaştırılması.....	160
Tablo 32. Kalite değişkenleri için elde edilen yeterlilik indeks değerleri.....	163
Tablo 33. $C_{pu}$ veya $C_{pl}$ indekslerinin farklı değerleri için tek taraflı spesifikasyonlar dikkate alınarak normal dağılan prosesler için uygunsuzluk oranları.....	164





## SEMBOLLER DİZİNİ

$\bar{x}$	: Örnek Ortalaması
$\bar{\bar{x}}$	: Örnek Ortalamalarının Ortalaması
S	: Örnek Kovaryans Matrisi
$\Sigma$	: Anakütle Varyans-Kovaryans Matrisi
$\bar{R}$	: Değişim Aralıkları Ortalaması
n	: Altgrup Hacmi
m	: Altgrup Sayısı
p	: Değişken Sayısı
$T^2$	: Hotelling $T^2$ İstatistiği
$x_i$	: i'nci Gözlem Değeri
$\lambda$	: Düzeltme Faktörü
$ S $	: Genelleştirilmiş Varyans
$\mu$	: Anakütle Ortalaması
$\sigma$	: Anakütle Standart Sapması
$\sigma^2$	: Anakütle Varyansı
s	: Örneklemin Standart Sapması
F	: F Dağılımı
$\beta$	: Beta Dağılımı
$C_p$	: Potansiyel Süreç Yeterlilik İndeksi
$C_{pk}$	: Fiili Süreç Yeterlilik İndeksi
AKL	: Alt Kontrol Limiti
ASL	: Alt Spesifikasyon Limiti
ASQC	: American Society for Quality Control (Amerikan Kalite Kontrol Derneği)
CUSUM	: Cumulative Sum (Birikimli Toplam)
EN	: Europeane Norm (Avrupa Standartları)
EOQC	: European Organization for Quality Control (Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu)
EWMA	: Exponentially Weighted Moving Average (Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama)

ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
JISC	: Japanese Industrial Standards Committee (Japon Endüstri Standartları Komitesi)
MCUSUM	: Multivariate Cumulative Sum (Çok Değişkenli Birikimli Toplam)
MDF	: Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunlukta Liflevha)
MEWMA	: Multivariate Exponentially Weighted Moving Average (Çok Değişkenli Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama)
MYT	: Mason, Young, Tracy
OÇ	: Orta Çizgi
PUKÖ	: Planla – Uygula – Kontrol Et – Önlem Al
RVK	: Referans Veri Kümesi
SPSS	: Statistical Package for the Social Science (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paketi)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti
ÜSL	: Üst Spesifikasyon Limiti

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanoğlunun ihtiyaçlarını giderebilmesi amacıyla beşeri ve maddi olanakların ürün ve hizmetlere dönüştürülmesi üretim olarak adlandırılmaktadır. Üretim faaliyeti insanlık tarihi kadar eski bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faaliyet sonucunda ortaya çıkan ürün ve hizmetlerin insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılama derecesi eski çağlardan beri önemle üzerinde durulan bir konu olmuştur. Bu açıdan, ihtiyaç duyulan ürün ve hizmetin insan ihtiyaçlarını en iyi şekilde giderebilecek kalitede üretilmesi önemli bir amaç olarak görülmektedir. Bu da ürün ve hizmetin üretildiği prosesin değişkenliği ile ilgili bir durum olarak belirtilebilmektedir. Bir üretim prosesinin veya sürecinin değişkenliği üretilen ürün ve hizmetin kalitesi üzerinde belirleyici olacaktır. Üretim prosesinin değişkenliği ise o üretim prosesinde ölçülebilen özelliklere bağlı olarak belirlenebilmektedir (Özdamar, 2006).

Öte yandan, globalleşen dünyada rekabet kavramının önemi her geçen gün giderek artmaktadır. İşletmeler bu yoğun rekabet ortamında ayakta kalabilmeyi başarabilme adına kendi durumlarını sürekli olarak incelemek ve eksikliklerini gidermek için yeni stratejiler geliştirmeye çalışmaktadır. Sürekli ve hızlı bir şekilde değişiklik gösterebilen tüketici istek ve ihtiyaçlarını karşılama amacıyla hareket etme sorumluluğunda olan işletmelerin önceliği artık en yüksek kar düzeyine ulaşma yerine, varlığını devam ettirmek, en iyi olmak, dünya çapında bir işletme olmak ve zorlu rekabet koşullarında ayakta kalabilmek gibi stratejilere dönüşmüştür. Bu amaçlara ulaşma adına uygulanan işletme stratejilerinden birisi de kalite düzeyi yüksek ürün veya hizmet üretmektir (Arıcıgil Çılan, 2005).

Kalite genellikle kompleks bir kavram olarak algılanmakta, ürün ya da hizmet ile ilgili olarak tüketicilerin yargılarını belirleyen bir olgu olarak nitelendirilmekte ve pahalılık ya da lüks yerine gereksinim veya ihtiyaçlara uygunluğu ifade etmektedir (Külcü, 2012). Günümüzde gelişen teknoloji, yaşam standartlarının yükselmesi, eğitim düzeyinin artması, sosyal ve kültürel yapıdaki farklılaşmalar gibi birçok faktör tüketicilerin bir ürün veya hizmetten beklentilerini büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu nedenle, işletmeler hem rekabet edebilme hem de ürettikleri ürünleri satabilme adına tüketici beklentilerini ve ihtiyaçlarını dikkate alarak üretim yapmak durumundadırlar. Ayrıca, işletmeler, tüketici tercihlerinin

hızla değişmesi ve rekabet adına rakiplerinin sürekli bir şekilde yeni ürünlerle pazara çıkmaları nedeniyle yeni ürün geliştirmek ya da mevcut ürünlerinin kalitesini arttırmak zorundadırlar. Öte yandan, işletmelerin rekabet ortamında rakiplerinin önüne geçebilmek ve pazarda yer edinebilmek için tüketicilerin ihtiyaçlarını daha ucuz ve kaliteli ürünler ile karşılama gibi bir zorluğun da üstesinden gelmesi gerekmektedir. Bunun için, işletmelerin üretim proseslerini etkili bir şekilde kontrol ederek proseslerdeki değişkenlik seviyesini minimuma indirmeyi sağlayacak yöntemleri kullanmaları bir gereklilik haline gelmiştir. Bu yöntemlerin başında istatistiksel proses kontrol yöntemleri gelmektedir (Kılıç, 2006).

İstatistiksel proses kontrol yöntemlerinden olan kontrol grafikleri ile herhangi bir proses modern bir anlayış çerçevesinde incelenebilmekte ve prosesle ilgili öngörülerde bulunulabilmektedir. Kontrol grafiklerinin kullanımı ile üretim prosesindeki değişkenlikler kolaylıkla belirlenebilmekte, prosesin kontrol dışına çıkmasına yol açan faktörler prosesden uzaklaştırılmak suretiyle prosesin kontrol altında olduğu durum ortaya konulabilmekte ve bu şekilde de prosesin kontroldeki durumu ile çalışmaya devam etmesi sağlanabilmektedir. Bu grafikler, üretilen kusurlu ürün miktarını ve kontrol maliyetlerini azaltmak, kalitedeki değişkenliği azaltmak, kalite ölçümü sağlamak gibi çok sayıda amaç için ilk kez Walter A. Shewhart tarafından geliştirilmiştir. Ancak, Shewhart kontrol grafikleri kontrol edilmesi düşünülen prosesle ilgili değişkenleri teker teker incelemekte ve değişkenler arasındaki ilişkiyi ihmal etmektedir. Bu nedenle, çok değişkenli proseslerde, Shewhart grafiklerini veya diğer tek değişkenli grafikleri kullanarak prosesi incelemek yerine, değişkenler arasındaki ilişkiyi de dikkate alan çok değişkenli kontrol grafiklerini kullanarak prosesi incelemek daha doğru bir yaklaşım olarak görülmektedir. Çok değişkenli istatistiksel proses kontrol grafikleri kullanılarak prosesin tüm değişkenleri aynı anda incelenebilmekte ve prosesle ilgili sonuçlar tek bir grafikte gösterilebildiği için kalite kontrol sorumluları tarafından prosesin genel durumu hakkında daha kolay yorum yapılabilmektedir (Doğruel, 2010).

Bu çalışma; genel bilgiler, yapılan çalışmalar, bulgular ve irdeleme ile sonuçlar ve öneriler olmak üzere dört ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, kalite, kalite kontrolü ile ilgili temel kavramlar, tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili temel bilgiler, kontrol grafikleri için gerekli temel varsayımlar, proses yeterlilik analizi ile ilgili bilgiler, orman ürünleri endüstrisi hakkında bilgiler, liflevha endüstrisinin genel durumu ve literatür özeti sunulmuştur.

İkinci bölümde, uygulama çalışmasının yapıldığı işletme hakkında bilgi verilmesi, incelenecek olan kalite değişkenlerinin tespit edilmesi, üretim prosesinden örneklem alma süreci, kalite değişkenleri ile ilgili verilerin elde edilmesi için gerekli testlerin yürütülmesi, kullanılan kontrol grafiği türlerinin belirlenmesi ile kontrol grafikleri ve proses yeterlilik analizinin üretim prosesine uygulanması gibi tez kapsamında yapılan çalışmalar ve izlenen prosedür ifade edilmiştir.

Üçüncü bölümde, kontrol grafikleri ile ilgili varsayımlara ait bulguların yanında, tek değişkenli klasik istatistiksel proses kontrol grafikleri ile elde edilen bulgular ve çok değişkenli kontrol grafiklerine ait bulgular verilmiş ve literatüre dayalı olarak bulguların gerekli irdelemesi gerçekleştirilmiştir. Mason-Young-Tracy (MYT) ayırıştırma yönteminin kullanımı ile proseste oluşan sinyallere en fazla katkı sağlayan değişkenler belirlenmiştir. Ayrıca, proses yeterlilik analizine ait bulgular verilerek gerekli irdeleme yapılmıştır.

Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar ışığında bazı önerilerde bulunulmuştur.

## **1.2. Kalite ve Kalite Kontrolün Teorik Çerçevesi**

### **1.2.1. Kalite Kavramı**

Kalite sözcüğü Latince nasıl oluştuğu anlamına gelen "Qualis" kelimesinden türemiş ve "Qualitas" kelimesiyle ifade edilmiştir. Bu kelime, sözcük anlamı ile hangi nesne için kullanılıyorsa onun gerçekte ne olduğunu ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır (Şenol, 2012). Aslında, basit bir ifade ile, kaliteyi değişkenlik ile ters orantılı bir kavram olarak da ifade etmek mümkündür (Montgomery, 2012). Ancak, tüketicilerin beklentileri ve ihtiyaçları ile olan doğrudan ilgisi ve bu beklenti ve ihtiyaçların değişkenliğinden dolayı kalite ile ilgili herkes tarafından kabul gören standart bir tanım yapmak oldukça zordur. Kalite anlayışı, tüketicilerin sosyal konumlarına ve ekonomik durumlarına bağlı olarak değişebilen, farklı gereksinim ve beklentiler doğrultusunda biçimlenebilen öznel bir kavramdır. Tüketicilerin ihtiyaç ve beklentileri, eğitim, sosyal ve ekonomik çevre, kültürel ve dini yapı, gelenek ve görenekler, iklim gibi pek çok faktör kalitenin tüketiciler tarafından algılanma biçimini doğrudan ya da dolaylı bir şekilde etkileyebilmektedir (Ağbuga, 2007).

İnsanların kaliteye ilişkin algılarındaki farklılıkların nedenlerini belirleyen faktörlerin fazla olması ve hesaplanabilir olmaması, bu algı farklılıklarının nedenleri ile ilgili kesin bir

yargıya varmayı oldukça zorlaştırmaktadır (Özçil, 2014). Bu nedenle, bir kişinin kaliteli olarak nitelendirdiği bir ürünün bir başkası tarafından kalitesiz olarak nitelendirilmesi de mümkün olabilmektedir. Bu bakımdan, kalitenin kesin bir tanımını ortaya koymak çoğu zaman mümkün olamamakta ve sonuç olarak farklı kişi, kurum ve standartlar tarafından yapılan farklı tanımlamalar ile karşı karşıya kalınmaktadır (Işığışok, 2012). Kalitenin öncü düşünürlerinden bazılarının kalite kavramına bakış açılarını yansıtan tanımları aşağıda verilmiştir.

- Gilmore (1974)'e göre kalite spesifikasyonlara uygunluktur.
- Crosby (1979)'a göre kalite gereksinimlere uygunluktur.
- Juran (1988)'e göre kalite kullanıma uygunluktur.

Kalite ile ilgili yukarıda verilen tanımlamalara ek olarak, Türkiye ve Dünya'da çeşitli kurum ve standartlar tarafından yapılan tanımlamalar da bulunmaktadır.

- Amerikan Kalite Kontrol Derneği (ASQC)'ne göre, kalite; bir ürün veya hizmetin belirli bir gerekliliği karşılayabilme derecesini ortaya koyan karakteristiklerinin tümüdür.
- Avrupa Kalite Kontrol Organizasyonu (EOQC) kaliteyi bir ürün veya hizmetin tüketicilerin beklenti ve isteklerine uygunluk derecesi olarak tanımlamıştır.
- Japon Endüstri Standartları Komitesi (JISC)'ne göre kalite; ürünü ya da hizmeti ekonomik yoldan üretenin tüketici isteklerine yanıt verdiği bir üretim sistemidir (Akar, 2015).

Ayrıca, kalite; TS EN ISO:9000'e göre de yapısal özellikler takımının şartları yerine getirme derecesi olarak tanımlanmıştır (Birgören, 2017).

Kalite ile ilgili mevcut tanımlar ilk kez Garvin (1988) tarafından sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre kalitenin tanımıyla ilgili beş temel yaklaşım ortaya konulmuştur.

Bu yaklaşımların birincisi "üstün yaklaşım" olarak bilinmektedir. Bu yaklaşıma göre kalite en yüksek standarda ulaşma ve onu başarma olarak belirtilmektedir.

İkinci yaklaşım "ürün odaklı kalite" olarak ifade edilmektedir. Bu yaklaşıma göre, kalite kesin ve ölçülebilir bir değişken olarak dikkate alınmaktadır.

Üçüncü yaklaşım "kullanıma uygunluk" olarak belirtilmektedir. Bu yaklaşıma göre, tüketici tatmin düzeyi ile kalite arasında doğrusal bir ilişki var olup tüketicide en yüksek tatmin oluşturan ürün veya hizmet en kaliteli ürün veya hizmet olarak ifade edilmektedir.

Kalitenin tanımına ilişkin dördüncü yaklaşım kaliteyi "şartlara-ihtiyaçlara uygunluk" olarak tanımlamaktadır. Bu tanımın tarafsız olarak ölçülebilir kalite standartlarını sağlama ve kalite ile ilgili maliyetlerin düşürülmesi gibi avantajlara sahip olduğu belirtilmektedir.

Kaliteyi “değere dayanan kalite” şeklinde tanımlayan yaklaşım beşinci yaklaşım olarak sunulmaktadır. Bu yaklaşıma göre ise kalite; sadece ürün veya hizmetin özelliklerini değil, aynı zamanda arzu edilen performans ve uygunluk derecesinin kabul edilebilir bir fiyat ile sunulması şeklinde ifade edilebilmektedir (Işığışık, 2012).

Kalite ile ilgili yapılan tanımlamalar ve ortaya konulan yaklaşımlarda da görüldüğü üzere kalite subjektif değerleri içermekte ve bir ürün veya hizmet için kalite kavramının ifade edeceği anlam tüketicilerin ürün veya hizmette arayacağı nitelik veya beklentilerle ilgili bir durumdur (Erden, 2011). Bu beklentilerin de kişiden kişiye değişmesi doğal bir durum olduğundan kaliteden bahseden birisinin hangi kriterlerden bahsettiğini belirtmesi önem taşımaktadır (Erdil ve Baydar, 2007).

### **1.2.2. Kalitenin Tarihsel Gelişimi**

Kalite hemen her dönemde ürün ve hizmetlerin ayrılmaz bir parçası olarak karşımıza çıkmaktadır (Montgomery, 2009). Kalite kavramıyla ilgili kayıtlı ilk bilgiler, M.Ö. 2150 tarihli Hammurabi kanunlarına dayanmaktadır. Bununla beraber, çeşitli bilim dallarındaki pek çok keşfin Fenikeliler, Mısırlılar ve Mezopotamya uygarlıklarında ortaya konulduğu ve kalite standartlarının uygulandığı ifade edilmiştir (Öztürk vd., 2012). Özellikle, 19. Yüzyılın ikinci yarısını takiben endüstriyel üretim sistemlerinin ortaya çıkışı ve üretim miktarlarında büyük artışlar görülmesi kalite kavramının önemini ön plana çıkarmış ve bu alanda önemli gelişmelerin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir (Ağbuga, 2007).

I. Dünya Savaşı üretim sistemlerinde çok önemli değişikliklere yol açmıştır. Üretim sistemleri daha karmaşık hale gelmiş (Türker, 2001) ve kalite kontrolün muayene yolu ile yapılmasının gerekliliği ön plana çıkmıştır (Yavuz, 2010). Bu dönemde, 1924'te Walter A. Shewhart, istatistiksel kalite kontrolünün başlangıcı olarak kabul edilen istatistiksel kontrol grafiği kavramını geliştirmiştir (Montgomery, 2012). Üretim imkanlarından daha verimli bir biçimde yararlanma zorunluluğu ve askeri alanda bilimsel tekniklerin kullanılmaya başlanmasından dolayı, istatistiksel kalite kontrol uygulamalarının kendini iyice kabul ettirdiği dönem ise II. Dünya Savaşı yılları olmuştur (Yavuz, 2010).

Shewhart'ın kalite kontrolü ile ilgili çalışmalarını W. E. Deming ve J. M. Juran'ın çalışmaları izlemiştir. Bu iki bilim insanı toplam kalite yönetimi anlayışına önemli katkılar sunmuştur. Günümüzde de birçok araştırmacı W. E. Deming'i toplam kalite yönetiminin kurucusu olarak kabul etmektedir (Aktan, 2012). Deming sayesinde, PUKÖ döngüsü

(planla, uygula, kontrol et, önlem al) toplam kalite yönetiminin ana ilkelerinden biri haline gelmiş ve bu kavram işletmelerde sürekli iyileştirmeyi sağlama adına önemli bir araç olmuştur (Yılmaz, 2003).

1950’li yıllarda ve 1960’lı yılların başında, Armand V. Feigenbaum toplam kalite kontrolün ilk prensiplerini ortaya koymuştur. Bu yıllardan itibaren toplam kalite kontrol yaklaşımı daha büyük bir gelişme göstermiştir (Aydın, 2011). Feigenbaum (1991)’e göre, toplam kalite kontrol; tüketici isteklerini göz önüne alarak bir organizasyon içerisindeki birimlerin kalitenin korunması ve geliştirilmesi konusundaki çabalarını birleştirip koordine eden etkili bir sistemdir.

İşletmelerde toplam kalite kontrol anlayışının gelişmesine Japon bilim insanları da önemli katkılar vermiştir. Bu bilim insanlarından birisi Kouru Ishikawa olup, 1960’lı yılların başında kalite çemberlerini ortaya atmış ve neden sonuç analizlerinin problemlerin çözümünde bir araç olarak kullanılmasını sağlamıştır (Işığışok, 2012). Bu yıllarda, kalite alanına fikirleri ile önemli katkılar sunan düşünürlerden birisi olan Genichi Taguchi kalite mühendisliği kavramının fikir babası olarak tanınmaktadır. Taguchi’nin istatistiksel deney tasarımı kavramı kalite geliştirme çalışmalarında kullanılan kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen değişkenlerin kalite özelliği üzerine etkilerini belirlemede önemli bir yaklaşım olmuştur (Özkale, 2004).

1960’lı yıllarda kalitenin öneminin artmasıyla birlikte ağırlıklı olarak askeri alanda başlayan bir diğer konu “standartlaşma” olmuştur (Demir, 2006). Standartlaşma hareketleri 1980’lerde uluslararası boyut kazanarak hemen herkesin ilgisini çeken uluslararası standart serilerini ortaya çıkarmış, daha sonra ise bu standartlar kalite güvencesinin teminatı olarak kabul edilmiştir (Ulaş, 2008).

1970’li yıllarla birlikte Japonya’da bir kalite evrimi başlamış ve toplam kalite kontrol teorisi ve kalite güvencesi sistemi geliştirilmiştir. 1980’lerde toplam kalite yönetimi olarak belirtilen ve her firmanın kendi iç yapısına göre değişen ve işletmenin tüm fonksiyon ve organizasyonunu içine alan, daha az kaynak kullanarak verimliliği ve kaliteyi geliştirmede etkili olabilecek bir sistem üzerinde yoğunlaşmıştır (Aydın, 2011). 1970’li yıllar ayrıca tüketici isteklerinin karşılanmasına da önem verilen bir dönem olarak ön plana çıkmıştır. 1980’li yıllar ve daha sonrasındaki dönem ise ABD’de Deming’in kalite gelişimi felsefesi ve Taguchi’nin istatistiksel deney tasarımı yöntemlerinin endüstride daha yoğun bir şekilde kullanıldığı yıllar olmuştur (Işığışok, 2012).



1970'lerin sonunda Crosby kalite maliyetleri kavramını ortaya atmış, 1980'li yıllar sonrasında kalite yönetimini hedefleyen yönetim ve mühendislik nitelikleri bilimsel olarak uygulanmıştır. Kalite kavramı 1980 ve 1990'lı yıllarda en hızlı gelişen rekabet araçlarından biri olarak ortaya çıkmıştır. Rekabetteki artışla birlikte müşteri talepleri dolayısıyla kalite önem kazanmış ve kalite işletmelerin varlıklarını sürdürmesinde dikkate almaları gereken önemli bir kavram haline gelmiştir (Yılmaz, 2003).

Sonuç olarak, tarihsel süreçte kalite anlayışının gelişimine veya değişimine öncülük eden en önemli faktörlerden birisinin rekabet olduğunu söylemek mümkündür. Kalitenin gelişim sürecinde, 1960'lı yıllarda üretim üstünlüğüne dayalı olarak birbirleri ile rekabet etmeye çalışan işletmeler, 1970'li yıllarda maliyete, 1980'li yıllarda kalite üstünlüğüne, 1990'lı yıllarda hıza ve 2000'lerde ise bilgi üstünlüğüne dayalı olarak rekabet etmişlerdir. Kalite anlayışı sürekli gelişme göstermekte ve günümüzde bu gelişme inovasyon ve AR-GE üstünlüğüne dayalı rekabetle sürdürülmektedir (Işığışık, 2012).

### **1.2.3. Kaliteyi Oluşturan Temel Unsurlar**

Bir ürünün ekonomik, kullanışlı olması ve müşteri beklentilerini tatmin edebilmesi için o ürünü tüketicilerin gözünde tatmin edici yapan özelliklerin ortaya konulması ve sonrasında da belirlenen bu özellikleri üretim veya tasarım aşamasında kullanılacak fiziki özelliklere çevirmek gerekmektedir (Şenol, 2012). Bu bağlamda, tüketicilerin istek ve ihtiyaçları, rekabet koşulları, ürünün fiyatı, tasarımı, satış politikaları, kullanılan malzeme, muayene işlemi ve ürünün kullanım amacı gibi çok sayıda faktörün dikkate alınması önem arz etmektedir (Kobu, 1987).

Günümüzde ürün kalitesinin istenilen düzeyde olması, başka bir deyişle, tüketici taleplerine cevap verecek düzeyde olması tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi ve kullanım sırasında bekleneni verme veya performans kalitesi kavramlarına bağlı olduğu konusunda önemli bir fikir birliği bulunmaktadır (Şenol, 2012).

Tasarım kalitesi, bir ürün veya hizmetin arzu edilen özelliklere sahip olması ile ilgili bir durumdur (Aykanat, 2011). Bu özellik, ürünün pazarda kolay bir şekilde tutunabilmesi, rekabette üstünlük sağlayabilmesi ve tüketicinin en üst düzeyde tatmininin sağlanabilmesi vb. özellikler için ön koşullardan birisidir (Ülen, 2010). Bununla beraber, tasarım kalitesi ürün kalitesi için gerekli olmakla birlikte belirlenen kalite düzeyini üretim aşamasında sağlayabilmek ile bu kalite düzeyini tüm ürünlerde devam ettirebilmek her zaman mümkün

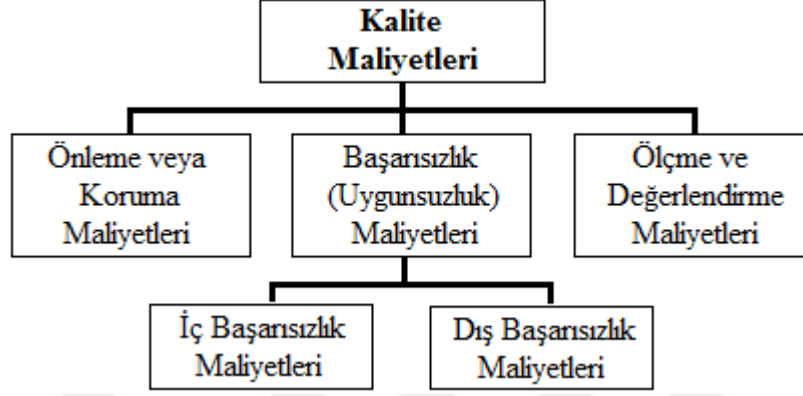
olamayacağı için tek başına yeterli değildir. Yani, gerçekleştirilen bir tasarımın her zaman arzu edildiği gibi sağlanması mümkün olmayacağından beklentilerin gerçekleştirilebilme düzeyi tasarım aşamasında belirlenen hedefler ile bire bir örtüşmeyebilmektedir. Tasarım aşamasında belirlenen ve ulaşılması amaçlanan hedeflerle ulaşılan hedefler arasındaki fark uygunluk kalitesi olarak adlandırılmaktadır (Işığışık, 2012). Ürün veya hizmetlerin pazar performanslarının çeşitli araştırma ve analizlerle tespiti ise performans kalitesi olarak ifade edilmektedir (Akçay, 2008).

#### **1.2.4. Kalite Maliyetleri**

Kalite maliyetleri; meydana gelebilecek hataları önleme adına yürütülen faaliyetlerin, planlı kalite muayenelerinin ve ürünün üretim sürecinde veya tüketiciye tesliminden sonra karşılaşılan hataların bir sonucu olarak ortaya çıkan maliyetlerdir (Toroman, 2010). Birçok işletme, tüketicilerin karar vermesinde etkili bir faktör olması nedeniyle kaliteye oldukça önem vermekte ve rekabet edebilirliği sağlamak için kalitenin kritik role sahip olduğunu düşünmektedir (Schiffauerova ve Thomson, 2006). Özellikle de, toplam kalite yönetimi anlayışını benimsemiş olan işletmelerde en önemli amaçlardan birisi kaliteli ürünleri düşük maliyetler ile üretmektir. Ürün kalitesinde bir artış sağlamanın işletmeler açısından belirli bir maliyeti olmakla birlikte, kalitenin artırılması sonucunda işletmelerin rekabet gücünün artmasına paralel olarak katlandığı maliyetleri karşılama gücü de artmaktadır. Öte yandan, ürün kalitesini artırma maliyetine katlanmayan işletmelerde, amaçlanan kaliteye uymayan ürünlerin üretilmesi sonucunda ek maliyetlerle karşılaşabilmektedir (Işığışık, 2012).

İşletmelerde kalite ile ilgili oluşabilecek maliyetlerin yöneticiler tarafından bilinmesi çok önemlidir. Bu durum, işletme yöneticilerine kalite ile ilgili gerçekleştirilmesi gereken faaliyetlerin neler olabileceğinin belirlenmesi ve bu faaliyetlerin önceliklerinin tespiti gibi bazı konularda yardımcı olacaktır (Demircioğlu ve Küçüksavaş, 2009). Bilindiği üzere, kalite problemleri toplam maliyetleri arttırmakta, ayrıca tüketici memnuniyetsizliğine yol açarak işletmelerin gelirlerini ve rekabet güçlerini azaltabilmektedir. Bununla beraber, işletmeler ağır rekabet şartlarında kalite ve maliyet kavramlarını bir arada değerlendirmek durumundadır. Çünkü, piyasada ürün ve hizmetler hem kaliteleriyle hem de maliyetlerine bağlı olarak oluşan fiyatlarıyla rekabet etmektedirler. Tüketiciler bir ürün veya hizmetten faydalanmaya karar verdiğinde ürün veya hizmetin kalite ve fiyatını karşılaştırma yoluyla bir değerlendirme yapmaktadır (Atay, 2010)

Şekil 1’de görüldüğü gibi, kalite maliyetleri; önleme veya koruma maliyetleri, ölçme ve değerlendirme maliyetleri ve başarısızlık (uygunsuzluk) maliyetleri olmak üzere 3 temel bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 1. Kalite maliyetleri (Işığışık, 2012)

Önleme veya koruma maliyetleri kalitede bir uygunsuzluğu önlemeye yönelik olarak, kalite sisteminin tasarımı, kurulması ve düzenlenmesi ile ilgili maliyetlerden oluşmaktadır (Toroman, 2010). Ölçme ve değerlendirme maliyetleri ulaşılan kalite seviyesinin ölçülmesi ile ilgili olan maliyetlerdir. Başka bir ifadeyle, tüketici beklentilerini karşılamaya yönelik olarak yapılan uygunluk denetimleri ile ilişkili maliyetlerdir (Bodur, 2008). İç başarısızlık maliyetleri ürünün tüketiciye ulaşmasından önce ortaya çıkan nedenlerden kaynaklanan maliyetlerden oluşmakta iken dış başarısızlık maliyetleri ürünün tüketiciye ulaşmasından sonra karşılaşılan uygunsuzluklara bağlı maliyetlerden oluşmaktadır (Birgören, 2017).

ABD’de gerçekleştirilen bir araştırma, ülkedeki tüm endüstrilerde kalite kontrol ile ilgili maliyetlerin yaklaşık olarak %70’inin başarısızlık, %25’inin ölçme ve değerlendirme ve %5’inin ise önleme maliyetleri şeklinde bir dağılım sergilediğini göstermiştir. Bunun yanında, önleme veya koruma maliyetlerinin payının özellikle de bunun eğitime ayrılan kısmının bir miktar artırılması yoluyla büyük kayıplara sebep olan başarısızlık maliyetinin önemli ölçüde azaltılabileceği ifade edilmiştir (Kobu, 2013).

### 1.2.5. Kalite Kontrol

İşletmelerde kaliteli ürün veya hizmet üretiminin sağlanabilmesi için daha önceden saptanan standartlara bağlı olarak yürütülen faaliyetlerin etkin bir şekilde planlanması ve

denetlenmesi, başka bir ifadeyle, etkili bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir (Kobu, 1987). Montgomery (2009), kalite kontrolü ve iyileştirmeyi ürün ve hizmetlerin belirlenen gereklilikleri karşıladığından ve sürekli olarak geliştirildiğinden emin olmak için kullanılan faaliyetler bütünü olarak ifade etmiştir. Gerçekleştirilecek olan kalite kontrol faaliyetleri ile kalitedeki değişkenliğin önceden belirlenmiş standart ve toleranslar içinde olup olmadığı tespit edilebilmektedir.

Kalite kontrol uygulamalarının temel amacını; tüketici istek ve ihtiyaçlarını tasarım aşamasından başlayarak mümkün olan en ekonomik düzeyde karşılayan ürün veya hizmet üretmek olarak ifade etmek mümkündür (Kelesbayev, 2014). Bir işletmede etkili bir kalite kontrol sistemi kurularak uygulanması, başka bir ifadeyle, kalite kontrol ile ilgili belirlenen amaçlara ulaşılabilmesi tepe yönetiminden işçiye kadar tüm personelin ve kalite kontrol departmanının yanı sıra işletmenin bütün departmanlarının değişen derecelerde sorumluluk alması ile mümkün olabilmektedir. İfade edilen temel amaca ulaşmada bazı alt amaçların belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu alt amaçlar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Kobu, 2013).

- Ürünün kalite seviyesinin yükseltilmesi
- Ürün tasarımının geliştirilmesi
- İşletme maliyetlerinin azaltılması
- Iskarta, işçilik ve malzeme kayıplarının azaltılması
- Üretim hattında oluşabilecek darboğazların giderilmesi
- Çalışanların moral ve motivasyonunun yüksek tutulması
- Tüketicinin ödediği ücretin karşılığını aldığını görerek memnun olması
- Ülke ekonomisine olumlu katkı sağlanması
- İşletme prestijinin artırılması
- İşçi-işveren ilişkilerinin iyileştirilmesi

Kalite kontrolün en önemli faydalarından biri üretilen ürün veya hizmetin kalitesinde iyileşmeye imkan sağlamasıdır. İkinci olarak, kalite kontrol sistemi, tüketicilerin değişen isteklerini karşılamak için prosesi ara sıra değerlendirmekte ve değiştirmektedir. Üçüncü olarak, kalite kontrol uygulamaları işletmelerin temel amaçlarından biri olan verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Kalite kontrol sisteminin sağladığı dördüncü fayda uzun dönemde maliyet azalmasına imkan sağlamasıdır. Üretimin zamanında gerçekleştirilmesi ise kalite kontrol sisteminin sağladığı bir diğer faydadır (Kavrakoğlu, 1990).

### 1.2.6. Kalite Kontrolün İstatistik Bilimi ile İlişkisi

Kalite kontrolü uygulamalarında istatistik biliminin önemli bir etkisi olup istatistiksel yöntemlerin bu alandaki uygulamaları uzun bir geçmişe sahiptir. 1924 yılında Walter A. Shewhart'ın geliştirdiği istatistiksel kontrol grafiği kavramı kalite kontrol uygulamalarında istatistiksel tekniklerin kullanılmasının başlangıcı olarak kabul edilmektedir (Montgomery, 2012). Bununla beraber, istatistiksel tekniklerin sanayide geniş ölçüde kullanılması ise II. Dünya savaşı yıllarına dayanmaktadır. Bu yıllarda mevcut şartların minimum malzeme ve işçilik ile yüksek kalite düzeyinde ve büyük miktarlarda üretimi gerektirmesi istatistiksel yöntemlerin kalite kontrol uygulamalarında kullanılmasını bir zorunluluk haline getirmiştir (Şenol, 2012).

Üretilen ürünlerin istenilen standartlar ölçüsünde üretilip üretilmediğinin kontrolü, çalışanların verimlilik düzeylerinin tespit edilmesi, üretimde kullanılan makine veya üretim proseslerinin yeterliliklerinin kontrol edilmesi ve insan kaynakları ile ilgili alt sistemlerin çoğunda istatistik bilimine ihtiyaç duyulabilmektedir (Işığışık, 2012). Kısacası, kalite kontrol uygulamalarında kontrol fonksiyonunun başarıyla görevini yerine getirebilmesi çeşitli istatistiksel yöntemlerin kullanılması ile yakından ilişkilidir (Özçomak, 2004).

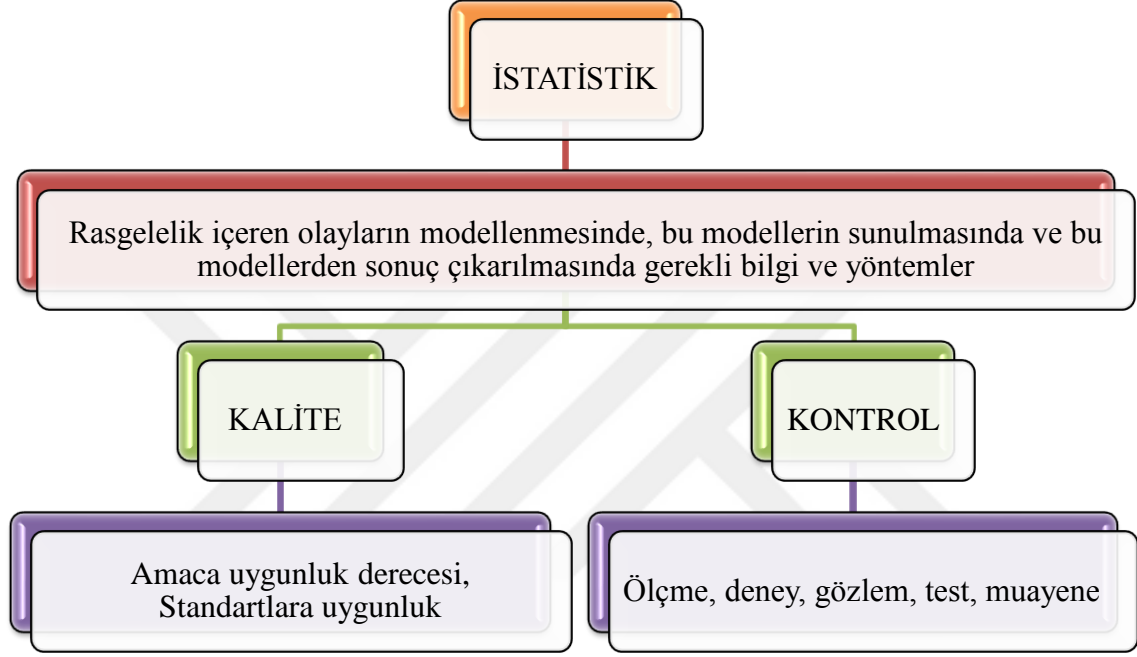
Kalite kontrol uygulamalarında istatistiksel tekniklerin kullanılmasının birkaç önemli nedeni vardır. En önemli nedenlerden biri istatistiksel yöntemlerin kullanılması sayesinde örneklem kullanılarak hedef kitle hakkında karar verilmesine imkan tanınmasıdır (Işığışık, 2012). Diğer önemli bir neden ise bir ürün veya hizmet ile ilgili uygunsuzluğun ortaya çıkartılmasıdır. Bir ürün veya hizmetin uygunsuz olması durumunu belirleyen ise kabul kriterleridir. Kabul aralığının değiştirilmesi çok mümkün olmadığına göre en mantıklı yol değişkenliğin azaltılmasıdır. Bu ise, ancak üretilen ürün veya hizmetleri ortaya çıkarmak için kullanılan süreçlerin istatistiksel olarak analizi ile mümkün olabilmektedir. Sadece bu nedenler bile istatistiksel yöntemlerin kalite ile ilgili problemlerin üstesinden gelinmesinde önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır (Şenol, 2012).

### 1.2.7. İstatistiksel Kalite Kontrol

İstatistiksel kalite kontrol, bir ürün ya da hizmetin kalitesinin kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla başvurulan istatistiksel ve mühendislik yöntemlerine verilen genel bir isim olarak belirtilmektedir (Orçanlı, 2017). İstatistiksel kalite kontrol uygulamalarının

amacı; ürün veya hizmet üretiminde istenen kalite düzeyine ulaşmak için üretim prosesinin bazı aşamalarında ürün ya da hizmetin kalitesini incelemek yerine üretimi sağlayan tüm prosesi kontrol etmektir (Şenol, 2012).

Şekil 2’de görüldüğü gibi istatistiksel kalite kontrolün bileşenleri istatistik, kalite ve kontrol kavramlarından oluşmaktadır.



Şekil 2. İstatistiksel kalite kontrolün bileşenleri (Şenol, 2012)

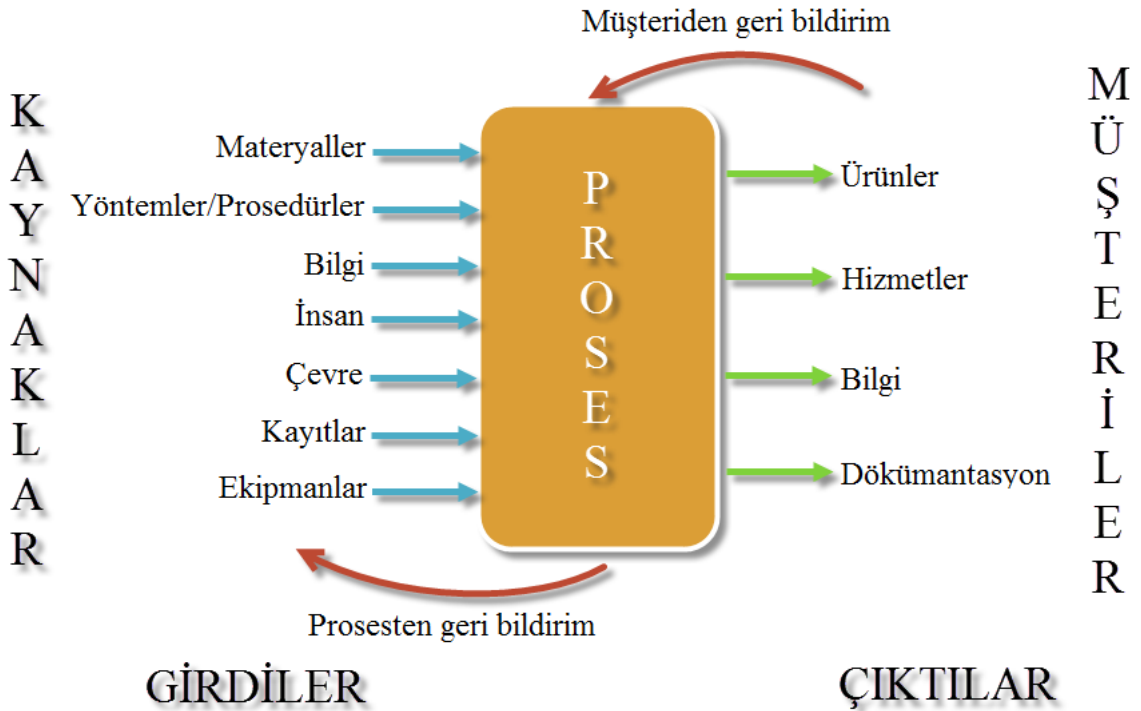
Burada, istatistik; ölçme, deney, gözlem gibi yöntemler sonucu elde edilen verilerin toplanması, bu verilerin analizi ve sonuçlarının yorumlanması, kalite; istenilen özelliklerin sağlanması, tüketici istek ve ihtiyaçlarının karşılanması, standartlara ve amaca uygunluğun sağlanması ve kontrol ise amaca ulaşma noktasında yürütülecek faaliyetlerin planlanması, denetlenmesi ve gerektiğinde proses girdilerinde düzeltmelerin yapılması aşamalarını içermektedir (Pekmezci, 2005).

İstatistiksel kalite kontrolü herhangi bir ürünün ekonomik bir şekilde üretilmesi için istatistiksel prensip ve yöntemleri uygulamaktadır (Şahin, 2013). Bu amaçla, ifade edilen bu istatistiksel teknikler genellikle dışarıdan temin edilen hammadde, yarı mamul ve diğer malzemelerin standartlara veya spesifikasyonlara uygun olup olmadığının kontrol edilmesi (giriş kontrolü), üretim sırasında ürünü meydana getiren elemanların önceden belirlenmiş olan standartlara veya spesifikasyonlara uygun olup olmadığının kontrol edilmesi (proses

kontrolü) ve üretim sürecinin sonunda üretilmiş ürünün standartlara veya spesifikasyonlara uygun olup olmadığının kontrol edilmesi (çıkış kontrolü) olmak üzere genel olarak üç aşamada uygulanmaktadır (Pekmezci, 2005).

### 1.2.8. İstatistiksel Proses Kontrol

İstatistiksel proses kontrol, yıllardan beri ürün kalitesini kontrol etmede önemli bir rol oynamaktadır (Haridy ve Wu, 2009). Yoğun rekabet ortamında kalitenin giderek daha önemli hale gelmesi proses yönetimine verilen önemi de arttırmaktadır (Doğruel, 2010). İstatistiksel proses kontrolünü tanımlamadan önce proses kavramının ne ifade ettiğinin ortaya konulması önem arz etmektedir. Oakland (2007) bir procesi; materyal, yöntem ve insan gibi farklı girdilerin çeşitli yöntemlerden yararlanılarak katma değer sağlayacak bir şekilde ürün, hizmet ve bilgi gibi çıktılara dönüştürülmesi için izlenen adımlar serisi olarak tanımlamıştır. Şekil 3’de bir prosesin yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Tipik bir proses yapısı (Oakland, 2007)

Daha önce ifade edilen istatistik ve kontrol kavramları ile birlikte düşünüldüğünde istatistiksel proses kontrolü; herhangi bir prosesteki değişkenliği azaltma yoluyla süreci iyileştirme veya düzeltme yeteneğine sahip olan etkili problem çözme araçlarının bileşimi olarak tanımlanabilmektedir (Montgomery, 2009). İstatistiksel proses kontrolü ile ürün veya hizmet üreten herhangi bir prosesin kontrol altında tutulması amaçlanmaktadır. Bu amacı gerçekleştirme adına ilgili proses sürekli olarak gözlemlenmekte, prosesden çeşitli aşamalarda örnekler çekilmekte, bu örnekler analiz edilmekte ve herhangi bir problem veya özel nedenin var olup olmadığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Herhangi bir problem veya özel nedenin var olduğu tespit edildiğinde ise gerekli önleyici tedbirler alınmaktadır (Orçanlı, 2017).

İstatistiksel proses kontrolü ile istatistiksel kalite kontrolü kıyaslanacak olursa; istatistiksel proses kontrolü sadece proseste üretilen ürünlerin kontrol edilmesini değil, aynı zamanda prosesin de sürekli bir şekilde kontrol edilmesini sağlamaktadır. Daha önce de değinildiği gibi, istatistiksel kalite kontrolü ise istatistiksel proses kontrolünü de içeren daha geniş bir alanı ifade etmektedir (Özkale, 2004).

İstatistiksel proses kontrolünü yirminci yüzyılın en büyük teknolojik gelişmelerinden birisi olarak ifade etmek mümkündür. Bunun nedeni, sağlam temel prensiplere dayanması, kolay uygulanması, önemli bir etkiye sahip olması ve herhangi bir prosese uygulanabilir olmasıdır (Montgomery, 2009). İstatistiksel proses kontrolün yedi önemli aracı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. İstatistiksel proses kontrolün yedi önemli aracı (Montgomery ve Runger, 2010)

Bu araçlar istatistiksel proses kontrolünün önemli bir parçasını meydana getirmekte ve genellikle "muhteşem yedi" olarak isimlendirilmektedir (Montgomery, 2012). Kontrol grafiklerini bu tekniklerin en önemlisi olarak ifade etmek mümkündür (Koçer ve Birgören, 2004). Bu çalışma, kontrol grafiklerini kapsadığından istatistiksel proses kontrolü ile ilgili diğer kavramlara girilmeyecektir.

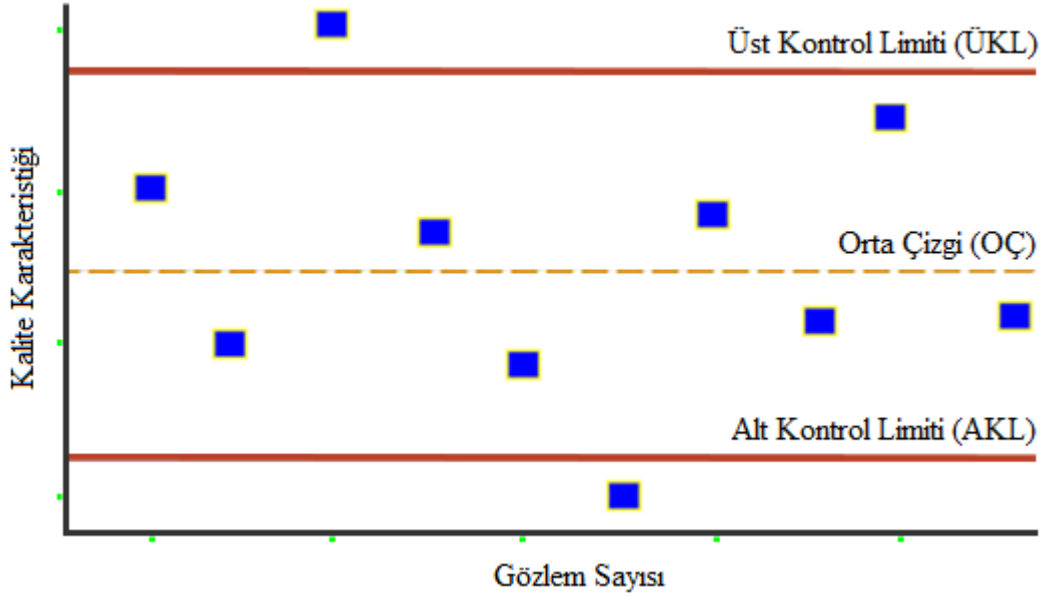


### 1.3. Kontrol Grafikleri

#### 1.3.1. Kontrol Grafiklerine Genel Bir Bakış

Kontrol grafikleri, herhangi bir proseste tesadüfi ve özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliği tespit etmek için kullanılan istatistiksel araçlardır (Yılmaz, 2012). Kısacası, kontrol grafiklerinin kullanım amacı, bir prosesin performansındaki değişkenliği saptamak (Oakland, 2007; Fu vd., 2017) ve bu şekilde ürün kalitesini sürekli olarak izleyebilmektir (Alfaro ve Ortega, 2009).

Temelini Shewhart'ın attığı kontrol grafiklerinin mantığı genel olarak aynı olup, bir orta çizgi (OÇ), bir alt kontrol limiti (AKL) ve bir de üst kontrol limiti (ÜKL)'inden meydana gelmektedir (Fu vd., 2017). Şekil 5'de Shewhart kontrol grafiklerinin tipik bir yapısı gösterilmiştir.

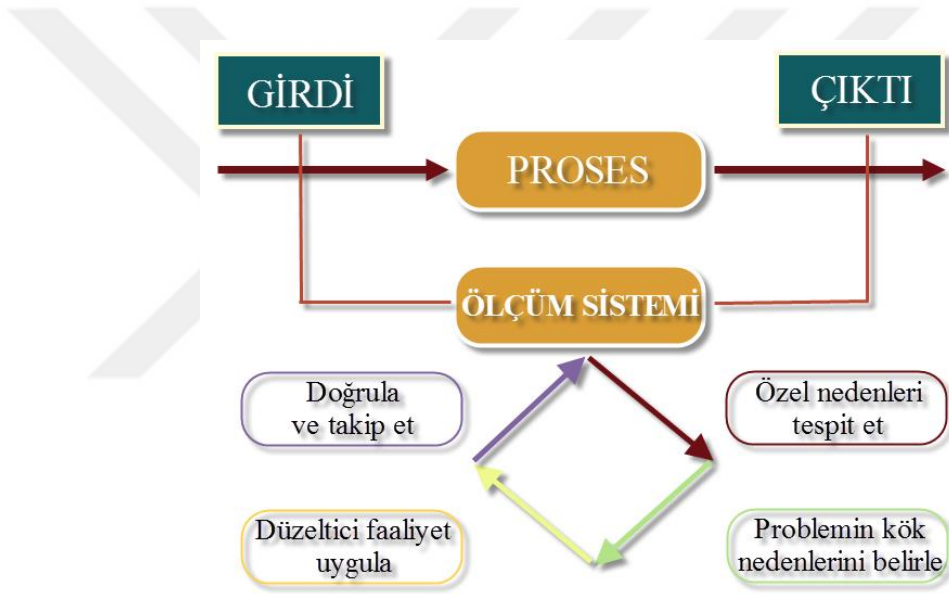


Şekil 5. Tipik bir Shewhart kontrol grafiği yapısı

Grafikte, orta çizgi örnekleme değerlerinin ortalamasını göstermektedir. Bu çizginin alt ve üst kısmında yer alan çizgiler ise örneklem değerlerindeki değişkenliğin sınırlarını gösteren kontrol limitlerini ifade etmektedir (Işığışık, 2012). Bu kontrol limitleri prosesden toplanan verilerden elde edilmekte ve prosesi etkileyen özel nedenler bulunmadığı sürece, yani, prosesden çekilen gözlemler kontrol limitleri içinde kaldığı sürece prosesin kontrolde olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, herhangi bir nokta limitlerin dışında kalıyorsa,

bu durum prosesin kontrol dışı olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanır ve bu kontrol dışı duruma sebebiyet veren faktör veya faktörleri bularak ortadan kaldırmak için düzeltici önlemlerin alınması yoluna gidilmektedir (Montgomery, 2009; Vardeman ve Jobe, 2016).

Kontrol grafikleri tüketici ihtiyaçlarını karşılamak adına prosesin iyileştirilmesi veya geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır (Cheng ve Thaga, 2006). Kontrol grafikleri ile herhangi bir üretim prosesinin kontrol dışında olmasına sebep olan özel nedenler tespit edilebilmektedir. Kontrol dışı duruma yol açan faktörler uzaklaştırıldığında ise değişkenlik azalacak ve ilgili prosesin ve o processte üretilen ürünlerin gelişimi mümkün olabilecektir (Montgomery, 2012). Kontrol grafiklerinden faydalanarak herhangi bir procesi iyileştirme faaliyeti Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Kontrol grafiği kullanarak proses iyileştirme (Montgomery ve Runger, 2010)

Montgomery (2009) istatistiksel proses kontrol uygulamalarında kontrol grafiklerinin ön plana çıkmasının en az beş sebebi olduğunu aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

- Kontrol grafikleri verimliliği artırmak için kanıtlanmış bir tekniktir.
- Kontrol grafikleri prosesdeki hataların önlenmesinde etkili olabilmektedir.
- Kontrol grafiklerinin kullanılması proses performansının kötüye gitmesine neden olabilecek gereksiz proses ayarlamalarını engelleyebilmektedir.
- Kontrol grafiklerinin üzerinde bulunan veri noktalarının dağılımı deneyimli bir operatör veya mühendise proses hakkında önemli bilgiler sunabilmektedir.
- Kontrol grafiklerinin kullanımı proses kapasitesi hakkında bilgiler sağlamaktadır.

### **1.3.2. Kontrol Grafiklerinin Oluşturulmasında Bazı Önemli Kavramlar**

#### **1.3.2.1. Örneklem Hacmi ve Örneklem Sayısı**

Kontrol grafiklerinin tasarlanmasında kullanılacak olan örneklem hacmi ve örneklem sayısının doğru bir şekilde belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Büyük örneklem seçimi proste oluşabilecek küçük kaymaların tespitini kolaylaştırmaktadır (Montgomery, 2009). Ayrıca, örneklem hacmi ve sayısının artışı örneklem ortalamalarının ortalamasının ana kitlenin gerçek ortalamasına yaklaşmasını sağlayacaktır (Özdamar, 2006).

Örneklem hacmi prosten bir defada çekilecek olan gözlem sayısını belirtmektedir (Kobu, 1987). Proste oluşabilecek değişkenliği güvenilir bir şekilde ortaya koyabilmesi için genellikle nicel kontrol grafiklerinin kullanılması durumunda örneklem hacminin 5, nitel kontrol grafiklerinin kullanılması durumunda ise örneklem hacminin 50-200 arasında değer olması önerilmektedir (Işığışık, 2012).

Örneklem sayısı farklı zaman dilimlerinde prosten çekilecek örneklem sayısını belirtmekte ve incelenen proste zaman içerisinde meydana gelebilecek değişimleri ortaya koymaktadır (Işığışık, 2012). Örneklem sayısının proste oluşabilecek değişimlerin ana sebeplerini ortaya koyacak büyüklükte olması önem arz etmektedir. Montgomery (2012)'de örneklem sayısının 20-25 olarak seçilmesinin sık kullanılan bir yaklaşım olarak kabul gördüğü ve deneme kontrol limitlerinin hesaplanmasında bu sayıya ulaşmanın arzu edilen bir durum olduğu belirtilmektedir. Vardeman ve Jobe (2016)'da da genellikle 20-25 örnek alınmasının yeterli olacağı belirtilmektedir. Ayrıca, çok değişkenli grafiklerin kullanımı durumunda ise bu sayının artırılması önerilmektedir (Çetin ve Birgören, 2007).

#### **1.3.2.2. Standart, Spesifikasyon ve Tolerans**

Standart, herhangi bir ürüne ait özellikler ile ilgili ürün tasarımı, üretim ve ölçme gibi konularda önceden tespit edilmiş olan kurallar olarak tanımlanabilmektedir (Gümüsoğlu, 2000). Standartlaştırma ise, bir işin standardına uygun olarak gerçekleştirilmesi ve daha sonra işlemin doğrulanarak, o işin standart ölçülerine uygunluğunu sağlama süreci olarak ifade edilebilmektedir (Öztürk, 2013).

Spesifikasyon, herhangi bir ürünün üretilmesi için gerekli olan işlerin doğru, eksiksiz ve kolaylıkla yapılabilmesi için geliştirilen talimatlar veya ürünün herhangi bir yanılıya

neden olmayacak şekilde anlatılmasını ve standartlara uygun olarak üretilmesini sağlayan kalite özellikleridir (Işığışık, 2012). Spesifikasyon, standartların uygulanmasına yardımcı olup standartlaştırma sürecinde kullanılan bir araç olarak belirtilmektedir (Kobu, 2013).

Toleranslar, doğadaki tüm varlıkların birbirlerinden farklı olması nedeniyle, üretim prosesinde de birbirinin aynı yapıların üretilmesinin imkansızlığı sonucu ortaya çıkmış olup, üretim prosesinde verimliliğin artması ve üretim maliyetlerinin en küçüklenmesini amaçlamaktadırlar (Özçil, 2014). Tolerans, belirli bir ürünün kalite özellikleri hakkında ürün tasarımında öngörülen ve önceden ortaya konulan limitler içerisinde kabul edilebilen sapmalar olarak belirtilmektedir (Bostan, 2010). Buna göre, herhangi bir ürünün tasarlanan gerçek ölçüsüne nominal ölçü, izin verilen en yüksek ve en düşük ölçüsüne sırasıyla üst ve alt spesifikasyon limiti ve limitler arasındaki farka tolerans denilmektedir (Rao vd., 1996).

### **1.3.2.3. Kontrol Limitleri**

Kontrol limitleri kontrol grafiklerinin önemli bir elemanı olup prosesle ilgili kararlar almada yardımcı parametreler olarak bilinmektedirler. Prosesten çekilen örneklemelere ait ortalamalar kontrol grafiğinde ortalamaların ortalamasını ifade eden orta çizgi etrafında bir dağılım göstermektedir (Işığışık, 2012). Bu dağılımın sınırları %99.73 güven sınırlarına karşılık gelen  $\pm 3\sigma$  değerindeki kontrol limitleridir (Fu vd., 2017). Yani, standart sapmanın  $\pm 3$  katına göre belirlenen kontrol limitleri sürecin rassal değişkenlik göstermesi durumunda grafik üzerinde işaretlenen tüm noktaların % 99.73'ünü içerecektir. Kalan % 0.27'lik alan ise kontrol limitleri dışında kalması beklenen kısmı ifade etmektedir. Öte yandan, kontrol limitleri ile spesifikasyon limitleri aynı anlama gelmemekte spesifikasyon limitleri bireysel değerlere uygulanmakta iken, kontrol limitleri kalite karakteristiğine ait örnekleme ilişkin ortalama değerlere uygulanmaktadır (Işığışık, 2012).

### **1.3.2.4. Değişkenlik**

Herhangi bir üretim prosesinde mevcut sistem ne kadar düzenli bir şekilde işlese de bir miktar değişkenlik her zaman bulunabilmekte ve proseste üretilen ürünler tamamıyla birbirinin aynı olmamaktadır. Bu farklılık değişkenlik olarak adlandırılmaktadır (Özel,

2005). Herhangi bir prosesin değişimine neden olan faktörler genel (tesadüfi) nedenler ve özel nedenler olarak iki grup altında değerlendirilmektedir (Birgören, 2017).

Genel nedenler, üretimi etkileyen faktörlerin tamamında sürekli olarak mevcut olan ortak nedenlerdir (Özkaya, 2013). Bu nedenler sürecin doğal yapısından kaynaklanan, yani tesadüfi olarak ortaya çıkan, tek başlarına etkileri zayıf olan ve her birinin değişkenliğe küçük bir miktar etki ettiği nedenlerdir. Bu gibi genel nedenlerin etkisinde olan bir proses istenilen özelliklerde ürün verdiği sürece kontrolde olarak kabul edilmektedir (Birgören, 2017).

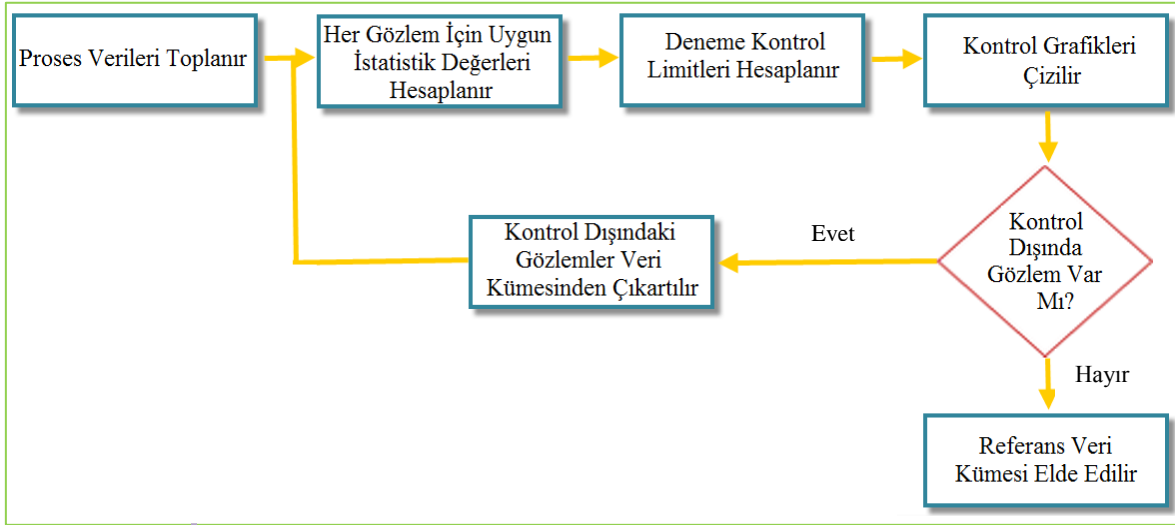
Özel nedenler ise tek başlarına prosese önemli etkileri olan, genel nedenlere kıyasla daha baskın olan, süreçte iz bırakan ve önceden tahmin edilemeyen nedenlerdir (Özel, 2005). Özel nedenler bir bakıma sürecin doğasında olmayan sıra dışı değişim kaynaklarıdır (Birgören, 2017). Takım kırılması, gevşek bağlantılar, tezgah boşlukları ve tecrübesiz operatörler gibi faktörler proseste meydana gelebilecek özel nedenlere örnek gösterilebilir (Bulut, 2007). Özel nedenlerin var olması prosesin kontrol dışı olduğuna işaret etmektedir. Prosesi tekrar kontrol altına almak özel nedenlerin tespit edilerek ortadan kaldırılması ile sağlanabilmektedir (Işığıçok, 2012).

Süreçteki değişkenliğin hangi tür değişkenlik olduğunun belirlenmesi önemli olup bu belirleme aşamasında birinci tip hata ve ikinci tip hata olmak üzere iki tip hata ile karşı karşıya kalınmaktadır (Orçanlı, 2017). Birinci tip hata; proseste özel neden bulunmamasına rağmen, sistem kaynaklı ve genel bir nedenin özel neden olarak dikkate alınmasını ifade etmekte iken, ikinci tip hata; hatanın özel bir nedene dayanmasına rağmen, tespit edilerek ortadan kaldırılması yerine sistemden kaynaklanan genel bir nedenden kaynaklandığının düşünülmesini ifade etmektedir (Işığıçok, 2012).

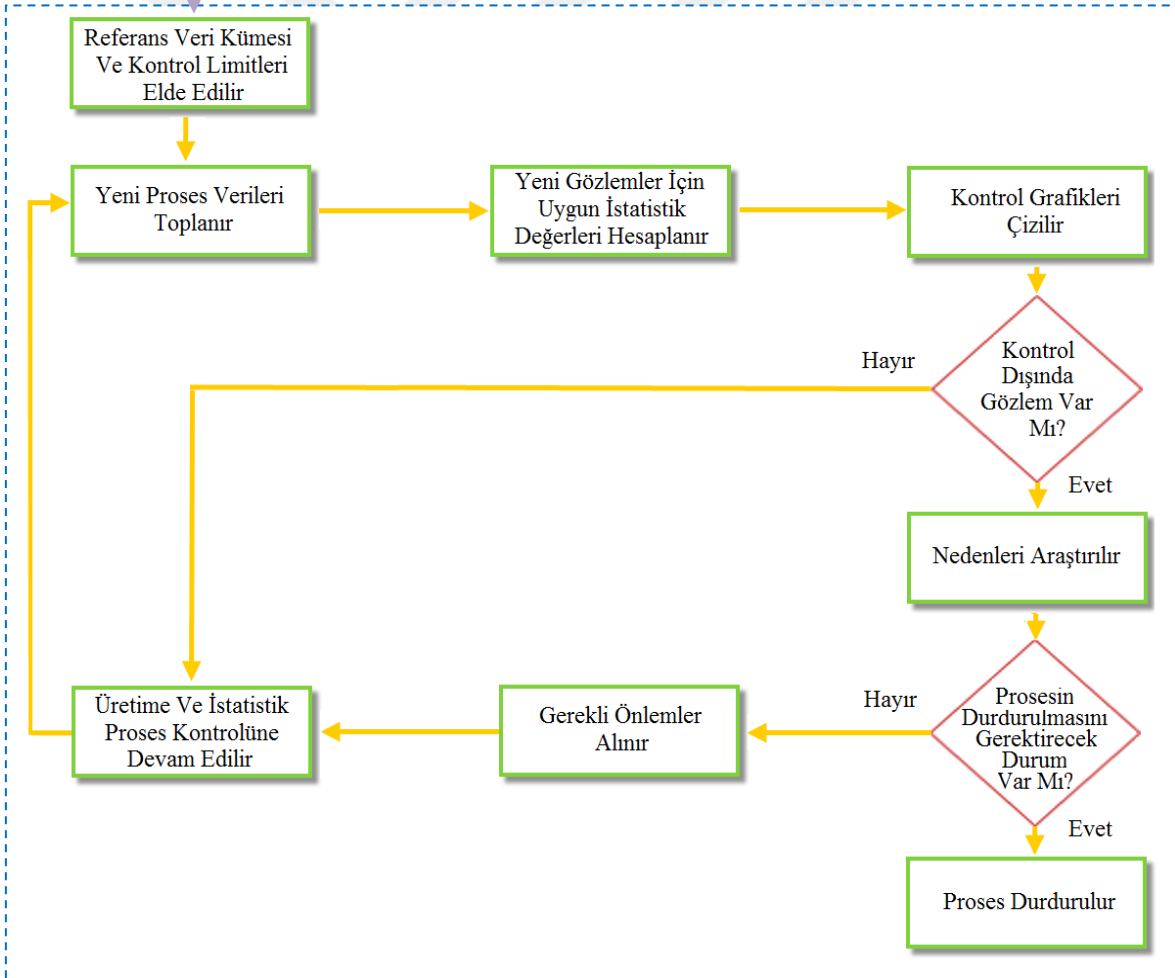
#### **1.3.2.5. Faz I ve Faz II**

Kontrol grafiklerinin oluşturulması Faz I ve Faz II olarak adlandırılan iki farklı aşamayı gerektirmektedir (Alfaro ve Ortega, 2008). Kontrol grafiği kullanılarak herhangi bir prosesin değerlendirilebilmesi için ilk olarak incelenecek olan prosesle ilgili referans verilere ihtiyaç duyulmaktadır. İfade edilen bu veriler anakütle verileri olabileceği gibi, prosesin kararlı olarak kabul edildiği durumdaki verileri de olabilmektedir. Proses için bu verilerin elde edilmesi Faz I aşaması olarak adlandırılmaktadır. Faz I ve Faz II adımlarının proseslere uygulanışı Şekil 7’de gösterilmiştir (Doğruel, 2010).

## FAZ I



## FAZ II



Şekil 7. Kontrol grafiklerinin oluşturulmasında Faz I ve Faz II aşamaları (Doğruel, 2010)

Faz I aşaması geçmişe dönük analiz olarak da isimlendirilebilmektedir (Woodall vd., 2004). Bu aşamada, prosesten elde edilen referans verilere dayalı olarak kontrol limitleri oluşturulmaktadır (Alfaro ve Ortega, 2008). Yapılan analiz veya değerlendirmeler toplanan verilerin hesaplanan kontrol limitlerinin arasında olduğunu, yani, prosesin kontrol altında olduğunu gösterirse bu veriler prosesin Referans Veri Kümesi (Çetin ve Birgören, 2007) veya Geçmiş Veri Kümesi (Mason ve Young, 2002) olarak kabul edilmektedir.

İkinci aşama ise prosesten alınan yeni verilerin izlenerek kontrol dışı durumların hızlı bir şekilde tespit edildiği aşamadır (Woodall vd., 2004). Bu aşama, Faz II aşaması olarak adlandırılmaktadır. Prosesin gelecek durumdaki analizi olarak da ifade edilebilen Faz II aşamasının amacı ise prosesin Faz I aşamasında elde edilen dağılım yapısına uygunluğunu kontrol etmek ve prosesin kontrol altındaki durumunun devamlılığını sağlamaktır (Orçanlı, 2017).

### **1.3.3. Tek Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol Grafikleri**

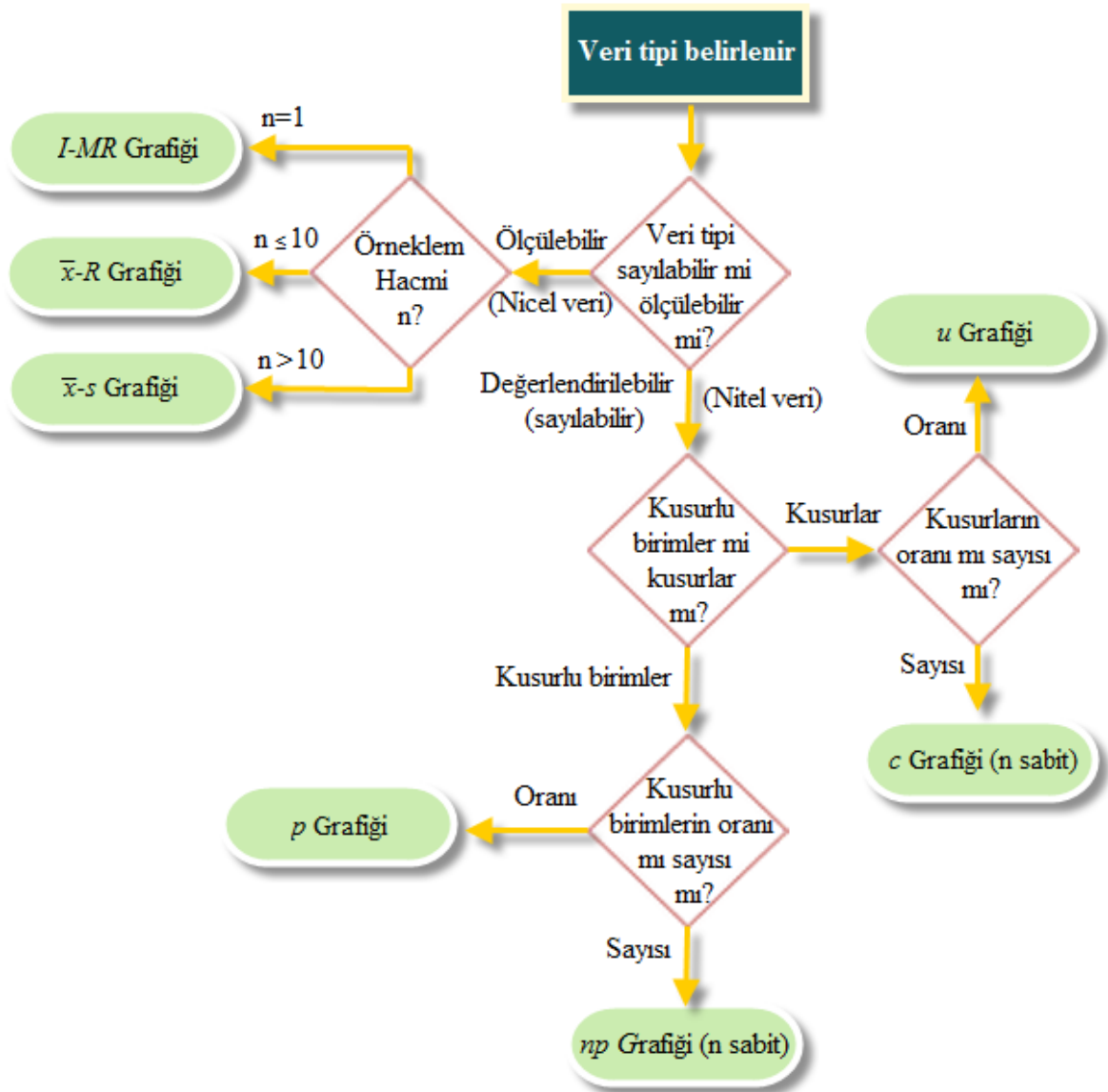
Araştırılan prosese ait kalite karakteristiğinin tek olduğu durumlarda veya prosese ait kalite karakteristiklerinin tek tek incelendiği durumlarda tek değişkenli kontrol grafikleri kullanılmaktadır. Bu tip kontrol grafiklerinde, değişkenler tek tek incelendiği için herhangi bir değişkenin diğer değişkenlerle ilişkisi ihmal edilmektedir (Mason vd., 1997). En yaygın kullanılan tek değişkenli grafikler Shewhart kontrol grafikleri, birikimli toplam (CUSUM) kontrol grafiği ve üstel ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) kontrol grafiğidir.

#### **1.3.3.1. Shewhart Kontrol Grafikleri**

Üretim proseslerindeki kalite değişkenlerini kontrol etmek için kullanılan istatistiksel kontrol grafikleri Walter A. Shewhart tarafından bulunmuş olmasından dolayı bu grafikler genellikle Shewhart kontrol grafikleri olarak adlandırılmaktadır (Yang ve EI-Haik, 2009; Mitra, 2016). Shewhart kontrol grafikleri; bir orta çizgi ve orta çizginin üstünde ve altında yer alan üst ve alt kontrol limitlerinden oluşmaktadır. Shewhart grafiklerinin üzerindeki kontrol limitleri orta çizginin her iki tarafında  $3\sigma$ 'dır ve burada  $\sigma$ , çizilen istatistiklerin alt grup standart sapmasını ifade etmektedir (Fu vd., 2017).

Bir prosesten elde edilen ürünlerin istenen kalite özelliklerine sahip olup olmadığına karar verilmesi aşamasında ürün özelliklerinin ölçülebilir veya değerlendirilebilir nitelikler

taşıması dikkate alınacak önemli bir faktördür. Bu aşamada, ürünlerin bazılarının ölçüm değerleri dikkate alınarak bir karara varılırken, bazılarının ise özellikleri değerlendirilerek bir sonuca ulaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında, Shewhart kontrol grafikleri örneklem hacmi ve değişken tipine göre Şekil 8’deki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 8. Shewhart kontrol grafiklerinin sınıflandırılması (Işığışık, 2012)

Şekil 8’de görüldüğü gibi, Shewhart kontrol grafikleri örnek büyüklüğünün bir ( $n=1$ ) ve birden büyük ( $n>1$ ) olduğu durumlar için de uygulanabilmektedir.



### 1.3.3.1.1. Nicel Kontrol Grafikleri

#### 1.3.3.1.1.1. $\bar{x}$ – R Kontrol Grafikleri

$\bar{x}$  (ortalama) ve R (değişim aralığı) grafikleri genellikle örnek büyüklüğünün 2 ile 10 arasında ( $2 \leq n \leq 10$ ) olduğu ve prosten çekilen verilerin de ölçülebilir özellik gösterdiği durumlar için kullanılan grafiklerdir (Işığışık, 2012). Herhangi bir ürünün kalitesi üzerine hem proses ortalaması hem de proses değişkenliğinin etkisinin önemli olmasından dolayı  $\bar{x}$  ve R grafikleri birlikte kullanılmaktadır (Qiu, 2013).

Bir kalite karakteristiğinin ortalaması  $\mu$  ve standart sapması  $\sigma$  olan normal dağılıma uyduğu ve proses parametreleri bilindiğinde, örneklem hacmi  $n$  ve gözlem sonuçları  $x_i$  olmak üzere  $k$  tane zaman diliminde rassal olarak çekilen her bir örneklemin ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Uygulamada  $\mu$  ve  $\sigma$  genellikle bilinmemekte ve prosten çekilen örneklerle tahmin edilmektedir. Kalite özelliğine ait her biri  $n$  adet gözleme sahip  $m$  adet örnek bulunduğu varsayıldığında ve  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_m$  her örneğin ortalaması iken proses ortalaması  $\mu$ 'nün en iyi tahmincisi olan ortalamaların ortalaması eşitlik 2 ile hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012).

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2)$$

Eşitlik 2 ile ulaşılan  $\bar{\bar{x}}$ ,  $\bar{x}$  grafiğinin orta çizgisidir (Montgomery, 2012).

$n$  büyüklüğünde bir gözleme ait örnek değerleri  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  olmak üzere, örnek değerlerinin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki fark  $R$  olarak tanımlanmaktadır. Her bir örnek için  $R$  eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır.

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (3)$$

Eşitlikte;  $x_{\max}$  örneklemden en büyük,  $x_{\min}$  ise en küçük gözlemi göstermektedir.

Benzer şekilde,  $k$  tane örneklemin değişim aralıklarının ortalaması aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (4)$$

Bu şekilde hesaplanan aralıkların ortalaması olan  $\bar{R}$  değeri değişim aralığı grafiğinin orta çizgisini oluşturmaktadır (Işığışık, 2012).  $\bar{x}$  kontrol grafiğinin oluşturulmasında ise ÜKL, AKL ve OÇ aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilmektedir (Vardeman ve Jobe, 2016).

$$\text{ÜKL} = \bar{x} + A_2 \bar{R} \quad (5)$$

$$\text{OÇ} = \bar{x} \quad (6)$$

$$\text{ÜKL} = \bar{x} - A_2 \bar{R} \quad (7)$$

Örneklemler arasındaki değişkenliği gösteren  $\bar{x}$  kontrol grafiğine ek olarak örneklem içerisindeki değişkenliği ortaya koyan R kontrol grafiğinin ÜKL, AKL ve OÇ'si aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir (Baray, 2006; Selvamuthu ve Das, 2018.).

$$\text{ÜKL} = D_4 \bar{R} \quad (8)$$

$$\text{OÇ} = \bar{R} \quad (9)$$

$$\text{AKL} = D_3 \bar{R} \quad (10)$$

$\bar{x} - R$  kontrol limitlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitliklerde yer alan  $A_2$ ,  $D_3$  ve  $D_4$  değerlerine Ek 1'de verilen tablodan ulaşılabilmektedir.

### 1.3.3.1.1.2. $\bar{x} - s$ Kontrol Grafikleri

Standart sapma ( $s$ ) kontrol grafiği R grafiği ile kıyaslandığında daha büyük örnek hacimleri için tercih edilmekle beraber, R grafiğine göre kullanımı ve hesaplanması daha zor olmaktadır. Ek olarak, R grafiği örneklemden iki uç noktayı dikkate alırken,  $s$  grafiği örneklemden bütün gözlem değerlerini hesaplamaya dahil etmesi nedeni ile daha yüksek bir yeterlilik düzeyine sahip değişkenlik ölçüsü olarak kabul edilmektedir (Mitra, 2016).

Yukarıda belirtildiği üzere,  $\bar{x} - s$  grafiğinde prosesteki değişimi ortaya koymak için her bir örneklemin değişim aralığı yerine standart sapması kullanılmaktadır. Bu amaçla,  $i = 1, 2, \dots, n$  olmak üzere çeşitli zaman dilimlerinde alınan her bir örneklemin standart sapması aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012; Montgomery, 2012).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (11)$$

Süreç parametrelerinin bilindiği durumda s kontrol grafiğinin kontrol limitleri ve orta çizgisi aşağıdaki eşitlikler ile elde edilebilmektedir (Vardeman ve Jobe, 2016).

$$\text{ÜKL} = B_6 \bar{\sigma} \quad (12)$$

$$\text{OÇ} = c_4 \sigma \quad (13)$$

$$\text{AKL} = B_5 \sigma \quad (14)$$

Parametreler bilinmediği durumda ise  $\sigma$  geçmiş verilerin analizi ile elde edilmektedir. Bu durumda oluşturulacak s grafiğinin orta çizgi ve kontrol limitleri aşağıda sunulmaktadır (Vardeman ve Jobe, 2016; Selvamuthu ve Das, 2018).

$$\text{ÜKL} = B_4 \bar{s} \quad (15)$$

$$\text{OÇ} = \bar{s} \quad (16)$$

$$\text{AKL} = B_3 \bar{s} \quad (17)$$

Oluşturulacak olan  $\bar{x}$  kontrol grafiği için ÜKL, AKL ve OÇ aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir (Henning vd., 2014).

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \quad (18)$$

$$\text{OÇ} = \bar{\bar{x}} \quad (19)$$

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \quad (20)$$

Eşitliklerde yer alan  $A_3$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ ,  $B_5$ ,  $B_6$  ve  $c_4$  değerlerine Ek 1'de verilen tablodan ulaşılabilmektedir.

### 1.3.3.1.1.3. Bireysel Gözlem Değerleri (I) ve Hareketli Aralık (MR) Kontrol Grafikleri

Bazı uygulamalarda her zaman noktasında prosten bir gözlem almak daha elverişli olmakta veya birden fazla gözlem değeri elde etmek mümkün olmamaktadır. Böyle bir

durumda, örnek büyüklüğü olan  $n$  değeri 1'e eşit olmakta ve elde edilen veriler genellikle bireysel gözlem değerleri olarak isimlendirilmektedir (Qiu, 2013). Örneklem alma veya muayene faaliyetlerinin tahrip edici nitelikte ve pahalı olduğu durumlar ile seçilen kontrol süresi içerisinde kontrol edilecek sürecin çok kararlı olması gibi nedenlerden dolayı bu gibi durumlarla karşılaşılabilir (Şenol, 2012).

$X$  ve  $MR$  kontrol grafikleri olarak da adlandırılan  $I$  ve  $MR$  grafiklerinde,  $X$  değerleri bireysel gözlem değerlerini göstermekte ve  $I$  kontrol grafiği üzerinde işaretlenmektedir.  $k$  adet bireysel gözlem değerinin mevcut olması durumunda örneklem ortalaması aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^k x_j}{k} \quad (21)$$

Bu değer  $I$  kontrol grafiğinde  $OÇ$ 'yi oluşturmaktadır (Işığışık, 2012). Diğer taraftan,  $MR$  belirli bir örneklem hacmindeki ardışık iki ölçüm arasındaki farkın mutlak değerinin hesaplanmasıyla elde edilmektedir.

$$MR_j = |x_j - x_{j-1}|, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (22)$$

$m$  adet gözlem için  $m-1$  adet  $MR$  değerinin elde edilmesinden sonra  $MR$  ortalaması hesaplanmaktadır (Doğruel, 2010).

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{j=1}^{m-1} MR_j}{m-1} \quad (23)$$

Elde edilen bu değer,  $MR$  kontrol grafiğinin orta çizgisini oluşturmakta olup gerçek proses ortalamasının tahmini olarak kullanılmaktadır. Buradan hareketle,  $I$  kontrol grafiği için  $OÇ$  ve kontrol limitleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$\overline{ÜKL} = \bar{X} + I_2 \overline{MR} \quad (24)$$

$$OÇ = \bar{X} \quad (25)$$

$$\overline{AKL} = \bar{X} - I_2 \overline{MR} \quad (26)$$

Öte yandan, oluşturulacak olan  $MR$  kontrol grafiğinin orta çizgisi ve kontrol limitleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilebilmektedir (Işığışık, 2012).

$$\bar{ÜKL} = D_4 \bar{MR} \quad (27)$$

$$OÇ = \bar{MR} \quad (28)$$

$$AKL = D_3 \bar{MR} \quad (29)$$

Eşitliklerde yer alan  $I_2$ ,  $D_3$  ve  $D_4$  değerleri Ek 1'de verilen tablo kullanılarak elde edilebilmektedir.

### 1.3.3.1.2. Nitel Kontrol Grafikleri

#### 1.3.3.1.2.1. Kusurlu Oranı (p) Kontrol Grafiği

Kusurlu oranı (p) grafiği, üretim prosesinden elde edilen örneklemelere ait kusurlu oranının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Örneklem hacmi sabit veya değişken olmak üzere ve  $j=1,2,\dots,k$  örneklem sayısı veya dönemini göstermek üzere her bir örneklemdeki kusurlu oranı  $p_j$  ile gösterilmektedir. Buna göre, k adet örneklem ilişkin kusurlu oranı örneklem hacminin sabit olması durumunda eşitlik 30 ile hesaplanırken örneklem hacminin değişken olması durumunda eşitlik 31 ile hesaplanmaktadır (Işığışık, 2012).

$$p_j = \frac{np_j}{n} \quad (30)$$

$$p_j = \frac{np_j}{n_j} \quad (31)$$

Örneklemelere ilişkin kusurlu oranının ortalaması sabit ve değişken örneklem hacmi için sırasıyla eşitlik 32 ve eşitlik 33 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012).

$$\bar{p} = \frac{\sum_{j=1}^k np_j}{nk} = \frac{\sum_{j=1}^k p_j}{k} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_k}{k} \quad (32)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{j=1}^k np_j}{\sum_{j=1}^k n_j} = \frac{pn_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (33)$$

Hesaplanan değerler kusurlu oranı kontrol grafiğinin orta çizgisini oluşturmaktadır (Mitra, 2016). Böylece, p kontrol grafiğinde ÜKL, AKL ve OÇ sabit örneklem hacmi için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir (Selvamuthu ve Das, 2018).

$$\text{ÜKL} = \bar{p} + 3 \left( \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \right) \quad (34)$$

$$\text{OÇ} = \bar{p} \quad (35)$$

$$\text{AKL} = \bar{p} - 3 \left( \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \right) \quad (36)$$

Örnekleme hacminin değişken olması durumunda ise p kontrol grafiğinde ÜKL, AKL ve OÇ aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012; Montgomery, 2012).

$$\text{ÜKL} = \bar{p} + 3 \left( \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_j}} \right) \quad (37)$$

$$\text{OÇ} = \bar{p} \quad (38)$$

$$\text{AKL} = \bar{p} - 3 \left( \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_j}} \right) \quad (39)$$

Hesaplamalarda AKL negatif olarak elde edilebilmektedir. Bu teorik bir değer olarak kabul edilmektedir. Normalde negatif bir kusurlu oranı olamayacağından bu değer 0 (sıfır) alınmaktadır (Özdamar, 2006). Öte yandan, bu durumu hemen kalitede bir iyileşme olduğu yönünde değerlendirmemek ve düzelmenin nedenlerini araştırmak gerekmektedir. Çünkü, bazen bir dönemde kusur oranında düşüş sağlayan bir faktör başka bir dönem için tam tersi bir sonuç vererek bu oranın artışına yol açabilmektedir (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2006).

### 1.3.3.1.2.2. Kusurlu Sayısı (np) Kontrol Grafiği

Kusurlu oranlarının yerine kusurlu sayılarıyla ilgilenildiğinde np kontrol grafikleri kullanılmaktadır (Bircan ve Gedik, 2003). np grafikleri örnekleme sayılarının eşit olmadığı durumda kullanılmamalıdır (Mitra, 2016). Prosesten çekilen k adet örnekleme ait kusurlu sayılarının ortalaması eşitlik 40 ile hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012).

$$n\bar{p} = \frac{\sum_{j=1}^k np_j}{k} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k} \quad (40)$$

Örneklem kusurlu sayılarının ortalaması olan  $n\bar{p}$  değeri ilgili kontrol grafiğinin orta çizgisini oluşturmaktadır (Mitra, 2016). Buna göre, np kontrol grafiği için ÜKL, AKL ve OÇ aşağıda verilen eşitlikler ile hesaplanabilmektedir (Selvamuthu ve Das, 2018).

$$\text{ÜKL} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (41)$$

$$\text{OÇ} = n\bar{p} \quad (42)$$

$$\text{ÜKL} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (43)$$

np kontrol grafiğinde p kontrol grafiğinde olduğu gibi AKL negatif bir değer olarak elde edilebilmektedir. Böyle bir durumda, AKL p grafiğinde olduğu gibi sıfır olarak kabul edilmektedir (Mitra, 2016).

### 1.3.3.1.2.3. Kusur Sayısı (c) Kontrol Grafiği

Kusur sayısı kontrol grafiği herhangi bir üretim prosesinden çekilen örneklemdeki uygun olmayan durumların veya kusurların sayısını göstermektedir. Yani, c kontrol grafiği için örnekteki kusurların sayısı önemli olmaktadır (Yıldırım, 2006). c grafiği poisson dağılımına uymakta ve eşit örneklem hacmi için kullanılmaktadır (Montgomery, 2009).

Eğer c için bir standart verilmemişse, c'nin değeri prosten çekilen örnekteki ortalama kusur sayısının ( $\bar{c}$ ) hesaplanması ile elde edilmektedir (Özkale, 2004). Birbirine eşit seçilen n hacimlik k adet örneğin her birindeki kusur sayısı  $c_j$  ile gösterilmek üzere, kusur sayısının ortalaması eşitlik 44 ile hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012).

$$\bar{c} = \frac{\sum_{j=1}^k c_j}{k} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k} \quad (44)$$

Buradan hareketle, c kontrol grafiği için ÜKL, AKL ve OÇ değerleri aşağıdaki gibi belirlenebilmektedir (Selvamuthu ve Das, 2018).

$$\text{ÜKL} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (45)$$

$$\text{OÇ} = \bar{c} \quad (46)$$

$$\text{AKL} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (47)$$

AKL'nin negatif olması durumunda 0 olarak kabul edilmektedir (Işığışık, 2012).

#### 1.3.3.1.2.4. Birim Başına Kusur Sayısı (u) Kontrol Grafiği

Birim başına kusur sayısı kontrol grafiği (u), c kontrol grafiğine benzemektedir ve her ikisi de kusur sayısını değerlendirmektedir. Ancak, c grafiğinde her bir örnekteki kusur sayısı dikkate alınırken, u kontrol grafiğinde birim başına kusur sayısı dikkate alınmaktadır (Işığışık, 2012). u grafiğinde belirli zaman aralıklarında çekilen örneklem hacimleri p kontrol grafiğindeki gibi sabit veya değişken olabilmektedir (Oakland, 2007).

Farklı zaman dönemlerinde çekilen örneklemelerden k adet örnekleme ilişkin birim başına kusur sayısı sabit ve değişken örneklem hacimleri için sırasıyla eşitlik 48 ve eşitlik 49 ile hesaplanabilmektedir.

$$u_j = \frac{c_j}{n} \quad (48)$$

$$u_j = \frac{c_j}{n_j} \quad (49)$$

Öte yandan, k adet örnekleme ilişkin birim başına kusur sayılarının ortalaması sabit ve değişken örneklem hacimleri için sırasıyla eşitlik 50 ve 51 ile hesaplanabilmektedir.

$$\bar{u} = \frac{\sum_{j=1}^k c_j}{nk} = \frac{\sum_{j=1}^k u_j}{k} = \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_k}{k} \quad (50)$$

$$\bar{u} = \frac{\sum_{j=1}^k c_j}{\sum_{j=1}^k n_j} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k} \quad (51)$$

Elde edilen birim başına kusur sayılarının ortalama değeri u kontrol grafiğinin orta çizgisini oluşturmaktadır (Işığışık, 2012). u grafiğine ilişkin ÜKL, AKL ve OÇ değerleri sabit örneklem hacmi için aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilmektedir (Yılmaz, 2012).



$$\text{ÜKL} = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (52)$$

$$\text{OÇ} = \bar{u} \quad (53)$$

$$\text{AKL} = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} \quad (54)$$

Örnek büyüklüğü değişken olduğunda her örneklem noktasındaki kontrol limitleri de değişken olmakta ve limitlerin her örneklem için ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir (Değerli, 2006). Böyle bir durumda, örneklem sayısı kadar kontrol limitinin hesaplanması ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu durumda kontrol limitinin paydasındaki  $n$  değerinin  $n_j$  olarak değişmesi gerekmekte olup, değişken örneklem hacmi ile orta çizgi ve limitlerin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır (Woodall, 1997; Işığışık, 2012).

$$\text{ÜKL} = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_j}} \quad (55)$$

$$\text{OÇ} = \bar{u} \quad (56)$$

$$\text{AKL} = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_j}} \quad (57)$$

$u$  kontrol grafiğinde de AKL'nin negatif olması durumunda bu değer sıfır olarak kabul edilmektedir.

### 1.3.3.2. Birikimli Toplam (CUSUM) Kontrol Grafiği

CUSUM kontrol grafiği, Shewart kontrol grafiklerinin örneklem ortalamalarındaki küçük ancak sürekli kaymalara karşı etkisiz olması nedeniyle bu grafiklere alternatif olarak geliştirilen bir grafik türü olarak bilinmektedir (Ertuğrul ve Özçil, 2015; Selvamuthu ve Das, 2018). Bu grafik ilk olarak Page (1954) tarafından önerilmiştir. Daha sonraki süreçte ise Ewan (1963), Gan (1991), Hawkins (1993), Woodall ve Adams (1993), Ryu vd. (2010), Riaz vd. (2011), Nazir vd. (2015) ve Hussain vd. (2019) gibi birçok araştırmacı CUSUM kontrol grafiği ile ilgili çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Shewhart kontrol grafiklerinin oluşturulması aşamasında, çizilen bir nokta yalnızca kendi gözlemine karşılık gelen bilgiyi temsil etmekte, önceki gözlemlerden gelen bilgileri ise dikkate almamaktadır. Öte yandan, CUSUM kontrol grafiği belirli bir hedef değerden örnek değerlerinin (örneklem ortalaması) sapmasının birikimli toplamını görüntüleyerek önceki örneklerin tümünden gelen bilgiyi dikkate almaktadır (Mitra, 2016). Amaç; proses ortalamasındaki sapmayı büyütme yolu ile kontrol dışı durumları hızlı bir şekilde tespit edebilmektir (Arıciğil Çılan, 2004). Bununla beraber, CUSUM kontrol grafikleri prosteki küçük kaymaları belirlemede Shewhart grafiklerinden daha üstündür (Ryan, 2011).

CUSUM grafiğinin kontrolde olup olmadığının tespit edilmesinde önemli bir yöntem G. A. Barnard (1959) tarafından önerilen V maskesi tekniğidir. V maskesi bir bakıma Shewhart grafiklerindeki limitlere karşılık gelmekte ve maskenin kolları prosesin kontrolde kabul edildiği kontrol limitlerini oluşturmaktadır (Çolak, 2007).

### 1.3.3.3. Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Grafiği

EWMA grafiği S. W. Roberts (1959) tarafından geliştirilmiş bir grafik olup prosteste meydana gelebilecek küçük kaymaları belirlemek amacıyla Shewhart kontrol grafiklerine alternatif olarak kullanılabilen bir kontrol grafiğidir (Ryan, 2011; Mitra, 2016; Selvamuthu ve Das, 2018). Ancak, grafik prosteste oluşabilecek büyük kaymaları tespit etmede nispeten yavaştır (Flaig, 2014). Literatürde, Crowder (1989), Lucas ve Saccucci (1990), Capizzi ve Masarotto (2003), Reynolds ve Stoumbos (2006), Knoth (2007), Abbas vd. (2011), Aly vd. (2015), Saleh vd. (2015) ve Aslam vd. (2019) gibi birçok araştırmacı EWMA grafiğinin tasarım, uygulama ve özellikleri ile ilgili araştırmalar yürütmüştür. Bu çalışmalar, EWMA performansının CUSUM ile benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Qiu, 2013).

Örneklem hacmi  $n$  ve örneklem ortalamaları  $\bar{x}_j$  ( $j=1,2,\dots,t,\dots,k$ ) olmak üzere,  $t$  döneminin üstel ağırlıklı hareketli ortalaması eşitlik 58 ile hesaplanabilmektedir (Ertuğrul ve Özçil, 2015).

$$Z_t = \lambda \bar{X}_t + (1 - \lambda)Z_{t-1} \quad (58)$$

Burada  $\lambda$  değeri 0 ile 1 aralığında değişebilen bir sabittir (Işığışık, 2012).

Büyük örneklem sayısı veya  $t$ 'nin büyük değerleri için EWMA kontrol grafiğinin ÜKL, AKL ve OÇ değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Işığışık, 2012).

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{X}} + 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \quad (59)$$

$$\text{OÇ} = \bar{\bar{X}} \quad (60)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{X}} - 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n}} \quad (61)$$

Örneklem sayısı küçük olduğunda veya  $t$ 'nin küçük değerleri için EWMA grafiğine ait kontrol limitleri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Mitra, 2016).

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{X}} + 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n} [1 - (1-\lambda)^{2t}]} \quad (62)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{X}} - 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)n} [1 - (1-\lambda)^{2t}]} \quad (63)$$

Yukarıda belirtilen kontrol limitleri  $\sigma$ 'nın bilinmesi durumunda kullanılabilir.  $\sigma$  genellikle bilinmediğinden, R grafiği kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu durumda ise kontrol limitlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır (Işığışık, 2012).

$$\text{ÜKL} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (64)$$

$$\text{OÇ} = \bar{\bar{X}} \quad (65)$$

$$\text{AKL} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \sqrt{\frac{\lambda}{(2-\lambda)}} \quad (66)$$

EWMA kontrol grafiği hem şimdiki ve hem de geçmişteki bütün gözlem değerlerinin ağırlıklı ortalamasını dikkate alması nedeniyle normallik varsayımına oldukça duyarlıdır. EWMA grafiği ayrıca zaman serisi modellemesinde ve tahmin uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Montgomery, 2009).

### 1.3.4. Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol Grafikleri

Çok değişkenli proses kontrol, bir ürün veya sürece ait birden çok kalite değişkenini eş zamanlı olarak inceleyen, birbirleriyle ilişkili olarak değerlendiren ve bu şekilde prosesi kontrol etmeyi amaçlayan bir istatistiksel proses kontrol yaklaşımıdır (Montgomery, 2009). Çok değişkenli istatistiksel proses kontrolü ile ilgili ilk çalışma Hotelling (1947) tarafından yürütülmüştür. Jackson (1985), Alt (1985), Crosier (1988), Hawkins (1991), Lowry vd. (1992), Tracy vd. (1992) ve Lowry ve Montgomery (1995), Testik ve Borrer (2004), Mahmoud ve Maravelakis (2010), Nidsunkid vd. (2018) ve Zaidi vd. (2019) daha sonraki süreçte çok değişkenli proses kontrolle ilgili yürütülen bazı çalışmalarıdır.

Üretimin giderek otomasyona dayalı sistemler kullanılarak gerçekleştirilmesi ve ürün kalitesinin belirlenmesine yönelik farklı kalite değişkenlerine ait çok sayıda verinin düşük maliyetlerle elde edilebilmesi, çok değişkenli grafiklerin kullanımını kolaylaştırmakta ve teşvik etmektedir (Ülen, 2010). Bununla beraber, çoğu zaman bir prosesin performansı birden fazla kalite değişkeni ile belirlenmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, değişkenlerin ayrı ayrı değerlendirilmesi değişkenler arasında bulunan ilişkiyi dikkate almamak anlamına gelmektedir. Bu bakımdan, tek değişkenli kontrol grafiklerinde kalite değişkenleri tek tek incelenmekte ve değişkenler arasındaki ilişki ihmal edilmektedir (Mason vd., 1997). Böyle bir durum, incelenen prosesle ilgili yanıtıcı sonuçlara ulaşılmasına neden olabilmektedir (Özkale, 2004). Çok değişkenli kontrol grafiklerinde ise kalite değişkenleri eş zamanlı incelenmekle beraber değişkenler arasındaki ilişki yapısı da dikkate alındığından prosesle ilgili daha güvenilir bilgiler ortaya konulabilmektedir (Asadzadeh vd., 2008).

En çok bilinen çok değişkenli kontrol grafikleri; Hotelling  $T^2$  grafiği, çok değişkenli üstel ağırlıklı hareketli ortalama (MEWMA) grafiği ve çok değişkenli birikimli toplam (MCUSUM) grafiğidir. Çok değişkenli yöntemlerden en popüler olanı ve endüstride de en yaygın kullanılanlardan birisi tek değişkenli Shewhart kontrol grafiklerinin çok değişkenli benzeri olan ve çok değişkenli  $T^2$  istatistiğine dayanan Hotelling  $T^2$  grafiğidir (Lowry ve Montgomery, 1995).

Öte yandan, çok değişkenli kontrol grafikleri işletmelerde proses analizi için genelde tercih edilmemektedir. Bunun nedeni, genel olarak bu grafiklerin prosese uygulanmasının zor olması olarak belirtilebilmektedir. Ancak, çok değişkenli grafiklerin genellikle daha doğru sonuçlar vermesi günümüzde tercih edilebilirliklerini artmaktadır. Bu grafiklerin bir diğer avantajı ise, bütün prosesin tek bir grafikte değerlendirilmesine imkan sağlamalarıdır.

Bu gibi nedenlerden dolayı, çok değişkenli kontrol grafiklerine olan talep her geçen gün artış göstermektedir (Doğruel, 2010).

### 1.3.4.1. Hotelling $T^2$ Kontrol Grafiği

İki veya daha fazla kalite değişkenine sahip prosesleri izlemek için Hotelling (1947)  $T^2$  istatistiğini geliştirmiştir. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği, Shewhart kontrol grafiği olan  $\bar{x}$  grafiğinin çok değişkenli versiyonu olarak kabul görmektedir. Bu durum, proses ortalama vektörünün izlenmesinde Hotelling  $T^2$  yöntemini oldukça sık kullanılan bir kontrol aracı yapmaktadır. Hotelling  $T^2$  yaklaşımı her bir kalite değişkeninin tek bir gözlemi ile veya eşzamanlı olarak izlenen çeşitli kalite değişkenlerine ait gözlemlerin ortalaması ile yani birden fazla sayıda gözlem değeri kullanılarak prosese uygulanabilmektedir (Mason ve Young, 2002; Bersimis vd., 2007; Leoni vd., 2017). Bununla beraber, bu grafik proseste meydana gelebilecek büyük kaymaların tespitinde daha etkilidir (Ghute ve Shirke, 2008).

#### 1.3.4.1.1. Alt Grup Veriler İçin Düzenlenen $T^2$ Kontrol Grafiği

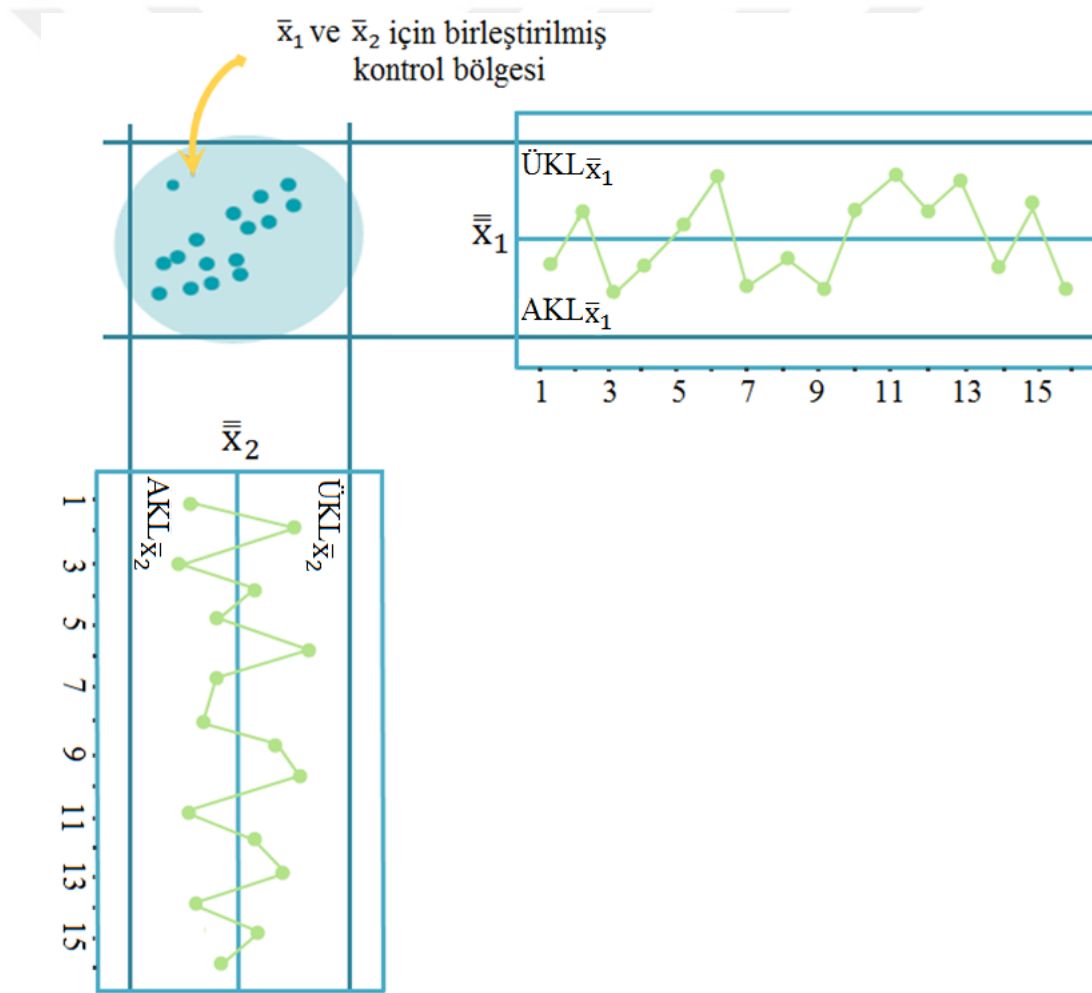
$x_1$  ve  $x_2$  şeklinde iki kalite değişkeninin normal dağılıma uygun olarak dağıldığı ve bu kalite değişkenlerinin ortalama değerleri  $\mu_1$  ve  $\mu_2$ , standart sapmalarının ise  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  olduğu varsayıldığında bu değişkenler arasındaki kovaryansı  $\sigma_{12}$  şeklinde ifade etmek mümkündür. Burada,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_{12}$ 'nin bilindiği varsayılp,  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$  ise n boyutlu bir örnekten hesaplanan iki kalite değişkeninin örnek ortalamaları olarak kabul edildiğinde, bu değişkenler iki serbestlik dereceli Ki-Kare dağılımına uymaktadır (Hotelling, 1947; Montgomery 2009; Mitra, 2016). Bu durumu eşitlik 67'deki gibi ifade etmek mümkündür.

$$x_0^2 = \frac{n}{\sigma_1^2 \sigma_2^2 - \sigma_{12}^2} [\sigma_2^2 (\bar{x}_1 - \mu_1)^2 + \sigma_1^2 (\bar{x}_2 - \mu_2)^2 - 2\sigma_{12} (\bar{x}_1 - \mu_1)(\bar{x}_2 - \mu_2)] \quad (67)$$

Burada elde edilen eşitlik,  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  proses ortalamaları için kontrol grafiğinin temeli olarak kullanılabilir. Üzerinde çalışılan proses ortalamaları  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  olarak kaldığı sürece,  $x_0^2$  değerleri de iki serbestlik dereceli Ki-Kare dağılımının  $\alpha$  yüzdesine eşit olan üst kontrol limitinden  $\text{ÜKL} = x_{\alpha,2}^2$  düşük değerlere sahip olacaktır. En azından ortalamaların

biri yeni bir değere (kontrol dışına) kayarsa  $x_0^2$  istatistik değerlerinin ÜKL'yi aşma ihtimali artacaktır (Montgomery, 2009).

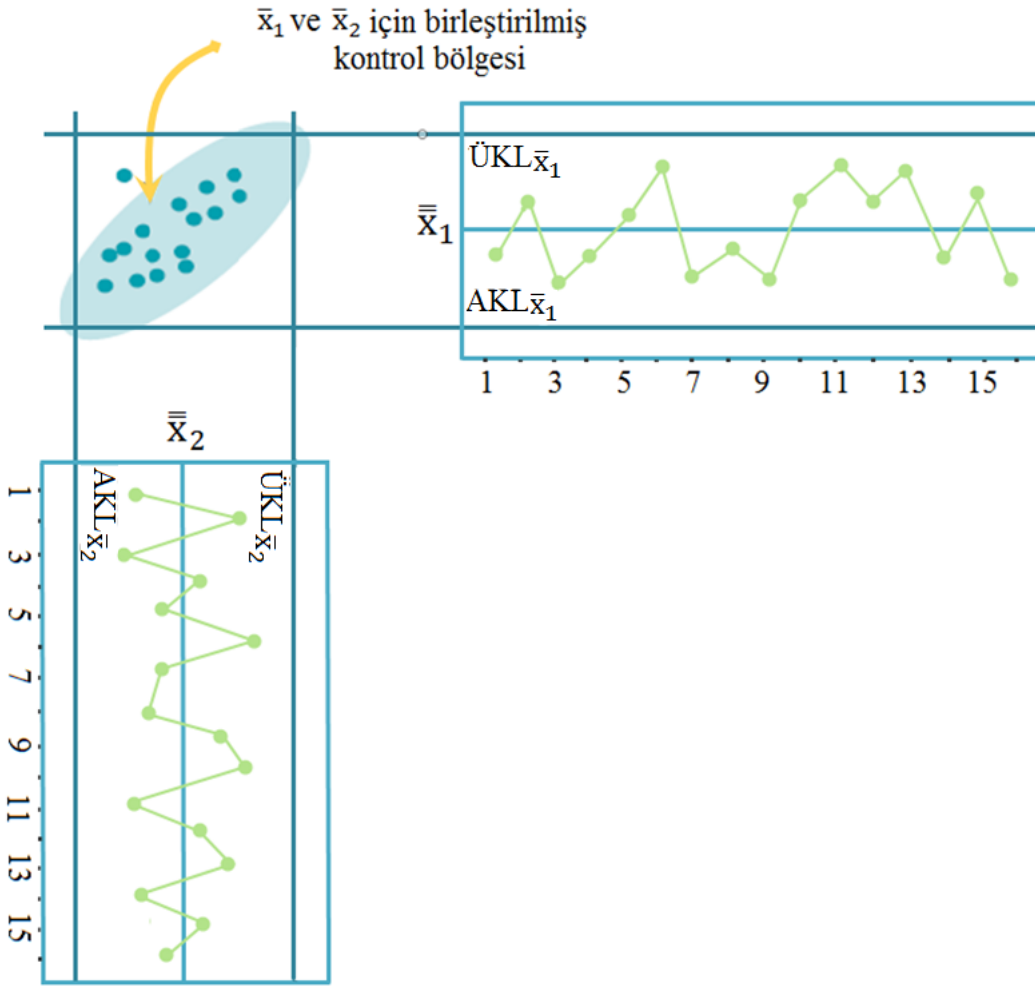
Proses izleme prosedürü grafiksel olarak da gerçekleştirilebilmektedir.  $x_1$  ve  $x_2$  rassal değişkenleri istatistiksel olarak bağımsızsa yani kovaryansları ( $\sigma_{12}$ ) 0'a eşit ise, eşitlik 67, Şekil 9'da gösterildiği gibi ana eksenleri  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$  eksenlerine paralel ve  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  merkezli bir elipsi tanımlamaktadır. Eşitlik 67 dikkate alındığında, örnek ortalamalarının ( $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$ ), elipsin içerisinde bir  $x_0^2$  değeri üretmesi prosesin kontrolde olduğunu gösterirken, elipsin dışında herhangi bir değer üretmesi ise prosesin kontrol dışında olduğunu ifade etmektedir. Şekil 9'da verilen elips kontrol elipsi olarak adlandırılmaktadır (Montgomery, 2012).



Şekil 9. Bağımsız iki değişken için kontrol elipsi (Montgomery, 2009)

$x_1$  ve  $x_2$  ile belirtilen değişkenler bağımlı olduğunda ve bu durumda kovaryans  $\sigma_{12} \neq 0$  ise oluşacak kontrol elipsi Şekil 10'daki gibi olacaktır. Bu iki değişken bağımlı

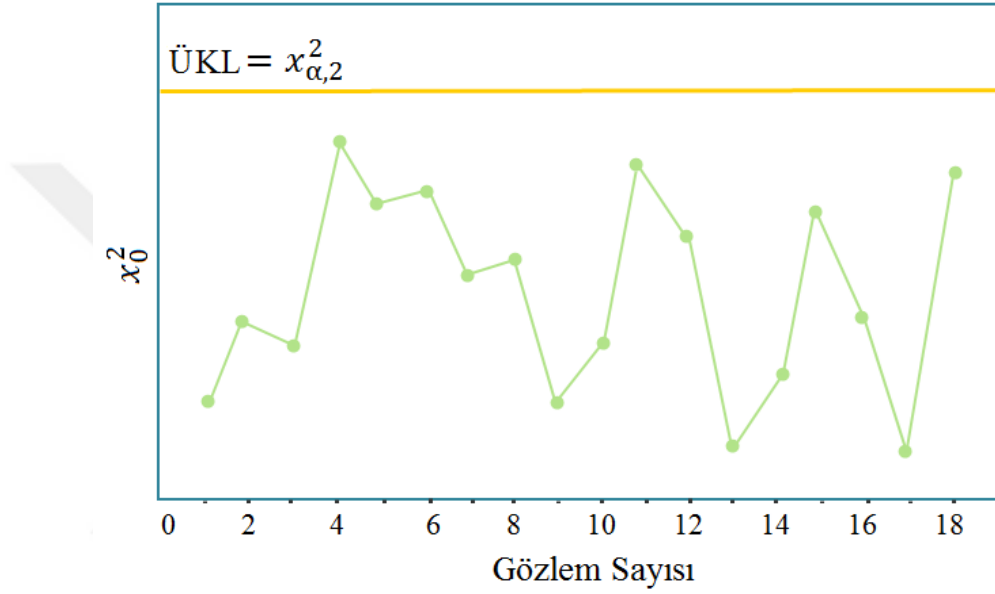
olduğunda, kontrol elipsinin ana eksenleri artık  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$  eksenlerine paralel olmayacaktır. Ayrıca, Şekil 10 incelendiğinde  $\bar{x}_1$  ve  $\bar{x}_2$  için bireysel kontrol grafiklerinin her ikisinde de kontrol dışında bir gözlem görülmemesine rağmen, kontrol elipsinin dışında bir gözlemin olduğu ve prosesi etkileyen özel bir nedenin olduğu görülebilmektedir. Böylece, iki kalite değişkenininin bağımlı olduğu durumda tek değişkenli kontrol grafiği kullanılarak prosesin izlenmesi durumunda Şekil 10'daki gibi kontrol elipsi dışına çıkabilecek gözlemleri veya diğer bir ifadeyle, prosesdeki değişkenliği tespit etmek hemen hemen imkânsız olacaktır (Montgomery, 2012).



Şekil 10. Bağımlı iki değişken için kontrol elipsi (Montgomery, 2009)

Kontrol elipsleri ile ilgili iki dezavantajdan bahsetmek mümkündür. Dezavantajların birincisi kontrol elipsinde grafiklendirilmiş noktaların zaman sıralarının kaybolması olarak ifade edilebilmektedir. Grafiklendirilmiş noktaları numaralandırarak veya çeşitli grafiksel

semboller kullanmak suretiyle bu problemin üstesinden gelmek mümkün olabilmektedir. Kontrol elipslerinin ikinci ve daha önemli dezavantajı ise ikiden daha fazla kalite değişkeni için bu elipslerinin oluşturulmasının zor olmasıdır (Mitra, 2016). Bu zorlukları gidermek için, Şekil 11’deki gibi sadece bir ÜKL ile kontrol grafiği üzerinde her bir örnek için eşitlik 67 ile hesaplanan  $x_0^2$  değerlerinin grafiğini çizmek alışıl gelmiş bir durumdur. Bu grafik ise genellikle “Ki-Kare kontrol grafiği” olarak isimlendirilmektedir (Montgomery, 2009).



Şekil 11. p=2 kalite değişkeni için Ki-Kare kontrol grafiği (Montgomery, 2009)

Şekil 11’de verilen grafik ile gözlemlerin zaman sırasının korunması sağlanmakta ve rassal olmayan durumları araştırmak mümkün olabilmektedir. Ayrıca, ek bir avantaj olarak prosesin mevcut durumu tek bir değer ile ortaya konulabilmektedir (Montgomery, 2012).

Yukarıda ifade edilen sonuçlar p adet kalite değişkeninin birlikte ele alınıp kontrol edildiği prosesler için genişletilebilmektedir. Bu prosedür n boyutlu bir örnekten p adet kalite değişkeninin her biri için örnek ortalamasını hesaplamayı gerektirmektedir. Kalite değişkeni ortalamalarının bu seti  $p \times 1$  vektörü ile gösterilebilmektedir (Cai, 2008).

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_p \end{bmatrix} \quad (68)$$



Her bir örnek için Ki-kare grafiğinde işaretlenecek değerleri bulmak için aşağıdaki test istatistiğini kullanmak mümkündür (Montgomery, 2009).

$$x_0^2 = n(\bar{x} - \mu)' \Sigma^{-1} (\bar{x} - \mu) \quad (69)$$

Eşitlikte;  $\mu' = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p]$  her bir kalite değişkeninin kontrol altında olması durumundaki ortalamalar vektörünü,  $\Sigma$  ise kovaryans matrisini ifade etmektedir.

Kontrol grafiğinin ÜKL ve AKL aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Cai, 2008).

$$\text{ÜKL} = x_{\alpha,p}^2 \quad (70)$$

$$\text{AKL} = 0 \quad (71)$$

$\mu$  ortalama vektörü ve  $\Sigma$  kovaryans matrisi, genellikle prosesin kontrol altında kabul edildiği bir anda prosesten ilk elde edilen örnek büyüklüğü kullanılarak tahmin edilmesi gerekmektedir.  $n$  büyüklüğünde  $m$  adet örnek mevcut olduğu varsayıldığında her örneğin ortalama ve varyansları sırasıyla eşitlik 72 ve 73 ile hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2012).

$$\bar{x}_{jk} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (72)$$

$$s_{jk}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})^2 \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, p \\ k = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (73)$$

Eşitlikte;  $x_{ijk}$ ,  $k$ . örneğin  $j$ . kalite değişkenindeki  $i$ . gözlemini ifade etmektedir.  $k$ . örnekteki  $j$  ve  $h$  kalite değişkenleri arasındaki kovaryans ise takip eden eşitlik yardımı ile hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2012).

$$s_{jhk} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ijk} - \bar{x}_{jk})(x_{ihk} - \bar{x}_{hk}) \quad \begin{cases} k = 1, 2, \dots, m \\ j \neq h \end{cases} \quad (74)$$

Daha sonra,  $m$  adet örnek için  $\bar{x}_{jk}$ ,  $s_{jk}^2$  ve  $s_{jhk}$  istatistiklerinin ortalamaları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Montgomery, 2009).

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \bar{x}_{jk} \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (75)$$

$$\bar{s}_j^2 = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jk}^2 \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (76)$$

$$\bar{s}_{jh} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m s_{jhk} \quad j \neq h \quad (77)$$

$\{\bar{x}_j\}$ ,  $\bar{x}$  vektörünün elemanlarını oluşturmakta ve  $p \times p$  boyutundaki örnek kovaryans matrisinin ortalaması  $S$  eşitlik 78’de verilmektedir (Montgomery, 2009).

$$S = \begin{bmatrix} \bar{s}_1^2 & \bar{s}_{12} & \bar{s}_{13} & \cdots & \bar{s}_{1p} \\ & \bar{s}_2^2 & \bar{s}_{23} & \cdots & \bar{s}_{2p} \\ & & \bar{s}_3^2 & & \vdots \\ & & & \ddots & \bar{s}_p^2 \end{bmatrix} \quad (78)$$

Örnek kovaryans matrisleri  $S$ 'nin ortalaması, süreç kontrol altında olduğunda,  $\Sigma$ 'nin yansız tahminleyicisidir (Montgomery, 2009).

Böylece, ortalama vektörü ve kovaryans matrisinin yerine onların örnek tahminleri olan  $\bar{x}$  ve  $S$  değerlerinin kullanılması ile eşitlik 79’da formüle edilen ve Hotelling  $T^2$  olarak adlandırılan yeni test istatistiği elde edilmektedir (Montgomery, 2012).

$$T^2 = n(\bar{x} - \bar{\bar{x}})' S^{-1}(\bar{x} - \bar{\bar{x}}) \quad (79)$$

Hotelling  $T^2$  grafiğinin oluşturulma süreci iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşama veya Faz I geçmiş gözlemleri kullanarak prosesin kontrolde olup olmadığını tespit etmek, prosesin kontrol durumundaki parametreleri ve kontrol limitlerini tahmin etmek için grafiklerin çizilmesini içermektedir (Alfaro ve Ortega, 2008). Faz I’in temel amacı, prosesten çekilen gözlemlerin kontrol altında olduğu bir veri grubu elde etmektir. Böylece, gelecekteki üretimi izlemeye imkan veren Faz II aşaması için kontrol altındaki gözlemleri kullanma yoluyla kontrol limitlerinin hesaplanması mümkün olabilmektedir. Faz I geçmişe yönelik analiz olarak da adlandırılabilir (Montgomery, 2009). Hotelling  $T^2$  kontrol

grafığının çizilmesinde Faz I aşamasında ÜKL eşitlik 80 ile hesaplanırken AKL 0 olarak alınmaktadır (Cai, 2008).

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (80)$$

$$\text{AKL} = 0 \quad (81)$$

Faz II'de oluşturulacak olan kontrol grafiğı ise gelecekteki üretimi görüntülemek için kullanılmaktadır. Faz II için ÜKL eşitlik 82 ile hesaplanmaktadır (Lowry ve Montgomery, 1995; Mitra, 2016). AKL ise yine sıfır olarak alınmaktadır (Cai, 2008).

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m+1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1} \quad (82)$$

$$\text{AKL} = 0 \quad (83)$$

Eşitlikler incelenecek olursa, eşitlik 82'deki Faz II için kullanılan ÜKL'nin, eşitlik 80'deki Faz I için kullanılan ÜKL'nin  $(m+1)/(m-1)$  ile çarpılmış hali olduğu görülmektedir (Montgomery, 2012).

#### 1.3.4.1.2. Bireysel Gözlemler İçin Düzenlenen $T^2$ Kontrol Grafiğı

Bazı endüstrilerde altörnek büyüklüğü (n) işlemin doğası gereğı her zaman 1'dir (Cai 2008). Özellikle, kimya ve proses endüstrisinde bu durumla sıkça karşılaşmaktadır. Her örneğın bir adet gözlem değerin (n=1) olduğı, m adet örneğın alındığı ve p adet kalite değışkeni mevcut olan bir proseste,  $\bar{x}$  ve S istatistikleri sırasıyla örnek ortalama vektörü ve kovaryans matrisini göstermek üzere, Hotelling  $T^2$  istatistiğı aşığıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir (Montgomery, 2012).

$$T^2 = (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})' S^{-1} (\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}}) \quad (84)$$

Bu istatistik için Faz II aşamasında ÜKL eşitlik 85 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Mitra, 2016). AKL ise eşitlik 86'daki gibi sıfır olarak alınmaktadır (Cai, 2008).

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m+1)(m-1)}{m^2 - mp} F_{\alpha, p, m-p} \quad (85)$$

$$\text{AKL} = 0 \quad (86)$$

Ön örneklem sayısı  $m$  büyük olduğunda, örneğin  $m > 100$ , pek çok uygulayıcı kontrol limitlerini eşitlik 87 ya da eşitlik 88'i kullanarak hesaplamaktadır.

$$\text{ÜKL} = \frac{p(m-1)}{m-p} F_{\alpha, p, m-p} \quad (87)$$

$$\text{ÜKL} = x_{\alpha, p}^2 \quad (88)$$

$m > 100$  için, eşitlik 87 mantıklı bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Eşitlik 88'de verilen Ki-Kare limiti ise sadece kovaryans matrisi biliniyorsa uygun olmasına rağmen yaygın bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır (Montgomery, 2012). Lowry ve Montgomery (1995), Ki-Kare limitinin dikkatli kullanılması gerektiğini ifade etmişlerdir.  $p$  büyük ise, yani  $p \geq 10$  ise, Ki-Kare ÜKL'nin doğru değere makul bir yakınlıkta elde edilmesi için en az 250 örnek ( $m \geq 250$ ) alınmalıdır (Montgomery, 2009).

Tracy vd. (1992) örnek büyüklüğünün bir olduğu durumda, Faz I kontrol limitlerinin beta dağılımına dayalı olarak hesaplanması gerektiğine dikkat çekmiştir. Buna göre limitler eşitlik 89 ve 90 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Mitra, 2016).

$$\text{ÜKL} = \frac{(m-1)^2}{m} \beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2} \quad (89)$$

$$\text{AKL} = 0 \quad (90)$$

Burada,  $\beta_{\alpha, p/2, (m-p-1)/2}$ ;  $p/2$  ve  $(m-p-1)/2$  parametreleri ile bir beta dağılımının üst alfa yüzde noktası olarak belirtilmektedir. F ve Ki-Kare dağılımlarına dayalı olarak Faz I limitlerine yaklaşımlar muhtemelen doğru olmayacaktır.

Bireysel gözlem değerlerinin kullanılması durumunda ortaya çıkan önemli bir sorun, kovaryans matrisinin ( $\Sigma$ ) tahmin edilmesidir. Sullivan ve Woodall (1995), Vargas (2003) ve Williams vd. (2006) bu sorunun üstesinden gelme adına gerçekleştirilen çalışmalardan bazılarıdır.

### 1.3.4.2. Çok Değişkenli Birikimli Toplam (MCUSUM) Kontrol Grafiği

Tek değişkenli CUSUM grafikleri, proses değişkenlerini ayrı ayrı değerlendirerek proseste meydana gelebilecek küçük kaymalar hakkında bilgi sağlamaktadır. Ancak, çoğu proseste üretilen ürünlerin birden fazla kalite özelliği dikkate alınmakta ve ürün kalitesiyle ilgili bir yargıya varmak için bu özelliklerin tamamının dikkate alınması gerekmektedir. Bu gibi proseslerde, yani, birbiriyle ilişkili olan birden fazla kalite değişkeni kullanılarak ürün kalitesinin ölçülmesinin gerektiği durumlarda proses ortalamasında meydana gelebilecek küçük kaymaları tespit etmek için tek değişkenli CUSUM kontrol grafiklerinin kullanımı önerilmemektedir (Özçomak, 2004). Prosesle ilgili bu gibi sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla tek değişkenli CUSUM kontrol grafiğinin çok değişkenliliğe uyarlanmış hali olan MCUSUM grafiği ile proses parametrelerindeki küçük değişimlerin fark edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu grafik, kalite değişkenlerinin hedeften sapmalarının birikimleri temel alınarak oluşturulmaktadır (Healy, 1987; Yılmaz, 2012).

### 1.3.4.3. Çok Değişkenli Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama (MEWMA) Kontrol Grafiği

Tek değişkenli proseslerde ortalama vektöründeki küçük değişimleri ortaya çıkarmak amacıyla kullanılan EWMA grafikleri çok değişkenli durumlara da uyarlanabilmektedir. Bu amaçla, Lowry vd. (1992) MEWMA kontrol grafiğini geliştirmiştir. Diğer bir deyişle, MEWMA grafiği tek değişkenli EWMA'nın mantıksal bir uzantısıdır (Khoo, 2004) ve aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir (Lowry vd., 1992).

$$Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)Z_{i-1} \quad (91)$$

Eşitlikte,  $\lambda$ , 0 ile 1 ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ) arasında değer alabilmekte ve  $Z_0 = 0$  olarak kabul edilmektedir (Montgomery, 2009). Belirtilen aralıkta seçilen  $\lambda$  değerleri değişimlerin fark edilebilme hassasiyetini belirlemektedir.  $\lambda$  değerleri alt değere yakın seçildiğinde küçük ama devam eden değişimleri belirlemek için daha etkili bir MEWMA grafiği çizilmektedir (Pham, 2006).

Kontrol grafiği üzerindeki noktaları veren  $T^2$  istatistiği ve kovaryans matrisi sırasıyla eşitlik 92 ve eşitlik 93'de verilmiştir (Lowry vd., 1992).

$$T_i^2 = Z_i' \sum_{Z_i}^{-1} Z_i \quad (92)$$

$$\sum_{Z_i} = \frac{\lambda}{2 - \lambda} [1 - (1 - \lambda)^{2i}] \sum \quad (93)$$

Prabhu ve Runger (1997) çeşitli  $\lambda$  ve  $p$  değerlerini dikkate alarak çizilen MEWMA grafiğinin ÜKL değerlerine karşılık gelecek  $H$  değerlerini elde etmişlerdir. MEWMA grafiğinde  $T_i^2 > H$  durumu ile karşı karşıya kalındığında sürecin kontrol dışı olduğu kabul edilmektedir (Khoo, 2004).

#### 1.3.4.4. Genelleştirilmiş Varyans |S| Kontrol Grafiği

Çok değişkenli istatistiksel proses kontrolünde proses ortalama vektörü  $\mu$ 'yü kontrol etmek kadar proses değişkenliğinin kontrolü de oldukça önemlidir. Çok değişkenli proses değişkenliğini kontrol etme amacıyla genellikle Genelleştirilmiş Varyans |S| kontrol grafiği kullanılmaktadır (Montgomery, 2009).

Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği örnek varyans - kovaryans matrisine dayalı olarak proses değişkenliğini izlemek için kullanılan çok değişkenli bir kontrol yöntemidir (Mitra, 2016). Bugüne kadar çok değişkenli proseslerin değişkenliğinin izlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler önerilmiş, ancak, Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği bu yöntemler arasında en çok kabul gören yöntem olmuştur (Santos-Fernandez, 2012).

Tek bir değişkenin mevcut olduğu bir proseste örnek değişkenliği mevcut değişken ile ilgili ölçümlerdeki değişkenliğin miktarını ortaya koymak için kullanılmaktadır. Birden fazla değişkenin bulunduğu proseslerde ise değişkenlik örnek varyans-kovaryans matrisi ile belirlenmektedir.

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1p} \\ s_{12} & s_{22} & \dots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{1p} & s_{2p} & \dots & s_{pp} \end{bmatrix} = \left\{ s_{ik} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_k) \right\} \quad (94)$$

Örnek kovaryans matrisi,  $p$  adet varyans ve potansiyel olarak  $1/2p(p-1)$  farklı kovaryans içermektedir. Bazı durumlarda,  $S$  ile belirtilen değişkenlik için tek bir sayısal değer atamak istenebilmektedir. Bir değer için bu seçim  $S$ 'nin determinantıdır (Johnson ve

Wichern, 2007). Diğer bir ifadeyle, Genelleştirilmiş Varyans varyans-kovaryans matrisinin determinantı olarak bilinmektedir (Santos-Fernández, 2012).

$|S|$ 'nin ortalama ve varyansı sırasıyla  $E(|S|)$  ve  $V(|S|)$  ile gösterilerek örnek verisine ait genelleştirilmiş varyansı temel alan  $|S|$  kontrol grafiğinin dağılım özellikleri aşağıda verilmektedir (Mitra, 2016).

$$E(|S|) = b_1 |\Sigma| \quad (95)$$

$$V(|S|) = b_2 |\Sigma|^2 \quad (96)$$

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (97)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[ \prod_{j=1}^p (n-j+2) - \prod_{j=1}^p (n-j) \right] \quad (98)$$

Bu kontrol grafiği için ÜKL, OÇ ve AKL sırasıyla aşağıdaki eşitliklerin kullanımıyla hesaplanabilmektedir (Mitra, 2016).

$$\text{ÜKL} = |\Sigma| (b_1 + 3b_2^{1/2}) \quad (99)$$

$$\text{OÇ} = b_1 |\Sigma| \quad (100)$$

$$\text{AKL} = |\Sigma| (b_1 - 3b_2^{1/2}) \quad (101)$$

Eşitlik 101'de AKL'nin sıfırdan daha küçük bir değer olması durumunda bu değer 0 olarak kabul edilmektedir. Uygulamada genellikle  $\Sigma$  bilinmemekte ve bu değer örneklem varyans - kovaryans matrisi  $S$  ile tahmin edilmektedir. Bu durumda,  $|S|/b_1$ ,  $|\Sigma|$ 'nin yansız bir tahminleyicisi olduğunu için eşitlik 99-101'de kontrol limitlerindeki  $|\Sigma|$  yerine  $|S|/b_1$  yazılabilmektedir (Montgomery, 2009). Bundan dolayı, grafiğin kontrol limitleri aşağıdaki gibi de ifade edilebilmektedir (Montgomery, 2012).

$$\text{ÜKL} = \frac{|S|}{b_1} (b_1 + 3b_2^{1/2}) \quad (102)$$

$$OÇ = |S| \quad (103)$$

$$AKL = \frac{|S|}{b_1} (b_1 - 3b_2^{1/2}) \quad (104)$$

Eşitlik 104'de AKL'nin sıfırdan daha küçük bir değer olarak bulunması durumunda bu değer 0 olarak kabul edilmektedir.

#### 1.4. Kontrol Dışı Değişkenlerin Belirlenmesi

Tek değişkenli istatistiksel süreçlerde kontrol dışı gözlem veya sinyaller prosesin ortalaması ve/veya varyans yapısının değişiminden kaynaklanmaktadır. Uygun bir kontrol grafiği ile bu durum kolay bir şekilde ortaya konulabilmektedir. Tek değişkenli kontrol grafiklerinde, sadece tek bir değişken ele alındığından ve bu değişkenin diğer değişkenlerle olan ilişkisi göz ardı edildiğinden sinyal yorumu genellikle kolay olmaktadır (Ülen, 2010).

Çok değişkenli istatistiksel proses kontrol grafikleri ise incelenen proseste meydana gelen sinyallerin belirlenebilmesi ile ilgili önemli bilgiler sunabilmektedir. Ancak, prosesin kontrol dışında olduğu belirlendiğinde, bu kontrol dışı duruma neden olan değişken veya değişkenler hakkında kesin bir bilgi verememektedirler. Bu sorunu aşabilme adına, birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar ortaya koymuştur. Mason, Young ve Tracy, MYT ayrıştırma yöntemi olarak bilinen pratik bir yöntem geliştirmiştir (Gonzalez-De la Parra ve Rodriguez-Loaiza, 2003). Geliştirilen bu yöntemin, ayrıştırma yöntemleri arasında diğer birçok yöntemi kapsadığı ve prosesin ortalama değerinde meydana gelen değişime karşı oldukça hassas olduğu ifade edilmektedir (Ülen, 2010).

##### 1.4.1. Mason, Young, Tracy (MYT) Ayrıştırma Yöntemi

MYT ayrıştırma yöntemi çok değişkenli bir proseste oluşan herhangi bir sinyalin hangi değişken veya değişkenler arasındaki ilişkiden kaynaklandığını belirleme adına  $T^2$  istatistiğinin ayrıştırılmasını temel alan bir yöntemdir. Bu yöntem, kontrol dışı sinyallerin yorumlanmasını kolaylaştırmaktadır. Mason, Young ve Tracy tarafından geliştirilen bu yöntemin  $T^2$  sinyallerinin yorumlanmasında kalite değişkenlerinin sinyallere katkılarını tespit etmede en önemli yöntem olduğu ifade edilmiştir (Agog vd., 2014).



MYT prosedürü incelenen herhangi bir proseste oluşan sinyal veya sinyallerin hangi değişken veya değişkenlerden kaynaklandığını ortaya koyarken sorunun araştırılan kalite değişkeninin ortalamasındaki bir kaymadan mı yoksa değişkenliğindeki bir kaymadan mı kaynaklandığını tespit edememektedir. Bununla beraber, MYT genellikle  $T^2$  istatistiğine dayanan çok değişkenli kontrol grafiklerinde meydana gelen sinyallere uygulandığından sorunun ortalamadaki bir kaymadan kaynaklandığını varsaymanın mümkün olduğu ifade edilmiştir (Arıcıgil Çılan, 2004).

### **1.5. Tek ve Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinin Varsayımları**

Tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol grafiklerinin oluşturulma aşamasından önce araştırılması gereken bazı varsayımlar bulunmaktadır. Bu varsayımların ihmal edilmesinin araştırılan proseste yanlış sinyal olasılığını arttırabileceği ifade edilmiştir (Abo-Hawa vd., 2016). Ek olarak, varsayımlar sağlandığında hesaplanan kontrol limitlerinin varsayımlar sağlanmadan hesaplanan limitlerden çok az farklılık gösterdiği, ancak, limitlerdeki küçük farklılıkların prosesin gerçek durumunun belirlenmesinde önemli olabileceği belirtilmiştir (Arıcıgil Çılan, 2004). Bu nedenle, kontrol grafiklerinin oluşturulmasında daha doğru sonuçlara ulaşabilme adına analizden önce veri kümesinin çeşitli varsayımlar açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu varsayımlar; doğrusallık, normal dağılım, varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği ve otokorelasyon olmaması olarak belirtilebilir.

#### **1.5.1. Doğrusallık Varsayımı**

Uygulamada tek veya çok değişkenli kontrol grafiklerinden hangisinin kullanımının daha uygun olacağına incelenen kalite değişkenlerinin arasındaki korelasyon katsayılarının hesaplanması ile karar verilebilmektedir. Tespit edilen anlamlı korelasyon katsayıları kalite değişkenleri arasında ilişkinin var olduğunu desteklerken, anlamsız korelasyon katsayısına sahip olan değişkenler arasında ise anlamlı bir ilişkinin olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bununla beraber, anlamsız korelasyon katsayısına sahip olan değişkenler için daha üst dereceden fonksiyonların denenmesi sureti ile var olabilecek ilişkilerin ortaya çıkarılması yoluna gidilebilmektedir (Arıcıgil Çılan, 2005).

## 1.5.2. Normallik Varsayımı

Kontrol grafikleri, ister tek değişkenli olsun ister çok değişkenli olsun sağlanması gereken en önemli varsayımlardan biri değişkenlerin normal dağılımasıdır (Orçanlı, 2017). Kontrol grafiklerinde normallik varsayımı, tek değişkenli grafiklerde tek değişkenli normal dağılım, çok değişkenli grafiklerde ise çok değişkenli normal dağılımın varlığı araştırılarak incelenmektedir.

### 1.5.2.1. Tek Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Normallik Varsayımı

Tek değişkenli normalliğın araştırılması için çok sayıda grafik ve test bulunmaktadır. Bu amaç için kutu grafiği, dal-yaprak grafiği ve Q-Q grafiği gibi çeşitli grafiksel yöntemler oldukça sık kullanılmaktadır (Sharma, 1996). Normalliği görsel olarak ortaya koyan bu yöntemler dışında Kolmogorov-Smirnov testi, Shapiro-Wilk testi ve Anderson-Darling testi gibi testler kullanılarak da incelenen değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek mümkün olabilmektedir (Alpar, 2013).

Kolmogorov-Smirnov testi, Ki-kare uygunluk testine alternatif uygulanan bir test olup Ki-kare testinin uygulanabilmesi için gerekli olan şıklara ait frekansların en az 5 veya daha büyük olması koşulunun aranmamasından dolayı uygulamada oldukça sık bir şekilde kullanılmaktadır (Kalaycı, 2010).

Grafiksel yöntemler arasında uygulamada genellikle Q-Q grafiği daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Kalaycı, 2010). Q-Q grafiğinde normal dağılım şekli doğrusal bir çizgi şeklinde olmaktadır. Grafiği çizilen değişken belirtilen doğrusal çizgiyle karşılaştırılmakta ve dağılım eğer normal ise gözlenen değerler doğrusala yakın bir dağılım göstermektedir (Arııcıgil Çılan, 2005).

Belirtilen grafiksel ve istatistiksel yöntemler sonucu normal dağılmayan veri grubuna dönüşüm uygulanarak normal dağılım göstermesi sağlanabilmektedir (Sharma, 1996).

### 1.5.2.2. Çok Değişkenli Kontrol Grafiklerinde Normallik Varsayımı

Çok değişkenli normal dağılım, tek değişkenli normal dağılımın değişken sayısı 2 ve 2'den büyük ( $p \geq 2$ ) boyutu için geliştirilmiş hali olarak ifade edilmektedir (Doğruel, 2010).

Tek değişkenli normal dağılıma kıyasla, çok değişkenli normal dağılımın araştırılmasında kullanılan yöntemlerin sayısı azdır. Çok değişkenli normal dağılım varsayımının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü için genellikle analitik ve grafiksel yöntemler kullanılmaktadır. Grafiksel yöntemler tek değişkenli normal dağılımda belirtilen Q-Q grafiğine benzemekte, analitik yöntemler ise çoklu çarpıklık ve basıklığı araştırmaktadır (Sharma, 1996).

Mahalanobis uzaklığı yardımı ile çok değişkenli normalliği araştırmak mümkündür. Çoklu normallik testine, örneğin merkezi değerine göre her birim için kareli Mahalanobis uzaklıklar hesaplanarak başlanmaktadır. Anaküteller normal ise ve örnekler yeteri kadar büyük ( $n \geq 25$ ) olduğunda bu uzaklıklar Ki-kare dağılımına uymaktadır (Kalaycı, 2010). Buradan yola çıkılarak, Ki-kare ( $\chi^2$ ) grafikleri olarak adlandırılan grafikler aşığıda verilen adımlar izlenerek oluşturulabilmektedir.

Toplam birim sayısı  $n$  olmak üzere öncelikle kareli Mahalanobis uzaklıklar küçükten büyüğe doğru  $MD_1^2 < MD_2^2 < \dots < MD_n^2$  şeklinde sıralanmaktadır.

İkinci aşıamada, her bir kareli Mahalanobis uzaklık değeri ( $MD^2$ ) için  $j$  birim değeri numarası olmak üzere,  $(j-0,5)/n$  yüzdellik bölenleri hesaplanmaktadır.

Üçüncü aşıamada ise ikinci aşıamada elde edilen yüzdellikler için,  $p$  değişken sayısını ve dolayısıyla da serbestlik derecesini göstermek üzere, ters birikimli Ki-kare değerleri hesaplanmaktadır.

Son aşıamada ise sıralı kareli Mahalanobis uzaklık değerleri ( $MD^2$ ) ile Ki-kare ( $\chi^2$ ) değerlerinin grafiği çizilmektedir (Sharma, 1996).

Daha önce de belirtildiği gibi, analitik olarak sıralanmış kareli Mahalanobis uzaklık değerleri ile Ki-kare değerleri arasındaki korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır. Bu teste göre hesaplanan korelasyon katsayısının kritik korelasyon katsayısından büyük olması durumunda çok değişkenli normallik sağlanmış olmaktadır (Sharma, 1996). İncelenen veri grubu normal dağılıma uymadığı durumda verilere dönüşüm uygulanarak normal dağılıma dönüştürülebilmektedirler (Kalaycı, 2010).

### **1.5.3. Varyans Kovaryans Matrislerinin Eşitliği (Eş-Varyanslık) Varsayımı**

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde dikkate alınan varsayımlardan biri de varyans-kovaryans matrislerinin eşitliğidir. Varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği varsayımının sağlanabilmesi için matrisin tüm elemanlarının birbirine eşit olması gerekmektedir. Ancak,

uygulamada bu koşulun sağlanmasının oldukça güç olduğu belirtilmektedir (Arıcıgil Çılan, 2005).

Varyans - kovaryans matrislerinin eşitliği veri grubundaki mevcut örneklerin birim sayılarının (n) yeterince büyük olmadığı durumda daha fazla önem kazanmaktadır (Arıcıgil Çılan, 2004). Bununla beraber, varyans-kovaryans matrislerinin eşitliğini değerlendiren birçok test normallikten ayrılışlara karşı oldukça hassastır. Bu nedenle, ilk olarak verilerin normal dağılıp dağılmadığı araştırılmalıdır.

Varyans - kovaryans matrislerinin eşitliğini test etmek için en yaygın kullanılan test Box's M testi olarak bilinmekte ve bu test için kurulan hipotezler varyans-kovaryans eşitliğine dayanmaktadır (Alpar, 2013).

$$H_0: \sum_1 = \sum_2 = \dots = \sum_k$$

H<sub>1</sub>: En az bir varyans kovaryans matrisi diğerlerinden farklıdır.

Box's M testinin uygulanabilmesi için gerekli alt gruplar örnek büyüklüğünün bir olduğu durumda oluşturulmadığından varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği varsayımı uygulanmamaktadır (Doğruel, 2010).

#### **1.5.4. Gözlem Değerlerinin Bağımsızlığı (Otokorelasyon Olmaması) Varsayımı**

Otokorelasyon farklı zaman dilimleri ile ilgili veriler arasındaki bağımlılık düzeyini ortaya koyan korelasyon katsayısı şeklinde tanımlanmaktadır (Brockwell ve Dawis, 2002). Otokorelasyonlu verilerin kullanılması değişkenler arasında yanlış ilişkiler kurulmasına ve zamanın gereksiz bir şekilde mevcut olmayan özel sebepleri aramakla geçirilmesine neden olabilmektedir (Sparks ve Field, 2000). Bu durum ise kontrol sürecinde ciddi sorunlarla karşılaşılmasına neden olabilmekte ve bazı durumlarda prosesin yanlış sinyal vermesine neden olabilmektedir (Wang ve Ong, 2008). Bu bakımdan, otokorelasyonun olmaması, bir diğer deyişle, proses değişkenlerinin zamandan bağımsız oluşu, hem tek değişkenli hem de çok değişkenli kontrol grafiklerinin varsayımlarından birisi olarak değerlendirilmekte ve grafiklerin daha doğru bir şekilde oluşturulabilmesi için önem arz etmektedir (Arıcıgil Çılan, 2005).

Otokorelasyonun tespit edilebilmesi amacıyla geliştirilen bir çok test bulunmaktadır. Bu testlerden bazılarında aşağıda değinilmiştir.

İncelenen veri grubunun otokorelasyona sahip olup olmadığının belirlenebilmesi için geliştirilen farklı Q istatistikleri söz konusudur. İfade edilen bu Q istatistiklerden en fazla kullanılanları Box-Pierce Q ve bu istatistiğin orta sayıdaki veriler için nispeten zayıf olması nedeniyle geliştirilen Ljung-Box Q istatistiğidir (Akıncı, 2008).

Orhunbilge (1999) otokorelasyon katsayılarının anlamlı olup olmadığını örnek otokorelasyon katsayılarından hareketle, anakütle otokorelasyon katsayılarının sıfır olup olmadığını araştıran “t benzeri” testlerin kullanımı ile de araştırılabileceğini belirtmektedir.

Bir değişkende otokorelasyonun var olup olmadığını araştırılmasında durağanlık da belirleyici bir faktör olabilmektedir. Durağanlığın tespiti amacıyla Dickey ve Fuller (1979) tarafından birim kök olup olmadığını araştıran Dickey - Fuller testi önerilmektedir (Torun, 2015).

### **1.6. Proses Yeterlilik Analizi**

İstatistiksel proses kontrol yöntemlerinden birisi olan kontrol grafikleri herhangi bir prosesin kontrol altında tutulmasını ve iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Kontrol grafikleri ile kontrol dışı sinyallerin nedenleri tespit edilerek proses değişkenliğinin azaltılmasına çalışılmaktadır. Diğer bir deyişle, proses değişkenliğini gösteren grafikler oluşturulmakta ve oluşturulan bu grafiklerin kontrol limitlerinden faydalanılarak proses ortalamasındaki kayma seviyeleri tespit edilmektedir. Kısacası, kontrol grafikleri ile üretim prosesinin sesi dinlenmektedir. Ancak, bu grafikler spesifikasyon limitlerinin karşılanıp karşılanmadığı ile ilgili bir bilgi vermemektedir. Bu işlem proses yeterlilik analizi ile gerçekleştirilmekte ve bu analiz ile bir bakıma tüketicilerin sesi dinlenmektedir (Birgören, 2017). Proses yeterlilik analizi bir bakıma proses ortalaması ve standart sapmasını spesifikasyonlarla ilişkilendirme yoluyla prosesin tüketici isteklerine uygun ürün oluşturup oluşturamadığını belirlemektedir (Arslan, 2017).

Özellikle, yoğun rekabet koşullarının hakim olduğu pazarlarda, işletmelerin kaliteli ürünler üretmesi rekabet koşullarında öne geçmeleri açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, işletmelerin ürettikleri ürünlerle ilgili tüketicilerin istediği kaliteyi yakalaması ve bu kalite seviyesini sürdürmesi zorunlu olmaktadır (Şahin, 2013). Bunun için, üretim proseslerinin spesifikasyon değerlerini karşılayan ürünler oluşturabilme yetenekleri sürekli

bir şekilde incelenmelidir. Bu analiz, tüketiciler için önemli olan hedef değerlere ulaşmaya yardımcı olmaktadır. Bir ürünün belirlenen hedef değerlerden sapması ürün özelliklerinin gereksinimleri karşılamadığı anlamına gelmektedir. Böyle bir durum maliyetlerde artışa ve satışlarda ise düşüşe yol açabilmektedir (Motorcu ve Güllü, 2006).

Yeterlilik analizi ile ilgili olarak, prosesin doğal tolerans limitleri, üretim tolerans limitleri içindeyse prosesin toleransları karşıladığını söylemek mümkündür. Aksi durumda, doğal tolerans limitleri üretim toleranslarını kapsıyorsa prosesin toleransları karşılamadığı anlaşılmaktadır (Elevli ve Behdioğlu, 2006). Bununla beraber bir proses istatistiksel olarak kontrol altında olmasına rağmen spesifikasyonları karşılamayan ürünler üretebilmektedir (Wooluru vd., 2014).

Herhangi bir proseste yeterlilik analizi yapılırken öncelikle prosesin kontrol altında olması ve ilgili verilerin normal dağılıma sahip olması gerektiği ifade edilmektedir (Mitra, 2016). Kontrol altındaki bir prosesin yeterliliğinin tespiti için proses yeterlilik indeksleri kullanılmakta olup (Selvamuthu ve Das, 2018) bu indeksler bir bakıma stabil bir prosesin doğal değişkenliği nedeniyle hatalı ürün üretme riskini ölçmektedir (Kharbach vd., 2017). Proses yeterlilik indeksleri, prosesin ilgilenilen kalite özelliğinin spesifikasyon limitlerini karşılama yeteneği hakkında tek bir sayı üreterek değerlendirme kolaylığı sağlamaktadır. Bu nedenle, ürün kalitesini ve proses performansını iyileştirme adına fırsatlar sunmaktadır (Arcidiacono ve Nuzzi, 2017).

Genellikle, bir prosesin yeterliliği  $C_p$  ve  $C_{pk}$  yeterlilik indeksleri kullanılarak tespit edilmektedir (Aydın ve Arıkan Kargı, 2018). Bu indeksler ile prosesin spesifikasyonları sağlama derecesi belirlenebilmekte ve indekslerin periyodik olarak hesaplanması yoluyla prosesin sürekli bir şekilde kontrolde tutulması sağlanabilmektedir (Montgomery, 2009). Bu indeksler aşağıda verilmektedir (Rajvanshi ve Belokar, 2012).

$$C_p = \frac{\bar{U}SL - ASL}{6\sigma} \quad (105)$$

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl}) \quad (106)$$

$$C_{pu} = \frac{\bar{U}SL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (107)$$

$$C_{pl} = \frac{\bar{x} - ASL}{3\sigma} \quad (108)$$

Eşitliklerde; ÜSL incelenen kalite değişkenine ait üst spesifikasyon limitini, ASL alt spesifikasyon limitini,  $\sigma$  standart sapma değerini,  $\bar{x}$  ise ortalama değeri ifade etmektedir.

$C_p$  indeksi sistemin tolerans limitleri içindeki yerini belirlemek için kullanılmaktadır (Selalmaz, 2008). Bu indeks, bir prosesin ASL, ÜSL ve standart sapması arasındaki ilişkiyi dikkate alarak proses kabiliyetini tahmin etmede kullanılmakta (Harris vd., 2009) ve bazen çift taraflı spesifikasyon olarak da adlandırılmaktadır (Işığışok, 2012).

$C_{pk}$  ise merkezlenmemiş bir proses için kullanılmakta olup, tek taraflı spesifikasyon olarak da isimlendirilmektedir. Özetle,  $C_p$  prosesin sadece değişkenliğini ortaya koymakta iken,  $C_{pk}$  prosesin değişkenliği yanında prosesin konumunu da ortaya koymaktadır.  $C_{pk}$  indeksi  $C_p$  indeksinden daha üstün olmasına karşılık incelenen kalite özelliği ile ilgili kararın her iki indekse göre verilmesi daha doğru bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Işığışok, 2012).

## **1.7. Orman Ürünleri Sanayi Sektörü**

### **1.7.1. Orman Ürünleri Sanayi Hakkında Genel Bilgiler**

Ormanlardan elde edilen birincil ve ikincil ürünleri işleyerek yarı mamul ya da son ürün haline getiren orman ürünleri sanayi sektörü, irili ufaklı binlerce işletmeden oluşan bir sektör konumundadır (Akyüz vd., 2006; Yıldırım, 2017). Sektör, imalat sanayi içerisinde birincil ve ikincil imalat sanayi grupları adı altında faaliyet göstermektedir. Birincil imalat sanayi, odunu doğrudan hammadde olarak kullanan sektörlerden oluşurken ikincil imalat sanayi grubu birincil imalat sanayi ürünlerini hammadde olarak değerlendiren sektörlerden oluşmaktadır (Yıldırım vd., 2016).

Türkiye’de orman ürünleri sanayi işletmeleri genelde iç pazara hitap eden bir yapıya sahip olmakla beraber son yıllarda dış pazarlara yönelimde önemli bir artış olduğu göze çarpmaktadır. Ülkemizde orman ürünleri sanayi ürünlerine yönelik dinamik bir iç pazar mevcut olmakla beraber önemli ölçüde ihracat yaptığımız ve pazar olarak değerlendirilen ülkeler de bulunmaktadır. Ancak, sektörün ana sorunlarından olan hammadde ve enerji, işletme yapılanması, kalite, standardizasyon, markalaşma durumu, patent, yasal destek ve iyi yetişmiş tecrübeli ve becerikli insan gücü gibi eksiklik ve yetersizlikleri yenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu gibi sorunlara rağmen, Türkiye orman ürünleri sanayi dünyanın gelişmiş ülkeleri arasında yer almakta ve onlarla rekabet etme bakımından sektörün önemli

yol aldığı görülmektedir. Bununla beraber, sektörün sorunlarını çözmesi, ürün çeşitliliğini artırması ve markalaşması durumunda hem iç hem de dış pazarda yüksek potansiyele sahip bir konuma geleceği görülmektedir (TOBB, 2013).

Günümüzde, ağaç malzemenin kullanım yerleri binlerle ifade edilebilmektedir. Ağaç malzemenin bu kadar çok kullanım yerinin bulunması onun anatomik yapısından, fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşiminden kaynaklanmaktadır. Ağaç malzeme, özgül ağırlığının nispeten düşük olmasına karşın yüksek bir dirence sahip olup çeşitli alet ve makineler ile kolaylıkla işlenebilmekte, ısı ve elektriğe karşı izolasyon maddesi olarak kullanılabilir ve yüksek derecede akustik özelliklere sahip bir malzeme olarak dikkat çekmektedir. Bu gibi özellikler, ağaç malzemenin kullanımını sürekli olarak arttırmaktadır. Ayrıca, endüstriyel gelişme ve artan nüfus ihtiyacının karşılanması adına da ağaç malzeme kullanımı önemli ölçüde artış göstermiş ve bol miktarda bulunan odun hammaddesi artık azalmaya başlamıştır. Odun hammaddesinin giderek azalması onun yerine lignoselülozik maddelerin ve değeri düşük olan çeşitli odun atıklarının kullanımını arttırmıştır (Gedik, 2005).

Sonuç olarak, değeri daha düşük olan maddelerin kullanımı ile üretilen çeşitli odun esaslı levhalar ön plana çıkmış ve kullanım hacimleri oldukça yüksek seviyelere ulaşmıştır. Bu çalışma kapsamında üretim prosesi değerlendirilecek odun esaslı levha orta yoğunlukta liflevha olarak bilinen MDF olduğu için diğer levha türlerine değinilmeyecektir.

### **1.7.2. Liflevhanın Tanımı ve Liflevha Endüstrisi ile İlgili Genel Bilgiler**

Liflevha bitkisel lif ve lif demetlerinin doğal yapışma ve keçeleşme özelliklerinden yararlanılarak veya ilave tutkal kullanımı ile elde edilen levha taslağının yüksek sıcaklıkta kurutulması veya preslenmesi sonucunda elde edilen kompozit bir üründür (Eroğlu ve Usta, 2000).

ISO 818 (1975)'e göre ise liflevhalar; “doğal yapışma ve keçeleşme özelliğine sahip lignoselülozik liflerden elde edilen, kalınlığı 1,5 mm'den fazla olan homojen yapıda levhalar” olarak tanımlanmaktadır (Kara, 2011).

Lif levhaların sınıflandırılması bazı ölçütlere göre yapılmakla beraber uluslararası ölçütlere göre sınıflandırmada kullanılan en iyi kriter yoğunluk olmaktadır (Dayanıklıoğlu, 2004; Okan, 2009). TS 3635 (2005) ve ISO 818 (1975)'e göre lif levhalar yoğunluklarına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır (Kaya, 2017):



- 1) Düşük yoğunlukta liflevhalar (LDF): 0.35 gr/cm<sup>3</sup>'den daha düşük yoğunluğa sahip liflevhalar
- 2) Orta yoğunlukta lif levhalar (MDF): 0.35-0.80 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip liflevhalar
- 3) Yüksek yoğunlukta liflevhalar-sert lif levhalar (HDF): 0.80-1.1 gr/cm<sup>3</sup> arasında yoğunluğa sahip liflevhalar.

Odun hammaddesinin kullanım alanının çeşitlenmesi ve bunun yanında hammadde elde etme sürecinde karşılaşılan zorluklar, orman ürünleri sanayini masif ağaç malzemeye alternatif olabilecek üretimler yapmaya zorlamıştır (Akgül vd., 2013). Genel olarak, odun kompozitleri olarak isimlendirilen ve masif ağaç malzemenin alternatifi olarak düşünülen bu ürünler içerisinde liflevhalar en fazla dikkat çeken ürün grubunu oluşturmaktadır. Bu levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri yüksek olup üretimlerinde ise yüksek kalitede ağaç malzeme gerekmemektedir. Bununla beraber, liflevhaların masif malzemelere göre bazı üstünlükleri de bulunmaktadır. Masif ağaç malzemenin aksine direnç özellikleri farklı yönlerde değişik olmayıp daha homojen bir yapıya sahiptir. Masif odunda bulunan budak, lif kıvrıklığı, farklı yönlerde farklı çalışma sonucu karşılaşılan çarpılma, çatlak vb. çeşitli olumsuzluklar bu ürünlerde söz konusu olmamaktadır. Üretim prosesinde uygulanan bazı tekniklerle birlikte direnç, sertlik ve yoğunluk gibi bir takım özellikleri yanında boyutların da istenildiği gibi ayarlanması mümkün olabilmektedir (Kaya, 2017). Bu gibi durumlar, odun esaslı levha ürünlerinin kullanım alanlarını genişletmektedir (İstek, 2006).

### **1.7.3. Türkiye’de Liflevha Endüstrisinin Tarihsel Gelişimi ve Genel Durumu**

Ülkemizde levha sektörünün geçmişi 1950’li yıllara dayanmaktadır. İlk liflevha fabrikasının 1958 yılında İzmir’de kurulduğu ve yaş yöntem kullanarak liflevha ürettiği, daha sonraki yıllarda ise Manisa’ya taşınarak faaliyetlerini orada sürdürdüğü belirtilmiştir (Balkız, 2006). 1985 yılında ise ilk MDF tesisi kurulmuş olup daha sonraki yıllarda tesis sayısında önemli bir artış görülmüştür (OAİB, 2015).

Ülkemizde ekonomik gelişmelere ve nüfus artışına bağlı olarak yaşam standartlarının da artışıyla birlikte birçok endüstri dalında olduğu gibi odun esaslı levha endüstrisinde de son on yıllarda önemli kapasite artışları ile karşılaşılmıştır. Ülkemiz 2000’li yıllardan sonra özellikle yongalevha ile orta/yüksek yoğunlukta liflevha (MDF/HDF) üretim miktarlarında çok hızlı bir artış göstermiş ve dünyada önde gelen üretici ülkeler arasında yer bulmuştur (İstek vd., 2017). Mobilya sektöründe yaşanan hızlı büyüme ve kullanım alanlarının

çeşitlenmesinin liflevha endüstrisinde kapasitenin yüksek düzeylere ulaşmasında önemli etkileri olduğu söylenebilmektedir (Okan, 2009).

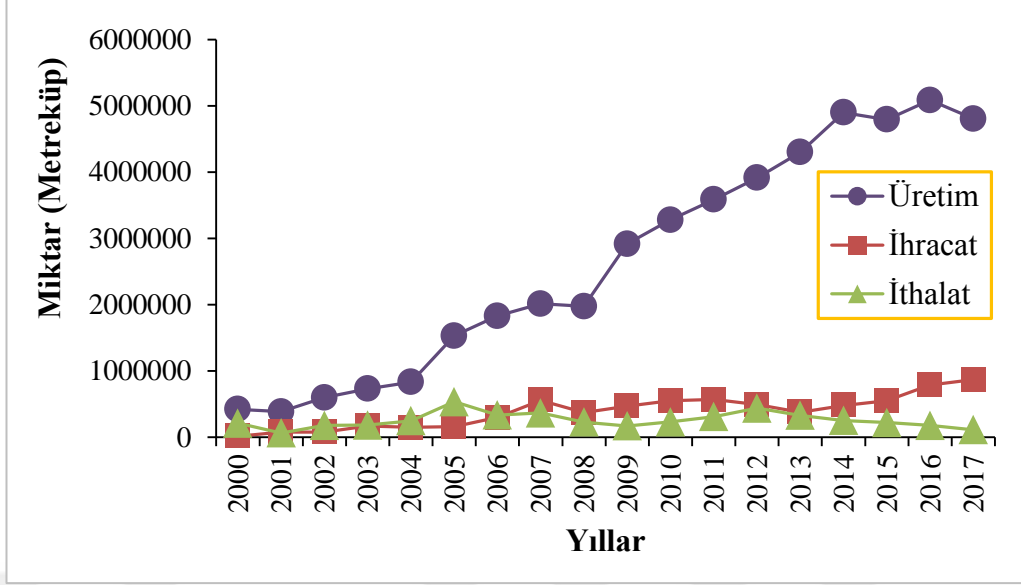
#### 1.7.4. Türkiye'nin Liflevha Üretimi ve Dış Ticaret Durumu

Türkiye liflevha endüstrisinin üretim, ihracat ve ithalat miktarları ve bu miktarların yıllara göre değişim yüzdeleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Yıllar itibarı ile liflevha (MDF, HDF ve diğer liflevhalar) üretim, ihracat ve ithalat miktarları (FAOSTAT, 2018)

Yıllar	Üretim (m <sup>3</sup> )	Yıllık Değişim (%)	İhracat (m <sup>3</sup> )	Yıllık Değişim (%)	İthalat (m <sup>3</sup> )	Yıllık Değişim (%)
2000	422.000	-	18.000	-	214.000	-
2001	386.000	-8.53	78.000	333.33	66.000	-69.16
2002	600.000	55.44	77.000	-1.28	180.000	172.73
2003	733.000	22.17	172.350	123.83	183.312	1.84
2004	883000	20.46	150.648	-12.59	249.000	35.83
2005	1.532.000	73.50	160.000	6.21	537.000	115.66
2006	1.830.000	19.45	301.000	88.13	336.000	-37.43
2007	2.015.000	10.11	557.000	85.05	367.000	9.23
2008	1.976.000	-1.94	375.000	-32.68	229.000	-37.60
2009	2.916.000	47.57	468.000	24.80	172.400	-24.72
2010	3.280.000	12.48	553.000	18.16	232.300	34.74
2011	3.585.000	9.30	571.000	3.25	311.110	33.93
2012	3.915.000	9.21	496.000	-13.13	440.000	41.43
2013	4.300.000	9.83	379.623	-23.46	332.300	-24.48
2014	4.900.000	13.95	480.410	26.55	254.098	-23.53
2015	4.792.000	-2.20	553.900	15.30	222.200	-12.55
2016	5.084.000	6.09	789.541	42.54	179.000	-19.44
2017	4.806.000	-5.47	872.000	10.44	115.100	-35.70

Ayrıca, Türkiye'nin liflevha üretim, ihracat ve ithalat miktarlarının yıllara göre nasıl bir seyir izlediğinin daha kolay değerlendirilebilmesi adına bu veriler Şekil 12'de de görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 12. Türkiye liflevha endüstrisinin üretim, ihracat ve ithalat miktarlarının yıllara göre değişimi

Tablo 1 incelendiğinde, Türkiye liflevha endüstrisinin 2000 yılındaki 422.000 m<sup>3</sup>'lük üretim miktarının 2017 yılında 5.000.000 m<sup>3</sup>'e yaklaştığı görülmektedir. 2000-2017 yılları arasındaki periyotta liflevha üretim miktarları 2001, 2008, 2015 ve 2017 yılındaki küçük düşüşler dışında sürekli artış gösterdiği görülmektedir. Bu süreçte en yüksek üretim miktarı 2016 yılındaki 5.084.000 m<sup>3</sup>'lük üretim olurken, en düşük değer ise 2001 yılındaki 386.000 m<sup>3</sup>'lük üretim miktarı olmuştur. Yıllar itibarı ile üretim seviyelerindeki değişim miktarları yüzde olarak incelendiğinde en büyük üretim azalması %8.53 ile 2001 yılında olurken, üretim miktarındaki en büyük artış %73.50 ile 2005 yılında gerçekleşmiştir. Tablo 1 ihracat değerleri açısından incelendiğinde, ihracat miktarlarında da önemli artışlar olduğu görülmektedir. 2000 yılında 18.000 m<sup>3</sup> olan liflevha ihracatının, 2017 yılında 872.000 m<sup>3</sup> değerine ulaştığı görülmektedir. Üretim miktarlarının aksine liflevha ihracatındaki değerler artış ve azalış açısından daha fazla değişkenlik göstermiştir. Liflevha ihracatı 2000 yılında 18.000 m<sup>3</sup> ile en düşük değerini görürken, 2017 yılında 872.000 m<sup>3</sup> ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Yüzdelerle değişim açısından değerlendirildiğinde, 2008 yılında %32.68'lik oran ile liflevha ihracatı en büyük azalmayı gösterirken, 2001 yılında ihracat yaklaşık olarak %333'lük bir oranla en büyük artışı göstermiştir. İthalat miktarlarına bakıldığında, 2000 yılında 214.000 m<sup>3</sup> olan liflevha ithalat miktarı yıllar içerisinde 537.000m<sup>3</sup>'lük bir değere ulaşmasına rağmen 2017 yılında 115.100 m<sup>3</sup> değerine gerilemiştir. En düşük ithalat 2001 yılında 66.000 m<sup>3</sup> ile gerçekleşirken, en yüksek ithalat miktarı 2005 yılında 537.000 m<sup>3</sup>

olarak gerçekleşmiştir. İthalat miktarları 2000 - 2017 yılları arasındaki süreçte bazı yıllarda azalma göstermekle birlikte 2012 yılı sonrası periyodik olarak sürekli azalma göstermiştir. İthalat miktarındaki en büyük azalma yaklaşık olarak %69 ile 2001 yılında gerçekleşirken, en büyük artış 2002 yılında yaklaşık olarak %172 olarak kaydedilmiştir.

### 1.8. Literatür Özeti

Yoğun rekabet koşullarının hakim olduğu pazarlarda bulunan işletmeler, rakiplerinin sürekli olarak yeni ürünlerle pazara çıkmalarının yanı sıra tüketici tercihlerinin de sürekli olarak değişmesi gibi nedenlerden dolayı ürünlerinin kalitesini geliştirmek zorundadırlar. Bunu sağlamak için çeşitli yöntemler kullanılarak üretim prosesinde kalitenin izlenmesi ve iyileştirilmesi önemli bir gerekliliktir. İstatistiksel proses kontrol yöntemlerinin arzu edilen kalite seviyesine ulaşma adına üretim prosesinde kullanılması bu amaca ulaşma noktasında işletmelere önemli katkılar sağlayacaktır. Ancak, bu yöntemler bazı sektörlerde kullanım alanı bulmasına karşın, özellikle çok değişkenli istatistiksel proses kontrol yöntemlerinin ve proses yeterlilik analizinin orman ürünleri endüstrisinde kullanımı üzerine çalışmalar oldukça sınırlı sayıdadır.

Herhangi bir proseste üretilen ürünün veya hizmetin kalitesi büyük oranda o prosesin değişkenliğine bağlı olmaktadır. Üretim prosesinin değişkenliği ise o prosese ait bir takım özelliklere bağlı olarak ortaya konulabilmektedir. Üretim prosesinde gerçekleştirilen her işlem ürünlerin kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. İstatistiksel proses kontrol yöntemleri; üretim prosesinin incelenmesinde ve prosesteki değişkenliğin belirlenmesinde en önemli araçlardan kabul edilmektedir. İstatistiksel proses kontrolünün temelleri 1924'te Walter A. Shewhart tarafından atılmıştır. Çok değişkenli istatistiksel proses kontrol ile ilgili ilk çalışma ise Hotelling (1947) tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmaların ışığında, yıllar itibarı ile farklı alanlarda farklı amaçlar için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Aşağıda belirtilen bazı araştırmacılar çok değişkenli istatistiksel proses kontrolünün tarihçesini ve mevcut durumunu ortaya koyan araştırmalar yapmışlardır.

Lowry ve Montgomery (1995) tarafından çok değişkenli istatistiksel proses kontrol yöntemlerini değerlendiren bir çalışma yürütülmüştür. Çalışma, 1980'lerin ortalarından bu yana çok değişkenli proses kontrol yöntemleri üzerine yaşanan gelişmelere odaklanarak bu alandaki gelişmelerin güncellenmesini hedeflemiştir. Bu amaçla, Hotelling  $T^2$  için kontrol limitleri seçim prosedürü, MCUSUM ve MEWMA yöntemlerinin kıyaslanması ve bu

yöntemlerin kullanımları, proses değişkenliği için kontrol grafikleri, kontrol dışı sinyallerin yorumlanması, çok değişkenli proses kontrolünde değişkenlerin regresyon alıştırmasının kullanımı ve proses izleme için temel bileşenlerin kullanılması üzerinde durulmuştur.

Fırat ve Arıcıgil (2000), çok değişkenli kalite kontrolün tarihsel gelişimini ele almış ve kalite kontrolündeki en güçlü araçlardan birinin istatistiksel proses kontrol olduğunu belirtmişlerdir. Prosesteki değişkenliğin ve ortalamadaki değişimlerin tespit edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılan kontrol yöntemlerinin Hotelling  $T^2$ , MEWMA ve MCUSUM grafikleri olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada prosesteki değişkenliğin tespit edilmesinde yukarıda ifade edilen çok değişkenli yöntemler arasında özellikle Hotelling  $T^2$  yöntemi üzerine odaklanılmıştır. Ayrıca, çok değişkenli proseslerde karşılaşılan kontrol dışı gözlem noktalarını belirleme ve yorumlamada kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmiştir. Sonuç olarak, çok değişkenli kontrol grafiklerinin seçiminde yol haritası oluşturulmuştur.

Dhini ve Surjandari (2016) kalite kontrolün üretimin sürdürülebilirliğini sağlamada önemli araçlardan birisi haline geldiğini ifade etmiş, kalitenin işletmelere yoğun rekabet şartlarında önemli avantajlar sunduğunu bildirmiş ve kalite kontrolünü gerçekleştirmedeki temel yöntemlerden birisinin istatistiksel proses kontrol grafikleri olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, kontrol grafikleri konusunda ilk gelişmenin tek değişkenli grafikler olduğu, ancak, ürün kalitesi üzerine sadece bir ürün özelliği ile karar vermenin doğru olmadığı, bu nedenle birçok kalite değişkenini aynı anda izlemeye fırsat veren çok değişkenli istatistiksel proses kontrol yöntemlerinin uygulanmasının gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmalara ilave olarak tek değişkenli kontrol grafikleri kullanılarak uygulama yapılan çalışmalar da mevcuttur. Takip eden araştırmalar bu çalışmalara örnek verilebilir.

Pekmezci (2005), bir zeytinyağı fabrikasında tek değişkenli istatistiksel kalite kontrol yöntemlerinden Shewhart grafiklerini kullanarak üretilen zeytinyağının kalite düzeyini incelemeyi amaçlamıştır. Çalışmada zeytinyağında bir kalite göstergesi olarak kabul edilen asit başına fire oranındaki değişim incelenmiş ve bu değişim Shewhart grafiklerinden  $\bar{x} - s$  grafiği ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Günlük ve saatlik bazda çizilen grafiklerden prosesin asit başına fire oranı açısından istenen seviyede olmadığı görülmüş ve proseste problemlerin olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak; üretim prosesinin kontrol altında olup olmadığının analizinde ve prosesin nasıl bir yol izlediğinin ortaya konulmasında Shewhart grafiklerinin rahatlıkla uygulanabileceği ifade edilmiştir.

Yıldırım (2006), “toplam kalite yönetiminde istatistiksel süreç kontrolünün önemi ve bir demir döküm işletmesinde uygulama” isimli çalışmasında, proses kontrolünün üretim

sürecinin etkin olarak takip ve kontrol edilmesi amacıyla kullanılan en önemli yöntem olduğunu ve proses kontrolünün üretimdeki tüm parametreler için gerekli olduğunu belirtmiştir. Üretimde kullanılan kum değerleri üzerinde yapılan gaz geçirgenliği ile ilgili proses kontrol çalışmalarında spesifikasyon dışında kalan değerler tespit edilmiş ve düzeltici çalışmalar yapılarak sürecin kontrol altına alındığı görülmüştür. Proses kontrol çalışması sırasında kontrol tablolarından yararlanılmış olmasına rağmen, diğer yöntemlerin de yapılabilirliği test edilmiştir. Yalnız  $\bar{x} - R$  grafikleri değil, standart sapmanın sapmasız tahmini yöntemi kullanılarak da prosesin kontrol altına alınabileceği öngörülmüştür.

Elevli (2006), kontrol grafikleri kullanarak kömür üretim prosesini incelemiştir. Bu amaçla, bir işletmede kömür özelliklerindeki değişim  $\bar{x} - R$  kontrol grafikleri kullanılarak araştırılmıştır. Isıtma değeri, nem ve kül içeriği kömür özellikleri olarak dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, elde edilen kömürün kalite özelliklerinin değişkenlik gösterdiği, yani, stabil olmadığı belirlenmiştir. Ek olarak, üretim prosesinin kontrol altına alınmasıyla, başka bir deyişle, kömürün kalite özelliklerindeki değişkenliğin azaltılmasıyla fabrikanın verimliliği ve kömür üreticilerinin karının artırılabilmesi ifade edilmiştir.

Kasap (2006), Shewhart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerinin üretim sürecinde kullanımını bir şirket üzerinde uygulamalı olarak araştırmıştır. Çalışmanın amacı, şirketin eski paketleme makinasının seri üretime geçildiğinde kullanılıp kullanılmayacağını tespiti olarak ifade edilmiştir. Çalışmanın bir sonucu olarak şirketin seri üretim sürecine geçtiğinde, kullanmakta olduğu paketleme makinasının paketlenen ürünler üzerinde verdiği tahribat miktarlarının göz ardı edilebilecek kadar az olduğu görülmüştür. Buna göre şirketin kullanmakta olduğu paketleme makinasını seri üretim için de kullanmaya devam edebileceği sonucuna varılmıştır.

Motorcu ve Güllü (2006), orta ölçekli bir işletmede işleme prosesinde kaliteyle ilgili problemleri ortadan kaldırmak amacıyla istatistiksel proses kontrol yöntemlerinden  $\bar{x} - R$  grafiklerini kullanmıştır. Çalışma sonuçları, istatistiksel proses kontrol grafiklerinin kalite ile ilgili problemleri belirlemede etkili olduğunu ve bu yöntemlerin küçük ve orta ölçekli işletmelerde işleme prosesinde karşılaşılabilecek kalite ile ilgili problemleri çözmede etkili olabileceğini göstermiştir.

Akarsu (2012), “kalitenin iyileştirilmesinde istatistiksel proses kontrol tekniklerinin kullanılması ve çağrı merkezi uygulaması” adlı bir çalışma gerçekleştirmiştir. İstatistiksel proses kontrol yöntemlerinin uygulanması sayesinde kaçan çağrı oranında önemli oranda bir azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca, cevaplanan çağrıların bekleme süresinde de bir düşüş

sağlanmıştır. Sonuç olarak, istatistiksel proses kontrol tekniklerinin kullanılması ve bunun sonucunda sağlanan iyileştirmelerle çağrı merkezinde müşterilerin daha az bekletilerek işletme ile ilgili kalite algılarının olumlu etkilenmesine katkı sağlandığı bildirilmiştir.

Özçil (2014), Shewart, CUSUM ve EWMA kontrol grafiklerini bir bakır üretim işletmesinden elde edilen verilere uygulamıştır. Uygulama sonucunda farklı kontrol grafiği türlerinin farklı seviyelerde kıyaslanmasına olanak sağlanmış ve proses için uygun grafik önerisinde bulunulmuştur. Çalışmada, elde edilen veriler ortalamalar için değerlendirilmiş, ancak, sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla bu veriler değişim aralığı kontrol grafikleri kullanılarak da değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, örneklemelerin bağımsız oluşu ve paralel olarak işlem görmelerinden dolayı Shewart kontrol grafiklerinin kullanılmasının daha uygun olacağı ifade edilmiştir. Ek olarak, bakır sektöründe gerçekleştirilen bu proses kontrol çalışmasının işletme bazındaki uygulama çalışmalarına ve teorik çalışmalara katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Belirtilen çalışmalar dışında analiz edilecek olan proses yapısına göre çok değişkenli kontrol grafikleri kullanılarak uygulamalar yapılan çalışmalar da mevcuttur.

Özçomak (2004), “çok değişkenli istatistiksel proses kontrol metotları (Hotelling  $T^2$ , MCUSUM, MEWMA): döküm sanayinde bir uygulama” isimli bir çalışma yürütmüştür. Çalışma sonucunda, birden fazla kalite değişkenine sahip proseslerde, değişkenler arasında bir ilişki olduğunda prosesin incelenmesinde tek değişkenli kontrol grafiklerine kıyasla çok değişkenli kontrol grafiklerinin daha sağlıklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Gonzalez - De la Parra ve Rodriguez - Loaiza (2003), ilaç maddelerinin safsızlık profillerinin tutarlılığını analiz etmek için Hotelling  $T^2$  yöntemini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde, prosesin kontrol altında olduğu durumda prosesten çekilen veriler ile otokorelasyon ve çoklu doğrusallığın varlığı araştırılmıştır. İkinci aşamada ise prosesten tekrar çekilen veriler ile oluşturulan grafikte birçok gözlem noktasının kontrol limitinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bu noktadaki değişkenliğin nedenlerinin belirlenmesi amacıyla MYT ayrıştırma tekniği kullanılmış ve her kontrol dışı gözlem noktasının değişkenlik kaynağı ortaya konulmuştur.

Özel (2005), çok değişkenli kalite kontrolün bir pirinç döküm tesisinde uygulanması amacıyla Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerinden faydalanmıştır. Çalışmada, kalite değişkenleri olarak, pirinç içindeki elementlerin ağırlık cinsinden yüzde olarak değerleri kullanılmıştır. Prosesten toplanan veriler ile Hotelling  $T^2$  grafiği oluşturulmuştur. Hotelling  $T^2$  grafiğinde görülen sinyaller incelenmiş ve prosesi iyileştirme adına hata kaynakları MYT ayrıştırma

yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, çalışmanın benzer niteliğe sahip işletmelerde de uygulanabileceği belirtilmiştir.

Arıcıgil Çılan (2005), “çok değişkenli kontrol grafiklerinde varsayımların sağlanması ve cam sanayiinde bir uygulama” isimli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, çok değişkenli kontrol grafiklerinin doğru bir şekilde uygulanabilmesi için uygulamada çoğu zaman göz ardı edilen gözlem değerlerinin çok değişkenli normal dağılıma uygun olması, gözlem değerlerinin bağımsızlık göstermesi, varyans - kovaryans matrislerinin eşitliği ve otokorelasyon olmaması gibi varsayımların sağlanması gerektiği vurgulanmıştır. Sonuç olarak; belirtilen bu varsayımların sağlanması ile ulaşılan kontrol limitlerinin, varsayımlar ihmal edilerek hesaplanan kontrol limitlerinden çok az farklılık gösterdiği, ancak, bu küçük farklılıkların prosesin gerçek durumunun ortaya konulmasında etkin ve önemli olabileceği ifade edilmiştir. Özellikle mikron düzeyinde çalışılan bazı sektörlerde bu durumun daha da önemli olduğu ve bu küçük farklılıkların ürünün kalite düzeyini etkilediği belirtilmiştir.

Çetin ve Birgören (2007), çok değişkenli kalite kontrol yöntemlerinden Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğini bir pirinç döküm fabrikasında uygulamışlardır. Çalışmada, sürecin kontrol altında olduğu durum için toplanan çok değişkenli süreç verilerine dayalı olarak Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği çizilmiş ve daha sonra Faz II aşamasında grafik prostesten çekilen yeni gözlemlere uygulanmıştır. Faz II aşaması sonucunda kontrol dışına çıkan gözlem noktaları incelenmiş ve prosesin iyileştirilmesi adına hata kaynakları MYT ayırıştırma yönteminden yararlanılarak başarılı bir şekilde belirlenmiştir.

Ülen (2010), çok değişkenli kalite kontrolünün ilaç endüstrisine uygulaması üzerine bir çalışma yürütmüştür. Çalışmada ilaç endüstrisinde; ağır kesici tabletlerinin ağırlık, sertlik ve kalınlık özelliklerinin aralarındaki korelasyon dikkate alınarak çok değişkenli Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulmuştur. Faz I aşamasında alınan 50 gözlem için elde edilen referans veri kümesi temel alınarak Faz II aşamasında alınan 30 yeni gözlem için kontrol grafikleri çizilmiştir. İkinci aşamanın uygulanmasının ardından kontrol dışına çıkan gözlemler belirlenmiştir. Bu gözlemlere ait  $T^2$  değerleri MYT yöntemi kullanılarak analiz edilmiş ve hangi değişkenlerin kontrol dışı duruma katkısı olduğu belirlenmiştir.

Yılmaz (2012), “çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü: bir hastane uygulaması” adlı çalışmasında hastaneler için belirlenen kalite özelliklerinin birbirleri ile ilişkilerini dikkate alarak bir devlet hastanesinde sunulan hizmetin performansını izlemeyi, başka bir deyişle, sürecin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığını denetlemeyi ve kontrol dışında ise kontrol dışı duruma sebep olan kalite özelliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bu



amaçla, Hotelling  $T^2$  grafiği oluşturulmuş ve kontrol dışı olduğu tespit edilen gözlemlerin kaynağına inmek için MYT ayrıştırma yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak; Hotelling  $T^2$  grafiğinin ilgili hastanede sunulan hizmet performansını görüntülemeye başarılı bir yöntem olduğu tespit edilmiş ve Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde karşılaşılan sinyallere neden olan değişkenler MYT ayrıştırma yöntemi kullanılarak başarılı bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.

Eygü (2014), “çok değişkenli istatistiksel kalite kontrolünde sıralı küme örnekleme yönteminin kullanılması: çimento sanayinde bir uygulama” isimli çalışmasında; uç sıralı küme örnekleme, basit tesadüfi örnekleme, sıralı küme örnekleme ve medyan sıralı küme örnekleme yöntemleri ile örneklem olarak Hotelling  $T^2$  grafikleri oluşturmuş ve Hotelling  $T^2$  grafikleri yardımıyla örnekleme yöntemleri performansları açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca, simülasyon çalışması yapılarak örnekleme yöntemlerinin performansları Hotelling  $T^2$  kontrol grafikleri için belirlenen ortalama çalışma süresi bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, çok değişkenli proseslerde değişkenler arasında ilişki olduğunda, medyan sıralı küme örnekleme yöntemi ile örnekleme yapıp Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulduğunda kontrol dışı sinyal tespit edilirken diğer örnekleme yöntemlerinde tespit edilememiştir. Bununla beraber, ortalama çalışma süresi değerleri açısından karşılaştırma yapıldığında medyan sıralı küme örnekleme yöntemi ile örnekleme yapıldığında prosesdeki kaymanın diğer örnekleme yöntemlerine göre daha erken tespit edildiği görülmüştür.

Djekic vd. (2015), peynir kalitesini analiz etmek için Hotelling  $T^2$  istatistiksel proses kontrol yönteminin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, iki farklı peynir tipini çeşitli kalite özellikleri açısından kontrol grafikleri kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar; iki farklı peynir çeşidinin de araştırılan kalite özelliklerinin çoğunun istatistiksel olarak önemli değişkenlikler gösterdiğini ortaya koymuştur. Ulaşılan sonuçlar, ayrıca, istatistiksel proses kontrol grafiklerinin süt ürünlerinin kalite özelliklerini iyileştirmede önemli yararlar sağlayabileceğini göstermiştir.

Bazı çalışmalar ise tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol grafiklerinin bir prosese uygulanarak kıyaslamaların yapılmasını kapsamaktadır.

Abdollahian vd. (2000), tek değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel proses kontrol yöntemlerinin çelik endüstrisinde uygulanması üzerine bir çalışma yürütmüş ve ulaşılan sonuçları kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda çok değişkenli proses kontrol yöntemlerinin tek değişkenli yöntemlere kıyasla daha üstün olduğu ortaya konulmuştur.

Arıcıgil Çılan (2004), “çok değişkenli istatistiksel proses kontrolünde Hotelling  $T^2$  yaklaşımı ve imalat sanayinde bir uygulama” isimli çalışmasını cam ve cam ürünleri üreten

bir işletmede uygulamıştır. Söz konusu çalışmada, Hotelling  $T^2$  ve  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinin karşılaştırmalı analizi ile ulaşılan bulgulara göre, sadece  $\bar{x}$  grafiği kullanılarak yürütülen bir proses kontrolünün yetersiz sonuçlar verebildiği, yani incelenen örnek kontrol altında iken kontrol dışındaymış gibi görülebildiği veya tersi bir durumla karşılaşılabildiği görülmüştür. Özellikle, kalite değişkenleri arasında anlamlı ilişkiler söz konusu olduğunda bu grafiklerin kullanılmasının proses ile ilgili yanlış kararlar verilmesine neden olabildiği belirlenmiştir. Bu yüzden, çok değişkenli kontrol grafiklerinin kullanımı ile prosese daha hızlı müdahale edilebileceği, sorunun nedenlerinin hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebileceği ve böylece uluslararası pazarda rekabet edebilir yüksek kaliteli ürünler üretilabileceği vurgulanmıştır.

Doğruel (2010), tek değişkenli (I-MR) ve çok değişkenli (Hotelling  $T^2$ ) istatistiksel proses kontrol grafiklerini beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren bir işletmeden sağladığı verilere uygulamıştır. Çalışmanın sonucunda, tek değişkenli ve çok değişkenli grafiklerin karşılaştırılmasında en önemli noktanın, I kontrol grafiklerinde kontrol dışında gözükten bazı gözlemlerin, Hotelling  $T^2$  grafiklerinde kontrol altında olduğunun gözlenmesi olarak belirtilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin ihmal edildiği tek değişkenli grafiklerde prosese ait herhangi bir gözlemin gerçekte kontrol dışında değilken kontrol dışına çıkmış gibi veya kontrol dışında olan bir gözlemin ise kontroldeymiş gibi görülebildiği ve bu durumun da prosesin yanlış değerlendirilmesine neden olabildiği belirtilmiştir. Değişkenler arasındaki ilişkinin dikkate alındığı Hotelling  $T^2$  grafikleri kullanıldığında ise prosesin daha doğru bir şekilde değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.

Henning vd. (2014), bir çelik silindirin iç çapının işleme süreci için  $\bar{x} - s$  ve Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, iki yöntemin performansı benzer olarak belirlenmiştir. Ancak,  $\bar{x} - s$  kontrol grafiğinin operatörler tarafından kullanımının daha kolay ve yorumlanmasının da daha basit olduğu belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, uygulanan kontrol grafiklerinin şirkete süreç iyileştirme için gerçekleştirilen faaliyetler veya alınan önlemler ile ilgili kararları kolaylaştırma fırsatı sunduğu ortaya konulmuştur.

Orçanlı vd. (2018), döküm sanayisinde metal alaşım oranlarındaki değişimi Hotelling  $T^2$  ve MEWMA grafikleri ile izlemişlerdir. Yazarlar, çalışmalarında metal alaşımındaki elementleri kalite değişkenleri olarak kabul etmiş ve bu kalite değişkenlerini Hotelling  $T^2$  ve MEWMA grafikleri ile bir pirinç dökümü üretim sürecinde kontrol etmeye çalışmıştır. Sonuç olarak, döküm süreçlerinde çok değişkenli istatistiksel kontrol grafikleri kullanılarak gerçekleştirilen kalite kontrol uygulamalarında kalite değişkeni olarak sadece son ürünün özelliklerinde meydana gelen hataların değil, bununla birlikte, son ürünün elde edildiği

alaşımın kompozisyonlarındaki elementlerin oranlarının da olabileceği ve bu durumun pirinç alaşımı üretimi yapan süreçlere benzer alaşım üreten süreçlerde de kullanılabilmesi belirtilmiştir. Ayrıca, incelenen kalite değişkenlerinin Hotelling  $T^2$  ve MEWMA grafikleri ile izlenmesi sonucunda ulaşılan bulguların karşılaştırılması sonucu, kalite değişkenlerinde meydana gelen değişimin düşük seviyede olduğu ve döküm süreçlerinde değişim tespitinde Hotelling  $T^2$  yerine MEWMA grafiğinin kullanılmasının daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Kontrol grafikleri kullanılarak üretim proseslerinin kontrol altında olup olmadığının belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmalara ek olarak, bazı endüstrilerde proses yeterlilik analizi yardımıyla üretim proseslerinin tüketici spesifikasyonları içerisinde ürün üretme yetenekleri de araştırılmıştır.

Bostan (2010), istatistiksel proses kontrol tekniklerini kullanarak motor yenileştirme sürecinde hataları azaltarak işçilik ve malzeme kayıplarını düşürmeyi, proses yeterliliğini arttırmayı ve ek olarak istatistiksel proses kontrol tekniklerinin yenileştirme süreçlerinde de kullanılabilmesini göstermeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda, süreç iyileştirme ve kalite artırma amaçlı kullanılan proses kontrolü ile montaj ve yenileştirme faaliyetlerinde önemli bir iyileştirme sağlandığı ifade edilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçların hedeflenen amaca ulaşması noktasında yapılacak çalışmaların proses yeterlilik seviyesine ulaşıncaya kadar devam ettirilmesi, hedeflenen seviyeye ulaşıldıktan sonra da bu durumun korunması için kontrol grafiklerinin uygulanmaya konulması gerektiği ifade edilmiştir.

Kahraman vd. (2012), proses yeterlilik analizi kullanarak orta ölçekli bir döküm ve üretim işletmesinde tüm prosesi temsil eden iş parçalarından elde edilen ölçüm değerlerini analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, süreç kapasitesinin yetersiz olduğu ve seri üretimin dengesiz olduğu belirtilmiştir. Proses ortalamasını hedeflenen değere kaydırma ve proses değişimini azaltma yoluyla kalite seviyesini yükseltmek için mühendisler tarafından bazı adımlar atılması gerektiği ifade edilmiş ve ayrıca kalite iyileştirme için istatistiksel proses kontrol tekniklerinin sürekli olarak uygulanması gerektiği vurgulanmıştır.

Şahin (2013), bir tekstil işletmesinde üretilen ipliklerin kalite özelliklerinin tüketici spesifikasyonlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek amacıyla proses yeterlilik analizi kullanmıştır. Bu amaçla, üretim prosesinden örneklem boyutu (n) 5 ve örneklem sayısı 30 olan günlük ölçümlerden oluşan bir veri grubu elde edilmiştir. Proses yeterlilik indeksleri olarak  $C_p$  ve  $C_{pk}$  kullanılmış olup bu yeterlilik indeksleri için elde edilen değerler üretim prosesinin tüketici spesifikasyonlarını karşılamadığını, diğer bir deyişle, yeterli olmadığını

göstermiştir. Çalışma sonucunda, üretim prosesinde gerekli değişiklikler yapılarak prosesin belirlenen spesifikasyonlar içinde üretim yapmasının sağlanması gerekliliği vurgulanmıştır.

Rábago-Remy vd. (2014), gıda endüstrisinde işlenmiş ürünlerin net ağırlığı ile ilgili problemlerin görüldüğü konserve domates salçası dolmuş işlemine değişkenliği azaltmak için proses yeterliliğini de araştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yeterlilik analizinin sonuçları gözlemlerin önemli bir kısmının spesifikasyon limitlerinin dışında olduğunu ve prosesin arzu edilen yeterlilikte olmadığını göstermiştir.

Aydın ve Arıkan Kargı (2018), istatistiksel kalite kontrol tekniklerinin kullanımı ile otomotiv sektöründe bir uygulama çalışması gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, prosesden rassal olarak 5'er birimlik 25 örneklem çekilmiş, ardından verilere  $\bar{x}$  ve s grafikleri uygulanmış ve prosesin kontrolde olduğu ortaya konulmuştur. Üretim prosesinin performansını ölçmek amacıyla  $C_p$  ve  $C_{pk}$  proses yeterlilik indeksleri dikkate alınmıştır. Çalışma sonucunda ise işletmenin üretim prosesinde gerçekleştirecek olduğu düzeltici işlemlerle kontrol limitlerini daraltarak  $C_p$  ve  $C_{pk}$  değerlerinin 1.33'ün üzerine çıkmasını sağlayabileceği vurgulanmıştır.

Bu noktaya kadar değinilen çalışmalar tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ile ilgili bilgiler veren ve bu grafiklerin farklı endüstri dallarında proses kontrolü için uygulanması üzerine çalışmaları kapsamaktadır. Ek olarak, üretim proseslerinin bir bakıma tüketicilerin sesi olarak ifade edilen tüketici spesifikasyonları içerisinde ürün üretme yeteneklerini ölçen çalışmalara da değinilmiştir. Bu tez çalışmasında ise bir orman ürünleri işletmesinde tek ve çok değişkenli istatistiksel proses kontrol uygulaması ile birlikte proses yeterlilik analizi de yapılmasından dolayı, literatürde yer alan ve daha önce orman ürünleri sanayinde yapılmış olan tek ve çok değişkenli kontrol grafikleri ve proses yeterlilik analizi ile ilgili uygulama çalışmaları da araştırılmış ve aşağıda bazı örnek çalışmalara yer verilmiştir.

Ile (2014), bir orman ürünleri işletmesinde profil üretim sürecinde uygunsuz ürün miktarını azaltmak ve prosesi geliştirmek amacıyla proses yeterlilik analizini kullanmıştır. Prosesinin yeterli olup olmadığının ortaya konulması için  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indeks değerlerinden faydalanılmıştır. Analiz sonucunda, yeterlilik indeks değerleri 1.28 olarak bulunmuş olup bu durum çok kötü olarak nitelendirilmemekle beraber sistemin daha da geliştirilebileceği vurgulanmıştır.

Young vd. (1999), OSB ve MDF dikey yoğunluk profilini tek değişkenli Shewhart ve çok değişkenli Hotelling  $T^2$  grafiklerini kullanarak analiz etmişlerdir. Yazarlar, Shewhart grafiklerinin istatistiksel proses kontrolünün ana araçlarından birisi olmasına rağmen bu grafiklerin özellikle birbiriyle ilişkili birden fazla değişkene sahip proseslerde yanlış sinyal

oluşumuna yol açabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, çalışma sonucunda  $T^2$  istatistiğinin daha güçlü bir yöntem olduğu vurgulanmış ve yanlış sinyal miktarını azalttığı belirtilmiştir.

Gedik (2005), iki farklı orman ürünleri sanayi işletmesinde üretilen MDF'lerin eğilme direnci, yüzeye dik çekme direnci, kalınlık, yoğunluk, 24 saat suda bekletme ve kalınlığına şişme özelliklerini tek değişkenli  $\bar{x}$  grafiği kullanarak incelemiştir. Çalışmanın sonucunda, orman ürünleri endüstrisinde uygulamalı olarak gerçekleştirilen istatistiksel kalite kontrol ile ilgili çalışmaların işletmelere önemli ölçüde katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Özdamar (2006), “bulanık istatistiksel kalite kontrolü ve bir orman endüstrisi işletmesinde uygulama” isimli çalışmasında, etkili ve hızlı bir kalite kontrolü için bulanık mantık modeli kullanarak bulanık istatistiksel kalite kontrol grafikleri elde etmiştir. Bu amaçla, tek değişkenli  $\bar{x} - R$  kontrol grafiğinden faydalanılmıştır. Bulanık mantık modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar ile gerçek ölçümler arasında çok güçlü bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, çalışma sonuçlarına göre, kalite kontrolünde örnek alımı, örnek alma sıklığı, hatalı karar verme riski vb. önemli maliyetler oluşturan konular büyük oranda ortadan kaldırılmıştır ve daha duyarlı, hızlı ölçümler yapılabileceği, süreç hakkında daha sağlıklı bilgi elde edileceği ortaya konulmuştur.

Beytekin (2010), bir kağıt üretim sürecinde kaliteyi arttırmak amacıyla istatistiksel proses kontrol grafiklerini kullanarak prosesin kontrol altında olup olmadığını belirlemiş ve kaliteyi etkileyen değişkenleri araştırmıştır. Analiz aşamasında, bir kağıt fabrikasının verilerinden yararlanılmış ve prosesin kararlılığını test etmek için tek değişkenli  $\bar{x}$  ve çok değişkenli  $T^2$  kontrol grafikleri kullanılmıştır. Bu sayede, kontrol grafikleri kullanılarak belirlenen özel sebeplerin araştırılması ve ortadan kaldırılması ile kağıt üretim işleminin daha etkin bir biçimde gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Kurt (2018), istatistiksel proses kontrolünde Shewhart, CUSUM ve EWMA grafikleri ile yapay sinir ağlarının bütünleşik kullanımını bir orman endüstri işletmesinde uygulamalı olarak gerçekleştirmişlerdir. İşletmeden 6 ay boyunca yongalevhaya ait elastikiyet modülü, yüzeye dik çekme direnci, vida tutma kabiliyeti ve yüzey sağlamlığı verileri alınarak analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analiz ile yongalevhanın mekanik özelliklerinde kalitesizliğe yol açan faktörlerin belirlenerek uzaklaştırılması ve işletme için en uygun grafik türünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak, yongalevha üretim prosesinden alınan gözlem değerlerinin hem birbirine bağımlı hem de birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi fikrine varılmış ve bu nedenle de işletme için CUSUM ve Shewhart grafiklerinin birlikte kullanılması önerilmiştir. Ayrıca, yapay sinir ağlarının kullanımı ile gerçekleştirilen tahmin

sonucunda elde edilen düşük hata değerleri işletmede maliyetleri azaltma adına bazı kalite özelliklerinin ölçüme gerek kalmadan da tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Kontrol grafikleri herhangi bir proseste meydana gelebilecek değişimi tespit etmek için kullanılan istatistiksel araçlardır. Bir retim prosesinde üretilen ürünlerin belirlenen standartlardan sapması halinde prosese müdahale edilerek meydana gelebilecek kayıpların önlenmesi oldukça önemlidir. Bununla beraber, modern endüstriyel üretim proseslerinin de genellikle çok değişkenli olduğu ve bu değişkenlerin birbirleriyle ilişkili olabileceği bilinen bir gerçektir. Bu bakımdan, çoğu durumda, prosesi bir bütün olarak değerlendirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu bilgiler işığında, herhangi bir üretim prosesinin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığının belirlenmesinde tek ve çok değişkenli istatistiksel proses kontrol grafiklerinin birlikte kullanılmasının incelemeye konu prosesle ilgili daha doğru bir karar verme adına faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, yukarıda verilen literatür araştırmaları incelendiğinde özellikle orman ürünleri sanayinde istatistiksel proses kontrol grafikleri ve proses yeterlilik analizi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmaların sınırlı olduğu, hatta kapsamlı bir çalışmanın yürütülmediği görülmektedir.

Bu uygulama çalışması ile bir orman ürünleri işletmesinin MDF retim prosesinde dikkate alınan kalite değişkenlerinin ortalamalarındaki kayma seviyesini tespit edebilmek için tek değişkenli  $\bar{x}$  ve çok değişkenli Hotelling  $T^2$  grafiğinin kullanılması amaçlanmıştır. Çalışmanın bir başka amacı ise tek değişkenli R grafiği ile kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin değişim aralıklarındaki değişkenliği belirlemek ve Genelleştirilmiş Varyans grafiği ile de çok değişkenli gözlem vektörlerinin varyans yapısındaki değişkenlik düzeyini ortaya koymaktır. Ayrıca, MYT ayrıştırma yöntemi ile Hotelling  $T^2$  grafiğinde karşılaşılan sinyallere kalite değişkenlerinin katkısının belirlenmesi hedeflenmiştir. Son olarak; proses yeterlilik analizi kullanılarak proseste üretilen ürünlerin tüketicisi spesifikasyonlarını ne ölçüde karşıladığının ortaya konulması amaçlanmıştır. Böylece, bu çalışma ile bir orman ürünleri işletmesinde kapsamlı bir istatistiksel proses kontrol uygulaması gerçekleştirilmiş ve literatüre önemli bir katkı sağlanmıştır.

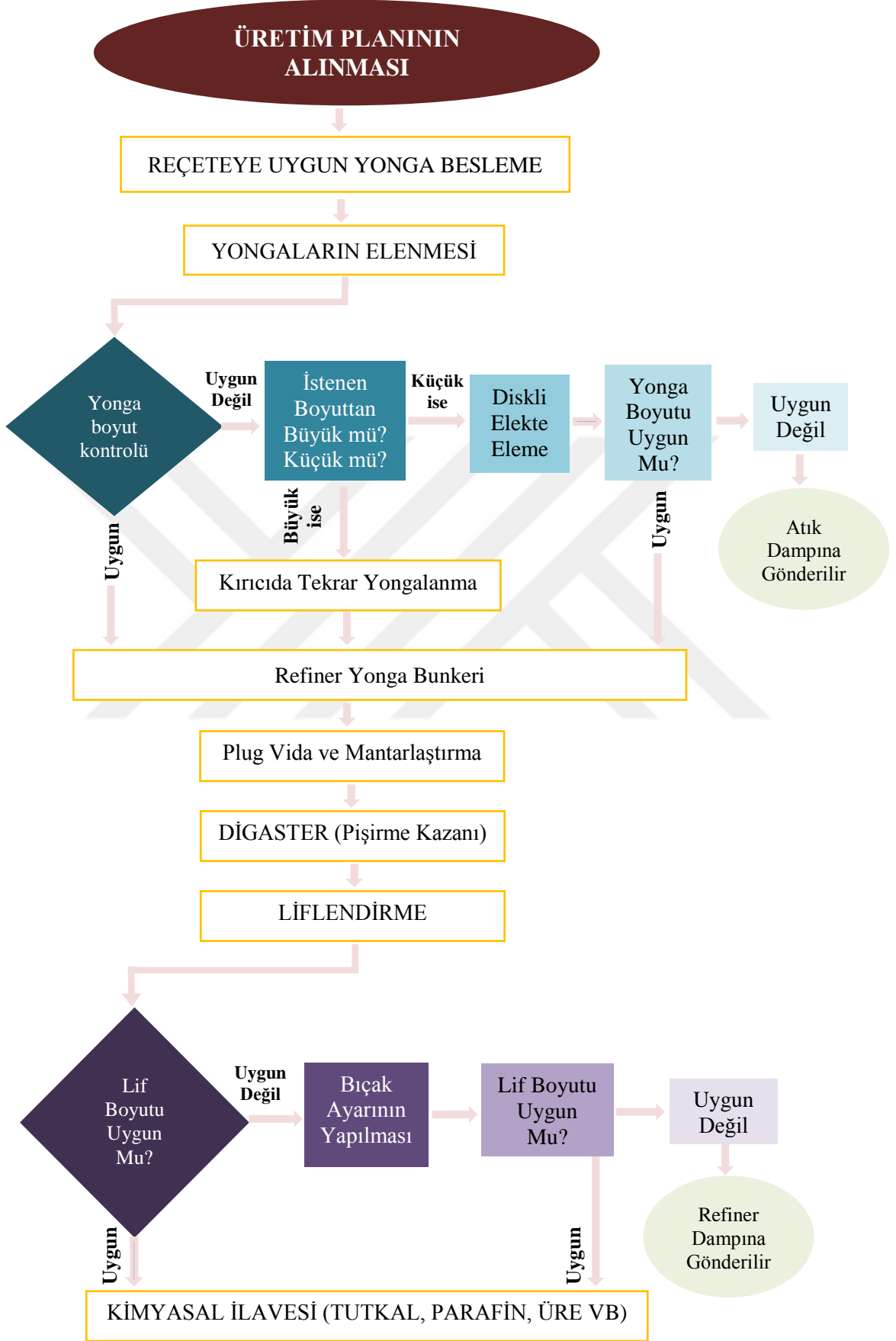
## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Materyal

Uygulama için seçilen işletme orman ürünleri sanayinde faaliyet göstermekte olup Adana'ya yaklaşık olarak 60 km mesafede 30 dekarlık bir arazi üzerinde 80.000 m<sup>2</sup> kapalı sahada kurulmuş olup yıllık yaklaşık olarak 500.000 m<sup>3</sup>'lük üretim kapasitesine sahiptir. İşletme, Türkiye'de olduğu kadar uluslararası pazarlarda da söz sahibi olmaya çalışmakta ve bu doğrultuda, üretmiş olduğu ürünleri çeşitli ülkelere ihraç etmektedir. İşletmede Türkiye ormanlarından ve yurt dışından temin edilen odun hammaddeleri kullanılmaktadır. Genel itibari ile daha çok çam türleri kullanılmakla beraber kayın ve okaliptüs türleri de üretimde kullanılmaktadır. Belirtilen bu ağaç türleri üretim prosesinde genellikle belirli oranlarda karışım halinde kullanılmaktadır.

Araştırma için seçilen işletme ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 10002 Müşteri Memnuniyeti Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi, ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi ve ISO 27001 Bilgi Güvenliği Yönetim Sistemi gibi birçok belgeye sahiptir. İşletme çevreye duyarlı bir üretim politikasına da sahip olup bünyesinde üretim atıklarını ısı enerjisine dönüştüren enerji kazanı, geçici atık depolama alanı, atık su arıtma ünitesi ve pres egzoz gazı yıkama hattı bulunmaktadır. Ek olarak, işletmede tutkal üretim bölümü de bulunmaktadır.

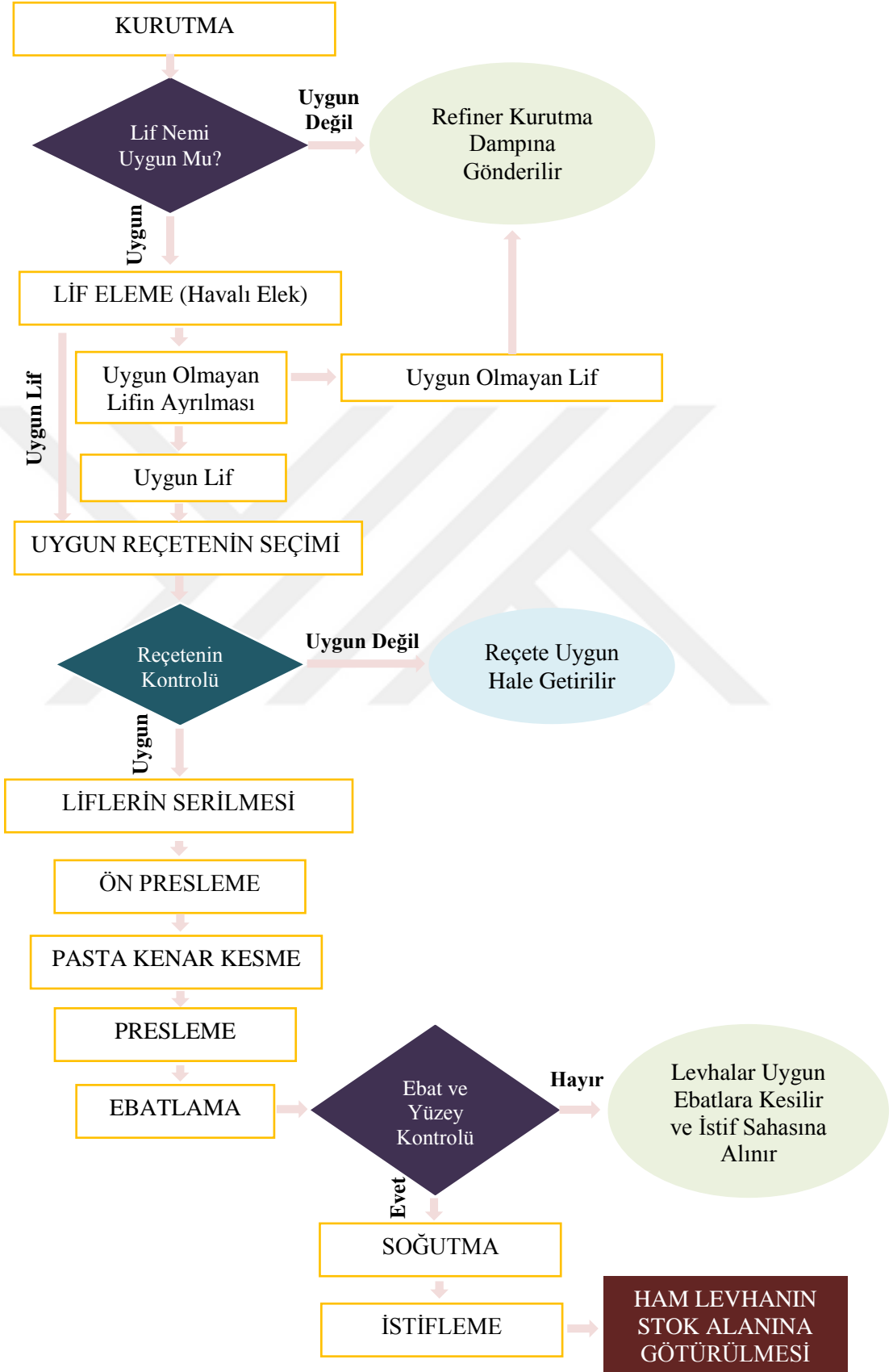
İşletmede yaklaşık olarak 35 mühendis ve 350 işçi olmak üzere toplamda 485 kişi çalışmaktadır. İşletme entegre bir tesis olup MDF, MDF-LAM, laminat parke ve profil gibi çeşitli odun kökenli ürünler üretmekle beraber üretim kapasiteleri açısından bakıldığında, MDF üretimi diğer ürünlere kıyasla daha büyük bir hacme sahiptir. Bu nedenle, çalışma kapsamında üretim prosesi değerlendirilecek olan ürün MDF olarak belirlenmiştir. Bunun önemli bir nedeni, odun hammaddesinin giderek azalması ve bunun yanında fiyatının artmasına bağlı olarak düşük değerdeki odun ve lignoselülozik hammaddelerin kullanımı ile üretilen MDF'ye olan talebin son yıllarda önemli bir artış göstermesi ve bu alanda üretilen kaliteli ürünlerin hem ulusal hem de uluslararası pazarlarda tercih edilmesidir. Bu durum, üretilen ürünlerde kalite kontrol uygulamalarının özenli bir şekilde yapılmasını gerektirmektedir. Şekil 13'de işletmede MDF üretiminde takip edilen iş akışı sunulmuştur.



Şekil 13. MDF üretiminde iş akışı



Şekil 13'ün devamı



Üretim prosesinde liflevha nem oranı, yaklaşık olarak % 5–7 arasındadır. Elde edilen lifler rutubetlerinin uzaklaştırılması amacıyla kurutmaya tabi tutulmakta ve yaklaşık olarak % 8–12'ye kadar kurutulmaktadır. Kurutulan lifler mekanik serme yapılmak suretiyle levha taslağı oluşturulmaktadır. Oluşturulan levha taslağının sıcak preslenmesi sonucu levhalar istenen kalınlığa getirilmektedir. Levhaların üretimi için katı madde oranı % 45 olan ve odun esaslı ürünlerin üretiminde oldukça sık kullanılan üre formaldehit tutkalı kullanılmaktadır. Üretilen levhaların hedeflenen yoğunluk değeri ise  $720 \text{ kg/m}^3$ 'tür.

Araştırma konusu işletmede MDF üretim hattında bulunan sonsuz pres kapasitesi yaklaşık olarak  $1500 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. İşletmenin üretim hattında çeşitli kalınlık ve boyutlarda farklı özelliklere sahip levha ürünleri üretilmektedir. Ancak, çalışmada elde edilecek olan sonuçların güvenilirliği açısından üretim prosesi araştırılan MDF'nin aynı özelliklere sahip levhalar olmasına özen gösterilmiş, diğer bir deyişle, levha türü sınırlandırılmıştır. Bu kapsamda, üretim hacmi en yüksek olan levha çeşidinin üretim prosesinin incelenmesine karar verilmiştir. Sonuç olarak, en çok üretimi yapılan 18 mm kalınlığında ve 2440 x 2800 mm boyutlarındaki levhalar üretim prosesi incelenecek levhalar olarak seçilmiştir.

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Kalite Değişkenlerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında, tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R grafikleri ile çok değişkenli Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiklerinin kullanımı ile orta büyüklükte bir orman ürünleri işletmesinde MDF üretim prosesinin kontrolde olup olmadığı incelenmiş ve proses yeterlilik analizi ile işletmenin tüketici spesifikasyonlarına uygun ürün üretme yeteneği araştırılmıştır. Kontrol grafiklerinin oluşturulması aşamasında öncelikli olarak incelenecek ürünün hangi kalite özelliğinin ele alınacağına karar verilmesi büyük önem taşımaktadır. Bilindiği üzere, bu grafikler genellikle ölçülebilen değerler için oluşturulan nicel kontrol grafikleri ve ölçülemeyen özellikler için oluşturulan nitel kontrol grafikleri olarak iki ana özelliğe göre elde edilmektedir. Bu doğrultuda, üretim prosesi incelenecek MDF'nin hangi kalite değişkenlerinin izleneceği önem kazanmaktadır. Çalışma kapsamında dikkate alınan kalite değişkenleri MDF'nin mekanik özellikleri veya diğer bir deyişle direnç özellikleri olarak belirlenmiştir. İşletmede direnç özellikleri olarak eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey sağlamlığı, yüzey vida tutma kabiliyeti, kenar vida tutma kabiliyeti ve çekme direnci

testleri gerçekleştirilmektedir. Yüzey sağlamlığı testi verilerin alındığı dönemde üretilen levhalara uygulanmaması nedeniyle ve çekme direnci ise bu test için levhadan alınan örnek sayısının diğer kalite değişkenlerinin test edilmesinde alınan örnek sayısı ile aynı olmaması nedeniyle kalite değişkeni olarak değerlendirilememiştir. Sonuç olarak; bu çalışma için belirlenen kalite değişkenleri üretim prosesini en doğru şekilde ortaya koyacağı düşünülen eğilme direnci ( $N/mm^2$ ), elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ), yüzey vida tutma kabiliyeti (N) ve kenar vida tutma kabiliyeti (N) olarak kararlaştırılmıştır. Belirlenen bu değişkenler üretilen MDF'lerin kalitesini belirlemede önemli bir etkiye sahiptir.

### 2.2.2. Örneklem Alma

Üretim prosesi ile ilgili güvenilir bilgi elde edebilmek için kalite kontrol grafiklerinin oluşturulmasında örnek boyutu ve sayısının doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak MDF üretim prosesinden örnekler çekilmiştir. Daha önce değinildiği gibi, kontrol grafiklerinin oluşturulmasında örneklem hacminin 5 ve örneklem sayısının 20 - 25 alınması yeterli görülmekle beraber özellikle çok değişkenli grafiklerin oluşturulmasında bu sayının artırılması önerilmektedir (Çetin ve Birgören, 2007). Çalışma kapsamında bu durum dikkate alınarak örneklem sayısı önerilen alt limitlerin üzerinde tutulmuştur.

Uygulamaya konu işletmenin üretim hattında günde üç vardiya üretim yapılmaktadır. İşletmede her bir vardiyada çoğu durumda iki adet MDF üretim hattından kalite kontrol testleri için çekilmektedir. Ancak, üretim prosesinden örneklem alınması bazı durumlarda değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin; üretimin bitmesi veya durması, üretim prosesinde çeşitli değişiklikler olması, üretim prosesinde bir takım problemlerle karşılaşılması, kalite değişkenleri ile ilgili gerçekleştirilen testlerde beklenmedik sonuçlarla karşılaşılması vb. durumlardan ötürü alınan levha sayısı her zaman iki olmayabilmektedir. Ancak, belirtilen bu durumlar istisnai durumlar olup, her şart ve durumda prosesten alınan örnek sayısı MDF üretim prosesi hakkında doğru bir fikir edinmek için literatürde ifade edilen alt limitlerin üzerinde tutulmuştur. Sonuç olarak; örneklem alma süreci üretim gerçekleştirildiği süreçte günün her vardiyasında üretim prosesinin incelenmesine karar verilen levhaların üretildiği 01.02.2017 - 31.05.2017 arasındaki 4 aylık süreci kapsamaktadır. Bu periyotta, farklı tür levha üretiminin araya girmesi, üretimin durması gibi nedenlerden dolayı üretim prosesinin incelenmesine karar verilen levha sürekli olarak üretilmemiştir. Üretildiği süreçte ise bazı

durumlarda elde edilen veriler değerlendirmeye alınmamıştır. Bu durumları aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

İşletme kalite ekibi ile yapılan kapsamlı değerlendirmeler sonucu bazı durumlarda kalite değişkenlerine ait verilerin kayıt edilmesinde yanlışlık yapıldığı ve bazı durumlarda ise eksiklik yapıldığı kanaatine varılmıştır. Bu durumla ilgili olarak 20.03.2017 tarihinde 08:00-16:00 vardiyasında 1 adet, 02.05.2017 tarihinde 24:00-08:00 vardiyasında 2 adet ve 19.05.2017 tarihinde 24:00-08:00 vardiyasında 1 adet olmak üzere toplam 4 adet levha hatalı veri girişinden dolayı ve 25.03.2017 tarihinde 08:00-16:00 vardiyasında 1 adet levha ise eksik veri girişinden dolayı olmak üzere, bu süreçte her iki durum için toplamda 5 adet levhaya ait veriler üretim prosesinin yanlış yorumlanmasına neden olabileceğinden dolayı değerlendirme dışında tutulmuştur. Sonuç olarak, Şubat 2017- Mayıs 2017 arasındaki 4 aylık süreçte belirlenen levha boyutu için üretim prosesinin değerlendirilmesi amacıyla dikkate alınan dört kalite değişkeninin her biri için her biri 5 gözlem değeri içeren 137 adet veri grubu elde edilmiştir.

### **2.2.3. Kalite Değişkenlerine Ait Testlerin Yapılışı**

İstatistiksel proses kontrol grafiklerinin oluşturulabilmesi için daha önce tespit edilen kalite değişkenlerine ait veriler elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yukarıda sayılan durumlar dışında her vardiyada üretim sırasında sonsuz banttın levhalar alınmış ve alınan bu levhalardan eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey ve kenar vida tutma kabiliyeti için deneysel örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanması için gerçekleştirilen kesme işleminde karşılıklı kenarların paralel, komşu kenarların dik ve tüm kenarların düzgün olmasına özen gösterilmiştir. Bununla beraber, levha boyuna veya akış yönünde direnç değerleri çok değişmezken levha genişliği yönünde bu değerler daha fazla değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, kesim planında levha kesme işleminin enine yönde yapılmasına özen gösterilmiş ve belirtilen testler enine yönde dağıtılmıştır.

Prosesten çekilen levhalar kullanılarak kalite kontrol laboratuvarında eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti testlerini gerçekleştirmek için her levhadan 5'er adet örnek hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanması amacıyla oluşturulan kesim planı Şekil 14'de verilmiştir. Tüm bu deneysel faaliyetler araştırmaya konu olan işletmenin kalite kontrol laboratuvarında bulunan 10 ton kapasiteli IMAL IB 600 test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2440 LEVHA KESİM PLANI																																																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45										
5 x a					5 x a					5 x a					5 x a					5 x a					5 x a					5 x a																								
<b>Deney Türü</b>															<b>Örnek Boyutu</b>															<b>Örnek No</b>																								
Yüzey Vida Tutma Kabiliyeti Deneyi															5 x 5															2 - 12 - 22 - 32 - 42																								
Kenar Vida Tutma Kabiliyeti Deneyi															5 x 5															3 - 13 - 23 - 33 - 43																								
Eğilme Direnci Deneyi															5 x a															1 - 2 - 3.....																								
Elastikiyet Modülü Deneyi															5 x a															1 - 2 - 3.....																								
a = 20b + 50, b = Kalınlık (mm)																																																						
																																			<b>ÜRETİM YÖNÜ</b>																			

Şekil 14. 18 x 2440 x 2800mm boyuta sahip MDF'lerin kesim planı ve test örneklerinin elde edilişi

Kalite kontrol laboratuvarında gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar standart ve spesifikasyonlarda yer alan değerlerle karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılmaktadır. Tablo 2, 12 – 19 mm kalınlıklarda üretilen levhaların eğilme direnci ve elastikiyet modülü ile ilgili olarak farklı kullanım şartlarında taşınması gereken en düşük değerleri vermektedir.

Tablo 2. Farklı şartlarda kullanılacak levhalar için standart değerler (TS EN 622-5, 2011)

Levha Kullanım Şartları	Kalite Değişkeni	Direnç Değeri (N/mm <sup>2</sup> )	Levha Kalınlığı (mm)
<b>Kuru Şartlarda Kullanılacak Genel Amaçlı Levha</b>	<b>Eğilme direnci</b>	<b>20</b>	12 – 19
	<b>Elastikiyet modülü</b>	<b>2200</b>	
Nemli Şartlarda Kullanılacak Genel Amaçlı Levha	Eğilme direnci	24	
	Elastikiyet modülü	2400	
Kuru Şartlarda Kullanılacak Yük Taşıyıcı Levha	Eğilme direnci	25	
	Elastikiyet modülü	2500	
Nemli Şartlarda Kullanılacak Yük Taşıyıcı Levha	Eğilme direnci	30	
	Elastikiyet modülü	2700	

Yüzey ve kenar vida tutma kabiliyetleri ile ilgili standartta (TS-EN 320) herhangi bir değer verilmemesi nedeniyle Tablo 2’de bu değişkenler hakkında bir değer verilmemiştir. Endüstriyel ürün üreten birçok işletmede olduğu gibi bu çalışmada araştırmaya konu olan işletmede de standartları sağlamak önemli olmakla birlikte çoğu zaman tüketici isteklerini de göz önüne alarak belirlenen spesifikasyonlara dayalı olarak üretilen levhalar hakkında bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu doğrultuda, şu anki çalışmada, standartlar da dikkate alınmakla beraber, kalite değişkenlerine ait verilerin değerlendirilmesinde ana parametre işletmenin her bir değişken için belirlemiş olduğu spesifikasyonlar olmuştur.

### 2.2.3.1. Eğilme Direnci ve Elastikiyet Modülü Testlerinin Yapılışı

Eğilme direnci testleri, TS-EN 310 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Testlerde örnek boyutları 20k + 50mm olarak alınmıştır. Eğilme direnci testlerinin gerçekleştirilmesi için her bir levhadan hazırlanan 5’er adet deneysel örnek genişlikte yükün uygulanacağı yaklaşık bir noktadan, kalınlıkta ise yüklemenin yapıldığı hat üzerinde noktadan ölçülerek

ortalaması alınmıştır. Elastikiyet modülü testleri de aynı şekilde TS-EN 310 standartlarına uygun olarak yürütülmüştür. Testlerde kuvvet deney boyunca sabit bir hızla uygulanmış ve yükleme başlığının hızı en büyük kuvvete  $60 \pm 30$  saniyede ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 15’de eğilme direnci ve elastikiyet modülü için kullanılan test örnekleri ve testlerin gerçekleştirilme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 15. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü test örneği ve testin gerçekleştirilmesi

Her bir deneysel örneğin eğilme direnci eşitlik 109’a göre hesaplanmıştır.

$$E_d = \frac{3 \times F_{\max} \times L}{2 \times b \times t^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (109)$$

Deneysel örneklerin elastikiyet modülü ise eşitlik 110’a göre hesaplanmıştır.

$$E_m = \frac{L^3 \times (F_2 - F_1)}{4 \times b \times t^3 \times (a_2 - a_1)} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (110)$$

Eşitlik 109 ve 110’da;

$E_d$  = Eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>)

$E_m$  = Elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\max}$  = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

$L$  = Dayanakların eksenleri arasındaki mesafe (mm)

$b$  = Deney numunesinin genişliği (mm)

$t$  = Deney numunesinin kalınlığı (mm)

$F_2 - F_1 =$  Yük-sehim diyagramı oranlılık bölgesindeki kuvvet artışı

$a_2 - a_1 =$  Kuvvet artışı nedeniyle deney parçası uzunluğunun ortasında meydana gelen sehim artışıdır.

### 2.2.3.2. Yüzey ve Kenar Vida Tutma Kabiliyeti Testlerinin Yapılışı

Eğilme direnci ve elastikiyet modülü kalite değişkenlerine ait testlerde olduğu gibi yüzey ve kenar vida tutma kabiliyeti değişkenlerine ait değerleri elde etme adına her bir deneysel örnek için testler gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler kaydedilmiştir. Test örneklerinin vida tutma kabiliyetlerinin belirlenmesi TS EN 320 liflevhalarda vida tutma kabiliyeti tayini standardına göre yapılmıştır. Vida tutma kabiliyeti değerlerini elde etmek için 50 x 50 mm ölçülerinde hazırlanan test örnekleri kullanılmıştır. Yüzey ve kenar vida tutma kabiliyetlerinin belirlenmesinde deneysel örnekler  $2.7 \pm 0,1$  mm tıg ile delinmekte ve 4.2 x 38 mm vida ile vida tutma aparatı örneklere matkap yardımı ile sabitlenmektedir. Daha sonra, IMAL IB 600 test cihazında vida programı açılmakta, kenar ve yüzey olmak üzere aparatlar test cihazına takılarak vida deney parçasından tamamen çıkıncaya kadar  $10 \pm 1$  mm/dakika hızla vida çekme işlemi yapılmaktadır. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü değişkenlerine ait testlerde olduğu gibi kullanılan test cihazı yüzey ve kenar vida tutma kabiliyetlerine ait değerleri kayıt altına almaktadır.

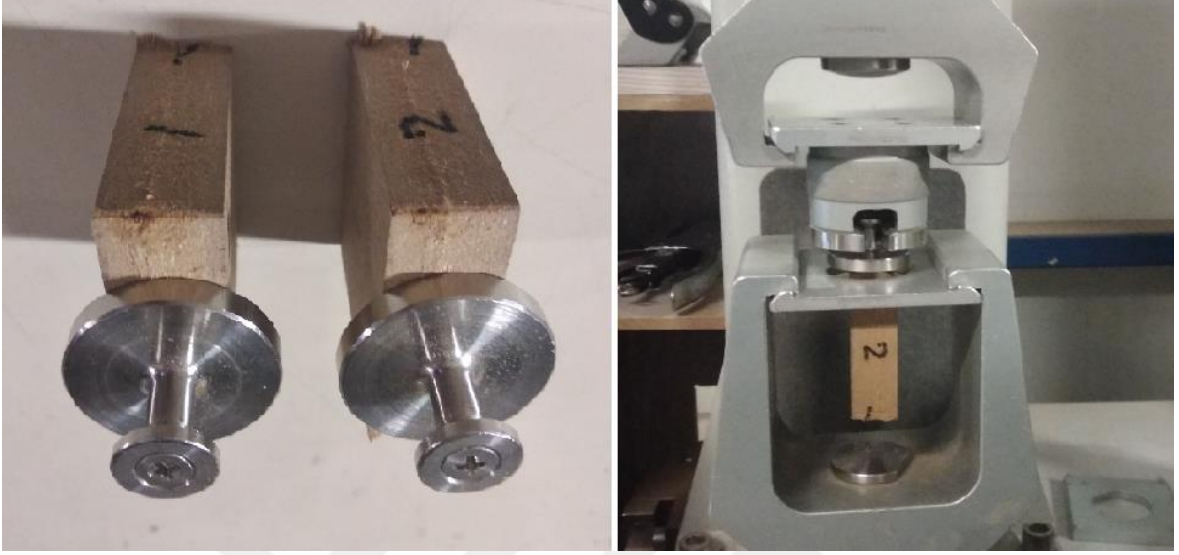
Şekil 16'da yüzey vida tutma kabiliyeti için test örneklerinin hazırlanması ve testlerin gerçekleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 16. Yüzey vida tutma kabiliyeti test örneği ve testin gerçekleştirilmesi



Şekil 17' de kenar vida tutma kabiliyeti için test örneklerinin hazırlanması ve testlerin gerçekleştirilme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 17. Kenar vida tutma kabiliyeti test örneği ve testin gerçekleştirilmesi

Kalite değişkenleri ile ilgili gerekli değerler elde edildikten sonra kontrol grafikleri için gerekli olan ön çalışmaların yapılması aşamasına geçilmiştir.

## 2.2.4. Kontrol Grafikleri ile İlgili Uygulamalar

### 2.2.4.1. Varsayımların Gözlem Değerlerine Uygulanması

Kontrol grafikleri kullanılarak üretim prosesinin analizi öncesi kalite değişkenlerine ait veriler doğrusallık, normallik, varyans kovaryans matrislerinin eşitliği ve otokorelasyon açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler arasında var olabilecek ilişkilerin tespiti amacıyla korelasyon analizinden yararlanılmıştır. Bu analiz SPSS (Statistical Package for the Social Science) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, analiz sonucunda % 5'in altında bir anlamlılık seviyesine sahip olan kalite değişkenleri arasında anlamlı ilişkilerin var olduğu kabul edilmiştir.

Veriler arasındaki ilişkilerin tespiti sonrasında verilerin normal dağılıp dağılmadığı da araştırılmıştır. Gözlem verilerinin normal dağılıp dağılmadığının araştırılması amacıyla SPSS'te Kolmogorov - Smirnov testi gerçekleştirilmiş ve verileri aynı zamanda görsel

olarak değerlendirmek için Minitab yazılımı kullanılarak normal dağılım olasılık grafikleri veya Q-Q grafikleri oluşturulmuştur. Tek değişkenli normal dağılımın araştırılmasında da anlamlılık düzeyi % 5 alınmış ve bu değer üzerinde bir anlamlılık seviyesine sahip kalite değişkenlerinin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Çok değişkenli normallik varsayımının incelenmesi için ise Mahalanobis uzaklığına dayalı testlerden yararlanılmıştır. Bu amaçla, SPSS yazılımı ile Mahalanobis değerleri hesaplanmış ve bu değerler sıralanarak her bir Mahalanobis değerine karşılık gelen Ki-kare ( $x^2$ ) değerleri elde edilmiştir. Sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasındaki ilişkinin gücünü görebilmek için Excel yazılımından faydalanarak serpilme grafiği oluşturulmuş ve SPSS yazılımı kullanılarak korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda ilişki düzeyinin yüksek olması çoklu normal dağılım varsayımının sağlandığını göstermektedir.

Varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği başka bir ifadeyle eş-varyanslık varsayımını test etmek amacıyla SPSS yazılımı kullanılarak literatürde bu amaç için yaygın olarak kullanılan Box's M testi gerçekleştirilmiştir. Öte yandan, literatürde varyans-kovaryans matrislerinin eşitliğini araştıran testlerin normallikten ayrılışlara karşı oldukça duyarlı olduğu ifade edilmiş (Alpar, 2013), bu nedenle bu test normalliğin araştırılması sonrası gerçekleştirilmiştir. Box's M testinin uygulanması sırasında dikkate alınan anlamlılık seviyesi % 5 olup test sonucu elde edilen değer bu değerden daha büyük olması verilerin varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği varsayımını sağladığı şeklinde değerlendirilmiştir.

MDF üretim prosesine ait veriler son olarak otokorelasyon açısından incelenmiştir. Bu amaçla, Minitab yazılımı kullanılarak tüm kalite değişkenleri için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler veya korelogramlar otokorelasyon katsayıları ve gecikme değerlerinin karşılıklı olarak işaretlenmesiyle elde edilmiştir. Değişkenler için oluşturulan otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiklerinde anlamlı otokorelasyon katsayılarının var olup olmadığı hem görsel olarak hem de Box-Ljung istatistiği tablosundaki anlamlılık değerleri açısından değerlendirilmiştir. Gözlem değerlerinde otokorelasyon mevcut olup olmadığının araştırılmasında kullanılan anlamlılık değeri % 5 olarak seçilmiştir. Öte yandan, literatürde gerçekleştirilen birçok çalışmada, otokorelasyonun araştırılmasında dikkate alınan gecikme sayısı veya gecikme uzunluğunun genel olarak kullanılan gözlem sayısının dörtte biri olarak ayarlanmasının uygun olduğu ifade edilmiştir (Horosan, 2011; Durmuş ve Uyğun, 2017). Bu nedenle, gerçekleştirilen analizlerde Faz I 50 veri içerdiğinden bu aşamadaki veriler için gecikme sayısı 13 alınmış, RVK ise 28 veri içerdiğinden bu veriler için ise gecikme sayısı 7 olarak alınmıştır. Ayrıca,

otokorelasyon grafiklerinin oluşturulmasında yararlanılan Minitab yazılımı da gecikme sayısını kullanılan gözlem sayısının dörtte biri olarak hesaplamaktadır.

#### **2.2.4.2. Kontrol Grafiği Seçimi**

Kontrol grafikleri, kontrol edilecek kalite değişkeninin sayısına göre tek değişkenin incelendiği tek değişkenli kontrol grafikleri ve birden fazla değişkenin eş zamanlı olarak incelendiği çok değişkenli kontrol grafikleri olarak sınıflandırılmaktadır. Tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol grafikleri uygulamada bir takım farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılık tek değişkenli kalite kontrol grafiklerinde incelenen kalite değişkenlerinin kontrol altında olup olmadığının tek tek araştırılmasından, çok değişkenli grafiklerde ise grafiğin tüm değişkenlerden elde edilen ortak bir değer için oluşturulmasından kaynaklanmaktadır.

İfade edilen bu bilgiler ışığında çalışma kapsamında, tek değişkenli Shewhart kontrol grafiklerinden ortalama ( $\bar{x}$ ) ve değişim aralığı (R) ve çok değişkenli kontrol grafiklerden ise Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans grafikleri kullanılarak incelenen değişkenler açısından MDF üretim prosesinin kontrol altında olup olmadığı araştırılmıştır. Böylece, çok değişkenli kalite kontrol araçlarından biri olan ve kalite değişkenlerine ait gözlemlerin ortalama vektörlerindeki kaymaları veya değişkenliği aynı anda izlemeye imkan sağlayan Hotelling  $T^2$  grafiği, çok değişkenli gözlem vektörünün varyans yapısındaki değişkenliği izlemeye fırsat veren Genelleştirilmiş Varyans grafiği ve kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin ortalama ve değişim aralıklarındaki değişkenliğin tek değişkenli grafiklerde gösterimini sağlayan  $\bar{x}$  ve R grafiklerinin performansları orman ürünleri sanayinde faaliyet gösteren bir işletmede gerçekleştirilen bir uygulama ile ortaya konulmuştur. Tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol grafiklerinin oluşturulmasında Minitab yazılımı kullanılmıştır.

#### **2.2.4.3. Seçilen Kontrol Grafiklerine Ait Bazı Özellikler**

$\bar{x}$  ve R grafikleri, proses ortalamasının ve proses değişkenliğinin kontrol altında olup olmadığını tespit etmek için kullanılan tek değişkenli istatistiksel proses kontrol grafikleri olarak bilinmektedir. Bu çalışmada,  $\bar{x}$  kontrol grafiği ortalamadan sapmaları belirlemek, R kontrol grafiği ise araştırılan kalite özellikleri ile ilgili gözlemlerin değişim aralıklarındaki

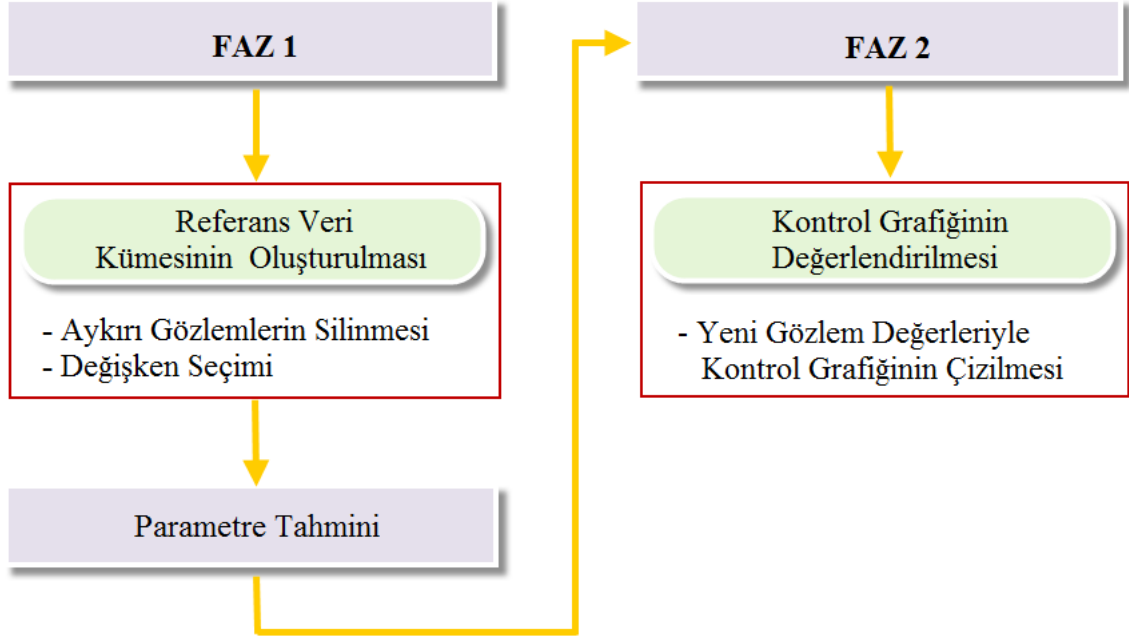
değişkenliği ortaya koymak için kullanılmıştır. Bu sayede, MDF üretim prosesi ile ilgili kalite karakteristiklerine ait değişkenlikleri etkin olarak ortaya çıkarmak amaçlanmıştır.

$\bar{x}$  ve R grafiği tek değişkenli bir kontrol grafiği olup bu tip grafiklerde değişkenler arasındaki ilişkiler ihmal edilmektedir. Bu durum önemli bir eksiklik olarak görülmektedir. Hotelling  $T^2$  grafiklerinde ise değişkenler arasındaki ilişkiler de dikkate alınmakta ve elde edilen grafikler ile herhangi bir prosese ait değişkenler eş zamanlı olarak incelenebilmekte ve böylece proseste gözlemlenen değişiminin bütünsel bir resmi ortaya konulabilmektedir (Tracy vd., 1992; Gonzalez-de la Parra ve Rodriguez-Loaiza, 2003). Bu avantajlarından dolayı, MDF üretim prosesine ait kalite değişkenleri çok değişkenli Hotelling  $T^2$  grafiği ile de incelenmiştir. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği çok değişkenli gözlem vektörlerinin varyans yapısındaki değişkenliği izlemek amacıyla kullanılan Genelleştirilmiş Varyans grafiği ile beraber kullanılmış ve böylece çok değişkenli gözlemlerin sadece ortalama vektöründeki değişim değil, aynı zamanda varyans yapısındaki değişim de araştırılmıştır. Belirtilen çok sayıda avantajına rağmen, proseste oluşabilecek bir sinyalin pratik olarak yorumlanmasının zor oluşu Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin önemli bir eksikliği olarak göze çarpmaktadır. Bu eksikliğin Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin proseste ortaya çıkan kontrol dışı durumun hangi kalite değişkeni ya da değişkenlerinden kaynakladığını direkt olarak belirtmemesinden kaynaklandığı ifade edilmiştir (Mason vd., 1997).

#### 2.2.4.4. Kontrol Grafiklerinin Tasarlanması ve Prosese Uygulanması

MDF üretim prosesinin incelenmesi için kullanılacak kontrol grafiklerinin tespiti sonrasında prosesten elde edilen veriler kullanılarak grafiklendirme aşamasına geçilmiştir.  $T^2$  istatistiğinin grafiklendirilmesi Faz I ve Faz II olmak üzere iki aşamada ele alınmıştır. Literatürde,  $T^2$  istatistiğinin hem Faz I hem de Faz II durumları için kullanılabileceği ifade edilmiştir (Yang ve Trewn, 2004; Montgomery, 2009).  $\bar{x}$  ve R kontrol grafiklerinde ise Faz I aşaması uygulanmayıp Faz II aşaması için kontrol limitleri Hotelling  $T^2$  grafikleriyle elde edilen RVK'ya ait veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Montgomery (2009),  $\bar{x}$  grafikleri ile ilgili olarak,  $m \geq 20$  veya 25 ön örneklem kullanıldığında Faz I ve Faz II limitlerinin neredeyse çakışacağı varsayıldığından Faz I ve Faz II limitleri arasındaki farkın genellikle gereksiz olduğunu ifade etmiştir.

Şekil 18'de Hotelling  $T^2$  grafiğinin oluşturulması sürecinde yürütülen Faz I ve Faz II aşamalarının özeti verilmiştir.



Şekil 18. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde Faz I ve Faz II aşamaları (Talib vd., 2014)

I. aşamada kontrol durumundaki gözlemlere ait bir veri kümesi oluşturulur. Yani, ana kütle parametrelerinin bilinmediği durumda bu parametrelerin gerekli olan varsayımları sağlayan ve aykırı gözlem içermeyen bir veri setinden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu veri seti genellikle Referans Veri Kümesi (RVK) olarak adlandırılmaktadır. Bu aşamadaki ana amaç ise ilk kontrol limitlerini tespit etmek için bir temel oluşturmak ve bilinmeyen parametreleri tahmin etmektir. Başka bir deyişle, Faz II aşaması için çizilecek olan kontrol grafiklerinin tasarım parametrelerini belirlemektir. RVK'nın oluşturulması prosesin doğru olarak incelenebilmesini sağlayan önemli bir adım olarak kabul edilmektedir (Mason vd., 2003; Yang ve Trewen, 2004).

Faz II,  $T^2$  istatistiği için grafik oluşturulması aşamasıdır. Bu aşama, prostesten çekilen yeni gözlem değerlerinin Faz I'deki bulgulara uygunluğunun araştırılması olarak kabul edilmektedir (Tracy vd., 1992; Mason ve Young, 2002). Faz II aşamasında, RVK'dan elde edilen kovaryans matrisi ve proses ortalama vektörü yeni gözlem değerlerinin test edilmesi amacıyla kontrol sınırlarını hesaplamak için kullanılmaktadır (Tracy vd., 1992; Gonzalez-De la Parra ve Rodriguez-Loaiza, 2003; Jensen vd., 2007 ).

Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin Faz I aşaması olarak bilinen RVK'nın elde edilmesi aşamasında kontrol dışı gözlemler belirlenerek gözlem grubundan atılmış ve elde edilen RVK parametrelerine dayalı olarak  $T^2$  grafiğinin ÜKL hesaplanmıştır. Bununla beraber,  $T^2$

istatistiğinin farklı olasılık fonksiyonları mevcut olduğundan ÜKL'nin hesaplanması Faz I ve Faz II aşamaları için değişiklik gösterebilmektedir. Hotelling  $T^2$  grafiğinin ÜKL,  $n > 1$  durumunda hem Faz I hem de Faz II aşaması için genellikle tercih edilen F dağılımına göre hesaplanmıştır. Hotelling  $T^2$  grafiğinin çizim aşamasında kontrol sınırlarından sadece ÜKL çizilmekte, AKL sıfır noktasına yerleştirilmektedir. Bu çalışmada, Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği varyans kovaryans matrisindeki değişimleri ortaya koyan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği ile birlikte kullanılmıştır.

#### 2.2.4.5. Kontrol Dışı Gözlemlerin Tespiti ve Yorumlanması

Kalite kontrol grafiklerinin yorumlanmasındaki temel amaç; proses ortalamasının ve değişiminin sabit bir seviyede olup olmadığının tespit edilmesi ve proses ortalamasındaki sapmaların ortaya konularak bunları ortadan kaldırma adına gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olacak bir ortamın oluşturulmasıdır (Işığışık, 2012).

Tek değişkenli istatistiksel proseslerde tek bir değişken ele alınmakta, bu değişkenin diğer değişkenlerle ilişkisi ihmal edilmekte ve kontrol dışında bulunan gözlemlerin yorumu daha kolay olmaktadır (Ülen, 2010). Sonuç olarak; genel bir yorum yapmak gerekirse, tek değişkenli kontrol grafiklerinde kontrol grafiği üzerinde işaretlenen noktaların, hesaplanan kontrol limitlerinin dışına çıkması kontrol dışı bir durum olarak kabul edilmekte ve kontrol dışı duruma neden olan nedenlerin araştırılması yoluna gidilmektedir.

Çok değişkenli kontrol grafiklerinde sadece ÜKL'nin bulunmasından dolayı kalite değişkenlerine dayalı olarak elde edilen değerlerin ÜKL'nin altında kaldığı sürece prosesin kontrol altında olduğu kabul edilmektedir. Bir veya daha fazla gözlem vektörü ÜKL'yi aştığında prosesin özel sebeplerin varlığından dolayı kontrol dışına çıkmış olduğu yönünde yorum yapılmaktadır. Bu gibi bir durumda, söz konusu özel sebeplerin neler olabileceği ile ilgili bir inceleme yapılması gerekmektedir.

Tek değişkenli proseslerin aksine, çok değişkenli proseslerde kontrol grafiklerinin kullanılmasında karşılaşılan önemli bir problem proseste meydana gelebilecek bir sinyalin yorumlanmasının zor olmasıdır. Bu gibi çok değişkenli proseslerde kalite değişkenlerinden hangisi ya da hangilerinin kontrol dışı duruma neden olduğunu tespit etmek oldukça güçtür (Mason vd., 1997). Çok değişkenli proseslerde kontrol dışı gözlemlerin yorumlanması ile ilgili problemin çözülmesi amacıyla bazı çalışmalar yapılmış, bu kontrol dışı gözlemlerin yorumlanmasının zorluğundan bahsedilmiş ve bu sorunun üstesinden gelme adına çeşitli

yöntemler ortaya atılmıştır. Bu yöntemler arasında Mason vd. (1995) tarafından geliştirilen MYT ayrıştırma yöntemi,  $T^2$  istatistiğini bağımsız parçalara ayırarak proste oluşabilecek kontrol dışı gözlemlerin yorumlanmasına olanak sağlamaktadır. Yürütülen bu çalışmada da Minitab yazılımı kullanılarak kontrol dışı sinyale incelenen kalite değişkenlerin katkıları belirlenmiştir. Bununla beraber, her bir sinyale en fazla katkısı bulunan değişkenler Şekil ve Tablo kullanılarak sunulmuştur.

### 2.2.5. Proses Yeterlilik Analizinin Uygulanması

Proses yeterlilik analizinin uygulanması için verilerin kontrolde ve normal dağılım gösteren bir prosten alınmasının gerektiği daha önce ifade edilmiştir. Bu çalışmada da, proses yeterlilik analizi Faz I aşaması sonucu ulaşılan ve prosesin kontrolde olduğu kabul edilen normal dağılım gösteren RVK verilerine uygulanmıştır. Analiz için kullanılan ana değerlendirme indeksi  $C_{pk}$  olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, kalite değişkenlerine ait tek taraflı spesifikasyon değerleri mevcut olması dolayısı ile  $C_{pk}$  indeksi,  $C_{pl}$  indeks değeri ile aynı olarak elde edilmiştir.

Proses yeterliliğini değerlendiren indekslerle ilgili olarak önerilen minimum değerler farklı değerlendirme koşulları için Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Proses yeterlilik indeksleri için önerilen minimum değerler (Montgomery, 2012)

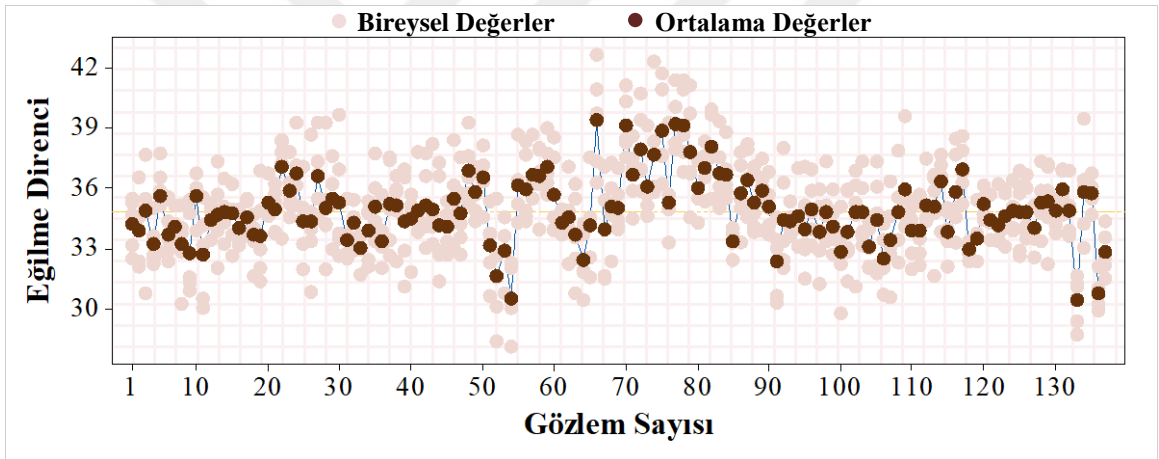
Değerlendirme Parametreleri	Çift Taraflı Spesifikasyonlar	Tek Taraflı Spesifikasyonlar
Devam eden prosesler	1.33	1.25
Yeni prosesler	1.50	1.45
Güvenlik, direnç veya kritik parametreler, devam eden proses	1.50	1.45
Güvenlik, direnç veya kritik parametreler, yeni proses	1.67	1.60

Proses yeterlilik analizi Minitab yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen yeterlilik indeks değerlerine dayalı olarak araştırılan üretim prosesinin spesifikasyon veya tüketici isteklerini karşılama derecesi ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

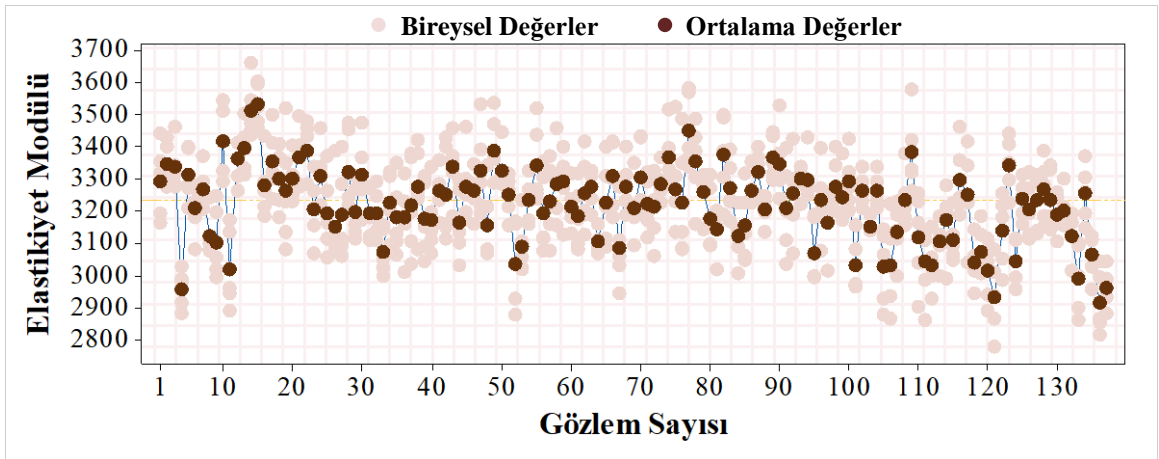
### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Verilerin Ön Analizi ile İlgili Bulgular

Kontrol grafiklerinin çizilmesine geçmeden önce toplanan verilerin analizlerin farklı aşamaları için gruplandırılması gerekmektedir. Şekil 19-22’de incelenen kalite değişkenleri için toplanan verilerin bireysel ve ortalamalarının dağılımı verilmiştir. Daha önce de ifade edildiği üzere, her bir ortalama değer veya veri grubu 5 bireysel gözlemden veya veriden oluşmaktadır. Kalite değişkenleri ile ilgili verilerin incelenmesi sonucunda MDF üretim prosesinde zaman zaman önemli kaymaların olduğu görülmüştür.

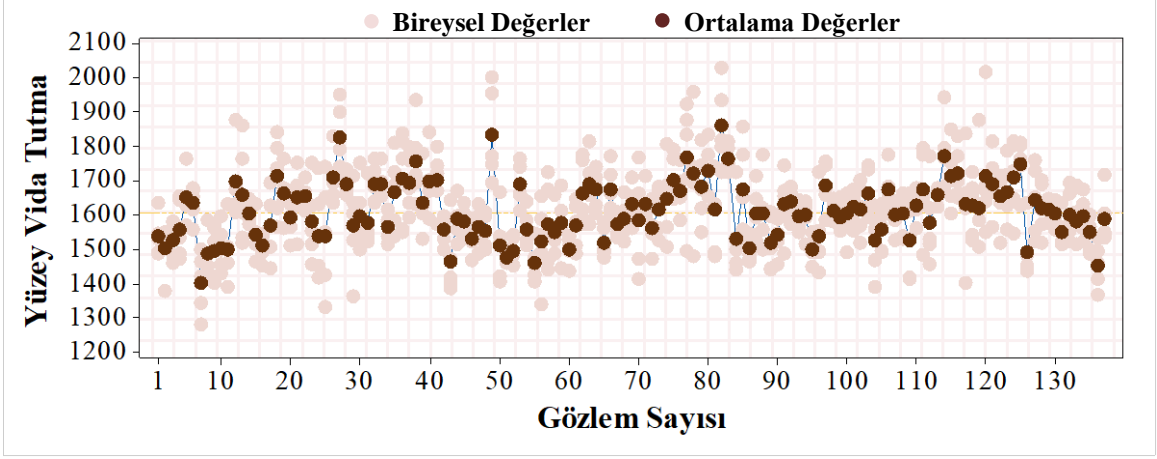


Şekil 19. Eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler

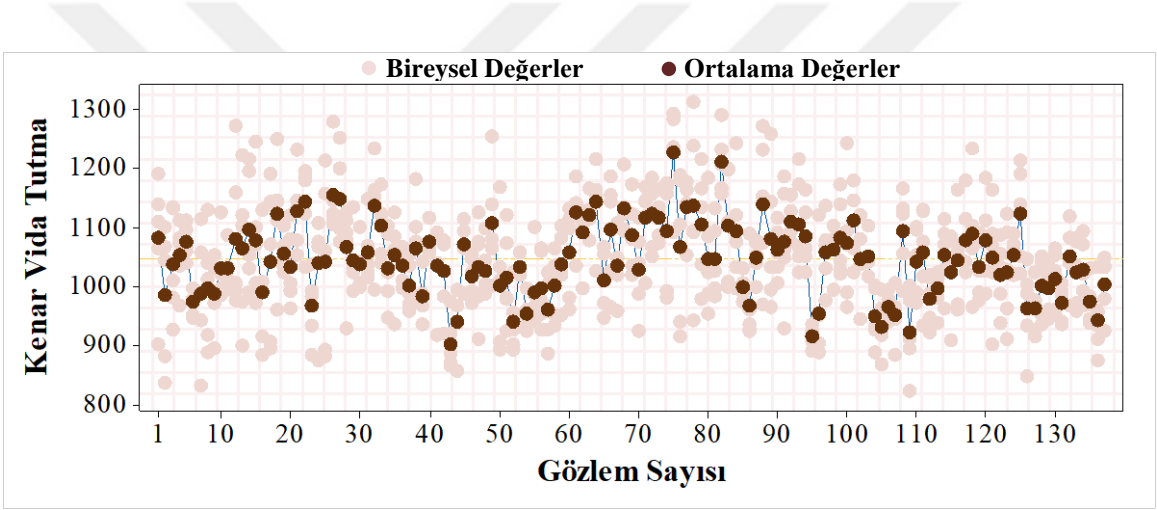


Şekil 20. Elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler





Şekil 21. Yüzev vıda tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler



Şekil 22. Kenar vıda tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler

Şekil 19-22’de sunulan kalite değişkenlerine ait 137 ortalama veri içerisinde 50 veri grubu Faz I aşaması için ayrılırken kalan 87 veri grubu ise analizlerin Faz II aşamalarında kullanılmak üzere ayrılmıştır. Faz I aşaması kontrol altında bir prosesin, yani, RVK’nın elde edilmesi için uygulanırken Faz II aşaması ise yeni gözlemler alınması durumunda prosesin göstereceği performansı görüntülemek için uygulanmıştır. Faz I için gerekli veri sayısının belirlenmesinde 20’nin altına düşülmemesi önerildiğinden, bu aşamada 50 veri grubu kullanılmış, üretim prosesinin gerçek performansını ortaya koyacak Faz II için daha fazla veri grubu ayrılmıştır. Faz I verileri bazı varsayımlar açısından da değerlendirilmiştir. Ancak, bu varsayımların birçok kontrol dışı gözlem bulunduran Faz I verilerinden ziyade herhangi bir kontrol dışı gözlem içermeyen RVK’da araştırılması oldukça önemlidir. Bu açıdan, RVK elde edildikten sonra veriler varsayımlar açısından tekrar değerlendirilecektir.

### 3.2. Faz I Verilerinin Varsayımlar Açısından Değerlendirilmesi

Kontrol grafiklerinin çizilebilmesi için öncelikle teorik kısımda belirtilen doğrusallık, normallik, varyans - kovaryans matrislerinin eşitliği ve otokorelasyon olmaması gibi bazı varsayımların araştırılması gerekmektedir. Bu amaçla, RVK'nın oluşturulması için ayrılan dört kalite değişkenine ait 50 veri grubundan oluşan Faz I verileri bu varsayımlar açısından incelenmiş ve ulaşılan bulgular aşağıda verilmiştir.

#### 3.2.1. Faz I İçin Doğrusallık Varsayımı ile İlgili Bulgular

MDF üretim prosesinin incelenmesi için kullanılan çok değişkenli kontrol grafikleri kalite değişkenleri arasındaki ilişkileri dikkate almaktadır. Bu nedenden dolayı, incelenen kalite değişkenleri arasında var olabilecek ilişkiler korelasyon analizi ile araştırılmış ve analiz sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları ve bu katsayıların anlamlılık düzeyleri değerlendirilmiştir. Tablo 4 Faz I verilerinin kullanımı ile hesaplanan korelasyon matrisini vermektedir.

Tablo 4. Faz I için kalite değişkenlerinin korelasyon matrisi

Kalite Değişkenleri		Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Yüzey Vida Tutma (N)	Kenar Vida Tutma (N)
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Pearson korelasyon	1	0.439	0.165	0.137
	Anlamlılık	-	0.001	0.251	0.342
	N	-	50	50	50
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Pearson korelasyon	-	1	0.007	0.153
	Anlamlılık	-	-	0.962	0.288
	N	-	-	50	50
Yüzey Vida Tutma (N)	Pearson korelasyon	-	-	1	0.619
	Anlamlılık	-	-	-	0.000
	N	-	-	-	50
Kenar Vida Tutma (N)	Pearson korelasyon	-	-	-	1
	Anlamlılık	-	-	-	-
	N	-	-	-	-

Tablo 4 incelendiğinde, %1 anlamlılık seviyesinde iki adet korelasyon katsayısı elde edildiği görülmüştür (yüzey vida tutma kabiliyeti ile kenar vida tutma kabiliyeti arasında 0.619 ve eğilme direnci ile elastikiyet modülü arasında 0.439). Sonuç olarak; bazı kalite değişkenleri arasında anlamlı ilişkilerin olduğu görülürken bazıları arasındaki ilişkilerin ise %5 önem düzeyinde anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Bazı değişkenler arasında anlamsız ilişkiler var olmasına rağmen anlamlı ilişkilerin de var olması dolayısıyla diğer varsayımlar incelenerek analize devam edilmiştir.

### 3.2.2. Faz I İçin Normal Dağılım Varsayımı ile İlgili Bulgular

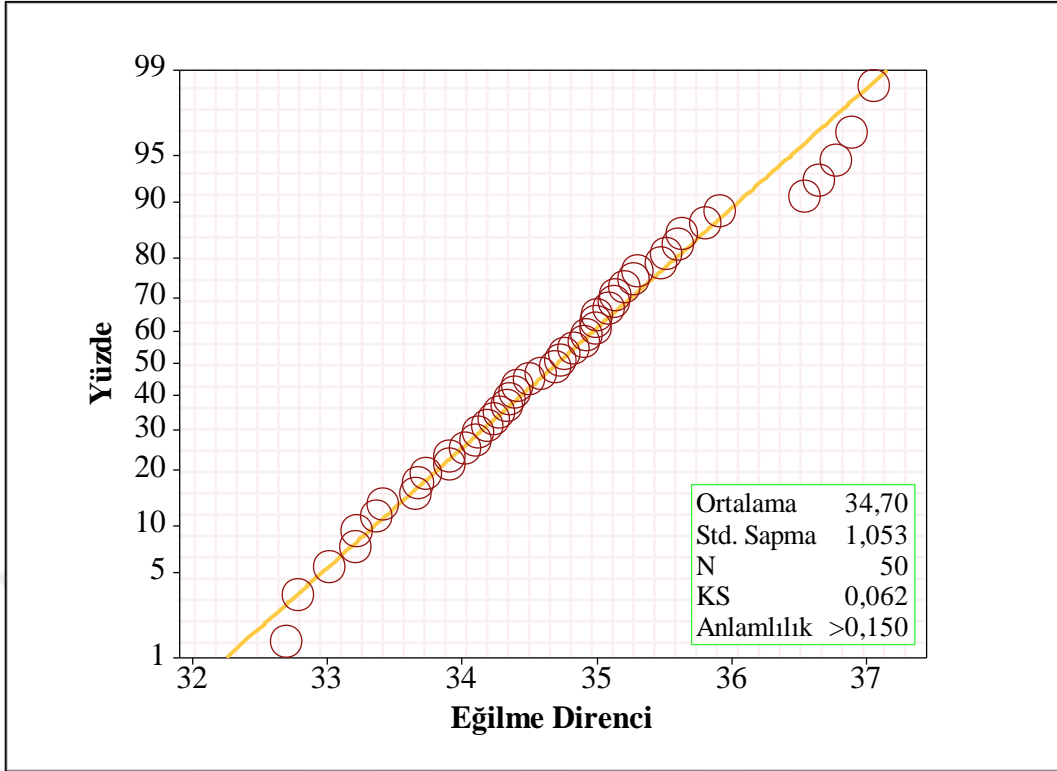
#### 3.2.2.1. Faz I İçin Tek Değişkenli Normal Dağılım Varsayımı ile İlgili Bulgular

Eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti kalite değişkenlerinin normal dağılıp dağılmadığı bu değişkenlere Kolmogorov-Smirnov testi uygulanarak araştırılmış, bununla beraber, çizilen Q-Q grafikleri ile sonuçlar görsel olarak sunulmuştur. Kolmogorov-Smirnov test sonuçları Tablo 5’de verilmiştir.

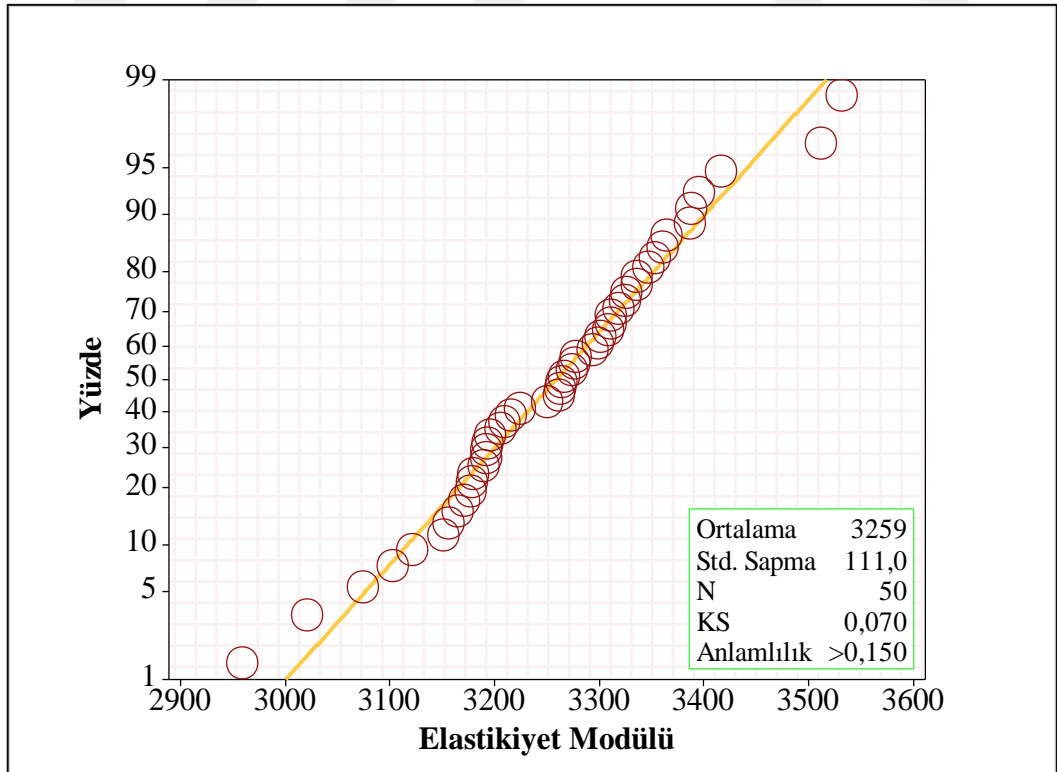
Tablo 5. Faz I için kalite değişkenlerinin Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları

Kalite Değişkenleri	Kolmogorov-Smirnov		
	Test İstatistiği	df	Anlamlılık
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	0.062	50	0.200
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	0.070	50	0.200
Yüzey Vida Tutma (N)	0.106	50	0.200
Kenar Vida Tutma (N)	0.092	50	0.200

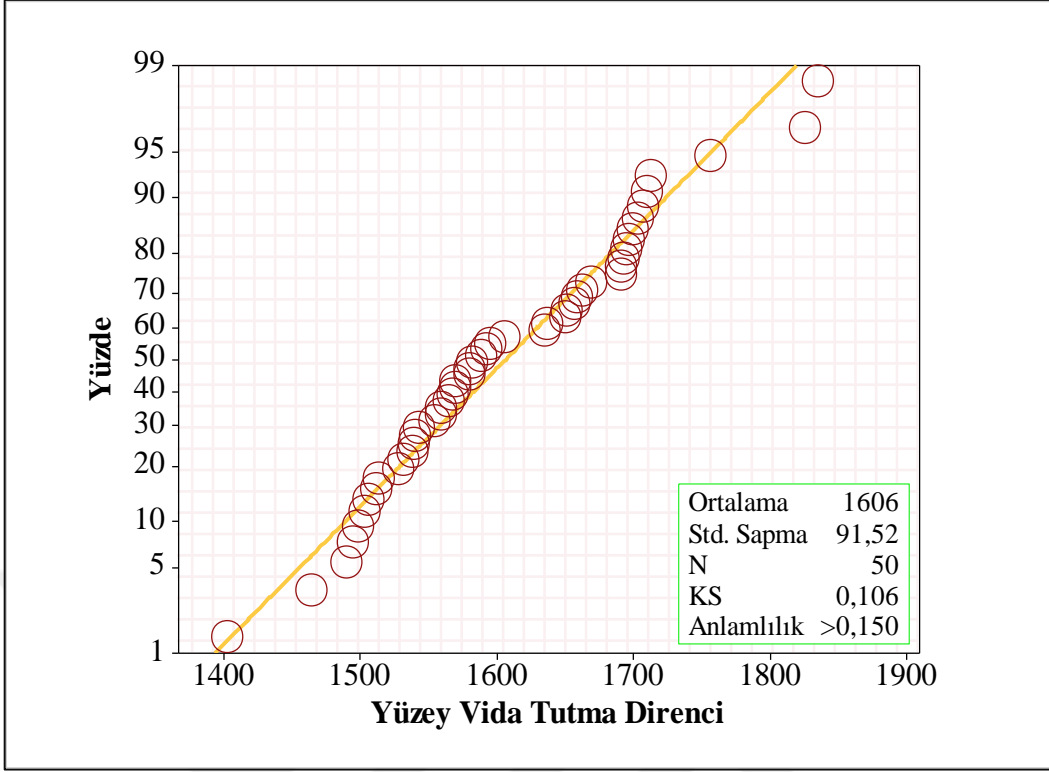
Tablo 5 incelendiğinde, tüm kalite değişkenlerine ait anlamlılık seviyesinin %5’den büyük olduğu, başka bir deyişle, tüm değişkenlerin normal dağılım gösterdiği görülmüştür. Kalite değişkenlerinin normal dağılım gösterip göstermediğinin görsel sunumu için sık sık kullanılan bir yöntem olan Q-Q grafikleri eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti için sırasıyla Şekil 23-26’da verilmiştir.



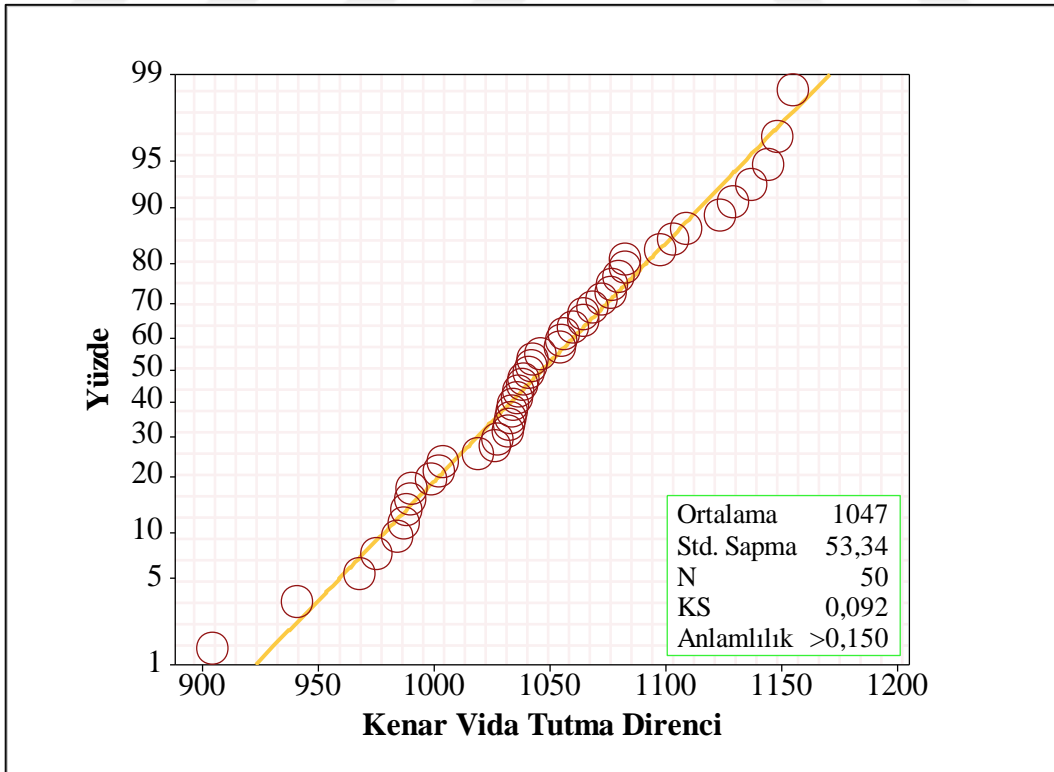
Şekil 23. Faz I için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği



Şekil 24. Faz I için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği



Şekil 25. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği

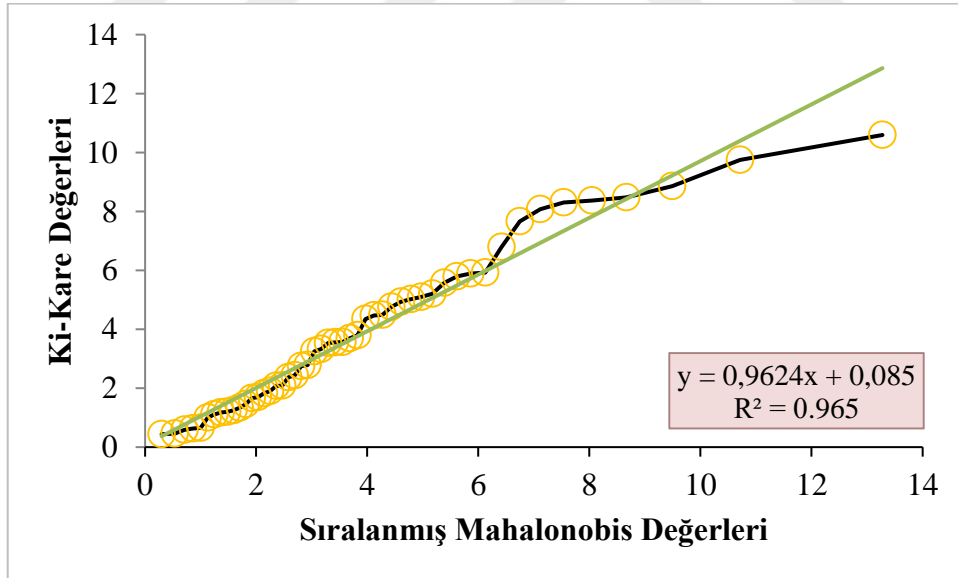


Şekil 26. Faz I için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği

Şekil 23-26'nın incelenmesi sonucu 4 kalite değişkeninin normal dağılım gösterdiği görülmüştür. Ancak, teorik bölümde belirtildiği gibi, kalite değişkenlerinin tek değişkenli normal dağılım göstermesi veri kümesinin her zaman çok değişkenli normal dağılıma da sahip olduğunu garanti etmemektedir. Bu yüzden, verilerin çok değişkenli normal dağılım gösterip göstermediği de araştırılmıştır.

### 3.2.2.2. Faz I İçin Çok Değişkenli Normal Dağılım Varsayımı ile İlgili Bulgular

Çoklu normallik varsayımının incelenmesinde Mahalanobis uzaklığına dayandırılmış testlerden yararlanılmıştır. Bu amaçla, Faz I verileri için Mahalanobis değerleri SPSS ile hesaplanmış ve elde edilen değerler küçükten büyüğe sıralanmıştır. Sıra numaralarına bağlı olarak, her bir Mahalanobis değeri için  $x^2$  değerleri elde edilmiş ve sıralanmış Mahalanobis değerleri ile  $x^2$  değerleri arasında serpilme grafiği oluşturulmuştur. Şekil 27'de sıralanmış Mahalanobis değerleri ile  $x^2$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik sunulmuştur.



Şekil 27. Faz I için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren serpilme grafiği

Şekil 27 incelendiğinde, Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu görülmüştür. Serpilme grafiğinde görülen bu ilişkinin gücünü tam olarak ortaya koyabilmek için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri kullanılarak korelasyon analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Faz I için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $\chi^2$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon analizi sonuçları

Korelasyon Analizi		Ki-Kare Değerleri	Sıralanmış Mahalanobis Değerleri
Ki-Kare Değerleri	Pearson korelasyon	1	0.982
	Anlamlılık	-	0.000
	N	-	50
Sıralanmış Mahalanobis Değerleri	Pearson korelasyon	-	1
	Anlamlılık	-	-
	N	-	-

Tablo 6 incelendiğinde, Pearson Korelasyon katsayısının 1'e çok yakın olduğu ve bu katsayının %1 anlamlılık seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu durum, araştırılan verilerin çoklu normallik varsayımını karşıladığını ortaya koymuştur.

### 3.2.3. Faz I İçin Eş - Varyanslık Varsayımı ile İlgili Bulgular

Doğrusallık ve normallik varsayımlarının incelenmesinin ardından diğer bir varsayım olan eş-varyanslık varsayımı araştırılmıştır. Bu amaçla, Box's M testi kullanılmış ve Tablo 7'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 7. Faz I için kalite değişkenlerinin Box's M testi sonuçları

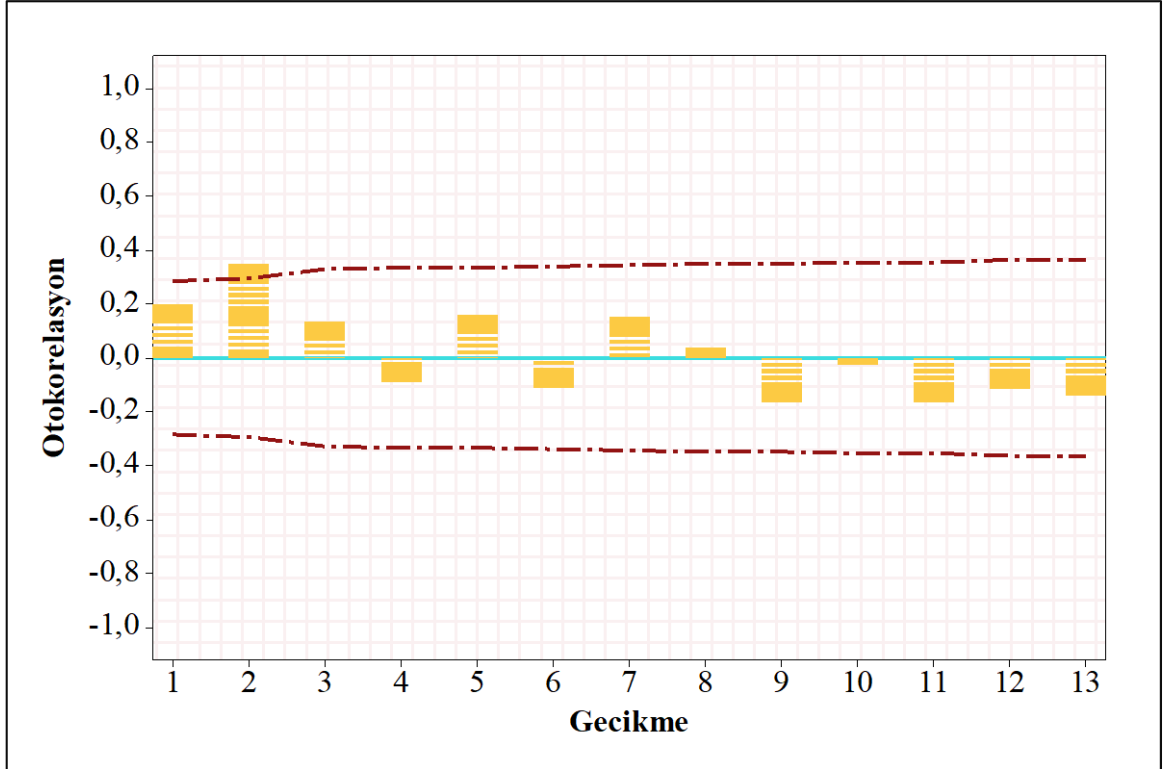
Box's M	876.036
F	1.032
sd <sub>1</sub>	490
sd <sub>2</sub>	8521.731
Anlamlılık	0.310

Tablo 7 incelendiğinde, elde edilen anlamlılık değerinin %5'den daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, sıfır hipotezinin kabul edildiğini, diğer bir deyişle, değişkenlerin eş varyanslık varsayımını karşıladığını göstermiştir.

### 3.2.4. Faz I İçin Gözlem Değerlerinin Bağımsızlığı (Otokorelasyon Olmaması) Varsayımı ile İlgili Bulgular

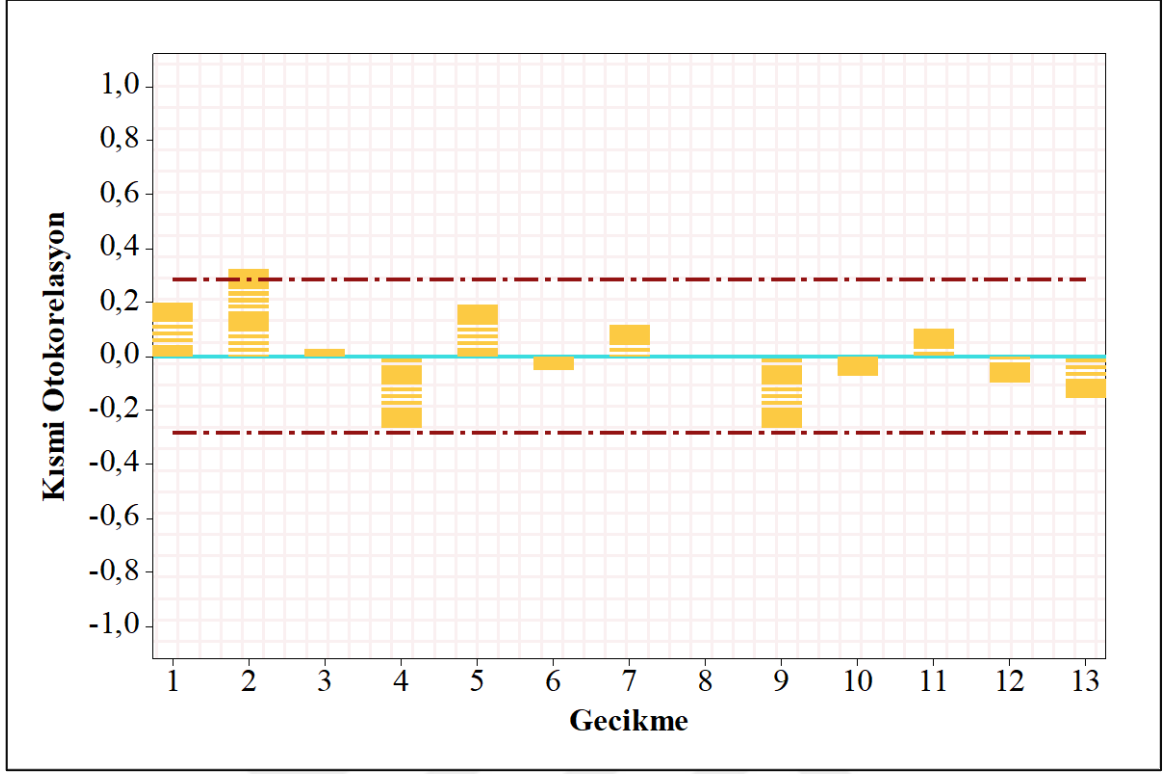
Zamana bağlı gözlem değerlerinin bağımsızlığını inceleyen bu varsayımı araştırmak için tüm kalite değişkenleri için ayrı ayrı otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca, değişkenlere ait gözlem değerlerinde otokorelasyonun var olup olmadığı Box-Ljung istatistiği tablosu kullanılarak da araştırılmıştır. Daha önce de ifade edildiği gibi, Box-Ljung istatistiği kullanılarak otokorelasyonun var olup olmadığının yorumlanması Box-Ljung tablosunda mevcut olan anlamlılık değerlerinin kullanılması ile gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, Şekil 28-35’de sırasıyla eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti kalite değişkenleri için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiklerini sunulmuş ve aynı değişkenler için Box - Ljung istatistikleri Tablo 8-11’de aynı sıra ile verilmiştir.



Şekil 28. Faz I için eğilme direncinin otokorelasyon fonksiyon grafiği

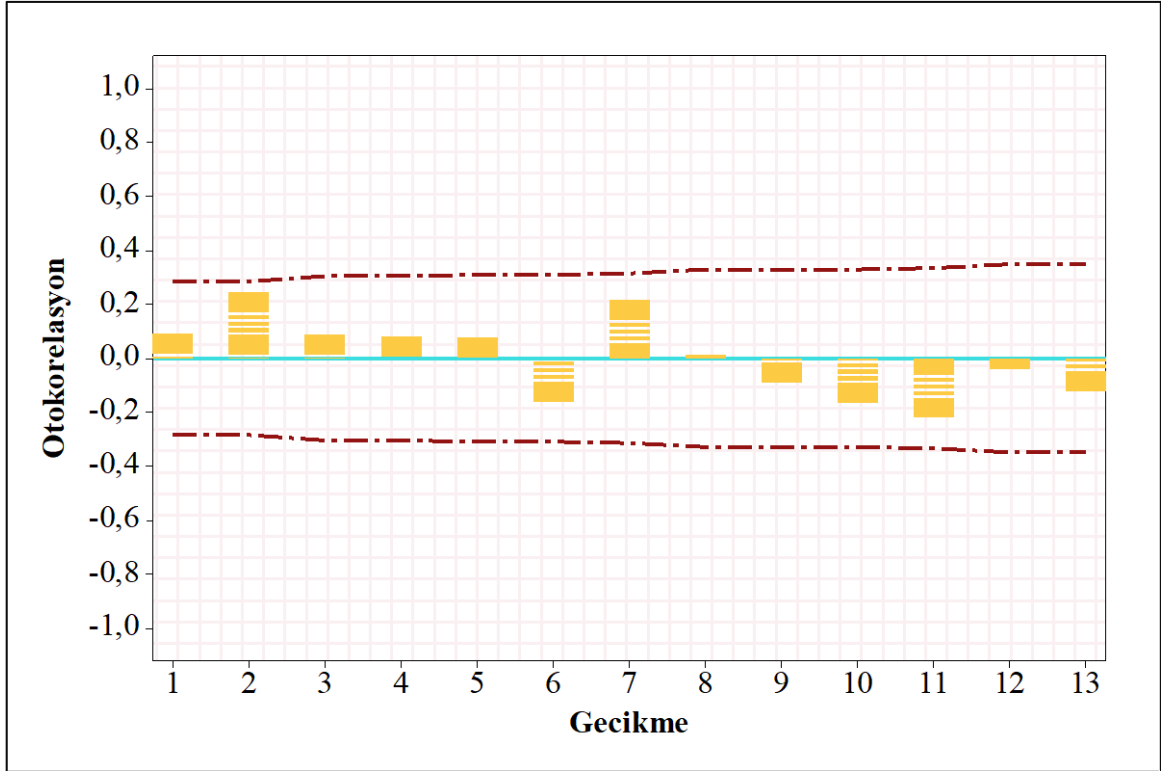




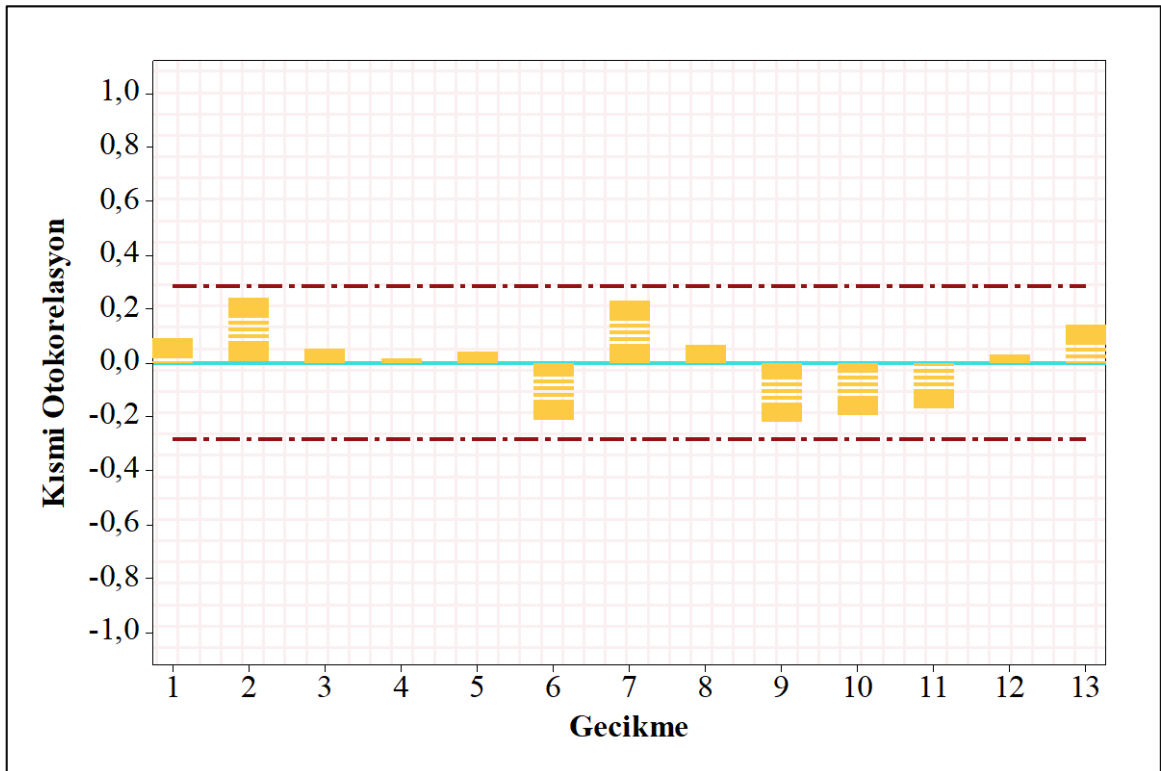
Şekil 29. Faz I için eğilme direncinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

Tablo 8. Faz I için eğilme direncinin Box Ljung istatistiği tablosu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
1	0.199	0.137	2.109	1	0.146
2	0.351	0.136	8.780	2	0.012
3	0.137	0.134	9.818	3	0.020
4	-0.091	0.133	10.288	4	0.036
5	0.163	0.132	11.826	5	0.037
6	-0.113	0.130	12.579	6	0.050
7	0.151	0.129	13.964	7	0.052
8	0.037	0.127	14.048	8	0.081
9	-0.168	0.126	15.834	9	0.070
10	-0.029	0.124	15.889	10	0.103
11	-0.167	0.122	17.738	11	0.088
12	-0.115	0.121	18.638	12	0.098
13	-0.142	0.119	20.049	13	0.094



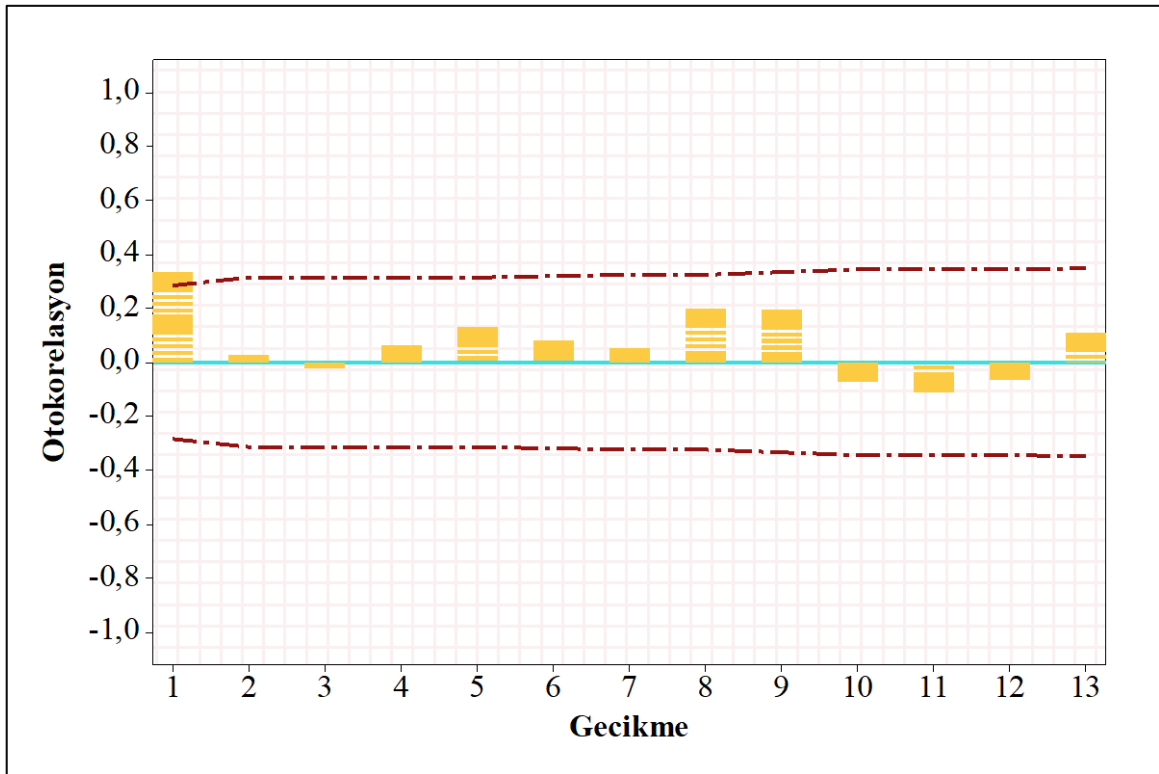
Şekil 30. Faz I için elastikiyet modülünün otokorelasyon fonksiyon grafiği



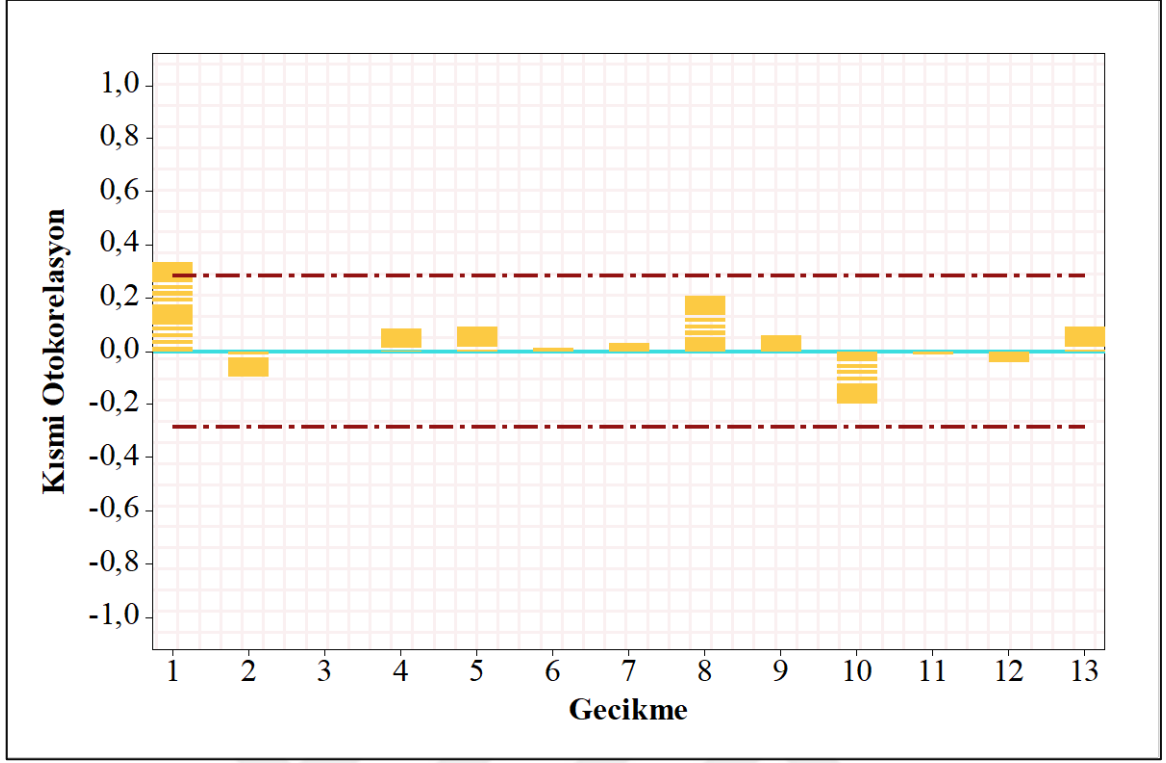
Şekil 31. Faz I için elastikiyet modülünün kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

Tablo 9. Faz I için elastikiyet modülünün Box Ljung istatistiği tablosu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
1	0.091	0.137	0.443	1	0.506
2	0.247	0.136	3.752	2	0.153
3	0.085	0.134	4.155	3	0.245
4	0.083	0.133	4.542	4	0.338
5	0.076	0.132	4.874	5	0.431
6	-0.163	0.130	6.439	6	0.376
7	0.216	0,129	9.251	7	0.235
8	0.015	0.127	9.265	8	0.320
9	-0.093	0.126	9.818	9	0.365
10	-0.168	0.124	11.652	10	0.309
11	-0.219	0.122	14.850	11	0.189
12	-0.043	0.121	14.978	12	0.243
13	-0.119	0.119	15.970	13	0.251



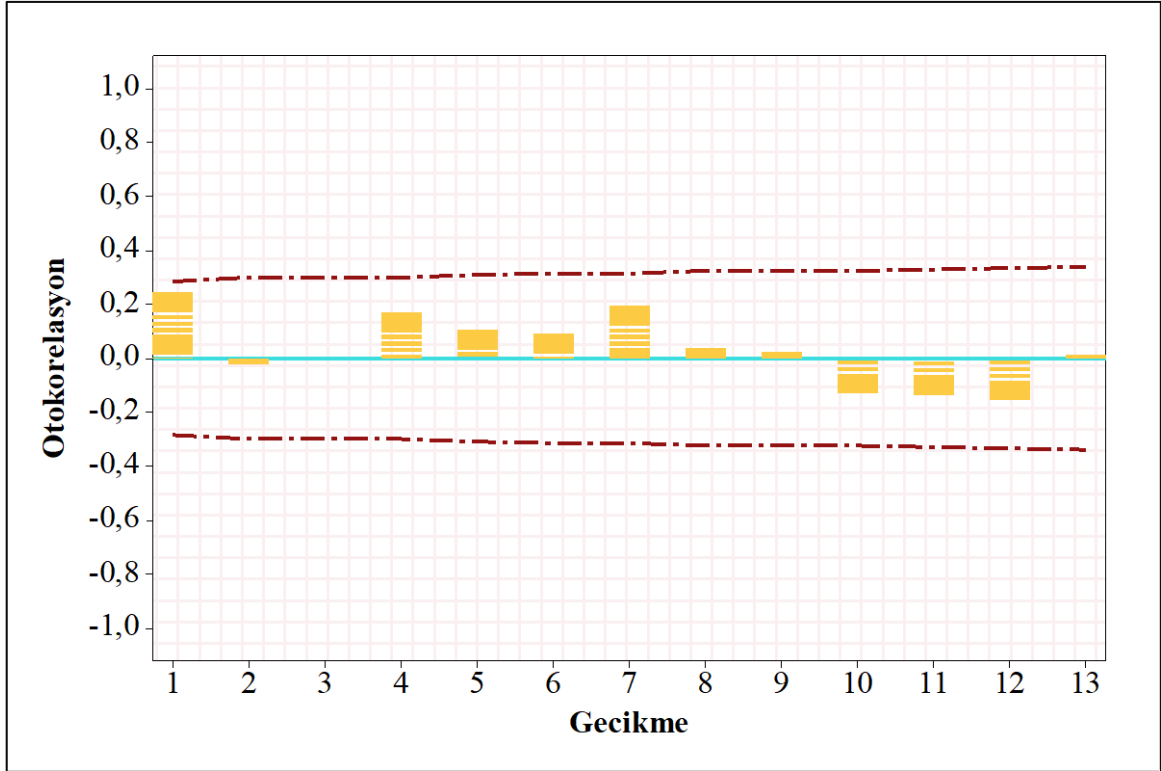
Şekil 32. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği



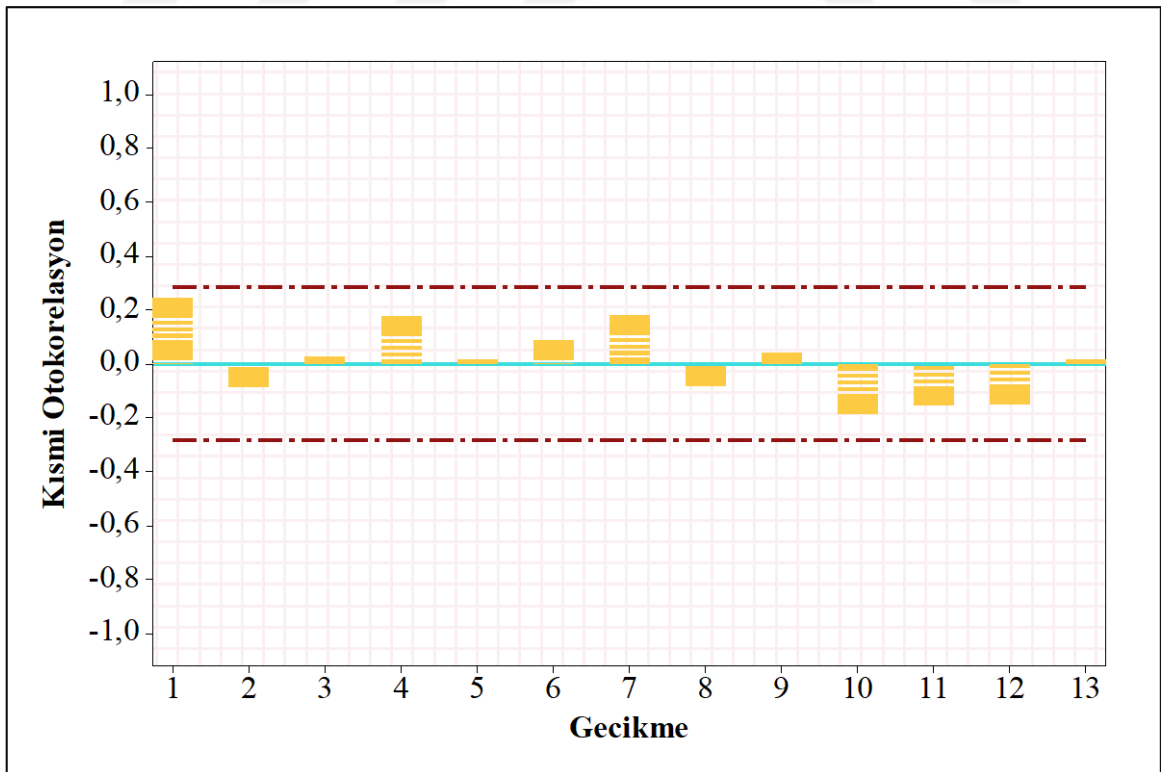
Şekil 33. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

Tablo 10. Faz I için yüzey vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
1	0.333	0.137	5.889	1	0.015
2	0.027	0.136	5.930	2	0.052
3	-0.024	0.134	5.962	3	0.113
4	0.062	0.133	6.181	4	0.186
5	0.131	0.132	7.173	5	0.208
6	0.083	0.130	7.580	6	0.271
7	0.050	0.129	7.732	7	0.357
8	0.202	0.127	10.263	8	0.247
9	0.193	0.126	12.633	9	0.180
10	-0.074	0.124	12.987	10	0.224
11	-0.109	0.122	13.780	11	0.245
12	-0.069	0.121	14.102	12	0.294
13	0.110	0.119	14.949	13	0.311



Şekil 34. Faz I için kenar vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği



Şekil 35. Faz I için kenar vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

Tablo 11. Faz I için kenar vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
<b>1</b>	0.245	0.137	3.174	1	0.075
<b>2</b>	-0.021	0.136	3.198	2	0.202
<b>3</b>	-0.001	0.134	3.198	3	0.362
<b>4</b>	0.172	0.133	4.878	4	0.300
<b>5</b>	0.105	0.132	5.513	5	0.357
<b>6</b>	0.093	0.130	6.020	6	0.421
<b>7</b>	0.193	0.129	8.279	7	0.309
<b>8</b>	0.037	0.127	8.363	8	0.399
<b>9</b>	0.023	0.126	8.396	9	0.495
<b>10</b>	-0.131	0.124	9.517	10	0.484
<b>11</b>	-0.135	0.122	10.737	11	0.466
<b>12</b>	-0.156	0.121	12.393	12	0.415
<b>13</b>	0.013	0.119	12.405	13	0.495

Eğilme direncine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiklerini gösteren Şekil 28 ve 29 birlikte incelendiğinde sadece bir gecikmenin güven sınırlarını aştığı tespit edilmiştir. Ek olarak, Tablo 8'in incelenmesi sonucunda ise ilk gecikmeden sonraki dört gecikmeye ait anlamlılık değerinin %5'den daha küçük olduğu görülmüştür. Elastikiyet modülüne ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiklerini gösteren Şekil 30 ve 31 incelendiğinde hiçbir gecikmenin güven sınırlarını aşmadığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Tablo 9'un incelenmesi sonucunda da yine hiçbir gecikmenin anlamlılık değerinin %5'den küçük olmadığı görülmüştür. Yüzey vida tutma kabiliyetine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafiklerini gösteren Şekil 32 ve 33 incelendiğinde, eğilme direncine benzer şekilde sadece bir gecikmenin güven sınırlarını aştığı görülmüştür. Ayrıca, Tablo 10'un incelenmesi sonucu da sadece bir gecikmenin anlamlılık değerinin %5'den küçük olduğu görülmüştür. Kenar vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiklerini gösteren Şekil 34 ve 35 incelendiğinde, elastikiyet modülüne benzer şekilde hiçbir gecikmenin güven sınırlarını aşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Tablo 11'in incelenmesi sonucunda da hiçbir gecikmenin anlamlılık değerinin %5'den küçük olmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak; oluşturulan otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri incelendiğinde eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti kalite değişkenlerinden sadece eğilme direnci ve yüzey vida tutma kabiliyeti değişkenlerine ait otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiklerinde birer gecikmenin güven sınırlarını aştığı görülmüştür. Ek olarak, Box Ljung istatistiği için gerçekleştirilen testlerde de sadece eğilme direnci ve yüzey vida tutma kabiliyetinde birkaç gecikmeye ait anlamlılık değerinin %5'den küçük olduğu görülmüştür. Bu durum, kalite değişkenlerinde önemli bir otokorelasyon probleminin olmadığını göstermektedir. Faz I için varsayımların araştırılması sonrası kontrol grafikleri ile prosesin analizine geçilmiştir.

### **3.3. Kontrol Grafikleri Kullanılarak MDF Üretim Prosesinin Analiz Edilmesi**

Örnek büyüklüğü 5 ( $n=5$ ), değişken sayısı 4 ( $p=4$ ) ve örnek grubu sayısı 50 olan veri grubu (Faz I verileri) kullanılarak MDF üretim prosesinin kontrol grafikleri ile analizinde gerekli varsayımlar araştırılmıştır. Varsayımlar araştırıldıktan sonra kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerine tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R grafikleri ve çok değişkenli Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans grafikleri uygulanmıştır. MDF üretim prosesinin incelenmesinde RVK'nın elde edilmesi aşamasında Hotelling  $T^2$  grafiği kullanılmış olup üretim prosesinin ileriye yönelik değerlendirilmesinde ise  $\bar{x}$ , R, Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans grafikleri beraber kullanılmıştır.

#### **3.3.1. Hotelling $T^2$ Kontrol Grafiği Kullanılarak Prosesin Analiz Edilmesi**

Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği ile MDF üretim prosesinin analiz edilebilmesi amacıyla örnek büyüklüğü 5 ( $n=5$ ), değişken sayısı 4 ( $p=4$ ) ve örnek grubu sayısı 137 olan bir veri grubu elde edilmiş ve bu veri grubu Faz I ve Faz II aşamaları için kullanılmak üzere iki kısma ayrılmıştır. İlk 50 veri grubu Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerinin oluşturulmasında Faz I aşamasında kullanılırken, kalan 87 veri grubu ise Faz II aşamasında kullanılmıştır. Bu çalışmada, Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği çok değişkenli gözlem vektörlerinin varyansındaki değişkenliği izlemeyi sağlayan Genelleştirilmiş Varyans grafiği ile beraber kullanılmıştır. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği için yapılan hesaplamalarında Minitab yazılımı yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, analiz aşamasında Minitab yazılımı kullanılmıştır.

### 3.3.1.1. Hotelling T<sup>2</sup> Kontrol Grafiği ile Faz I Aşamasının Uygulanması

Üretim prosesinden çekilen levhaların eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyetine ait örnek büyüklüğü 5 (n = 5), değişken sayısı 4 (p = 4) ve örnek veya veri grubu sayısı 50 (m = 50) olan veri kümesi analizin Faz I verileri olarak kabul edilmiştir.

Daha önce ifade edildiği üzere, Hotelling T<sup>2</sup> grafikleri kullanılarak Faz I aşamasının uygulanmasında RVK'nın elde edilebilmesi için deneme kontrol limitleri hesaplanmakta ve kontrol dışı herhangi bir gözlem kalmayınca kadar bu işlem tekrarlanmaktadır. Proses kontrolde olduğunda ulaşılan veri grubu RVK olarak kabul edilmektedir. Bu doğrultuda, Faz I'de 50 veri grubu için ÜKL ve Hotelling T<sup>2</sup> değerleri hesaplanmış ve bu değerler kullanılarak kontrol grafiği oluşturulmuştur. Oluşturulan grafiğinin değerlendirilmesi ile prosesinin kontrolde olup olmadığına karar verilmiştir. Elde edilen grafik üzerinde kontrol dışı herhangi bir sinyal yoksa prosesin kontrol altında olduğu sonucuna varılarak elde edilen gözlemler RVK olarak kabul edilmiştir. Aksi taktirde, ÜKL üzerinde herhangi bir gözlem noktası kalmayınca kadar bu işlem devam ettirilmiştir. Faz I'de proses aşağıda verilen adımlar izlenerek tamamen kontrol altına alınmış ve RVK'ya ulaşılmıştır.

Faz I'in 1. adımında 50 veri grubu için Hotelling T<sup>2</sup> değerleri hesaplanmıştır. Faz I aşamasının 1. adımı için elde edilen T<sup>2</sup> değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Faz I aşamasının 1. adımında ulaşılan T<sup>2</sup> değerleri

Gözlem No	T <sup>2</sup> Değer	Gözlem No	T <sup>2</sup> Değer	Gözlem No	T <sup>2</sup> Değer	Gözlem No	T <sup>2</sup> Değer	Gözlem No	T <sup>2</sup> Değer
1	8.524	11	42.240*	21	18.690*	31	3.465	41	7.113
2	23.655*	12	21.837*	22	26.037*	32	10.184	42	2.774
3	8.553	13	23.240*	23	19.878*	33	20.193*	43	25.748*
4	65.991*	14	71.908*	24	12.766	34	2.404	44	19.295*
5	4.258	15	84.276*	25	6.3221	35	12.134	45	3.756
6	9.949	16	9.970	26	19.154*	36	11.644	46	6.033
7	28.761*	17	11.056	27	63.846*	37	13.313	47	4.978
8	22.395*	18	20.304*	28	8.003	38	15.435	48	52.971*
9	26.029*	19	6.979	29	12.191	39	11.566	49	48.343*
10	21.745*	20	0.911	30	1.335	40	11.086	50	11.219

\*: Kontrol dışı gözlem



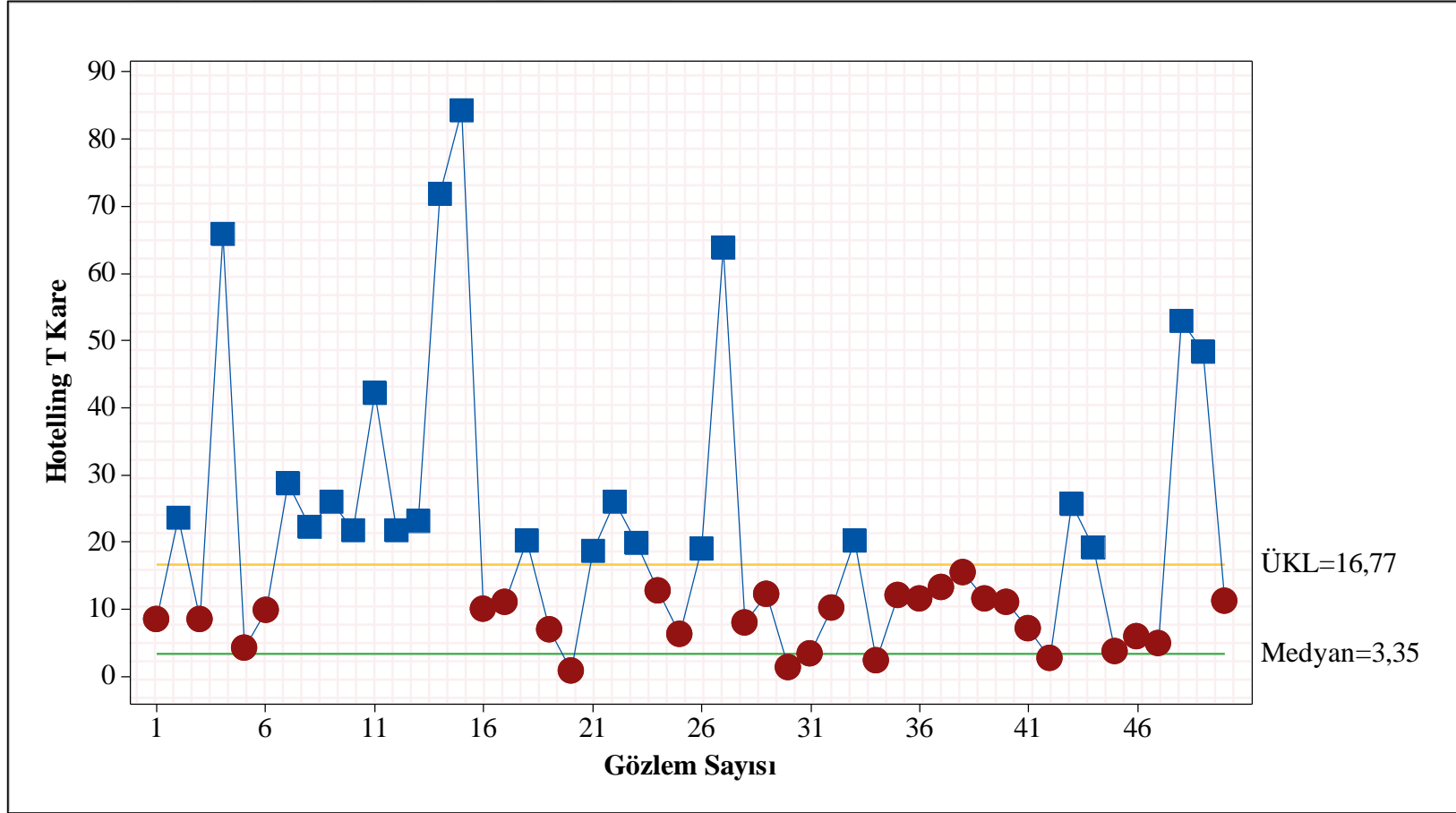
Elde edilen  $T^2$  istatistiklerinin ÜKL ile karşılaştırılması gerekmektedir. Faz I aşaması için ÜKL eşitlik 80 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

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

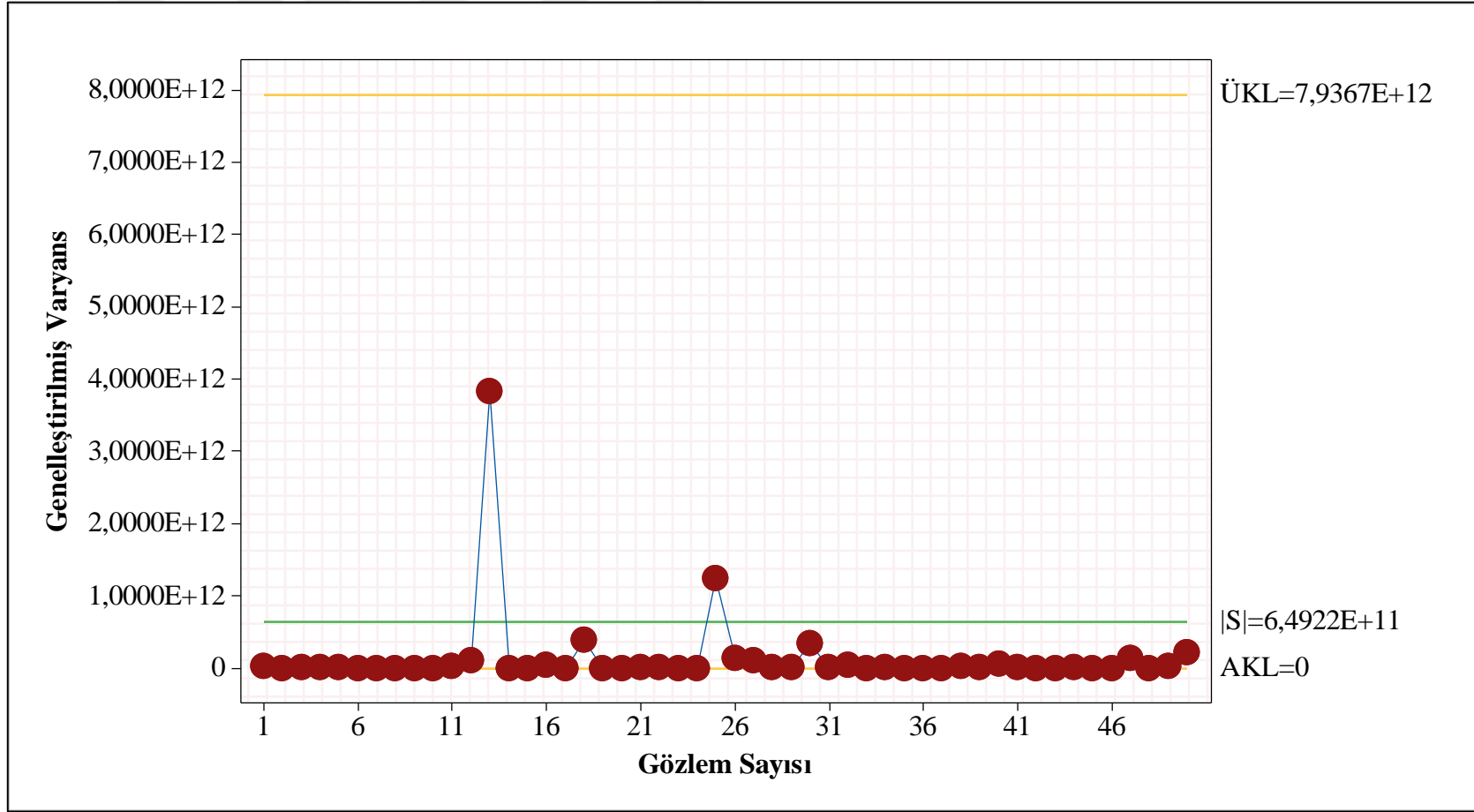
$$\text{ÜKL} = \frac{4 \times (50-1) \times (5-1)}{50 \times 5 - 50 - 4 + 1} \times F_{0.0027,4,50 \times 5 - 50 - 4 + 1}$$

$$\text{ÜKL} = \frac{784}{197} \times F_{0.0027,4,197} = 16.77$$

Hesaplama sonucuna göre Faz I'in 1. adımındaki ÜKL 16.77 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan 50 adet Hotelling  $T^2$  değeri ve ÜKL grafiğe aktarılarak kontrol dışında gözlem olup olmadığı araştırılmıştır. Faz I aşamasının 1. adımı için oluşturulan Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri sırasıyla Şekil 36 ve 37'de sunulmuştur.



Şekil 36. 50 veri grubu için oluşturulan Hotelling T<sup>2</sup> kontrol grafiği



Şekil 37. 50 veri grubu için oluşturulan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği

Faz I aşamasının 1. adımında elde edilen Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği incelendiğinde 22 veri grubunun veya gözlem noktasının ÜKL değerini aştığı görülmüştür. Daha önce de belirtildiği gibi, böyle bir durumda RVK'nın elde edilebilmesi için kontrol dışında bulunan gözlemlerin veri setinden çıkartılması gerekmektedir. Bu nedenle,  $T^2$  değeri ÜKL üzerinde olan gözlem noktaları veri setinden çıkartılarak kalan 28 veri grubu ile RVK'nın elde edilmesi adına analize devam edilmiştir. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği ile ortalamalarındaki değişim miktarı incelenen çok değişkenli gözlemlerin varyans yapısındaki değişkenlik ise Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği ile incelenmiş ve Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin aksine prosesin kontrolde olduğu görülmüştür.

Faz I aşamasının 2. adımını gerçekleştirme adına analize devam edilen 28 veri grubu için  $T^2$  değerleri hesaplanmıştır. Tablo 13, Faz I'in 2. adımı için hesaplanan  $T^2$  değerlerini vermektedir.

Tablo 13. Faz I aşamasının 2. adımında ulaşılan  $T^2$  değerleri

Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri
1	10.396	8	1.080	15	10.605	22	9.620
2	9.749	9	13.832	16	2.448	23	6.081
3	4.785	10	6.080	17	10.457	24	2.894
4	10.511	11	8.793	18	11.801	25	5.055
5	10.183	12	11.801	19	11.839	26	6.557
6	12.581	13	1.654	20	14.267	27	5.787
7	8.174	14	3.341	21	11.855	28	12.438

Elde edilen Hotelling  $T^2$  değerlerinin ÜKL ile karşılaştırılması amacıyla Faz I'in 2. adımı için ÜKL değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

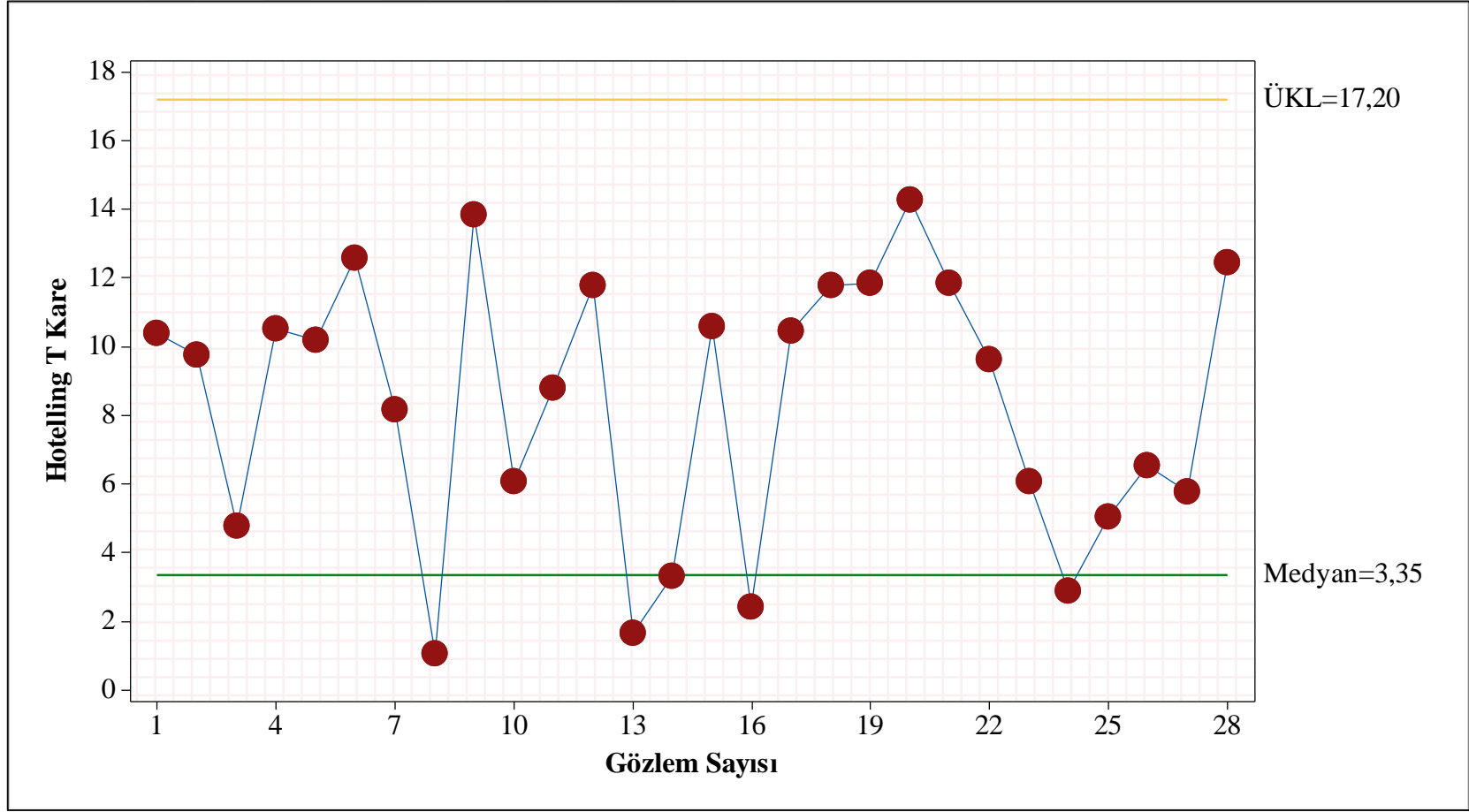
$$\text{ÜKL} = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn-m-p+1} F_{\alpha,p,mn-m-p+1}$$

$$\text{ÜKL} = \frac{4 \times (28-1) \times (5-1)}{28 \times 5 - 28 - 4 + 1} \times F_{0.0027,4,28 \times 5 - 28 - 4 + 1}$$

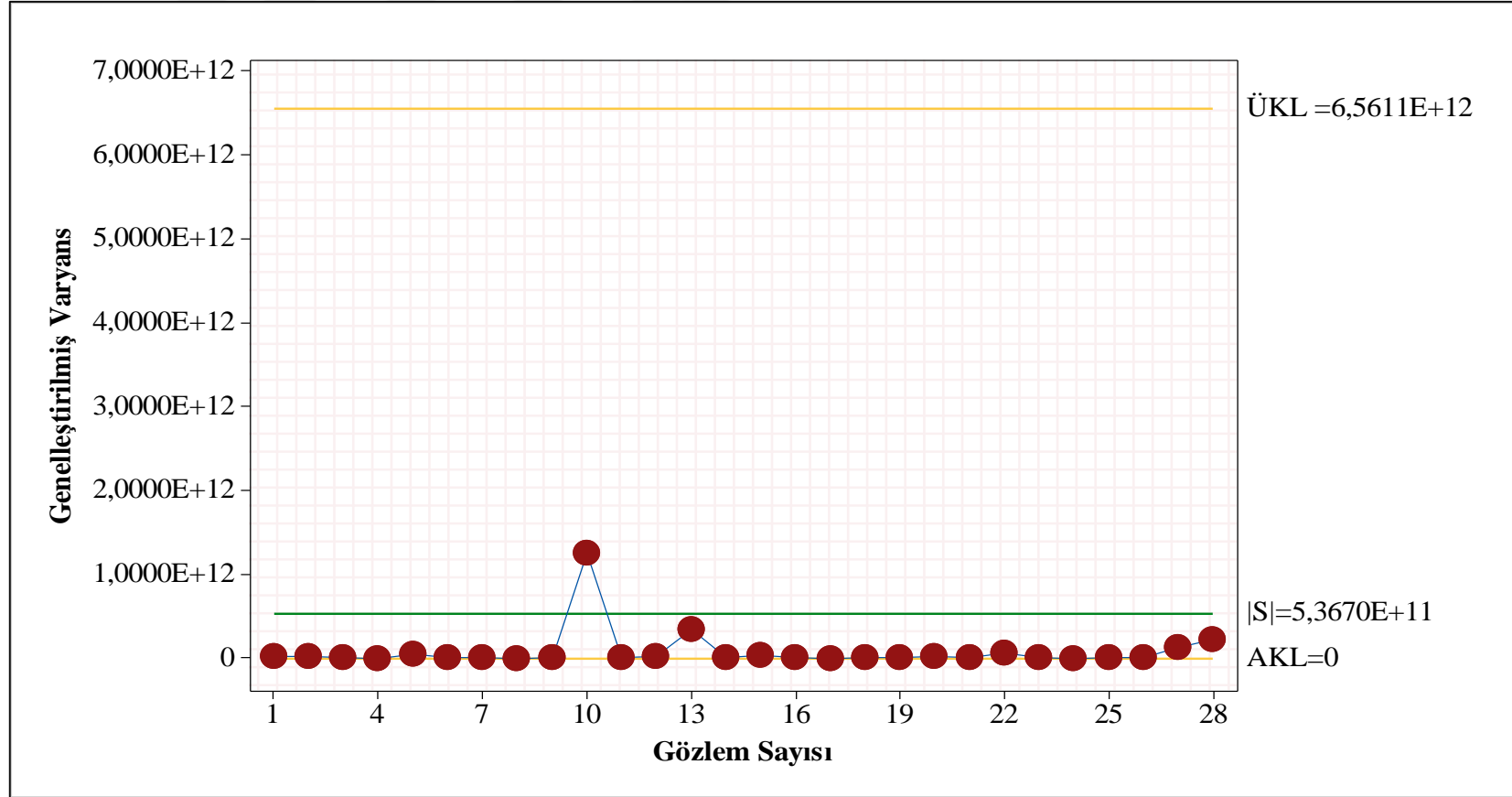
$$\ddot{U}KL = \frac{432}{109} \times F_{0.0027,4,109} = 17.20$$

Hesaplama sonucunda Faz I aşamasının 2. adımı için  $\ddot{U}KL$  değerinin 17.20 olduğu bulunmuştur. Hesaplanan 28 adet  $T^2$  değeri ve bu değerlere ait  $\ddot{U}KL$  grafiğe aktarılarak kontrol dışı herhangi bir gözlem olup olmadığı araştırılmıştır. Faz I aşamasının 2. adımı için oluşturulan Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri sırasıyla Şekil 38 ve 39'da verilmiştir.





Şekil 38. 28 veri grubu için oluşturulan Hotelling T<sup>2</sup> kontrol grafiği



Şekil 39. 28 veri grubu için oluşturulan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği

Faz I aşamasının 2. adımında elde edilen Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği incelendiğinde, kalite değişkenlerine ait 28 veri grubunun oluşturduğu  $T^2$  değerlerinin ÜKL'den daha küçük olduğu görülmüştür. Böylece, ÜKL üzerinde bir gözlem bulunmamasından dolayı üretim prosesinin kontrolde olduğu durum elde edilmiştir. Benzer şekilde, Genelleştirilmiş Varyans grafiğinde de tüm gözlemler kontrol altındadır. Elde edilen 28 veri grubundan oluşan veri seti RVK olarak kabul edilmiştir. Faz I aşamasında RVK'nın elde edilmesi için uygulanan adımlar Tablo 14'de kısaca özetlenmiştir. RVK'nın istatistiksel özeti ise Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 14. Faz I aşamasının özeti

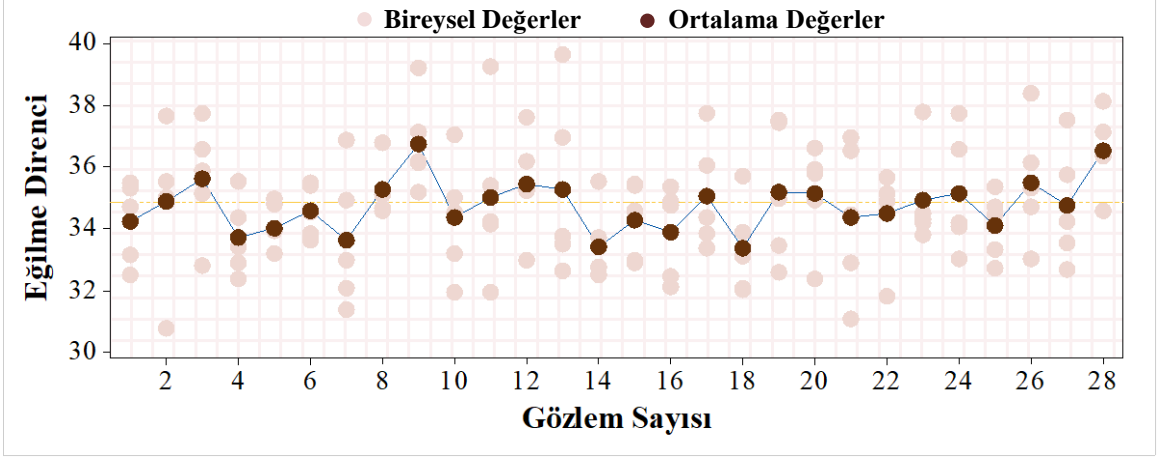
RVK'nın Elde Edilme Adımları	ÜKL	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Uzaklaştırılan Gözlemler	Kalan Gözlem Sayısı
Faz I-1.adım	16.77	22	2,4,7-15,18, 21-23, 26, 27, 33, 43, 44, 48, 49	28
Faz I-2.adım	17.20	0	-	28

Tablo 15. RVK'nın istatistiksel özeti

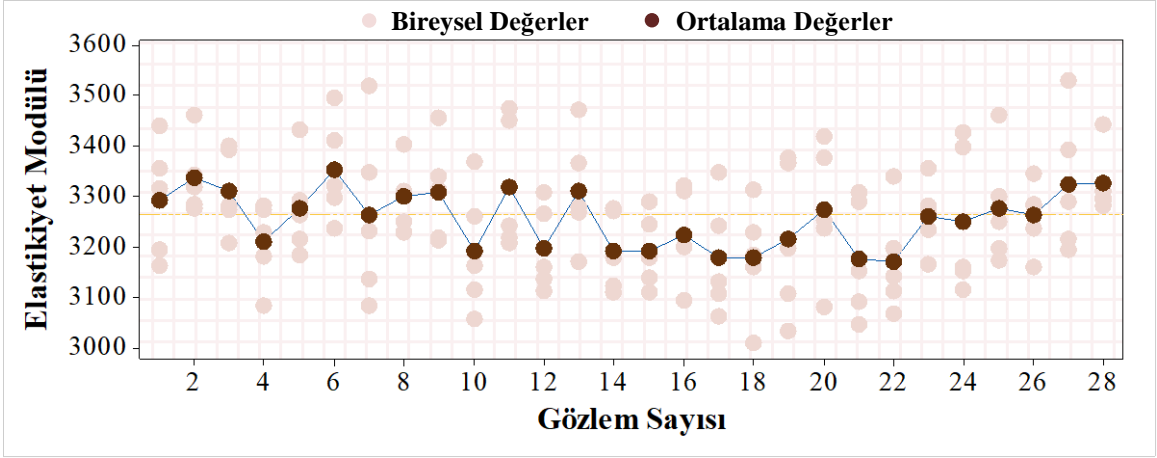
Kalite Değişkenleri	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	28	33.37	36.77	34.756	0.838	0.70
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	28	3171.57	3353.13	3256.634	57.362	3290.37
Yüzey Vida Tutma (N)	28	1511.40	1756.40	1609.900	70.887	5024.92
Kenar Vida Tutma (N)	28	975.20	1137.40	1041.743	33.698	1135.53

RVK'da bulunan eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti değişkenlerine ait gözlemlerin bireysel ve ortalama değerlerinin dağılımı sırasıyla Şekil 40-43'de görsel olarak sunulmuştur.

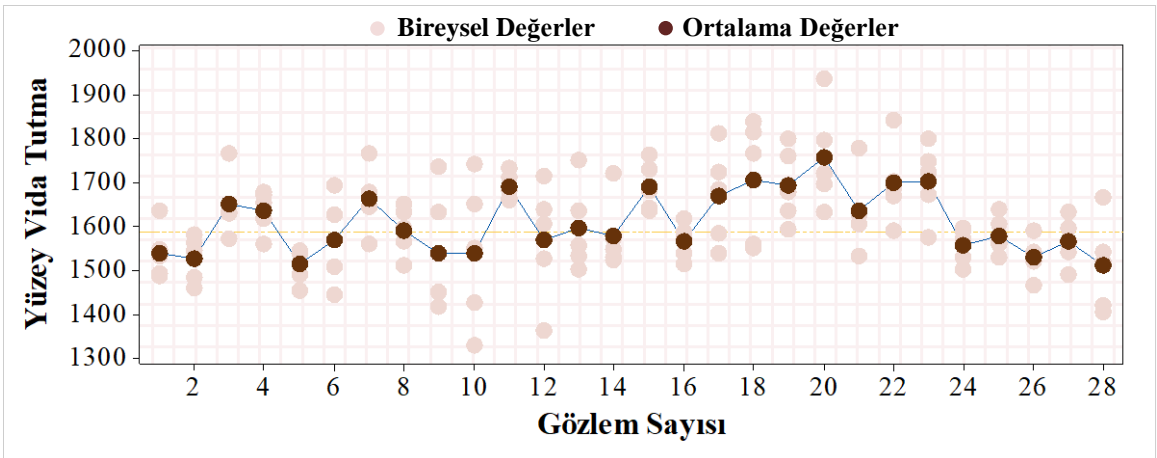




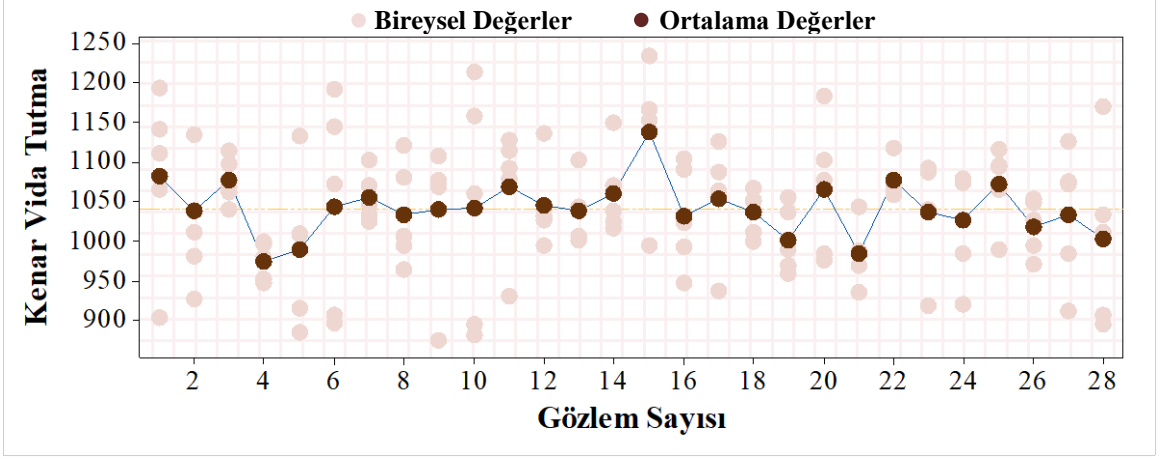
Şekil 40. RVK için eğilme direnci ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler



Şekil 41. RVK için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler



Şekil 42. RVK için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler



Şekil 43. RVK için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait bireysel ve ortalama değerler

RVK'nın oluşturulması, diğer bir deyişle, prosesin kontrol altında olduğu durumda elde edilmesinden sonra üretim prosesinin ileriye yönelik performansını incelemek için Faz II aşamasına geçilecektir. Ancak, bu aşamaya geçmeden önce, Faz I verileri için araştırılan varsayımlar, herhangi bir kontrol dışı gözlem içermeyen ve grafiklerin Faz II aşaması için temel oluşturulan RVK için de araştırılmıştır.

### 3.4. RVK'nın Varsayımlar Açısından Değerlendirilmesi

Daha önce ifade edildiği gibi, Faz I aşaması için araştırılan varsayımların bünyesinde herhangi bir kontrol dışı gözlem içermeyen ve üretim prosesinin gelecek durumunu ortaya koyacak olan Faz II için bir temel oluşturacak olan RVK için de değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu bakımdan, Faz I verilerinden kontrol dışı gözlemlerin uzaklaştırılması ile ulaşılan RVK'ya ait gözlem değerleri de belirtilen varsayımlar açısından değerlendirilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

#### 3.4.1. RVK İçin Doğrusallık Varsayımı ile İlgili Bulgular

Tablo 16'da 4 kalite değişkeni ve 28 veri grubu kullanılarak hesaplanan korelasyon katsayılarına ait matris sunulmuştur.

Tablo 16. RVK'ya ait gözlemlerin korelasyon matrisi

Kalite Değişkenleri		Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Yüzey Vida Tutma (N)	Kenar Vida Tutma (N)
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	Pearson korelasyon	1	0.451	-0.204	-0.079
	Anlamlılık	-	0.016	0.297	0.688
	N	-	28	28	28
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Pearson korelasyon	-	1	-0.380	-0.009
	Anlamlılık	-	-	0.046	0.964
	N	-	-	28	28
Yüzey Vida Tutma (N)	Pearson korelasyon	-	-	1	0.305
	Anlamlılık	-	-	-	0.114
	N	-	-	-	28
Kenar Vida Tutma (N)	Pearson korelasyon	-	-	-	1
	Anlamlılık	-	-	-	-
	N	-	-	-	-

RVK'ya ait korelasyon matrisi incelendiğinde eğilme direnci ile elastikiyet modülü arasında ve elastikiyet modülü ile yüzey vida tutma arasında anlamlı ilişkilerin var olduğu görülmüştür. Bununla beraber, %5 önem düzeyinde anlamlı olmamasına rağmen yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti arasında da kayda değer bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Sonuç olarak; bazı kalite değişkenleri arasında anlamsız ilişkiler var olmasına rağmen anlamlı ilişkilerin de varlığından dolayı diğer varsayımlar incelenerek analize devam edilmiştir.

### 3.4.2. RVK İçin Normallik Varsayımı ile İlgili Bulgular

#### 3.4.2.1. RVK İçin Tek Değişkenli Normallik Varsayımı ile İlgili Bulgular

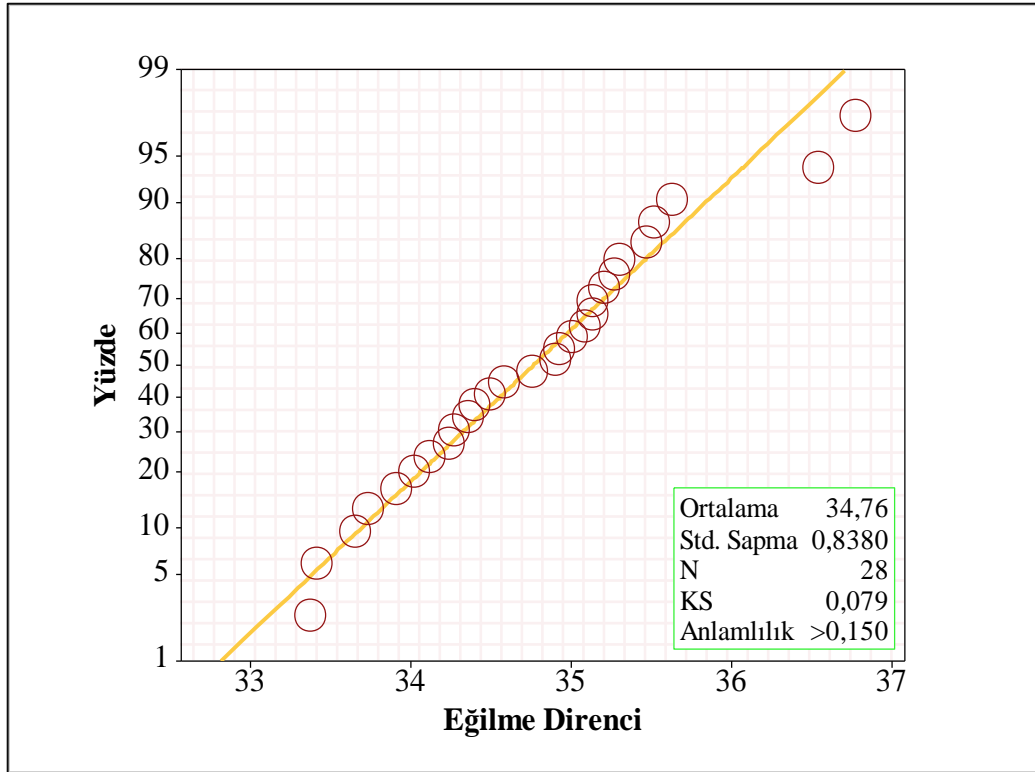
Faz I aşamasında olduğu gibi, kalite değişkenlerinin normal dağılıp dağılmadığı bu değişkenlere Kolmogorov-Smirnov testi uygulanarak araştırılmış, bununla beraber, çizilen

Q-Q grafikleri ile sonuçlar görsel olarak sunulmuştur. Kolmogorov-Smirnov test sonuçları Tablo 17’de verilmiştir.

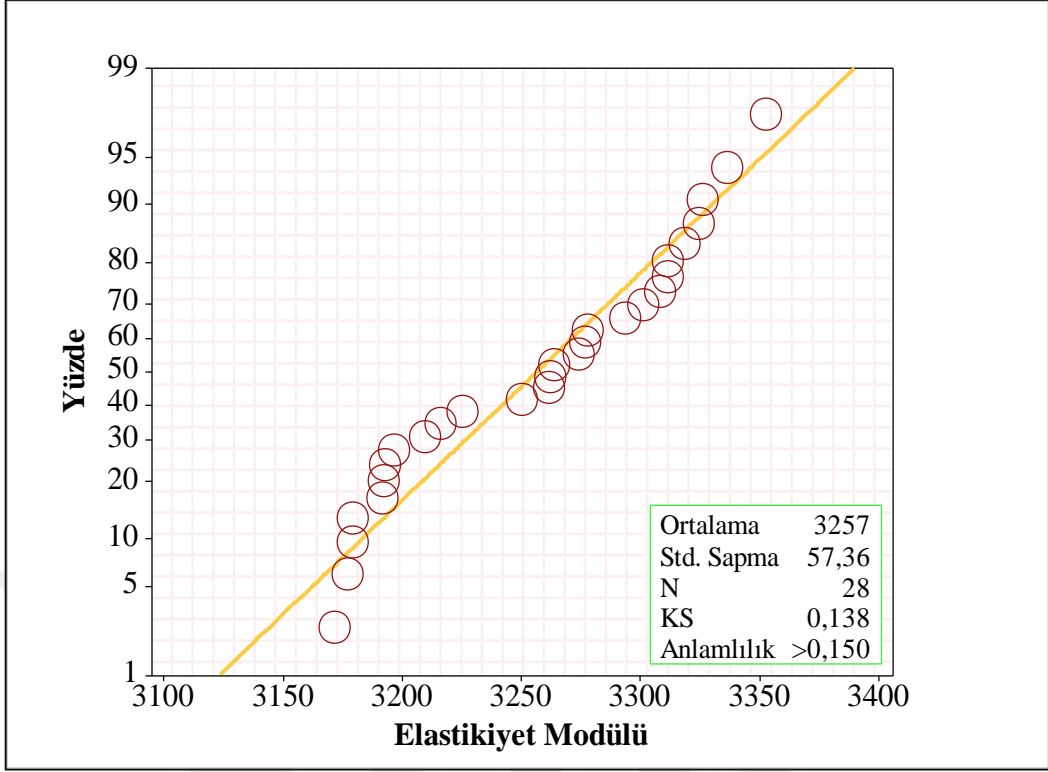
Tablo 17. RVK’ya ait gözlemlerin Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları

Kalite Değişkenleri	Kolmogorov-Smirnov		
	Test İstatistiği	df	Anlamlılık
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	0.079	28	0.200
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	0.138	28	0.184
Yüzey Vida Tutma (N)	0.163	28	0.054
Kenar Vida Tutma (N)	0.136	28	0.197

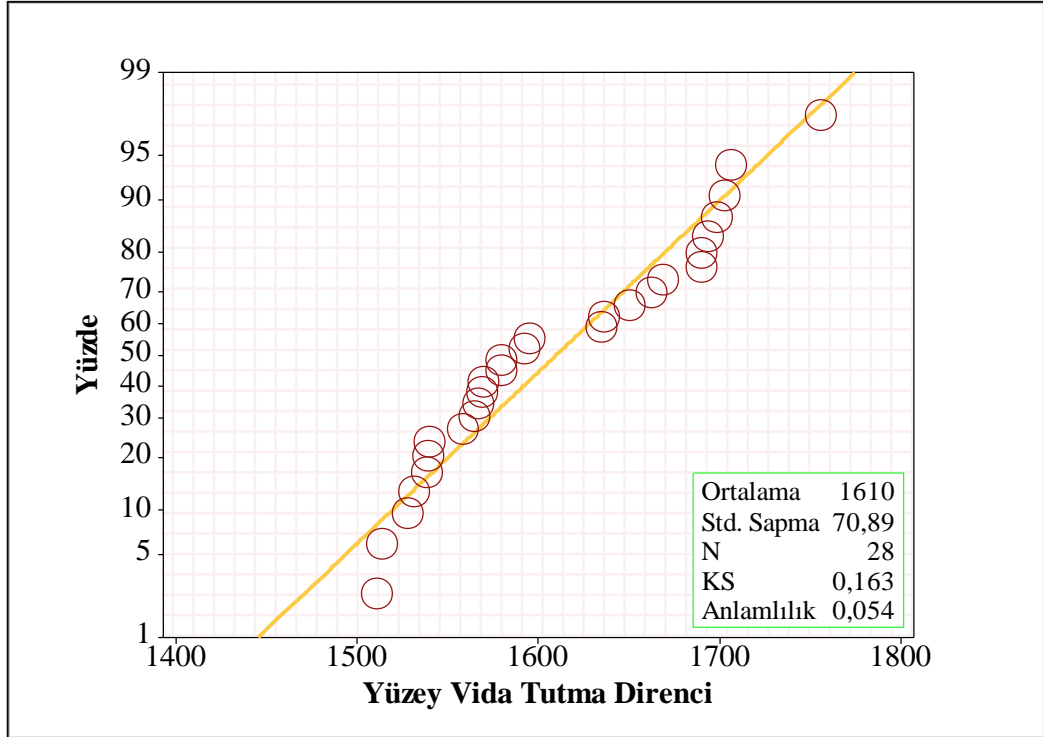
Tablo 17 incelendiğinde, tüm kalite değişkenlerine ait anlamlılık seviyesinin %5’den büyük olduğu, başka bir deyişle, tüm değişkenlerin normal dağılım gösterdiği görülmüştür. Kalite değişkenlerinin normal dağılım gösterip göstermediğinin görsel sunumu için sık sık kullanılan bir yöntem olan Q-Q grafikleri ise Şekil 44-47’de verilmiştir.



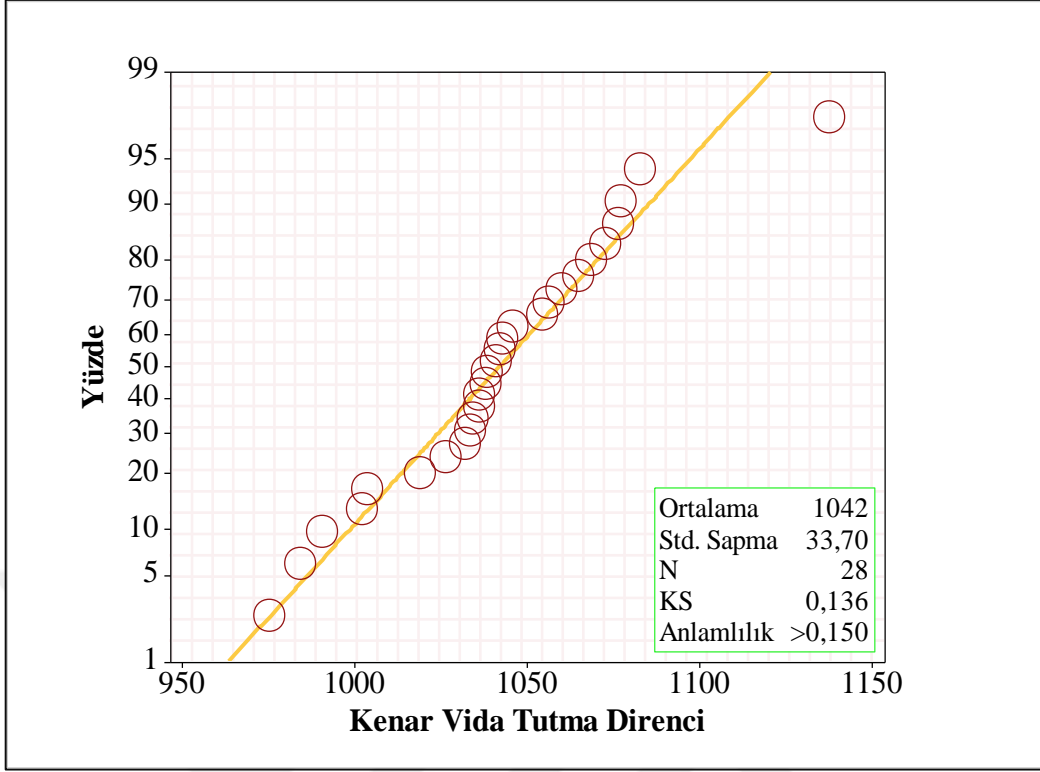
Şekil 44. RVK için eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>) değişkenine ait Q-Q grafiği



Şekil 45. RVK için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait Q-Q grafiği



Şekil 46. RVK için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği



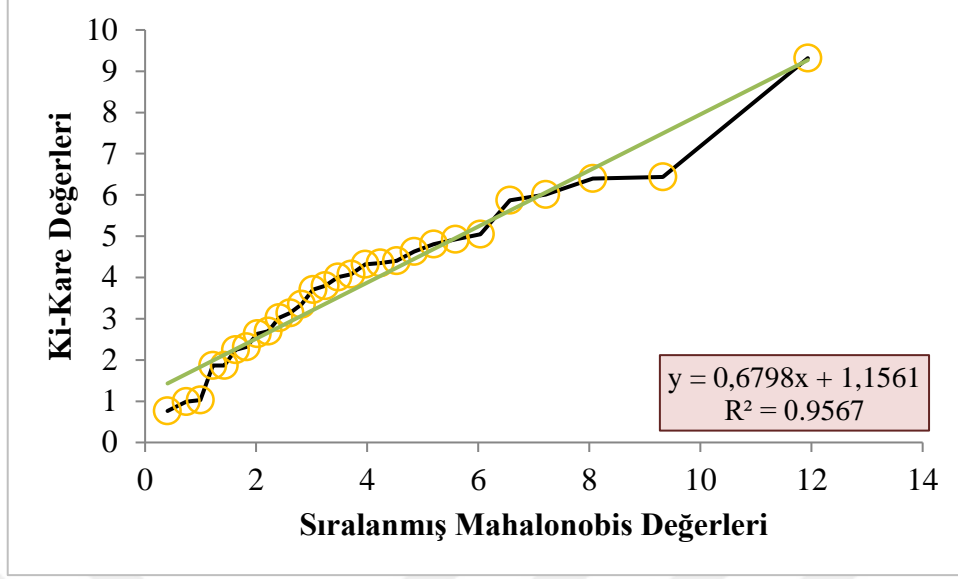
Şekil 47. RVK için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait Q-Q grafiği

Şekil 44 – 47'nin incelenmesi sonucu 4 kalite değişkeninin Faz I verilerinde olduğu gibi normal dağılım gösterdiği görülmüştür. Ancak, daha önce de ifade edildiği gibi, kalite değişkenlerinin tek değişkenli normal dağılım göstermesi veri kümesinin her zaman çok değişkenli normal dağılıma da sahip olduğunu garanti etmemektedir. Bu nedenle, verilerin çok değişkenli normal dağılım gösterip göstermediği de araştırılmıştır.

### 3.4.2.2. RVK İçin Çok Değişkenli Normallik Varsayımı ile İlgili Bulgular

Çoklu normallik varsayımının incelenmesinde Mahalanobis uzaklığına dayandırılmış testlerden yararlanılmıştır. Bu amaçla, 28 veri grubuna ait Mahalanobis değerleri SPSS kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler küçükten büyüğe sıralanmıştır. Sıra numaralarına bağlı olarak, her bir Mahalanobis değeri için  $x^2$  değerleri elde edilmiş ve sıralanmış Mahalanobis değerleri ile  $x^2$  değerleri arasında bir serpilme grafiği oluşturulmuştur.

Sıralanmış Mahalanobis değerleri ile  $x^2$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 48'de sunulmuştur.



Şekil 48. RVK için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren serpilme grafiği

Şekil 48 Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasında doğrusal bir ilişkinin mevcut olduğunu ortaya koymuştur. Serpilme grafiğinde görülen bu doğrusal ilişkinin gücünü tam olarak belirleyebilmek için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasında SPSS yazılımı ile korelasyon analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 18'de sunulmuştur.

Tablo 18. RVK için sıralanmış Mahalanobis değerleri ve  $x^2$  değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren korelasyon analizi sonuçları

Korelasyon Analizi		Ki-Kare Değerleri	Sıralanmış Mahalanobis Değerleri
Ki-Kare Değerleri	Pearson korelasyon	1	0.978
	Anlamlılık	-	0.000
	N	-	28
Sıralanmış Mahalanobis Değerleri	Pearson korelasyon	-	1
	Anlamlılık	-	-
	N	-	-

Tablo 18 incelendiğinde, Pearson Korelasyon katsayısının 1'e çok yakın olduğu ve bu katsayının % 1 anlamlılık seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu durum, RVK verilerinin çoklu normallik varsayımını karşıladığını göstermiştir.

### 3.4.3. RVK İçin Eş - Varyanslık Varsayımı ile İlgili Bulgular

Doğrusallık ve normallik varsayımlarının incelenmesinin ardından diğer bir varsayım olan eş-varyanslık varsayımı da araştırılmıştır. Bu varsayım, Box's M testiyle araştırılmış ve Tablo 19'da verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 19. RVK için kalite değişkenlerinin Box's M testi sonuçları

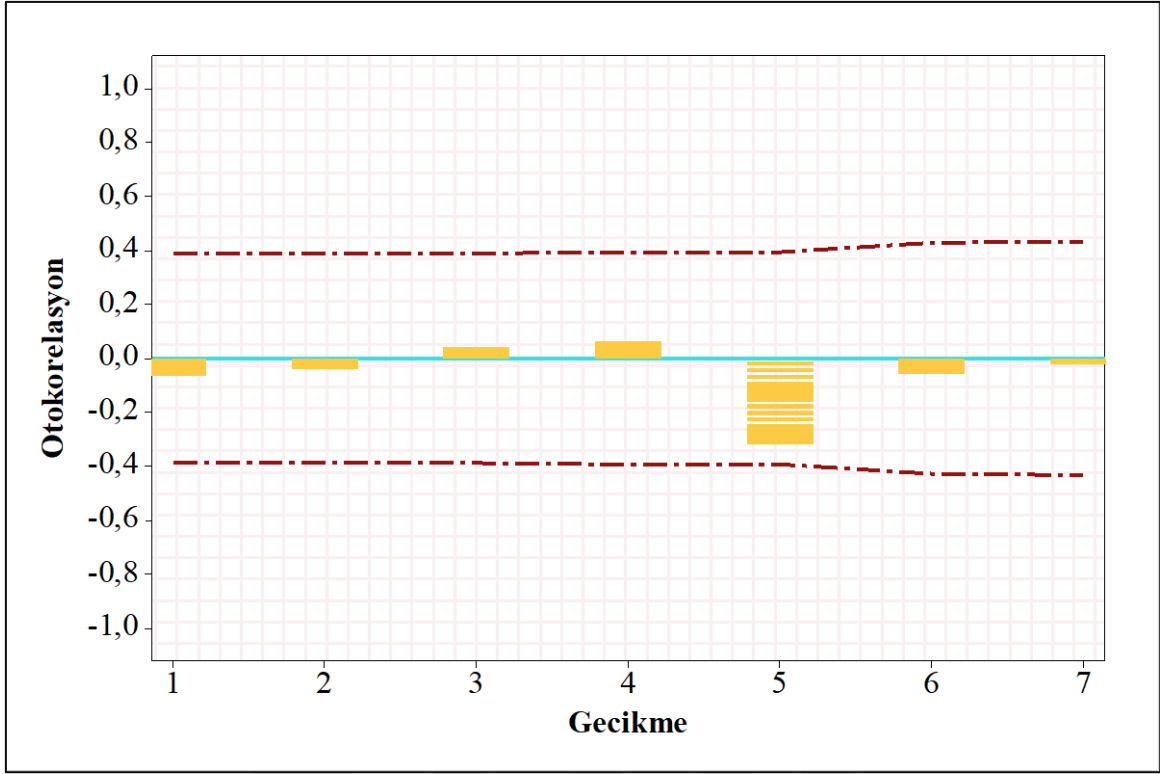
Box's M	456.097
F	0.967
sd <sub>1</sub>	270
sd <sub>2</sub>	4797.398
Anlamlılık	0.636

Tablo 19 incelendiğinde, analize ait anlamlılık değerinin %5'den daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, sıfır hipotezinin kabul edildiği, diğer bir deyişle, değişkenlerin eş varyanslık varsayımını sağladığı anlamına gelmektedir. Eş varyanslık testinin araştırılması sonrasında zamana bağlı gözlem değerlerinin bağımsız olması varsayımıyla analize devam edilmiştir.

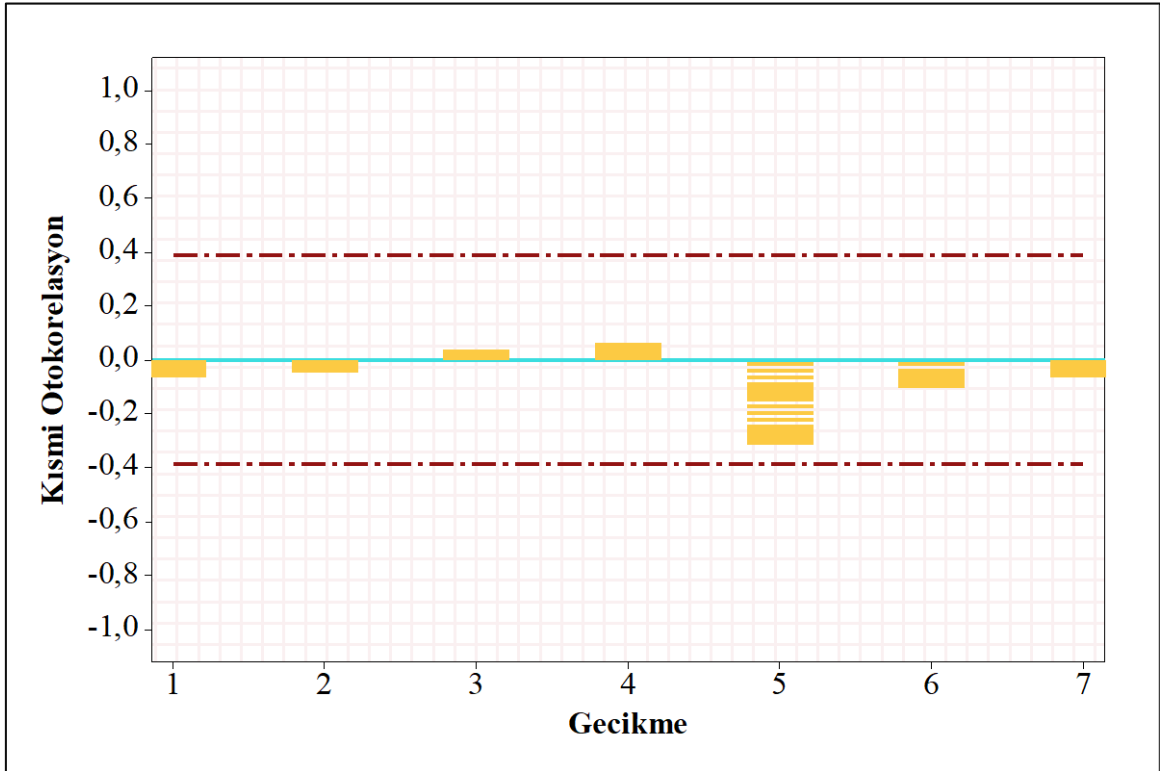
### 3.4.4. RVK İçin Gözlem Değerlerinin Bağımsızlığı (Otokorelasyon Olmaması) Varsayımı ile İlgili Bulgular

Aşağıda, RVK için MDF üretim prosesinin dört kalite değişkenine ait otokorelasyon fonksiyon grafikleri, kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri ve Box-Ljung istatistiği tabloları sunulmuştur. Eğilme direnci değişkeni için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri Şekil 49 ve 50'de sırasıyla verilmiştir.





Şekil 49. RVK için eğilme direncinin otokorelasyon fonksiyon grafiği



Şekil 50. RVK için eğilme direncinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

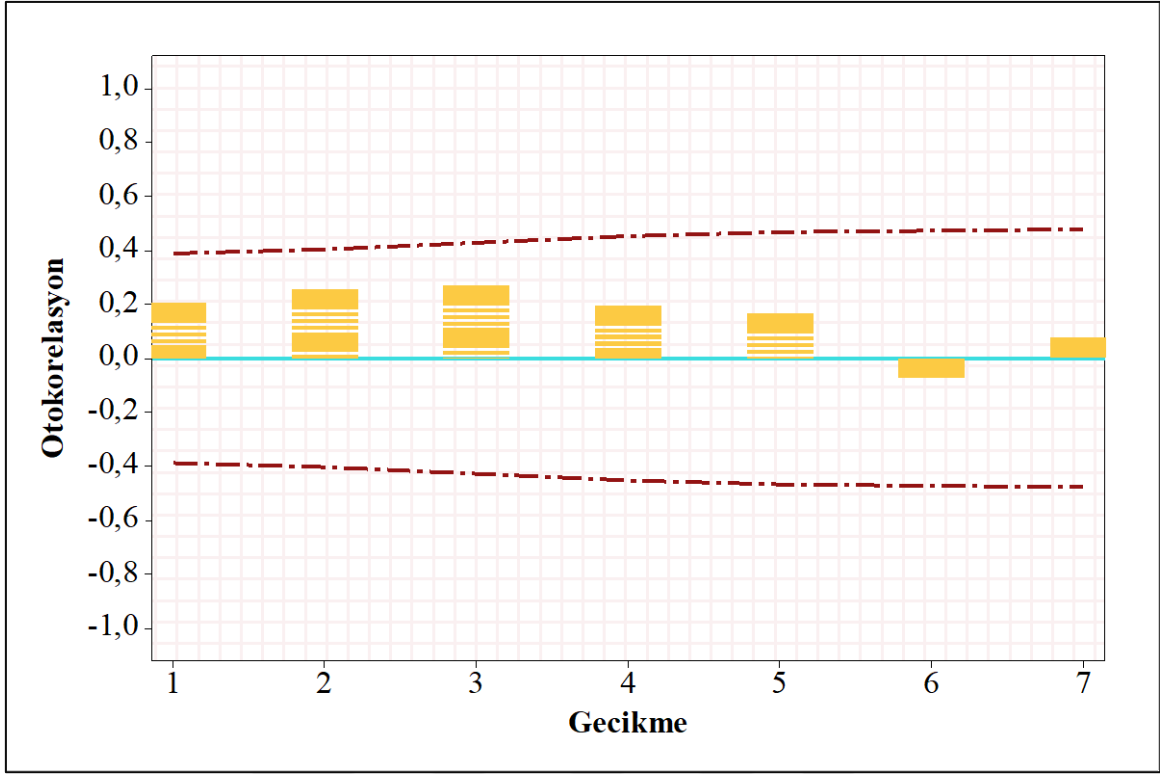
Tablo 20’de eğilme direnci değişkeni için Box Ljung istatistiği değerleri verilmiştir.

Tablo 20. RVK için eğilme direncinin Box Ljung istatistiği tablosu

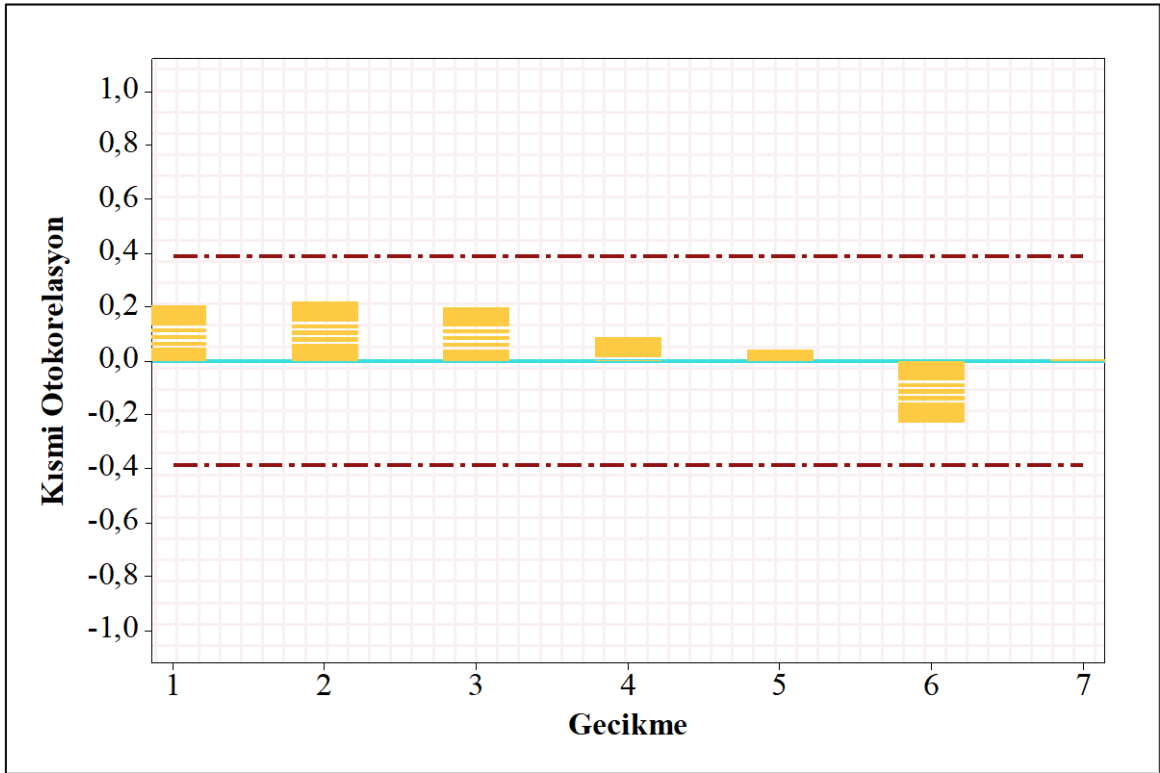
Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
<b>1</b>	-0.066	0.179	0.136	1	0.712
<b>2</b>	-0.040	0.176	0.188	2	0.910
<b>3</b>	0.041	0.173	0.245	3	0.970
<b>4</b>	0.060	0.169	0.371	4	0.985
<b>5</b>	-0.320	0.165	4.102	5	0.535
<b>6</b>	-0.059	0.162	4.236	6	0.645
<b>7</b>	-0.023	0.158	4.257	7	0.750

Şekil 49 ve 50 birlikte incelendiğinde, hiçbir gecikmenin güven sınırlarını aşmadığı belirlenmiştir. Ek olarak, Tablo 20’nin incelenmesi sonucunda da herhangi bir gecikmeye ait anlamlılık değerinin %5’den küçük olmadığı tespit edilmiştir. Eğilme direnci için Faz I verilerinin kullanımı ile oluşturulan Box Ljung İstatistiği tablosunda karşılaşılan anlamlı gecikmeler kontrol dışı gözlemlerin atılması sonucu elde edilen RVK’ya ait Tablo 20’de görülmemiştir.

Elastikiyet modülü değişkeni için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri Şekil 51 ve 52’de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 51. RVK için elastikiyet modülünün otokorelasyon fonksiyon grafiği



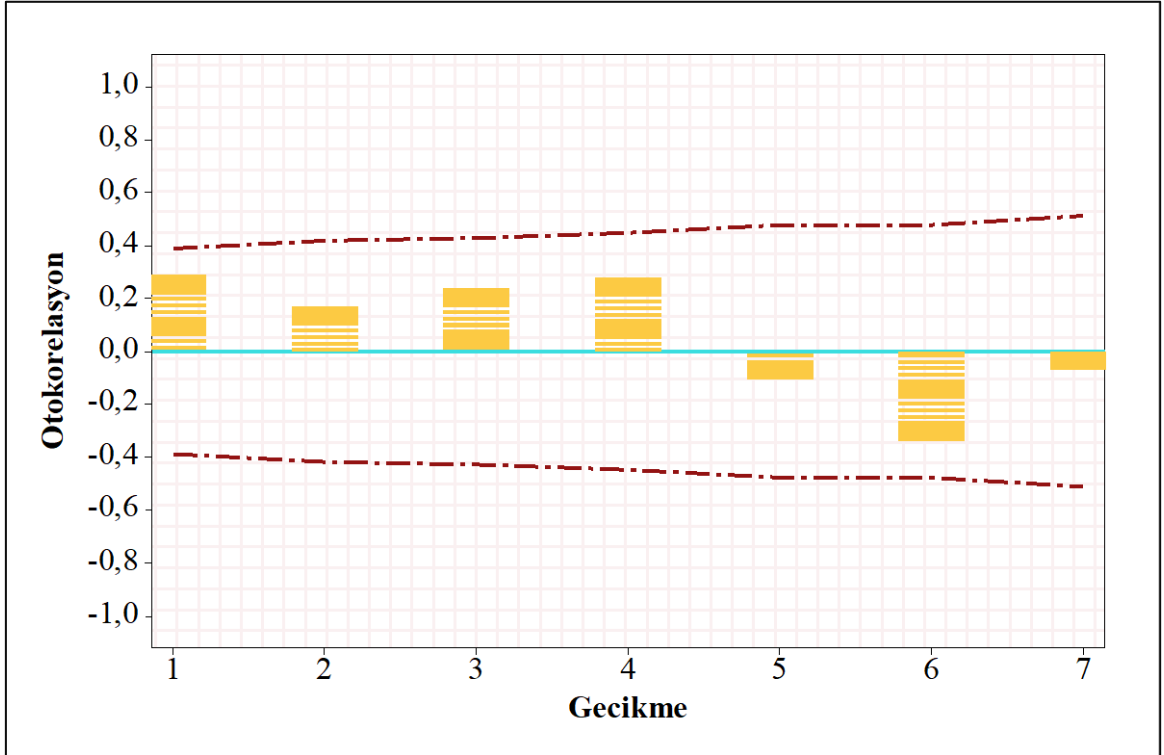
Şekil 52. RVK için elastikiyet modülünün kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

Tablo 21’de elastikiyet modülü için Box Ljung istatistiği değerleri verilmiştir.

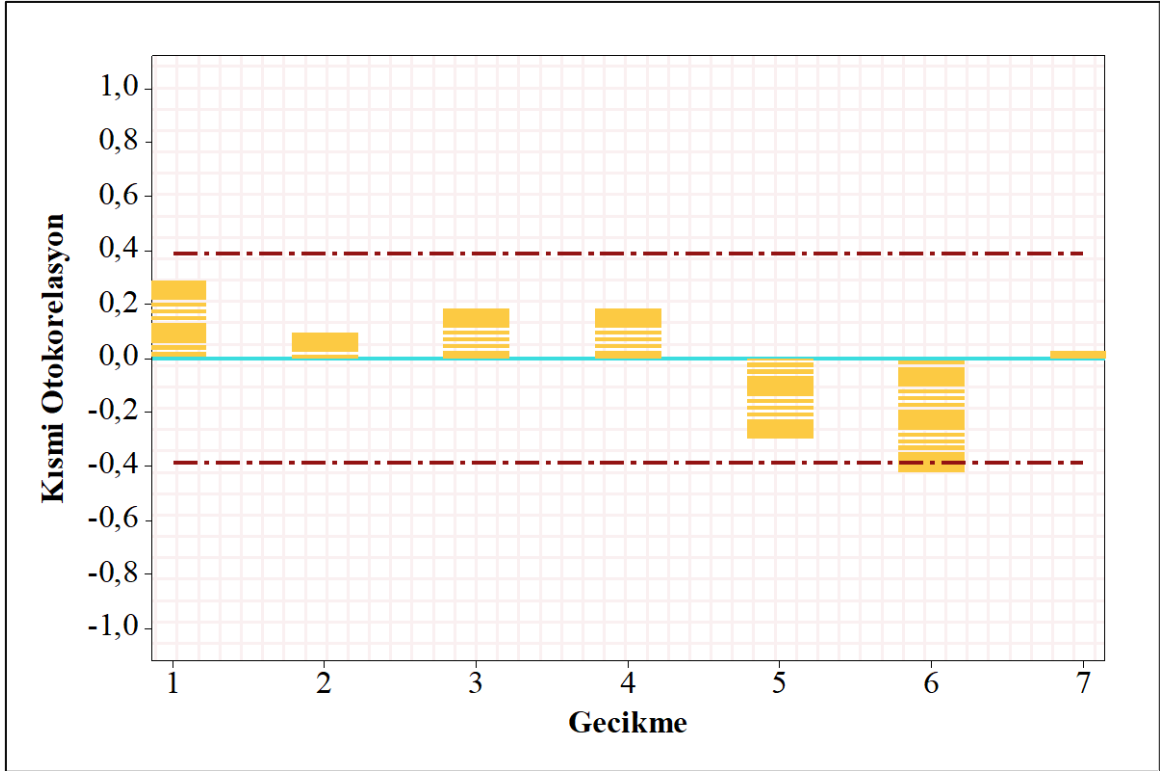
Tablo 21. RVK için elastikiyet modülünün Box Ljung istatistiği tablosu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
1	0.207	0.179	1.333	1	0.248
2	0.254	0.176	3.422	2	0.181
3	0.271	0.173	5.894	3	0.117
4	0.195	0.169	7.230	4	0.124
5	0.168	0.165	8.258	5	0.143
6	-0.071	0.162	8.450	6	0.207
7	0.076	0.158	8.682	7	0.276

Şekil 51-52 ve Tablo 21 hiçbir gecikmenin güven sınırlarını aşmadığını ve hiçbir gecikmeye ait anlamlılığın %5’den küçük olmadığını ortaya koymuştur. Yüzey vida tutma kabiliyeti için otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon grafikleri sırasıyla Şekil 53 ve 54’de verilmiştir.



Şekil 53. RVK için yüzey vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği



Şekil 54. RVK için yüzey vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

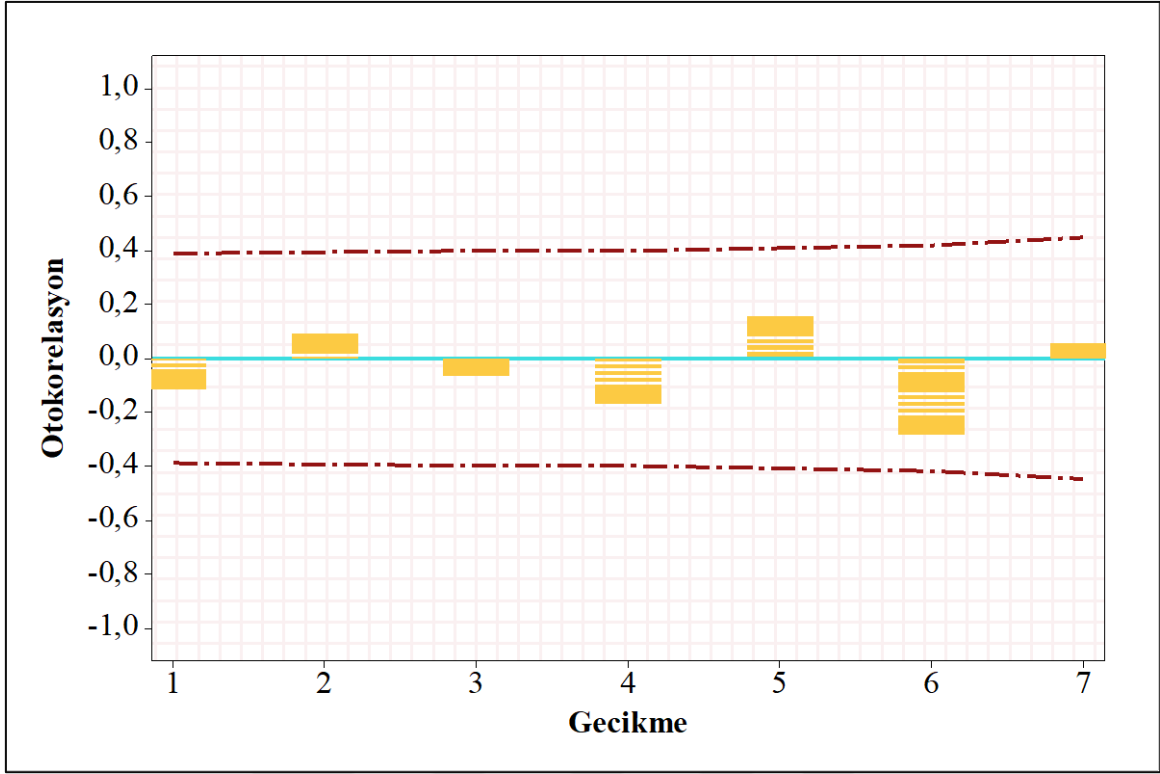
Tablo 22’de yüzey vida tutma için Box Ljung istatistiği değerleri verilmiştir.

Tablo 22. RVK için yüzey vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu

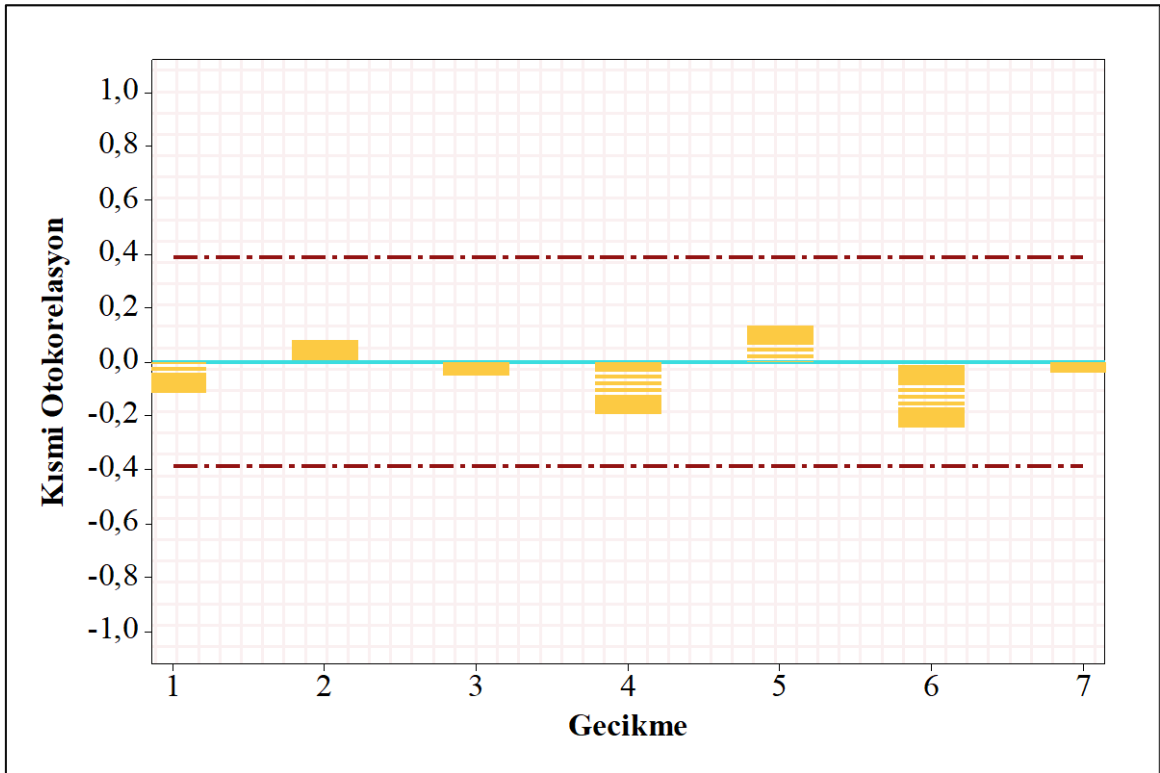
Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
1	0.290	0.179	2.611	1	0.106
2	0.172	0.176	3.567	2	0.168
3	0.242	0.173	5.529	3	0.137
4	0.281	0.169	8.302	4	0.081
5	-0.108	0.165	8.724	5	0.121
6	-0.339	0.162	13.116	6	0.041
7	-0.074	0.158	13.336	7	0.064

Şekil 53 ve 54 incelendiğinde sadece kısmi otokorelasyon grafiğinde bir gecikmenin güven sınırlarını aştığı, Tablo 22’nin incelenmesi ile de sadece bir gecikmeye ait anlamlılık değerinin %5’den küçük olduğu ve bu değer de %5’e çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 55 ve 56’da kenar vida tutma kabiliyeti için otokorelasyon grafikleri verilmiştir.



Şekil 55. RVK için kenar vida tutma kabiliyetinin otokorelasyon fonksiyon grafiği



Şekil 56. RVK için kenar vida tutma kabiliyetinin kısmi otokorelasyon fonksiyon grafiği

Tablo 23’de kenar vida tutma için Box Ljung istatistiği değerleri verilmiştir.

Tablo 23. RVK için kenar vida tutma kabiliyetinin Box Ljung istatistiği tablosu

Gecikme	Otokorelasyon	Standart Hata	Box Ljung İstatistiği		
			Değer	sd	Anlamlılık
1	-0.115	0.179	0.410	1	0.522
2	0.093	0.176	0.691	2	0.708
3	-0.069	0.173	0.851	3	0.837
4	-0.172	0.169	1.881	4	0.758
5	0.155	0.165	2.757	5	0.737
6	-0.285	0.162	5.848	6	0.440
7	0.056	0.158	5.973	7	0.543

Şekil 55 ve 56 birlikte incelendiğinde, hiçbir gecikmenin güven sınırlarını aşmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, Tablo 23’ün incelenmesi sonucunda hiçbir gecikmeye ait anlamlılık değerinin %5’den küçük olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak; oluşturulan otokorelasyon ve kısmi otokorelasyon fonksiyon grafikleri incelendiğinde eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti değişkenlerinden sadece yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeninin kısmi otokorelasyon grafiğinde bir gecikmenin güven sınırlarını aştığı görülmüştür. Benzer şekilde, Box Ljung istatistiği tablosunda da yine aynı kalite değişkeni için sadece bir gecikmeye ait anlamlılık değerinin %5’den düşük olduğu ve bu değer de %5’e çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, RVK açısından kalite değişkenlerine ait incelenen gözlem değerlerinde otokorelasyon probleminin olmadığını ortaya koymuştur.

### 3.5. Farklı Kontrol Grafikleri ile Faz II Aşamasının Uygulanması

Faz I aşaması sonucunda araştırılan proses kontrol altına alınarak RVK elde edilmiş ve RVK’nın istatistiksel özeti Tablo 15’de verilmiştir. Faz II aşaması için kontrol grafikleri oluşturulmadan önce bu aşamada kullanılacak verilerin de istatistiksel özeti hesaplanmış ve Tablo 24’de sunulmuştur.

Tablo 24. Faz II veri kümesinin istatistiksel özeti

Kalite Değişkenleri	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	Varyans
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	87	30.42	39.38	35.034	1.86	3.47
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	87	2916.03	3449.80	3197.98	112.08	12562.45
Yüzey Vida Tutma (N)	87	1455.00	1862.60	1617.10	77.376	5987.09
Kenar Vida Tutma (N)	87	915.60	1227.80	1046.97	64.33	4138.58

Faz II verilerinin istatistiksel özeti RVK'nın istatistiksel özeti ile karşılaştırıldığında, varyans, standart sapma ve maksimum değer açısından Faz II veri kümesindeki değerlerin daha yüksek olduğu, minimum değerlere bakıldığında ise RVK değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, RVK'nın elde edilmesi amacıyla veri kümesindeki sapma gösteren değerlerin veri grubundan atılmasından kaynaklanmıştır. Kalite değişkenlerine ait ortalama değerlerin ise birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

RVK'daki gözlem değerlerinden yararlanılarak  $\bar{x}$ , R, Hotelling T<sup>2</sup> ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri için MDF üretim prosesinin ileriye yönelik durumu, yani, Faz II aşaması uygulanmıştır.

### 3.5.1. Hotelling T<sup>2</sup> ve Genelleştirilmiş Varyans Kontrol Grafikleri Kullanılarak Faz II Aşamasının Uygulanması

Hotelling T<sup>2</sup> grafiklerinde AKL sıfır olarak kabul edilirken ÜKL F dağılımına göre örnek büyüklüğü (n) = 5, değişken sayısı (p) = 4, örnek grubu sayısı (m) = 28 ve  $\alpha = 0.0027$  değerleri için eşitlik 82 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

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

$$\text{ÜKL} = \frac{4 \times (28+1) \times (5-1)}{28 \times 5 - 28 - 4 + 1} \times F_{0.0027,4,28 \times 5 - 28 - 4 + 1}$$

$$\text{ÜKL} = \frac{464}{109} \times F_{0.0027,4,109} = 18.47$$



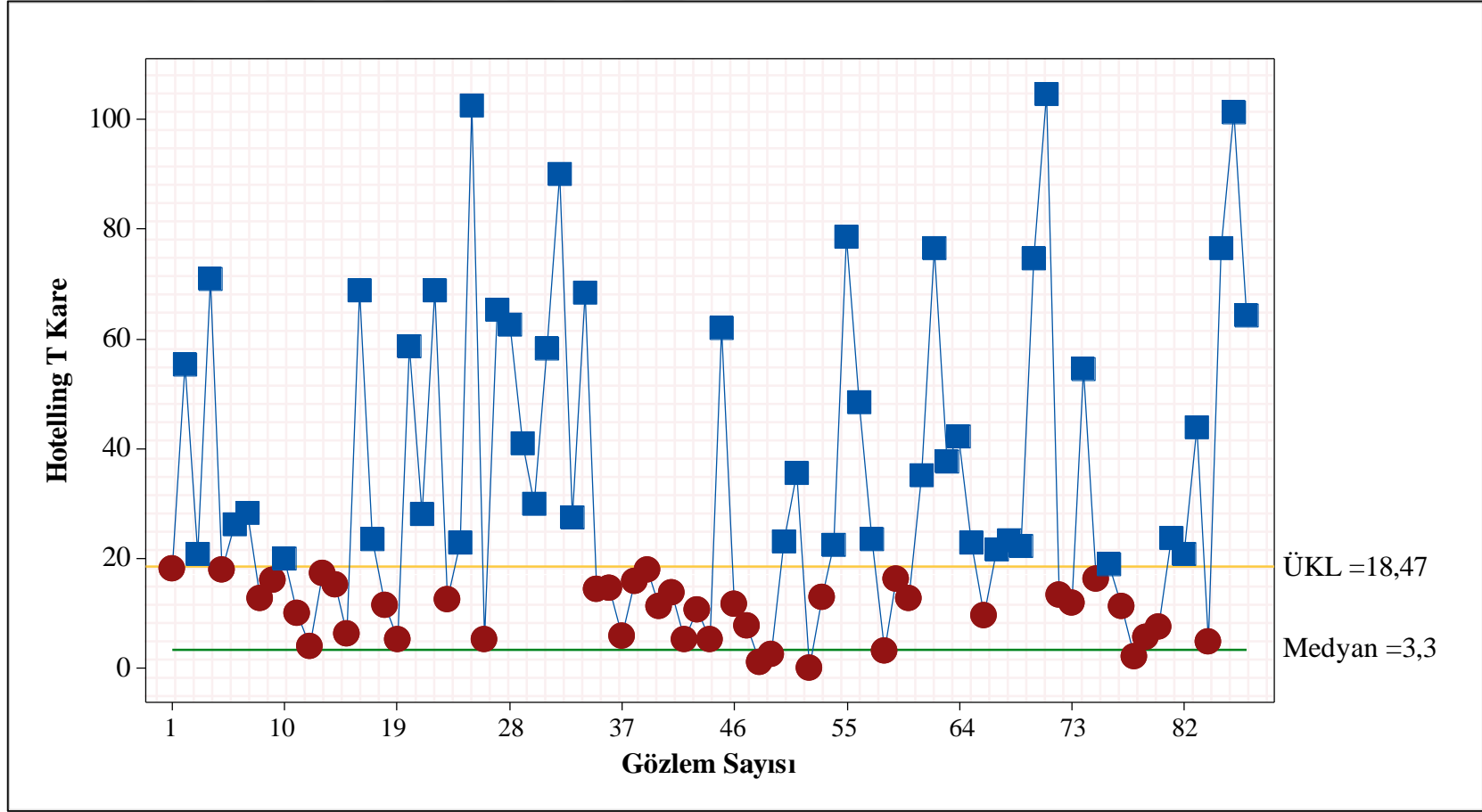
Prosesle ait güvenilir kontrol limiti 18.47 olarak elde edilmiştir. Faz II'de bu kontrol limitine dayalı olarak prosesin ileriye yönelik durumu araştırılmıştır. Prosesle ait kontrol limitlerinin belirlenmesi sonrasında RVK'nın değişken ortalamaları ve varyans - kovaryans matrisi kullanılarak Faz II için her bir veri grubunun Hotelling  $T^2$  değerleri Minitab yazılımından faydalanılarak eşitlik 79'a göre hesaplanmıştır. Tablo 25'de Faz II aşaması için elde edilen Hotelling  $T^2$  değerleri sunulmuştur.

Tablo 25. Faz II için elde edilen  $T^2$  değerleri

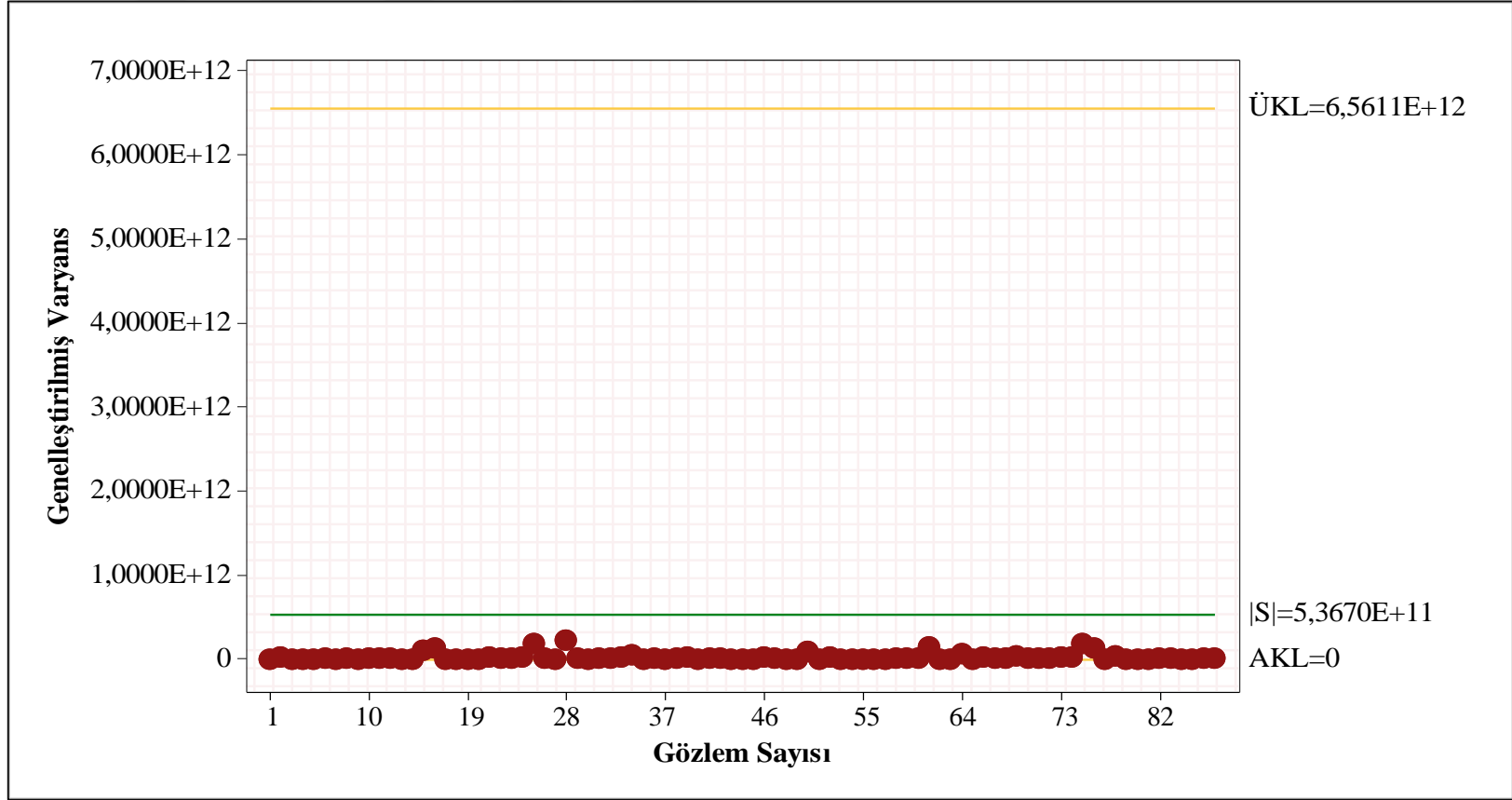
Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri	Gözlem No	$T^2$ Değeri
1	18.124	19	5.328	37	5.904	55	78.727*	73	11.902
2	55.472*	20	58.779*	38	15.977	56	48.615*	74	54.630*
3	20.883*	21	28.235*	39	18.065	57	23.506*	75	16.370
4	70.966*	22	68.889*	40	11.271	58	3.309	76	19.058*
5	17.982	23	12.571	41	13.860	59	16.358	77	11.245
6	26.263*	24	23.068*	42	5.262	60	12.716	78	2.123
7	28.304*	25	102.543*	43	10.708	61	35.291*	79	5.633
8	12.729	26	5.295	44	5.316	62	76.650*	80	7.564
9	16.084	27	65.408*	45	62.135*	63	37.651*	81	23.754*
10	20.098*	28	62.659*	46	11.775	64	42.234*	82	20.929*
11	10.006	29	41.122*	47	7.776	65	22.901*	83	43.937*
12	4.086	30	29.992*	48	1.094	66	9.697	84	4.930
13	17.270	31	58.310*	49	2.594	67	21.712*	85	76.648*
14	15.328	32	90.059*	50	23.197*	68	23.398*	86	101.442*
15	6.424	33	27.514*	51	35.716*	69	22.269*	87	64.262*
16	68.888*	34	68.519*	52	0.120	70	74.773*	-	-
17	23.571*	35	14.359	53	13.000	71	104.670*	-	-
18	11.493	36	14.553	54	22.590*	72	13.408	-	-

\*: Kontrol dışı gözlem

Faz II aşaması için elde edilen Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri sırasıyla Şekil 57 ve 58'de verilmiştir.



Şekil 57. Faz II için oluşturulan Hotelling T<sup>2</sup> kontrol grafiği



Şekil 58. Faz II için oluşturulan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği

Üretim prosesinin gelecekteki durumunun araştırılması amacıyla oluşturulan Faz II aşamasının özeti Tablo 26’da sunulmuştur.

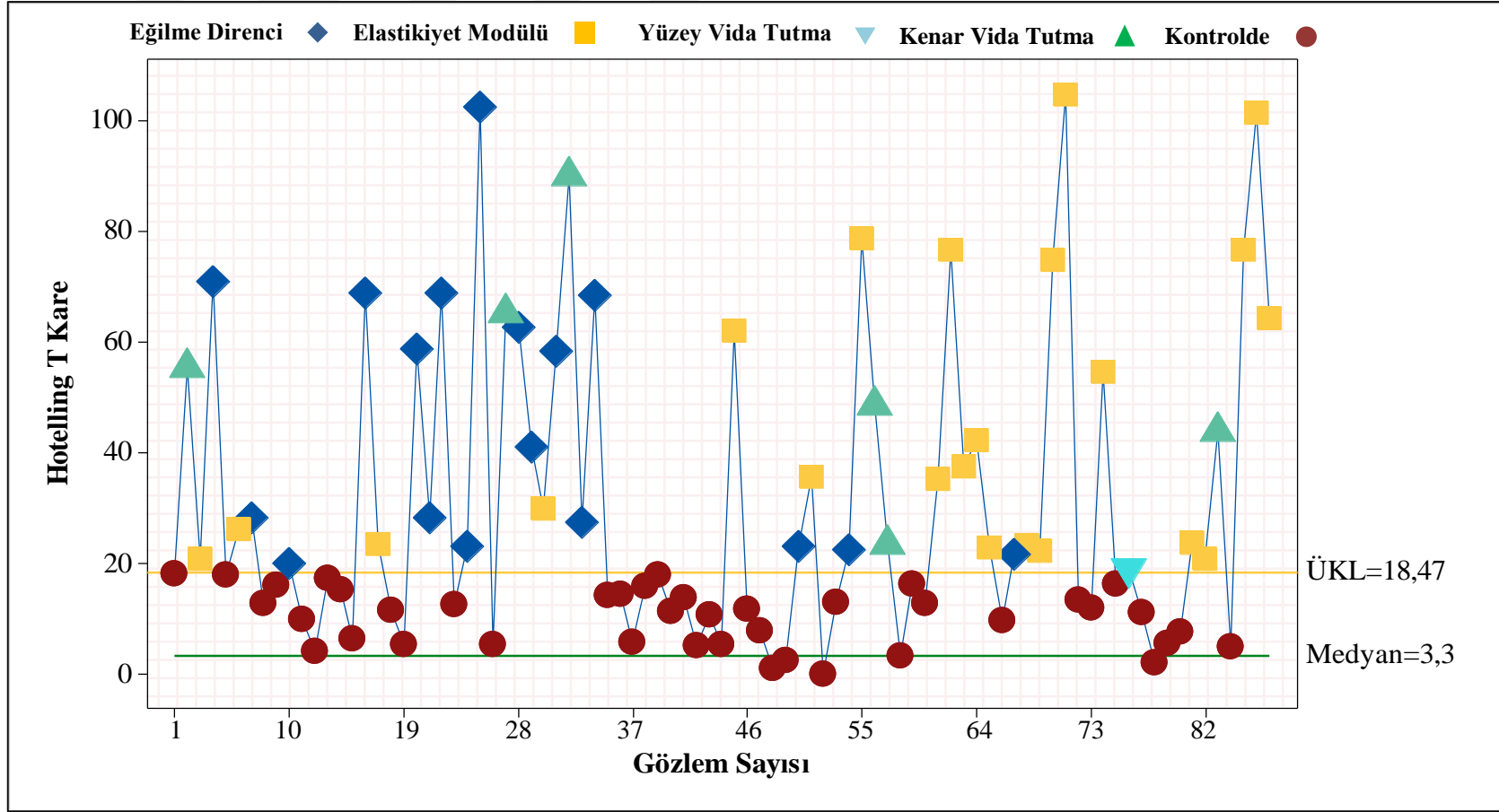
Tablo 26. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde Faz II aşamasının özeti

Aşama	ÜKL	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Kontrol Dışı Gözlemler	Kontroldeki Gözlem Sayısı	Kontrol Altındaki Gözlemler
Faz II	18.47	46	2-4, 6, 7, 10, 16, 17, 20-22, 24, 25, 27-34, 45, 50, 51, 54-57, 61-65, 67-71, 74, 76, 81-83, 85-87	41	1, 5, 8, 9, 11-15, 18, 19, 23, 26, 35-44, 46-49, 52, 53, 58-60, 66, 72, 73, 75, 77-80, 84

Şekil 57 incelendiğinde MDF üretim prosesinde 46 kontrol dışı sinyal belirlenmiştir. Faz II aşaması için oluşturulan Hotelling  $T^2$  grafiği üretim prosesinde önemli kaymaların bulunduğunu ve prosesin kontrolde olmadığını ortaya koymuştur. Genelleştirilmiş Varyans grafiğinin ise Faz I aşamasında gözlemlendiği gibi Faz II aşamasında da kontrolde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum araştırmaya konu olan üretim prosesinin ortalama vektöründeki değişkenliğin yüksek olmasına rağmen varyans yapısındaki değişkenliğin düşük olduğunu göstermiştir. Öte yandan, Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiğinde gözlem noktalarının AKL üzerinde gibi görünmesine rağmen bu gözlem noktalarına karşılık gelen değerlerin 0 olmadığını ifade etmek gerekmektedir. Aslında, oldukça büyük olarak bulunan bu değerler ÜKL’nin çok büyük olmasından dolayı grafik üzerinde AKL’ye çok yakın görünmektedir.

Literatürde, birçok araştırmacı Hotelling  $T^2$  yöntemini çok değişkenli proseslerde birden fazla kalite karakteristiğini aynı anda izlemede kullanılan en popüler yöntemlerden birisi olarak ifade etmekle beraber yöntemin bazı dezavantajlarına da dikkat çekmişlerdir. Daha önce de değinildiği gibi, Hotelling  $T^2$  grafiğinin dezavantajlarından biri kontrol dışı duruma neden olan değişkenin tespit edilememesidir. Bu işlem, karmaşık kovaryans yapısı nedeniyle kolay bir şekilde gerçekleştirilemez. Bu amaçla geliştirilmiş kapsamlı bir yöntem MYT ayrıştırma yöntemidir. Bu yöntemin kontrol dışı gözlemlere uygulanmasıyla kontrol dışı gözlemler için bir ya da birden fazla sorumlu değişken saptanabilmektedir.

Şekil 59’da  $T^2$  istatistiğinin ayrıştırılması sonucu tespit edilen ve her bir sinyale en fazla katkı sağlayan kalite değişkenleri gösterilmiştir.



Şekil 59 incelendiğinde 22 sinyale en fazla elastikiyet modülü değişkeni, 17 sinyale en fazla eğilme direnci değişkeni, 6 sinyale en fazla kenar vida tutma kabiliyeti değişkeni ve 1 sinyale ise en fazla yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeninin katkı sağladığı tespit edilmiştir. Burada ifade etmek gerekir ki Şekil 59 üzerinde ifade edilen değişkenler oluşan sinyal veya sinyallere neden olan tek faktör olmamakta ve her bir sinyale bir veya birden fazla değişken farklı düzeylerde anlamlı katkılar sağlamaktadır. Şekil 59 üzerinde belirtilen kalite değişkenleri sadece ayırıştırma sonucunda elde edilen katkı düzeyleri incelendiğinde sinyale en fazla katkısı olan değişkenlerdir.

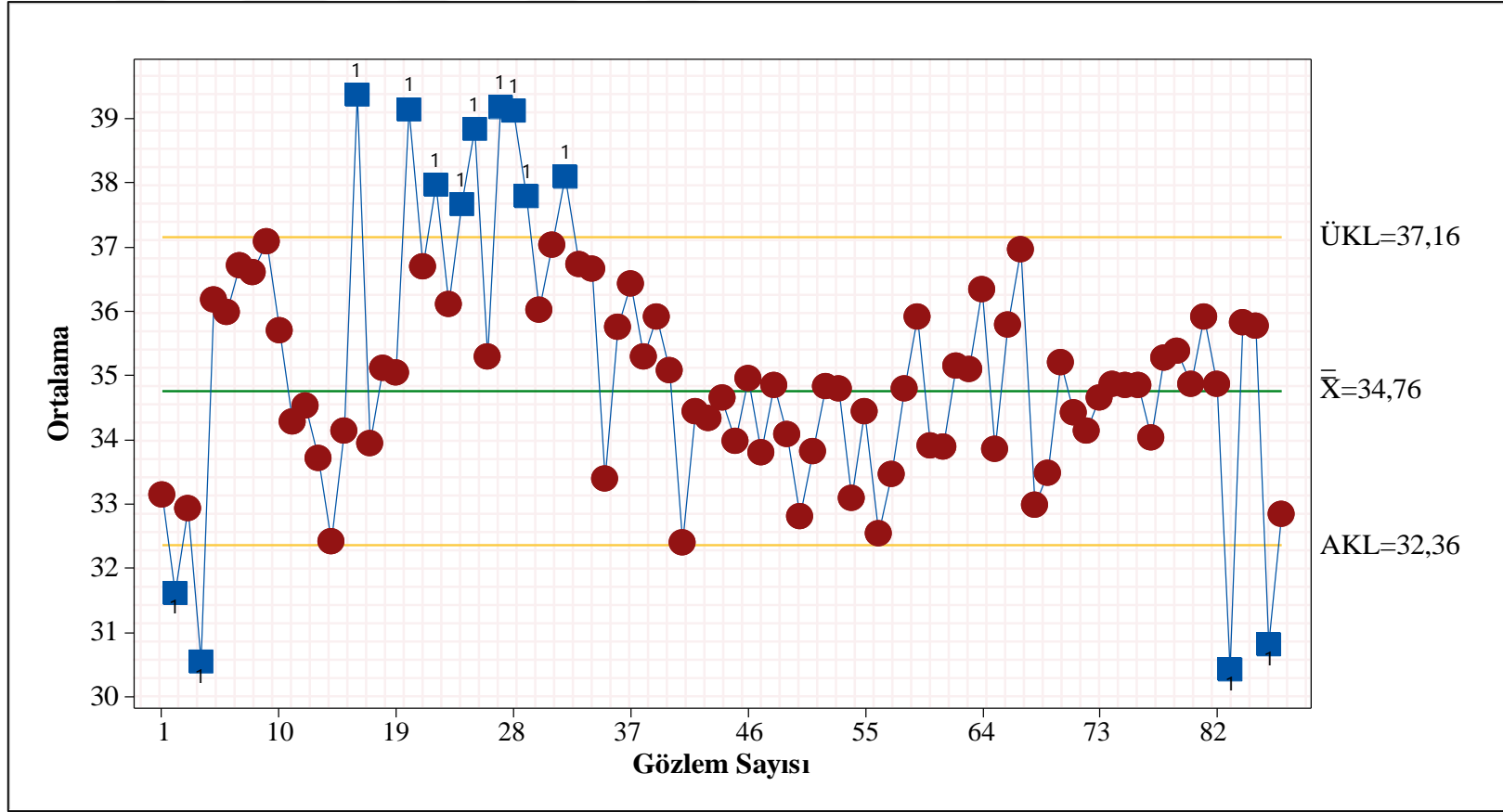
### 3.5.2. $\bar{x}$ ve R Kontrol Grafikleri Kullanılarak Faz II Aşamasının Uygulanması

Çok değişkenli kontrol grafikleri ile incelenen bir prosesin, proses ortalamasındaki değişimleri her kalite değişkeni için ayrı ayrı ortaya koyan tek değişkenli kontrol grafikleri ile değerlendirilmesi de önem taşımaktadır. Bu nedenle, Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri ile incelenen MDF üretim süreci tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri kullanılarak da analiz edilmiş ve çok değişkenli grafikler ile tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R grafiklerinin sonuçları karşılaştırılmıştır.

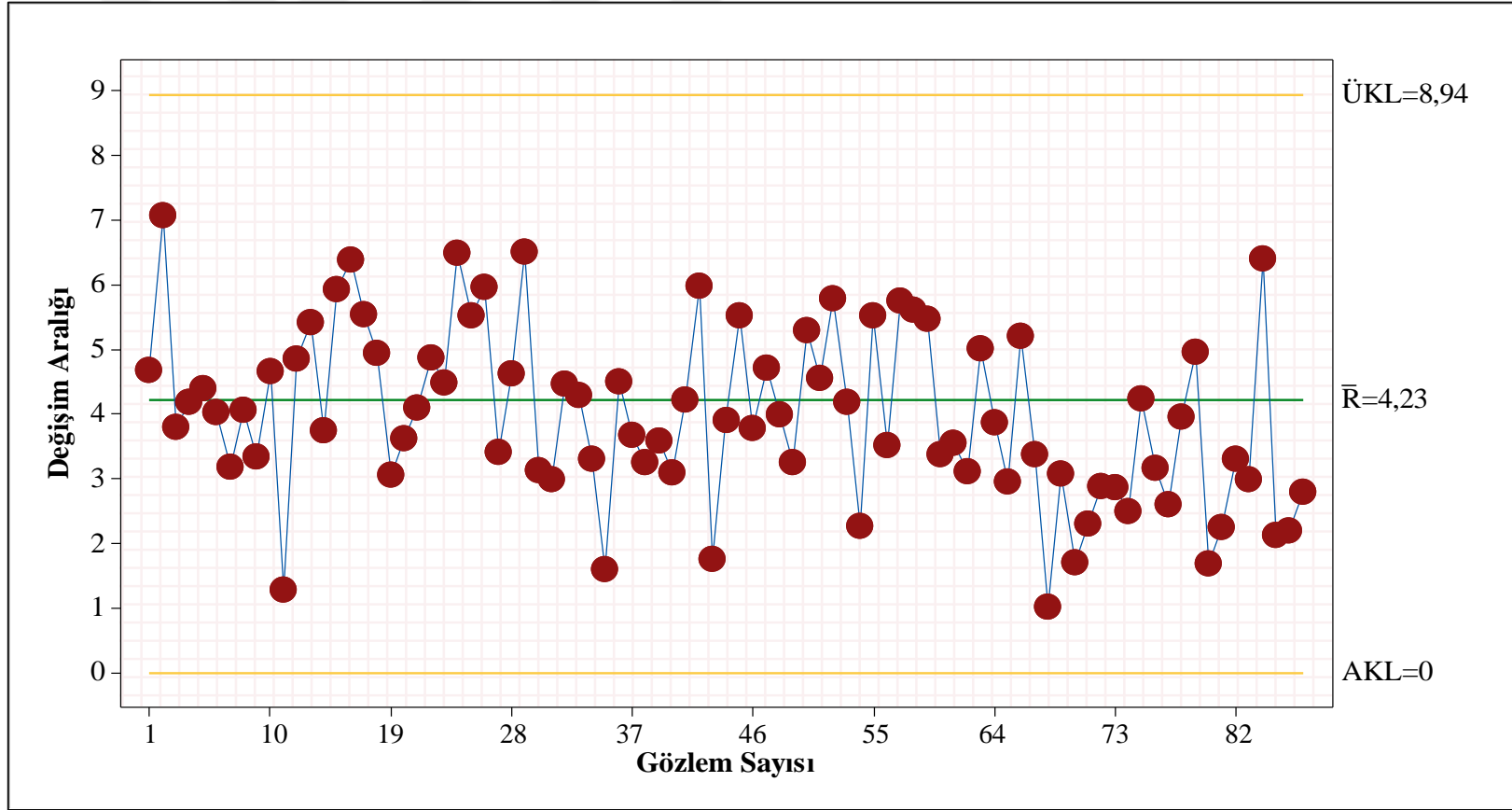
Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği kullanılarak Faz I aşaması sonucunda elde edilen RVK prosesin kontrolde olduğu durum olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle,  $\bar{x}$  ve R grafiklerinin oluşturulmasında Faz I uygulanmamış, diğer bir deyişle, bu grafikler için kontrol limitleri Hotelling  $T^2$  ile belirlenen RVK temel alınarak ulaşılan  $\bar{\bar{x}}$  ve  $\bar{\bar{R}}$  değerleri ile hesaplanmıştır. Her bir kalite değişkeni için RVK'ya ait  $\bar{\bar{x}}$  ve  $\bar{\bar{R}}$  istatistikleri Tablo 27'de ve bu istatistikler kullanılarak Faz II için oluşturulan  $\bar{x}$  ve R grafikleri her bir değişken için Şekil 60-67'de verilmiştir.

Tablo 27. Kalite değişkenlerine ait  $\bar{\bar{x}}$  ve  $\bar{\bar{R}}$  istatistikleri

Kalite Değişkenleri	N	$\bar{R}$	$\bar{\bar{x}}$
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	28	4.23	34.76
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	28	255.75	3256.63
Yüzey Vida Tutma (N)	28	200.64	1609.90
Kenar Vida Tutma (N)	28	167.32	1041.74

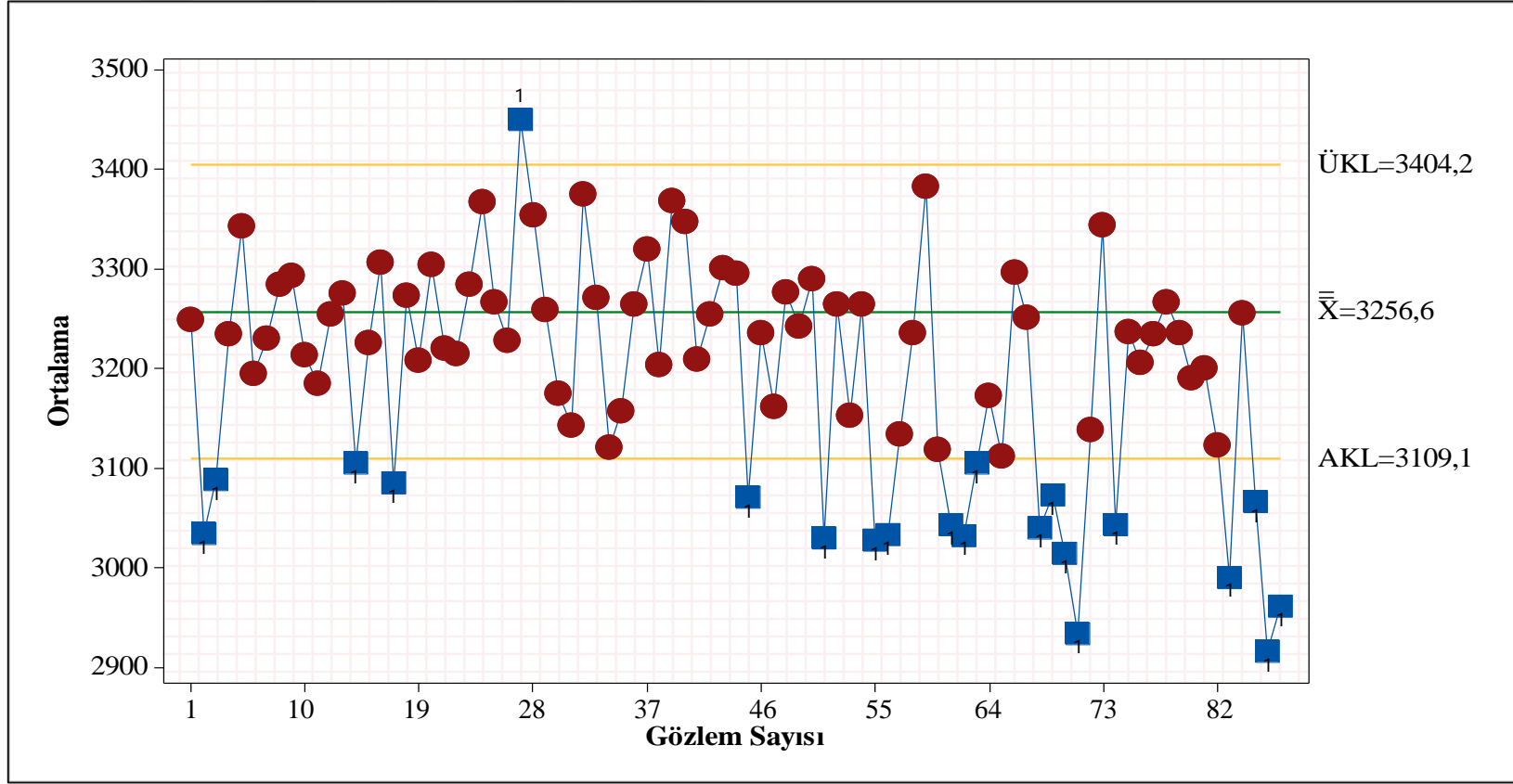


Şekil 60. Faz II için eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>) değişkenine ait  $\bar{x}$  kontrol grafiği

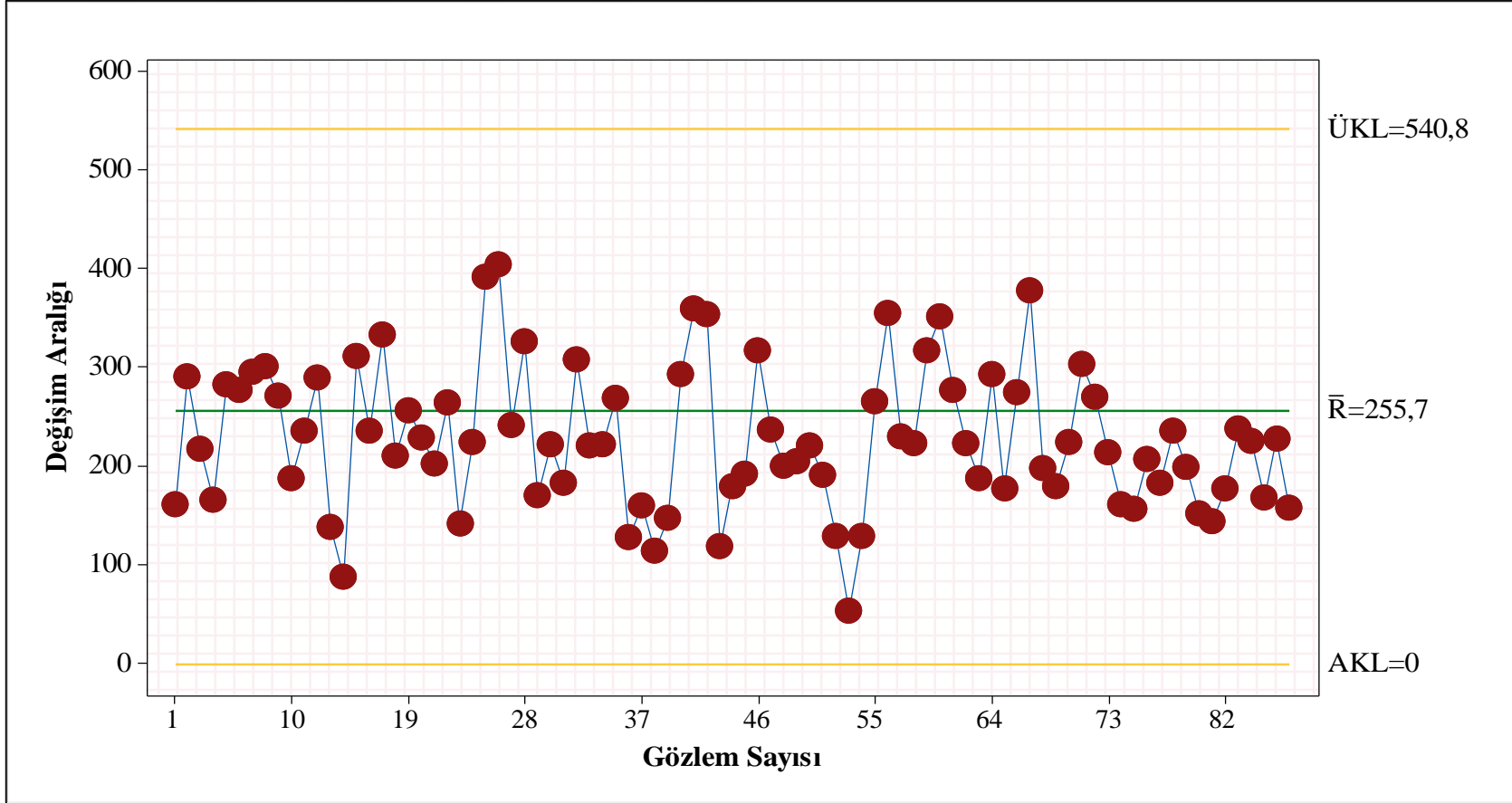


Şekil 61. Faz II için eğilme direnci (N/mm<sup>2</sup>) değişkenine ait R kontrol grafiği

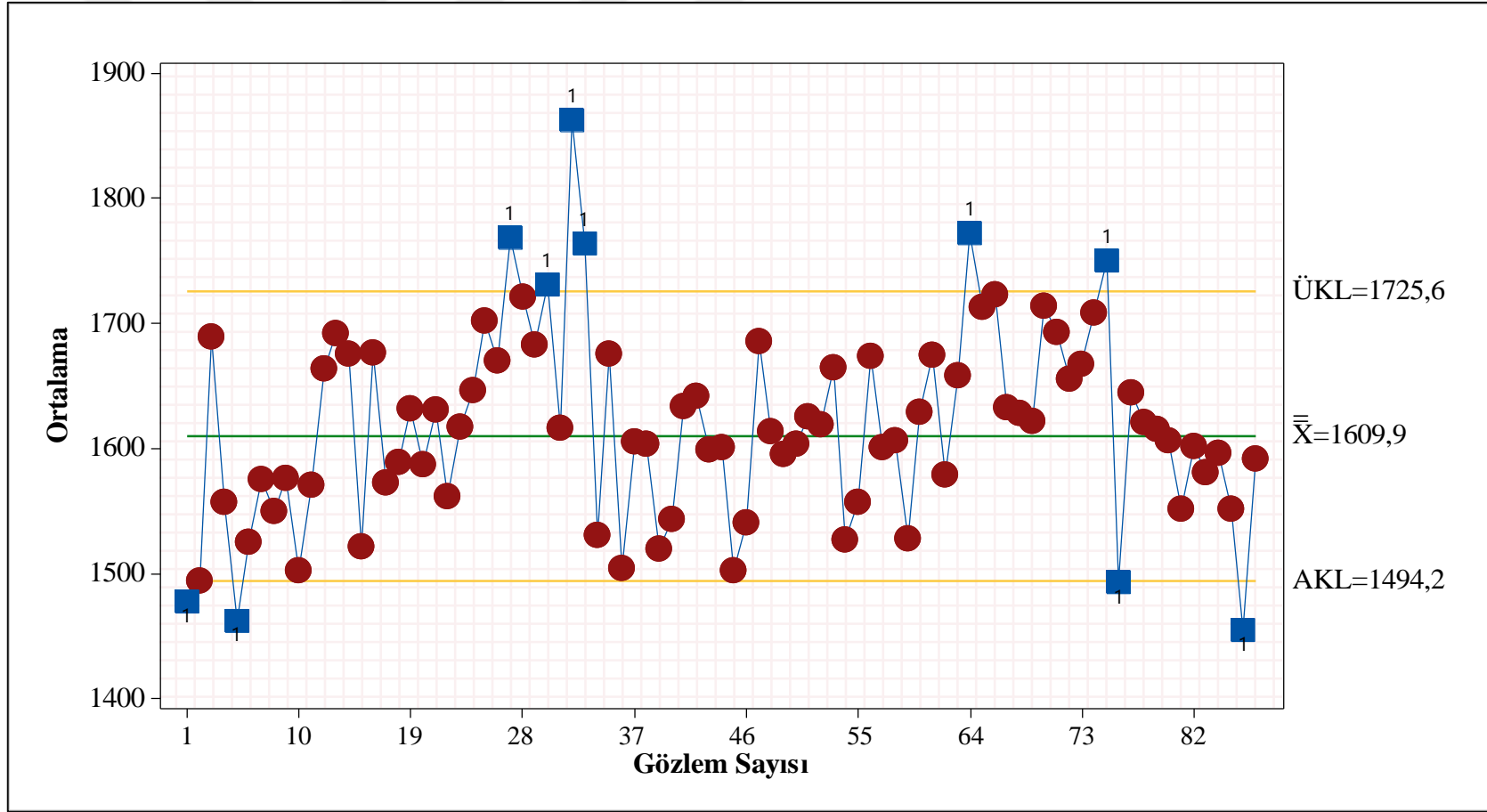




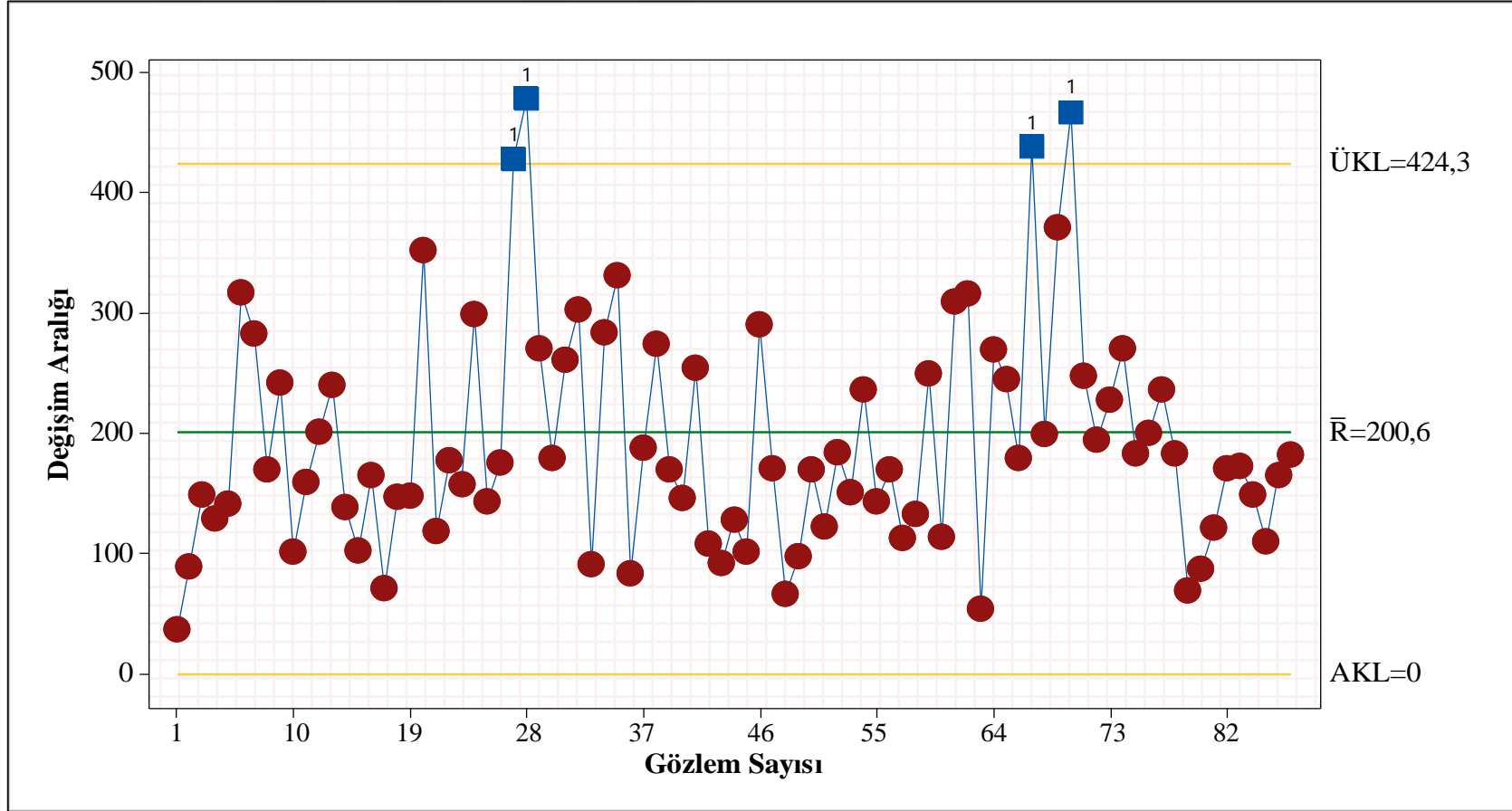
Şekil 62. Faz II için elastikiyet modülü (N/mm<sup>2</sup>) değişkenine ait  $\bar{\bar{X}}$  kontrol grafiği



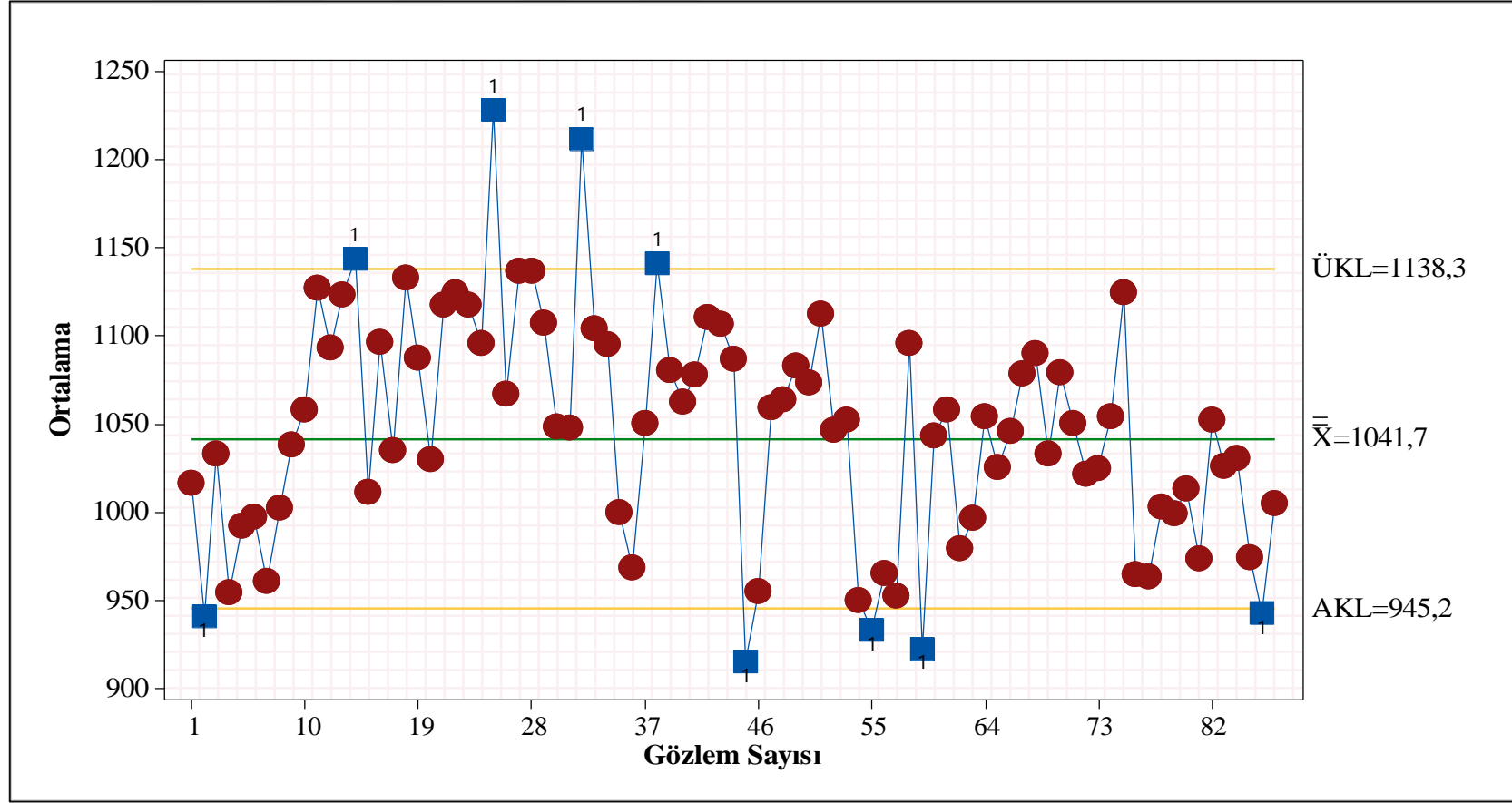
Şekil 63. Faz II için elastikiyet modülü ( $N/mm^2$ ) değişkenine ait R kontrol grafiği



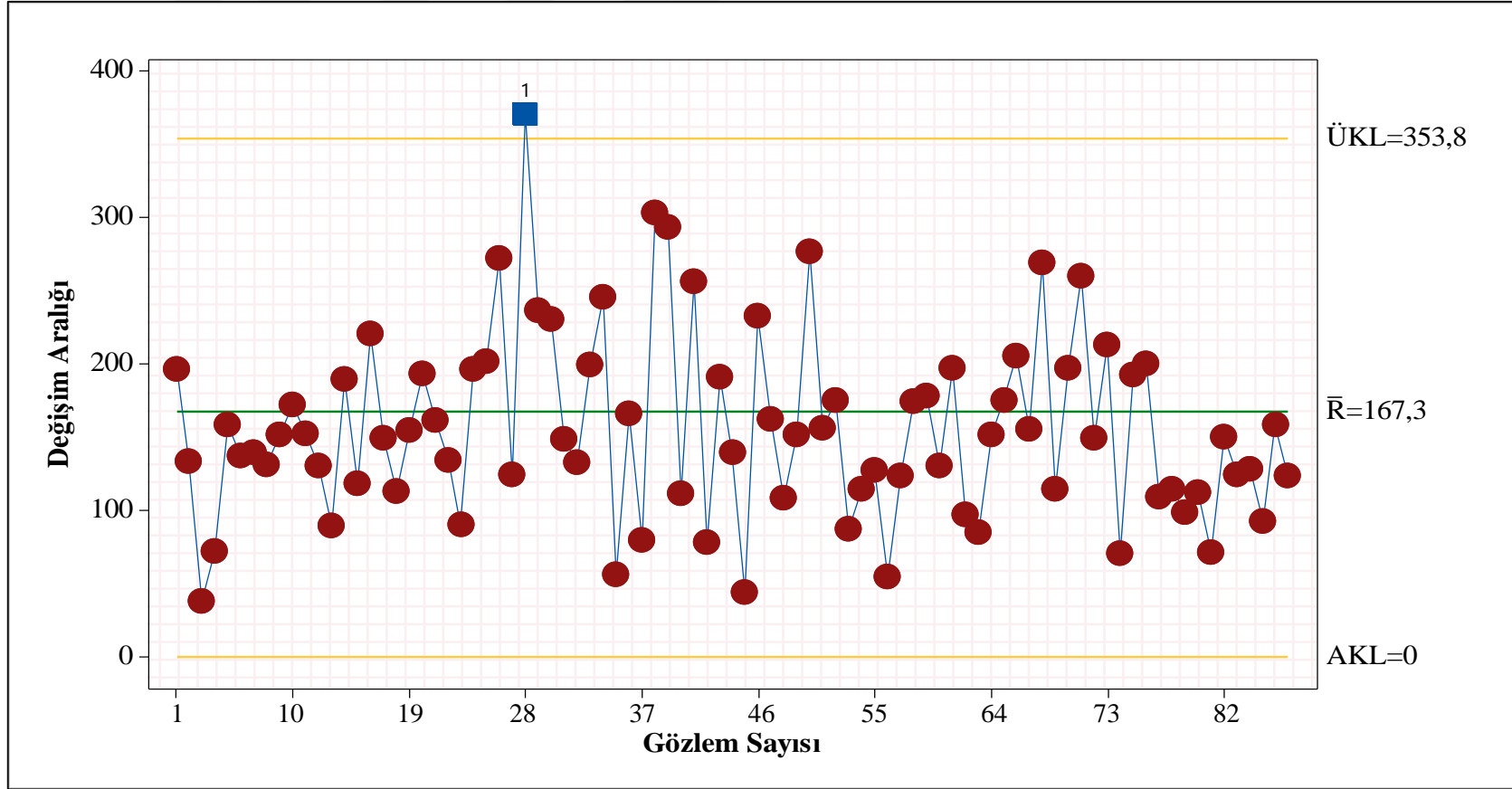
Şekil 64. Faz II için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait  $\bar{x}$  kontrol grafiği



Şekil 65. Faz II için yüzey vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait R kontrol grafiği



Şekil 66. Faz II için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait  $\bar{x}$  kontrol grafiği



Şekil 67. Faz II için kenar vida tutma kabiliyeti (N) değişkenine ait R kontrol grafiği

MDF üretim prosesinin ileriye yönelik performansının araştırılması için oluşturulan  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinin özeti Tablo 28’de sunulmuştur.

Tablo 28.  $\bar{x}$  kontrol grafikleri için Faz II aşamasının özeti

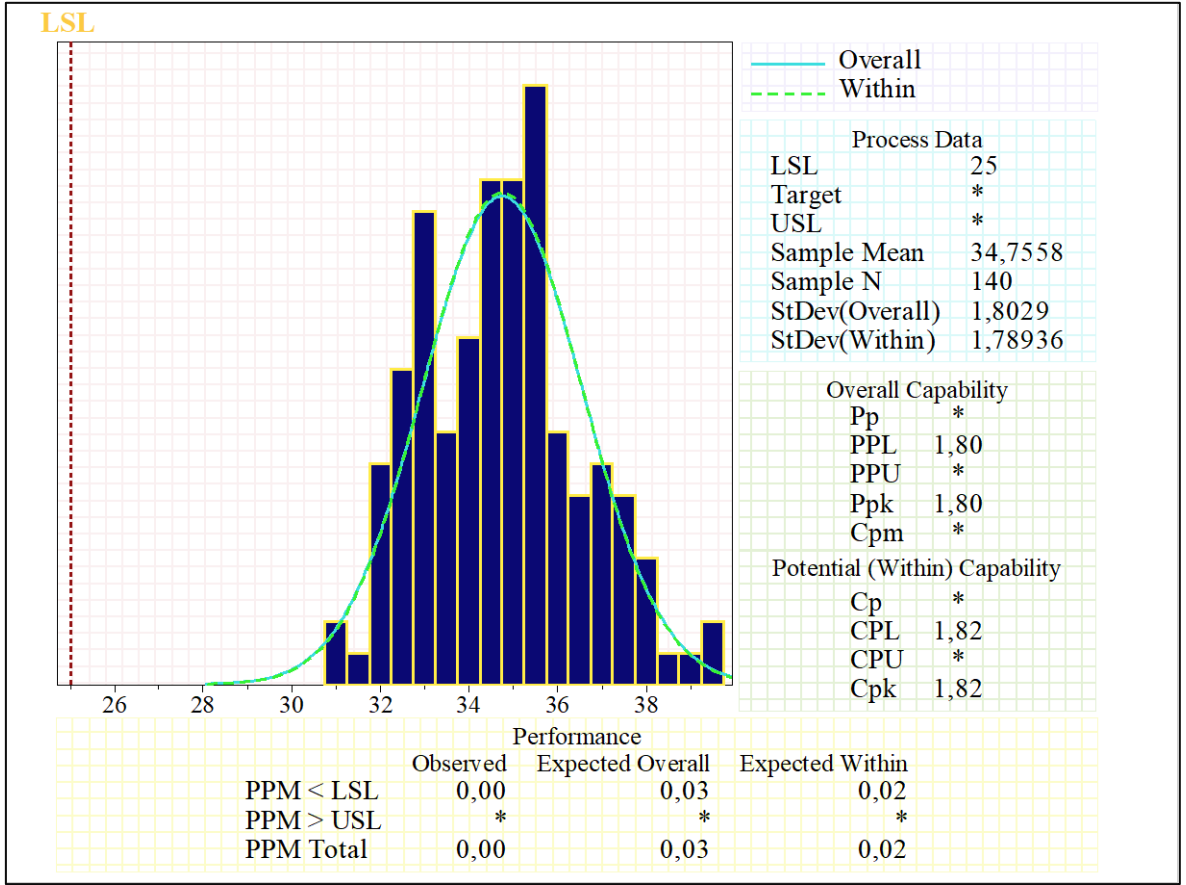
Kalite Değişkenleri	Kontrol Dışı Gözlem Sayısı	Kontrol Dışı Gözlemler	Kontroldeki Gözlem Sayısı	Kontrol Altındaki Gözlemler
Eğilme direnci (N/mm <sup>2</sup> )	13	2, 4, 16, 20, 22, 24, 25, 27-29, 32, 83,86	74	1, 3, 5-15, 17-19, 21, 23, 26, 30, 31, 33-82, 84, 85, 87
Elastikiyet modülü (N/mm <sup>2</sup> )	21	2, 3, 14, 17, 27, 45, 51, 55, 56, 61-63, 68-71, 74, 83, 85-87	66	1, 4-13, 15, 16, 18-26, 28-44, 46-50, 52-54, 57-60, 64-67, 72, 73, 75-82, 84
Yüzey vida tutma (N)	10	1, 5, 27, 30, 32, 33, 64, 75, 76, 86	77	2-4, 6-26, 28, 29, 31, 34-63, 65-74, 77-85, 87
Kenar vida tutma (N)	9	2, 14, 25, 32, 38, 45, 55, 59, 86	78	1, 3-13, 15-24, 26-31, 33-37, 39-44, 46-54, 56-58, 60-85, 87

Prosesteki dört kalite değişkeni  $\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri ile ayrı ayrı incelendiğinde, 87 veri grubundan veya gözlem noktasından 39’u (1, 2, 3, 4, 5, 14, 16, 17, 20, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 38, 45, 51, 55, 56, 59, 61, 62, 63, 64, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 83, 85, 86 ve 87) herhangi bir değişkene ait  $\bar{x}$  grafiğinde kontrol dışı olarak gözlemlenmiştir. Kalan 48 gözlem noktasının ise kontrol altında olduğu görülmüştür. Genel olarak yapılacak bir değerlendirmede, MDF üretim prosesinin tek değişkenli  $\bar{x}$  grafikleri ile incelenmesi sonucu tüm kalite değişkenlerinin kontrol dışında olduğu, yani, üretim prosesinin kontrol altında olmadığı sonucuna varılmıştır.

R kontrol grafiklerinin incelenmesi sonucu yüzey vida tutma kabiliyeti değişkenine ait dört gözlem noktasının (27, 28, 67 ve 70) ve kenar vida tutma kabiliyeti değişkenine ait sadece 28. gözlem noktasının kontrol dışı olduğu tespit edilmiştir. Diğer kalite değişkenleri olan eğilme direnci ve elastikiyet modülü ile ilgili olarak ise tüm gözlemlerin kontrolde olduğu görülmüştür.

### 3.6. Proses Yeterlilik Analizi ile İlgili Bulgular

Farklı kontrol grafikleri kullanılarak değişkenlik seviyesi incelenen proses, üretilen ürünlerin tüketici spesifikasyonlarını karşılama derecesi bakımından da proses yeterlilik analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Eğilme direnci değişkenine ait verilere uygulanan proses yeterlilik analizi sonuçları Şekil 68’de verilmiştir.



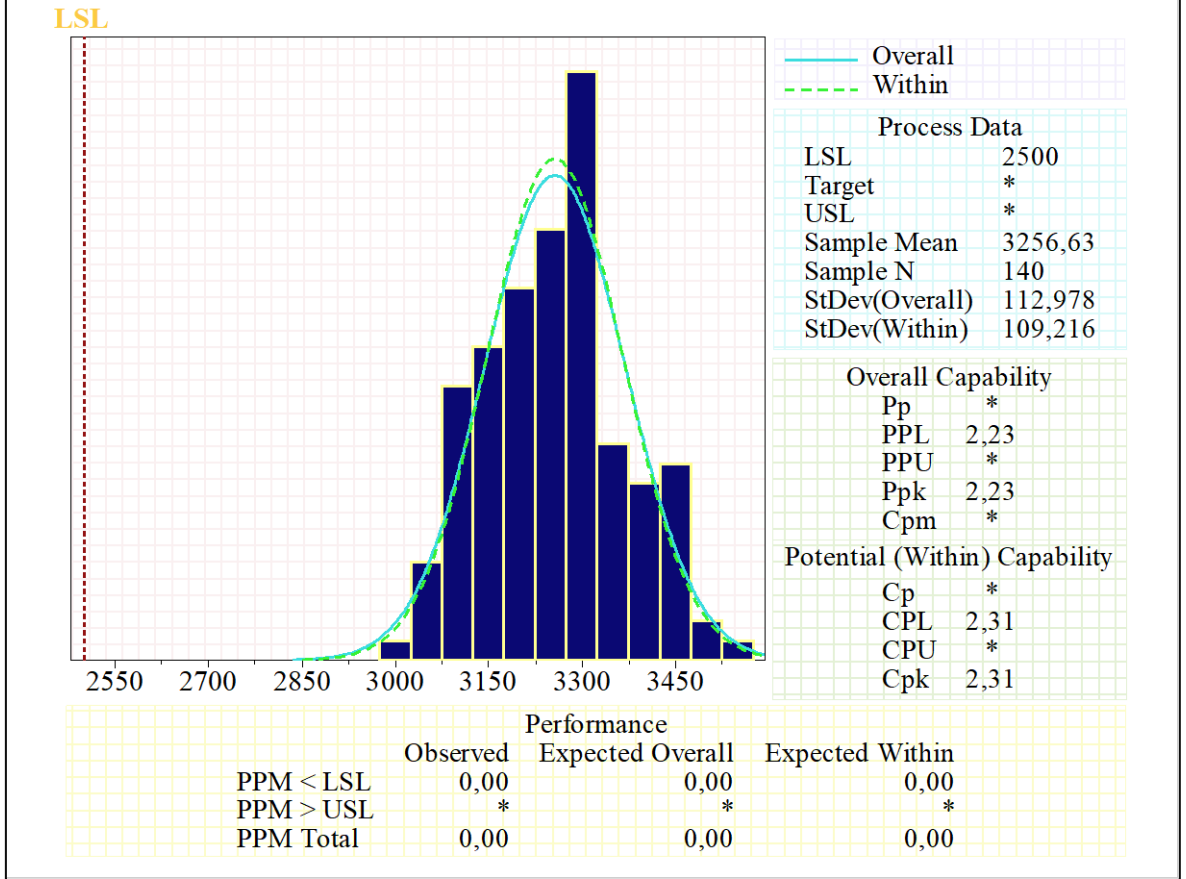
Şekil 68. Eğilme direnci değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları

Şekil 68 eğilme direnci verilerine uygulanan proses yeterlilik analizi sonucunda  $C_{pk}$  değerinin 1.82 olarak bulunduğunu ortaya koymuştur. Tablo 3’de ifade edildiği gibi, yeterli olarak kabul edilebilir bir prosesin proses yeterlilik indeks değeri çift taraflı spesifikasyon mevcut olması durumunda 1.33 iken tek taraflı spesifikasyon değerinin olması durumunda ise 1.25 olması gerekmektedir. Bu doğrultuda, eğilme direnci değişkenine ait  $C_{pk}$  değeri tek taraflı spesifikasyon içeren bir prosesten beklenen minimum indeks değeri olan 1.25’in üzerindedir. Bunun yanında, Şekil 68 gözlenen performansta ASL altında uygunsuz parça



bulunmadığını göstermiştir. Beklenen grup içi ve beklenen genel performansa bakıldığında ise ASL altında sırasıyla milyonda 0.02 ve 0.03 uygunsuz parça potansiyeli olduğu tespit edilmiştir.

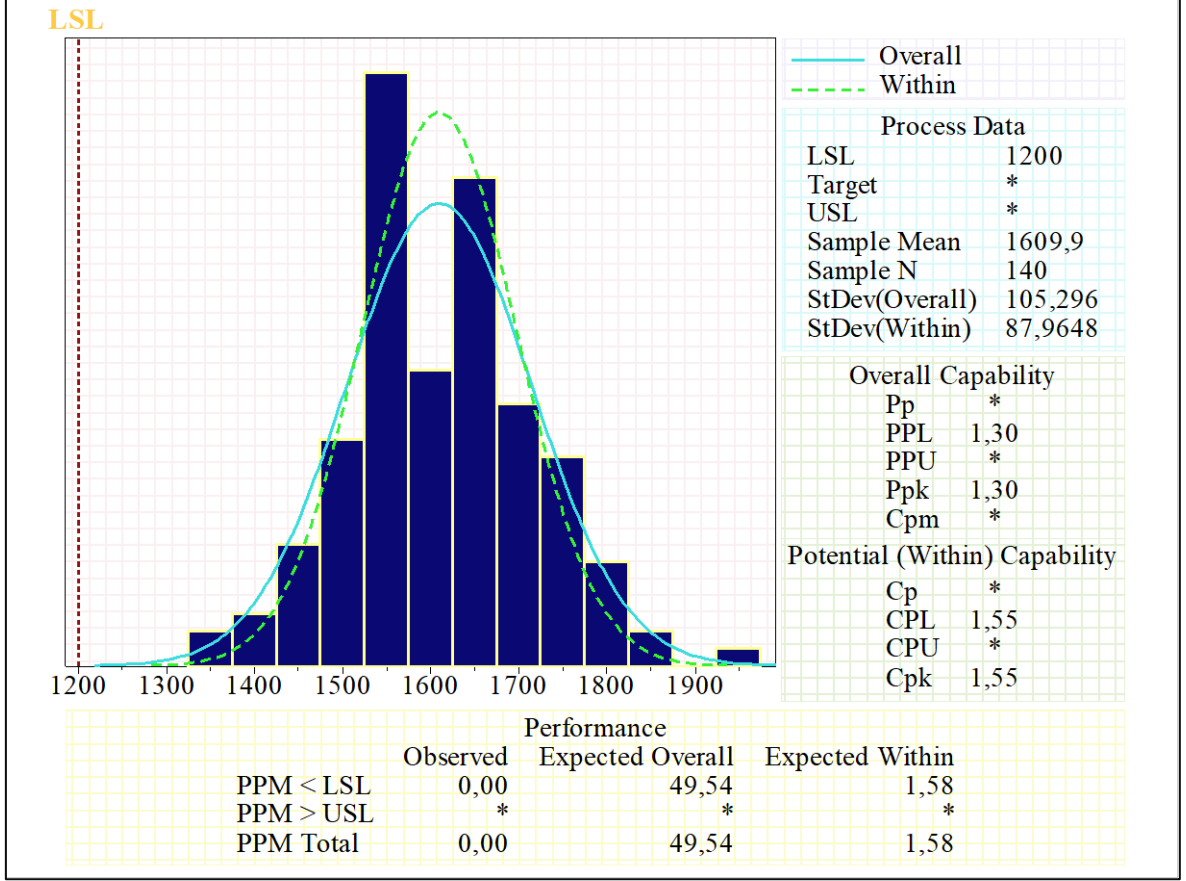
Elastikiyet modülü değişkeni verilerine uygulanan proses yeterlilik analizi sonuçları Şekil 69’da verilmiştir.



Şekil 69. Elastikiyet modülü değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları

Şekil 69 elastikiyet modülü verilerine uygulanan proses yeterlilik analizi sonucunda  $C_{pk}$  değerinin 2.31 olarak bulunduğunu ortaya koymuştur. Yeterli olarak kabul edilebilir bir prosesin  $C_{pk}$  değerinin tek taraflı spesifikasyon değeri mevcut olduğunda minimum 1.25 olması arzu edilmektedir. Buna göre, elastikiyet modülü değişkeninin  $C_{pk}$  değeri yeterli bir prosesten beklenen minimum  $C_{pk}$  değerinin çok üzerinde bulunmuştur. Ek olarak, Şekil 69 gözlenen performansta ASL altında uygunsuz parça olmadığını göstermiştir. Beklenen grup içi ve beklenen genel performansa bakıldığında da her iki durum için de ASL altında milyonda 0.00’lık bir uygunsuz parça potansiyeli olduğu görülmüştür.

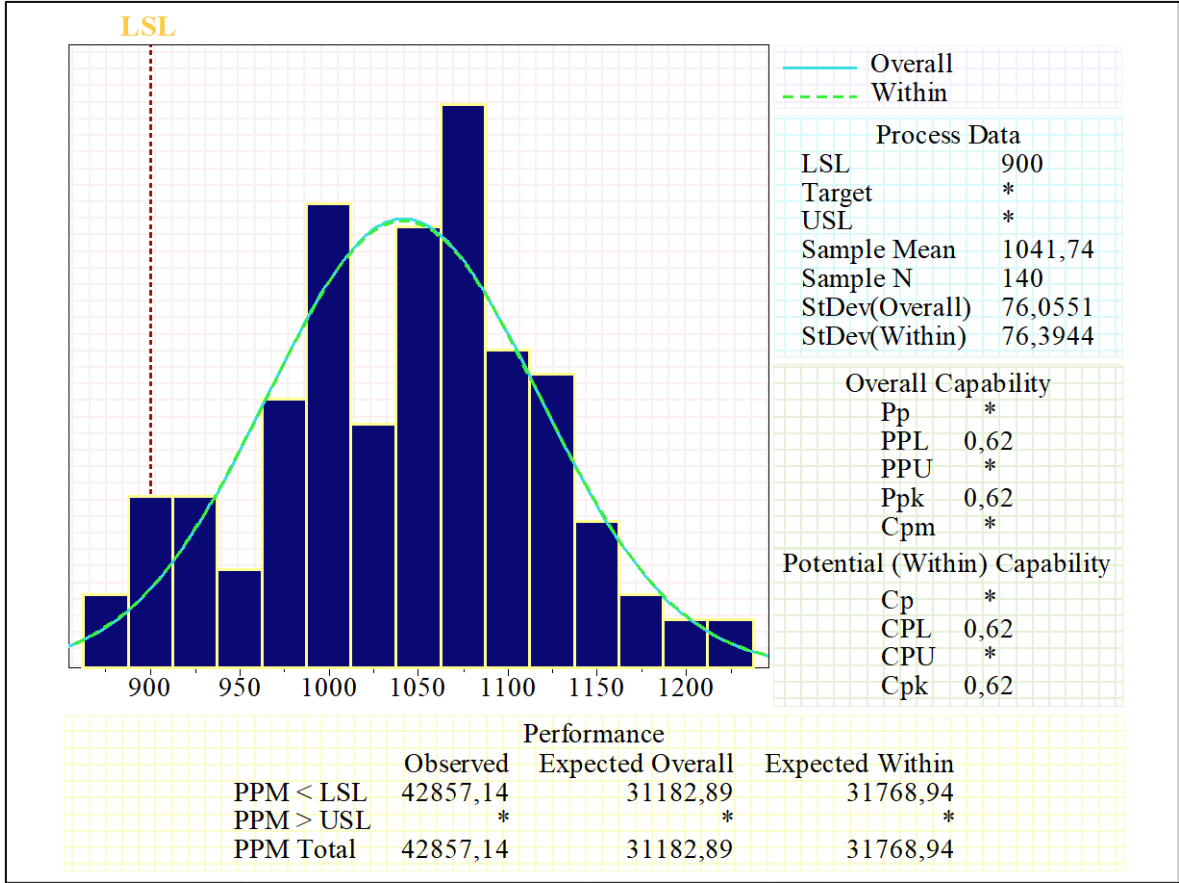
Yüzey vida tutma kabiliyeti değişkenine ait verilere uygulanan proses yeterlilik analizi sonuçları Şekil 70’de verilmiştir.



Şekil 70. Yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları

Yüzey vida tutma kabiliyeti verilerine uygulanan yeterlilik analizi sonucunda  $C_{pk}$  1.55 olarak bulunmuştur. Yeterli bir prosesin  $C_{pk}$  değerinin tek taraflı spesifikasyon var olması durumunda 1.25’in üzerinde olması önerilmektedir. Yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeni ile ilgili olarak elde edilen  $C_{pk}$  prosesin tüketici spesifikasyonlarını sağlama yeteneğinde olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, Şekil 70 gözlenen performansta ASL altında uygunsuz parça bulunmadığını ortaya koymuş, beklenen grup içi ve beklenen genel performansa bakıldığında ise sırasıyla milyonda 1.58 ve 49.54’lük bir uygunsuz parça potansiyeli olduğunu göstermiştir.

Kenar vida tutma kabiliyeti değişkenine ait verilere uygulanan proses yeterlilik analizi sonuçları Şekil 71’de verilmiştir.



Şekil 71. Kenar vida tutma kabiliyeti değişkeni için proses yeterlilik analizi sonuçları

Kenar vida tutma kabiliyeti verilerine uygulanan yeterlilik analizi sonucunda  $C_{pk}$  0.62 olarak hesaplanmıştır. Yeterli bir prosesin  $C_{pk}$  değerinin tek taraflı spesifikasyon var olduğunda 1.25' in üzerinde olması gerekmekte olup bulunan  $C_{pk}$  değerinin ise bu değer altında olduğu görülmüştür. Bu durum, kenar vida tutma değişkeninin diğer değişkenlerin aksine spesifikasyonları sağlamada yetersiz olduğunu ortaya koymuştur. Ek olarak, Şekil 71 gözlenen performansta ASL altındaki uygunsuz parçanın 42.857,14 olduğunu, beklenen grup içi ve beklenen genel performansa bakıldığında ise ASL altında sırasıyla milyonda 31.768,94 ve 31.182,89 uygunsuz parça potansiyeli olduğunu göstermiştir.

### 3.7. Kontrol Grafikleri ve Yeterlilik Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

MDF üretim prosesi farklı grafikler kullanılarak farklı kalite değişkenleri açısından incelenmiş ve her bir kontrol grafiğinin prosesle ilgili ortaya koymuş olduğu sonuç daha kolay bir karşılaştırma yapılabilmesi için Tablo 29'da sunulmuştur.

Tablo 29.  $\bar{x}$ , Hotelling T<sup>2</sup> ve MYT ayrıştırma yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

GRAFİK TÜRÜ		GÖZLEMLER																																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44						
$\bar{x}$	ED	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
	EM	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	YV	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	KV	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+			
Hotelling T <sup>2</sup>		+	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
MYT		●	▲	■	◆	●	■	◆	●	●	◆	●	●	●	●	●	◆	■	●	●	◆	◆	◆	●	◆	◆	●	▲	◆	◆	■	◆	▲	◆	◆	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			
GRAFİK TÜRÜ		GÖZLEMLER																																																	
		45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	T						
$\bar{x}$	ED	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	EM	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	YV	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	KV	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hotelling T <sup>2</sup>		-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
MYT		■	●	●	●	●	◆	■	●	●	◆	■	▲	▲	●	●	●	■	■	■	■	■	●	◆	■	■	■	■	●	●	■	●	▼	●	●	●	●	■	■	▲	●	■	■	■	■	■	■	■	■		

ED (◆): Eğilme direnci, EM (■): Elastikiyet modülü, YV (▼): Yüzey vida tutma, KV (▲): Kenar vida tutma, T: Toplam kontrol dışı gözlem, Kontrolde: (●), +: Kontroldeki gözlem, -: Kontrol dışı gözlem

Tablo 29'un  $\bar{x}$  grafikleri açısından incelenmesinin sonucu olarak üretim prosesinin kontrol dışında olduğu belirlenmiştir. Faz II için ayrılan 87 veri grubundan eğilme direnci için 13, elastikiyet modülü için 21, yüzey vida tutma kabiliyeti için 10 ve kenar vida tutma kabiliyeti için ise 9 veri grubunun veya gözlem noktasının kontrol dışı olduğu görülmüştür. Bazı gözlem noktaları (6-13, 15, 18, 19, 21, 23, 26, 31, 34-37, 39-44, 46-50, 52-54, 57, 58, 60, 65-67, 72, 73, 77-82 ve 84)  $\bar{x}$  kontrol grafikleri ile prosesin incelenmesinde tüm kalite değişkenleri için kontrolde görülürken 86. gözlem noktası ise tüm kalite değişkenleri için kontrol dışı olarak tespit edilmiştir. Diğer gözlem noktaları  $\bar{x}$  kontrol grafikleri ile prosesin incelenmesinde en az bir kalite değişkeni açısından kontrol dışı olarak belirlenmiştir.

Hotelling  $T^2$  kontrol grafikleri ile prosesin incelenmesinde ise 46 veri grubunun veya gözlem noktasının kontrol dışı olduğu tespit edilmiştir. Bu sayı, Faz II için ayrılan tüm gözlem sayısının yarısından fazlasına karşılık gelmektedir. Diğer bir deyişle, Hotelling  $T^2$  grafikleri ile üretim prosesinin incelenmesinde de prosesin kontrol dışı olduğu görülmekle beraber,  $\bar{x}$  grafiklerine kıyasla kontrol dışı gözlem sayısı daha fazla olarak tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında,  $\bar{x}$  ve Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerinin sonuçları bir çok noktada benzerlik göstermiştir. Toplam 35 gözlem noktasının hem  $\bar{x}$  hem de Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerinde tüm değişkenler açısından kontrolde olduğu ve bir gözlem noktasının da yine tüm kalite değişkenleri açısından  $\bar{x}$  ve Hotelling  $T^2$  grafiklerinde kontrol dışı olduğu tespit edilmiştir. Yani, toplam 36 gözlem noktası için her iki kontrol grafiğinde de bire bir aynı sonuçlara ulaşılmıştır. Bununla beraber, bazı gözlem noktaları  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinde bazı değişkenler açısından kontrolde olup diğer değişkenler açısından kontrol dışı olabilmekte ve aynı gözlem noktasının Hotelling  $T^2$  grafiğindeki karşılığı bazı durumlarda kontrolde iken bazı durumlarda ise kontrol dışı olabildiği anlaşılmıştır. Bunun yanında, bazı gözlem noktalarının ise MDF üretim prosesinin  $\bar{x}$  kontrol grafikleri ile incelenmesinde tüm kalite değişkenleri için kontrol altında olduğu belirlenmesine rağmen aynı gözlem noktalarının Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği ile prosesin incelenmesinde kontrol dışında olabildiği tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle,  $\bar{x}$  grafiğinde kontrolde görülen bir gözlem noktası Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği ile incelenen bir proseste kontrol dışı olarak görülebilmekte ya da tersi bir durumla karşılaşılabilmektedir. Bu durum ise, sadece  $\bar{x}$  kontrol grafiği ile incelenen bir prosesin yanlış yorumlanmasına neden olabilmektedir. Ortaya çıkan bu sonucun çok değişkenli Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinin tek değişkenli bir istatistiksel proses kontrol yöntemi olan  $\bar{x}$  kontrol grafiğinin aksine üretim prosesini incelenen tüm kalite değişkenleri

açısından bir bütün olarak değerlendirmesinden ve kalite değişkenleri arasında var olan çoklu ilişkileri dikkate almasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Literatürde, bazı çalışmalarda bu duruma değinilmiştir. Arıcıgil Çılan (2004) cam sanayinde gerçekleştirdiği bir uygulamada Hotelling  $T^2$  ile  $\bar{x}$  grafiklerini karşılaştırmış ve sadece  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinin kullanımı ile yapılan bir proses kontrol çalışmasının yetersiz sonuçlar verebildiğini, yani incelenen gözlemin kontrol altında olmasına rağmen kontrol dışında görülme gibi bir sonuç ortaya çıkabildiğini ya da kontrol dışında olmasına rağmen kontrol altında görülebildiğini ifade etmiştir. Doğruel (2010) beyaz eşya sektöründe çok değişkenli Hotelling  $T^2$  ve tek değişkenli I-MR grafikleri ile ilgili karşılaştırmalı analizinde yöntemlerin ortaya koyduğu sonuçlar arasında farklılıklar tespit etmiş ve I-MR grafiğinde kontrol dışı olan bazı gözlem noktalarının Hotelling  $T^2$  grafiğinde kontrol altında olduğunu belirlemiştir. Bu durumun ise, I-MR grafiğinin oluşturulmasında değişkenler arasındaki korelasyon yapısının dikkate alınmamasından kaynaklandığı vurgulanmıştır. Ek olarak, değişkenler arasındaki korelasyon yapısının dikkate alınmadığı I-MR grafiğinin araştırılan prosesin hatalı yorumlanmasına neden olabileceği ve gereksiz yere proseste düzeltme veya prosesi durdurma gibi yanlış kararların alınmasına neden olabileceği belirtilmiştir. Henning vd. (2014) bir çelik silindirin iç çapının işleme sürecinin kontrolü amacıyla Hotelling  $T^2$  ve  $\bar{x} - s$  grafiklerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, her iki yöntemin sonuçları benzer olarak bulunmuştur. Yazarlar; istatistiksel proses kontrol çalışmalarının başlangıç aşaması için kolaylık sağlamasından dolayı  $\bar{x} - s$  grafiğinin iyi bir seçim olabileceğini belirtmiş, Hotelling  $T^2$  grafiğinin ise daha kompleks yapısı ve yorumunun daha güç olması nedeniyle sonraki aşamalarda uygulanmasının uygun olabileceğini ifade etmiş ve incelenen prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığıyla ilgili tek bir cevap üretmesi açısından avantajlı bir yöntem olduğu üzerinde durmuştur. Bir başka çalışmada ise, Abo-Hawa vd. (2016) düz floresan ampul endüstrisinde parlama yapma işlemini izlemek için tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada,  $\bar{x}$  ve Hotelling  $T^2$  kontrol grafiklerinin ürettiği sonuçlar arasında bir takım farklılıklar gözlemlenmiş, yani, incelenen kalite değişkenleri ile ilgili bazı gözlem noktalarının  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinde kontrol dışında olduğu görülürken, aynı gözlem noktalarının Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde kontrolde olabildiği görülmüştür. Bazı gözlemlerin ise tüm değişkenler için  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinde kontrolde olmasına rağmen Hotelling  $T^2$  grafiğinde kontrol altında olmadığı belirlenmiştir. Tek değişkenli yöntemler ve Hotelling  $T^2$  yönteminin kontrol dışı sinyalleri tespit etme kabiliyetlerindeki farklılığın ana nedenleri arasında çok değişkenli yöntem olan Hotelling

$T^2$  kontrol grafiğinin kalite değişkenleri arasındaki mevcut ilişkiyi dikkate alması ve  $T^2$  istatistiğine dayalı elips şeklinde kontrol bölgesi kullanması olarak belirtilmiştir (Mason vd., 1997; Montgomery, 2009).

Mason ve Young (2002) tek değişkenli grafiklerde kontrol dışı sinyalin oluşmasının nedeninin ortalamada meydana gelen kayma veya varyans değerindeki değişiklik olduğunu belirtmiş ve bu gibi proseslerde tek değişken incelendiğinden söz konusu değişken ile diğer değişkenler arasındaki ilişkinin ihmal edildiğini ifade etmiş ve bu nedenle de oluşan sinyali yorumlamanın nispeten kolay olduğunu bildirmiştir. Öte yandan, yazarlar çok değişkenli proseslerin kontrolünde bu durumun daha komplike olduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle, çok değişkenli proseslerin kontrol edilmesi adına Hotelling  $T^2$  grafiğinin kullanılmasının avantajı, bu grafiklerin tek değişkenli grafiklerle incelenmesi ile daha iyi anlaşılmaktadır.

Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde 2. gözlem noktası kontrol dışı ilk gözlem noktası olarak tespit edilmiştir. Bu noktadaki sinyale en fazla katkı sağlayan kalite değişkeninin tespiti amacıyla kullanılan MYT ayrıştırma yöntemi sonucunda bu gözlem noktasındaki sinyale en fazla kenar vida tutma kabiliyeti değişkeninin katkı sağladığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, MYT ayrıştırma yönteminin sonuçlarına bakıldığında, 27, 32, 56, 57 ve 83. sinyallere de en fazla katkıyı sağlayan değişkenin kenar vida tutma kabiliyeti olduğu tespit edilmiştir. Ancak, Hotelling  $T^2$  grafiğindeki bu gözlem noktalarına karşılık gelen gözlem noktalarının  $\bar{x}$  kontrol grafikleri ile incelenmesi sonucunda bazı gözlemlerin kontrol altında görülmesine karşın bazılarının ise kontrol limitleri dışında olduğu tespit edilmiştir. Yani,  $\bar{x}$  grafiklerinde kontrol altında görünen bazı gözlem noktaları Hotelling  $T^2$  grafiğinde kontrol dışı sinyale en fazla katkı sağlayan kalite değişkeni olarak belirlenmiştir. Yukarıda da ifade edildiği üzere,  $\bar{x}$  kontrol grafiğinde kontrol altında görülen bazı gözlem noktaları Hotelling  $T^2$ 'de kontrol dışı olabilmekte veya tam tersi bir durumla karşılaşılabilir. Bu durum, burada da kendini göstermiştir.

Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde 3. gözlem noktası sinyal üreten 2. gözlem noktası olarak belirlenmiştir. MYT yöntemi ile yapılan ayrıştırma sonucunda bu noktadaki sinyale en fazla katkıyı elastikiyet modülü değişkeninin sağladığı tespit edilmiştir. Bu gözlem noktasının  $\bar{x}$  grafiklerindeki karşılıklarına bakıldığında da sadece elastikiyet modülü kalite değişkeninin kontrol dışında olduğu diğer değişkenlerin ise kontrolde olduğu görülmüştür. Kontrol dışındaki 2. gözlem noktasına ek olarak 21 gözlem noktasında daha kontrol dışı sinyale en fazla elastikiyet modülü değişkeninin katkı verdiği anlaşılmıştır. Bu gözlem noktalarının  $\bar{x}$  kontrol grafiklerindeki durumları incelendiğinde, bazılarının kontrol altında

olduğu görülürken çoğu gözlemin ise Hotelling  $T^2$  grafiğine paralel olarak kontrol dışında olduğu belirlenmiştir.

Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde 4. gözlem noktası kontrol dışındaki 3. gözlem noktası olarak belirlenmiştir. MYT ayrıştırma yöntemine göre bu noktadaki sinyale en fazla katkıyı eğilme direnci değişkeninin sağladığı anlaşılmıştır. Hotelling  $T^2$  yöntemine paralel olarak  $\bar{x}$  grafiklerine bakıldığında da bu gözlem için sadece eğilme direnci değişkeninin kontrol dışı olduğu, diğer değişkenlerin ise kontrolde olduğu görülmüştür. Kenar vida tutma kabiliyeti ve elastikiyet modülü değişkenlerindeki duruma benzer olarak eğilme direnci değişkeninde de MYT ayrıştırma yöntemine göre oluşan sinyallere en fazla katkı sağlayan bazı gözlem noktalarının  $\bar{x}$  grafiklerinde kontrolde olduğu tespit edilmiştir. MYT ayrıştırma yöntemine göre 76. gözlem noktasındaki sinyale en fazla katkı sağlayan kalite değişkeni yüzey vida tutma kabiliyeti olarak bulunmuştur.  $\bar{x}$  grafiklerinde de 76. gözlem noktası incelendiğinde sadece yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeni kontrol dışı olarak görülmüştür.

Hotelling  $T^2$  grafiğindeki kontrol dışı gözlem noktalarına en fazla katkı veren kalite değişkeninin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen MYT ayrıştırma yöntemi sonuçları ile  $\bar{x}$  grafiklerinin sonuçlarının birlikte değerlendirmesi sonucunda genellikle benzer sonuçlar ortaya çıkmakla beraber bazı gözlem noktalarında farklılıklarla da karşılaşmıştır. Bunun bir nedeni tek ve çok değişkenli proses kontrol yöntemleri arasında daha önce belirtilen farklılıklar olduğu düşünülmektedir. Ek olarak, MYT ayrıştırma yöntemi ile ilgili verilen sonuçlar Hotelling  $T^2$  grafiğinde sinyale en fazla katkı sağlayan değişkeni kapsamaktadır. Burada unutulmaması gereken bir nokta ise kontrol dışı sinyallere en fazla katkı sağlayan değişkenlerin oluşan sinyallerin tek sorumluları olmadığı ve diğer değişkenlerden herhangi biri veya birkaçının da sinyale farklı miktarlarda anlamlı katkılar sağladığıdır.

Tablo 30 Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde karşılaşılan sinyallere kalite değişkenlerinin katkılarını vermektedir.



Tablo 30. Hotelling T<sup>2</sup> kontrol grafiğinde oluşan sinyallere kalite değişkenlerinin katkılarının anlamlılık düzeyleri

KALİTE DEĞİŞKENLERİ		KONTROL DIŞI GÖZLEMLER																						
		2	3	4	6	7	10	16	17	20	21	22	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34	45	50
Anlamlılık (p)	Eğilme Direnci	AD	AD	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Elastikiyet Modülü	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	AD	**	AD	*	**	**	**	AD	AD	**	**	**	**
	Yüzey Vida Tutma	*	*	AD	*	AD	**	AD	AD	AD	AD	**	AD	AD	**	AD	AD	**	AD	**	**	**	*	AD
	Kenar Vida Tutma	**	*	**	AD	*	AD	*	AD	AD	*	**	**	**	**	**	*	AD	AD	**	AD	AD	**	AD
KALİTE DEĞİŞKENLERİ		KONTROL DIŞI GÖZLEMLER																						
		51	54	55	56	57	61	62	63	64	65	67	68	69	70	71	74	76	81	82	83	85	86	87
Anlamlılık (p)	Eğilme Direnci	**	**	**	AD	AD	**	**	**	AD	**	AD	AD	**	**	**	AD	**	**	*	**	AD	**	
	Elastikiyet Modülü	**	AD	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
	Yüzey Vida Tutma	AD	AD	AD	*	AD	AD	AD	**	**	AD	AD	AD	AD	AD	*	**	AD	AD	AD	AD	**	AD	
	Kenar Vida Tutma	AD	**	**	**	**	AD	**	**	AD	*	AD	AD	*	AD	**	AD	*	*	AD	**	**	**	**

\*\*: $p < 0.01$ , \*: $p < 0.05$ , AD: Anlamlı değil

Tablo 30’da görüldüğü üzere, Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde oluşan sinyallere çoğu durumda birden fazla kalite değişkeni anlamlı katkı sağlamıştır.

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa, elde edilen bulgular oluşan sinyallere en fazla katkı sunan değişkenlerin elastikiyet modülü ve eğilme direnci olduğunu göstermiştir. Şekil 59’da MYT ayrıştırma sonuçlarından da görüldüğü üzere, grafiğin ilk bölümünde oluşan sinyallere en fazla eğilme direnci değişkeni katkı sağlarken grafiğin ikinci kısmında sinyallere en fazla elastikiyet modülü değişkeni katkı sağlamıştır. Bu kalite değişkenlerinin  $\bar{x}$  kontrol grafikleri incelendiğinde de eğilme direnci değişkeni için kontrol dışı gözlemlerin kontrol grafiğinin ilk kısmında daha fazla sayıda olduğu ve elastikiyet modülü değişkenine ait kontrol grafiğinde ise kontrol dışındaki gözlemlerin büyük çoğunluğunun grafiğin ikinci kısmında yer aldığı görülmektedir. Bu durum Hotelling  $T^2$  ve MYT ayrıştırma sonuçlarının doğruluğunu desteklemektedir.

İstatistiksel proses kontrol uygulamaları gerek ürünlerin gerekse üretim proseslerinin kalitesini iyileştirmede kanıtlanmış yöntemler olarak belirtilmiştir (Mostajeran vd., 2018). Bu bağlamda, bir istatistiksel proses kontrol prosedürü olan kontrol grafiklerinin kullanımı ile üretim prosesinin incelenmesi ve gerekli karşılaştırmaların yapılması üretim prosesinin performansının görüntülenmesi, kalite karakteristiklerine ait değişkenlik seviyesinin tespit edilmesi, oluşan sinyallere hangi kalite değişkeni veya değişkenlerinin neden olduğu, farklı kontrol grafiklerinin oluşan sinyali yakalayabilme yetenekleri ve üretim prosesi için uygun kontrol grafiğinin tespiti gibi birçok açıdan fayda sağlayabilmektedir. Bununla beraber, üretim prosesinde kalitenin iyileştirilmesi ve kalitesizliğe neden olan faktörlerin ortadan kaldırılması için üretim parametrelerinin de incelenmesinin faydalı olacağı düşünülmüştür. Bu işlem, işletmenin kalite ekibi ile koordinasyon içerisinde gerçekleştirilmiş ve bu ekibin bilgi ve tecrübelerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla, işletmeden üretim sırasında kullanılan ağaç türleri ve kullanım oranları, tutkal türü, nem miktarı, levha yoğunluğu, pres süresi ve basıncı gibi presleme faktörleri vb. bilgiler istenmiş ve değerlendirilmiştir.

Kontrol grafikleri üzerindeki gözlem noktaları ve bu gözlem noktalarına karşılık gelen üretim parametrelerine ait değerlerin karşılaştırmalı bir şekilde incelenmesi sonucu üretilen MDF’lerin direnç değerlerindeki değişkenliğin önemli bir nedeninin üretim sırasında farklı ağaç türlerinin kullanılması ve özellikle de bu ağaç türlerinin kullanım oranlarının zaman zaman farklılık göstermesi olduğu düşünülmüştür. Üretim prosesinde kullanılan ağaç türü oranları ile ilgili veriler incelendiğinde Faz II için ayrılan 87 veri grubunun ilk dokuzunda iğne yapraklı ağaç kullanım oranının %60, yapraklı ağaç kullanım oranının %40 olduğu

tespit edilmiştir. Daha sonraki beş veri grubunda iğne yapraklı ağaç kullanım oranı %70'e çıkarken yapraklı ağaç kullanımının %30'a düştüğü görülmüştür. Ardından gelen beş veri grubunda yine ilk durumdaki gibi iğne yapraklı ağaç kullanım oranı %60 iken yapraklı ağaç kullanım oranının %40 olduğu belirlenmiştir. Yani, ilk on dokuz veri grubunda genel olarak iğne yapraklı ağaç kullanım oranının %60-70 gibi bir orana karşılık geldiği tespit edilmiştir. Özellikle,  $\bar{x}$  grafikleri incelendiğinde ilk gözlem noktalarında da değişkenlik görülmekle beraber, direnç değerlerindeki önemli bir artışın yaklaşık olarak bu noktadan sonra başladığı ya da daha yüksek bir seviyeye çıktığı belirlenmiştir. İlk on dokuz levhaya ait veri sonrası iğne yapraklı ağaç kullanım oranı iki veri grubu için %80'e ve sonraki on üç veri grubu için %100'e yükselmiştir. Daha sonra ise iğne yapraklı ağaç/yapraklı ağaç kullanım oranları 80/20 ve 70/30 olarak gerçekleşmiştir. Oluşturulan kontrol grafiklerinde de en yüksek direnç değerlerine karşılık gelen noktaların genel olarak %100 iğne yapraklı ağaç kullanımına karşılık gelen noktalar olduğu görülmüştür. Bu durum, eğilme direnci değişkeninde daha açık bir şekilde görülmüştür.

Çalışmanın materyal ve yöntem bölümünde de değinildiği üzere, MDF'lerin üretim prosesinde iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türleri genellikle farklı oranlarda karışım halinde kullanılmıştır. Bu ağaç türü odunları ise gerek farklı yoğunluk değerlerine ve gerekse farklı anatomik yapılaraya sahip olmaları gibi nedenlerden dolayı levhalara ait direnç değerlerini önemli miktarda etkileyebilmektedir. Literatürde, iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türlerinin üretilen liflevhaların direnç değerleri üzerinde önemli farklılıklara neden olabileceği ifade edilmiştir. Akbulut ve Ayrılmış (2001) MDF üretiminde dikkate alınması gereken faktörler üzerine gerçekleştirdikleri çalışmalarında, MDF'nin yaklaşık olarak %90'ından fazlasının ağaç malzemedenden oluştuğunu ve bu nedenle ağaç türünün levha özellikleri üzerine büyük bir etkiye sahip olduğunu ve liflevha endüstrisinde yapraklı ağaç türü odunlarının önemli miktarda değerlendirilme imkanı olmasıyla birlikte, nispeten hafif yapıda olmaları, uzun lif yapısına sahip olmaları, levha üretimi için genellikle daha uygun bir pH değerlerine sahip olmaları ve kolay sıkıştırılabilmeleri nedeniyle iğne yapraklı ağaç türü odunlarının daha fazla tercih edildiğini belirtmişlerdir. Ayrılmış (2000) Doğu Kayını (*Fagus orientalis* Lipsky), Saplı Meşe (*Quercus robur* L.), Karaçam (*Pinus nigra* var. *Pallasiana*) ve bu üç türün karışımından üretilen MDF'lerin teknolojik özelliklerini araştırdığı çalışmasında iğne yapraklı Çam odununun liflerinden yapılan levhaların janka sertlik değerleri dışında diğer fiziksel ve mekanik özellikleri Meşe, Kayın ve bu üç ağaç türünün karışımından daha iyi sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bir başka çalışmada, Çamlıbel (2006) diğer üretim koşulları

sabit kalmak şartı ile eğilme direncini etkileyen en önemli faktörün lif uzunluğu olduğunu ifade etmiş, iğne yağraklı ağaç liflerinin yapraklı ağaç liflerinden daha uzun olmasından dolayı iğne yapraklı ağaç odunundan üretilen levhaların yapraklı ağaç odunundan elde edilen levhalara kıyasla daha iyi eğilme direnci ürettiğini belirtmiş, bunun nedenini ise lif uzunluğunun artmasıyla liflerin birbiri arasındaki temas uzunluğunun da artacağına ve bu şekilde daha fazla yapışma alanının oluşacağına bağlamış ve sonuç olarak özellikle eğilme direnci ve levha yüzeyine paralel yönde çekme direnci değerlerinin yüksek olacağını bildirmiştir.

MDF üretim prosesinde kullanılan ağaç türlerinin yoğunluklarının yanında son ürün olarak üretilen MDF yoğunluklarının da direnç özelliklerini etkileyebileceği düşüncesiyle levhaların yoğunluk değerleri de incelenmiştir. Sonuç olarak üretilen levha yoğunluklarının hedef yoğunluk değeri olarak karşılaştırılan  $720\text{kg/m}^3$ 'den çok düşük bir oranda (yaklaşık olarak  $\pm \%1-2$ ) sapma gösterdiği belirlenmiştir. Göker vd. (2004) iki farklı işletmeden elde ettiği levhalardan düşük yoğunluğa sahip olan levhaların daha yüksek eğilme direnci ve elastikiyet modülü verdiğini ifade etmiş, bu durumu düşük yoğunluklu türlerin sıkıştırma faktörünün yüksek olmasına bağlamış ve sıkıştırma faktörünün düşük olması durumunda presleme işlemi sırasında liflerin birbirlerine yeteri kadar yaklaşmadığını belirtmiştir. Bu paralelde, MDF üretiminde de yoğunluğu yüksek olan türlerin sıkıştırılma oranlarının düşük olacağı için istenen dirençte levha üretilmeyebileceğini belirtmişlerdir. Görüldüğü üzere, iğne yapraklı ağaç kullanımı levha üretiminde direnç değerleri üzerine genellikle artırıcı bir etki göstermiştir. Akbulut ve Ayrılmış (2001) MDF üretiminde genel amacın düzgün yüzeylere sahip, fiziksel özellikleri iyi, mekanik özellikleri yüksek ve yoğunluğu düşük levha üretmek olduğunu ifade etmiş ve bu bakımdan, hammadde ile ilgili olarak en uygun seçimin düşük yoğunluğa sahip ağaç türü odunları ile yüksek yoğunluğa sahip ağaç türü odunlarının uygun oranlarda karışımını sağlamak olduğunu bildirmiştir. Bu bilgiler ışığında, bu çalışmada, direnç değerlerindeki değişkenlik miktarını azaltmak veya direnç değerlerinin ortalamasındaki kaymayı en aza indirmek için arzu edilen levha yoğunluğunu verecek şekilde iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarının karışım halinde kullanılması, ancak bunu yaparken de kullanım oranlarındaki değişkenliğin azaltılmasının amaca ulaşma noktasında önemli katkı sağlayacağı düşünülmüştür.

MDF üretim prosesinde kalite özellikleri üzerine etkili olabilecek bir başka faktör pres koşulları olarak ifade edilebilmektedir. Akbulut ve Ayrılmış (2001), sıcak preslemenin temel fonksiyonunun levha taslağını ısıtmak, lifler arasında yapışmayı sağlamak ve taslağı

toleranslar içerisinde arzu edilen levha kalınlığını elde etme adına sıkıştırmak olarak ifade etmiş ve presleme işleminde levha kalite özellikleri üzerine etkili en önemli parametrelerin pres sıcaklığı, pres kapanma süresi, pres basıncı, levha taslağının rutubeti ve pres süresi olduğunu bildirmiştir. Araştırmaya konu işletmede, MDF'lerin pres koşullarının işletmenin kalite ekibi ile incelenmesi sonucu pres sıcaklığı ve nem miktarının önemli bir değişiklik göstermediği görülmüştür. İşletmede sonsuz pres sistemi kullanılmasından dolayı presleme sırasındaki sıcaklık sabit olmamakla birlikte verilerin alındığı süreçteki değişim genellikle levhalar arasında direnç değerleri açısından çok önemli farklılıklar yaratmayacak seviyede olmuştur. Levha taslağının rutubeti ile ilgili olarak ise bazı tarihlerde rutubet miktarının değişiklik gösterdiği görülmekle birlikte bunun çok sınırlı olduğu ve elde edilen gözlem değerlerinde önemli bir farklılığa yol açmayacağı düşünülmüştür.

Presleme koşulları ile ilgili diğer önemli parametreler pres süresi ve pres basıncıdır. Üretim prosesinden kalite değişkenleri ile ilgili verilerin elde edildiği süre aralığı dikkate alındığında pres süresi ve pres basıncı değerlerinde diğer üretim parametrelerine kıyasla genellikle daha yüksek farklılıkların olduğu, diğer bir ifadeyle, bu parametrelerde tespit edilen değişkenlik miktarının kalite değişkenlerine ait direnç değerlerini presleme koşulları ile ilgili diğer parametrelerden daha fazla etkileyebileceği düşünülmüştür. Dikkate alınan tarih aralığında, pres süresi ve pres basıncına ait değerler incelendiğinde, ilk birkaç gözlem noktası veya veri grubuna karşılık gelen pres süresi değerlerinin tüm tarih aralığında gözlenen en düşük değerler olduğu, yani, levhaların presten geçiş hızının daha yüksek, buna karşılık preste kalma süresinin ise daha kısa olduğu anlaşılmıştır. Presleme basıncı ile ilgili olarak ise, prosesin incelendiği zaman aralığının değerlendirilmesinin bir sonucu olarak, son birkaç gözlem noktasına karşılık gelen pres basıncı değerlerinin tüm zaman aralığında uygulanan en düşük basınç değerleri olduğu görülmüştür. Oluşturulan  $\bar{x}$  kontrol grafikleri incelendiğinde de grafiklere ait ilk ve son gözlem değerlerinde önemli bir düşüş olduğu ve AKL'nin altında gözlem noktalarının bulunduğu göze çarpmıştır. Kenar vida tutma kabiliyetine ait  $\bar{x}$  kontrol grafiğinde de ilk ve son birkaç gözlem değerinde önemli düşüşlerle karşılaşılma ile beraber diğer değişkenlerle ilgili  $\bar{x}$  grafikleri incelendiğinde her bir değişkene ait en düşük ortalama gözlem değerlerinin belirtilen bu bölgelerde, özellikle de basıncın en düşük olduğu son verilerde olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber, Hotelling  $T^2$  grafiğinin incelenmesi sonucunda da pres süresinin en düşük olduğu grafiğin ilk birkaç gözlem noktası ve özellikle uygulanan basıncın en düşük olduğu son gözlem noktalarında ÜKL üzerinde gözlemlerin bulunduğu, yani, verilerin birçoğunun kontrol dışında olduğu

tespit edilmiştir. Bu bilgilere dayanarak kalite değişkenlerine ait  $\bar{x}$  grafiklerinin ifade edilen bölgelerindeki ortalama değerlerdeki düşüşlerin başlıca sebebinin pres süresi ve basıncı ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Daha önce ifade edildiği gibi, levha direnç özelliklerini etkileyebilecek bir diğer pres parametresi pres kapanma süresidir, ancak, araştırmaya konu olan işletme sonsuz pres sistemi kullanarak üretim gerçekleştirmesinden dolayı bu faktörün etkisini değerlendirme imkanı olmamıştır.

Presleme parametrelerindeki değişkenliğin belirtilen gözlem noktaları dışında kontrol grafiklerindeki diğer kontrol dışı gözlem noktalarına da diğer birçok üretim parametresi ile beraber benzer bir katkı sunduğu söylenebilir. Liflevha üretiminde presleme koşullarının levhanın direnç değerleri üzerine etkilerini tespit etmek için yürütülen birçok çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. İstek (2006) gerçekleştirmiş olduğu bir çalışmada, üretim prosesinde uygulanan basınç değerindeki artışın sert liflevhaların eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerini iyileştirdiğini ifade etmiştir. Balkız (2006) pres süresi ve basıncındaki artışın Ormangülü (*Rhododendron Ponticum* L.) lifleri kullanılarak üretilen MDF'lerin eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzey vida tutma kabiliyeti değerlerini genellikle arttırdığını, ancak, kenar vida tutma kabiliyeti değerleri üzerine ise önemli bir etkide bulunmadığını bildirmiştir. Sihag vd. (2017) Bambu (*Dendrocalamus strictus*)'dan yapılan MDF'lerin direnci üzerine pres basıncının etkisini araştırdıkları çalışmalarında basınç artışının eğilme direnci, yüzey vida tutma kabiliyeti ve kenar vida tutma kabiliyeti değerlerini arttırdığını tespit etmiştir. Nourbakhsh vd. (2010) üç farklı pres süresi (3, 4 ve 5 dakika) kullanarak ürettiği MDF'lerin eğilme direnci değerleri üzerine pres süresinin etkisinin çok önemli olmadığını, elastikiyet modülü değerlerinin ise orta seviyedeki pres süresinde üretilen MDF'lerde daha yüksek bulunduğunu belirtmiştir. Aisyah vd. (2013) MDF'nin bazı kalite karakteristikleri üzerine pres basıncı ve süresinin etkisini inceledikleri çalışmalarında presleme işlemi sırasında uygulanan süre ve basıncın direnç değerleri üzerine etkisinin değişken olduğunu ifade etmişlerdir. Bazı çalışmalarda farklı sonuçlarla karşılaşılsada genel olarak bakıldığında pres süresi ve basıncının levha direnç özellikleri üzerinde etkili olduğu ve bu etkinin de çoğu pres parametresi ile doğrusal bir ilişki içinde olduğu görülmüştür.

Akbulut ve Ayrılmış (2001) MDF direnç özellikleri üzerine etki edebilecek bir başka üretim parametresinin levhaya hidrofobik özellik kazandırmak için kullanılan parafin gibi katkı maddelerinin olabileceğini ifade etmiştir. Şu anki çalışmada, MDF üretim prosesinde kullanılan parafin miktarında verilerin elde edildiği zaman aralığında önemli bir değişiklik

olmamıştır. İşletmede 1m<sup>3</sup> levha için yaklaşık olarak 2.5-2.8 kg parafin kullanılmakta ve önemli bir problemle karşılaşılmadıkça da bu miktar değiştirilmemekte, yani, kullanılan parafin miktarı daha önce değinilen ağaç türü ve presleme parametreleri gibi değişkenlik göstermemektedir. Dolayısıyla, kontrol grafikleri kullanılarak belirlenen sinyaller üzerine, diğer bir deyişle, elde edilen direnç değerlerindeki büyük ölçekli kaymalar üzerine parafin kullanımının önemli bir etkisi olmadığı düşünülmüştür.

Endüstriyel üretim proseslerinde kullanılan alet, makine vb. üretim araçlarının bakım durumlarının da elde edilen gözlem değerlerinin üzerinde etkili olabileceği düşünülmüştür. Kurt vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada araştırılan kalite değişkenine ait değerlerde belirlenen artışın nedeni işletmenin bir önceki dönem komple bakımdan geçmiş olmasına bağlanmıştır. Bu nedenle, ilgili işletmenin kalite ekibinden bakım periyotları ile ilgili bilgi alınmıştır. Sonuç olarak; veri alma sürecinde işletmede haftalık genel bakımlar düzenli olarak gerçekleştirilmiş ve bu süreçte herhangi bir ağır bakım faaliyeti söz konusu olmamıştır. Bu nedenle, kontrol dışı gözlem değerleri üzerine bakım periyotlarının anlamlı bir etkisinin olmadığı görüşü benimsenmiştir.

Kalite değişkenlerine ait direnç değerlerini etkileyebilecek bir diğer önemli üretim parametresi kullanılan tutkal ile ilgili faktörlerdir. Akbulut ve Ayrılmış (2001) levhanın direnç değerleri üzerine etkili diğer faktörler sabit tutulduğunda, tutkal miktarındaki artışın levha direnç değerlerini iyileştirdiğini bildirmiştir. Kullanılan tutkalın kalite değişkenlerine ait değerlere etkisi ile ilgili fikir sahibi olmak amacıyla işletmeden bilgi alınmıştır. İşletmenin verdiği bilgi, veri alma sürecinde üre-formaldehit tutkalının kullanılmış olduğu ve tutkal türünde herhangi bir değişikliğe gidilmediği yönünde olmuştur. Ek olarak, kullanılan tutkal türünün değişmemesinin yanında tutkalın oranında da bir değişiklik olmadığı bildirilmiştir. Bu nedenle, kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerine tutkal türü ve kullanım miktarı faktörlerinin büyük bir etkisinin olmadığı düşünülmüştür. Öte yandan, daha önce de ifade edildiği gibi, işletme levha üretim sürecinde kullanılmak üzere kendi bünyesinde tutkal üretimi de gerçekleştirmektedir. Her ne kadar üretim prosesinde aynı tutkal türü ve oranı kullanılsada tutkalın hazırlanması aşamasında gerçekleşebilecek bir uygunsuzluğun da elde edilen direnç değerlerini etkileyebileceğini, ancak, bu durumun tespit edilmesinin oldukça güç olduğunu da ifade etmek gerekmektedir.

Yukarıda ifade edildiği üzere, MDF üretim prosesinde kalite değişkenlerini etkileme potansiyeli olan çok sayıda parametre bulunmaktadır. Bu parametrelere ek olarak üretim prosesinde kaliteyi etkileyen görünen ve görünmeyen bir çok faktörün olduğu da açıktır.

Bu parametrelerin birçoğu kontrol grafiklerinde gözlemlenen sinyalleri etkileme ihtimali açısından incelenmiş ve yorumlanmıştır. Üretim parametrelerinin incelenmesi sonucunda çoğu durumda bu parametrelere ait değerlerin sürekli değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Kalite değişkenleri ile ilgili gözlemleri etkileyen parametrelerin bazıları işletme tarafından ayarlanabilirken bazılarının ise istenildiği gibi ayarlanması mümkün olamayabilmektedir. Örneğin; yüzey ve kenar vida tutma kabiliyetlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen deneylerde elde edilen direnç değerleri deneyi yürüten çalışanın kullanılan vidayı sıkma derecesinden etkilenebilmektedir. Bu durum elde edilen gözlem değerlerinin ortalamasında bir kaymaya yol açabileceği gibi gözlemlerin değişim aralıklarındaki değişkenliğin de artışına yol açabilmektedir. Bu gibi faktörlerden dolayı, kontrol dışı bir sinyalin nedenini kesin olarak tespit etmek çok mümkün olmamakta ve çoğu durumda herhangi bir sinyale sadece tek bir üretim parametresinin neden olduğunu söylemek de çok doğru bir yaklaşım değildir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada,  $\bar{x}$  ve Hotelling  $T^2$  grafikleri genellikle paralel sonuçlar vermişlerdir. Her iki kontrol grafiği de MDF üretim prosesinin kontrolde olmadığını ortaya koymuştur. Ek olarak,  $\bar{x}$  kontrol grafiklerinin yorumunda kontrolde olmama durumu kalite değişkenlerine ait gözlemlerin kendi aralıklarının dışına çıkması olarak algılandığından ve bazı durumlarda Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde kontrol dışında olan bir gözlem noktasının  $\bar{x}$  grafiğinde kontrol altında görünmesinden dolayı  $\bar{x}$  grafiği Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği ile birlikte incelenmiştir. Diğer bir ifadeyle,  $T^2$  istatistiği proseslerin daha doğru bir şekilde izlenmesinde etkin bir yöntem olarak görülmüştür. Böylece, üretim prosesine daha hızlı müdahale etmek suretiyle oluşan sorunların neden veya nedenlerini daha doğru bir şekilde saptayabilmek ve uluslararası pazarlarda rekabet edebilir yüksek kaliteli ürünler üretmek mümkün olabilecektir.

İncelenen kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin ortalamalarındaki değişimin izlendiği  $\bar{x}$  grafiği ve kalite değişkenlerinin ortalamaları ile varyans-kovaryans matrisinden yararlanılarak hesaplanan  $T^2$  istatistiği MDF üretim prosesi ile ilgili önemli problemlerin olduğunu ortaya koymuştur. Bununla beraber, tek veya çok değişkenli proseslerde kalite değişkenlerine ait ortalama vektörün kontrolü yeterli görülmemektedir. Sarıkaya (2017) çok değişkenli proses kontrolünde tek değişkenli proseslerde olduğu gibi proses ortalama vektörünün kontrolü kadar proses değişkenliğinin de kontrolde tutulmasının çok önemli olduğunu vurgulamıştır. Montgomery (2009) çok değişkenli proseslerin izlenmesinde iki unsur üzerinde durmuştur. Bu unsurlardan birini proses ortalama vektörünün kontrolü veya



izlenmesi oluştururken diğerini proses değişkenliğinin izlenmesi oluşturmaktadır. Woodall ve Montgomery (1999) proses ortalamasındaki değişkenliğin izlenmesine ek olarak, proses değişkenliğinin izlenmesinin de istatistiksel proses kontrolün önemli bir alanı olduğunu ifade etmiştir. Qiu (2013) bir ürünün kalitesi üzerine hem proses ortalaması hem de proses değişkenliğinin etkisinin önemli olduğunu belirtmiştir. Başka bir çalışmada ise, Hao vd. (2008) proses değişkenliğini belirlemek için çeşitli grafikler geliştirildiğini ifade etmiştir. Yazarlar; R ve s grafiklerinin tek değişkenli durumlarda varyans yapısındaki değişkenliği belirlemede çoğunlukla kullanılan grafikler olduğunu, çok değişkenli proseslerde proses değişkenliğinin izlenmesinin ise örnek kovaryans matrisinden hesaplanan Genelleştirilmiş Varyans istatistiğine dayandığını bildirmişlerdir. Bu nedenle, şu anki çalışmada, üretim prosesinin varyans yapısındaki değişkenlik düzeyi tek değişkenli ölçümler için R grafiği ve çok değişkenli ölçümler için Genelleştirilmiş Varyans grafiği ile izlenmiştir.

R grafiklerinde her bir gözlem noktası üretim prosesinden çekilen herhangi bir levha ile ilgili olup, herhangi bir kalite değişkenine ait gözlemlerin değişim aralığı değerini ifade ederken Genelleştirilmiş Varyans grafiğinde her bir gözlem noktası herhangi bir levha ile ilgili tüm kalite değişkenlerinin dikkate alınmasıyla hesaplanan Genelleştirilmiş Varyans değerini belirtmektedir. Diğer bir ifadeyle, R grafiği incelenen kalite karakteristiklerindeki değişkenliği tek tek ortaya koyarken, Genelleştirilmiş Varyans grafiği tüm değişkenler için oluşturulan ortak değişkenliği aynı anda izlemeye imkan sağlamıştır. Bununla beraber, Genelleştirilmiş Varyans değeri ne kadar yüksekse verilerin dağınıklığının o kadar yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, Genelleştirilmiş Varyans değerinin sıfır çıkmasının verilerde doğrusal bağımlılık sorunu ile ilgili olabileceği belirtilmiştir (Johnson ve Wichern, 2007).

Bu bağlamda, MDF üretim prosesinden elde edilen gözlem değerlerinin değişim aralıklarındaki değişkenliği ortaya koyan tek değişkenli R grafiği ve gözlem değerlerinin varyans yapısındaki değişkenliği gösteren Genelleştirilmiş Varyans grafiği ile ulaşılan sonuçların karşılaştırılması Tablo 31’de sunulmuştur.

Tablo 31. Genelleştirilmiş Varyans ve R grafiklerinin karşılaştırılması

GRAFİK TÜRÜ		GÖZLEMLER																																																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44								
R	ED	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
	EM	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
	YV	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+			
	KV	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
G. Varyans		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
GRAFİK TÜRÜ		GÖZLEMLER																																																			
		45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	T								
R	ED	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	
	EM	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
	YV	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4
	KV	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1
G. Varyans		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0

ED: Eğilme direnci, EM: Elastikyet modülü, YV: Yüzey vida tutma kabiliyeti, KV: Kenar vida tutma kabiliyeti, T: Toplam kontrol dışı gözlem sayısı, +: Kontroldeki gözlem, -: Kontrol dışı gözlem

Tablo 31 incelendiğinde, MDF üretim prosesinin değişkenlerin birlikte incelendiği Genelleştirilmiş Varyans grafiğinde kontrol altında olduğu, yani, kontrol dışı herhangi bir gözlem noktası olmadığı anlaşılmıştır. İncelenen kalite değişkenlerine ait verilerin değişim aralıklarındaki değişkenliğin teker teker izlendiği R grafiğinde ise kalite değişkenlerine ait ortalamaların izlendiği  $\bar{x}$  kontrol grafiğine göre üretim prosesinin çok daha stabil olduğu görülmüştür. R grafiğinde eğilme direnci ve elastikiyet modülü değişkenlerinin kontrolde olduğu, diğer bir deyişle, kontrol dışında bir gözlem noktasının bulunmadığı görülmüştür. Yüzey vida tutma ve kenar vida tutma kabiliyetleri ile ilgili olarak ise proses kontrol altında olmamakla beraber sadece birkaç noktada sinyal tespit edilmiştir. Yüzey vida tutma kabiliyeti değişkeninde sadece 27, 28, 67 ve 70. gözlem noktaları kontrol dışı iken kenar vida tutma kabiliyeti değişkeninde ise sadece 28. gözlem noktası kontrol dışındadır. Sonuç olarak; üretim prosesinden çekilen verilerin varyans yapısındaki değişkenliğin çok düşük seviyede olduğu ve prosesin oldukça stabil olduğu belirlenmiştir. Pituch ve Stevens (2015) varyans-kovaryans matrislerinin homojenliği veya eşitliğini test etmek amacıyla kullanılan Box's M testinin genelleştirilmiş varyansları dikkate aldığını ifade etmiştir. Kontrol grafiklerini kullanarak üretim prosesine ait gözlem değerlerinin analizine başlanmadan önce ilgili veri kümesinin varyans–kovaryans matrislerinin eşitliği açısından Box's M testi kullanılarak analiz edildiğini ve bu varsayımı sağladığını hatırlayacak olursak burada verilerin varyans yapısındaki değişkenlik düzeyini ortaya koyan kontrol grafikleri ile ulaşılan sonuçların da Box's M test sonuçlarını desteklediğini söylemek mümkündür.

MDF üretim prosesinden farklı kalite değişkenlerini izlemek adına çekilen levhalara ilişkin gözlem değerlerinin ortalamalarındaki kayma veya değişkenlik seviyesinin yüksek olduğu gözlemlenirken varyans yapısındaki değişkenliğin oldukça düşük seviyede olduğu görülmüştür. Bununla beraber, kalite değişkenlerine ait gözlemlerin kalite standartlarını karşılayıp karşılamadıkları da oldukça önemlidir. Üretim süreci incelenen levhaların ele alınan kalite özelliklerinden biri eğilme direncidir. Bu direnç özelliğinin üretilen levhaların mekanik özellikleri içerisinde önemli bir yer tuttuğu ve levhanın çeşitli kullanım yerlerinde eğilmeye karşı yeterli bir dirence sahip olması gerektiği ifade edilmiştir (Çamlıbel, 2006). Eğilme direnci değişkenine ait belirlenen ortalama değerler gerek Faz I aşaması sonucunda ulaşılan RVK ( $34.756 \text{ N/mm}^2$ ) gerekse Faz II aşaması ( $35.034 \text{ N/mm}^2$ ) için 12-19mm arası kalınlıklara sahip genel amaçlı levhalarda TS EN 310 standardının öngördüğü minimum değerden ( $20 \text{ N/mm}^2$ ) daha yüksek bulunmuştur. Araştırılan diğer bir kalite değişkeni olan elastikiyet modülünün levhaların dolap, kitaplık, raf gibi eğilmeye maruz kalan yerlerdeki

deformasyonu açısından önemli olduğu ve bu gibi yerlerde elastikiyet modülünün yüksek olmasının arzu edildiği ifade edilmiştir (Göker vd., 2004). Eğilme direncine benzer şekilde, elastikiyet modülü değişkenine ait ortalama değerlerin de hem RVK açısından ( $3256.634 \text{ N/mm}^2$ ) hem de Faz II için ( $3197.98 \text{ N/mm}^2$ ) 12-19 mm arasında kalınlıklara sahip olan genel amaçlı levhalarda TS EN 310 standardında belirtilen minimum değerden ( $2200 \text{ N/mm}^2$ ) yüksek çıktığı belirlenmiştir. Levhaların yüzey ve kenar vida tutma kabiliyetlerine ait değerler de bu levhalar kullanılarak üretilecek ürünlerin kullanım yerlerinde oldukça önemli olmaktadır. Her ne kadar tutkallama tekniğinde meydana gelen gelişmeler vida ile birleştirmenin önemini bir miktar azaltsa da marangozlukta, prefabrike konutlarda, çeşitli yapı elemanlarında ve panellerde MDF'nin vida kullanılarak birleştirilmesinin yaygın bir şekilde uygulandığı bildirilmiştir (Çamlıbel, 2006). Yüzey ve kenar vida tutma kabiliyetleri ile ilgili olarak TS EN 320 standardında herhangi bir değer verilmemesinden dolayı bu kalite değişkenlerine ait elde edilen değerler işletmenin spesifikasyon değerleri dikkate alınarak yorumlanmıştır. Yüzey vida tutma kabiliyeti ile ilgili olarak ortalama değer RVK ( $1609.90 \text{ N/mm}^2$ ) ve Faz II ( $1617.10 \text{ N/mm}^2$ ) için işletmenin kararlaştırdığı spesifikasyon değerini ( $1200 \text{ N/mm}^2$ ) karşılamıştır. Kenar vida tutma kabiliyetine ait ortalama değerler de hem RVK ( $1041.74 \text{ N/mm}^2$ ) hem de Faz II aşaması için ( $1046.97 \text{ N/mm}^2$ ) işletmenin spesifikasyon değerinin ( $900 \text{ N/mm}^2$ ) üzerinde tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere, kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin ortalamaları standart ve spesifikasyonlarda belirtilen sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur.

RVK ve Faz II verilerinin istatistiksel özet tabloları (Tablo 15 ve 24) incelendiğinde, değişkenlere ait minimum değerlerin dahi yukarıda belirtilen standart ve spesifikasyonları karşıladığı görülmüştür. Ancak, belirtilen değerler ortalama değerler olup, her bir ortalama değer veya veri grubunun 5 gözlem içerdiği ve bu gözlemler arasında bazı değişkenler açısından bireysel olarak spesifikasyonlardan düşük değerler olabileceği unutulmamalıdır. Bununla beraber, levhalara ait gözlemlerin ortalama değerlerinin incelenmesinin sonucu olarak levhaların ana üretim amacı olan kuru şartlarda kullanılacak genel amaçlı levhalar ile ilgili standardın gereklerinin yanında Tablo 2'de verilen diğer kullanım şartları için üretilen levhalarla ilgili standartların öngördüğü değerleride de karşıladığı belirlenmiştir. Görüldüğü üzere, kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin ortalamaları farklı kullanım amaçları için ihtiyaç duyulan gereklerin üzerinde bulunmuştur.

MDF üretim sürecinde birçok faktör üretim maliyetlerini etkileyebilmektedir. Üretim faktörlerinde kaliteyi olumsuz etkilemeden bazı ayarlamalar yapılmak sureti ile direnç

değerlerinin bir miktar aşağıya çekilmesi ve böylece maliyetlerin de daha düşük olmasının sağlanma olasılığı, üzerinde dikkatle düşünülmesi gereken bir konu olarak görülmüştür. Ancak, işletmenin ortaya koyduğu spesifikasyonları sağlama gerekliliği ilk bakışta akla gelen bu uygulamayı sınırlandırıcı bir rol oynayabilmektedir. Günümüzde, tüketicilerin bilinç düzeyinin artışı ürünlerden beklentilerini de arttırmış ve bununla beraber pazardaki yoğun rekabet şartlarında bu beklentilerin karşılanması gerekliliği levha üreticilerini farklı sorumluluklar altına sokmuştur. Bu nedenle, birçok işletme standartları sağlamaktan ziyade pazardaki yoğun rekabet koşullarında öne geçebilmek adına tüketicileri tatmin edecek spesifikasyonlar belirlemekte ve ürün ile ilgili kalite özelliklerini bu değerlerin üzerinde tutmaya çalışmaktadır.

Literatürde, herhangi bir üretim işletmesinin pazarda faaliyetlerini etkili bir şekilde devam ettirebilmesi için endüstride ortak bir ölçüt olarak benimsenen yeterlilik indekslerini hesaplayarak prosesinin bu indeksleri karşıladığını ortaya koyması gerektiği belirtilmiştir (Şahin, 2013). Bir başka çalışmada, Bangphan vd. (2014) proses yeterliliğinin tahmininin istatistiksel proses kontrolünün temel görevlerinden birisi olduğunu bildirmiş, ayrıca  $C_p$  ve  $C_{pk}$  indeks değerlerinin tüketici beklentilerine ilişkin bir proses potansiyeli hakkında kesin bilgiler verdiğini ifade etmiştir. Şu anki çalışmada da kalite değişkenlerine yeterlilik analizi uygulanmış ve değişkenlere ait tek yönlü spesifikasyon değerleri mevcut olduğundan  $C_{pk}$  indeks değerleri ve prosesin spesifikasyon dışı üretebileceği ürün miktarları veya milyonda ne kadar uygunsuz parça üretebileceğini ortaya koyan  $p_{pm}$  indeksi her bir kalite değişkeni için hesaplanmıştır. Tablo 32’de tüm değişkenler için bu indekslere ait değerler verilmiştir.

Tablo 32. Kalite değişkenleri için elde edilen yeterlilik indeks değerleri

Kalite Değişkenleri	$C_{pk} = C_{pl}$	$P_{pm}$
Eğilme Direnci (N/mm <sup>2</sup> )	1.82	0.02
Elastikiyet Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	2.31	0.00
Yüzey Vida Tutma (N)	1.55	1.58
Kenar Vida Tutma (N)	0.62	31.768,94

Yukarıda da ifade edildiği üzere, incelenen kalite değişkenlerine ait sadece tek yönlü spesifikasyon değerleri mevcut olup bu da ASL değerleridir. Bu durumda, değişkenler için

hesaplanan  $C_{pk}$  değerleri ASL değerlerini dikkate alma yoluyla hesaplanan  $C_{pl}$  değerlerine eşit olmaktadır.

Literatürde,  $C_{pu}$  veya  $C_{pl}$  indekslerinin farklı değerleri için tek taraflı spesifikasyonlar dikkate alınarak normal dağılan prosesler için uygunsuzluk oranları tespit edilmiştir. Tablo 33'de bu değerler sunulmuştur.

Tablo 33.  $C_{pu}$  veya  $C_{pl}$  indekslerinin farklı değerleri için tek taraflı spesifikasyonlar dikkate alınarak normal dağılan prosesler için uygunsuzluk oranları (Mitra, 2016).

Yeterlilik indeksi ( $C_{pu}$ veya $C_{pl}$ )	Uygunsuzluk oranı ( $> \bar{ÜSL}$ , $< ASL$ )	Yeterlilik indeksi ( $C_{pu}$ veya $C_{pl}$ )	Uygunsuzluk oranı ( $> \bar{ÜSL}$ , $< ASL$ )
<b>0.50</b>	66.807	<b>1.33</b>	33
<b>0.60</b>	35.930	<b>1.40</b>	13.4
<b>0.70</b>	17.864	<b>1.50</b>	3.4
<b>0.80</b>	8.196	<b>1.60</b>	0.793
<b>0.90</b>	3.467	<b>1.70</b>	0.170
<b>1.00</b>	1.350	<b>1.80</b>	0.033
<b>1.10</b>	483	<b>1.90</b>	0.006
<b>1.20</b>	159	<b>2.00</b>	0.001
<b>1.30</b>	48	-	-

Tablo 33'de görüldüğü üzere, yeterlilik indekslerine ait değerlerdeki artış sonucunda üretimin, yani, prosesin hassasiyeti artmakta ve buna bağlı olarak uygunsuzluk oranlarında azalma meydana gelmektedir. Şu anki çalışmada da incelenen kalite değişkenlerine ait  $C_{pk} = C_{pl}$  değerindeki artışın uygunsuz parça miktarını oldukça düşük bir düzeye indirdiği tespit edilmiştir (Tablo 32).

Yeterli bir proses için  $C_{pk}$  indeksinin tek ve çift taraflı spesifikasyon değerlerinin var olmasına göre sırasıyla minimum 1.25 ve 1.33 olması istenmesine rağmen bu değerler daha yüksek olarak elde edilmesi proses yeterliliğinin artışına katkı sağlamaktadır. Ek olarak, Tablo 32'de görüldüğü üzere, proses yeterliliğinin artışı spesifikasyon dışı ürün miktarının azaltılması noktasında önemli bir katkı sağlamıştır. Aydın ve Arıkan Kargı (2018) proses yeterliliğindeki artışın uygunsuz ürün miktarının azaltılmasında işletmelere önemli fırsatlar

sağlayacağını ve bu durumun ise işletmede üretilen ürünlerin kalitesinin gelişimi yanında üretim maliyetlerinin azalmasına da imkan sağlayabileceğini ifade etmiştir.

Sonuç olarak; eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzey vida tutma kabiliyeti kalite değişkenlerinin işletme tarafından belirlenen spesifikasyon değerlerini karşılamada başarılı olduğu, kenar vida tutma kabiliyeti değişkeninin ise spesifikasyonları karşılamada başarısız olduğu tespit edilmiştir. Eğilme direnci, elastikiyet modülü ve yüzey vida tutma kabiliyeti kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin spesifikasyonların çok üzerinde olmasının ve buna paralel olarak yeterlilik indeks değerlerinin oldukça yüksek olmasının nedeninin bu değişkenlerin daha çok yüzey yoğunluğu ile ilişkili olması ve işletmenin de daha iyi levha yüzeyleri elde etme adına verilerin alındığı süre aralığında levha yüzey yoğunluğunu yüksek tutmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Göker vd. (2004) Türkiye’de üretilen MDF’lerin çeşitli özelliklerini araştırdığı çalışmalarında, levhaların yüzey yoğunluğunun yüksek orta tabaka yoğunluğunun düşük olmasının eğilme direncini, elastikiyet modülünü ve yüzey vida tutma kabiliyetini arttırdığını ifade etmiştir. Bunun yanında, kenar vida tutma kabiliyeti için ise yüzey yoğunluğundan ziyade orta tabaka yoğunluğunun daha önemli olduğu ve orta tabaka yoğunluğunun artışının kenar vida tutma kabiliyeti üzerine olumlu katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

Özellikle, elastikiyet modülü kalite değişkeni için bulunan yeterlilik indeks değerinin oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Yüksek yeterlilik indeks değerleri işletmenin tüketici isteklerini karşılayabilecek düzeyde ürün ürettiği anlamına gelse de prosesin ileriye yönelik performansını ortaya koymak için uygulanan kontrol grafiklerinin Faz II aşaması üretim prosesinde dikkate alınan değişkenlere ait ortalama değerlerde zaman zaman önemli kaymaların olduğunu göstermiştir. Kalite değişkenlerinin ortalama değerlerinde bu şekilde büyük kaymaların mevcut olduğu bir prosesin gelecekte nasıl bir davranış sergileyeceğini kestirmek çok mümkün olmadığından veya proses ortalamasının başka bir değere kayma ihtimali mümkün olduğundan üretim prosesinin gelecekte tüketici spesifikasyonlarını aynı düzeyde karşılayamama durumu ortaya çıkabilecektir. Erameh (2016) proses değişiminin sınırlandırılmasının arzu edilen ürün kalite özelliklerini elde etmede çok önemli olduğunu ifade etmiştir. Bu bakımdan, prosesin kararlılığını bozan problemlerin ortadan kaldırılması yoluyla proses değişkenliğini azaltarak prosesin kontrol altına alınmasının sağlanması ve kontrol altındaki durumun devam ettirilmesi oldukça önem arz etmektedir.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretim işletmelerinin rekabetin yoğun olduğu uluslararası pazarlarda tutunmasının ön koşullarından biri en az rakipleri kadar kaliteli ürün üretmelerinden geçmektedir. Bunu başarmak için üretim süreçlerinin istatistiksel proses kontrol teknikleri kullanılarak sürekli olarak izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yöntemlerin üretim süreçlerine uygulanması ile beraber daha az maliyete katlanılarak yüksek kaliteye sahip ürünler üretmek mümkün olabilmektedir. Bu amaçla, üretim proseslerinin çeşitli istatistiksel proses kontrol teknikleri kullanılarak kontrol altında tutulması oldukça önemlidir. Her ne kadar üretim proseslerinde kalite kontrol ile ilgili bir takım uygulamalar gerçekleştiriliyor olsa da bu uygulamaların geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Herhangi bir ürün üretimi için oluşturulmuş bir prosesin çoğunlukla birden çok kalite değişkeni veya karakteristiği ile değerlendirilmesi beklenmektedir. Bu nedenle herhangi bir kalite değişkeninin ürünle ilgili diğer kalite değişkenleri ile olan ilişkisi göz ardı edilerek gerçekleştirilecek olan istatistiksel proses kontrol uygulamaları yanıltıcı sonuçların ortaya çıkmasına yol açabilmektedir. Bu çalışma orta büyüklükte denilebilecek bir orman ürünleri sanayi işletmesinde MDF üretim prosesinde ürün kalitesi üzerine etkili olan eğilme direnci, elastikiyet modülü, yüzey vida tutma ve kenar vida tutma kabiliyetleri değişkenlerine tek ve çok değişkenli istatistiksel proses kontrol grafiklerinin uygulanması ve böylece üretim prosesinde kalitenin gelişimine katkıda bulunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, tek değişkenli proses kontrol yöntemlerinden  $\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri ile çok değişkenli yöntemlerden Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri araştırmaya konu olan orman ürünleri işletmesinden elde edilen verilere uygulanmıştır. Hotelling  $T^2$  kontrol grafiğinde oluşan sinyallere kalite değişkenlerinin katkı düzeylerini belirleme adına MYT ayırıştırma prosedürü uygulanmıştır. Ek olarak, işletmede üretilen ürünlerin tüketici istek ve taleplerini ne ölçüde karşıladığını belirlemek adına kalite değişkenlerine proses yeterlilik analizi uygulanmıştır.

Uygulama yapılan işletmede MDF üretim prosesinden düzenli bir şekilde araştırılan kalite değişkenleri ile ilgili testler gerçekleştirmek için levhalar çekilmekte ve bu testlerden gerekli veriler elde edilmektedir. Ancak, işletmede bu verilerin herhangi bir kontrol grafiği ile analiz edilmediği görülmüştür. Pek çok işletmede olduğu gibi bu çalışmaya konu olan



işletmede de amaç genellikle standartların ve özellikle spesifikasyonların tutturulması olup bu amaca ise çoğu durumda çalışanların iş tecrübesi ile ulaşılmaya çalışıldığı görülmüştür. Bu durum ise işletmede sürekli iyileştirme politikasından ziyade sorun çıktıkça müdahale politikasının uygulandığını ortaya koymuştur.

Elde edilen verilerin analizi için çok değişkenli proses kontrol yöntemleri içerisinde en çok tercih edilenlerden olan Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği, verilerin varyans yapısındaki değişkenliği izlemek için kullanılan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği ile birlikte kullanılmıştır. Çok değişkenli Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri ile incelenen MDF üretim prosesi, ayrıca, kalite değişkenlerini tek tek izlemeye fırsat veren tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri ile de analiz edilmiştir. Veri alma süreci 4 aylık bir periyot olarak belirlenmiş ve bu süreçte prostesten her bir kalite değişkeni için her biri 5 veriden oluşan 137 veri grubu analizlerde kullanılmak üzere alınmıştır. Prostesten alınan 137 adet veri grubu Faz I aşaması için 50 ve Faz II aşaması için de 87 olmak üzere iki veri grubuna bölünmüştür. Faz II aşaması için kontrol grafikleri oluşturulmadan önce Faz I verileri için temel varsayımlar (doğrusallık, normallik, otokorelasyon olmaması, varyans kovaryans matrislerinin eşitliği) araştırılmıştır. Varsayımların araştırılması sonrası RVK'yı elde etme adına Hotelling  $T^2$  prosedürü kullanılarak üretim prosesinin analizine başlanmış ve iki adım sonucunda RVK'ya ulaşılmıştır. Birinci adımda, 22 veri grubunun veya gözlem noktasının ÜKL üzerinde olması nedeni ile bu veriler veri setinden çıkartılmıştır. İkinci adımda, tüm verilerin ÜKL altında, yani, kontrolde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, 28 veri grubu ile Faz I aşamasında MDF üretim prosesinin kontrol altında olduğu duruma ulaşılmış, diğer bir deyişle, RVK elde edilmiştir. Daha sonra, Faz I verileri için araştırılan varsayımlar herhangi bir kontrol dışı gözlem içermeyen ve Faz II için temel oluşturan RVK için araştırılmıştır. Sonraki aşamada ise RVK'nın istatistikleri temel alınarak üretim prosesinin ileriye yönelik performansı tek değişkenli  $\bar{x}$  ve R ile çok değişkenli Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri kullanılarak incelenmiştir.

Faz II aşamasında 87 yeni veri grubu için Hotelling  $T^2$  kontrol grafiği oluşturulmuş ve 46 veri grubu veya gözlem noktasının kontrol dışı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, incelenen değişkenler ile ilgili olarak üretim prosesinin Hotelling  $T^2$  yöntemi açısından kontrol dışında olduğunu ortaya koymuştur. Çok değişkenli kontrol grafiklerine benzer şekilde kalite değişkenlerinin teker teker incelendiği tek değişkenli  $\bar{x}$  grafikleri de üretim prosesinin tüm kalite değişkenleri açısından kontrol altında olmadığını ortaya koymuştur. MDF üretim prosesinin ortalamalar açısından kontrol altında olmadığını belirlemesi çok

önemli olmakla birlikte, üretim prosesinde dikkate alınan kalite değişkenlerine ait gözlem değerlerinin değişim aralıkları ile varyans yapısındaki değişkenliğin izlenmesi de önem arz etmektedir. Bu amaçla üretim prosesinden alınan gözlemlere ait değişim aralıklarının kalite değişkenleri açısından teker teker incelendiği R kontrol grafiği ve bu gözlemlerin varyans yapısındaki değişkenliği bir bütün olarak ortaya koyan Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafiği kullanılmış ve ortalamalardaki değişkenliğin aksine prosesin oldukça stabil olduğu görülmüştür. Bu durum ise prosesin belli bir olgunluğa sahip olduğunu ortaya koymuştur.

MDF üretim prosesinin incelenmesinde kalite değişkenleri olarak belirlenen direnç özelliklerindeki kontrol dışı durumların ya da yüksek değişkenlik seviyesinin önemli bir nedeninin kullanılan ağaç türü odunlarının kullanım oranlarının bazı durumlarda önemli farklılıklar göstermesinden kaynaklandığı kanaatine varılmıştır. Üretim prosesi araştırılan MDF'nin üretiminde iğne yapraklı ve yapraklı ağaç türü odunlarının birlikte kullanıldığı ve çeşitli nedenlerden dolayı bu ağaç türlerinin kullanım oranlarının farklılık gösterdiği ve bazı durumlarda ise tek bir ağaç türünün kullanımı ile MDF'lerin üretildiği görülmüştür.

Üretim prosesindeki değişkenlik seviyesinin yüksek olmasının bir diğer nedeninin ise özellikle pres süresi ve basıncı gibi presleme parametrelerinin değişkenlik göstermesinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. İşletmede üretim prosesinde sonsuz pres kullanılmakta ve bu nedenle de belirtilen üretim faktörleri sabit birer değer olarak elde edilememektedir. Yine de, belirtilen bu faktörlerin daha dar bir aralıkta belirlenmesi değişkenliğin miktarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Üretilen levhalar için presleme faktörleri ile ilgili olarak bir değerlendirme yapılacak olursa pres sıcaklığındaki değişkenliğe kıyasla pres süresi ve pres basıncındaki değişkenlik seviyesinin levhalar arasında daha yüksek olduğu ve bu parametrelerin kalite değişkenleri olan direnç değerleri üzerine daha fazla etkiye sahip olduğu düşünülmüştür.

Yukarıda belirtilen faktörlere ek olarak, üretim prosesinde levha taslağının rutubet miktarı, kullanılan katkı maddeleri, üretilen levhaların yoğunluğu, tutkal türü ve miktarı ile ilgili problemler de görülebilmekte ve bu gibi parametreler elde edilen direnç değerlerinde değişkenlik miktarının artmasına yol açabilmektedir. Kalite ekibi ile yapılan değerlendirme ve gözlem değerlerine karşılık gelen üretim parametre değerlerinin incelenmesi neticesinde belirtilen bu parametrelerdeki değişkenliğin yukarıda belirtilen diğer parametrelere kıyasla daha sınırlı olduğu görülmüştür. Bu durum belirtilen parametrelerin direnç değerlerindeki değişkenliğe sunduğu katkının ağaç türü ve presleme koşullarına kıyasla sınırlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca, önemli görülen ve prosesi etkileyebilecek bir diğer husus işletmenin

gerçekleştirmiş olduğu bakım periyotları olarak düşünülmüştür. İncelemeler sonucunda bakımların düzenli olarak yapıldığı ve bakımla ilgili prosesi önemli ölçüde etkileyebilecek ve önemli bir değişkenliğe sebep olabilecek herhangi bir durumun olmadığı anlaşılmıştır. Belirtilen parametreler dışında da üretim prosesinde kalite değişkenlerine ait elde edilen değerleri etkileyen ve bu çalışmada ortaya çıkarılamayan bir takım faktörler de söz konusu olabilmektedir.

Önerilen yöntemlerin MDF üretim prosesinde uygulanması MDF'lerin kalitesine ve işletme personeline katkılar sağlayabilecektir. Araştırmaya konu işlemede, kalite kontrol faaliyeti kapsamında herhangi bir istatistiksel proses kontrol yöntemi uygulanmamaktadır. Üretim prosesinden çekilen levhalara ait gözlem değerleri standart veya spesifikasyonlarla karşılaştırılmakta ve elde edilen sonuçlarda arzu edilmeyen bir durumla karşılaşıldığında üretim prosesine müdahale edilmektedir. Yürütülen bu çalışma sonucunda, işletme kontrol grafikleri kullanarak prosesi izlemesi ve ürün kalitesinin geliştirilmesi noktasında teşvik edilmiştir. Bunun yanında, MDF üretim prosesinde çalışan mühendislerin ve işçilerin farkındalıklarının artması sağlanmıştır. Ayrıca, üretim prosesinde kullanılan farklı ağaç türü odunlarının oransal olarak daha tutarlı kullanılması ve değişkenliği yüksek görülen pres parametrelerindeki değişkenliğin de azaltılması gerekliliği vurgulanmıştır.

$\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri çok değişkenli grafiklere kıyasla uygulanmasının daha kolay olmasından dolayı üretim proseslerinin analizinde sıklıkla kullanılmakta, ancak, bu kontrol grafiklerinde kalite değişkenleri arasında var olabilecek ilişkiler ihmal edildiğinden yanlış sinyal olasılığı artmaktadır. Hotelling  $T^2$  ve Genelleştirilmiş Varyans kontrol grafikleri ile  $\bar{x}$  ve R grafiklerinin karşılaştırmalı analizi sadece  $\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri ile yürütülen bir proses kontrolünün yetersiz sonuçlar verebildiğini, yani, incelenen gözlem kontrol altında iken kontrol dışında gibi görülebildiğini veya tam tersi bir durumla karşılaşılabilirdiğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak; tek değişkenli ve çok değişkenli kontrol grafiklerinin karşılaştırması yapıldığında, kalite değişkenleri arasında ilişkiler var ise tek değişkenli grafiklere kıyasla çok değişkenli kontrol grafiklerinin daha sağlıklı sonuçlar verdiği söylenebilir. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi, ürün kalitesinin birden fazla kalite değişkeni kullanılarak ölçüldüğü durumlarda ve bu değişkenler arasında da bir ilişki bulunduğunda oluşturulacak olan tek ve çok değişkenli kontrol grafiklerinin kontrol bölgesi farklı olacağından aynı gözlem noktası bir kontrol grafiğinde kontrolde iken diğer kontrol grafiğinde kontrol dışı sinyal üretebilmektedir. Bu yüzden, araştırmaya konu olan işletmede üretilen MDF'lerin

kalitesi üzerine sadece tek bir değişkenin incelenmesi ile karar vermenin uygun olmadığı, yani, prosesin çok değişkenli bir yapıda olmasından ötürü üretim prosesinin sadece  $\bar{x}$  ve R kontrol grafikleri kullanılarak analizinin yetersiz bilgilerin elde edilmesine sebep olabildiği görülmüştür. Bununla beraber, Hotelling  $T^2$  grafiği günümüzün yoğun rekabetçi ortamında ürün kalitesini sürekli iyileştirmeyi hedefleyen ve tüketici memnuniyetini ön planda tutan benzer yapıdaki proseslere sahip işletmelerin üretim proseslerinde bir kalite kontrol aracı olarak kullanılabilir etkili bir yöntemdir.

Çok değişkenli proseslerde kontrol grafiklerinin kullanılmasında karşılaşılan önemli bir problem üretim prosesinde meydana gelebilecek kontrol dışı sinyalin yorumlanmasının zor olmasıdır. Hotelling  $T^2$  yöntemi kontrol dışı sinyali başarılı bir şekilde yakalamakla beraber bu sinyalin hangi kalite değişkeni veya kalite değişkenlerinden kaynaklandığının tespitini yapamamaktadır. Bu eksikliği giderebilme adına  $T^2$  istatistiğini bağımsız parçalara ayırıştırarak proseste meydana gelebilecek kontrol dışı bir sinyalin yorumlanmasına olanak sağlayan MYT ayırıştırma yöntemi kullanılmıştır. MYT yönteminin Hotelling  $T^2$  grafikleri ile belirlenen sinyallere uygulanmasıyla bu sinyallere en fazla katkı sağlayan değişkenler ve bu katkıların anlamlılık düzeyleri belirlenmiştir. Analiz sonucunda, veri alma periyodu kapsamında oluşan kontrol dışı sinyallere genellikle eğilme direnci ve elastikiyet modülü değişkenleri daha fazla katkı sunmakla beraber, her bir sinyale çoğu durumda birden fazla kalite değişkeninin anlamlı katkıları sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada, ayrıca, son yıllarda istatistiksel proses kontrolünün önemli bir parçası olan proses yeterlilik analizi MDF üretim prosesinin tüketici spesifikasyonlarına uygun ürün üretme yeteneğini belirlemek için kullanılmıştır. Analiz sonucunda, incelenen veri grubu için dört kalite değişkeninden kenar vida tutma kabiliyeti açısından üretim prosesi yetersiz bulunurken diğer değişkenler açısından proses yeterli bulunmuştur. Özellikle de eğilme direnci ve elastikiyet modülü değişkenleri, proses yeterliliğinin tespitinde ana kriter olarak dikkate alınan  $C_{pk}$  açısından oldukça yeterli görülmüştür. Bir prosesin yeterli olarak kabul edilebilmesi için minimum  $C_{pk}$  değeri tek taraflı spesifikasyon değerinin var olması durumunda 1.25 iken, eğilme direnci ve elastikiyet modülü değişkenleri için bu değer sırasıyla 1.82 ve 2.31 olarak belirlenmiştir. Öte yandan, yüzey vida tutma kabiliyeti 1.55'lik  $C_{pk}$  değeri ile 1.25'in üzerinde, kenar vida tutma kabiliyeti değişkeni ise 0.62'lik  $C_{pk}$  ile 1.25' in oldukça altında bulunmuştur. Bu nedenle, kenar vida tutma kabiliyetine ait gözlemlerin spesifikasyon sınırının üzerine çekilmesi ile ilgili iyileştirme çalışmalarının yapılması oldukça önem arz etmektedir. Bununla beraber üretim prosesinin incelenmesinde

kullanılan kontrol grafikleri proses değişkenliğinin yüksek seviyede olduğunu göstermiş ve bu değişkenliğin azaltılmasının gerektiğini ortaya koymuştur. Aksi halde, proses yeterlilik analizi ile ilgili olumlu sonuçların istikrarlı olarak sürdürülebilirliğini sağlamak mümkün olamayabilecektir. Bu yüzden, daha önce vurgulandığı gibi, MDF üretim prosesinde kalite karakteristiklerinin değişkenliğini azaltmak adına üretim parametrelerine ait değişkenliği ortadan kaldırmak gerekmektedir. Bu sayede, üretilen ürünlerin tüketiciler tarafından tercih edilebilirliğinin artışı yanında ürünlerle ilgili şikayetlerde de azalmalar görülebilecektir.

İşletmenin mevcut politikasının kalite iyileştirmeye yönelik çalışmalara daha fazla ağırlık verilmesi yönünde geliştirilmesi mevcut durumdan daha iyisinin elde edilmesi adına işletmeye katkı sağlayabilecektir. Böylece, amaç sadece spesifikasyonları sağlamak değil üretilen ürünlerle ilgili kalite karakteristiklerindeki değişkenlikleri azaltmak olacaktır. Bu amaç, yüksek kaliteye düşük maliyetle ulaşılarak rekabet için önemli olan kalite ve maliyet faktörlerinde gelişme sağlayabilecek ve yüksek rekabet gücü de işletmenin pazar payının artışına katkı sağlayabilecektir. Özetle, işletmeler istatistiksel proses kontrol yöntemlerini üretim proseslerini ve dolayısıyla ürün kalitesini geliştirmek veya iyileştirmek ve böylece pazarda rekabet edebilirliklerini artırmak amacıyla önemli bir araç olarak kullanabilirler.

İşletmede yapılacak daha sonraki uygulamalarda, geliştirilen kontrol grafiklerinin reel zamanlı uygulanması ve oluşan sinyaller ile ilgili beyin fırtınası gibi yöntemlerle fikir alışverişi sonucunda şu anki çalışmada ortaya çıkarılmayan hata kaynaklarının da ortaya çıkarılması sağlanabilir. Değişkenlerle hata kaynakları arasında ne tür ilişkilerin var olduğu temel bileşenler analizi ya da çok değişkenli regresyon analizi gibi istatistiksel çalışmalarla tespit edilebilir. Ayrıca, özellikle son yıllarda kalite kontrolde yaygın olarak kullanılmaya başlanan yapay zeka yöntemleri ile çok değişkenli yöntemlerin birlikte üretim proseslerine uygulanması üzerine çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmadan da anlaşılacağı gibi, istatistiksel proses kontrol yöntemleri ve proses yeterlilik analizi kalite problemlerini tespit etmede ve bu problemleri çözmeye bir rehber olarak kullanılabilir. Bu çalışma, orman ürünleri sanayinde benzer odun kompozit malzeme üretim proseslerine ve diğer orman ürünleri işletmelerine kolaylıkla uygulanabilir niteliktedir. Bu sayede, üretim proseslerinde kalite düzeyinin geliştirilmesine ve bu kalite düzeyinin korunmasına katkı sağlanabilecektir. Bu gelişme, mühendislere ve kalite kontrol sorumlularına üretim prosesinde kalite ile ilgili birçok değişkeni veya bu değişkenlere ait çok sayıda gözlemi kontrol etme olanağı sağlayacaktır.

## 5. KAYNAKLAR

- Abbas, N., Riaz, M. ve Does, R., J., M., M., 2011. Enhancing the Performance of EWMA Charts, Quality and Reliability Engineering International, 27, 821-833.
- Abdollahian, M., Abachi, H. ve Nahavandi, S., 2000. Application of Univariate and Multivariate Process Control Procedures in Industry, International Conference on Systems Thinking in Management, November 8-10, Geelong, Australia, 32-27.
- Abo-Hawa, M., H., Sharaf El-Din, M., A. ve Nada, O., A., 2016. Monitoring Production Processes Using Multivariate Control Chart, International Journal of Advanced Engineering and Global Technology, 4, 4, 2092-2103.
- Agog, N., S., Dikko, H., G. ve Asiribo, O., E., 2014. Decomposing Hotelling's  $T^2$  Statistic Using Four Variables, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 3, 4, 11449-11454.
- Ağbuga, O., 2007. Toplam Kalite Yönetiminde Kalite Çemberleri ve İki Farklı İşletmede Kalite Çemberi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aisyah, H., A., Paridah, M., T., Sahri, M., H., Anwar, U., M., K. ve Astimar, A., A., 2013. Properties of Medium Density Fibreboard (MDF) From Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Core As Function of Refining Conditions, Composites: Part B, 44, 592-596.
- Akar, Ş., 2015. Hizmet İşletmelerinde Toplam Kalite Yönetimi, Yüksek Lisans Projesi, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Akarsu, T., 2012. Kalitenin İyileştirilmesinde İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Kullanılması ve Çağrı Merkezi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Akbulut, T. ve Ayrılmış, N., 2001. MDF Üretiminde Dikkate Alınması Gereken Hususlar, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 51, 2, 25-42.
- Akçay, M., 2008. Otomotiv Servislerinde Toplam Kalite Yönetimi Anlayışı Çerçevesinde Müşteri Memnuniyeti Üzerine Bir Alan Araştırması (Denizli, Aydın, İzmir Örneği), Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Akgül, M., Çamlıbel, O. ve Gedik, T., 2013. Türkiye ve Dünyadaki MDF Endüstrisine Genel Bir Bakış, Ormancılık Dergisi, 9, 2, 117-125.
- Akıncı, M., 2008. Zaman Serilerinde Durağanlık Analizi ve İhracatın GSMH İçindeki Payı Üzerine Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kars.

- Aktan, C., C., 2012. Organizasyonlarda Toplam Kalite Yönetimi, Organizasyon ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 4, 2, 235-262.
- Akyüz, K., C., Balaban, Y., Gedik, T. ve Yıldırım, İ., 2006. Türkiye'nin Orman Ürünleri Dış Ticareti Üzerine Bir Araştırma, Gazi Üniversitesi Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 6, 2, 179 - 197.
- Alfaro, J., L. ve Ortega, J., F., 2008. A Robust Alternative to Hotelling's  $T^2$  Control Chart Using Trimmed Estimators, Quality and Reliability Engineering International, 24, 5, 601-611.
- Alfaro, J., L. ve Ortega J., F., 2009. A Comparison of Robust Alternatives to Hotelling's  $T^2$  Control Chart, Journal of Applied Statistics, 36, 12, 1385-1396.
- Alpar, R., 2013. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Yöntemler, Detay Tayınları, 4. Baskı, Ankara, 886 s.
- Alt, F., B., 1985. Multivariate Quality Control, The Encyclopaedia of Statistical Science, S. Kotz and N.L. Johnson, eds., John Wiley and Sons, New York, s. 110-122.
- Aly, A., A., Saleh, N., A., Mahmoud, M., A. ve Woodall, W., H., 2015. A Reevaluation of the Adaptive Exponentially Weighted Moving Average Control Chart When Parameters are Estimated, Quality and Reliability Engineering International, 31, 1611-1622.
- Arcidiacono, G. ve Nuzzi, S., 2017. A Review of the Fundamentals on Process Capability, Process Performance, and Process Sigma, and an Introduction to Process Sigma Split, International Journal of Applied Engineering Research 12, 14, 4556-4570.
- Arıcıgil Çılan, Ç., 2004. Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrolünde Hotelling  $T^2$  Yaklaşımı ve İmalat Sanayinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arıcıgil Çılan, Ç., 2005. Kalite Kontrol Diyagramlarında Varsayımların Sağlanması ve Cam Sanayinde Bir Uygulama, VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu, 26-27 Mayıs, İstanbul, s. 1-8.
- Arslan, V., 2017. Bakır Konsantrasyon Tesislerinde Kontrol Kartlarının ve Çok Boyutlu Ölçekleme Analizinin Uygulanması, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32, 1, 99-108.
- Asadzadeh, S., Aghaie, A. ve Yang, S., F., 2008. Monitoring and Diagnosing Multistage Processes: A Review of Cause Selecting Control Charts, Journal of Industrial and Systems Engineering, 2, 3, 214-235.
- Aslam, M., Rao, G., S., Khan, N. ve Al-Abbasi, F., A., 2019. EWMA Control Chart Using Repetitive Sampling for Monitoring Blood Glucose Levels in Type-II Diabetes Patients, Symmetry, 11, 57, doi:10.3390/sym11010057.

- Atay, Ö., 2010. Kalite Maliyetleri ve İzmir İlinde Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Manisa.
- Aydın, A., 2011. Orman Ürünleri Sanayi Sektöründe Toplam Kalite Yönetimi Uygulamalarının Çalışan Performansı Üzerine Etkilerinin Belirlenmesine Yönelik Yapısal Bir Model, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aydın, B. ve Arıkan Kargı, S., 2018. İstatistiksel Kalite Kontrol Teknikleri İle Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama, Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 16,1, 41-63.
- Aykanat, A., 2011. Yüksek Gelir Grubuna Hitap Eden Toplu Konut Projesinde Müşteri Memnuniyetinin Tasarıma Yansıtılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ayrılmış, N., 2000. MDF'nin Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Balkız, Ö., D., 2006. Ormangülünün (*Rhododendron Ponticum* L.) Lifleri Kullanılarak Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Bangphan, S., Bangphan, P. ve Boonkang, T., 2014. Process Capability Analysis by Using Statistical Process Control of Rice Polished Cylinder Turning Practice, Industrial and Manufacturing Engineering, 8, 12, 2035-2041.
- Baray, Ş., A., 2006. A process Control Chart Based on Uncertainty Measurement, Journal of Engineering and Natural Sciences, 2, 1, 63-75.
- Barnard, G., A., 1959. Control Charts and Stochastic Processes, Journal of the Royal Statistical Society, 21, 2, 239-271.
- Bersimis, S., Psarakis, S. ve Panaretos, J., 2007. Multivariate Statistical Process Control Charts: an Overview, Quality and Reliability Engineering International, 23, 517-543.
- Beytekin, U., 2010. Kağıt Endüstrisinde İstatistiksel Proses Kontrol Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Bircan, H. ve Gedik, H., 2003. Tekstil Sektöründe İstatistiksel Proses Kontrol Teknikleri Uygulaması Üzerine Bir Deneme, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 4, 2, 69-79.
- Birgören, B., 2017. İstatistiksel Kalite Kontrolü, Gözden Geçirilmiş 2. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 208 s.



- Bodur, A., 2008. Süreç Odaklı Kalite Maliyetlerinin Kalite Yönetim Sisteminde Algısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Bostan, H., 2010. İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinin Motor Yenileştirme Sürecinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Brockwell, P., J. ve Davis, R., A., 2002. Introduction to Time Series and Forecasting, 2th Edition, Springer Verlag, New York, 434 s.
- Bulut, E., G., 2007. Bir Otomotiv Tedarikçisinde ISO/TS 16949 Otomotiv Kalite Yönetim Sistemi Spesifikasyonu Kapsamında Yapılan İstatistiksel Proses Kontrol ve Bulanık Mantık Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Cai, B., 2008. Multivariate Statistical Process Control, Master of Science in Statistics, A Writing Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree, Department of Mathematical Sciences, Montana State University, December.
- Capizzi, G. ve Masarotto, G., 2003. An Adaptive Exponentially Weighted Moving Average Control Chart, Technometrics, 45, 199–207.
- Cheng, S., W. ve Thaga, K., 2006. Single Variables Control Charts: an Overview, Quality and Reliability Engineering International, 22, 811–820.
- Crosby, P., B., 1979. Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. New York: New American Library.
- Crosier, R., B., 1988. Multivariate Generalizations of Cumulative Sum Quality Control Schemes, Technometrics, 30,3, 291–303.
- Crowder, S., V., 1989. Design of Exponentially Weighted Moving Average Schemes, Journal of Quality Technology, 21, 155–162.
- Çamlıbel, O., 2006. Ormangülü Biyokütlesinden (*Rhododendron Ponticum L.*) MDF (Orta Yoğunlukta Lif Levha) Üretimi Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Çetin, S. ve Birgören, B., 2007. Çok Değişkenli Kalite Kontrol Çizelgelerinin Döküm Sanayiinde Uygulanması, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22,4, 809-818.
- Çolak, T., 2007. İstatistiksel Süreç Kontrolü ve Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Dayanklıoğlu, S., 2004. Türkiye’de Lif Levha ve Yonga Levha Sektörünün Durumu, Avrupa Birliği Ülkeleriyle Karşılaştırılması, Problemleri ve Çözüm Yolları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Değerli, Z., 2006. Toplam Kalite Yönetiminde İstatistiksel Süreç Kontrolünün Önemi ve Bir İşletme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Demir, M., E., 2006. İşletmelerde ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Uygulamalarının İnsan Kaynakları Yönetiminin Etkenliği Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- Demircioğlu, E., N. ve Küçüksavaş, N., 2009. Kalite Maliyetleri, Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi, 13, 1, 32-67.
- Dhini, A. ve Surjandari, I., 2016. Review on Some Multivariate Statistical Process Control Methods for Process Monitoring, International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, March 8-10, Kuala Lumpur, Malaysia, s. 754-759.
- Dickey, D., A. ve Fuller W., A. 1979. Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root, Journal of the American Statistical Association, 1979, 427-431.
- Djekic, I., Miocinovic, J., Pisinov, B., Ivanovic, S., Smigic, N. ve Tomasevic, I., 2015. One Approach in Using Multivariate Statistical Process Control in Analyzing Cheese Quality, Mljekarstvo, 65,2, 91-100.
- Doğruel, M., 2010. Tek ve Çok Değişkenli Proses Kontrol Diyagramları ve Beyaz Eşya Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Durmuş, M., E. ve Uyğun, U., 2017. Türkiye ve Malezya Örneğinde İhracat ve İthalatın Ekonomik Büyüme İle İlişkisi: Eş bütünleşme ve Nedensellik Analizi, I. Uluslararası Ekonomi, Finans ve Ekonometri Öğrenci Sempozyumu (EFEOS), 17-18 Mayıs, Sakarya, s. 197-208.
- Elevli, S., 2006. Coal Quality Control With Control Charts, Coal Preparation, 26, 181–199.
- Elevli, S. ve Behdioğlu, S., 2006. İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri İle Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi, Madencilik, 45, 3, 19-26.
- Erameh A., A., Raji, N., A., Durojaye, R., O. ve Yussouff, A., A., 2016. Process Capability Analysis of a Centre Lathe Turning Process, Engineering, 8, 79-85.
- Erden, M., 2011. 6 Sigma Yönteminin Denim Pantolon Üretiminde Kullanılması Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İzmir.

- Erdil, O. ve Baydar, M., 2007. Ürün Özelliklerinin Seçimi: Yüksek Teknoloji Ürün Pazarında Tüketici İhtiyaçları ve Üretici Kalite Geliştirme Harcamalarının Eşzamanlı Optimizasyonu, ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi, 3, 5, 21–35.
- Eroğlu, H. ve Usta, M., 2000. Lif Levha Üretim Teknolojisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayın No: 200, Orman Fakültesi Yayın No: 30, Trabzon.
- Ertuğrul, İ. ve Özçil, A., 2015. Kalite Kontrol Grafiklerinden Shewart, CUSUM ve EWMA'nın Bir Üretim İşletmesinde Uygulanması, KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 17, 28, 14-26.
- Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N., 2006. Kalite Kontrolde Örneklem Büyüklüğünün Değişken Olması Durumunda  $p$  Kontrol Şemalarının Oluşturulması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5, 10, 65-80.
- Ewan, W., D., 1963. When and How to Use CUSUM Charts, Technometrics, 5, 1–22.
- Eygü, H., 2014. Çok Değişkenli İstatistiksel Kalite Kontrolünde Sıralı Küme Örnekleme Yönteminin Kullanılması: Çimento Sanayinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum.
- FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nation, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> (13.12.2018).
- Feigenbaum, A., V., 1991. Total Quality Control, 3th Edition, New York, McGraw-Hill, 898 s.
- Fırat, S., Ü., O. ve Arıcıgil, Ç., 2000. Multivarite Quality Control: A Historical Perspective, First International Joint Symposium on Business Administration, Gökçeada, 1-3 Haziran, Çanakkale, s. 54-67.
- Flaig, J., J., 2014. The Shewhart-Ewma Automatic Control Chart, Global Journal of Researches in Engineering: J General Engineering, 14, 1, 21-26.
- Fu, X., Wang, R. ve Dong, Z., 2017. Application of a Shewhart Control Chart to Monitor Clean Ash During Coal Preparation, International Journal of Mineral Processing, 158, 45–54.
- Gan, F., F., 1991. An Optimal Design of CUSUM Quality Control Charts, Journal of Quality Technology, 23, 279–286.
- Garvin, D., A., 1988. Managing Quality: The Strategic and Competitive Edge, Free Press; First edition, New York, 319 s.
- Gedik, T., 2005. Orta Yoğunlukta Liflevha (MDF) Üretiminde Kalite Kontrol, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Ghute, V., B. ve Shirke, D., T., 2008. A Multivariate Synthetic Control Chart for Monitoring Process Mean Vector, Communications in Statistics—Theory and Methods, 37, 2136–2148.
- Gilmore, H., L., 1974. Product Conformance Cost. Quality progress, 7, 5, 18-19.
- Gonzalez-De la Parra, M. ve Rodriguez-Loaiza, P., 2003. Application of the Multivariate  $T^2$  Control Chart and the Mason-Tracy-Young Decomposition Procedure to the Study of the Consistency of Impurity Profiles of Drug Substances, Quality Engineering 16, 1, 127–142.
- Göker, Y., Akbulut, T. ve Ayrılmış, N., 2004. Türkiye’de Üretilen MDF Levhaların Teknolojik Özellikleri, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 54, 1, 13-36.
- Gümüšoğlu, Ş., 2000. İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Toplam Kalite Yönetimi Araçları, Beta Yayınevi, İstanbul.
- Hao, S., Zhou, S. ve Ding, Y., 2008. Multivariate Process Variability Monitoring through Projection, Journal of Quality Technology, 40, 2, 214-226.
- Haridy, S. ve Wu, W., 2009. Univariate and Multivariate Control Charts for Monitoring Dynamic-Behavior Processes: A Case Study, Journal of Industrial Engineering and Management, 2, 3, 464-498.
- Harris, M., A., Mynors, D., J. ve Wang, C., J., 2009. A Low Volume Production Process Capability Analysis, Applied Mechanics and Materials 16-19, 1038-1042.
- Hawkins, D., M., 1991. Multivariate Quality Control Based on Regression Adjusted Variables, Technometrics, 33, 1, 61–75.
- Hawkins, D., M., 1993. Cumulative Sum Control Charting: An Underutilized SPC Tool, Quality Engineering, 5, 463–477.
- Healy, J., D., 1987. A Note on Multivariate CUSUM Procedures, Tecnometrics, 29, 409-412.
- Henning, E., Maia, M., T., Walter, O., M., F., C. ve Alves, C., C., 2014. Application of Hotelling’s  $T^2$  Control Chart for a Machining Process of the Inside Diameter of a Steel Cylinder, Gepros. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, 2, 155-167.
- Horosan, E., B., 2011. Box-Jenkins Modelleri İle Bağımsız Denetim Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Hotelling, H., 1947. Multivariate Quality Control, Techniques of Statistical Analysis, Eisenhart, Hastay, and Wallis (eds.), McGraw-Hill, New York.

- Hussain, S., Song, L., X., Ahmad, S. ve Riaz, M., 2019. A New Auxiliary Information Based Cumulative Sum Median Control Chart for Location Monitoring, Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 20, 4, 554-570.
- ISO 818, 1975. Fibre Building Boards, International Standard Organization.
- Ile, C., 2014. The Implementation of Process Capability: A Case Study in a Wood Industry Company, IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, May 22-24, Cluj-Napoca, Romania, s. 1-5.
- İşığışok, E., 2012. Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol, 2. Baskı, Ezgi Kitapevi Yayınları, Bursa, 412 s.
- İstek, A., 2006. Sert Lif Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Sıcaklık ve Basıncın Etkisi, ZKÜ Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 8, 10, 29-35.
- İstek, A., Özlüsoylu, İ. ve Kızılkaya, A., 2017. Türkiye Ahşap Esaslı Levha Sektör Analizi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 19,1, 132-138.
- Jackson, J., E., 1985. Multivariate Quality Control, Communications in Statistics -Theory and Methods, 14, 110, 2657–2688.
- Jensen, W., A., Birch, J., B. ve Woodall, W., H., 2007. High Breakdown Estimation Methods for Phase I Multivariate Control Charts, Quality and Reliability Engineering International, 23, 615–629.
- Johnson, R., A. ve Wichern, D., W., 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis, 6th Edition, Prentice Hall, New Jersey, 808 s.
- Juran, J., M., 1988. Juran on Planning for Quality. New York: Free Press.
- Kahraman, F., Esmel, U., Kulekci, M., K. ve Kazancoglu, Y., 2012. Process Capability Analysis in Machining for Quality Improvement in Turning Operations, Materials Testing, 54, 2, 120-125.
- Kalaycı, Ş., 2010. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Asil Yayın Dağıtım, 5. Bakı, 425 s.
- Kara, M., E., 2011. Tutkal Miktarı ve Levha Yoğunluğunun MDF'nin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Kasap, E., 2006. SHEWHART, CUSUM ve EWMA Kalite Denetimi Grafiklerinin Bir Üretim Sürecinde Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kavrakoğlu, İ., 1990. Kalite ve Verimlilik, Verimlilik Dergisi, Özel Sayı, 111-118.

- Kaya, H., 2017. Liflevha'nın (MDF) Elastik Sabitlerinin Ultrasonik Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kelesbayev, D., 2014. Türk Dünyasının Eğitim Sistemindeki Ortak Mesele: Kalite, Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim Dergisi, 3, 2, 291-306.
- Kharbach, M., Cherrah, Y., Heyden Y., V. ve Bouklouze, A., 2017. Multivariate Statistical Process Control in Product Quality Review Assessment - A Case Study, Annales Pharmaceutiques Françaises, 75, 446-454.
- Khoo, M., B., C., 2004. An Extension for the Univariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart, Matematika, 20, 1, 43-48.
- Kılıç, M., 2006. İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Tekstil İşletmelerinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Knoth, S., 2007. Accurate ARL Calculation for EWMA Control Charts Monitoring Normal Mean and Variance Simultaneously, Sequential Analysis, 26, 251-263.
- Kobu, B., 1987. Endüstriyel Kalite Kontrolü, 2. Baskı, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Kobu, B., 2013. Üretim Yönetimi, 16. Baskı, Beta Basım Yayım, İstanbul, 633 s.
- Koçer, B. ve Birgören, B., 2004. İstatistiksel Proses Kontrol Çizelgelerinde Hata Teşhisine Yönelik Yaklaşımlar, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17, 4, 59-69.
- Kurt, R., 2018. İstatistiksel Süreç Kontrolünde Shewhart, CUSUM ve EWMA Kontrol Kartları İle Yapay Sinir Ağlarının Bütünleşik Kullanımı: Bir Orman Endüstri İşletmesinde Uygulama, Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.
- Kurt, R., Imren, E., Karayılmazlar, S. ve Çabuk, Y., 2018. Kalite İyileştirmede Shewhart Kontrol Grafiklerinin Kullanımı: Bir Yongalevha İşletmesinde Uygulama, II. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi, 5-8 Temmuz, Ürgüp, Nevşehir, Bildiriler Kitabı: 652-658.
- Külcü, Ö., 2012. Kalite Yönetimi Kalite Sistem Dokümantasyonu ve ISO Standartlarında Belge Yönetimi, *Prof. Dr. K. Gülbün Baydur'a Armağan*, Hacettepe Üniversitesi Bilgi ve Belge Yönetimi Bölümü, Ankara, s.65-88.
- Leoni, R., C., Costa, A., F., B. ve Machado, M., A., G., 2017. The Presence of Autocorrelation on the  $T^2$  Control Chart of Harold Hotelling, Systems & Management, 12, 252-259.
- Lowry, C., A. ve Montgomery, D., C., 1995. A Review of Multivariate Control Charts, IIE Transactions, 27, 6, 800-810.

- Lowry, C., A., Woodall, W., H., Champ C., W. ve Rigdon, S., E., 1992. A Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart, Technometrics, 34, 1, 46-53.
- Lucas, J., M. ve Saccucci, M., S., 1990. Exponentially Weighted Moving Average Control Schemes: Properties and Enhancements (With Discussions), Technometrics, 32, 1–29.
- Mahmoud, M., A. ve Maravelakis, P., E., 2010. The Performance of the MEWMA Control Chart When Parameters are Estimated, Communications in Statistics—Simulation and Computation, 39, 9, 1803-1817.
- Mason R., L. ve Young, J., C., 2002. Multivariate Statistical Process Control with Industrial Applications, ASA-SIAM Series on Statistics and Applied Mathematics, Philadelphia, 263 s.
- Mason, R., L., Chou, Y., M., Sullivan, J., H., Stoumbos, Z., G. ve Young, J., C., 2003. Systematic Patterns in  $T^2$  Charts, Journal of Quality Technology, 35, 1, 47-58.
- Mason, R., L., Tracy, N., D. ve Young, J., C., 1995. Decomposition of  $T^2$  for Multivariate Control Chart Interpretation, Journal of Quality Technology, 27, 2, 99-108.
- Mason, R., L., Tracy, N., D. ve Young, J., C., 1997. A Practical Approach for Interpreting Multivariate  $T^2$  Control Chart Signals, Journal of Quality Tehnology, 29,4, 396-406.
- Mitra, A., 2016. Fundamentals of Quality Control and Improvement, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NewJersey, 816 s.
- Montgomery, D., C. ve Runger C., G. 2010. Applied Statistics and Probability for Engineers, 5th Edition. John Wiley & Sons, Inc. 792 s.
- Montgomery, D., C., 2009. Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, Inc., 6th Edition, New York, 752 s.
- Montgomery, D., C., 2012. Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, Inc., 7th Edition, New York, 768 s.
- Mostajeran, A., Iranpanah, N. ve Noorossana, R., 2018. An Explanatory Study on the Non-Parametric Multivariate  $T^2$  Control Chart, Journal of Modern Applied Statistical Methods, 17, 1, eP2559. doi: 10.22237/jmasm/1529418622.
- Motorcu, A., R. ve Güllü, A., 2006. Statistical Process Control in Machining, A Case Study for Machine Tool Capability and Process Capability, Materials and Design, 27, 364–372.
- Nazir, H., Z., Riaz, M. ve Does, R., J., M., M., 2015. Robust CUSUM Control Charting for Process Dispersion, Quality and Reliability Engineering International, 31, 369-379.

- Nidsunkid, S., Borkowski, J., J. ve Budsaba, K., 2018. The Performance of MCUSUM Control Charts When the Multivariate Normality Assumption is Violated, Thailand Statistician, 16, 2, 140-155.
- Nourbakhsh, A., Ashori, A. ve Jahan-Latibari A. 2010. Evaluation of the Physical and Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard Made from Old Newsprint Fibers, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 29, 5-11.
- OAİB., 2015. Orta Anadolu İhracatçı Birlikleri Yonga Levha Sanayi Sektör Raporu, 44 s.
- Oakland, J., 2007. Statistical Process Control, 6th Edition, Great Britain, 472 s.
- Okan, T., 2009. Orman Endüstri Sektörünün Yapısı ve Kalkınmaya Katkısının Geliştirilmesi Önlemleri (Levha Sektörü Örneği), Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Orçanlı, K., 2017. Çok Değişkenli Kalite Kontrol Grafikleri ve Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Döküm Sanayinde Bir İstatistiksel Süreç Kontrolü Uygulaması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Orçanlı, K., Birgören, B. ve Oktay, E. 2018. Döküm Sanayisinde Metal Alaşım Oranlarına Hotelling  $T^2$  ve MEWMA Kontrol Grafikleri Uygulamaları, Social Sciences Research Journal, 7, 1, 114-135.
- Orhunbilge, N., 1999. Zaman Serileri Analizi Tahmin ve Fiyat İndeksleri, İ.U. İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Özçil, A., 2014. SHEWART, CUSUM ve EWMA Kontrol Grafiklerinin Bir Üretim İşletmesinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli.
- Özçomak, M., 2004. Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol Metotları (Hotelling  $T^2$ , MCUSUM, MEWMA): Döküm Sanayinde Bir Uygulama, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Özdamar, H., İ., 2006. Bulanık İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Bir Orman Endüstrisi İşletmesinde Uygulama, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Özel, S., 2005. Çok Değişkenli Kalite Kontrolün Döküm Sanayinde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Özkale, M., R., 2004. İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulamalar, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Özkaya, S., 2013. Deri Çanta Üretiminde Kalite Sorunları ve Çözümüne Yönelik Uygulamalar, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.



- Öztürk, Y., Soyhan, N. ve Sekreter, A., 2012. A Different View of Quality and Total Quality Management, Journal of Business, 1, 2, 9-14.
- Öztürk, A., 2013. Kalite Yönetimi ve Planlaması, Ekin Kitabevi, 2. Baskı, Bursa.
- Page, E., S., 1954. Continuous Inspection Scheme, Biometrika, 41, 100–115.
- Pekmezci, A., 2005. İstatistiksel Kalite Kontrol Yöntemleri ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Pham, H., 2006. Springer Handbook of Engineering Statistics, Almanya, Springer-Verlag.
- Pituch K., A. ve Stevens, J., P., 2015. Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences: Analyses With SAS and IBM's SPSS, Sixth Edition, New York, NY: Routledge, 794 s.
- Prabhu, S., S. ve Runger G., C., 1997. Designing a Multivariate EWMA Control Chart, Journal of Quality Technology, 29, 1, 8–15.
- Qiu, P., 2013. Introduction to Statistical Process Control, 1th Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, New York, 520 s.
- Rábago-Remy, D., M., Padilla-Gasca, E. ve Rangel-Peraza J., G., 2014. Statistical Quality Control and Process Capability Analysis for Variability Reduction of the Tomato Paste Filling Process, Industrial Engineering & Management, 3,4, 1000137. DOI: 10.4172/2169-0316.1000137.
- Rajvanshi, P., K. ve Belokar, R., M., 2012. Improving the Process Capability of a Boring Operation by the Application of Statistical Techniques, International Journal of Scientific & Engineering Research, 3, 5, 1-6.
- Rao, A., Carr, L., P., Dambolena, I., Kopp, R., J., Martin, J., Rafii, F. ve Schlesinger, P., F., 1996. Total Quality Management: A Cross Functional Perspective, 1th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 656 s.
- Reynolds, Jr. M., R. ve Stoumbos, Z., G., 2006. Comparisons of Some Exponentially Weighted Moving Average Control Charts for Monitoring the Process Mean and Variance, Technometrics, 48, 550–567.
- Riaz, M., Abbas, N. ve Does, R., J., M., M., 2011. Improving the Performance of CUSUM Charts, Quality and Reliability Engineering International, 27, 415-424.
- Roberts, S., W., 1959. Control Chart Tests Based on Geometric Moving Averages. Technometrics, 1, 3, 239–250.
- Ryan, T., P., 2011. Statistical Methods for Quality Improvement, 3th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 672 s.

- Ryu, J., H., Wan, H. ve Kim, S., 2010. Optimal Design of a CUSUM Chart for a Mean Shift of Unknown Size, Journal of Quality Technology, 42, 3, 311-326.
- Saleh, N., A., Mahmoud, M., A., Jones-Farmer, L., A., Zwetsloot, I. ve Woodall, W., H., 2015. Another Look at the EWMA Control Chart with Estimated Parameters, Journal of Quality Technology, 47, 4, 363-382.
- Santos-Fernández, E. 2012. Multivariate Statistical Quality Control Using R, (Vol. 14), Springer-Verlag New York, 140 s.
- Sarıkaya, Ö., 2017. Çok Değişkenli Kalite Kontrolde Sinyale Neden Olan Değişken(Ler)İN Belirlenmesi Problemine Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Schiffauerova, A. ve Thomson, V., 2006. A Review of Research on Cost of Quality Models and Best Practices, International Journal of Quality & Reliability Management, 23, 647 - 669.
- Selalmaz, E., 2008. İstatistiksel Süreç Kontrol Metodunun Zincir Üretiminde Uygulanması, Bilim Uzmanlığı Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Karabük.
- Selvamuthu, D. ve Das, D., 2018. Introduction to Statistical Methods, Design of Experiments and Statistical Quality Control, Springer Singapore, 1th Edition, 430 s.
- Sharma, S., 1996. Applied Multivariate Techniques, 1th Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 512 s.
- Sihag, K., Negi, A., Poonia, P., K. ve Khali, D., P., 2017. Physical and Mechanical Properties of MDF Board From Bamboo (*Dendrocalamus strictus*) Using Needle Punching Technique, International Journal of Chemical Studies, 5, 6, 2028-2030.
- Sparks, R., S. ve Field, J., B., F., 2000. Using Deming's Funnel Experiment to Demonstrate Effects of Violating Assumptions Underlying Shewhart's Control Charts, The American Statistician, 54, 4, 291-302.
- Sullivan, J., H. ve Woodall, W., H., 1995. A Comparison of Multivariate Quality Control Charts for Individual Observations, Journal of Quality Technology, 28, 4, 398-408.
- Şahin, O., 2013. İstatistiksel Proses Kontrolünde Proses Yeterlilik Analizi ve Tekstil Endüstrisinde Uygulama, Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 27, 2, 253-271.
- Şenol, Ş., 2012. İstatistiksel Kalite Kontrol, 1. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 439 s.
- Talib, M., A., Munisamy, S. ve Ahmed, S., 2014. Retrospective Hotelling's  $T^2$  Control Chart for Automotive Stamped Parts: A Case Study, Journal of Science and Technology, 6, 1, 101-113.

- Testik, M., C. ve Borrer, C., M., 2004. Design Strategies for the Multivariate Exponentially Weighted Moving Average Control Chart, Quality and Reliability Engineering International, 20, 571–577.
- TOBB 2013. Türkiye Orman Ürünleri Meclisi Sektör Raporu. 1 – 62. [https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2015/Orman – Urunleri – sektoru20151117.pdf](https://www.tobb.org.tr/Documents/yayinlar/2015/Orman-Urunleri-sektoru20151117.pdf).
- Toroman, A., 2010. Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Maliyet Hesaplaması: SDÜ Araştırma Uygulama Hastanesi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.
- Torun, N., 2015. Birim Kök Testlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Tracy, N., D., Young, J., C. ve Mason, R., L., 1992. Multivariate Control Charts for Individual Observations, Journal of Quality Technology, 24, 2, 88-95.
- TS EN 622-5, 2011. Lif Levhalar – Özellikler – Bölüm 5: Kuru İşlemli Levhalar (MDF) İçin Gereklere, TSE, Ankara.
- TS 3635 EN 316, 2005. Odun Lifi Levhalar–Tarifler, Sınıflandırma ve Semboller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 310, 1999. Eğilme Dayanımı ve Eğilmede Elastikiyet Modülünün Tayini, Ahşap Esaslı Levhalar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 320, 1999. Lif levhalar-Vida Tutma Kabiliyetinin (Mukavemetinin) Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, C., 2001. Bankacılıkta Süreç İyileştirmeye Yönelik Temel Kalite Kontrol Teknikleri: Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ulaş, H., 2008. Özel Güvenlik Hizmeti Uygulamalarında Kalite Güvencesi ve Toplam Kalite Yönetimi Standardizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Adli Tıp Enstitüsü, İstanbul.
- Ülen, M., 2010. Çok Değişkenli İstatistiksel Kalite Kontrolünün İlaç Endüstrisine Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vardeman, S., B. ve Jobe, J., M., 2016. Statistical Methods for Quality Assurance: Basics, Measurement, Control, Capability, and Improvement, 2th edition: Springer-Verlag New York, 437 s.
- Vargas, N., J., A., 2003. Robust Estimation in Multivariate Control Charts for Individual Observations, Journal of Quality Technology, 35, 367-376.

- Wang, Z. ve Ong, K., C., G., 2008. Autoregressive Coefficients Based Hotelling's  $T^2$  Control Chart for Structural Health Monitoring, Computers and Structures, 86, 1918–1935.
- Williams, J., D., Woodall, W., H., Birch, J., B. ve Sullivan, J., H., 2006. Distribution of Hotelling's  $T^2$  Statistic Based on the Successive Difference Estimator, Journal of Quality Technology, 38, 217–229.
- Woodall, W., H. ve Adams, B., M., 1993. The Statistical Design of CUSUM Charts, Quality Engineering, 5, 559–570.
- Woodall, W., H. ve Montgomery, D., C. 1999. Research Issues and Ideas in Statistical Process Control, Journal of Quality Technology, 31,4, 376-386.
- Woodall, W., H., 1997. Control Charts Based on Attribute Data: Bibliography and Review, Journal of Quality Technology, 29, 172–183.
- Woodall, W., H., Spitzner, D., J., Montgomery, D., C. ve Gupta, S., 2004. Using Control Charts to Monitor Process and Product Quality Profiles, Journal of Quality Technology, 36, 3, 309-320.
- Wooluru, Y., Swamy, D., R. ve Nagesh, P., 2014. The Process Capability Analysis - A Tool for Process Performance Measures and Metrics - A Case Study, International Journal for Quality Research 8, 3, 399-416.
- Yang, K. ve El-Haik, B., S., 2009. Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development Patti Scott, 2th Edition, United States of America, Mc Graw-Hill Professional, 741 s.
- Yang, K. ve Trewn, J., 2004. Multivariate Statistical Methods in Quality Management, 1th Edition, McGraw-Hill Education, 288 s.
- Yavuz, S., 2010. Kalite Kontrolünde İstatistiksel Tekniklerin Yeri ve Önemi, Verimlilik Dergisi, 2010, 1, 23 – 43.
- Yıldırım, İ., Alevli, C. ve Akyüz, K., C., 2016. Odun Esaslı Levha Sektörünün Dış Ticaret Analizi ve Tahmini, Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, 16, 2, 370-382.
- Yıldırım, F., 2017. Orman Ürünleri Sanayi Sektöründe Sürdürülebilir Enerji Verimliliği Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Yıldırım, S., 2006. Toplam Kalite Yönetiminde İstatistiksel Süreç Kontrolünün Önemi ve Bir Demir Döküm İşletmesinde Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir.
- Yılmaz, H., 2012. Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrolü: Bir Hastane Uygulaması, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Yılmaz, M., 2003. Kalite Yönetim Sistemlerinin Evrimi ve Toplam Kalite Yönetiminin Banknot Matbaası Genel Müdürlüğünde Uygulanabilirliği, Uzmanlık Yeterlilik Tezi, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası, Piyasalar Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Young, T., M., Winistorfer, P., M. ve Wang, S., 1999. Multivariate Control Charts of MDF and OSB Vertical Density Profile Attributes, Forest Product Journal, 49, 5, 79-86.
- Zaidi, F., S., Castagliola, P., Tran, K., P. ve Khoo, M., B., C., 2019. Performance of the Hotelling  $T^2$  Control Chart for Compositional Data in the Presence of Measurement Errors, Journal of Applied Statistics, DOI: 10.1080/02664763.2019.1605339.



## 6. EKLER

Ek 1. Gözlem sayısına göre (n) Shewhart grafiklerinin kontrol limitlerini hesaplamada kullanılan sabitler

Ek Tablo 1. Shewhart grafikleri için orta çizgi ve kontrol limitlerinin hesaplanmasında kullanılan faktörler (Montgomery, 2012)

n	$\bar{x}$ grafikleri			s grafikleri						R grafikleri						
	Kontrol sınırları için faktörler			Orta çizgi için faktörler		Kontrol sınırları için faktörler				Orta çizgi için faktörler		Kontrol sınırları için faktörler				
	A	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	1/c <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	d <sub>2</sub>	1/d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	1.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	1.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.663	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9876	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9882	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9887	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'un Arsin ilçesinde tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı ve 2008 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Kasım 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2012 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı ve yine aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. 2017 yılında ise Öğretim Görevlisi olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Arsin Meslek Yüksekokulu'na atandı. Halen Arsin Meslek Yüksekokulu'nda görev yapan Sebahattin TİRYAKİ iyi derecede İngilizce bilmektedir.