

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İLETKEN ENDÜSTRİSİNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR
FİRMA İÇİN KALİTE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İREM MERAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



İLETKEN ENDÜSTRİSİNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR
FİRMA İÇİN KALİTE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İREM MERAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İREM MERAN



ÖZET

**İLETKEN ENDÜSTRİSİNDE FAALİYET GÖSTEREN BİR FİRMA İÇİN
KALİTE İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İREM MERAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. HACER GÜNER GÖREN)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Süreci kontrol altında tutarak yüksek kalitede ürün elde etmek, hurda oranını azaltmak ve müşteri memnuniyetini sağlamak kalite araçları kullanarak mümkündür. İstatistiksel süreç kontrolü (IPK), bir süreci kontrol altında tutmak, izlemek ve iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan bir kalite kontrol metodudur. Bu tez çalışmasında iletken endüstrisinde faaliyet gösteren bir firma için kalite iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Temel istatistiksel süreç teknikleri ve çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak iletkenliğin bir ölçütü olan direnç karakteristiği için süreç yeterliliği (C_{pk}) analizi yapılmıştır. Temel istatistiksel süreç kontrol tekniklerinden histogram, balık kılıçığı diyagramları, pareto analizi, serpilme diyagramları, kontrol çizelgeleri kullanılmıştır. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden, çok değişkenli regresyon analizi ve deney tasarımı tekniklerinden yararlanılmıştır. Öncelikle, temel istatistiksel teknikler kullanılarak bir ürün için sürecin mevcut durum analizi yapılmıştır. Beyin fırtınası ve balık kılıçığı diyagramı yapılarak sürecin yeterliliğinin düşmesine sebep olduğu düşünülen kök nedenler belirlenmiştir. Çok değişkenli regresyon analizi yapılarak, süreçte etkili olduğu düşünülen girdiler analiz edilmiştir. Regresyon analizinin sonucuna göre deney tasarımları geliştirilmiş ve tekrar ilişki denklemi kurumuştur. Hedef süreç yeterliliğine ulaşabilmek için tasarlanmış deneylerden elde edilen parametreler ile üretim yapılmış ve elde edilen sonuçları paylaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Kalite Kontrol Süreci, İstatistiksel Proses Kontrol, Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli İstatistiksel Proses Kontrol, Kontrol Çizelgeleri, Deneysel Tasarım

ABSTRACT

QUALITY IMPROVEMENT STUDY FOR A COMPANY OPERATING IN THE CONDUCTOR INDUSTRY

MSC THESIS

İREM MERAN

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

INDUSTRIAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. HACER GÜNER GÖREN)

DENİZLİ, AUGUST 2019

Using quality tools it is possible to obtain high quality products, reduce scrap rate and ensure customer satisfaction by keeping the process under control. Statistical process control (SPC) is a commonly used quality control method for controlling, monitoring and improving a process. In this thesis, quality improvement studies were conducted in a company in conductor industry. Process capability index (C_{pk}) analysis for resistance characteristics which is a measure of conductivity was performed by using basic statistical process techniques and multivariate statistical methods. Histogram, ishikawa diagrams, pareto analysis, scatter plot and control charts were used as basic statistical process control techniques. Multivariate regression analysis and experimental design methodology were utilized as multivariate statistical methods. First of all, the current situation analysis of the one product was analyzed using basic statistical methods. Brainstorming and ishikawa diagram were used to determine the root causes which were thought to be the causes a decrease in the process capability index. Then, multiple regression analysis was used to analyze the inputs that were thought to be effective in the process. Based on the results of the regression analysis, the experimental designs were developed and the correlation equation was created again. The parameters obtained from experiments designed to achieve the target process adequacy were produced and the results obtained were shared.

KEYWORDS: Quality Control Process, Statistical Process Control, Univariate and Multivariate Statistical Process Control, Control Charts, Experimental Design

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	1
ABSTRACT	2
İÇİNDEKİLER	3
ŞEKİL LİSTESİ	5
TABLO LİSTESİ	7
SEMBOL LİSTESİ	8
ÖNSÖZ.....	9
1. GİRİŞ.....	10
1.1 Problemin Tanımı	11
1.2 Tezin Amacı	11
1.3 Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı	11
1.4 Tezin Organizasyonu	12
2. KALİTE KONTROL	13
2.1 Kalitenin Tanımı.....	13
2.2 Kalitenin Boyutları	14
2.3 Kaliteyi Oluşturan Temel Özellikler	14
2.3.1 Tasarım Kalitesi	15
2.3.2 Uygunluk Kalitesi	16
2.3.3 Performans Kalitesi.....	16
2.4 Kaliteyi Etkileyen Faktörler	16
2.5 Kalite Kontrol.....	17
2.5.1 Kalite Kontrol Faaliyetleri ve Aşamaları.....	18
2.5.2 Kalite Kontrol Çeşitleri.....	18
2.6 Toplam Kalite Kontrol ve Yönetimi	19
2.6.1 Toplam Kalite Kontrolde Sıfır Hata Faaliyetleri	19
2.6.2 Toplam Kalite Yönetimi	20
2.6.3 Toplam Kalite Yönetiminde Yararlanılan Temel Araçlar	20
2.6.4 Toplam Kalite Maliyetleri	20
2.6.5 Toplam Kalite Maliyetlerinin Kontrolü ve Azaltılması.....	22
3. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL	23
3.1 Temel İstatistiksel Süreç Teknikleri.....	24
3.1.1 Sınıflandırma	24
3.1.2 Çetele	25
3.1.3 Histogram.....	25
3.1.4 Pareto Analizi	26
3.1.5 Sebeup Sonuç Diyagramı (Balık Kılçığı Diyagramı)	27
3.1.6 Serpilme Diyagramları.....	27
3.1.7 Kontrol Grafikleri	28
3.1.7.1 Tek Değişkenli Kontrol Grafikleri.....	31
3.1.7.1.1 Niteliksel Veriler (Attributes) için Kontrol Grafikleri.....	32
<i>p</i> (Kusurlu Oranı) Grafiği	32
<i>c</i> (Kusur Sayısı) Grafiği	32
<i>u</i> (Kusur Oranı) Grafiği.....	33
3.1.7.1.2 Ölçülebilir Veriler için Kontrol Grafikleri.....	34
<i>X</i> ve <i>R</i> ile <i>X</i> ve <i>s</i> Kontrol Grafikleri	34

Ürünlerin belli özelliklere ait kantitatif ölçülerin istenilen standartlara uygunluğu ve R ile X ve s grafikleri ile kontrol edilir (Ertuğrul 2014).....	34
Tekil Ölçümler için Kontrol Grafikleri (I- MR Kontrol Grafikleri).....	36
3.1.7.1.3 Kontrol Grafiklerinin Yorumlanması	37
3.1.7.1.4 Diğer Kontrol Grafikleri	37
Kümülatif Toplam (CUSUM) Kontrol Grafikleri	37
Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Grafikleri ..	40
3.1.7.2 Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri.....	43
3.1.7.2.1 X^2 Kontrol Grafikleri.....	43
3.1.7.2.2 Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri.....	44
3.2 Süreç Yeterlilik Endeksi.....	46
3.2.1 Süreç Potansiyel Endeksi (C_p)	46
3.2.2 Fiili Yeterlilik Endeksi (C_{pk}).....	47
3.2.3 C_{pm} Endeksi.....	47
3.2.4 P_p ve P_{pk} Endeksleri.....	47
3.3 Çoklu Regresyon ve Korelasyon Analizi	48
3.4 Deneysel Tasarım ile Süreç İyileştirme.....	49
3.4.1 Faktöriyel Deneyler	50
3.4.2 2^k Faktöriyel Deneyler	54
3.4.2.1 2^2 Faktöriyel Deneyler.....	54
3.4.2.2 2^3 Faktöriyel Deneyler.....	56
3.4.2.3 Merkez Noktalarının 2^k Deneysel Tasarımına Eklenmesi	61
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	62
5. UYGULAMA	86
5.1 Bakır Tel Üretim Süreçleri	86
5.2 Kontrol Süreçleri	88
5.3 Mevcut Durum Analizi.....	88
5.3.1 I. Sevkiyata Ait Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi... 88	
5.3.2 II. Sevkiyata Ait Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi .94	
5.4 Kök Neden Analizi	100
5.5 Süreç İyileştirme Çalışmaları	101
5.5.1 Süreç İyileştirme Çalışmaları: Deneme 1	102
5.5.2 Süreç İyileştirme Çalışmaları: Deneme II	107
5.5.3 Süreç İyileştirme Çalışmaları: Çoklu Regresyon Analizi.....	112
6. SONUÇ ve TARTIŞMA.....	149
7. KAYNAKLAR.....	151
EKLER.....	164
EK 1: Literatür Taraması.....	164
EK 2: Çalışma Öncesi Sevk Edilen Ürünlerin Analizi (I. Sevkiyat).....	171
EK 3: Çalışma Öncesi Sevk Edilen Ürünlerin Analizi (II. Sevkiyat)	173
EK 4: Süreç İyileştirme Çalışmaları: Deneme I Verileri	175
EK 5: Süreç İyileştirme Çalışmaları: : Deneme II Verileri	176
EK 6: Regresyon Analizinde Kullanılan 5115 nolu Makineye Ait Veriler. 177	
EK 7: Regresyon Analizinde Kullanılan 5118 nolu Makineye Ait Veriler. 178	
EK 8: Regresyon Analizinde Kullanılan 5168 nolu Makineye Ait Veriler. 179	
EK 9: Regresyon Analizinde Kullanılan 5169 nolu Makineye Ait Veriler. 181	
EK10: Regresyon Analizi Sonrasında Belirlenen Parametrelere Göre Gerçekleştirilen Üretimin Verileri.....	183
8. ÖZGEÇMİŞ	185

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Kalitenin boyutları	14
Şekil 2.2: Tasarım kalitesi için en uygun kalite derecesinin saptanması	15
Şekil 2.3: Kaliteyi etkileyen faktörler.....	17
Şekil 2.4: Kalite maliyetleri.....	21
Şekil 3.1: Çetele tablosu örneği	25
Şekil 3.2: Pareto diyagramı örneği	26
Şekil 3.3: Balık kılçığı diyagramı.....	27
Şekil 3.4: Serpilme diyagram örnekleri.....	28
Şekil 3.5: Standart normal dağılım grafiği	30
Şekil 3.6: Kontrol grafiği.....	30
Şekil 3.7: Kontrol grafiği seçimi	31
Şekil 3.8: CUSUM kontrol grafikleri için V maskesi.....	40
Şekil 3.9: EWMA kontrol limitleri.....	42
Şekil 3.10: C_p değerlerinin gösterimi	46
Şekil 3.11: 2^2 Deneyi için tasarım	54
Şekil 3.12: 2^3 Deneyi için tasarım	57
Şekil 5.1: Contirod sürekli döküm tesisinin şematik gösterimi.....	87
Şekil 5.2: Süreç akış şeması.....	87
Şekil 5.3: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi (I. sevkiyat)	89
Şekil 5.4: Direnç karakteristiği için histogram grafiği (I. sevkiyat).....	90
Şekil 5.5: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı	91
Şekil 5.6: Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı	92
Şekil 5.7: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı	92
Şekil 5.8: Girdi ürün direncinin nihai ürün direncine etkisi	93
Şekil 5.9: Direnç için süreç yeterlilik analizi.....	94
Şekil 5.10: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi (II. Sevkiyat)	95
Şekil 5.11: Direnç karakteristiği için histogram grafiği	96
Şekil 5.12: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı	97
Şekil 5.13: Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı	97
Şekil 5.14: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı	98
Şekil 5.15: Girdi ürünün direncinin nihai ürünün direncine etkisi	99
Şekil 5.16: Direnç için süreç yeterlilik analizi.....	100
Şekil 5.17: Balık kılçığı diyagramı.....	101
Şekil 5.18: Odaklanılacak kök nedenlerin belirlenmesi	102
Şekil 5.19: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi (Deneme I)	103
Şekil 5.20: Direnç karakteristiği için histogram grafiği	104
Şekil 5.21: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı	105
Şekil 5.22: Verilerin makinelere göre dağılımı	105
Şekil 5.23: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı	106
Şekil 5.24: Direnç için süreç yeterlilik analizi.....	107
Şekil 5.25: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi.....	108
Şekil 5.26: Direnç karakteristiği için histogram grafiği	109
Şekil 5.27: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı	109
Şekil 5.28: Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı	110

Şekil 5.29: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı	110
Şekil 5.30: Direnç için süreç yeterlilik analizi.....	111
Şekil 5.31: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	115
Şekil 5.32: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	118
Şekil 5.33: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri	119
Şekil 5.34: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	123
Şekil 5.35: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	126
Şekil 5.36: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri	127
Şekil 5.37: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	131
Şekil 5.38: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	134
Şekil 5.39: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri	135
Şekil 5.40: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	139
Şekil 5.41: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı.....	142
Şekil 5.42: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri	143
Şekil 5.43: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi.....	145
Şekil 5.44: Direnç karakteristiği için histogram grafiği	146
Şekil 5.45: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı	146
Şekil 5.46: Verilerin makinelere göre dağılımı	147
Şekil 5.47: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı	147
Şekil 5.48: Direnç için süreç yeterlilik analizi.....	148

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: T^2 hesaplamak için düzenlenen veri matrisi	45
Tablo 3.2: İki faktörlü faktöriyel deney için veri matrisi.....	51
Tablo 3.3: İki faktörlü tam faktöriyel bir deney için ANOVA tablosu.....	53
Tablo 3.4: 2^2 Deneyi için faktör etki tablosu	55
Tablo 3.5: 2^3 Deneyi için faktör etki tablosu	59
Tablo 5.1: ANOVA tablosu	113
Tablo 5.2: ANOVA tablosu	114
Tablo 5.3: R^2 tablosu.....	114
Tablo 5.4: 5115 nolu makine için kontrollü deney tasarımı	116
Tablo 5.5: ANOVA tablosu	117
Tablo 5.6: R^2 tablosu	117
Tablo 5.7: Hedef direnç tablosu	119
Tablo 5.8: Parametre çözüm tablosu	119
Tablo 5.9: Olası direnç değerleri tablosu	120
Tablo 5.10: ANOVA tablosu	121
Tablo 5.11: ANOVA tablosu	122
Tablo 5.12: R^2 tablosu.....	122
Tablo 5.13: 5118 nolu makine için kontrollü deney tasarımı	124
Tablo 5.14: ANOVA tablosu	125
Tablo 5.15: R^2 tablosu	125
Tablo 5.16: Hedef direnç tablosu	127
Tablo 5.17: Parametre çözüm tablosu.....	127
Tablo 5.18: Olası direnç değerleri tablosu	128
Tablo 5.19: ANOVA tablosu	129
Tablo 5.20: ANOVA tablosu	130
Tablo 5.21: R^2 tablosu.....	130
Tablo 5.22: 5168 nolu makine için kontrollü deney tasarımı	132
Tablo 5.23: ANOVA tablosu	133
Tablo 5.24: R^2 tablosu.....	133
Tablo 5.25: Hedef direnç tablosu	135
Tablo 5.26: Parametre çözüm tablosu.....	135
Tablo 5.27: Olası direnç aralıkları.....	136
Tablo 5.28: ANOVA tablosu	137
Tablo 5.29: ANOVA tablosu	138
Tablo 5.30: R^2 tablosu.....	138
Tablo 5.31: 5169 nolu makine için kontrollü deney tasarımı	140
Tablo 5.32: ANOVA tablosu	141
Tablo 5.33: R^2 tablosu	141
Tablo 5.34: Hedef direnç tablosu	143
Tablo 5.35: Parametre çözüm tablosu.....	143
Tablo 5.36: Olası direnç aralığı.....	144
Tablo 5.37: Üretim parametreleri.....	144
Tablo 5.38: İyileştirme öncesi ve sonrası süreç yeterlilik sonuç tablosu.....	148

SEMBOI LISTESI

SPC	:	Statistical Process Control
LSL	:	Lower Specification Limit
LNTL	:	Lower Natural Specification Limit
UNTL	:	Upper Natural Specification Limit
USL	:	Upper Specification Limit
C_{pk}	:	Process Capability Index
P_{pk}	:	Process Capability Index
P_p	:	Process Capability Index
C_P	:	Process Capability Index
C_{pm}	:	Process Capability Index
CUSUM	:	Cumulative Sum
EWMA	:	Exponentially Weighted Moving Average
SS	:	Sum of Square
EVM	:	Earned Value Management
PPV	:	Positive Predictive Value
NPV	:	Negative Predictive Value
CV	:	Coefficient of Variation
MCV	:	Multivariate Coefficient of Variation
LPQC	:	Laser Process Quality Control
NRAQC	:	Near- Real Time Autonomous Quality Control
DMAIC	:	Define, Measure, Analyse, Improve, Control
ANOVA	:	Analysis of Variance
CCA	:	Canonical Correlation Analysis
QCP	:	Quality Control Plan
BQC	:	Bivariate Quality Control
ARL	:	Average Run Lengths
ANP	:	Analytic. Network Process

ÖNSÖZ

Eğitim hayatım boyunca edinmiş olduğum teorik bilgileri pratikte uygulama fırsatı bulduğum bu tez çalışmasında, bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç Dr. Hacer GÜNER GÖREN' e, bu çalışmanın ortaya çıkmasında katkısı olan ve üretim verilerini kullandığım halen çalışmakta olduğum işletmeye, bu süreçte destek olan çalışma arkadaşlarıma ve hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve küreselleşme ile birlikte, işletmelerin müşteri ihtiyaçlarına cevap vererek yoğun rekabet ortamında ayakta kalmalarına yardımcı olan en önemli faktörlerden biri kalitedir. Kalite, işletmelerin maliyetlerini düşürerek müşteri beklentilerini karşılamalarını sağlar. Kalite sadece nihai üründe müşteri beklentisinin karşılanması değil, aynı zamanda girdi malzemesinden kullanılan ekipmanlara kadar işletmede tüm sürecin etkin ve kontrol altında olmasıdır.

Şirketler ürün kalitesini arttırırken kalite maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Bu yüzden kalite karakteristiklerinin birbiri ile olan ilişkisini saptamak ve süreci kontrol altında tutmak önem arz etmektedir. Bu amaçla süreçlerde iyileştirmeler yapmak ve kaliteyi sürekli arttırmak için kalite araçları kullanılmaktadır.

Süreçlerdeki değişkenlikler kalitesizliğin ortaya çıkmasında etkili olan en önemli faktörlerden biridir. Değişkenlik ürün hatalarına, maliyet, verimsizlik ve müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Kritik öneme sahip değişkenlerin kontrol altına alınması ve kontrol dışı durumları oluşturan nedenlerin ortadan kaldırılması amacıyla süreçlerde iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bir işletmede süreçleri kontrol altına alarak, yüksek kalite sağlayarak, verimlilik ve müşteri memnuniyeti artırılarak, maliyetler minimize edilmiş olur ve işletmenin karlılığı sürekli hale getirilmiş olur. İstatistiksel Süreç Kontrol çalışmaları ile süreçler izlenir ve problemler tespit edilir. Problemlerin kök nedenleri kalite araçları ile belirlenir ve problemleri gidermek için iyileştirme çalışmaları yapılır. Süreç kontrol altında tutularak sürecin sürekli iyileştirilmesi sağlanır.

Süreç iyileştirme çalışmalarına mevcut durum analizi ile başlanır. Mevcut durum analizi, histogram, pareto, sebep-sonuç matrisleri, ilişki diyagramları, kontrol çizelgeleri kullanılarak ve süreç yeterliliği hesaplanarak gerçekleştirilir. Analiz sonucunda belirlenen kök nedenlerin sürece olan etkisini minimize etmek için iyileştirme çalışmaları yapılır. İyileştirme etkisini ortaya koymak için benzer kalite araçları kullanılarak yeni durum tekrar analiz edilir. Burada önemli olan iyileştirme çalışmasının sürdürülebilir olmasıdır.

Bu tez çalışmasında iletken endüstrisinde faaliyet gösteren bir firmada kalite iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Temel istatistiksel süreç teknikleri ve çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak iletkenliğin bir ölçütü olan direnç karakteristiği için süreç yeterliliği (C_{pk}) analizi yapılmıştır.

1.1 Problemin Tanımı

Kontrol altında olan süreçlerde, süreç yeterliliği endeksinin (C_{pk}) 1,33 olması önerilir (Samuel 1993). Eğer $C_{pk} < 1$ ise süreçte hurda oranı yüksek olacaktır şeklinde yorumlanabilir. Hem hurda oranını azaltmak hem de müşteri memnuniyetini artırmak için süreç yeterliliğini yükseltmek önem arz etmektedir.

İletken sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede nihai ürünün en önemli kalite karakteristiği elektriksel iletkenliğin bir göstergesi olan dirençtir. Direnç değeri müşteri talebine bağlı olmakla birlikte standardın belirlediği değer aralıklarında olmalıdır. Direnç değeri tolerans limitleri içerisinde olsa bile alt ve üst limit değerleri arasındaki salınımı hedef değere yakın olmalıdır. İşletmede bir müşteri özelinde üretilen bir üründe direnç karakteristiğinde $C_{pk} < 1$ olduğu yapılan analizler ile tespit edilmiştir. Bu gösterge hurda oranının artması ve müşteri memnuniyetinin azalması problemi olarak sonuçlanmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

İletken sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede bir üründe en önemli kalite karakteristiği olan direnç değerinde süreç yeterliliğini artırmak için istatistiksel süreç kontrol yöntemleri kullanılarak iyileştirme çalışmalarının yapılması amaçlanmıştır.

1.3 Tezin Önemi ve Literatüre Katkısı

İstatistiksel süreç kontrol yöntemlerinin ve kalite araçlarının endüstride etkin bir şekilde kullanımıyla hurda oranı azaltılmış ve müşteri memnuniyeti artırılmıştır. Tez çalışmasında, kalite araçları, tek ve çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol yöntemleri,

çoklu regresyon analizleri ve deney tasarımı tekniklerinin iletken sektöründe kullanımı tezin literatüre katkı sağlayan bölümleridir.

1.4 Tezin Organizasyonu

Çalışmanın ikinci bölümünde, Kalite ve Temel Kavramlar, Toplam Kalite Kontrol ve Yönetimi kavramları, üçüncü bölümde, İstatistiksel Süreç Kontrol, Süreç Yeterlilik Endeksi, Temel İstatistiksel Süreç Teknikleri, Tek değişkenli ve Çok Değişkenli Süreç Kontrol Yöntemleri, Çoklu Regresyon ve Korelasyon Analizleri ve Deney Tasarımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde kalite kontrol süreci ve endüstride yaygın olarak kullanılan istatistiksel süreç teknikleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmaları içeren literatür özeti verilmiştir. Beşinci bölümde İletken sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede en önemli kalite karakteristiği olan direnç değerinde süreç yeterliliğini artırmak için yapılan analizlere ve iyileştirme çalışmalarına değinilmiştir. Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlara ve yapılan tartışmalara yer verilmiştir.

2. KALİTE KONTROL

2.1 Kalitenin Tanımı

Kalite tüketicinin gereksinimlerini en iyi biçimde karşılayan yeterli ve memnun edici kullanım olanağı sağlayan bir ürünün özelliklerini ifade etmektedir.

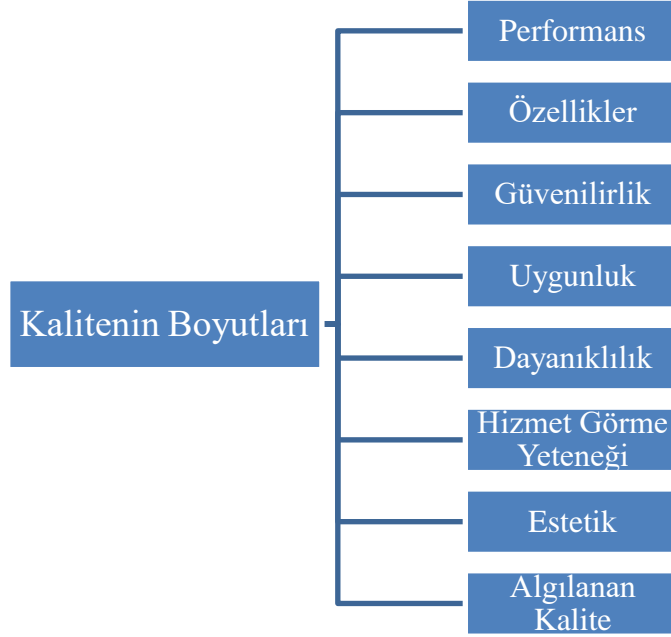
Bazı kalite önderleri kalite ile ilgili farklı tanımlamalarda bulunmuştur (Ertuğrul 2014).

- Kotler'e göre kalite, ürünün müşteriler tarafından değinilen veya ima edilen istekleri karşılayabilme yeteneğine sahip niteliklerin toplamıdır.
- Juran'a göre kalite; tüketicinin istediği estetik, dayanıklılık, güvenilirlik vb. gibi özelliklere sahip ve hatalardan arındırılmış ürünlerin kullanım amacına uygunluğudur.
- Garvin'e göre kalite; müşterilerin şikâyetlerini önleme değil, müşterileri memnun edebilmenin bir aracı olarak görülebilir.
- Taguchi'ye göre kalite, ürünün sevkiyatından sonra toplumda neden olduğu minimum zarardır.
- Deming'e göre kalite, müşterinin şimdiki ve gelecekteki isteklerinin karşılanmasıdır.
- Crosby ise kaliteyi "spesifikasyonlara uygunluk" olarak tanımlar. Başka bir deyişle, kalite hatasız üretimdir veya spesifikasyonlara yüzde yüz uyumdur.

Teknik açıdan kalite, üretimi yapılan parça veya ünitenin önceden belirlemiş olan teknik resim ve/ veya şartnamelere uygunluğu olarak tanımlanabilir.

2.2 Kalitenin Boyutları

Kalite ile ilgili en kapsamlı çalışmalardan birini yapan Garvin tüketicinin algıladığı kaliteyi Şekil 2.1’de gösterildiği gibi 8 boyutta incelemektedir (Montgomery 2009).



Şekil 2.1: Kalitenin boyutları (Montgomery 2009)

2.3 Kaliteyi Oluşturan Temel Özellikler

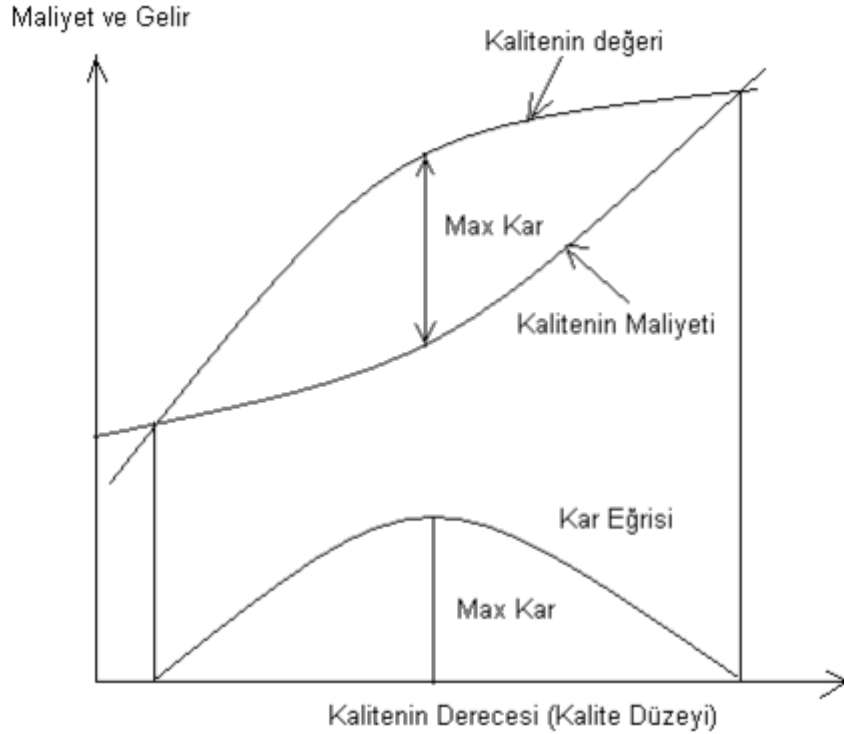
Kalite ürünü kullanacak kişilerin ihtiyaçlarını karşılama derecesine ve fiyata bağlı olarak belirlenir. Bu bağlamda kalite her zaman en iyi demek değildir.

Kalite bileşenleri tasarım kalitesi, uygunluk kalitesi ve performans kalitesi olarak 3’e ayrılmaktadır (Ertuğrul 2014).

2.3.1 Tasarım Kalitesi

Tasarım kalitesi, ürünün tüketici ihtiyacını karşılayabilme derecesine denir. Müşteri araştırmaları ve hizmet/satış ziyaretleri ile başlar ve müşteriye tatmin edecek bir ürün/hizmet kavramının belirlenmesi ile devam eder (Ertuğrul 2014).

Ürünün fiziksel yapısı ve özellikleri ile beraber tasarlanır. Boyut, ağırlık, hacim v.b. fiziksel özellikler gibi tasarım kalitesi de ölçülerle belirlenir. Tasarım kalitesi saptanırken kalite değeri ve kalite maliyetini oluşturan iki parasal faktör arasında en uygun noktanın bulunması çalışılır. Tüketici başlangıçta malın artan kalitesine değer verir, kalite karşılığında daha fazla para ödemeyi göze alır. Fakat kalite düzeyi, ihtiyacının üzerine çıkmaya başladığında aynı isteği göstermez. Şekil 2.2'deki iki eğri arasındaki yükseklik farkı, kaliteden kaynaklanan üretici karını verir. Farkın maksimum olduğu B noktası üretici açısından en uygun tasarım kalitesinin olduğu noktadır (Kobu 2003).



Şekil 2.2: Tasarım kalitesi için en uygun kalite derecesinin saptanması (Kobu 2003)

2.3.2 Uygunluk Kalitesi

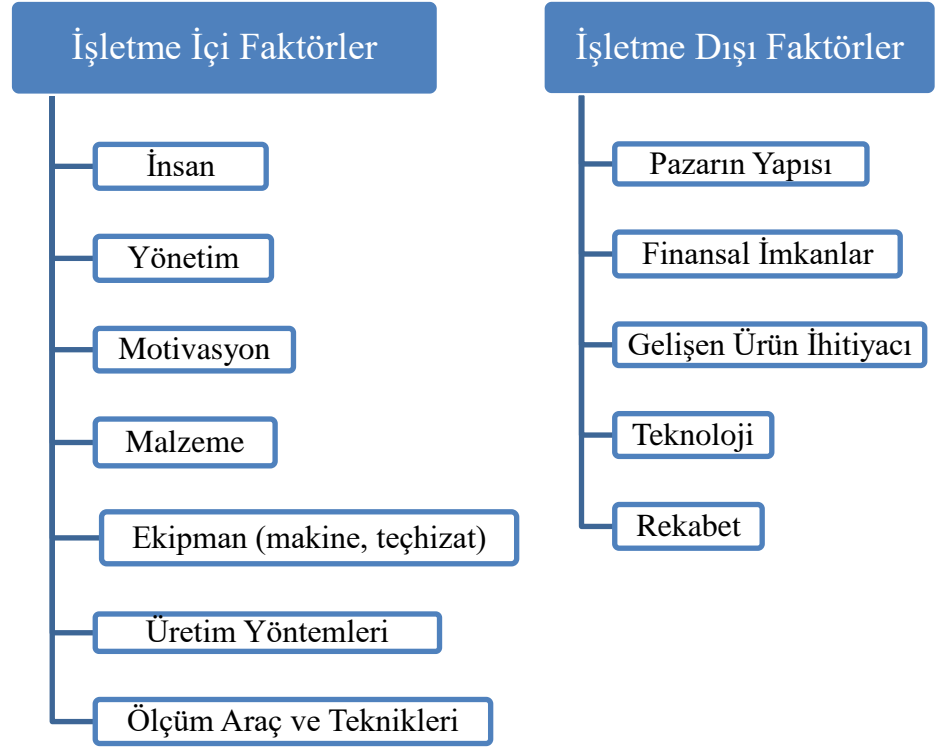
Uygunluk kalitesi, tasarım kalitesi ile belirlenen özelliklere, fiziksel üretimin uyma derecesidir. Uygunluk kalitesi gerçekleştirilirken maliyet ile bir denge kurulmaya çalışılır. Kalite kontrolün etkinliği arttıkça uygun olmayan ürün sayısı azalır. Buna karşılık olarak da ölçme/kontrol faaliyetleri arttığı için değerlendirme maliyeti artar. Uygunluk kalitesini arttırmak için koruma tedbirlerine ağırlık vermek doğru bir karar olacaktır (Kobu 2003).

2.3.3 Performans Kalitesi

Performans kalitesi, bir ürünün piyasada ne kadar iyi bir performans gösterdiği, yani, müşteriler tarafından ne kadar iyi algılandığı ve kabul edildiğinin göstergesidir. İşletmenin ürün/hizmetlerinin pazardaki performans düzeyleri müşteri araştırmaları, satış/hizmet analizleri ile belirlenmektedir (Bozkurt 1997).

2.4 Kaliteyi Etkileyen Faktörler

Üretilen ürünün kalitesini belirlerken işletme içinde ve dışında birçok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörler Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Ertuğrul 2014).



Şekil 2.3: Kaliteyi etkileyen faktörler (Ertuğrul 2014)

2.5 Kalite Kontrol

Bir ürünün tüketicisini memnun etmesi ve onun beklentilerini en iyi biçimde karşılaması amacıyla üretimin her aşamasında sürdürülen kontrol faaliyetleridir. Kalite kontrol sadece ölçme ve muayene işlemi olarak anlaşılmamalıdır. Kalite kontrol (Barutçugit 1988);

- Kaliteye ilişkin standartların ve ana ilkelerin üst yönetim düzeyinde belirlenmesini,
- Denetleme ve gözetleme işlemlerinin örgütlenmesi ve uygulanan yöntemlerin geliştirilmesini,
- Kalitenin bozulması ve planlanan kaliteye ulaşılmasını engelleyen koşulların ortadan kaldırılmasını,
- Kalite sorunları hakkında işletmenin tüm birimlerine danışmanlık hizmetinin sağlanmasını kapsamaktadır.

2.5.1 Kalite Kontrol Faaliyetleri ve Aşamaları

Kalite kontrol faaliyetleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Tan ve Peşkirioğlu 1991).

Yeni Tasarım Kontrolü: Üretime başlamadan önce tüketici isteklerine göre oluşturulan kalite şartlarının karşılanabilirliğinin kontrol edilmesidir ve üretim sırasında ortaya çıkacak sorunların ortadan kaldırılmasında rol oynar.

Gelen Malzeme Kontrolü: Üretimde kullanılacak olan malzeme, hammadde ve yarı ürünlerin önceden belirlenen kalite şartlarına uygunluğunun kontrol edilmesidir.

Ürün Kontrolü: İmalatın başlangıcından, nihai ürün ortaya çıkana kadar devam eden süreçte, uygun olmayan parçaların üretiminiim kaynağında engellemek ve kalite spesifikasyonlarından sapmaları önleme adına sürdürülen faaliyettir.

2.5.2 Kalite Kontrol Çeşitleri

İşletmelerde uygulanan, geçmişten günümüze doğru sıralanmış kalite kontrol çeşitleri (Ertuğrul 2014):

Operatör Kontrolü: Sadece tezgâhlarda çalışan operatörlerin denetimi söz konusudur.

Nezaretçi Kalite Kontrol: Ayrı bir kalite birimi yoktur. Üretim nezaretçileri aynı zamanda kaliteden sorumludur.

İstatistiksel Kalite Kontrol: Üretim sırasında istatistiksel yöntemlerden yararlanarak kalite kontrol altına alınmaktadır. Kalite birimi üst yönetime bağlıdır ve üretim ile iş birliği içinde anında düzeltici önlemler alma yetkisine sahiptir.

Entegre Kalite Kontrol: Tedarikçilerin denetlenmesinden satış sonrası hizmetlere kadar tüm çalışanlar düzeyinde kaliteye ilişkin geliştirilmiş yetki ve sorumluluklar bulunmaktadır. Sistemik olarak düzeltici önlemler alınabilmektedir.

2.6 Toplam Kalite Kontrol ve Yönetimi

Toplam kalite kontrol bir organizasyondaki farklı bölümlerin kalite geliştirme, koruma, iyileştirme çabalarını, müşteri tatminini de göz önüne alarak üretim ve hizmeti en ekonomik düzeyde gerçekleştirebilmek için kurulan etkin bir sistemdir. Toplam kalite kontrol, pazarlama, tasarım, imalat, muayene ve yükleme bölümleri dâhil olmak üzere tüm bölümlerin katılımını gerektirir (Ishikawa 1990).

Toplam kalite kontrolün temel ilkelerinden kısaca aşağıdaki şekilde söz edilebilir (Kobu 2003);

- Önce kalite bilinci
- Tüketicie yönelik kalite kontrol
- İstatistiksel yöntemlerin kullanılması
- Yönetim felsefesi olarak insana saygı

2.6.1 Toplam Kalite Kontrolde Sıfır Hata Faaliyetleri

Üç başlık altında toplanabilir (Ertuğrul 2014):

Güvence Sıfır Hataları: Müşteriye hatasız ürün temin etmek için kurulan kalite güvence sistemidir. Kalite politikası, süreç kontrol sistemleri, hammadde onay/kabul sistemleri, kalite planları, muayene ve deney güvence sıfır hata sistemleri bu sürecin içinde yer almaktadır.

Önleme Sıfır Hataları: Karşılaşılan kalite sorunlarının tekrarlanmasına önleyici sistemlerin kurulmasıdır. Oluşan kalite sorunları sınıflandırılmakta ve hatanın olduğu bölüm tarafından önlemler alınmaktadır.

Küçük Sıfır Hatalar: Karşılaşılan kalite sorunlarının daha küçük alt parçalara bölünerek çalışanların da sorun çözme faaliyetine katılımının sağlanmasıdır.

2.6.2 Toplam Kalite Yönetimi

Toplam kalite yönetimi bir kuruluşta herkesin katılımı ile süreçlerin, hizmetlerin sürekli iyileştirilmesi amacıyla iç ve dış müşteri kalite isteklerinin karşılanması ve müşteri tarafından tanımlanan kaliteyi, ürün ve hizmet yapısında oluşturmaya çalışan bir yönetim biçimidir (Soylu ve Süer 1998).

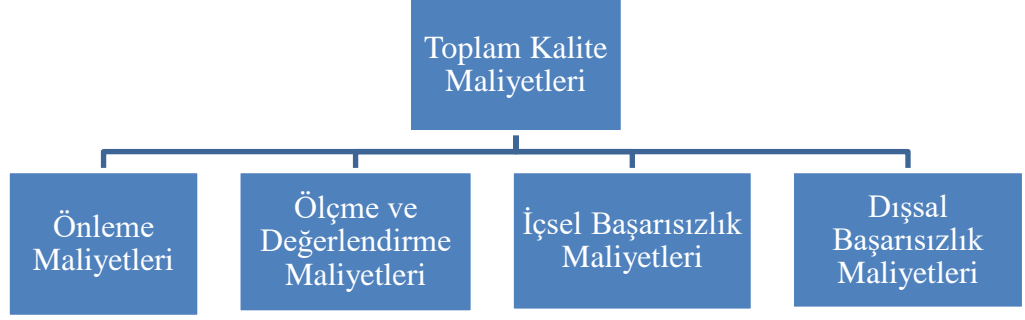
2.6.3 Toplam Kalite Yönetiminde Yararlanılan Temel Araçlar

Toplam kalite yönetiminin temel ilkelerinin amaçlara uygun bir biçimde uygulanabilmesi için, birtakım temel araçlar kullanılır. Bu yedi temel teknik aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Sevim 1999):

- Ishikawa- Balık Kılıcı Diyagramı (Neden- Sonuç Analizi)
- İş veya Süreç Akış Diyagramları
- Pareto Diyagramları
- Trend Analizleri
- Histogramlar
- Dağılım Diyagramları
- Kontrol Çizelgeleri

2.6.4 Toplam Kalite Maliyetleri

Uygunsuz ürünlerin saptanması, onarılması, üretimi uygun olmayan ürünlerden koruma ile ilgili herhangi bir gelir kaybı ya da harcama kalite maliyetleri olarak tanımlanır (Martinich 1997). Bu maliyetler Şekil 2.4' te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Kalite maliyetleri (Martinich 1997)

Önleme Maliyetleri: Üretim öncesi ve üretim sırasında oluşan maliyetlerdir. Kalite sisteminin tasarlanması, oluşturulması, organizasyon içine yerleştirilmesine ilişkin faaliyetlerin neden olduğu maliyettir. Önleme maliyetleri, pazarlama, tasarım, satın alma, işlem ve kalite yönetimi maliyetlerinden oluşur (Ertuğrul 2014).

Değerlendirme Maliyetleri: Ürün ve hizmetlerin gereksinimlere uygunluğunun belirlenmesi sebebi ile yapılan ölçme, yürütme, denetleme maliyetleridir. Girdi muayene testleri, ölçüm cihaz ve ekipmanına yapılan harcamalar, standardizasyon çalışmaları, dışarıdan alınan danışmanlıklar, akreditasyon kuruluşlarına yapılan ödemeler, tedarikçi ziyaretleri ve değerlendirme çalışmaları değerlendirme maliyetleri kapsamındadır (Ertuğrul 2014).

İçsel Başarısızlık Maliyetleri: Ürün daha müşteriye ulaşmadan işletme içinde ortaya çıkan uygunsuzlukların neden olduğu maliyettir (Ertuğrul 2014).

Dışsal Başarısızlık Maliyetleri: Ürünlerin üretim sisteminden çıktıktan sonra sevkiyat, teslimat, satış sonrası hizmetler ve servislerde oluşan sorunların neden olduğu maliyettir. Şikâyet araştırmaları, iade edilen mallar, düzeltme maliyetleri, garanti talepleri, müşteri kaybı dış başarısızlık maliyetleri kapsamında değerlendirilmektedir (Doğan 2000).

2.6.5 Toplam Kalite Maliyetlerinin Kontrolü ve Azaltılması

Toplam kalite kontrol maliyetlerinin azaltılması için temel olarak yapılması gerekenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Sevim 1999);

- Yüksek toplam kalite maliyetlerine ilişkin gider yerleri, gider çeşitleri ve maliyet sınıfları belirlenmelidir.
- Sürekli gelişme için amaçlar belirlenmelidir.
- Toplam kalite yönetimi faaliyetleri içinde toplam kalite maliyetlerine ilişkin programlar yapılmalıdır.
- Programları ve toplam kalite maliyet sistemini yürütecek bir örgüt kurulmalıdır.
- Toplam kalite maliyetleri ölçülerek analiz edilmeli ve raporlanmalıdır.

3. İSTATİSTİKSEL SÜREÇ KONTROL

İstatistiksel süreç kontrol, 1930’larda Dr. W. A. Shewhart tarafından ortaya konulan kontrol kartlarının endüstride uygulanması ile başlamıştır. İstatistiksel süreç kontrol istatistiksel tekniklerin veri toplamak, analiz etmek, yorumlamak ve çözümler getirmek amacıyla kalite problemlerine uygulanmasıdır (Güneş ve diğ. 1999).

İstatistiksel süreç kontrol yüzde yüz ürün muayenesi yerine, süreci kontrol etmek amacıyla ortaya çıkmıştır. Süreç ile üretilen ürün arasında bir sebep-sonuç ilişkisi vardır. Eğer tüm süreç değişkenleri kontrol altına alınırsa ürünün özellikleri de kontrol altına alınabilir (Bayraktar 2007).

İstatistiksel süreç kontrol uygulamalarında süreç sürekli gözlemlenerek problemler ve sebepleri saptanır, çözüm yolları aranır, geliştirilen çözümler uygulanır ve süreç tekrar izlenir. Bu döngü sonsuzdur ve bu sayede sürecin sürekli olarak iyileştirilmesi sağlanır (Elevli ve Behdioğlu 2006).

İstatistiksel süreç kontrolünün yararları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Tütmez ve Bayat 1999);

- Ürün kalitesinin geliştirilmesi
- Kalite maliyetlerinin düşürülmesi
- Hatalı ürün miktarının azaltılması
- Muayene ve test masraflarının azaltılması
- Ürün miktarının ve güvenilirliğinin artması
- Kapasitenin artması
- Birim maliyetlerin azalması
- Gerçekçi standart ve spesifikasyonların belirlenmesi
- Daha az makine arızası
- Bakım onarım ve yeni ekipman alım işlemlerinin daha akıcı hale gelmesi
- Üretimlerdeki duruşlarda azalma

3.1 Temel İstatistiksel Süreç Teknikleri

İstatistiksel süreç kontrolünde, kullanılan teknikler “Yedi Kalite Aracı” olarak bilinir. Bu yedi temel teknik, “Ishikawa’nın Yedi Temel Aracı olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Kaya ve Ağa 2011);

- Sınıflandırma,
- Çetele,
- Histogram,
- Pareto analizi,
- Sebep-Sonuç diyagramı (Balık kılıçığı),
- Serpilme diyagramları,
- Kontrol grafikleri

3.1.1 Sınıflandırma

Verinin değişkenlik kaynaklarına göre gruplara ayrılarak kaydedilmesi ve analiz edilmesidir. Sınıflandırmanın yararları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Yücel 2007):

- Problemlerin kaynaklarının belirlenmesinde etkili bir metottur.
- Veri toplama, örnekleme, pareto, histogram, neden-sonuç, dağılma diyagramı, kontrol kartları gibi istatistik metotlarla kullanılabilir ve sonuca ulaşmada yardımcıdır.
- Veriler değişik şekillerde gruplandırılabilir (Makinalar, vardiya, günler, çalışanlar, hata türleri).

3.1.2 Çetele

Çetele, veri toplama aşamasında kullanılan bir tekniktir. Çetele oluşturulurken toplanacak veri türü net bir şekilde belirlenmelidir. Parti/ parça numarası, tarih, analizi gerçekleştiren gibi faydalı olacak her türlü bilgi yazılmalıdır (Montgomery 2009).

Ürünün Adı ve Kodu : DIN 766 Yuvarlak Çelik Baklalı Zincir (Test ve Kalibre Edilmiş Zincirler)																
Üretim Yeri : Zintaş Kastamonu Zincir Sanayi ve Ticaret AŞ																
Üretim Tarihi : 01.02-28.02.2007																
Malzeme : SAE 1008 (Ç 1010)																
Nominal Çap : 10 (10 Kalibre)																
Üretim Toleransı : 27,5 ± 0,5 (Bakla İç Boyu)																
Makine No : KEH 5.1																
Gerekli Diğer Bilgiler : Ölçme işleminde 1/20 lik kumpas kullanılmıştır.																
Toplam Adet Sayısı : 182																
Alt Grup Büyüklüğü : 1																
Alt Grup Sayısı : 23																
Operatör : 1.2																
Kumpas Ölçüm Değerleri : Aın Kaynağı Sonrası																
Üretim Yapılan Günlerde Alınan Ölçüler																
Saat	02	03	05	07	08	09	10	14	15	16	20	22	24	26	27	28
08.00	27,8	27,5	27,9	---	---	---	27,5	---	27,5	27,6	27,5	27,5	27,5	27,7	27,5	27,5
09.00	27,85	27,6	27,9	---	---	---	27,5	---	27,6	27,5	27,5	27,6	27,5	27,7	27,6	27,5
10.00	27,8	27,6	27,9	---	---	---	27,6	---	27,7	27,7	27,5	27,6	27,5	27,6	27,7	27,6
11.00	27,9	27,5	27,8	---	---	---	27,5	---	27,8	27,7	27,5	27,5	27,6	27,7	27,7	27,5
12.00	27,9	27,8	27,9	---	---	---	27,8	---	27,7	27,8	27,5	27,7	27,7	27,9	27,6	27,5
13.00	27,9	27,7	27,8	---	---	---	27,7	---	27,8	27,8	27,7	27,5	27,8	27,9	27,5	27,5
14.00	27,8	27,7	27,8	---	---	---	27,7	---	27,8	27,5	27,8	27,6	27,8	27,8	27,8	27,6
15.00	27,5	---	27,8	---	---	---	27,7	---	27,8	27,6	27,7	27,7	27,9	27,5	27,8	27,7
21.30	27,9	27,6	---	27,5	27,5	27,6	27,6	27,5	---	---	27,8	27,6	27,6	---	---	27,7
22.30	27,8	27,6	---	27,5	27,5	27,9	27,5	27,5	---	---	27,8	27,7	27,7	---	---	27,7
23.30	27,9	27,6	---	27,6	27,5	27,8	27,5	27,5	---	---	27,7	27,7	27,8	---	---	27,6
00.30	27,9	27,5	---	27,6	27,5	27,8	27,5	27,5	---	---	27,7	27,7	27,8	---	---	27,5
01.30	27,9	27,8	---	27,5	27,5	27,9	27,7	27,5	---	---	27,7	27,8	27,7	---	---	27,5
02.30	27,9	27,8	---	27,5	27,5	27,8	27,8	27,6	---	---	27,6	27,6	27,7	---	---	27,5
03.30	27,9	27,8	---	27,6	27,5	27,8	27,7	27,7	---	---	27,6	27,6	27,5	---	---	27,6
04.30	27,9	---	---	27,5	27,5	27,8	27,6	27,6	---	---	27,6	27,8	27,5	---	---	27,7

Şekil 3.1: Çetele tablosu örneği

3.1.3 Histogram

Histogramlar verilerin dağılımını ve tekrar etme durumunu gösterir. Histogram sayesinde problemin nedenleri net bir şekilde ortaya konur. Çetele tablosu ile sınıflandırılan verilerin, histogram adı verilen grafik ile anlatılmasıdır (Ertuğrul, 2014).

Histogramın kullanım alanları aşağıdaki şekildedir (Pande ve diğ. 2000):

- Sürekli faktörlerin dağılım ve aralıkları (her sevkiyat için ağırlıklar, her deliğin boyutu, her bilgisayar için yeniden başlatma zamanı)

- Müşteri şart ve taleplerindeki değişim ve performansı gösterir (Boyut, dönüş süresi, sıcaklık, maliyet) (Not: sadece sürekli faktörler)
- Bir grup arızalı üründe, her birim başına düşen arızalar
- Bir grup veya topluluğun dağılımının özelliklere göre nasıl sayıldığı

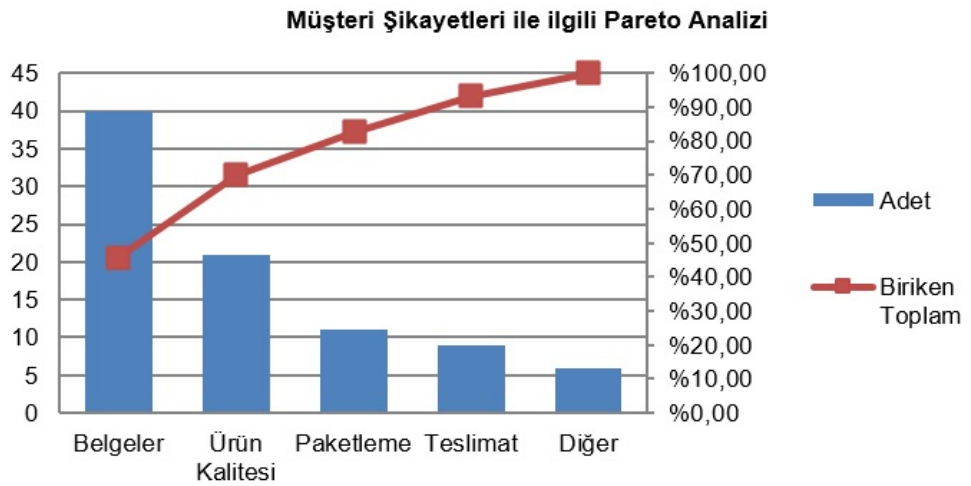
3.1.4 Pareto Analizi

Pareto analizi, bir problemin önemli sebeplerini, daha önemsiz sebeplerden ayırmak için kullanılan bir diyagramdır. 80'e 20 kuralı olarak da bilinen bu analiz yöntemi; sonuçların %80'inin, sebeplerin %20'sine bağlı olarak ortaya çıktığını savunur.

Pareto diyagramını aşağıdaki 3 evre ile oluşturulur (Efil 1999):

- Verilerin toplanması
- Verilerin sınıflandırılması
- Grafiğin çizilmesi

Şekil 3.2'de bir pareto diyagramı örneği verilmiştir.

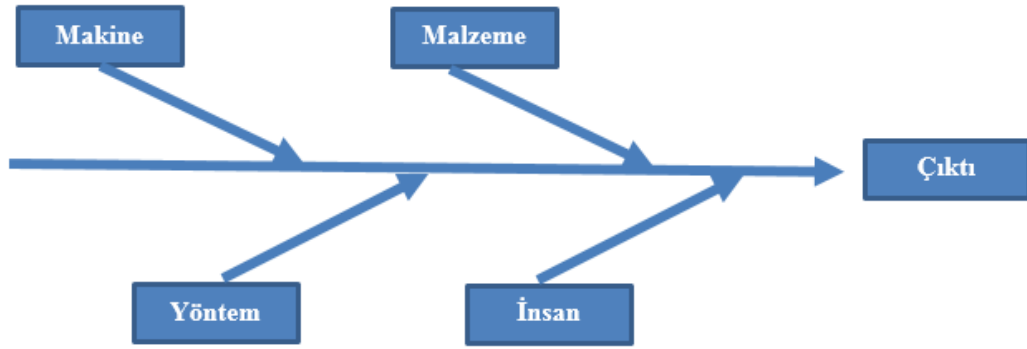


Şekil 3.2: Pareto diyagramı örneği

3.1.5 Sebep Sonuç Diyagramı (Balık Kılıcı Diyagramı)

Sebep sonuç diyagramları işletmelerde kalite sorunlarının nedenlerini belirlemek amacı ile Prof. Dr. Kaoru Ishikawa tarafından geliştirilmiştir (Doğan 2000). Sebep sonuç diyagramlarına bu yüzden Ishikawa Diyagramları, şekil olarak da balık kılıcığına benzediği için Balık Kılıcı Diyagramları da denmektedir (Ertuğrul 2014).

Balık Kılıcı diyagramını 4M olarak adlandırılan Makine (Machinery), İnsan gücü (Manpower), Yöntem (Methods) ve Malzeme (Materials) faktörlerinden oluşur. Bu dört faktör başlıkları altındaki sebepler beyin fırtınası yöntemi ile tespit edilir, önem sırasına göre sıralanır ve tartışılır. Tartışma sonrası tekrar nedenler önem sırasına göre sıralanır ve oy verilir (Ertuğrul 2014).

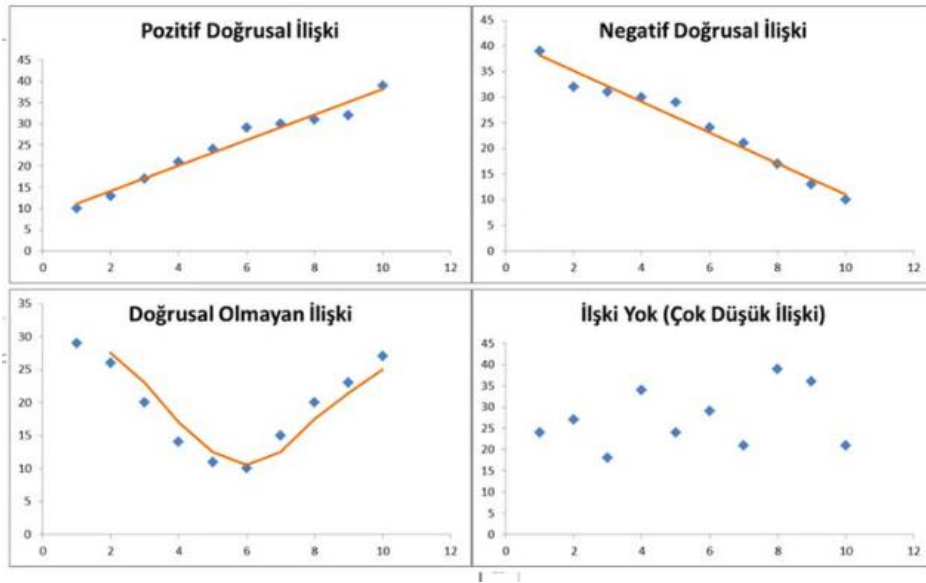


Şekil 3.3: Balık kılıcı diyagramı (Ertuğrul 2014)

3.1.6 Serpilme Diyagramları

Serpilme diyagramları iki faktör arasında ilgi ya da korelasyon olup olmadığının incelenmesinde kullanılır. Eğer bir faktör diğere bağımlı ise bağımsız faktör kontrol altına alınarak bağımlı faktör kontrol edilebilir. Bu faktörlere ait veriler bir grafik üzerinde noktalanarak aralarındaki ilişki kat sayısı tahmin edilebilir (Ertuğrul 2014).

Aşağıda örnek serpilme diyagramları bulunmaktadır.



Şekil 3.4: Serpilme diyagram örnekleri

3.1.7 Kontrol Grafikleri

Kontrol grafikleri W. A. Shewhart tarafından Western Electric yöneticilerine süreçteki değişkenliği anlatmak amacıyla geliştirilen grafiklerdir. Bu yüzden bu grafiklere Shewhart Grafiği de denilmektedir (Ryan ve Joiner 1994).

Kontrol grafikleri, bir sürecin kontrol dışına çıkıp çıkmadığını saptar. Sürecin doğal çeşitliliğinden kaynaklanan bilinen ve özel sebeplerini birbirinden ayırmayı sağlar. Bu yaparken de sürecin kendi kontrol limitlerini kullanır (Does ve Trip 1997).

Kontrol grafikleri süreç geliştirmek, belirlenebilir sebepleri yok etmek, süreç değişkenliği azaltmak ve süreç performansını stabil durumda tutmak için önemli bir araçtır (Montgomery 2009).

Üretilen ürünlerde değişkenliğe yol açan sebepler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- **Süreçler (işlemler):** Kullanılan aletlerdeki bozulmalar, makinenin pozisyonu ve makinede oluşan titreşim, elektrik dalgalanmaları.

- **Malzemeler:** Malzemenin yapısı
- **Çevre şartları:** Sıcaklık, ortam koşulları
- **Operatör**
- **Muayene**

Üretim sürecindeki değişkenlik yukarıdaki maddelere bağlı olarak tesadüfi nedenler (doğal nedenler) ve özel nedenler olarak ikiye ayrılır.

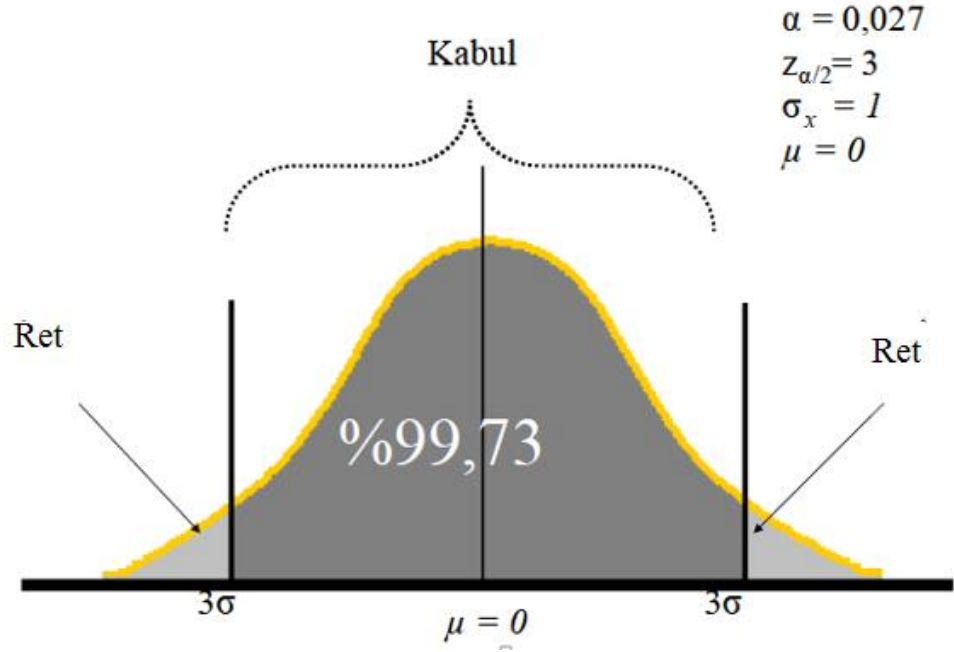
Tesadüfi Nedenler (Doğal Nedenler)

Bir sürecin doğasında bulunan, nedeni tespit edilemeyen kaynakların sebep olduğu değişkenliktir. Bu doğal nedenlerin tek bir tanesi değişikliğe sebep olmaz ama farklı kombinasyonlarda bir araya geldiğinde belirgin bir değişikliğe sebep olabilir. Genel olarak bu nedenler kaçınılmaz kabul edilmektedir ve özel nedenlere odaklanılmaktadır.

Özel Nedenler

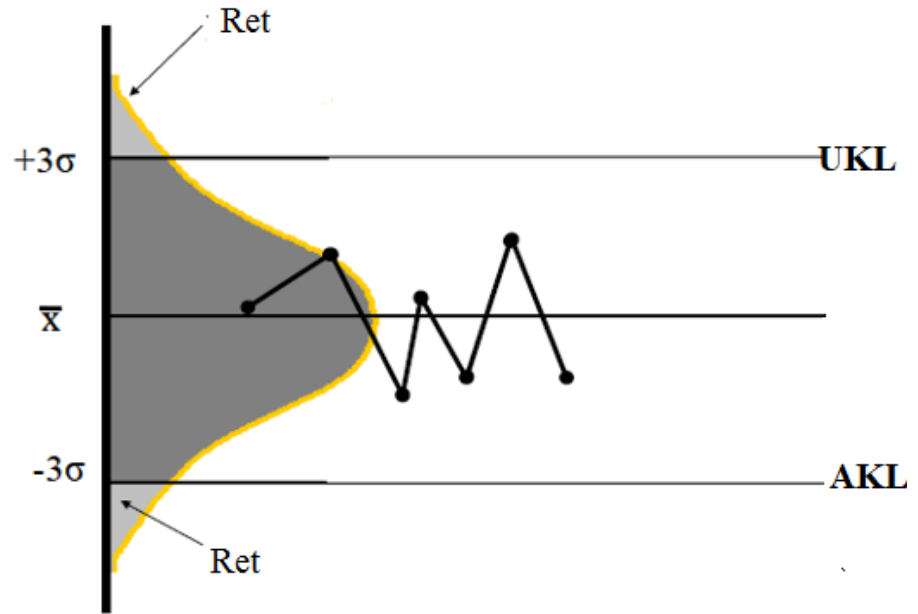
Özel nedenlerden kaynaklanan değişkenlikler bir süreçte büyük sapmalara ve aksamalara sebep olabilir. Bu değişkenliklerin sebebi makinede meydana gelen bir problem, malzeme değişikliği veya operatör olabilir. Bu değişkenliklerin sebebi araştırılarak aksiyon alınıp ortadan kaldırıldığında sadece tesadüfi nedenlerden kaynaklanan değişkenlikler sistemde yer alır (Köksal 1995).

Kontrol limitlerinin dışında bulunan noktalar özel neden olarak tanımlanır. Bu özel nedenler için önlem alınmazsa uygun olmayan ürünler üretileneğinin habercisidir. Bu durumlara kontrol dışı durumlar denir. Kontrol grafikleri, sürecin zaman içinde Üst Kontrol Limiti (ÜKL) ve Alt Kontrol Limiti (AKL) içerisinde dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 3.5: Standart normal dağılım grafiği

Bir süreçte sadece tesadüfi faktörler rol oynuyorsa, süreçte yer alan herhangi bir değişken, bilinen bir dağılım gösterir. Bu durumda dağılımın bir ortalama ve bir standart sapması vardır.



Şekil 3.6: Kontrol grafiği

Kontrol grafikleri sayesinde (Akın 1996);

- Süreç gözlemlenir, böylece herhangi bir sorun olmadan müdahale şansı yakalanmış olur.
- Sürecin geleceği hakkında bilgi sahibi olunur.
- Özel ve doğal nedenler tespit edilmiş olur.
- Sürecin kapasitesi belirlenmiş olur.

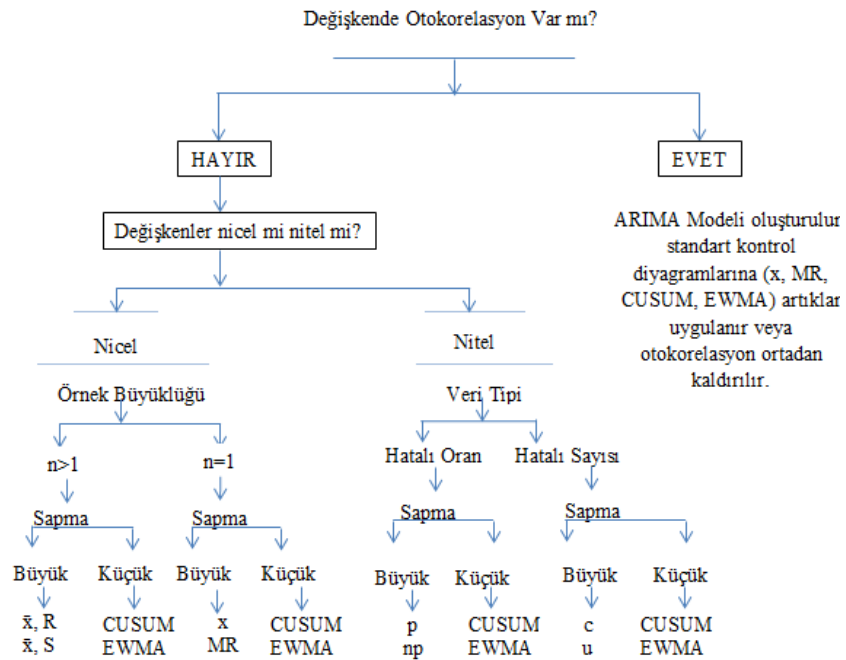
3.1.7.1 Tek Değişkenli Kontrol Grafikleri

Veriler ölçülebilir ve niteliksel veriler olmak üzere ikiye ayrılır.

• **Ölçülebilir Veriler (Variables):** Yoğunluk, ağırlık, sıcaklık, uzunluk, hız gibi bir ölçüm aleti ile sayısal bir karşılığı olan verilerdir.

• **Niteliksel Veriler (Attributes):** Bir ürüne ait bir özelliğin duyu organlarımızla veya ölçüm aletleri ile ölçülmesi, muayene sonrasında ürünün niteliği ile ilgili elde ettiğimiz kusur veya kusurlu sayısıdır.

Veri türüne göre hangi kontrol grafiği seçileceği Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Kontrol grafiği seçimi (Montgomery 2009)

3.1.7.1.1 Niteliksel Veriler (Attributes) için Kontrol Grafikleri

p (Kusurlu Oranı) Grafiği

Binom dağılım prensiplerinden yararlanılarak üretilen grafiklerdir. Bu grafiklerde en büyük sorun değerlendiricilerin kişisel yargısına dayanmasıdır. Değerlendirici kişilerin farkından kaynaklanan fazladan değişkenlik olabilmektedir. Bu grafikler yorumlarken değerlendiricilerden kaynaklanan değişkenlik göz önüne alınmalıdır (Levine 2001).

p grafiği çizilirken aşağıdaki formüllerden yararlanır.

$$MÇ = \bar{p} \quad (3.1)$$

$$\text{ÜKL} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}} \quad (3.2)$$

$$\text{AKL} = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}} \quad (3.3)$$

$$\bar{p} = \frac{\text{Toplam Kusurlu Sayısı.}}{\text{Toplam Muayene Sayısı}} \quad (3.4)$$

c (Kusur Sayısı) Grafiği

Poisson dağılımı prensiplerinden yararlanılarak üretilmiştir. c kontrol grafikleri hata türleri temel alınarak çizilir. Hatalı ürünler için kontrol şeması olarak da isimlendirilen bu grafikler “özellikle süreçteki gerçek sayı görece olarak küçük çıktığında yardımcı olurlar” (Gümüsoğlu 2000).

Bu kontrol grafiği çizilirken aşağıdaki formüllerden yararlanır.

$$M\check{C} = \bar{c} \quad (3.5)$$

$$\check{U}KL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.6)$$

$$AKL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (3.7)$$

$$\bar{c} = \frac{\text{Toplam Kusur S.}}{\text{Toplam Muayene S.}} \quad (3.8)$$

***np* (Kusurlu Sayısı) Grafiği**

Kusurlu sayısı esas alınıyor ise, *p* grafiğinin parametrelerinin *n* ile çarpılması ile elde edilen değerlerden kurulu *np* grafiğini kullanır.

Bu kontrol grafiği çizilirken aşağıdaki formüllerden yararlanır.

$$M\check{C} = n\bar{p} \quad (3.9)$$

$$\check{U}KL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (3.10)$$

$$AKL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (3.11)$$

***u* (Kusur Oranı) Grafiği**

Temeli *c* kusur sayısı grafiğine dayanır ve *u* grafiğinin *c* grafiğinden farkı muayene yapılan alanın her örnekte farklı boyutta olmasıdır. $\check{U}KL$ ve AKL her örnekleme için ayrı ayrı hesaplanır.

Bu kontrol grafiği çizilirken aşağıdaki formüllerden yararlanır.

$$M\check{C} = \bar{u} \quad (3.12)$$

$$\check{U}KL = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (3.13)$$

$$AKL = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (3.14)$$

$$\bar{u} = \frac{\text{Toplam Kusur S.}}{\text{Toplam Muayene Alanı}} \quad (3.15)$$

3.1.7.1.2 Ölçülebilir Veriler için Kontrol Grafikleri

Yoğunluk, ağırlık, hız, uzunluk, mukavemet gibi ölçülebilen veriler için kullanılırlar.

\bar{X} ve R ile \bar{X} ve s Kontrol Grafikleri

Ürünlerin belli özelliklere ait kantitatif ölçülerin istenilen standartlara uygunluğu ve R ile \bar{X} ve s grafikleri ile kontrol edilir (Ertuğrul 2014).

\bar{X} : Ölçüm değerlerinin ortalaması

R : Ölçüm değerlerinin dağılma aralığı

σ : Standart sapma

Kontrol limitleri standartların belli olması ve belli olmaması durumlarına göre farklılık göstermektedir.

Standartların Belli Olması Durumda

Standartlar önceden belirlenmiş ise merkez çizgi, üst kontrol limit ve alt kontrol limit aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

\bar{X} Grafiği için

$$M\bar{C}_{\bar{X}} = \mu \quad (3.16)$$

$$\bar{U}KL_{\bar{X}} = \mu + A\sigma \quad (3.17)$$

$$AKL_{\bar{X}} = \mu - A\sigma \quad (3.18)$$

R Grafiği için

$$M\bar{C}_R = d_2\sigma \quad (3.19)$$

$$\bar{U}KL_R = D_2\sigma \quad (3.20)$$

$$AKL_R = D_1\sigma \quad (3.21)$$

s Grafiği için

$$M\bar{C}_s = c_4\sigma \quad (3.22)$$

$$\bar{U}KL_s = B_6\sigma \quad (3.23)$$

$$AKL_s = B_5\sigma \quad (3.24)$$

Standartların Belli Olmaması Durumda

Standartlar belli olmadığında ana kütte parametreleri olan μ, σ ve R değerlerinin yerine bunların tahmini değerleri olan \bar{X} , s ve R değerleri örnekleme yoluyla bulunur.

\bar{X} ve s Grafiği için

\bar{X} Grafiği için

$$M\bar{C}_{\bar{X}} = \bar{X} \quad (3.25)$$

$$\bar{U}KL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_3\bar{s} \quad (3.26)$$

$$AKL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_3\bar{s} \quad (3.27)$$

s Grafiği için

$$M\bar{C}_s = \bar{s} \quad (3.28)$$

$$\dot{U}KL_S = B_4\bar{s} \quad (3.29)$$

$$AKL_S = B_3\bar{s} \quad (3.30)$$

\bar{X} ve R Grafiği için

\bar{X} grafiği için

$$M\check{C}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (3.31)$$

$$\dot{U}KL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (3.32)$$

$$AKL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (3.33)$$

R grafiği için

$$M\check{C}_R = \bar{R} \quad (3.34)$$

$$\dot{U}KL_R = D_4\bar{R} \quad (3.35)$$

$$AKL_R = D_3\bar{R} \quad (3.36)$$

Tekil Ölçümler için Kontrol Grafikleri (I- MR Kontrol Grafikleri)

Herhangi bir anda birden fazla sayıda örnek alınamayan kalite karakteristikleri için kullanılır (Montgomery 2009).

Bu kontrol grafiği çizilirken aşağıdaki formüllerden yararlanılır.

$$M\check{C} = \bar{x} \quad (3.37)$$

$$\dot{U}KL = \bar{x} + \frac{3}{d_2}\bar{R}, \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.38)$$

$$AKL = \bar{x} - \frac{3}{d_2}\bar{R} \quad (3.39)$$

$$M\check{C} = \bar{R} \quad (3.40)$$

$$\text{ÜKL} = D_4 \cdot \bar{R} \quad (3.41)$$

$$\text{AKL} = D_3 \cdot \bar{R} \quad (3.42)$$

3.1.7.1.3 Kontrol Grafiklerinin Yorumlanması

Bir süreçte, kontrol limitlerinin toplam genişliği spesifikasyon limitlerinin toplam genişliğinden büyük ise üretilen ürünlerin bir kısmı kusurlu olacaktır şeklinde yorumlanabilir.

Kontrol grafiklerinde eğer aşağıdaki durumlar tespit edilir ise süreci etkileyen özel sebepler vardır.

- ± 3 sigma çizgisi dışında bir nokta
- Ortalama çizgini altında veya üstünde arka arkaya gelen dokuz nokta
- Arka arkaya gelen on dört noktanın sürekli aşağı yukarı hareket etmesi
- Arka arkaya gelen üç noktadan ikisinin ± 2 sigma çizgisinin dışında kalması
- Arka arkaya gelen beş noktadan dördünün ± 1 sigma çizgisinin dışında kalması
- ± 1 sigma çizgisi içinde birbirini izleyen on beş nokta
- ± 1 sigma çizgisi dışında birbirini izleyen sekiz nokta

3.1.7.1.4 Diğer Kontrol Grafikleri

Kümülatif Toplam (CUSUM) Kontrol Grafikleri

CUSUM (Cumulative Sum) grafikleri hem nicel hem de nitel verileri incelemek için uygundur. Bu diyagramlarda toplanan verilerden hedef değer saptanır ve bu hedef değerden sapmaların kümülatif toplam grafiği oluşturulur. Hedef, süreç ortalamasındaki sapmayı genişleterek, kontrol dışına çıkmasına sebep olan durumları hızlı bir şekilde analiz edip, noktaların genel yayılımını belirleyebilmektir (Krieter 2009).

CUSUM kontrol grafikleri hiç eğilim göstermeden düz bir şekilde olması sürecin ortalama etrafında dağıldığını gösterir. Bu da sürecin kontrol altında olduğu anlamına gelmektedir. CUSUM kontrol grafiklerinde eğrilerin yukarıya doğru eğim göstermesi sürecin genel olarak ortalama üzerinde olduğunu, eğrilerin aşağıya doğru olması da sürecin ortalama altında olduğunu gösterir. Bu tarz durumlarda sebepler tespit edilerek, gerekli önlemler alınmalıdır (Çılan 2004).

Toplanan verilerdeki küçük varyasyonları ve eğilimleri belirlemede en etkili araçlardan biri CUSUM (Oakland 2003). Süreçte oluşan 2σ ve daha küçük değişimlerde bu grafikler kullanılır.

\bar{X} - CUSUM Kontrol Grafikleri

Bir X- rastgele değişkeni μ ve σ^2 varyans ile normal dağılıma uyduğunda, bu kitleden alınacak örneklem ortalamalarının dağılımının da μ ortalama ve σ^2/n varyans ile normal dağılıma uyacağı söylenir (Ertuğrul 2014).

\bar{X} - CUSUM kontrol grafiklerindeki ölçeklendirmeler aşağıdaki yollar izlenerek yapılır (Ertuğrul 2014).

- Örneklem ölçümü alt grup sayısı m olmak üzere, m- eksenindeki bir birime karşılık gelen dikey ekseninde aşağıdaki formül yardımı ile X_m birim alınır.

$$X_m = \frac{1}{\sigma_{\bar{x}}} \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \mu_0) \quad (3.43)$$

\bar{x}_i : i. örneklem ortalaması

μ_0 : Süreç için bilinen ya da amaçlanan hedef ortalaması

$\sigma_{\bar{x}}$: Örnek ortalamasının standart sapması

- m ekseninde bir birime karşılık dikey ekseninde y- birim alınır. Böylece d uzunluğunda bir değişim olmaz fakat θ açısı $1/y$ kadar değişir.

$$d_1 = d \quad (3.44)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{\delta}{2y} \quad (3.45)$$

- m ekseninde bir birime karşılık dikey y ekseninde y birim alınır. Bu ölçeklendirme çok sık kullanılır.

$$X^*_m = \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i - \mu_0) \quad (3.46)$$

Burada,

$$D = \mu_1 - \mu_0 = \delta \sigma_x \quad (3.47)$$

$$d^* = -\frac{2}{\delta^2} \ln \sigma = d \quad (3.48)$$

$$\theta^2 = \tan^{-1} \left(\frac{D}{2y} \right) \quad (3.49)$$

CUSUM kontrol grafikleri aşağıdaki sıra izlenerek oluşturulur (Ertuğrul 2014):

- Ortalama dağılımın standart sapması tahmin edilir.

$$\sigma_{\bar{x}} = \left(\frac{R}{d^2} \right) \sqrt{n} \quad (3.50)$$

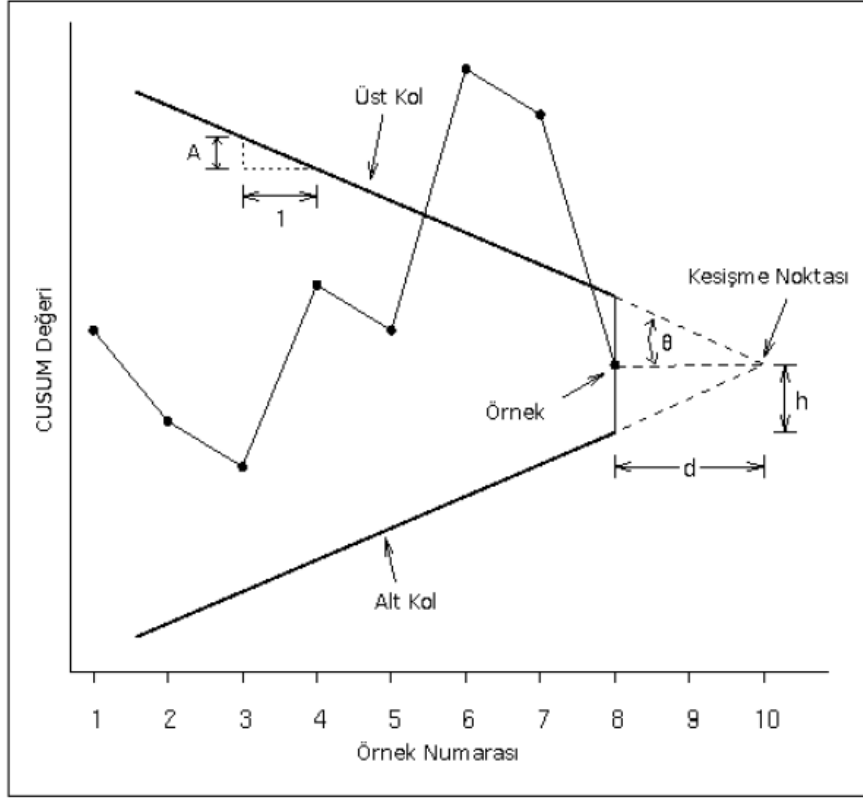
- Ortalamada ortaya çıkması beklenen değişimin en küçük miktarı olan D belirlenir ve,

$$\delta = \frac{D}{\sigma_{\bar{x}}} \quad (3.51)$$

- Ölçeklendirme faktörü belirlenir. y'nin

$1 \times \sigma_{\bar{x}} < y < 2 \times 5 \sigma_{\bar{x}}$ arasında olması ve $2 \sigma_{\bar{x}}$ 'ye yakın olması önerilir.

- Tablodan δ yardımı ile d- uzunluğu ve θ belirlenir.
- d- uzunluğu ve θ ile V maskesi oluşturulur.



Şekil 3.8: CUSUM kontrol grafikleri için V maskesi (Ellis ve diğ. 2005)

Üstel Ağırlıklandırılmış Hareketli Ortalama (EWMA) Kontrol Grafikleri

EWMA Kontrol Grafiği, süreçte oluşan küçük değişimleri takip etmek ve incelemek için kullanılır. Bu diyagramların oluşturulması ve uygulanması CUSUM grafiklerine nazaran daha kolaydır (Kasap 2006). Zaman serilerinin analizinde ve tahminlerde tercih edilen bir grafik türüdür.

Örnekleme büyüklüğü 1 olduğu durumlarda bu diyagramları kullanmak ideal bir yaklaşımdır. Eğer örnekleme büyüklüğü 1'den büyük ise x_i yerine \bar{x}_i ve s yerine $s_{\bar{x}}/\sqrt{n}$ kullanılmalıdır (Baray 2008).

EWMA değeri aşağıda bulunan denklem yardımı ile hesaplanmaktadır (Harris 1991).

$$EWMA = Z_i = \lambda x_i + (1 - \lambda)x_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 x_{i-2} + \dots \quad (3.52)$$

$$0 < \lambda \leq 1 \quad (3.53)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.54)$$

x_i : i . örnek değeri

Z_{i-1} : $i - 1$ örneğin EWMA değeri

m : Örnek tekrar sayısı

λ : Ağırlık faktörü

$i=1$ olduğunda Z_{i-1} yani Z_0 değeri sürecin hedeflenen ya da toplanan verilerin ortalaması olarak alınır.

λ ağırlık faktörü 0 ile 1 aralığında bir değer alır. Bu ağırlık faktörü için 1'e yakın bir sayı seçilirse yakın geçmişte toplanan veriler hesaplamayı daha fazla etkiler, 0'a yakın bir sayı seçilirse de uzak geçmişte toplanan veriler, hesaplamayı daha fazla etkiler. En iyi sonucu alabilmek adına $0,05 \leq \lambda \leq 0,25$ almak gerekir (Baran 2008)

x_i gözlemlerinin varyansı s^2 bağımsız tesadüfi değişkeni ise Z'_i lerin varyansı aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Montgomery 2009).

$$S^2_{EWMA} = S^2 \left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - \lambda)^{2i}) \quad (3.55)$$

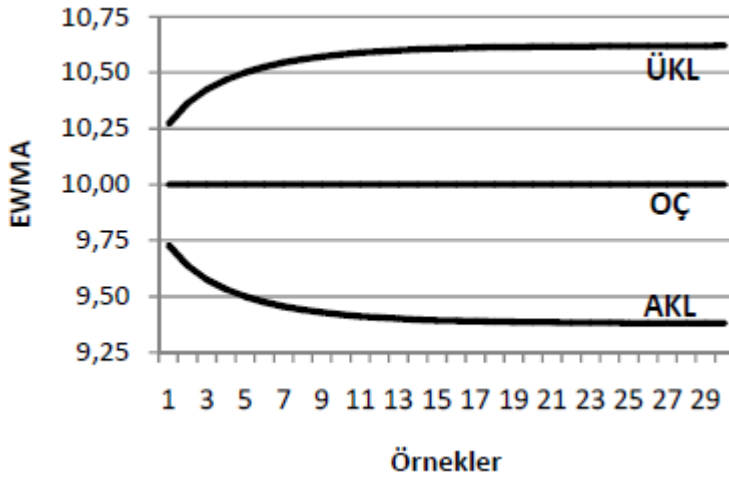
Üst ve alt kontrol limitleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{ÜKL} = z_0 + L_{S_{EWMA}} = Z_0 + L_S \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2 - \lambda} \right) (1 - (1 - \lambda)^{2i})} \quad (3.56)$$

$$OÇ = Z_0 \quad (3.57)$$

$$AKL = Z_0 - L_{SEWMA} = Z_0 - L_S \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)(1 - (1-\lambda)^{2i})} \quad (3.58)$$

L : Kontrol limitlerinin genişliğini belirten çarpan.



Şekil 3.9: EWMA kontrol limitleri

Yukarıdaki grafikten görüldüğü üzere kontrol limitlerinin hesaplanmasında kullanılan i değeri arttıkça $(1 - \lambda)^{2i}$ 0'a yaklaşmaktadır böylece de süreç kararlı hale gelmeye başlamaktadır. Bu tarz durumlarda kontrol limitleri aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır.

$$\text{ÜKL} = Z_0 + L_S \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)} \quad (3.59)$$

$$\text{AKL} = Z_0 - L_S \sqrt{\left(\frac{\lambda}{2-\lambda}\right)} \quad (3.60)$$

3.1.7.2 Çok Değişkenli Kontrol Grafikleri

Bir sürece etki eden birden fazla önemli değişkenin bulunduğu ve bu değişkenler arasında korelasyonun olduğu durumlarda sürecin kararlılığını izlemek için çok değişkenli kontrol diyagramları kullanılır.

Bu kontrol diyagramları değişkenler arasındaki korelasyonları temele alır ve toplam Tip 1 hata (süreç kontrol altında olmasına rağmen uyarı alması durumu) olasılığını kontrol eder. Süreci etkileyen değişkenler arasındaki korelasyon çok güçlü olduğunda ya da çok fazla değişken olduğunda sürecin analizinin kolay yapılmasını sağlar ve doğruluğunu artırır (Johnson ve Wichern 1998).

Çok değişkenli kontrol diyagramlarından X^2 ve T^2 kontrol diyagramları en sık kullanılanlarıdır. X^2 kontrol diyagramları iki değişkenden fazla değişken olduğunda grafik gösteriminin zorlaşması sebebi ile dezavantajlı duruma düşmektedir.

3.1.7.2.1 X^2 Kontrol Grafikleri

Bir süreçte ortalama ve standart sapma değerlerinde eş zamanlı değişimlerin gerçekleştiği durumlarda yaygın olarak kullanılan kontrol grafikleridir.

Bir sürecin (m gözlemler ve p değişkenli) X^2 kontrol grafiğinin oluşturulması için sürece ait ($p \times 1$) boyutlu \bar{X} ortalama vektörü ve ($p \times p$) boyutlu Σ ana kütle varyans - kovaryasyon matrisi ile her bir gözlem için X^2 değerleri aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır.

$$X_i^2 = n(\bar{x} - \bar{X})' \Sigma^{-1} (\bar{x} - \bar{X}), \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3.61)$$

Hesaplanan X^2 değeri p serbestlik dereceli $X^2_{a,p}$ ile karşılaştırılır. Sürecin kontrol altında olması için $X^2 < X^2_{a,p}$ olmalıdır. $X^2 > X^2_{a,p}$ ise süreç kontrol dışındadır (Gary 2006).

$X^2_{a,p}$: X^2 dağılımının $(1-\alpha) \cdot 100$ 'üncü yüzdelik değeridir (Hoang 2001).

Süreci etkileyen 2 değişken var ise X^2 aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanır (May 2006).

$$Xi^2 = \frac{n}{\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2 - \sigma_{12}^2} [\sigma_2^2(\bar{x}_1 - \bar{X}_1) + \sigma_1^2(\bar{x}_2 - \bar{X}_2) - 2\sigma_{12}(\bar{x}_1 - \bar{X}_1)(\bar{x}_2 - \bar{X}_2)] \quad (3.62)$$

3.1.7.2.2 Hotelling T^2 Kontrol Grafikleri

Bir sürece etki eden çok değişken olduğu durumlarda aritmetik ortalamalara dayanan Hotelling T^2 Kontrol Diyagramları ile değişkenler eş zamanlı olarak incelenebilir. Bu diyagramlar, süreçteki değişkenlerin normal dağıldığı ve sürecin gerçek parametrelerinin bilinmediği, tahmin edildiği süreçlerde kullanılır (Pham 2001).

Bu kontrol diyagramında μ 'ün bir uzmanın önerdiği değere (m_0)'a eşit olup olmadığı test edilmektedir (Fuchs 1998).

$$H_0: \mu = m_0 \quad (3.63)$$

$$H_1: \mu \neq m_0 \quad (3.64)$$

T^2 aşağıdaki şekilde hesaplanır (Fuchs 1998).

$$T^2 = n(\bar{x} - m_0)'S^{-1}(\bar{x} - m_0) \quad (3.65)$$

Üst kontrol limiti aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$\text{ÜKL} = \frac{p(n-1)}{n-p} F_{\alpha, p, n-p} \quad (3.66)$$

Eğer $T^2 \geq \text{ÜKL}$ ise m_0 ve \bar{X} arasında tesadüfi olmayan bir farkın olduğu ve süreci etkileyen sorunun belirlenebilir olduğunu anlaşılmaktadır (Fuchs 1998).

Bir süreçteki n birimlik örnek ile T^2 hesaplamak için

$$T^2 = (x - \bar{x})'S^{-1}(x - \bar{x}) \quad (3.67)$$

m tane n birimlik örnekten T^2 hesaplamak için

$$T^2 = n(x - \bar{x})'S_p^{-1}(x - \bar{x}) \quad (3.68)$$

formülleri kullanılır.

T^2 hesaplamak için aşağıdaki veri matrisi düzenlenir.

Tablo 3.1: T^2 hesaplamak için düzenlenen veri matrisi

Örnek No: (k)	\bar{x}_{1k}	\bar{x}_{2k}	S_{1k}^2	S_{2k}^2	S_{12k}	T_k^2
1	\bar{x}_{11}	\bar{x}_{21}	S_{11}^2	S_{21}^2	S_{121}	T_1^2
2	\bar{x}_{12}	\bar{x}_{22}	S_{12}^2	S_{22}^2	S_{122}	T_2^2
....
m	\bar{x}_{1m}	\bar{x}_{2m}	S_{1m}^2	S_{2m}^2	S_{12m}	T_m^2
Ortalamalar	$\bar{\bar{x}}_1$	$\bar{\bar{x}}_2$	\bar{S}_1^2	\bar{S}_2^2	\bar{S}_{12}	

Yaygın olarak kullanılan kovaryans tahmin edicileri S ve S_p 'dir (Fuchs 1998).

$n=1$ olan m tane örnek için S aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$S = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x}).(x_i - \bar{x})' \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.69)$$

$n > 1$ olan m tane örnek için S_p aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$S_p = \frac{\sum_{j=1}^k (n_j - 1)S_j}{\sum_{j=1}^k (n_j - 1)} \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (3.70)$$

n_j : j . örnekteki birim sayısı

S_j : j .örneğin varyans- kovaryans matrisi

3.2 Süreç Yeterlilik Endeksi

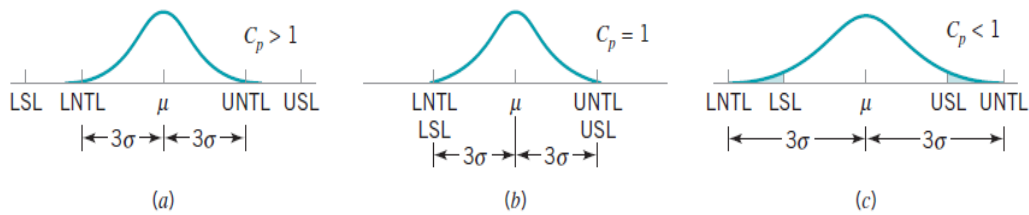
Süreç yeterlilik endeksi ile sürecin kararlı olup olmadığı saptanır, kararsız olmasına neden olan kaynaklar araştırılır. Süreci kararlı duruma getirmek için kararsızlığa sebep olan etmenler kaldırılır ve gerekli önlemler alınır (Gitlow 1989).

3.2.1 Süreç Potansiyel Endeksi (C_p)

Süreç potansiyel endeksi, süreç standart sapması ile üst ve alt spesifikasyon limitleri arasında bir ilişki kurularak elde edilir. Bir süreçte, sistemden kaynaklanan değişimlerin olup olmadığını ve sürecin spesifikasyon toleranslarını karşılayıp karşılamadığını analiz etmek için kullanılır. Alt ve üst spesifikasyon limitleri sırasıyla ASL, USL ve standart sapması da σ olarak belirtilen bir sürecin potansiyel endeksi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$C_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (3.71)$$

Süreç yeterliliği için $C_p > 1.33$ önerilir. Daha güvenilir sonuçlara ulaşmak için de en az 50 örnek olmalıdır (Samuel 1993).



Şekil 3.10: C_p değerlerinin gösterimi (Montgomery 2009)

- $C_p < 1$ ise yüksek oranda hurdanın olması
- $C_p = 1,00$ ise ürünlerin %0,27'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması
- $C_p = 1,33$ ise ürünlerin %0,0064'ünün spesifikasyon limitleri dışında kalması
- $C_p = 1,67$ ise ürünlerin %0,000057'sinin spesifikasyon limitleri dışında kalması anlamına gelmektedir (Samuel 1993).

3.2.2 Fiili Yeterlilik Endeksi (C_{pk})

C_p ile süreç yayılımını, C_{pk} ile ise süreç ortalamasının, hedefe göre konumunu belirlenir. Yani C_{pk} endeksi süreç ortalamasının hedef değerden ne kadar uzakta olduğunu belirtir (Samuel 1993).

$$C_{pk} = \min\left(\frac{\mu - ASL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) \quad (3.72)$$

3.2.3 C_{pm} Endeksi

C_{pm} , süreç ortalamasının ve hedef değere göre konumu hakkında daha güvenilir bilgi sağlayabilir.

C_p ve C_{pk} endekslerinde süreç ortalamasının hedef değere olan konumu ile ilgili tam sonuç alınmadığı için Taguchi, C_{pm} endeksi ile ilgili çalışma yapmıştır. C_{pm} endeksi, hedef değere (T) spesifikasyon limitlerinde daha çok önem verir.

C_{pm} aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$C_{pm} = \frac{USL - ASL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (3.73)$$

3.2.4 P_p ve P_{pk} Endeksleri

P_p ve P_{pk} mevcut sürecin yayılımını ve merkezlenmesini, süreç ortalaması ile hedef değere olan uzaklığının belirtilmesinin sağlar. P_{pk} , ölçümün yapıldığı andaki sürecin yeterliliği ile ilgili bilgi verir.

$$P_p = \frac{USL - ASL}{6\sigma} \quad (3.74)$$

$$P_{pk} = \min\left(\frac{\mu - ASL}{3\sigma}; \frac{USL - \mu}{3\sigma}\right) \quad (3.75)$$

3.3 Çoklu Regresyon ve Korelasyon Analizi

Çoklu regresyon analizi iki veya daha fazla sayıdaki değişkenin birbiri ile ilişkili olması durumunda kullanılır. Bu ilişki aşağıdaki şekilde bir denklem ile ifade edilebilir (Köksal 2003).

$$Y: (0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_n X_n) + e \quad (3.76)$$

b_i : Regresyon katsayısı

Bu formül yardımı ile X_i değeri bilindiği zaman Y değeri bulunabilmektedir (Köksal, 2003). Bilinen X_i değeri ile Y değişkeni değeri, Y değerinin, veri kümesine uyan en küçük kareler eğrisinden kestirilmesi ile elde edilir. Elde edilen eğri, Y 'nin X üzerindeki regresyon eğrisidir. Bu eğrinin katsayılarının en küçük kareler metodu ile bulunmasına regresyon analizi denir. Bu metot karasel hatayı minimuma indirmek için geliştirilmiştir ve aşağıdaki formül aracılığı ile hesaplanır. (Murray ve Stephens 1998).

$$\sum_{i:1}^n e_i^2 = \sum_{i:1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.77)$$

e_i : hata

y_i : i . gözlem değeri

\hat{y}_i : i . tahmin değeri

n : gözlem sayısı

b_i regresyon katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$b_i = \frac{\sum X_i Y}{\sum X_i^2} \quad i: 1,2 \dots n \quad (3.78)$$

Regresyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini belirlemede yeterli değildir. Değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetinin

belirlemek için korelasyon katsayısı (tek bağımsız değişken durumunda r , çoklu durumda R) hesaplanmalıdır (Köksal 2003).

Değişkenlerin bağımlı ya da bağımsız olması dikkate alınmadan korelasyon katsayısı “ r ” olarak gösterilir. İlişki düzeyi (-1) ve (+1) aralığında değişir. Korelasyon katsayısı eğer pozitif ise değişkenler arasında pozitif yönlü bir ilişki, negatif ise, ters yönlü bir ilişki vardır. Korelasyon katsayısı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$r_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y} \right) \right] \quad (3.79)$$

$$|r_{xy}| < 0,20 \text{ ise ilişki önemsiz} \quad (3.80)$$

$$|r_{xy}| > 0,80 \text{ ise ilişki önemli} \quad (3.81)$$

3.4 Deneysel Tasarım ile Süreç İyileştirme

Süreç iyileştirmenin iki yolu vardır. Bunlardan biri sürekli kontrol ve gözlem diğeri ise deneysel tasarımı yöntemidir. Sürekli kontrol ve gözlemlerde problem ortaya çıktığı zaman araştırmalar yapılır ve probleme neden olan etkenler bulunmaya çalışılır. Deneysel tasarım, bilgi verici bir olayın oluşmasını sağlamak için yapılan aktif işlemlerdir (Montgomery 2009).

Deneysel tasarım, bir sürecin giriş değişkenlerinde, çıktı yanıtındaki ilgili değişiklikleri gözlemleyebilmemiz ve tanımlayabilmemiz için amaçlı değişikliklerin yapıldığı bir test veya test serisidir. Bir girdi malzemesini bir çıktı ürününe dönüştüren değişkenler makine, yöntem ve insan kombinasyonları halinde sıralanabilir. Bu değişkenlerden bazıları kontrol edilebilirken bazıları kontrol edilemez. Kontrol edilemeyen faktörlere gürültü faktörü denir (Montgomery 2009).

Deneysel tasarımın amaçları aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Montgomery 2009):

- Bağımlı değişkenleri en fazla etkileyen önemli bağımsız değişkenleri bulmak ve optimize etmek,

- Bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenler üzerindeki etkilerinin sayısallaştırabilmek,
- Önemli olduğu düşünülen girdilerin gerçekten önemli olup olmadığını saptamak,
- Gereksiz girdileri belirlemek ve kaynakları etkin kullanmak,
- Üretilbilirlik için deneysel tasarım yapmak,

Deneysel tasarımda aşağıdaki adımlar izlenmelidir (Montgomery 2009):

- Problemin tanımlanması
- Faktörler seviyelerinin seçilmesi
- Çıktı değişkeninin belirlenmesi
- Uygun deney tasarımının seçilmesi
- Deneyin gerçekleştirilmesi
- Verilerin analizi
- Sonuçlar ve tavsiyeler

Deneysel tasarımda kullanılan yöntemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Faktöriyel deneyler,
- 2^k faktöriyel deneyler
- Kesirli faktöriyel deneyler,
- Cevap yüzeyi yöntemleri.

3.4.1 Faktöriyel Deneyler

Faktöriyel deneyler diğer deney türlerine göre birçok avantaja sahiptir. Tam faktöriyel deneyler (Montgomery 2009)

- Tüm etkileşimler hakkında bilgi verir.
- Planlaması ve uygulaması kolaydır.
- İki ve daha fazla düzeyli faktörlerle yapılabilir.
- Hem nitel hem de nicel girdilere uygulanabilir.
- Sadece nicel çıktılarda kullanılabilir.

İki faktörlü bir deney aşağıdaki matris yardımı ile oluşturulur (Montgomery 2009).

Tablo 3.2: İki faktörlü faktöriyel deney için veri matrisi

		Faktör B			
		1	2	...	b
Faktör A	1	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{12n}$...	$y_{1b1}, y_{1b2}, \dots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{22n}$...	$y_{2b1}, y_{2b2}, \dots, y_{2bn}$

	a	$y_{a11}, y_{a12}, \dots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \dots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \dots, y_{abn}$

y_i : A faktörünün i . düzeyindeki gözlemler

y_j : B faktörünün j . düzeyindeki gözlemler

y_{ij} : Tablo 3.2'deki ij . hücredeki gözlemleri ifade etmektedir.

y_i, y_j, y_{ij} ve bu değerlerin ortalamaları aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$y_{i..} : \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad \bar{y}_{i..} = \frac{y_{i..}}{bn} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad (3.82)$$

$$y_{.j.} : \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad \bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{an} \quad i = 1, 2, \dots, b \quad (3.83)$$

$$y_{ij.} : \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad \bar{y}_{ij.} = \frac{y_{ij.}}{n} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad (3.84)$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} \quad \bar{y}_{...} = \frac{y_{...}}{abn} \quad (3.85)$$

İki faktörlü bir deneyde, gözlemlerden oluşturulan model aşağıdaki şekilde tanımlanır (Montgomery 2009).

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.86)$$

$$i=1,2,\dots,a$$

$$j=1,2,\dots,b \quad (3.87)$$

$$k=1,2,\dots,n$$

μ : genel ortalama etkisi

τ_i : A faktörünün i. düzeyinin etkisi

β_j : B faktörünün j. düzeyinin etkisi

$(\tau\beta)_{ij}$: A ve B arasındaki etkileşimin etkisi

ε_{ij} : NID(0, σ^2) rastgele hata bileşeni

Bu deney tasarımı ile A ve B faktörlerinin etkisinin ve birbiri ile olan etkileşimlerinin etkisinin anlamlı olup olmadığını hipotezi test edilmektedir.

Toplam düzeltilmiş kareler toplamı varyansı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 \quad (3.88)$$

Sembolik olarak da aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \quad (3.89)$$

Serbestlik derecesi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$abn - 1 = (a - 1) + (b - 1) + (a - 1)(b - 1) + ab(n - 1) \quad (3.90)$$

Sıra faktörünün, sütun faktörünün ve bunların etkileşim etkisinin olup olmadığını test etmek için, ilgili kareler ortalamasının varyansı, karelerin ortalaması (hata) varyansına bölünerek F faktörü elde edilir.

Belirtilen analizler aşağıdaki Tablo 3.3'te özetlenmiştir.

Tablo 3.3: İki faktörlü tam faktöriyel bir deney için ANOVA tablosu

Değişkenliğin Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F_0
A	SS_A	$(a - 1)$	$MS_A = \frac{SS_A}{(a - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_{hata}}$
B	SS_B	$(b - 1)$	$MS_B = \frac{SS_B}{(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_{hata}}$
Etkileşim	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_{hata}}$
Hata	SS_E	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Toplam	SS_T	$abn - 1$		

Hesaplanan F değeri tablo değerinden büyük ise ya da alternatif olarak p değeri anlamlılık seviyesinden (yani 0'a yaklaşması) küçük ise faktörün etkisi yüksektir şeklinde yorumlanır. p değeri her F oranı için önem seviyesidir.

Artık analizi modelin yeterliliğinin değerlendirilmesinde büyük öneme sahiptir. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$e_{ijk} = y_{ijk} - \hat{y}_{ijk} \quad (3.91)$$

$$e_{ijk} = y_{ijk} - \bar{y}_{ij}. \quad (3.92)$$

Yani basit olarak artık, gözlemlenen değer ile karşılık gelen hücre ortalamaları arasındaki farktır.

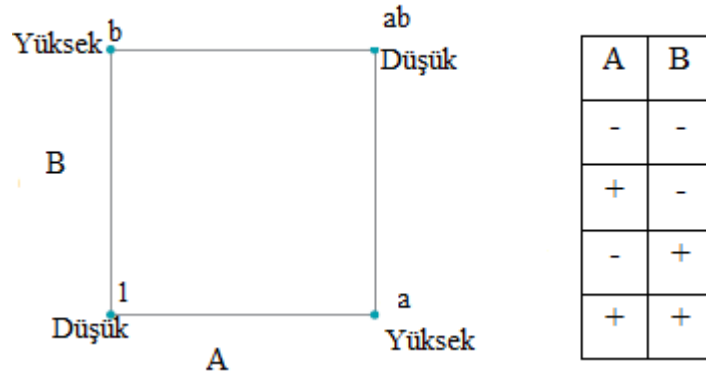
Artıkların normal dağılıma sahip olup olmadığı test edilmektedir.

3.4.2 2^k Faktöriyel Deneyler

2^k faktöriyel deneylerde her biri iki düzeye sahip k tane faktör ve bu faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri söz konusudur.

3.4.2.1 2^2 Faktöriyel Deneyler

2^k faktöriyel deneylerinin en basiti 2^2 faktöriyel deneylerdir. Bu deneyde her biri 2 düzeye sahip iki faktör bulunmaktadır. Bu deneylerde faktörlerin düşük ve yüksek düzeyleri için dört farklı deneme kombinasyonu söz konusudur. A ve B faktörlerine sahip bir deney için tasarım şekil 3.11'deki gibigösterilebilir (Montgomery 2009).



Şekil 3.11: 2^2 Deneyi için tasarım (Montgomery 2009)

B'nin yüksek düzeyinde A'nın etkisi

$$\frac{ab-b}{n} \quad (3.93)$$

B'nin düşük düzeyinde A'nın etkisi

$$\frac{a-1}{n} \quad (3.94)$$

B'nin tüm düzeylerinde A'nın etkisi

$$A = \frac{1}{2} \left[\frac{ab-b}{n} + \frac{a-1}{n} \right] = \frac{1}{2n} [ab - b + a - 1] \quad (3.95)$$

Benzer şekilde B de aşağıdaki formül ile bulunur.

$$B = \frac{1}{2} \left[\frac{ab-a}{n} + \frac{b-1}{n} \right] = \frac{1}{2n} [ab - a + b - 1] \quad (3.96)$$

AB etkileşimi ise aşağıdaki formül ile bulunur.

$$AB = \frac{1}{2n} [ab + 1 - a - b] \quad (3.97)$$

Faktör etki tablosu aşağıdaki şekilde gösterilir.

Tablo 3.4: 2² Deneyi için faktör etki tablosu

Faktörler	A	B	AB
1	-	-	+
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	+

A ve B faktörlerinin ana etkileri ile AB etkileşiminin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı aşağıdaki hipotezler ile test edilir.

$H_{0(A)}$: A faktörü süreç üzerinde etkili değildir

$H_{0(B)}$: B faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(AB)}$: A ve B faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Kareler toplamı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$SS_A = \frac{[a+ab-b-1]^2}{4n} \quad (3.98)$$

$$S S_B = \frac{[b+ab-a-1]^2}{4n} \quad (3.99)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab+1-a-b]^2}{4n} \quad (3.100)$$

F değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_{hata}} \quad (3.101)$$

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_{hata}} \quad (3.102)$$

$$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_{hata}} \quad (3.103)$$

Hesaplanan F değeri tablo değerinden büyük ise faktörün etkisi yüksektir şeklinde yorumlanır. Yani α anlam düzeyinde sıfır hipotezleri ret edilir.

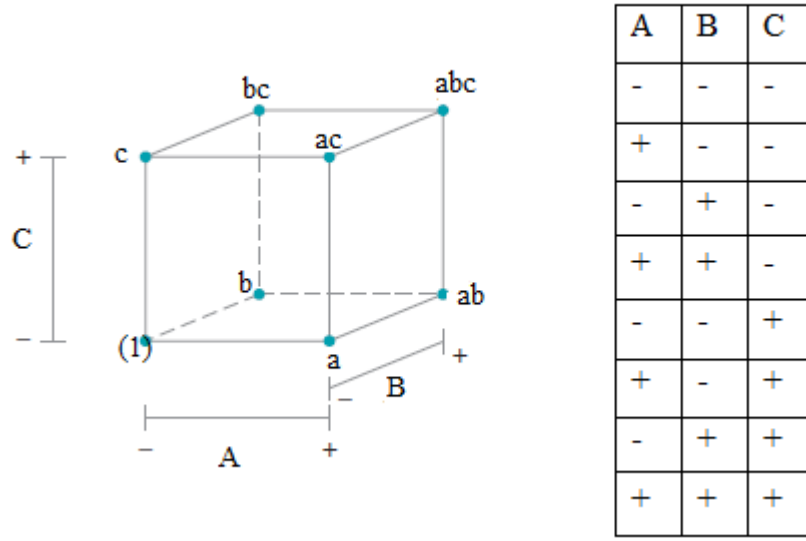
Regresyon formülü aşağıdaki şekildedir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_{12} AB + hata \quad (3.104)$$

$\beta_0, \beta_1, \beta_{12}$: Regresyon katsayısı

3.4.2.2 2^3 Faktöriyel Deneyler

2^3 faktöriyel deneylerde her biri 2 düzeye sahip üç faktör bulunmaktadır. Bu deneylerde faktörlerin düşük ve yüksek düzeyleri için sekiz farklı deneme kombinasyonu söz konusudur. A, B ve C faktörlerine sahip bir deney için tasarım şekil 3.12'deki gibi gösterilebilir (Montgomery 2009).



Şekil 3.12: 2^3 Deneyi için tasarım (Montgomery 2009)

Bu deneyler için regresyon denklemi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$y = \mu + A + B + C + AB + AC + BC + ABC + hata \quad (3.105)$$

μ : Genel ortalama

B ve C'nin düşük düzeyinde A'nın etkisi

$$\frac{a-1}{n} \quad (3.106)$$

B yüksek, C düşük düzeyde A'nın etkisi

$$\frac{ab-b}{n} \quad (3.107)$$

B düşük, C yüksek düzeyde A'nın etkisi

$$\frac{ac-c}{n} \quad (3.108)$$

B ve C yüksek düzeyde A'nın etkisi

$$\frac{abc-bc}{n} \quad (3.109)$$

$$A = \frac{1}{2} \left[\frac{ab-b}{n} + \frac{a-1}{n} \right] = \frac{1}{2n} [ab - b + a - 1] \quad (3.110)$$

A faktörünün etkisi

$$A = \frac{1}{4n} [a + ab + ac + abc - b - c - bc - 1] \quad (3.111)$$

Benzer şekilde B faktörünün etkisi

$$B = \frac{1}{4n} [b + ab + bc + abc - a - c - ac - 1] \quad (3.112)$$

C faktörünün etkisi

$$C = \frac{1}{4n} [c + ac + bc + abc - a - b - ab - 1] \quad (3.113)$$

Ave B faktörlerinin etkileşiminin etkisi

$$AB = \frac{1}{4n} [ab + 1 + abc + c - b - a - bc - ac] \quad (3.114)$$

Ave C faktörlerinin etkileşiminin etkisi

$$AC = \frac{1}{4n} [ac + 1 + abc + b - a - c - ab - bc] \quad (3.115)$$

B ve C faktörlerinin etkileşiminin etkisi

$$BC = \frac{1}{4n} [bc + 1 + abc + a - b - c - ab - ac] \quad (3.116)$$

A,B ve C faktörlerinin etkileşiminin etkisi

$$ABC = \frac{1}{4n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - 1] \quad (3.117)$$

Tablo 3.5: 2^3 Deneyi için faktör etki tablosu

Faktörler	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
1	-	-	+	-	+	+	-
a	+	-	-	-	-	+	+
b	-	+	-	-	+	-	+
ab	+	+	+	-	-	-	-
c	-	-	+	+	+	-	+
ac	+	-	-	+	-	-	-
bc	-	+	-	+	+	+	-
abc	+	+	+	+	-	+	+

A, B ve C ana etkileri ile AB, BC, AC ve ABC etkileşimlerinin etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilir. Hipotezler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

$H_{0(A)}$: A faktörü süreç üzerinde etkili değildir

$H_{0(B)}$: B faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(AB)}$: A ve B faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

$H_{0(C)}$: C faktörü süreç üzerinde etkili değildir

$H_{0(AC)}$: A ve C faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

$H_{0(BC)}$: B ve C faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

$H_{0(ABC)}$: A,B ve C faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Kareler toplamı aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$SS_A = \frac{1}{2^{3n}} [a + ab + ac + abc - b - c - bc - 1]^2 \quad (3.118)$$

$$SS_B = \frac{1}{2^{3n}} [b + ab + bc + abc - a - c - ac - 1]^2 \quad (3.119)$$

$$SS_C = \frac{1}{2^3 n} [c + ac + bc + abc - a - b - ab - 1]^2 \quad (3.120)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{2^3 n} [ab + 1 + abc + c - b - a - bc - ac]^2 \quad (3.121)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{2^3 n} [ac + 1 + abc + b - a - c - ab - bc]^2 \quad (3.122)$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{2^3 n} [bc + 1 + abc + a - b - c - ab - ac]^2 \quad (3.123)$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{2^3 n} [abc - bc - ac + c - ab + b + a - 1]^2 \quad (3.124)$$

F değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F_A = \frac{MS_A}{MS_{hata}} \quad (3.125)$$

$$F_B = \frac{MS_B}{MS_{hata}} \quad (3.126)$$

$$F_{AB} = \frac{MS_{AB}}{MS_{hata}} \quad (3.127)$$

$$F_C = \frac{MS_C}{MS_{hata}} \quad (3.128)$$

$$F_{AC} = \frac{MS_{AC}}{MS_{hata}} \quad (3.129)$$

$$F_{BC} = \frac{MS_{BC}}{MS_{hata}} \quad (3.130)$$

$$F_{ABC} = \frac{MS_{ABC}}{MS_{hata}} \quad (3.131)$$

Hesaplanan F değeri tablo değerinden büyük ise faktörün etkisi yüksektir şeklinde yorumlanır. Yani α anlamlılık seviyesinde sıfır hipotezleri ret edilir.

3.4.2.3 Merkez Noktalarının 2^k Deneysel Tasarımına Eklenmesi

Bu yöntem, 2^k deneysel tasarımına merkez noktaları eklenmesinden ibarettir. Bu merkez noktaları, $x_i=0$ noktasında çalışan n_C kopyalarından oluşur ($i = 1, 2, \dots, k$). Bu merkez noktaları 2^k deneysel tasarımdaki normal etki tahminlerini etkilememektedir (Montgomery 2009).

\bar{y}_F dört faktörlü noktadaki dört yayılımın ortalaması ve \bar{y}_C , merkez noktadaki n_C yayılımın ortalaması olsun. Eğer $\bar{y}_F - \bar{y}_C$ farkı küçükse, o zaman merkez noktaları, faktör noktalarından geçen düzlemin üzerine veya yanına uzanır ve eğrilik olmaz fakat $\bar{y}_F - \bar{y}_C$ farkı büyükse, eğrilik mevcut olur.

Saf karesel eğrilik için kareler toplamı aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$SS_{Saf\ karesel} = \frac{n_F n_C (\bar{y}_F - \bar{y}_C)^2}{n_F + n_C} \quad (3.132)$$

n_F : Faktöriyel diyazn nokta sayısı

Matematiksel model aşağıdaki şekilde oluşur.

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{jj} x_j^2 + hata \quad (3.133)$$

β_{jj} : Saf karesel etki katsayısı

Hipotez testleri aşağıdaki şekilde kurulur.

$$H_0 = \sum_{j=1}^k \beta_{jj} = 0 \quad (3.134)$$

$$H_0 = \sum_{j=1}^k \beta_{jj} \neq 0 \quad (3.135)$$

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kalite kontrol süreci bir işletme üretilen ürünlerin müşteri ve piyasa isteklerini karşıladığının doğrulanması için kritik öneme sahiptir. İşletmelerde ürün kalitesini belirlemek, müşteri ve piyasa isteğinin karşılandığının ortaya konması ve ürün kalitesinin devamlılığı için kalite araçları uygulanmaktadır. Endüstride işletmelerde yaygın kullanılan kalite araçları SPC, Kontrol Çizelgeleri, Histogramlar, Pareto Diyagramları, Sebep-Sonuç Diyagramları vb. tekniklerdir. Tez kapsamında ve endüstride yaygın olarak kullanılan bu teknikler ile ilgili olarak 2009 ve 2019 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmaları içeren literatür özeti aşağıda verilmiştir. Aşağıda verilen literatürlere ilişkin özet tablo EK1’de verilmiştir.

Hengameh ve Ali, (2019), proje süresinin ve maliyetinin eşzamanlı olarak izlenmesi için çok değişkenli istatistiksel kontrol şeması ve işlem kabiliyet endeksleri üzerine çalışma yapmışlardır. Proje yöneticilerinin proje performansını izlemelerine yardımcı olmak için kazanılan değer yönetimi (EVM) endekslerinde eylem sınırlarını belirlemek amacıyla birkaç çalışmada istatistiksel süreç kontrol tekniklerini uygulanmıştır. Bununla birlikte, bu endeksler birbiriyle ilişkilidir, birden fazla değişken söz konusu olduğunda tek değişkenli kontrol çizelgelerine güvenmek ve bunlar birbirleriyle ilişkilendirildiklerinde, yanlış alarmların oranını artırmak gibi tatmin edici olmayan sonuçlara yol açabilir. Bu çalışma, EVM göstergeleri arasındaki olası korelasyonları dikkate almak ve proje performansının tüm kapasitesini daha doğru bir şekilde tanımlamak için çok değişkenli Hotelling T^2 kontrol çizelgesini uygulayarak bu sınırlamanın üstesinden gelmeye yönelik bir yaklaşım sunmuştur. Ayrıca, bir projenin gereksinimlerini ne kadar iyi karşılayabileceğini ölçmek için bazı pratik çok değişkenli süreç yeteneği endeksleri tanıtılmıştır. Bu yaklaşım hem zaman hem de maliyet açısından aynı anda hem planlanan hem de gerçek performans arasındaki sapmalar hakkında daha güvenilir bilgi yönetimi sağlamaktadır.

Robert ve Lauren (2019), test hatalarını sınıflandırılmasına dayanan ikili bir model geliştirmişlerdir. Hataları kritik bir kayma boyutuna bağlı olarak önemli veya önemsiz olarak sınıflandırmışlardır. Kalite kontrol politikalarının duyarlılık, özgüllük, pozitif öngörü değeri (PPV) ve negatif öngörü değeri (NPV) gibi genel doğruluk ölçümleri kullanılarak nasıl analiz edilebileceğini göstermişlerdir. Tasarım

seçimlerinin (kalite kontrol limitleri, tekrar sayısı) bu performans ölçümleri üzerindeki etkilerini birçok farklı bağlamda araştırmışlardır. Sonuç olarak pozitif öngörü değeri (PPV) % 1 ile % 100 arasında değişmektedir. Negatif öngörü değeri (NPV) %40 ile %100 arasında değişkenlik göstermektedir fakat PPV' den daha az hassastır. Kalite kontrol politikalarının düşük öngörülebilir değerlere sahip olduğu birçok durum vardır. Bu gibi durumlarda, kalite kontrol limitlerini veya her kalite kontrol olayındaki tekrar sayısını ayarlayarak performans (PPV, NPV) geliştirilebilir.

Robert ve Lauren (2019), laboratuvar kalite kontrolünün doğruluğunu optimize etmek için bir yöntem geliştirmiştir. Test hatalarını sınıflandırılmasına dayanan ikili bir model geliştirmişlerdir. Hataları kritik bir kayma boyutuna bağlı olarak önemli veya önemsiz olarak sınıflandırmışlardır. Kalite kontrol politikalarının duyarlılık, özgüllük, pozitif öngörü değeri (PPV) ve negatif öngörü değeri (NPV) gibi genel doğruluk ölçümleri kullanılarak nasıl analiz edilebileceğini göstermişlerdir. Kalite kontrol doğruluğunu optimize eden kalite kontrol planını belirlemek için çok çeşitli senaryolarda bilgisayar deneyleri yapılmıştır. Genel olarak, geleneksel kalite kontrol planları (2 veya 3 standart sapma limitine dayanarak), test edilen senaryolarda optimize edilmiş kalite kontrol limitleri kadar yaklaşık %90 oranında doğrudur.

Abdul ve Michael (2019), tek değişkenli ve çok değişkenli varyasyon katsayısının izlenmesi için yeni uyarlanabilir EWMA kontrol çizelgeleri ile ilgili çalışma yapmıştır. Sırasıyla AEWMA CV (coefficient of variation) ve AEWMA MCV (multivariate coefficient of variation) tabloları olarak adlandırılan tek değişkenli ve çok değişkenli normal dağılımlı işlemlerden örnekleme yaparken CV'de ve çok değişkenli CV'de (MCV) nadir görülen değişiklikleri izlemek için iki uyarlamalı EWMA (AEWMA) çizelgesi önerilmektedir. Kapsamlı Monte Carlo simülasyonları ile önerilen kontrol çizelgelerinin çalışma uzunluğu özellikleri hesaplanmıştır. AEWMA CV çizelgesinin, süreç CV' sinde orta ile büyük kaymalar tespit edilirken mevcut en uygun EWMA ve CUSUM CV çizelgelerine göre esasen ve aynı şekilde daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca AEWMA MCV şeması aynı zamanda mevcut Shewhart MCV şemasından önemli ölçüde ve üniform bir şekilde daha iyi performans göstermektedir. Önerilen kontrol çizelgeleri, teoriyi desteklemek için gerçek veri setleri üzerinde uygulanmıştır.

Inez ve Jimoh (2019), tahmini parametrelere dayanarak dağılım için EWMA kontrol tablolarının karşılaştırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Dağılım için üssel olarak ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) çizelgesi, süreç dağılımındaki yapısal değişiklikleri hızlı bir şekilde tespit etmek için tasarlanmıştır. EWMA çizelgesinin dağılım için mevcut çeşitli tasarımları, kullanılan dağılım ölçüsü seçiminde farklılık göstermektedir. Literatürdeki en popüler seçenek, varyans logaritmasıdır. Diğer olasılıklar, örnek varyansı ve örnek standart sapmadır. Pratik uygulamalarda, izleme başlamadan önce çizelgeyi ayarlamak için parametre tahminleri gereklidir. Süreç parametreleri tahmin edildiğinde, performans elde edilen tahminlere bağlıdır. Faz1 tahminlerinin kullanılmasının kontrol çizelgelerinin performansını etkilediği iyi bilinmektedir. Bu makalede Faz1 tahminlerine dayanarak üç EWMA dağılım grafiğini karşılaştırılmıştır. Çeşitli çizelgelerin doğruluğunu hakkında bilgi edinmek için koşullu performansı normal dağılan verilerin yanı sıra normal dağılmayan veriler altında karşılaştırma yapılmıştır. Örneklem varyansına dayalı grafiğin en az normal dağılmış veriler altındaki tahmin hatasından etkilendiği gösterilmiştir. Ayrıca, varyansın logaritmasına dayanan çizelgenin normallik varsayımından sapmalar altında en sabit performansa sahip olduğu gösterilmiştir. Normallik varsayımının tam olarak karşılanıp karşılanmadığına dair pratikte hiçbir zaman emin olunamadığı için, normallik varsayımına en dayanıklı olan tablonun (varyansın logaritmasına dayanan tablonun) pratikte kullanılması gerektiğini savunulmuştur.

Mojtaba ve diğ. (2019), proje yönetiminde kaliteli yatırımın analizinin yapılması için en uygun kontrol modeli üzerine çalışma yapmışlardır. Bu makalede, yatırımın dinamik niteliği proje kalitesine göre modellenmiştir ve optimal kontrol teorisini kullanarak maliyet, zaman ve proje kalitesi arasındaki ilişkiyi formüle edilmiştir. Model, GIS adı verilen proje ve köprü inşaatı projesi olmak üzere iki projeye uygulanmaktadır. Sonuçlar, kaliteli yatırım stratejisinin, üçüncü bir tarafa düşük kaliteli teslimatların dış kaynak kullanımı gibi diğer stratejileri geride bıraktığını göstermektedir. Dahası, kaliteye yapılan yatırım, ilk projede kalite kaybını azaltmak için tek strateji olarak kabul edilir. Önerilen modeldeki uygun oran ve yatırım süresi, yeniden işleme maliyeti, yatırım maliyeti ve paranın zaman değeri arasında bir denge yapılarak belirlenmiştir. Son olarak, parametrelerin en uygun yatırım yolu üzerindeki etkilerini göstermek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi, köprü inşaatı projesinin kalite seviyesinin esnekliğine, iş paketinin

başlangıcındaki kalite seviyesine ve yeniden işleme maliyet parametrelerine karşı duyarlı olduğunu göstermektedir. Yeniden işleme maliyeti aynı zamanda GIS projesinde en hassas parametreler olarak belirlenmiştir.

Adamastor ve diğ. (2018), farmasötik ürünlerin incelemesinde çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolünü ele almıştır. Bu çalışmada çok değişkenli istatistik süreç kontrol yöntemi kullanılarak yıllık ürün incelemesi yapılmıştır. Pernambuco (Brezilya) İlaç Laboratuvarı'nda 2009-2013 yılları arasında üretilen 25 mg Hidroklorotiazit tabletin periyodik olarak değerlendirilmesinde çok değişkenli kontrol çizelgeleri kullanılmıştır. Bu yöntem üretim sürecinde sapmaların izlenmesine ve teşhis edilmesine imkân sağlamıştır. 2011 yılında süreçlerde düzeltici faaliyetlerde bulunulmuştur ve alınan aksiyonların etkinliğini değerlendirmek için bir yöntem uygulanmıştır. Çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol ile ilaç endüstrisi yasal gerekliliklerine göre yıllık ürün incelemesi yapmak mümkün olmuştur.

Mourtzis ve diğ. (2018), lazer süreç kalite kontrolü için endüstriyel ürün-hizmet sistemi yaklaşımı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Lazer makinesi operatörü ile bir lazer makine tedarikçisi arasında lazer süreç kalite kontrolünde (LPQC) iki yönlü bir etkileşim için bir çerçeve önerilmiştir. Önerilen çerçeve, lazer tedarikçilerine iş modellerini hizmet vermeye kaydırmaları için bir temel oluşturmaktadır. Lazerle kesme makinesinden ve LPQC başlıklı hizmetten oluşan bir ürünle birlikte verilen endüstriyel ürün servis sistemi ile bir vaka çalışması sunulmaktadır.

Sanchez ve diğ. (2018), çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol ve zaman serisi modelleme yöntemi ile hata tespiti ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, zaman serisi modellerine ve istatistiksel süreç kontrolüne dayalı olarak hata tespiti için yeni bir yöntem tanıtılmıştır. Tanıtılan bu yöntem açık bir şekilde sistemin hem dinamik hem de doğrusal olmayan özelliklerini açıklamaktadır. Her değişken için otomatik ve çapraz korelasyonları karakterize ederek dinamik ilişkileri yorumlamak için bir dinamik özellik seçimi ile sistem yürütülmektedir. Sürecin en iyi tanımlayıcı modelini (doğrusal ya da doğrusal olmayan) elde etmek ve doğrulamak için zaman serisi tabanlı bir model çerçeve kullanılmıştır. Hata tespiti, tek değişkenli ve çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol çizelgeleri ile modellerden elde edilen sinyallerde oluşan anormalliklerin bulunmasına dayanmaktadır. Son olarak, uygulanan yöntemin performansı bir atık su arıtma tesisi ve Tennessee Eastman Fabrikası olmak üzere iki

ölçüt üzerinde doğrulanmıştır. Diğer klasik yöntemlerle yeni geliştirilen bu yöntem karşılaştırıldığında önerilen izleme planının performansı ve uygulanabilirliğini açık ara fark ile öne çıkmıştır.

Allison ve diğ. (2018), zaman serisi veri doğrulama için yeni ve erişilebilir bir yaklaşım sunmuştur. Bu yaklaşımı Neredeyse Gerçek Zamanlı Otonom Kalite Kontrol (NRAQC) sistemi olarak tanımlamışlardır. Bu yazılımın tasarımı, uygulaması ve etkileri bu makalede ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çevre bilimcileri ile yakın bir konferansta oluşturulan bu yazılım sistemi, yüksek hacimli web uygulamaları için kullanılan ve akış sensör verileri ile veri kalitesi kontrolü sorununa çağdaş bir çözüm geliştirmek için kullanılan mikro hizmet tasarım modellerinden yararlanmaktadır. NRAQC ve GCE Toolbox arasındaki karşılaştırmalı bir analizle, QC yazılımının web tabanlı dağıtımının, ham ölçümlerden sağlam ve kullanışlı bir veri ürünü yapmak için gereken önemli araçlara erişilebilirliği artırdığı iddia edilmektedir. Ek olarak, NRAQC platformunun önemli bir yeniliği, modern veri yönetimi uygulamaları ve kalite verilerinin yayılması üzerindeki olumlu etkisi olduğu belirtilmektedir.

Jin ve Liu (2017), değişken örnekleme aralığı ile çok değişkenli parametrik olmayan, üssel olarak ağırlıklı hareketli ortalamaya sahip kontrol çizelgeleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Birçok çalışmada çok değişkenli parametrik olmayan kontrol grafikleri tartışılmıştır. Bununla birlikte, önerilen çok değişkenli parametrik olmayan kontrol çizelgelerinin genellikle katı gereksinimleri vardır. Mahalanobis derinliğine dayanan çok değişkenli işlemler için bir kontrol çizelgesi hazırlanmıştır. Özellikle, her çok değişkenli ölçümü tek değişkenli bir endekse düşürmek için Mahalanobis derinliği kavramını kullanılmıştır. Ayrıca parametreler için en uygun stratejiler de tartışılmıştır. Bu çizelge uyarlanabilir bir çizelgedir ve değişken bir örnekleme aralığına sahiptir. Bir simülasyon çalışması, önerilen grafiğin çeşitli büyüklükteki kaymaların tespitinde etkili olduğunu göstermektedir. Önerilen kontrol çizelgesini tanıtmak için bir çakıl verisi ve bir şarap kalitesi tespit örneği verilmiştir.

Sergio ve diğ. (2017), süreç iyileştirme için SPC ve kalite araçlarının uygulanması üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, ürün kalitesini artırmak için kaliteli araçların uygulanması ile ilgili bir vaka çalışması sunmaktadır. Zamanla artan ve yüksek uygunsuzluk yüzdesine sahip bir bileşen nesne çalışma olarak seçilmiştir. Seri üretimden önce, ön üretimde istatistiksel süreç kontrolü (SPC) yapılmıştır ve

işlemin yapılabilirdiği sonucuna varılmıştır. Üretim sırasında daha fazla SPC yapılmamıştır. Arızalı birimler artan seviyelerde tespit edildikten sonra, işlem değişkenliğinin arttığı ve işlemin artık mümkün olmadığı anlaşılmıştır. Çalışma, süreç iyileştirme faaliyetlerinin geliştirilmesi ile sona ermektedir.

Barbosa ve diğ. (2017), lastik üretimi sürecinde kalite problemlerini çözmek için çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, Portekiz'deki Continental lastik fabrikasında, APEX makinelerinin üretim sürecine ilişkin olarak, performanslarını ve ürün kalite oranlarını iyileştirme hedefiyle gerçekleştirilmiştir. Hata oluşumunun olası ana nedenleri tespit edilmiştir ve APEX üretim sürecinin işleyişini arttırmaya yönelik öneriler de yapılmıştır. Altı Sigma uygulanarak, üretim kalitesini etkileyen değişkenler tespit edilmiştir. DMAIC döngüsü (Tanımla, Ölç, Analiz Et, Geliştir ve Kontrol) süreç analizinde uygulanmıştır, yapılandırılmış bir analiz sağlanmıştır ve çalışılan süreci olumsuz yönde etkileyen farklı nedenlerin tanımlanması ve sonuç olarak iyileştirme fırsatlarının tanımlanmasına olanak vermiştir. DMAIC metodu yardımıyla, ürün kalite oranı ve süreç kontrol ve stabilizasyonunda iyileştirmeler elde etmek için bir dizi deney geliştirilmiştir.

Kharbach ve diğ. (2017), ürün kalitesinin değerlendirmesinde çok değişkenli istatistiksel süreç kontrolü ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada bir yıl boyunca Fas'ta üretilen altı aktif bileşen içeren 164 partinin toplandığı yıllık ürün inceleme değerlendirmesi ile ilgilenilmiştir. Her parti, altı aktif bileşenin, Avrupa Pharmacopoeia monograflarına göre yüksek performanslı sıvı kromatografisi ile denemesi suretiyle kontrol edilmiştir. Veri matrisi hem SPC hem de MSPC (çok değişkenli süreç kontrol) tarafından değerlendirilmiştir. SPC, tüm partilerin kontrol altında olduğunu belirtirken, Temel Bileşen Analizine (PCA) dayalı MSPC, otomatik ölçeklendirilmiş veya sağlam ölçeklendirilmiş veriler için, Hotelling T^2 diyagramı kullanılmıştır. Ayrıca, sürecin yeterliliğinde bir geliştirme yapılmıştır. MSPC, bir süreçte verilerin yıllık değerlendirmesi sırasında üretim sürecindeki değişikliklerin izlenmesi için kullanılabilir.

Bellec ve diğ. (2017), hastalara özgü filmlerin analizinde istatistiksel süreç kontrol çalışması yapmışlardır. İstatistiksel süreç kontrolü kullanarak ardışık 350 film tabanlı hastaya özgü DQA (teslimat kalite güvencesi) değerlendirilmiştir. DQA geçerliliği için ulaşılabilir tolerans kriterleri önermek için sürecin performansını

değerlendirilmiştir, kontrol çizelgeleri kullanarak düşük kaliteli DQA belirlemeye çalışılmıştır. Her parametre bir kontrol çizelgesi çizilmiştir ve kontrol limitleri hesaplanmıştır. Sürecin spesifikasyonlar içinde sonuç üretme yeteneğini değerlendirmek için bir yetenek endeksi (Cpm) hesaplanmıştır. Filme dayalı bir hastaya özgü DQA protokolünün kontrol tablolarının kullanımıyla uygulanmasının, CyberKnife'da hasta tedavi güvenliğini arttırmada etkili bir yöntem olduğunu gösterilmiştir.

Andrade ve diğ. (2017), fotovoltaik güneş enerjisi ile mikro yağmurlama sulamanın istikrarının değerlendirilmesinde istatistiksel kalite kontrol üzerine çalışma yapmıştır. Bu çalışmanın amacı, fotovoltaik sistem ile su pompalamalı, bir mikro-yağmurlama sulama sistemini, eşitlik katsayıları ve sistem tarafından üretilen toplam enerjiyi kullanarak istatistiksel kalite kontrolünü kullanarak, Shewhart kontrol çizelgelerini karşılaştırarak, üstel ağırlıklı hareketli ortalamayı kullanarak değerlendirmektir. EWMA, CUSUM ve işlem yeteneği endeksini kullanarak işlemleri sınıflandırılmıştır. Çalışmada, laboratuvarında iki farklı sistemle, enerji depolaması olan ve olmayan olarak geliştirilmiştir. Bu sistemlerin her biri için, testler sırasında sabit basınç, gerilim ve akım ölçümleriyle 25 test yapılmıştır. Kullanılan istatistiksel kalite kontrol teknikleri, sulama testlerinin üretilen enerji parametreleri ve homojenliğe bağlı olarak değişkenliğini belirlemek için yeterli olmuştur.

Grieco ve diğ. (2017), farklı sayıda ve gözlemlenen noktaların yer aldığı serbest formlu profillerin istatistiksel olarak izlenmesi için parametrik olmayan kontrol tablolarına ile ilgili çalışma yapmışlardır. Önerilen yöntem, izlenen profilin şeklinin görüntülerden çıkarılmasını ve referans olarak alınan temel modelle karşılaştırılmasını içermektedir. İzlenen profilin sapma alanının temel modelden sapmasının hesaplanmasından oluşan yeni bir tutarsızlık ölçütü önerilmiştir. Tek değişkenli ve çok değişkenli istatistiklere dayanan iki kontrol çizelgesi prosedürü bilgisayar simülasyonları aracılığıyla gösterilmekte ve doğrulanmaktadır.

Chen ve diğ. (2017), süreç takibi için yeni bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. İstatistiksel kalite kontrolündeki geleneksel yöntemler, ürünün temel özelliklerine odaklanır ve görüntüleme akışlarındaki spatiotemporal kalıpları modelleme yeteneği ile sınırlıdır. Bu makale, yüksek boyutlu görüntüleme akışlarının izlenmesi ve kontrolü

için dinamik bir ağ yöntemi sunmaktadır. Geliştirilen yöntem, biyo-ürünlerin sentezi sırasında canlı hücrelerin süreç takibi için uygulanmakta ve değerlendirilmektedir.

Pacella ve diğ. (2017), serbest biçimli profillerin, istatistiksel izlenmesi için parametrik olmayan yaklaşımlar önermişlerdir. Profil izleme son zamanlarda istatistiksel süreç kontrolünde en umut verici araştırma alanlarından biri olarak kabul edilmiştir. Genellikle, fiziksel profiller makine görme sistemleri tarafından alındığında, argüman değişkenlerinin sayısı ve konumları bir öğeden diğerine değişebilir. Bu çalışmada kontrol çizelgeleri kullanılmıştır, simüle edilmiş test durumları ve gerçek hayattaki endüstriyel ilişki durumu ile doğrulanmıştır.

Zhu ve diğ. (2017), kanonik korelasyon analizi (CCA) ile ilgili çalışma yapmışlardır. Kanonik korelasyon analizi iki değişken grubu arasındaki çok boyutlu korelasyon yapısını gösteren ve iyi bilinen bir veri analiz tekniğidir. CCA, kalite ve süreç verileri arasındaki korelasyonu en üst düzeye çıkarmaya odaklanır ve bu da gizli boyutların verimli kullanılmasına yol açar. Bununla birlikte, CCA, verilerdeki varyansın veya büyüklüklerin büyüklüğünden yararlanmaya odaklanmamakta, bu da kalite ve süreç izlemede nadiren kullanılmasına neden olmaktadır. CCA' nın bu eksikliğini üstesinden gelmek için, işlem değişkenleri ve kalite değişkenleri arasındaki korelasyonu ortaya çıkarmak için düzenli hale getirilmiş ve değiştirilmiş bir CCA yöntemi geliştirilmiştir. Daha sonra, CCA' nın sadece korelasyona odaklandığı, ancak varyans bilgisini görmezden geldiği konusunu ele almak için, sürece özgü ve kaliteye özgü alanlardaki varyans ve kovaryanstan yararlanmak için düzenli hale getirilmiş, yeni bir eşzamanlı CCA (CCCA) modelleme yöntemi önerilmiştir. CCCA yöntemi, CCA' nın, kalite ve süreç izlemesi için varyans yapısını takip eden, kaliteyi tahmin etmedeki müteakip temel bileşen parçalarını kullanarak verimini korur. Karşılık gelen izleme istatistikleri ve kontrol sınırları daha sonra ayrışan alt alanlarda geliştirilir. Sayısal simülasyon örnekleri ve Tennessee Eastman işlemi, CCCA tabanlı izleme yönteminin etkinliğini göstermek için kullanılmıştır.

Pál ve diğ. (2017), kaplamalı kâğıt katlamanın görüntü işlemeye dayalı kalite kontrolü üzerinde çalışma yapmıştır. Katlama işleminin üretim verimliliği otomatik bilgisayarlı görüş tabanlı bir denetim sistemi ile geliştirilebilir. Böyle bir görev için, mevcut bilgisayar destekli farklı kat çatlağı değerlendirme yaklaşımları analiz edilmiştir. Optimum örnek hazırlama ve dijitalleştirme teknikleri bulmak ve dijital

görüntü analizi ve özellik çıkarımı için bir algoritma geliştirmek suretiyle görüntü işleme tabanlı kat çatlama değerlendirme önermek için ayrıntılı bir araştırma yapılmıştır. Farklı örnek hazırlama ve sayısallaştırma parametrelerinin uygulanabilirliği ve önerilen dijital görüntü özelliğinin analizi, korelasyon değerlendirme, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testleriyle yapılmıştır.

Ignatio ve Charles (2016), gelişmekte olan bir ülkede imalat sanayiinde istatistiksel süreç kontrolünün uygulanması ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu çalışma, kalite ve maliyet etkinliğini arttırmak için geniş bir ürün yelpazesini geliştirmek amacıyla üretim sistemlerinde istatistiksel süreç kontrol aracını incelemeye odaklanmıştır. SPC uygulaması, literatürdeki eksikliklerin giderilmesine yönelik bir girişimi temsil etmektedir. Sorunların erken tespiti ve önlenmesi üzerinde durularak, SPC' nin son ürünün incelenmesi gibi kalite yöntemlerine göre belirgin bir avantaja sahip olduğu gösterilmiştir. Ölçüm cihazlarını ve makineleri kontrol etmek ve hatalı makineler kaliteli ürünler üretmediğinden bazı bakım veya revizyon işlerine duyulan ihtiyacı belirlemek gerekmektedir. İlerlemeyi gözden geçirme ve sonucu izleme sistemi, finansal sonuçlara verilen önceliğe göre gerçekleştirilmelidir.

Tarjuelo ve diğ. (2016), iyon odasının stabilitesi ile ilgili istatistiksel süreç analiz çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada I-MR kontrol çizelgelerinin çizilmiştir, kontrol dışı gözlemler izlenmiştir, süreç yeterlilik endeksi (C_p) hesaplanmıştır ve şartnamelere uygunluğun tahmin edilmesini içeren SPC yöntemini takip eden veriler analiz edilmiştir. Birinci aşamada, en dengesiz odanın, $\pm\%1$ spesifikasyon seviyesinde $0,9 C_p$ 'ye sahip FC-65P olduğu, PPC40 odasının ise maksimum $1,3 C_p$ 'ye kadar kararlı olduğu analiz edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler, iyonizasyon odalarının kararlı olmadığı sonucuna yönelmiştir.

Halimlim ve JijuAntonya (2016), gıda endüstrisinde istatistiksel süreç kontrol uygulamaları ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu makalede SPC hazırlığının gıda endüstrisinde uygulanmasına yönelik önemini vurgulamakta ve faktörlerini belirlemektedir. SPC hazırlık faktörleri, mevcut literatür taramasına dayanarak tanımlanmış ve SPC uzmanlarını (akademisyenler, endüstri ve danışmanlar) içeren üç aşamalı bir Delphi çalışması ile tamamlanmıştır. Geliştirilen kavramsal öz değerlendirme aracı, şirketlerin SPC' yi işlerinde benimsemeleri için stratejik değişiklikler ve hazırlık faaliyetlerini planlamalarını sağlamıştır.

Jarvis (2016), mikrobiyoloji alanında istatistiksel süreç kontrol yöntemlerinin kullanılması ile ilgili çalışma yapmıştır. İstatistiksel süreç kontrolü (SPC), endüstriyel performansın iyileştirilmesi ve işleme sırasında alınan numunelerden elde edilen sonuçların grafiksel olarak izlenmesi kontrolü ile geliştirilmiş bir sistemdir. İstatistiksel süreç kontrol, kalite kontrol süreci gerçekleşmeden önce sürecin kontrolden çıkıp çıkmadığını belirtmektedir. Bir mikrobiyoloji laboratuvarında çalışma standardını izlemek ve ürünlerin bozulma nedenlerinin değerlendirilmesi gibi sorunların geriye dönük analizi yapmak için SPC sistemleri kullanılmıştır. Geleneksel ortalama ve aralık çizelgeleri, kümülatif toplam (CUSUM) çizelgeleri, CUSUM sinyal çizelgeleri, “sebeup ve sonuç” diyagramlarının kullanımı açıklanmıştır. SPC çizelgelerinin nasıl hazırlandığını ve kullanılabileceğini göstermek için çok sayıda örnek kullanılmıştır.

Kang ve diğ. (2016), zamanla değişen ve çok modlu süreçler için uyarlanabilir parametrik olmayan kontrol şemaları üzerinde çalışma yapmışlardır. Değişkenliği azaltarak ve hataları önleyerek süreçleri iyileştirmek için çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Modern imalatta, işlemlerin karmaşıklığı ve değişkenliği nedeniyle, Hotelling’in T^2 gibi geleneksel çok değişkenli kontrol çizelgeleri, doğrusal olmayan, çok modlu ve zamana göre değişken durumlar olduğunda sürecin analizini verimli bir şekilde gerçekleştirememektedir. Bu çalışmada, zamanla değişen ve çok modlu süreçleri uyarlamalı olarak izleyebilen parametrik olmayan bir kontrol çizelgesi önerilmiştir. Önerilen yöntem simüle edilmiş ve gerçek işlem verileriyle yapılan deneyler, uygulanan yöntemin etkinliğini ve doğruluğunu göstermektedir.

Cohen ve diğ. (2016), deney tasarımı ve istatistiksel süreç kontrolünün wavelets analizi kullanılarak değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu makalede wavelets analizi ve istatistiksel süreç kontrolü arasında üç yeni bağlantı önerilmiştir. İlk olarak, Haar wavelets kullanan ayrık wavelets dönüşümünün $Xbar-R$ kontrol programına eşdeğer olduğunu gösterilmiştir. Diğer wavelets ailelerini kullanan wavelets katsayılarının dağılımına ilişkin sonuçlar sunulmuştur ve daha sonra sürecin değişkenliğini izlemek için DeWave adlı yeni bir kontrol çizelgesi önerilmiştir. İkinci olarak, olabilirlik oranı ile sürekli wavelets dönüşümü arasındaki eşitlik, değişim zamanını tahmin etme açısından sunulmuştur. Son olarak, Ayrık wavelets

dönüşümünün tam faktörlü deney tasarımının eşdeğer bir temsili olduğunu gösterilmiştir.

Pavol (2015), sürekli kalite iyileştirmeyi için istatistiksel süreç kontrol araçlarının uygulanmasıyla ilgili konuları ele almıştır. Bu kalite araçlarının avantajı hatalardan ve düşük kaliteden kaynaklanan işlemlerde doğal olmayan değişkenliğe neden olan işlemlerin etkilerini belirleyebilmeleridir. Histogram, kontrol diyagramları, DMAIC yöntemi (**D**efine, **M**esasure, **A**nalyze, **I**mprove, **C**ontrol) gibi araçları, süreçlerdeki anormal değişkenliği güvenilir bir şekilde belirleyebilmektedir ve böylece kalitenin iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Histogramlar ve Shewhart kontrol çizelgeleri aracılığıyla sürecin sistemik etkileri ve dolayısıyla süreçlerde doğal olmayan değişkenlikler sebebi ile uygunsuzluğa sebep olan durumlar tespit edilmiştir. Sonuçlar DMAIC yöntemi ile kalitenin sistematik olarak geliştirilebileceğini göstermektedir. Histogramlar, izlenen kalite özelliklerinin normal dağılıma katkısını gösterirken, Shewhart kontrol çizelgeleri sürecin kontrol altında olup olmadığını göstermektedir. DMAIC yönteminin yanı sıra diğer istatistiksel kalite araçlarının kullanılması, sürekli kalite iyileştirmenin bir yoludur.

Michael ve diğ. (2015), üretim süreçlerinin otomatik kalite kontrolü için yeni bir istatistiksel yaklaşım üzerinde çalışma yapmışlardır. Otomatik kalite kontrol endüstriyel bakım için kilit noktadır. Üretim süreçlerinde normal davranıştan sapmalar, ilgili sürecin parametreleri izlenerek teşhis edilir. Önceki yaklaşımlar “normalliği” belirli bir sistem parametresi için istatistiksel dağılımlar olarak tanımlar ve hipotez testi ile normalden sapmaları tespit eder. Bu makale üretim kalitesi için yeni bir metot olan Bayesian Posteriors Güncellenmiş Sıralı ve Hiyerarşik (BPUSH) yöntemi tanıtmaktadır. Bu yaklaşım önceki yöntemlere göre düşük hesaplama maliyet ve düşük yanlış alarm oranlarıyla (~% 0,1) hatalı parçaların güvenilir bir şekilde tespit edilmesini konusunda daha iyi bir performans sergilemektedir. Son olarak, bu makale, BPUSH için numune büyüklüğü gereksinimlerinin, diğer kalite kontrol yöntemlerine göre tipik boyutların çok altına düştüğünü ve $n = 25$ örnekler kullanarak Gerçek Pozitif Oranlar (%99) elde edildiğini göstermiştir.

Shih ve Wang (2015), kusurlu bir işlem için genişletilmiş bir kalite kontrol politikası ile en uygun üretim süresinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Bu makalede üretim sisteminin kontrol içi bir durumdan, kontrol dışı bir duruma kadar

rastgele bozulmaya maruz kaldığı ve işlemin sonuna kadar geçen sürenin rastgele bozulmaya maruz kaldığı en uygun üretim çalışma süresinin belirlenmesi için genişletilmiş bir kalite kontrol politikası önerilmiştir. Belirli bir üretim süreci boyunca kaliteye bağlı maliyeti en aza indirmek için, ürün incelemesi, onarımı ve kurtarılması için kalite kontrol politikası titizlikle geliştirilmiştir. Denetim veya tam denetim olmak üzere en sık kullanılan iki denetim politikası için koşullar araştırılmıştır. Önerilen kalite kontrol politikasında kurulum, envanter tutma, süreç bakımı ve kalite kontrol maliyetlerini içeren üretim döngüsü başına ürün başına beklenen toplam maliyeti en aza indirerek, en uygun üretim çalışma uzunluğu yer almaktadır. Önerilen üretim kalite kontrol modelinin optimum üretim akış uzunluğunu belirlemek için kullanılması, ürün başına daha düşük maliyetle sonuçlandığı örneklerle sunulmuştur.

Alvarez ve diğ. (2015), standart sapmanın çeşitli tahmin edicilerinin, süreç yeterlilik endeksi üzerindeki etkisi üzerine çalışma yapmışlardır. Uygulamada, standart sapma bilinmemektedir ve süreç yeterlilik endeksi, süreç standart sapmasının bir tahmincisi kullanılarak tahmin edilmektedir. Bu makalede, süreç standart sapmasının en yaygın tahmin edicileri ve süreç yeterliliği endekse karşılık gelen tahmin edicileri tanımlanmaktadır. Süreç yeterlilik endeksinin çeşitli tahmin edicilerin deneysel performansını analiz etmek için Monte Carlo simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, özellikle küçük örneklerin varlığında önyargıların alınabileceğini göstermektedir. Ayrıca, örnek aralıklarına göre süreç yeterlilik endeksinin tahmin edicilerinin alternatif tahmin edicilerden daha az doğru olduğunu gözlemlenmektedir.

Nedeliaková ve Panák (2015), süreç odaklı kalite kontrol üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu makale, tüm taşıma zinciri çerçevesinde süreç kalitesine odaklanmıştır. Çeşitli uygun yazılım türleri kullanarak demiryolu şirketlerine uygulanan süreç kalitesinin izlenmesinde en yeni yaklaşım açıklanmıştır. Kaliteyi sadece taşımacılığın başlamasından önce ve sırasında değil, aynı zamanda taşımacılığın sona ermesinden sonra tanımlamak için çalışmalar yapılmıştır.

Tarjuelo ve diğ. (2015), elektron ışınmasını izlemek için istatistiksel süreç kontrol üzerinde çalışmışlardır. Tüm elektronlar için linac ışın kalibrasyonu, simetri günlük kayıtları tutulmuştur. Ocak 2008-Aralık 2013 arasında istatistiksel kalite kontrolün, bu konuda nasıl uygulanabileceğini ve gelecekte hangi özelliklerin

kullanılabileceğini araştırılmıştır. Parametrelerin kontrol altında tutulması için tasarlanan bir dizi ayarlama müdahalesi ile simülasyon yapılmıştır. İstatistiksel kalite kontrol elektron ışını izleme sisteminin doğal değişkenliğini değerlendirmek için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır, fakat cihazdan doğrudan geri bildirim oluşturma yöntemi tasarlanmadığı sürece bu pratik bir yöntem değildir.

Hofer ve Bach (2015), demiryolu balastının (yolda esnekliği sağlayan taşlar) sürekli kalite kontrolünü istatistiksel izlemek için çalışma yapmışlardır. Demiryolu balastı için mevcut kalite kontrol yöntemleri, manuel malzeme denetimlerine dayandığından zor ve pahalıdır. Bu nedenle, test aralıkları tipik olarak oldukça geniştir. Sonuç olarak, kısa ve orta vadeli balast kalitesindeki dalgalanmalar tespit edilemeyebilir. Bu da tahribat sebebiyle yapılan bakım çalışmaları ile artan maliyetlerle sonuçlanır. Test aralıklarını kısaltmak ve sürekli kalite kontrolüne izin vermek amacıyla, demiryolu balastı için yeni bir istatistiksel izleme sistemi önerilmiştir. Geleneksel test yöntemlerini, yenilikçi bir ölçüm cihazı olan Petroscope 4D ile birleştirilmiştir. Bu cihaz, geometrik parametreleri doğrudan geleneksel testlerden üstün bir şekilde ölçmektedir. Mekanik özellikler, geometrik ve spektrografik özelliklere göre istatistiksel olarak tahmin edilmektedir. Otomatik ölçümler ve istatistiksel tahminler, manuel ölçümlerin ve manuel testlerin yerine geçtiği için bu prosedür, sanal testler olarak adlandırılır. Yüksek bir tahmin performansını garanti etmek için, günlük üretimden numunelerin önerilen istatistiksel yöntemlerle izlenmesi yenilik içermektedir. Önerilen istatistiksel izleme yönteminin daha iyi bir balast kalitesi vermesi ve balast yaşam döngüsü maliyetlerini düşürmesi beklenmektedir.

Joekes ve diğ. (2015), yüksek kaliteli süreçlerde küçük numuneler durumunda uygun olmayan oran için çift örnekleme kontrol çizelgesinin genişletilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Üretim süreçleri yüksek kalite standartlarına ulaştığında yüksek kaliteli süreçler olarak bilinir. Bu durumda, uygun olmayan ürünleri izlemek için kullanılan geleneksel p grafikler (3 sigma limitlerine dayanarak), yanlış alarm riskinin aşırı olması nedeniyle p 'deki değişiklikleri tespit etmede ciddi dezavantajlara sahiptir. Önceki bir makalede, yazarlar bu durumlarda olağan p çizelgesine göre büyük bir gelişme sağlayan yeni bir p çizelgesi göstermişlerdir. Bu makalede ise küçük numuneler için uygulanabilirliğini arttırmak amacıyla, büyük numuneler için

literatürde sunulan uyumsuzluk oranını izlemek için bir çift örnekleme (Double Sampling) kontrol çizelgesinin yeni bir düzeltilmiş versiyonunu önerilmektedir. Bu prosedür, örnekleme arttırmadan, önceki tablolara göre (ortalama çalışma uzunluğu açısından) daha iyi istatistiksel verimlilik sunmaktadır. DS parametrelerinin seçiminde yardımcı olacak tablolar sağlanmıştır. Bir DS grafiğinin düzeltilmiş versiyonunun yüksek kaliteli süreçleri izlemek için sağladığı faydalar gerçek verilerle gösterilmiştir.

Deng ve diğ. (2014), tek vidalı bir ekstruderin harcadığı enerjinin izlenmesi ve kalite kontrolü üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu makalede, güç sayaçları kurmaya veya veri odaklı modeller geliştirmeye gerek kalmadan yeni gerçek zamanlı enerji izleme yöntemleri tanıtılmıştır. Süreç ayarlarının enerji verimliliği ve eriyik kalitesi üzerindeki etkileri, gelişmiş izleme yöntemlerine dayanılarak incelenmiştir. Yüksek erime kalitesi elde etmek amacıyla, tek bir vidalı ekstruder için bulanık bir mantık denetleyicisi geliştirilmiştir. Geliştirilen kontrol cihazının sonuçta ortaya çıkan performansı, pahalı dişli pompasına tatminkâr bir alternatif olduğunu gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımın etkinliğini doğrulamak için açık döngü kontrolü ve tek vidalı ekstruderdeki bulanık kontrolden elde edilen deneysel çalışma yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

Bettayeb ve diğ. (2014) aşırı hurda üretimini önlemek için kalite kontrol planlaması ile ilgili çalışma yapmıştır. Bu makalede, büyük parçaların oluşmasını önlemek için karmaşık kesikli üretim işlemlerinin kalite kontrol planlaması için risk temelli bir yaklaşım sunulmaktadır. Muayene kapasitesi sınırlaması ve riske maruz kalma hedeflerine tabi kalite kontrol planını optimize etmek için analitik bir model geliştirilmiştir. Sorun daha sonra kısıtlı bir kapasite tahsisat problemi olarak formüle edilmiştir. Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan ana gelişme, kalite kontrol tahsisi modelinin ve fazla miktarda hurda üretiminin önlenmesi için anlaşılabilir bir algoritma önerisidir. Potansiyel kayıplarda üç kat azalma olduğu görülmüştür.

Dupont ve diğ. (2014), vajinal doğum sonrası ciddi kanama (PPH) sıklığı eğilimlerini tanımlamak için istatistiksel süreç kontrol tablolarını kullanarak çalışma yapmışlardır. Rhône-Alpes bölgesindeki bir Fransız doğum biriminde gözlemsel, betimsel bir çalışma yapılmıştır. Vajinal doğum sonrası şiddetli tüm doğum sonrası kanama vakalarını analiz etmek ve istatistiksel işlem kontrol araçlarıyla bakım kalitesi hakkında geri bildirim sağlamak için üç ayda bir klinik denetim toplantıları yapılmıştır.

Vajinal doğum sonrası şiddetli PPH sıklığı kontrol çizelgesi ile üç aylık takip edilmiştir. 2005 ve 2012 yılları arasındaki değişkenlerin farklılıklar test edilmiştir. 2005'ten 2012'ye kadar doğum sonrası kanama sıklığı, %1,2'den %0,6'ya kadar önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. 2010'dan bu yana, üç aylık şiddetli kanama sıklığı oranı üst kontrol sınırlarını aşmamıştır, yani istatistiksel kontrol içindedir. Sürekli kalite iyileştirme çabalarının uygulanması yedi yıl önce başlamış ve diğer araçların yanı sıra istatistiksel süreç kontrol tablolarında kullanılmıştır. Bu dönemde vajinal doğum sonrası kanama sıklığı %50 oranında azaltılmıştır.

Masood ve diğ. (2014), iki aşamalı akıllı izleme programı kullanarak iki değişkenli kalite kontrol ile ilgili çalışma yapmıştır. İmalat endüstrilerinde, süreç çeşitliliğinin düşük kaliteli ürünlerin ana kaynağı olduğu iyi bilinmektedir. Bu nedenle, sürekli kalite iyileştirme için değişimin izlenmesi ve teşhisi çok önemlidir. İki korelasyonlu değişken (iki değişkenli) içerdiğinde bu daha zor hale gelir, böylece istatistiksel süreç kontrol şemasının seçimi daha kritik hale gelir. Bununla birlikte, iki değişkenli kalite kontrolüne (BQC) yönelik mevcut olan geleneksel SPC programları, yanlış alarmdan, yani dengesiz izleme performansından kaçınmak için sınırlı kapasiteye sahip doğal olmayan varyasyonların hızlı bir şekilde tespit edilmesi için tasarlanmıştır. Diğer bir konu ise, doğal olmayan varyasyonun kaynağını belirleme konusundaki zorluktur, yani özellikle küçük değişimlerle uğraşırken, tanı eksikliğidir. Bu çalışmada dengeli izleme ve doğru tanı konmasına yönelik bir şema araştırılmıştır. Tasarım düşüncesi, ham verilere ve istatistiksel özelliklere dayalı girdi gösterimini, sinerjik modele dayalı yapay sinir ağı tanıyıcı tasarımını ve iki aşamalı tekniğe dayanan izleme, tanı yaklaşımını seçmek için kapsamlı simülasyon deneyleri içermektedir.

Skulj ve diğ. (2013), hizmet olarak istatistiksel süreç kontrolü üzerine çalışma yapmışlardır. Güçlü operasyon desteği, modern üretim organizasyonlarının rekabetçi başarısı için anahtar gereksinimlerden biridir. İmalat işlemlerinin ve ürünlerin izlenmesi ve kontrolünde istatistiksel yöntemlerin kullanılması SPC' nin güçlü yönüdür. Ancak, SPC' nin uygulanması belli miktarda istatistiksel bilgi ve anlayış gerektirir. Bu büyük şirketler için bir sorun olmasa da (örneğin otomotiv sektöründe), küçük şirketler gerekli bilgileri kurum içinde sağlayamazlar. Bu makalede web servisleri gibi modern bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı ile dış kaynak

kullanımının sağlandığı SPC için hizmet odaklı bir yaklaşım önerilmiştir. Bir servis yaklaşımı olarak bu istatistiksel süreç kontrolü, endüstriyel bir vaka çalışması ile gösterilmekte ve tartışılmaktadır.

Bersimis ve diğ. (2013), yüksek kaliteli süreçleri izlemek ve kontrol etmek için bir bileşik kontrol şeması üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu makalede, yüksek kaliteli süreçleri izlemek için yeni bir kontrol şeması önerilmiştir. Daha özel olarak, $(i-1)$ ile uygun olmayan (i) arasında gözlenen uygun birim sayısı ve $(i-2)$ ile uygun olmayan (i) arasında gözlenen uygun birim sayısına dayanan bir bileşik kuraldan yararlanarak, kontrol dışı durumları izlemeyi önermektedir. Önerilen kontrol çizelgesinin çoğu durumda rakiplerinden daha iyi (veya en azından eşdeğer) bir performans sergilediğini göstermektedir.

Bramwell (2013), araştırma proteomiklerinde istatistiksel süreç kontrolü ile ilgili bir çalışma yapmıştır. İstatistiksel süreç kontrolü, proteomik araştırma iş akışlarını araştırmak ve geliştirmek için güçlü bir araçtır. Her deneyici, kendi ölçüm sistemlerinin mevcut yeteneklerini bilmeli ve bu performansı takip etmek için nesnel bir araca sahip olmalıdır. Proteomik analiz çalışması, akışları karmaşık ve çok değişkenlidir. Kalite kontrol, klinik kimya ölçümleri için kritik öneme sahiptir ve klinik biyokimya laboratuvarlarındaki sonuçların kalitesini ve geçerliliğini sağlamak için büyük adımlar atılmıştır. Bu çalışma, kullanımlarını tekli analitik kalite kontrolden çoklu analitik sistemlerdeki uygulamalara köprü olmak için bazı kalite kontrol konseptleri ve çalışmalarını tanıtılmaktadır.

Joekes ve Barbosa (2013), yüksek kalite süreçlerde uygunsuzlukların kontrol çizelgeleri ile izlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Geleneksel olarak, uygunsuzluk oranlarının incelenmesi, normal yaklaşımla oluşturulan geleneksel 3-sigma p kontrol şeması (Shewhart) kullanılarak yapılmıştır. Ancak, uygunsuzluk oranı düşük olduğunda bu p grafikleri modelleme sürecinde ve kontrol limitlerinde yanlış sonuçlar vermektedir. Bu makale, p-grafiğin kontrol sınırlarında yapılan basit ayarlamalar ile hala orijinal veri ölçeğinde çalışırken eşit veya daha iyi bir gelişme elde etmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Özellikle, öznelilikler için olağan p grafiklerine göre büyük bir gelişme sağlayabilen gelişmiş bir p grafiği sunulmuştur. Cornish-Fisher nicel düzeltilmesini temel alan bu yeni çizelge, literatürde önerilen daha basit bir düzeltilmeden daha iyidir. Geliştirilmiş p grafiği hem normal tabanlı şema hem de bir p

terimiyle değiştirilmiş p grafiği ile karşılaştırılmıştır ve yüksek kaliteli süreçlerin izlenmesi için yeni bir düzeltme terimini dâhil etmenin faydaları gerçek verilerle gösterilmiştir.

Jozsef ve Blaga (2012), kalite araçlarının insan kaynaklarında uygulanması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Üretim sonuçlarını iyileştirmek için, üretim kapasitesini, üretilen ürünlerin hacmini, bitmemiş ve bitmiş ürünlerin kalitesini artırmak için çeşitli teknikler, yöntemler veya araçlar uygulanabilir. Bu yöntemlerin çoğu teknolojik süreçlere, üretim makina ve ekipmanlarına ve daha az insan kaynağına odaklanmıştır. Bu makale, üretim kapasitesinin artırılması, doğrudan satış ekibinin bir sonucu olarak doğrudan üst düzey personel aracılığıyla olumlu sonuçlar elde etmek için kalite araçlarının ve insan kaynakları yönetiminin ortak kullanımını için stratejiyi sunmayı amaçlamaktadır.

Hajji ve diğ. (2012), çok rnl güvenilmez üretim sistemlerinde üretim ve kalite kontrolü ile ilgili çalışma yapmışlardır. Karar verici, birim zaman kr başına uzun vadeli ortalamayı en üst seviyeye çıkarmak için üretim ve kalite politikası arasında en iyi uzlaşmayı yapmalıdır. Bu uzlaşma, üretim ve kalite karar vermesini düzenleyen politikaların çelişkili olabilei göz önüne alınmalıdır. Aslında, sıkı işlem spesifikasyonları genellikle iyi kalitede ve daha yüksek piyasa değerlerine sahip ürünlere yol açacak, ancak aynı zamanda daha yüksek kaliteli olmayan maliyetlere ve daha düşük tesis üretkenliğine yol açan daha uygun olmayan parça reddetme oranıyla ilişkili olacaktır. Makine arızalarından kaynaklanan gelecekteki kapasite eksikliklerinden korunmak için, karar vericinin müşteri talebini karşılamak ve ortaya çıkan toplam maliyeti en aza indirmek için yeterli bir üretim politikası benimsemesi gerekir. Bu makalede, problem, en uygun kontrol teorisi, simülasyon modellemesi ve tepki yüzeyi metodolojisine dayanan kombine bir yaklaşımla dinamik stokastik bir bağlamda ele alınmaktadır. Elde edilen sonuçlar umut vericidir ve ele alınan ortak politika altındaki krn, üretim ve kalite stratejilerine kıyasla %7'ye kadar iyileştirildiğini göstermektedir.

Able ve diğ. (2012), istatistiksel süreç kontrolünün, yüksek doz oranlı (HDR) brakiterapi tedavisi uygulama sisteminin doğru çalışmasını değerlendirmek için uygun bir teknik olup olmadığı ile ilgili çalışma yapmışlardır. Doğru şekilde verilen 16 tedaviden 160 ölçüm sonucunda dört yanlış pozitif tespit edilmiştir. SPC ile sonuçlar

analiz edilmiştir. SPC, HDR tedavisi sunumunun kalitesini değerlendirmek için uygun bir yöntem olduğu tespit edilmiştir. Tedavi sunum doğruluğunun tekrarlanabilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için, en etkili doz örneklemesini belirlemek için daha fazla geliştirme gerekli olduğunu belirtilmiştir.

Albers ve diğ. (2012), yüksek kaliteli süreçler için kontrol çizelgeleri ile ilgili çalışma yapmıştır. Çok küçük uygunsuzluk oranlarına sahip nitelik verileri için, bazı $r \geq 1$ için izleyen r arıza süresi gruplarına dayanan kontrol çizelgeleri hazırlanmıştır. Bu ailede, böyle bir grubun maksimum değeri yeterince küçük olduğunda bir kere durmanın cazip olduğu görülmüştür, çünkü bu seçim çok tatmin edici bir parametrik olmayan adaptasyona izin vermektedir. Burada ele alınan soru, toplu bir yaklaşımın daha da fazla gelişme sağlayıp sağlamadığıdır. Bunu görmek için çalışmalar yapılmıştır.

Vega ve diğ. (2012), elektron ışınlarında spektral kalite indeksinin istatistiksel kontrolü ile ilgili çalışma yapmışlardır. CUSUM algoritmik ve hareketli menzil çizelgeleri kullanılarak 13 yıldan daha uzun bir süre boyunca kaydedilen verilerin retrospektif bir analizi yapılmıştır. Daha büyük belirsizliklerin ölçüm cihazından ve gözlemciden geldiği saptanmıştır. Temelde geometri ayarına bağlı olan istatistiksel kontrol değişkeninin ölçülmesindeki belirsizlik, içsel değişkenliğine karşı önemsizdir. Algoritmik CUSUM çizelgeleri elektron ışınlarının güzel bir şekilde izlenmesini sağlamıştır.

Kim ve diğ. (2012), çok değişkenli ve otomatik ilişkili işlemler için veri madenciliği modeline dayalı kontrol çizelgeleri ile ilgili çalışma yapmışlardır. Geleneksel SPC araçları, küçük bir miktar bağımsız veri üreten basit üretim işlemlerinde etkili olsa da, bu araçlar, modern sistemlerde bulunan çok değişkenli ve otomatik olarak ilişkilendirilmiş büyük veri akışlarını işleme kapasitesine sahip değildir. SPC yönteminin sınırlamaları, daha karmaşık süreçler karşısında giderek daha belirgin hale geldiğinden, veri madenciliği algoritmaları, büyük miktarlarda verileri etkin bir şekilde analiz etme ve yönetme yetenekleri nedeniyle, SPC'yi zorlayan sorunları çözme potansiyeline sahiptir. Bu çalışmada, çok değişkenli ve otomatik olarak ilişkili süreçlerde etkin izleme sağlamak için son teknoloji veri madenciliği algoritmalarını SPC teknikleriyle bütünleştirmeye çalışılmıştır. Veri madenciliği algoritmaları yapay sinir ağlarını, vektör regresyonunu ve çok değişkenli

ayarlanabilir regresyon sınırlarını içermektedir. Veri madenciliği modellerinin kalıntıları, işlem ortalamasını izlemek için çok değişkenli kümülatif toplam kontrol çizelgeleri oluşturmak için kullanılmıştır. Simülasyon sonucu, çeşitli senaryolardan elde edilen veri madenciliği modeli tabanlı kontrol grafiklerinin geleneksel zaman serisi model tabanlı kontrol grafiklerinden daha iyi performans gösterdiğini göstermiştir.

Frauke ve diğ. (2011), makarna üretimi sırasında kurutma aşamasının süreç kontrolü için kullanılan optik çevrimiçi ölçüm tekniği ile ilgili çalışma yapmıştır. Makalede, makarna plakalarının kurutma işlemini kontrol etmek için bulanık bir sistemin geliştirilmesine odaklanılmıştır. Temel olarak araştırma, bir iklim test odasında uygulanan uygun bir çevrimiçi ölçüm kurulumunun geliştirilmesine yol açmıştır. Burada ilgili ürün bilgisi, işlem sırasında makarnanın nem içeriği, rengi ve yüzey sıcaklığı elde edilmektedir. Seçilen bu üç parametre, hızlı veri toplama özelliğine sahip optik non-invaziv bir yaklaşımla ölçülmektedir. Makarnanın su içeriğinin değerleriyle sonuçlanan spektroskopik yaklaşıma atıfta bulunmak için gravimetrik ölçümlere ek olarak, bir makarnanın enine kesitindeki nem dağılımı hakkında bilgi edinmek için manyetik rezonans görüntüleme kullanılmıştır. Diğer ürün özellikleriyle birlikte, ürünün kalitesi değerlendirilmiştir ve ürün durumunu, kurutucudaki uygun kurutma parametre sıcaklığı ve nemi ile ilişkilendirerek durumsal ve ayarlanmış bir kontrol stratejisi belirleyen bulanık bir mantık sisteminde kullanılmıştır.

Albers (2011), yüksek kaliteli süreçler için deneysel parametrik olmayan kontrol çizelgeleri ile ilgili çalışma yapmıştır. Yüksek kalite süreçlerde uygunsuzluk oranı çok küçüktür. Söz konusu küçük olasılıklar nedeniyle, bu grafikler tahmin etkilerine karşı çok hassastır. Bu, özellikle altta yatan başarısızlık oranı değişiyorsa ve dolayısıyla ilgili dağılımlar geometrik değilse geçerlidir. Böyle bir durum parametrik olmayan bir yaklaşımı gerektirir, ancak bu uygulamada tipik olarak mevcut olandan çok daha fazla gözlem gerektirebilir. Bu makalede, toplamda değil, her bir büyüklük grubunun maksimumuna bakarak bu engelin nasıl etkili bir şekilde üstesinden gelinebileceği gösterilmiştir.

Bergh ve Yianatos (2011), flotasyon süreçlerinin çok değişkenli prediktif kontrolü ile ilgili çalışma yapmıştır. Flotasyon süreçleri çok karmaşıktır ve yüz yıldan

daha uzun bir süre içinde, flotasyon ünitelerinin, devrelerin ve küresel tesislerin izlenmesi ve kontrolünde yeni tekniklerin uygulamaları hakkında çok az rapor vardır. Öte yandan, çok değişkenli öngörülse kontrolün diğere işlemler üzerinde başarılı bir şekilde uygulanması iyi bilinmektedir. Bu makalede, anahtar değişkenlerin ölçümlerinin kalitesinin ve genel gerçekçi dinamik modellerin eksikliğinin, flotasyon sürecinin özelliklerinin, öngörülse kontrolün uygun kullanımını nasıl geciktirdiğinin analizi yapılmıştır. Bu bağlamda, çevrimiçi tanılama ile hata tespiti için işletim verileri ve nedensel modeller oluşturmak arasındaki ilişkiyi modellemek için temel bileşen analizi gibi çok değişkenli istatistiklerin uygulamaları tartışılmaktadır. Ayrıca kısmi en küçük kareler modellerinin kontrol amaçlı hedef değişkenleri tahmin etmek için kullanımını sunulmuştur.

Heij (2011), pediatrik cerrah alanında kalite kontrol ve iyileştirme ile ilgili çalışma yapmıştır. Pediatrik cerrah, kalite yönetiminin kontrolünde olmalıdır. Kaliteyi artırarak, sağlık hizmetlerine duyulan güven yenilenebilir. Kalite, minimum değişkenlik hedefi ile tanımlanır. Bu hedefleri değerlendirmek adına, yedi yeni doğan durumu için Hollanda'daki Çocuk Cerrahlar Derneği tarafından performans göstergeleri geliştirilmiştir. Walter Shewhart'ın kontrol çizelgesi yöntemini kullanarak özel neden ve genel neden varyasyonu olarak ayırt edilebilir. Bu makalede bu alanda geliştirilen ve Hollanda'da devam eden çeşitli etkinlikler sunulmaktadır.

Ko ve diğ. (2011), yarı iletken üretiminde süreç kontrol ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu makale, işlem hatasını en aza indirmek ve yarı iletken üretimindeki işlem farkını azaltmak için etkili bir kontrol yöntemi önermektedir. Süreç bozukluklarını hızlı bir şekilde tespit edip tanımlayarak ve süreç kontrolüne değişiklik derecesini doğru şekilde yansıtarak süreç varyansını azaltmak için etkili bir süreç kontrol yöntemi önermektedir. Tespit edilen değişikliklere bağlı olarak süreç kontrolünü ayarlanmaktadır. Bu araştırmada, yarı iletken üretim şirketi, daha kesin olan ve aynı kalitede ürünler üreterek dalgalanmaları azaltan kontrolün gerçekleştirilmesi için desteklenmiştir. Ek olarak, yarı iletken üretiminin kalite teşviki ve arttırılmış süreç kontrolü nedeniyle verime katkıda bulunulmuştur.

Mehrafrooz ve Noorossana (2011), istatistiksel süreç kontrol ve bakımına dayalı entegre bir model üzerinde çalışma yapmışlardır. Üretim sistemlerinin kalitesi ve bakımı arasındaki yakın ilişkiyi, SPC ve bakım kavramını kullanan entegre

modellerin geliştirilmesine katkıda bulunulmuştur. Bu tür modeller sadece ürün kalitesinin iyileştirilmesine yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda bakım maliyetlerini de düşürürler. Bu makalede aynı anda arıza ve planlı bakımı düşünen entegre bir model sunulmaktadır. Zaman birimi başına ortalama maliyeti hesaplamak için yeni bir prosedür de sunulmuştur. Son olarak, model parametrelerinin hassasiyetini değerlendirmek ve geliştirilen modelin performansını planlı bir bakım modeliyle karşılaştırmak için sayısal bir örnek kullanılmıştır. Sonuçlar, geliştirilen model için tatmin edici bir performans göstermektedir.

Aebtarm ve Bouguila (2010), yüksek kaliteli üretim süreçlerini kontrol etmek için en uygun iki değişkenli Poisson şemaları ile ilgili çalışma yapmışlardır. Shewhart c kontrol grafikleri, verilen bir işlemdeki hata sayısını izlemek için yaygın olarak kabul edilen bir kontrol şemasıdır. Bu kontrol grafiği, normal yaklaşımlara dayanmaktadır. Bununla birlikte, normal varsayım, çoğu durumda, özellikle sayı verileri için pratik değildir. Bu varsayım, değişkenler arasında korelasyon olduğunda daha da güçlenir. Bu makalede hem endüstriyel hem de endüstriyel olmayan amaçlar için sayım verilerinin iki korelasyonlu özelliğini izlemek için en uygun iki değişkenli Poisson alan çizelgesini önerilmiştir. Önerilen algoritmanın performansı hem gerçek durum çalışması hem de simülasyonlar kullanılarak sunulmuştur. Deneysel sonuçlar, görselleştirme ve yanlış alarm oranı ile ilgili gelişmiş bir performans göstermektedir.

Albers (2010), yüksek kaliteli süreçleri izlemek için en uygun negatif binom grafiği ile ilgili çalışma yapmıştır. Yüksek kaliteli süreçler için iyi kontrol çizelgeleri genellikle başarısızlıklar arasındaki başarıların sayısına dayanmaktadır. Geometrik çizelgeler bu açıdan en basit olanıdır, ancak mod olarak artan başarısızlık oranlarını tanımakta yavaşlardır. İyileştirme, $r > 1$ arıza oluşana kadar bekleyerek, yani negatif binom çizelgeleri kullanarak başarılabilir. Bu makalede, bu çizelgeler biraz detaylı olarak analiz edilmiştir. Adil bir karşılaştırmaya dayanarak, optimal r 'nin p artış derecesine bağlı olduğunu gösterilmiştir. Uygulamada p genellikle bilinmeyeceğinden, grafiklerin tahmini versiyonunu da analiz edilmiştir. Özellikle, bu tahmin adımının uygun olmayan etkilerini kontrol etmek için basit düzeltmeler türetilmiştir.

Carnero ve diğ. (2010), vibrasyon analizinde istatistiksel analiz üzerinde çalışma yapmışlardır. Bu makalenin amacı, tezgâhlardaki istatistiksel prensipleri

kullanarak rulmanların kalitesini etkileyen taşlama işlemi değişkenlerini belirlemektir. Ayrıca, bitmiş parçaların kalite sonuçları farklı süreç değişkenlerinin kombinasyonları altında değerlendirilmiştir. Bu makale, öğütme çarkı ile parçalar arasındaki temas sırasında kendiliğinden oluşan titreşimlerin analizi yoluyla ürünlerin kalitesini tahmin etmek için temelleri kurmayı amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşmak için, süreç değişkenlerinin farklı kombinasyonları altındaki toplam kendi kendine indüklenen titreşim okumaları, istatistiksel araçlar kullanılarak analiz etmektedir. Değişkenler arasındaki tüm potansiyel etkileşimleri göz önüne alınarak klasik bir yaklaşımı izlenmektedir. Normallik ve eş varyanslık kriterlerini karşılayan veri kümeleri için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Bu makalede ki-kare, Shapiro-Wilks, simetri, Kurtoz, Cochran, Hartlett ve Hartley ve Krushal – Wallis gibi sonuçları desteklemek için farklı istatistiksel araçlar kullanılmaktadır.

Nezhad ve Niaki (2010), tek değişkenli istatistiksel kalite kontrol çizelgeleri için yeni bir izleme tasarımı geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, tek değişkenli kalite kontrol sistemlerinin durumlarını analiz etmek ve sınıflandırmak için yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Bunu yapmak için önce bir önlem (işlemin kontrol altında olduğu inancı olarak adlandırılır) tanımlanmıştır ve daha sonra göz önünde bulundurulmuş kalite karakteristiğine ilişkin yeni gözlemler olarak inancı güncellemek için bir denklem geliştirilmiştir. Bu denklem, üst ve alt kontrol limitlerinin dışına çıktığında kontrol dışı bir alarmın alınacağı şekilde türetilmiştir. Önerilen yöntemi anlamak ve performansını değerlendirmek için bazı sayısal örnekler simülasyon yoluyla sağlanmıştır. Bu örneklerde, önerilen yöntemin kontrol dışı ve kontrol dışı ortalama çalışma uzunlukları (ARL), farklı senaryolarda, uygun EWMA, Shewhart EWMA, GEWMA, GLR ve CUSUM yöntemlerinin karşılık gelen ARL' leriyle karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen yöntemin incelenen tüm senaryoları için diğer tablolardan daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Laursena ve diğ. (2010), kromatografik saflığın kemometrik kalite kontrolü ile ilgili çalışma yapmışlardır. Kromatogramın görsel olarak incelenmesiyle birleştirilen tepe entegrasyonunun kalitesini değerlendirmek için farmasötik imalat işlemlerinin kromatografik saflık analizi yaygın bir uygulamadır. Bu geleneksel görsel kromatografik karşılaştırma yöntemi basittir, ancak çok öznel, zahmetli ve nadiren çok niceldir. Yüksek saflıktaki ilaçlar için, herhangi bir yabancı maddeye kıyasla aşırı

miktarda mevcut olan hedef bileşik ile birlikte ortaya çıkan bilinmeyen bir safsızlığın meydana geldiğini tespit etmek özellikle zordur. Bunun, temel bileşen analizi (PCA) modellenmesine dayanan Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrolü (MSPC) ile gerçekleştirilebileceğini düşünülmektedir. Kromatogramlar, çeşitli çözünürlüklerde simüle edilmiş %0,1 safsızlıklar eklenerek normal operasyon şartlarında MSPC tabloları ile izlenmiştir. Bu çalışma, kromatografik saflık analizine uygulanan temel bileşen analizine dayanan MSPC' nin, kromatografik düzendeki ince değişiklikleri izlemek için incelikte sapan kromatogramların net teşhisini sağlayan güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

Chang ve diğ. (2009), dilimleme makinesini hassasiyet ve su kalitesi açısından değerlendirmek için analitik ağ süreci karar verme sürecinde, kontrol çizelgelerini kullanarak çalışma yapmışlardır. Analitik ağ süreci (ANP) çerçevesinde, 12 silikon gofret dilimleme tahminini yapmak için üretim kalitesi verim modelini tartışıp geliştirilmiştir. EWMA kontrol çizelgesinin ve süreç yeterlilik endekslerinin sonuçları, önerilen ANP tabanlı algoritmanın değerlendirme sonuçlarını etkin bir şekilde seçmede ve optimum performans gösteren makinelerin hassasiyetini değerlendirmede uygulanabilirliğini göstermektedir. ANP modelinin, karar vericinin üretim süreci verimini hızlı ve etkin bir şekilde bulmasını sağlamak için nasıl uyguladığı gösterilmektedir.

Colledani ve Tolio (2009), istatistiksel süreç kontrolü çevrimdışı muayene ile izlenen üretim sistemlerinin performansının değerlendirmesi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu makale, istatistiksel süreç kontrol (SPC) tekniklerinin uygulandığı üretim sistemlerinin performansını değerlendirmek için yeni bir analitik yöntem önermektedir. Makine davranışı, üretilen parçaların kalite özelliklerinin çevrimdışı inceleme cihazları ve örnekleme muayenesi ile ölçülerek izlenmektedir. Sayısal sonuçlar, önerilen yöntemin doğruluğunu göstermektedir, iki alan arasındaki ilişkiler de yeni bir bakış açısı sağlamaktadır ve üretim lojistiği ile kalite kontrol sistemlerinin ortak tasarımını önermektedir.

Eppe ve Pauw (2009), dioksinlerin kalite kontrol verilerindeki kalite belirsizliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili çalışma yapmışlardır. Bu makalede, gıdadaki dioksinlerin ve dioksin benzeri PCB analizlerinin izlenmesi için iç kalite kontrol prosedürlerinin iyileştirilmesi amacıyla çok değişkenli ve çok seviyeli

kalite kontrol çizelgelerinin uygulanması açıklanmaktadır. Değişkenlerin tek değişkenli kontrol çizelgelerinde ayrı ayrı izlenmesi, yanlış alarm oranının artması nedeniyle yanlıcıdır. Değişkeni üç alt gruba bölerek, T^2 tablosunda üç değişkenin aynı anda kontrol edilmesi önerilmektedir. Kalite kontrol çizelgesi parametrelerini güvenilir bir şekilde tahmin etmek için gereken minimum çalışma sayısını tartışılmıştır. Standart sapmaların ve korelasyon katsayılarının düzgün bir şekilde karakterize edilmesi için çok seviyeli kontrol tablolarındaki verilerin kullanılması önerilmektedir. Dahası, tek değişkenli kontrol çizelgesi, üssel ağırlıklı hareketli ortalama (EWMA) tekniği kullanılarak sistematik hataları tespit etmek için hassaslaştırılabilir. EWMA şeması, yöntem yanlılığını kontrol etmek ve trend analizini desteklemek için uygun kriterleri belirleme konusunda ek bir kılavuz sunmaktadır. Son olarak, doğruluk profilini geriye dönük bir şekilde oluşturulan kalite kontrol verileriyle hesaplayarak ölçüm belirsizliği tahmini sunulmaktadır.

Lyu ve Chen (2009), çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol için otomatik görsel muayene sistemi ile ilgili çalışma yapmışlardır. İki veya daha fazla kaliteye bağlı süreç özelliğinin eşzamanlı olarak izlenmesini veya kontrol edilmesini gerektiren ve çevrimiçi kalite kontrolünün uygun olduğu birçok senaryo bulunmaktadır. Bu kalite özelliklerinin otomatik ve eş zamanlı olarak izlenmesi kalite yönetimi için çok önemlidir. Bu makalede, otomatik bir görsel muayene sistemi tasarlamak için görüntü işleme teknolojilerine ve çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol şemasına yer verilmektedir. Bu şekilde geliştirilen uzman sistemin, çeşitli kalite değişkenlerinin incelenmesine dayanan kararları artırabildiği söylenmektedir ve seri üretim ortamında uygulanması kolaydır.

Makis (2009), sonlu bir üretim için çok değişkenli Bayesian süreç kontrolü ile ilgili çalışma yapmışlardır. Hotelling'in T^2 , EWMA ve CUSUM çizelgeleri gibi çeşitli kontrol çizelgeleri, çok değişkenli kalite kontrolü için geliştirilmiştir. Bu makalede, gözlemlerin rastgele değişkenlerin bağımsız, normal dağılımlı vektörlerinin değerleri olduğu varsayımı altında sonlu bir üretim için çok değişkenli bir Bayesian işlem ortalama kontrol problemi olarak ele alınmıştır. Standart işletme ve maliyet varsayımları altında kontrol limit politikasının uygun olduğu kanıtlanmıştır.

5. UYGULAMA

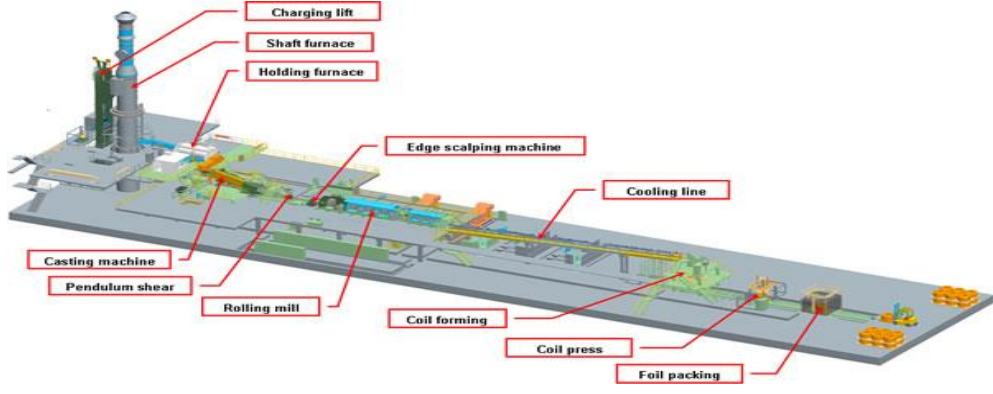
Bu tez çalışmasında, iletken sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede, kalitenin iyileştirilme amacıyla istatistiksel süreç kontrol çalışmaları yürütülmüştür.

Öncelikle sürecin mevcut durum analizi yapılmıştır. I-MR kontrol çizelgeleri, histogram diyagramları, korelasyon, pareto grafikleri çizilmiştir ve sürecin yeterlilik endeksi hesaplanmıştır. Hedeflenen süreç yeterliğine erişebilmek için iyileştirme çalışmalarına başlanmıştır. Beyin fırtınası ve balık kılıcı gibi kalite araçları kullanılarak kök neden analizi yapılmıştır. Sürecin yeterliliğinin düşmesine sebep olduğu düşünülen kök nedenlere odaklanılmıştır ve süreç iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Süreç iyileştirme çalışmaları için gerçekleştirilen iki deneme de başarısız olmuştur. Çoklu regresyon analizi yapılarak süreçte etkili olduğu düşünülen girdiler tekrar analiz edilmiştir. Regresyon analizinin sonucuna göre deney tasarımları geliştirilmiş ve tekrar ilişki denklemi kurumuştur. Tüm bu analizler Minitab programı aracılığı ile yapılmıştır. Hedef süreç yeterliliğine ulaşabilmek için deney tasarımlarından elde edilen parametreler ile kontrollü üretimler yapılmıştır. Bahsedilen bu çalışmalar ve çalışmanın yapıldığı işletmenin üretim süreçleri hakkında detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

5.1 Bakır Tel Üretim Süreçleri

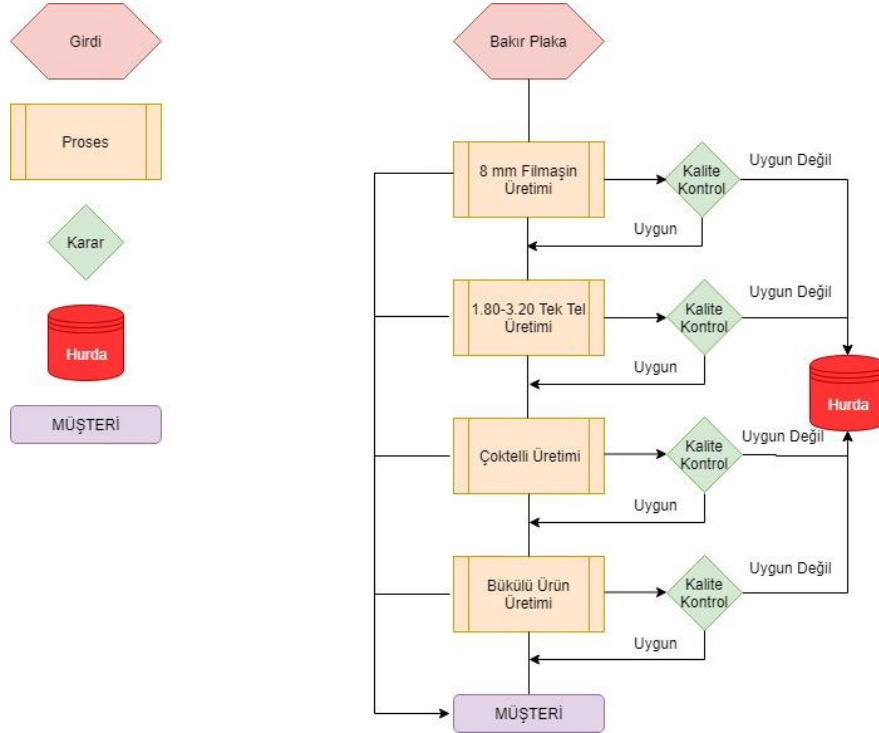
Uygulamanın yapıldığı işletme döküm aşamasından başlayarak müşteri talepleri doğrultusunda bakır tel üretimi yapmaktadır.

8 mm çapında bakır filmaşın üretimi Contirod sürekli döküm makinesinde gerçekleştirilmektedir. Bu döküm yönteminde elektroliz tekniği ile elde edilmiş bakır plakalar şaft fırınında ergitilir. Ergimiş bakır döküm makinesinde katı bara şeklini alır. Daha sonra sıcak haddeleme bölümünde bakır bara haddelenerek 8 mm filmaşın haline getirilir. Sıcak olan 8 mm bakır filmaşın soğutma hattında geçirilir ve sarıcı yardımıyla paletlere sarılarak üretimi tamamlanır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Contirod sürekli döküm tesisinin şematik gösterimi

8 mm çapındaki bakır filmaşın tel çekme makinesinde soğuk haddeleme tekniği ile 1.80-3.20 mm aralığında belirlenen tek tel çapında üretilir. 1.80-3.20 mm aralığındaki tek teller çok telli makinesinde daha ince çapa çekilir ve çok sayıda tel bir araya getirilerek sarıncı aracılığı ile makaralara üretilir. İnce çaptaki çoktelli ürünler büküm makinesinde müşterinin istediği kombinasyonda ve tel kesit yapısında bir araya getirilerek bükülü ürün üretimi tamamlanmış olur. Üretim sürecinde takip edilen akış Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2: Süreç akış şeması

5.2 Kontrol Süreçleri

Üretimde sürecinde girdiden çıktı ürüne kadar her aşamada kalite kontrol süreçleri uygulanmaktadır. Üretilen 8 mm filmaşın, tek tel, çoktelli ve bükülü ürünler üzerinde yapılan kalite kontrol testleri aşağıda listelenmiştir.

- Elektriksel direnç ölçümü,
- Birim ağırlık ölçümü,
- Elektriksel iletkenlik hesabı,
- Çekme dayanım testi,
- Oksijen miktarı ölçümü,
- Elementel analiz,
- Tel çapı ölçümü,

Tez çalışması kapsamında üretilen bükülü telin kalitesinin belirleyen ve müşterilerin özel isteklerine göre şekillenen en önemli üç özellik olan direnç, birim ağırlık ve tel çapı kontrol süreçleri üzerinde çalışma yapılmıştır.

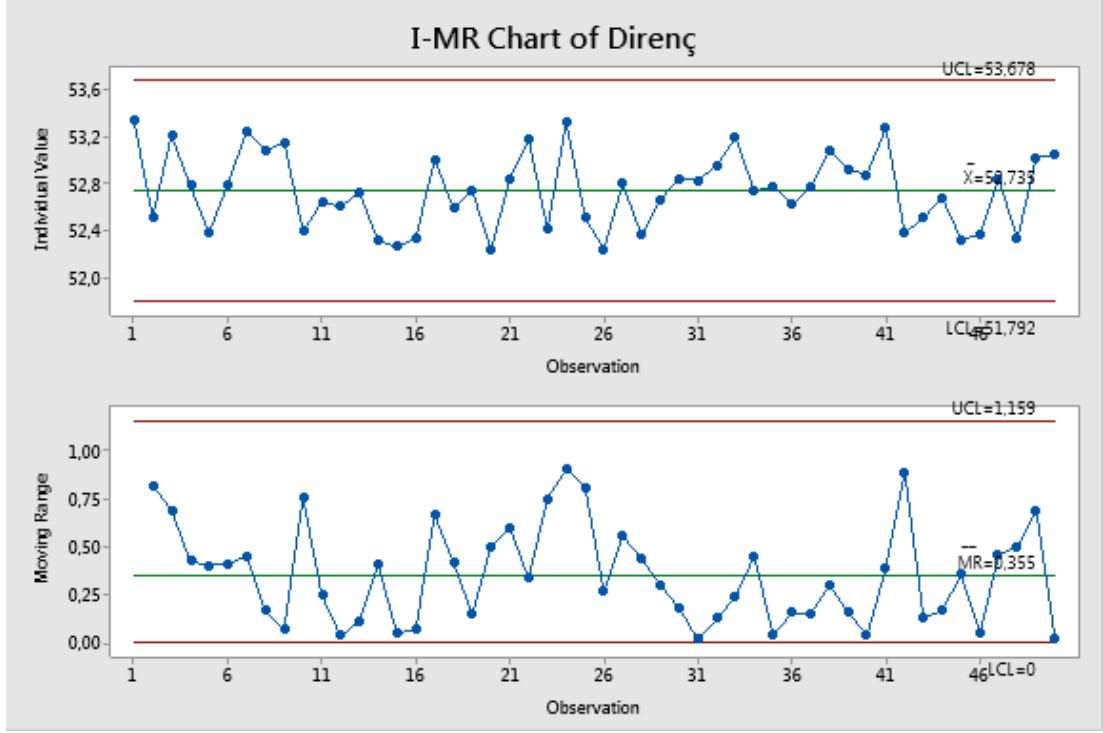
5.3 Mevcut Durum Analizi

Müşteri talebi olan direnç karakteristiği için 1,33'ün üstünde süreç yeterliliğini (Cpk) yakalamak için öncelikle daha önce müşteriye sevk edilen ürünlerin direnç sonuçlarının analizi yapılmıştır. Kalite iyileştirme çalışmasına başlamadan önce örneklem olarak seçilen, son iki sevkiyattaki ürünler için mevcut durum analizi yapılmıştır.

Her iki sevkiyat için de öncelikle sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bu sevkiyatlara ait veriler Ek 2 ve Ek 3'te yer almaktadır.

5.3.1 I. Sevkiyata Ait Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi

Öncelikle kontrol çizelgelerinden yararlanılmıştır. Alt gruplama yapılmadığı için I-MR kontrol çizelgesi çizilmiştir.

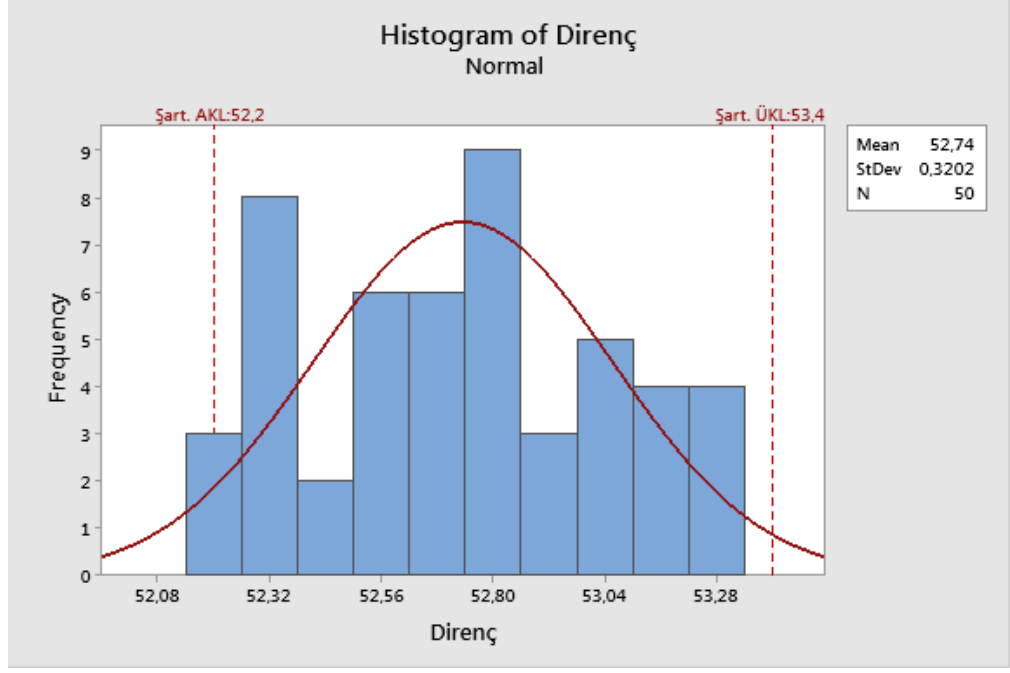


Şekil 5.3: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi (I. sevkiyat)

Şekil 5.3'te görülen kontrol çizelgesinde öncelikle R çizelgesi yorumlanmıştır. R çizelgesi, sürecin kararlılığını göstermektedir. Kararlı olmayan bir sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılmaz.

- I- MR çizelgelerinde veriler üst ve alt kontrol limitlerinin arasında dağılım göstermelidir, aksi takdirde süreç kontrol altında değildir yorumu yapılır. I ve MR çizelgesinde üst ve alt kontrol limitlerinin dışında olan herhangi bir nokta bulunmamaktadır.
- Ardışık olarak gelen dokuz noktadan fazlası ortalama çizginin altında veya üstünde ise sürecin kontrol altında olmadığı yorumu yapılır. İki çizelgede de bu kurala aykırı bir durum gözlemlenmemiştir. Bu da sürecin kontrol altında olduğunu göstermektedir.

Sürece ait histogram grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.4: Direnç karakteristiği için histogram grafiği (I. seviyat)

Şekil 5.4'te gösterilen histogram grafiğinde üst ve alt limitler arasında genişleyen bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu grafikteki verilerin ortalama etrafında daha dar bir alanda dağılım göstermesi beklenirken veriler daha geniş bir alanda dağılım göstermiştir.

Bir malzemenin direnci, malzemenin öz direncine, uzunluğuna ve kesit alanına bağlıdır. Direnci matematiksel olarak aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz.

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (5.1)$$

R : direnç,

ρ : malzemenin öz direnci

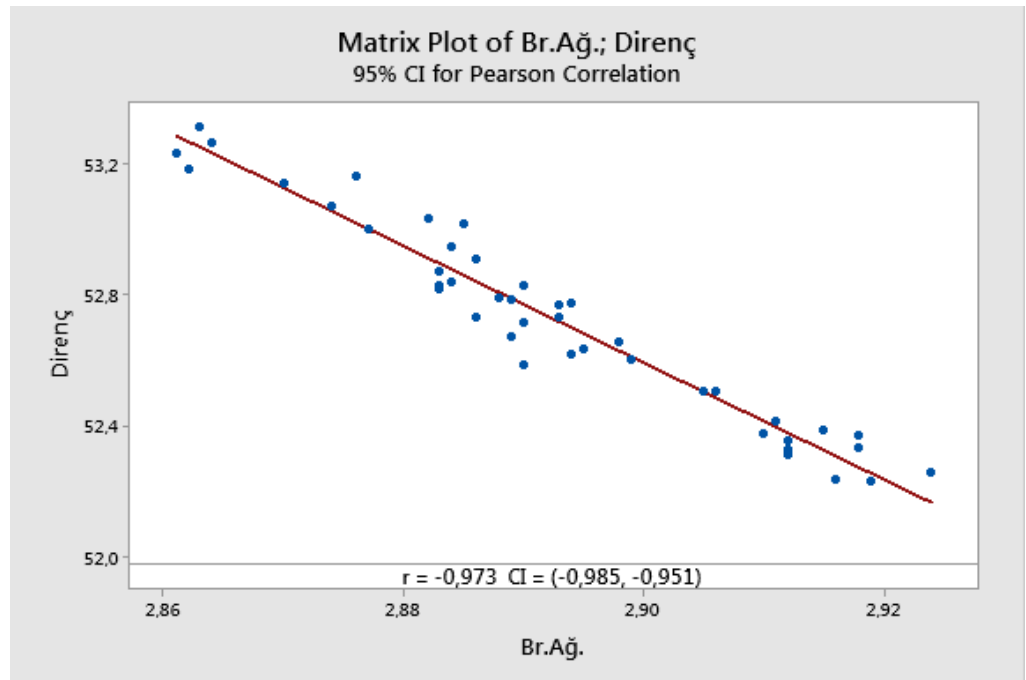
L : malzemenin boyu

A : malzemenin kesit alanıdır.

Malzemenin direnci, malzemenin öz direncinin ve uzunluğun artışı ile artarken, malzemenin kesit alanının artışı ile azalmaktadır.

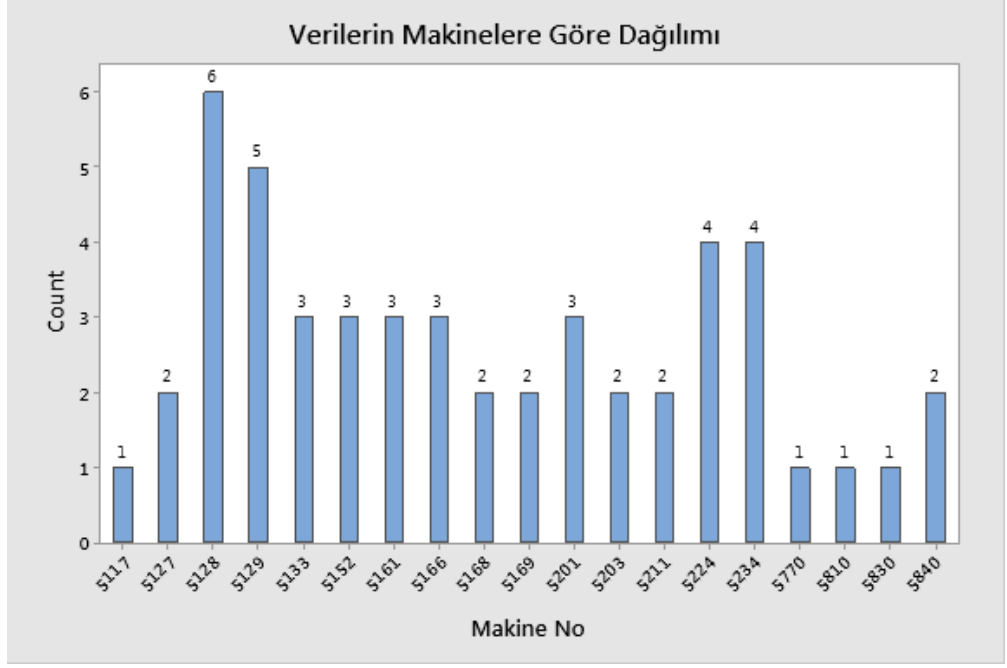
Birim ağırlık değeri malzemenin bir metresinin ağırlığı ile belirlenmektedir. Birim ağırlığın değişimi bir metrelik malzeme kesit alanının artması veya azalması ile mümkündür. Birim ağırlık ile kesit alan doğru orantılıdır. Malzemenin direnci kesit alanına ve dolayısı ile birim ağırlığa bağlı olarak değişmektedir. Bu bağlamda değerlendirildiğinde direnç ve birim ağırlık arasında negatif yönlü bir korelasyon vardır, yani biri azalırken diğeri artma eğilimindedir.

Şekil 5.5'te direnç ve birim ağırlık arasındaki negatif yönlü korelasyon gösterilmiştir.



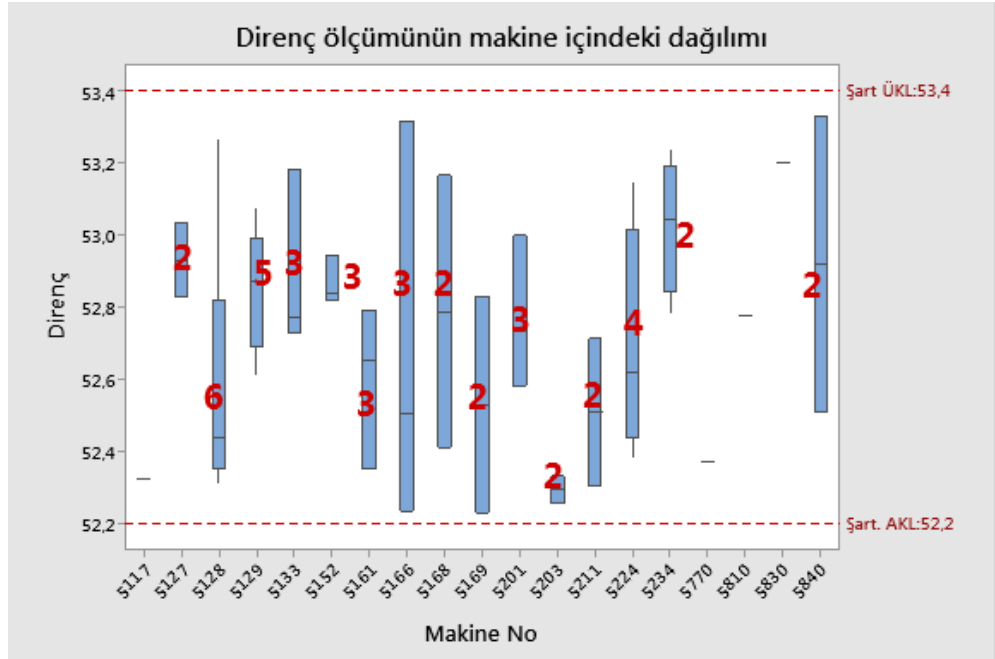
Şekil 5.5: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı

Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı Şekil 5.6'da verilmiştir. Küçük gruplar halinde farklı makinelerde üretim yapıldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.6: Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı

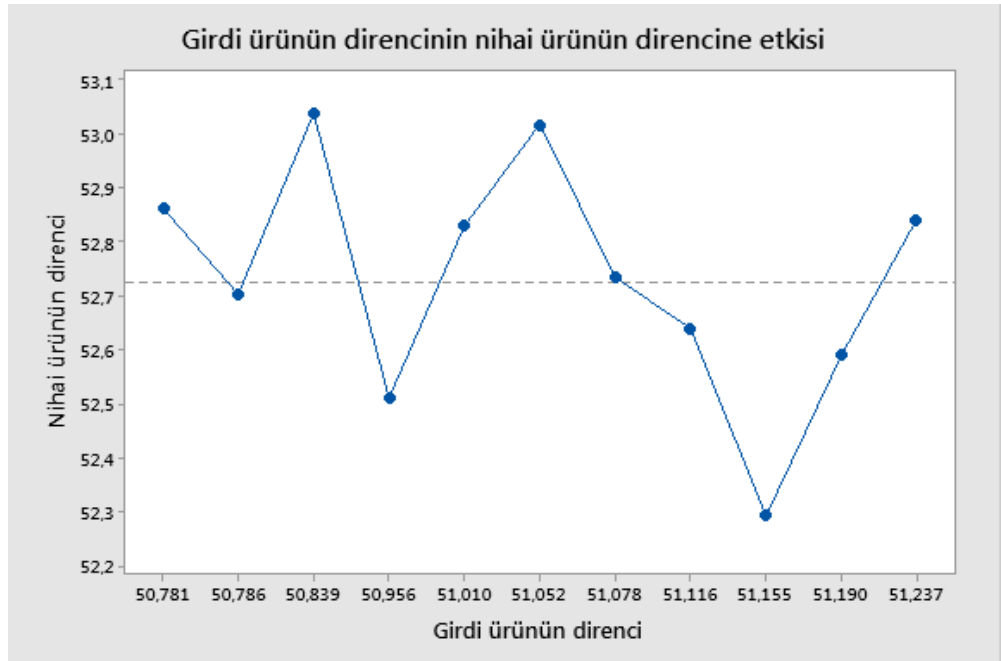
Makine içinde ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiği analiz edilmiştir ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı

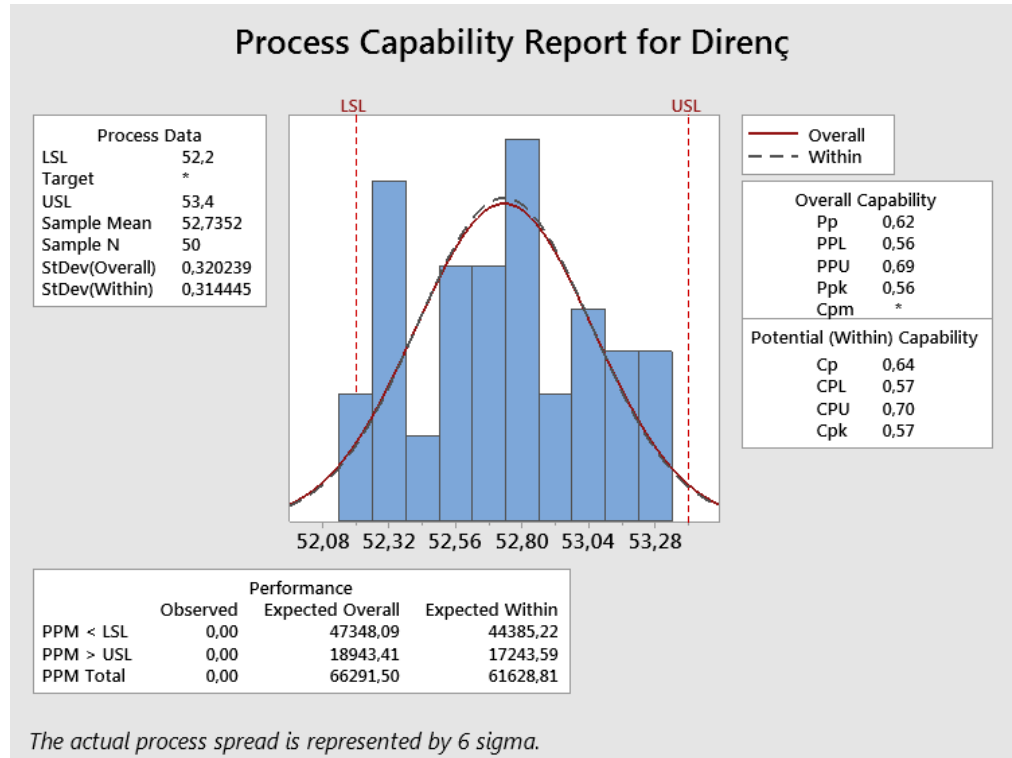
Yukarıdaki grafik incelendiğinde az sayıda üretim yapılmasına rağmen bazı makinelerde direnç sonuçlarının geniş bir dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Örneğin 5168 nolu makinede iki parti üretim olmasına rağmen direnç ölçümleri arasında 0,754 ohm /km fark bulunmaktadır. Yani bir partide minimum dirence yakın üretim yapılırken, diğer partide ise maksimum dirence yakın bir üretim yapılmıştır. Bu dağılıma girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliği neden olmuş olabilir. 5129 nolu makine beş adet parti üretimi olmasına rağmen daha dar bir aralıkta üretim yapıldığı gözlemlenmektedir.

Girdi ürün direnci ile nihai ürün direnci arasındaki ilişkiyi görebilmek adına Şekil 5.8’de gösterilen grafik oluşturulmuştur. Girdi ürünün direnci ile nihai ürünün direnci arasında doğru orantı bulunmaktadır, yani girdi ürünün direncinin yüksek olması durumunda, nihai üründe de yüksek direnç beklenmektedir. Fakat grafik incelendiğinde, yüksek dirence sahip girdi kullanılarak üretilen nihai üründe, düşük dirence sahip girdi kullanılarak üretilen nihai ürünün direncinden daha düşük direnç ölçümü elde edildiği görülmektedir. Bu da demek oluyor ki, nihai ürün direncini sadece girdi ürün direnci değil bunun dışında birçok farklı parametrenin etkilemektedir.



Şekil 5.8: Girdi ürün direncinin nihai ürün direncine etkisi

Bu sevkiyat için süreç yeterlilik endeksi hesaplanmıştır.

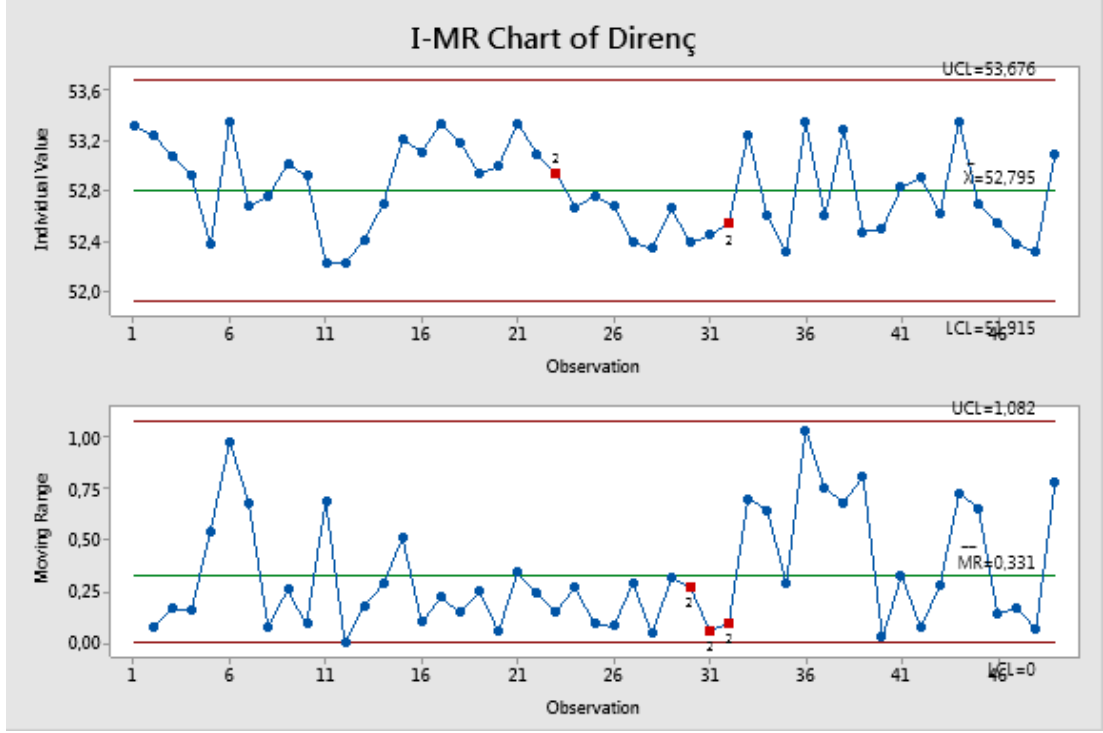


Şekil 5.9: Direnç için süreç yeterlilik analizi

Şekil 5.9’da görüldüğü üzere P_{pk} (sürecin o anki yeterliliği) 0,56 olarak hesaplanmıştır ve müşteri talebi olan 1,33’ün altındadır.

5.3.2 II. Sevkiyata Ait Verilerin İstatistiksel Olarak Analiz Edilmesi

Öncelikle kontrol çizelgelerinden yararlanılmıştır. Alt grüplama yapılmadığı için I-MR kontrol çizelgesi çizilmiştir.

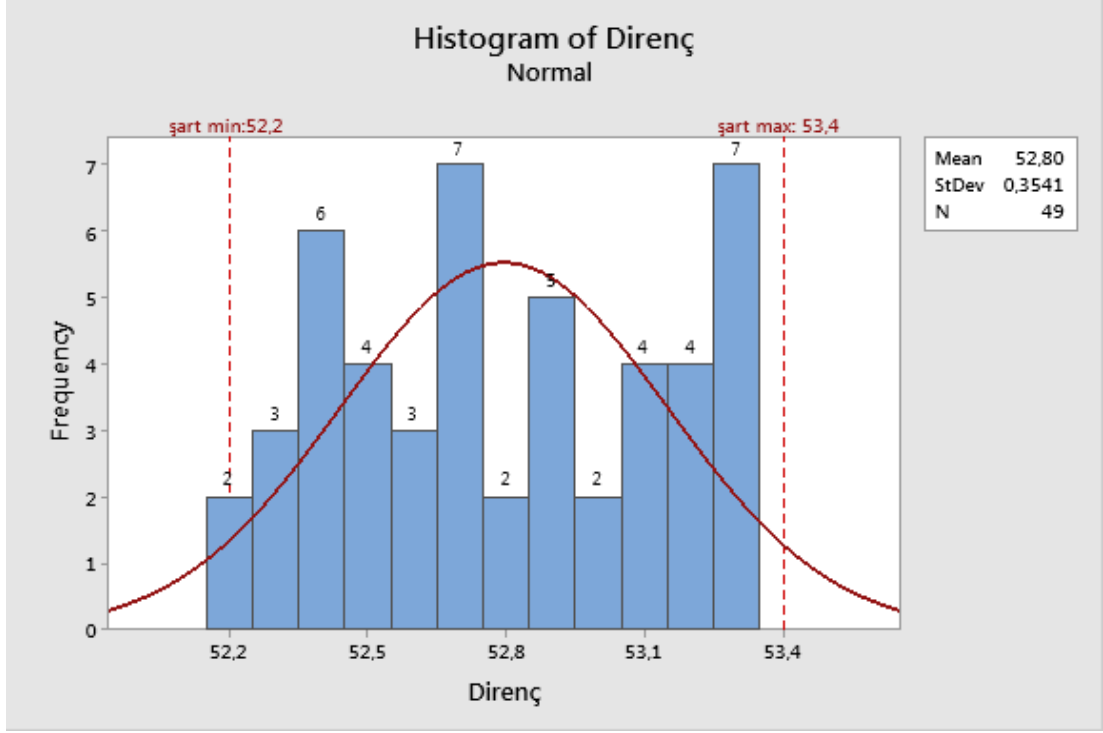


Şekil 5.10: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi (II. Sevkiyat)

Şekil 5.10’da görülen kontrol çizelgesinde öncelikle *R* çizelgesi yorumlanmıştır. *R* çizelgesi sürecin kararlılığını göstermektedir. Kararlı olmayan bir sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılmaz.

- I ve MR çizelgelerinde veriler üst ve alt kontrol limitlerinin arasında dağılım göstermelidir, aksi takdirde süreç kontrol altında değildir yorumu yapılır. I ve MR çizelgesinde üst ve alt kontrol limitlerinin dışında olan herhangi bir nokta bulunmamaktadır.
- Ardışık olarak gelen dokuz noktadan fazlası ortalama çizginin altında veya üstünde ise sürecin kontrol altında olmadığını gösterir. İki çizelge de kırmızı ile gösterilen noktalar bu kurala aykırı hareket etmiştir. Bu da sürecin kontrol altında olmadığını göstermektedir.

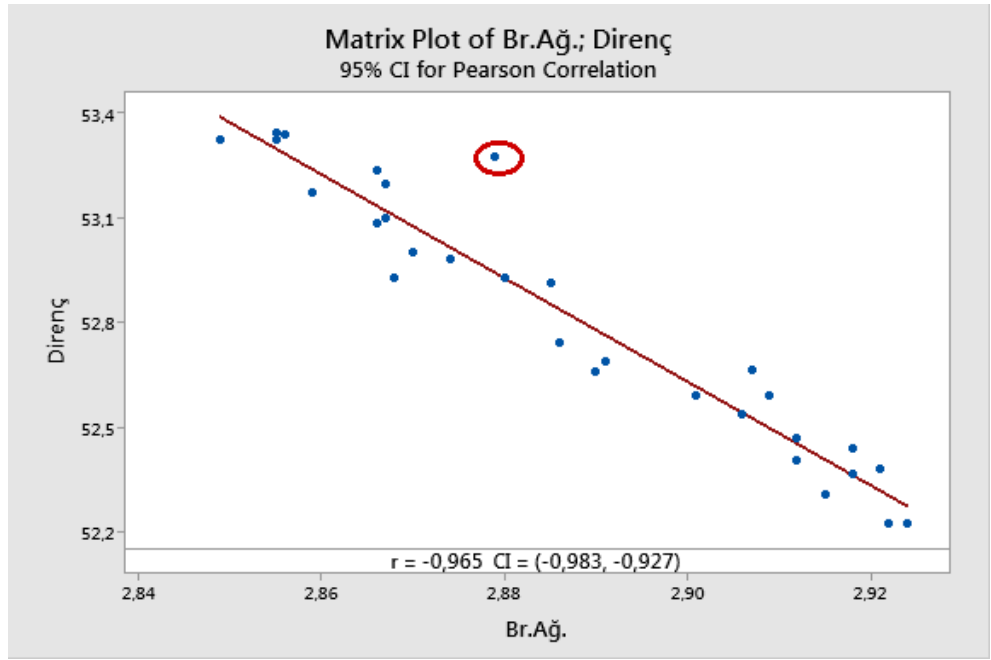
Sürecin histogram grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.11: Direnç karakteristiği için histogram grafiği

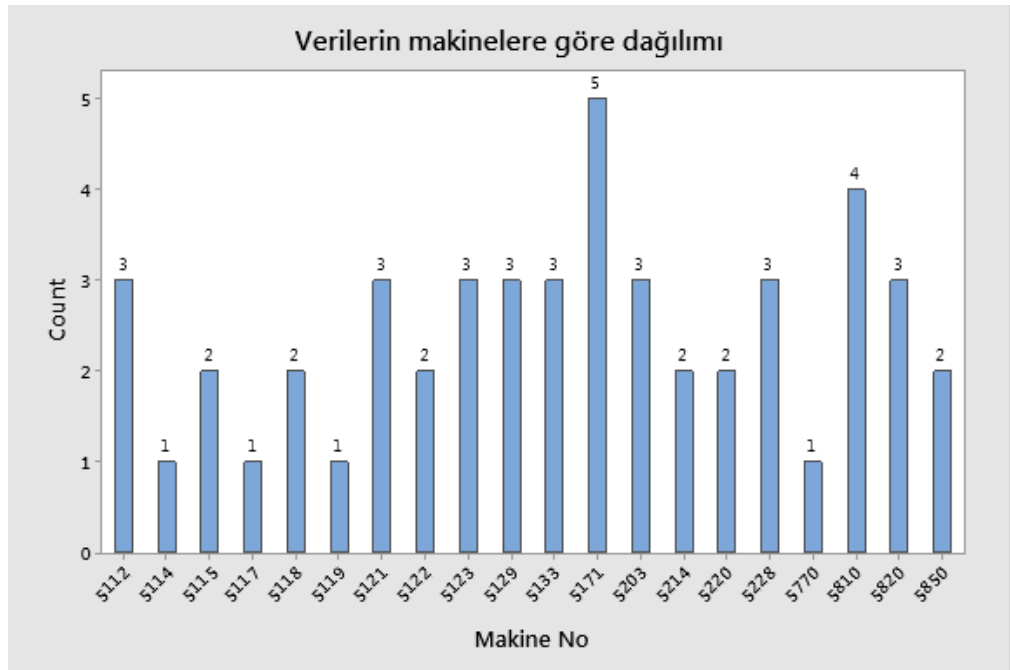
Şekil 5.11 histogram grafiğinde üst ve alt limitler arasında genişleyen bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu grafiğin ortalama etrafında daha dar bir alanda dağılım göstermesini beklenmektedir fakat Şekil 5.10'da yer alan grafikte daha geniş bir alanda dağılım gözlemlenmektedir.

Şekil 5.12'de görülüşü üzere direnç ve birim ağırlık arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. Kırmızı çerçeve ile belirtilen noktada aykırı bir durum bulunmaktadır. Bu aykırı durumuna ölçümden ya da üründen gelen belirsizlik neden olmuş olabilir.



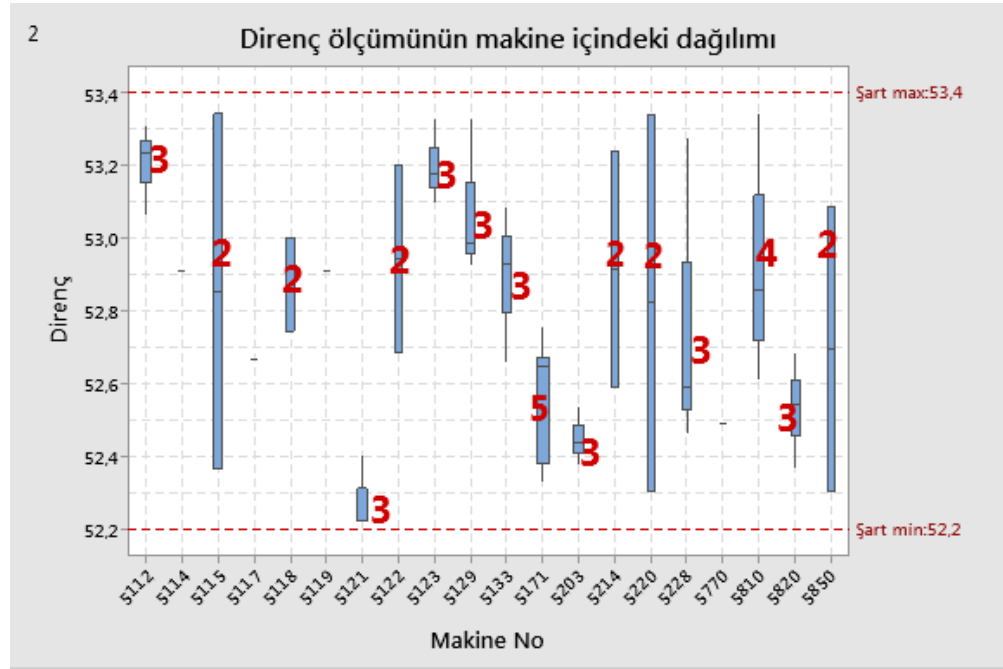
Şekil 5.12: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı

Üretilen partilerin makinelerine göre dağılımı Şekil 5.13'te verilmiştir. Küçük gruplar halinde farklı makinelerde üretim yapıldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.13: Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı

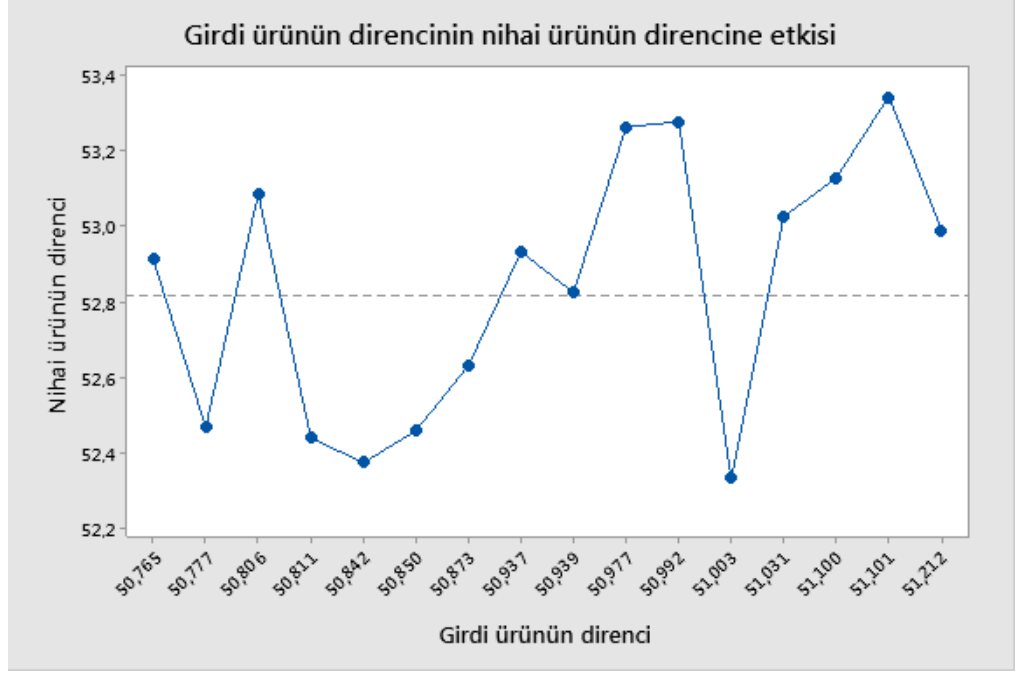
Makine içinde ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiği analiz edilmiştir.



Şekil 5.14: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı

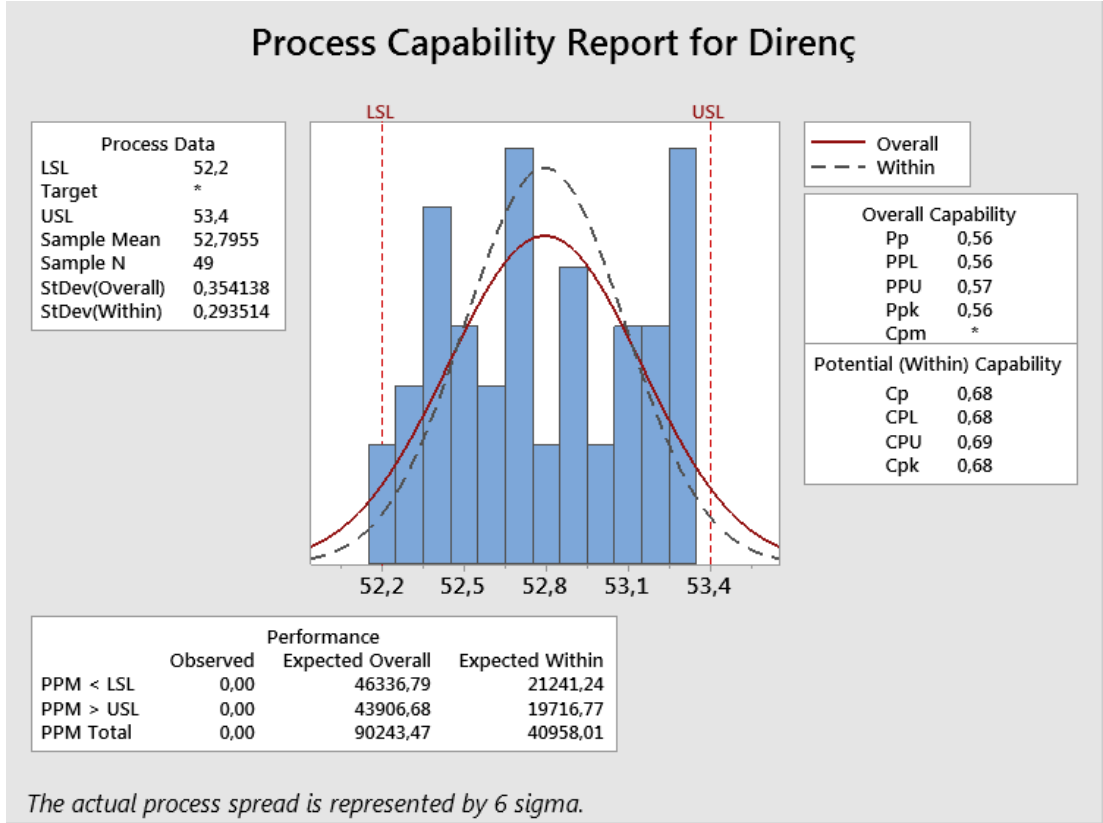
Şekil 5.14'te yer alan grafik incelendiğinde az sayıda üretim yapılmasına rağmen bazı makinelerde direnç sonuçlarının geniş bir dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Örneğin 5115 nolu makinede iki parti üretim olmasına rağmen direnç yaklaşık 52,35 ohm/km'den 53,35'e varan bir değişkenlik söz konusudur. Yani bir partide minimum dirence yakın üretim yapılırken diğer partide ise maksimum dirence yakın bir üretim yapılmıştır. Bu dağılıma girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliği neden olmuş olabilir. 5171 nolu makine beş adet parti üretimi olmasına rağmen daha dar bir aralıkta üretim yapıldığı gözlemlenmektedir.

Girdi ürünün direncinin nihai ürünün direncine etkisini görmek için ana etki grafiği çizilmiştir. Şekil 5.15'te görüldüğü üzere nihai ürünün direncini sadece girdi ürünün direnci değil bunun dışında birçok farklı parametre etkilemektedir.



Şekil 5.15: Girdi ürünün direncinin nihai ürünün direncine etkisi

II. Sevkiyat için süreç yeterlilik endeksi hesaplanmıştır. Kontrol çizelgeleri ile kontrol altında olmadığını saptanan bir süreçte P_{pk} 'nın 1,33'ten yüksek çıkması beklenmez.

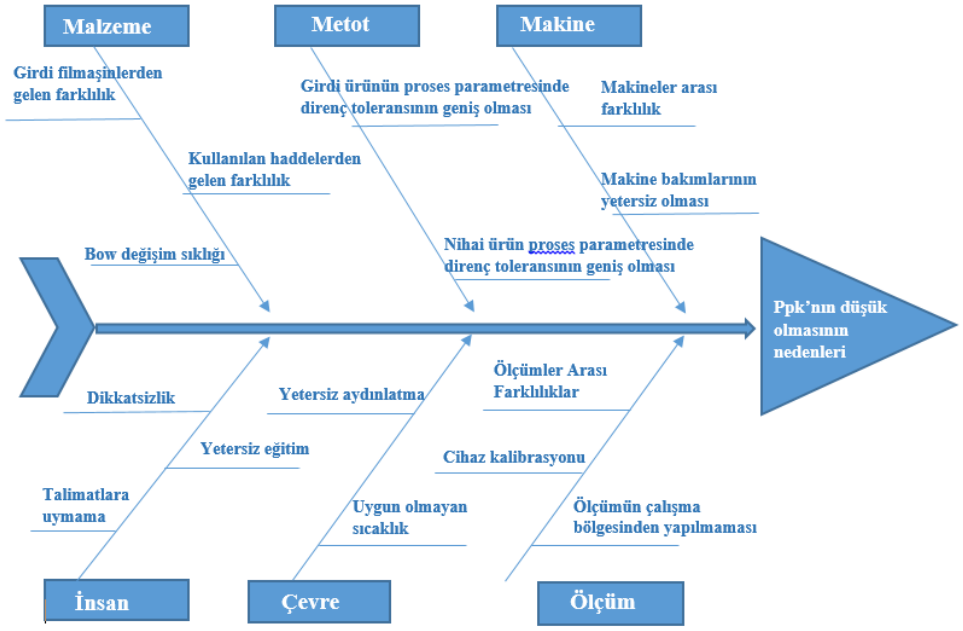


Şekil 5.16: Direnç için süreç yeterlilik analizi

Şekil 5.16’da görüldüğü üzere P_{pk} 0,56 olarak hesaplanmıştır ve müşteri talebi olan 1,33’ün altındadır.

5.4 Kök Neden Analizi

Bir önceki bölümde elde edilen veriler kullanılarak P_{pk} ’nin düşük olma nedenlerine ilişkin Şekil 5.17’de gösterilen balık kılçığı diyagramı oluşturulmuştur.

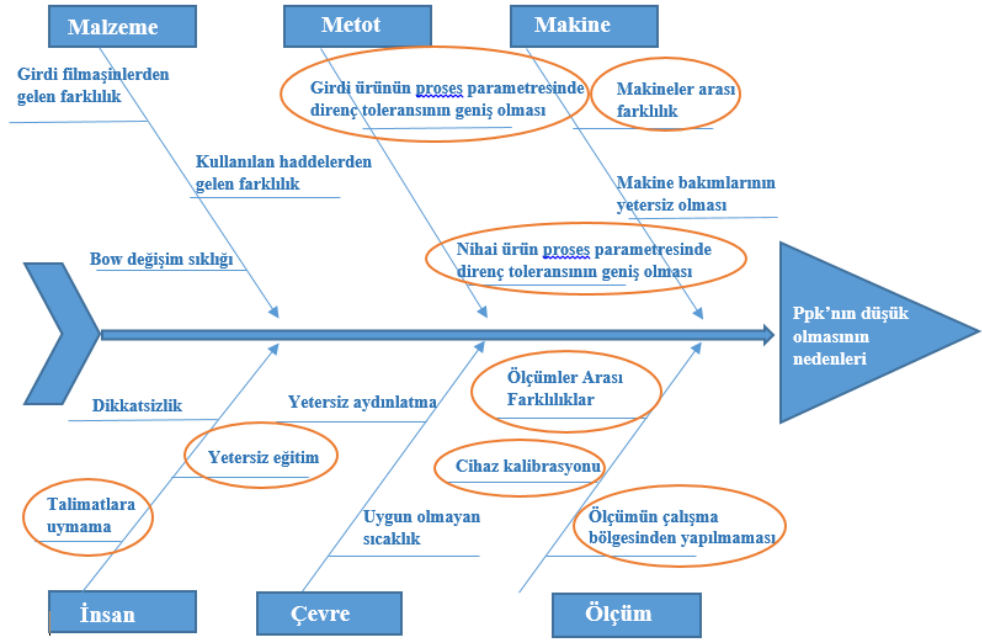


Şekil 5.17: Balık kılıcı diyagramı

İşletmede, süreç içerisinde yer alan farklı disiplinlerden uzmanlar ile süreç yeterliliğinin düşük olmasının nedenleri üzerine beyin fırtınası yapılarak balık kılıcı diyagramı oluşturulmuştur. Yapılan balık kılıcı diyagramı çalışmasında malzeme, metot, makine, insan, çevre ve ölçüm değişkenlerine bağlı olarak kök neden analizi yapılmıştır.

5.5 Süreç İyileştirme Çalışmaları

Bir önceki bölümde oluşturulan balık kılıcı diyagramından hareketle odaklanılması gereken kök nedenler Şekil 5.18'de kırmızı daire içine alınarak gösterilmiştir. Belirlenen kök nedenlerin etkilerini minimize etmek için iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.18: Odaklanılacak kök nedenlerin belirlenmesi

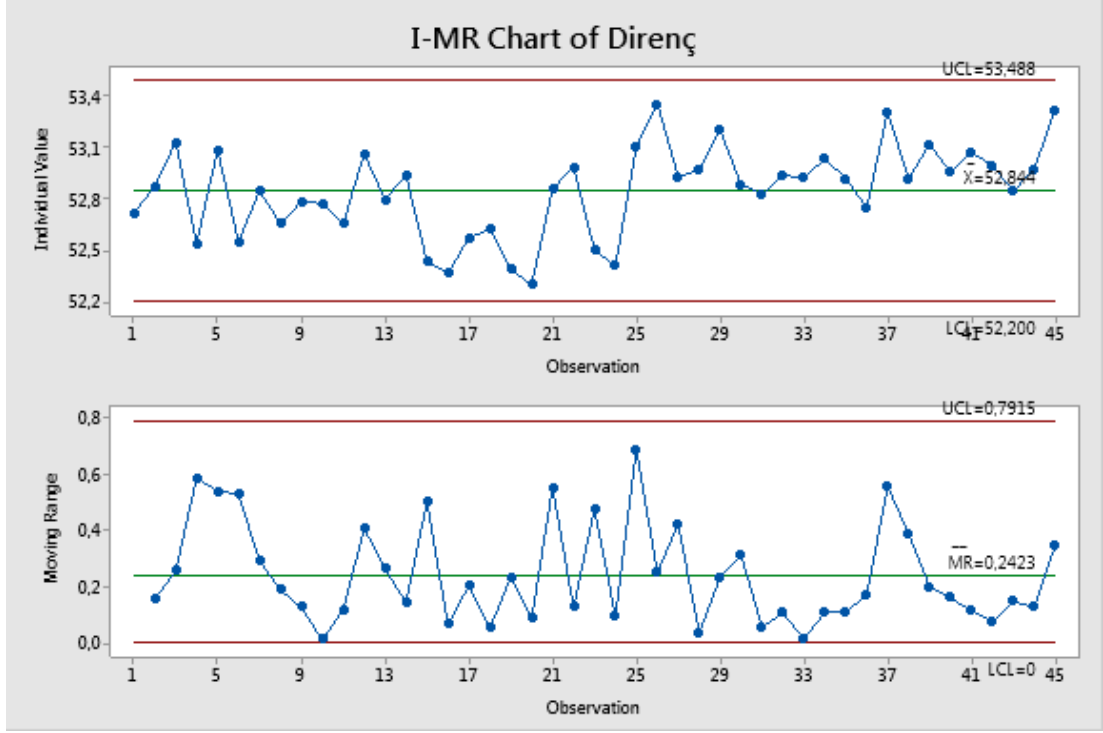
5.5.1 Süreç İyileştirme Çalışmaları: Deneme 1

İlk denemede standart üretimine ek olarak aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır.

- Eski nesil makinelerde ve sadece belirlenen altı adet makinede deneme üretimi planlanmıştır.
- Girdi teli direnç toleransı daraltılmıştır.
- Üretim operatörlerine farkındalık eğitimi verilmiştir.

İlk denemeye ait veriler Ek 4'te belirtilmiştir ve iyileştirme öncesi yapılan analizler tekrarlanmıştır.

Öncelikle kontrol çizelgelerinden yararlanılmıştır. Alt grupta yapılmadığı için I-MR kontrol çizelgesi çizilmiştir.

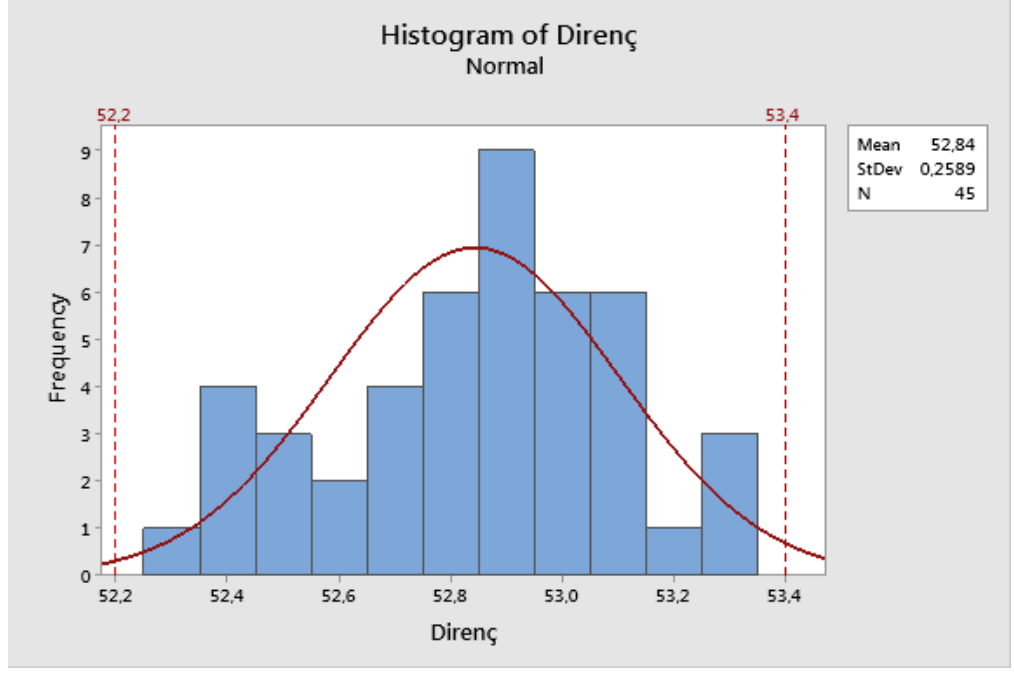


Şekil 5.19: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi (Deneme I)

Şekil 5.19’da görülen kontrol çizelgesinde öncelikle R çizelgesi yorumlanmıştır. R çizelgesi sürecin kararlılığını göstermektedir. Kararlı olmayan bir sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılmaz.

- I ve MR çizelgelerinde veriler üst ve alt kontrol limitlerinin arasında dağılım göstermelidir, aksi takdirde süreç kontrol altında değildir yorumu yapılır. I ve MR çizelgesinde üst ve alt kontrol limitlerinin dışında olan herhangi bir nokta bulunmamaktadır.
- Ardışık olarak gelen dokuz noktadan fazlası ortalama çizginin altında veya üstünde ise sürecin kontrol altında olmadığını gösterir. İki çizelgede de bu kurala aykırı bir durum gözlemlenmemiştir. Bu da sürecin kontrol altında olduğunu göstermektedir.

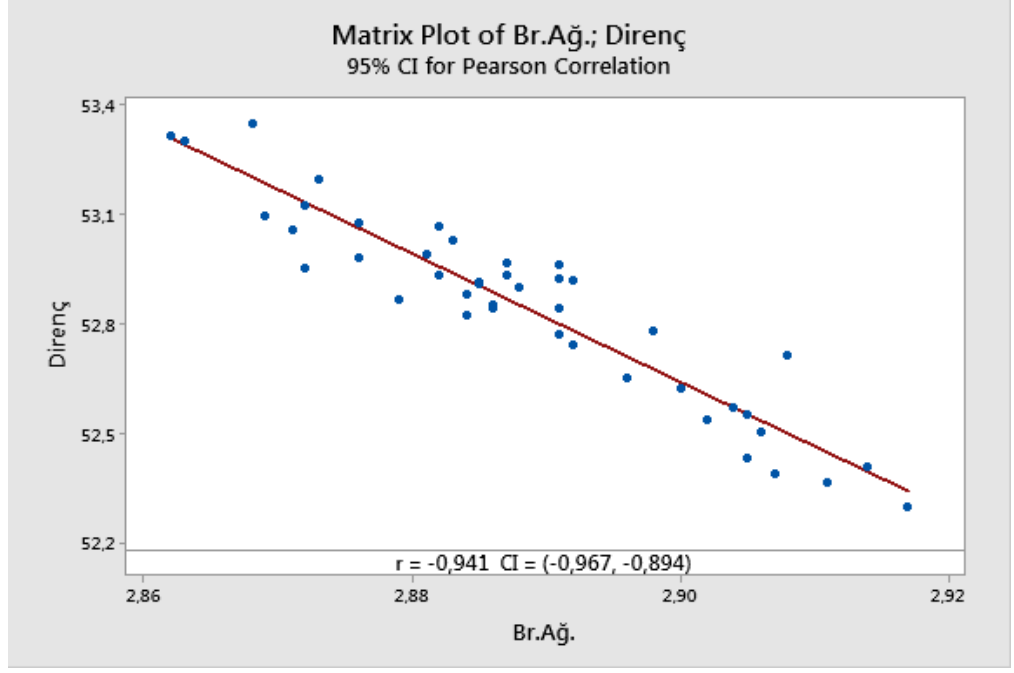
Deneme I için histogram grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.20: Direnç karakteristiği için histogram grafiği

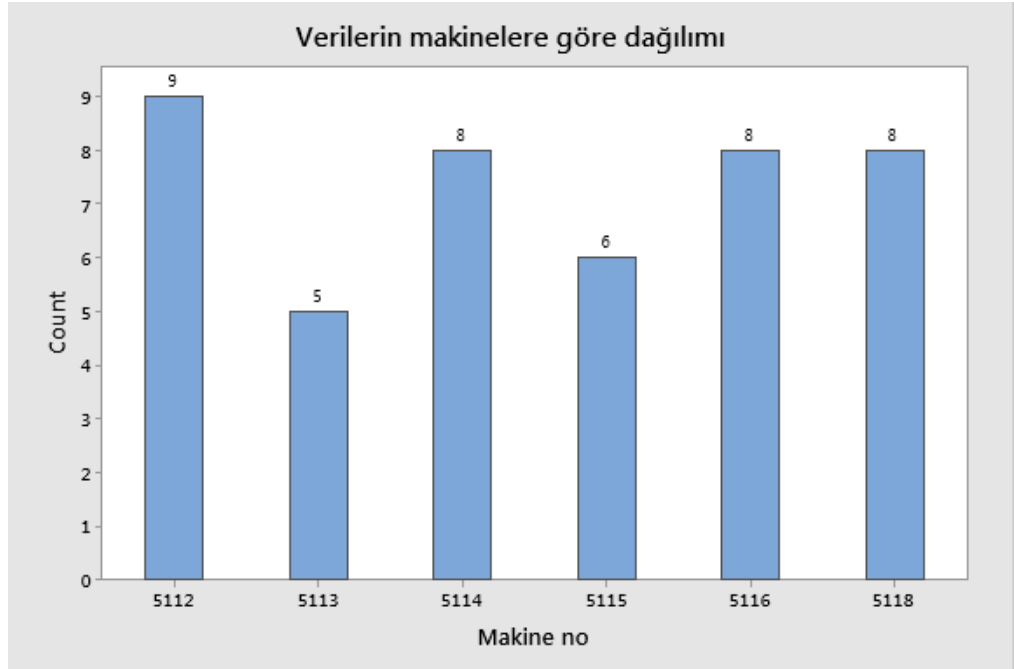
Şekil 5.20’de görülen histogram grafiğinde üst ve alt limitler arasında genişleyen bir dağılım olduğu görülmektedir. Bu grafiğin ortalama etrafında daha dar bir alanda dağılım göstermesini beklenmektedir. İyileştirme öncesi elde edilen histogram grafiğine göre daha dar bir alanda dağılım gözlemlenmektedir.

Direnç ve birim ağırlık arasındaki ilişkiyi görmek için, Şekil 5.21’de görülen ilişki diyagramı çizilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere direnç ve birim ağırlık arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon bulunmaktadır.



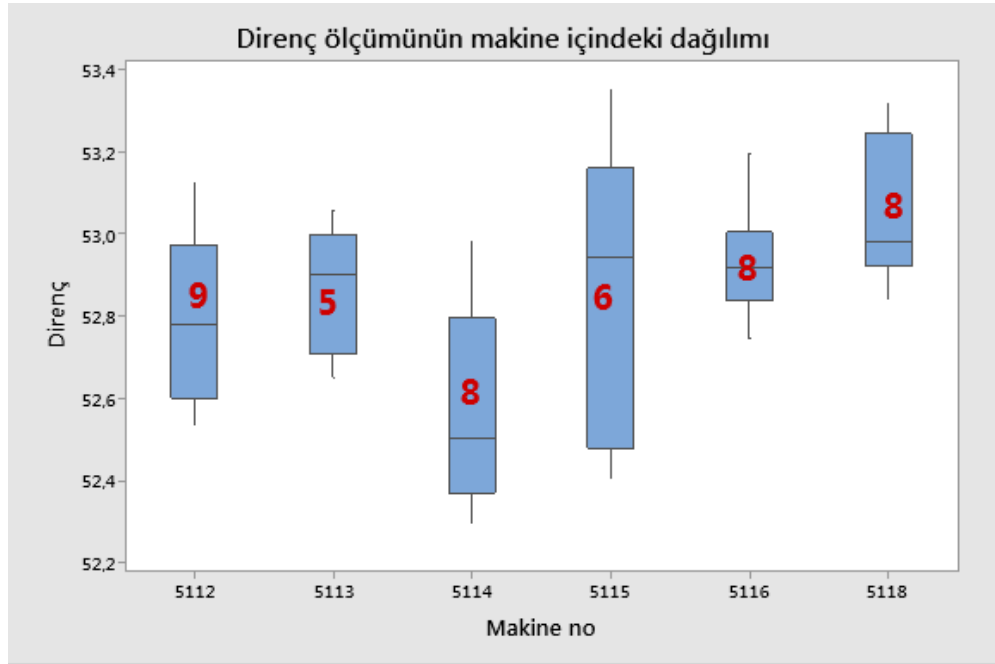
Şekil 5.21: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı

Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı Şekil 5.22’de verilmiştir. Planlandığı şekilde altı farklı makinede üretim yapılmıştır.



Şekil 5.22: Verilerin makinelere göre dağılımı

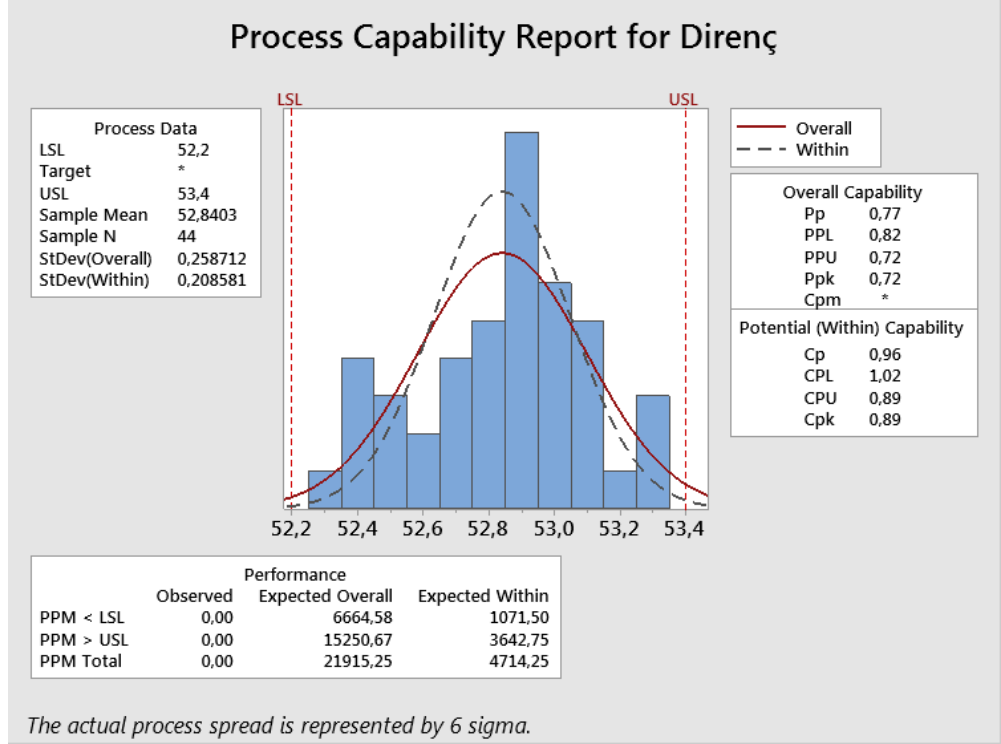
Makine içinde ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiği analiz edilmiştir.



Şekil 5.23: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı

Şekil 5.23'te yer alan grafik incelendiğinde az sayıda üretim yapılmasına rağmen bazı makinelerde direnç sonuçlarının geniş bir dağılım gösterdiği gözlemlenmektedir. Örneğin 5115 nolu makinede diğer makinelere göre daha az parti üretimi olmasına rağmen direnç ölçümleri arasında maksimum 0,679 ohm/km fark bulunmaktadır. Bu dağılıma girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliği neden olmuş olabilir. 5116 nolu makine sekiz adet parti üretimi olmasına rağmen direnç ölçümleri arasında maksimum 0,166 ohm/km fark bulunmaktadır.

Deneme I için direnç karakteristiğinin süreç yeterlilik endeksi hesaplanmıştır.



Şekil 5.24: Direnç için süreç yeterlilik analizi

Şekil 5.24'te görüldüğü üzere P_{pk} 0,72 olarak hesaplanmıştır. İyileştirme öncesine göre süreç yeterlilik endeksinde yükselme olsa da müşteri talebi olan 1,33 halen karşılanamamıştır.

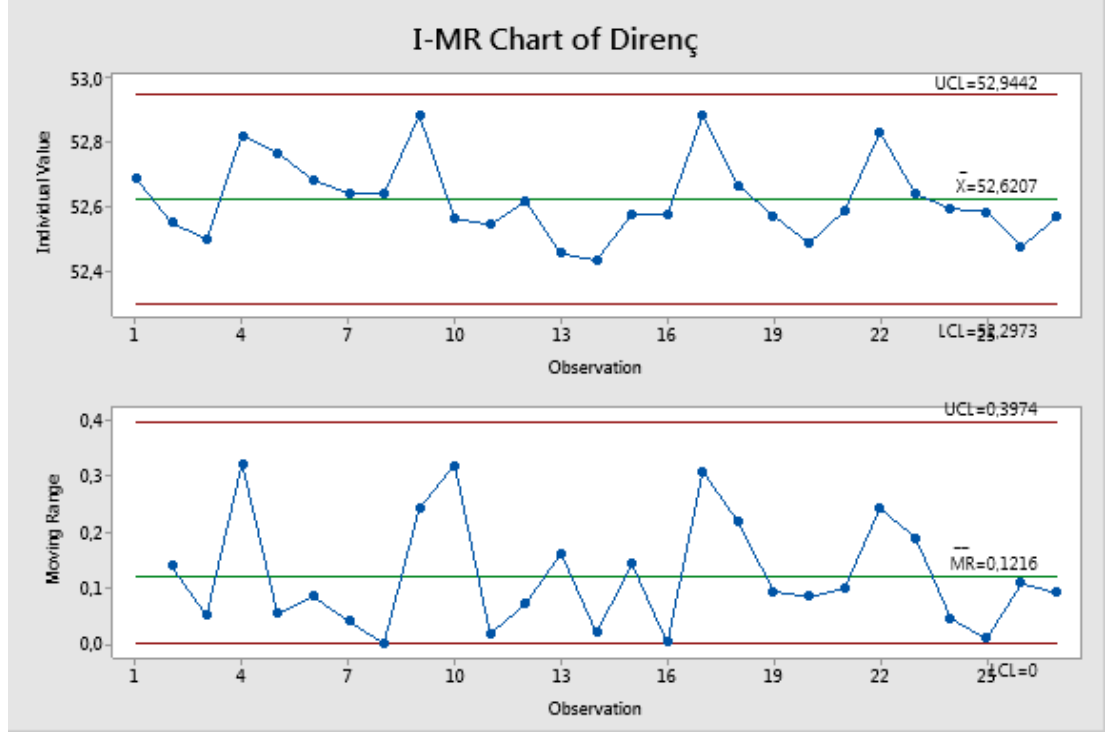
5.5.2 Süreç İyileştirme Çalışmaları: Deneme II

İlk denemede yapılan iyileştirmelerle hedeflenen süreç yeterliliği elde edilemediği için ikinci bir deneme planlanmıştır. Bu denemede aşağıdaki koşullarda üretim yapılmıştır.

- Nihai ürün direnç toleransı daraltılmıştır.
- Rastgele seçilen altı adet belirlenmiş makinede üretim planlanmıştır.
- Ölçümden gelen belirsizliği ortadan kaldırmak adına tek bir cihazda hem yol verme hem de nihai ürün dirençleri kalite kontrol operatörleri tarafından ölçülmüştür (Standart uygulamada yol verme numuneleri üretimi gerçekleştiren operatör tarafından ölçülmektedir).

Deneyisel çalışmaya ait veriler Ek 5'te verilmiştir. İlk denemede yapılan analizler bu denemede de yapılmıştır.

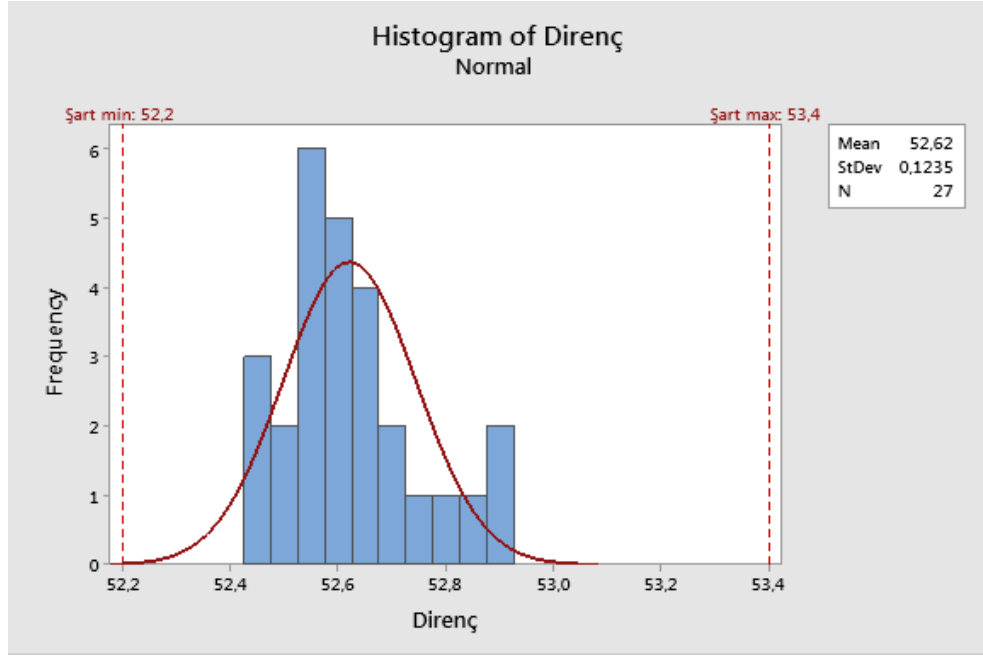
Öncelikle kontrol çizelgelerinden yararlanılmıştır. Alt grüplama yapılmadığı için I-MR kontrol çizelgesi çizilmiştir.



Şekil 5.25: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi

- I ve MR çizelgesinde üst ve alt kontrol limitlerinin dışında olan herhangi bir nokta bulunmamaktadır.
- Ardışık olarak gelen dokuz noktadan fazlası ortalama çizginin altında veya üstünde ise sürecin kontrol altında olmadığını gösterir. İki çizelgede de bu kurala aykırı bir durum gözlemlenmemiştir. Bu da sürecin kontrol altında olduğunu göstermektedir.

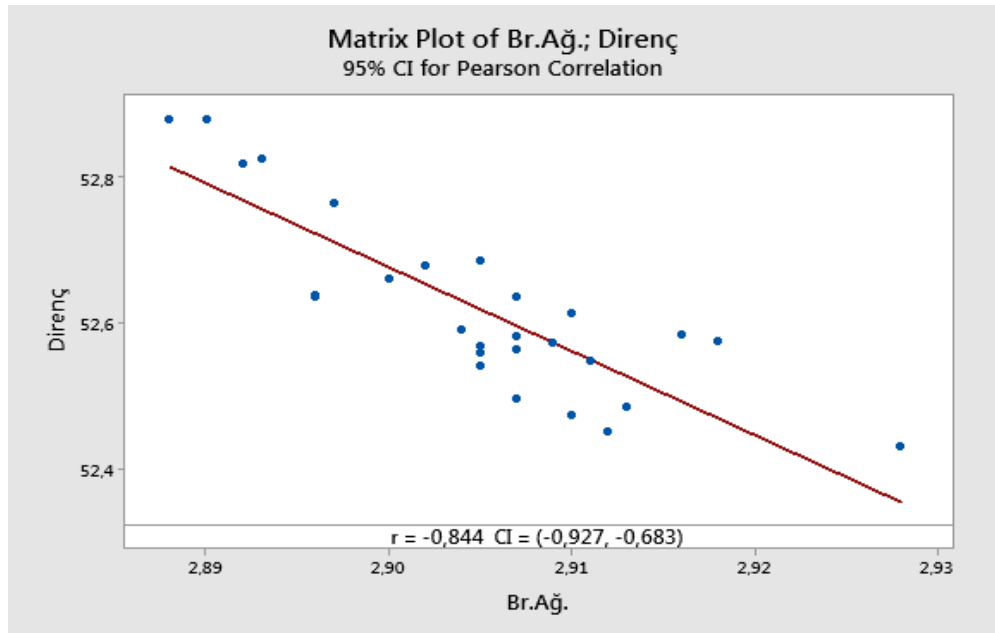
Sürece ait histogram grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.26: Direnç karakteristiği için histogram grafiği

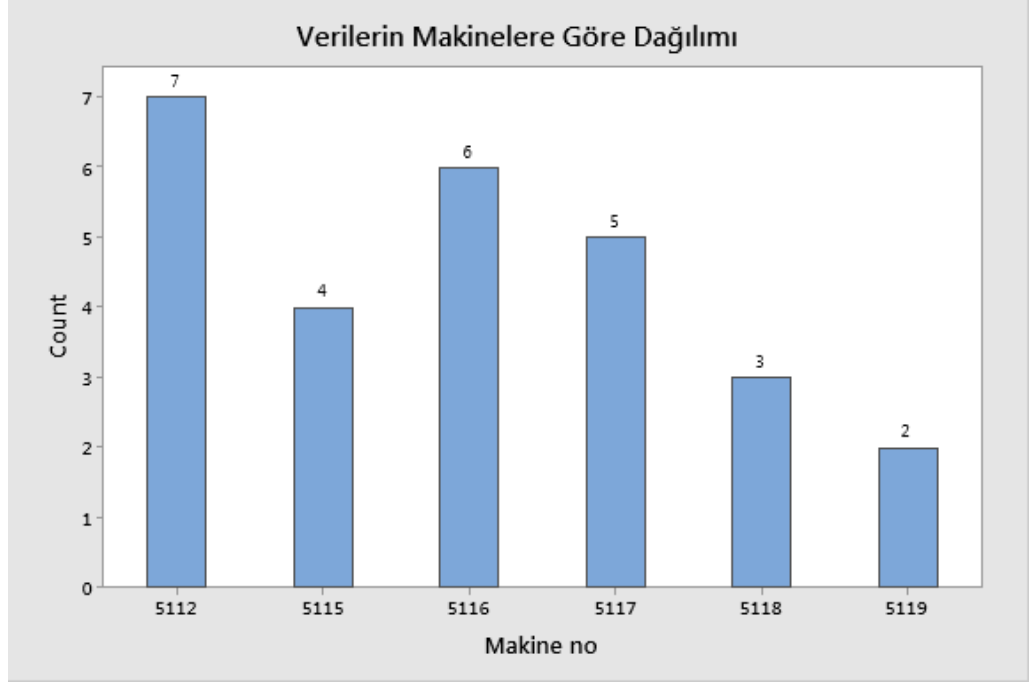
Şekil 5.26'da görüldüğü üzere ilk deneme ile karşılaştırıldığında şartnamenin minimum ve maksimum değerlerinden daha uzak bir bölgede çalışıldığı görülmektedir. Bu da daha kararlı bir yapıda çalışıldığını göstermektedir.

Şekil 5.27'de görüldüğü üzere direnç ve birim ağırlık arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon vardır.



Şekil 5.27: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı

Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı Şekil 5.28’de verilmiştir. Planlandığı şekilde altı farklı makinede üretim yapılmıştır.



Şekil 5.28: Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı

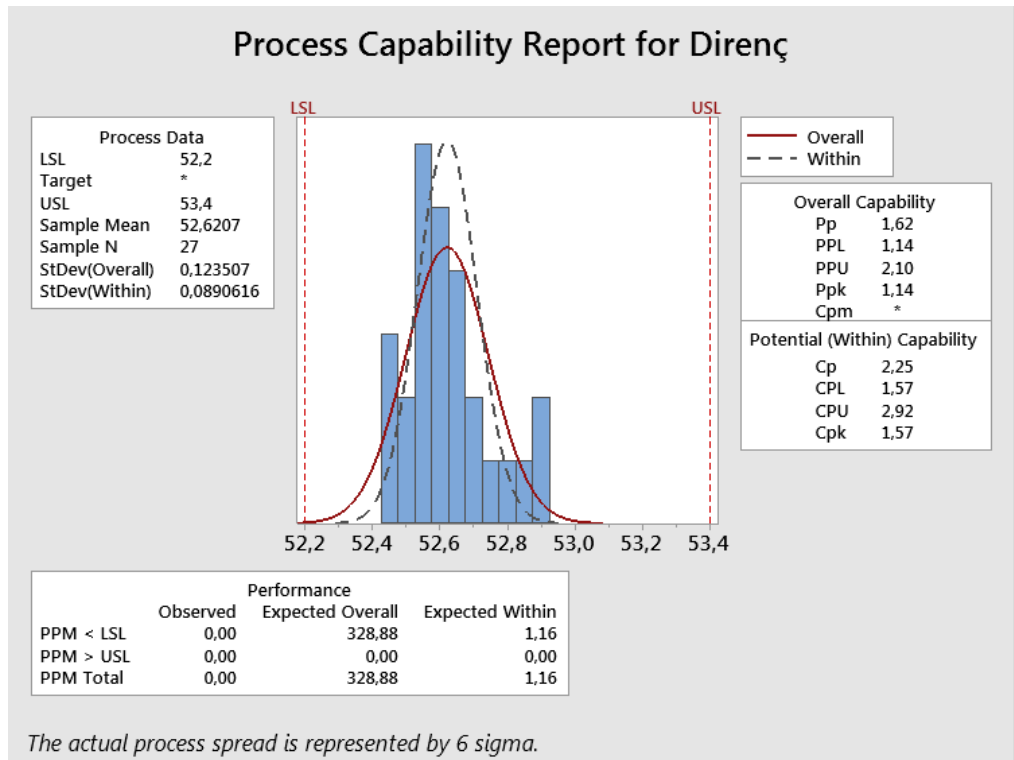
Makine içinde direnç ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiği analiz edilmiştir.



Şekil 5.29: Direnç ölçümünün makine içinde dağılımı

Şekil 5.29 incelendiğinde Deneme I'e göre makine içinde farklı partilerdeki direnç ölçüm sonuçlarında farkın azaldığı görülmektedir. 5118 nolu makinede üç parti üretimi olmasına rağmen diğer makinelere göre direnç ölçüm sonuçlarında daha fazla fark bulunduğu göze çarpmaktadır. Bu makinedeki arıza kayıtlarında bakılmıştır ve herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Direnç ölçüm sonuçları arasındaki bu farklılığa girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliği neden olmuş olabilir.

Son olarak da sürecin yeterliliği hesaplanmıştır. Deneme I'e göre direnç ölçüm sonuçları daha dar bir aralıkta dağıldığı için süreç yeterliliğinde iyileşme beklenmektedir.



Şekil 5.30: Direnç için süreç yeterlilik analizi

Şekil 5.30'da görüldüğü üzere P_{pk} 1,14 olarak hesaplanmıştır. Deneme I'e göre iyileşme olsa da müşteri talebi olan 1,33 karşılanamamıştır.

5.5.3 Süreç İyileştirme Çalışmaları: Çoklu Regresyon Analizi

Deneme I ve Deneme II’de gözle görülür bir şekilde iyileştirme elde edilmiş olsa da hedeflenen süreç yeterliliğine ulaşamadığı için çoklu regresyon analizi için çalışmalar başlatılmıştır.

İşletmede her ürün ve makine grubu için üretim parametreleri tanımlıdır. Bu çalışmada girdi malzemenin ölçüm sonuçlarına göre hedeflenen nihai ürünün direncini elde etmek için nihai üretim süreci parametreleri makine özelinde çoklu regresyon analizi yapılarak belirlenmiştir. Yani daha önceden ürün ve makine için sabit olan üretim parametreleri girdi ürünün ölçüm sonuçlarına bağlı olarak anlık oluşturulmaktadır.

En çok üretimin yapıldığı dört adet makine seçilmiştir ve A ürünün bu makinelerde yapılan tüm üretimleri ele alınarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Bu regresyon analizinden yararlanarak deney tasarımları gerçekleştirilmiş olup ürün direnci, girdi ürünün özellikleri ve üretim parametreleri arasında ilişki kurulmuştur.

Öncelikle, üretimi etkileyen parametreler farklı disiplinlerden uzmanlarla birlikte kalite araçlarından beyin fırtınası yöntemi ile belirlenmiştir. Bu parametreler; girdi ürünün direnci, girdi ürünün birim ağırlığı, girdi ürünün çapı, devir, lay plate hadde arası mesafe, tel gerginliği olarak sıralanabilir.

En fazla üretimin yapıldığı makineler 5115, 5118, 5168, 5169 nolu makinelerdir. Bu makinelerden elde edilen üretim verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır.

a. 5115 nolu Makine İçin Çoklu Regresyon Analizi

Girdi ürünün direnci, girdi ürünün çapı, devir ve tel gerginliği parametrelerinin nihai ürünün direncini etkileyip etkilemediğini görmek için 5115 nolu makinede gerçekleşen üretimlerin verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Üretim verileri EK6’ da sunulmuştur.

Hipotez testleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Tüketim çapı faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(3)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(4)}$: Tel gerginliği faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.1’de sunulmuştur. F değerinin anlamlı bir şekilde büyük olması ya da p değerinin düşük olması parametrenin sonuca etkisinin yüksek olması demektir.

Tablo 5.1: ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F -Değeri	p -Değeri
Regresyon	4	2,10764	0,52691	86,18	0,000
Tüketim Çapı	1	0,07946	0,07946	13,00	0,001
Girdi Direnci	1	0,03995	0,03995	6,53	0,016
Devir	1	0,00426	0,00426	0,70	0,410
Tel ger	1	1,04375	1,04375	170,71	0,000
Hata	32	0,19565	0,00611		
Toplam	36	2,30329			

Bu regresyon analizine göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Tel gerginliği: z

Tüketim çapı: t

Devir : p

$$y = 15,3 + 343,4t - 0,494x + 0,000164p - 0,02141z \quad (5.2)$$

$\alpha = 0,05$ anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, $H_{0(2)}$, $H_{0(4)}$ hipotezleri ret edilir, $H_{0(3)}$ hipotezi ret edilemez.

Ürünün direncine etkisi olmayan parametreler elimine edildikten sonra elde edilen parametrelere ait ANOVA tablosu Tablo 5.2’de sunulmuştur. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.2: ANOVA tablosu

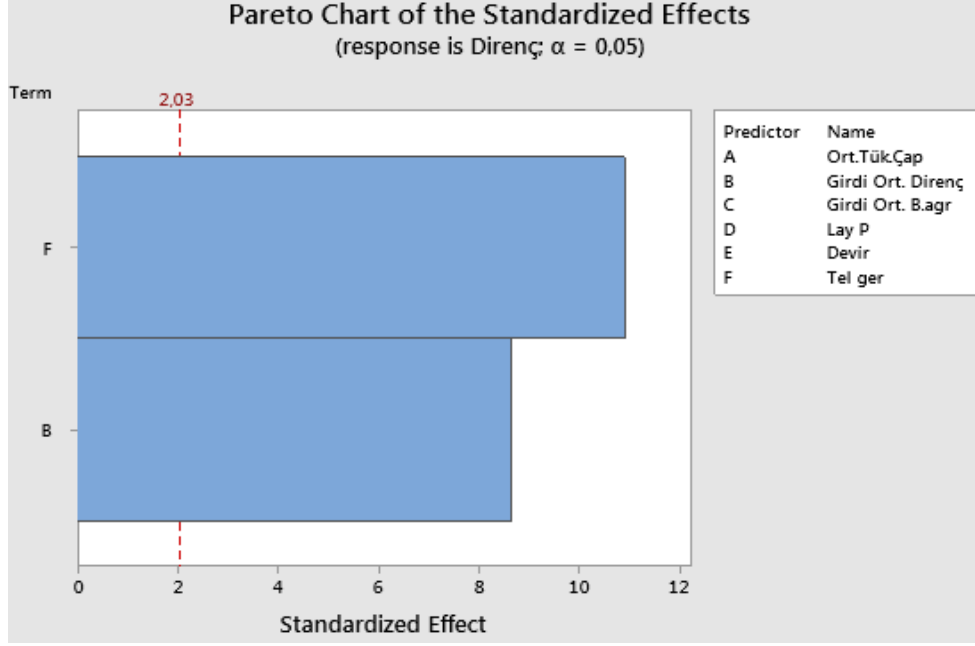
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F -Değeri	p -Değeri
Regresyon	2	2,02590	1,01295	124,16	0,000
Girdi Ort. Direnç	1	0,61109	0,61109	74,90	0,000
Tel gerginliği	1	0,97009	0,97009	118,90	0,000
Hata	34	0,27739	0,00816		
Toplam	36	2,30329			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.3’e göre R^2 değeri %87,28 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.3: R^2 tablosu

S	R^2
0,0903253	87,25%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin Pareto diyagramı Şekil 5.31’de sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre ürün direncini en fazla tel gerginliği, daha sonra girdi direnci etkilemektedir.



Şekil 5.31: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

Elde edilen regresyon denklemi aşağıda sunulmuştur.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Tel gerginliği: z

$$y=110,23-1,075x-0,01940z \quad (5.3)$$

Regresyon analizinden yararlanarak merkez noktalı 2^2 faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. Üç adet merkez noktası tanımlanmıştır ve deneyler 3 tekrarlı olacak şekilde oluşturulmuştur.

Girdi ürünün direnci ve tel gerginliği faktörlerinin ana etkileri ile bu faktörlerin etkileşiminin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. Her bir faktör için hipotezler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Tel gerginliği faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(12)}$: Girdi ürünün direnci ve tel gerginliği faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Belirtilen girdi direnci ve tel gerginliklerine göre kontrollü deneyler gerçekleştirilmiş ve ölçüm sonuçları Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4: 5115 nolu makine için kontrollü deney tasarımı

Parti no	Sıra	Merkez Nok.	Ort Girdi Direnci (ohm/km)	Tel gerginliği (cN)	Nihai Ürün Direnci (ohm/km)	Hesabi Direnç (ohm/km)	Hesabi ile Gerçekleşen Arasındaki Fark
13	1	0	51,025	135	52,978	52,976	0,002
14	2	0	51,025	135	52,980	52,976	0,004
1	3	1	50,8	120	52,565	52,561	0,004
5	4	1	50,8	120	52,560	52,561	-0,001
4	5	1	51,25	150	53,212	53,203	0,009
8	6	1	51,25	150	53,200	53,203	-0,003
15	7	0	51,025	135	52,970	52,976	-0,006
6	8	1	51,25	120	52,928	52,913	0,015
11	9	1	50,8	150	52,782	52,785	-0,003
2	10	1	51,25	120	52,901	52,913	-0,012
9	11	1	50,8	120	52,558	52,561	-0,003
10	12	1	51,25	120	52,910	52,913	-0,003
7	13	1	50,8	150	52,789	52,785	0,004
3	14	1	50,8	150	52,785	52,785	0,000
12	15	1	51,25	150	53,196	53,203	-0,007

Tablo 5.4'te bulunan nihai ürün direnci (ohm/km) ölçüm sonuçlarını gösterirken, hesabi direnç(ohm/km) sütunu ise regresyon denklemine göre hesaplanan direnç sonuçlarıdır.

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.5'te verilmiştir. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.5: ANOVA tablosu

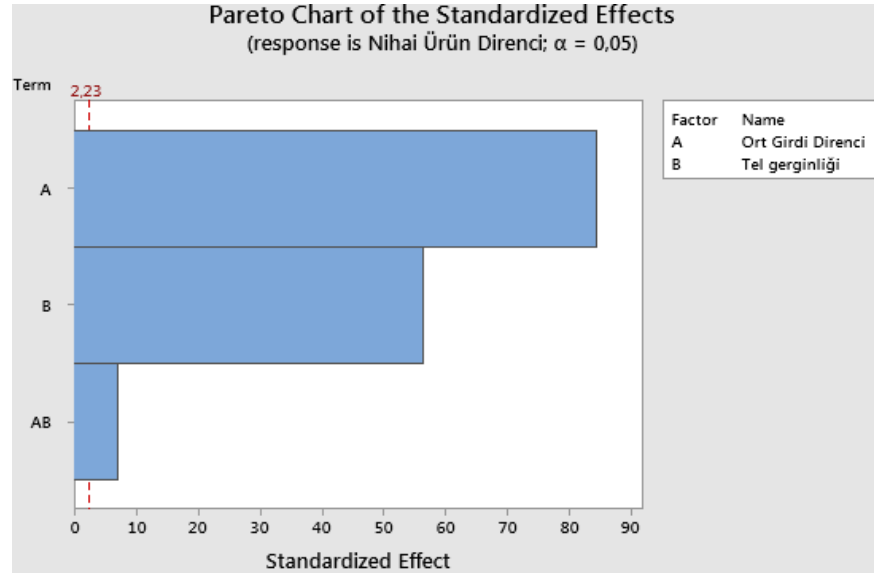
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ort.	F-Değeri	p-Değeri
Model	4	0,674558	0,168640	2705,45	0,000
Doğrusal	2	0,642052	0,321026	5150,15	0,000
Ort Girdi Direnci	1	0,443905	0,443905	7121,48	0,000
Tel gerginliği	1	0,198147	0,198147	3178,83	0,000
İkili Etkileşim	1	0,003201	0,003201	51,36	0,000
Ort Girdi Direnci*Tel gerginliği	1	0,003201	0,003201	51,36	0,000
Eğrilik	1	0,029305	0,029305	470,13	0,000
Hata	10	0,000623	0,000062		
Toplam	14	0,675182			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.6'ya göre R^2 değeri % 99,87 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.6: R^2 tablosu

S	$R^2(\text{adj})$
0,0078951	99,87%

Ürün direncini etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.32'de sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre ürün direncini en fazla girdi direnci, daha sonra tel gerginliği ve sonra da bunların etkileşimi etkilemektedir.



Şekil 5.32: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

$\alpha = 0,05$ anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, H_{02} ve $H_{0(12)}$ hipotezleri ret edilir.

Bu deney sonuçları ile elde edilen regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

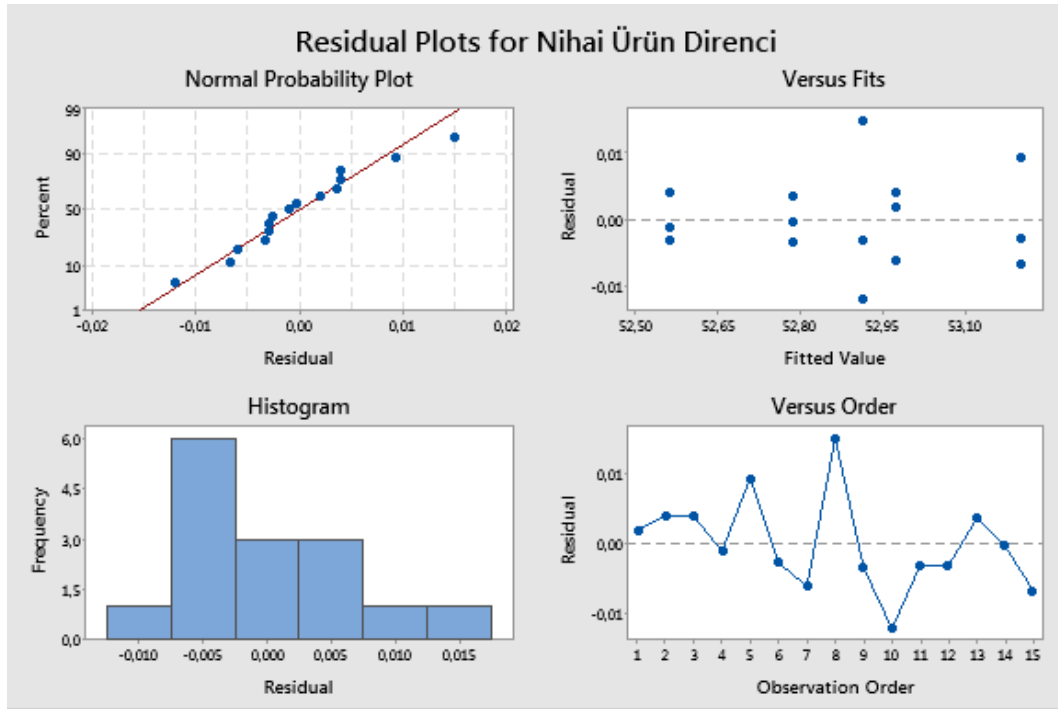
Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Tel gerginliği: z

Merkez noktası: c_p

$$y = 41,43 + 0,2015x - 0,2384z + 0,004840xz + 0,11050 c_p \quad (5.4)$$

Şekil 5.33'te teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri sunulmuştur. Farkın normal dağılıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.33: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri

C_{pk} 'yi 1,33'ün üzerine çıkarmak için nominal direnç olan 52,800 ohm/km hedeflenmiştir ve regresyon analizi ile kullanılması gereken girdi direnci ve tel gerginliği hesaplanmıştır.

Tablo 5.7: Hedef direnç tablosu

Karakteristik	Alt	Hedef	Üst
Nihai Ürün Direnci	52,558	52,8	53,212

Hedef direnç değerine göre kullanılması gereken girdi ürünün direnci ve ayarlanması gereken tel gerginliği Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8: Parametre çözüm tablosu

Çözüm	Ort Girdi Direnci (ohm/km)	Tel gerginliği (cN)	Nihai Ürün Direnci Fit (ohm/km)
	50,8	150	52,7853

Tablo 5.8’de belirtilen parametre değerleri ile %95 olasılık ile sapabileceği direnç aralık değerleri Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9: Olası direnç değerleri tablosu

Karakteristik	Hesabi değer	95% Olası Aralık
Nihai Ürün Direnci	52,7853	(52,7650; 52,8056)

b. 5118 nolu Makine İçin Çoklu Regresyon Analizi

Girdi ürünün direnci, girdi ürünün çapı, devir ve tel gerginliği parametrelerinin nihai ürünün direncini etkileyip etkilemediğini görmek için 5118 nolu makinede gerçekleşen üretimlerin verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Üretim verileri EK7’ da sunulmuştur.

Hipotez testleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Tüketim apı faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(3)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(4)}$: Tel gerginliği faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.10’da sunulmuştur. F değerinin anlamlı bir şekilde büyük olması ya da p değerinin düşük olması parametrenin sonuca etkisinin yüksek olması demektir.

Tablo 5.10: ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Regression	4	1,30509	0,326273	449,20	0,000
Devir	1	0,67198	0,671980	925,15	0,000
Tel ger	1	0,00036	0,000355	0,49	0,490
Ort.Tük.Çap	1	0,00053	0,000526	0,72	0,401
Girdi Ort. Direnç	1	0,22136	0,221362	304,76	0,000
Hata	31	0,02252	0,000726		
Toplam	35	1,32761			

Bu regresyon analizine göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Tel gerginliği: z

Tüketim çapı: t

Devir : p

$$y = 110,96 - 0,9315x - 0,001356p + 0,000479z - 20,9t \quad (5.5)$$

α : 0,05 anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, $H_{0(3)}$ hipotezleri ret edilir, $H_{0(2)}$, $H_{0(4)}$ hipotezleri ret edilemez.

Ürünün direncine etkisi olmayan parametreler elimine edildikten sonra elde edilen parametrelere ait ANOVA tablosu Tablo 5.2'de sunulmuştur. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.11: ANOVA tablosu

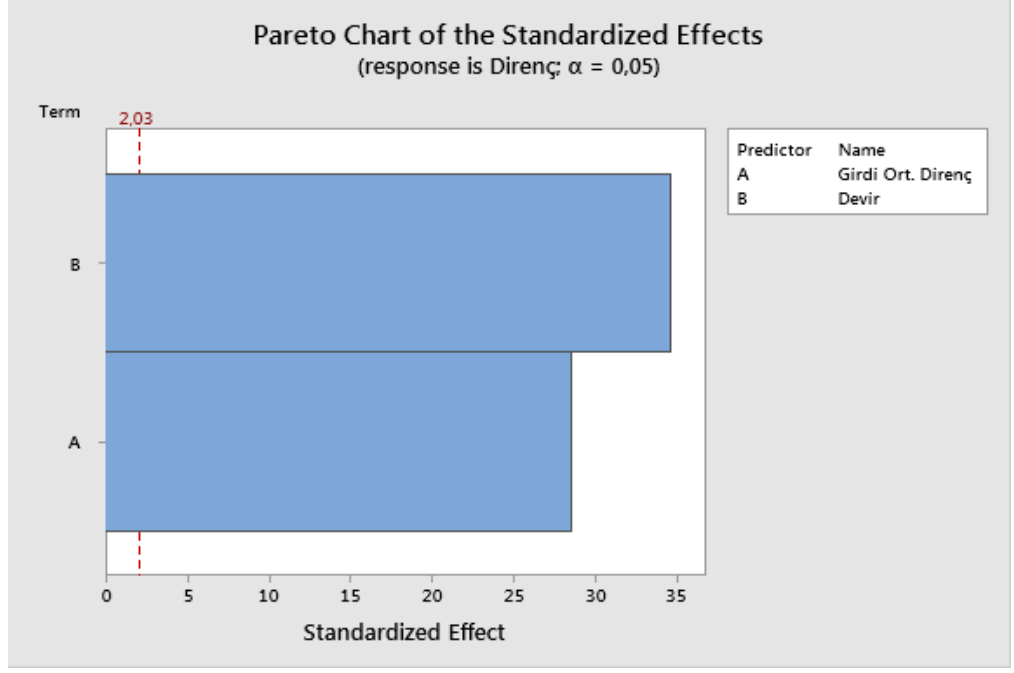
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Regresyon	2	1,30443	0,652213	928,39	0,000
Devir	1	0,84126	0,841255	1197,48	0,000
Girdi Ort. Direnç	1	0,57278	0,572781	815,32	0,000
Hata	33	0,02318	0,000703		
Toplam	35	1,32761			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.6'ya göre R^2 değeri %98,15 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir

Tablo 5.12: R^2 tablosu

S	R^2
0,0265052	98,15%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.34'te sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre en fazla devir, daha sonra girdi direnci etkilemektedir.



Şekil 5.34: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

Elde edilen regresyon denklemi aşağıda sunulmuştur.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Devir: z

$$y=105,10-0,001340z-0,8941x \quad (5.6)$$

Regresyon analizinden yararlanarak merkez noktalı 2^2 faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. Üç adet merkez noktası tanımlanmıştır ve deneyler 3 tekrarlı olacak şekilde oluşturulmuştur.

Girdi ürünün direnci ve devir faktörlerinin ana etkileri ile bu faktörlerin etkileşiminin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. Her bir faktör için hipotezler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(12)}$: Girdi ürünün direnci ve makine devri faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Belirtilen girdi direnci ve devre göre kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir ve ölçüm sonuçları Tablo 5.13'te verilmiştir.

Tablo 5.13: 5118 nolu makine için kontrollü deney tasarımı

Parti no	Sıra	Merkez Nok.	Girdi Direnci (ohm/km)	Devir (tpm)	Nihai Direnç (ohm/km)	Hesabi Direnç (ohm/km)	Hesabi ile Gerçekleşen Arasındaki Fark
7	1	1	50,800	5500	52,875	52,878	-0,00333
13	2	0	51,025	5000	53,212	53,206	0,00600
15	3	0	51,025	5000	53,208	53,206	0,00200
1	4	1	50,800	4500	52,528	52,531	-0,00300
6	5	1	51,250	4500	52,998	52,993	0,00533
14	6	0	51,025	5000	53,198	53,206	-0,00800
2	7	1	51,250	4500	52,991	52,993	-0,00167
8	8	1	51,250	5500	53,258	53,253	0,00533
3	9	1	50,800	5500	52,882	52,878	0,00367
11	10	1	50,800	5500	52,878	52,878	-0,00033
4	11	1	51,250	5500	53,250	53,253	-0,00267
5	12	1	50,800	4500	52,535	52,531	0,00400
12	13	1	51,250	5500	53,250	53,253	-0,00267
10	14	1	51,250	4500	52,989	52,993	-0,00367
9	15	1	50,800	4500	52,530	52,531	-0,00100

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.14'te verilmiştir. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.14: ANOVA tablosu

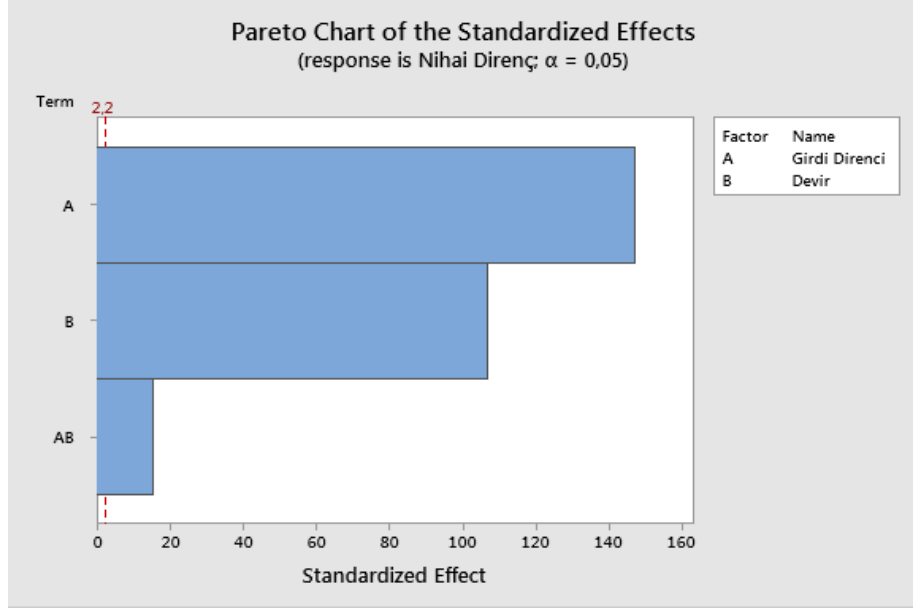
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Model	4	1,01163	0,252908	10450,76	0,000
Doğrusal	2	0,80081	0,400406	16545,71	0,000
Girdi Direnci	1	0,52417	0,524172	21660,00	0,000
Devir	1	0,27664	0,276640	11431,42	0,000
2-yönlü etkileşimler	1	0,00572	0,005720	236,38	0,000
Girdi Direnci*Devir	1	0,00572	0,005720	236,38	0,000
Eğrilik	1	0,20510	0,205101	8475,25	0,000
Hata	10	0,00024	0,000024		
Toplam	14				

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.15'e göre R^2 değeri % 99,97 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.15: R^2 tablosu

S	R^2
0,0049193	99,97%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.35'te sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre en fazla girdi direnci, daha sonra devir ve bu iki parametrenin etkileşimi etkilemektedir.



Şekil 5.35: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

α : 0,05 anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, $H_{0(2)}$ ve $H_{0(12)}$ hipotezleri ret edilir.

Bu deney sonuçları ile elde edilen regresyon denklemi aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

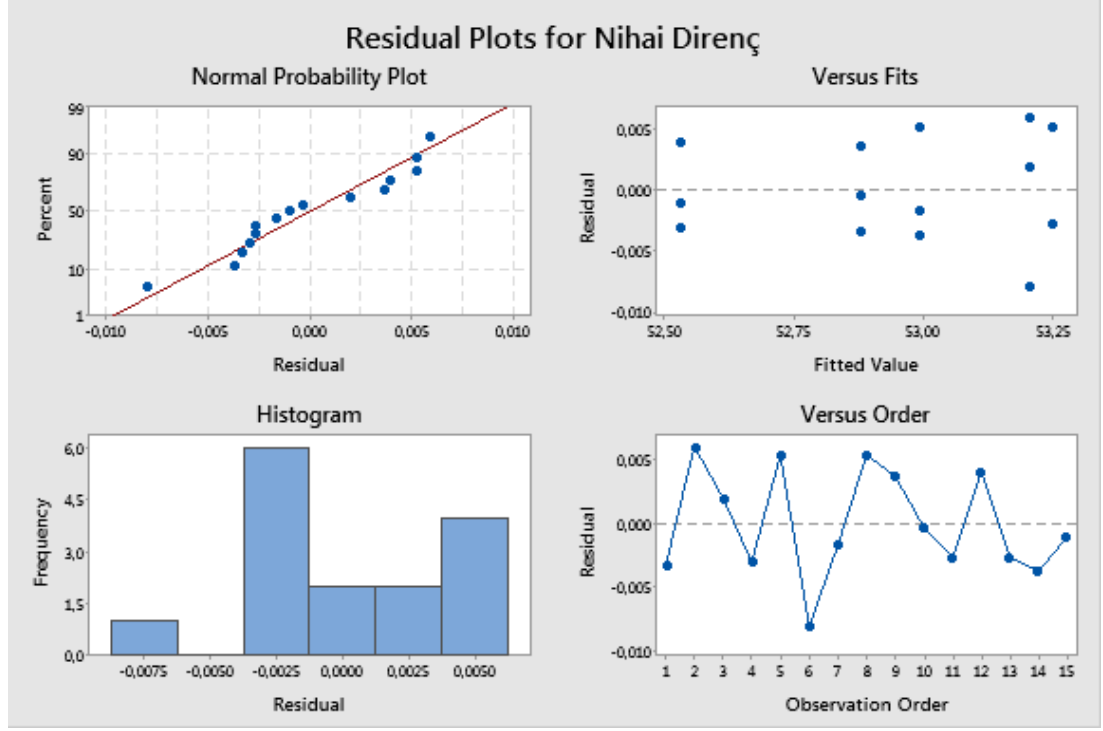
Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Devir: z

Merkez Noktası: c_p

$$y = -45,51 + 1,8993x + 0,010206z - 0,000194xz + 0,29233 c_p \quad (5.7)$$

Şekil 5.36'da teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri sunulmuştur. Farkın normal dağılıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.36: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri

C_{pk} 'yi 1,33'ün üzerine çıkarmak için nominal direnç olan 52,800 ohm/km hedeflenmiştir ve regresyon analizi ile kullanılması gereken girdi direnci ve tel gerginliği hesaplanmıştır.

Tablo 5.16: Hedef direnç tablosu

Değişken	Alt	Hedef	Üst
Nihai Direnç	52,528	52,8	53,258

Hedef direnç değerine göre kullanılması gereken girdi ürünün direnci ve ayarlanması gereken tel gerginliği Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17: Parametre çözüm tablosu

Çözüm	Girdi Direnci (Ohm/km)	Devir (tpm)	Hesabi Nihai Direnç (ohm/km)
	50,8	5500	52,8783

Yukarıda belirtilen parametre değerleri ile %95 olasılıkla direnç değeri Tablo 5.18’de belirtilen aralıklarda olabilir.

Tablo 5.18: Olası direnç değerleri tablosu

Karakteristik	Hesabi Değer	95% Olası Aralık
Nihai Direnç	52,8783	(52,8657; 52,8910)

c. 5168 nolu Makine İçin Çoklu Regresyon Analizi

Girdi ürünün direnci, girdi ürünün çapı, devir ve tel gerginliği parametrelerinin nihai ürünün direncini etkileyip etkilemediğini görmek için 5168 nolu makinede gerçekleşen üretimlerin verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Üretim verileri EK8’ de sunulmuştur.

Hipotez testleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Tüketim çapı faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(3)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(4)}$: Tel gerginliği faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.19’da sunulmuştur. F değerinin anlamlı bir şekilde büyük olması ya da p değerinin düşük olması parametrenin sonuca etkisinin yüksek olması demektir.

Tablo 5.19: ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Regression	4	1,19846	0,299615	16,88	0,000
Girdi Ort. Direnç	1	0,00132	0,001317	0,07	0,787
Ort. Tük.Çap	1	0,00105	0,001054	0,06	0,809
Devir	1	0,03225	0,032248	1,82	0,186
Tel gerginliği	1	0,85388	0,853884	48,11	0,000
Hata	36	0,63891	0,017747		
Toplam	40	1,83737			

Bu regresyon analizine göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Tel gerginliği: z

Tüketim çapı: t

Devir : p

$$y = 43, +0,045x - 0,000250p + 0,03z + 20,3t \quad (5.8)$$

α : 0,05 anlamlılık seviyesinde $H_{0(4)}$, hipotezleri ret edilir, $H_{0(1)}$, $H_{0(2)}$, $H_{0(3)}$ hipotezi ret edilemez.

Parametrelerin tekil ve birbiri ile olan etkileşimi tekrar analiz edilmiştir

Ürünün direncine etkisi olmayan parametreler elimine edildikten sonra ve diğer etkileşimler de ekledikten sonra elde edilen parametrelere ait ANOVA tablosu Tablo 5.20'de sunulmuştur. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktığı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.20: ANOVA tablosu

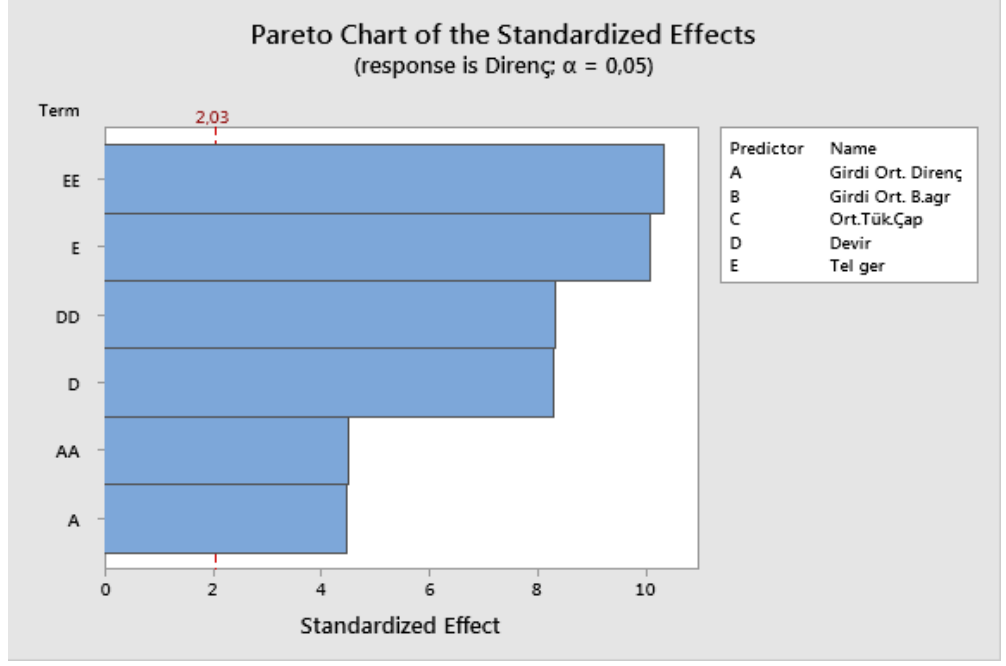
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ort.	F-Değeri	p-Değeri
Regresyon	6	1,74029	0,290049	53,21	0,000
Girdi Ort. Direnç	1	0,10992	0,109923	20,17	0,000
Devir	1	0,37610	0,376095	69,00	0,000
Tel ger	1	0,55478	0,554776	101,78	0,000
Girdi Ort. Direnç*Girdi Ort. Direnç	1	0,11068	0,110682	20,31	0,000
Devir*Devir	1	0,37820	0,378196	69,39	0,000
Tel ger*Tel ger	1	0,58252	0,582522	106,87	0,000
Hata	34	0,18532	0,005451		
Toplam	40	1,92561			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.21'e göre R^2 değeri %88,68 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.21: R^2 tablosu

S	R^2
0,0738281	88,68%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.37'de sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre en fazla tel gerginliği, devir ve daha sonra girdi direnci etkilemektedir.



Şekil 5.37: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

Elde edilen regresyon denklemi aşağıda sunulmuştur.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Devir: z

Tel gerginliği: t

$$y = 3519 - 144,1x + 0,1121z - 1,313t + 1,416x^2 - 0,000011z^2 + 0,004730t^2 \quad (5.9)$$

Regresyon analizinden yararlanarak merkez noktalı 2^3 faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. 2 adet merkez noktası tanımlanmıştır ve deneyler 2 tekrarlı olacak şekilde oluşturulmuştur.

Girdi ürünün direnci ve devir faktörlerinin ana etkileri ile bu faktörlerin etkileşiminin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. Her bir faktör için hipotezler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(12)}$: Girdi ürünün direnci ve makine devri faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

$H_{0(3)}$: Tel gerginliği faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(13)}$: Girdi ürünün direnci ve tel faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

$H_{0(23)}$: Makine devri ve tel gerginliği faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

$H_{0(123)}$: Girdi ürünün direnci, devir ve tel gerginliğinin faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Belirtilen girdi direnci, devir ve tel gerginliklerine göre kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir ve ölçüm sonuçları Tablo 5.22’de verilmiştir.

Tablo 5.22: 5168 nolu makine için kontrollü deney tasarımı

Parti no	Sıra	Mrkz Nok.	Girdi Direnci (ohm/km)	Devir (tpm)	Tel Ger. (cN)	Nihai Direnç (ohm/km)	Hesabi Direnç (ohm/km)	Hesabi ile Gerçekleşen Arasındaki Fark
1	1	1	50,7	4500	120	52,478	52,469	0,009
10	2	1	51,35	4500	120	52,853	52,851	0,002
9	3	1	50,7	4500	120	52,465	52,469	-0,004
17	4	0	51,025	5000	135	52,649	52,651	-0,002
15	5	1	50,7	5500	150	53,080	53,081	-0,001
4	6	1	51,35	5500	120	53,102	53,096	0,006
3	7	1	50,7	5500	120	52,768	52,773	-0,005
5	8	1	50,7	4500	150	52,802	52,809	-0,007
12	9	1	51,35	5500	120	53,095	53,096	-0,001
18	10	0	51,025	5000	135	52,653	52,651	0,002
7	11	1	50,7	5500	150	53,086	53,081	0,005
13	12	1	50,7	4500	150	52,811	52,809	0,002
14	13	1	51,35	4500	150	52,912	52,904	0,008
16	14	1	51,35	5500	150	53,122	53,118	0,004
6	15	1	51,35	4500	150	52,900	52,904	-0,004
8	16	1	51,35	5500	150	53,109	53,118	-0,009
2	17	1	51,35	4500	120	52,845	52,851	-0,006
11	18	1	50,7	5500	120	52,774	52,773	0,001

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.23'te verilmiştir. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.23: ANOVA tablosu

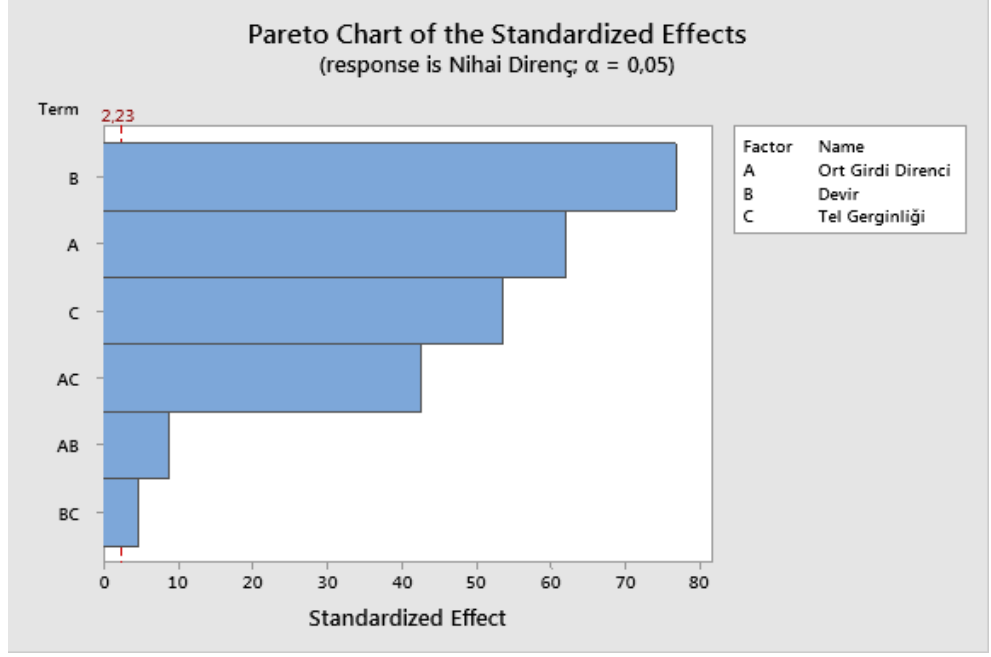
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ort.	F -Değeri	p -Değeri
Model	7	0,758946	0,108421	2386,81	0,000
Doğrusal	3	0,572909	0,190970	4204,06	0,000
Girdi Direnci	1	0,175142	0,175142	3855,64	0,000
Devir	1	0,267806	0,267806	5895,57	0,000
Tel Gerginliği	1	0,129960	0,129960	2860,99	0,000
2-Yönlü Etkileşim	3	0,086497	0,028832	634,72	0,000
Girdi Direnci*Devir	1	0,003422	0,003422	75,34	0,000
Girdi Direnci*Tel Gerginliği	1	0,082082	0,082082	1806,98	0,000
Devir*Tel Gerginliği	1	0,000992	0,000992	21,84	0,001
Eğrilik	1	0,099540	0,099540	2191,31	0,000
Hata	10	0,000454	0,000045		
Toplam	17	0,759400			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.24'e göre R^2 değeri % 99,90 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.24: R^2 tablosu

S	R^2
0,0067398	99,90%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.38'de sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre en fazla devir, girdi direnci, tel gerginliği ve sonra da bunların ikili etkileşimleri etkilemektedir.



Şekil 5.38: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

$\alpha=0,05$ anlamlılık seviyesinde tüm sıfır hipotezleri ret edilir.

Bu deney sonuçları ile tekrardan regresyon analizi yapılmıştır ve aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

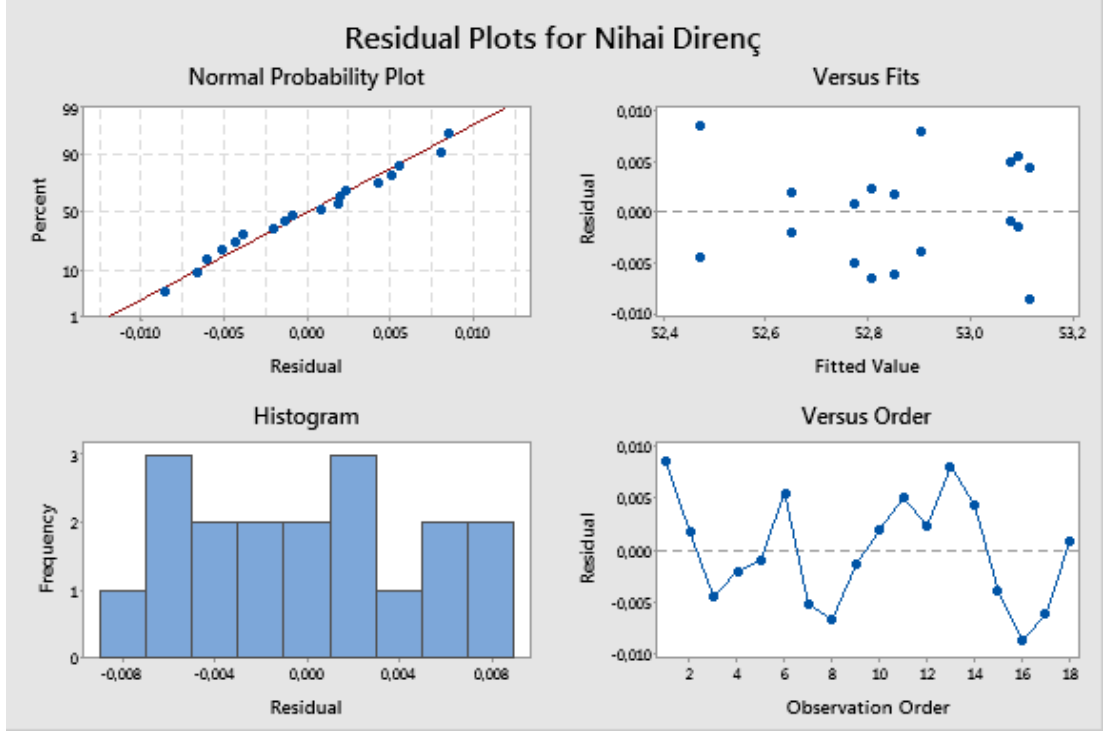
Devir: z

Tel gerginliği: t

Merkez noktası: c_p

$$y = -60,5 + 2,167x - 0,00101z + 0,539t + 0,000028xz - 0,01033xt + 0,000043zt - 0,000001xzt - 0,23662c_p \quad (5. 10)$$

Şekil 5.39'da teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri sunulmuştur. Farkın normal dağılıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.39: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri

C_{pk} 'yı 1,33'ün üzerine çıkarmak için nominal direnç olan 52,800 ohm/km hedeflenmiştir ve regresyon analizi ile kullanılması gereken girdi direnci ve tel gerginliği hesaplanmıştır.

Tablo 5.25: Hedef direnç tablosu

Değişken	Alt	Hedef	Üst
Nihai Direnç	52,465	52,8	53,122

Hedef direnç değerine göre kullanılması gereken girdi ürünün direnci ve ayarlanması gereken tel gerginliği Tablo 5.26'da verilmiştir.

Tablo 5.26: Parametre çözüm tablosu

Çözüm	Girdi Direnci (ohm/km)	Devir (tpm)	Tel Gerginliği(cN)	Nihai Direnç Fit (ohm/km)
	50,7	5500	120	52,7731

Yukarıda belirtilen parametre değerleri ile üretilen ürünün %95 olasılık ile direnç değerinin Tablo 5.27’de belirtilen aralıkta olması beklenmektedir.

Tablo 5.27: Olası direnç aralıkları

Karakteristik	Hesabi Değer	95% Olası Aralık
Nihai Direnç	52,7731	(52,7551; 52,7911)

d. 5169 nolu Makine İçin Çoklu Regresyon Analizi

Girdi ürünün direnci, tüketim çapı, devir ve tel gerginliği parametrelerinin nihai ürünün direncini etkileyip etkilemediğini görmek için 5169 nolu makinede gerçekleşen üretimlerin verileri kullanılarak çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Üretim verileri EK9’ da sunulmuştur.

Hipotez testleri aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Tüketim çapı faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(3)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(4)}$: Tel gerginliği faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.28’de sunulmuştur. F değerinin anlamlı bir şekilde büyük olması ya da p değerinin düşük olması parametrenin sonuca etkisinin yüksek olması demektir.

Tablo 5.28: ANOVA tablosu

Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Regresyon	4	0,066192	0,016548	34,76	0,000
Girdi Ort. Direnç	1	0,025527	0,025527	53,61	0,000
Devir	1	0,042181	0,042181	88,59	0,000
Tel gerginliği	1	0,000871	0,000871	1,83	0,185
Ort.Tük.Çap	1	0,002854	0,002854	5,99	0,019
Hata	36	0,017141	0,000476		
Toplam	40	0,083332			

Bu regresyon analizine göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Tel gerginliği: z

Tüketim çapı: t

Devir : p

$$y = 44,50 + 0,1775x - 0,000204p + 0,000667z - 0,1733t \quad (5. 11)$$

α : 0,05 anlamlılık seviyesinde $H_{0(1)}$, $H_{0(3)}$ hipotezleri ret edilir ya da $H_{0(2)}$, $H_{0(4)}$ hipotezleri ret edilemez.

Ürünün direncine etkisi olmayan parametreler elimine edildikten sonra ve diğer etkileşimler de ekledikten sonra elde edilen parametrelere ait ANOVA tablosu Tablo 5.29'da sunulmuştur. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktığı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.29: ANOVA tablosu

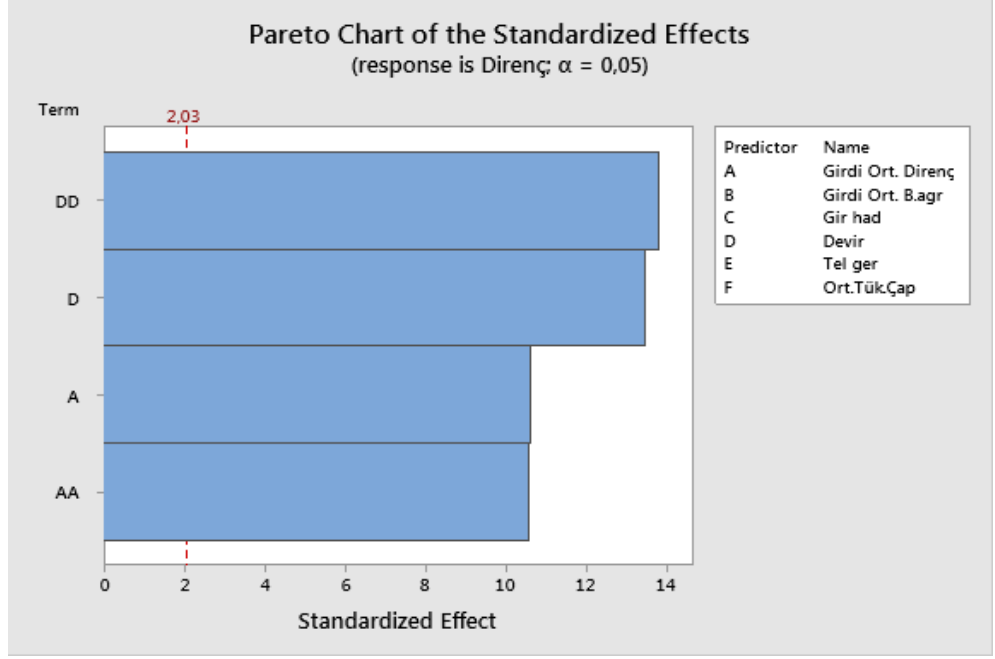
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ort.	F-Değeri	p-Değeri
Regresyon	4	0,081022	0,020255	315,59	0,000
Girdi Ort. Direnç	1	0,007240	0,007240	112,81	0,000
Devir	1	0,011596	0,011596	180,66	0,000
Girdi Ort.Direnç*Girdi Ort. Direnç	1	0,007197	0,007197	112,13	0,000
Devir*Devir	1	0,012226	0,012226	190,49	0,000
Hata	36	0,002311	0,000064		
Toplam	40	0,083332			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.30'a göre R^2 değeri % 96,92 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.30: R^2 tablosu

S	R^2
0,0080114	96,92%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.40'ta sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre en fazla devir karesi, devir ve daha sonra girdi direnci ve karesi etkilemektedir.



Şekil 5.40: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

Elde edilen regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Devir: z

Tel gerginliği: t

$$y = -1634 + 65,26x + 0,007053z - 0,6379x^2 - 0,000001z^2 \quad (5.12)$$

Regresyon analizinden yararlanarak merkez noktalı 2^2 faktöriyel deney tasarımı oluşturulmuştur. Üç adet merkez noktası tanımlanmıştır ve deneyler üç tekrarlı olacak şekilde oluşturulmuştur.

Girdi ürünün direnci ve devir faktörlerinin ana etkileri ile bu faktörlerin etkileşiminin etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı test edilmiştir. Her bir faktör için hipotezler aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

$H_{0(1)}$: Girdi ürünün direnci faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(2)}$: Makine devri faktörü süreç üzerinde etkili değildir.

$H_{0(12)}$: Girdi ürünün direnci ve makine devri faktörleri arasında bir etkileşim yoktur.

Belirtilen girdi direnci, devire göre kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir ve ölçüm sonuçları Tablo 5.31’de verilmiştir.

Tablo 5.31: 5169 nolu makine için kontrollü deney tasarımı

Parti no	Sıra	Merkez Nok.	Girdi Direnci (ohm/km)	Devir (tpm)	Nihai Direnç (ohm/km)	Hesabi Direnç (ohm/km)	Hesabi ile Gerçekleşen Arasındaki Fark
3	1	1	50,7	5500	52,885	52,884	0,001
15	2	0	50,95	5000	53,108	53,108	0,000
1	3	1	50,7	4500	52,528	52,530	-0,002
13	4	0	50,95	5000	53,110	53,108	0,002
4	5	1	51,2	5500	53,253	53,252	0,001
6	6	1	51,2	4500	53,117	53,116	0,001
8	7	1	51,2	5500	53,259	53,252	0,007
5	8	1	50,7	4500	52,530	52,530	0,000
11	9	1	50,7	5500	52,880	52,884	-0,004
2	10	1	51,2	4500	53,111	53,116	-0,005
7	11	1	50,7	5500	52,888	52,884	0,004
12	12	1	51,2	5500	53,244	53,252	-0,008
9	13	1	50,7	4500	52,532	52,530	0,002
14	14	0	50,95	5000	53,105	53,108	-0,003
10	15	1	51,2	4500	53,120	53,116	0,004

Ürün direncini etkileyen parametreler için ANOVA tablosu Tablo 5.32’de verilmiştir. Tabloya göre p değerinin düşük, F değerinin ise yüksek olması çıktı ile değişkenler arasında güçlü etkileşim vardır şeklinde yorumlanabilir.

Tablo 5.32: ANOVA tablosu

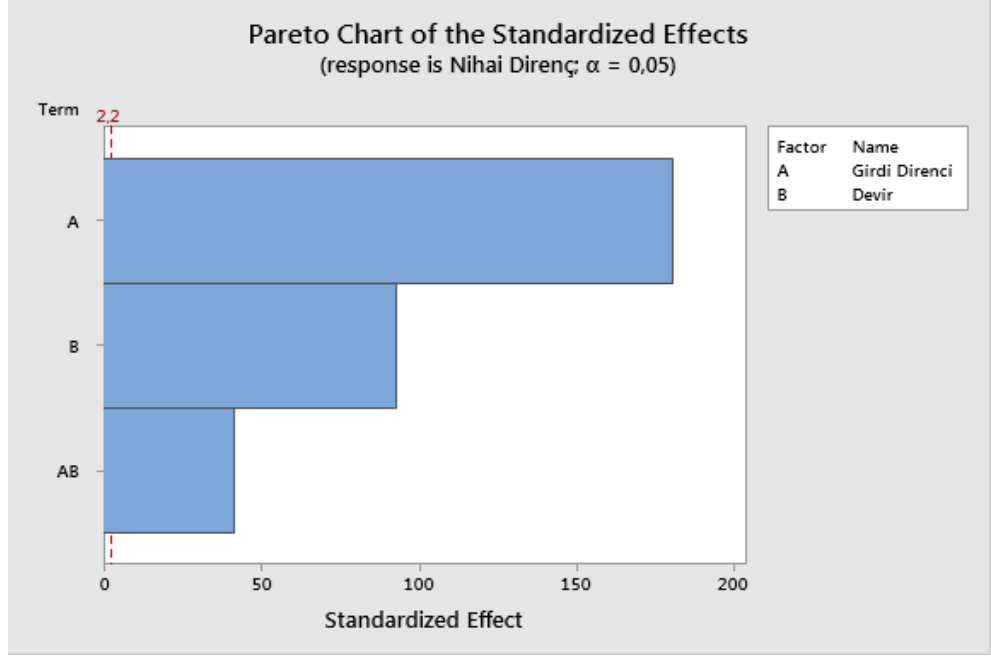
Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Karelerin Ortalaması	F-Değeri	p-Değeri
Model	4	0,961233	0,240308	11479,69	0,000
Doğrusal	2	0,862430	0,431215	20599,45	0,000
Girdi Direnci	1	0,682110	0,682110	32584,88	0,000
Devir	1	0,180320	0,180320	8614,02	0,000
İki Yönlü Etkileşim	1	0,035752	0,035752	1707,90	0,000
Girdi Direnci*Devir	1	0,035752	0,035752	1707,90	0,000
Eğrilik	1	0,063050	0,063050	3011,96	0,000
Hata	10	0,000209	0,000021		
Toplam	14	0,961442			

R^2 değeri korelasyon katsayılarının karesine eşittir. Tablo 5.33'ye göre R^2 değeri % 96,97 bulunmuştur ve sonuç ile değişkenler arasında yüksek ilişki olabileceği söylenmektedir.

Tablo 5.33: R^2 tablosu

S	R^2
0,0045753	99,97%

Ürün direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı Şekil 5.41'de sunulmuştur. Aşağıdaki diyagrama göre girdi direnci, daha sonra devir ve bunların 2'li etkileşimleri etkilemektedir.



Şekil 5.41: Direnci etkileyen parametrelerin pareto diyagramı

$\alpha=0,05$ anlamlılık seviyesinde tüm sıfır hipotezleri ret edilir.

Bu deney sonuçları ile tekrardan regresyon analizi yapılmıştır ve aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

Nihai ürün direnci: y

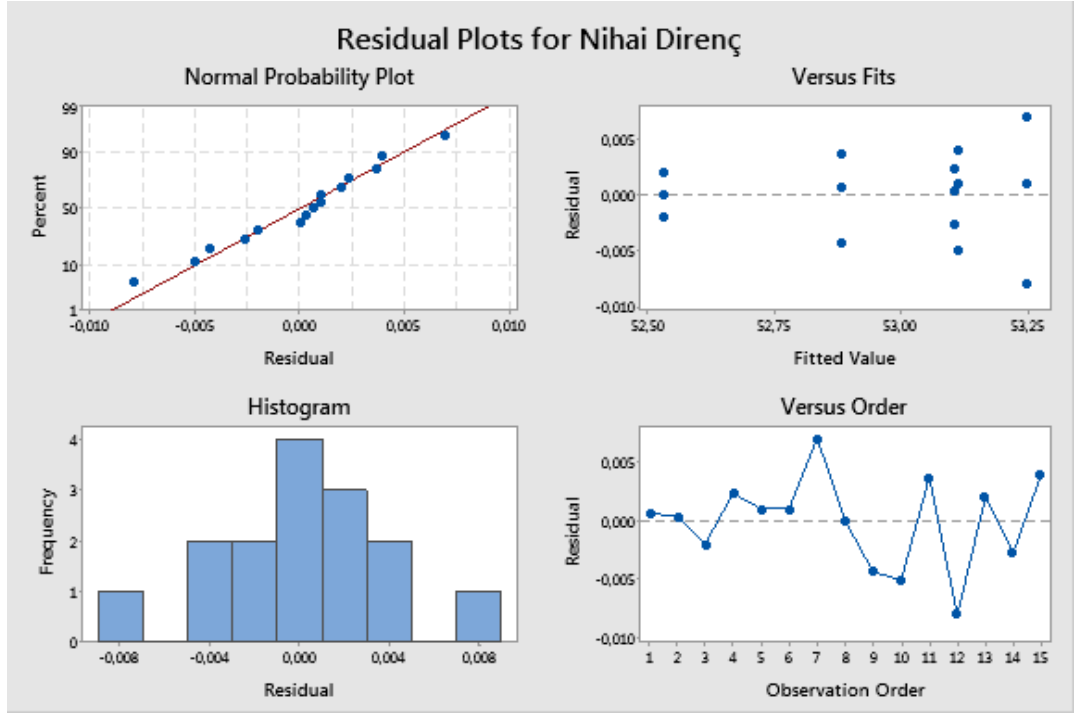
Girdi ürünlerin ortalama direnci: x

Devir: z

Merkez Noktası: c_p

$$y = -108,11 + 3,1370x + 0,022493z - 0,000437yz + 0,16208t \quad (5.13)$$

Şekil 5.42'de teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri sunulmuştur. Farkın normal dağılıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.42: Teorik ve gerçekleşen değer arasındaki fark grafikleri

C_{pk} 'yi 1,33'ün üzerine çıkarmak için nominal direnç olan 52,800 ohm/km hedeflenmiştir ve regresyon analizi ile kullanılması gereken girdi direnci ve tel gerginliği hesaplanmıştır.

Tablo 5.34: Hedef direnç tablosu

Karakteristik	Alt	Hedef	Üst
Nihai Direnç	52,528	52,8	53,259

Hedef direnç değerine göre kullanılması gereken girdi ürünün direnci ve ayarlanması gereken tel gerginliği Tablo 5.35'te verilmiştir.

Tablo 5.35: Parametre çözüm tablosu

Çözüm	Girdi Direnci (ohm/km)	Devir (tpm)	Nihai Direnç Hesabi (ohm/km)
	50,7		5500

Yukarıda belirtilen parametre değerleri ile üretilen ürünlerde %95 olasılık direnç değeri ile Tablo 5.36’da belirtilen aralıkta yer alır.

Tablo 5.36: Olası direnç aralığı

Karakteristik	Hesabi Değer	95% Olası Değer
Nihai Direnç	52,8843	(52,8726; 52,8961)

e. Üretimin Gerçekleştirilmesi

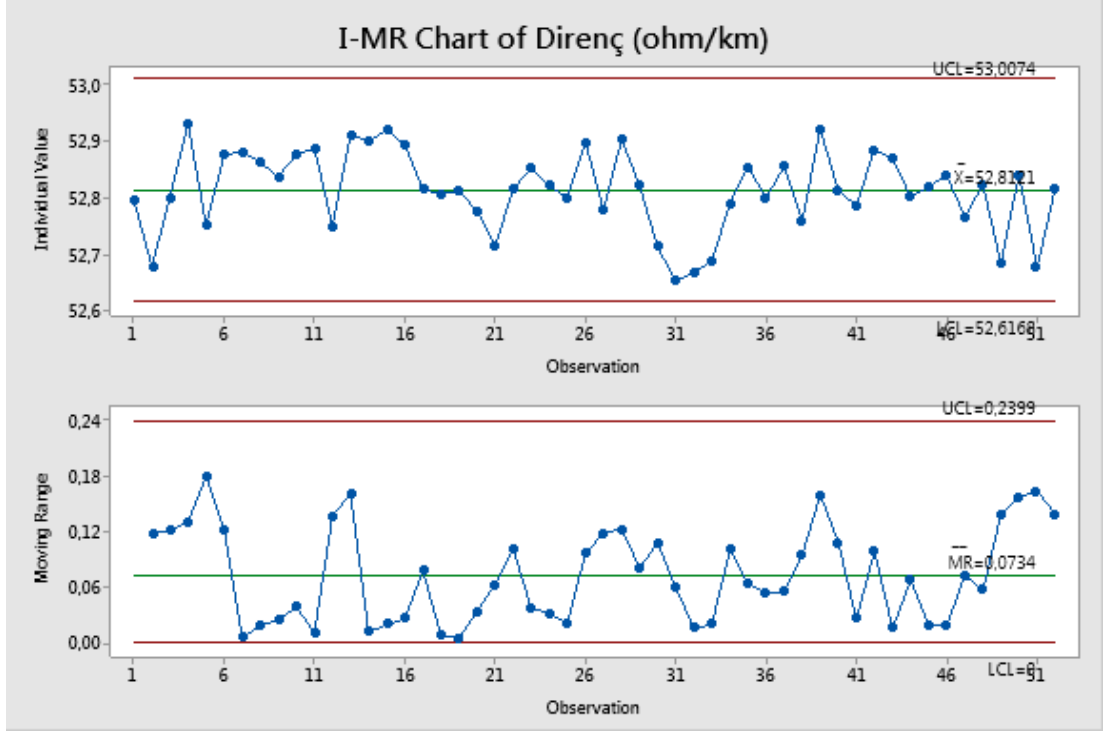
5115, 5118, 5168 ve 5169 nolu makinelerde belirlenen parametrelerle üretim gerçekleştirilmiştir. Üretim parametreleri Tablo 5.37’de verilmiştir.

Tablo 5.37: Üretim parametreleri

Makine No	Girdi Direnci (ohm/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5115	50,8 (nominal)	130	5100-5500	150
5118	50,8 (nominal)	130	5500	120-130
5168	50,7 (nominal)	130	5500	120
5169	50,7 (nominal)	130	5500	120

Bu parametrelere göre yapılan üretim verileri EK10’da sunulmuştur.

Öncelikle kontrol çizelgelerinden yararlanılmıştır. Alt gruplama yapılmadığı için I-MR kontrol çizelgesi çizilmiştir.

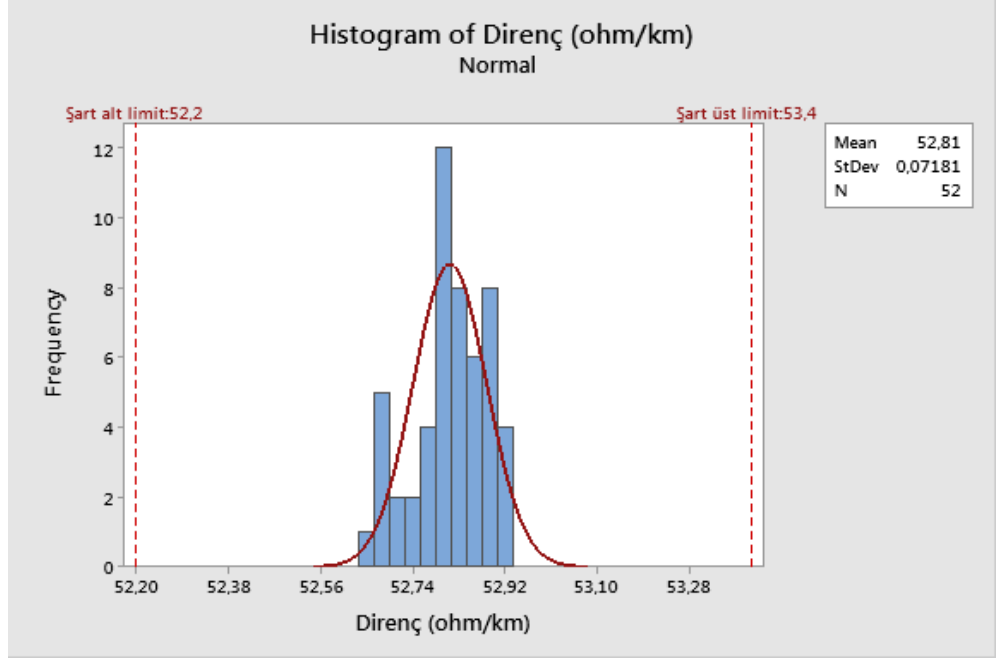


Şekil 5.43: Direnç karakteristiği için I- MR kontrol çizelgesi

Şekil 5.43'de görülen kontrol çizelgesinde öncelikle *R* çizelgesi yorumlanmıştır. *R* çizelgesi sürecin kararlılığını göstermektedir. Kararlı olmayan bir sürecin kontrol altında olup olmadığına bakılmaz.

- I ve MR çizelgelerde veriler üst ve alt kontrol limitlerinin arasında dağılım göstermelidir, aksi takdirde süreç kontrol altında değildir yorumu yapılır. I ve MR çizelgesinde üst ve alt kontrol limitlerinin dışında olan herhangi bir nokta bulunmamaktadır.
- Ardışık olarak gelen dokuz noktadan fazlası ortalama çizginin altında veya üstünde ise sürecin kontrol altında olmadığını gösterir. İki çizelgede de bu kurala aykırı bir durum gözlemlenmemiştir. Bu da sürecin kontrol altında olduğunu göstermektedir.

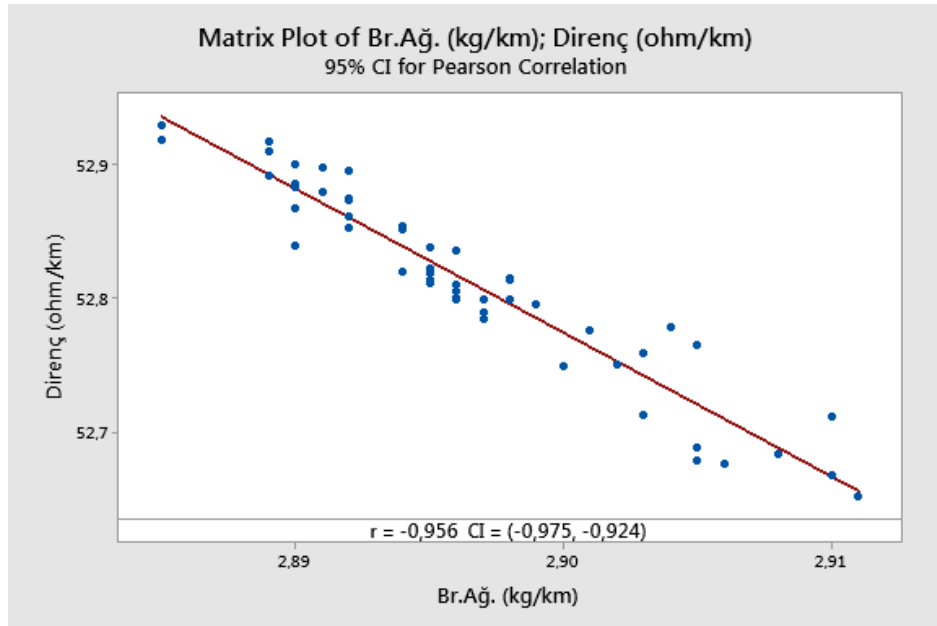
Sürece ait histogram grafiği çizilmiştir.



Şekil 5.44: Direnç karakteristiği için histogram grafiği

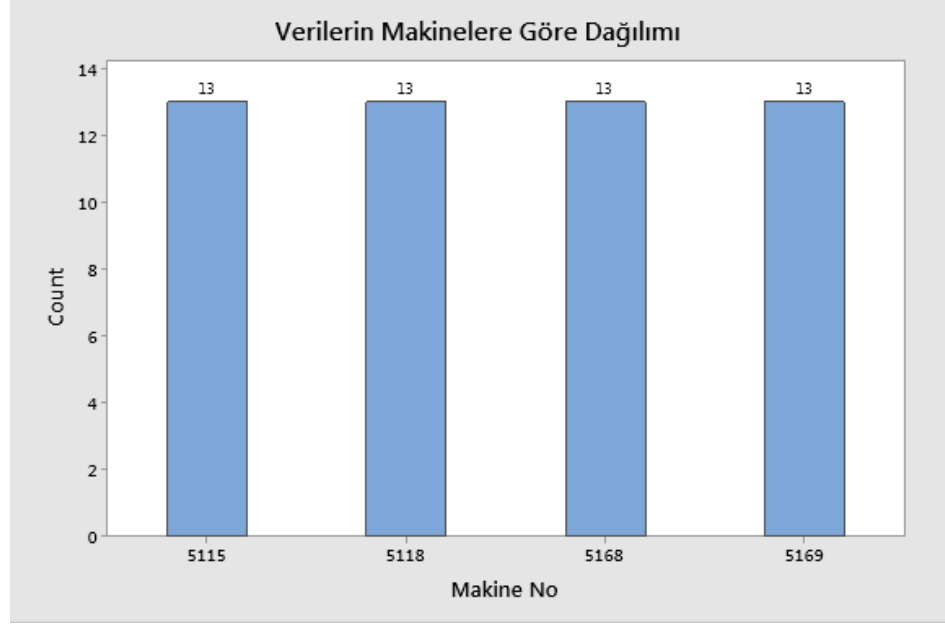
Direnç değerlerini Şekil 5.44'te yer alan histogram grafiğinde üst ve alt limitler arasında dar bir aralıkta dağıldığı görülmektedir. Daha önceki iyileştirmelerde elde edilen histogram grafiğine göre daha dar bir alanda dağılım gözlemlenmektedir.

Direnç ve birim ağırlık arasında negatif yönlü güçlü bir korelasyon olduğu Şekil 5.45'te görülmektedir.



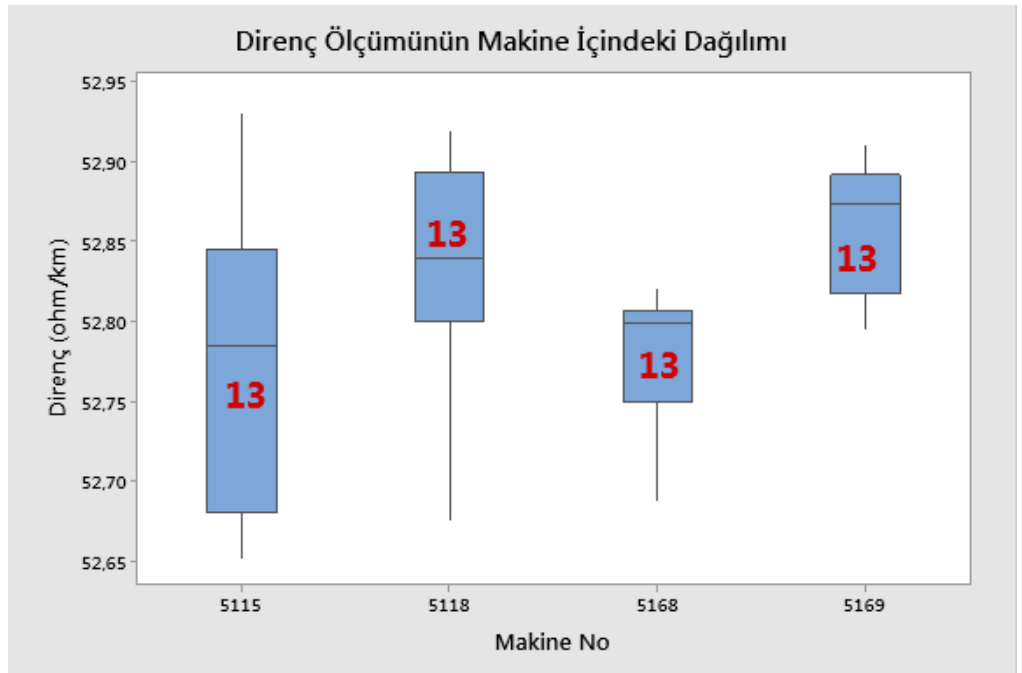
Şekil 5.45: Direnç ve birim ağırlık ilişki diyagramı

Üretilen partilerin makinelere göre dağılımı Şekil 5.46’da verilmiştir. Planlandığı şekilde altı farklı makinede üretim yapılmıştır.



Şekil 5.46: Verilerin makinelere göre dağılımı

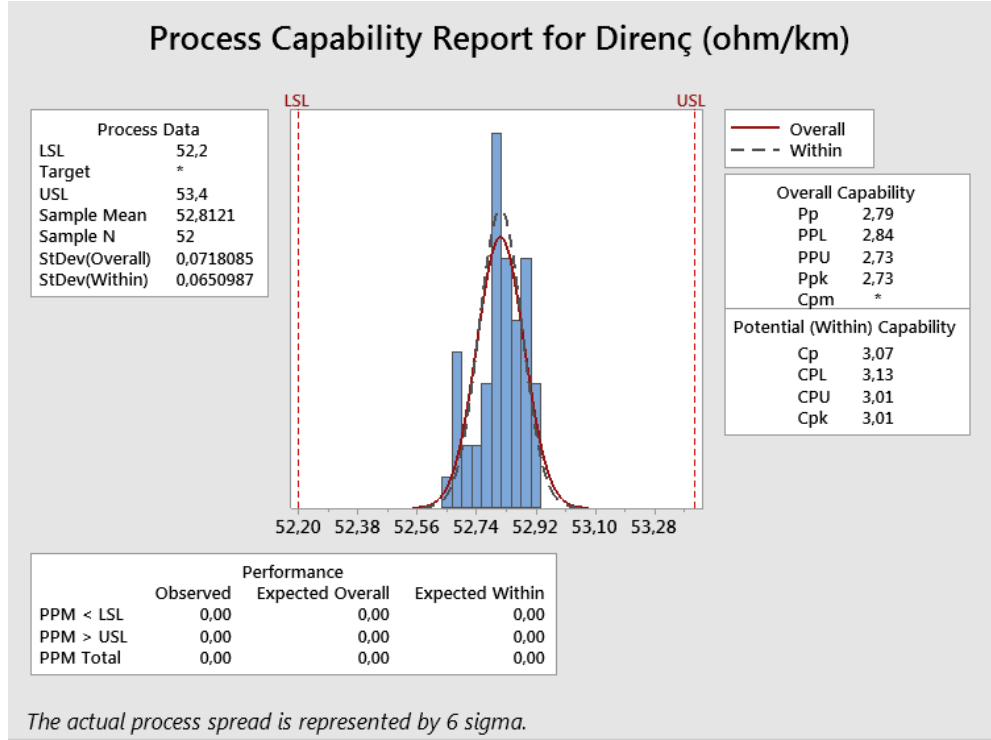
Makine içinde ölçüm sonuçlarının nasıl bir dağılım gösterdiği analiz edilmiştir.



Şekil 5.47: Direnc ölçümünün makine içinde dağılımı

Her makinede eşit sayıda üretim planlanmıştır. 5115 nolu makinede diğer makinelere göre direnç ölçümleri arasında maksimum 0,165 ohm/km fark bulunmaktadır. Bu dağılıma girdi malzeme, operatör, makine, ölçüm belirsizliği neden olmuş olabilir. 5168 nolu makine diğer makinelere göre daha dar bir aralıkta direnç ölçüm sonucu elde edilmiştir.

Son olarak da sürecin yeterliği hesaplanmıştır.



Şekil 5.48: Direnç için süreç yeterlilik analizi

Yukarıda görüldüğü üzere P_{pk} 2,73 olarak hesaplanmıştır. Müşteri talebi olan 1,33 karşılanmıştır.

Tüm bu deneme çalışmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Tablo 5.38’de verilmiştir.

Tablo 5.38: İyileştirme öncesi ve sonrası süreç yeterlilik sonuç tablosu

İyileştirme öncesi	İyileştirme sonrası			Hedef
	C_{pk} (Deneme I)	C_{pk} (Deneme II)	C_{pk} (Çoklu Regresyon Analizi sonrası)	
0,56	0,72	1,14	2,73	$\geq 1,33$

6. SONUÇ ve TARTIŞMA

İletken ve bağlantılı sektörlerde faaliyet gösteren bir işletmede, süreç yeterliliğini artırmak amacıyla, istatistiksel süreç kontrol yöntemleri kullanılmıştır. Öncelikle mevcut durum analizi için balık kılçığı diyagramları, kontrol çizelgeleri, histogram, pareto, korelasyon eğrisi kullanılmıştır ve süreç yeterliliği hesaplanmıştır. Yapılan mevcut durum analizinde, bir ürününde direnç karakteristiğine ait C_{pk} 'nin 1,33'ten düşük olmasına sebep olabilecek kök nedenler, makineler arası nesil farklılığı, bir siparişte planlanan makine adedinin fazla olması, girdi direnç toleransının geniş olması, nihai ürün direnç toleransının geniş olması, ölçüm belirsizliği, üretim ve kalite operatöründen kaynaklanan değişkenlik, numunenin çalışma bölgesinden alınmaması olarak varsayılmıştır. Bu kök nedenlerin etkilerini azaltmak için iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

İlk denemede, eski nesil makinelerde ve sadece belirlenen altı adet makinede deneme üretimi planlanmış, girdi teli direnç toleransı daraltılmış ve üretim operatörlerine farkındalık eğitimi verilmiştir. Alınan bu aksiyonlar neticesinde 0,56 olan C_{pk} değeri 0,72 değerine yükselmiştir.

İlk denemede yapılan iyileştirmelerle hedeflenen süreç yeterliliği elde edilemediği için ikinci deneme planlanmıştır. Bu denemede nihai ürün direnç toleransı daraltılmış, altı adet seçilmiş makinede üretim planlanmış ve ölçümden gelen belirsizliği ortadan kaldırmak adına tek bir cihazda hem yol verme hem de nihai ürün dirençleri kalite kontrol operatörleri tarafından ölçülmüştür. Alınan bu aksiyonlar neticesinde 0,72 olan C_{pk} değeri 1,14 değerine yükselmiştir. Yapılan iki deneme sonucunda C_{pk} değeri 1,14 değerine yükselmiş olsa da müşteri beklentisi olan 1,33 değeri yakalanamamıştır.

C_{pk} değerini 1,33'ün üzerine çıkarmak amacıyla bu ürün için en fazla üretim yapılan dört adet makine belirlenmiş ve çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinde devir, tel gerginliği ve girdi ürünün direncinin en etkili değişkenler olduğu görülmüştür. Bu değişkenlerin etkilerini gözlemlemek amacıyla dört farklı makinede deneysel tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları analiz edilerek, bu ürünün direnç değeri için devir, gerginlik ve girdi ürünün direncine bağlı bir denklem elde edilmiştir. Bu denkleme bağlı olarak, bu ürünlerin direnç ölçüm sonuçlarının daha dar

bir aralıkta salınım göstermesi için girdi ürünün direncine göre anlık devir ve gerginlik parametre değerleri yaratılarak üretimler yapılmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak gerçekleştirilen üretimler sonucunda C_{pk} değeri 2,73 olarak başarı ile elde edilmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda, istatistiksel süreç kontrol tekniklerinin endüstriyel uygulamalarda kullanımı ile iş gücü, zaman, kaynak kullanım verimliliği ve müşteri memnuniyeti sağlanabileceği ortaya konulmuştur.

7. KAYNAKLAR

Aebtarm, S., Bouguila, N., “An Optimal Bivariate Poisson Field Chart for Controlling High-Quality Manufacturing Processes”, *Expert Systems with Applications*, 37, 5498–5506, (2010).

Abdul H., Michael B., C., K., “New Adaptive EWMA Control Charts for Monitoring Univariate and Multivariate Coefficient of Variation”, *Computers & Industrial Engineering*, 131, 28-40, (2019).

Able, C., M., Bright, MS., M., Frizzell, MS., B., MD., “Quality Control of High-Dose-Rate Brachytherapy: Treatment Delivery Analysis Using Statistical Process Control”, *Radiation Oncology International Journal of Biology Physics*, (2012).

Adamastor , R., T., Antônio D., P., O., Severino, G., J., Wallace D., F., “Multivariate Statistical Process Control in Annual Pharmaceutical Product Review”, *Journal of Process Control*, 69, 97–102, (2018).

Albers, W., “The Optimal Choice of Negative Binomial Charts for Monitoring High-Quality Processes”, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 140, 214 -225, (2010).

Albers, W., “Empirical Nonparametric Control Charts for High-Quality Processes”, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 141, 3151–3159, (2011).

Albers, W., “Control charts for high-quality processes: MAX or CUMAX?”, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 142, 1924–1932, (2012).

Allison , C., S., Le, V., Fritzinger, E., Strachan, S., Harris, F., C., Jr., Sergiu M., D., “Near Real-time Autonomous Quality Control for Streaming Environmental Sensor Data”, *Procedia Computer Science*, 126, 1656–1665, (2018).

Alvarez, E., Moya-Fe´rmandez, P.,J., Blanco-Encomienda, F.,J., Munoz, J.,F., “Methodological Insights for Industrial Quality Control Management: The Impact of Various Estimators of the Standard Deviation on the Process Capability Index”, *Journal of King Saud University – Science*, 27, 271–277, (2015).

Akın, Besim, *İşletmelerde İPK Teknikleri*, Bilim Teknik Yayınları, İstanbul,75-78, (1996).

Andradea, M., G., Boasb, M. A. V., Siqueirac, J. A.C., Dietera, J., Satoc, M., Hermesa, E., Mercanteb, E., Tokurac, L. K., “Statistical Quality Control for The Evaluation of The Uniformity of Microsprinkler Irrigation with Photovoltaic Solar Energy”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,78, ,743–753, (2017).

Baray A., *Üretimde Varyasyon: İstatiksel Yaklaşım*, İstanbul, Çağlayan Kitapevi,198,200, (2008).

Barbosa, B., Pereiraa, M., T., Silva, F. J. G., Campilho, R. D. S. G., “Solving Quality Problems in Tyre Production Preparation Process: A Practical Approach”, *Procedia Manufacturing*,11, 1239 – 1246, (2017).

Barutçugil, İ., *Üretim Sistemi ve Yönetim Teknikleri*, Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayınları, 275, (1988).

Bayraktar E., *Üretim ve Hizmet Süreçlerinin Yönetimi*, İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 91, (2007).

Bellec, J., Delaby, N., Jouyaux, F., Perdrieux, M., Bouvier, J., Sorel, S., Henry, O., Lafond, C., “Plan Delivery Quality Assurance for Cyberknife: Statistical Process Control Analysis of 350 Film-Based Patient-Specific QAs”, *Physica Medica* ,39, 50–58, (2017).

Bergh, L., G., Yianatos, J., B., “The Long Way Toward Multivariate Predictive Control of Flotation Processes”, *Journal of Process Control*, 21, 226–234, (2011).

Bersimis, S., Koutras, M., V., Maravelakis, P.E., “A Compound Control Chart for Monitoring and Controlling High Quality Processes”, *European Journal of Operational Research*, (2013).

Bettayeb, B., Bassetto, S., J., Sahnoun, M., “Quality Control Planning to Prevent Excessive Scrap Production”, *Journal of Manufacturing Systems*, 270, 12, (2014).

Bozkurt, R., Odaman, A., *ISO 9000 Kalite Güvence Sistemleri*, Ankara,7, (1997).

Bramwell, D., “An Introduction to Statistical Process Control In Research Proteomics”, *Journal of Proteomics*, 01467, (2013).

Carnero, M.C., Palmab, R.G., Almorza, D., Mayorga, P., Escobar C., “Statistical Quality Control Through Overall Vibration Analysis” *Mechanical Systems and Signal Processing*, 24, 1138–1160, (2010).

Chang, C.W., Wu, C.R., Chen, H.C., “Analytic Network Process Decision-Making to Assess Slicing Machine in Terms of Precision and Control Wafer Quality”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25, 641– 650, (2009).

Chen, K., Ruimin C., Hui Y., “Image-guided Quality Control of Biomanufacturing Process”, *Procedia CIRP*,65, 168 – 174, (2017).

Çilan Ç., “Çok Değişkenli İstatistik Proses Kontrolünde Hotelling T2 Yaklaşımı ve İmalat Sanayinde Bir Uygulama”, Doktora Tezi, İstanbul, 36, (2004).

Cohen, A., Tiplica, T., Kobi, A., “Design of Experiments and Statistical Process Control Using Wavelets Analysis”, *Control Engineering Practice*, 49, 129-138, (2016).

Colledani, M., Tolio, T., “Performance Evaluation of Production Systems Monitored by Statistical Process Control and Off-Line Inspections”, *Int. J. Production Economics*,120, 348–367, (2009).

Deng,J., Li, K., Harkin-Jones,E., Price, M., Karnachi, N., Kelly A., Vera-Sorroche,J., Coates,P., Brown,E., Fei, M., “Energy Monitoring and Quality Control of a Single Screw Extruder”, *Applied Energy*, 113, 1775–1785, (2014).

Does, R., J., M., M., Schippers, W., A., J., Trip, A., 1997, *A Fremework For Implementation Of Statistical Process Control, International Journal Of Quality Service*, Vol. 2, No 3, 181-198 (1997).

Doğan, İ.Ö., “Kalite Uygulamalarının İşletmelerin Rekabet Gücü Üzerine Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi”, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, İzmir, 29-31-56, (2000).

Dupont C., Occelli, P., Deneux- Tharoux, C., Touzet, S., Duclos, A., Bouvier-Colle, M., H., Rudigoz, R., C., Huissoud, C., “Severe Postpartum Haemorrhage After Vaginal Delivery: A Statistical Process Control Chart to Report Seven Years of Continuous Quality Improvement”, *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 8536,1- 7, (2014).

Efil, İ., *Yönetimde Kalite Çemberleri*, Alfa Yayınları, İstanbul, (1999).

Elevli, S.ve Behdioğlu, S. “İstatistiksel Proses Kontrolü Teknikleri ile Kömür Kalitesindeki Değişkenliğin Belirlenmesi”, *Madencilik*, 45(3):19-26, (2006).

Ellis Raymond Ott, Edward G. Schilling, Dean V. Neubauer, *Process Quality Control: Troubleshooting and Interpretation of Data*, 4. bsk, United States of America, American Society for Quality, Quality Press, 217-218, (2005).

Eppe,G., Pauw, E., “Advances in Quality Control for Dioxins Monitoring and Evaluation of Measurement Uncertainty from Quality Control Data”, *Journal of Chromatography B*, 877, 2380–2387, (2009).

Ertuğrul, İ., *Toplam Kalite Kontrol*, 3. Baskı, Bursa: Ekin Kitabevi, 12-13-184-187-202, (2014).

Frauke G., Rainer B., Ute B., Knut F., Volker H., Antonio D., “Optical Online Measurement Technique Used for Process Control of the Drying Step During Pasta Production”, *Procedia Food Science*,1,1301 – 1308, (2011).

Fuchs, C., R.S. Kenett, *Multivariate Quality Control: Theory and Applications*, New York, Marcel Dekker, Inc., (1998).

Gary S. May, Costas J. Spanos, *Fundamentals of Semiconductor Manufacturing and Process Control*, United States of America, John Wiley and Sons, 217, (2006).

Gejdos, P., “Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control”, *Procedia Economics and Finance* 34,565 – 572, (2015).

Gitlow, H., Gitlow S., Oppenheim A., Oppenheim R., *Tools and Methods for the Improvement of Quality*, Irwin Homewood, IL, U.S.A.,65, (1989).

Grieco, A., Pacella, M., Blaco M., “Image Based Quality Control of Free-Form Profiles in Automatic Cutting Processes”, *Procedia CIRP*, 62,405-410, (2017).

Güneş, M., Rıza, A., Firuzan E., *Stok Kontrolü ve Toplam Kalite Yönetimi*, İzmir: Barış Yayınları,8, (1999).

Gümüsoğlu, Şevkinaz, *İstatiksel Kalite Kontrolü ve TKY Araçları*, S, Betaş, İstanbul, 134, (2000).

Hadiana, H., Rahimifardb, A., “Multivariate Statistical Control Chart and Process Capability Indices for Simultaneous Monitoring of Project Duration and Cost”, *Computers & Industrial Engineering*, 130,788-797, (2019).

Harris, Thomas J., Ross, William H.: Statistical Process Control Procedures for Correlated Observations” , *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, No: 69, Subat,48-57(1991).

Hajji, A., Gharbi, A., Dellagi, S., “Quality and Production Control in Multiple Product Unreliable Manufacturing System”, *Proceedings of the 14th IFAC*

Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Bucharest, Romania, May 23-25, (2012).

Halimlim, S.A., JijuAntonya, “Statistical Process Control Readiness in the Food Industry: Development of a Self-assessment Tool”, *Trends in Food Science & Technology*, 58, 133-139, (2016).

Haq, A., Khoo, M., B., C., “New Adaptive EWMA Control Charts for Monitoring Univariate and Multivariate Coefficient of Variation”, *Computers & Industrial Engineering*, 131,28-40, (2019).

Heij, H., A., “Noblesse Oblige—The Pediatric Surgeon (h)as the Key to Quality Control And Improvement”, *Journal of Pediatric Surgery*, 46, 793–800, (2011).

Hengameh H., Ali R. “Multivariate Statistical Control Chart and Process Capability Indices for Simultaneous Monitoring of Project Duration and Cost”, *Computers & Industrial Engineering*,130, 788-797, (2019).

Hoang Pham, Recent Advances in Reliability and Quality Engineering: Series on Quality, Reliability & Engineering Statistics, C. II, Singapore, *World Scientific*, 64, (2001).

Hofer, V., Bach, H., “Statistical Monitoring for Continual Quality Control of Railway Ballast”, *Expert Systems With Applications*, 1–16, (2015).

Ignatio M., Charles M., “Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country”, *Procedia CIRP*, 40, 580-583, (2016).

Inez M. Z., Jimoh O. A., “A Comparison of EWMA Control Charts for Dispersion Based on Estimated Parameters, *Computers & Industrial Engineering*, 127, 436-450, (2019).

Ishikawa, K., *Introduction to Quality Control*, Tokyo,92, (1990).

Jarvis, B., “Statistical Process Control Using Microbiological Data”, *Statistical Aspects of the Microbiological Examination of Foods*, 3, 229-265, (2016).

Jin Y., Liu L., “Multivariate Nonparametric Control Chart with Variable Sampling Interval”, *Applied Mathematical Modelling*, 52, 603–612, (2017).

Joekes, S., Smrekar, M., Barbosa, E., P., “Extending a Double Sampling Control Chart for Non-Conforming Proportion in High Quality Processes to the Case of Small Samples”, *Statistical Methodology*, 23, 35–49, (2015).

Joekes, S., Barbosa, E., P., “An Improved Attribute Control Chart for Monitoring Non-Conforming Proportion in High Quality Processes”, *Control Engineering Practice*, 21, 407–412, (2013).

Johnson R A, Wichern D W, *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 4th edition, Prentice-Hall, The United States of America, (1998).

Jozsef, B., Blaga, P., “A More Efficient Production Using Quality Tools and Human Resources Management”, *Procedia Economics and Finance*, 3, 681 – 689, (2012).

Kan C., Chen R., Yang H., “Image-guided Quality Control of Biomanufacturing Process”, *Procedia CIRP*, 65, 168 – 174, (2017).

Kang, J. H., Yu, J., Kim, S. B., “Adaptive Nonparametric Control Chart for Time-Varying and Multi Modal Processes”, *Journal of Process Control*, 37, 34–45, (2016).

Kasap E., “Shewhart, Cusum ve Ewma Kalite Denetimi Grafiklerinin Bir Uretim Surecinde Kullanılması” , Yuksek Lisans Tezi, Samsun, 16, (2006).

Kaya İ., Ağa A., “Kalite İyileştirme Sürecinin Yedi Temel Aracı ve Motor-Traktör İmalatı Yapan Bir İşletmede Uygulanması”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11, 452, (2011).

- Kharbach, M., Cherraha, Y., Vander Heydenb, Y., Bouklouzea A., “Multivariate statistical process control inproduct quality review assessment — A casestudy”, *Model PHARMA*, 517,9, (2017).
- Kim, S., B., Jitpitaklert, W., Park, S., K., Hwang, S., J., “Data Mining Model-Based Control Charts for Multivariate and Autocorrelated Processes”, *Expert Systems with Applications*, 39, 2073–2081, (2012).
- Krieter J. v.d., “Control Charts Applied to Simulated Sow Herd Datasets” , *Livestock Science*, C.CXXI, No: 2-3, 282, (2009).
- Ko, H., H., Kim, J., S., Kim, J., Baek, J.G, Kim, S., S., “Intelligent Adaptive Process Control Using Dynamic Deadband for Semiconductor Manufacturing”, *Expert Systems with Applications*, 38, 6759–6767, (2011).
- Kobu, B., *Üretim Yönetimi*, 11. Baskı, İstanbul: Avcıol Yayın, 460-461, (2003).
- Köksal B., *İstatistik Analiz Metotları*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul,523, (1995).
- Köksal B., *İstatistik Analiz Metotları*, Çağlayan Basımevi, İstanbul,6,554, (2003).
- Laursena, K., Frederiksen, S.S., Leuenhagen, C., Bro R., “Chemometric Quality Control of Chromatographic Purity” *Journal of Chromatography A*, 1217, 6503–6510, (2010).
- Levine, David, Ramsey, Patricia, Smidt, Robert, *Applied Statistics*, Prentice Hall, New Jersey, (2001).
- Lyu, J., Chen, M., “Automated Visual Inspection Expert System for Multivariate Statistical Process Control Chart”, *Expert Systems with Applications*, 36, 5113–5118, (2009).
- Madanhire, I., Mbohwa, C., Application of Statistical Process Control (SPC) in Manufacturing Industry in a Developing Country”, *Procedia CIRP* (40),580– 583, (2016).

Makis, V., “Multivariate Bayesian Process Control for a Finite Production Run”, *European Journal of Operational Research*, 194, 795–806, (2009).

Martininch, J.S., *Production and Operation Management*, John Willey and Sons Inc, (1997).

Masood., I., Hassan, A., “Bivariate Quality Control Using Two-Stage Intelligent Monitoring Scheme”, *Expert Systems with Applications*, 9359, (2014).

May, Gary S., Spanos, Costas J.: *Fundamentals of Semiconductor Manufacturing and Process Control*, United States of America, John Wiley and Sons, (2006).

Mehrafrooz, Z., Noorossana, R., “An Integrated Model Based on Statistical Process Control and Maintenance”, *Computers & Industrial Engineering*, 61, 1245–1255, (2011).

Michael W. M., Michael R., Bradley H., “A New Statistical Approach to Automated Quality Control in Manufacturing Processes”, *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 159–167, (2015).

Momeni, M., A., Yaghoubi, S., Aliha, M., R., M., “An Optimal Control Model for Analyzing Quality Investment in The Project Management”, *Computers & Industrial Engineering*, (129), 529-544, (2019).

Milo M., W., Roanb, M., Harrisa, B., “A new statistical approach to automated quality control in manufacturing processes”, *Journal of Manufacturing Systems*, 36,159–167, (2015).

Mojtaba A. M., Saeed Y., Mohammad R. M. A., “An Optimal Control Model for Analyzing Quality Investment in the Project Management”, *Computers & Industrial Engineering*, 129, 529-544, (2019).

Montgomery, D.C., *Introduction to Statistical Quality Control*, Sixth Edition, United States of America: John Wiley & Sons, Inc, (2009).

Mourtzis , D., Boli, N., Alexopoulos, K., Pittaro, P., Terreno A., “An Industrial Product-Service System Approach for Laser Process Quality Control”, *Procedia CIR*, (75), 403–408, (2018).

Murray R.S., Stephens L.J., *Schaum's Outline of Statistics. 3rd edition*, McGraw-Hill, The United States of America, 512 pages. (1998).

Nezhad, M. S. F., Niaki, S. T. A., “A New Monitoring Design for Uni-Variate Statistical Quality Control Charts”, *Information Sciences*,180,1051–1059, (2010).

Nedeliaková, E., Panák, M., “New Trends in Process-Oriented Quality Management”, *Procedia Economics and Finance*, 34, 172 – 179, (2015).

Oakland, John S.: *Statistical Process Control*, 5. bsk, Great Britain, MPBooks Limited,238 (2003).

Pacella, M., Grieco, A., Blaco, M., “Machine Vision Based Quality Control of Free-Form Profiles in Automatic Cutting Processes”, *Computers & Industrial Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.039>, (2017).

Pande P.S., Neuman R.P., Cavanagh R.R., *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance*, 1.Basım, New York: McGraw-Hill, 268, (2000).

Pál, M., Novakovic, D., Dedijer, S., Koltai, L., Juric, I., Vladic, G., Kašikovic, N., “Image Processing Based Quality Control of Coated Paper Folding”, <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.033>, (2016).

Pham, Hoang: *Recent Advances in Reliability and Quality Engineering: Series on Quality, Reliability & Engineering Statistics*, C. II, Singapore, World Scientific,63, (2001).

Pavol G., “Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control”, *Procedia Economics and Finance*, 34, 565 – 572, (2015).

Robert L., S., Lauren N., P., “Quality Control Optimization Part I: Metrics for Evaluating Predictive Performance of Quality Control”, *Clinica Chimica Acta*, 495, 174-184, (2019).

Robert L., S., Lauren N., P., “Quality Control Optimization Part II: A Method to Optimize the Accuracy of Laboratory Quality Control”, *Clinica Chimica Acta*, 495, 233-238, (2019).

Ryan, B.F., Joiner, B.L., *Minitab Handbook*, Duxbury Pres, Third Edition, 361, (1994).

Samuel I., Norman L., *Process Capability Indices*, Chapman and Hall, England, 5, (1993).

Sanchez ,A.F., Baldan, F.J., Sainz-Palmero, G.I., Benítez, J.M., Fuente, M.J., “Fault Detection Based on Time Series Modeling and Multivariate Statistical Process Control”, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 182, 57–69, (2018).

Schmidt, R., L., Pearson, L., N., “Quality Control Optimization Part I: Metrics for Evaluating Predictive Performance of Quality Control”, *Clinica Chimica Acta*, (495), 174-184, (2019).

Schmidt, R., L., Pearson, L., N., “Quality control optimization part II: A method to optimize the accuracy of laboratory quality control”, *Clinica Chimica Acta*, (495), 233-238, (2019).

Sérgio S., Nuno R., Eusébio N., “Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement”, *Procedia Manufacturing*, 11, 1215 – 1222, (2017).

Sevim, A., *T.K.Y. 'de Bir Araç Olarak T.K.M. Sisteminin Kurulması*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları, 27, (1999).

Shih, N., H., Wang, C., H., “Determining an Optimal Production Run Length with an Extended Quality Control Policy for an Imperfect Process”, *Applied Mathematical Modelling*, 10.1016/j.apm.2015.09.045, (2015).

Skulj, G., Vrabic, R., Butala P., Sluga, A., “Statistical Process Control as a Service: An Industrial Case Study”, *Procedia CIRP*, (7), 401-406, (2013).

Sousa, S., Rodrigues, N., Nunesa, E., “Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement”, *Procedia Manufacturing*, (11), 1215-1222, (2017).

Soylu, F., Soylu K., Süer A., *Toplam Kalite Yönetimi Sözlüğü*, İstanbul: Beyaz Yayınları, 196, (1998).

Tan, S., Peşkircioğlu, N., *Kalitesizliğin Maliyeti*, Ankara, 12, (1991).

Tarjuelo, J., L., Higuera, J., D., Q., Alandí, J., B., Llopis, N., L., Mollá, R., G., Senabre, X. J.J., Blancas, N., M., C., Albiach, F., Serra, A., S., “What can statistical process control show us about ionization chamber stability?”, *Radiation Measurements*, 86,1-7, (2016).

Tarjuelo, J. L., Llopis, N., L., Higuera, García-Moll, R., Quiros-Higuera, D., J., Bouche-Babiloni, A., Juan-Senabre, X., J., Marco-Blancas, N., Ferrer-Albiach, F., Santos-Serra, A., “Statistical Process Control for Electron Beam Monitoring”, *Physica Medica*, 31, 493- 500, (2015).

Tôrres, A., R., Oliveira, D., A., P., Júnior, S., G., Fragoso, W., D., “Multivariate statistical process control in annual pharmaceutical product review”, *Journal of Process Control*, (69), 97–102, (2018).

Tütmez, B., Bayat, O., “Yer Karosu Mukavemetlerinin İstatistiksel Kontrolü”, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 38 (3), 21-30, (1999).

Vega, J., M., Martinez-Luna, R., J., Guirado, D., Vilches, M., Lallena, A., M., “Statistical Control of the Spectral Quality Index in Electron Beams”, *Radiotherapy and Oncology*, 102, 406–411, (2012).

Yue, J., Liu, L., “Multivariate Nonparametric Control Chart with Variable Sampling Interval”, *Applied Mathematical Modelling* (52), 603–612, (2017).

Yücel M., “Toplam kalite kontrolü açısından istatistiksel süreç kontrol tekniklerinin önemi”, 8. Türkiye Ekonometri ve İstatistik Kongresi, Malatya: İnönü Üniversitesi, 7, (2007).

Zhu, Q., Liub, Q., Qina, S., J., “Concurrent Quality and Process Monitoring with Canonical Correlationanalysis”, *Journal of Process Control*, 2183, 9, (2017).

Zwetsloot, I., M., Ajadi, J., O., “A Comparison of EWMA Control Charts for Dispersion Based on Estimated Parameters”, *Computers & Industrial Engineering*, (127), 436-450, (2019).

EKLER

EK 1: Literatür Taraması

No	Yöntem	Yazar	Konu
1	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol	Hengameh ve Ali (2019)	Proje süresinin ve maliyetinin eşzamanlı olarak izlenmesi için çok değişkenli istatistiksel kontrol şeması ve işlem kabiliyet endeksleri
2	İstatistiksel Süreç Kontrol	Robert ve Lauren (2019)	Kalite Kontrol Optimizasyonu
3	İstatistiksel Süreç Kontrol	Robert ve Lauren (2019)	Laboratuvar kalite kontrolünün doğruluğunu optimize etmek için bir yöntem
4	EWMA kontrol çizelgeleri	Abdul ve Michael (2019)	Tek değişkenli ve çok değişkenli varyasyon katsayısının izlenmesi için EWMA kontrol çizelgeleri
5	EWMA kontrol çizelgeleri	Inez ve Jimoh (2019)	Tahmini parametrelere dayanarak dağılım için EWMA kontrol tablolarının karşılaştırılması
6	Proje Yönetiminde Kalite Kontrol	Mojtaba ve diğ. (2019)	Proje yönetimine kaliteli yatırımın analiz edilmesi için en uygun kontrol modeli
7	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol	Adamastor ve diğ. (2018)	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol Yöntemi ile İlaç Endüstrisinde Ürünlerin İncelenmesi
8	Süreç Kalite Kontrol	Mourtzis ve diğ. (2018)	Lazer Süreç Kalite Kontrolü için Endüstriyel Ürün-Hizmet Sistemi yaklaşımı

No	Yöntem	Yazar	Konu
9	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol ve Zaman Serileri	A. Sanchez ve diğ. (2018)	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol ve zaman serisi modelleme yöntemi ile hata tespiti
10	Kalite Kontrol	Allison ve diğ. (2018)	Zaman serisi veri doğrulama için yeni ve erişilebilir bir yaklaşım olan Neredeyse Gerçek Zamanlı Otonom Kalite Kontrol (NRAQC) sistemi
11	Kontrol Çizelgeleri	Jin ve Liu (2017)	Değişken örnekleme aralığı ile çok değişkenli parametrik olmayan kontrol tablosu
12	İstatistiksel Süreç Kontrol	Sérgio ve diğ. (2017)	Süreç iyileştirme için SPC ve kalite araçlarının uygulanması
13	İstatistiksel Süreç Kontrol	Barbosa ve diğ. (2017)	Süreç iyileştirme için SPC ve DMAIC Metodolojisi ile sürekli kalite iyileştirme
14	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol	Kharbach ve diğ. (2017)	Çok Değişkenli İstatistiksel Süreç Kontrol yöntemi kalite değerlendirme sürecinin geliştirilmesi
15	İstatistiksel Süreç Kontrol	Bellec ve diğ. (2017)	Hastalara özgü filmlerin analizinde istatistiksel süreç kontrol çalışması
16	İstatistiksel Süreç Kontrol	Andrade ve diğ. (2017)	Fotovoltaik güneş enerjisi ile mikro yağmurlama sulamanın istikrarının değerlendirilmesinde istatistiksel kalite kontrol
17	Tek Değişkenli ve Çok Değişkenli İstatistiksel Kontrol	Grieco ve diğ. (2017)	Farklı sayıdaki ve gözlemlenen noktaların yer aldığı serbest formlu profillerin istatistiksel olarak izlenmesi için parametrik olmayan kontrol tabloları

No	Yöntem	Yazar	Konu
18	İstatistiksel Süreç Kontrol	Chen ve diğ. (2017),	Süreç takibi için yeni bir istatistiksel Süreç kontrol metodoloji
19	İstatistiksel Süreç Kontrol	Pacella ve diğ. (2017),	Serbest biçimli profillerin, örneğin düzensiz şekillerle ve farklı argüman değişkenleriyle karakterize edilen istatistiksel izlenmesi için parametrik olmayan yaklaşımlar
20	Kanonik korelasyon analizi	Zhu ve diğ. (2017)	Kanonik korelasyon analizi (CCA) 'nde bulunan eksiklikleri gidermek için önerilen geliştirmeler
21	Korelasyon değerlendirmesi, tek yönlü varyans analizi (ANOVA)	Pál ve diğ. (2017),	Kaplamalı kağıt katlamanın görüntü işlemeyle dayalı kalite kontrolünün geliştirilmesi
22	İstatistiksel Süreç Kontrol	Ignatio ve Charles (2016)	Gelişmekte olan bir ülkede imalat sanayiinde istatistiksel süreç kontrolünün (SPC) uygulanması ile ilgili çalışma yapmışlardır.
23	İstatistiksel Süreç Kontrol	Tarjuelo ve diğ. (2016)	İyon odasının stabilitesi ile ilgili istatistiksel süreç analiz çalışması yapmışlardır.
24	İstatistiksel Süreç Kontrol	Halimlim ve JijuAntonya (2016)	Gıda endüstrisinde istatistiksel süreç kontrol uygulamaları
25	İstatistiksel Süreç Kontrol	Jarvis (2016)	Mikrobiyoloji alanında istatistiksel süreç kontrol yöntemlerinin kullanılması ile ilgili çalışma yapmıştır.
26	Çok Değişkenli Süreç Kontrol, Kontrol Çizelgeleri	Kang ve diğ. (2016)	Zamanla değişen ve çok modlu süreçler için uyarlanabilir parametrik olmayan kontrol şemaları

No	Yöntem	Yazar	Konu
27	İstatistiksel Süreç Kontrol, Deneysel Tasarım	Cohen ve diğ. (2016)	Deneysel tasarımı ve istatistiksel süreç kontrolünün wavelets analizi kullanılarak değerlendirilmesi üzerine çalışma yapmışlardır.
28	İstatistiksel Süreç Kontrol, DMAIC Metodolojisi	Pavol ve diğ. (2015)	İstatistiksel Süreç Kontrol ve DMAIC Metodolojisi ile sürekli kalite iyileştirme
29	İstatistiksel Süreç Kontrol	Michael ve diğ. (2015)	Üretim süreçlerin otomatik kalite kontrol için yeni bir istatistiksel yaklaşım
30	Kalite Kontrol Politikası	Shih ve Wang (2015)	Kusurlu bir işlem için genişletilmiş bir kalite kontrol politikası ile optimum üretim süresinin belirlenmesi
31	İstatistiksel Süreç Kontrol, Monte Carlo Similasyonu	Alvarez ve diğ. (2015)	Standart sapmanın çeşitli tahmin edicilerinin süreç yeterliliği endeksi üzerindeki etkisi
32	Kalite Kontrol	Nedeliaková ve Panák (2015),	Taşıma zincirinde süreç odaklı kalite kontrol
33	İstatistiksel Süreç Kontrol	Tarjuelo ve diğ. (2015)	Elektron ışımasını izlemek için istatistiksel süreç kontrol
34	İstatistiksel Süreç Kontrol	Hofer ve Bach (2015)	Demiryolu balastının (yolda esnekliği sağlayan taşlar) sürekli kalite kontrolünü istatistiksel izleme
35	Kontrol Çizelgeleri	Joekes ve diğ. (2015)	Küçük numunelerin olduğu durumda uygun olmayan oran için çift örnekleme kontrol çizelgesinin genişletilmesi
36	İstatistiksel Kalite Kontrol	Deng ve diğ. (2014),	Tek vidalı bir ekstruderin enerji izlemesi ve kalite kontrolü üzerinde çalışma yapmışlardır.

No	Yöntem	Yazar	Konu
37	Kalite Kontrol Planlama	Bettayeb ve diğ. (2014)	Aşırı hurda üretimini önlemek için kalite kontrol planlaması ile ilgili çalışma
38	İstatistiksel Süreç Kontrol, Kontrol Çizelgeleri	Dupont ve diğ. (2014)	Vajinal doğum sonrası ciddi kanama sıklığı eğilimlerini tanımlamak için istatistiksel süreç kontrol tablolarının kullanılması
39	Çok Değişkenli Süreç Kontrol	Masood ve diğ. (2014)	İki aşamalı akıllı izleme programı kullanarak iki değişkenli kalite kontrolü
40	İstatistiksel Süreç Kontrol	Skulj ve diğ. (2013)	Hizmet Olarak İstatistiksel Süreç Kontrolü: Endüstriyel Bir Vaka Çalışması
41	Kontrol Çizelgeleri	Bersimis ve diğ. (2013)	Yüksek kaliteli süreçleri izlemek ve kontrol etmek için bir bileşik kontrol şeması
42	İstatistiksel Süreç Kontrol,	Bramwell (2013)	Araştırma proteomiklerinde istatistiksel süreç kontrolü
43	Kontrol Çizelgeleri	Joeke ve Barbosa (2013)	Yüksek kalite süreçlerde uygunsuzlukların kontrol çizelgeleri ile izlenmesi
44	Kalite Araçları	Jozsef ve Blaga (2012)	Kalite araçlarının insan kaynaklarında uygulanması ile ilgili bir çalışma yapmıştır.
45	Kalite Kontrol	Hajji ve diğ. (2012)	Çok ünlü güvenilir üretim sistemlerinde üretim ve kalite kontrolü
46	İstatistiksel Süreç Kontrol	Able ve diğ. (2012),	Yüksek doz oranlı (HDR) brakiterapi tedavisi uygulama sisteminin doğru çalışmasını istatistiksel süreç kontrol yöntemi ile kontrol etme
47	Kontrol Çizelgeleri	Albers ve diğ. (2012)	Yüksek kaliteli süreçler için kontrol çizelgeleri

No	Yöntem	Yazar	Konu
48	İstatistiksel Süreç Kontrol	Vega ve diğ. (2012)	Elektron ışınlarında spektral kalite indeksinin istatistiksel kontrolü
49	Kontrol Çizelgeleri	Kim ve diğ. (2012)	Çok değişkenli ve otomatik ilişkili işlemler için veri madenciliği modeline dayalı kontrol çizelgeleri
50	Bulanı Mantık Algoritması, Kalite Kontrol	Frauke ve diğ. (2011)	Makarna üretimi sırasında kurutma aşamasının süreç kontrolü için kullanılan optik çevrimiçi ölçüm tekniği
51	Kontrol Çizelgeleri	Albers (2011)	Yüksek kaliteli süreçler için deneysel parametrik olmayan kontrol çizelgeleri
52	Çok Değişkenli Süreç Kontrol	Bergh ve Yianatos (2011)	Flotasyon süreçlerinin çok değişkenli prediktif kontrolü
53	Kontrol Çizelgeleri	Heij (2011)	Pediyatrik cerrah alanında kalite kontrol ve iyileştirme
54	İstatistiksel Süreç Kontrol	Ko ve diğ. (2011)	Yarı iletken üretiminde süreç kontrol ile
55	İstatistiksel Süreç Kontrol	Mehrafrooz ve Noorossana (2011)	İstatistiksel süreç kontrol ve bakımına dayalı entegre bir model üzerinde çalışma yapmışlardır.
56	Kontrol Çizelgeleri	Aebtarm ve Bouguila (2010)	Yüksek kaliteli üretim süreçlerini kontrol etmek için en uygun iki değişkenli Poisson şemaları ile ilgili çalışma yapmışlardır.
57	Kontrol Çizelgeleri	Albers (2010)	Yüksek kaliteli süreçleri izlemek için en uygun negatif binom grafiği
58	İstatistiksel Süreç Kontrol, ANOVA	Carnero ve diğ. (2010)	Genel titreşim analizi ile istatistiksel kalite kontrolü

No	Yöntem	Yazar	Konu
59	İstatistiksel Süreç Kontrol, CUSUM, EWMA Çizelgeleri	Nezhad ve Niaki (2010)	Tek değişkenli istatistiksel kalite kontrol çizelgeleri için yeni bir izleme tasarımı
60	Çok Değişkenli Süreç Kontrol	Laursena ve diğ. (2010)	Kromatografik saflığın kemometrik kalite kontrolünün çok değişkenli süreç kontrol teknikleri ile analiz edilmesi
61	Kontrol Çizelgeleri	Chang ve diğ. (2009)	Dilimleme makinesini hassasiyet ve su kalitesi açısından değerlendirmek için analitik ağ süreci karar verme sürecinde kontrol çizelgelerini kullanma
62	İstatistiksel Süreç Kontrol	Colledani ve Tolio (2009)	İstatistiksel süreç kontrolü çevrimdışı muayene ile izlenen üretim sistemlerinin performans değerlendirmesi
63	Çok Değişkenli Süreç Kontrol, T ² diyagramları, EWMA Çizelgeleri	Eppe ve Pauw (2009)	Dioksinlerin kalite kontrol verilerindeki kalite belirsizliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesi
64	Çok Değişkenli Süreç Kontrol	Lyu ve Chen (2009)	Çok değişkenli istatistiksel süreç kontrol için otomatik görsel muayene sistemi
65	Çok değişkenli Süreç Kontrol, Hotelling-T ² , EWMA ve CUSUM çizelgeleri	Makis (2009)	Sonlu bir üretim için çok değişkenli Bayesian süreç kontrolü

EK 2: Çalışma Öncesi Sevk Edilen Ürünlerin Analizi (I. Sevkiyat)

Makine No	Parti No	Direnç (ohm/km)	Şrt.Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Şrt.Br.Ağr. (kg/km)
5127	1	53,037	52,2000 - 53,4000	2,882	< 2,930
5224	2	52,601	52,2000 - 53,4000	2,899	< 2,930
5129	3	52,873	52,2000 - 53,4000	2,883	< 2,930
5234	4	53,017	52,2000 - 53,4000	2,885	< 2,930
5810	5	52,777	52,2000 - 53,4000	2,892	< 2,930
5770	6	52,373	52,2000 - 53,4000	2,909	< 2,930
5234	7	53,071	52,2000 - 53,4000	2,874	< 2,930
5224	8	52,637	52,2000 - 53,4000	2,895	< 2,930
5211	9	52,308	52,2000 - 53,4000	2,912	< 2,930
5203	10	52,334	52,2000 - 53,4000	2,918	< 2,930
5169	11	52,832	52,2000 - 53,4000	2,890	< 2,930
5166	12	52,237	52,2000 - 53,4000	2,916	< 2,930
5161	13	52,354	52,2000 - 53,4000	2,912	< 2,930
5161	14	52,656	52,2000 - 53,4000	2,898	< 2,930
5133	15	52,773	52,2000 - 53,4000	2,894	< 2,930
5129	16	52,913	52,2000 - 53,4000	2,886	< 2,930
5128	17	52,368	52,2000 - 53,4000	2,918	< 2,930
5127	18	52,829	52,2000 - 53,4000	2,883	< 2,930
5840	19	52,510	52,2000 - 53,4000	2,902	< 2,930
5234	20	53,237	52,2000 - 53,4000	2,861	< 2,930
5224	21	52,388	52,2000 - 53,4000	2,915	< 2,930
5211	22	52,715	52,2000 - 53,4000	2,890	< 2,930
5203	23	52,259	52,2000 - 53,4000	2,924	< 2,930
5201	24	52,584	52,2000 - 53,4000	2,890	< 2,930
5201	25	52,734	52,2000 - 53,4000	2,886	< 2,930
5166	26	52,505	52,2000 - 53,4000	2,905	< 2,930
5161	27	52,794	52,2000 - 53,4000	2,888	< 2,930
5133	28	52,732	52,2000 - 53,4000	2,893	< 2,930
5129	29	53,072	52,2000 - 53,4000	2,874	< 2,930
5128	30	52,674	52,2000 - 53,4000	2,889	< 2,930
5128	31	52,317	52,2000 - 53,4000	2,912	< 2,930
5117	32	52,328	52,2000 - 53,4000	2,912	< 2,930
5234	33	52,787	52,2000 - 53,4000	2,889	< 2,930
5224	34	53,145	52,2000 - 53,4000	2,870	< 2,930
5201	35	53,001	52,2000 - 53,4000	2,877	< 2,930
5169	36	52,232	52,2000 - 53,4000	2,919	< 2,930
5168	37	53,167	52,2000 - 53,4000	2,876	< 2,930
5168	38	52,413	52,2000 - 53,4000	2,911	< 2,930
5166	39	53,317	52,2000 - 53,4000	2,863	< 2,930
5152	40	52,820	52,2000 - 53,4000	2,883	< 2,930
5152	41	52,946	52,2000 - 53,4000	2,884	< 2,930
5133	42	53,186	52,2000 - 53,4000	2,862	< 2,930
5129	43	52,771	52,2000 - 53,4000	2,893	< 2,930
5128	44	52,503	52,2000 - 53,4000	2,906	< 2,930

Makine No	Parti No	Direnç (ohm/km)	Şrt.Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Şrt.Br.Ağr. (kg/km)
5840	45	53,333	52,2000 - 53,4000	2,868	< 2,930
5830	46	53,202	52,2000 - 53,4000	2,869	< 2,930
5152	47	52,839	52,2000 - 53,4000	2,884	< 2,930
5129	48	52,617	52,2000 - 53,4000	2,894	< 2,930
5128	49	52,374	52,2000 - 53,4000	2,910	< 2,930
5128	50	53,266	52,2000 - 53,4000	2,864	< 2,930

EK 3: Çalışma Öncesi Sevkiyat Edilen Ürünlerin Analizi (II. Sevkiyat)

Makine No	Parti No	Direnç (ohm/km)	Şrt.Direnç ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Şrt.Br.Ağr. (kg/km)
5850	1	53,090	52,2000 - 53,4000	2,878	< 2,930
5850	2	52,306	52,2000 - 53,4000	2,917	< 2,930
5820	3	52,374	52,2000 - 53,4000	2,915	< 2,930
5820	4	52,543	52,2000 - 53,4000	2,908	< 2,930
5820	5	52,685	52,2000 - 53,4000	2,903	< 2,930
5810	6	53,342	52,2000 - 53,4000	2,859	< 2,930
5810	7	52,615	52,2000 - 53,4000	2,904	< 2,930
5810	8	52,897	52,2000 - 53,4000	2,888	< 2,930
5810	9	52,823	52,2000 - 53,4000	2,891	< 2,930
5770	10	52,493	52,2000 - 53,4000	2,911	< 2,930
5228	11	52,468	52,2000 - 53,4000	2,912	< 2,930
5228	12	53,276	52,2000 - 53,4000	2,879	< 2,930
5228	13	52,592	52,2000 - 53,4000	2,901	< 2,930
5220	14	53,343	52,2000 - 53,4000	2,856	< 2,930
5220	15	52,307	52,2000 - 53,4000	2,915	< 2,930
5214	16	52,594	52,2000 - 53,4000	2,909	< 2,930
5214	17	53,240	52,2000 - 53,4000	2,866	< 2,930
5203	18	52,537	52,2000 - 53,4000	2,906	< 2,930
5203	19	52,440	52,2000 - 53,4000	2,918	< 2,930
5203	20	52,381	52,2000 - 53,4000	2,921	< 2,930
5171	21	52,652	52,2000 - 53,4000	2,898	< 2,930
5171	22	52,337	52,2000 - 53,4000	2,919	< 2,930
5171	23	52,382	52,2000 - 53,4000	2,920	< 2,930
5171	24	52,673	52,2000 - 53,4000	2,896	< 2,930
5171	25	52,753	52,2000 - 53,4000	2,888	< 2,930
5133	26	52,662	52,2000 - 53,4000	2,890	< 2,930
5133	27	52,932	52,2000 - 53,4000	2,880	< 2,930
5133	28	53,085	52,2000 - 53,4000	2,866	< 2,930
5129	29	53,327	52,2000 - 53,4000	2,849	< 2,930
5129	30	52,986	52,2000 - 53,4000	2,874	< 2,930
5129	31	52,929	52,2000 - 53,4000	2,868	< 2,930
5123	32	53,177	52,2000 - 53,4000	2,859	< 2,930
5123	33	53,325	52,2000 - 53,4000	2,855	< 2,930
5123	34	53,102	52,2000 - 53,4000	2,867	< 2,930
5122	35	53,201	52,2000 - 53,4000	2,867	< 2,930
5122	36	52,690	52,2000 - 53,4000	2,891	< 2,930
5121	37	52,404	52,2000 - 53,4000	2,912	< 2,930
5121	38	52,223	52,2000 - 53,4000	2,924	< 2,930
5121	39	52,224	52,2000 - 53,4000	2,922	< 2,930
5119	40	52,914	52,2000 - 53,4000	2,885	< 2,930
5118	41	53,003	52,2000 - 53,4000	2,870	< 2,930
5118	42	52,746	52,2000 - 53,4000	2,886	< 2,930
5117	43	52,668	52,2000 - 53,4000	2,907	< 2,930
5115	44	53,345	52,2000 - 53,4000	2,855	< 2,930

Makine No	Parti No	Direnç (ohm/km)	Şrt.Direnç ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Şrt.Br.Ağr. (kg/km)
5115	45	52,367	52,2000 - 53,4000	2,918	< 2,930
5114	46	52,911	52,2000 - 53,4000	2,877	< 2,930
5112	47	53,071	52,2000 - 53,4000	2,874	< 2,930
5112	48	53,235	52,2000 - 53,4000	2,852	< 2,930
5112	49	53,308	52,2000 - 53,4000	2,859	< 2,930

EK 4: Süreç İyileştirme Çalışmaları: Deneme I Verileri

Maki ne no	Parti No	Direnç (ohm/km)	Şrt.Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Girdi ürün direnci (ohm/km)
5116	1	53,194	52,2000 - 53,4000	2,873	50,896
5115	2	52,407	52,2000 - 53,4000	2,914	50,816
5114	3	52,366	52,2000 - 53,4000	2,911	50,874
5118	4	52,910	52,2000 - 53,4000	2,885	50,914
5116	5	52,823	52,2000 - 53,4000	2,884	50,896
5116	6	52,879	52,2000 - 53,4000	2,884	50,889
5115	7	53,347	52,2000 - 53,4000	2,868	51,040
5114	8	52,570	52,2000 - 53,4000	2,904	50,864
5112	9	52,538	52,2000 - 53,4000	2,902	50,864
5118	10	53,111	52,2000 - 53,4000	2,850	50,896
5116	11	52,931	52,2000 - 53,4000	2,882	51,040
5115	12	52,437	52,2000 - 53,4000	2,915	50,985
5114	13	52,622	52,2000 - 53,4000	2,900	50,954
5113	14	52,650	52,2000 - 53,4000	2,896	50,912
5112	15	53,078	52,2000 - 53,4000	2,876	50,874
5118	16	52,950	52,2000 - 53,4000	2,872	51,053
5116	17	52,917	52,2000 - 53,4000	2,892	50,954
5115	18	52,925	52,2000 - 53,4000	2,891	51,053
5114	19	52,299	52,2000 - 53,4000	2,917	50,954
5114	20	52,387	52,2000 - 53,4000	2,907	50,935
5113	21	53,057	52,2000 - 53,4000	2,871	50,914
5112	22	52,549	52,2000 - 53,4000	2,905	50,864
5118	23	52,989	52,2000 - 53,4000	2,881	51,040
5118	24	53,065	52,2000 - 53,4000	2,882	51,053
5116	25	53,027	52,2000 - 53,4000	2,883	50,935
5115	26	52,962	52,2000 - 53,4000	2,891	50,956
5112	27	52,842	52,2000 - 53,4000	2,891	50,987
5118	28	52,841	52,2000 - 53,4000	2,886	50,973
5116	29	52,915	52,2000 - 53,4000	2,885	50,973
5113	30	52,934	52,2000 - 53,4000	2,887	50,987
5112	31	52,653	52,2000 - 53,4000	2,896	50,996
5118	32	52,968	52,2000 - 53,4000	2,887	50,910
5116	33	52,744	52,2000 - 53,4000	2,892	50,910
5114	34	52,980	52,2000 - 53,4000	2,876	50,956
5112	35	52,780	52,2000 - 53,4000	2,898	50,985
5118	36	53,314	52,2000 - 53,4000	2,862	50,910

EK 5: Süreç İyileştirme Çalışmaları: : Deneme II Verileri

Makine no	Malzeme	Direnç (ohm/km)	Şrt.Direnç(ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Girdi ürünü direnci (ohm/km)
5116	1	52,687	52,2000 - 53,4000	2,905	50,936
5117	2	52,548	52,2000 - 53,4000	2,911	50,914
5112	3	52,497	52,2000 - 53,4000	2,907	50,934
5116	4	52,819	52,2000 - 53,4000	2,892	50,936
5119	5	52,765	52,2000 - 53,4000	2,897	50,949
5117	6	52,68	52,2000 - 53,4000	2,902	50,934
5115	7	52,639	52,2000 - 53,4000	2,896	51,108
5116	8	52,638	52,2000 - 53,4000	2,907	50,923
5118	9	52,88	52,2000 - 53,4000	2,89	50,923
5118	10	52,56	52,2000 - 53,4000	2,905	50,853
5112	11	52,542	52,2000 - 53,4000	2,905	50,914
5117	12	52,614	52,2000 - 53,4000	2,91	50,919
5112	13	52,452	52,2000 - 53,4000	2,912	50,923
5115	14	52,432	52,2000 - 53,4000	2,928	51,088
5112	15	52,575	52,2000 - 53,4000	2,918	50,923
5116	16	52,573	52,2000 - 53,4000	2,909	50,914
5119	17	52,881	52,2000 - 53,4000	2,888	50,826
5117	18	52,663	52,2000 - 53,4000	2,9	51,072
5116	19	52,569	52,2000 - 53,4000	2,905	50,826
5115	20	52,485	52,2000 - 53,4000	2,913	50,923
5112	21	52,585	52,2000 - 53,4000	2,916	50,914
5118	22	52,827	52,2000 - 53,4000	2,893	51,072
5115	23	52,637	52,2000 - 53,4000	2,896	51,072
5112	24	52,591	52,2000 - 53,4000	2,904	51,084
5116	25	52,582	52,2000 - 53,4000	2,907	50,96
5117	26	52,474	52,2000 - 53,4000	2,91	50,862
5112	27	52,565	52,2000 - 53,4000	2,907	51,137

EK 6: Regresyon Analizinde Kullanılan 5115 nolu Makineye Ait Veriler

Maki ne No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.T ük.Ça p (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Girdi Ort. B.agr (kg/km)	Lay P. (mm)	Devi r((tp m)	Tel ger (cN)
5115	1	52,674	2,916	0,1878	51,303	2,959	170	4800	120
5115	2	52,586	2,908	0,1878	51,207	2,957	170	5000	133
5115	3	52,432	2,915	0,1878	51,294	2,958	170	5000	133
5115	4	52,934	2,881	0,1886	50,899	2,983	130	5200	133
5115	5	52,925	2,890	0,1884	50,852	2,978	130	5200	133
5115	6	52,991	2,881	0,1884	50,852	2,978	130	5200	133
5115	7	52,905	2,874	0,1885	50,939	2,979	130	5200	133
5115	8	52,654	2,918	0,1883	51,003	2,975	130	5000	133
5115	9	52,890	2,890	0,1884	50,977	2,977	130	5000	133
5115	10	52,973	2,856	0,1885	50,811	2,980	130	5000	133
5115	11	52,850	2,906	0,1884	50,836	2,978	130	5000	133
5115	12	52,860	2,914	0,1884	50,816	2,978	130	5000	133
5115	13	52,801	2,869	0,1884	50,874	2,976	130	5000	141
5115	14	52,760	2,915	0,1883	50,985	2,973	130	5000	141
5115	15	52,455	2,891	0,1881	51,053	2,969	130	5000	141
5115	16	52,708	2,891	0,1884	50,956	2,976	130	5000	141
5115	17	52,491	2,910	0,1883	50,973	2,975	130	5000	141
5115	18	52,508	2,924	0,1883	50,973	2,975	130	5000	141
5115	19	52,853	2,898	0,1883	50,996	2,974	130	5000	133
5115	20	53,077	2,873	0,1887	50,918	2,987	130	5000	133
5115	21	52,921	2,890	0,1887	50,926	2,988	130	5000	133
5115	22	53,054	2,882	0,1886	50,872	2,985	130	5000	125
5115	23	53,221	2,893	0,1886	50,872	2,985	130	5000	120
5115	24	53,219	2,881	0,1883	50,880	2,974	130	5000	120
5115	25	52,898	2,881	0,1883	50,880	2,974	130	5000	137
5115	26	52,856	2,888	0,1886	50,862	2,985	130	5000	137
5115	27	52,857	2,881	0,1886	50,862	2,985	130	5000	137
5115	28	52,871	2,885	0,1886	50,862	2,985	130	5000	137
5115	29	53,097	2,905	0,1885	50,875	2,982	130	5000	125
5115	30	53,247	2,920	0,1887	50,835	2,987	130	5000	125
5115	31	52,550	2,917	0,1885	51,064	2,980	130	5000	150
5115	32	52,302	2,924	0,1884	51,077	2,978	130	5000	150
5115	33	52,200	2,896	0,1881	51,108	2,969	130	5000	150
5115	34	52,432	2,928	0,1883	51,088	2,974	130	5000	150
5115	35	52,643	2,919	0,1885	50,960	2,980	130	5000	150
5115	36	52,670	2,913	0,1887	50,923	2,987	130	5000	150
5115	37	52,451	2,896	0,1884	51,072	2,976	130	5000	150

EK 7: Regresyon Analizinde Kullanılan 5118 nolu Makineye Ait Veriler

Makine No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Çap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Girdi Ort. B.agr (kg/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5118	1	52,531	2,915	0,1878	51,282	2,959	130	5000	135
5118	2	52,544	2,911	0,1878	51,282	2,959	130	5000	135
5118	3	52,580	2,910	0,1878	51,307	2,957	130	5000	133
5118	4	52,522	2,914	0,1878	51,307	2,957	130	5000	133
5118	5	52,500	2,910	0,1878	51,307	2,957	130	5000	133
5118	6	52,890	2,918	0,1882	50,908	2,971	130	5000	133
5118	7	52,746	2,915	0,1884	51,015	2,977	130	5000	133
5118	8	53,446	2,886	0,1883	51,031	2,975	130	4500	120
5118	9	53,446	2,870	0,1883	51,031	2,975	130	4500	120
5118	10	52,910	2,863	0,1884	50,889	2,977	130	5000	133
5118	11	52,910	2,885	0,1884	50,914	2,978	130	5000	133
5118	12	52,921	2,850	0,1884	50,896	2,978	130	5000	133
5118	13	52,770	2,872	0,1881	51,053	2,969	130	5000	133
5118	14	52,760	2,882	0,1881	51,053	2,969	130	5000	133
5118	15	52,784	2,881	0,1881	51,040	2,969	130	5000	133
5118	16	52,841	2,886	0,1883	50,973	2,975	130	5000	133
5118	17	52,906	2,887	0,1880	50,910	2,966	130	5000	133
5118	18	52,905	2,862	0,1880	50,910	2,966	130	5000	133
5118	19	52,917	2,908	0,1885	50,875	2,982	130	5000	135
5118	20	52,861	2,888	0,1887	50,882	2,987	130	5000	133
5118	21	52,883	2,888	0,1885	50,885	2,980	130	5000	125
5118	22	52,846	2,891	0,1885	50,885	2,980	130	5000	125
5118	23	52,913	2,891	0,1880	50,880	2,985	130	5000	120
5118	24	52,909	2,881	0,1885	50,889	2,981	130	5000	120
5118	25	52,910	2,885	0,1885	50,889	2,981	130	5000	120
5118	26	52,855	2,889	0,1885	50,889	2,981	130	5000	137
5118	27	52,980	2,890	0,1890	50,825	3,003	130	5000	137
5118	28	52,870	2,886	0,1885	50,875	2,982	130	5000	137
5118	29	52,959	2,893	0,1888	50,854	2,989	130	5000	125
5118	30	52,852	2,924	0,1883	50,965	2,974	130	5000	133
5118	31	52,910	2,900	0,1886	50,929	2,980	130	5000	141
5118	32	52,886	2,869	0,1888	50,914	2,989	130	5000	141
5118	33	52,934	2,905	0,1886	50,853	2,985	130	5000	150
5118	34	52,883	2,870	0,1884	50,919	2,978	130	5000	150
5118	35	52,875	2,892	0,1887	50,923	2,986	130	5000	141
5118	36	52,741	2,893	0,1884	51,072	2,976	130	5000	150

EK 8: Regresyon Analizinde Kullanılan 5168 nolu Makineye Ait Veriler

Makine No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Çap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Girdi Ort. B.agr (kg/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5168	1	52,386	2,925	0,1881	50,920	2,967	130	5000	137
5168	2	52,287	2,922	0,1881	50,920	2,967	130	5000	137
5168	3	52,242	2,928	0,1882	50,990	2,970	130	5300	140
5168	4	52,258	2,913	0,1882	50,990	2,970	130	5300	140
5168	5	52,215	2,928	0,1882	50,990	2,970	130	5300	140
5168	6	52,541	2,908	0,1876	51,336	2,952	130	5300	140
5168	7	52,615	2,894	0,1876	51,336	2,952	130	5300	140
5168	8	52,525	2,912	0,1876	51,336	2,952	130	5300	140
5168	9	52,968	2,923	0,1880	51,199	2,965	130	5300	150
5168	10	52,606	2,895	0,1880	51,199	2,965	130	5400	150
5168	11	52,650	2,901	0,1880	51,199	2,965	130	5400	150
5168	12	52,919	2,888	0,1876	51,438	2,953	130	5400	150
5168	13	52,870	2,911	0,1876	51,438	2,953	130	5400	150
5168	14	52,685	2,894	0,1886	50,925	2,985	130	5000	130
5168	15	52,488	2,905	0,1889	50,716	2,992	130	5100	140
5168	16	52,635	2,891	0,1889	50,716	2,992	130	5200	140
5168	17	52,588	2,892	0,1889	50,716	2,992	130	5200	140
5168	18	52,514	2,904	0,1875	51,237	2,950	130	5000	140
5168	19	52,413	2,911	0,1875	51,237	2,950	130	5000	140
5168	20	52,624	2,876	0,1875	51,237	2,950	130	5000	140
5168	21	52,844	2,901	0,1886	50,765	2,985	130	5300	150
5168	22	52,786	2,899	0,1886	50,765	2,985	130	5300	150
5168	23	52,802	2,883	0,1886	50,765	2,985	130	5300	150
5168	24	52,806	2,878	0,1884	50,770	2,978	130	5300	150
5168	25	52,767	2,886	0,1884	50,770	2,978	130	5300	150
5168	26	52,834	2,885	0,1884	50,770	2,978	130	5300	150
5168	27	52,994	2,866	0,1884	50,770	2,978	130	5000	150
5168	28	52,960	2,880	0,1878	50,773	2,982	130	5300	150
5168	29	52,971	2,882	0,1878	50,773	2,982	130	5300	150
5168	30	52,809	2,902	0,1878	50,773	2,982	130	5300	150
5168	31	52,942	2,888	0,1881	51,009	2,968	130	5000	150
5168	32	52,948	2,886	0,1882	51,002	2,970	130	5000	150
5168	33	52,661	2,890	0,1881	51,019	2,973	130	5100	137
5168	34	52,671	2,897	0,1885	51,014	2,979	130	5200	137
5168	35	52,433	2,912	0,1885	51,000	2,980	130	5200	137
5168	36	52,649	2,901	0,1884	51,029	2,978	130	5200	137
5168	37	52,558	2,897	0,1884	51,029	2,978	130	5200	137
5168	38	52,624	2,902	0,1884	51,029	2,978	130	5200	137

Makine No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Çap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Girdi Ort. B.agr (kg/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5168	39	52,360	2,894	0,1884	50,945	2,978	130	5000	137
5168	40	52,527	2,879	0,1878	51,084	2,959	130	5000	133
5168	41	52,475	2,906	0,1878	51,084	2,959	130	5000	133

EK 9: Regresyon Analizinde Kullanılan 5169 nolu Makineye Ait Veriler

Makine No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Çap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Girdi Ort. B.agr (kg/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5169	1	52,631	2,912	0,1878	51,207	2,957	130	5100	150
5169	2	52,580	2,917	0,1878	51,207	2,957	130	5100	150
5169	3	52,607	2,918	0,1878	51,207	2,957	130	5100	150
5169	4	52,576	2,908	0,1879	50,956	2,982	130	5300	140
5169	5	52,568	2,880	0,1879	50,956	2,982	130	5300	140
5169	6	52,564	2,901	0,1879	50,956	2,982	130	5300	140
5169	7	52,605	2,906	0,1878	51,224	2,959	130	5300	140
5169	8	52,606	2,899	0,1878	51,224	2,959	130	5300	140
5169	9	52,588	2,862	0,1885	50,920	2,980	130	5000	133
5169	10	52,542	2,903	0,1885	50,920	2,980	130	5000	133
5169	11	52,433	2,921	0,1882	50,936	2,971	130	5500	133
5169	12	52,475	2,922	0,1882	50,936	2,971	130	5500	133
5169	13	52,489	2,918	0,1879	51,228	2,961	130	5500	133
5169	14	52,492	2,919	0,1879	51,228	2,961	130	5500	133
5169	15	52,570	2,920	0,1883	51,140	2,974	130	5000	150
5169	16	52,540	2,890	0,1883	50,786	2,973	130	5000	137
5169	17	52,518	2,919	0,1883	50,786	2,973	130	5200	137
5169	18	52,476	2,901	0,1886	50,743	2,983	130	5300	150
5169	19	52,512	2,924	0,1884	50,770	2,978	130	5100	150
5169	20	52,536	2,922	0,1884	50,770	2,978	130	5100	150
5169	21	52,489	2,878	0,1884	50,770	2,978	130	5300	150
5169	22	52,622	2,922	0,1881	50,996	2,967	130	5200	150
5169	23	52,554	2,904	0,1881	50,996	2,967	130	5300	150
5169	24	52,568	2,888	0,1881	50,996	2,967	130	5300	150
5169	25	52,619	2,899	0,1885	50,913	2,979	130	5100	137
5169	26	52,611	2,879	0,1880	51,065	2,965	130	5100	137
5169	27	52,578	2,879	0,1883	50,935	2,975	130	5100	137
5169	28	52,649	2,874	0,1890	51,025	2,973	130	5100	140
5169	29	52,588	2,919	0,1887	50,832	2,986	130	5000	133
5169	30	52,549	2,896	0,1887	50,832	2,986	130	5000	133
5169	31	52,614	2,893	0,1883	51,086	2,973	130	5000	133
5169	32	52,650	2,905	0,1883	51,086	2,973	130	5000	133
5169	33	52,609	2,920	0,1885	50,886	2,981	130	5000	135
5169	34	52,566	2,917	0,1885	51,150	2,979	130	5000	135

Makine No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Çap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Girdi Ort. B.agr (kg/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5169	35	52,585	2,904	0,1885	51,090	2,980	130	5000	135
5169	36	52,613	2,895	0,1883	50,983	2,975	130	5000	150
5169	37	52,588	2,892	0,1883	50,983	2,975	130	5000	150
5169	38	52,592	2,883	0,1883	50,983	2,975	130	5000	150
5169	39	52,609	2,909	0,1884	51,091	2,973	130	5200	140
5169	40	52,596	2,915	0,1884	51,091	2,973	130	5200	140
5169	41	52,616	2,916	0,1884	51,091	2,973	130	5200	140

EK10: Regresyon Analizi Sonrasında Belirlenen Parametrelere Göre Gerçekleştirilen Üretimin Verileri

Makine No	Parti no	Direnç (ohm/km)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Çap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5169	1	52,796	2,899	0,1884	50,679	130	5500	120
5115	2	52,678	2,905	0,1885	50,834	130	5500	150
5169	3	52,799	2,898	0,1884	50,703	130	5500	120
5115	4	52,930	2,885	0,1878	50,908	130	5100	150
5168	5	52,751	2,902	0,1886	50,700	130	5500	120
5169	6	52,874	2,892	0,1880	50,744	130	5500	120
5169	7	52,880	2,891	0,1880	50,786	130	5500	120
5169	8	52,861	2,892	0,1882	50,725	130	5500	120
5118	9	52,836	2,896	0,1882	50,880	130	5500	130
5169	10	52,875	2,892	0,1880	50,725	130	5500	120
5169	11	52,886	2,890	0,1879	50,758	130	5500	120
5168	12	52,749	2,900	0,1886	50,725	130	5500	120
5169	13	52,910	2,889	0,1879	50,801	130	5500	120
5169	14	52,898	2,891	0,1879	50,790	130	5500	120
5118	15	52,918	2,889	0,1878	50,916	130	5500	130
5118	16	52,892	2,889	0,1879	50,899	130	5500	130
5168	17	52,814	2,895	0,1883	50,786	130	5500	120
5168	18	52,805	2,896	0,1885	50,780	130	5500	120
5168	19	52,810	2,896	0,1883	50,782	130	5500	120
5168	20	52,776	2,901	0,1885	50,765	130	5500	120
5168	21	52,713	2,903	0,1885	50,733	130	5500	120
5115	22	52,814	2,898	0,1881	50,898	130	5300	150
5169	23	52,852	2,894	0,1882	50,719	130	5500	120
5168	24	52,820	2,895	0,1881	50,791	130	5500	120
5168	25	52,799	2,897	0,1885	50,786	130	5500	120
5118	26	52,896	2,892	0,1879	50,895	130	5500	130
5168	27	52,778	2,904	0,1883	50,735	130	5500	120
5169	28	52,901	2,890	0,1878	50,799	130	5500	120
5169	29	52,820	2,894	0,1883	50,701	130	5500	120
5118	30	52,712	2,910	0,1884	50,770	130	5500	130
5115	31	52,652	2,911	0,1885	50,873	130	5500	150
5115	32	52,668	2,910	0,1885	50,853	130	5500	150
5168	33	52,688	2,905	0,1887	50,732	130	5500	120
5118	34	52,789	2,897	0,1884	50,877	130	5500	130
5115	35	52,853	2,892	0,1882	50,900	130	5100	150
5168	36	52,799	2,896	0,1885	50,782	130	5500	120
5118	37	52,854	2,894	0,1881	50,995	130	5500	120
5115	38	52,759	2,903	0,1885	50,888	130	5300	150

Makin e No	Parti no	Direnç (ohm/k m)	Br.Ağ. (kg/km)	Ort.Tük.Ç ap (mm)	Girdi Ort. Direnç (ohm/km)	Lay P (mm)	Devir (tpm)	Tel ger (cN)
5118	39	52,919	2,885	0,1878	50,914	130	5500	130
5118	40	52,811	2,895	0,1884	50,865	130	5500	130
5115	41	52,785	2,897	0,1882	50,890	130	5300	150
5115	42	52,884	2,890	0,1878	50,903	130	5100	150
5118	43	52,868	2,890	0,1881	50,995	130	5500	120
5168	44	52,800	2,896	0,1883	50,782	130	5500	120
5115	45	52,819	2,895	0,1881	50,899	130	5300	150
5115	46	52,838	2,895	0,1882	50,890	130	5300	150
5115	47	52,765	2,905	0,1885	50,892	130	5300	150
5118	48	52,822	2,895	0,1881	50,995	130	5500	120
5115	49	52,683	2,908	0,1885	50,800	130	5500	150
5118	50	52,840	2,890	0,1878	50,956	130	5500	130
5118	51	52,676	2,906	0,1886	50,743	130	5500	130
5169	52	52,815	2,898	0,1884	50,715	130	5500	120

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İrem MERAN

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli- 04.04.1991

Lisans Üniversite : Gazi Üniversitesi

Elektronik posta : iremmeran@gmail.com

İletişim Adresi : Kınıklı/ Denizli