

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SHAININ VE TAGUCHI YÖNTEMLERİ VE BİR UYGULAMA
ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS

Barış AKSU

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Kasım BAYNAL

KOCAELİ, 2010

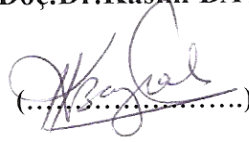
KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SHAININ VE TAGUCHI YÖNTEMLERİ VE BİR UYGULAMA
ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Barış AKSU

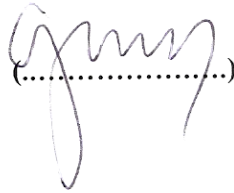
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 04 Ocak 2010
Tezin Savunulduğu Tarih: 13 Ocak 2010

Tez Danışmanı
Yrd.Doç.Dr.Kasım BAYNAL


(.....)

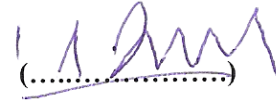
Üye

Prof. Dr. Coşkun ÖZKAN


(.....)

Üye

Doç.Dr. İbrahim ÇİL


(.....)

KOCAELİ, 2010

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Üretimini kalite standartları içerisinde yapan ve bu kaliteyi sürekli geliştirmeye çalışan işletmeler uzun vadede hep kazanan taraf olmaktadır. Ülkemizde standartlaştırma ve kalite artırma çalışmaları devam etmektedir. Kaliteli üretimi bir yaşam tarzı olarak belirleyen firmalar hem rekabetçi piyasada daha sağlam durabilmekte hem de ürünlerini geliştirdikleri için pazarda güven sağlamaktadırlar.

Kalite anlayışının temel noktalarından en önemlisi müşteri memnuniyeti olduğu için işletmelerin kendilerini geliştirmeleri şart olmaktadır. Özellikle ülkemizdeki orta ve küçük ölçekli işletmeler kaliteli üretim yapma noktasında, maliyetleri artırdığı gerekçesiyle bir çekince duymaktadır. Bir başka önemli nokta da bu işletmelerin kaliteyi geliştirme konusundaki bilgi eksikliğidir. Akademik bilgiyi öğrenmek ve bunu işyerinde uygulamak söz konusu işletmelerde nadiren görülmektedir.

Pratik olarak çözüme ulaştıracak bilginin edinilmesi, aynı zamanda üretimin aksamaması için ülkemizde çok fazla bilinmeyen, ancak dünyada önemli başarılarla imza atmış Shainin Yöntemi bu çalışmada anlatılmaya çalışılmış ve Taguchi Yöntemi ile karşılaştırılması yapılmaya çalışılmıştır. Özellikle kısa sürede sonuca ulaştıracak problem çözme ve iyileştirme metodolojisi olarak kullanılabilen Shainin Yöntemi'nin, ülkemizde de tanınması gerekmektedir.

Bu çalışmada desteklerini benden esirgemeyen danışman hocam Yrd.Doç.Dr.Kasım BAYNAL'a, sabrından dolayı sevgili eşim Gülay AKSU'ya sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Barış AKSU
2010

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vii
KISALTMALAR	ix
ÖZET	x
İNGİLİZCE ÖZET.....	xi
1. KALİTE VE KALİTE GELİŞTİRME YAKLAŞIMLARI	1
1.1. Kalite Kontrolün Önemi.....	2
1.2. Toplam Kalite Yönetimi	3
1.3. Kaizen Felsefesi	5
1.4. Değişim Mühendisliği.....	7
1.5. Altı Sigma	7
2. SÜREÇ YETERLİLİĞİNDE VARYASYON ANALİZİ (C_p , C_{pk}).....	11
2.1. Süreç Potansiyel İndeksi (C_p)	12
2.2. Süreç Yeterlilik Analizi (C_{pk}).....	15
2.3. C_p ve C_{pk} İndekslerinin Yorumu	17
3. DENEYSEL TASARIM	20
3.1. Deneysel Tasarımda Üç Yöntem (Klasik, Taguchi ve Shainin)	22
3.1.1. Klasik deney tasarımı.....	23
3.1.2. Taguchi deney tasarımı	23
3.1.2.1. Kalite kayıp fonksiyonu	25
3.1.2.2. Ortogonal diziler	26
3.1.2.3. Sinyal/Gürültü oranı (SN).....	27
3.1.3. Shainin deney tasarımı	29
3.2. Shainin Yöntemine Göre Klasik ve Taguchi Yöntemleri	31
4. SHAININ YÖNTEMİNDE GENEL KAVRAMLAR.....	39
4.1. Shainin Yönteminde Kullanılan Önemli Kavramlar.....	39
4.2. Shainin Yöntemi Algoritması	40
4.2.1. Değişkenlerin belirlenmesi	40
4.2.2. Değişkenlerin analizi.....	42
4.2.3. Gerilemeye karşı güvenlik bantı oluşturulması.....	42
4.3. Problemin (Yeşil Y) Tanımlanması ve Sayısallaştırılması.....	44
4.3.1. Ölçüm doğruluğu	46
4.3.2. Ölçek varyasyonunun indirgenmesi.....	47
4.3.3. Ölçüm doğruluğunun kontrol edilmesi	48
4.3.4. Kesikli değişkenlerin sayısallaştırılması ve Likert Ölçeği.....	49
4.3. Pareto İlkesi ile Baskın Sebeplerin Bulunması	50
5. SHAININ YÖNTEMİNİN UYGULAMA AŞAMALARI.....	53
5.1. İpucu Yaratma Araçları.....	54
5.1.1. Multi-Vari Analizi.....	54
5.1.1.1. Varyasyonun 3 temel bileşeni	55

5.1.1.2. Multi-Vari Analizi için örneklemin belirlenmesi.....	56
5.1.1.3. Multi-Vari çalışmasının tasarımı, yürütülmesi ve analizi.....	57
5.1.1.3.1. Multi-Vari çalışmasının tasarımı	57
5.1.1.3.2. Multi-Vari deneyinin yürütülmesi.....	57
5.1.1.3.3. Multi-Vari grafiğinin sunumu ve analizi	58
5.1.1.4. Multi-Vari analizine dair örnekler	58
5.1.2. Yoğunluk Grafiği	64
5.1.3. Bileşen Araştırması	66
5.1.3.1. Bileşen Araştırması'nın Aşamaları	68
5.1.3.1.1. Tahmini değerlerin bulunması	68
5.1.3.1.2. Önemsiz faktörlerin elenmesi	73
5.1.3.1.3. Teyit etme (Capping Run).....	74
5.1.3.1.4. Faktöriyel analiz.....	77
5.1.4. İkili karşılaştırmalar	78
5.1.4.1. İkili karşılaştırmaların uygulama aşamaları	79
5.1.4.2. Tukey Testi'nin ikili karşılaştırmalarda kullanımı.....	80
5.1.4.2.1. Tukey Testi'nin istatistiksel ifadesi	80
5.1.4.2.2. Tukey Testi'nin uygulamasında karşılaşılabilecek bir sorun.....	85
5.1.5. Ürün/Süreç Araştırması.....	86
5.2. Ürün/Sürecin Yapısını Belirlemek İçin Deney Tasarımı Yöntemleri.....	88
5.2.1. Değişken Araştırması	89
5.2.1.1. Değişken Araştırması'nın aşamaları	90
5.2.1.1.1. Tahmini değerlerin bulunması (Ball Park).....	90
5.2.1.1.2. Önemli ve önemsiz faktörlerin ayrıştırılması.....	93
5.2.1.1.3. Önemli ve önemsiz faktörlerin teyit edilmesi (Capping Run)	94
5.2.1.1.4. Faktöriyel analiz.....	95
5.2.1.2. Etkileşimlerin bulunması	95
5.2.2. Tam faktöriyelli analiz	95
5.2.3. İ – M Karşılaştırması (B vs. C).....	99
5.2.3.1. “Altılı Paket Testi” (Six-Pack Test).....	100
5.2.3.2. İ–M Karşılaştırması'nın uygulanması.....	100
5.2.3.2.1. İ–M Karşılaştırması için örneklem büyüklüğünün hesaplanması.....	100
5.2.3.2.2. Karar kuralı	102
5.2.3.2.3. β Riski ile iyileştirme büyüklüğünün bulunması.....	104
5.2.3.2.4. Δ 'nın $K\sigma_M$ 'den küçük çıkması durumu ($\Delta < K\sigma_M$)	105
5.2.3.3. İ–M Karşılaştırması için “Hatanın Stres Testi”	107
5.3. Optimizasyon	108
5.3.1. Serpilme grafikleri (Scatter plots).....	109
5.3.1.1. Serpilme grafikleri metodolojisi	109
5.3.1.2. Gerçekçi spesifikasyon ve tolerans değerlerinin belirlenmesi	112
5.3.2. Kesişimlerin optimizasyonu için Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (YYM).....	114
5.3.2.1. Geliştirici işlemler (EVOP).....	115
5.3.2.2. Simpleks.....	119
5.3.2.3. Rassal geliştirici işlemler (REVOP)	121
5.4. Deney Tasarımından İPK'ya Geçiş.....	122
5.4.1. Positrol	122
5.4.1.1. Positrol ve Positrol Tablosu	122
5.4.1.2. Düzenlemeden sonra yaşanabilecek gerilemenin sebepleri	125
5.4.2. Süreç onaylama	125

5.4.2.1. Düşük kaliteye sebep olan çevresel faktörler.....	126
5.4.2.2. Süreç onaylama metodolojisi	126
5.5. Kalitenin Takibi İçin İstatistiksel Proses Kontrolü	128
5.5.1. Kontrol diyagramları.....	128
5.5.2. Ön-Kontrol (Pre-control)	130
6. UYGULAMA	135
6.1. Uygulamanın Yapıldığı İşletme Hakkında Genel Bilgi.....	135
6.2. Kord Bezi Bobini Üretim Aşamaları.....	136
6.3. Bobinlerde Yaşanan Problem.....	138
6.4. Problemin Çözüm Adımları	139
6.4.1. Süreç yeterliliği	139
6.4.2. Shainin Yöntemi ile çözüm.....	141
6.4.2.1. Deneilerin uygulanması.....	143
6.4.2.2. Optimizasyon	149
6.4.3. Taguchi Yöntemi ile çözüm.....	150
6.4.3.1. Deneilerin uygulanması.....	150
6.4.3.2. Optimizasyon	156
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	157
KAYNAKLAR	161
ÖZGEÇMİŞ	166

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Kaizen gelişme ile klasik gelişme yaklaşımı grafiği.....	6
Şekil 1.2: Altı Sigma süreç değişkenliğinde ortaya çıkan hata oranları.....	9
Şekil 1.3: Sigma kalite seviyelerindeki gelişmeye göre hata oranlarındaki değişim..	10
Şekil 2.1: Varyasyon ölçüsü – C_p	13
Şekil 2.2: Süreç yeterliliği - C_{pk}	16
Şekil 3.1: Taguchi'nin kalite kayıp fonksiyonu	25
Şekil 3.2: Gürültü faktörlerinin etkisi.....	28
Şekil 3.3: Deneysel tasarım yöntemlerinde doğruluk sıralaması.....	36
Şekil 4.1: Varyasyon düşürücü algoritma	41
Şekil 4.2: Kırmızı X'i bulmak için yol haritası	45
Şekil 4.3: Pareto prensibi ile Yeşil Y ve Kırmızı X'in gösterilmesi	51
Şekil 5.1: Multi-Vari planlamasında bileşenlerin ağaç diyagramla gösterilmesi.....	60
Şekil 5.2: Rotor millerinin Multi-Vari grafiklerle gösterimi.....	61
Şekil 5.3: Rotor milleri çalışması için varyasyon bileşen ailesi.....	64
Şekil 5.4: Boyama hatalarının yoğunluk grafiği.....	65
Şekil 5.5: Varyasyon düşürücü algoritma	67
Şekil 5.6: Önemli faktörlerin (+) ve (-) seviyeleri.....	76
Şekil 5.7: Önemli faktörlerin etkileşim grafiği.....	76
Şekil 5.8: Tüm deneylerin ortaya çıkardığı sonuçlar.....	78
Şekil 5.9: Parametre dağılışı ve önem sıralaması.....	85
Şekil 5.10: Önemli faktörlerin etkileşim grafikleri	99
Şekil 5.11: İ-M Karşılaştırması'nda ara değer olduğu durum	102
Şekil 5.12: Pres makinesi örneği için İ-M Karşılaştırması.....	103
Şekil 5.13: β riski ile İ-M Karşılaştırması'nda iyileştirme büyüklüğünün bulunması .	104
Şekil 5.14: Sıkça karşılaşılan yoğunluk grafikleri.....	110
Şekil 5.15: Az karşılaşılan yoğunluk grafikleri.....	110
Şekil 5.16: Dikey ve yatay yayılma grafikleri.....	111
Şekil 5.17: Farklı eğim açılarının olduğu yayılma grafikleri	112
Şekil 5.18: Yayılma grafikleriyle gerçekçi spesifikasyon ve tolerans değerlerinin bulunması.....	113
Şekil 5.19: İzohips grafiği	114
Şekil 5.20: Isı ve nem etkileşimlerinin EVOP aracılığıyla optimizasyonu	116
Şekil 5.21: Üç girdi değişkenli EVOP için faktöriyel matris düzeni	117
Şekil 5.22: Üç girdi değişkenli EVOP görünümü	118
Şekil 5.23: Dört girdi değişkenli EVOP için faktöriyel matris düzeni.....	118
Şekil 5.24: Boyama prosesi örneği için Simpleks deneyi	120
Şekil 5.25: X ve \bar{X} dağılım grafiği.....	130
Şekil 5.26: Ön-Kontrol diyagramı.....	131
Şekil 5.27: Ön-Kontrol Diyagramı'nın spesifikasyon limitlerinin durumuna göre gösterimi.....	132
Şekil 6.1: Bobine sarılmış endüstriyel bez	136
Şekil 6.2: Üretilen bobinlerin önden görüntüsü	137

Şekil 6.3: Üretilen bobinin teknik çizimi	137
Şekil 6.4: Kutu profilden ölçüm alımı	140
Şekil 6.5: Mevcut durumun alt ve üst spesifikasyon limitlerine göre görüntüsü ...	141
Şekil 6.6: Tüm deneylerin ortaya çıkardığı sonuçlar.....	146
Şekil 6.7: Önemli olarak belirlenen faktörler ve etkileşimleri	147
Şekil 6.8: Ön-Kontrol diyagramı ile üretime başlama kararının verilmesi	150
Şekil 6.9: Kesirli L_{16} deney düzeni.....	151
Şekil 6.10: Faktör ve etkileşim etkileri.....	153
Şekil 6.11: Deney sonucunda elde edilen ana faktörler ve etkileşimleri.....	154
Şekil 6.12: Normal olasılık grafiği	155
Şekil 7.1: Mevcut durumun alt ve üst spesifikasyon limitlerine göre görüntüsü ...	159

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1: C_p ve C_{pk} indekslerinin yorumu	18
Tablo 3.1: Ürünün karakteristik tipine göre kayıp fonksiyonları	26
Tablo 3.2: $L_8 (2^7)$ ortogonal dizini.....	27
Tablo 3.3: SN oranları	29
Tablo 3.4: Shainin yöntemine göre Klasik ve Taguchi yöntemlerinin zayıf noktaları 31	
Tablo 3.5: Taguchi ve Shainin Yöntemlerinin uyguladığı iyileştirme süreçleri arasındaki farklılıklar	36
Tablo 4.1: Problem çözme için kullanılacak 10 adım.	43
Tablo 5.1: Varyasyon Bileşenleri	56
Tablo 5.2: Rotor millerindeki varyasyon ölçümleri	63
Tablo 5.3: Mancınıkla atılan topun ne kadar uzağa düşeceğine etkisi olacağı düşünülen faktörler ve seviyeleri.	70
Tablo 5.4: Faktörlerin önem sırasına düzenlenmiş hali	71
Tablo 5.5: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin belirtilmesi	71
Tablo 5.6: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin seviyelere göre ayrılması	72
Tablo 5.7: 7. ve 8. deney sonuçları.....	73
Tablo 5.8: 9. ve 10. deney sonuçları.....	74
Tablo 5.9: 11. ve 12. deney sonuçları.....	75
Tablo 5.10: 13. ve 14. deney sonuçları.....	75
Tablo 5.11: 15. ve 16. deney sonuçları.....	75
Tablo 5.12: Mancınık Deneyi için Faktöriyel Analiz tablosu	77
Tablo 5.13: İkili Karşılaştırmalarda toplam uç-sayım miktarına göre güven düzeyleri 81	
Tablo 5.14: Kontakt lens örneği için ölçülen parametreler	83
Tablo 5.15: Kontakt lens örneği için Tukey Testi	84
Tablo 5.16: Tukey Testi'nde orta kısmın iyi ve kuyruk kısmının kötü olduğu durum 86	
Tablo 5.17: 2^4 Tam Faktöriyelli Deney düzeni	96
Tablo 5.18: 2^4 Tam Faktöriyelli Deney için ANOVA tablosu	98
Tablo 5.19: İ-M Karşılaştırması'nda α risklerine göre önem dereceleri.....	101
Tablo 5.20: İ-M Karşılaştırması'nda örnek büyüklüğü, α ve β riskleri	101
Tablo 5.21: Positrol planı	123
Tablo 5.22: Positrol tablosu	124
Tablo 5.23: Düşük kaliteye sebep olan çevresel faktörler	127
Tablo 6.1: Mevcut durum verileri.(mm).....	140
Tablo 6.2: Faktörlerin önem sırasına düzenlenmiş hali	142
Tablo 6.3: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin belirtilmesi.	143
Tablo 6.4: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin (+) ve (-) seviye gruplarına dağılımı 143	
Tablo 6.5: Önemli Faktörler ve Etkileşimler.....	145
Tablo 6.6: Önemli faktörlerin seviyelerine göre ortaya çıkardığı sonuçlar.....	148
Tablo 6.7: Önemli faktörlerin Faktöriyel Analiz için hazırlanması.	148
Tablo 6.8: Ana etkiler ve etkileşim etkileri.	149
Tablo 6.9: Önemli faktörlere ait Positrol Planı.....	149
Tablo 6.10: Deney verileri ve SN oranı.....	152

Tablo 6.11: Aritmetik ortalama değerleri için deney deseni	152
Tablo 6.12: Standart sapma, Log S ve SN'in etki değerleri	155
Tablo 6.13: Ortalama ve SN oranına göre faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi...	156
Tablo 6.14: Doğrulama deneyi sonuçları.....	156
Tablo 7.1: Optimizasyon sonrası karşılaştırma	158
Tablo 7.2: Deney sonrası Shainin ve Taguchi Yöntemleri'nin karşılaştırılması.....	160

KISALTMALAR

AKL	: Alt Kontrol Limiti
ANOVA	: Varyans Analizi (Analysis of Variance)
AÖKL	: Alt Ön-Kontrol Limiti
ASL	: Alt Spesifikasyon Limiti
DOE	: Deney Tasarımı (Design of Experiment)
EVOP	: Geliştirici işlemler (Evolutionary Operations)
FMEA	: Olası Hata Türleri ve Etki Analizi (Failure Modes and Effects Analysis)
FTA	: Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
İİ	: İyinin İyisi (Best of Best – BOB)
İPK	: İstatistiksel Proses Kontrol
KK	: Kötünün Kötüsü (Worst of Worst – WOW)
MÇ	: Merkez Çizgi
MEOST	: Çoklu Çevresel Stres Testi (Multiple Environment Over Stress Test)
REVOP	: Rassal Geliştirici İşlemler (Random Evolutionary Operations)
SN	: Sinyal Gürültü Oranı (Signal/Noise Ratio)
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
ÜKL	: Üst Kontrol Limiti
ÜÖKL	: Üst Ön-Kontrol Limiti
ÜSL	: Üst Spesifikasyon Limiti
YYM	: Yanıt Yüzeyi Metodolojisi

SHAININ VE TAGUCHI YÖNTEMLERİ VE BİR UYGULAMA ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI

Barış AKSU

Anahtar Kelimeler: Deney Tasarımı, Kırmızı X, Optimizasyon, Shainin Yöntemi, Taguchi Yöntemi

Özet: Üretimde uygulanan deney tasarımı ile oluşturulan yeni parametre değerleri ile çıktı değişkeni üzerindeki varyasyonda azaltma sağlanır. Amaç, çıktı üzerindeki değişkenliğe sebep olan faktörlerin/etkileşimlerin optimum değerlerini bulmaktır. Ancak, rekabetçi ortamda, hem maliyetlerin azaltılması, hem de kısa sürede karar verilmesi gerektiğinden işletmeler uzun süren deneylerden kaçınmaktadır. Deney tasarımının çok fazla tercih edilmemesinin bir başka nedeni de hesapların zor, karmaşık ve işgörenler tarafından anlaşılmasıdır.

Shainin Yöntemi ile yapılan deney tasarımı belirtilen bu olumsuz nedenleri yok ederek varyasyonda %70'in üzerinde bir düşüş sağlayabilmektedir. Kendine özgü bazı araçları olan yöntemin ana fikri varyasyona neden olan ana faktörlerin (Kırmızı X, Pembe X, Soluk Pembe X) belirlenmesi ve diğer faktörlerin elenmesidir. Böylece Tam Faktöriyel Deney yapılarak net sonuçlara ulaşılabilir.

Taguchi Yöntemi, ortogonal dizinleri kullanarak deney sayılarını büyük ölçüde azaltan ve aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin etkilerini en küçükmeye çalışan bir deney tasarımı tekniğidir.

Bu çalışmada, endüstriyel bir problem üzerinde Shainin ve Taguchi Yöntemleri uygulanarak, sonuçlarda oluşan farklılıklar ortaya konulmuştur.

SHAININ AND TAGUCHI METHODS AND THEIR COMPARISON ON AN APPLICATION

Bariş AKSU

Key Words: Design of Experiment, Red X, Optimization, Shainin Method, Taguchi Method

Abstract: A decrease in the variation of the output variable is done with new parameter values obtained by design of experiment (DOE) in the production. The purpose is to find the optimum values of factors / interactions which cause variation in the output level. However, because of both reduction in costs and the need to decide within a short time in competitive environment, companies avoid from long-lasting experiments. Another reason of not preferring DOE is that the computations are so complicated and hard to understand.

DOE done by Shainin Method can result in more than 70 % reduction in the variation by removing negative reasons indicated above. The point of the method which has its own tools is to determine the important factors causing variations (Red X, Pink X, Pale Pink X) are eliminating unimportant factors. Thus, net results can be reached by applying full factorial experiment.

Taguchi Method is an experimental design technique that reduces the number of experiments significantly by using the orthogonal arrays and also tries to minimize the effects of the uncontrollable factors.

In this study, on an industrial problem by applying Shainin and Taguchi Methods, differences in the results which emerged indicated.

1. KALİTE VE KALİTE GELİŞTİRME YAKLAŞIMLARI

Günümüzde serbest piyasa ekonomisi nedeniyle işletmeler arasında yaşanan katı rekabet şartları, üreticileri minimum maliyetle yüksek kalitede ürün üretmeye zorlamaktadır. Üretimdeki temel amaç, satılabilir nitelikteki kaliteli ürünler olduğundan, ürün kalitesinin tüketicinin veya alıcının kararını etkilemede giderek öneme sahip olduğu açıktır. Bu gelişme, firmaları "kalite güvence sistemi"ni kurarak rekabet ortamında kendini sürekli geliştirme ve ürün kalitesini sürekli iyileştirme yollarını aramaya zorlamıştır.

Sürekli iyileştirme felsefesine sahip bir firmada üretilen ürünün miktarı değil, üretilen ürünün ne kadarının uygun veya kullanışlı olduğu birinci derecede önem taşır. Bu düşünce kalite kontrolü literatüründe "kullanım uygunluğu" olarak adlandırılır.

Bir işletmede üretilen tüm ürünlerin özellik (nitelik) ve ölçüm değerleri bakımından birbirinin tamamen aynı olması mümkün değildir. Bu durum, kalite düzeyinin üründen ürüne "farklılık" gösterdiği anlamına gelir. Önemli olan nokta, bu değişimin belirli bir tolerans seviyesinin dışına çıkmaması, ürünün/hizmetin işlevselliğini etkilememesi ve tüketicilerin beklenti ve ihtiyaçlarını karşılamada kabul edilebilir bir kalite düzeyinde olmasıdır. [1].

Firmaların rekabet ortamında ayakta kalabilmeleri için, hızlı, verimli ve kaliteli üretim yapmaları gerekmektedir. Ancak bu üç unsurun aynı anda elde edilmesi çok zordur. Çünkü, üretimi hızlandırmak genellikle hata oranını yükseltir. Kalite standartlarına bağlı olarak belirlenen toleransların daralması ise verimin düşmesine yol açar; şart koşulan kalite gerekliliklerini sağlamayan ürünlerin miktarı artar. Bu uygunsuz ürünler de ya yeniden işleme tabi tutulur veya hurdaya ayrılır. Her iki durum da malzeme, işgücü ve zaman kaybı demektir.

Bu birbirleriyle çakışıyor gibi görünen hedeflere ulaşabilmek ve uygun olmayan ürün oranını düşürebilmek, bunu yaparken de belli kalite maliyetlerini aşmamak, geçmişte kullanılan geleneksel kalite kontrol teknikleriyle pek mümkün değildir. Zira bitmiş ürünün kalitesinin kontrolü, istenen kalite standardının doğrulanmasını sağlarsa da pahalı ve verimsizdir. Bu nedenle günümüzdeki Kalite Yönetimi felsefesi, ürünün kavram olarak ortaya çıkışından kullanım ömrünün sona ermesine kadar geçen tüm evrelerinin (Life Cycle Approach) izlenmesine dayanmaktadır.

Süreç Kontrolü adı verilen bu yöntemde, tüm süreç boyunca hedef kaliteden sapmalar ve uygunsuzluklar tespit edilir. Uygunsuzluğa yol açan gerçek sebepler ortaya çıkarılır ve buna bağlı olarak belirlenen düzeltici/önleyici faaliyetler uygulanır. Hataların görünür belirtileri ile kökeninde yatan sebepler genellikle çok farklı olduklarından, uygun “tedaviye” başlanabilmesi için iyi bir “teşhis” konulması gerekmektedir. Verimin artırılması için hayati önem taşıyan doğru teşhise varabilmek için ise, objektif verilerin kullanıldığı, bilimsel temellere dayanan yöntemlerden faydalanmak gerekir. İstatistiksel yöntemler bu kriterleri sağladıklarından, süreç kontrolü mekanizmasında yaygın kabul görmektedirler. Bu yöntemlerden en yaygın olarak kullanılan iki yaklaşım da Taguchi ve Shainin Yöntemleri’dir.

Genichi Taguchi yaptığı çalışmalar sonucunda daha az denemeye iyi sonuç veren deney dizilerini (ortogonal dizi) geliştirmiş ve deneysel tasarımın imalat sektöründe kabul görmesini sağlamıştır. Dorian Shainin ise, üretim sektöründe süreç analizi için benzersiz bir sistem yaratmıştır. Shainin, üretim sürecinde ortaya çıkan varyasyonların kaynağını "Kırmızı X" olarak bilinen konsepti geliştirmiştir. Sistemik olarak uyguladığı eleme teknikleriyle, daha hızlı ve çok daha az deneme sayısı ile varyasyonu en fazla etkileyen faktörleri tespit etmektedir.

1.1. Kalite Kontrolün Önemi

Kontrol edilmesi gereken bir özellik olarak değil, üretilmesi gereken bir özellik olarak ele alınana kalite anlayışı “kullanım amaçlarına uygunluk” olarak tanımlanabilir. Bu durumda amaç tüketicinin ihtiyaçlarına göre ve daha önemlisi

ödeme olanaklarına göre bir ürün geliştirmek olmalıdır. O halde bir ürünün kalitesinden söz edilebilmesi için kullanım amacının ve maliyetinin göz önüne alınması gerekir.

Bir ürünün kalite düzeyinin önce tasarlanması ve sonra üretime geçilmesi söz konusu olduğunda, kalite ile ilgili tüm faktörleri “tasarım” ve “uygunluk” kalitesi olarak iki temel grupta toplamak mümkündür. Tasarım kalitesi, bir ürünün tüketicilerin isteklerini karşılama derecesidir. Uygunluk kalitesi ise bir ürünün üretimden çıktıktan sonra kendisi için tasarlanan kalite standartlarına uymasındır [2].

Fiyat, zaman ve kaliteden oluşan üç geleneksel performans ölçütünün kabulünden sonra günümüzde esneklik, yenilik (innovasyon) ve çevresel kalite endüstriyel şirketlerin başlıca konularını oluşturmaktadır. Hem dış koşullar (ürün kalitesini geliştirmek gibi, maliyetin azaltılması ve teslim zamanlarını kısaltılması gibi) hem de türetilen iç koşullar (hurdayı veya hatalı ürünü azaltılması, tekrar çalışmanın ve zaman kaybının düşürülmesi gibi) üretim sürecinin kontrolü ve geliştirilmesi için sürekli bir gayret gerektirir [3].

Modern kalite anlayışı; işletmelerde kaliteyi hataları ayıklamanın ötesine götürmüş, rekabet üstünlüğünü kaliteyi kontrol eden işletmelerden alarak, kaliteyi geliştirmeyi hedefleyen işletmelere vermiştir. İş dünyasında başarıyı yakalayan firmalarsa yine belirli kalite kontrol düzeyinde hatasız üretimi gerçekleştiren firmalar değil, kaliteyi benimsemiş, adeta yaşam biçimi haline getirmiş firmalar olmaktadır. Bu başarıyı yakalamış firmalardan birinin, Hewlett–Packard’ın CEO’su John E. Young’un deyişiyle “Kaliteyi sağlamanın yolu hatalı ürünleri tespit eden ve müşteriye ulaşmadan önce kalitesizliği gideren güçlü bir kalite güvence ekibine sahip olmaktan değil, sürekli iyileştirmeyi firmanın kültürün bir parçası haline getirmeyi başarmaktan geçer.” [4]

1.2. Toplam Kalite Yönetimi

Müşteri gereksinim ve beklentilerinin tüm çalışanların katılımıyla en ekonomik düzeyde karşılamak amacı ile bu kuruluşta üretilen mal ve hizmetlerin, işletme süreçlerinin ve personelin sürekli iyileştirilmesi ve geliştirilmesi yolundaki çabalarını

birleştirip koordine eden sistem Toplam Kalite Yönetimi (TKY) (Total Quality Management – TQM) olarak adlandırılır [5].

TKY kavramını tanımlayan ilk kişi olan Feigenbaum, kalitenin işletmelerin başarısı ve büyümesi açısından en önemli tek faktör olduğunu, kalitenin denetim ve muayene ile sağlanamayacağını savunmuştur. Kaliteyi, üretim bittikten sonra yapılanları kontrol etmek değil, fakat daha hammadde alınırken başlayan sürekli bir iş olarak görmüştür [6].

Feigenbaum'a göre kalite sorumluluğu sadece üretim bölümünün üzerinde olmayıp, kalitenin oluşturulması, sürdürülmesi, geliştirilmesi ve denetimi sürecinde işletmede yer alan tüm bölümlerin katılımının sağlanması gerekmektedir. Tedarikçiden tüketiciye kadar uzanan tüm değer zincirini yöneten bir “toplam sistem” oluşturmayı savunmakta olup, kalitenin tüm işletme çalışanlarını kapsaması gerektiğini ifade eder ve daha da önemlisi kalitenin işletme kültürünün bir parçası haline getirilmesinden bahseder [7].

TKY, 1) Üst yönetimin liderliği, 2) Müşteri odaklılık, 3) Firma elemanlarının eğitimi, 4) Takım çalışması, 5) Sürekli geliştirme ve iyileştirme ilkelerinden oluşur. Ancak, bu öğelerden ilk dördü beşincisi için gereklidir [8].

Firmalarda TKY'nin uygulanmasının amacı müşterilerin isteklerine en uygun mal ve hizmet üretmektir. Nitekim Japon Endüstri Standartları adlı kuruluş TKY'yi “müşteri ihtiyaçlarına cevap verebilecek ürün ve hizmetleri ekonomik olarak üretme sistemi” şeklinde tanımlamaktadır [9].

Klasik yönetim yaklaşımının amacı belli bir standardı oluşturmak ve belirlenen standartlara göre üretimi gerçekleştirerek denetim altına almaktır. TKY hiçbir standardı kabul etmez, sürekli geliştirme ve iyileştirmeyi amaçlar. TKY hemen her konuda klasik yönetim yaklaşımını neredeyse tam tersine çevirir [10].

Toplam kalite anlayışında, klasik yaklaşımdan farklı olarak çalışanlar ve yöneticilerden beklenen rolde önemli değişiklikler olmuştur. Yeni anlayışa göre;

işgörenler sorumluluklarını eksiksiz olarak yerine getiren, ancak yaptığı işin daha verimli olması gerektiğine inanan, iş süreçlerinin geliştirilmesi konusunda sürekli düşünen ve belirlenmiş çeşitli katılım yöntemleri ile bu düşüncelerini sisteme katan yeni bir çalışan davranışı sergilemesi gerekir. Yöneticilerin de çalışanları teşvik edici, katılımı sağlayıcı, inisiyatif kullanmayı, sorumluluk almayı ve yenilikler yaratmayı teşvik edici bir insan kaynakları yönetim sistemini benimsemeleri gerekir [11].

1.3. Kaizen Felsefesi

TKY ilkelerinden beşincisini oluşturan “sürekli geliştirme ve iyileştirme”, Kaizen olarak da anılır. Japonca’da “Değişim” anlamını taşıyan “Kai” ve “İyi” anlamına taşıyan “Zen” kelimelerinin birleşiminden oluşmuştur. Birleştirildiğinde “Kaizen – değişim iyidir” anlamı ortaya çıkar

Japon veya Uzakdoğu felsefesine göre hiçbir şey mükemmel değildir, her şeyi daha ileriye götürmek mümkündür. Bu anlayış her şeyi daha ileriye götürecek bir taraf aranmasını gerektirir. Bu da iki önemli ilkeyi gerekli kılar: İsrafi azaltmak ve sorunları gizlemek yerine ortaya çıkarmak [12]. Sorunların üzerine gitmek; sorunların gizlenmesi yerine ortaya çıkartılması Japon tarzı üretim ve yönetim anlayışında önemli bir hedeftir. Her ortaya çıkan sorun, iyileştirme yapılacak bir alanı veya konuyu gösterir. Bu bakımdan, TKY’ye geçmiş bir işyerinde, her zaman için bir sorun avı vardır. Sorunları çözmek için geliştirilen teknikler Kaizen felsefesinde önemli bir yer tutar [13].

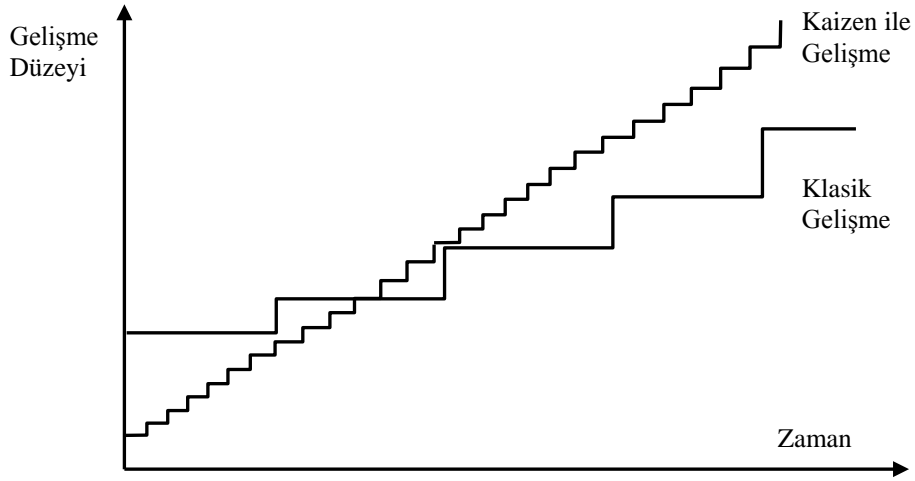
Ana değer akışlarını oluşturan bütün adımlarda yapılan sürekli iyileştirmeyi merkezine alan yaklaşım “Kaizen Felsefesi” olarak adlandırılır. Kaizen çalışmaları TKY’nin en temel faaliyetidir. Yapılan pek çok Kaizen ile sistem akışlarında bulunan israflar yok edilmekte; her bir akışta karşılaşılan kalite, esneklik ve yeterlilik sorunları çözülmektedir.

Kaizen; sürece yönelik, küçük adımlı, insana dayanan, bilgiyi paylaşan sürekli iyiyi arama çabasıdır. Sorunları saklamamak, örtmemek Kaizen uygulamalarının ön

koşuludur. Sorun çözme aşamasında, farklı uzmanlık alanlarından oluşturulan Kaizen ekipleri görevlendirilir. Sorunlara kısa sürede çözüm bulmaktan çok, sorunu kökünden halledecek çözümü bulmak yeğlenir. Amaç; geçici, önlemlerle o günü kurtarmak değil, kalıcı çözümlerle yarını kurtarmaktır. Aksi halde, sorun kısa bir süre sonra tekrar kendini gösterir [13].

Kaizen kalite yaklaşımına göre ortaya çıkan sürekli iyileştirme metodu toplam kalitenin yürütülmesinde kullanılan temel araçlardan bir tanesidir. Kaizen aynı zamanda bir problem çözme tekniğidir. Kaizen çalışmalarında, Deming Döngüsü olarak tanınan “Planla→ Uygula → Kontrol Et → Önlem Al” (PUKÖ) süreci TKY'nin genel çalışma çerçevesi olarak uygulanır [14].

Japonlar Kaizen'i gerçekleştirirken, sıçramaların büyüklüğü ile değil, sıklığı sayesinde Batıdan daha büyük ilerlemeler kaydetmişlerdir. Bu durum Şekil 1.1'de gösterilmiştir [15].



Şekil 1.1: Kaizen gelişme ile klasik gelişme yaklaşımı grafiği [15]

Kaizen, yeniliklerin yerini almaz ve yenilikleri dışlamaz. Aksine, yenilik ve Kaizen birbirinin tamamlayıcısıdır. İdeal olanı, Kaizen'in hedefe ulaştığı noktada yeniliğin devreye girmesidir. Yenilik gerçekleştirildikten hemen sonra ise, Kaizen faaliyeti başlamalıdır [9].

1.4. Değişim Mühendisliği

Dünyadaki yeni gelişmeler organizasyonları değişime zorlamaktadır. Bu çerçevede son yıllarda “organizasyonel değişim yönetimi”ni ifade eden “değişim mühendisliği” (reengineering) kavramı ön plana çıkmaktadır. TKY ile Değişim Mühendisliği arasında ilginç bir ilişki bulunmaktadır. TKY’de değişim küçük adımlarla ve yavaş yavaş gerçekleşmekte, Değişim Mühendisliğinde ise devrim diye adlandırılabilir radikal adımlar söz konusu olmaktadır. Bir şirketin hatta ülkenin ve kişinin her ikisini de değişik dönemlerde uygulaması en iyi yöntemdir. Sadece TKY uygulanırsa mevcut işler daha etkin olarak yapılacak ve her geçen gün yaşam kalitesi artacak, fakat çevresel koşullarda meydana gelen radikal değişikliklere cevap verilemeyecektir [16].

Organizasyonel değişim için yapılacak ilk iş “yeniden düşünme”dir. Ancak yeniden düşünerek ve dünyadaki gelişmeleri anlayarak değişimin bir zorunluluk olduğuna kendimizi ve organizasyonun başındaki lider ve üst yöneticileri inandırabiliriz. İkinci aşamada değişimin planlanması ve tasarımının yapılması gerekir. Değişimin “yeniden tasarımı”nın yapılmasından sonra mevcut organizasyonun örgüt yapısının değiştirilmesi (reorganizasyon) gerekir. Son aşamada ise organizasyonda mevcut yapı, sistem ve süreçlerin “yeniden yapılanma”sı gerekir. Tüm bu işlemler adına Değişim Mühendisliği denen bir yeni araştırma ve uzmanlık alanını gündeme getirmiştir [17].

Değişim Mühendisliği, bir bütün olarak bakıldığında, herhangi bir organizasyonda yapı, sistem, süreç ve uygulanan politikalarda hızlı ve radikal yeniden tasarım ve değişiklikler yapılarak organizasyonun daha yüksek bir performansa ulaşmasını ve bir atılımı gerçekleştirmesini amaçlayan yeni bir yönetim tekniğidir [18].

1.5. Altı Sigma

Altı Sigma stratejik süreç iyileştirilmesini, yeni ürün ve hizmetlerin geliştirilmesini istatistik metotlara ve bilimsel yöntemlere dayandırarak müşteri tarafından tanımlanan hata oranlarında büyük bir indirim sağlamaya yönelik bütünleşik ve sistematik bir yoldur [19].

Son yıllarda, ölçmeye, geliştirilmiş bilgi sistemlerine, bilgi yönetimine verilen öneme karşın hala iş konusundaki pek çok kararın yorumlara ve tahminlere dayanarak alındığı düşünüldüğünde, Altı Sigma Yaklaşımı'nın, “verilere ve gerçeklere dayalı yönetim” kavramını yeni ve daha güçlü bir konuma taşımaktadır. TKY'nin yerini Altı Sigma'ya kaptırmasının belki de en önemli nedeni; TKY'nin ürün kalitesine odaklanmasına karşılık, Altı Sigma'nın süreçlere odaklanmasıdır [20].

Altı Sigma, ürünlerin, hizmetlerin ve süreçlerin ne kadar iyi olduğu hakkında sayısal bir göstergedir. Sürecin sıfır hatalı konumdan ne kadar saptığını gösterir. Bir sürecin altı sigma kalite düzeyinde olması demek, elde edilen ürün veya hizmette 1 milyonda 3,4 adet (3,4 ppm) hataya rastlanması demektir. Temel amaç süreçteki değişimlerin kaynağını izleyip, ortadan kaldırarak kalite seviyesini altı sigma düzeyine çıkarmaktır [21].

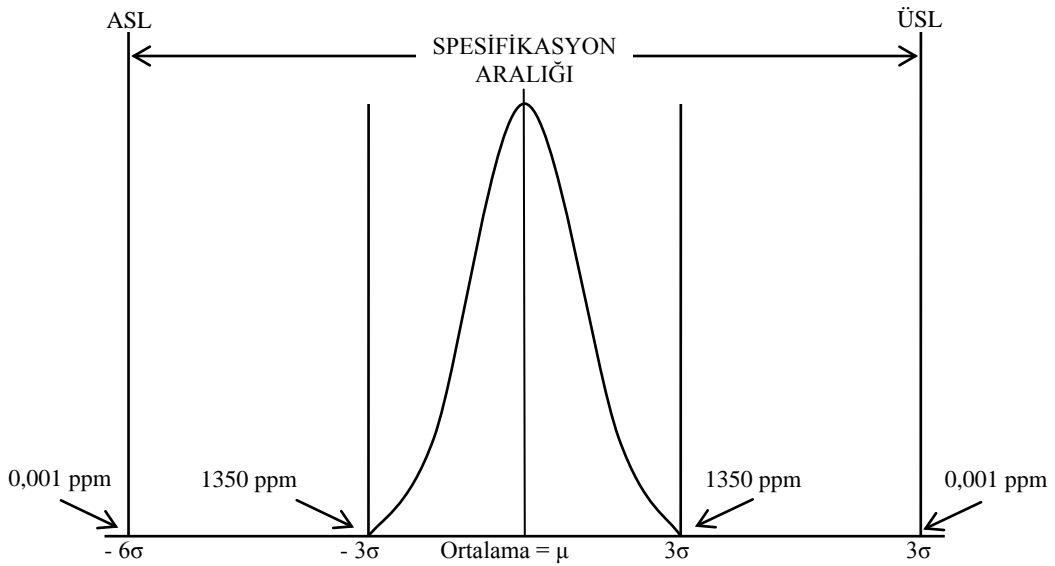
W. Edwards Deming'e göre, kaliteyi artırmak için %100 kontrol yapmak, kusurlu mal üretmeyi planlamakla, sürecin spesifikasyonlara uygun olmadığını kabul etmekle aynı şeydir. Kaliteyi artırmak için kontrol hem çok geçtir, hem de etkisiz ve masraflıdır. Bir ürün satıcının kapısından çıktıktan sonra artık onun kalitesi hakkında bir şey yapılamaz. Kalite kontrolle değil, üretim sürecinin geliştirilmesiyle sağlanır. Kontrol, hurdaya ayırma ve yeniden işleme gibi şeyler süreci düzeltici eylemler değildir [22].

Bir Altı Sigma kuruluşunun vizyonu aşağıdaki altı temayı işler:[23]

1. Verilere ve bulgulara dayalı yönetim ile hem sonuçları ve çıktıları yani Y'leri; hem de süreç, girdi ve diğer öngörülebilir etkenler olan X'leri izleyen etkili ölçüm sistemlerine sahiptir.
2. Yapılan iş ile “Müşterinin Sesi” arasında bağ kurmayı sağlayan sistem ve stratejilerle olduğu kadar, müşterinin ihtiyaçlarını üst sıraya yerleştiren bir yaklaşımla da desteklenir.
3. Süreçlere odaklanma, yönetim ve iyileşme; büyüme ve başarının motoru gibi olduğundan Altı Sigma'da süreçler sürekli olarak belgelenir, başkalarına duyurulur, ölçülür ve iyileştirilir. Ayrıca, müşteri ihtiyaçlarına ayak uydurmak için belli aralıklarla tasarlanır ya da tasarımları güncellenir.

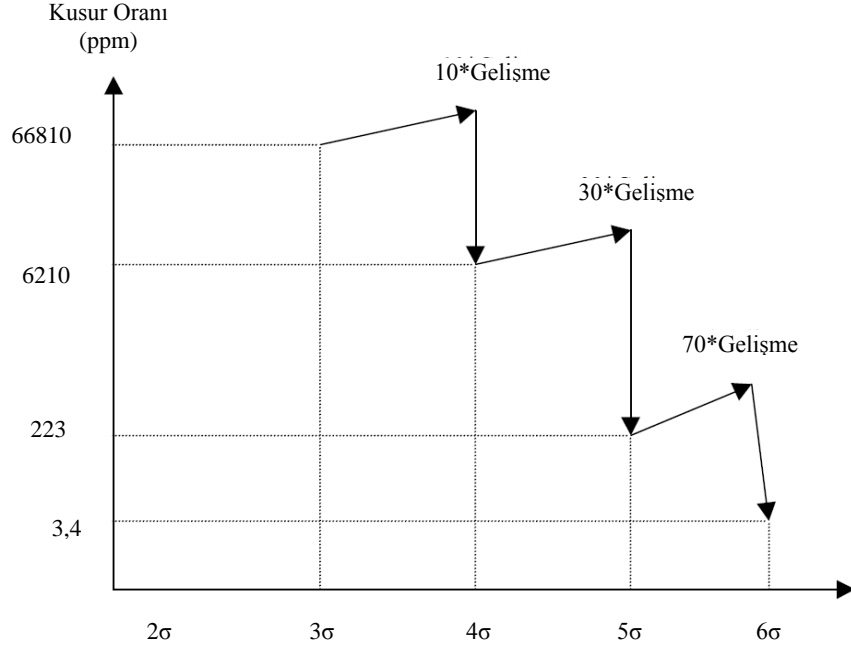
4. Proaktif yönetim mantığıyla, problemleri ve değişiklikleri önceden gören davranış ve uygulamaları benimsemek, bulgu ve verileri kullanmak, hedeflere ilişkin fikirleri ve “bir işin nasıl yapıldığını” sorgulamak demektir.
5. Kurum içi gruplar arasındaki dayanışmayı, müşteriler, tedarikçiler ve tedarik zinciri üyeleriyle bir arada çalışmayı sağlayarak sınırsız işbirliği kurar.
6. Risk üstlendikleri ve yanlışlardan ders çıkardıkları sırada bile bir Altı Sigma kuruluşundaki çalışanlara yeni yaklaşımları deneme özgürlüğü verir. Bu da mükemmelle yöneliş ve hataya karşı hoşgörü demektir. Böylece, performans ve müşteri memnuniyeti konusunda çıtayı yükseltir.

Herhangi bir sürecin değişkenliği, sürecin ortalamaya yani dağılımın merkezine olan uzaklığı standart sapmalar (sigmalar) ile ölçülerek bulunur. Bir sürecin normal dağılımı ± 3 sigma uzaklığında olmalıdır. Bu durum %99,7 ölçüğüdür. Yani üretilen ürün ya da hizmetten milyonda 997.300 tanesi, bu ± 3 sigma sınırlarının içinde kalmaktadır, geri kalan 2700 tanesi hatalı olmaktadır. Oysa ki süreç iyileştirilerek, sürecin normal değişkenliğinin iki katını kabul eden bir tasarım (± 6 sigma), her ürün ya da hizmet için milyonda 2700 yerine milyonda 3,4 (3,4 ppm) hata verecektir. Şekil 1.2’de Altı Sigma süreç değişkenliğinde ortaya çıkan hata oranları normal dağılım grafiğinde gösterilmiştir [24].



Şekil 1.2: Altı Sigma süreç değişkenliğinde ortaya çıkan hata oranları [24]

3 σ 'dan 6 σ kalite düzeyine doğru milyonda kusur sayıları doğrusal olarak değil, parabolik olarak azalmaktadır. Gelişme 3 σ 'dan 4 σ 'ya 10 kat, 4 σ 'dan 5 σ 'ya 30 kat, 5 σ 'dan 6 σ 'ya 70 kat olmaktadır. Bu da 6 σ kalite düzeyine ulaşmanın işletme yararları açısından önemini ispatlamaktadır [25]. Şekil 1.3 bu durumu ifade etmektedir.



Şekil 1.3: Sigma kalite seviyelerindeki gelişmeye göre hata oranlarındaki değişim [10]

Altı Sigma yaklaşımında, bir süreçteki hataları azaltmak ve toplam süreç verimliliğini artırmak için, hem sürecin ortalamasını hedef değere çekmek hem de değişkenliğini azaltmak gerekmektedir.

2. SÜREÇ YETERLİLİĞİNDE VARYASYON ANALİZİ (C_P, C_{PK})

Varyasyonların sebeplerini ve/veya onları azaltmanın yolları incelenmeden önce değişkenlerdeki varyasyon ölçülmelidir. İstatistiksel teknikler geliştirme faaliyetleri ve imalat dahil ürün çevriminin bütün aşamalarında süreç değişkenliğinin sayısallaştırılmasında, bu değişkenliğin ürün gereklilikleri ya da spesifikasyonlarına göre analiz edilmesinde ve bu değişkenliğin ortadan kaldırılmasında ya da en az düzeyde tutulmasında imalat ve gelişme bölümlerinde çalışanlara önemli yararlar sağlar. Bu genel faaliyete süreç yeterliliği denir.

Varyasyon pek çok nedenden dolayı oluşabilir. Bu nedenlerin en önemlileri şunlardır:

1. Zayıf yönetim
2. Ürün veya süreçteki zayıf spesifikasyon limitleri
3. Bileşke spesifikasyonlarının zayıf olması
4. Kalite sisteminin yetersizliği
5. Üretime yönelik pratiğin az (zayıf) olması
6. Tedarikçilerden kötü ürün alınması
7. Operatör hataları.

Süreç yeterliliği, bir süreç tarafından işlenen ürünün doğal tekrar edilebilirlik ölçüsüdür. İstatistik kontrol altında olan, yani zamanla ortaya çıkan özel değişkenlik nedenlerinin olmadığı bir süreçte sonuçlanan ürünün formluğunu temsil eder. Süreç yeterliliği analizleri ile sürecin kararlı durumda olup olmadığı belirlenir. Sürecin kararlı olmasını engelleyen kaynaklar araştırılır, nedenler belirlenir ve bu nedenleri ortadan kaldırmak için önlemler alınır [26].

Süreç yeterliliği, istatistiksel bir ölçüt olup müşteri beklentilerine (spesifikasyon limitlerine) göre bir sürecin ne kadar değişkenlik gösterdiğini özetler [27]. Bir süreç, iyileştirilmeden önce belirli bir süreç yeterliliğine sahip olmalıdır. Süreç iyileştirme çalışmalarında başarılı olunabilmesi için süreç yeterliliği çalışması

başarılı bir şekilde tamamlanmış olmalıdır. Neredeyse bütün süreç çıktısının bulunacağı aralık olarak tanımlanan süreç yeterliliğinin açıklanması için basit ve kullanışlı oranlar vardır. Bunlardan en önemli ikisi Süreç Potansiyel İndeksi (C_p) ve Süreç Yeterliliği İndeksidir (C_{pk}).

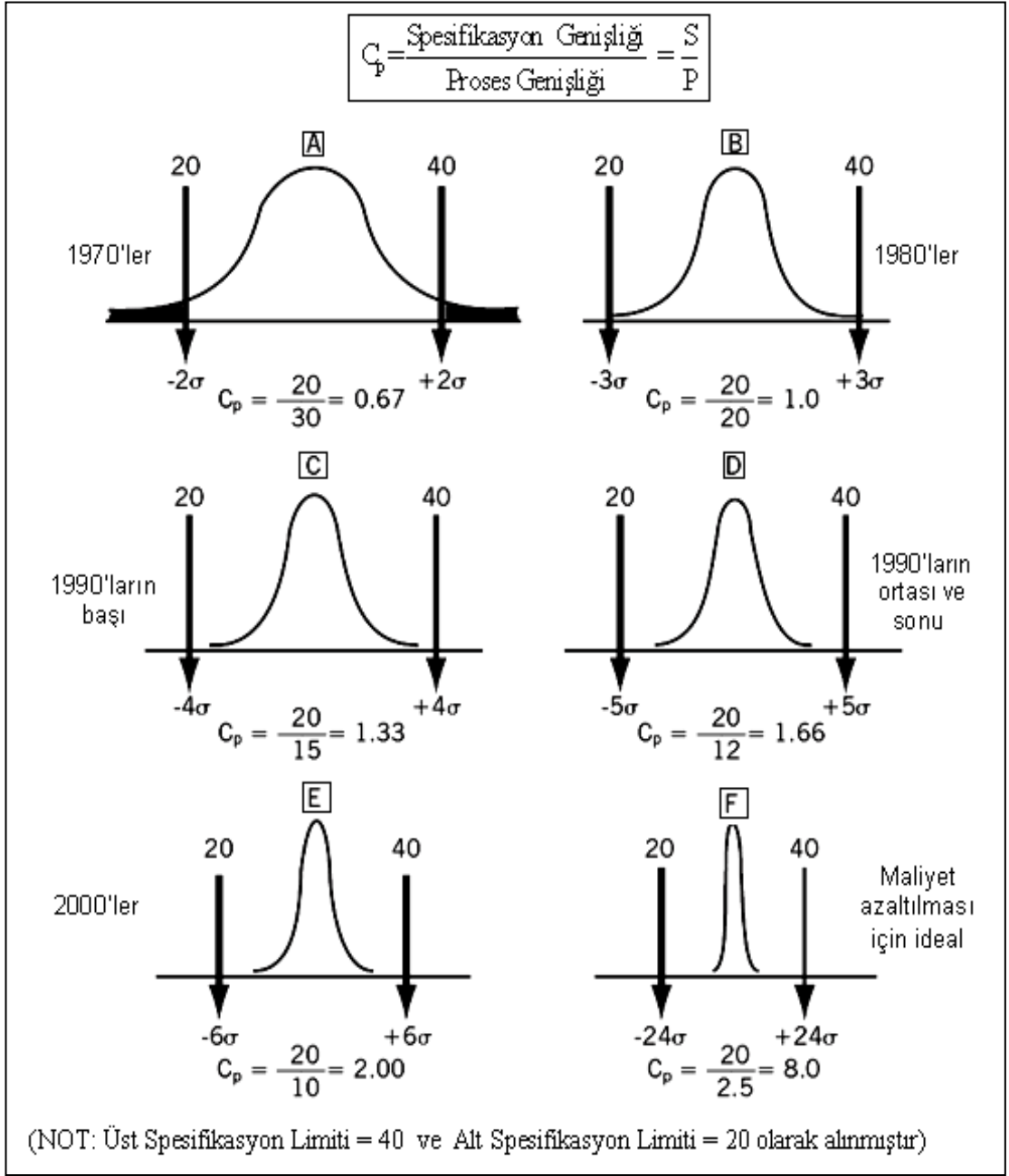
Süreç Yeterlilik Analizi, süreç yeterlilik oranları (C_p ve C_{pk}) ile bir proste, sistemden kaynaklanan değişimlerin olup olmadığını ve prosesin üretim toleranslarını karşılayıp karşılamadığını göstermek üzere kullanılmaktadır. C_p dağılımın konumu, C_{pk} ise dağılımın konumu hakkında bilgi sağlar. Prosesin yeterli olması için C_p ve $C_{pk} \geq 1,33$ olmalıdır [28].

2.1. Süreç Potansiyel İndeksi (C_p)

C_p değeri, spesifikasyon limitleri ile proses kontrol limitleri arasındaki ilişkiyi gösterir. C_p spesifikasyon genişliğinin (S) proses genişliğine (P) bölümü sonucunda elde edilir ($C_p = S/P$). Spesifikasyon genişliği, önceden belirlenmiş limitleri ifade etmektedir. Proses genişliği ise süreç veya gözlem sonunda elde edilen alt ve üst limitlerdir. C_p , bir yayılma ölçüsü olarak da kabul edilebilir.

Şekil 2.1'de 1970'lerden başlayarak 2000'li yıllara uzanan bir C_p anlayışının değişimi gösterilmiştir. Verilen 6 grafikte de spesifikasyon limitleri örnek olarak $S_U=40$ ve $S_A=20$ olarak verilmiştir. Dolayısıyla, spesifikasyon genişliği ($S=40-20=20$) tüm grafiklerde 20 olarak gösterilmiştir [28].

1970'lerde proses genişliği 30 olduğu takdirde C_p 'nin 0,67 çıktığı görülmektedir ($\pm 2\sigma$). Bu da grafikten de anlaşılacağı üzere, yaklaşık %5 oranında bir kusur ortaya çıkmaktadır. Ancak, buna rağmen ürünün "yeteri kadar iyi" kaliteye sahip olduğu düşünülmekteydi. 1950'lerden başlayarak günümüze kadar, üretimde ortaya çıkan kalitesizlikleri tespit edip onları yok etmeye çalışan pek çok İstatistik Proses Kontrol araçlarından Dorian Shainin'in sunduğu istatistiksel mühendislik yaklaşımı önem kazanmaktadır [29].



şekil 2.1: Varyasyon ölçüsü – C_p [28]

1980'lerde proses genişliğinin spesifikasyon genişliğine eşit olması hedeflenmiştir. Böylece $C_p=1,0$ 'a ulaşılmıştır (± 3). Bu da iki sebepten dolay marjinal olarak kabul edilmiştir. (1) Kusur oranı % 0,13'e gerilemiştir (veya kusurlu ürün sayısı milyonda 1.300'e –1.300 ppm– düşmüştür). Ancak günümüz rekabetçi dünyasında bazı şirketlerin 100 ppm, 10 ppm, hatta milyarlar ölçülebilecek daha da küçük hata miktarlarını reddettiği görölmektedir. Bu durumda, 1.300 ppm hatanın ($C_p=1,0$)

eski devirlerde kaldığı söylenebilir. (2) Prosesin merkez değerinden ufak bir kayma bile reddetme değerlerini önemli bir ölçüde artırmaktadır.

1990'larda C_p 'nin 1,33 olması (öncekilere göre daha iyi), daha sıkı proses ve spesifikasyon limitleri arasında bir "güvenlik bantı" oluşturulmasını sağlamıştır ($\pm 4 \sigma$). Böylece yaklaşık 60 ppm oranında bir hata oranına düşülmüştür. Bunun sonunda, ABD'nin üç büyük otomotiv şirketi, geliştirmiş oldukları QS-9000 kalite standardı içerisinde, tedarikçilerinden de en az $C_p=1,33$ 'e ulaşmalarını istemeye başlamışlardır.

1990'ların sonlarına doğru ulaşılan 1,66'lık C_p değeri proses ve spesifikasyon limitleri arasında daha güvenli bir sınır oluşturmuştur ~~($\pm 5 C_p=1,66$)~~ $C_p=1,66$ olduğunda kusurlu ürünler 1 ppm değerine düşerken, bu seviyeye ancak çok az firma erişebilmiştir.

2000'lerin ilk on yılında, proses genişliği, spesifikasyon genişliğinin yarısına düşürülerek $C_p=2,0$ değerine erişilmiştir ($\pm 6\sigma$). Bu da, milyarda 2 hata (2 ppb) anlamına gelmektedir. Ürün parametrelerinde C_p 'nin 2,0 olması 21. yüzyılda bir dünya standardı haline gelmeye başlamasına rağmen, bu seviyeye ancak sadece birkaç uluslararası şirket ulaşabilmiştir. C_p 'nin 8,0 değerine ulaşmasına (± 24) sadece bir ideal olarak değil, ulaşılabilir bir değer olarak bakmak gerekir. Böylece daha düşük toplam maliyetlere erişilebilir [28].

Bunun yanı sıra, C_p için bir başka ölçüm sistemi de Sigma'dır. İstatistiksel Proses Kontrol'de 6 Sigma olarak adlandırılır. Amacı 2 ppb'ye (yaklaşık olarak sıfır hataya) ulaşmaktır. Ölçülen sonuç değişkeni ürün toleransından farklı bir değer 6 Sigma içerisinde ifade edilir. Bununla birlikte sürecin uygunluğunu yargılamak için yeterlilik ölçüsü, tolerans ile karşılaştırılır. "ÜSL" üst spesifikasyon limitini, "ASL" alt spesifikasyon limitini ve " σ " standart sapmayı ifade edecek şekilde 6 Sigma yönteminde C_p denklem (2.1) ile hesaplanır: [30]

$$C_p = \frac{\text{ÜSL} - \text{ASL}}{6\sigma} \quad (2.1)$$

2.2. Süreç Yeterlilik Analizi (C_{pk})

Normal dağılımlar için süreç yeterliliğinin belirlenmesi için C_p ve C_{pk} olarak isimlendirilen süreç yetenek indeksleri kullanılır. Bunlardan C_p indeksi sürecin sadece yayılımını kontrol ederken, C_{pk} indeksi ise sürecin hem yayılımını, hem de ortalamasının hedeflerden sapmasını kontrol etmektedir. C_p ve C_{pk} indeksleri, süreç yeteneğinin uygunluğunun sayısal olarak değerlendirilmesidir [26].

C_p dağılımın konumunu belirtirken, C_{pk} dağılımın ortalamasının neresine düştüğüne dair bilgi sağlar. Buna göre C_{pk} değeri proses ortalamasının hedef değere göre konumunu ve spesifikasyon limitleri arasındaki konumunu gösterir [31].

Eğer ortalamadan uzak bir dağılım söz konusu ise ortaya bir hata çıkar. Başka bir ifadeyle, eğer belirlenen hedef değer in uzağında bir ortalamayla karşılaşılabilir. Bunu düzeltmek için K olarak adlandırılan bir düzeltme faktörü devreye girer. C_{pk} için oluşturulacak formül aşağıdaki gibidir: [28]

$$C_p = \frac{S}{P} \quad (2.2)$$

$$K = \frac{|D - \bar{X}|}{(X/2)} \quad \text{veya} \quad K = \frac{|\bar{X} - D|}{(S/2)} \quad (2.3)$$

$$C_{pk} = (1 - K) \cdot C_p \quad (2.4)$$

Bu formüllerde;

S = Spesifikasyon genişliği

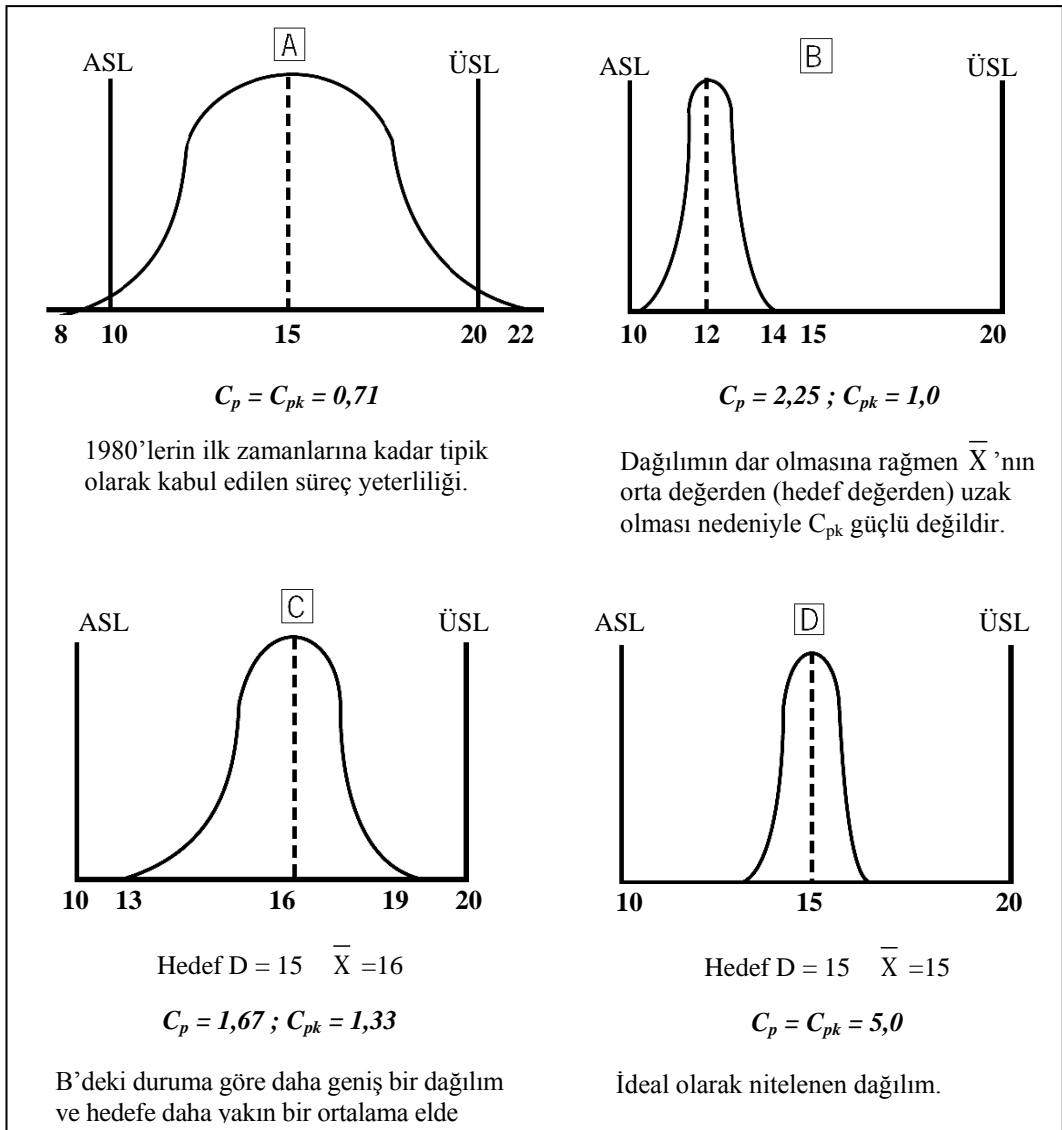
P = Proses genişliği ($\pm 3\sigma$ limitleri içerisinde)

D = Hedef Değer (D'nin, spesifikasyon genişliğinin (ASL ve ÜSL'nin) orta değeri olma zorunluluğu yoktur.)

\bar{X} = Proses ortalaması olarak ifade edilmektedir.

Proses ortalaması (\bar{X}) ve hedef değerin (D) aynı olması durumunda, düzeltme faktörü (K) sıfıra düşer. Bu da C_p ve C_{pk} 'nin eşit çıkmasına yol açar. Bunun yanında, eğer \bar{X} , spesifikasyon limitlerine doğru ve hedef değerden uzak bir kayma (çarpıklık) gösterirse, düzeltme faktörü (K) artar. Bunun sonucunda da C_p 'ye kıyasla C_{pk} 'da bir düşüş gözlenir.

Şekil 2.2'de ASL=10 ve ÜSL=20 olan dört örnek üzerinde bu durum açıklanmıştır [28]. Verilen örnekte de görüldüğü gibi, proses, A grafiğinde geniş bir yayılmaya sahiptir. C_p değeri 0,71 olarak çıkmaktadır. Bunun nedeni hedef değer D'nin ortalamayla (\bar{X}) aynı noktada olmasıdır. Bu da, C_p ve C_{pk} 'nin 0,71 değerinde eşit çıkmasına yol açmaktadır.



Şekil 2.2: Süreç yeterliliği - C_{pk} [28]

B grafiğinde ise prosesin dar bir dağılıma sahip olmasına rağmen ($C_p = 2,5$), alt limite yakın olmasından dolayı, düzeltme faktörünün devreye girmesiyle C_{pk} 'nin 1,0 çıkmasına yol açmaktadır. Bu da zayıf bir yeterlilik ölçüsüdür. C grafiğindeki yayılma B grafiğine göre daha fazla olmasına rağmen, hedef değere yakınlığından dolayı $C_p = 1,33$ çıkmaktadır. Bunun sonucunda da düzeltme faktörünün (K) daha düşük değer alacağı söylenebilir ve sonuçta $C_{pk} = 1,33$ 'e eşit olur. B grafiğindeki örneğe göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.

D grafiğinde belirtilen durum ideal ölçüleri vermektedir. Hem yayılma daha dar alanda gerçekleşmekte, hem de süreç ortalanmış durumdadır. Bunun sonucunda da C_p ve C_{pk} değerleri 5,0'a ulaşmaktadır.

C_{pk} 'nin daha kolay hesaplanmasında, pek çok kaynakta da belirtildiği gibi, (2.5)'teki formül de kullanılabilir.

$$C_{pk} = \begin{cases} \frac{ASL - \bar{X}}{P/2} & \text{(Alt Limit'e göre)} \\ \frac{\bar{X} - ÜSL}{P/2} & \text{(Üst Limit'e göre)} \end{cases} \quad (2.5)$$

Proses kontrol aşamasında sürecin ortalanması sürecin yayılmasını düşürmekten daha kolaydır. Ortalamak için sadece basit bir ayarlama yapılabilir. Ancak, yayılmanın azaltılması sabırlı bir deney tasarımı uygulaması gerektirir. C_p 'de olduğu gibi C_{pk} 'de de amaç en yüksek değere ulaşmaktır. C_{pk} 'nin 2,0 olması, sürecin sıfır hataya ve sıfıra yakın bir varyasyona sahip olması anlamı taşıdığından, çalışmalarda dönüm noktası (milestone) olarak kullanılır.

2.3. C_p ve C_{pk} İndekslerinin Yorumu

Prosesin yeterli olarak nitelenebilmesi için C_p ve $C_{pk} \geq 1,33$ olmalıdır. C_p ve C_{pk} değerlerine göre sürecin yeterliliği hakkında karar vermede Tablo 2.1'de [32, 31] verilen değerler kullanılır. Sonuç olarak C_p ve C_{pk} 'nin 1,33'den büyük olması durumunda proses

yeterliliği sağlanmış olduğundan İstatistiksel Proses Kontrolü'nün (İPK) “yetenek oluşturma” fazı bitirilmiş, “yeteneğin korunması” aşamasına geçilmesi için gerekli ortam sağlanmış olacaktır [27].

Tablo 2.1: C_p ve C_{pk} indekslerinin yorumu

<u>C_p İndeksinin Yorumu</u>	
$C_p \leq 1$	Süreç yeterliliği yetersizdir. İyileştirmeler yapılarak süreç değişkenliğinin azalması gerekli)
$1 < C_p \leq 1,33$	Süreç kabul edilebilir seviyededir, ancak spesifikasyonları karşılayamamaktadır. Süre daha yakından izlenerek kontrolü sürdürülmelidir
$C_p > 1,33$	Süreç yeterliliği yeterlidir. Süreç spesifikasyonları karşılamaktadır.
<u>C_{pk} İndeksinin Yorumu</u>	
$C_{pk} < 0$	Süreç ortalaması spesifikasyon sınırları dışındadır.
$C_{pk} = 0$	Süreç ortalaması spesifikasyon sınırlarının birine eşittir.
$0 < C_{pk} < 1$	Süreç spesifikasyon limitlerini karşılamıyor. Süreç ortalaması hedef değerden uzaktadır.
$1 \leq C_{pk} < 1,33$	Verilerin bir kısmı spesifikasyon limitlerine yaklaşmaktadır. Süreç kısmen spesifikasyon limitlerini karşılıyor. Süreç ortalaması hedeften uzaklaştıkça prosesin hata yüzdesi artabilir.
$C_{pk} \geq 1,33$	Süreç spesifikasyon limitlerini karşılıyor

Değişkenliğin izlenmesi ve doğru kararların verilebilmesi için Keki Bhote'nin üzerinde önemle durduğu bir konu vardır. C_p ve C_{pk} 'nin elde edilmesi sırasında gözden kaçan ve dikkat edilmesi gereken bu noktalar aşağıda maddeler halinde verilmiştir [28].

1. Tüm Parametrelerin Ölçülmesi

C_p anlayışıyla çalışmak isteyen şirketlerin yaptığı ortak hata, parametrelerin öneminin ortaya konulmasından ziyade tüm parametrelerin ölçülmeye çalışılmasıdır. Bu da herhangi bir artı değer değil sadece maliyeti artıran bir durum olmaktadır. Shainin Yöntemine göre en önemli parametreleri elde edebilmek için C_p 'si 2,0 veya daha üzerinde olanlarına bakmak yeterlidir. Diğer parametrelerin (veya değişkenlerin) süreç içerisinde varyasyonu değiştirmesi bakımından çok fazla

önemi yoktur. Hangi değişkenin daha önemli olduğunu tahmin etmek doğru bir hareket olmayacaktır. Bu değeri bulabilmek için Shainin Yönteminin sunduğu “Değişkenlerin Aranması” (Variables Search) tekniği kullanılmalıdır.

2. C_p ve C_{pk} 'nin Sürekli Ölçülmesi

Yapılabilecek bir başka hata da C_p ve C_{pk} 'nin sürekli olarak ölçülmeye çalışılmasıdır. Sürekli ölçüm yapılması kötü bir gidişatı birdenbire kontrol limitleri içerisinde gösteremez. Bir C_p , sonucunun 2,0'ın altında veya üzerinde çıkmasına göre kötü veya iyi olarak adlandırılır. Eğer C_p 2,0'dan küçük çıkıyorsa, parametreler kontrol edilemiyor anlamına gelmektedir.

3. Spesifikasyon Limitleri Doğru Değilse C_p ve C_{pk} Değerleri Anlamsızdır

C_p ve C_{pk} , spesifikasyon limitlerine bağlı olarak hesaplanır. Dolayısıyla, bu limitler doğru değilse C_p ve C_{pk} da hatalı ve anlamsız çıkacaktır. Gerçekçi toleranslara ulaşılabilmesi için ileriki konularda ayrıntılarından bahsedilecek olan “Serpilme Grafikleri”nden yararlanılabilir. İncelenecek bir ürünü veya prosesi daha kaliteli hale getirmek için, ilk önce onu oluşturan parametrelerin “Değişkenlerin Aranması” yöntemiyle önemli veya önemsiz diye ayıklanması gerekir. Sonrasında, “Serpilme Grafikleri” yardımıyla belirlenen önemli parametreler için toleranslar ve spesifikasyon limitleri bulunur. Ancak bu şekilde C_p ve C_{pk} için elde edilen değerler daha gerçekçi olur.

4. C_p 'yi Kendi Şirketinde Uygulamadan Tedarikçilerden İstenmesi

Pek çok şirket, kendilerinin ölçememesi veya erişememesine rağmen tedarikçilerinden yüksek C_p değeri beklemektedir. Üç büyük otomotiv şirketinin bu noktada adı çıkmıştır. Bu şirketler, tedarikçilerinden ilk şart olarak QS-9000 standardına göre C_p değerinin en az 1,33 olmasını istemektedirler. Ancak, bu firmalar kendi tesislerinde C_p 'yi hesaplamamakta veya 1,33 seviyesine ulaşmamaktadır. Bu üç firmadan biri olan Ford, bu nedenle tedarikçiler arasında “Dediğimi yap, yaptığımı yapma” diyen bir firma olarak bilinmektedir [28].

3. DENEYSEL TASARIM

Sözlük anlamı olarak deney, bir sistem veya proses üzerindeki bir gerçeği, varsayımı, bir özelliği veya detayları incelemek amacıyla belirli yöntem ve kurallara uygun olarak yapılan işlem olarak tanımlanır [33]. İstatistikte ise deney, yeni gerçekler elde etmek, önceki sonuçları doğrulamak veya reddetmek için planlanmış bir iş olarak algılanır. İstatistiksel deney sonucunda ilgilenilen sürecin devamına veya değiştirilmesinin önerilmesi konusunda bir karara ulaşılır. Deneyler bir veya birkaç soruya yanıt bulmak için gerçekleştirilebilir [2].

Deney tasarımında, süreci etkileyen her türlü etken “faktör” olarak adlandırılır. Faktörlerin çeşitli kategorileri, dereceleri ve yoğunlukları ise “seviye” olarak adlandırılır. Bir deney tasarımı sırasında birden fazla faktör ve seviye grupları bulunabilir.

Tek ve çok etmenli deneyler, bir veya birden çok etmenin bir durum veya proses üzerindeki etkisini belirlemek için sadece o an için tasarlanan şartlarda yapılan deneylerdir. Bu deneyler aynı zamanda çalışmanın konusu olan deney tasarımları için yapılan deney türleridir.

Tasarlanmış deney terimi ise; bir sistem veya prosese ait girdi faktörlerinin amaçlı bir takım değişikliklere tabi tutulması ve bu değişiklikler sonucu oluşan çıktı üzerindeki değişme sebeplerinin belirlenmeye çalışılması için denemeler yapılması demektir [34].

Deney tasarımı kavramı ile ilgili farklı tanımlar yapmak mümkündür. Deney tasarımı; bağımlı faktördeki değişikliğin nedeni olarak ele alınan bağımsız faktörün etkilerinin ölçülmesi işlemini yürütmek için kullanılan tekniktir. Deney tasarımı, bir prosesdeki girdi faktörleri üzerine istenilen değişikliklerin sistematik bir şekilde yapılmasıyla cevap değişkeni üzerindeki değişkenliğin gözlenmesi ve yorumlanması olarak da tanımlanabilir [34].

İşletmelerin, ürün veya hizmetlerini yeterli kalite seviyesine getirmek için yaptığı çalışmalar sayesinde, üretim yönetimi araçlarında gelişmeler olmuş, günümüz

gereksinimleri için teknikler ortaya konmuş ya da yıllardır teoride kalan yöntemler uygulanmaya başlanmıştır. Bunlardan biri de özellikle sanayileşmiş ülkelerde kullanılan deneysel tasarım (veya deney tasarımı) teknikleridir.

Kalite mühendisliğinde deneysel tasarımın tasarımcıya kazandırdığı en büyük faydalardan bir tanesi prostedeki değişkenliğin azaltılarak kalitenin geliştirilmesidir. Bilindiği gibi kalite mühendisliğinin temel noktası değişkenliğe neden olan faktörlerin tespit edilip giderilmesi ile prostedeki değişkenliğin en küçüklenmesi veya başka bir ifade ile kararlılığının artırılmasıdır.

Deney tasarımı teknikleri, yeni bir proses geliştirmede ve performans artırma amacıyla mevcut prosesi düzeltme çalışmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Deney tasarımının amaçları kısaca aşağıdaki şekilde sıralanabilir [28].

- Sonuç üzerinde en etkin girdi faktörlerini belirlemek.
- Performans karakteristiğini hedef değere en yakın sonuca ulaştıracak girdi faktörlerinin seviyelerini belirlemek.
- Kontrol edilemeyen girdi faktörlerinin çıktı üzerindeki etkisinin en az olacağı kontrol edilebilen girdi faktörleri kombinasyonunu oluşturmak.

Deneysel tasarım teknikleri, deneyden elde edilen bilgilerin minimum maliyetle maksimize edilmesi ile ilgilidir. Proses iyileştirme ve geliştirmede yaygın kullanılmaya başlayan deneysel tasarım tekniklerinin kullanılması şu sonuçları doğurur: [27]

- Azalan değişkenlik ve hedef ihtiyaçlara çok yakın uygunluk,
- Geliştirilmiş süreç randımanları,
- Geliştirme süresinin azalması,
- Azalan maliyetler.

Kalite mühendisliğinde deneysel tasarımın tasarımcıya kazandırdığı en büyük faydalardan bir tanesi prostedeki değişkenliğin azaltılarak kalitenin geliştirilmesidir. Bilindiği gibi kalite mühendisliğinin temel noktası değişkenliğe neden olan

faktörlerin tespit edilip giderilmesi ile prosesteki değişkenliğin en küçüklenmesi veya başka bir ifade ile kararlılığının arttırılmasıdır.

Deneysel tasarım teknikleri kullanılarak üretim sırasında, istenmeyen faktörlerin etkilerinin en aza indirildiği üretim prosesini tasarlamak mümkün olmaktadır. Başka bir deyişle, deneysel tasarım, kaliteyi tasarım aşamasında sağlamanın bir yoludur. Deneysel tasarım yöntemleri, özellikle Japonya’da kalite konusunda meydana gelen gelişmelerle birlikte ilk olarak Amerika’da daha sonra dünyanın çeşitli gelişmiş ülkelerinde kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen hala ülkemizde bu yöntemler yeterli seviyede kullanılmamaktadır [2].

3.1. Deneysel Tasarımda Üç Yöntem (Klasik, Taguchi ve Shainin)

Ölçülen süreç yeterlilik değerleri (C_p ve C_{pk}) veya diğer varyasyon değerleri, değişkenliğin tespit edilmesi amacıyla kullanılır, varyasyonun düşürülmesinde etkili değildir. Asıl önemli olan varyasyonların tespit edilmesi değil, onların düşürülmesidir. Varyasyonun düşürülmesi için pek çok yöntem denenmiştir. Değişik mühendislik kararlarına bağlı yöntemler, bilgisayar simülasyonları, İPK bunlardan bir kaçıdır. Özellikle İPK bunlar içerisinde daha fazla tutulmuştur. Ancak şu da unutulmamalıdır; İPK bir sorunu çözmek için değil, onu görüntülemek veya ölçmek için kullanılabilir. Bu yüzden İPK, sorun sırasında değil, sorunun çözülmesinden sonra kullanılmalıdır [28].

Deney tasarımı, kronikleşmiş kalite problemlerinin çözülmesinde ve varyasyonun azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Deney tasarımı üç farklı yaklaşıma sahiptir. Bunlar; Klasik, Taguchi ve Shainin Deney Tasarımlarıdır.

Klasik Deney Tasarımı ve Taguchi Deney Tasarımı ile literatürde yeterince bilgi olduğu için bu yöntemler ayrıntılı olarak burada işlenmemiştir. Ancak, Shainin Deney Tasarımı ile ilgili ayrıntılı açıklamalar dört ve beşinci bölümlerde verilmiştir.

3.1.1. Klasik deney tasarımı

Bu yöntem ilk önce Sir Ronald Fisher tarafından geliştirilmiş ve 1920'lerde tarım sektöründe uygulanmaya başlanmıştır. Tam faktöriyelli deney tasarımı uygulayan Fisher, çalışmalarını tarıma etki eden faktörler (toprak, yağmur, su, güneş, iklim, tohum, gübre, arazi, vb) üzerinde yoğunlaştırmıştır. Uzun süren bu çalışmaları sonucunda, İngiliz tarımına verdiği destekten dolayı "Sir" unvanını almıştır. Bununla birlikte, Fisher'in deney tasarımıyla gerçekleştirdiği varyasyon azaltılması günümüzün modern kalite kontrol anlayışını doğurmuştur. Ayrıca hala kullanılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemi de Fisher'in çalışmaları sonucunda gelişmiştir [35].

Fisher'in tam sağlam (robust) tam faktöriyel yaklaşımı, bu yöntemi benimseyenlerce biraz daha geliştirildi. Bu geliştirme robust tasarımdan daha zayıf olan ama daha az deneyle çalışan kesirli faktöriyel desenler oluşturuldu. Buna da "Klasik Deney Tasarımı" adı verildi. Ama bu çalışmalar da sadece tarım ve kimya endüstrisiyle sınırlı kaldı.

3.1.2. Taguchi deney tasarımı

Dr. Genichi Taguchi, ürün ve süreçleri geliştirilmesi pek çok yöntem ve düşüncenin oluşmasını sağladı. Bunlardan bazıları "Taguchi Kayıp Fonksiyonu" ve ürün/süreç tasarımında kullanılacak üç yaklaşım olan "Sistem, Parametre ve Tolerans Dizaynı" olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra, alternatif bir deney metodolojisi olarak, mümkün olan güvenilirlik koşulu altındaki deneylerin sayısını azaltmak amacıyla "Ortogonal Dizi"leri kullanmaktadır. [3].

Çıktı üzerinde oluşan varyansın küçültülmesine odaklanan Taguchi, ortogonal dizileri kullanarak klasik deney tasarımı basitleştirmiştir. Taguchi'nin varyans indirgemedede sinyal (S) ve gürültü (N) oranlarını (SN) kullanması deney tasarımında bir ilk olarak kullanılmaya başlanmıştır. Pek çok çalışmada iyi sonuçlar vermesine rağmen, zayıf olduğu yönler de batı dünyasındaki istatistikçiler tarafından eleştirilmiştir. Yöntemde yer alan ortogonal dizilerin, ürün tasarımında etkili ve yeterli yöntemler olup olmadığı hakkında önemli tartışmalar yapılmıştır. Taguchi'nin geliştirdiği yöntemler Japonya'da "Kalite Mühendisliği", Batıda ise "Robust Tasarım" adıyla anılmaktadır [35].

Taguchi'nin kalite felsefesini yedi noktada özetlenebilir [36].

1. Ürün kalitesinin önemli bir boyutu, o ürünün kalitesizliğinin toplumda yol açabileceği toplam kayıp olarak ifade edilebilir.
2. Rekabetçi bir ekonomide işletmenin varlığını sürdürebilmesi için kaliteyi sürekli olarak geliştirmesi ve maliyetleri düşürmesi gereklidir.
3. Sürekli kalite geliştirme programları, ürünün performans karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının kayda değer miktarda azaltılmasını içermelidir.
4. Ürün performansındaki değişim sonucunda ortaya çıkan ve müşterilerin katlandığı kayıp, yaklaşık olarak, performans karakteristiğinin hedef değerden sapmasının karesi ile doğru orantılıdır.
5. Ürünün nihai kalite ve maliyeti, önemli oranda ürünün ve imalat sürecinin mühendislik tasarımları tarafından belirlenir.
6. Ürün veya sürecin performans varyansı, ürün ve süreç parametrelerinin performans karakteristikleri üzerindeki eğrisel etkileri giderilerek azaltılabilir.
7. İstatistiksel olarak planlanmış deneyler performans varyansını azaltan ürün veya süreç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Ürün kalitesinin üretimden önce, tasarım aşamasındayken başladığını öne süren Taguchi, önemli iki noktayı işaret eder. Bunlardan birincisi çevrim-içi (on-line) kalite kontrol, ikincisi de çevrim-dışı (off-line) kalite kontrol sistemidir. Bu bakış açısıyla, tasarım sürecinde ürünlerdeki sapmaların azaltılması amaçlanmaktadır [8].

Çevrim-içi (on-line) kalite kontrol: Ürünün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin hizmet sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar. İstatistiksel süreç denetimi ve çeşitli muayeneler çevrim-içi kalite denetimi faaliyetlerindedir.

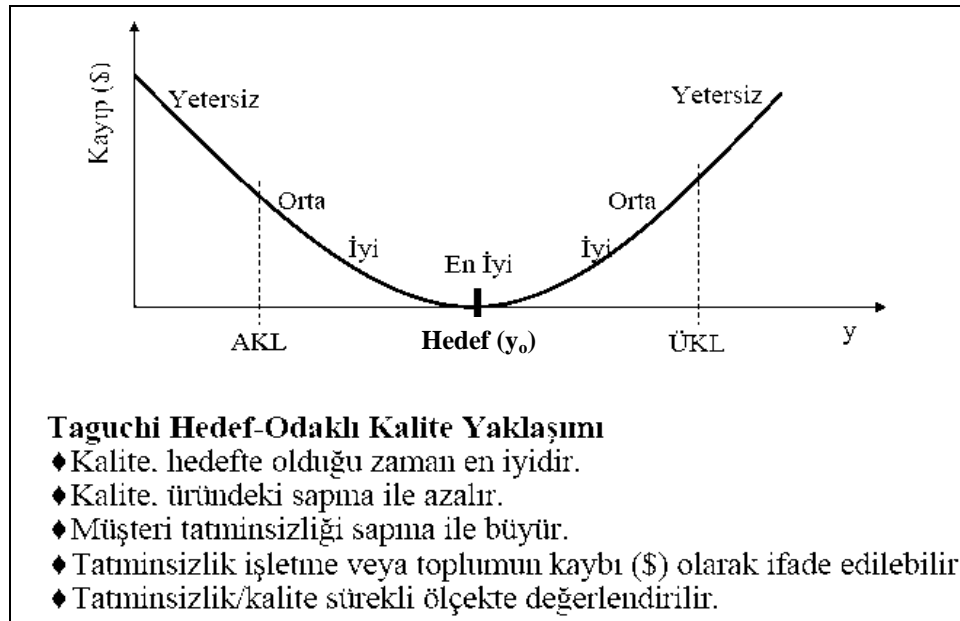
Çevrim-dışı (off-line) kalite kontrol: Pazar araştırması ile ürün ve üretim sürecinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahaleler yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarınıdır.

Off-line kalite kontrolün de iki aşaması vardır: 1) Ürün Tasarım Aşaması, 2) Proses Tasarım Aşaması. Ürün tasarım aşamasında yeni bir ürün geliştirilir veya olan bir ürün modifiye edilir. Amaç müşteri gereksinimlerini karşılayacak ve üretilebilir olan bir ürün tasarlamaktır. Proses tasarım aşaması esnasında, üretim ve proses mühendisleri proses tasarım aşamasında üretimi geliştirirler. Taguchi, off-line kalite kontrolün iki aşamasının her biri içinde kaliteyi sağlamak için üç adım yaklaşımını geliştirmiştir. Taguchi bu adımları sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımı olarak adlandırır [35].

Yau ve Diğ.'nin tanımlamasına göre Taguchi Yöntemi'nin üç önemli parçası vardır. Bunlar; Kalite Kayıp Fonksiyonu, Ortogonal Diziler ve Sinyal/Gürültü Oranları'dır [37].

3.1.2.1. Kalite kayıp fonksiyonu

Kalite kayıpları hem sosyal açıdan hem de finansal açıdan bir şirket için çok önemlidir. Müşteri kayıplarının da ortaya çıkmasıyla firmalar ürünlerindeki sözkonusu bu kalitesizlikten dolayı zarar edebilmektedirler. Kayıp, bir ürünün talebini etkileyen bir faktördür ve kayıp ne kadar az olursa ürüne karşı istek o kadar çok olacaktır.



Şekil 3.1: Taguchi'nin kalite kayıp fonksiyonu [35]

Taguchi, ortaya çıkan bu kayıpların minimize edilmesi için “kalite kayıp fonksiyonu”nu kullanmaktadır. Bu fonksiyonda $L(y)$; ortaya çıkan kayıp veya maliyeti, k ; orantısal sabit katsayısı, y ; gerçekleşen ölçüm değerini, y_0 ; spesifik hedef değeri belirtir. Taguchi'nin kayıp fonksiyonu denklem (3.1) ile hesaplanır: [38]

$$L(y) = k \cdot (y - y_0)^2 \quad (3.1)$$

Kayıp fonksiyonu, Tablo 3.1’de ifade edildiği şekliyle; en düşük-en iyi, en yüksek-en iyi ve nominal en-iyi olmak üzere üç tipte olabilir [4].

Tablo 3.1: Ürünün karakteristik tipine göre kayıp fonksiyonları

Karakteristik Tipi	Kayıp
Daha yüksek – daha iyi	$k \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^r \left(\frac{1}{y_i^2} \right)$
Nominal – en iyi	$k \cdot \left(\frac{\bar{y}}{s} \right)^2$
Daha düşük – daha iyi	$k \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^r y_i^2$

3.1.2.2. Ortogonal diziler

R. Fisher tarafından ortaya çıkarılan ortogonal dizinin ilk başlarda deneylerdeki hataları kontrol etmek için kullanılmıştır. Ancak, Taguchi ortogonal dizini sadece ortalama sonuçlar üzerine faktörlerin etkisini ölçmekte kalmayıp aynı zamanda ortalama sonuçlardan değişim irdelemiştir. Taguchi deneysel faktörleri haritalamak için doğrusal grafik yöntemini geliştirilmiştir. Ortogonalite istatistikte bağımsızlık anlamında kullanılır. Buradan da tipik ortogonal dizinlerde (Tablo 3.2), her sütunda her seviyenin ayrı sayıda incelendiği anlaşılır [39].

Tablo 3.2: $L_8 (2^7)$ ortogonal dizini

Deneme	A	B	C	D	E	F	G	Sonuç
1	1	1	1	1	1	1	1	Y1
2	1	1	1	2	2	2	2	Y2
3	1	2	2	1	1	2	2	Y3
4	1	2	2	2	2	1	1	Y4
5	2	1	2	1	2	1	2	Y5
6	2	1	2	2	1	2	1	Y6
7	2	2	1	1	2	2	1	Y7
8	2	2	1	2	1	1	2	Y8

Her kolon $L_X(Y)^Z$ şeklinde gösterilir. Ortogonal dizin Latin kareden türetildiği için L Latin kareyi gösterir. X, deneylerin sayısını veya deneyde kullanılan faktörlerin kombinasyonlarını içerir. Y, her kolondaki seviyelerin sayısını gösterir. Z ise ortogonal dizindeki kolonların sayısını gösterir. Ortogonal dizinler en az iki seviyeden en çok beş seviyeye kadar değişebilmektedir. Amaca göre iki veya üç seviyeyi içine alan dizinler yeterlidir. Ancak, bazen belirlenen stratejiye göre iki ve üç seviyeyi beraber ele alan dizinler de kullanılabilir [40].

3.1.2.3. Sinyal/Gürültü oranı (SN)

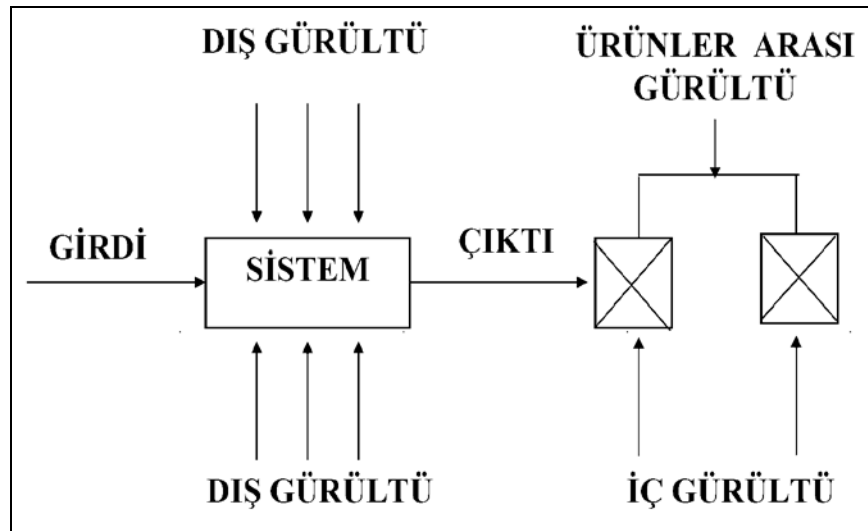
Ortogonal dizinlerde ölçülen karakteristiklerin sürekli olması durumunda, performans istatistiği adı verilen bir ölçütü hesaplamak için tasarım parametreleri matrisinin her bir deneyinden elde edilen çoklu gözlemler kullanılır. Hesaplanan performans istatistik değerleri tasarım parametrelerinin değerlerine ilişkin daha iyi tahminlerin elde edilmesinde kullanılır. Taguchi performans istatistiği ölçütü olarak Sinyal / Gürültü oranının (Signal / Noise – SN) kullanmasının gerekliliğini de ileri sürmüştür. Sinyal, ürünün (ya da unsurlarının veya alt montajın) bize vermeye çalıştığı şeydir. Gürültü ise sinyali olumsuz olarak etkileyen müdahalelerdir. Bunlar bazen ürünün bünyesinde yer alan unsurlardan ya da dışarıdan gelen müdahalelerdir [36].

Taguchi Yöntemine göre, Şekil 3.2’de belirtildiği gibi gürültü faktörleri üç kategoride incelenmektedir: 1) Dış Gürültü (Outer Noise), 2) İç Gürültü (Inner Noise), 3) Ürünlerarası Gürültü (Between Product Noise) [35]

Dış Gürültü Faktörleri; ısı, nem oranı, voltaj, basınç, toz veya insanlar gibi çevresel faktörlerdir.

İç Gürültü Faktörleri: Yıpranma, bozulma, rengin solması, küçülme, kuruma vb. gibi fonksiyon ve zamana bağlı faktörlerdir.

Ürünlerarası Gürültü Faktörleri: Bu gürültü, bölümden bölüme değişimlerde kendilerini gösterirler. Birimlerarası gürültü (unit-to-unit noise) olarak da bilinirler.



Şekil 3.2: Gürültü faktörlerinin etkisi [35]

Taguchi, Sistem fonksiyonuna bazı basit ayarlamalar yaptıktan sonra kalite kaybını öngörmek için kullanılan SN oranı, robust tasarımda enbüyüklenecek amaç fonksiyonu olarak kullanılır. SN oranı, test sonuçlarının ortalama ve varyanslarını ele alır. Taguchi, uygulamadaki problemleri kalite kayıp fonksiyonunda belirtilen hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için Tablo 3.3’te gösterilen farklı bir SN tanımlamıştır. [8]

Tablo 3.3: SN oranları

Karakteristik Tipi	SN
Daha yüksek – daha iyi	$-10.\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r\frac{1}{y_i^2}\right)$ veya $-10.\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r y_i^{-2}\right)$
Nominal – en iyi	$-10.\log\left(\frac{-2}{\frac{y}{s^2}}\right)$ veya $10.\log\left(\frac{s^2}{-2}\right)$
Daha düşük – daha iyi	$-10.\log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^r y_i^2\right)$

Formüllere belirtilen ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

y_i = Performans karakteristiğinin i. gözlem değeri

n = Bir denemdeki test sayısı

\bar{y} = Gözlem değerlerinin ortalaması

s^2 = Gözlem değerlerinin varyansı.

3.1.3. Shainin deney tasarımı

Deney tasarımına üçüncü yaklaşım olarak, Amerikalı kalite yönetim danışmanı olan Dorian Shainin'in geliştirdiği, basit, anlaşılması ve uygulanması nispeten kolay ancak güçlü istatistik tekniklerin birleşiminden oluşan Shainin Yöntemi yer almaktadır. Stratejisi, süreç çıktısı üzerindeki bir probleme odaklanarak varyasyona neden olan bir, iki veya üç baskın sebebin tespit edilmesi üzerine kuruludur. Genellikle üretimde yaygın olarak kullanılan, kendine has araç ve stratejileri olan bir problem çözme sistemi olarak adlandırılan bu sisteme, aldığı mühendislik eğitimi desteğiyle D.Shainin "İstatistiksel Mühendislik" adını vermiştir [41]. Bu yöntem dördüncü ve beşinci bölümlerde daha ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.

Shainin Yöntemi, uyguladığı tekniklerle, dünya çapında önemli kabul edilen pek çok kalite geliştirme ödülünü almıştır. Motorola, 1980'li yıllarda Shainin ve 6 Sigma

Yöntemleri sonucunda 1988 yılında ABD ulusal kalite ödülü olan “Malcolm Baldrige” ödülünü ilk senesinde alan ilk firma olmuştur [8]. Böylece, ticari bir marka olarak faaliyet gösteren Shainin Şirketi, aldığı bu ödülün şartı gereği yöntemlerini açıklamıştır. Bhote’un anlatımına göre, Motorola çalışmasında söylenen şu deyim Shainin Yönteminin önemini açık bir şekilde ifade etmektedir: “Deming olmasaydı bir kalite felsefesi olmazdı, Juran olmasaydı kalitenin nasıl ölçüleceği bilinemezdi, Shainin olmasaydı kalite problemleri çözülemezdi.” [42]

Keki Bhote’un 1989’da yayınlanan makalesinde detaylı olarak anlattığı Motorola çalışmasında Shainin Yönteminden de etkin bir şekilde faydalanıldığından bahsetmektedir [43]. Bhote, Motorola çalışmasından şu şekilde bahsetmektedir [28]:

“... 1970’lerde Japonların Amerika’nın hemen hemen her pazarına girmesiyle birlikte Amerikan şirketlerinin pazar payları düşmeye başlaması sonucunda Motorola da Japon firmalarıyla yoğun rekabet içerisine girmişti. Bu ortamda Motorola Yönetim Kurulu Başkanı Bob Galvin, pazardaki bu kayıplar için kalite geliştirilmesine öncelik verilmesine karar verdi.

1981’de Galvin, beş yıl içerisinde kalitenin 10:1 oranında (10 katı) iyileştirilmesini hedef olarak belirledi. O ana kadar Motorola’da kalite iyileştirmeleri dönemine göre saygın bir oran olan yılda % 10 civarında gerçekleşmişti. Bob Galvin’in bu çıkışıyla kalite beş yıl içerisinde % 50 değil, % 100 değil, tam % 1.000 iyileştirilmeliydi. Bu durumu kuşkuyla karşılayan pek çok kişi, bu hedefin imkansız olduğunu söylemekteydi. Ancak, 1986 yılında Motorola’nın büyük bir kısmında bu hedefe ulaşıldı.

Shainin Yönteminin en önemli uygulayıcılarından birisi olan Keki Bhote ile birlikte Motorola Otomotiv Sektörü Grup Müdürü 10:1’lik bu amaca üç yıl içerisinde ulaştılar. Japonlar ile kendi durumlarını karşılaştırdıktan sonra, Japonların kalite bakımından biraz daha ilerde olduklarını gördüler. Bunun üzerine Bob Galvin, 1987’de tekrar 10:1’lik bir hedef belirledi, ancak bu sefer süre sadece iki yıldır (1989’a kadar). 1989’da bu çitayı yine iki yılda 10:1 oranında kalite iyileştirmesi olarak yükselttiler. 1991’de, 1981’de başlayan tüm bu çalışmaların sonucunda kaliteyi belki 1000 katına çıkaramamışlardı ama inanılmaz bir şekilde 800:1 oranına (800 katı) yükseltmişlerdi.

Motorola firması, 10 yıl içerisinde düşük kaliteden kaynaklanan maliyeti azaltarak yılda 9 milyar dolardan fazla tasarruf etmiştir. Böylece, müşterilerine daha ucuz ürün sunma yolu açılmıştır. Ayrıca, Motorola çalışanları buldukları sektör içerisinde en çok kazanan işçiler durumuna gelirken, Motorola hissedarları 24 kat daha fazla kazanmaya başlamışlardır...”

3.2. Shainin Yöntemine Göre Klasik ve Taguchi Yöntemleri

Deneysel tasarımda kullanılan üç yöntem (Klasik, Taguchi ve Shainin), geleneksel problem çözme yöntemleri olan mühendislik kararları, bilgisayar simülasyonu, İPK gibi tekniklerden daha üstündür. Ancak, bu üç yaklaşım içinde de Klasik ve Taguchi Yöntemlerinin Shainin'e göre bazı eksiklikleri ve zayıflıkları mevcuttur [28]. Tablo3.4'te bu eksiklikler belirtilmiştir.

Tablo 3.4: Shainin yöntemine göre Klasik ve Taguchi yöntemlerinin zayıf noktaları [28]

	KLASİK	TAGUCHI	SHAININ
Teknikler	<ul style="list-style-type: none"> • Kesirli faktöriyeler • Yanıt Yüzey Metodu 	<ul style="list-style-type: none"> • Ortogonal Diziler 	<ul style="list-style-type: none"> • Soruna odaklanabilecek 10 farklı yaklaşım
İpucu Yaratma	<ul style="list-style-type: none"> • Tahmini 	<ul style="list-style-type: none"> • Tahmini 	<ul style="list-style-type: none"> • Bölümlerle konuşma
Etkililik	<ul style="list-style-type: none"> • Makul seviye iyileştirme (2:1'den 10:1 oranına kadar) • Bozulma olabilir 	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük seviye iyileştirme (2:1'den 5:1 oranına kadar) • Bozulma daha çok olabilir 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek seviye iyileştirme (5:1'den 100:1 oranına kadar) • Bozulma yok
Maliyet	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek: 30 - 60 arası deney gerektirmektedir 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek: 50 - 100 arası deney gerektirmektedir 	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük: 2 - 30 arası deney gerektirmektedir
Karmaşıklık	<ul style="list-style-type: none"> • Kavramları zor olması • Tam ANOVA gerektirir 	<ul style="list-style-type: none"> • Kavramları zor olması • İç ve dış dizi çarpımları • ANOVA, SN oranı 	<ul style="list-style-type: none"> • Kolay, basit, mantıklı kavramlar • Deneylerin operatör ve mühendislerce yapılabilmesi
Süre a) Öğrenme b) Uygulama	<p>a) Uzun; 3 gün ile 2 hafta arası</p> <p>b) Uzun; yanlış başlangıçlar deneylerin tekrar edilmesini gerektirir.</p>	<p>a) Uzun; bir ile iki hafta arası</p> <p>b) Uzun; zayıf ipuçlarıyla çalışıldığı için pek çok deneme gerektirir.</p>	<p>a) Kısa; bir gün</p> <p>b) Kısa; deneyler bir gün ile 3 hafta içerisinde biter.</p>
İstatistiksel Geçerlilik	<ul style="list-style-type: none"> • Zayıf • Etkileşimler ana faktörlerle karıştırılabilmekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Çok zayıf. • Rassallık yok. • Etkileşimler ana faktörlerle karıştırılabilmekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Güçlü • Ana ve etkileşim etkileri net olarak ayrıştırılabilmekte.
Uygulanabilirlik	<ul style="list-style-type: none"> • Donanım gerektirir. • Sadece üretimde kullanılır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bilgisayar simülasyonu ile çalışılabilir. Ancak yanlış sonuçlar çıkarma tehlikesi vardır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Donanım gerektirir. • Ürün/Süreç tasarımından, üretime, sahaya, tedarikçilere ve yönetim süreçlerine kadar uzanan evrensel bir uygulaması vardır.
Uygulama Kolaylığı	<ul style="list-style-type: none"> • Zor • Etkileşimlerin güçlü olduğu durumlarda yanlış sonuç verebilir 	<ul style="list-style-type: none"> • Zor • Bölünmelerin yüksek dereceden olması nedeniyle muhtemelen yanlış sonuç ortaya çıkar 	<ul style="list-style-type: none"> • Kolay • İpucu yaratma teknikleri kullanılarak deney tekrarları yapmaya gerek yoktur
Üretimin Durdurulması	<ul style="list-style-type: none"> • Deney boyunca üretimde durmalar oluşur 	<ul style="list-style-type: none"> • Deney boyunca üretimde durmalar oluşur 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemin %70'ini çözebilen İpucu yaratma deneylerinde üretimde durma olmaz

Klasik ve Taguchi Yöntemlerinde düşük başarı oranları yakalanırken Shainin'de bu oran yüksek çıkmaktadır. Klasik Yaklaşımda, eğer güçlü etkileşimler yoksa 2:1 oranından 10:1 oranı arasında mütevazı iyileştirmeler yapabilmektedir. Ortalama iyileştirme 4:1 oranı civarındadır. Ancak, "Positrol" veya "Süreç Onaylama" gibi doğrulama deneyleri olmadığı için deneylerin en başına dönülmesi muhtemeldir. Taguchi Yönteminde ise güçlü etkileşimler olmadığı sürece, 1,5:1 ile 5:1 oranları arasında değişen (ortalama 2:1) iyileştirmeler gerçekleştirilebilir. Bu sonuçlara bakıldığında Taguchi, Klasik yaklaşımdan daha kötü değerler ortaya koymaktadır. Bunun sebebi de Taguchi Yönteminin tasarlanmış bir deneyi parçalara ayırmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, doğrulama deneyleri olmadığı için tekrar en başa dönme ihtimali de mevcuttur. Ancak, Shainin Yönteminde 10:1 büyüklüğünde bir iyileştirme elde etmek sıradan bir durumdur. Ortalama olarak 20:1 iyileştirme gerçekleşmektedir. Bunun yanında 50:1, 100:1 ve hatta 1000:1 iyileştirmeler de yapılmıştır. "İ-M Karşılaştırması" (B vs.C) gibi doğrulama deneyine ve "Positrol" ile "Süreç Onaylama" gibi koruma önlemlerine sahip olduğu için yapılan deneyde geri dönülmesi olasılığı ortadan kalkmaktadır. [28]

Maliyet açısından bakıldığında, Klasik ve Taguchi Yöntemlerinin maliyeti, Shainin Yöntemine kıyasla çok daha yüksek çıkmaktadır. Klasik Yaklaşım ön araştırma aracı olarak kesirli faktöriyelleri kullanmaktadır. Deney başarılı olmadığı takdirde tekrar edilir. Bu durumda ana ve etkileşim faktörlerinin oluşturacağı değişik kombinasyonlarla 30 ile 60 arasında denemeler yapılır. Dolayısıyla bu durum maliyetin artmasına neden olur. Bunun yanında, söz konusu deneylerin yapılması esnasında proses duracağı için ek bir maliyet de ortaya çıkacaktır.

Taguchi Yöntemi iki sebepten dolayı yüksek maliyetleri yükseltir. Birincisi, tekrarlanan deneylerin yüksek seviyede ayrıştırılması, ikincisi de tasarım matrisinin (inner array) ve gürültü matrisinin (outer array) birlikte ele alınmasıyla toplam deneme sayısının aniden artmasıdır. Ayrıca Klasik Yaklaşımda olduğu gibi her denemede üretimin durdurulması gerekmektedir. Shainin Yöntemi ise gerek örneklem, gerekse yapılan deneme sayısından dolayı daha ekonomiktir. Sebeplerin bulunmasında "Bölümlerle konuşma" tahmin değerlerinden daha doğru sonuç

vermesinden dolayı ve başlangıçta doğru parametrelerle başlanması nedeniyle çok nadir olarak deney tekrarları yapılır. En önemli avantajı ise, prosesi durdurmadan deneyleri yapabilesidir.

Klasik ve Taguchi Yöntemlerinde herkes tarafından kolaylıkla kavranılamayacak istatistiksel bir dil kullanılırken, Shainin'de basit ve mantıksal içeriklerle hareket edilir. Proses içerisinde yer alan operatörlerin bile anlayıp kullanabilecekleri bir yapıdadır. Klasik Yaklaşım bütün bir varyans analizi (ANOVA) gerektirir. Deneyde yer alan faktörler tahmin veya önseziler sonucunda oluşturulmuştur. Taguchi Yönteminde benzer şekilde tahmin edilerek elde edilen faktörler tasarım ve gürültü matrislerine yerleştirilerek işlem yapılır. Bununla birlikte, sinyal gürültü oranları (SN) oranları hesaplanmasında ve grafik analizlerinin yapılmasında Klasik Yaklaşımında olduğu gibi ANOVA'ya ihtiyaç duyulur.

Konuyu yeni öğrenecek kişiye, Klasik veya Taguchi Yöntemleri, üç gün ile iki hafta arasında değişebilen seminerlerle aktarılabilirken Shainin Yönteminin anlatılabilmesi için bir gün yeterlidir. Ayrıca, uygulamaya başlarken Klasik ve Taguchi'de yanlış başlangıçlar yapılabilirken, Shainin'de doğru ipuçları üzerinden hareket edilir. Klasik ve Taguchi Yöntemi için uygulanan eğitim seminerleri boyunca, eğitime katılanlar bir süreden sonra konsantrasyonlarını ve ilgilerini kaybetmektedirler. Uygulama aşamasına geçildiğinde ise (ki pek çok eğitimde uygulama yapılmıyor) deneylerin yürütülmesi uzunca bir zaman alır. Bunun sebebi de önceden de bahsedildiği gibi tahmin doğrultusunda oluşturulan faktörlerle ilerlenilmesidir. Sonuç olarak deneyler tekrar edilecektir. Shainin Yöntemini öğretmek için yapılan seminerler Shainin Şirketi tarafından düzenlenmektedir. Shainin Yöntemi içerisinde kullanılan araçlar ticari bir marka olarak tescillenmiştir [41]. Bu seminerlerde sadece bir gün yöntemlerin anlaşılması için yeterli olmaktadır. İkinci gün ise katılımcılar kendi problemleri üzerinde bir deney tasarlayarak uygulama yaparlar. Elde edilen ipuçları doğrultusunda kısa bir süre içerisinde sonuca ulaşırlar.

İstatistiksel açıdan bakıldığında, Klasik ve Taguchi Yöntemleri'nin temel bir yanığı vardır. Yapılan deneyler sonrasında, elde edilecek ana faktörler, ikili, üçlü

ve hatta daha yüksek dereceden etkileşimler arasında bir karmaşıklık veya bir veri kaybı yaşanabilmektedir. Klasik Yaklaşım, incelenecek bağımsız değişkenlerin olası tüm kombinasyonlarını değerlendirmeye alır. Ancak hepsi deney deseni içerisine alınamayacağı için bu kombinasyonların %3'ten %25'e kadar olanı hesaplanır. Böyle bir durumda mutlak bir hata yapılacaktır. Çünkü bu bölünmelerle ana faktörler etkileşim faktörlerinden net olarak ayrıştırılamayacaktır. Klasik Yaklaşım ekolünü takip edenler ortaya çıkan bu zayıflığı, kesirli deney tasarımının oluşturulmasında yapılan bölünmeye bağlamaktadırlar. Onlara göre, birinci adım sadece durumu izlemeye yarar ve bir tarama mekanizması işlevini görür [28]. Bu deneyin ardından yapılacak ikinci deneyle en azından ikili etkileşimlere veya daha yüksek derecen etkileşimler yakalanır. Ancak, belirtilen iki ifade de yanlıştır. Çünkü, ilk olarak, eğer bir deneyin temel tasarımı hatalı yapılmışsa bunun sonucunda çıkacak yanıtlar da hatalı olacaktır.

İkinci olarak, ikili etkileşim faktörlerini ana faktörlerden ayırmanın bir yolu yoktur. Taguchi Yönteminde uygulanan parçalara bölerek deney deseninin hazırlanması, Klasik Yaklaşımdan daha zordur. Örneğin; her biri iki seviyeli (yüksek ve düşük) olan 10 faktörü test etmeye çalışırsak, bu değişkenlerin tam faktöriyelli bir deneye tabi tutmak gerekecektir. Dolayısıyla bu da $2^{10} = 1.024$ kombinasyon veya deney gerektirir. Taguchi ortogonal dizisi bu örnek için 8'li veya 16'lı bir desen hazırlayabilir. Bu durumda hangi kombinasyonun seçilmesi gerektiği bir sorun olarak karşımıza çıkar. Taguchi yöntemini benimseyenler bu sorun üzerine “en önemlilerin seçilmesi” gerektiğini söylemektedir. Ancak, eğer en önemli faktörlerin ne olduğu bilinmezse sözkonusu kombinasyonlar nasıl belirlenebilir? Keki Bhote bu durumu Rus Ruleti'ne benzeterek şöyle demektedir: “Rus Ruleti'nde ölme şansınız altıda birdir, ama ortogonal dizileri kullanırsanız hemen hemen tüm denemelerde ölürsünüz.” Shainin Yönteminde ise, ipucu araştırması sonrasında, bölümlerin size hangi faktörlerin önemli olduğunu belirtmesiyle, tam faktöriyelli deney veya değişken araştırması yöntemleriyle en önemli faktörler, ikili veya daha yüksek etkileşim faktörleri net olarak ayıklanır. [28]

Klasik Yaklaşımın en önemli kullanımı üretimdeki problemleri çözme üzerinedir. Taguchi Yöntemi ise bilgisayar simülasyonu ile bir etüt çalışması olarak

kullanılmıştır. Ancak, bilgisayar simülasyonlarında bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan matematiksel denklemlere ihtiyaç vardır. Taguchi Yönteminde kullanılan bir çok dizayn bu bilgiyi göz ardı etmiştir. Shainin Yönteminin de Klasik Yaklaşımda olduğu gibi bazı donanımsal sınırlılıkları mevcuttur. Ama bu sınırlama veya gereklilik sadece tasarımın prototip aşamasında kendini gösterir. Bunların yanı sıra, Shainin Yöntemi yeni deney tasarımlarını değerlendirme bakımından diğer iki yönteme göre daha avantajlıdır. Çünkü, Shainin ile deneyde yer alacak önemli faktörler önemsizlerden net olarak ayrıştırılmaktadır. Ayrıca, deney tasarımının uygulanabilirliği bakımından Shainin Yöntemi ürünün, tedarikçinin, sahanın veya herhangi bir yönetsel uygulamanın üretim veya süreç aşamasında diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Klasik ve Taguchi Yöntemlerinin ikisinin de hazırlanması uzun zaman almaktadır. Örneklerin her iki seviyesine dair verilerin toplanabilmesi için üretimin durdurulması gerekir. Ayrıca, eğer sonuçlar zayıf veya yetersiz çıkmışsa yeni bir 8'li, 16'lı, 32'li veya 64'lü tasarımları düzenlenerek bir veya daha fazla deneyler yapılır. Sonuçların zayıf çıkmasının sebebi, önceden de bahsedildiği gibi, yanlış tahminlerle yola çıkılması ya da etkileşim etkilerinin ana faktörlerle karıştırılmasıdır.

Shainin Yöntemi tahmin ve önseziler üzerine hareket etmediği için (İpucu Yaratma tekniklerini kullandığı için) hızlı bir şekilde istenen sonuçlara ulaşabilmektedir. Yapılması gerekenden daha fazla deney yapmadan ve zamanı diğer yöntemlerle göre en az %70 tasarruflu kullandığı için kullanım kolaylığı bakımından daha başarılıdır. Değişken arama yöntemi ile bir veya iki deneme sonrasında doğru faktörlerin ne olduğu belirlenebilir. [28]

Shainin Yöntemini etkili bir problem çözme metodu olarak gören ve Taguchi Yönteminin de iyileştirmelerde etkili olduğunu söyleyen J. De Mast, kalitenin geliştirilmesi için bu iki yöntemin uyguladığı süreçler arasındaki farklılıkları Tablo 3.5'te belirtmektedir [44]:

Tablo 3.5: Taguchi ve Shainin Yöntemlerinin uyguladığı iyileştirme süreçleri arasındaki farklılıklar

	Taguchi	Shainin
Operasyonel	1. Çözülecek problemin oluşturulması 2. Deney hedefinin belirlenmesi: -Performans ölçütlerinin bulunması -Deney sonucunda oluşacak performans düzeylerinin belirlenmesi 3. Ölçüm yönteminin belirlenmesi	1. Projenin açıklanması 2. Etkili ölçüm sisteminin oluşturulması
Sebeup Araştırması	4. Performans karakteristiğini etkilediği düşünülen faktörlerin belirlenmesi	3. İpucu Yaratma
Deney İçin Son Hazırlık	5. Faktörlerin kontrol ve gürültü faktörleri olarak ayrıştırılması 6. Tüm faktörlerin değerlerinin ve seviyelerinin belirlenmesi 7. Etkileşim içerisinde olabileceği düşünülen kontrol faktörlerinin belirlenmesi	4. Şüpheli değişkenlerin listelenmesi
Teyit Etme	8. Doğrusal grafik çizilir 9. Ortogonal diziler seçilir 10. Belirlenen faktör ve/veya etkileşimler sütunlara atanır 11. Deney gerçekleştirilir 12. Veriler analiz edilir 13. Sonuçlar sunulur	5. İstatistiksel deney tasarımı
Sonuç	14. En fazla etkilenen kontrol faktörünün optimum düzeyleri seçilir ve beklenen sonuçlar tahmin edilir 15. Doğrulama deneyi yapılır 16. Başlangıçta belirlenen hedefe ulaşamamışsa 4. adıma dönülür	6. Kırmızı X bulunamamışsa 3. adıma dönülür 7. Etkileşimler optimize edilir 8. Gerçekçi tolerans değerleri bulunur 9. Doğrulama 10. İstatistiksel proses kontrolü (İPK) 11. Sonuçların gözlenmesi

K.Bhote, deney tasarım yönteminden en sık kullanılanları, sundukları doğruluk derecelerine göre Şekil 3.3'teki gibi sıralamaktadır [28].



Şekil 3.3: Deney tasarım yöntemlerinde doğruluk sıralaması

Bu yaklaşımlar arasında, tüm faktörleri hesaba kattığı için, Tam Faktöriyelli Deney kuşkusuz en doğru ve saf sonucu verecektir. Bu deney sonucunda ana etkiler, etkileşimler, hatta ikincil, üçüncül veya daha yüksek etkileşimler net olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sonuca rağmen deney tasarımcılarının Tam Faktöriyelli Deneyi tercih etmemelerinin nedeni, bu yöntemin pratik bir kullanımı olmamasından kaynaklanmaktadır.

Tam Faktöriyelli Deneylerin en büyük sıkıntısı çok fazla deney yapılması gerekliliğidir. Örneğin; 2 seviyeli 4 faktör olduğunda, $2^n = 2^4$ sonucunda 16 deney yapılması gereklidir. Fakat uygulamada genellikle bu kadar az faktör olmayacağı için, mesela, 2 seviyeli 15 faktör olduğunda $2^{15} = 32.768$ deney yapılması gereklidir.

Ortaya çıkan bu kalabalığın azaltılması için Kesirli Faktöriyeler (Klasik Deney Tasarımı) geliştirilmiştir. Bu yöntemde kombinasyon sonucunda ortaya çıkan miktarın yarısı deneye alınıp sonuç çıkarılmaya çalışılır. Latin Kare deneyinde ise genellikle iki seviyeli üç faktörün incelenmesi yapılmaktadır. Ama bu deneyde gerekli olan 68 deney yerine sadece 4 deney yapılmaktadır.

Bunların yanı sıra 10 veya daha çok faktörün sınanmasında L_8 (2 seviyeli 3 faktör), L_{16} (2 seviyeli 4 faktör) veya L_{27} (3 seviyeli 3 faktör) gibi isimlerle adlandırılan Taguchi Ortogonal Dizilerinin kullanılmasında da bazı faktörler veya etkileşimler atlanabilmektedir. Hangi faktörün deneye gireceği net olarak belirlenemezken, dolayısıyla deney sonuçlarının da hatalı çıkması muhtemeldir. Uygun L dizilerine atanan faktörlerin beyin fırtınası, vb yöntemlerle belirlenen önemli faktörler olduğunu savunan Taguchi Yönteminin ortaya koyduğu bu tutum çok da tutarlı değildir. Çünkü mevcut kombinasyon içerisinde hangi faktörün daha önemli olduğunun nasıl hesaplandığı şüphelidir. Kullandığı “eşad”lar ile önemli faktörün veya etkileşimin yakalanamaması muhtemeldir. Bu durumda Taguchi Yöntemiyle asıl önemli faktörün ıskalanması olasılığı çok daha yüksek olmaktadır.

Klasik deney tasarımı, Taguchi Yöntemine göre daha sağlıklı sonuçlar sunabilmektedir. Çünkü, yapılan deneye kombinasyon sonucunda oluşan gözlem sayısı Taguchi’ye göre çok daha fazladır. Klasik deney tasarımında sadece ana faktörler ve

bazı ikili etkileşimler gözlenerek asıl önemli faktörler yakalanmaya çalışılır. Ancak, yanlış değerlerle işe koyulmak hem zaman kaybına neden olmakta, hem de sonucun yanlış çıkmasına sebep olmaktadır.

Shainin Yöntemine göre Klasik ve Taguchi Yöntemlerinin eksiklikleri Tablo 3.4'te belirtilmiştir. Ancak, Thomas ve Anthony'nin çalışmasına göre de yukarıda belirtilen artı yönlerinin yanında kesişimlerin değerlendirilmesinde ve faktörlerin çok olduğu durumlarda oluşan maliyetin yüksekliği bakımından Shainin Yöntemi, Taguchi Yöntemi'ne göre daha zayıf kalmaktadır [45].

Shainin Yöntemi ülkemizde çok az kullanılan bir yöntem olmakla birlikte, parametrik olmayan verilerin analizinde pratik bir çözüm sunmaktadır.

4. SHAININ YÖNTEMİNDE GENEL KAVRAMLAR

Shainin deney tasarımı, Klasik veya Taguchi deney tasarımlarından, bu tasarımlarda kullanılan 10 farklı araç bakımından farklılaşmaktadır. Bu araçların her biri ortaya çıkan farklı durumlarda veya uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir. Bu 10 aracın ne zaman kullanılacağı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu sıra takip edildiği sürece, eldeki problem sistematik ve hızlı bir şekilde sonuçlanacaktır. Problemin belirlenmesi aşamasında, bu probleme etki eden 1.000 kadar da faktör olabilir. Bu kadar faktör arasından sadece bir, iki veya üç tanesi elenip kontrolü yapılarak önemli faktör olarak değerlendirmeye alınır.

4.1. Shainin Yönteminde Kullanılan Önemli Kavramlar

Shainin Yönteminde, kalitesizliğe oluşturan problem ile bu problemi oluşturan nedenler Yeşil, Kırmızı ve Pembe renkleriyle belirtilir. Bu parametrelerden Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X, Pareto Prensipleri ilkelerine göre sıralanırlar.

Yeşil Y: Müşteri için önemli olan özel bir kalite karakteristiği olarak [44] tanımlanırken, seçim ve ölçümleri tasarım ekibinin görüşleri ve kurumsal hedeflere bağlı olarak elde edilen yanıt değişkeni[46] olarak da söylenebilir. Yeşil Y, özet olarak, problemin kendisidir.

Kırmızı X: Varyasyonun oluşmasında en fazla öneme sahip nedendir. “Baskın Karakter” olarak da adlandırılmaktadır [41]. Varyasyonun oluşturan sebeplerin (Yeşil Y’nin) en az %50’sini kapsar.

Pembe X: Varyasyonda ikincil öneme sahip nedendir. Yeşil Y’nin %20-30’unu oluşturur.

Soluk Pembe X: Üçüncül öneme sahip sebeptir. Yeşil Y’nin %10 ile %15’lik kesimine neden olur.

Shainin deney tasarımı yöntemiyle, verilen bir Yeşil Y'ye dair nedenlerin (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) çözümlenmesinde varyasyon %75 ile %95 oranında azaltılabilmektedir. Örneğin; başlangıçta C_p değerimizin 1,0 olduğunu varsayalım. Eğer bu proseste % 75 oranında iyileştirme yapılırsa $C_p=4,0$ değerine ulaşacaktır. Bu da, bu firmanın dünya standardını ikiye katladığı anlamına gelecektir. Eğer prosesteki iyileşme %95 oranında olursa, C_p değeri 20'ye yükselecektir. Benzer şekilde, bu sefer bu firma kalite bakımından dünya standardının 10 katına erişmiş olacaktır. C_p 'nin 2,0 olmasını amaçlayan Klasik veya Taguchi Yöntemleriyle kıyaslandığında Shainin yönteminin daha avantajlı olduğu görülebilmektedir.

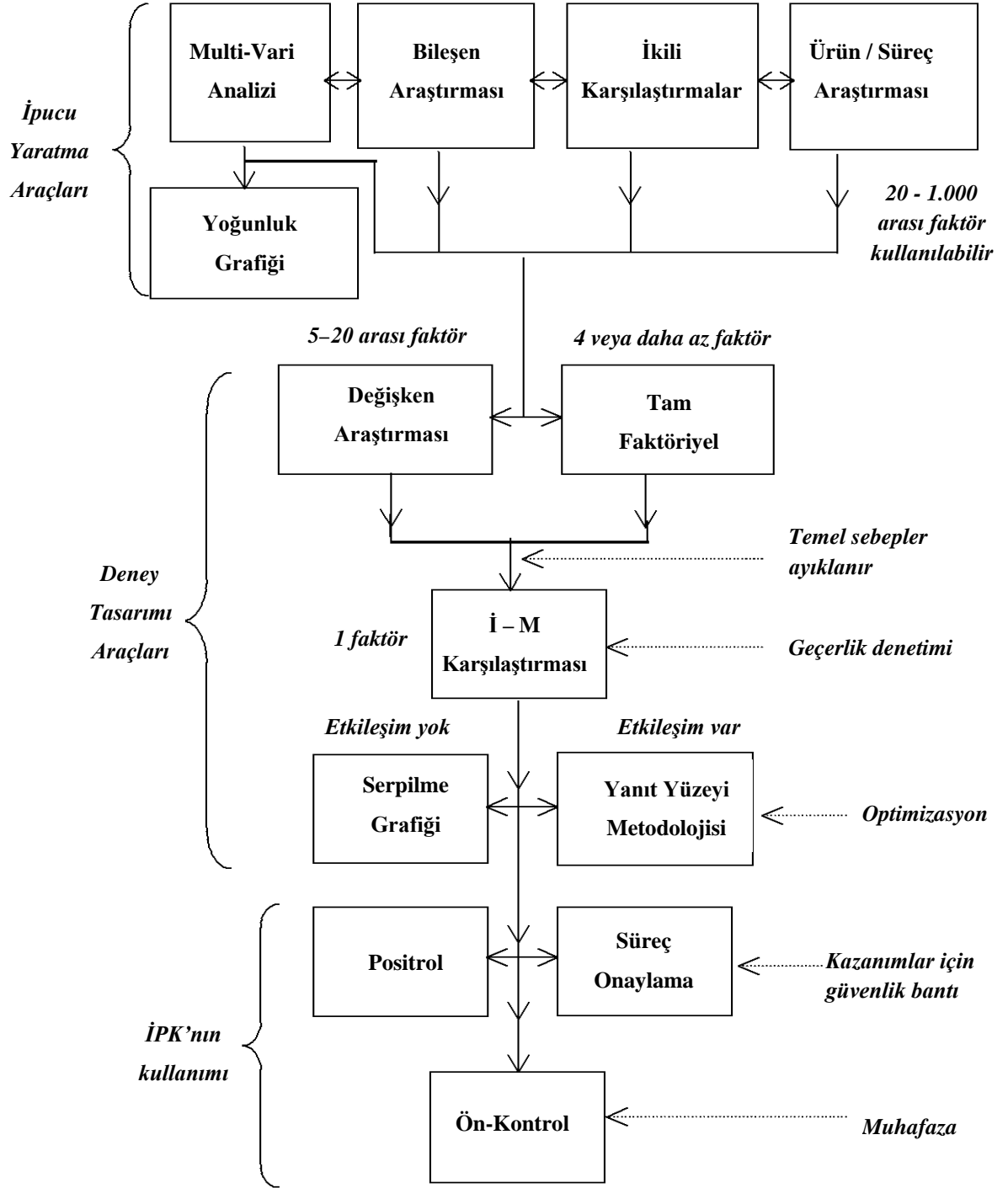
4.2. Shainin Yöntemi Algoritması

İleriki bölümlerde ayrıntıları verilecek olan bu algoritmanın genel hatlarını üç ana parçada özetlenebilir: “Değişkenlerin Belirlenmesi”, “Değişkenlerin Analizi” ve “Gerilemeye Karşı Güvenlik Bantı Oluşturulması” [28].

4.2.1. Değişkenlerin belirlenmesi

İlk aşamada 4 parçadan oluşan ipucu yaratma araçları (Multi-Vari analizi, Bileşen Araştırması, ikili karşılaştırmalar ve ürün/süreç karşılaştırması) yer alır. Bunlara destek olarak yardımcı bir araç da “yoğunluk grafiği”dir. İpucu yaratma araçları üç bakımdan avantaj sağlar:

1. Bölümlerle konuşarak mühendislerin veya diğer yöneticilerin önereceği tahmin, önsezi, teori, vb. bakış açılarına göre çok daha etkili faktörler elde edilir.
2. Deney yapılırken veya veriler toplanırken üretim durdurulmaz.
3. Karışık ve hatta kontrol edilemeyen 20 ile 1.000'e kadar olabilecek faktör sayısını, kontrol edilebilen 1-20 arasına düşürebilir.



Şekil 4.1: Varyasyon düşürücü algoritma [28]

4.2.2. Değişkenlerin analizi

Varyasyonun düşürülmesinde, Shainin yönteminin ikinci aşamasında formal deney tasarımı olarak adlandırılan araçlar kullanılır. Bunun sonucunda da en önemli faktörün (Kırmızı X) bulunması hedeflenir. Elde edilen ipuçları değerlendirilerek ana sebebi bulmak için ya mühendislerin kararlarına dönülür ya da deney tasarımı düzenlenir.

Eğer 5 ile 20 arasında önemli sayılabilecek değişken belirlenmişse, uygulanabilecek en uygun teknik “Değişken Araştırması” olmalıdır. Eldeki değişken sayısı 2 ile 4 arasında ise “Tam Faktöriyelli Deney” yapmak tercih edilmelidir. En önemli değişken olarak sadece bir tane faktör belirlenmişse (yani ana sebep biliniyorsa), yapılacak düzeltmenin doğruluğunu, etkililiğini ve sürekliliğini ölçmek için “İ-M Karşılaştırması” uygulanmalıdır.

Sonraki adımda ise belirlenen en önemli parametrelerin optimum düzeyleri ve gerçekçi tolerans değerleri belirlenir. Eğer herhangi bir etkileşim yoksa, “Serpilme Grafiği Yöntemi” kullanılır. Değişkenler arasında bir etkileşim varsa, “Yüzey Yanıt Metodolojisi” kullanılır. (Şekil 4.1)

4.2.3. Gerilemeye karşı güvenlik bantı oluşturulması

Üretim aşamasındayken, deney tasarımının tamamlanması ile İPK'nın başlangıcı arasında atılması gereken iki önemli adım daha vardır. Ancak şirketlerin yaklaşık %99'u bu disiplini bilmemektedir. Bilenlerin ise sadece %10'dan daha azı bu teknikleri kullanmaktadır. Bunun sebebi ise, bu şirketlerin daha çok kazançları “dondurarak” önceki hatalı seviyelere dönmemeyi istemesinden kaynaklanmaktadır.

Shainin yönteminde elde edilen optimum sonuçları korumak için aşağıdaki işlemler uygulanır:

1. Positrol, deney tasarımı ile optimum değerleri elde edilmiş olan önemli proses parametrelerini kendi tolerans sınırları içerisinde korur.

2. Süreç Onaylama, önemi az olan kalite sorunlarının nereden (operatör veya kontrol edilebilir problemler, metrik ölçümler ve çevresel faktörler, vb. gibi) kaynaklandığını belirler ve ürünü/süreci deney tasarımı öncesi ve sonrasında bu tür hatalardan korumaya çalışır.
3. İPK: Ön-Kontrol, devam eden üretimi izleyen veya bakımını yapmaya çalışan eski kontrol çizelgelerine göre çok daha iyi, hızlı ve daha az maliyetli olarak hazırlanan çizelgelerdir.

Tablo 4.1’de deney tasarımında veya problem çözme uygulamalarında kullanılan 10 adım gösterilmektedir.

Tablo 4.1: Problem çözme için kullanılacak 10 adım.

-
1. Problemi Tanımlanması (Yeşil Y).
 2. Yeşil Y’nin Sayısallaştırılıp Ölçülmesi
 - Serpilme Grafiği
 - Nitel değişkenleri Likert Ölçeği
 3. Problemin Geçmişi (Problemin yaşı, hata oranı, maliyeti)
 4. İpuçlarının Yaratılması
 - Multi-Vari Analizi (Yoğunluk Grafiği dahil)
 - Bileşenler Analizi
 - İkili Karşılaştırmalar
 - Ürün/Süreç Karşılaştırması
 5. Formal Deney Tasarımı
 - Değişkenlerin Aranması
 - Tam Faktöriyelli Deney
 - İ –M Karşılaştırması (B vs. C)
 6. İyileştirmede İstikrar Sağlamak İçin Probleme Tekrar Dönülmesi
 - İ –M Karşılaştırması (B vs. C)
 7. Gerçekçi Spesifikasyon ve Tolerans Değerlerinin Oluşturulması (Optimize edilmesi)
 - Serpilme Grafikleri
 - Yüzey Yanıt Metodolojisi (Response Surface Methodology - RSM)
 8. Süreç İyileştirmelerinin Dondurulması
 - Positrol
 9. Sürecin Onaylaması: Kalitesizliğe Sebep Olan Sorunların Belirtilmesi
 - Süreç Onaylama
 10. İPK İle Elde Edilen Kazanımların Tutulması
 - Ön-Kontrol
-

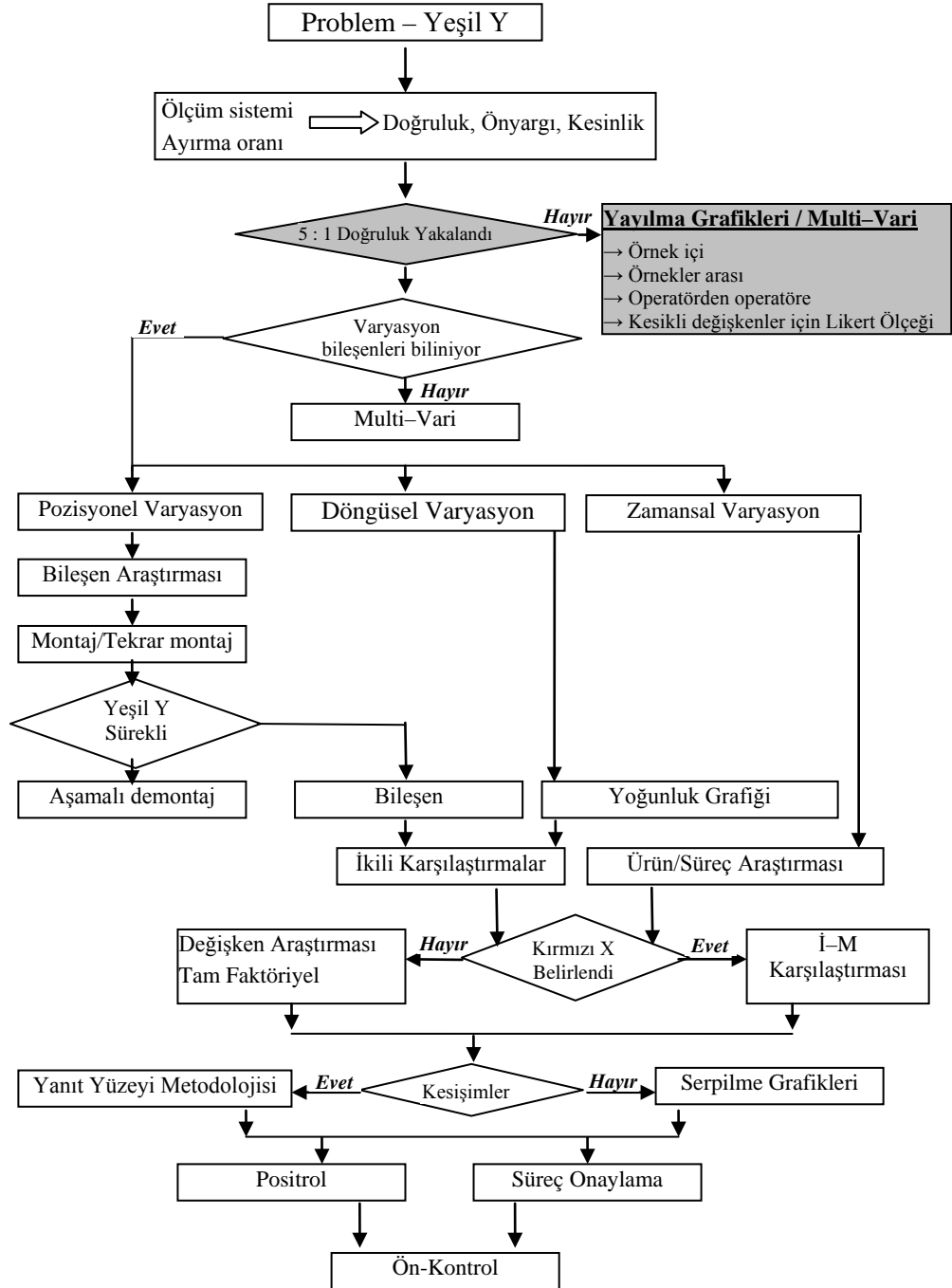
4.3. Problemin (Yeşil Y) Tanımlanması ve Sayısallaştırılması

Shainin Yönteminde kullanılan araçların birbiriyle bağlantılı olması sebebiyle, problemlerin sistematik olarak çözülebilmesi ve Kırmızı X'in araştırılabilmesi için daha detaylı bir yol haritasına ihtiyaç vardır. Yeşil Y'yi başlangıç noktası olarak belirleyen algoritmada gerekli araçlar kullanılarak Kırmızı X diğer faktörlerden ayrıştırılır. Daha sonra bu faktör izlenerek ön kontrolden geçer. Şekil 4.2'de Yeşil Y'nin doğru bir şekilde tanımlanması için gerekli işlemler koyu olarak belirtilmiştir.

Deney tasarımına başlamadan önce problemi (Yeşil Y) tarif etmek, tanımlamak ve sayısal olarak belirtebilmek çok önemlidir. Bunun için bir kontrol listesi gereklidir. Kontrol listesinde şu sorular olmalıdır:

1. Problem, en fazla bir cümle veya bir paragraf şeklinde açıkça belirtilebiliyor mu?
2. Yeşil Y aşağıdaki maddelere göre sayısallaştırıldı mı?
 - Hata seviyeleri (Yüzde olarak, ppm olarak veya C_p , C_{pk} olarak)
 - Maliyet, güvenlik veya çevresel etki
 - Hafta, ay veya yıl olarak hatanın devam ettiği süre
3. Eğer Yeşil Y bir nitel veri yapısında (devam edebilir/dur, çizik var/çizik yok gibi), bu değişkenler bir ölçüm skalası üzerinde gösterilebiliyor mu? Örneğin, Likert Ölçeği'nde (1-En kötü ve 10-En iyi olmak üzere) bu değişkenler belirtilebiliyor mu?
4. Birden fazla mı Yeşil Y var? (Çok nadir olarak bu sayı 7'ye kadar çıkabilmektedir.)
5. Yeşil Y erkenden veya kolaylıkla elde edilebiliyor mu? Eğer elde edilebiliyorsa, bunun genel Yeşil Y ile ilişkisi ne ölçüdedir?
6. Yeşil Y prosesin ilk aşamalarında mı, yoksa problem biriktikten sonra mı elde edildi? Proses akış şeması çizildi mi?
7. Eğer problem hücrenel değil de çevresel bir faktörden kaynaklanıyorsa;
 - Yeşil Y'nin kısa sürede bulunmasını hızlandırmak için Çoklu Çevresel Stres Testi (MEOST–Multiple Environment Over Stress Test) geliştirildi mi? Ayrıca, uygulanan bu test uzun vadede de uygulanabilir mi?
 - Dış müşteri(ler) belirlenip temasa geçildi mi?
 - Müşteri uygulaması incelendi mi?

- Yeşil Y müşteriyile olan temasın hangi halkasında ortaya çıkmaktadır? Nakliye, yükleme, dağıtıcı, bayii/perakendeci, servis veya tüketicide mi bu durumla karşılaşmaktadır?
- Müşteri spesifikasyon ve tolerans değerleri ne kadar geçerli ve gerçekçidir?
- İç müşteriye dair spesifikasyon ve toleranslar müşterinin ihtiyaçları doğrultusunda mı elde edildi?



Şekil 4.2: Kırmızı X'i bulmak için yol haritası [28]

8. Eğer problem güvenilirlik odaklıysa (sıfır zaman ve sıfır stresle tarif edilebilen kalite odaklılıktan farklı olarak, zaman artı stres olarak belirlenmişse);
- Başarısızlığın ne zaman ortaya çıktığı (bir ay içerisinde mi, 3 yıllık süre içinde mi, yoksa garanti süresi içinde mi) biliniyor mu?
 - Problem aralıklarla mı meydana gelmektedir? Eğer öyleyse, stres testleri bu aralıklarla çıkan hataları sürekli hale getirebilecek şekilde tasarlandı mı?
 - Nakliye veya stres testlerinin yapılması sırasında benzer güvenilirlik sorunlarıyla karşılaşıldı mı?
 - Yeşil Y'nin başarısızlık için stres seviyesi veya stres zamanı olarak belirlendiğinde, söz konusu problem, stres testleriyle hızlandırılabilir mi?

4.3.1. Ölçüm doğruluğu

Kırmızı X Paradigması, üzerinde durulan problemlerin çözüm yolunu değiştirir. Eğer, varyasyonun baskın bir nedeni varsa, onu bulup kontrol altında tutmak iyileştirme anlayışı içerisinde tek yol olarak düşünülebilir. İstatistiksel kurallar içerisinde yer alan varyans analizi, değişimin bağımsız kaynaklarının, karelerin toplamının karekökü olarak birleştirdiğini belirtir. Eğer bir kaynak 5 birimlik bir alana etki ederken, bir başka bağımsız kaynak da 1 birimlik bir alana etki ediyorsa, bu etkilerin toplamı 6 (5+1 toplamı) değil, 5,1 olur (26'nın karekökü). Bu durumda, 5 birimlik neden Kırmızı X'i oluşturur ve bu da 1 birime etki eden nedenden 25 kat daha güçlüdür [47].

Faktörleri belirlemeden önce yapılması gereken bir işlem de ölçümlerin doğru alındığından emin olmaktır. Bu nedenle Yeşil Y bulunduktan sonra ilk sorulması gereken sorular şunlardır: Ölçek ne kadar iyidir? Bu ölçek içindeki varyasyon ile ürün varyasyonu karşılaştırıldığında karşımıza ne çıkmaktadır? Bu soruların yanıtlanması için toplam varyasyon üzerinden hareket edilmelidir. Toplam varyasyonun (veya toplam tolerans – T_T) iki bileşeni vardır: Ürün toleransı (T_U) ve ölçek toleransı (T_O). Bu toleranslar arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$T_T = \sqrt{T_U^2 + T_O^2} \quad (4.1)$$

Örneğin, ürün toleransının ($T_{\bar{u}}$) 5 ve ölçeğin toleransı ($T_{\bar{o}}$) da 1 olarak alınırsa (5:1 oranında), toplam tolerans da $T_T=5,1$ olarak çıkacaktır. Eğer ölçek toleransı sıfıra çekilseydi, toplam tolerans 5,0 değerinde olacaktı. Toplam toleransın 5,1 çıkması, 5 birim içerisinde sadece 0,1 birimlik bir değişiklik olabileceğini (veya sadece % 2'lik bir oran) göstermektedir. Başka bir deyişle 5:1 (ürün:ölçek toleransları) oranı toplam varyasyonun %98'inin üründen ve sadece % 2'sinin ölçekten geldiğini göstermektedir. Ortaya çıkan % 2'lik hata da önemszenmeyebilir seviyededir.

4.3.2. Ölçek varyasyonunun indirgenmesi

Yukarıda da belirtildiği üzere ölçekten kaynaklanacak bir varyasyonun indirgenmesi direkt olarak ürünün varyasyonunu da doğru orantılı olarak etkileyecektir. Bunun için önemli olan ilk şart en az 5:1'lik farkı yakalamaktır. Toplam ölçek toleransı (T_T) üç ana başlıkta toplanır: Ölçek İçi Tolerans ($T_{\bar{o}i}$), Ölçeklerarası Tolerans ($T_{\bar{o}-\bar{o}}$) ve Operatörden Operatöre Değişen Tolerans (T_{op-op}). Bu durumda toplam tolerans şu şekilde hesaplanır:

$$T_T = \sqrt{(T_{\bar{o}i})^2 + (T_{\bar{o}-\bar{o}})^2 + (T_{op-op})^2} \quad (4.2)$$

Pareto prensibine göre, bu üç tolerans değeri birbirine eşit olmadığı sürece, en büyük değere sahip tolerans, baskın karakter olarak toplam tolerans (T_T) üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle ortaya çıkan bu tolerans değerinin üzerinde durulup azaltılması yönünde çalışma yapılmalıdır. Aşağıda varyasyonu etkileyebilecek bu üç ölçüm aracı anlatılmıştır.

Ölçek İçi Varyasyon:

Ölçek içinde oluşabilecek varyasyonun pek çok nedeni vardır. Bunların en başında operatörlerin bu ölçekleri nasıl bir ortamda uyguladıkları gelmektedir. Bu ortam farklılıkları; sıcaklık, nem, ortamda bulunan elektromanyetik alanlar, voltaj değişimleri, hat içerisindeki voltaj, dış gürültü, ayarlar, titreşim, kullanılan malzemelerin yapısı, mekanik bağlantılar, yüklemeler, vb sebeplerden kaynaklanmaktadır. Multi-Vari

çalışma ile (yoğunluk grafiği kullanarak) veya İ–M Karşılaştırmasıyla birim içinde oluşan varyasyonun nedenini saptamak ve bunu düzeltmek mümkündür.

Ölçekler Arası Varyasyon :

Aynı tür birkaç ölçek arasında oluşan farklılaşmanın nedeni olarak farklı üreticiler, kalibrasyon eksikliği, kullanılan malzemenin farklılığı, bileşenleri, devreleri, bağlantıları, vb. sayılabilir. Ölçekler arası varyasyonun azaltılması için kullanılacak uygun deney tasarımı teknikleri Bileşen Araştırması ve İkili Karşılaştırmalar olabilir.

Operatörden Operatöre Değişen Varyasyon :

İki veya daha çok operatörün olduğu ortamlarda oluşan ve operatörden operatöre değişen varyasyonun bazı nedenleri şunlar olabilir; beceri eksikliği, bilgi eksikliği, prosedür ve uygulama adımlarının düzensizliği, bakış açısı hataları ve fiziksel farklılıklar (görüş mesafesi, boy, el becerisi, vb.). Uygulanacak deney tasarımı teknikleri bir çeşit iş akış şeması şeklinde tasarlanması gerekir. Böylece her adım kaydedilir ve İkili Karşılaştırmalar sonucunda farklılıklara ulaşılabilir.

4.3.3. Ölçüm doğruluğunun kontrol edilmesi

Deney tasarımının uygulamaya geçilmesinden önce oluşturulan problem çözme ekibinin ilk önce ellerindeki ölçüm araçlarının doğruluğundan emin olması gerekir. Bunun için de şu soruları yanıtlaması yeterlidir.

1. Yeşil Y ölçülebilir mi?
2. Eğer ölçüm yöntemi kategorik değişken yapısında (geçer/kalır, hatalı/hatasız, vb.) bu durum Likert Ölçeği kullanarak sayısallaştırılabilir mi?
3. Böyle bir Likert ölçeği farklı operatörlere uygulanabilir mi?
4. Dağılımın en az 5:1'lik oranının belirlenmesini sağlayacak bir serpilme grafiği oluşturuldu mu?

5. Ekipman içinde, ekipmanlar arasında ve operatörler arasında oluşan değişkenlikler (veya toleranslar) sayısal olarak ürün toleransına göre belirlendi mi?
6. Bu üç varyasyon kaynağında oluşan en büyük değişkenlik araştırılıp buna uygun çözüm oluşturuldu mu?
7. 5:1'lik oluşan hata oranına göre deney öncesinde kolaylıkla görülen bir Yeşil Y oluşuyor mu? Ve bu Yeşil Y daha net olarak ölçülebiliyor mu?

Bu kontrol listesinin atlanması ve ölçüm sisteminin doğruluğunun değerlendirilmesi problem çözme takımının daha çalışmanın başında yanlış yönleneşine sebep olacaktır.

4.3.4. Kesikli değişkenlerin sayısallaştırılması ve Likert Ölçeği

Ölçümler sonucunda elde edilen üç tür değişken vardır. Bunlar; nicel, kategorik ve sıralı olarak adlandırılırlar.

Sürekli Değişken: Uzunluklar, voltaj, ağırlıklar vb. değerler sürekli değişken yapısındadır. Bunların yanı sıra, hata miktarları, oransal gösterimler veya milyonda bir hata (ppm) değerleri de sürekli değişken olarak tanımlanabilir.

Kategorik Değişken: Evet/Hayır, İyi/Kötü, Geçer/Kalır, Kabul et/ Red et, vb. gibi sonuçlar çıkaran ve bunların arasında değer almayan değişkenlerdir.

Sıralı Değişken: Değerinin küçükten büyüğe, en kötüden en iyiye, en düşükten en yükseğe veya tam tersi şekilde dizildiği değişkenlerdir. Sıralı değişkenlerin incelenmesinde Tukey testinden faydalanılmaktadır.

Kategorik değişkenler kendi içlerinde ara değer alamadıkları bunların ara değerleri de alabilecekleri bir yapıya dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bir ürünün sadece iyi veya kötü olarak nitelenmesi yeterli değildir. Ne kadar iyi veya kötü olduğunun derecelendirilmesi gerekmektedir. Bu derecelendirmeyi yapmak için Likert skalasından faydalanılır. Örneğin, iyi ve kötü için 1-en iyi, 10-en kötü (veya tam tersi) olacak şekilde atamalar yapılabilir. Böylece subjektifliğin de önüne geçilerek daha gerçekçi değerlendirmeler elde edilir.

Likert ölçeğinin bir başka avantajlı yanı da deney tasarımında kullanılacak örnek büyüklüğünü azaltılmasıdır. Aksi takdirde hata yüzdelerinin veya ortaya çıkan ürün oranının, vb. hesaplanması gerekmektedir. Örneğin; iki ürün oranının (%70'e karşı %80'lik) birbirleri arasındaki farklılık araştırılmak istenirse, bu iki grup için yüksek miktarda gözlem yapmak gerekir, bu da her ürün grubu için genellikle en az 30-50 arasında bir gözlem sayısı demektir. Buna karşın Likert Ölçeği kullanılarak oluşturulacak örneklem büyüklüğünün, her ürün grubu için sadece 3 ile 10 arasında olması, bu grupların birbirleri arasındaki farklılığı tespit etmek ve değerini bulmak için yeterlidir.

4.3. Pareto İlkesi ile Baskın Sebeplerin Bulunması

Pareto Analizi, adını ünlü bir İtalyan ekonomisti olan Vilfredo Pareto'dan (1848-1923) almıştır. 1906 yılında yayınladığı çalışmasında İtalyan halkının %20'sinin ülkenin toplam gelirinin %80'ini aldığını gözlemlediğini kaydetmişti. Pareto ilkesi, çoğu olay için, ortaya çıkan etkilerin yaklaşık % 80'inin, etkenlerin % 20'sinden kaynaklandığını anlatır. 80-20 kuralı, önemli azın yasası, etken seyrekliği, ABC analizi, alışılmış temel ayırım metodu veya önceliklerin belirlenmesi olarak da bilinir. [48, 49]

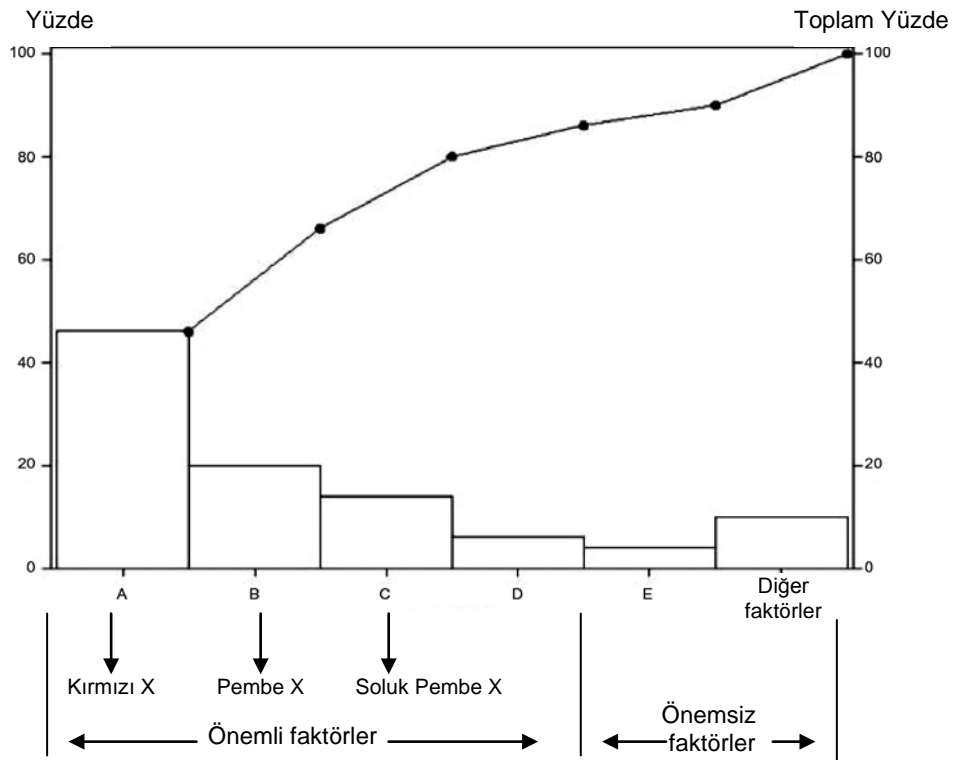
Bu yaklaşım bize basit ve etkili bir şekilde problemleri analiz etme imkanı sunmaktadır. Genellikle yığılmaya neden olan azınlık sebeplerin ortaya konması için kullanılan bu yöntem, kimi zaman optimizasyon amacı ile kullanılır.

Joseph M. Juran bu ilkeyi endüstriye uyarlamış ve kullanılmasını önermiştir. Pareto ilkesinin kalite kontrolde birçok uygulaması mevcuttur bütüncül kalite kontrol ve altı sigma için anahtar araçlardan biri olan Pareto grafiği için temel oluşturur. Pareto ilkesi, taşımacılık ve mal saklama ve yenileme maliyetleri ile birlikte mal depolarının eniyileştirilmesi amacıyla yapılan tedarik işlemlerinde yaygın olarak kullanılan ABC-çözümlemesi ve XYZ-çözümlemesi için temel teşkil eder [50].

Bilgisayar biliminde ve elektromekanik enerji çeviricileri gibi mühendislik kontrol kuramında Pareto ilkesi eniyileme uygulamalarında kullanılır. Microsoft belirtmiştir ki en fazla raporlanan hataların ilk %20'sini çözerek, hataların ve

çökmelerin % 80'inin engellenmesi mümkündür. Bilgisayar grafikleri konusunda Pareto ilkesi ışın-izleme amacıyla kullanılır: ışınların % 80'i geometrinin % 20'siyle çarpıştır [51].

Yeşil Y'yi oluşturan nedenler önem büyüklüklerine göre sıralandığında, Şekil 4.3'te de görüldüğü üzere, toplamın yaklaşık % 50'sini en önemli faktör olan "Kırmızı X" oluşturmaktadır. Bunu takip eden faktörler Pembe X ve Soluk Pembe X olarak sıralanmaktadır. Genellikle 3 tane önemli faktör ortaya çıktığı için bu renklerle adlandırılmışlardır. 4 tane de önemli denilecek faktör elde edilebilir. Belirlenen bu faktörler dışında kalan tüm faktörler "önemsiz" olarak işaretlenerek, proses sırasında onların seviyeleri en ekonomik şekilde ayarlanır.



Şekil 4.3: Pareto prensibi ile Yeşil Y ve Kırmızı X'in gösterilmesi [64]

Pareto prensibine bağlı olarak geliştirilen Shainin yönteminde, herhangi bir problemi tanımlayan süreç çıktısındaki varyasyonun baskın bir nedeni olduğu belirtilir. Juran ve Gyrna bu baskın nedenin kusurların oluşmasında büyük bir payı olduğunu belirterek, yeterli sayılabilecek bir çözüme ulaşmadan önce bu baskın

sebebin iyileştirilmesi gerektiğini söylemektedir [52]. Baskın sebep olan Kırmızı X'in önemine vurgu yapan Shainin, bir çok girdinin bileşik etkisinin hesaplanmasında bu faktörlerin kareleri toplamının karekökünün alınması uygulanması gerektiğini belirtmektedir [53].

Biraz daha açıklamak gerekirse; süreç içerisinde gerek birim içi, gerek birimden birime ve gerekse zamandan zamana değişen ve birbirinden bağımsız olarak oluşacak varyasyonu etkileyebilecek faktörlerin standart sapmaları ayrıştırılabilir. Böylece aşağıdaki denklem karşımıza çıkar:

$$s_T = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + \dots} \Rightarrow s_T = \sqrt{\sum_{i=1} s_i^2} \quad (4.3)$$

s_T = Çıktının standart sapması

s_i = Her faktörün (sebebin) standart sapması (i=1,2,3,)

Yukarıdaki matematiksel ilişki göz önüne alındığında, baskın neden (faktör) dışındaki bir faktörün (veya standart sapmasının) katkısının çıkartılmasıyla süreç çıktısının standart sapması çok fazla azaltılamaz. Örneğin; eğer ilk faktörün standart sapması (s_1) % 30'luk bir oranda ise, bu faktörün çıkarılması sonucunda çıktı sapmasında sadece %5'lik bir azalma olacaktır. Bu da düşük oranda bir azalma anlamına gelir. Shainin Yönteminde kullanılan bu benzersiz yaklaşım, ikili veya daha çok etkileşimli önemli faktörlerin belirlenmesinde de kullanılmaktadır [41].

5. SHAININ YÖNTEMİNİN UYGULAMA AŞAMALARI

Herhangi bir sürecin herhangi bir anında çok sayıda etmen (X'ler) aktif durumdadır. Problemler ortaya çıktığı zaman, parçaların ve sürecin ölçülüp karşılaştırılmasıyla oluşturulan hesap stratejileri bu tür problemlere saldırmak amacıyla kullanılır. Bu yaklaşım basit sorunlar için kullanılabilir, ancak daha karmaşık problemler için daha sıkı disiplinli yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır [54].

Shainin Yönteminin en belirgin özelliği, varyasyona etkisi olan faktörler içerisinde önemsizlerin elenerek sadece önemli parametreler üzerinden çalışmasıdır. Bu eleme için genel olarak “Aşamalı Sorgu Prensipten” (Progressive Search) yararlanılmaktadır.

Kırmızı X'i bulmaya odaklandıktan sonra, öncelikli olarak onu hızlı bir şekilde ve ez az kaynak kullanarak bulmak gerekmektedir. Aşamalı Sorgu Prensiptinin çalışma sistemi Kırmızı X olamayacak her şeyin elenip, geri kalanların Kırmızı X olarak tanımlanması üzerine kuruludur [47].

Aşamalı sorguda, her seferinde Evet/Hayır yanıtlarının alınacağı sorular sorulur. Verilen yanıtlara göre daha da detaya inilerek bulunmak istenen noktaya varılır. Bu, 1000'e kadar olan sayılar arasından bir tanesini bulma oyunu gibi düşünülebilir. Tutulan sayı 382 ise, diğer kişi şu soruları sorabilir: Sayı 500'ten yukarıda mı? / Hayır. Dolayısıyla eldeki sayıların yarısı elenmiş olur. Sayı 250'den yukarıda mı? / Evet. Kalanın da yarısı elendi. Sorular ve yanıtlar bu şekilde ilerleyerek doğru sayı yakalanır. En fazla 20 soru sonrasında ilgili değer yakalanacaktır.

Eğer bu sayıları bir varyasyonun içindeki faktörler olarak düşünülürse, Kırmızı X, diğer önemsiz faktörlerin yığın halinde elenmesi sonucunda karşımıza çıkacaktır.

5.1. İpucu Yaratma Araçları

Klasik veya Taguchi yöntemlerinde problemin olası nedenleri ile ilgili olarak mühendisler tahminde bulunur. Beyin fırtınası tekniğini kullanırlar, oylama yaparlar. Eğer tahminler hatalıysa, doğal olarak deney başarısızlıkla sonuçlanacaktır. Shainin Yöntemi'ni diğer yöntemlerden ayıran önemli özelliklerinden bir tanesi de “İpucu Yaratma Araçları”dır. Bölümlerle Konuşma (talk to the parts) olarak da anılan bu özellik sayesinde proses üzerinde çalışan işçi, operatör, vb. kişilere de ortaya çıkan sorun hakkında danışılır. Çünkü, probleme en yakın olanlar, o işte aktif rol alan kişilerdir [71]. Burada amaç mühendisleri engellemek değil, onların tahminleri, önyargılı duruşları, önsezileri, fikirleri ve teorilerinden çok bilgilerini kullanmaktır. Bu nedenle, problemin nedeni hakkında daha sağlıklı ve gerçekçi ipuçları yakalanabilmesi dört ipucu yaratma tekniğinden biri veya daha fazlası kullanılarak bölümlerle konuşulur. Böylece mühendislerin tahminlerinden daha güçlü bir sebep kümesi oluşturulur. İpucu yaratma tekniklerinin önemli bir avantajı da devam eden üretim süresinin en az %70'inde üretimi durdurmadan çalışmalarını yapmasıdır. [28]

Kırmızı X'in bulunması ve tanımlanmasından önce problemin (Yeşil Y) açıkça belirlenmesi gerekir. Yeşil Y'nin başarılı bir çözüme ulaşabilmesi için ürün tolerans değerlerine göre en az 5:1 oranında doğruluk payı veya büyük olması arzu edilen spesifikasyon genişlikleri kullanılarak stres ölçümü yapılmalıdır.

5.1.1. Multi-Vari Analizi

Multi-Vari analizinin temel amacı, varyasyona sebep olan bilinmeyen veya şüpheliyle yaklaşılan, kontrol edilemeyen çok sayıda faktörü azaltarak, içerisinde Kırmızı X'in de bulunduğu küçük bir faktör grubu elde etmektir. Probleme en çok etkisi olan faktörü diğerlerinden ayırır.

Sebe-sonuç diyagramlarıyla (Ishikawa) çalışılırken, probleme dair bütün sebepler (faktörler) beyin fırtınası vb. gibi araçlarla bulunmaya çalışılır. Ancak burada oluşan sıkıntı, ortaya çıkan faktörlerin daha fazla öneme sahip olduğunun belirlenmesidir.

Örneğin; bir probleme ait 80'den fazla faktör (sebe) belirlenmiş olsun. En önemli faktörü belirlemek için nereden başlanmalıdır? Tipik bir yaklaşım olarak, beyin fırtınası tekniğine göre her faktör için oylama yapılarak önemli olanlar belirlenebilir. Ancak bu demokratik çözüm kronik üretim problemlerinde çok da faydalı değildir. 80 civarında bir faktör olduğunda Taguchi Yöntemiyle çalışmak da sağlıklı sonuçlar çıkaramamaktadır.

Bunların yanı sıra, diğer ipucu yaratma araçları ile birlikte Multi-Vari teknikleri kullanıldığında Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X'e rahatlıkla ulaşılabilmektedir.

5.1.1.1. Varyasyonun 3 temel bileşeni

Endüstride genel olarak en fazla karşılaşılan problemler 3 grupta toplanabilir; Pozisyonel Varyasyon (birim için varyasyon), Döngüsel Varyasyon (birimler arası varyasyon), Zamansal Varyasyon (zamandan zamana değişen varyasyon – temporal). Bunların arasında en fazla yer tutan Zamansal (zamandan zamana değişen) varyasyondur. Pek çok faktörü barındırabilen pozisyonel veya döngüsel varyasyonlar da ikincil öneme sahip olsalar dahi incelemeye alınır.

Araştırmacının kalitesizliği çözmek için ilerleyen aşamalarda yapacağı deneylerde kullanacağı blokların azaltılması ve istenmeyen faktörlerin tespit edilip elenmesi için Shainin'in geliştirdiği Multi-Vari analizi çok kullanışlı bir araçtır. Örneğin; vardiyadan vardiyaya, günden güne veya makineden makineye değişen varyasyonların çok olduğu durumlarda tüm duruma bakılamayacağı için mutlaka bir eleme yapılması gerekmektedir [55]

Multi-Vari analizleri yaparken şu unutulmamalıdır: Multi-Vari sonucunda Kırmızı X'in ne olduğu değil, hangi varyasyon bileşeni (birim içi, döngüsel, zamansal) içerisinde olduğu bulunur. Aşağıda bu varyasyonların oluşma nedenlerine dair bir liste verilmiştir.

Tablo 5.1: Varyasyon Bileşenleri

Pozisyonel Varyasyon (Birim İçi Varyasyon)	Döngüsel Varyasyon (Birimler Arası Varyasyon)	Zamansal Varyasyon (Zamandan Zamana Değişen Varyasyon)
<ul style="list-style-type: none"> • Tek bir birim içerisinde oluşan varyasyonlar: Sağ-Sol-Üst-Alt tarafta oluşan farklılaşmalar, merkez/kenar da oluşan değişkenlikler • İçerisinde pek çok bileşen barındıran birimlerde oluşan varyasyonlar, • Makinenin bir yerleşim yerinden diğerine değişen varyasyonlar. • Makineden makineye değişen varyasyonlar • Test noktasına göre değişen varyasyonlar • Operatörden operatöre değişen varyasyonlar • İş akışında bir hattan diğerine veya hücreden hücreye değişen varyasyonlar 	<ul style="list-style-type: none"> • Aynı zaman dilimi içerisinde prosesten çekilen birbirinden bağımsız birimler arasında oluşan varyasyon • Birimlerden oluşan gruplardaki varyasyon • Yığından yığına değişen varyasyon • Parçadan parçaya değişen varyasyon. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saatten saate • Vardiyadan vardiyaya • Günden güne • Haftadan haftaya

5.1.1.2. Multi-Vari Analizi için örneklemin belirlenmesi

Bir Multi-Vari çalışma için gerekli olan veri miktarı, daha önceden de belirtildiği gibi, mevcut varyasyonun en az %80'ine ulaşana kadar veya spesifikasyon toleransları yakalanana kadar toplanmalıdır. Eğer varyasyonun %50 - %60'ı gibi düşük bir oran üzerinden çalışma yapılırsa Kırmızı X değerini hızlı bir şekilde yakalama şansı da azalmaktadır. Multi-Vari çalışması bir saatten az sürebileceği gibi %80'lik varyasyonu yakalamak için, verilerin yapısına göre, 1 ay kadar da sürebilir. Ancak, genellikle bu çalışma üç günü aşmamaktadır. Birimler arası grup için 3 ile 5 arası bağımsız gözlem yeterlidir.

Birim içi incelemelerde her alt grup için tamsayım yapılabileceği gibi makul miktarda bir örnek de alınabilir. Burada önemli olan, Kırmızı X'i yakalayabilmek için pratik olarak belirlenen üst sınır için gerekli olan toplam birim sayısına ulaşılmalıdır.

5.1.1.3. Multi-Vari çalışmasının tasarımı, yürütülmesi ve analizi

Multi-Vari çalışmasının tasarımı, yürütülmesi, sunulması ve analizinin sağlıklı bir biçimde yapabilmek için aşağıdaki adımları takip etmek gerekmektedir. Hem üretim aşamasındayken karşılaşılan problemlerin çözülmesinde, hem de tasarım aşamasındayken yapılacak pilot çalışmalarda kullanılabilir [28].

5.1.1.3.1. Multi-Vari çalışmasının tasarımı

- Yeşil Y (problem) tanımlanır. Eğer Yeşil Y, kategorik bir değişkense Likert ölçeği kullanılarak sayısallaştırılır.
- Ölçek doğruluğu ürün doğruluğunun en az 5 katı olmalıdır.
- Ortaya çıkabilecek varyasyona dair bileşenlerin (Pozisyonel, Döngüsel, Zamansal) miktarını belirlenir.
- Bileşen ağacı çizilir.
- Zamansal bileşende gerekli olan örnek sayısı belirlenir.
- Birimden birime değişen durumlar için üretim esnasında birbirinden bağımsız kaç örnek alınacağı belirlenir. (Bu genellikle 3 ile 5 arasında olmaktadır.)
- Birim içinde ortaya çıkan farklılıkları ölçmek için her alt bileşen için ne kadarlık örnek gerektiği belirlenir. Yerleşim, makine, boşluklar, vb. için bu miktarlar net olarak belirlenmelidir.
- Toplam incelenecek örnek sayısı için zamansal, döngüsel ve pozisyonel birimlerden elde edilen miktarlar çarpılır.
- Multi-Vari verilerin işlenebilmesi için bir tablo tasarlanır

5.1.1.3.2. Multi-Vari deneyinin yürütülmesi

- Verilen ürün içerisindeki nedenler karıştırılmadan sadece en kötü model üzerinden çalışılır.
- Toplam verilerle mevcut varyasyon değerlerinin (toleranslarının) en az %80'i yakalanabiliyorsa Multi-Vari çalıştırılır.
- Multi-Vari ile çalışırken, proste yapılacak ayarlamalar minimize edilmelidir.
- Üretimde oluşan duruşlara (çay molası, yemek, vardiya değişimi, operatör değişimi, ayar değişikliği, araç değişimi, bakımlar, v.b.) dikkat edilmelidir.

Multi-Vari deneyleri için, (eğer mümkünse) bu tür duruşların öncesi veya sonrasında toplanacak örneklerle çalışılmalıdır.

5.1.1.3.3. Multi-Vari grafiğinin sunumu ve analizi

- En büyük varyasyona ait bileşen belirlenir. Burada şu unutulmamalıdır; Kırmızı X bu bileşenlerin sadece birinde ortaya çıkmaktadır. Pembe X ve Soluk Pembe X de diğer bileşenlerde olabilir.
- Eğer Kırmızı X zamansal bileşen içerisinde elde edilmişse, değişiklikleri ısı, nem, duruş anları, makine ayarlamaları veya diğer proses parametrelerine göre incelemelidir. Bu çalışmaların ardından Ürün/Süreç araştırması uygulanabilir.
- Eğer Kırmızı X, birimler arası bileşen (döngüsel) içerisinde elde edilmişse, döngüsel şema içerisinde herhangi bir birimi etkilerken diğerlerini etkilemeyecek toz, kir, toparlanma vb. gibi durumlara dikkat edilmesi gerekir. Bu aşamadan sonra Bileşen Araştırması ve/veya İkili Karşılaştırmalar uygulanabilir.
- Eğer Kırmızı X, birim içi bileşen (pozisyonel) içerisinde elde edilmişse, tekrar eden bölgeler veya bileşenlerin belirlenmesi için Yoğunluk Grafiği çizilir.
- Rassal olmayan eğilimler ile diğer ipuçlarının aranması gerekir.
- Olağandışı bir durumu (modeli) göstermek için bir veya çok az örnek toplanması gerekir. Normal gidişata denk olmayan duyarlılık böylece etkileşim etkilerinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.
- “Baskın Neden”in (Kırmızı X) araştırılmasına başlamak için varyasyonu oluşturan 3 temel bileşen bir ağaç diyagram şeklinde gösterilip, bunların içerisinde de tüm olası nedenlerin listelenmesi gerekir.

5.1.1.4. Multi-Vari analizine dair örnekler

Yapılan çalışmaya bağlı olarak değişen Multi-Vari grafiklerinde önemli olan nokta, en basit ve anlaşılır yolla Kırmızı X'e ulaşmaktır. Aşağıda verilen ilk örnekte gözlem örneklem büyüklüğünün nasıl bulunacağına dair, ikinci örnekte de Kırmızı X'in nasıl elde edileceğine dair bir ipucu araştırması anlatılmıştır [28].

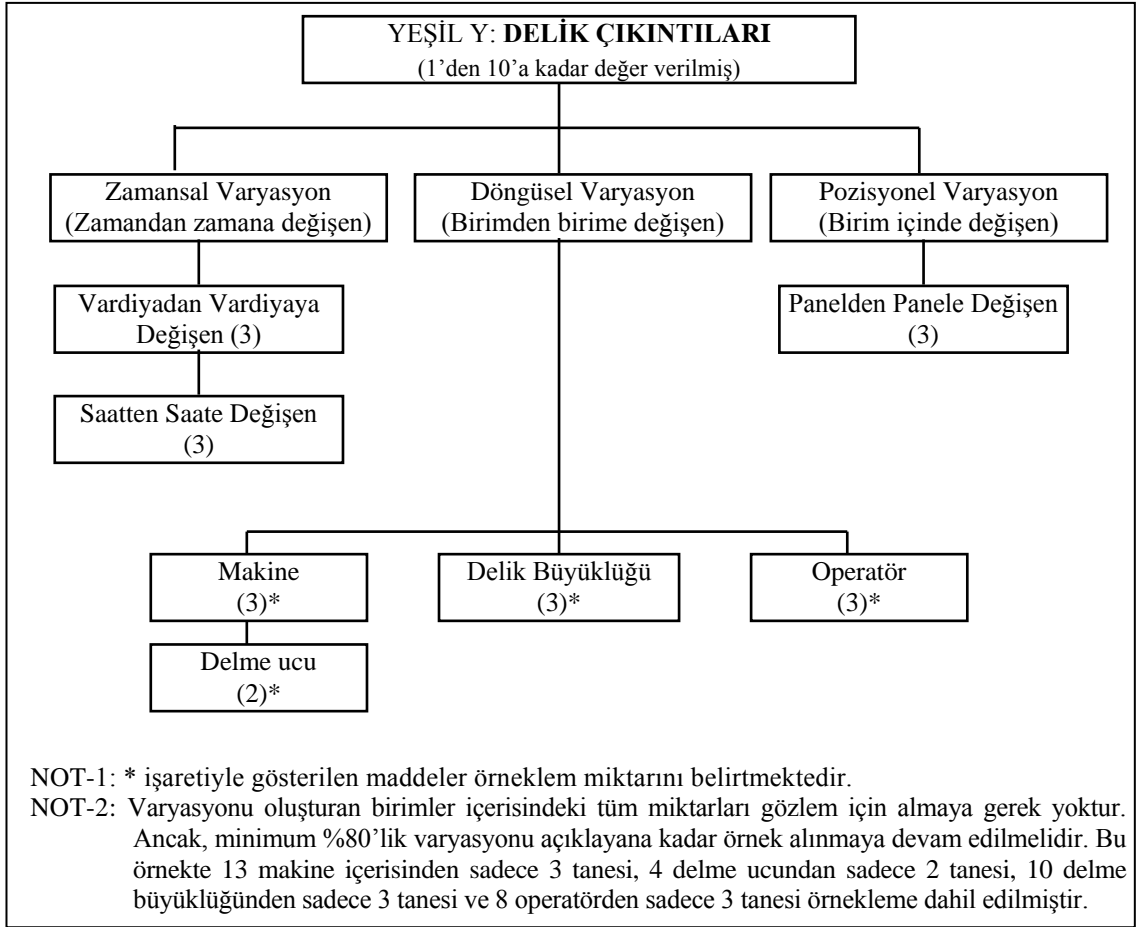
Birinci örnekte, baskı devre kartlarının delinmesi sürecinde ortaya çıkan çıkıntılar (Yeşil Y) incelenmektedir. Bu çıkıntıların ölçülebilmesi için 1 ile 10 arasında değer alan Likert ölçeği kullanılmıştır. 1 değeri çıkıntı olmadığı durum için (en iyi), 10 ise en çok çıkıntı (en kötü) durumunu belirtmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda, mevcut varyasyonun %80'inin yakalanabileceği ihtimali üzerine deney sadece bir günle sınırlandırılmıştır. Her günde 3 vardiya mevcuttur. 13 adet aynı tür delme makinesi vardır. Her makine 4 adet delme kafasına sahiptir. Her vardiyada 8 operatör bu makineleri kullanmaktadır. Her makinede baskı devre kartlarının yığıldığı 3 panel vardır. Ayrıca her makinenin 10 farklı büyüklükte delme özelliği vardır.

Deney için bir örneklem büyüklüğü belirlenirken birimler arası (kartlar arası) 3'er tane gözlem alınacağını varsayalım. Bu durumda her bir saatlik süre içinde 10 makine, 4 delme kafası, 8 operatör ve 10 delme büyüklüğüne bağlı olarak $3*10*4*8*10=9.600$ adet gözlem yapmak gerekecekti. Bir de bunlara 3'er saatlik gözlemler ve 3 vardiyayı katarsak bir günlük toplam gözlem sayısı 86.400'ü bulacaktır.

Bu durumdan kurtulmak için her bir süreç faktöründe rassal olarak ve makul ölçülerde bir azaltma yapılır. Mesela, rastgele sadece 3 operatör, 3 delme büyüklüğü ve 3 makine ve 2 delme ucu seçilebilir. Sonuç olarak, her saat gözlenebilecek $3*3*3*3*2$ 162 adet veri elde edilecektir. Bunu 3 vardiyaya yayarsak ve her vardiyada 3 örnek alırsak toplam gözlem sayısı 1.458 olacaktır. Ancak şu unutulmamalıdır: Eğer mevcut varyasyonun en az %80'i ilk vardiyada yakalanmışsa diğer vardiyaları ölçmeye gerek yoktur. Böylece sadece 162 birimlik örnek büyüklüğü çalışma için yeterli olacaktır.

Ürünlerde oluşacak varyasyona etki eden üç temel bileşenin Şekil 5.1'de olduğu gibi ağaç diyagram üzerinde gösterilmesi durumu daha kolay görmemize yardımcı olacaktır.



Şekil 5.1: Multi-Vari planlamasında bileşenlerin ağaç diyagramla gösterilmesi

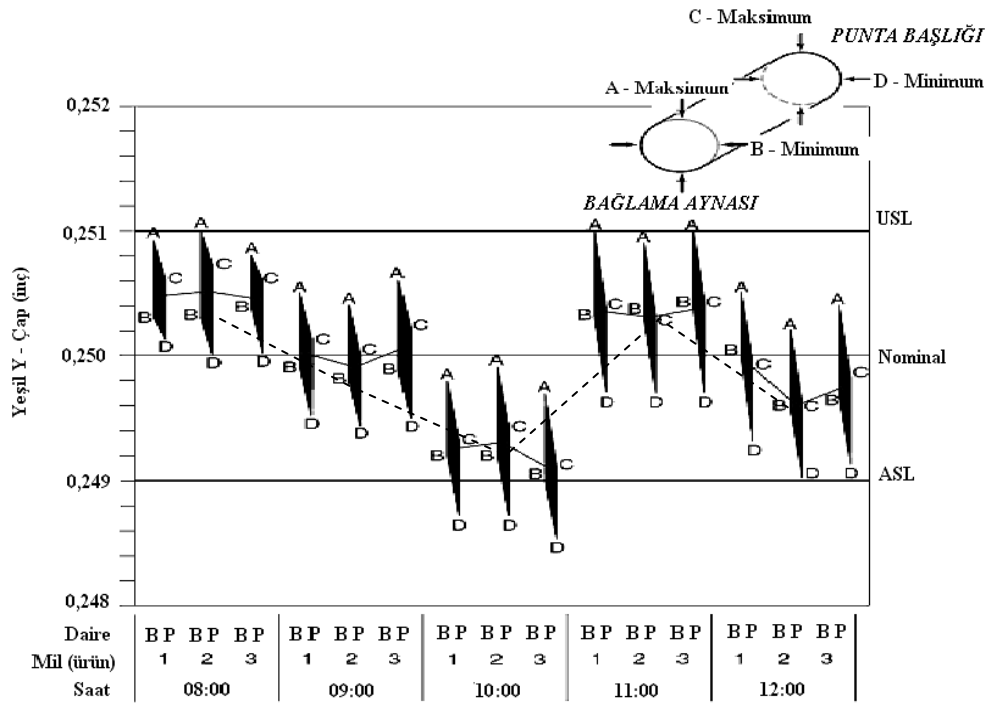
İkinci örnekte ise Shainin'in 1966 yılında yayınladığı makalesinde [47] Multi-Vari grafiklerinin Kırmızı X'i bulmada ne kadar güçlü bir rol üstlendiğini belirtmektedir. Aynı çalışmayı kitabında da örnek olarak gösteren K.Bhote'un çalışmaya verdiği katkı da bu örnekte sunulmuştur [28].

Makalede yer alan uygulamada Shainin, jet motorunun yakıt pompası kontrolörünü üreten bir firmanın karşılaştığı "rotor mili" problem sorunu üzerinde çalışmıştır. İlgilendiği problem, üretilen millerin çaplarında oluşan varyasyonun büyük olmasıydı (Yeşil Y). Hatta bazı ürünler ovale yakın bir şekil almaktaydı. Üretilen millerin, belirlenmiş olan $0,025 \pm 0,001$ inç sınırları (spesifikasyon limitleri) içerisinde olması istenmektedir. Yapılan süreç yeterliliği çalışmasında, yayılmanın gerekli olan 0,002 inç'e karşı 0,0025 inç olduğu gözlenmiştir. Bu da C_{pk} 'nin 0,8 ($C_{pk}=S/P$, $C_{pk}=0,002/0,0025$) olduğu anlamına gelmektedir. Firmanın teknik ekibi tornanın atılıp yenisinin alınması gerektiğini düşünmektedir. 70.000\$ maliyetindeki

yeni tornanın tolerans değerleri $\pm 0,008$ olacağı için C_{pk} değeri de 1,25'e yükselecektir. Ancak, yönetim bu fikre çok da sıcak bakmamaktadır.

Shainin, sorunun kaynağını tespit etmek için Multi-Vari analizini uygulamıştır. Bunun için sürecin aşamalarını kaydetmiştir. Miller tornada üretilmektedir. Biten miller bir sepette toplanmaktadır. Yağları ve metal kirleri temizlenen ürünler daha sonra büyüklük ölçümü için tekrar tornaya alınmaktadır. Dolayısıyla, torna yeni üretim için bir kayıpla karşılaşmaktadır.

Shainin bu deney için örneklem miktarını 12:00'a kadar her 1 saat içinde 3'er adet mil olarak belirlemiştir. Yaptığı ölçümler sonucunda, en az %80'lik varyasyon kuralına ulaştığı için, öğleden sonra gözlem yapmasına gerek kalmamıştır. Her mil üzerinden ikisi sol diğer ikisi de sağ taraftan olmak üzere dört ölçüm almıştır. Soldan sağa doğru gittikçe milin sivriliği, yukarıdan aşağıya doğru ilerledikçe milin yuvarlaklığı incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilen değerler Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



B: Torna bağlama aynası; **P:** Torna punta başlığı
 — : Milden mile değişen varyasyon ortalaması
 ---- : Saatten saate değişen varyasyon ortalaması

Şekil 5.2: Rotor millerinin Multi-Vari grafikte gösterimi.[28]

Döngüsel (veya birimden birime değişen) varyasyonlar, grafikte, her mile ait 4 verinin ortalamalarından geçen ince çizgi ile gösterilmiştir. Zamansal bileşen ise kesikli çizgi ile belirtilmiştir. Buna göre, ilk göze çarpan durum, zamansal bir farklılaşmanın olduğudur. 08:00 ile 10:00 saatleri arasında çap değerlerinde bir düşüş gözlenirken, 11:00'da ani bir çıkış oluşmaktadır. Sonrasında tekrar düşüşe geçmektedir. Ancak burada dikkat çekilmesi gereken nokta, 10:00'da tornadan çıkan millerin, spesifikasyon limitini aşıyor durumda olmasıdır. Sorun zamansal bileşen içerisinde yer almaktadır. Böylece “takım aşınmasından dolayı varyasyonun artıyor olması” düşüncesi elenmiş olmaktadır. Kırmızı X'in bulunmasında büyük bir ipucu olacak bu zamansal farklılaşmanın üzerinde düşünen Shainin ustabaşı ile görüşerek durumu açıklığa kavuşturmaya çalışmıştır.

Saat 10:00'da verilen kahve molası boyunca makinenin ısısı düşmüş ve iş tekrar başlayınca (11:00–12:00 arasında) makinenin ısısı da artmaya başlamıştır. Makine çalıştıkça (veya makinenin ısısı arttıkça) varyasyonda da bir artış olmaktadır. Bu durumda sorun, sadece makinenin soğutma sisteminin düzensizliğinden kaynaklanmaktadır.

Makineye belirtilen seviyede soğutucu eklendikten sonra zamansal sebebe dayalı olarak ortaya çıkan ve yaklaşık % 50 oranındaki varyasyon neredeyse sıfır düzeyine inmiştir. Bu da zamanla ilgili bir ipucunun yakalanıp makinenin ısısının varyasyonda önemli bir etkiye sahip olduğunun fark edilmesini ve bu ısı ile ilgili ipucunun da soğutucu seviyesindeki sorunun tespit edilmesini sağlamıştır. Önemli bir etki olduğu için ısı faktörü Kırmızı X olarak adlandırılabilir.

Toplam varyasyonun sadece %5'ini oluşturan birimden birime değişen varyasyonun üzerinde durulmasına çok fazla gerek duyulmamıştır. Ancak, birim içi varyasyon (veya Pozisyonel varyasyon) iki tane önemli alt bileşen olduğunu göstermektedir. Bunlardan ilki ürünlerin dairesellikten uzaklaşması sorunudur ve bu da toplam varyasyonun %30'unu oluşturmaktadır. Diğer alt bileşen ise ürünlerin (millerin) gittikçe incilmesi problemidir. Bu durumda toplam varyasyonun % 10'unu oluşturmaktadır. Dairesel olmama durumu her milde eksen boyunca izlenerek sorunun torna bağlama aynasındaki aşınma olduğu tespit edilmiştir. Bu

problemi çözmek için işçilik dahil olarak toplam 200\$'a yeni mil yatakları alınmıştır. Böylece daha sonra karşılaşılabilecek % 30'luk bir varyasyon da elenmiş olmaktadır.

Her milde görülen sivrilik rassal olmayan bir durum sergilemekle birlikte millerin sol tarafları sağ taraflarına göre daha uzun üretilmektedir. Bu durum da kesme aracının mili soldan sağa doğru giderek keserken, mile paralel durmamasından kaynaklanmaktadır. Küçük bir ayarlama ile bu sorundan kaynaklanan % 10'luk varyasyon neredeyse sıfıra indirilmiştir.

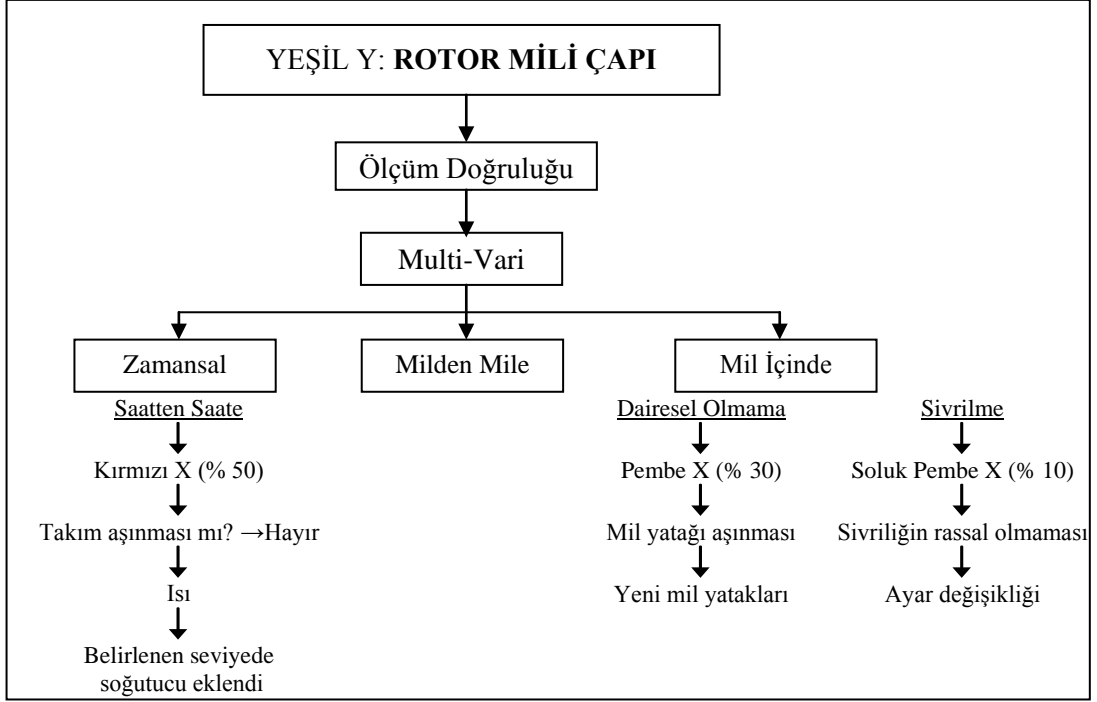
Tablo 5.2'de incelenen rotor miline dair her varyasyon bileşeni ve onların alt bileşenleri, varyasyon oranları, varyasyon sebepleri, düzeltmeler ve varyasyondaki düşüşler verilmiştir.

Tablo 5.2: Rotor millerindeki varyasyon ölçümleri [28]

Varyasyon Bileşeni	Varyasyon Alt Bileşeni	Toplam Varyasyon Oranı	Varyasyon Nedeni	Düzeltilme	Düşürülen Varyasyon Oranı
Zamansal	Saatten saate	% 50	Soğutucu azlığı	Soğutucu eklendi	≈ % 50
Pozisyonel	Daiire olmama	% 25	Mil yataklarının aşınması	Yeni mil yatakları	≈ % 25
Pozisyonel	Sivrilme	% 15	Paralel olmayan ayarlar	Kesme aracının ayarlanması	≈ % 15
Döngüsel	Milden mile	% 5	–	–	–

Rotor millerinde karşılaşılan varyasyonla ilgili yapılan bu Multi-Vari çalışmasıyla şu sonuçlara ulaşılmıştır: Daha sonraki üretimler için toleranslardaki toplam varyasyon 0,0025 inç'ten 0,0003 inç'e indirilmiştir. Dolayısıyla yeni C_{pk} değeri de 6,7'ye ($=0.002/0.0003$) yükselmiştir. Bu da dünya standartlarının üzerinde bir sonuç alındığını göstermektedir. Bunun yanı sıra artık hurdaya hiç ürün çıkmadığı gibi şirket 70.000 \$'lık yeni bir makine alımı maliyetinden de kurtulmuştur.

Bu çalışmayla ilgili olarak Şekil 5.3'te bileşen ağacı çizilmiş ve varyasyon oluşturan nedenlerde yapılan uygulamalar gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Rotor milleri çalışması için varyasyon bileşen ailesi

5.1.2. Yoğunluk Grafiği

Multi-Vari analizi yardımıyla varyasyonu oluşturan nedenlerin hangi bileşen içerisinde olduğu belirlendikten sonra birim içinde oluşan bu problemin konumu grafik çizilerek belirlenir. Bu da en iyi “Yoğunluk Grafiği” yardımıyla yapılabilir.

Bir yoğunluk grafiği sonucunda iki durumla karşılaşılabilir. Bunlardan ilki, probleme dair hiçbir noktada bir yoğunluğun olmamasıdır, yani problem birim içerisinde rassal olarak dağılmıştır. İkincisinde ise belirli bir noktada problem yoğunlaşmaktadır. Ancak, Pareto Prensibini göz önünde tutarak baktığımızda baskın nedenin genel olarak belirli bir nokta etrafında etkili olduğu ve ürünün bu noktasında daha çok kusur çıkardığı söylenebilir.

Yoğunluk Grafiği çizilirken şu aşamalara dikkat edilmelidir:

1. Yoğunluk Grafiğinin çizilebilmesi için öncelikli olarak tekrarlı hataları gösterebilecek bir şablon hazırlanır. Daha sonra, gerektiği takdirde sorunun olduğu bölgeler için bir tablo çizilir.

2. Ürünleri kontrol eden kişinin örneklemedeki her birimi kontrol etmesi gerekir. Bu kontrol sırasında hata türlerinin uygun bir şekilde kodlanıp, ürünün hangi bölgesinde karşılaşıldığının tablo üzerinde işaretlenmesi gerekir.
3. Eğer zamansal (zamandan zaman değişen) bir varyasyonla ilgilenilmiyorsa ölçüm zamanlarının değerlendirilmesine gerek yoktur.

Bhote'un Yoğunluk Grafiği ile ilgili verdiği örnekte bir panelin verimsiz boyama süreci incelenmektedir [28]. Süreç sonunda verimin sadece %82 olduğu gözlenmektedir. Bu da firmaya yıllık 45.000\$ maliyet çıkarmaktadır. Sorunun giderilmesi için yapılacak çalışmalara öncelikle Multi-Vari analizi ile başlanmıştır. Bunun sonucunda, varyasyonun büyük bir kısmının panel içinde (birim içi) olduğu gözlenmiştir. Panelin hangi tarafında bu hataların biriktiğini incelemek için de Şekil 5.4'teki Yoğunluk Grafiği oluşturulmuştur. Çizilen Yoğunluk Grafiği, 4 farklı kusur türünü (Inconel¹, cam, organik ve demir hataları) gösterecek şekilde düzenlenmiş ve bu kusurların yerleri kodlanarak miktarları belirtilmiştir.

										<u>Toplam Kusur</u>		
										<u>Kusur Türü</u>		
			I : 9	I : 16	I : 8						I = Inconel kusurları	33
										C:2	C = "Cam" kusurları	5
		C:2 O:2									O = Organik kusurlar	4
											FE = Demir kusurları	2
	FE: 1											
						C:1						
			O:2									

Şekil 5.4: Boyama hatalarının yoğunluk grafiği.

Yukarıdaki şekil incelendiğinde Inconel'in en sık karşılaşılan hata türü (tüm hataların %75'lik oranı) olmasının yanında en çok panelin üst kenarında yoğunlaştığı da

¹ Inconel, yüksek sıcaklıkta uzun süreli başarılı uygulamaları nedeni ile "süper alaşımlar" terimi ile ifade edilmektedirler. Inconel 718, uçak ve uzay endüstrisinde, ticari kullanımı olan süper alaşımlar arasında en çok kullanılan malzemedir.

görülmektedir. Araştırma ekibinin bu yoğunlaşmayı incelemesi sonucunda, panellerin, boyanma aşamasında, üst kenarlarından Inconel alaşımı bir askıyla tutturulduğu fark edilmiştir. Bu çengellerin periyodik temizlenmemesi sonucunda kırıntıların panele geçtiği anlaşılmıştır. Koruyucu bakım programının uygulanması (iki haftada bir askıların temizlenmesi) ve bu askıların yeniden tasarlanması ile toplam hata oranı % 19'dan % 4,8'e düşürülmüştür.

Inconel dışında ortaya çıkan diğer hata türleri (cam, organik ve demir) toplam hataların % 25'ini oluşturmaktadır. Ayrıca bu hatalar panelin herhangi bir noktasında bir yoğunlaşma göstermemektedir. Araştırma grubu buna rağmen ikinci hata türünü (cam) izleyerek oluşan hatada bir azaltmayı hedeflemişlerdir. Daha küçük ebatta askılarla taşındığı sürece bu tür hatanın 3 kat azalacağını ortaya çıkarmışlardır.

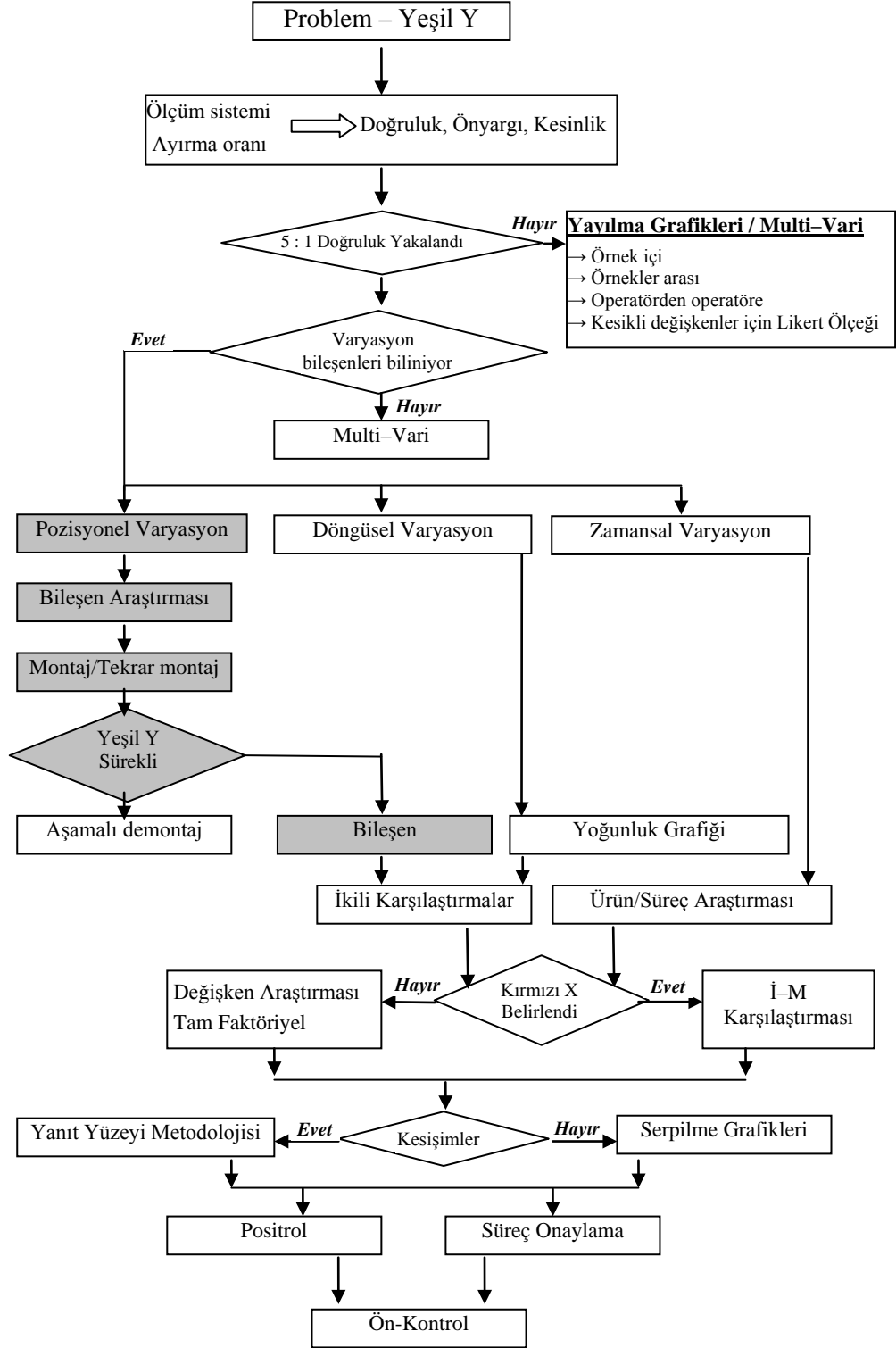
5.1.3. Bileşen Araştırması

İpucu Yaratma Araçlarının güçlü bir tekniği olan Bileşen Araştırması'nın amacı çıktıyı etkileyebilecek muhtemel nedenleri indirgemektir. Multi-Vari Tekniği ve Yoğunluk Grafiğinde olduğu gibi üretim sürecini durdurmaz. Ayrıca, Bileşen Araştırması, ürün hakkında çok fazla derinlemesine teknik bilgi gerektirmez. Binlerce nedenden oluşabilecek bir çıktı varyasyonunun nedenlerini Kırmızı X ailesinin oluşturabilecek kadar indirgeyebilir. En önemli avantajı, çok az bir örnek ile çalışmasıdır.

Multi-Vari çalışma genellikle varyasyonun üç ana bileşenini belirler. Ancak, baskın faktörün birimden birime değişen bir yapıda olduğu biliniyorsa veya aynı süreç ve aynı zaman dilimi içerisinde hem "iyi" hem de "kötü" sonuçlara ulaşıyorsa, Multi-Vari aşaması atlanarak Bileşen Araştırması'na geçilir. Şekil 4.2'nin bir adım ilerletilmiş halini gösteren Şekil 5.5'te bu durum koyu renklerle belirtilmiştir.

Bileşen Araştırması, problemin (Yeşil Y'nin) oluşturduğu dağılımın uç değerleri arasından sistematik olarak çektiği iki birimlik (iyi ve kötü) üzerinde çalışır. Bu teknik, proses bazlı montaj işlemlerinde kullanılabilir. Ancak, çıktı değişkeni (veya Yeşil Y) ölçülebilir olmalıdır. Doğru ölçüm için ölçü skalasının spesifikasyon limitlerinin en az beş katı olması gerekir.

Prototip tasarımlarda veya prototipin çalıştırılmasında Bileşen Araştırması kullanılabilir. Bunun yanı sıra seri üretim esnasında da varyasyonu etkileyen faktörlerin bulunması için bu tetkikten faydalanılabilir.



Şekil 5.5: Varyasyon düşürücü algoritma [28]

Yapılan Bileşen Araştırması'nda da hemen hemen tüm istatistiksel işlemler gibi rassallık önemli bir yere sahiptir. Shainin sistemi de deneyi yapacak araştırmacının sigorta poliçesi olarak rassallığın önemini vurgulamaktadır. Denemelerde rassallıktan uzaklaşmak, o deneyin istatistiksel geçerlilik etkisini de azaltmaktadır. Pek çok deneyde parametreler için (sıcaklık değişikliği gibi) rassallık zor sağlanan bir durum olduğundan, bu rassallığın sağlanmasıyla ilgili parametrelerin aşağıdaki özelliklerine dikkat etmek gerekmektedir: [55]

- Faktör seviyelerindeki değişikliğin maliyeti
- Deneysel düzene herhangi bir kontrol edilemeyen faktör eklenmiş olması
- Her deneme arasındaki ayar süresi
- Deneye alınacak faktörlerden kaç tanesinin çok pahalı veya kontrol edilmesinin zor olması
- Kullanılacak faktörlerin seviyelerinin değiştirilmesinin zor olup olmadığı

5.1.3.1. Bileşen Araştırması'nın Aşamaları

Bileşen Araştırması 4 aşamada yapılır: 1) Tahmini Değerlerin Bulunması, 2) Eleme, 3) Teyit Etme ve 4) Faktöriyel Analiz.

5.1.3.1.1. Tahmini değerlerin bulunması

Araştırma için doğru faktörlerin seçilip seçilmediği belirlenir. Eğer başarılı bir şekilde doğru parametreler (faktörler) belirlenmişse istatistiksel olarak % 95'lik bir güven düzeyi yakalanmış demektir [28]. Tahmini değerlerin bulunması için uygulanan adımlar şunlardır:

1. Üretim, kalite ve tasarım departmanlarından kişiler ve operatörlerin belirttiği Yeşil Y'ye sebep olan faktörler önem sırasına göre dizilir.
2. Bir günlük üretim içerisinde Yeşil Y'ye göre iki birimlik örnek belirlenir. Bu iki birimlik örnek içerisinde bir tane iyi bir tane de kötü birim bulunur. Bu birimler genellikle "iyinin iyisi – İİ" (Best Of the Best – BOB) ve "kötünün kötüsü – KK" (Worst Of the Worst – WOW) olarak belirlenir. İİ ve KK'nın birbirinden uzakta durması Kırmızı X'in daha kolay bulunmasına yardımcı olur.

3. İİ ve KK için rassal olarak iki farklı ölçüm daha alınır. Her bir faktörün 3 tane iyi ((+) seviye), 3 tane de kötü ((-) seviye) değerleri için toplamda 6 deney yapılır.
4. İİ ve KK'nın arasındaki farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olması gerekir. Bunun için faktörlerin hepsinin (+) seviyede olduğu durumun, hepsinin (-) seviyede olduğu durumdan daha iyi olması gerekmektedir.
5. Kritik değerlerin (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) belirlenen listenin içerisinde olup olmadığını anlamak için (+) ve (-) seviye değerlerinin medyanları arasındaki ilişkiye bakılır. $M^{(+)}$, (+) seviyeli grubunun medyanı ve $M^{(-)}$, (-) seviyeli grubunun medyanı olmak üzere medyan farkı (D_M) aşağıda verilen formül (5.1) ile elde edilir.

$$D_M = M^{(+)} - M^{(-)} \quad (5.1)$$

6. Çıktı değişkenlerinin (+) ve (-) seviye değerleri için ayrı ayrı değişim aralıkları hesaplanır ($R^{(+)}$: (+) seviyeli grubun değişim aralığı ve $R^{(-)}$: (-) seviyeli grubun değişim aralığı) ve bunların ortalaması (\bar{R}) alınır (5.2).

$$\bar{R} = \frac{R^{(+)} + R^{(-)}}{2} \quad (5.2)$$

7. İstatistiksel anlamlılık için medyan farkı ile değişim aralığı ortalaması oranlanır (D_M / \bar{R}). Eğer; $D_M / \bar{R} \geq 1,25$ ise kritik değerler (önemli faktörler) belirlenen listenin içerisinde ve $D_M / \bar{R} < 1,25$ ise kritik değerler belirlenen listenin içerisinde değildir olarak yorumlanır.
8. Medyan için Kontrol Limitleri hesaplanır. Buna “Karar Limitleri” adı da verilmektedir. Bu limitlerin bulunması için şu formüllerden (5.3 ve 5.4) yararlanılır:

$$KL(+)=M^{(+)} \mp t_{(\alpha; n-2)} \cdot \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right) \quad (5.3)$$

$$KL(-)=M^{(-)} \mp t_{(\alpha; n-2)} \cdot \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right) \quad (5.4)$$

Formüllerde kullanılan ifadeler şu anlama gelmektedir:

$M^{(+)}$: (+) seviyeli grubun medyanı

$M^{(-)}$: (-) seviyeli grubun medyanı

$t_{(\alpha; n-2)} = t_{(0,05; 6-2)} = 2,776$

\bar{R} = Medyan ortalaması

d_2 = İstatistiksel sabit sayı (= 1,81)

Bileşen Araştırması'nın aşamaları Anthony ve Yuen'in mancınıkla top fırlatma deneyinden [56] uyarlanan bir örnek üzerinde aşağıda anlatılmıştır. Bu deneyde topun düştüğü yer ile mancınık arasındaki uzaklık (cm) çıktı değişkeni olarak ele alınmaktadır (Yeşil Y). Bu deneyde topun daha uzağa düşmesi daha iyi sonuç alındığı anlamına gelmektedir. Yapılan ilk incelemelerde topun uzağa düşmesinde etkisi olan faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri Tablo 5.3'te listelenmiştir [56].

Tablo 5.3: Mancınıkla atılan topun ne kadar uzağa düşeceğine etkisi olacağı düşünülen faktörler ve seviyeleri.

Süreç Değişkenleri	Kod	(-) Seviye	(+) Seviye
Top Türü	TT	Hafif (H)	Ağır (A)
Lastik Türü	LT	Kahverengi (K)	Siyah (S)
Durma Pozisyonu	DP	1	4
Kanca Yüksekliği	KY	2	4
Askı Pozisyonu	AP	2	4
Çanak Pozisyonu	ÇP	5	6
Salma Açısı	SA	170	180

İlk önce bu değişkenlerin (faktörlerin) önem sırasına göre dizilmesi gerekmektedir. Bölümlerle konuşma sonunda faktörler, Yeşil Y'yi en fazla etkileyenden en az etkileyene kadar Tablo 5.4'te sıralanmıştır.

Tablo 5.4: Faktörlerin önem sırasına düzenlenmiş hali.

Süreç Değişkenleri	Kod	(-) Seviye	(+) Seviye
Durma Pozisyonu	DP	1	4
Kanca Yüksekliği	KY	2	4
Salma Açısı	SA	170	180
Askı Pozisyonu	AP	2	4
Top Türü	TT	Hafif (H)	Ağır (A)
Lastik Türü	LT	Kahverengi (K)	Siyah (S)
Çanak Pozisyonu	ÇP	5	6

Belirlenen bu sıralamaya göre başlangıç için ilk önce tüm faktörler (+) seviyesindeyken ve bir de (-) seviyesindeyken gözlem yapılır. Elde edilen bu gözlemlerin güçlenmesi için tüm faktörlerin (+) ve (-) seviyelerindeyken iki gözlem daha yapılır. Ancak bu gözlemler rassallık göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir. Böylece, 3 tane (+), 3 tane de (-) seviye için toplamda 6 deney yapılmış olur. Tablo 5.5'te rassal sırada yapılan deneylerin sonrasında elde edilen ölçümler verilmiştir.

Tablo 5.5: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin belirtilmesi. (Parantez içindeki sayılar rassal sırayı göstermektedir.)

Deney	Süreç Değişkenleri	Uzaklık (cm)
1 (3)	DP ₍₋₎ .KY ₍₋₎ .SA ₍₋₎ .AP ₍₋₎ .TT ₍₋₎ .LT ₍₋₎ .ÇP ₍₋₎	70
2 (4)	DP ₍₋₎ .KY ₍₋₎ .SA ₍₋₎ .AP ₍₋₎ .TT ₍₋₎ .LT ₍₋₎ .ÇP ₍₋₎	66
3 (1)	DP ₍₊₎ .KY ₍₊₎ .SA ₍₊₎ .AP ₍₊₎ .TT ₍₊₎ .LT ₍₊₎ .ÇP ₍₊₎	451
4 (6)	DP ₍₊₎ .KY ₍₊₎ .SA ₍₊₎ .AP ₍₊₎ .TT ₍₊₎ .LT ₍₊₎ .ÇP ₍₊₎	448
5 (2)	DP ₍₋₎ .KY ₍₋₎ .SA ₍₋₎ .AP ₍₋₎ .TT ₍₋₎ .LT ₍₋₎ .ÇP ₍₋₎	63
6 (5)	DP ₍₊₎ .KY ₍₊₎ .SA ₍₊₎ .AP ₍₊₎ .TT ₍₊₎ .LT ₍₊₎ .ÇP ₍₊₎	453

Faktörlerin iyi ve kötü seviyelerine göre elde edilen deney sonuçları, Tablo 5.6'da özetlenmiştir.

Tablo 5.6: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin seviyelere göre ayrılması

	Deneyler	Kötü Atış (cm)	İyi Atış (cm)
Başlangıç	1. ve 2. Deneyler	70	451
İkincil Gözlemler	3. ve 4. Deneyler	66	448
Üçüncül Gözlemler	5. ve 6. Deneyler	63	453

Öncelikle Kötü (-) ve İyi (+) gruplarının medyan değerleri alınır:

$$M^{(-)} = 66 \quad \text{ve} \quad M^{(+)} = 451$$

Kötü ve İyi gruplarının değişim aralığı hesaplanır:

$$R^{(-)} = 70 - 63 = 7 \quad \text{ve} \quad R^{(+)} = 453 - 448 = 5$$

Medyan değerlerinin farkı (5.1) formülüyle alınır:

$$D_M = M^{(+)} - M^{(-)} = 451 - 66 = 385$$

Değişim aralıklarının aritmetik ortalaması hesaplanır (5.2):

$$\bar{R} = \frac{R^{(+)} + R^{(-)}}{2} \rightarrow \bar{R} = \frac{5+7}{2} = 6$$

$\frac{D_M}{\bar{R}}$ oranı hesaplanarak kritik değerlerin (önemli faktörlerin) belirlenen listenin içerisinde olup olmadığı test edilir.

$$\frac{D_M}{\bar{R}} = \frac{385}{6} = 64,1 \geq 1,25 \text{ olduğu için listedeki faktörlerin doğru belirlendiği söylenir.}$$

Bu aşamadan sonra medyan için “Kontrol Limitleri” (5.3) ve (5.4) formülleri yardımıyla hesaplanır:

$$KL(+)= 451 \mp 2,776 \cdot \left(\frac{6}{1,81} \right) = (441,8 ; 460,2)$$

$$KL(-)= 66 \mp 2,776 \cdot \left(\frac{6}{1,81} \right) = (56,8 ; 75,2) \quad \text{olarak bulunur.}$$

5.1.3.1.2. Önemsiz faktörlerin elenmesi

Önemsiz olarak belirlenen faktörler ve bunlara bağlı olarak ortaya çıkan etkileşimler elenir. Bu eleme için faktörlerin yer değiştirerek oluşturduğu ikili kıyaslamalar yapılır. Bu kıyaslama için de aşağıdaki adımlar izlenir.

1. En önemli olarak belirtilen faktör (–) seviyesindeyken diğer faktörler (+) seviyesinde tutularak deney yapılır (7. Deney). Hemen peşinden, en önemli görülen faktörün (+), diğerlerinin (–) seviyeleri tutularak (seviyeler yer değiştirerek-swapping)) bir deney daha yapılır (8. deney).
2. Yapılan bu deney sonucunda elde edilen yanıt değişkenleri karar limitleri (medyan limitleri) içerisinde yer alırsa, incelenen bu faktör elenir. Eğer limitler dışındaysa, “varyasyonun oluşmasında etkilidir” olarak değerlendirme yapılır.
3. Bu işlem (swapping) kritik değerlerin bulunmasına kadar devam eder.
4. Yapılan deneyler sonrasında elde edilen 2 veya 3 faktör bir sonraki aşama olan “Teyit Etme” (Capping Run) işlemine girer

Anthony ve Yuen’in çalışmasına döndüğümüzde, faktörler belirtilen önem sırasına göre teker teker ele alınır. İlk önce birinci faktör DP (–) seviyesindeyken diğer faktörler (+) seviyelerinde tutularak bir deney yapılır (7. deney). Hemen arkasından Seviyelerin yerleri değiştirilerek ikinci deney yapılır (8. deney). (Tablo5.7)

Tablo 5.7: 7. ve 8. deney sonuçları

Deney	Süreç Değişkenleri	Uzaklık (cm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
7	DP ₍₋₎ .KY ₍₊₎ .SA ₍₊₎ .AP ₍₊₎ .TT ₍₊₎ .LT ₍₊₎ .ÇP ₍₊₎	350	441,8 – 460,2	DP önemlidir.
8	DP ₍₊₎ .KY ₍₋₎ .SA ₍₋₎ .AP ₍₋₎ .TT ₍₋₎ .LT ₍₋₎ .ÇP ₍₋₎	104	56,8 – 75,2	DP önemlidir.

Elde edilen yeni uzaklık değerleri kontrol limitleri dışında olduğu için, DP sonuca etki eden önemli bir faktör olarak değerlendirilir. Sonraki önemli faktörün belirlenmesi için ikinci sıradaki faktör için benzer bir ikili deney daha yapılır. (Tablo 5.8)

Tablo 5.8: 9. ve 10. deney sonuçları

Deney	Süreç Değişkenleri	Uzaklık (cm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
9	DP ₍₊₎ , KY ₍₋₎ , SA ₍₊₎ , AP ₍₊₎ , TT ₍₊₎ , LT ₍₊₎ , ÇP ₍₊₎	324	441,8 – 460,2	KY önemlidir.
10	DP ₍₋₎ , KY ₍₊₎ , SA ₍₋₎ , AP ₍₋₎ , TT ₍₋₎ , LT ₍₋₎ , ÇP ₍₋₎	249	56,8 – 75,2	KY önemlidir.

Yapılan 9 ve 10. deneyler sonrasında da KY faktörü önemli olarak sonuçlanmıştır. Elde edilen bu sonuçları doğrulamak için “Teyit Etme Prosedürü” uygulanır.

5.1.3.1.3. Teyit etme (Capping Run)

Teyit etme aşamasında önceki aşamada seçilen ve önemli olarak nitelenen faktörler ile önemsiz faktörler ayrıştırılarak bunların doğru bir biçimde tespit edilip edilmediği onaylanır. Teyit Etme Prosedürü için aşağıdaki adımlar izlenir:

1. İkinci aşamadan çıkan önemli faktörler (+) seviyesindeyken geri kalan faktörlerin (-) seviyeleri ile ve tam tersi seviye değerleri ile iki deney daha yapılır.
2. Bu iki deney sonucunda eğer çıktı değişkeni medyan limitleri içerisinde yer alıyorsa kritik değerlerden bazılarına ulaşılmıştır. (Capping run başarılı olmuştur).
3. Eğer çıktı değişkenleri karar limitlerinin dışında yer alırsa, muhtemelen ilk aşamada kritik faktörler ıskalanmıştır ve belirlenen listede yer almamıştır. Veya yeni kritik değerler belirlenmelidir.

Örnekte, DP ve KY önemli varyasyonu etkileyen önemli faktörler olarak belirtilmiştir. Bundan sonra bu kararın doğruluğu teyit edilir. Bunun için iki deney daha yapılır. 11. deneyde DP ve KY (+) seviyelerinde tutularak diğer faktörler (-) seviyelerinde bırakılır. 12. deneyde ise bu seviyeler yer değiştirir. (Tablo 5.9)

Tablo 5.9: 11. ve 12. deney sonuçları

Deney	Süreç Değişkenleri	Uzaklık (cm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
11	DP₍₊₎ , KY₍₊₎ , SA ₍₋₎ , AP ₍₋₎ , TT ₍₋₎ , LT ₍₋₎ , ÇP ₍₋₎	392	441,8 – 460,2	Teyit etme başarısız.
12	DP₍₋₎ , KY₍₋₎ , SA ₍₊₎ , AP ₍₊₎ , TT ₍₊₎ , LT ₍₊₎ , ÇP ₍₊₎	106	56,8 – 75,2	Teyit etme başarısız.

Çıktı sonuçları kontrol limitlerinin dışında çıktığı için teyit süreci (capping run) başarısız olmuştur. Bu nedenle sıradaki faktör (SA) için bir ikili deney daha yapılır. Eğer bu faktör önemli çıkarsa bu sefer üç önemli faktör için bir teyit süreci daha gerçekleştirilir. (Tablo 5.10)

Tablo 5.10: 13. ve 14. deney sonuçları

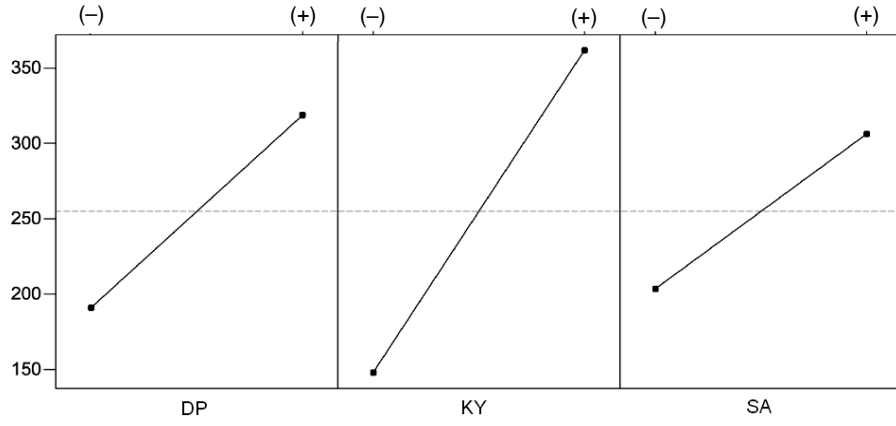
Deney	Süreç Değişkenleri	Uzaklık (cm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
13	DP ₍₊₎ , KY ₍₊₎ , SA₍₋₎ , AP ₍₊₎ , TT ₍₊₎ , LT ₍₊₎ , ÇP ₍₊₎	403	441,8 – 460,2	SA önemlidir
14	DP ₍₋₎ , KY ₍₋₎ , SA₍₊₎ , AP ₍₋₎ , TT ₍₋₎ , LT ₍₋₎ , ÇP ₍₋₎	966	56,8 – 75,2	SA önemlidir

SA'nın da sonucu etkileyen bir faktör olarak ortaya çıkmasının ardından bir teyit süreci daha yaşanır. Bu sefer ilk üç faktör ilk önce (+) seviyelerinde tutulur. Sonra da (-) seviyelerinde tutularak geri kalan faktörler tam tersi seviyelerinde bırakılır. (Tablo 5.11)

Tablo 5.11: 15. ve 16. deney sonuçları

Deney	Süreç Değişkenleri	Uzaklık (cm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
15	DP₍₊₎ , KY₍₊₎ , SA₍₊₎ , AP ₍₋₎ , TT ₍₋₎ , LT ₍₋₎ , ÇP ₍₋₎	392	441,8 – 460,2	Teyit etme başarılı
16	DP₍₋₎ , KY₍₋₎ , SA₍₋₎ , AP ₍₊₎ , TT ₍₊₎ , LT ₍₊₎ , ÇP ₍₊₎	106	56,8 – 75,2	Teyit etme başarılı.

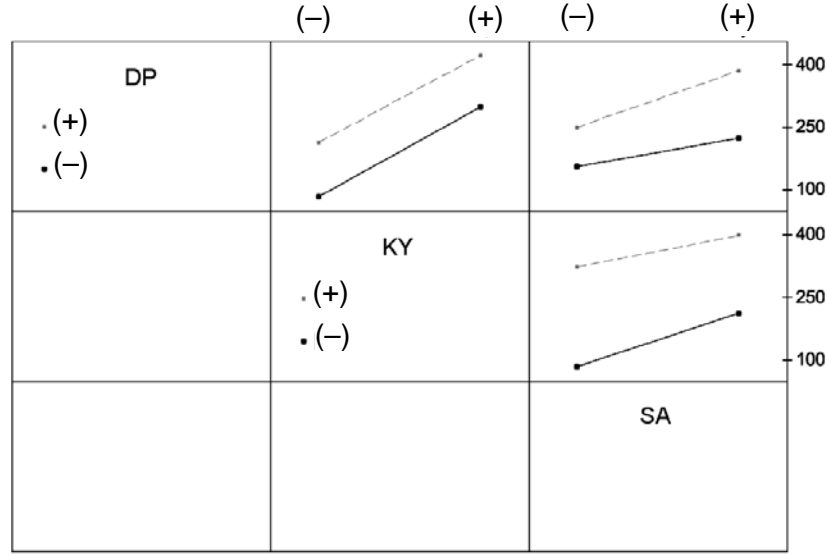
Bu durumda ilk üç faktör sonucu daha çok etkilemektedir. Teyit sonrasında geri kalan faktörleri incelemek gerekmemektedir. Belirlenen bu üç ana faktörün (DP, KY ve SA) (+) seviyelerindeyken daha iyi sonuç alındığı (uzaklığın arttığı) görülmektedir. Sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 5.6'da sunulmuştur.



Şekil 5.6: Önemli faktörlerin (+) ve (-) seviyeleri

Faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan çizgiler paralel bir yapı gösteriyorsa bu iki faktör arasında etkileşim yok demektir. Eğer grafik içerisinde bir kesişim söz konusu ise etkileşimden söz edilebilir. Çizgiler kesişmiyor ancak paralel bir durum da göstermiyorsa, bu iki faktörün zayıf bir etkileşim etkisi olduğu sonucu çıkartılabilir.

Aşağıdaki grafiklere bakıldığında herhangi bir kesişim görülmemektedir. Bu durumda sonuç varyasyonunu sadece belirlenen ana etkiler (DP, KY ve SA) belirlemektedir. Herhangi bir etkileşimin varyasyonda anlamlı bir etkisi yoktur.



Şekil 5.7: Önemli faktörlerin etkileşim grafiği

5.1.3.1.4. Faktöriyel analiz

İlk üç aşama sonunda elde edilen faktörlere göre tam faktöriyelli deney matrisinin tasarlanarak, ana etkilerin ve etkileşimlerin yönü belirlenir. Bu aşama yeni bir deney değil, yapılan deneylerin hesaplanması aşamasıdır. Belirlenen faktör sayısına (n) göre 2^n lik tam faktöriyelli deney matrisi tasarlanır. Yapılan deney sonuçlarına göre ana ve etkileşim etkileri belirlenir. ¹ (Tablo 5.12)

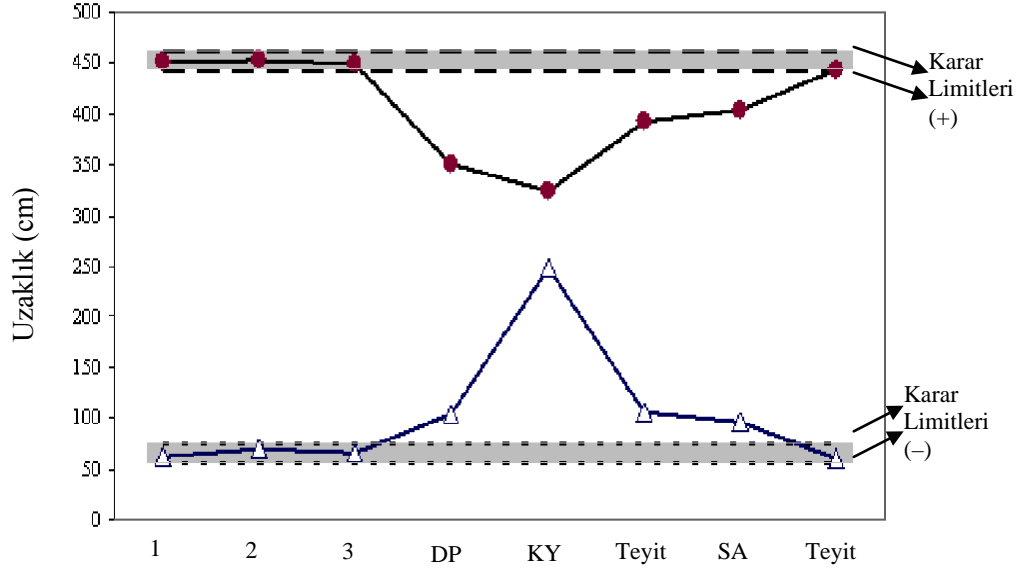
Tablo 5.12: Mancınık Deneyi için Faktöriyel Analiz tablosu

		DP (+)	DP (-)		
KY(+)	SA (+)	453 451 (Medyan = 449,5)	443 448 (Medyan = 350)	350	→ SA(+) = 799,5 KY (+) = 1580
	SA (-)	392 403 (Medyan = 379,5)	401 (Medyan = 401)	401	
KY(-)	SA (+)	324 (Medyan = 324)	106 96 (Medyan = 101)	106	→ SA(+) = 425 KY (-) = 1236
	SA (-)	395 (Medyan = 395)	421 417 (Medyan = 416)	409 415	
		↓	↓		
		DP (+) = 1584	DP (-) = 1268	DP _{Fark} = 316	
		KY(+) = 1580	KY(-) = 1236	KY _{Fark} = 344	
		SA (+) = 799,5 + 425 = 1224,5	SA (-) = 780,5 + 811 = 1591,5	SA _{Fark} = -367	

Bileşen Araştırması'nın sonunda oluşturulacak faktöriyel analiz tablosunun görsel ifadesi olarak, varyasyonu etkileyen faktörlerin belirlenmesinde grafikten de yararlanılabilir. Aşağıdaki grafikte (Şekil 5.8) gri bölgeyi oluşturan alanlar deneyler sonucunda elde edilen karar limitlerini göstermektedir. Üstteki gri alan, ölçümlerin hepsinin (+) seviye pozisyonundayken elde edilebilecek bölgeyi tarif ederken, alttaki gri alan da tüm seviyelerin (-) seviye olduğu durumda karşılaşılabilecek durumu göstermektedir.

¹ Deney matrisi ile ilgili örnek "Değişken Araştırması" bölümünde verilmiştir.

Önceki incelemelerde herhangi bir etkileşimin olmadığı belirlendiği için sadece üç ana faktöre dair grafik çizilmiştir. DP (Durma Pozisyonu), KY (Kanca Yüksekliği) ve SA (Salma Açısı) faktörleri (+) seviyesindeyken karar limitlerinin “iyi” olarak adlandırılan alanın dışına çıkmışlardır. Benzer şekilde yine bu üç faktörün hepsi (-) seviyelerindeyken bu sefer de “kötü” olarak nitelenen karar limitlerinin üzerinde değer almışlardır.



Şekil 5.8: Tüm deneylerin ortaya çıkardığı sonuçlar (Gri alanlar kontrol limitlerini göstermektedir)

Faktörlerin karar limitlerinin dışında bir değer ortaya çıkarması önceden de belirtildiği üzere, o değişkeni varyasyonu etkileyen önemli bir faktör olarak nitelendirir.

5.1.4. İkili karşılaştırmalar

Hemen hemen aynı zaman diliminde hem iyi hem de kötü nitelikte birimler üretiliyorsa Multi-Vari atlanıp Bileşen Araştırması onun yerine kullanılabilir. Ancak, Bileşen Araştırması'nın önkoşulu olan söz konusu iyi ve kötü ürünlerin yeterli ölçüde olmaması durumunda veya ölçüm yapılacağı zaman yapılan işlem ürüne zarar veriyorsa, onu yok ediyorsa ya da iyi ve kötü ürünleri radikal bir değişikliğe uğratiyorsa bu aşama da atlanarak İkili Karşılaştırmalar yapılır.

İkili Karşılaştırmalar, İpucu Yaratma Tekniklerinde olduğu gibi süreci durdurmaz. Ayrıca, bu teknikle basit bir karşılaştırma için sadece 12 ile 16 arasında gözleme ihtiyaç vardır. Bu gözlemlerin 6-8 tanesi “İyi” ve diğer 6-8 tanesi de “Kötü” birimlere ait olmalıdır. Bunun yanında, elde edilen sonuçlarla, ölçülen parametre veya kalite karakteristiğinin (faktörlerin) önemli olup olmadıkları %90'nın üzerinde yüksek bir güven düzeyiyle ortaya konulur.

İkili karşılaştırmalar, özellikle üretim aşamasında ve şikayet durumunda hata oranlarının analizi sırasında kullanılır. İkili karşılaştırmaları yapabilmek için ilk şart olarak çıktının (Yeşil Y) ölçülebilir olması gerekmektedir. Ölçek değeri spesifikasyon toleransının beş katı olmalıdır. Bunun yanı sıra, işleme katılacak her birimin belirli bir zaman dilimi İİ ve KK değerleri alınır. Eğer kalite karakteristikleri kesikli değişken yapındaysa, bunlar Likert ölçeğine göre sayısallaştırılır.

5.1.4.1. İkili karşılaştırmaların uygulama aşamaları

İkili karşılaştırmalar yapabilmek için aşağıdaki adımlara uyulması gerekmektedir.

1. Yeşil Y'nin araştırılmasına ilişkin olarak, mümkün olan en iyi (İİ) ve en kötü (KK) sonuçlardan altı veya sekiz adet seçilir. Uç değer olarak nitelenebilecek değerlerin ortaya çıkması Kırmızı X'in bulunmasını kolaylaştıracaktır.
2. Yeşil Y'nin İİ ve KK değerleri arasındaki farkın anlaşılabilmesi için pek çok parametre veya kalite değişkeni listelenir.
3. Elde edilen 6 veya 8 çift iyi ve kötü değerlerden oluşan ölçümler en küçükten en büyüğe (veya tam tersi) yönde sıralanır. Bu sıralama yapılırken verilerin iyi veya kötü özellikte mi oldukları belirtilir.
4. Listelenen verilere Tukey Testi uygulanır.
5. Yapılan test sonucuna göre uç-sayım değerleri 6 veya daha çok olursa, ilgili parametrenin iyi ve kötü birimleri arasındaki farkı %90 veya daha üzerinde bir güven düzeyinde açıklanabilmektedir sonucuna varılır.
6. Eğer uç-sayım değerleri 5 veya daha az çıkarsa iyi ve kötü birimler arasındaki fark anlamlı değildir olarak yorumlanır.

5.1.4.2. Tukey Testi'nin ikili karşılaştırmalarda kullanımı

John Tukey tarafından geliştirilen bu testin amacı yüksek bir güvenilirlik oranıyla önemli olarak nitelenen parametrenin belirlenmesini sağlamaktır. Bu yöntem parametrik olmayan değişkenlerin karşılaştırılmasında kullanılır. Sadece İkili Karşılaştırmalar'da değil Tam Faktöriyelli Deneylerde ve İ – M Karşılaştırması'nda da Tukey Testinden yararlanır.

5.1.4.2.1. Tukey Testi'nin istatistiksel ifadesi

Tukey Testi kombinasyon formülü üzerinden çalışır. Kombinasyon formülünde n, toplam data miktarını, r, "iyi" birimleri ve (n – r) ise "kötü" birimleri temsil etmektedir.

$$C_n^r = \binom{n}{r} = \frac{n!}{r!.(n-r)!} \quad (5.5)$$

Tekrarlar olmadan gözlenen toplam 16 birimin (8 tane iyi ve 8 tane de kötü birim) ortaya çıkartacağı kombinasyon değeri (5.5) formülü sonucunda aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\binom{16}{8} = \frac{16!}{8!.(16-8)!} = 12.870$$

Ortaya çıkan bu kombinasyonlar düşünüldüğünde sadece iki durumun rassal olarak tam olarak örtüşmediği ortadadır. Bunlar; ya 8 tane iyi kötünün üzerinde çıkabilir veya tam tersi olabilme durumlarıdır. Yani, yanlış bir sonuca varma riski sadece 12.780'de 2'dir veya % 0,016'lık bir şansa sahiptir. Bu nedenle, 6 birimlik bir gözlem için toplam uç-sayımın ortaya çıkartacağı güven seviyesi %99,984 olacaktır. Bu da, Tukey Testi'nin çok yüksek bir güven düzeyi ne sahip olduğunu göstermektedir.

Tukey Testi sonucunda elde edilen düzeyi, altı veya daha çok sayıdaki iyi ve kötü birimlerden oluşan örnek büyüklüklerinden bağımsız olarak gelişir. Eğer örnek

büyükükleri 12 iyi ve 12 kötü birimden oluşmuş olsaydı, ortaya çıkacak daha geniş bir güven düzeyinin çok fazla önemi olmayacaktır. Çünkü güven düzeylerini sadece uç-sayımların toplam değeri belirlemektedir. Eğer toplam uç-sayım değeri 20 olursa, güven düzeyi %99,9'un üzerine çıkacaktır. Bu durumda, daha yüksek bir güven düzeyinin oluşması için daha çok örnek gerektirdiği anlamını çıkarılamaz.

Hesaplanan toplam uç-sayım değerlerine göre oluşacak güven düzeylerine ait örnek bir tablo aşağıda verilmiştir:[28] (Tablo 5.13)

Tablo 5.13: İkili Karşılaştırmalarda toplam uç-sayım miktarına göre güven düzeyleri

Toplam Uç-Sayım Miktarı	Güven Düzeyi
6	% 90
7	% 95
10	% 99
11	%99,5
12	% 99,7
13	% 99,9

Kombinasyon formülüne bağlı olarak geliştirilen bu istatistiksel teoride iyi ve kötü birimlerin %20'sinin birbirin içinde olduğunu söyler.

Testin uygulama aşamaları şu şekildedir:

1. Elde edilen ölçüm sonuçları iyi (İ) ve kötü (K) değerleri de belirtilerek küçükten büyüğe doğru (veya tam tersi) sıralanır.
2. Listenin üst kısmından başlayarak "iyilerin" (veya "kötülerin") oluşturduğu grup ile "kötü"nün (veya "iyi"nin) başlangıcı arasına bir çizgi çekilir. Çizginin üst kısmında kalan miktar uç-sayım değerini oluşturur. Benzer şekilde listenin alt kısmında da iyi ve kötü değişiminin arasına bir çizgi çekilir.
3. Son aşama olarak listenin altına üstteki ve alttaki uç-sayım değerlerinin toplamı yazılır. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta vardır. Eğer, üstte elde edilen birimler "iyiler"den oluşuyorsa alttaki birimler de "kötüler"den oluşmalıdır

(veya tam tersi). Böylece, farklı türdeki bu iki uç değerlerin uç-sayımları toplanır. Eğer söz konusu iki uçtaki birimler aynı türden oluşuyorsa (ikisi de “iyi” veya “kötü”) uç-sayımların toplam değerleri sıfır olur.

Uç-sayım değerlerinin bulunmasında dikkat edilmesi gereken noktalar:

1. Üst uç-sayım değerinin bulunması için sıralanmış verilerde en üstte bulunan grup miktarı diğer grupla karşılaşıncaya kadar sayılarak elde edilir. Alt uç-sayım değeri de aşağıdan yukarıya doğru aynı şekilde sayılarak bulunur.
2. Eğer aynı değere sahip “iyi” ve “kötü” arasında bağlantı sağlayan birimlerle karşılaşılırsa bu karşılaşmaya 0,5 puan verilir ve “bağlantı sayımı” olarak isimlendirilir. Alt veya üst uç-sayımlara eklenir.
3. Uç-sayım içerisine girmeyen birimler “artan kısım”ı veya ara değeri (overlap) oluştururlar.
4. Toplam uç-sayım değerleri hesaplanırken tüm alt ve üst uç-sayımlar toplanır.

Tukey Testi ile yapılan İkili Karşılaştırmalar aşağıdaki örnekle daha iyi anlaşılacaktır [28]. Kontakt lens üreten bir firmada, ürünlerin %3’ünün belirlenen standartların dışına çıkarak optik özelliğini kaybettiği görülmüştür. Kavisli iki plastik parçanın birbirine “hema” adı verilen bir birleştiriciyle tutturularak oluşan kontakt lensler, birleştirme işlemi tamamlandıktan sonra tekrar parçalanmamaktadır. Bu nedenle Bileşen Araştırması uygulanamamaktadır.

Deney ekibi, hedef değere yakın ve hedef değerden uzak 6’şar adet kontakt lensi (toplam 12 adet) rastgele seçmiştir. Test edilecek kalite parametreleri de şu şekilde belirlenmiştir:

Ön Silindir : Lenslerin ön kavisi (mm)

Arka Silindir : Lenslerin arka kavisi (mm)

UV Emişi : UV ışınlarının emilimin yüzde olarak ifadesi (%)

Polarizasyon : Işığın objektiften kırılma şekli (kategorik, 1 ile 5 arasında)

Kalıp : Lenslerin şeklinin verildiği kalıp. (kategorik, 1-Bombeli, 2-Bombesiz)

Elde edilen iyi ve kötü ürünlerin yukarıda belirtilen parametrelere göre dağılımı Tablo 5.14'te gösterilmiştir. Bu tabloya bakıldığında Kırmızı X değerini görmek mümkün olabilir. Ön Silindir parametresinin, “iyi” grubuna ait tüm ölçümlerin “kötü” grubuna göre daha düşük olduğu görülmektedir. İyi grubunun en yüksek değeri, kötü grubunun en düşük değerinden daha aşağıdadır. Diğer parametrelerde böyle bir durum söz konusu olmadığı için Kırmızı X olarak Ön-Silindir belirlenebilir.

Tablo 5.14: Kontakt lens örneği için ölçülen parametreler

Ölçülen Parametreler					
	Ön Silindir	Arka Silindir	UV Emişi	Polarizasyon	Kalıp
İyi	0,030 mm	0,074 mm	9.8%	1	Bombeli
İyi	0,020 mm	0,043 mm	8.8%	1	Bombesiz
İyi	0,018 mm	0,069 mm	10.9%	1	Bombeli
İyi	0,016 mm	0,058 mm	11.2%	1	Bombeli
İyi	0,030 mm	0,063 mm	9.9%	1	Bombesiz
İyi	0,026 mm	0,072 mm	8.9%	1	Bombesiz
Kötü	0,055 mm	0,053 mm	9.3%	1	Bombesiz
Kötü	0,053 mm	0,048 mm	7.8%	2	Bombesiz
Kötü	0,051 mm	0,049 mm	7.4%	3	Bombesiz
Kötü	0,048 mm	0,049 mm	8.7%	4	Bombeli
Kötü	0,051 mm	0,077 mm	8.8%	2	Bombesiz
Kötü	0,056 mm	0,070 mm	11.2%	5	Bombeli

Yapılacak Tukey Testi için her parametre küçükten büyüğe doğru sıralanır ve hangi grupta olduğu yanına yazılır. Tablo 5.15'te sadece kalıp parametresine ait değerler yazılmamıştır. Çünkü ikili bir Likert ölçeğine göre belirlenen kalıp değişkenleri güvenli bir sonuç vermeyecektir.

Tablo 5.15'e bakıldığı zaman, toplam uç-sayımların en yükseği, 12 değeri ve %99,7'lik güven düzeyiyle Ön Silindir parametresine aittir. Net olarak 6 birim İ grubunda ve diğer 6 birim de K grubunda yer almaktadır.

Tablo 5.15: Kontakt lens örneği için Tukey Testi

Sıra	Parametreler			
	Ön Silindir (mm)	Arka Silindir (mm)	UV Emişi (%)	Polarizasyon (Kategorik)
1	0,016 İ	0,043 İ	7,4 K	1 İ
2	0,018 İ	0,048 K	7,8 K	1 İ
3	0,02 İ	0,049 K	8,7 K	1 İ
4	0,026 İ	0,049 K	8,8 K	1 İ
5	0,03 İ	0,053 K	8,8 İ	1 İ
6	0,03 İ	0,058 İ	8,9 İ	1 K
7	0,048 K	0,063 İ	9,3 K	1 İ
8	0,051 K	0,069 İ	9,8 İ	2 K
9	0,051 K	0,07 K	9,9 İ	2 K
10	0,053 K	0,072 İ	10,9 İ	3 K
11	0,054 K	0,074 İ	11,2 K	4 K
12	0,056 K	0,077 K	11,2 İ	5 K
Toplam Uç-Sayım	6 + 6 = 12	1 + 1 = 2	3 + 0,5 + 0,5 = 4	5+0,5+5 = 10,5
Güven Düzeyi	99,70%	Yok	Yok	99,20%

Arka Silindir için toplam uç-sayım değeri 2'dir. 5'in altında olduğu için iyi ve kötü birimler arasında anlamlı bir güven düzeyi oluşmamaktadır.

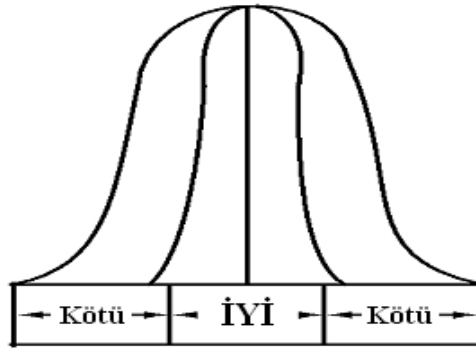
UV Emişi parametresinde üst uç-sayım değeri 3'tür. Üst değerde K'den İ'ye aynı değerle geçiş olduğu için (% 8,8'lik hem K, hem de İ değeri var) bağlantı sayım değeri olarak 0,5 puan verilir. Böylece üst uç-sayım değeri 3,5 olur. Aynı şekilde alt uç-sayım değerinde de bir bağlantı ortaya çıkmıştır. % 11,2'de hem İ hem de K grubu bulunmaktadır. Buradan da alt uç-sayım değeri olarak 0,5 alınır. Toplam uç-sayım değeri (3 + 0,5 + 0,5) 4 çıkar. Arka silindirde olduğu gibi 5'in altında çıktığı için iyi ve kötü arasında anlamlı bir farklılık bulunmaz.

Polarizasyon parametresinde üst uç-sayım 5,5 çıkmıştır (5 puan İ ve 0,5 puan 1 kategorisi için İ ve K bağlantısında). 5 puan da alt uç-sayım değerinden elde edilmiştir.

Toplam uç-sayım miktarı 10,5 olmuştur ve bu da %99,2'lik bir güven düzeyi anlamına gelir. Ayrıca ortaya çıkan bu toplam uç-sayım değeri Ön Silindir parametresinden sonra geldiği için Pembe X olarak belirlenir.

5.1.4.2.2. Tukey Testi'nin uygulamasında karşılaşılabilecek bir sorun

Tukey Testi sırasında, parametreler, iyi veya kötü gruba ait olduklarını belirten etiketleri ile birlikte büyüklüklerine göre sıralanırlar. Her iki uça farklı iki grubun olması beklenir. Eğer her iki uça da aynı tür sonuç çıkarsa toplam uç-sayım değeri sıfır olacağı için anlamlı bir farklılık tespit edilemez. Özellikle uç değerler kötü ve ara değerlerin de iyi birimlerden oluştuğu sıralamalar sıklıkla karşılaşılan durumlardır. Şekil 5.9'da da bu durum gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 5.9: Parametre dağılışı ve önem sıralaması

Böyle bir durumla karşılaşıldığı zaman Tukey Testi için parametrelerin ölçüm değerleri değil, hedef değere olan uzaklıkları (sapma değerleri) teste tabii tutulur.

Yukarıda verilen kontakt lens örneğinde Ön Silindir parametresinin İyi ve Kötü gruplarına dağılımını değiştirelim. Bu durumda, Üst ve Alt-Uç değerler Kötü birimlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla toplam uç-sayım değerine ulaşamamaktadır. Hedef değer 0,040 olduğu varsayılırsa, sapma değerleri her ölçüm sonucunun hedef değerden teker teker çıkartılmasıyla elde edilir. Bulunan sapma değerleri sıraya dizilerek tipik Tukey Testi yardımıyla çözülür. (Tablo 5.10)

Tablo 5.16: Tukey Testi'nde orta kısmın iyi ve kuyruk kısmının kötü olduğu durum

Orijinal Sıralama	Ön Silindir	Sapmalar (Hedef değer=0,040)	Sapmalara göre yeni sıralama
1	0,016 K	0,024 K	0,008 İ
2	0,018 K	0,022 K	0,010 İ
3	0,020 K	0,020 K	0,010 İ
4	0,026 İ	0,014 İ	0,011 İ
5	0,030 İ	0,010 İ	0,011 İ
6	0,030 İ	0,010 İ	0,013 K
7	0,048 İ	0,008 İ	0,014 İ
8	0,051 İ	0,011 İ	0,015 K
9	0,051 İ	0,011 İ	0,016 K
10	0,053 K	0,013 K	0,020 K
11	0,055 K	0,015 K	0,022 K
12	0,056 K	0,016 K	0,024 K
Toplam Uç-Sayım			5 + 5 = 10

Oluşturulan yeni sıralamaya göre toplam Uç-Sayım 10 olarak bulunmuştur. Bu da %99'luk bir güven düzeyi sağlamaktadır.

5.1.5. Ürün/Süreç Araştırması

Ürün/Süreç Araştırmasının amacı, üretimi durdurmadan çıktı değişkenliğini etkileyen faktörleri tespit etmektir. Uygulaması İkili Karşılaştırmalara benzer. Ancak, İkili Karşılaştırmalar sadece ürün üzerinde bir test yapabilirken, bu teknikle süreç üzerinde de bir araştırma yapılabilir. Böylece önemli ve önemsiz süreç parametreleri elenebilmektedir.

Ürün/Süreç Araştırması yöntemi bazı basit mantıksal çıkarımlarda hareket eder. Bir ürün çıktısında oluşan varyasyonun iki ana sebebi vardır. Bunlar ya hammaddeden kaynaklanan ve ürünün bünyesinde olan sorunlar, ya da üretim sürecindeki bir veya birkaç proses parametresinden kaynaklanan sorunlardır.

Ürün/Süreç Araştırması, Kırmızı X'in Multi-Vari analizinde yer alan zamansal bileşenin içerisinde olduğundan şüphelenildiğinde kullanılır.

Bitmiş bir üründeki varyasyonun incelenmesinde Bileşen Araştırması veya İkili Karşılaştırmalar yapılabilir. Bu Ürün/Süreç Araştırmasının “Ürün” ayağıdır. Ancak, vardiya, üretimdeki yer değiştirmeler veya dalgalanmalar ya da zamansal değişiklikler “Süreç” ayağını etkileyebilecek parametreler olarak nitelenebilir. Bu farklılıkları incelemek için İkili Karşılaştırmalara benzer bir test uygulanır. Bu test için üründen 6 veya 8'er adet iyi ve kötü birim alınır. Ancak bir farklılık olarak, bu ürünler süreç parametreleriyle ilişkilendirilir.

Ürün/Süreç Araştırmasının sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için aşağıda belirtilen noktalara dikkat edilmelidir.

1. Bitmiş ürünlere olumsuz etkilediğinden şüphelenilen süreç parametreleri azalan bir şekilde sıralanır.
2. Her bir süreç parametresinin nasıl ölçüleceği, kimin ölçeceği ve nerede ölçüleceği belirlenir.
3. Ölçek değerinin proses parametresinin tolerans değerinden en az 5 kat daha fazla olması sağlanmalıdır. Örneğin, bir elektrik devresinin $15\text{ohm} \pm \%5$ 'lik bir aralık içerisinde olması isteniyorsa, ölçek değerinin en fazla $\pm \%1$ değerinde alınması gereklidir.
4. Proses parametrelerinin ölçümleri yapılırken, belirli veya sınırlı ayarlamaları değil, fiili ayarlamalar üzerinden çalışılmalıdır.
5. Eğer belirli bir süreç parametresinin herhangi bir varyasyon yarattığı gözlenmemişse, o parametre elenir.
6. Eğer üretimde çok fazla hata oluşuyorsa sürecin hepsi gözlenmelidir. Veya Multi-Vari çalışmasında olduğu gibi süreç sonunda 8 tane iyi, 8 tane de kötü nitelikte ürün gözlenir. Ancak, ortaya çıkan en iyi ve en kötü değerlendirme arasında mevcut varyasyonun en az $\%80$ 'inin yakalanması gereklidir.
7. Ürünle alakalı belirtilmiş tüm süreç parametreleri ölçülmelidir.
8. Süreç bitene kadar incelenen ürünün iyi veya kötü nitelikte çıkacağı hakkında önceden bir değerlendirme yapılmamalıdır.

9. Süreç parametrelerine ait 8 tane iyi ve 8 tane de kötü ürün İkili Karşılaştırmaya alınır. Yapılacak Tukey Testi sonucunda ortaya çıkacak uç-sayım değerlerine bakılır. Eğer 6 veya daha fazla bir uç-sayım elde edilmişse o süreç parametresinin % 90 güven seviyesinin üzerinde önemli olduğu belirtilir.
10. Eğer % 90 güven seviyesinin üzerinde pek çok parametre elde edilmişse, bu durumda önemli parametrelerin yakalanıp yakalanmadığını doğrulamak için İ–M Karşılaştırması yapılır.
11. Önemli olarak belirlenen parametrelere göre Değişken Araştırması veya Tam Faktöriyelli testler uygulanır. Böylece varyasyona en çok etkisi olan parametre veya etkileşimler ortaya çıkarılır.
12. Daha sonra Yayılma Grafikleri, Positrol, Süreç Onaylama ve Ön-Kontrol uygulanır.
13. Önceki adımlarda önemli olarak ortaya çıkarılan parametrelere ait tolerans değerleri, maliyetleri düşürmek amacıyla uygun bir genişliğe kadar artırılabilir.

Ürün/Süreç Araştırması için bazı üretimlerde direkt olarak ürün üzerinden ölçüm alınamaz. Cam fabrikalarında veya dökümhane gibi ısı ile ilgili süreçlerde bir ürün üzerinden değil, süreçten çıkan ürün grubu üzerinden bir değerlendirme yapılır. Bunun için 8 tane iyi ve 8 tane de kötü ürün grubu seçilerek İkili Karşılaştırma testine alınır. Bu şekilde ürünlerin test edilmesi çok hassas bir sonuç çıkarmasa da, bu şartlar altında uygulanabilecek tek seçenektir.

5.2. Ürün/Sürecin Yapısını Belirlemek İçin Deney Tasarımı Yöntemleri

İpucu Yaratma Tekniklerini kullanarak ürün veya süreçte karşılaşılan kronik problemlerin % 70–80'i çözülebilmektedir. Ancak, bazı durumlarda, varyasyonu etkilediği düşünülen 2 ile 15 arasına kadar parametre belirlenebilir. Bunların da elenebilmesi için daha detaylı bir çalışmanın yapılması ve optimum noktanın belirlenmesi gereklidir. Shainin Yöntemi, bu çalışmayı Değişken Araştırması, Tam Faktöriyelli Deney ve İ–M Karşılaştırması ile yapmaktadır.

5.2.1. Değişken Araştırması

Tam faktöriyelli deneylerin yapılması sonucunda en doğru sonuca ulaşılabilirken, hem işlem yoğunluğunun fazlalığından hem de çok fazla zaman kaybından dolayı pratikte tercih edilmemektedir. Ama, faktör sayısının 2 veya 3 gibi az olduğu durumda tercih edilmesi gereken deney tasarımı yöntemi Tam Faktöriyelli tasarım kullanılmalıdır.

Faktör sayısının 5–20 arasında olduğu durumlarda, faktör sayısının makul miktarlara indirgenmesinde, Shainin Yöntemi, Değişken Araştırması'nın uygulanmasını önermektedir. Bunun yanı sıra Değişken Araştırması ile yapılan çalışma sonucunda, Klasik Deney Tasarımı veya Taguchi Yöntemiyle kıyaslandığında, deney maliyetleri 3 ile 10 kat daha azalmaktadır. Değişken Araştırması'nın uygulaması daha çok yeni bir ürünün modellenmesi veya pilot çalışmasında kullanılmaktadır.

Değişken Araştırması, kusura sebep olan nedenlerin azaltılması ve çıktı varyasyonunu oluşturan faktörlerin önemli ile önemsizleri ayrıştırılarak, en önemli faktörlerin (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) ayıklanmasını sağlar. Böylece önemsiz olarak nitelenen faktörlerin C_p ve C_{pk} değerlerinin 1,0 veya daha aşağısına inmesine izin vererek, bu faktörlerin tolerans değerlerinde bir yükseltme sağlayacağı için üretim maliyetinin azaltılmasına da katkıda bulunur.

Değişken Araştırması'nın diğer dikkat çeken özelliği ise önemli olarak ortaya çıkarttığı faktörlerin veya etkileşimlerin süreç yeterliliğinin en az 2,0 olmasını sağlamasıdır ($C_{pk}=2,0$). Böylece ilgili faktörlere dair tolerans değerleri daha da sıkılaşmaktadır.

İpucu Yaratma Tekniklerinin bir devamı niteliğinde olan Değişken Araştırması, bir problem çözme metodu olarak düşünülebilir. En vazgeçilmez görevi, bir ürün ya da sürecin üretim sonunda ortaya çıkacak problemleri seri üretime başlamadan önce, yani tasarım aşamasındayken önlemesidir.

Aşamalı Sorgu prensibinin gelişmiş bir modelinin uygulandığı Değişken Araştırması'nın uygulaması genel hatlarıyla Bileşen Araştırması'na benzemektedir. Farklılığı ise şudur; Bileşen Araştırması kesikli değişkenlerle çalışırken, Değişken Araştırması'nda kullanılan parametreler sürekli yapıdadır.

5.2.1.1. Değişken Araştırması'nın aşamaları

Değişken Araştırması'nın, Bileşen Araştırması'nda olduğu gibi dört aşamadan oluşur ve Bileşen Araştırması'nda yapılanların üzerine ek işlemler yapılır. Bu aşamalarda yapılan işlemler özet olarak aşağıda verilmiştir:

Tahmini Değerlerin Bulunması: Deney için doğru değişkenlerin (faktörlerin) ve bu faktörlerin doğru seviyelerinin belirlenmesi.

Eleme: Önemli olarak belirlenen değişkenlerin ayrıştırılması ve önemsiz değişkenlerin elenmesi.

Teyit Etme: Önemli ve önemsiz olarak belirlenen değişkenlere dair bu kararın doğruluğunun teyit edilmesi.

Faktöriyel Analiz: Önemli değişkenlerin geçerli seviyelerini ve etkileşim değerlerinin tespit edilmesi.

5.2.1.1.1. Tahmini değerlerin bulunması (Ball Park)

Tahmini değerlerin bulunması aşamasında 9 adımda doğru faktörler belirlenmeye çalışılır:

1. Bileşen Araştırması'nda olduğu gibi ilk önce problem (Yeşil Y) belirlenir. Eğer Yeşil Y kesikli değişken yapıdaysa, Likert Skalası kullanılarak bu subjektif değerlendirme sayısallaştırılır.
2. İlk önce Yeşil Y'ye neden olabilecek faktörler araştırma grubu tarafından belirlenir. Bunlar mümkün olduğunca önem sırasına göre dizilir. Bu sıralama, yapılacak deneyin de kısılmasına sebep olacaktır. Uygulanan bir veya daha fazla İpucu Yaratma Tekniği sonucunda kontrol edilemeyen faktör sayısı makul ölçülere indirilerek, çalışılacak faktör sayısı kontrol edilebilir bir çoğunluğa kavuşturulur. Örneğin, İkili Karşılaştırmalar veya Ürün/Süreç Araştırmasıyla elde edilen en yüksek uç-sayım değerleri en önemli faktörleri ortaya koymaktaydı. Ancak, yeni bir ürünün tasarım veya üretim aşamasında yeterli seviyede veri olamayacağı için İpucu Yaratma Teknikleri kolaylıkla çalıştırılmaz. Bu durumda iki yönetime başvurulabilir:

- (i) Bilgisayar simülasyonu veya devre analizi kullanılarak önemli olarak nitelenebilecek yaklaşık değerlerde faktörler seçilebilir. Burada şu unutulmamalıdır; bilgisayarın bu işlemi yapabilmesi için bağımlı ve bağımsız değişkenlerin olduğu bir formüle ihtiyaç vardır. Eğer böyle bir formül yoksa, bilgisayar işlemi sonucunda tahmini bir sonuç ortaya çıkacağı için deney süresinin uzaması mümkündür. Eğer formül biliniyorsa, elde edilecek faktörler Shainin Yönteminin uygulanabilirliği açısından yeterli olarak kabul edilir.
- (ii) Eğer bir bilgisayarlı analiz ortamı yoksa, beyin fırtınası, mühendislik deneyimleri, operatör görüşleri, makine bakım değerleri veya tedarikçilerin belirttiği ölçütler doğrultusunda faktörler belirlenir. Ancak bu yöntem, tahminlere, fikirlere, teorilere ve önyargılara bağlı olduğu için en zayıf faktör belirleme yöntemi olarak nitelenir.
3. Seçilen faktörlere dair “iyinin iyisi” (İİ) ve “kötünün kötüsü” (KK) seviyeleri belirlenir. İİ değeri mevcut Yeşil Y’den daha iyi sonuç çıkartırken, KK varyasyonu daha da artırır. İİ değeri için (+) ve KK için de (-) işareti kullanılır. Eğer yeni bir ürün oluşturulurken hangi seviyenin iyi veya kötü olduğu kararlaştırılmıyorsa, Değişken Araştırması’nda her ikisi de teker teker denir. Yapılan çok az miktardaki deney sonrasında bu seviyelerin yerleri net olarak belirlenir.
4. Bileşen Araştırması’nda olduğu gibi sadece iki tane örnek yeterli olacaktır (1 tane İİ, bir tane de KK). Ancak, duruma göre bu örnek sayısı artırılabilir. Değişken Araştırması’nda kullanılacak örnek miktarları şu şekilde belirlenir: Yeşil Y’yi oluşturan faktörler ürün bileşeni veya süreç parametresiyse ve bu bileşenler Yeşil Y’yi etkilememek kaydıyla işleme eklenip çıkarılabiliyorsa, Yeşil Y’nin sürekli değişken yapısında olduğu durumda sadece 1 örnek yeterlidir. Eğer Yeşil Y, Likert Skalasına göre sayısallaştırılmışsa 5 ile 10 arası örnek alınmalıdır. Yeşil Y’nin kesikli değişken olduğu durumda ise (çıktı, hata miktarı veya hata oranı olarak verilmişse) örneklem büyüklüğü 16 ile 502 arasında belirlenmelidir.

Eğer birinci ve ikinci aşamalarda aynı bileşenler tekrar kullanılamıyorsa, bu değişkene ait yeni bir örnek seçilmelidir. Eğer Yeşil Y’deki hata oranı yüksek çıkıyorsa örneklemin küçük alınması farklılığı ortaya çıkarabilmektedir. Eğer hata oranı düşükse, büyük miktarda örnek alınmalıdır. Bunların yanı sıra, eğer hatalar 100

ppm veya daha aşağısında çıkıyorsa, Değişken Araştırması uygun olmayacaktır. Bu durumda İekli Karşılaştırmalar veya Ürün/Süreç Araştırması yapılmalıdır.

5. Bazen Yeşil Y'yi etkileyen faktörler ve bunlara ait seviyeler çok fazla işlem gerektirmeden elde edilebilir. Bunun için iki deney yapılır. İlk deneyde tüm faktörler (+) ve ikinci deneyde tüm faktörler (-) seviyelerinde tutulur. Deney sonuçları şu şekilde çıkabilir:

- (i) Eğer faktörlerin (+) ve (-) seviyeleri arasında çok büyük bir farklılık tespit edilmişe, sonuca erken ulaşılmış demektir. İşlenen faktörlerin önemli oldukları belirtilerek 6. adıma geçilir.
- (ii) Eğer (+) ölçümleri (-) ölçümlerinden küçük bir farkla daha iyi çıkmışsa ya doğru faktörler üzerinden ya da doğru seviyeler üzerinden çalışılmamıştır. Veya Kırmızı X daha güçlü bir Pembe X tarafından yok edilmiştir. Bununla birlikte Kırmızı X'in başka faktör(ler)le etkileşim içinde olma olasılığı da vardır.
- (iii) Eğer, (+) ölçümleri (-) ölçümlerine göre herhangi bir iyileştirmeyi işaret etmiyorsa, fakat aynı zamanda Yeşil Y'nin geçmiş değerlerinden çok büyük bir farklılık ortaya koyamıyorsa, doğru faktörler veya doğru seviyelerin yakalanmasına az kalınmış demektir.

Sadece bu adımda gelişen işlemler diğer deney tasarım yöntemleriyle karşılaştırıldığında, Shainin Yönteminin üstünlüğü bir kez daha ortaya çıkmaktadır.

Eğer bu adım sonucunda (ii) veya (iii)'e ulaşılmışsa, Değişken Araştırması'ndaki kayıp sadece "iki deney"dir. Eğer bu alışma Klasik veya Taguchi yöntemlerinden birisiyle yapılıyor olsaydı, doğru faktörün yakalanıp yakalanmadığı anlaşılamayacağı için, örneğin 16, 32 veya 64 adet deneyin sonuna kadar ilerlenmesi gerekecektir.

5. adım (ii) veya (iii) ile sonuçlanmışsa, 2. adımda listelenen faktörler tekrar gözden geçirilmelidir. Bazı faktörlerde farklı seviyeler denenmelidir veya bazı faktörler çıkarılıp onların yerine yenileri konulmalıdır.

6. İki çift deney daha yapılır. Yapılacak bu deneylerin ilkinde yine tüm seviyeler (+) ve ikincisinde de (-) olarak tutulur. 5. adımda değerlendirilmeye alınan ile birlikte toplamda 2 aşamadan oluşan 3 deney (3 tane (+) ve 3 tane (-)'lerden oluşan toplam 6 deney) yapılmış olur. Bu deneylerin uygulanması rassal düzen içerisinde yapılmalıdır.
7. 6. adımda yapılan (+)'lardan oluşan 3 deneyin sonucu (Yeşil Y sonuçları), (-)'lerle yapılan diğer 3 deneyden daha iyi bir sonuç çıkarıyorsa, testin anlam düzeyinin belirlenmesi için iki test daha yapılır.
 - (i) Ortaya çıkan 3 tane (+) sonucu 3 (-) sonucundan net olarak daha yüksek çıkmalıdır. Örneğin, (+)'ların 2 tanesi yüksek ve bir tanesi (-)'den düşük çıkmamalıdır. Eğer (+)'ların hepsi (-)'lerden düşük çıkarsa, seviyelerin isimleri ters belirlenmiş demektir.
 - (ii) Bileşen Araştırması'nda olduğu gibi D_M/\bar{R} oranı en az 1,25 olmalıdır.
8. 7. adımda ulaşılmak istenen sonuçlar yakalandığı zaman belirlenen faktörlerin birbirleri arasında anlamlı bir fark olduğu söylenir. Böylece, 1.Aşama sonlandırılır.
9. Anlamlı bir farklılık yakalanmamışsa, eldeki Yeşil Y sonuçlarına dair faktörlerden uygun olan bir çiftin (+) değerleri (-) olarak çevrilmelidir . Böylece yapılan deneyde herhangi bir etkinin iptal edilip edilmediği ortaya çıkartılır. Eğer bu dönüşümden sonra hala anlamlı bir farklılık bulunamamışsa, ikinci deneyde yer alan faktörlerin seviyelerinde değişiklik yapılır. Mühendislik hatası olarak ortaya çıkan böyle bir sorun (seviyelerin doğru belirlenmemesi) çok nadir olarak ortaya çıkmaktadır [28].

Eğer tekrar edilebilirlik değeri olan \bar{R} çok zayıf çıkarsa, önemli bir faktörün (büyük ihtimalle Kırmızı X'in) 2. adımda elendiğini ortaya koyar. Bu durumda, İpucu Yaratma Yöntemleri tekrar gözden geçirilmeli ve gerekli olursa bir veya iki faktör daha işleme alınmalıdır.

5.2.1.1.2. Önemli ve önemsiz faktörlerin ayrıştırılması

Faktörler önem durumlarına göre ayrıştırılırken Bileşen Araştırması'nda uygulanan yöntemlere başvurulur. İlk önce bir çift deney yapılır. İlk önce, sıralanmış

faktörlerden birincisi (+) seviyesindeyken diğerleri (-) seviyesinde tutulur. Diğer deneyde de tam ters sıralama alınarak sonuç kaydedilir.

Çıkan bu sonuçlardan, birinci faktörün “iyi” ve diğerlerinin “kötü” seviyesinde tutulduğu deney sonucunun ($A_{(+).DİĞER_{(-)}$), Bileşen Araştırması’nda elde edilen “Alt Kontrol Limiti”nin $\left[KL_{(-)}=M^{(-)} \mp t_{(\alpha; n-2)} \cdot (\bar{R}/d_2) \right]$ ve ($A_{(-).DİĞER_{(+)}$) deney sonucunun da “Üst Kontrol Limiti”nin $\left[KL_{(+)}=M^{(+)} \mp t_{(\alpha; n-2)} \cdot (\bar{R}/d_2) \right]$ içerisinde çıkması, A faktörünün kendisinin ve diğer faktörlerle olan etkileşimlerinin “önemsiz” olduğunu gösterir. Bu durumda, ikinci sıradaki B faktörü için de aynı işlemler yapılır. Eğer B faktörü de önemsiz olarak bulunursa sıradaki faktöre bakılır.

Eğer deney sonucunda ($A_{(+).DİĞER_{(-)}$) veya ($A_{(-).DİĞER_{(+)}$) kontrol limitleri dışında çıkarsa, A faktörü varyasyona etkisi olan “önemli” bir faktör olarak nitelenir. A ile birlikte A’nın etkileşimlerinin de varyasyonu etkilediği düşünülür.

Eğer $A_{(+).DİĞER_{(-)}$ ’nin sonucu tamamıyla “en iyi”lerin üzerinde ve $A_{(-).DİĞER_{(+)}$ ’ların sonucu da tamamen “en kötü”lerin altında çıkarsa, A faktörü kesinlikle Kırmızı X’tir. Bu durumda, geri kalan diğer faktörler “önemsiz” olarak değerlendirilip elenir.

5.2.1.1.3. Önemli ve önemsiz faktörlerin teyit edilmesi (Capping Run)

İşlem sırasına göre önemli olarak bulunan faktörlerin (kontrol limitleri dışına çıkan faktörler) ikisi değerlendirilmeye alınır. İlk önce bu iki faktör “iyi” seviyelerinde ve sonra da “kötü” seviyelerindeyken diğer faktörler tam tersi seviyelerine alınarak iki deney daha yapılır ($A_{(+).B_{(+)}.DİĞER_{(-)}$ ve $A_{(-).B_{(-)}.DİĞER_{(+)}$). Bu deneylerin sonucu kontrol limitleri içerisinde yer alırsa, A ve B faktörlerinin ve/veya etkileşimlerinin gerçekten de varyasyonu önemli ölçüde etkilediği teyit edilmiş olur.

Eğer ikinci aşamada A faktörü önemli ve B faktörü önemsiz çıkmışsa, C faktörü için teyit etme işlemleri yapılır ($A_{(+).C_{(+)}.DİĞER_{(-)}$ ve $A_{(-).C_{(-)}.DİĞER_{(+)}$). Önemli olarak bulunan faktör sayısı 3 veya dört tane olarak çıkmışsa, bu faktörler için de benzer teyit işlemleri uygulanır.

5.2.1.1.4. Faktöriyel analiz

Ortaya çıkarılan önemli faktörler, Bileşen Araştırması'nda olduğu gibi birbirleriyle karşılaştırılarak hangisinin daha önemli olduğu bulunmaya çalışılır. Faktöriyel Analiz için daha detaylı bilgi "Tam Faktöriyelli Analiz" başlığı altında verilmiştir.

5.2.1.2. Etkileşimlerin bulunması

Değişken Araştırması'nın sadece tek faktörün değişkenlerini değiştirip, diğerlerinin sabit tutulduğu bir çalışma olarak görmek yanlıştır. Çünkü tüm etkileşimleriyle birlikte tüm önemsiz faktörler teyit edilerek elenmektedir.

Bunun yanında "önemli" olarak belirtilen tüm faktörlerin ikili ve üçlü etkileşimleri net olarak ayrıştırılabilmektedir. Ayrıca, dördü etkileşimlerin de % 62,5'i yine net olarak ortaya çıkarılabilmektedir. Geriye kalan % 37,5'lik kesim ise tam faktöriyelli analiz uygulandıktan sonra bulunabilmektedir. Beşli etkileşimler de (çok nadir olarak ortaya çıkmalarına rağmen) aynı çözüm yolu ile bulunabilmektedir.

5.2.2. Tam faktöriyelli analiz

R. Fisher'in ortaya çıkardığı deney tasarımı yöntemi olarak kullanılan tam faktöriyelli deneylerle, tüm faktörlerin ve tüm etkileşimlerin çıktı üzerindeki etkisi ortaya konulmaktadır. Yapılabilecek tüm deney tasarım çalışmaları içerisinde, tüm alternatiflerin değerlendirilmesi sebebiyle, en doğru sonucu verecek bir yöntemdir. Ancak tüm alternatiflerin gözlenmesi çok fazla zaman kaybına neden olacak hem de maliyetleri artıracaktır.

Shainin Yönteminde de en doğru sonuca ulaşmak için, Klasik Deney tasarımında kullanıldığı gibi fakat tek bir farkla Tam Faktöriyelli Deney tasarımından yararlanır. Shainin Yönteminde Tam Faktöriyelli Deneye girecek faktör sayısı 2 ile 4 arasında olmalıdır. Bu faktörler de bir önceki adım olan Değişken Araştırması'ndan elde edilmiş olmalıdır [72].

Değişken Araştırması sonucunda elde edilen çıktıyı etkileyen “önemli” faktörler, “iyi” ve “kötü” seviyeleri göz önünde tutularak, 2^n ’lik (n =faktör sayısı) deney tasarım matrisinde incelenir. Tam Faktöriyelli Deneyi yapmadan önce önemli faktörler ve seviyeleri İyi/Kötü olarak belirlenmelidir. Deney süresince “İyi” seviyeler (+) ve “Kötü” seviyeler (veya mevcut durum) (-) işaretiyle simgelenir.

Ortaya çıkacak pek çok kontrol edilemeyen faktörlerin etkisinin azaltılması için tüm deneyler rassal olarak yapılmalıdır. Yapılacak deneyin önemli bir başka özelliği de tekrar edilebilir olmasıdır. Tam faktöriyelli deneyler üretim öncesi çalışmalarda veya seri üretim esnasında kullanılabilir.

Bir faktörün tüm seviyeleri ile diğer faktörlerin tüm seviyeleri rassal olarak ölçülür. Daha sonra bunlar Tam Faktöriyel Deney tablosunda gösterilir. Tam Faktöriyel Deney Tablosu, İç İç Düzenler olarak da adlandırılabilir [57]. Her deney için iki gözlem alındığında Tablo 5.17’deki örneğe benzer bir tablo oluşturulabilir.

Tablo 5.17: 2^4 Tam Faktöriyelli Deney düzeni

		A(-)		A(+)		
		B(-)	B(+)	B(-)	B(+)	
C (-)	D(-)	(----) 23 19 Med.= 21	(-+--) 16 18 Med.= 17	(+---) 106 108 Med.= 107	(++--) 12 10 Med.= 11	→156
	D(+)	(---+) 19 17 Med.= 18	(-++-) 66 60 Med.= 63	(+--+) 3 3 Med.= 3	(++++) 2 2 Med.= 2	→86
C (+)	D(-)	(--+-) 6 8 Med.= 7	(-++-) 45 49 Med.= 47	(+--+) 46 40 Med.= 43	(++++) 5 5 Med.= 5	→102
	D(+)	(-++-) 34 36 Med.= 35	(-+++) 16 14 Med.= 15	(+--+) 12 12 Med.= 12	(++++) 2 0 Med.= 1	→63
		↓	↓	↓	↓	
		81	142	165	19	

Tablo 5.17’de deney sonuçları verilen faktörler için ortaya çıkan sonuçlar şu şekilde değerlendirilir:

$$\begin{aligned} A(-) &= 81 + 142 = 223 \\ A(+) &= 165 + 19 = 184 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad A(-), 39 \text{ kusurla } A(+)'dan \text{ daha kötüdür.}$$

$$\begin{aligned} B(-) &= 81 + 165 = 246 \\ B(+) &= 142 + 19 = 161 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad B(-), 85 \text{ kusurla } B(+)'dan \text{ daha kötüdür.}$$

$$\begin{aligned} C(-) &= 156 + 86 = 242 \\ C(+) &= 102 + 63 = 165 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad C(-), 77 \text{ kusurla } C(+)'dan \text{ daha kötüdür.}$$

$$\begin{aligned} D(-) &= 156 + 102 = 258 \\ D(+) &= 86 + 63 = 149 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad D(-), 109 \text{ kusurla } D(+)'dan \text{ daha kötüdür.}$$

Tam Faktöriyel Deney Tablosu gerektiği takdirde ANOVA tablosu olarak da gösterilebilir. Yapılacak deneylerde her etkinin belirlenmesi için eşit miktarda (+) ve (-) olmalıdır. İki seviyeli dört faktör için yapılacak bir deney için $2^4=16$ deney yapılacaktır. Tablo 5.18’de yapılan deneylerle ortaya çıkan sonuçlar gösterilmiştir. En sağdaki sütun her deney sonuçları verilmiştir. 1. deney için tüm faktörler (-) seviyesinde tutulmuştur. İkinci deneyde, sadece A faktörü (+) seviyesinde tutulmuştur. Bu şekilde tüm alternatifler değerlendirilerek deneyler tamamlanmıştır. Etkileşimlerin değerlendirilmesinde ise, gözlenecek etkileşimin tablodaki değerinin belirlenmesi için, etkileşimi oluşturan faktörlerin o deneydeki işaretleri çarpılmıştır.

Tüm deneyler tamamlandıktan sonra, çıktı değerleri (en sağ sütun) her faktörün veya etkileşimin aldığı (-) veya (+) işaretiyle değerlendirilip toplanır. Elde edilen bu toplam sonuçları faktörlerin etki derecelerini gösterir. En büyük değere sahip toplam en etkili faktördür ve Kırmızı X olarak isimlendirilir. İkinci büyük toplam değeri Pembe X ve üçüncüsü de Soluk Pembe X olarak değerlendirilir. Ana faktörlerin etki değerleri, dikkat edilirse, Tablo 5.17’de elde edilen etki değerleriyle aynı çıkmaktadır.

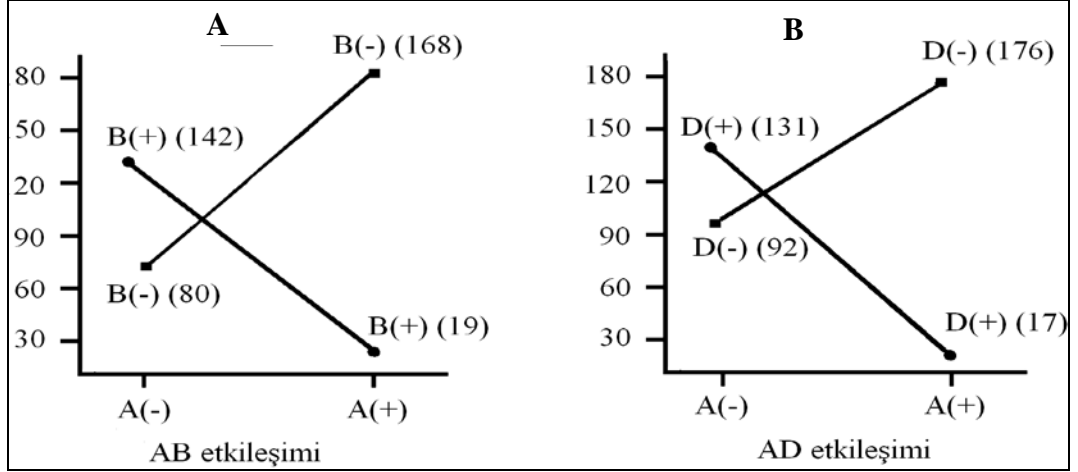
Tablo 5.18: 2⁴ Tam Faktöriyelli Deney için ANOVA tablosu

Sıra	Ana Faktörler				İkili Etkileşimler					Üçlü Etkileşimler				Dörtlü Etk.	Çıktı	
	A	B	C	D	AB	AC	AD	BC	BD	CD	ABC	ABD	ACD	BCD		ABCD
1	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	21
2	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	18
3	-	-	+		+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	7
4	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	35
5	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	17
6	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	63
7	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	47
8	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	15
9	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	107
10	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	3
11	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	43
12	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	12
13	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	11
14	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	2
15	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	5
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1
ETKİ	-39	-85	-77	-109	-207	-47	-187	27	111	31	69	133	125	-177	41	
					↓	↓								↓		
					Kırmızı X	Pembe X								Soluk Pembe X		

Hiçbir ana faktörün önemli olarak çıkması sonucunda etkileşimlere bakılır. Tablo 5.18'in incelenmesi sonucunda AB etkileşiminin Kırmızı X, AD etkileşiminin Pembe X ve BCD etkileşiminin de Soluk Pembe X'i oluşturduğu görülmektedir. Bir sonraki aşamada ise belirlenen bu etkileşimlerin grafikleri çizilir.

Tablo 5.18 ve Şekil 5.10-A incelendiğinde AB etkileşiminin Kırmızı X olduğu görülmektedir. En düşük kusur miktarı A ve B faktörlerinin ikisinin de (+) seviyesindeyken olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, eğer hem A hem de B faktörleri (-) seviyesinde olsaydı 207 kusur daha ortaya çıkacaktı. Bu durumda bu iki faktörün etkileşim etkisinin varyasyonu artırmaması için A ve B faktörleri (+) seviyelerinde tutulmalıdır.

Şekil 5.10-B'de de benzer bir şekilde AD etkileşiminden (Pembe X) ortaya çıkacak varyasyonun azaltılması için de A ve D faktörleri (+) seviyelerinde tutulmalıdır. Yoksa, eğer ikisi de (-) seviyesinde olsaydı 187 kusur daha fazla elde edilecekti.



Şekil 5.10: Önemli faktörlerin etkileşim grafikleri

BCD etkileşimi (Soluk Pembe X) için de A, B ve C faktörlerinin (-) seviyesi korunmuş olsaydı, 177 kusur daha ortaya çıkacaktı. Bu nedenle B, C ve D faktörleri (+) seviyelerinde tutulmalıdırlar.

5.2.3. İ – M Karşılaştırması (B vs. C)

Günümüzde sonuçların analizi için daha çok parametrik istatistiksel araçlar kullanılmaktadır. Araştırmacılar nedense parametrik olmayan araçlara bu tür analizler için yönelmemektedir. Halbuki, özellikle parametrik olmayan analizler, kabul edilebilir sayma ve sıralama yöntemleriyle, çıktılarının görünüşleri ve görsel değerlendirmelerindeki karmaşıklığı anlamakta faydalı olabilmektedir [58].

İ–M Karşılaştırması'nda iki farklı ürünü, süreci, metodu veya yönetim politikaları karşılaştırılır. Bu iki farklı değer için ilki iyileştirme uygulanmış durumdur ve 'İ' harfiyle gösterilir (B–Better). Mevcut durum ise 'M' harfiyle simgelenir (C–Current). İ–M Karşılaştırması'nın amacı, geliştirmenin veya iyileştirmenin, etkili ve sürekli olduğunu geçerli kılmak ve bunu doğrulamaktır [59].

İ–M Karşılaştırması ile yapılan iyileştirme, çok az örnek kullanarak, %90'ın üzerinde bir güvenilirlikle gözlemlenebilir.

5.2.3.1. “Altılı Paket Testi” (Six-Pack Test)

Shainin Yöntemleri üretim sürecine uygulandığında, karmaşık süreçleri araştırmak için değerli araçlar sunmaktadır. Bu araçlardan bir tanesi de “Altılı Paket Testi”ni (Six-Pack Test) içerir.

Bu test için üç tane ‘İ’ ve üç tane de ‘M’ çıktılarına ihtiyaç vardır (toplam 6 gözlem). İstenen durum ‘İ’lerin ‘M’lerden daha üstün olmasıdır (İ, İ, İ, M, M, M). Sonuçları elde ederken rassallığa tamamiyle uyulması gereklidir. Yani, önce İ değerleri, sonra da M değerleri ölçülmemelidir. Gözlemlerin sonuçları büyüklüklerine göre sıraya konulduktan sonra girdi değişkenleriyle ilişkilendirilir.

Seçilen altı çıktı değerinin büyüklüklerine göre sıralanması sonucunda basit bir kombinasyon hesabı ile ($C_3^6 = \frac{6!}{3!3!} = 20$) tüm İ’lerin M’lerden daha üstün çıkması (İ, İ, İ, M, M, M) olasılığı sadece $1/20 = 0,05$ olacaktır. Bu da, 3İ’nin 3M’den daha iyi olmadığı veya herhangi bir iyileştirme olmadığı anlamına gelmektedir. Ancak, ters taraftan bakıldığında, $19/20=0,95$ olasılıkla (%95 güvenlilikle) İ’lerin M’lerden daha iyi olduğu ve iyileştirmenin işe yaradığı ortaya çıkacaktır.

Mevcut durum ile iyileştirme sonrası arasındaki farkın incelenmesi için oluşturulacak hipotez testlerinde I.Tip ve II.Tip Hata söz konusudur. Sıfır Hipotezi (H_0) İ ile M arasında fark olmadığı şeklinde kurulduğuna göre, I.Tip Hata), (geçekte doğru olan H_0 ’ın reddedilmesiyle ortaya çıkar. II.Tip Hata), (ise, geçekte yanlış olan H_0 ’ın kabul edilmesinden oluşur. Özet olarak, riski ile İ’lerin M’lerden daha iyi olup olmadığı incelenirken β riski İ’lerin M üzerinde ne kadar güçlü olduğu belirlenir. Eğer farklılık çok fazlaysa, β riski sıfıra yaklaşacaktır.

5.2.3.2. İ–M Karşılaştırması’nın uygulanması

5.2.3.2.1. İ–M Karşılaştırması için örneklem büyüklüğünün hesaplanması

İ–M Karşılaştırması yapılmadan önce α ve β risklerine uygun örneklem büyüklüğünün belirlenmesi gereklidir. Bunun için İ ve M arasındaki farklılığın önem derecesine göre 4 farklı durum oluşturulabilir. (Tablo 5.19)

Tablo 5.19: İ-M Karşılaştırması'nda α risklerine göre önem dereceleri [28]

Önem Derecesi	α Riski
Orta	0,10
Yüksek	0,05
Kritik	0,01
Çok Kritik	0,001

Tablo 5.20'de α ve β risklerine göre gerekli örnek büyüklükleri verilmiştir. Tabloda β riskleri altında İ ve M değerlerinin standart sapmalarının birbirine eşit olduğu ($\sigma = \sigma_M$) ve eşit olmadığı durum ($\sigma \neq \sigma_M$) için K katsayıları yer almaktadır. Standart sapmaların eşit olmaması genellikle $\sigma = 1,5 \cdot \sigma_M$ veya $\sigma_M = 1,5 \cdot \sigma$ olduğunda ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.20: İ-M Karşılaştırması'nda örnek büyüklüğü, α ve β riskleri [28]

Önem Derecesi (α Riski)	Örnek Büyüküğü		K Değerleri (Ortalamalar Arasındaki Fark) β Riskleri					
	İ	M	0,50		0,10		0,05	
			$\sigma_i = \sigma_M$	$\sigma_i \neq \sigma_M$	$\sigma_i = \sigma_M$	$\sigma_i \neq \sigma_M$	$\sigma_i = \sigma_M$	$\sigma_i \neq \sigma_M$
Çok Kritik 0,001	2	43	3,0	3,9	4,0	5,1	4,3	5,5
	3	16	2,5	3,2	3,6	4,5	3,9	5,0
	4	10	2,3	2,9	3,4	4,3	3,8	4,8
	5	8	2,2	2,9	3,4	4,3	3,7	4,7
	6	6	2,2	2,8	3,3	4,2	3,7	4,7
Kritik 0,01	2	13	2,3	3,0	3,4	4,4	3,8	4,6
	4	7	2,0	2,6	3,2	4,1	3,6	4,6
	4	5	2,0	2,5	3,1	4,0	3,5	4,5
	5	4	2,0	2,5	3,1	4,0	3,5	4,5
Yüksek 0,05	1	19	2,5	3,2	3,6	4,6	3,9	5,0
	2	5	1,7	2,2	3,0	3,8	3,4	4,3
	3	3	1,6	2,0	2,9	3,7	3,3	4,2
	4	3	1,7	2,2	3,0	3,8	3,4	4,3
Orta 0,10	1	9	2,1	2,6	3,2	4,1	3,6	4,6
	2	3	1,4	1,8	2,7	3,5	3,2	4,0
	3	2	1,4	1,8	2,7	3,5	3,2	4,0

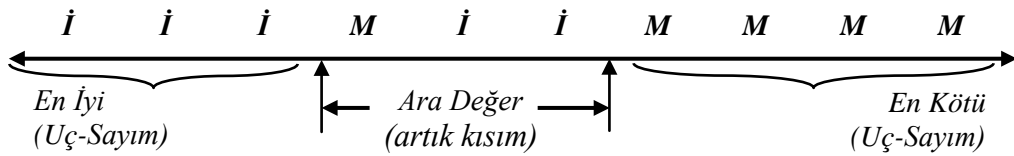
Eğer α ve β risklerine göre örneklem büyüklüğü belirlenmek istenirse tablo aracılığıyla kolaylıkla kaç tane \bar{I} ve kaç tane M ölçümü alınması gerekliliği elde edilebilir.

5.2.3.2.2. Karar kuralı

\bar{I} - M Karşılaştırması'nda bir karara varabilmek için iki tür yaklaşım vardır. İlki, ara değer (artık kısım) olmadığı durum ve ikincisi de ara değer olduğu durum veya uç-sayım kuralı olarak adlandırılır.

İkili Karşılaştırmalarda olduğu gibi yapılan uç-sayım değerlendirmesinde, eğer uç-sayımlar net olarak birbirinden ayrılıyorsa ve aralarında hiç "ara değer" (artık kısım) bulunmuyorsa "Ara değer olmaması" kuralı çalışır. Örneğin tüm \bar{I} 'ler tüm M 'lerden daha üstün durumdaysa, %95 güvenilirlikle, iyileştirmenin mevcut durumdan daha iyi olduğu sonucuna varılır. Ancak, bu kuralın işleyebilmesi için, deney öncesinde "ara değer olmadığı" bir çalışmanın yapıldığı öncelikli olarak belirtilmelidir. Aksi takdirde herhangi bir M 'nin \bar{I} 'nin önüne geçmesi durumunda (örn; $\bar{I}, \bar{I}, M, \bar{I}, M, M$), \bar{I} 'lerin daha üstün olduğu söylenemez.

Yanlış karar verme riskinin azaltılması için, İkili Karşılaştırma ve Ürün/Süreç Araştırmasında olduğu gibi ve Tukey Testinin gerekliliğinden dolayı uç-sayımların en az 6 çıkması beklenir. Ara değer (artık kısım) olması durumunda hatalı karar verme riski veya kararın güven düzeyi İkili Karşılaştırmalarda elde edildiği şekilde hesaplanır. Örneğin, rastgele alınan 10 sonucun hangi yönteme göre (\bar{I} veya M) elde edildikleri belirtilerek büyüklüklerine göre sıralandığında Şekil 5.11'deki durum oluşabilir.



Şekil 5.11: \bar{I} - M Karşılaştırması'nda ara değer olduğu durum [28]

Bu örneğe göre \bar{I} için uç-sayım değeri 3 ve M için de uç-sayım değeri 4 çıkararak toplam uç-sayım değeri 7 olmuştur. Bu durumda % 95 olasılıkla iyileştirme işe yaramıştır sonucuna varılabilir.

İ ve M için alınacak örnek sayısı birbirlerine göre farklı miktarda olabilir. Ama bu farklılık oranı 3:4 oranını (veya 4:3) geçmemelidir.

İ – M Karşılaştırması aşağıda bir örnek üzerinde açıklanmaktadır [28].

Pres makinesinin işlemi sonrasında elde edilen bir ürünün çapı toleransının $\pm 0,005$ inç'i yakalayamadığı (Yeşil Y) bilinmektedir. Değişken Araştırması sonucunda bu tolerans değer $\pm 0,002$ inç'e düşürülmüştür. Bu çalışmanın sonucunda yapılan İ–M Karşılaştırması ile elde edilen bu iyileştirme % 95 güven seviyesinde ($\alpha=0,05$) teyit edilmek istenmektedir. Bunun için rassal olarak 12 tane iyileştirme uygulanan parametrelerle (İ) ve 13 tane de mevcut parametrelerle (M) deney yapılmıştır.

M : 2, 5, 4, 6, 2, 1, 6, 9, 7, 5, 4, 8, 1

İ : 1, 0, 2, 0, 1, 1, 2, 2, 0, 1, 2, 2

Veriler büyüklük sırasına göre dizilerek Tukey Testi uygulanmıştır.

0	İ	}	<i>İ'ler için</i>			
0	İ		<i>Üst Uç-Sayım değeri = 3</i>			
0	İ					
1, 1, 1, 1	İ	1, 1	M	}	<i>Ara değer</i>	
2, 2, 2, 2, 2	İ	2, 2	M			
		4, 4	M	}	<i>M'ler için</i>	
		5, 5	M			
		6, 6	M			
		7	M			
		8	M			
		9	M		<i>Alt Uç-Sayım değeri = 9</i>	

Şekil 5.12: Pres makinesi örneği için İ–M Karşılaştırması

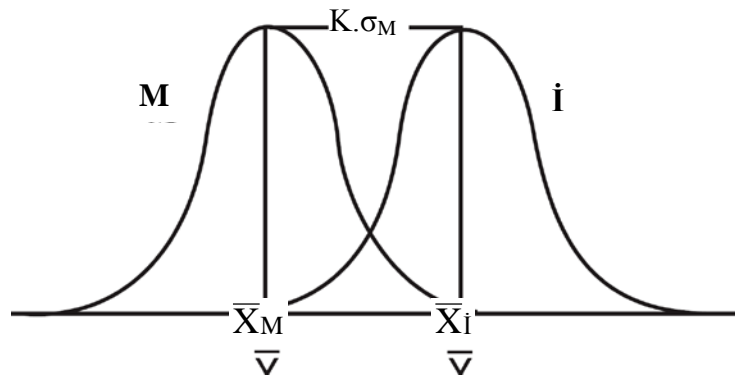
Yapılan test sonucunda toplam uç-sayım değeri 3+9=12 çıkmıştır (Şekil 5.12). Bu da %99,5'lik bir güvenilirlik anlamına gelmektedir. İstenen %95'lik seviyeden daha yüksek çıktığı için, belirlenen yeni parametrelerle yapılan iyileştirme (İ), mevcut durumdan (M) daha iyi sonuç çıkarmaktadır.

5.2.3.2.3. β Riski ile iyileştirme büyüklüğünün bulunması

Deney yapmadan önce, sadece İ'nin M'den daha iyi olduğunu bilmek yeterli olmayacağı için, bu büyüklüğün ne kadar olduğunun da tahmin edilmesi gereklidir. Bunun için β riskinden faydalanılır. Bunun için ilk önce İ birimlerinin ortalaması ile M birimlerinin ortalaması alınır. Ortalamalar arasındaki farkın (Δ), $K \cdot \sigma_M$ 'ye eşit veya büyük olması beklenir. (Şekil 5.13)

$$\bar{X}_I - \bar{X}_M \geq K \cdot \sigma_M \quad \rightarrow \quad \Delta \geq K \cdot \sigma_M \quad (5.6)$$

Tablo 5.13'te β riskinin 0,50 , 0,10 ve 0,05 olduğu anlarda için K katsayılarının ($\sigma_I = \sigma_M$) ve ($\sigma_I \neq \sigma_M$) durumları verilmiştir. Örneğin; $\sigma_I \neq \sigma_M$ varsayımı altında 3 tane İ ve 3 tane M'nin incelendiği bir deney sonucunda β riskinin % 5 olduğu bir durum için $K = 4,2$ olacaktır. Eğer $\bar{X}_I - \bar{X}_M$ sonucu $4,2\sigma_M$ 'ye eşit veya daha büyük çıkarsa İ'nin daha iyi olduğu sonucu % 95 olasılıkla belirlenecektir.



Şekil 5.13: β riski ile İ-M Karşılaştırması'nda iyileştirme büyüklüğünün bulunması [28]

5.2.3.2.4. Δ 'nın $K\sigma_M$ 'den küçük çıkması durumu ($\Delta < K\sigma_M$)

İyileştirmenin etkisinin belirlenebilmesi için \bar{I} ve \bar{M} 'ye dair aritmetik ortalamaları arasındaki farkın (Δ) en az $K\sigma_M$ kadar olması beklenir. Eğer bu şart sağlanmazsa yapılan iyileştirmeye şüphe ile yaklaşılır. Bu tereddüdün ortadan kaldırılması veya azaltılması için örneklem büyüklüğünün artırılması gereklidir.

$K\sigma_M$ 'nin büyük çıkmasındaki en büyük etken K katsayısının büyük olmasıdır. Bunun için her bir \bar{I} ve \bar{M} ölçümlerinin kaç katı örnek gerektiğinin bulunması gereklidir. Yaklaşık olarak 2 ile 10 katına kadar örneklem büyüklüğü genişleyebilir. Bu da örneklemin $3\bar{I}$ ve $3\bar{M}$ 'den başlayarak, gerektiğinde $30\bar{I}$ ve $30\bar{M}$ 'lik örnek boyutuna kadar ilerlenmesi anlamına gelmektedir. Örneklem hacminin ne kadar olacağına belirlenebilmesi için Merkezi Limit Teoremi'nden (5.7) yararlanılır.

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (5.7)$$

Burada, $\sigma_{\bar{x}}$ örneklemin standart sapmasını, σ_x ortalamanın standart hatasını ve n örneklem miktarını göstermektedir. Formülde σ yerine tablodan elde edilen K yazılırsa aşağıda belirtilen yeni formül (5.8) oluşur.

$$K_{\text{Gerekli}} = \frac{K_{\text{Tablo}}}{\sqrt{n}} \quad (5.8)$$

K_{Tablo} ifadesi belirlenen bir güven düzeyine göre ve eldeki örnek büyüklüğüne ait tablodan elde edilen katsayıdır. K_{Gerekli} ifadesi ise iyileştirmenin etkisinin anlamlı olarak gösterilebilmesi için gerekli olan katsayıdır. Gözlem miktarı arttıkça K_{Gerekli} değeri azalacaktır. Böylece \bar{X}_I ve \bar{X}_M 'nin minimum değerde ayrışması sağlanmış olacaktır.

Örneğin, ürettiği kabloların boylarının standardın altında kalması sorunu (Yeşil Y) yaşayan bir firma, bu sorunu aşmak için yaptığı çalışmalar sonunda belirlediği iyileştirme parametrelerinin doğruluğunu \bar{I} - \bar{M} Karşılaştırması ile test etmek

istemektedir [28]. α ve β riskinin %5 olarak belirlendiği çalışmada rassal olarak elde edilen 3 tane İ ve 3 tane de M sonucu incelenmiştir. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

$\dot{I}_1, M_2, M_1, \dot{I}_3, M_3, \dot{I}_2 \rightarrow 225, 212, 217, 219, 210, 223$

İ: 225, 223, 219

M: 217, 212, 210

Sonuçların standart sapmaları $\sigma_I=3,0$ ve $\sigma_M=3,61$ olarak çıkmaktadır. Karar kuralına göre standart sapmaları $\sigma_I=1,5.\sigma_M$ veya $\sigma_M=1,5.\sigma_I$ olmadığında $\sigma_I=\sigma_M$ olarak değerlendirilmeliydi. Bu durumda $\sigma_I=\sigma_M=3$ şeklinde işlemler ilerleyecektir.

Aritmetik ortalamaları $\bar{X}_I=222,3$ ve $\bar{X}_M=213$ olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak $\Delta = \bar{X}_I - \bar{X}_M = 9,3$ olmaktadır. \bar{X}_I ve \bar{X}_M 'nin minimum değerinde ayrışması için $\Delta = \bar{X}_I - \bar{X}_M = K.\sigma_M$ olmalıdır. Tablodan, β riskinin % 5 olduğu yerde, $\sigma_I = \sigma_M$ sütunda $K = 3,3$ bulunur.

Böylece, $K.\sigma_M = (3,3).(3,0) = 9,9$ çıkacaktır. $\bar{X}_I - \bar{X}_M \geq K.\sigma_M$ şartı sağlanamadığından dolayı %95 güvenilirlikle iyileştirme etkisinin büyüklüğü belirlenememiştir. Bu etkinin belirlenebilmesi için örneklem miktarının artırılması gereklidir. \bar{X}_I ve \bar{X}_M arasındaki ayrışmanın azaltılması için K değerinin düşürülmesi gerekmektedir. K'nın düşürülebilmesi için örnek sayısının artması gerekir. Eğer örnek sayısını iki katına çıkarılmak istenirse (6 tane İ ve 6 tane de M, toplam 12), gerekli olan K katsayısı (5.8) numaralı formül kullanılarak 2,33 olarak hesaplanacaktır.

$$K_{\text{Gerekli}} = \frac{3,3}{\sqrt{2}} = 2,33$$

Sonuçta, toplam 12 gözlemlerle, $K.\sigma_M = (2,33).(3,0) = 6,99$ çıkarak $\bar{X}_I - \bar{X}_M \geq K.\sigma_M$ şartı % 95 güven düzeyinde sağlanabilmektedir.

5.2.3.3. İ–M Karşılaştırması için “Hatanın Stres Testi”

İ–M Karşılaştırması pek çok endüstriyel problemi çözmesine karşı aşağıdaki durumlarda bazı sıkıntılar yaşayabilmektedir.

1. Herhangi bir ürün veya süreç içerisinde çok fazla çeşitte kusurla karşılaşıyorsa (ör, 7 ile 20 arasında), kesikli değişken yapısındaki Yeşil Y, Likert skalası kullanarak sürekli değişkene çevrilemeyebilir. Bu durumda hata değerleri gruplandırılarak yüzdelik dilimler halinde değerlendirilir. Ancak, 3İ ve 3M veya her İ ve M için daha büyük örnek boyutu iki kusur oranı arasındaki farklılığı ölçmek için yeterli olmayabilir.
2. Eğer hem İ hem de M’de ortaya çıkan hata oranları 50 ppm veya daha aşağısında çıkıyorsa (çok küçükse), üçer tane İ ve M gözlemi veya daha fazla örneklem almak İ ile M arasındaki farklılığı göstermek için yeterli olmayacaktır.
3. Bir problem, süreç içerisinde, kendisini bir kalite problemi olarak açıkça göstermediği, fakat tüketici eline geçtiğinde veya bir süre kullanıldıktan sonra güvenilirlik sorunu yaşamasında geleneksel İ–M Karşılaştırması yeterli olmayacaktır.

Bu sorunları aşılması ve Yeşil Y’nin geliştirilmesi için “hatanın stres testi” adı verilen özel bir teknik uygulanır. Bu teknik, ileriki konularda açıklanacak olan “Çoklu Ortam Stres Testi”nin (Multiple Environment Over Stress Test – MEOST) bir parçasıdır.

Stres olarak belirtilen terim, kontrol edilemeyen dış etkenlerin (ısı, nem, titreşim, toz, vb. faktörler ile bunların etkileşimlerinin ortaya çıkaracağı özel durumlar) ürün veya süreç üzerindeki etkileridir. Ürün veya sürecin bu etkilere karşı direnci “stres” olarak tanımlanmaktadır [73]. Örneğin; 3İ ve 3M’den oluşan bir deney için, bu birimlerin hata verene kadar bir veya daha fazla ortama veya strese maruz kaldığını varsayalım. Bu durumda Yeşil Y de stres nedeniyle ortaya çıkan bir probleme dönüşecektir. Eğer 3 tane İ, 3M’ye göre daha yüksek bir stresi kaldırabiliyorsa, İ’lerin M’lerden daha iyi olduğu %95 güvenilirlikle elde edilebilir. Aynı zamanda İ’lerin M’lerden ne kadar “daha iyi” olduğunun büyüklüğü de tahmin edilebilir. Bu testi yaparken, uygulanan stres faktörlerinin gerçek hayatla ilişkili olmasına dikkat edilmelidir.

Bir ürün veya sürecin tamamlanmasında kalite kadar güvenilirlik de önemli bir yer tutar. Kalite ve güvenilirlik arasında temel bir farklılık şudur. Kalite, bir ürünün fabrikadan çıktığı andaki (sıfır zaman) “iyi” olma ölçüsüdür. Güvenilirlik ise, zaman ve stres boyutlarıyla incelenir. Zaman, ürünün yaşam süresini, stres ise maruz kalınan pek çok dış etmeni belirtir.

Kalite ve güvenilirlik terimleri içerisinde, güvenilirlik daha önemli bir yer tutar. Ürünün müşteri gözündeki değeri, garanti ücretleri, ürünün iade edilmesi süreci, hukuki işlemler, vb. gibi ürünün kullanımı sırasında karşılaşılabilecek özel durumlara karşı firmanın yaklaşımı, ürünün geleceği hakkında önemli ipuçlarını oluşturur.

MEOST, ürün tasarımı ve geliştirmesi esnasında uygulanan bir yöntem olup ürünün geliştirilmesi esnasından geçerlik tespiti amaçlı kullanılır. Test ürünün kullanım alanına göre oluşturulan simülasyon platformu üzerinde gerçekleştirilir. Bir nevi yeni araç üreticilerinin aracı kullanıma sunmadan önce farklı bölge, iklim, kullanıcı, engebe, vs şartlarının doğrulandığı bir yöntemdir. Deney tasarımı gibi bir “deney” tekniği olan MEOST için Bhote şöyle bir benzetme yapmaktadır: FMEA, FTA gibi teknikler, olsa olsa, ana yemekten önce gelen “başlangıç yemekleri” konumundadırlar. MEOST ise, doymak için gerekli olan ana yemektir, ki diğerleri, aslında, ancak ana yemek sonrası yenmesi gereken yemeklerdir! [74]

5.3. Optimizasyon

Shainin Yönteminde şimdiye kadar anlatılan aşamalarda probleme dair ipuçlarının toplanmasından başlanılıp, belirlenen faktörler içerisinde yapılan iyileştirmenin çıktı varyasyonunu ne ölçüde etkilediğinin belirlenmesi için İ–M Karşılaştırması yapıldı. Bunun arkasından yapılması gereken işlem, belirlenen faktörlerin en uygun (optimum) değerlerin bulunmasıdır. Yapılacak iş, önemli olarak belirlenen değişkenlerin spesifikasyon limitlerinin veya tolerans değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu optimizasyonun yapılabilmesi için Serpilme Grafikleri ve Yanıt Yüzey Metodolojisi kullanılır.

5.3.1. Serpilme grafikleri (Scatter plots)

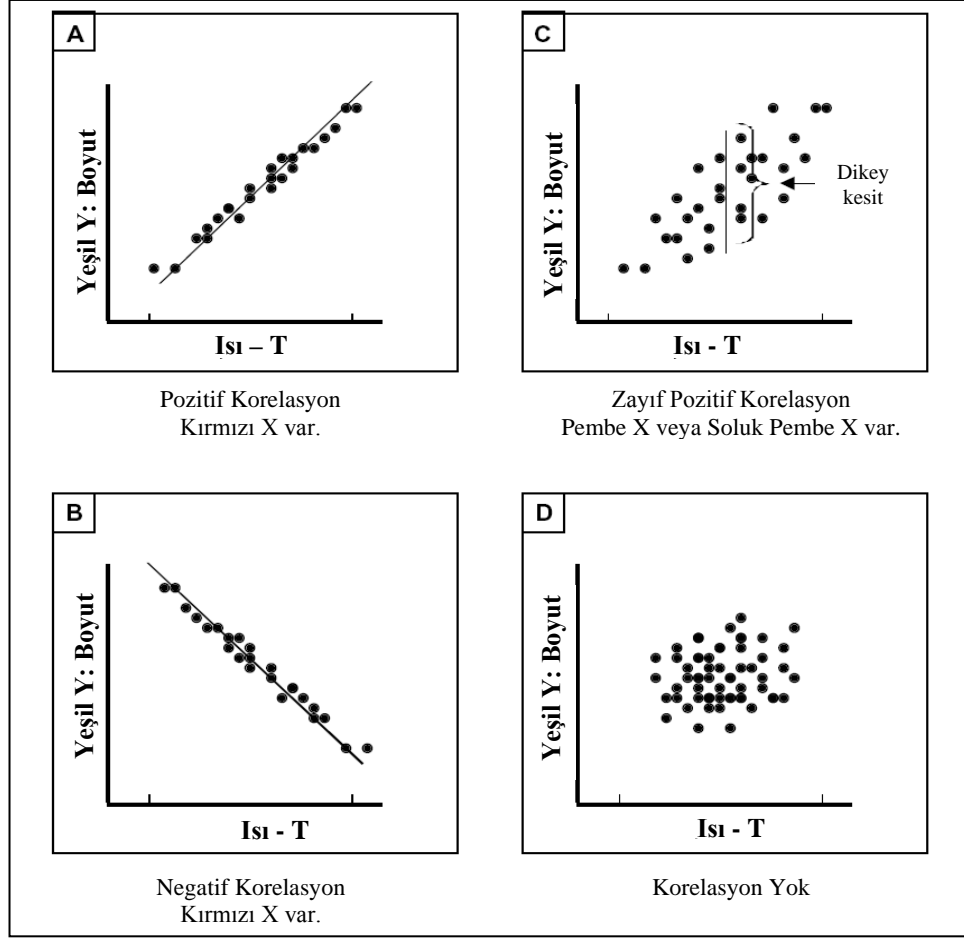
Serpilme grafiklerinin temel görevleri şunlardır: 1) Gerçekçi spesifikasyon ve tolerans değerlerinin bulunması, 2) Yüksek C_{pk} 'ya ulaşılması için önemli değişkenlerin toleranslarının sıkılaştırılması, 3) Maliyeti azaltmak için önemsiz olan değişkenlerin tolerans değerlerinin uygun ölçüde açılması.

Serpilme grafikleri sadece, Değişken Araştırması veya Tam Faktöriyelli Deney gibi işlemlerle aralarında güçlü bir etkileşim olmayan iki veya daha çok girdi değişkeninin elde edilmesi durumunda kullanılır.

5.3.1.1. Serpilme grafikleri metodolojisi

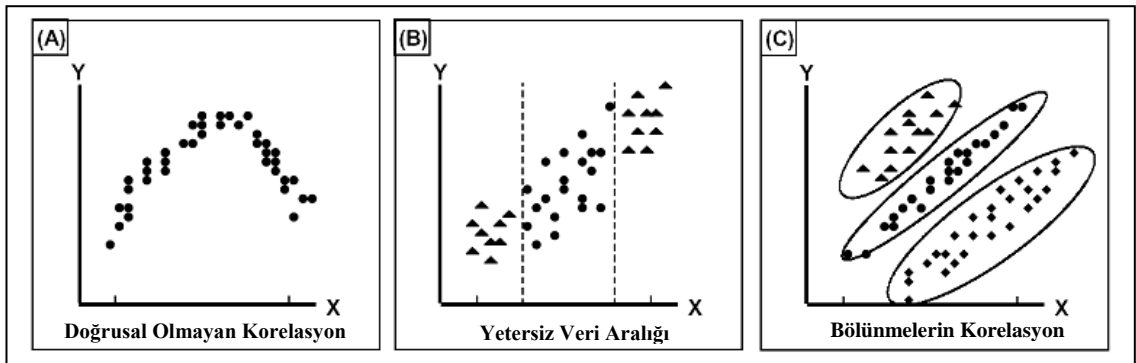
Grafik çizilirken x eksenini için bağımsız değişken (ölçülen faktör) ve y eksenini için de Yeşil Y (problem) atanır. Rassal olarak alınan 30 bağımsız ölçüm grafikte işaretlenir. Eğer bu serpilme grafiğinde belirtilen işaretlemeler bir doğruyu andırıyorsa bu noktalar arasından çizilebilecek bir doğru etrafında yoğunlaşmışsa doğru orantılı (Şekil 5.14-A) veya ters orantılı (Şekil 5.14-B) bir korelasyondan bahsedilebilir. Bu durumda incelenen faktör Kırmızı X'tir. Böylece, bu faktörün en uygun değeri ile birlikte toleransı da elde edilebilir.

Eğer grafik üzerindeki işaretlemeler yine bir doğruyu andırıyor, ancak, bu ölçümler noktalar arasına çizilecek bir doğrudan uzaklaşıyorsa, faktör ile Yeşil Y arasında zayıf bir ilişki var demektir (Şekil 5.14-C). Bu durumda, Pembe veya Soluk Pembe X değeri ile karşılaşılmıştır. Üçüncü durum olarak, ölçülen faktör ile Yeşil Y arasında herhangi bir ilişkinin olmadığı söylenebilir (Şekil 5.14-D). Başka bir ifadeyle, ilgilenilen değişken varyasyona etki eden önemli bir faktör değildir. Bu durumda grafikte herhangi bir doğrusal durum gözlenemez [60].



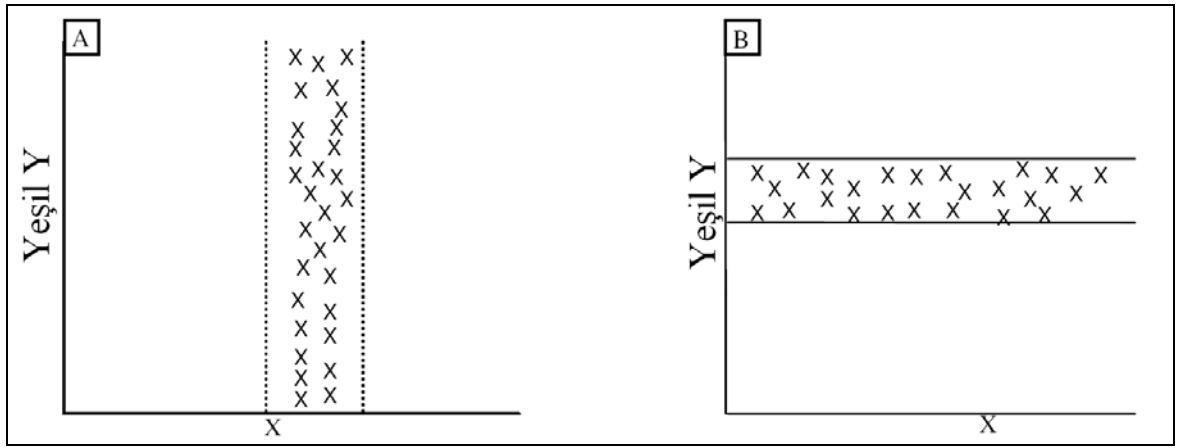
Şekil 5.14: Sıkça karşılaşılan yoğunluk grafikleri [28]

Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında sadece doğrusal ilişki değil, eğrisel ilişkiler de çıkabilir. Aşağıdaki grafiklerde (Şekil 5.15) eğrisel grafiklere dair örnekler verilmiştir. Bununla birlikte, veriler eğer katmanlara ayrılmışsa, serpilme grafikleriyle bu katmanların da Yeşil Y ile herhangi bir korelasyonu olup olmadığı görülebilir.



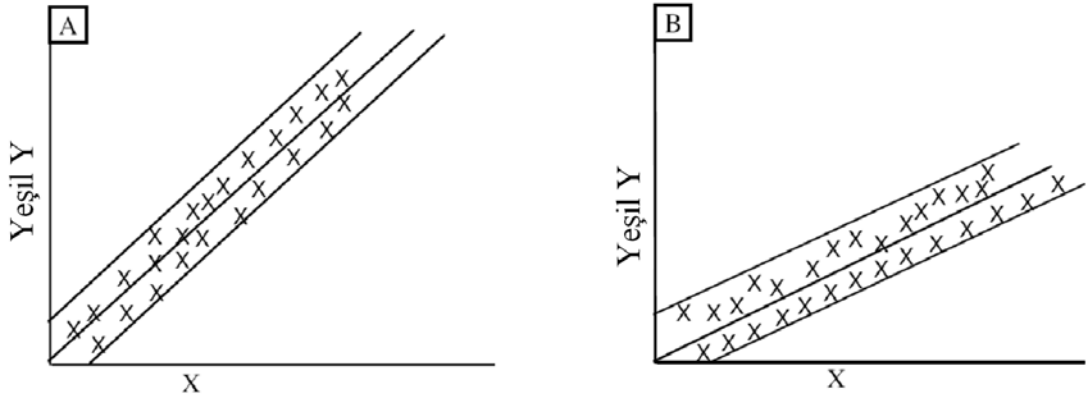
Şekil 5.15: Az karşılaşılan yoğunluk grafikleri [28]

Grafikte yatay ve dikey olarak biriken ölçüm sonuçları herhangi bir korelasyonu göstermez. İlk grafikte (Şekil 5.16-A) girdi değişkeni olarak kullanılan faktörün sabit tutulması sonucunda, Yeşil Y içerisinde çok büyük bir değişiklik görülmektedir. Dolayısıyla Yeşil Y farklı bir faktörün etkisine uğramaktadır. İkinci grafikte ise (Şekil 5.16-B) Yeşil Y’de herhangi bir varyasyon görülmemektedir. Ancak, X faktöründeki değişkenlik çok fazladır. Buna rağmen X faktörünün Yeşil Y üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.



Şekil 5.16: Dikey ve yatay yayılma grafikleri [28]

X faktörü ile Yeşil Y arasındaki doğrusal ilişkide ortaya çıkan eğim açısı, o faktörün daha önemli veya daha önemsiz olduğunu göstermez. Şekil 5.17’de verilen grafiklerden ilkinin eğimi 45° ve diğerininki ise daha düşük bir açıya sahiptir. Verilen ölçüm değerleri (X için kullanılan birim) birbirinden farklı olduğu durumlarda veya farklı tezgahlarda ölçüldüğü zaman ortaya farklı açılı doğrular çıkabilir. Bu nedenle daha yüksek açılı değişkenin Yeşil Y ile daha çok ilişkili olduğu sonucu çıkarılamaz.



Şekil 5.17: Farklı eğim açılarının olduğu yayılma grafikleri [28]

5.3.1.2. Gerçekçi spesifikasyon ve tolerans değerlerinin belirlenmesi

Gerçekçi spesifikasyon ve tolerans değerlerinin belirlenebilmesi için ilk önce Yeşil Y'nin seçilmesi ve buna dair müşterinin yeterli gördüğü maksimum ve minimum spesifikasyon limitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yeşil Y'yi etkileyen ve optimize edilmesi gereken faktörler (Kırmızı X, Pembe X ve Soluk Pembe X) ve bunlara dair iyileştirme değerleri (İ-M Karşılaştırması ile) bulunur.

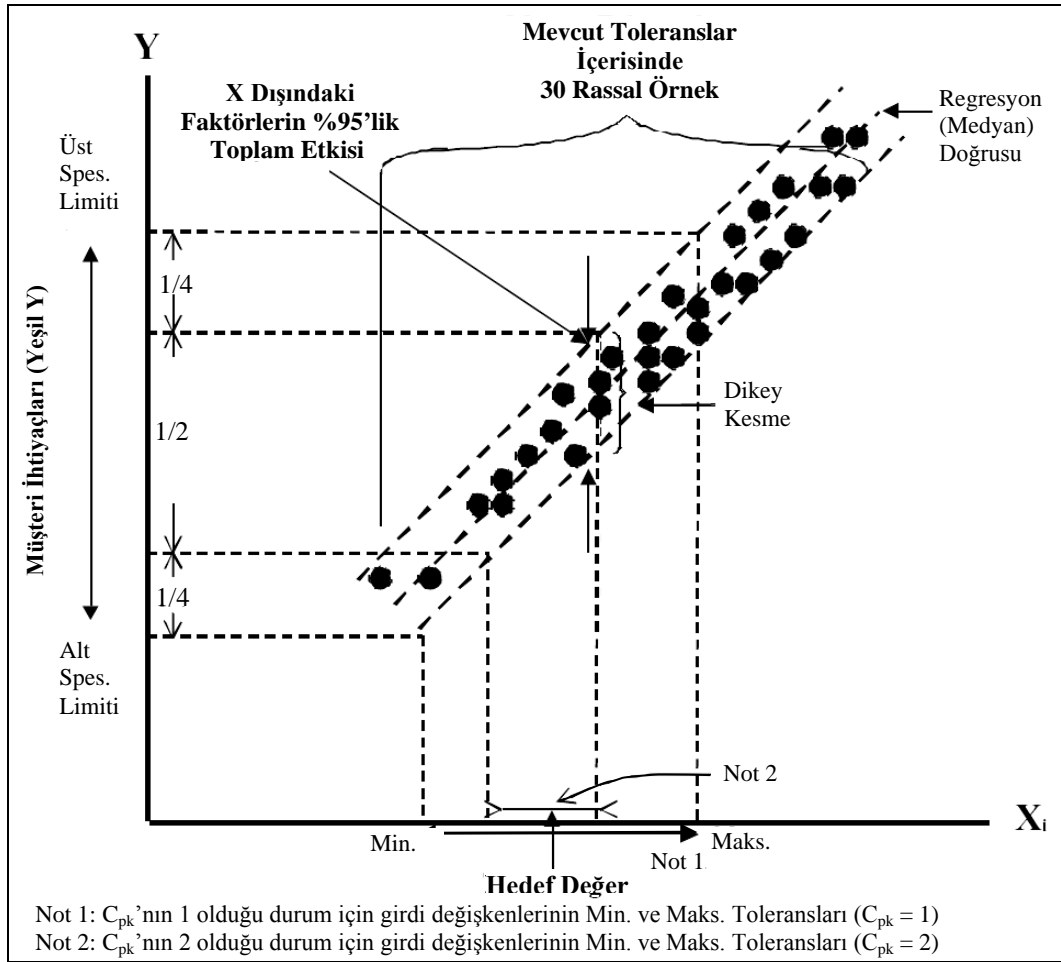
Elde edilen bu önemli faktörlerin kendi aralarında bir etkileşim yoksa veya ihmal edilebilecek seviyede düşükse, Serpilme Grafiği çizilebilir. Bu şart sağlanmıyorsa Yanıt Yüzey Metodu uygulanmalıdır.

Yeşil Y'nin optimum seviyeye çekilebilmesi için öncelikle Kırmızı X'e dair değer aralığı veya seviyeleri seçilmelidir. Bu değerler altında 30 tane gözlem incelenerek bunlar grafik üzerinde gösterilir. Eğer çizilen grafikte bir eğim oluşmuşsa ve belirtilen noktalar arasında küçük bir düşey dağılım söz konusuysa, incelenen değişken kesinlikle Kırmızı X'tir. Bunun aksine, eğer küçük bir eğim varsa (hatta hiç eğim yoksa) ve düşey dağılım çok genişlemiş ise incelenen değişken Kırmızı X olamayacağı gibi Pembe X de değildir. Hatta bu değişken “önemsiz” olarak da nitelenebilir.

Çizilen yayılım grafiğindeki dağılımın ortasından geçecek şekilde bir medyan doğrusu çizilir. Shainin Yönteminde buna “regresyon doğrusu” adı da verilmektedir. Daha sonra bu medyan doğrusuna paralel ve tüm gözlemleri kapsayacak biçimde medyan doğrusunun dış taraflarına iki doğru daha çizilir. Yeni çizilen bu paralel

doğrular arasındaki dikey kesme, Kırmızı X dışındaki tüm girdi değişkenlerinin Yeşil Y’de oluşturduğu varyasyonu ifade eder.

Kırmızı X’in bulunabilmesi için bu dikey kesmenin, Yeşil Y spesifikasyon limitlerinin %20’sini aşmayacak şekilde gerçekleşmiş olması gereklidir. Eğer dikey kesme Yeşil Y spesifikasyon değerlerinin % 20 ile % 50 arasında kalıyorsa, bu değişken Pembe X veya Soluk Pembe X’tir.



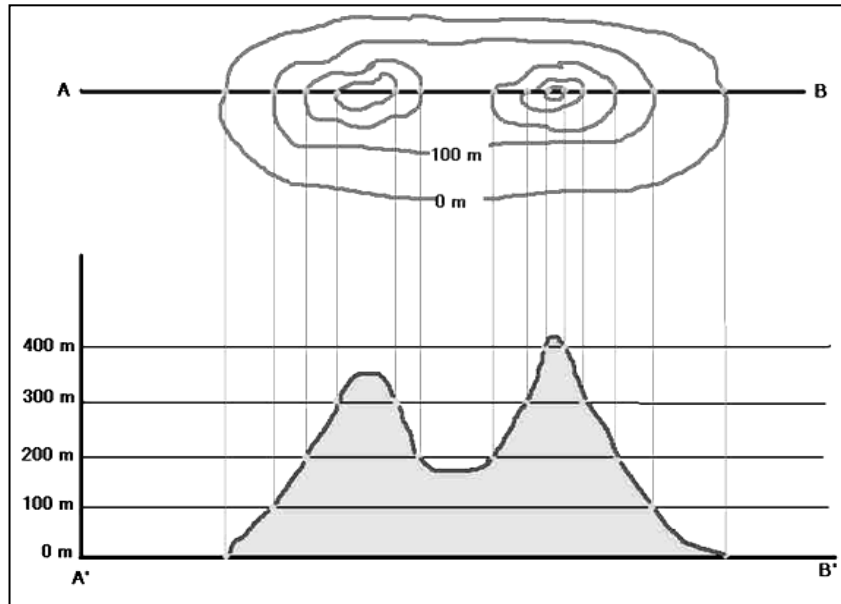
Şekil 5.18: Yayılma grafikleriyle gerçekçi spesifikasyon ve tolerans değerlerinin bulunması [28]

Şekil 5.18’de Yeşil Y’nin üst ve alt spesifikasyon limitlerine göre girdi değişkenindeki min. ve maks. değerler gösterilmiştir. Yeşil Y’nin limitlerinin ortada kalan %50’lik kesmini belirten değerlerin Medyan Doğrusuna paralel olan çizgilere uzanan noktaların x-eksenindeki izdüşümü istenilen “Hedef Değer”i verecektir. Bu da C_{pk} 'nin 2’ye eşit olması anlamına gelmektedir.

5.3.2. Kesişimlerin optimizasyonu için Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (YYM)

Yanıt Yüzeyi Metodolojisi (YYM) (Response Surface Methodology), değişik tipteki endüstriyel süreçlerin geliştirilmesi, iyileştirilmesi ve optimizasyonunda kullanılan istatistiksel ve matematiksel tekniklerin bütünüdür. YYM'nin en yaygın uygulamaları, birkaç girdi değişkenin (faktörün) bir ürün veya sürecin performans ölçüsü veya kalite karakteristiğini etkilediği durumlardır. Bu performans ölçüsü veya kalite karakteristiği yanıt (çıktı) olarak adlandırılmaktadır. Girdi değişkenleri araştırmacı veya uygulayıcı tarafından kontrol altında tutulabilmektedir [61].

YYM'nin amacı, Yeşil Y'nin (çıktının) optimum seviyeye taşınması için, önceki aşamalarda bulunan, etkileşim içindeki iki veya daha çok girdi değişkenlerinin en iyi seviyelerini belirlemektir. Yanıt Yüzeyi önemli ve birbiriyle etkileşim içerisinde olan girdi değişkenleriyle Yeşil Y (çıktı) arasındaki ilişkiyi matematiksel veya grafiksel olarak gösterme biçimidir. YYM'nin işleyiş mantığı topografik haritalar üzerindeki izohips eğrilerine benzer (Şekil 5.19). Yeşil Y'nin optimizasyonunu haritadaki tepeye benzetirsek, zirve noktasına ulaşmak için pek çok alternatif yol gösterilebilir. Deney tasarımında bu yollar “Geliştirici İşlemler” (EVOP), “Simpleks” ve “Rassal Geliştirici İşlemler” (REVOP) gibi yöntemlerle anlatılmaktadır [62].



Şekil 5.19: İzohips grafiği [62]

5.3.2.1. Geliştirici işlemler (EVOP)

Geliştirici işlemler (Evolutionary Operation – EVOP), verimliliği artırmak için süreç içinde yürütülen bir işlemler yöntemidir. Ayrıca, YYM optimizasyonları içerisinde EVOP en basit olanıdır. Pek çok EVOP deneyinde iki girdi değişkeni ile bir tane çıktı değişkeni kullanılır.

EVOP, yapılmakta olan bir sürecin işlediği aralık içerisinde genellikle çok etkenli olan basit bir deneydir. EVOP'ta denetlenecek değişkenlerin ölçülebilir olduğu ve üretimin niteliğini bozmadan, o andaki saptanmış değerlerinden az bir farkla yeniden saptanabileceği varsayılır. Buradaki düşünce, bir deney düzeninin çeşitli noktalarında yanıt değişkeni üzerinde veri toplamaktır. Tüm noktalardan veri alındıktan sonra bir tur (cycle) tamamlanmıştır denir. Bir tur, yanıtta herhangi bir kaymayı belirlemek için çoğunlukla yeterli değildir, bu nedenle ikinci bir tur daha yapılır. Bu, deneysel hatanın bir ölçümü ile karşılaştırıldığında bir ya da daha çok kontrol değişkeninin etkileri, bunların etkileşimlerinin etkisi ya da ortalamadaki bir değişim önemli bulunana değin sürer. Hatanın bu kestirimi tur verilerinden elde edilir. Böylece deney, kendi kendine yetebilen bir deney haline gelir. Verimde önemli bir artış bulunduktan sonra bir evre tamamlanmıştır ve noktada verimi artırıcı bir yönde temel işleyiş koşullarını değiştirmek için bir karar verilebilir. Bir değişim belirlenmeden önce bir çok tur gerekli olabilir. Buradaki amaç yanıt yüzeylerinde olduğu gibi optimum yanıt yönünde ilerlemektir. Yanıt yüzeyi denemesi öncelikle bir laboratuvar ya da araştırma yöntemidir; EVOP ise üretim hattı yöntemidir [63].

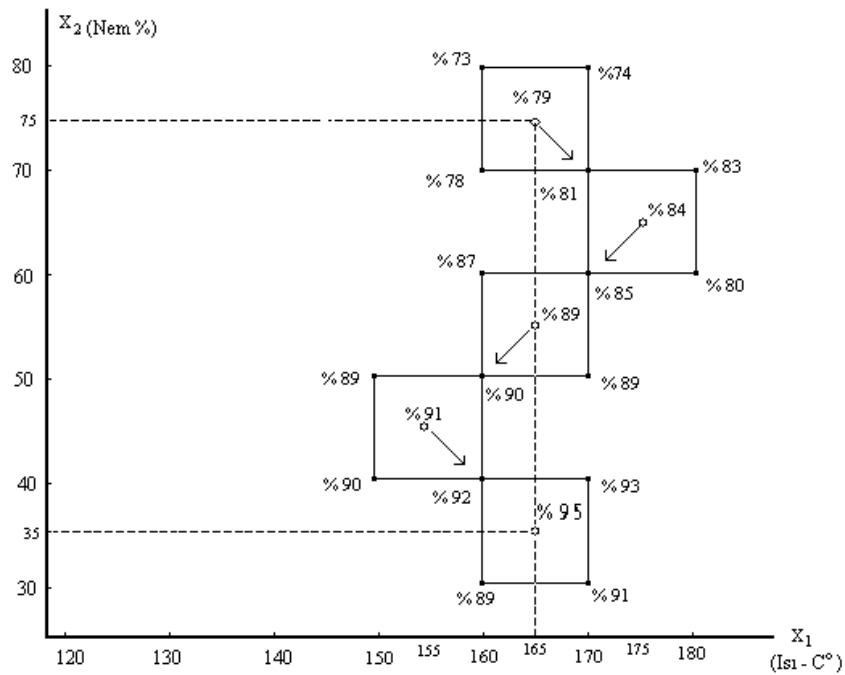
2^2 boyutlu deneylerde kullanılan EVOP yönteminde çıktı değerleri faktörlerin bu seviyelerine göre bir dörtgen oluşacak şekilde grafikte gösterilir. Çizilen dörtgenin köşeleri girdi değişkenlerinin (x_1 , x_2) “iyi” (+) ve “kötü” (-) olduğu seviyelerde, Yeşil Y'de ortaya çıkan varyasyon oranını belirtir. Buna göre, sağ üst köşe iki değişkenin (+, +), sol üst köşe (-, +), sağ alt köşe (+, -) ve sol alt köşe de (-, -) olduğu durumu gösterir.

Dörtgenin merkezine denk gelen noktaya göre değişkenlerin seviyelerinde düzenleme yapılarak Yeşil Y oranı hesaplanır. Eğer köşe değerlerinden birisi merkez nokta değerinden daha büyük çıkarsa yeni bir tur (dörtgen) daha yapılır. Yapılacak yeni turda, önceki dörtgenin büyük köşesinden başlanarak ve önceki dörtgenin

çaprazı istikametinde yeni bir dörtgen oluşturulur. Dolayısıyla, değişkenlerin seviyeleri de değişmiş olur. Turlar, merkez noktanın köşe noktalardan daha büyük çıktığı zamana kadar devam eder.

EVOP için en az iki en fazla yedi turda sonuca ulaşılabilir. Böylece etkileşim içerisinde olan iki faktörün seviyeleri net olarak belirlenerek, çıktı varyasyonunun büyük olan oranı düşürülebilir.

Şekil 5.20'deki örnekte EVOP'un işleyişi gösterilmiştir. İlk aşamada birinci tur (en üstteki dörtgen) çizilerek değişkenlerin değerleri yukarıda tarif edildiği biçimde yerleştirilmiştir. Her bir deney sonucunda elde edilen çıktı değişkenliği yüzde olarak bu köşelere yazılmıştır. Örneğin, (x_1, x_2) ikilisi için, $(+, +)$ % 74 ve $(+, -)$ ise % 81 sonucunu çıkarmıştır. Elde edilen dörtgenin merkezine gelen noktaya göre seviyelerin arasında bir değer alındığı vakit, oluşan çıktı yüzdesi ise % 79 olmaktadır. Bu merkez değer her hangi bir köşeden daha yüksek olup olmadığına bakılır.



Şekil 5.20: Isı ve nem etkileşimlerinin EVOP aracılığıyla optimizasyonu

Sağ alt köşe değeri daha yüksek çıktığı için, o köşeden başlanarak yeni bir dörtgen çizilir. İkinci aşama olarak nitelenen bu dörtgen için de birinci aşamadaki işlemler yapılır. Merkez değer köşe değerlerden daha yüksek çıkana kadar aşamalar (turlar)

devam eder. Grafikte, ancak beşinci aşamada (turda) optimum seviye yakalanabilmiştir. Buna göre, ısı ve nem etkileşiminden etkilenen Yeşil Y için, ısı 165° ve nem oranı da %35 seviyesinde tutulmalıdır.

EVOP kullanarak her ne kadar etkileşim faktörünün en uygun değerleri bulunabiliyorsa da, bu yöntemle etkileşim faktörlerinin neler olduğunun bulunamayacağı unutulmamalıdır. Çünkü, etkileşim içerisinde olan faktörler daha önce bahsedilen yöntemlerle (ipucu yaratma teknikleri, değişken araştırması veya faktöriyel analiz) bulunur. Bunun yanı sıra EVOP, dörtlü etkileşimden fazla dereceler için kullanılamaz. Eğer böyle bir durumla karşılaşırsa REVOP uygulanmalıdır. EVOP'un önemli bir noktası da sürekli değişkenlerle çalışıyor olmasıdır.

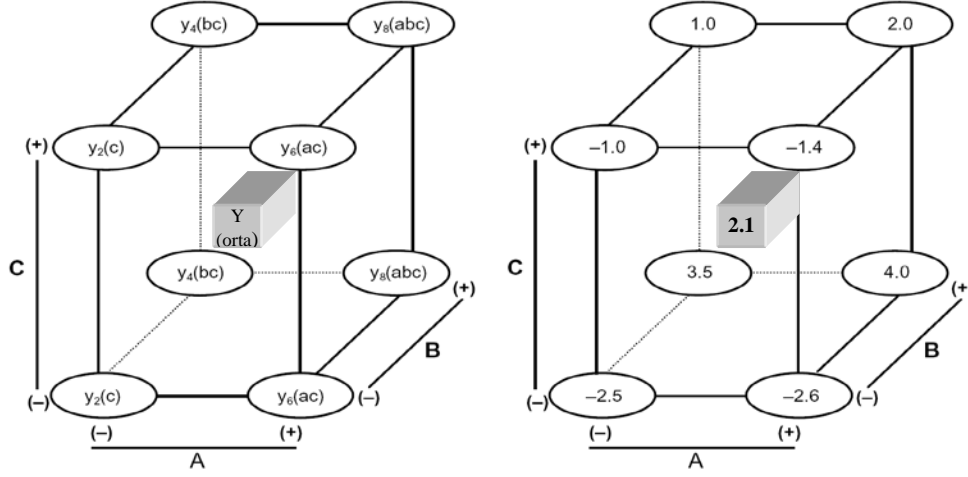
Yeşil Y üzerinde üçlü bir etkileşim söz konusuysa ve bu etkileşim için faktörlerin seviyeleri belirlenecekse, EVOP'un ikili etkileşimlerinde kullanılan prensiplerine sadık kalarak, çizilecek grafik bu sefer üç boyutlu olarak tanımlanır.

2³ boyutlu tam faktöriyelli analiz sonucunda (Şekil 5.21) elde edilen bu üçlü etkileşim faktörü (ABC) için A, B ve C ana faktörlerinin (+) ve (-) seviyelerine göre grafikleri çizilir. Sonuçta, küpü andıran bir şekil ortaya çıkar. Eğer bu grafiğin 8 köşe değerinden birisi merkez noktasından daha büyük çıkarsa, ikili EVOP'ta olduğu gibi, bu köşe noktasından başlanarak yeni bir küp daha çizilir. Merkez nokta değeri köşe değerlerinden daha büyük çıkana kadar bu işlem devam eder. Böylece Yeşil Y'ye dair optimum faktör seviyeleri belirlenmiş olur.

		A(+)	A(-)
C(+)	B(+)		
	B(-)		
C(-)	B(+)		Merkez Nokta
	B(-)		

Şekil 5.21: Üç girdi değişkenli EVOP için faktöriyel matris düzeni

Şekil 5.22’de 2^3 boyutlu bir örneğe dair EVOP’un ilk aşamasında çizilebilecek ilk küp verilmiştir [64]. Bu şekle göre devam edilirse gidilecek istikamet Yeşil Y değerinin 4,0 olduğu köşedir.



Şekil 5.22: Üç girdi değişkenli EVOP görünümü [64]

Dörtlü etkileşim olduğu zaman (ABCD), 2^4 ’lük bir tam faktöriyelli deneye ihtiyaç vardır. Yeşil Y’nin diğer EVOP çalışmalarında olduğu gibi grafik üzerinde ifade edilmesi imkansızdır. Bunun için deneyin tablolaştırılmış yapısındaki merkez nokta tespit edilir (Şekil 5.23). Daha sonra ortaya çıkacak 16 köşe değeri bu tabloda belirtilir. Önceki işlemlerde olduğu gibi yine köşe noktalarının daha büyük olanı aranır. Merkezi değerden daha büyük olan bu noktadan başlanarak 2^3 ’lük bir EVOP çalışması yapılır.

		A(+)		A(-)	
		B(+)	B(-)	B(+)	B(-)
C(+)	D(+)				
	D(-)				
C(-)	D(+)			Merkez Nokta	
	D(-)				

Şekil 5.23: Dört girdi değişkenli EVOP için faktöriyel matris düzeni

5.3.2.2. Simpleks

EVOP yönteminde grafik kullanarak adım adım ilerleyerek Yeşil Y'nin zirve değerine ulaşılmaktaydı. Her ne kadar kolay bir yöntem olmasına rağmen yapılan deney sayısı artmaktadır. Örneğin 2^2 faktöriyelli deney sonucunda ve 7 aşama (kare) sonrasında optimum seviyeye ulaşıldığını varsayarsak merkez noktalar ile birlikte toplamda 28 deney yapılması gerekmektedir.

Simpleks yöntemi, EVOP'a göre daha karmaşık bir yapıda olmasına karşın daha az deneye, başka bir deyişle daha hızlı bir biçimde optimum seviye ulaşabilmektedir. Simpleks tasarımı yapılırken, n etkileşimde olan faktör miktarını göstermek üzere her aşamada (n + 1) tane noktaya ihtiyaç duyulur. Simpleks yönteminin işleyişi ve aşamaları aşağıdaki örnek üzerinde anlatılmıştır [28].

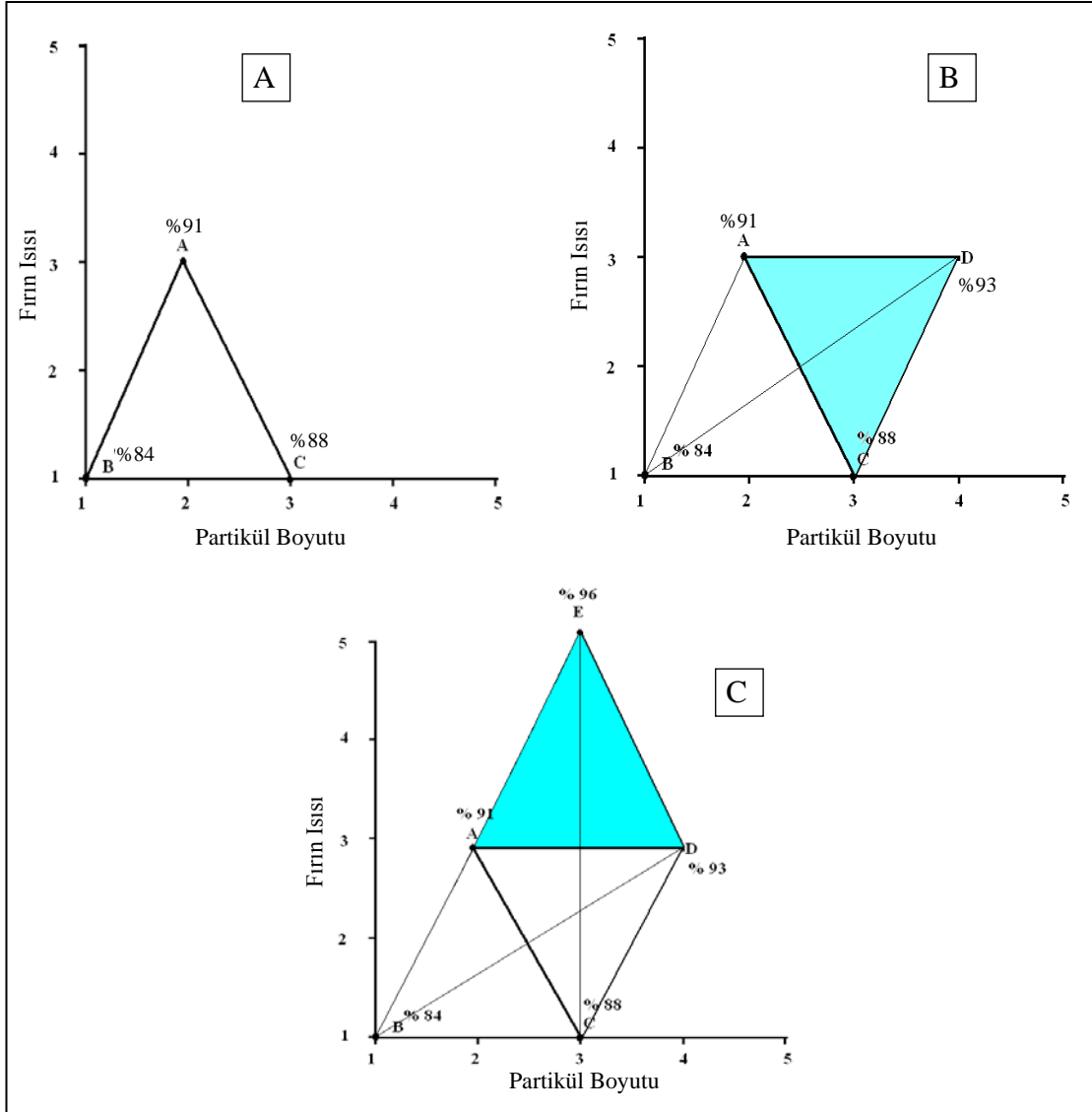
Bir seramik boyama ünitesinde, boyanan yüzeydeki hatalar Yeşil Y olarak tanımlanmaktadır. Bileşen Araştırması sonucunda iki faktörün (toz partikül boyutu ve fırın sıcaklığı) etkileşim içerisinde oldukları bulunmuştur. Bu faktörler kodlanarak 1 ile 5 arasında bir değer olarak grafiğe yansıtılmıştır (Şekil 5.24). Değişken araştırması ile boyanan yüzeydeki hataların değişkenliği % 84 oranında azaltılabilmektedir. Ancak hedeflenen değer olan % 97'ye ulaşabilmesi için Simpleks yöntemine başvurulmuştur. Üç aşamada yapılan bu deney ile aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

İlk aşamada sıcaklığa dair 2 seviye ve partikül boyutuna ait 3 seviye için gözlem yapılmıştır. Yüzde olarak ifade edilen yanıt değişkeni, üçgen şekline getirilen grafiğin köşe noktalarında gösterilmiştir. (Şekil 5.24-A)

% 84'lük oran (B noktası) çıktı değişkeninin en az olduğu noktadır. Bunun yanı sıra faktörler diğer seviyelerindeyken çıktı değişkeninde % 88 (C) ve % 91'lik (A) bir artış olmaktadır.

Optimizasyonun sağlanabilmesi için, hedef değer olan % 97'ye doğru yaklaşılması gereklidir. Bu nedenle % 84'lük düşük seviye (B) elenerek yeni bir Y değeri bulmak

için, artış yönünde partikül boyutu için yeni bir seviye belirlenmesi gereklidir. Bunun için, elenmiş olan B noktasından, B noktası ile AC kenarı arasındaki dikme (h_1) uzunluğu kadar daha ilerlenir ($2 \times h_1$). Bu doğrunun bittiği nokta (D) yeni seviyelerin olduğu değerdir. Bu seviyelere göre deney yapıldığında da %93 sonucuna ulaşılmaktadır (Şekil 5.24-B). Hedef değere yaklaşılmasına rağmen hala ulaşamamıştır. Bu nedenle üçüncü aşamaya geçilir.



Şekil 5.24: Boyama prosesi örneği için Simpleks deneyi

Üçüncü aşamada da ikinci aşamada yapılan yöntem uygulanır. Bu sefer küçük çıkan çıktı oranı C noktasındadır (% 88). C noktasından $2 \times h_2$ uzunluğu kadar ilerlenir. Böylece E noktası oluşturulur. Bu noktadaki seviyelere göre deney yapıldığında ise

çıktı yüzdesinin % 96 olduğu görülmüştür. Bu sonuç da hedef değere ulaşıldığı anlamına gelmektedir. (Şekil 5.24-C)

Birkaç aşama daha ilerlemek de mümkündür. Ancak maliyet ve zamandan kazançlı olmak için bu kadar yakın bir değerın çıkması da yeterli olabilmektedir. Simpleks yöntemi kullanılarak 2^2 boyutlu bir çalışma için, 3 aşama boyunca toplam 5 deney yapılmıştır ($3+1+1=5$). Eğer bu deney EVOP ile yapılmış olsaydı 12 deneye ihtiyaç duyulacaktı.

5.3.2.3. Rassal geliştirici işlemler (REVOP)

EVOP kullanıldığında, etkileşim içerisinde olan faktör sayısının dördün üzerinde olduğu durumlarda, zaman ve maliyet kaybı daha da çoğalmaktadır. Bunun önüne geçmek için Rassal Geliştirici İşlemler (Random Evolutionary Operation – REVOP) kullanılmaktadır. EVOP'ta kullanılan teori baz alınarak, iyileştirmenin yapılacağı istikamet rassal olarak belirlenir. Genellikle 16 ile 20 deney sonrasında optimum seviye yakalanır.

REVOP'un uygulanabilmesi için ilk önce etkileşim içindeki girdi değişkenlerinin sayısının mümkün olduğunca düşürülmesi gereklidir. Eğer bu mümkün değilse, faktörler listelenerek, güvenlik, maliyet, deneyim, müşteri istekleri vb. durumlar göz önünde bulundurularak her bir faktörün değişim aralıkları bulunur. Bu faktörlerde rassal bir istikamet ve değişim miktarı seçilir. Her faktör için yapılan bir deneme sonrasında en geniş aralık tespit edilir. Önceki deneylerde elde edilen en iyi seviyeler çıkış noktası olarak belirlenerek ilk rassal değişimlerin grafiği çizilir. Çizilen bu grafik tatmin edici düzeydeyse aynı istikamette gidilir, değilse ters istikamete dönülür.

Bunun arkasından ikinci bir istikamet seçilir. Ancak seçilecek bu yol için sonucun tatmin edici olmasının önemi yoktur. Dört tane rassal ve tatmin etmeyen istikamet elde edilene kadar bu adımlara devam edilir. Bu aşamalarda Yeşil Y'nin optimum seviyesine ulaşma şansı artar. Dörtlü etkileşimlerin ortaya çıkma olasılığı çok zayıf olduğu için REVOP bu çalışmada ayrıntılı olarak gösterilmemiştir. Ancak detaylı bilgi için Juran'ın Kalite El Kitabı'ndan faydalanılabilir [65].

5.4. Deney Tasarımından İPK'ya Geçiş

Proseste karşılaşılan kronik problemlerin çözümü için şimdiye kadar uygulanan yöntemlerle faktör seviyelerinde bir optimizasyon yapılmıştır. Ancak yapılan bu optimizasyon ile yapılan çalışma sona ermemektedir. Yapılacak istatistiksel proses kontrol (İPK) çalışmasıyla faktörlerin bu seviyelerinin ortaya çıkaracağı sonuçlar gözlenerek süreç içerisinde gerekli bakımlar yapılmaktadır. İPK'nın bir problem çözme tekniği değil, iyi bir süreç izleme ve bakım aracı olduğu unutulmamalıdır. İPK'ya başlamadan önce yapılması gereken ve genellikle kalite geliştirme çalışanları tarafından atlanan iki önemli aşama daha vardır. Bunlardan ilki Positrol ve ikincisi de Süreç Onaylama'dır.

5.4.1. Positrol

Yapılan tüm deney tasarımı çalışmaları sonucunda elde edilen optimum değerler gerçek hayatta günlük olarak kontrol edilemediği için bir süre sonra tekrar çıktı değişkenliğinde artışlar görülebilmektedir. Bu nedenle tespit edilen faktör seviyelerinin dondurulması ve bunun kontrolünün yapılması gereklidir.

5.4.1.1. Positrol ve Positrol Tablosu

Pozitif Kontrol (Positive Control) kelimelerinin birleştirilmesiyle oluşan Positrol kavramı çerçevesinde önemli faktörlerin optimum sonuçları kontrol altına alınır. Bunun için bir sorgulama yöntemi olan 5N 1K tekniği kullanılır (Ne, Niçin, Nasıl, Nerede, Ne Zaman ve Kim).

NE sorusu araştırılan ve optimizasyonu yapılan parametreyi (faktörü) temsil eder.

NİÇİN sorusu tüm problemler için ayındır. Amaç, çıktı değişkenliğinin azaltılmasıdır.

NASIL sorusu ile parametrenin ölçüm yöntemi belirtilir

NEREDE sorusuyla ölçümün yapıldığı mekan ifade edilir.

NE ZAMAN sorusu sonucunda parametrelerin ne sıklıkla ölçüldüğü kaydedilir.

KİM sorusu ile parametre değerlerine dair izlemenin, ölçümün veya kaydın kimin veya neyin tarafından yapıldığı belirtilir.

Parametrelere ait bu sorgulama yapıldıktan sonra, sorulara verilen yanıtlar bir tabloda gösterilir. Buna “Positrol Planı” adı verilir. Niçin sorusuna verilecek yanıt hep aynı olduğu için, bu soru tabloda gösterilmez. Tablo 5.21’de örnek bir Positrol Planı verilmiştir [28].

Tablo 5.21: Positrol planı [28]

Faktör (NE)	Spesifikasyon ve Toleranslar	Ölçüm			
		KİM	NASIL	NEREDE	NE ZAMAN
Ön Isı Derecesi	220°F ± 5°	Otomatik	Isılayışım	Üretime Giriş	Sürekli
Eğim Açısı	7° ± % 20	Proses Teknikeri	Açı Ölçer	Kaldıraç	Her model değişiminde
Bant Hızı	6 ft/dk ± % 10	Proses Teknikeri	Sayaç	Bant Besleyici	Her model değişiminde
880 Erime Yoğunluğu	0,864 gm/cc ± 0,008	Lab Teknikeri	Özel Ağırlık Ölçeği	Laboratuvar	Günde bir kez

Positrol planlaması yapıldıktan hemen sonra bir çeşit kontrol kartı olan Positrol Tablosu hazırlanmalıdır. Oluşturulacak bu tablo, süreç içerisinde belirlenen bir kişi tarafından doldurularak kalite kontrol ekibi tarafından periyodik olarak takip edilir. Bu tablo içerisinde, çalışma günleri, gün içerisindeki ölçüm saatleri, her vardiyada kaç gözlem yapıldığı ve bu zaman dilimleri içerisinde her parametrenin ortaya çıkardığı değerler yer alır. Tablo 5.22’de Positrol Tablosuna ait bir örnek sunulmuştur [28].

Positrol işleyiş bakımından ISO-9000 kalite sistemine paralel bir yapıda gibi görünmesine rağmen, ikisi arasında ciddi bir fark vardır. ISO-9000, sürecin deney tasarımıyla geliştirilmeye başlanmasından önce uygulanır. Böylece ortaya çıkacak kusurlar dondurulmuş (veya sabitlenmiş olur). Bunun aksine, Positrol ise iyileştirmeleri dondurarak sürecin daha da iyiye gitmesini sağlar [28].

Tablo 5.22: Positrol tablosu [28]

Makine Parametreleri	Pazartesi			Salı			Çarşamba			Perşembe			Cuma			Cumartesi						
	6a	12p	12a	6a	12p	6p	12a	6a	12p	6p	12a	6a	12p	6p	12a	6a	12p	6p	12a			
	Güç (W)			Gaz Basıncı (µ)			Hız (IPM)			Vakum (3x10 ⁻⁶)			Kontrol Edilen			Her vardiya sonundaki toplam ölçüm sayısı						
800-900	820	800	820	820	832	865	820	820	820	820	820	820	800	882	861	861	861	861	861	861		
47060-4900	4848	4830	4779.2	4779	4772	4797	4779	4779	4817.5	4817.5	4817.5	4770	4772	4817	4770	4855	4855	4819.5	4819	4819		
2300-2400	2400	2400	2400	2400	2370	2370	2510	2370	2370	2370	2370	2370	2370	2370	2370	2340	2340	2340	2340	2340	2340	
1050-1150	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1066	1111	1127.5	1127.5	1127.5	1227	114	1127	1148	1148	1148	1148	1148	1148	1148	
2300-2400	2400	2400	2400	2400	2370	2370	2570	2370	2370	2570	2570	2370	2370	250	2370	2340	2340	2340	2340	2340	2340	
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	
9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	
9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	
7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	
7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
Vakum (3x10 ⁻⁶)	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	
Kontrol Edilen																						
Her vardiya sonundaki toplam ölçüm sayısı	12	14	14	10	9	9	9	5	9	9	9	7	8	9	9	8	9	8	8	8	8	8

Yorumlar / Problem Sebebi

5.4.1.2. Düzenlemeden sonra yaşanabilecek gerilemenin sebepleri

Deney tasarımı sonrasında ortaya çıkan parametre seviyelerinin uygulanmasıyla daha iyi sonuç beklenir. Ancak bazen bu beklenti hayal kırıklığıyla da sonuçlanabilir. Bu olumsuz durumun pek çok sebebi vardır. Bunlardan bazıları aşağıda listelenmiştir.[28]

1. Deney yapan kişilerin, iyileştirmeleri İ-M Karşılaştırmasıyla onaylamamaları,
2. Deney yapan kişilerin, Positrol'ün önemini teknik personele, hat operatörlerine veya bakım elamanlarına tam olarak anlatmaması veya Positrol konusunda yeterli rehberlik hizmeti sunmamaları,
3. Gerçekten de kaliteli bir iş çıkarmak için endişe duyan operatörlerin, deney tasarımının bir çözüm parçası olmadıkları halde, içinde buldukları prosesin saat gibi işlediğini ve işlerini mühendislerden daha iyi yaptıklarını düşünmeleri,
4. Teknisyenlerin sürekli kontrol düğmeleriyle uğraşmaktan kendilerini alamamaları,
5. Atölyedeki disiplin eksikliği,
6. Çıkacak sonuçların sorumluluğunun çok fazla kişiye yayılmış olması,
7. Hat operatörlerinin Positrol'ün prosesin iyiliği için değil de kendi çalışmalarını izleyen bir sistem olarak düşünmeleri.

5.4.2. Süreç onaylama

Süreç Onaylama (Process Certification), üretim mekanı içerisinde bulunan ve düşük kaliteye neden olan çevresel sebeplerin sistematik olarak denetlenip bunların düzeltilmesi işlemidir. Deney tasarımı sırasında hesaba katılmayan çevresel faktörler (veya gürültü faktörleri), yapılan deneylerin başarısız olmasına yol açabilir. Süreç Onaylama ile kalitesizliğe yol açan bu çevresel faktörler bulunarak deney öncesinde veya deney sonrasında elenir. Herhangi bir deney tasarımı yapılacağı zaman Süreç Onaylamanın mutlaka yapılması gereklidir.

Süreç Onaylama'nın mantığı Murphy Yasalarını andırır. Murphy Yasasına göre "Bir şeyin ters gitme olasılığı varsa, ters gidecektir." Bunu çıkış noktası olarak belirleyen Süreç Onaylama, her ne kadar çıktı değişkenliği önceki deney tasarımı yöntemleriyle

düşürülmüş olsa da, ürün veya süreçte oluşacak kalitesizliğin süreç dışında kalan sebeplerini araştırır.

5.4.2.1. Düşük kaliteye sebep olan çevresel faktörler

Düşük kaliteye sebep olan çevresel faktörlerin beş ana başlıkta toplanmaktadır [28].

1. Yönetim / Denetim Yetersizliği
2. İyi Üretim Pratiklerinin Bozulması
3. Atölyeye / Ekipmana Dikkat Edilmemesi
4. Çevrenin İhmal Edilmesi
5. Kişisel Eksiklikler

Bu ana başlıklar altında toplanan her bir maddenin içeriği Tablo 5.23'te verilmiştir.

5.4.2.2. Süreç onaylama metodolojisi

Süreç Onaylama, prosesle ilgili olmak üzere disiplinler arası bir ekibin çalışması ile daha iyi sonuç verecektir. Bu ekibin içerisinde Ar-Ge, üretim, kalite ve diğer departmanlardan kişiler yer alabilir.

Bu ekip, incelenen prosese ait kalitesizliğe yol açan dış etmenlerin listesini oluşturur. Bu problemlerin düzeltilmesi çalışmasından sonra prosesin verimliliği denetlenir. Eğer söz konusu problemler kesin olarak çözülmüşse bu süreç onaylanabilir [28].

Süreç onaylamanın ne zaman yapılması gerektiği konusunda yapılan öneri ve tavsiyeler, bu işlemin deney tasarımının ve Positrolün hemen arkasından veya bir bakım aracı olarak kullanılacaksa da İPK'dan önce yapılması yönündeydi. Ancak, Bhote'nin tavsiyesi [28], prosesin bir öndenetimden geçmesi için, süreç onaylamanın deney tasarımının başında ve sonrasında yapılması yönündedir. Bunun sebebini de "prosesin çevresel sorunlarla birlikte mi başladığı"nın tespit edilmesi olarak söylemektedir. Eğer bu sorunlar çözülememişse, bunlar deneyin sinyal-gürültü oranını aşan "gürültü" faktörleri (kontrol edilemeyen faktörler) arasına katılır.

Tablo 5.23: Düşük kaliteye sebep olan çevresel faktörler

1. Yönetim / Denetim Yetersizliği	2. İyi Üretim Pratiklerinin Bozulması	3. Atölyeye / Ekipmana Dikkat Edilmemesi	4. Çevrenin İhmal Edilmesi	5. Kişisel Eksiklikler
<ul style="list-style-type: none"> Hat üzerinde çalışanlardaki korku Çalışanların fikirlerinin bastırılması Hata sebebinin yok edilmesi Hattın diktatörel bir biçimde denetlenmesi Departmanlararası veya çok fonksiyonlu takımların olmaması Kalabalık olma Devamsızlığın yüksek olması Kazanç veya fayda paylaşımının olmaması Eğitimin az olması veya hiç olmaması Poka-Yoke'nin az olması veya hiç olmaması Operatörlerin belgesiz olması Çok hünerli operatörlerin cesaretlendirilmemesi Hedeflere ulaşılmaması Ölçümler <ul style="list-style-type: none"> Düşük kalite maliyetinin hesaplanmaması Sonuçların veya döngülerin izlenmemesi C_p ve C_{pk}'nin ölçülmemesi Sonuçlara dair geribildirim az olması Sesli veya görsel kalite alarmları işaretlerinin olmaması Veri kirliliği (verilerle az çalışılması) Çalışanlarda düşük kaliteli hattu kapatmak için yetkinin olmaması Positrol'ün olmaması Denetçilerin bölümlerle değil kağıt üzerinde çalışması Niceliğin niteliğin önüne geçmesi Yapılacak işin tanınma eksikliği Kötü çalışma koşulları 	<ul style="list-style-type: none"> İş Standartları Prosedürü'nün yazılı olmaması veya çok zor olması. Çalışan ve türünler için kötü güvenlik önlemleri Zayıf ergonomi Temizliğin kötü olması Ürün akışına göre süreç akışının olması İtme ve çekme sistemleri Ayarlama sürelerinin uzunluğu Fala envanter olması Aletlere erişimin güç olması Model değişiminin sık olması Hat duruşlarının sık olması Karmaşık, çelişkili ve anlaşılmasız talimatların olması Üretim ağırlım çok fazla olması 	<ul style="list-style-type: none"> Toplam Verimli Bakım'ın (TPM) uygulanmaması Önleyici bakımların zayıf olması ve bozulunca tamir edilmesi Makinenin yağına, sesine, titreşimine, ısısına, voltajına, korozyonuna, taşma hızına dikkat edilmemesi Ölçümlerde 1'e 5 doğruluğun yakalanmaması Ulusal standartların izlenmemesi Kalibrasyonun nadiren yapılması veya hiç yapılmaması Yetersiz havalandırma Red/Kabul kontrollerinin zayıf olması Dış hava alımı için kilit sisteminin olmaması 	<ul style="list-style-type: none"> Isı kontrolü Nem kontrolü Suyun temizliği Havanın temizliği Toz kontrolü Kimyasalların kontrolü İşiklendirme yeterliliği Havalandırma kontrolü Elektrostatik deşarj koruması Elektromanyetik uyuma koruması Sigara içme yasağı 	<ul style="list-style-type: none"> İş Standartları Prosedürünün izlenmemesi Disiplin eksikliği Bilgiç davranmak Bireyselliğin ekip çalışmasının önüne geçmesi Kişisel problemlerin işe yansıtılması Alkol/uyuşturucu bağımlılığı Makul olmayan talepler

Süreç onaylama aşamasından sonra üretime başlanır. Zaman içerisinde periyodik olarak (genellikle yılda bir veya iki kez) proses üzerinde benzer süreç onaylama denetimleri yapılarak eski sorunların ortaya çıkıp çıkmadığı veya yeni sorunların oluşup oluşmadığı kontrol edilir.

5.5. Kalitenin Takibi İçin İstatistiksel Proses Kontrolü

İstatistiksel Proses Kontrol (İPK), temelde pasif bir istatistiksel yöntemdir. İstatistiksel proses kontrolünde pasif olarak sürecin kontrol altında olup olmadığı kontrol edilir. Eğer proses kontrol altında ise, bize daha fazla bir bilgi üretmez. Buna karşılık deney tasarımları aktif istatistiksel yöntemlerdendir. Deneyler aktif olarak oluşturularak, bir dizi gözlem yapılarak prosesin iyileştirilmesi için deneyler yorumlanabilir [10].

İPK, kalite arayışı hareketi boyunca hep kronik kalite problemlerinin çözümünde önemli bir nokta olarak düşünülmüştür. Ancak pek çok şirket, C_p ve C_{pk} 'nin ancak 1,0'a ulaşması nedeniyle, İPK sonucunda elde edilen başarısız sonuçlar yüzünden bu bakış açısını değiştirmeye başlamıştır. İPK'nin bir problem çözme aracı olarak kabul edilmesinden kaynaklanan bu durum bir çok yanlış kararın alınmasına da sebep olmaktadır [28].

Shainin Yöntemi İPK'yı bir problem çözme aracı olarak değil, deney tasarımının uygulanarak çözülen problemlerin tekrar ortaya çıkıp çıkmadığını izleyen bir araç olarak kullanmaktadır. İPK iki teknikle uygulanabilir. İlki önceden beri kullanılan ve etkisinin az olduğu Kontrol Diyagramları (Kontrol Kartları), ikincisi ise Ön-Kontrol olarak adlandırılan daha yeni ve istatistiksel olarak daha güçlü bir tekniktir.

5.5.1. Kontrol diyagramları

İstatistiksel kontrol diyagramları, standartların karşılaştırılmasında yaygın olarak kullanılan istatistiksel tekniklerdir. Walter Shewhart 1920'li yıllarda Bell Telefon Şirketinde yaptığı çalışmalar sonucunda, istatistiksel kalite kontrol teorisini

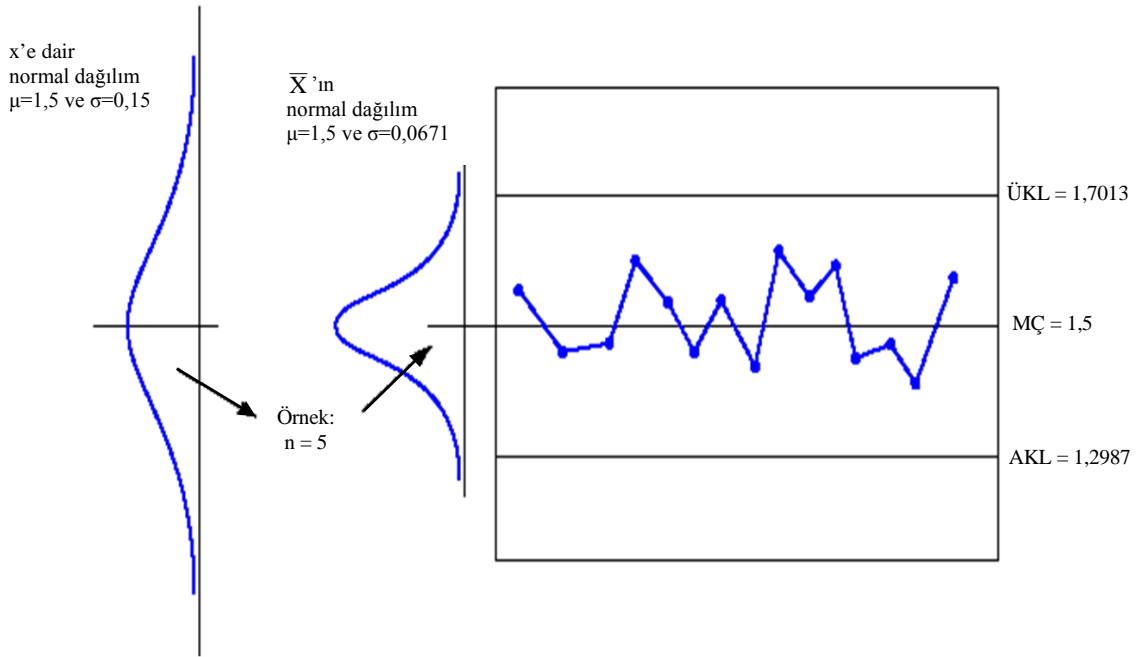
geliştirmiştir. Yaptığı çalışmalarda bütün üretim süreçlerinin iki tür değişkenlik içerdiği sonucuna varmıştır. Birinci bileşen “tesadüfi değişkenlik”, ikincisi ise “özel nedenler”e dayanan bir değişkenliktir. Özel nedenler etkin programlarla ekonomik olarak belirlenebilir ve ortadan kaldırılabılır sebeplerdir. Shewhart, bu iki tür değişkenliği birbirinden ayıracak 3σ limitlerine dayanan standart kontrol diyagramlarını oluşturmuştur [10]. Kontrol diyagramları ile değişkenler (nicel) ve özellikler (nitel) için kontrol diyagramları çizilerek, çıktı kalitesinin o andaki durumu gösterilir. Böylece, belirlenen kalite hedeflerinden sapmalar önceden haber verilebilmektedir [66].

Kontrol diyagramları, bir sürecin istatistiksel kontrolünü kurmak ve sürdürmek için kullanılmaktadır. Bir kontrol diyagramının kullanımı;

1. Örnek büyüklüğü seçimini,
2. Örnekler arasındaki aralık veya örnekleme sıklığının seçimini,
3. Kontrol sınırlarının seçimini

içermektedir. Geleneksel olarak, kontrol şemaları, sadece istatistiksel ölçütlere göre tasarlanmıştır. Örnekler arasındaki sürenin seçilmesi, standart şekilde belirlenmeyip, kalite ile uğraşanların inisiyatifine bırakılmaktadır. Bunun sonucunda da yüksek maliyetler ve kalitede bozulma ortaya çıkabilmektedir [67].

Shewhart kontrol diyagramları kalite değişkenin ortalamasını ve değişimini izlemekte kullanılırlar. Kontrol diyagramlarında \bar{X} , R (değişim aralığı) ve σ yaygın olarak kullanılan parametreleridir. Ortalama kalite düzeyini ya da süreç ortalamasını kontrol etmek için \bar{X} kontrol diyagramı kullanılır. Süreç değişimi veya değişkenliği ya σ kartı ile ya da R kartı ile kontrol edilir. \bar{X} ve R kontrol diyagramları ölçülebilir her kalite karakteristiği için kullanılmaktadır. Bu kartlar üst kontrol limiti (ÜKL) ve alt kontrol limiti (AKL) olmak üzere iki yatay çizgi ve bir merkez çizgiden (MÇ) oluşur. MÇ kontrol durumundaki kalite karakteristiğinin ortalama değerini gösterir. Tüm noktalar kontrol limitleri içindeyse süreç istatistiksel olarak kontrol altındadır. Kontrol altındaki sürecin ortalaması μ , standart sapması σ 'dir. (Şekil 5.25)



Şekil 5.25: X ve \bar{X} dağılım grafiği [27]

Herhangi bir ölçüm değeri çizilen bir kontrol diyagramının üst ve/veya alt kontrol limitleri dışına çıkıyorsa sürecin kontrol edilemediği sonucuna varılır. Eğer, ölçüm değerleri kontrol limitleri içerisindeyse, ancak MÇ'den uzaklaşıyorsa tehlikeli olabilecek bir durum var demektir. Bunun yanında eğer ölçüm değerleri MÇ'ye yakın seyrediyorsa "süreç kontrol altındadır" olarak yorumlanır.

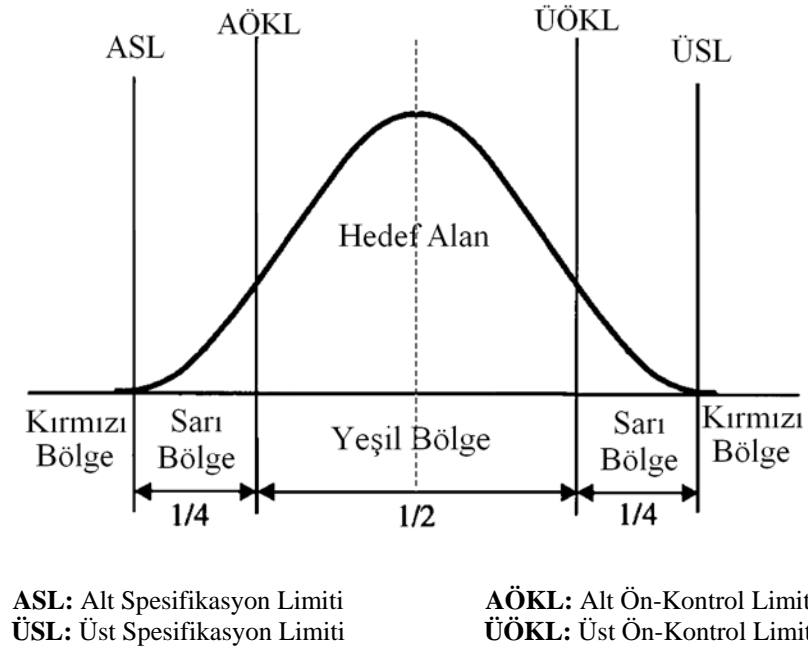
5.5.2. Ön-Kontrol (Pre-control)

Rath and Strong firmasınınca 1950'lerde geliştirilen Ön-Kontrol yönteminde de sürecin durumu izlenmektedir. Ancak, amaçlar farklı olduğu için takip ettiği ilkeler Shewhart'ın ilkelerinden farklıdır. Ön-Kontrol süreci (bu sürecin kararlılığını da dikkate alarak) spesifikasyon limitlerine göre izleyen bir yöntemdir. Süreç kontrol diyagramları ise sürecin kararlılığının zamana göre değişimini inceleyen araçlardır [68].

Her ikisinin de avantajları ve dezavantajları olmasına rağmen, hem Ön-Kontrol diyagramlarının ve hem de Shewhart temelli kontrol diyagramlarının süreç üzerinde önemli etkileri vardır. Her ikisi de süreçten sorumlu olanları belli durumlarda önlem

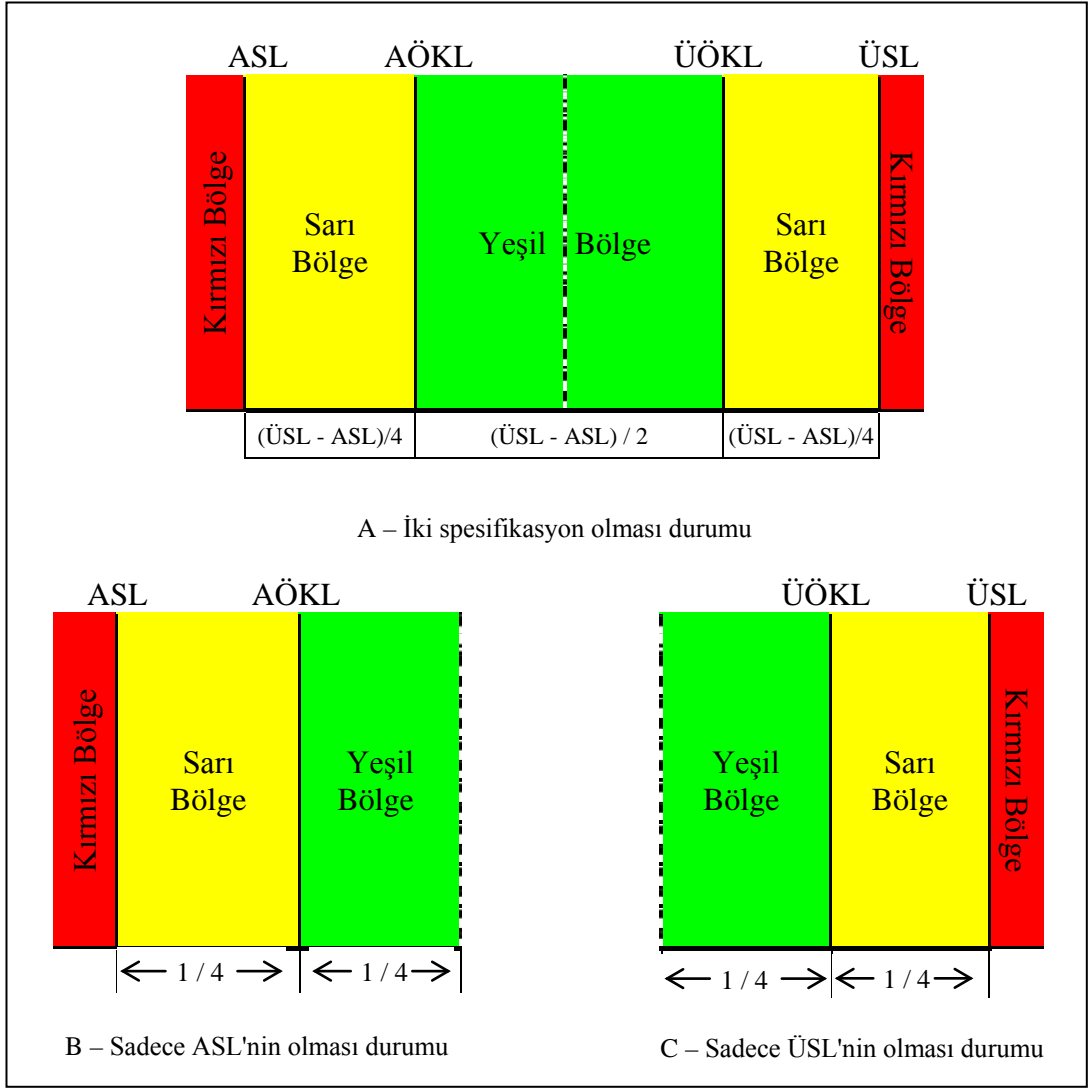
almaya zorlamaktadır. Bu da sürecin sürekli iyileştirilmesine sebep olmaktadır. Ön-Kontrol bir algoritma olmakla birlikte, diyagram olarak çizildiğinde görsel açıdan faydalı bir araç olarak da işe yarayacaktır [32].

Ön-Kontrol yönteminde spesifikasyon limitlerinin arası dört eşit bölgeye ayrılır. İçteki iki bölge yeşil bölge, her iki taraftan spesifikasyon limitlerine bitişik olan bölgelere de sarı bölge denir. Spesifikasyon limitlerinin dışında kalan kısımlar ise kırmızı bölgelerdir. Bu bölgeler Şekil 5.26'da gösterilmektedir [69].



Şekil 5.26: Ön-Kontrol diyagramı

Trafik ışıklarının anlamını da taşıyan grafik renklerinde Yeşil Bölge, çıktı varyasyonunda bir sorun olmadığını anlatmaktadır. Varyasyonu etkileyen faktörler optimum seviye içerisindeydir. Sarı Bölge, çıktı varyasyonu etkileyen faktörlere dikkat edilmesi gerektiğini işaret etmektedir. Kırmızı Bölge ise üretimin kesinlikle durdurulması gerektiğini belirtir. Bazı durumlarda çift taraflı değil sadece alt veya sadece üst spesifikasyon limitlerine göre de karar verilebilir. Bu durumlarda incelenecek Ön-Kontrol diyagramının yapısı Şekil 5.27'deki gibi olacaktır [28].



Şekil 5.27: Ön-Kontrol Diyagramı'nın spesifikasyon limitlerinin durumuna göre gösterimi

Şekil 5.27'den de görüldüğü gibi, bölgelerin sınırlarını oluşturan limitler kontrol limitleri olarak görev yapmaktadırlar. Ön-Kontrol'de elde edilen limitler Shewhart grafiklerindeki gibi sürecin üretim faaliyeti esnasında elde edilen verilerden değil, üretim başlamadan önce hesaplama yapılarak spesifikasyon limitlerinden oluşturulmaktadır. Bu yüzden yöntemin adına Ön-Kontrol (Pre-Control) denmektedir [28].

Ön-Kontrol diyagramlarının uygulamaya geçirilmesi için şu adımlar takip edilir: [70]

1. Üretime başlamak için, başta yapılan deneme üretiminden rastgele 5 adet ürün alınır. Bu beş ürün de yeşil bölgedeyse üretime başlanır. Aksi halde, deney

tasarımı,..vb. yöntemler uygulanıp gerekli ayarlar yapıldıktan sonra yeniden deneme üretimi yapılır. Tekrar rastgele 5 adet örnek alınarak aynı kontroller yapılır. 5 ürünün 5'i de yeşil bölgede çıkana kadar bu işlem tekrarlanır.

2. Üretim başladıktan sonraki ardışık ilk iki örneğin alımı, üretim sürecine göre değişmekle beraber, yaklaşık iki saat sonra yapılır. Alınan örneklerden birincisi kontrol edilir. Bu örnek yeşil bölgedeyse, 2. örnek kontrol edilmeden üretime devam edilir. 1. örneğin sarı bölgede çıkması durumunda 2. örneğin kontrolüne geçilir. 2.örneğin yeşil bölgede çıkması halinde üretime devam edilir.

Ama 2. örnek de sarı bölgede çıkarsa, bu takdirde sarı bölgelerin durumu önem kazanır. Eğer, iki örnek de aynı taraftaki sarı bölgedeyse sürecin konumu (ortalaması) kontrol dışı demektir. Sürecin ayarlanması gerekir. Ayarlama için üretimin durdurulması halinde, duruş sonrası tekrar üretime başlayabilmek için 1. adımın uygulanması gerekir.

İki örneğin farklı sarı bölgelerde çıkması halinde sürecin yayılımı kontrol dışı demektir. Üretimin durdurulup düzeltici faaliyette bulunulması gerekir. Tekrar üretime başlayabilmek için 1. adımın uygulanması gerekir.

3. Örneklerden herhangi birinin kırmızı bölgede çıkması halinde süreç kontrol dışı demektir. Üretimin durdurulup düzeltici faaliyette bulunulması gerekir. Tekrar üretime başlayabilmek için yine 1. adım uygulanmalıdır.

Yöntemi uygularken ne sıklıkta örnek alınacağı da önemlidir. Baştaki beş örneğin hepsinin yeşil bölgede çıkmasının sağlanması ile süreç yeteneği en az 1,33'e getirilmiştir. Dolayısıyla, giderilmesi kolay bir varyasyon süreci etkilese bile, etkisinin ürüne yansımaları oldukça zaman alacaktır. Bu yüzden örnek alma sıklığı olarak, sürecin iki duruşu arasında geçen zamanın 1/6'sı önerilmektedir. Yani, sabah 09:00'da sürecin durdurulup, gerekli düzenlemeler yapıldıktan hemen sonra üretime geçilmesinin ardından öğlen 12:00'de bir kez daha üretim durmuşsa, arada geçen süre 3 saat olduğundan, üretime başladıktan $3/6 = 1/2$ saat = 30 dak. sonra ardışık iki örnek alınacak demektir. Bu süre bir sonraki duruş saatine göre değişecektir. İki duruş arası 3 gün ise, örnek alma sıklığı yarım günde bire düşecektir. İki duruş arasının 1 ay olması

durumunda örnek alma sıklığı, $30/6 = 5$ günde bir olacaktır ki, bu da çok fazla bir süredir. Onun için uygulamada böyle durumlarla karşılaşıldığında duruşlara bakılmaksızın günde en az bir kez örnek alınmalıdır [32].

Ön-Kontrol yöntemi sadece ölçülebilen özellikler için değildir. Ölçülemeyen özellikler için de uygulanabilir. Ancak, burada bazı kısıtlar söz konusudur. İki adet örnek alma, ölçülemeyen özelliklerde pek anlamlı olamayacağı için, her seferinde 5–20 adet örnek içeren iki ayrı ardışık örnek kümesi sanki iki ardışık ürünmüş gibi düşünülerek değerlendirilmelidir.

Shewhart temelli kontrol diyagramları kolay varyasyonun sebeplerini bulup gidererek sürecin iyileştirilmesine yönelik problemlerin çözülmesine katkıda bulunan, teşhise yardımcı diyagramlardır. Ön-Kontrol yöntemi ise birçok avantajına karşılık böyle bir misyona sahip değildir [32].

6. UYGULAMA

6.1. Uygulamanın Yapıldığı İşletme Hakkında Genel Bilgi

Uygulamanın 1989 yılında İzmit'te kurulan MertB firmasında yapılmıştır. MertB, çelik konstrüksiyon imalatından hassas makine parçaları imalatına kadar her alanda üretim yapmaktadır. 1800 m² açık alan içerisinde 1500 m² kapalı alanda üretim yapan firma 5S Kalite Sistemini, imalat ve iş güvenliği kalitesini arttırmak amacı ile uygulamaktadır. Firma bünyesinde üretilmekte olan tüm ürünler müşterilerin siparişleri doğrultusunda üretilmektedir.

Orta ölçekli bir işletme olan MertB bünyesinde 2 makine mühendisi, 2 makine teknikeri, 1 satın alma görevlisi, 1 muhasebe elemanı 3 formen ve 35 işçi görev yapmaktadır. Endüstriyel bez üretimi yapan ulÜSLararası bir fabrikanın, ürettiği bezleri sarıp nakliyesini yapabilmesi için makara görevi yapacak bir sisteme ihtiyaç duymaktadır. MertB tarafından üretilen bu sistem bobin olarak adlandırılmaktadır.

Kord bezi 1980'lerden önce ahşap aksamli bobinlere sarılmaktaydı. Fabrikada imal edilen her bobin üzerine sarılan kordlar 4 – 5 ton arasında bir ağırlığa sahip olmaktadır (Şekil 6.1). Bu nedenle üretilen bobinlerin hem hafif, hem de dayanıklı olması gerekmektedir. Ancak, ahşapın üzerindeki yükü kaldıramaması sonucunda oluşan kırılmalar veya kıymıkların kord bezine karışması nedeniyle ahşap bobinden metal bobine geçilmiştir. MertB tarafından üretilen bu metal bobinler, büyüklüğü müşterinin isteği doğrultusunda belirlenerek 1, 2, 3, 4 veya 5 inç kalınlığında üretilmektedir. [75]



Şekil 6.1: Bobine sarılmış endüstriyel bez

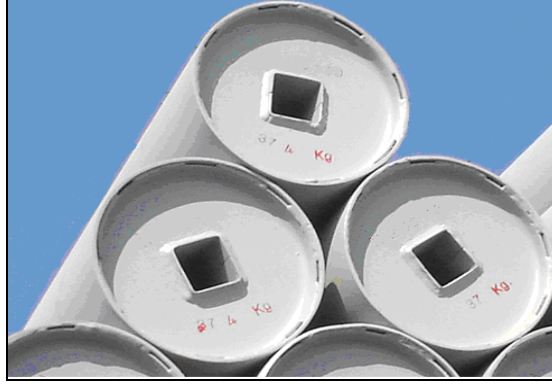
MertB tarafından üretilen bobinler hem yurt içi hem de yurt dışı pazarında kullanılmaktadır. Özellikle 5 inç'lik bobinler üzerinde üretim yapan firma, üretim esnasında veya üretim sonrasında (yük bindikten sonra) yaşanan bobin içerisinde oluşan deformasyon problemiyle karşılaşmaktadır.

6.2. Kord Bezi Bobini Üretim Aşamaları

Bu çalışma, değişik uzunluklarda üretilen 5 inç'lik bobinler içerisinde en çok sorun yaşanan 1300 mm uzunluğunda olan bobinler üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle ilk sadece bu tip bobinin üretim aşaması anlatılmıştır.

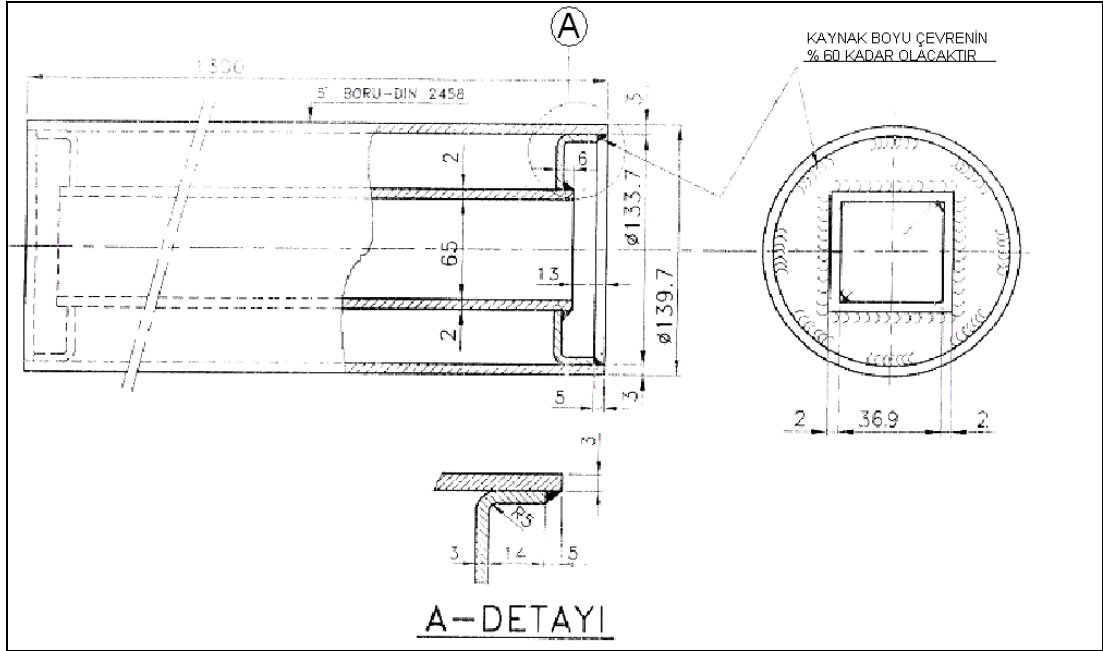
Kullanıma hazır haldeki bobinler, uçları ortası kare biçiminde bir deliği olan kapakla kapatılmış bir silindir şeklindedir (Şekil 6.2). Ortadaki kare biçimdeki boşluk bobinin iki ucu arasında uzanan kare şeklindeki sacın uçlarını tutmaktadır. İç ortamdaki bu sac “kutu profil” olarak adlandırılır. Bobinlerin taşınması veya kord bezinin sarılması kutu profile giren malafa adı verilen bir kol ile yapılmaktadır.

Şekil 6.3'te teknik çizimi verilen bobinlerin yapımı aşamasında ilk önce 5 inç kalınlığındaki borular istenilen boyutta kesilerek montaja hazır duruma getirilir. Kutu profilin hazırlanması için de 2 mm kalınlığındaki sac tabakası, müşterinin isteği doğrultusunda oluşan boyutlara göre (1287 x 65 mm) ve kesim sonucunda en az fire verecek ebatlarda tabaka şeklinde temin edilmektedir.



Şekil 6.2: Üretilen bobinlerin önden görüntüsü

130 mm eninde, 1287 mm boyunda şeritler halinde kesme işlemi yapılır. Kesilen saclar kenarlardan 32,5 mm içeriden bükülerek U-profil haline getirilir. Elde edilen iki adet U-profil uçları birbirine denk gelecek şekilde hizalandıktan sonra 1287 mm'lik kenarlarından birbirlerine kaynakla birleştirilir. Böylece kare profil elde edilir.



Şekil 6.3: Üretilen bobinin teknik çizimi

Kutu profilin borunun içerisinde sabit durmasını sağlamak için flanş adı verilen bir kapak yapılır. Bu kapak için 3 mm kalınlığındaki sac kullanılır. Bu sacdan kesme işlemi yapılarak 155,7 mm çapında daireler elde edilir. Dairenin kenarlarından 14

mm içeri bükülerek çanak elde edilir. Elde edilen bu çanağın dış çapı 133,7 mm olmaktadır. Bu dairesel kapağın merkezinden 36,9 x 36,9 mm boyutunda kare biçiminde bir delik açılır. Bu deliğe kutu profilin uç kısmı 6 mm dışarıda kalacak şekilde metot kaynakla tutturulur. Kutu profil ile birleştirilen flanş, borunun uç kısmından 5 mm içeride kalacak şekilde yerleştirilir. Kapağın boruya tutturulması için çevre uzunluğunun % 60'ına kadar kaynak yapılır. Aynı işlem diğer kapak için de uygulanır. Daha sonra kaynak ve montaj işlemi biten bobinlerin kaynak ve çapak yerleri flap zımpara ile temizlenir ve boya işlemi uygulanır. Her bobinin tek flanşı üzerine katalog numarası standartlar dahilinde markalanır.

Seri imalat yapıldığında 100 adet bobin 96 saatte üretilmektedir. Boya için 16 saat, kesim için 16 saat, kaynak için 16 saat, pres için 8 saat, montaj için 24 saat, markalama için 8 saat, temizlik için 8 saat harcanır.

6.3. Bobinlerde Yaşanan Problem

Üretilen bobinler müşteriye teslim edilmeden önce kontrol aşamasından geçirilmektedir. Bu aşamada profillere malafanın giremediği veya kutu profilin malafaya göre bol geldiği görülmektedir. Bu şekilde müşteriye teslim edilen bobinlerin kullanımı sırasında, fabrikada üzerine sarılan kord bezinin ağırlığıyla bobin içerisindeki kutu profil açılmakta, eğilmekte veya büzüşmektedir. Böylece bobin hurdaya çıkmakta ve üzerindeki sarılı duran kordun başka bir bobine aktarılması da fabrikaya artı bir maliyet ve zaman kaybı yaşatmaktadır.

Ortaya çıkan bu deformasyonun giderilmesi için MertB çalışanları çeşitli çözüm yöntemleri geliştirmişlerdir. Bunların içerisinde en fazla verim aldıkları yöntem ise kutu profilin oluşturulması esnasında, U-profiller birbirlerine tutturulduktan sonra, bu birleştirme hattı boyunca kutu profilin dış kısmına destek yapılmasıdır. Bu destek 2 mm kalınlığında, 15 mm eninde ve 30 mm uzunluğundaki üç küçük plakanın sözkonusu birleştirme hattına kaynak edilmesiyle oluşmaktadır. Üç puntanın ikisi kutu profilin uç kısımlarına yakın bir noktaya, diğeri ise ortasına gelecek şekilde kaynakla tutturulmaktadır.

Yapılan bu işlem kayıpların büyük bir kısmını engellemiş olsa da hala kutu profillerde benzer sorunlar yaşanmaktadır. Yaklaşık olarak 500 üründe 1 kayıp (2000 ppm) yaşanmaktadır. Bu problem MertB için hem zaman hem de maliyet kaybı yaratmaktadır.

6.4. Problemin Çözüm Adımları

Problemin çözülerek hem MertB'nin hem de fabrikanın zaman ve maliyet kaybının giderilmesi (veya azaltılması) için MertB içerisinde bir kalite ekibi kurulmuştur. Bu ekibin içerisinde bir makine mühendisi, bir tekniker ve bir formen yer almaktadır.

Kontrol aşamasında üretilen kutu profilin uygunluğunun test edilmesi amacıyla, üretimden sonra kutu profile bir malafa takılarak gözlem yapılmaktadır. Malafanın kutu profile rahatlıkla girmesi ve profilin malafayı tam olarak kavraması gerekmektedir. Kontrol amaçlı kullanılan malafanın kalınlığı 36,7 mm ile 37,1 mm arasında değişmektedir. Hedef değer 36,9 mm'dir.

Problemin çözüm aşamalarına geçmeden önce, süreç yeterliliği kavramı bir alt başlıkta açıklandıktan sonra problem hem Shainin Yöntemi hem de Taguchi Yöntemi kullanılarak çözülmeye çalışılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

6.4.1. Süreç yeterliliği

MertB firmasında üretilen kutu profiller üzerinde yapılan ölçümlerle mevcut durumdaki değişkenlik belirlenmeye çalışılmıştır. Ürünler arasından rassal olarak 30 tanesi seçilerek ölçümler yapılmıştır. Kalite ekibinin kararlaştırdığı biçimiyle, ölçülecek değer kutu profilin ağız kısmında oluşan karenin iç kenar uzunluğudur. Her gözlemede incelenen kutu profilin iç uzunluğu Şekil 6.4'te olduğu gibi kumpas aracılığı ile teker teker ölçülerek kayıt edilmiştir.



Şekil 6.4: Kutu profilden ölçüm alımı

Mevcut durumun belirlenmesi için, üretim esnasında elde edilen veriler mm birimi olarak Tablo 6.1’de listelenmiştir.

Tablo 6.1: Mevcut durum verileri.(mm)

36,7	36,7	37,0	36,8	37,0	37,2
36,9	37,0	36,7	37,1	37,1	36,8
37,2	37,0	36,8	36,8	36,9	37,0
37,3	36,9	36,9	37,3	37,4	36,9
37,2	37,4	37,1	37,1	37,3	36,9

Verilerin aritmetik ortalaması 37,01 mm ve standart sapması da 0,21 mm çıkmaktadır. Bu değerler Süreç Yeterliliği İndeksleri (C_p ve C_{pk}) için kullanılacak P değerini oluşturmaktadır.

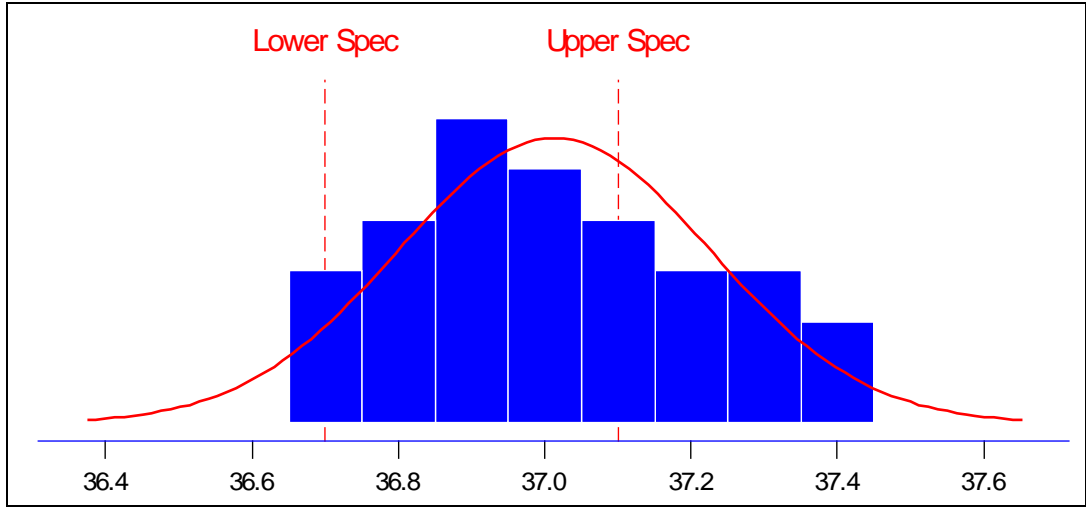
$$\text{Varyasyon oranı } \frac{\sigma}{X} = \frac{0,21}{37,01} = 0,006 = \% 0,6 \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

Proses Değerleri = 37,01mm ± 0,21 ve Spesifikasyon Değerleri = 36,9 mm ± 0,20 olarak alındığında, mevcut durumun spesifikasyon limitlerine göre hedef değerden uzaklaştığını görmekteyiz. (Şekil 6.5) Süreç Yeterliliği İndeksleri (C_p ve C_{pk}) (2.2) ve (2.3) formülleri kullanılarak şu şekilde elde edilmişlerdir.

$$C_p = \frac{S}{P} = \frac{0,20}{0,21} = 0,97$$

$$K = \frac{|D - \bar{X}|}{(S/2)} = \frac{|36,9 - 37,01|}{(0,20/2)} = 0,567$$

$$C_{pk} = (1 - K) \cdot C_p = (1 - 0,567) \cdot 0,97 = 0,42$$



Şekil 6.5: Mevcut durumun alt ve üst spesifikasyon limitlerine göre görüntüsü

6.4.2. Shainin Yöntemi ile çözüm

Yapılan ipucu yaratma çalışmasıyla sorunun kaynağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Bobinlerin kullanımı esnasında bobinin iki ucundan tutturulan malafanın boyu kullanıcıdan kullanıcıya değiştiği için, özellikle kısa malafalarda kutu profilin iç kısmında bükülmeler veya yırtılmalar görülmektedir. Bu da kutu profilin uç kısımlarının sağlamlığı hakkında kuşku yaratmaktadır. Bunun yanı sıra uzun malafa kullanıldığı durumlarda da, kutu profilin içerisine malafanın zor girmesi nedeniyle kutu profilin uzun kenarındaki kaynak bölgelerinde açılmalar oluşmaktadır. Sonuç olarak, kutu profilin iç kenar (kare kısmının) uzunluğunun farklılaştığı tespit

edilmiştir. Kutu profile dair bu iç kenar uzunluğu (mm) çıktı değişkeni olarak ele alınmıştır (Yeşil Y).

Değişkenliğe etki eden faktörlerin belirlenmesinde ve önemli olanların ayıklanması için Değişken Araştırması uygulanmıştır. Bunun için deneyle ilgili olarak yapılan ilk incelemelerde iç uzunluğa etkisi olan faktörler ve bu faktörlerin seviyeleri listelenmiş ve araştırma ekibi tarafından belirlenen önem düzeylerine göre Tablo 6.2’de sıralanmıştır.

Tablo 6.2: Faktörlerin önem sırasına düzenlenmiş hali.

Süreç Değişkenleri	Kod	(-) Seviye	(+) Seviye
Sacın Karbon Oranı	A	Yüksek	Düşük
Sac Kesimi (en uzunluğu)	B	57 mm	65 mm
Kaynak Türü	C	Elektrot	Gazaltı
Büküm Açısı	D	91°	93°
Kaynak Uzunluğu	E	2 cm	3 cm
Sac Kalınlığı	F	2 mm	3 mm
Hizalama	G	2 mm	0 mm
Punta Pozisyonu	H	Yatay	Dikey

İlk sırada belirtilen “sacın karbon oranı” faktörü, sacın sertliğini belirtmektedir. Sac ne kadar sert olursa o ölçüde esneklik kaybı ortaya çıkmakta ve bazı durumlarda kırılmalara yol açabilmektedir. Yüksek seviye olarak belirtilen karbon oranı ST-42 (% 0,25 C) ve düşük karbon oranı da ST-37 (% 0,20 C) olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Maliyetin düşürülmesi bakımından düşük karbon oranı olan sac tercih edilmektedir.

Sacın kesim uzunluğu normal şartlarda her ne kadar sabit olması gerekli gibi düşünülse de, söz konusu sabit uzunluğa erişilememektedir. Gerek sacın bükülmesinden kaynaklanacak kayıptan, gerekse sac üzerinde ortaya çıkan çapaklanma nedeniyle kesim uzunluğu farklılık göstermektedir. Deneylerde kullanılacak kısa kesim ölçüsü 57 mm (-) ve 65 mm (+) olarak belirlenmiştir.

Kısa kesildiği zaman oluşturulacak kare biçimi elde edilemeyebilmektedir. Ancak, bu sorun kaynaklama sırasında ve büküm açısının daraltılmasıyla tolere edilebilmektedir. Bu da fazla kaynak yapmaya ve kutu profilin içerisinde kaynak uzantılarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Sacın uzun kesilmesi halinde büküm açısının daha fazla bırakılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda da kutu profil kare olma özelliğinden uzaklaşabilmektedir.

6.4.2.1. Deneylerin uygulanması

Belirlenen sıralamaya göre ilk önce 3 tane tüm faktörlerin “iyi” ve 3 tane de tüm faktörlerin “kötü” seviyesindeyken rassal olarak gözlem yapılmıştır. Tablo 6.3’te rassal sırada yapılan deneylerin sonrasında elde edilen ölçümler verilmiştir.

Tablo 6.3: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin belirtilmesi.

Deney No	Süreç Değişkenleri	Uzunluk (mm)
1	A ₍₊₎ B ₍₊₎ C ₍₊₎ D ₍₊₎ E ₍₊₎ F ₍₊₎ G ₍₊₎ H ₍₊₎	36,7
2	A ₍₋₎ B ₍₋₎ C ₍₋₎ D ₍₋₎ E ₍₋₎ F ₍₋₎ G ₍₋₎ H ₍₋₎	41,6
3	A ₍₋₎ B ₍₋₎ C ₍₋₎ D ₍₋₎ E ₍₋₎ F ₍₋₎ G ₍₋₎ H ₍₋₎	41,8
4	A ₍₊₎ B ₍₊₎ C ₍₊₎ D ₍₊₎ E ₍₊₎ F ₍₊₎ G ₍₊₎ H ₍₊₎	36,4
5	A ₍₋₎ B ₍₋₎ C ₍₋₎ D ₍₋₎ E ₍₋₎ F ₍₋₎ G ₍₋₎ H ₍₋₎	41,7
6	A ₍₊₎ B ₍₊₎ C ₍₊₎ D ₍₊₎ E ₍₊₎ F ₍₊₎ G ₍₊₎ H ₍₊₎	36,6

Yapılan bu gözlemler sonucunda İ ve K grubuna ait ölçüm değerleri Tablo 6.4’te gösterildiği şekilde oluşmuştur:

Tablo 6.4: Başlangıç ve ilk çıktı gözlemlerinin (+) ve (-) seviye gruplarına dağılımı.

	Deneyler	(-) Seviye (mm)	(+) Seviye (mm)
Başlangıç	1. ve 2.	41,8	36,7
İkincil Gözlemler	3. ve 4.	41,6	36,4
Üçüncül Gözlemler	5. ve 6.	41,7	36,6
	Medyan	41,7	36,6
	R	0,2	0,3

Denklem (5.1) ve (5.2) aracılığıyla Değişken Araştırması'nda kullanılacak gerekli değerler elde edilmiştir:

$$M^{(-)} = 41,7, M^{(+)} = 36,6,$$

$$R^{(-)} = 41,8 - 41,6 = 0,2, R^{(+)} = 36,7 - 36,4 = 0,3$$

$$D_M = 41,7 - 36,6 = 5,1$$

$$\bar{R} = (0,2 + 0,3) / 2 = 0,25$$

Önemli faktörlerin belirlenen listenin içerisinde olup olmadığının anlaşılması için D_M / \bar{R} oranına bakılır. $D_M / \bar{R} = 5,1 / 0,25 = 20,4$ çıktığı için ($\geq 1,25$ şartını sağlıyor) listedeki faktörler doğru belirlenmiştir ve kritik faktörler de bu listenin içerisinde. Bu aşamadan sonra medyan için (5.3) ve (5.4) formülleri kullanılarak “Kontrol Limitleri” hesaplanır.

$$KL(+)= 36,6 \pm 2,776.(0,25/1,81) = (36,22 - 36,98)$$

$$KL(-)= 41,7 \pm 2,776.(0,25/1,81) = (41,32 - 42,08)$$

Faktörler belirtilen önem sırasına göre teker teker ele alınır (Tablo 6.5). İlk önce birinci faktör A (+) seviyesindeyken diğer faktörler (-) seviyelerinde tutularak bir deney yapılır (7. deney). Hemen arkasından seviyelerin yerleri değiştirilerek ikinci deney yapılır (8. deney).

Elde edilen yeni uzaklık değerleri kontrol limitleri dışında olduğu için, A sonuca etki eden önemli bir faktör olarak değerlendirilir. Bu da varyasyonun A faktörü veya A'nın da etkileşimde bulunduğu başka bir faktörden kaynaklandığını anlatmaktadır.

Sonraki önemli faktörün belirlenmesi için ikinci sıradaki faktör için benzer bir ikili deney daha yapılır. Yapılan 9 ve 10. deneyler sonrasında B faktörü de kontrol limitleri dışarısında yer aldığı için varyasyonu etkileyen önemli bir faktör olarak nitelenir. B veya B'nin etkileşimi değişkenliği etkilemektedir.

Tablo 6.5: Önemli Faktörler ve Etkileşimler.

Dny.No	Süreç Değişkenleri	Uzunluk (mm)	Kontrol Limitleri	Sonuç
7	A ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	40.5	41.3 – 42.1	A önemlidir.
8	A ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	37.8	36.2 – 37.0	
9	B ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	40.3	41.3 – 42.1	B önemlidir.
10	B ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	38.3	36.2 – 37.0	
11	A ₍₊₎ .B ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	39.1	41.3 – 42.1	<i>Teyit etme başarısız</i>
12	A ₍₋₎ .B ₍₋₎ .Diğer ₍₊₎	37.1	36.2 – 37.0	
13	C ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	41.9	41.3 – 42.1	C önemli değil
14	C ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	36.4	36.2 – 37.0	
15	D ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	40.8	41.3 – 42.1	D önemlidir
16	D ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	38.6	36.2 – 37.0	
17	A ₍₊₎ .B ₍₊₎ .D ₍₊₎ .Diğer ₍₋₎	41.5	41.3 – 42.1	<i>Teyit etme başarılı</i>
18	A ₍₋₎ .B ₍₋₎ .D ₍₋₎ .Diğer ₍₊₎	36.9	36.2 – 37.0	
19	E ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	41.9	41.3 – 42.1	E önemli değil
20	E ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	36.6	36.2 – 37.0	
21	F ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	41.8	41.3 – 42.1	F önemli değil
22	F ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	36.7	36.2 – 37.0	
23	G ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	41.5	41.3 – 42.1	G önemli değil
24	G ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	36.4	36.2 – 37.0	
25	H ₍₊₎ . Diğer ₍₋₎	42.0	41.3 – 42.1	H önemli değil
26	H ₍₋₎ . Diğer ₍₊₎	36.5	36.2 – 37.0	

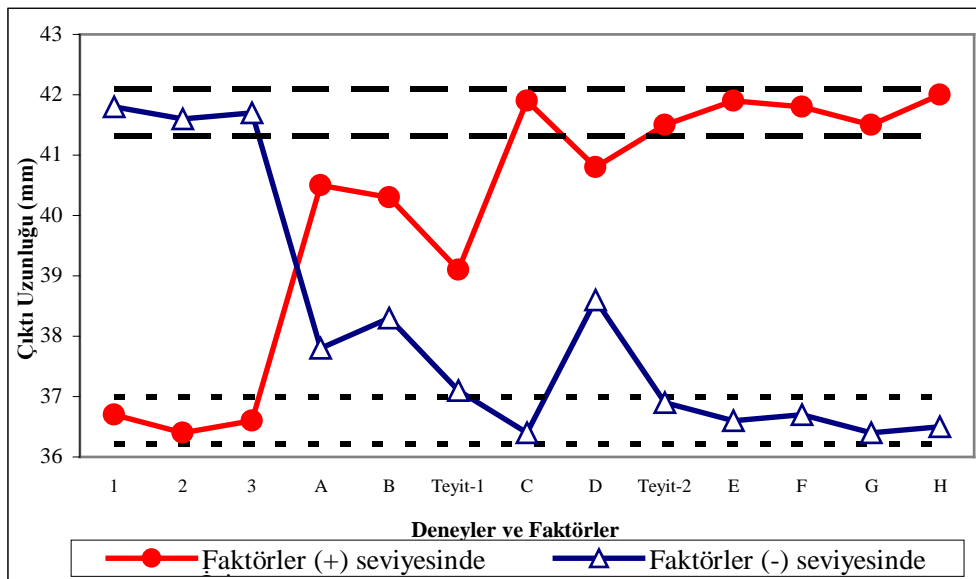
A ve B'nin önemli olarak belirtilmesinden sonra bu kararın doğruluğu teyit edilir. Bunun için iki deney daha yapılır. 15. deneyde A ve D (+) seviyelerinde tutularak diğer faktörler (-) seviyelerinde bırakılır. 16. deneyde ise bu seviyeler yer değiştirir. Çıktı sonuçları kontrol limitlerinin içerisinde çıktığı takdirde teyit sürecinin başarılı olduğu söylenir. Eğer sonuç kontrol limitlerinin dışında çıkarsa, başka bir önemli faktörün varlığından bahsedilir. Bu faktörü bulmak için deneylere sırayla devam edilir.

A ve B faktörlerin önemini vurgulamak için yapılan teyit etme deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar kontrol limitleri dışarısında çıkmıştır. Dolayısıyla A ve B faktörleri için teyit etme başarısız olmuştur.

Sıradaki deney C faktörü için yapılır. C için yapılan ilk deneyde C (+) seviyesindeyken diğer faktörler (-) seviyesinde tutulur (Deney 13). Daha sonra seviyelerin yerleri değiştirilerek 14. deney yapılır. Bu deneylerin sonucunda C faktörü kontrol limitlerinin içerisinde yer aldığı için, C faktörü varyasyonu etkileyen önemli bir faktör olarak değerlendirilmez. Böylece bir sonraki D faktörüne geçilir. D'ye ait deney sonucunda, bu faktörün önemli olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu sefer üç önemli faktör için bir teyit süreci daha gerçekleştirilir.

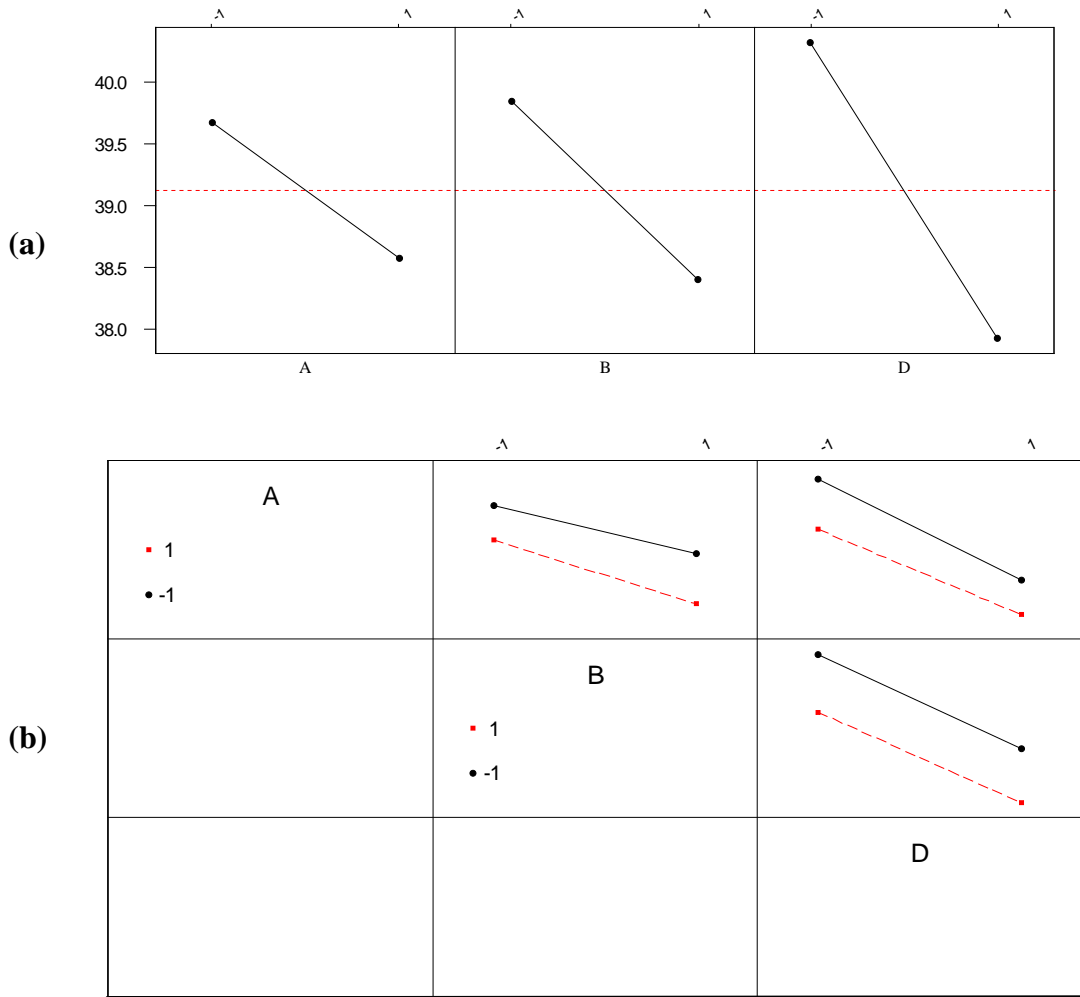
17. deneyde A, B ve D faktörleri (+) ve diğer faktörler ise (-) seviyelerinde tutulmuştur. Bir sonraki deneyde A, B ve D (-) seviyelerindeyken diğer faktörler (+) seviyesine alınmıştır. Çıkan sonuçlara göre, söz konusu bu üç faktörün ve/veya etkileşimlerinin çıktı üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Elde edilen bu sonuca göre diğer faktörlere bakılmasına gerek kalmaz. Çünkü varyasyonun çok büyük bir kısmını oluşturan en önemli üç faktör bulunmuştur. Ancak bu çalışmaya özel olarak diğer faktörler de deneye alınmıştır.

Bu nedenle sıradaki faktör (E) için bir ikili deney daha yapılmıştır; ancak E faktörü kontrol limitleri içerisinde olduğu için çıktı değişkenliği üzerinde etkisi yoktur. F, G ve H faktörleri için de benzer incelemeler yapılmış ve bunların da önemsiz oldukları Tablo 6.5'te gözlenmiş ve sonuçlar grafiksel olarak da Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6: Tüm deneylerin ortaya çıkardığı sonuçlar

Şekil 6.7-a'ya bakıldığında belirlenen üç ana faktörün (A, B ve D) (+) seviyelerindeyken daha iyi sonuç alındığı (uzunluğun kısaldığı) görülmektedir. Faktörlerin birbirleriyle olan etkileşimleri Şekil 6.7-b'de gösterilmiştir. Sonuçta ortaya çıkan çizgiler paralel bir yapı gösteriyorsa bu iki faktör arasında etkileşim yok demektir. Şekil 6.7-b'de belirtilen çizgilerden A faktörünün B ve D faktörleri ile arasında bir etkileşim olduğu ancak bu etkileşimlerin zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 6.7: Önemli olarak belirlenen faktörler (a) ve etkileşimleri (b)

Şekil 6.7'den önemli etkileşimlerin olmadığı anlaşıldıktan sonra önemli faktörlerin ve/veya etkileşimlerin etki derecelerini belirleyebilmek için, bu üç faktöre dayalı tam faktöriyelli deney yapılır. Bunun için yeni bir gözlem yapmaya gerek yoktur. Önemli faktörlere ait elde edilen sonuçlar kullanılarak Tablo 6.6 ve Tablo 6.7 oluşturulur.

Tablo 6.6: Önemli faktörlerin seviyelerine göre ortaya çıkardığı sonuçlar.

		A				
		(+)		(-)		
B	(+)	D (+)	36,7	36,4	37,8	
		36,4	41,5	Medyan = 37,80		
	D (-)	39,1	40,3			
		38,6	Medyan = 40,30			
(-)	D (+)	38,3	37,1	40,8		
	Medyan = 38,30	Medyan = 38,95				
D (-)	40,5	41,6	41,7	41,8		
	Medyan = 40,50	36,9	Medyan = 41,65			

Tablo 6.7: Önemli faktörlerin Faktöriyel Analiz için hazırlanması.

	Faktörler			Gözlem Sonuçları				Medyan
	A	B	D					
1	+	+	+	36.7	36.4	36.6	41.5	36.65
2	+	+	-	39.1	38.6			38.85
3	+	-	+	38.3				38.30
4	+	-	-	40.5				40.50
5	-	+	+	37.8				37.80
6	-	+	-	40.3				40.30
7	-	-	+	37.1	40.8			38.95
8	-	-	-	41.6	41.8	41.7	36.9	41.65

Tablo 6.8 incelendiğinde en büyük etkinin D faktörü (büküm açısı) olduğu görülmektedir. Kırmızı X olarak nitelenecek faktör büküm açısıdır. İkincil öneme sahip faktör, Pembe X, B faktörüdür (sacın kesim ölçüsü). Uzunlukta ortaya çıkan varyasyonun üçüncü önemli sebebi ise (Soluk Pembe X) A faktörüdür (hammadde). Bu üç önemli faktör (+) seviyesinde tutulmalıdır. Böylece üretim esnasında $A_{(+)} \cdot B_{(+)} \cdot D_{(+)}$. Diğer(-) oluşturulacak düzen optimum sonucu verecektir.

Tablo 6.8: Ana etkiler ve etkileşim etkileri.

	Ana Faktörler			Etkileşimler				Uzunluk (mm)
	A	B	D	A*B	A*D	B*D	A*B*D	
1	+	+	+	+	+	+	+	36.65
2	+	+	-	+	-	-	-	38.85
3	+	-	+	-	+	-	-	38.3
4	+	-	-	-	-	+	+	40.5
5	-	+	+	-	-	+	-	37.8
6	-	+	-	-	+	-	+	40.3
7	-	-	+	+	-	-	+	38.95
8	-	-	-	+	+	+	-	41.65
Uzunluk Ortalaması (+)	38.6	38.4	37.9	39.2	39.0	39.1	39.1	
Uzunluk Ortalaması (-)	39.7	39.9	40.3	39.0	39.2	39.2	39.2	
ETKİ	-1.1	-1.5	-2.4	0.2	-0.2	-0.1	-0.1	
	Soluk Pembe X	Pembe X	Kırmızı X					

Diğer faktörler olarak nitelenen C, E, F ,G ve H faktörleri (-) seviyelerinde tutulduklarında sonuç daha iyi çıkmakta ancak bunların varyasyon üzerinde çok fazla etkisi yoktur. Bu nedenle söz konusu faktörler için sadece en az maliyetli olan seviyelerin belirlenmesi yeterlidir.

6.4.2.2. Optimizasyon

Değişken araştırması sonucunda elde edilen üç önemli faktörün ortaya çıkarttığı optimum nokta için bir kontrol sistemi oluşturulur. Positrol Planı ile faktörlerin optimum noktadaki spesifikasyon değerleri belirtilir. (Tablo 6.9)

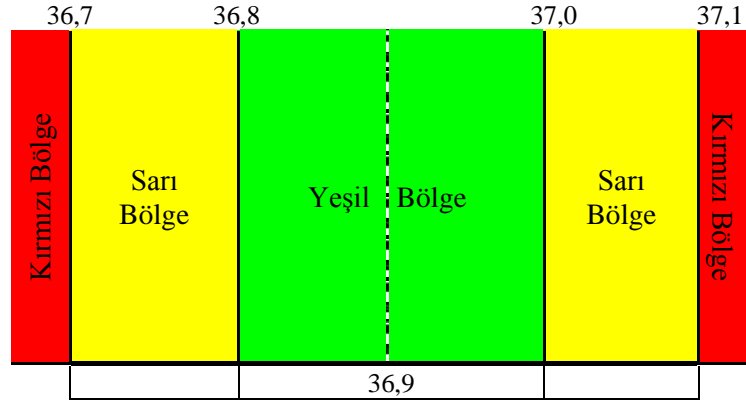
Tablo 6.9: Önemli faktörlere ait Positrol Planı.

Faktör (NE)	Spesifikasyon ve Toleranslar	Ölçüm			
		KİM	NASIL	NEREDE	NE ZAMAN
Sacın Karbon Oranı	%0,22 C ± % 10	Satınalma	Belge Bilgileri	Tedarikçi	Üretim Öncesi
Sac Kesimi (en uzunluğu)	60 mm ± % 10	Proses Teknikeri	Cetvel	NC Tezgah	Her model değişiminde
Büküm Açısı	92° ± % 0,5	Proses Teknikeri	Açı Ölçer	NC Tezgah	Günde bir kez

Yeni oluşturulan düzene göre elde edilen ürünler tekrar gözlenerek, sürecin kontrol altında olup olmadığı incelenmiştir. Bunun için yapılan deneme üretiminden 5 adet gözlem alınmıştır. Bunların spesifikasyon limitlerin içerisinde olup olmadıklarına bakılmıştır.

Deneme üretimi gözlem değerleri: 36,83 , 36,93 , 36,94, 36,90 , 36,88

Bu gözlemler Şekil 6.7’de oluşturulan Ön-Kontrol diyagramı üzerinde değerlendirildiğinde, deneme üretimi sonucunda tüm ölçümlerin Yeşil Bölge’de yer aldığı görülmektedir. Böylece üretime başlanabilir kararı verilmiştir.



Şekil 6.8: Ön-Kontrol diyagramı ile üretime başlama kararının verilmesi

Üretim başladıktan 2 saat sonra 2 gözlem daha yapılmıştır. İlki 36,91 mm ve ikincisi de 36,97 mm çıkmıştır. Bunlar da Şekil 6.7’deki yeşil bölgede yer almaktadır. Dolayısıyla üretimde bir sorun yaşanmamakta ve kontrol değerleri içerisinde devam etmektedir.

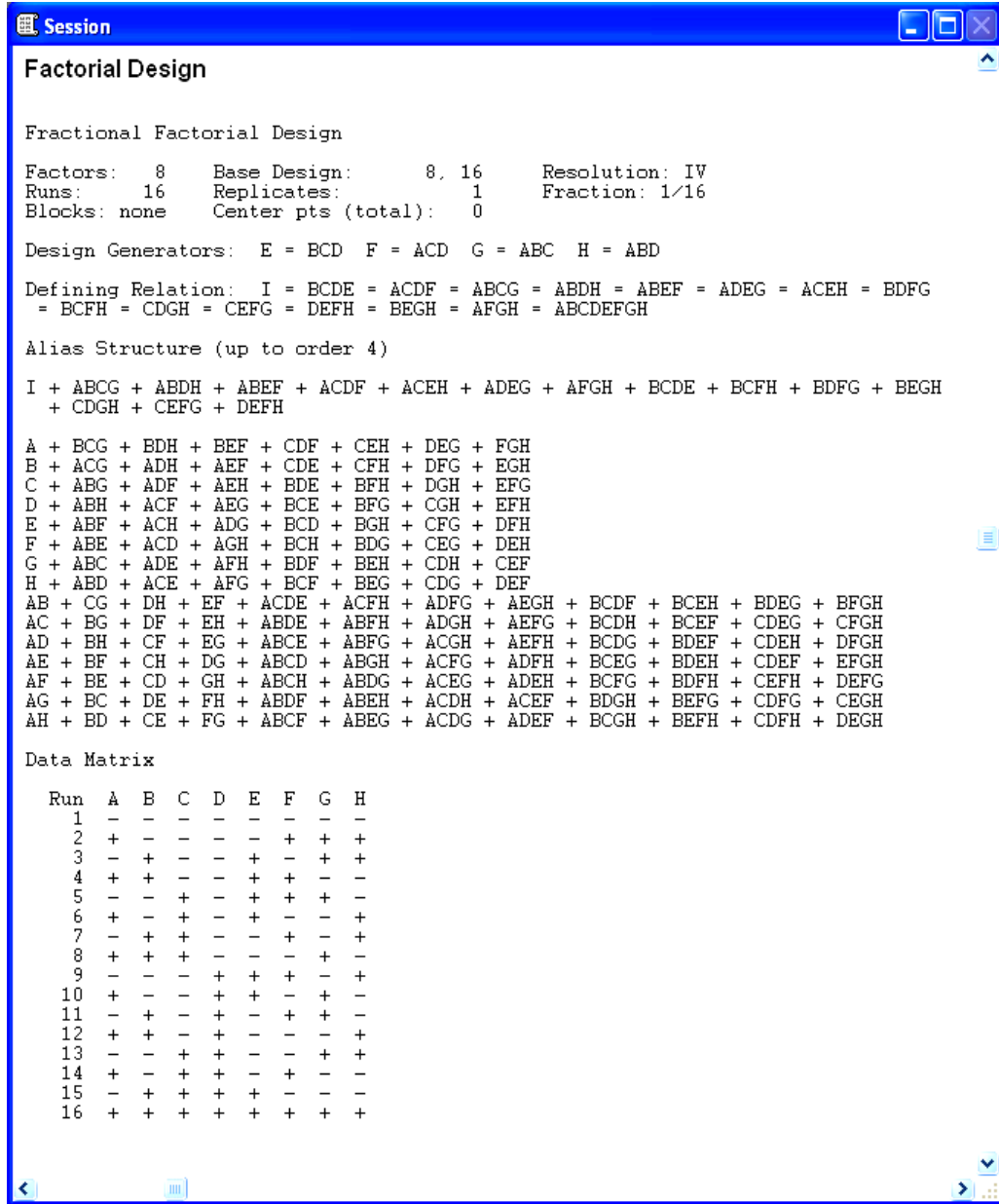
6.4.3. Taguchi Yöntemi ile çözüm

Shainin Yöntemiyle yapılan deneylerin çıkarttığı sonuçların Taguchi Yöntemiyle elde edilecek sonuçlarla kıyaslanması istenmektedir. Bunun için aynı faktörler ve bu faktörlerin aynı seviyeleri Taguchi deneyleri için kullanılmıştır. Benzer deney düzenleri içerisinde oluşan sonuçlar ortak veri olarak değerlendirilip Taguchi deneylerinde de kullanılmıştır.

6.4.3.1. Deneylerin uygulanması

Taguchi deneyleri için, 8 faktörlü ve 2 seviyeli deney düzeni olan L_{16} deseninin kullanılmasına karar verilmiştir. 1/16 kesirli faktöriyel düzeninin kullanılması için Minitab Paket Programı’ndan faydalanılmıştır. Programın sunduğu Kesirli L_{16} deney

düzeni Şekil 6.9’da verilmiştir. Eşadlar kullanılarak oluşturulan deney deseninde ikili etkileşimlere yer verilmiştir. Desenin sunduğu sisteme göre her deney rassal olarak üçer kez tekrar edilmiştir.



Şekil 6.9: Kesirli L_{16} deney düzeni

L_{16} deney düzenine göre oluşturulan desende ortaya çıkan sonuçlar Tablo 6.9’da sunulmuştur. Kutu profilin iç uzunluğunda spesifik değerlere yaklaşmak amaçlandığından Taguchi Kayıp Fonksiyonlarından “nominal en iyi” kullanılmıştır. Bunun için elde edilen SN oranı da Tablo 6.10’da gösterilmiştir.

Tablo 6.10: Deney verileri ve SN oranı

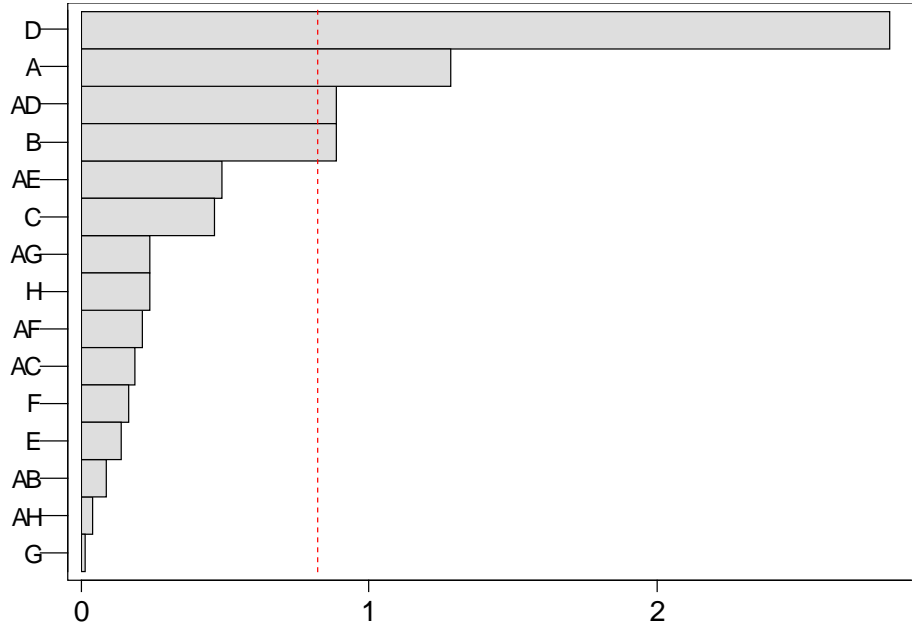
Deney No	Faktörler								Tekrar			Y _{ort}	Std. Sap.	Log S	SN Oranı
	A	B	C	D	E	F	G	H	1	2	3				
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	41.8	41.6	41.7	41.7	0.1	-1.0	1.3
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	40.4	40.2	40.2	40.3	0.1	-0.9	1.2
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	41.2	41.3	41.0	41.2	0.2	-0.8	1.2
4	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	38.2	38.0	38.4	38.2	0.2	-0.7	1.1
5	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	40.2	41.7	41.5	41.1	0.8	-0.1	1.2
6	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	38.7	38.9	38.7	38.8	0.1	-0.9	1.1
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	40.3	40.2	40.7	40.4	0.3	-0.6	1.2
8	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	38.7	38.1	38.4	38.4	0.3	-0.5	1.1
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	38.3	38.7	38.5	38.5	0.2	-0.7	1.1
10	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	36.9	37.0	37.5	37.1	0.3	-0.5	1.0
11	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	37.0	36.9	36.7	36.9	0.2	-0.8	1.0
12	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	36.9	36.8	36.7	36.8	0.1	-0.8	1.0
13	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	37.6	36.7	37.5	37.3	0.5	-0.3	1.0
14	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	37.6	37.5	37.6	37.6	0.1	-1.2	1.0
15	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	36.9	37.1	36.8	36.9	0.2	-0.8	1.0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	36.7	36.4	36.5	36.5	0.2	-0.8	1.0

Minitab programının sunduğu desene göre hazırlanan ortalamaların etkisinin gösterildiği deney tablosu Tablo 6.12’de verilmiştir.

Tablo 6.11: Aritmetik ortalama değerleri için deney deseni

Ras. Sıra	Std. Sıra	Y _{ort}	A	B	C	D	AB	AC	AD	AE	AF	AG	E	F	G	H	AH
13	1	41.7	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	2	40.3	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	1
16	3	41.2	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1
11	4	38.2	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
4	5	41.1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
5	6	38.8	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1
9	7	40.4	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1
12	8	38.4	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
10	9	38.5	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
6	10	37.1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1
1	11	36.9	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1
15	12	36.8	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
8	13	37.3	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
3	14	37.6	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
7	15	36.9	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
14	16	36.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ortalama (-)			39.25	39.05	38.84	40.01	38.65	38.51	38.16	38.85	38.50	38.51	38.68	38.53	38.61	38.49	38.59
Ortalama (+)			37.96	38.16	38.38	37.20	38.56	38.70	39.05	38.36	38.63	38.70	38.54	38.69	38.60	38.73	38.63
Etki			-1.288	-0.887	-0.462	-2.813	-0.087	0.188	0.887	-0.488	0.125	0.188	-0.137	0.163	-0.012	0.238	0.038

Tablo 6.11'e göre varyasyona en fazla etkisi olan faktör D'dir (Etki değeri=-2,813). İkinci sıradaki faktör A (Etki değeri= -1,288) olurken üçüncü sırada B faktörü (Etki değeri=-0,887) gelmektedir. Bunun yanında, B faktörüyle aynı etki derecesine sahip olan AD etkileşimi de gözlenmektedir. Ancak, bu etkileşim değerinde ikinci seviye ortalaması birinci seviyeye göre daha büyük çıkmaktadır. Mutlak etki değerlerinin büyüklüklerine göre sıralanmış hali Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

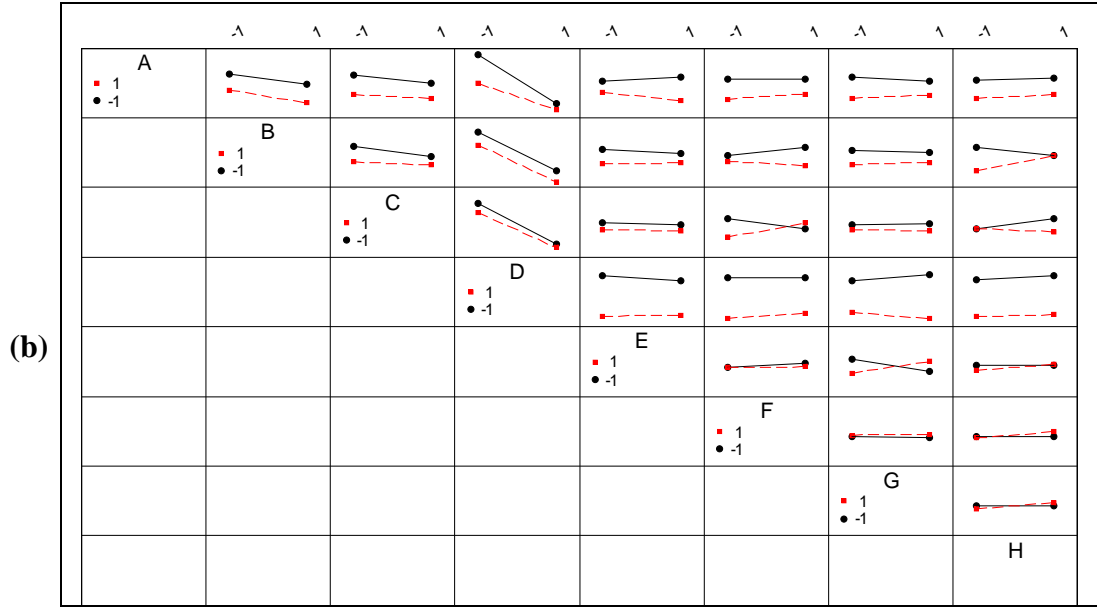
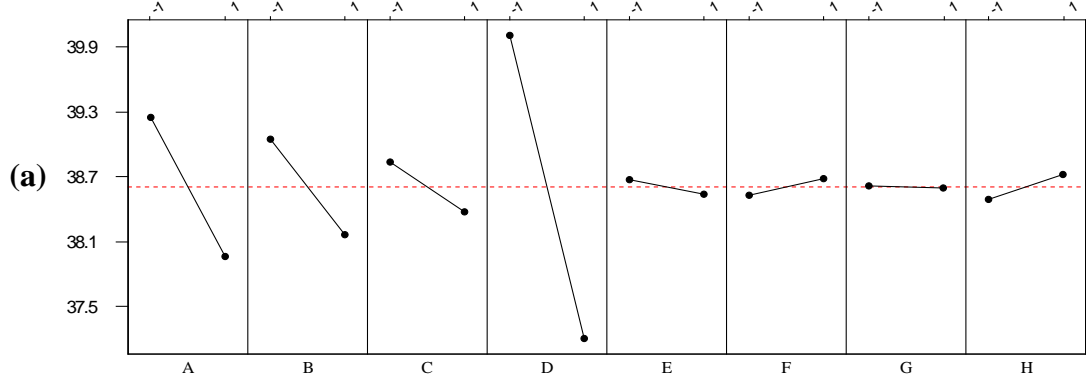


Şekil 6.10: Faktör ve etkileşim etkileri

Tablo 6.11'den elde edilen sonuçlara göre ana faktörlerin ve etkileşimlerinin etkileri grafiksel olarak Şekil 6.11'de gösterilmiştir. Şekil 6.11-a grafiğinde ana faktörlerin etkileri belirtilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere en fazla etki D faktöründedir. Bunu sırasıyla A ve B faktörleri izlemektedir. En düşük etki ise G faktörüne aittir. En büyük etkiye sahip faktörlerin ikinci seviyeleri kutu profilin iç uzunluğunda bir kısalma meydana getirmektedir ve bu da istenen bir durumdur.

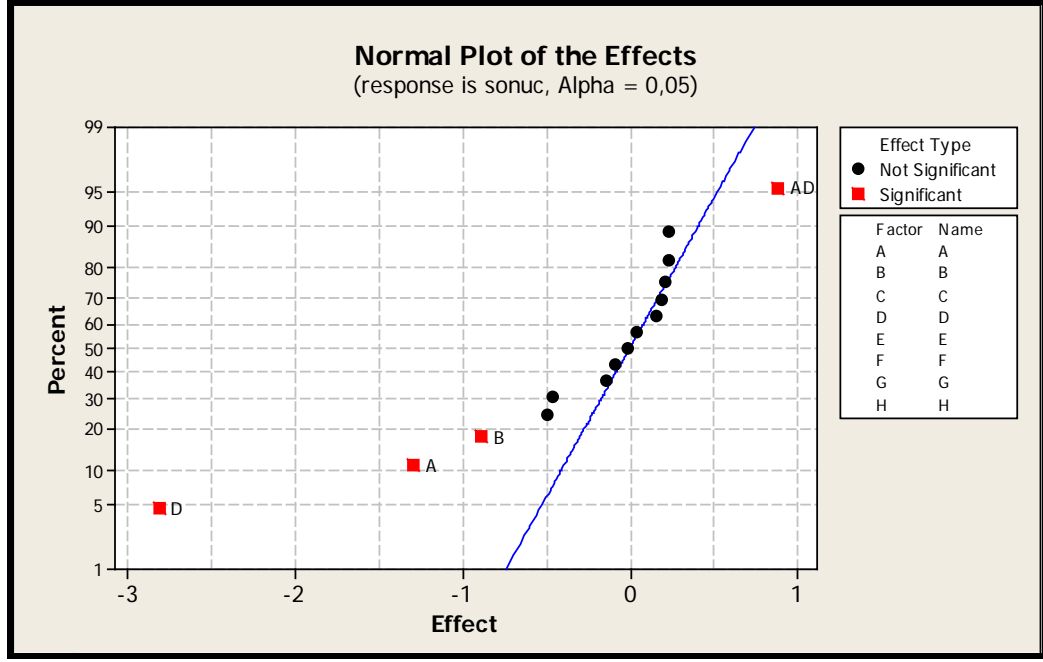
Şekil 6.11-b grafiğinde faktörlerin ikili etkileşimleri yer almaktadır. Etkileşimde bulunan (paralel yapıda olmayan) faktörlerin AD, BH, CF, CH ve EG oldukları görülmektedir. Bunlar içerisinde AD etkileşiminde A'nın 2. seviyesi ve D'nin de 2. seviyesi arzu edilen sonucu sağlamaktadır. Bununla birlikte BH etkileşiminde B 2. seviyesinde ve H faktörü de 1. seviyesinde tutulduğu zaman uzunlukta kısalma

görülmektedir. CF etkileşimi için de C'nin 2. seviyede ve F'nin de 1. seviyesinde tutulması gerektiği söylenir.



Şekil 6.11: Deney sonucunda elde edilen ana faktörler (a) ve etkileşimleri (b)

Deneyin sonucunda en büyük etkilerin D, A ve B faktörlerinin istatistiksel olarak da önemli olup olmadıkları Normal Olasılık Grafiği ile de ortaya konabilir (Şekil 6.12). Şekilden de görüldüğü gibi kutu profilin iç kenar uzunluğunu en çok etkileyen faktörler/etkileşimler sırasıyla D, A, B ve AD'dir.



Şekil 6.12: Normal olasılık grafiği

Ortalama değerlerin etkisinin bulunmasına benzer çalışmayla standart sapma, Log S ve SN etkileri de elde edilmiştir. Elde edilen etki değerleri Tablo 6.12’de sunulmuştur.

Tablo 6.12: Standart sapma, Log S ve SN’in etki değerleri

	Etki	Std. Sap.	Log S	SN Oranı
A	-1.288	-0.462	-0.282	0.109
B	-0.887	-0.688	-0.197	0.148
C	-0.462	-0.887	-0.100	0.318
D	-2.813	-3.038	-0.628	0.645
AB	-0.087	0.212	-0.018	0.042
AC	0.188	-0.288	0.038	0.001
AD	0.887	0.563	0.194	0.045
AE	-0.488	-0.438	-0.110	-0.064
AF	0.125	0.600	0.775	0.633
AG	0.188	-0.288	0.038	0.001
E	-0.137	-0.137	-0.025	-0.049
F	0.163	-0.012	0.038	-0.023
G	-0.012	0.188	-0.006	-0.023
H	0.238	-0.163	0.051	0.025
AH	0.038	0.387	0.004	0.041

6.4.3.2. Optimizasyon

Ortalama ve SN Oranına göre etki değerlerinden yola çıkılarak, faktörler hangi seviyelerinde tutulduğu zaman optimum sonucun alınacağı ile ilgili bilgiler Tablo 6.13'te verilmiştir. Tablo 6.13'e bakıldığında, hem ortalama hem de SN oranına göre faktörlerin olması gereken seviyelerinin aynı çıktığı görülmektedir. Buna göre faktörler $A_2B_2C_2D_2E_2F_1G_2H_1$ seviyelerinde tutulduğu zaman optimum sonuç alınacaktır.

Tablo 6.13: Ortalama ve SN oranına göre faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi

	Ortalama				SN Oranı			
	1.Seviye	2.Seviye	Etki	Uygun Seviye	1.Seviye	2.Seviye	Etki	Uygun Seviye
A	39.25	37.96	-1.29	2	31.86	31.58	-0.28	2
B	39.05	38.16	-0.89	2	31.82	31.62	-0.20	2
C	38.84	38.38	-0.46	2	31.77	31.67	-0.10	2
D	40.01	37.20	-2.81	2	32.04	31.41	-0.63	2
AB	38.65	38.56	-0.09		31.73	31.71	-0.02	
AC	38.51	38.70	0.19		31.70	31.74	0.04	
AD	38.16	39.05	0.89		31.63	31.82	0.19	
AE	38.85	38.36	-0.49		31.78	31.67	-0.11	
AF	38.50	38.63	0.13		31.70	32.48	0.77	
AG	38.51	38.70	0.19		31.70	31.74	0.04	
E	38.68	38.54	-0.14	2	31.74	31.71	-0.02	2
F	38.53	38.69	0.16	1	31.70	31.74	0.04	1
G	38.61	38.60	-0.01	2	31.73	31.72	-0.01	2
H	38.49	38.73	0.24	1	31.70	31.75	0.05	1
AH	38.59	38.63	0.04		31.72	31.73	0.00	

Bulunan faktör ve seviyeleri ile 5 adet doğrulama deneyi yapılmıştır. Kutu profillerin iç uzunluklarının ölçümü sonucunda elde değerler Tablo 6.14'te verilmiştir.

Tablo 6.14: Doğrulama deneyi sonuçları

Deney No					Ort.	Std.Sap.	SN
1	2	3	4	5			
37,1	36,9	36,9	37,0	36,8	36,94	0,11	31,35

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ürün kalitesinde artış sağlanırken zaman ve maliyet faktörlerinin de göz önünde bulundurularak optimum sonuca ulaşılması gerekmektedir. Kord bezi sarımında ve taşınmasında kullanılan bobinler üzerinde yapılan bu çalışmada, bobinlerin içerisindeki kutu profilin iç kenar uzunluklarındaki farklılaşma incelenmiştir. İstenen uzunluk $36,9 \text{ mm} \pm 0,02$ olmalıdır. Shainin ve Taguchi Yöntemleri kullanılarak iki ayrı çalışma yürütülerek, çıkan iki ayrı sonuçta hangi yöntemin daha az maliyetle optimum sonuç verdiği bakılmıştır.

Çalışmada uygulanan deneyler sonucunda Shainin Yöntemi sonucunda varyasyona en fazla etkisi olan faktörler D (Büküm Açısı), B (Sac Kesimi) ve A (Sacın Karbon Oranı) olarak bulunmuştur. En fazla öneme sahip olan bu faktörlerin uygun seviyelerinin atanması ile birlikte optimum sonuç yakalanmıştır. Büküm açısı 93° , Sacın en uzunluğu kesimi 65 mm ve düşük karbon oranlı sac kullanıldığında kutu profil içerisindeki uzunluk farklılaşması azalmaktadır. Sadece bu üç faktörün düzeylerine dikkat edildiği takdirde diğer faktörlerin seviyelerini en ekonomik şekilde ayarlamak sonucu değiştirmeyecektir.

Shainin Yönteminin uygulanması sırasında toplam 26 deney yapılmıştır. Ancak, 18. deney sonunda varyasyonu etkileyen önemli faktörler elde edildiği için, toplam deney sayısı 18'de durdurulabilirdi. Fakat, tüm faktörlerdeki değişimlerin nasıl sonuçlar ortaya çıkaracağı gözlenmek istendiğinden deney sayısı artmıştır.

Tüm faktörler ve etkileşimleriyle birlikte deney yapılacak olsaydı $2^8=256$ adet deney düzenlenmesi gerekecekti. Bu nedenle, Taguchi Yöntemi'nin uygulanması için, 1/16 kesirli L_{16} deney desen kullanılarak deney sayısı düşürülmüştür (16 deney). Ancak, her deney düzeni için 3 tekrar yapılması sonucunda $16 \times 3= 48$ deneyle sonuçlara ulaşılmıştır.

MertB firmasında yapılan deneylerde, kutu profil oluşturma işlemi ortalama 24 dakika sürmektedir. Shainin Yöntemi ile yapılan deneylerde toplam 7 saat sonunda (18 deney için) optimum sonuçlara ulaşılmıştır. Taguchi Yöntemi'nin kullanıldığı çalışmada ise bu süre 19 saati aşmıştır.

Shainin ile elde edilen optimum sonuçta, varyasyonu etkileyen en önemli faktörlerin $A_{(+)} \cdot B_{(+)} \cdot D_{(+)}$ (veya $A_2B_2D_2$) olduğu tespit edilmiştir. Buna göre A (Sacın Karbon Oranı), B (Sac Kesimi) ve D (Büküm Açısı) 2. seviyelerinde tutulurken diğer faktörlerin de maliyeti düşük olan seviyeleri göz önünde bulundurarak üretim yapılır. Diğer faktörlerdeki maliyeti düşüren seviyeler ise C_2 , E_1 , F_1 , G_2 ve H_1 olarak firmada oluşturulan kalite ekibi tarafından tespit edilmiştir. Buna göre Shainin Yöntemi sonucunda ortaya çıkacak üretim reçetesi $A_2B_2C_2D_2E_1F_1G_2H_1$ şeklinde gösterilebilir.

Taguchi Yöntemi'nin uygulanması sonucunda varyasyona en fazla etki eden faktörler sırasıyla D (Büküm Açısı), A (Sacın Karbon Oranı) ve B (Sac Kesimi) olarak ortaya çıkmıştır. Faktörlerin seviyelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan incelemede, ortalama ve SN oranına göre hesaplamalar yapılarak her iki durumda da aynı sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre faktörler $A_2B_2C_2D_2E_2F_1G_2H_1$ seviyelerinde tutulmalıdır.

Shainin ve Taguchi Yöntemleri'nden elde edilen optimizasyon değerlerine göre yapılan kontrol deneyleri sonucunda Tablo 7.1'deki verilere ulaşılmıştır. Bunların ortalama ve standart sapmaları arasındaki ilişkilere bakıldığında Shainin Yöntemi sonucunda hedef değere (36,9 mm) daha fazla yaklaşıldığı görülmektedir. Ancak, her iki yöntemin de ortaya koyduğu benzer çözüm yapısı

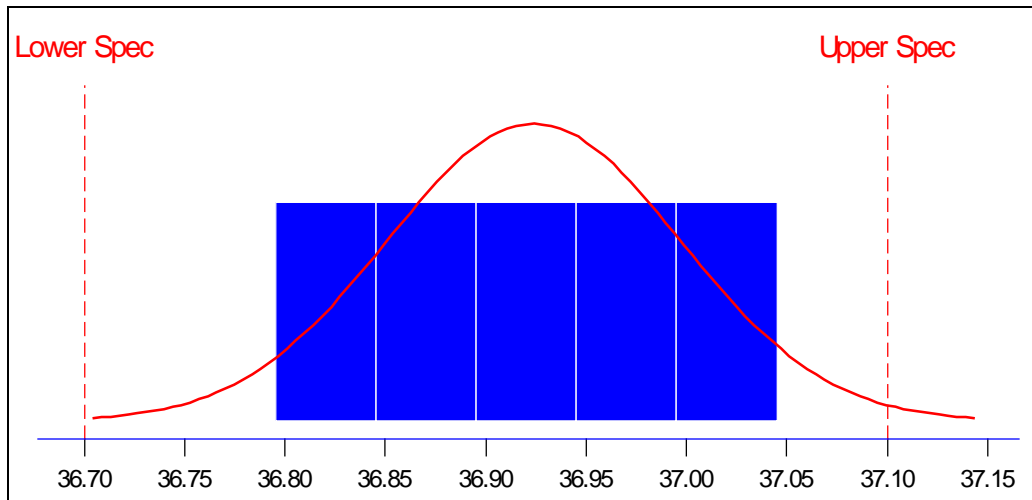
Tablo 7.1: Optimizasyon sonrası karşılaştırma

YÖNTEM	Deney No					Ort.	Std. Sap.	C_p	C_{pk}
	1	2	3	4	5				
Shainin	36,83	37,00	36,94	36,97	36,88	36,92	0,069	2,91	2,21
Taguchi	37,00	36,95	36,81	36,92	36,95	36,93	0,071	2,82	2,09

Deney öncesi yapılan ölçümlerde değişkenlik oranı % 0,6 çıkarken, deney sonrasındaki iyileştirmelerle Shainin sonucunda değişkenlik oranı % 0,186'ya, Taguchi sonrasında da % 0,192'ye düşürülmüştür.

Bununla birlikte, deney öncesi süreç yeterliliği indekslerinde de bir iyileşme sağlanmıştır. Deney öncesi $C_p = 0,97$ iken deney sonrasında Shainin Yöntemi ile 2,91'e, Taguchi Yöntemi'yle de 2,82'ye çıkmıştır. Aynı şekilde $C_{pk} = 0,42$ 'den Shainin Yöntemi sonucunda 2,21'e ve Taguchi Yöntemiyle de 2,09'a yükselmiştir (Tablo 7.1). C_{pk} 'nin 2,0 olması, sürecin sıfır hataya ve sıfıra yakın bir varyasyona sahip olması anlamı taşıdığından, faktörlerin yukarıdaki herhangi bir yöntemin sonuçları kullanıldığı takdirde sıfır hataya yakın bir üretim yapılabilir. Deneyler sonucunda, 2000 ppm civarında olan hata oranı 1 ppb'nin (milyarda bir) de altına inmiştir.

Optimizasyon uygulandıktan sonra her iki yöntem sonucunda yüksek oranda bir iyileşme sağlanmıştır. Elde edilen değerler Şekil 7.1'de de görüldüğü üzere spesifikasyon limitlerinin içerisinde yer almaktadır.



Şekil 7.1: Mevcut durumun alt ve üst spesifikasyon limitlerine göre görüntüsü

Her iki yöntem sonucunda ortaya çıkan sonuçların olumlu olmasının yanı sıra, deneylerin yürütülmesi, verilerin toplanıp işlenmesi ve hesaplama aşamalarında da

bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Tablo 7.2’de gözlenen bu farklılıklar belirtilmektedir.

Tablo 7.2: Deney sonrası Shainin ve Taguchi Yöntemleri’nin karşılaştırılması

Parametre	Shainin	Taguchi
Deney sayısı	18	48
Süre	7 saat	19 saat
Karmaşıklık	Basit	Matematiksel bilgi gerekiyor
Maliyet	Düşük	Yüksek
Üretimin durdurulması	Az	Çok

Varyasyonu etkileyen faktörlerin bulunmasında kullanılan işlem ağırlıklı Taguchi Yöntemi’nin yanında Shainin Yöntemi az işlem gerektiren ve anlaşılması kolay olan bir sistem sunmaktadır. Bunun yanı sıra, Shainin Yöntemi, üretimin daha az kesintiyle devam etmesini de sağlamaktadır. Sonuç olarak, işlem sayısının artmaması ve deney sonuçlarının bir an önce hayata geçirilebilmesi için, Shainin Yöntemi’nin sunduğu teknikler Taguchi Yöntemi’ne göre daha etkili olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Demir, Y., “Kalite İyileştirmede İstatistiksel Proses Kontrollerinin Rolü”, http://paribus.tr.googlepages.com/y_demir4.rtf, (**Ziyaret Tarihi: 13/05/2009**)
- [2] Şanyılmaz, M., “Deney Tasarımı ve Kalite Geliştirme Faaliyetlerinde Taguchi Yöntemi İle Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD**, Haziran (2006).
- [3] Schippers, W.A.J., “Structure and Applicability of Quality Tools”, **Eindhoven Teknik Üniversitesi Yay.**, Eindhoven, (2000).
- [4] Durmaz, S., “Taguchi Metodunun Kauçuğun Vulkanizasyonu Prosesine Uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, Eylül (2008).
- [5] Bozkurt, R., Eşit, C., “Kalite Çemberleri”, **MPM Yayınları**, Ankara, (2003).
- [6] Özevren, M., “Toplam Kalite Yönetimi”, **Alfa Yayınevi**, İstanbul, (1997).
- [7] Rao, A., Lawrence, C., Martin, J., “Total Quality Management: A Cross Functional Perspective”, **John Wiley and Sons**, New York, (1994).
- [8] Şirvancı, M., “Kalite için Deney Tasarımı–Taguchi Yaklaşımı”, **Literatür Yayıncılık**, İstanbul, (1997).
- [9] Imai, M., “Kaizen: Japonya’nın Rekabetteki Başarısının Anahtarı”, **Brisa Yayını**, İstanbul, (1997).
- [10] Yavuz, S., “Altı Sigma Yaklaşımı ve Bir Sanayi İşletmesinde Uygulama”, Doktora Tezi, **Atatürk Üniversitesi, SBE İşletme ABD**, Erzurum, (2006).
- [11] Toplam Kalite Kontrol , <http://gumyonder.gumruk.gov.tr/dergi/sayi1/toplamkalite.htm>,
- [12] Yamak, O., “Kalite Odaklı Yönetim”, **Panel Matbaacılık**, İstanbul, (1998).
- [13] Ulukanoğlu, C., “Toplam Kalite Yönetimi ve Kaizen Felsefesi”, **İş, Güç Endüstri İlişkileri ve İnsan Kaynakları Dergisi**, Cilt:3, Sayı:2, Sıra:5, No:70, 2001, <http://www.isgucdergi.org/?p=makale&id=70&cilt=3&sayi=2&yil=2001>, (**Ziyaret Tarihi: 13/05/2009**)
- [14] Işığışok, E., “Toplam Kalite Yönetimi Bakış Açısıyla İstatistiksel Kalite Kontrol”, **Ezgi Kitabevi**, Bursa, (2004).

- [15] Kavrakoğlu; İ., “Toplam Kalite Yönetimi”, *KalDer Yayınları*, Yayın No:2, İstanbul, (1992).
- [16] Karaman, F., “Toplam Kalite Yönetimi ve Değişim Mühendisliği”, <http://www.tech-strategy.org/e-Books/Business-Industrial/TQM/TQM-Reengineering.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 12/05/2009**)
- [17] Aktan, C., “Değişim Mühendisliği”, *Ekonomik Forum Dergisi*, Yıl 5, Sayı 9, Eylül (1998). S.30-34
- [18] Tecim, V., “Değişim Mühendisliği–Organizasyonel Değişim”, http://vahap.mis4gis.com/dersler/bahar/Degisim_Muhendisligi.pdf, (**Ziyaret Tarihi: 13/05/2009**)
- [19] Ada, E., Aracıoğlu, B., Kazançoğlu; Y., “Türk İşletmelerinde Verimlilik Artışı İçin Altı Sigma Yönetim Sistemi Modeli”, *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği XXIV. Ulusal Kongresi*, Haziran (2004).
- [20] Caulcutt, R., “Why is Six Sigma so Successful?”, *Journal of Applied Statistics*, Vol. 28, No. 3, (2001).
- [21] Argüden, Y., “Altı Sigma ve Toplam Kalite Yönetimi”, *“İş, Güç Bakış” - İş Yaşamı Dergisi*, Sayı:6, Aralık (2002).
- [22] Deming; E. W., “Krizden Çıkış”, *Arçelik Yayınları*, İstanbul, (1996).
- [23] Neuman, R.P., Pande, P.S., Cavanagh, R.R., “Six Sigma Yolu: GE, Motorola ve Zirvedeki Diğer Firmaların Performanslarını Yükseltme Yöntemleri”, (Çev: Nafiz Güder), *Dharma Yayınları*, İstanbul, (2004).
- [24] Pyzdek, T., “The Six Sigma Handbook”, *McGraw-Hill*, (2003).
- [25] Breyfogle, F.W. “Implementing Six Sigma: Smarter Solution Using Statistical Methods”, *John Wiley and Sons*, New York, (1999).
- [26] <http://www.onlinekalite.com/htmdosyalar/surecyeterlilik.htm>, (**Ziyaret Tarihi: 120/04/2009**)
- [27] Montgomery, D.C., “Introduction to Statistical Quality Control”, 5th Edition, *John Wiley & Sons*, (2005).
- [28] Bhote, K., Bhote, A.K., “World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen”, *Amacom*, New York, (2000).
- [29] Yang, K., El-Haik, B., “A Roadmap for Product Development – Six Sigma”, *McGraw Hill*, New York, (2003).
- [30] Kane, V.E., “Process Capability Indices”, *Journal of Quality Technology*, Vol:18, No:1, (1986).
- [31] Durman, B.M., Pakdil, F., “İstatistiki Proses Kontrol Uygulamaları İçin Bir Sistem Tasarımı”, *VII. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu*, İstanbul

Üniversitesi, 26-27 Mayıs 2005, <http://www.ekonometridernegi.org/bildiriler/o18s3.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 17/09/2008**)

- [32] Baray, A., “Üretimde Varyasyon: İstatistiksel Yaklaşım”, *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul, (2008).
- [33] Püsküllüoğlu, A., “Deney” Maddesi, Arkadaş Türkçe Sözlük, *Arkadaş Yayınevi*, Ankara, (2000).
- [34] Çömlekçi, N., “Deney Tasarımı İlke ve Teknikleri”, *Alfa Yayınları*, İstanbul, (2003).
- [35] Baynal, K., “Çok Yanıtlı Problemlerin Taguchi Yöntemi ile Eniyilenmesi ve Bir Uygulama”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme ABD, Sayısal Yöntemler Bilim Dalı*, İstanbul, (2003).
- [36] Saat, M., “Kalite Denetiminde Taguchi Yaklaşımı”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt 2 Sayı 3, s.97-108, Ankara, (2000).
- [37] Yau, Y.J., Chao, C.J., Hwang, S.L., “Optimization Of Chinese Interface Design In Motion Environments”, *Displays*, Vol. 29, Issue 3, s.309, Temmuz (2008).
- [38] Roy, R., “A Primer on the Taguchi Method”, *Van Nostrand Reinhold*, New York, (1990).
- [39] Gencel, İ., “Çok Yanıtlı Problemlerin Optimizasyonunda Taguchi Yönteminin Kullanılması ve Alkollü İçkiler Sektöründe Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD*, Kocaeli, (2007).
- [40] Peace, G.S., “Taguchi Methods: a Hands-on Approach”, *Addison-Wesley*, Massachusetts, (1993).
- [41] Steiner S.H., MacKay R.J., Ramberg J.S. “An Overview of the Shainin System™ for Quality Improvement”, *Quality Engineering*, 20:6–19, (2008).
- [42] Verma, A.K., A. Srividya, ve Diğerleri, “Shainin Method: Edge Over Other DOE Techniques”, *IEEE 2004 International Engineering Management Conference*, 18-21/11/2004, Vol.3, <http://dspace.library.iitb.ac.in/jspui/bitstream/10054/1521/1/30511.pdf>, s.1110 (**Ziyaret Tarihi: 16/12/2008**)
- [43] Bhote, K., “Motorola's Long March to the Malcolm Baldrige National Quality Award”, *National Productivity Review*, Vol.8, No:4, s.365-376, Ağustos (1989).
- [44] Mast, J., “A Methodological Comparison Of Three Strategies For Quality Improvement”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21 No. 2, Emerald Group Publishing Limited, s.198-213, (2004).
- [45] Thomas, A.J., Anthony, J., “A Comparative Analysis of the Taguchi and Shainin DOE Techniques in An Aerospace Environment”, *International Journal of*

Productivity and Performance Management, Vol.54, No:8, Emerald Group Publishing Limited, s.658-678, Haziran (2005).

- [46] Bayou, M.E. “Developing An Associative Costing Model For Product Design: A Critical Analysis”, <http://aux.zicklin.baruch.cuny.edu/critical/html2/7094reinstein.html>, (**Ziyaret Tarihi: 11/05/2009**)
- [47] Shainin, R.D., “Multi-Vari Charts, Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability”, 2007, (online 15.03.2008), John Wiley & Sons <http://mrw.interscience.wiley.com/emrw/9780470061572/eqr/article/eqr405/current/pdf.>, (**Ziyaret Tarihi: 23/10/2008**)
- [48] “What is 80/20 Rule, Pareto’s Law, Pareto Principle”, <http://www.80-20presentationrule.com/whatisrule.html>, (**Ziyaret Tarihi: 20/11/2008**)
- [49] Özcan, S., “İstatistiksel Proses Kontrol Tekniklerinden Pareto Analizi ve Çimento Sanayiinde Bir Uygulama”, *Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt 2, Sayı 2, Sivas, s.151-174, (2001).
- [50] Rushton,A., Oxley, J., Croucher P., “The Handbook of Logistics and Distribution Management”, *Kogan Page*, Londra, (2000).
- [51] “Pareto İlkesi”, http://tr.wikipedia.org/wiki/Pareto_Ilkesi#cite_note-NYT-1#cite_note-NYT-1, (**Ziyaret Tarihi: 20/11/2008**)
- [52] Juran J.M., Gryna F.M., “Quality Planning and Analysis”, 2.Baskı, *McGraw-Hill*, New York, (1980).
- [53] Shainin, R.D., “A Common Sense Approach to Quality Management”, *49th Annual Quality Congress Proceedings*, ASQC, s. 1163-1169, (1995)
- [54] Doe, H., “Y to X Problem Solving using Shainin’s Strategies”, *Fifth Annual Quality Symposium Quality Tool Case Studies*, <http://www.asq.org/auto/events/pdf/2007-quality-symposium-abstracts.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 28/03/2009**)
- [55] Anthony, J., "Design of Experiments for Engineers and Scientists", *Elsevier Science & Technology Books*, (2003).
- [56] Antony, J., Yuen, C.A.H., “Training For Shainin's Approach To Experimental Design Using A Catapult”, *Journal of European Industrial Training*, Volume 27, Number 8, Emerald Group Publishing Limited, s.405-412, (2003).
- [57] Erbaş, S.O., Okumuş, H., “Deney Düzenleri ve İstatistik Analizleri”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, (2006).
- [58] Hardcastle, H.K., “Weathering Experimenter’s Toolbox”, <http://www.atlas-mts.de/filestore/139/weatheringexperimenterstoolbox.pdf>, (**Ziyaret Tarihi: 11/04/2009**)
- [59] Bhote, K., “The Power of Ultimate Six Sigma”, *Amacom*, New York, (2003).

- [60] Osanna, P.H., Durakbasa, M.N. Afjehi-Sadat A.(ed.), "Quality in Industry"; *Abteilung für Austauschbau und Messtechnik*, TU Wien, Wien, (2004).
- [61] Özler, C., "Cevap Yüzeyi Yöntemlerinin Süreç İyileştirme Amacı ile Kullanılması Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri ABD*, İzmir, (1997).
- [62] <http://www.genelforum.gen.tr/cografya/100937-izohipsler-ve-ozellikleri.html>, (Ziyaret Tarihi: 17/03/2009)
- [63] Hicks, C. R., "Deney Düzenlemede İstatistiksel Yöntemler" (Çev: Z. Muluk ve Diğ.), *Gazi Kitabevi*, Ankara, (2009).
- [64] Park, S.H. "Six Sigma For Quality and Productivity Promotion", *Asian Productivity Organization*, Tokyo, (2003).
- [65] Juran, J.M., "A. Blanton Godfrey, Juran's Quality Handbook", 5.Baskı, *McGraw-Hill*, New York, s.47.46-47.71, (1998).
- [66] Gümüšoğlu, Ş., "İstatistiksel Kalite Kontrolü ve Toplam Kalite Yönetim Araçları", *Beta Yayınları*, İstanbul, (2000).
- [67] Firuzan, A.R., Ayvaz, Y.Y., "Shewhart Kontrol Kartlarında (Çizelgesinde) Tasarım Parametrelerinin Seçimi Üzerine Bir Uygulama", *Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F. Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, Cilt:12, Sayı:1, (2005).
- [68] Ledolter, J., Burril, C.W., "Statistical Quality Control—Strategies and Tools for Continual Improvement", *John Wiley & Sons*, (1999).
- [69] Oakland, J.S. "Statistical Process Control", (5.Baskı), *Butterworth-Heinmann*, Oxford, (2003).
- [70] Smith, G.M., "Statistical Process Control and Quality Improvement", *Pearson-Prentice Hall*, (2004).
- [71] Shainin, P.D. "Managing SPC, A Critical Quality System Element," *46th Annual Quality Congress Proceedings*, ASQC, s.251-257, (1992).
- [72] Sharma S., Chetiya, A.R., "Simplifying The Six Sigma Toolbox Through Application Of Shainin DOE Techniques", *The Journal for Decision Makers – Vikalpa*, Indian Institute of Management, Vol.34, No:1, s.13-29, Jan-Mar (2009).
- [73] Sprovieri, J., "Get the MEOST Out of Reliability Testing", *Quality in Assembly*, ProQuest Central, Vol.51, No.13, s.10, December (2008).
- [74] Bhote, K.R., Bhote, A.K., "World Class Reliability: Using Multiple Environment Overstress Tests to Make It Happen", *Amacom*, New York, (2004).
- [75] Aksu, B., Baynal, K., "Shainin Deney Tasarımı ile Çıktı Değişkenliğinin Azaltılması ve Bir Uygulama", *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 29. Ulusal Kongresi*, Haziran (2009).

ÖZGEÇMİŞ

1976'da Aksaray'da doğdu. Lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1994 yılında girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü'nden 2000 yılında mezun oldu. Mezuniyetten sonra bir süre özel sektörde çalıştı. 2002'de Kocaeli Üniversitesi Kandıra Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 2006 yılında Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Halen Kocaeli Üniversitesi Kandıra Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.