

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ
ANALİZİ VE İSTATİKSEL PROSES YETERLİLİĞİ
ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan
Deniz AYGAN

İstanbul, 2023

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

**BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ
ANALİZİ VE İSTATİKSEL PROSES YETERLİLİĞİ
ÜZERİNE BİR UYGULAMA**

Yüksek Lisans Tezi

Tezi Hazırlayan

Deniz AYGAN

2120006008

ORCID ID: 0009-0009-2558-8094

DANIŞMAN: Doç. Dr. Ganimet Nilay YÜCENUR

İstanbul, 2023

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “**Bir Üretim İşletmesinde Ölçüm Sistemleri Analizi ve İstatiksel Proses Yeterliliği Üzerine Bir Uygulama**” başlıklı bu çalışmanın, bilimsel ahlak ve geleneklere uygun şekilde tarafımdan yazıldığını, yararlandığım eserlerin tamamının kaynaklarda gösterildiği ve çalışmanın içinde kullanıldıkları her yerde bunlara atıf yapıldığını belirtir ve bunu onurumla doğrularım.
05/06/ 2023

Deniz AYGAN

T.C.
İSTANBUL BEYKENT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
TEZLİ YÜKSEK LİSANS SINAV TUTANAĞI

05.06.2023

Enstitümüz *Endüstri Mühendisliği* Anabilim Dalı *Endüstri Mühendisliği* Programı Yüksek Lisans öğrencilerinden 2120006008 numaralı *Deniz AYGAN*'ın "İstanbul Beykent Üniversitesi Eğitim-Öğretim Yönetmeliği"nin ilgili maddesine göre hazırlayarak Enstitümüze teslim ettiği "*Bir Üretim İşletmesinde Ölçüm Sistemleri Analizi Ve İstatiksel Proses Yeterliliği Üzerine Bir Uygulama*" konulu tezini, Yönetim Kurulumuzun 30/05/2023 tarih ve 2023/22 sayılı toplantısında seçilen ve On-Line toplanan biz jüri üyeleri huzurunda, İstanbul Beykent Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 29. maddesinin 3. fıkrası gereğince 45 dakika süre ile Zoom programı aracılığıyla on-line olarak aday tarafından savunulmuş ve sonuçta adayın tezi hakkında "*OYBİRLİĞİ*" ile "*KABUL*" kararı verilmiştir.

İşbu tutanak, 2 nüsha olarak hazırlanmış ve Enstitü Müdürlüğü'ne sunulmak üzere tarafımızdan düzenlenmiştir.

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ga*** Ni*** YÜ***
(İstanbul Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Dr. Öğr. Üyesi Fu*** Dİ***
(İstanbul Beykent Üniversitesi)

ÜYE
Dr. Öğr. Üyesi Sa*** Ke*** AY***
(İstanbul Arel Üniversitesi)

Adı ve Soyadı : Deniz AYGAN
Danışmanı : Doç. Dr. Ganimet Nilay YÜCENUR
Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans, 2023
Alanı : Endüstri Mühendisliği
Anahtar Kelimeler : Kalite Kontrol, Proses Talaşlı İmalat, Süreç yeterliliği, Ölçme Sistemi Yeterliliği

ÖZ

BİR ÜRETİM İŞLETMESİNDE ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ VE İSTATİKSEL PROSES YETERLİLİĞİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Bu çalışmada, talaşlı imalat yöntemi ile ürün, üreten bir firmanın kalite kontrol süreçlerinden elde edilen bilgiler kullanılarak belirli bir parça için imalat sürecinin, ölçme sisteminin ve proses yeterliliği incelenmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak amacıyla kalite kontrol esasları çerçevesinde istatistiksel kalite kontrol metotlarından azami ölçüde faydalanılmıştır. Söz konusu yeterlilik analizleri ile firmanın imalat ve ölçme sisteminde geliştirilmesi gereken yönleri araştırılmış, müşteri ihtiyaçlarının tam olarak karşılanması ve kalite maliyetlerinin indirgenmesi konularında çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Sonuç olarak firma belirlediği hedefleri başarmak için nasıl bir analiz yapması gerektiği konusunda bilgilendirilmiştir.

Name and Surname : Deniz AYGAN
Supervisor : Assoc. Prof. Ganimet Nilay YÜCENUR
Degree and Date : Master's Thesis, 2023
Major : Industrial Engineering
Key Words : Quality control, Process Machining, Process
Competence, Measurement System Competence

ABSTRACT

AN APPLICATION ON MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS AND STATISTICAL PROCESS SUFFICIENCY IN A MANUFACTURING COMPANY

In this study, it is aimed to examine the adequacy of the manufacturing process, measuring system for a particular part by using the information obtained from the quality control processes of a company that produces machining method. In order to achieve this goal, statistical quality control methods have been utilized to the maximum extent within the framework of quality control principles. With the aforementioned competence analysis, the aspects that need to be improved in the manufacturing and measurement system of the company were investigated, and various suggestions were developed in order to fully meet customer needs and reduce quality costs. As a result, the company was informed about what kind of analysis it should make in order to achieve the goals it has set.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ÖZ

ABSTRACT

TABLolar LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
KISALTMALAR	vii
SİMGELER LİSTESİ	viii
SÖZLÜK.....	ix
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ (MSA)

1.1. Otomotiv Sektöründe Ölçüm Sistemi Analizi.....	7
1.1.1. Ölçüm Sistemleri Analizi (MSA).....	9
1.1.2. Ölçüm Sistemi ve Kalibrasyon	11
1.1.3. Lokasyon Değişkenlikleri.....	12
1.1.4. Yayılım Değişkenliği.....	14
1.1.5. Ölçüm Kalitesi.....	16
1.2. MSA İçin Hazırlık.....	17
1.2.1. MSA Türleri	19
1.2.2. Ortalama-Aralık Metodu	19
1.2.3. MSA Kabul Şartları.....	21

İKİNCİ BÖLÜM

ENDÜSTRİDE İSTATİSTİK VE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

2.1. Endüstride İstatistik Nedir?.....	26
2.1.1. II. Dünya Savaşı ve İstatistiğin Endüstriye Girişi	27
2.1.2. II. Dünya Savaşı Sonrası	28
2.1.3. II. Dünya Savaşı Sonrası Japonya	28
2.1.4. Aritmetik Ortalama.....	29

2.1.4.1. Range (Değişim Aralığı).....	30
2.1.4.2. Mod (Tepe Değer).....	30
2.1.4.3. Medyan (Ortanca)	31
2.1.4.4. Standart Sapma ve Varyans	32
2.2. İstatistiksel Proses Kontrol Uygulama	35
2.2.1. İstatistiksel Proses Kontrol	35
2.2.1.1. Proses Değişkenliği.....	37
2.2.1.2. Genel Nedenler	38
2.2.1.3. Özel Nedenler	40
2.2.2. Nicel Kontrol Kartları.....	41
2.2.2.1. Ortalama - Aralık Kontrol Kartı.....	42
2.2.2.2. Ortalama – Standart Sapma Kontrol Kartı	46
2.2.2.3. Tekil (I)-Hareketli Aralık (MR) Kontrol Kartı (X-mR).....	48
2.2.3. Nitel Kontrol Kartları	52
2.2.3.1. P Kontrol Kartı.....	53
2.2.3.2. np Kontrol Kartı	60
2.2.3.3. C Kontrol Kartları	64
2.2.3.4. U Kontrol Kartı	67
2.2.4. Yeterlilik Analizleri	69
2.2.4.1. Ölçüm Ekipmanı Yeterlilik Analizi	69
2.2.4.2. Makine Yeterlilik Analizi	78
2.2.4.3. Proses Performansı Analizi.....	84
2.2.4.4. Proses Yeterliliği Analizi	85

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMANIN UYGULAMA ALANI FİRMA TANITIMI

3.1. Araştırmanın Uygulama Alanı	97
3.1.1. Firmanın Tanıtımı.....	97
3.1.2. Firmanın Vizyon ve Misyonu.....	98
3.1.3. Firmanın Ar-ge Merkezi ve Entegre Çözüm Süreçleri.....	98
3.1.4. Firmanın Kurumsal Kalite Sertifikaları	99
3.1.5. Firmanın Üretim Teknolojileri	102
3.1.6. Yatırım Stratejileri ve Torun Bakır	102

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMANIN MATERYAL VE METODU

4.1. Araştırma Uygulamasının Yöntemi	103
4.1.1. Yöntemi	103
4.1.2. Metodolojisi.....	104
4.1.3. Uygulamanın Amacı.....	106
4.1.4. Veri Toplama Yöntemi.....	106
4.2. Kullanılan Malzeme ve Tezgahlar	106
4.2.1. Uygulamada Kullanılan Malzeme	106
4.2.2. Uygulamada Kullanılan Ürün.....	107
4.2.3. Üretimde Kullanılan Cihazlar.....	107
4.2.4. Üretimde Kullanılan Adımları.....	111
4.2.5. Uygulamanın Bulguları ve Sonuçları	118
4.2.5.1. Karbür Kesici Takım ile Elde Edilen Veriler.....	118
4.2.5.2. CCMT Kartuş Uçlu Delik Kateri ile Elde Edilen Veriler.....	118
SONUÇ	120
KAYNAKÇA.....	122

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa No.
Tablo 1. Ayırık Kategori Sayısı	21
Tablo 2. Kabul Değerleri Tablosu.....	22
Tablo 3. Örnek Ekipman Ölçüm Ortalama-Aralık Metodu Uygulaması	24
Tablo 4. Ölçüm Cihazı Analiz Raporu.....	25
Tablo 5. Standart Sapma Formülleri	33
Tablo 6. Gerçekleşen Faaliyetler / Değişiklikler.....	52
Tablo 7. Örnek Sayısı Sabit	55
Tablo 8. P Kontrol Kartı.....	58
Tablo 9. C_p Yeterlilik Değeri Tablosu	88
Tablo 10. C_{pk} Yeterlilik İndeksi Tablosu	88
Tablo 11. Makine Yeterliliği Proses Performans ve Yeterliliği Tablosu.....	90
Tablo 12. Özel Durumlarda C_{pk} Değeri Hesaplama Tablosu.....	90
Tablo 13. Yeterlilik ve İndeksi Standart / Tahmini Tablosu.....	92
Tablo 14. Malzeme Özellikleri	104
Tablo 15. Malzeme Teknik Özellikleri	104
Tablo 16. CW617N Alaşım Elementi Kimyasal Kompozisyonu	106
Tablo 17. MSA Ölçüm Sistemi Analizi Tablosu	113
Tablo 18. Ölçüm Sistemleri Analizinden Elde Edilen Veriler.....	114
Tablo 19. Ø24,54 Ölçülü 90 HRC Sertliğinde Karbür Takımdan Elde Edilen Proses Yeterlilik Analizi Verileri	115
Tablo 20. CCMT Kartuş uçlu delik katerinden elde edilen proses yeterlilik analizi verileri	117
Tablo 21. 90 HRC sertliğinde Ø24,54 ölçülü karbür kesici takım proses yeterlilik Analiz Özeti	118
Tablo 22. CCMT Kartuş Uçlu Delik Kateri ile Elde Edilen verilerin proses yeterlilik Analiz Özeti	119

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1. Tolerans Noktaları.....	7
Şekil 2. Ölçüm Sistemindeki Değişkenlik.....	8
Şekil 3. Ölçüm Sistemi Varyansı (Değişkenlik Kaynakları).....	9
Şekil 4. Sistemdeki Toplam Varyasyon Kaynakları.....	11
Şekil 5. Ölçüm Sisteminin Varyasyonları.....	12
Şekil 6. Ölçüm Sisteminin Ortalaması.....	13
Şekil 7. Referans Değer ve Zaman Aralığı.....	13
Şekil 8. Bias Ölçüm Aralığı.....	14
Şekil 9. Doğrusallık Ölçüm Aralığı.....	14
Şekil 10. Tekrarlanabilirlik Ölçüm Aralığı.....	15
Şekil 11. Tekrar Yapılabilirlik Ölçüm Değişkenliği.....	16
Şekil 12. Kesinlik Beklentisi.....	16
Şekil 13. Doğrusallık ve Kesinlik Kavramları.....	17
Şekil 14. Ölçüm Sistemi Adımları.....	17
Şekil 15. Ölçüm Sistemi Analizi Veri Türleri.....	19
Şekil 16. Ortalama-Aralık Metodu Uygulama Adımları.....	23
Şekil 17. Tanımlayıcı ve Çıkarımsal İstatistik İlişkisi.....	27
Şekil 18. Büyük Olan Normal Dağılım Grafiği.....	34
Şekil 19. Basık Olan Normal Dağılım Grafiği.....	34
Şekil 20. Proses Toplam Değişkenliği.....	37
Şekil 21. Genel Nedenlere Örnek.....	39
Şekil 22. Özel Nedenlere Örnek.....	40
Şekil 23. Nicel Kontrol Kartları Örnekleri.....	42
Şekil 24. Xort Grafiği.....	43
Şekil 25. Aralık (R) Grafiği.....	44
Şekil 26. Prosesteeki Olayların Kayıt Edilmesi Örneği.....	45
Şekil 27. X Grafiği Verilerinin Ortalaması.....	47
Şekil 28. S Grafiği Verilerinin Ortalamaya Göre Sapmaları.....	47
Şekil 29. Ortalama-Standart Sapma Kontrol Kartının Karşılaştırılması.....	48
Şekil 30. X Grafiği Her Ölçüm Değerinin Gösterilmesi.....	49
Şekil 31. Mr Grafiği Tekil Ölçümler Arasındaki Fark.....	49
Şekil 32. Tekil-Hareketli Ortalama Kontrol Kartı Örneği.....	51
Şekil 33. Nitel Kontrol Kartları Örnekleri.....	52
Şekil 34. Örnek Sayısı Sabit -P Kontrol Kartı.....	54
Şekil 35. Örnek Sayısı Değişken- P Kontrol Kartı.....	57
Şekil 36. Sabit ve Değişken Olduğu Durumlardaki Proses Grafikleri-1.....	59
Şekil 37. Sabit ve Değişken Olduğu Durumlardaki Proses Grafikleri-2.....	60
Şekil 38. Tüm Değerler Üst Kontrol Limitinin Altındadır ve Değişiklikler “Genel Nedenlerden” Kaynaklanmaktadır.....	61
Şekil 39. Tüm Değerler Üst Kontrol Limitinin Üzerinde Özel Nedenlerden.....	62
Şekil 40. np Kontrol Kartı.....	63
Şekil 41. Kusur Sayısı Kabul Edilebilir Seviye.....	65

Şekil 42. Kusur Sayısı Kabul Edilemez Seviye.....	65
Şekil 43. C Kontrol Kartı.....	66
Şekil 44. Birim Üründeki Kabul Edilebilir Kusur Sayısı	67
Şekil 45. Limitinin Üzerinde En Az Bir Nokta Var Olduğundan Kabul Edilemez Kusur Sayısı.....	68
Şekil 46. Sabit U Kontrol Kartı	68
Şekil 47. Değişken U Kontrol Kartı	69
Şekil 48. Ölçüm Sistemi Yeterliliği GR&R	70
Şekil 49. Ölçüm Ekipmanı Yeterlilik Analizi	71
Şekil 50. Potansiyel Yeterlilik İndeksi	72
Şekil 51. Kritik Yeterlilik İndeksi	73
Şekil 52. Beklenti Değerleri Tablosu	74
Şekil 53. Örnek Yeni Alınmış Bir Ölçüm Ekipmanı İçin Analiz-1.....	76
Şekil 54. Örnek Yeni Alınmış Bir Ölçüm Ekipmanı İçin Analiz-2.....	77
Şekil 55. C_{mk} Makine Yeterlilik İndeksi.....	80
Şekil 56. C_{mk} Makine Yeterlilik İndeksi Dağılımının Toleranslara Göre Konumu ..	81
Şekil 57. Makine Kapasite (Yeterlilik) Çalışması	83
Şekil 58. Proses Yeterlilik Çıktısı.....	84
Şekil 59. C_p – Proses Yeterliliği Değeri	86
Şekil 60. C_{pk} – Proses Yeterliliği İndeksi	87
Şekil 61. C_p ile C_{pk} Arasındaki İlişki Grafiği	88
Şekil 62. Değişken ve Sabit Proses Çıktısı Sonucu.....	91
Şekil 63. Yeterlilik ve İndeks Dağılımın Şekli / Dağılım Konumu Tablosu.....	92
Şekil 64. Prosesten Beklenti Sonuç Tablosu	94
Şekil 65. Prototip Üretim ve Ön Seri Üretim Proses Performansı	95
Şekil 66. APQP, MSA ve SPC Sıralama Tablosu	96
Şekil 67. Fabrika Görseli	97
Şekil 68. Ar-Ge Belgesi.....	99
Şekil 69. ISO 9001:2015 ve ISO 10002:2018 Kalite Sertifikaları	100
Şekil 70. ISO 14001-2015 Çevre Yönetim Sistemi Belgesi.....	100
Şekil 71. ISO 9001: 2015 Kalite Sertifikası	101
Şekil 72. ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Sertifikası	101
Şekil 73. Fabrika Atölye Görseli	102
Şekil 74. Uygulama Yapılacak 90 HRC Sertliğinde Karbür Kesici Resmi.....	105
Şekil 75. Uygulama Yapılacak CCMT Sert Maden Plaket Takılmış Kater Resmi .	105
Şekil 76. Ürün Teknik Resmi	107
Şekil 77. CNC Kontrol Üniteli Transfer Tezgâhı.....	108
Şekil 78. Ürünü Çenede Bağlama Metodolojisi	108
Şekil 79. Ürünü İşleme Prosesi.....	109
Şekil 80. Uygulama Yapılacak 90 HRC Sertliğinde Karbür Kesici Takım Teknik Resmi	109
Şekil 81. 3 Boyutlu Koordinat Ölçüm Makinesi ve Cihaz Ölçüm Sonuçları.....	110
Şekil 82. Parça Ölçüm Şekli	111
Şekil 83. Üretilen İşlem Görmüş Ürünler.....	112
Şekil 84. Tezgâhta Üretilen Klimatize Edilen Numuneler	116

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
APQP	: İleri Ürün Kalite Planlaması
EAQF	: Tedarikçi Kalite Yeteneğinin Değerlendirilmesi
EN	: Avrupa Standartları
FMEA / HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
HRC	: Rockwell Sertliği C metodu
ISO	: Uluslararası Standart Organizasyonu
KYS	: Kalite Yönetim Sistemi
LCL	: Alt Kontrol Sınırı
LSL	: Alt Spesifikasyon Sınırı
MSA	: Ölçüm Sistemleri Analizi
OEM	: Orijinal Ekipman Üreticisi
PPAP	: Üretim Parçası Onay Prosesi
PUKÖ	: Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al
RÖS	: Risk Öncelik Sayısı
SPC / İPK	: İstatistiksel Proses Kontrol
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

SİMGELER LİSTESİ

UTL	: Üst Tolerans Limiti
ATL	: Alt Tolerans Limiti
UKL	: Üst Kontrol Limiti
AKL	: Alt Kontrol Limiti
LSL	: Alt Spesifikasyon Sınırı
USL	: Üst Spesifikasyon Sınırı
C_g	: Cihaz Yeterliliği
C_{gk}	: Cihaz Yeterlilik İndeksi
C_p	: Proses Yeterlilik Değeri
C_{pk}	: Proses Yeterlilik İndeksi
C_m	: Makine Yeterlilik indeksi
C_{mk}	: Kritik Makine Yeterlilik İndeksi
P_{pk}	: Proses Performans indeksi
n	: Alt grup Hacmi
R	: Range (Genişlik)
s	: Örneklemin Standart Sapması
S	: Örnek Kovaryans Matrisi
$\bar{x}$	: Örnek Ortalaması
x_i	: i'nci Gözlem Değeri
σ^2	: Varyans

SÖZLÜK

Kalite: Değer olarak, ürünün teknik özelliklerine uyması olarak, ihtiyaçlara uygunluk olarak, kullanıma uygunluk olarak, da tanımlanmıştır.

Kapabilite: Üretim yeterliliği anlamına gelir.

Ölçüm Sistemi Analizi: Sistemdeki ölçüm ihtiyacı duyulan noktalarda mevcut ölçüm sisteminizin yeterliliğinin saptanmasıdır. Gage R&R, Gerçek süreç değişkenliğini ortaya çıkarmak için ölçüm sisteminden kaynaklanan değişkenliğin tanımlanması ve sistem değişkenliğinden ayrıştırılmasıdır.

Süreç: Olguların ya da olayların belli bir taslağa uygun ve belli bir sonuca varacak biçimde düzenlenmesi ve art arda sıralanması.

GİRİŞ

Bu bölümde çalışmanın önemi, amacı, hipotezi ve literatür çalışmasına yer verilecektir.

Araştırmanın Önemi, Amacı ve Orijinal Katkısı

Günümüz rekabetçi dünyasında firmaların hayatta kalabilmesi için ürünlerin, servislerin ve proseslerin ilk seferde ve her seferinde hedef değerde doğru çalışması, yenilik ve teknolojinin yakından takip edilmesi gereklidir. Müşteriler yalnızca fiyata değil, artan bir dikkatle kaliteye önem vermekte, ürün ve servis kalitesinde değişkenliği kabul etmemektedirler. Bu eğilim, hizmet ve mamul üreten firmaları, ürün ve servislerini tasarım ve gelişim basamaklarında optimize eden yönetim stratejileri geliştirmek zorunda bırakmaktadır. Dünya çapındaki rekabetle basa çıkabilmenin yolu, ürün ve servislerdeki değişkenliğin azaltılmasıdır. Bu değişkenliğin azaltılması hata oranlarını azaltır, verimi artırır, hurda oranını azaltır, ürünlerin tekrar işlenmesini azaltır, servis ve garanti masraflarını düşürerek firmanın pazardaki konumu sağlamlaştırır. Kalite kontrolü, üretim sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Ürün ve hizmet kalitesini artırmayı ve müşterilerinin beklentilerini karşılamayı hedefleyen firmaların başarılı olabilmesi için gerekli araçlardan biridir. Etkin bir şekilde yapılan kalite kontrolü ile tasarruf ve yüksek düzeylerde verimlilik sağlanabilir. Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yayınlanan ISO 9001 gibi bir standardı temel alan bir kalite kontrol sisteminden yararlanarak, üretim sürecine katkı sağlanabilir.

Bu çalışmada, bir işletmede uygulanan kalite kontrol süreçlerinden elde edilen bilgiler kullanılarak belirli bir parça için imalat sürecinin ve ölçme sisteminin ve proses yeterliliği incelenmesi hedeflenmiştir. Bu hedefe ulaşmak amacıyla kalite kontrol esasları çerçevesinde istatistiksel kalite kontrol metotlarından azami ölçüde faydalanılmıştır. Söz konusu yeterlilik analizleri ile firmanın imalat ve ölçme sisteminde geliştirilmesi gereken yönleri araştırılmış, müşteri ihtiyaçlarının tam olarak karşılanması ve kalite maliyetlerinin indirgenmesi konularında çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Sonuç olarak firma belirlediği hedefleri başarmak için nasıl bir analiz yapması gerektiği konusunda bilgilendirilmiştir.

Araştırmanın Literatür Taraması

Kalite kavramının tanımıyla ilgili literatür incelendiğinde, Philip Crosby'ye (1987) göre, kalite bir ürünün gereksinimleri ve talepleri karşılama derecesi olarak tanımlanmıştır. Crosby'e göre kalitenin en önemli noktası üretim bittikten sonraki kontrol değil, her aşamadaki kontrol ile hata oranını en aza indirmeye çalışılmasıdır. Crosby, "ilk seferde doğru yapmak" felsefesine inanır ve hata yapmamaya çalışır (Crosby, 1987).

Edward Deming (1982), kalitesizliğin en önemli nedeninin değişkenlik olduğuna ve değişkenlik azaltıldığında kalitenin arttığına inanmaktadır (Deming, 1982).

Joseph Juran (1989), kalitenin amaca uygunluk olduğunu belirtmekte, kalite kontrole yapılan vurgunun yeterli olduğunu iddia etmekte, bir diğer önemli konunun kalite yönetimi olduğuna inanmakta ve kalite yönetimini Juran üçlüsü (kalite planlama-kalite kontrol-kalite iyileştirme) olarak tanımlamaktadır (Juran, 1989).

Genichi Taguchi (1990), kaliteyi sevkıyattan sonra topluma daha az zarar veren bir ürün olarak tanımlamıştır. Beyin fırtınası, dikey basamaklama, parametrik tasarım gibi teknikler Taguchi'ye göre kalite kontrol teknikleridir (Taguchi, 1990).

Armand Vallin Feigenbaum'a (1991) göre, kalitesi ve hacmi gün geçtikçe artan bir pazar oluşumu söz konusudur. Gelişen bu kalite anlayışı mühendislik ve proses ürünlerine karşı da yeni bir bakış açısı kazandırmıştır (Feigenbaum, 1991).

Kaoru Ishikawa (1985), araştırmaları sırasında kalitenin, tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak için ürünlerin tasarımı, geliştirilmesi, üretimi ve satış sonrası hizmeti anlamına geldiğini açıklamış ve kalite kontrol kavramı üzerine istatistiksel teknikler geliştirmiştir (Ishikawa, 1985).

Noiraki Kano'ya (1984) göre, kalite müşteri merkezlidir ve müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerini karşılamayı amaçlamaktadır (Kano, 1984). Masaaki Imai (1986) ise kaliteye kaizen (sürekli iyileştirme) kavramını tanıtmaktadır (Imai, 1986).

Kalite kavramı ile ilgili literatür incelendiğinde ise Reddy ve ark. (2005), birinci dereceden ve ikinci dereceden modeller elde etmek için yanıt yüzeyi metodolojisini kullanarak takım geometrisinin etkisini ve bunun bir freze tezgâhının

kesme yüzeyinin kalitesi üzerindeki etkisini araştırmış ve yüzey pürüzlülük modelini optimize etmiştir (Reddy ve ark., 2005).

Öktem ve ark., (2005), imalat sanayinin son yıllardaki gelişiminde CNC takım tezgâhlarının önemini vurgulamış, kalıp yüzeyini frezelerken en düşük yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en iyi kesme koşullarını belirlemeye çalışmışlardır (Öktem ve ark., 2005).

El-Mounayri, Gadallah ve Briceno (2002), çalışmalarında düzleştirme ve ters çevirme sürecini modellemek için yeni bir yaklaşım denemiş, girdileri kesme koşulları ve bir takım geometri biçimi olan bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarının başlangıcında, kesme parametreleri keyfi olarak değiştirilmiştir. Tüm kırpm parametrelerini bir deneye eklemek, deney sayısını ve eğitim maliyetini büyük ölçüde artıracığından kesirli bir faktöriyel deney tasarımı kullanmış ve maliyet fonksiyonunu, parçacık sürüsü optimizasyonunu (PSO) kullanarak en aza indirmişlerdir (El-Mounayri ve ark., 2002).

Taraman ve ark., (1972) yanıt yüzeyi tekniklerinden biri olan çekirdek bileşik tasarımını, bir düzenleme sistemindeki değişken seçimine uygulamış, takım ömrü, yüzey kalitesi ve kesme kuvvetleri için matematiksel modeller, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi parametrelerle modelleme yapmış ve bu modeller, değişkenlerin tedavi düzeylerini belirlemek için kullanılmıştır (Taraman ve ark., 1972).

Feng ve Wang (2002), kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini inceledikleri çalışmalarında, bu etkiyi ve kesirli faktöriyel deneysel yaklaşımla etkileşimi araştırmak için ANOVA (ANalysis Of VAriance) tekniğini kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında yüzey pürüzlülük modellemesinde yapay sinir bağları ile doğrusal olmayan regresyonu karşılaştırmış ve karşılaştırma sonucu yöntemlerin eşit derecede iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir (Feng ve ark., 2002).

Şahin ve Motorcu (2005), yayınlarında, karbon çeliğinin tornalanarak işlenmesi için reaksiyon yüzeyi yöntemlerinden biri olan merkezi kompozit tasarımını kullanarak ikinci dereceden bir model elde etmişlerdir (Şahin ve Motorcu, 2005).

Tosun ve Tosun (2004), Genetik Algoritmalar Kullanarak Minimum Yüzey Pürüzlülük Koşulları İçin Sondaj Parametrelerini Optimize Etme başlıklı makalelerinde, bir regresyon yöntemi kullanarak matematiksel model elde etmiş, daha

sonra elde edilen modeli bir genetik algoritma kullanarak optimize etmiş ve parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir (Tosun ve Tosun, 2004).

Altın ve ark., (2006), kesme hızının kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini Inconel 718 süper alaşım ve tornada soğutma sıvısı olmayan ancak beş farklı kesme hızı olan kaplamasız karbür dairesel takımlar kullanarak incelemişlerdir (Altın ve ark., 2006).

Gökkaya ve ark., (2006), soğutma sıvısı kullanmadan sabit bir kesme derinliğini korurken çeşitli kesme hızlarında ve beslemelerde AISI 1030 çeliği CNC torna tezgâhında kesmişlerdir. Çalışmada kesme hızı ve ilerleme gibi kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi AISI 1030 çeliği kaplanmamış karbür takımlarla işlenerek incelenmiştir (Gökkaya ve ark., 2006).

Abdou ve Yien (1995), çalışmalarında freze makinesi çalışma parametrelerinin pratik öneminden bahsetmiş, kuru koşullarda kesme kuvvetlerini ve takım ömrünü ölçmek için deneyler yapmışlardır. Araştırmacılar, kesme kuvveti verilerinde mevsimsel ve doğrusal olmayan modellerin olup olmadığını belirlemek için takım kuvveti ve takım ömrünün matematiksel modellerini geliştirmiş ve üretim maliyetlerini en aza indirmek için optimizasyon çalışmaları yapmışlardır (Abdou ve ark., 1995).

Erzurumlu ve Öktem (2007), makalelerinde, kaynaklı yüzeylerin yüzey kalitesini belirlemek için yüzey pürüzlülüğünü ölçmüş ve freze makinesi model parametrelerinde kesme hızı, derinlik, ilerleme ve makine toleranslarını değişken olarak ele almışlardır. Araştırmacılar, tam 3 seviyeli faktöriyel tasarım uygulamış ve yanıt yüzey yöntemi ile yapay sinir ağı sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Erzurumlu ve Öktem, 2007).

Kopac (1998), kesme malzemesinin ve kesme takımındaki kaplamanın takım kalitesi ve ömrüne etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında maliyetlerin %3'ünü ve %19'unu oluşturan kesme malzemelerinin ve takım kaplamalarının takım kalitesi ve ömrü üzerindeki etkisini araştırmışlardır (Kopac, 1998).

Zuperl ve Cus (2003), optimum kesme koşullarını bulmak için yapay sinir ağını kullanmaya çalışmış ve optimum kesme koşullarını bulmanın üretkenliği artırmaya ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olabileceğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar

alışmalarında çok amaçlı optimizasyonu gerçekleştirmiş ve teknik, ekonomik ve organizasyonel sınır koşullarını değerlendirmişlerdir. Bulunan araştırma sonuçlarına göre, kesme işleminde ilerleme hızı ve kesme derinliği azalmış, iş verimliliği düşmüş ve takımdan tasarruf edilmiş ancak istasyon maliyeti artmıştır (Zuperl ve ark., 2003).

Noordin ve ark., (2004), yanıt yüzeyi metodolojisi ile çok katmanlı tungsten karbür takımların AISI 1045 elik tornalama yüzeylerindeki performansını belirlemişlerdir. alışmalarında dikkate alınan faktörler kesme hızı, ilerleme ve kenar kesme açıları olmuştur. SCEA (kenar açısı) ana kesme kuvveti, teğetsel kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü incelenen başlangıç değerleri olup deney düzeni olarak yüz merkezli bir çekirdek kompozit tasarım kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yüzey pürüzlülüğünü ve kesme kuvvetini etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu bulunmuştur (Noordin ve ark., 2004).

Canyılmaz ve Kutay (2003) makalelerinde, Taguchi yönteminin ortogonal bir matris kullanarak kontrol edilemeyen faktörlerin etkisini en aza indirmeye çalışan deneysel bir tasarım tekniği olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacıların yaptıkları bu çalışmada, faktör düzeylerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılarak “Varyans Metodu (veya ANOVA Metodu İngilizce ANalysis Of VAriance sözcüklerinin kısaltması) ve faktör-etki diyagramları” karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre problem çok amaçlı bir karar problemi olarak yeniden düzenlenmiştir. Araştırmacılar yeni model çözümünün sonuçlarını Varyans Metodu (veya ANOVA Metodu İngilizce ANalysis Of VAriance sözcüklerinin kısaltması) kullanarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak, bir mühendislik tasarımındaki faktörlerin etkisinin grafiksel temsilinin Varyans Metodu (veya ANOVA Metodu İngilizce ANalysis Of VAriance sözcüklerinin kısaltması) yaklaşımından daha iyi sonuçlar sağlayacağını öne sürmüşlerdir (Canyılmaz ve Kutay, 2003).

Sharma ve ark., 2005 yılı tarihli makalelerinde, süreç parametrelerinin seçimine odaklanmış, kalite özelliklerinin seçiminde Taguchi L9 tasarımını kullanmış ve analiz yöntemleri olarak ise sinyal-gürültü oranı ve Varyans Metodu (veya ANOVA Metodu İngilizce ANalysis Of VAriance sözcüklerinin kısaltması) analizini çalışmalarına katmışlardır (Sharma ve ark., 2005).

Zhang ve ark., (2007), CNC işleminin yüzey kalitesini optimize etmek için Taguchi tasarımını kullanmışlardır. İyi bir yüzey kalitesi elde etmek, verimliliğin azalmasına ve ek üretim maliyetlerine neden olduğundan Taguchi tasarımları, faktöriyel tasarımlardan daha az kaynak tüketen reaksiyonları optimize etmek için etkili ve verimli bir yöntem olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada ilerleme, hız, kesme derinliği ve sıcaklığı etkileyen faktörler ile gürültü faktörleri ve aynı performansta farklı takımların kullanımı ele alınmıştır. Ortogonal bir L9(34) ağı kullanarak, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli faktörleri belirlemek için ANOVA analizi kullanılmış ve optimum yüzey pürüzlülüğü ile optimum sinyal-gürültü oranı belirlenmeye çalışılmıştır (Zhang ve ark., 2007).

Dowey ve Matthews (1998), toplam kalite yönetiminin kalitesini sürekli iyileştirmek amacıyla yüzey kaplama üreticileri ve kullanıcıları da dahil olmak üzere endüstriyel kuruluşların artan çabaları, uygunluk ve spesifikasyonlardan düşük sapma sağlamak için Taguchi'nin kayıp fonksiyonunu kullanmışlardır (Dowey ve Matthews, 1998).

Yapılan bu literatür çalışmaları göstermektedir ki, son yıllarda hacmi, değişkenliği ve kalitesi artan yeni bir dünya pazarı oluşmuştur. Bu yeni pazarda müşteri beklentileri giderek artmış, mevcut müşterileri koruyarak, organizasyonel ve teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek yeni müşteri kazanmak ise zorlaşmıştır. Bu gereksinimler, kaliteye ve kalitenin iyileştirilmesine olan ilgiyi daha da artırmış; Kalite anlayışı, ürünlere, hizmetlere, mühendislik ve üretim süreçlerine yeni bir bakış açısı kazandırmıştır.

Bu kapsamda takım aşınması, pürüzlülük ve birim maliyet gibi birçok kritere göre işleme parametrelerini optimize etmek için birçok çalışma yapılmıştır. Önceki araştırmalar incelendiğinde, üretim süreçlerindeki kalite kontrolün ve diğer hedeflerin sağlanabilmesi için istatistiksel regresyon yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülürken, literatürde bu alanda ölçüm sistemleri analizi (MSA) ve istatistiksel süreç kontrolü ile ilgili yapılmış çok az veya detaylı olarak yapılmış hiç araştırma bulunmadığından, bu konu literatüre katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir.

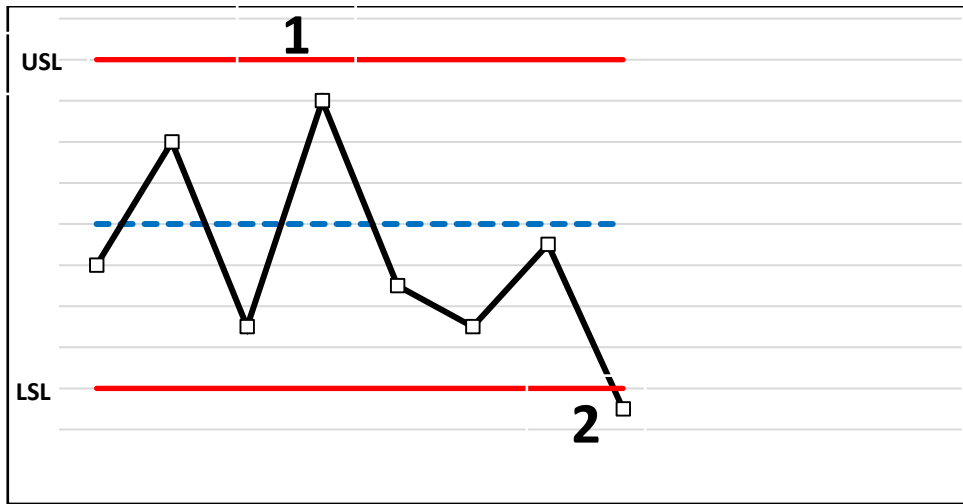
BİRİNCİ BÖLÜM

ÖLÇÜM SİSTEMLERİ ANALİZİ (MSA)

1.1. Otomotiv Sektöründe Ölçüm Sistemi Analizi

Uluslararası Otomotiv Görev Gücü (IATF) 16949:2016 Madde 7.1.5.1.1 Ölçüm Sistemleri Analizi başlığında Ölçüm Sistemi analizi uygulaması; “Kontrol planında tanımlanan her bir tip muayene, ölçüm ve test ekipmanlarının (sistemlerinin) sonuçlarındaki değişkenliği analiz etmek için istatistiksel çalışmalar yapılmalıdır.” şeklinde yer alır. Ayrıca aynı maddede ilave olarak, “Kullanılan analitik yöntemler ve kabul kriterleri, Ölçüm Sistemleri Analizi (MSA) ile ilgili referans el kitaplarındaki bilgilere uyacaktır. Müşteri onayladığı takdirde, diğer analitik yöntemler ve kabul kriterleri kullanılabilir.” şeklinde bir açıklama yer alır. Bu durumda uygulama şirketi herhangi bir otomotiv tedarik zinciri içinde bir projeye dahil ise ölçüm sistemi analizi uygulamalarını aksi belirtilmediği müddetçe MSA kitapçığına uygun olarak yapmalıdır. Bir proses devam ederken uygulanan istatistiksel proses kontrol faaliyetlerinde oluşan grafikler analiz edilirken aşağıdaki sorular unutulmamalıdır. Şekil 1’de tolerans noktaları gösterilmiştir.

- 1 nolu nokta gerçekten tolerans içinde mi?
- 2 nolu nokta gerçekten tolerans dışında mı?



Şekil 1. Tolerans Noktaları

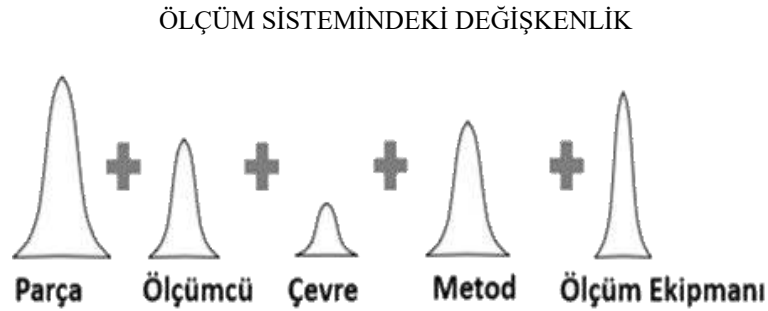
Kaynak: (Ege, 2022)

İşte bu iki kritik sorunun yanıtı, prosesin değerlendirilmesi ve kontrol kartlarındaki verilere güvenip doğru yorum yapılabilmesi açısından önem taşımaktadır. Ölçüm faaliyeti sonucu görülen değer yani ölçülen değer hiçbir zaman gerçek değer değildir. Ölçüm ekipmanının kadranından görülen değer aslında, ölçülen parçanın gerçek değeri ve ölçüm sisteminden gelen değişkenlik ve hatanın toplamıdır. Bu durumda oluşan iki yeni soru vardır:

- Ölçüm ekipmanının gösterdiği değere güvenilebilir mi?
- Ölçüm sisteminden gelen hata oranının kabul sınırlarında olması şartıyla, ölçüm sistemindeki değişkenlikler hangi faktörlerden beslenmektedir?

Şekil 2’de, ölçüm sisteminde değişkenliği tetikleyen faktörler gösterilmektedir. Bu şekle göre, her bir faktörün büyük ya da küçük oranlarda ölçüm sonucuna etkisi bulunmaktadır. Ölçüm sistemi analizi bu faktörlerden çevre ve metot faktörünü sabit kabul edip, parçada zaten prostesten gelen değişkenlik olduğu gerçeği ile ölçümcü ve ölçüm ekipmanının bileşeninden oluşan değişkenliği analiz eder.

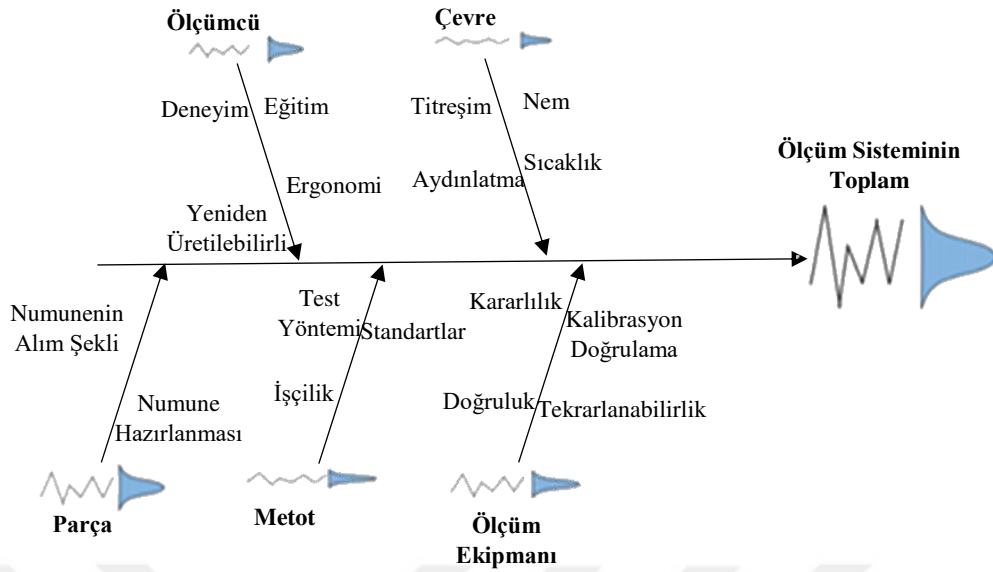
$$\text{Ölçülen değer} = \text{Gerçek değer} + \text{Ölçüm Sistemindeki değişkenlik}$$



Şekil 2. Ölçüm Sistemindeki Değişkenlik

Kaynak: (Ege, 2022)

Her bir faktör sistem içinde farklı nedenlerden beslenir. Şekil 3’de ise ölçüm sistemine etki eden faktörlerin alt kırılımlarını göstermektedir.



Şekil 3. Ölçüm Sistemi Varyansı (Değişkenlik Kaynakları)

Kaynak: (Ege, 2022)

1.1.1. Ölçüm Sistemleri Analizi (MSA)

Proses kontrolü ve iyileştirmenin gerçekleşmesi için doğru ve kesin ölçümlerin kritik olduğu şüphesizdir. Hassas ölçüm sistemleri, süreç iyileştirme çabalarında hayati öneme sahiptir. Ölçüm sisteminden gelen büyük bir değişkenlik var ise proses kontrol çizelgelerindeki değişkenliğin nedenlerinin bulunması oldukça güçleşir. Proses ölçüm sonuçlarına güvenilmesi açısından ölçüm sistemi doğru ve kesin sonucu vermelidir. Bu açıdan bakıldığında, ölçüm sistemi analizinin yapılmasındaki temel amaçlar aşağıdaki soruların cevaplarının bulunmasıdır:

- Ölçüm sisteminin prosesteki değişkenliğe etkisi var mı? Ve etkisi varsa bu etki ne kadar?
- Bu etki ölçüm sistemindeki hangi faktörlerden kaynaklanmaktadır?

Ölçüm sistemi analizi için Measuremet System Analysis teriminin kısaltması olan MSA ifadesi kullanılır. MSA çalışmaları aşağıda belirtilen durumlarda yapılır:

- Ölçüm gerektiren, yeni üretim prosesinde,
- Yeni ürün üretiminde,
- Yeni ölçüm ekipmanının kabulünde,

- Yeni personel istihdamında,
- İki ölçüm ekipmanının karşılaştırılmasında,
- Kullanılan ölçüm ekipmanının değerlendirilmesinde,
- Ölçüm metodu, ölçümcülerin yetenekleri ve çevre koşullarının değişiminde,
- Müşteri talep ettiğinde

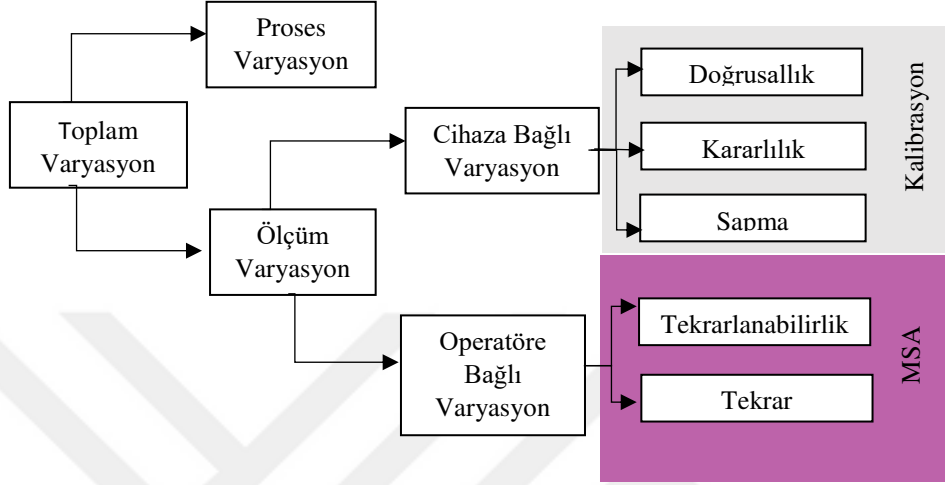
Ölçüm sistemleri analizinin amacı varyasyon bileşenlerini değerlendirmek ve varyasyonun ne kadarının ölçüm sisteminden ileri geldiğini belirlemektir. Ölçüm sistemleri analizi genel olarak Gage R&R olarak bilinir. Buradaki Gage kelimesi, ölçüm alabilmek üzere kullanılan cihazı tarif eder (Barrentine, 1998). R&R ise tekrarlanabilirlik ve yeniden üretilebilirlik kelimelerinin İngilizce baş harfleridir (Repeatability & Reproducibility). Gage R&R günümüz kalite kontrol prosesleri için, ürün ve prosesteki varyasyonu azaltabilmek adına çok önemli bir rol oynar. Ölçüm sistemleri analizine geçmeden önce sistemdeki toplam değişkenliklerden bahsetmekte yarar vardır. Hangi proses olursa olsun ve prosesin niteliği ve içeriği ne olursa olsun **prosesten ve ölçüm** faaliyetlerinden kaynaklı değişkenlik yani varyasyon vardır. Yani prosesten elde edilen tüm ölçüm sonuçlarının içinde aslında hem parçadan kaynaklı hem de ölçüm sisteminden kaynaklı değişkenlik kaçınılmazdır.

Ölçüm sisteminde cihazdan kaynaklı ve ölçüm operatöründen kaynaklı iki temel değişkenlik oluşur. Ölçüm cihazından kaynaklı değişikliğın altında dört kategori vardır. Bu kategoriler aşağıdaki gibi sıralanır (MSA, 2010);

- Doğrusallık,
- Kararlılık,
- Sapma,
- Tekrarlanabilirlik

Bu dört kategoriden doğrusallık, kararlılık ve sapma, kalibrasyon çatısı altında değerlendirilir. Ölçüm sistemi analizine, bu kategorilerden yalnızca tekrarlanabilirlik dahil edilir. Ölçüm operatörü kaynaklı değişkenlik kategorileri ise tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirliktir. Ölçüm sistemi analizinde, ölçüm sonuçlarına ölçüm cihazından ve ölçümcüden gelen değişkenlikler değerlendirilir. Bu durumda ölçüm sistemi

analizinin temel amacı: Ölçüm sistemlerinin toplam hata analizlerini yaparak, ölçüm cihazının ve ölçümcülerin, ölçüm beklentisini karşılama yeterliliğinde olup olmadığına karar verilmesini sağlamaktır (Ege, 2022). Şekil 4’de bir sistemdeki toplam varyasyon kaynakları gösterilmektedir.



Şekil 4. Sistemdeki Toplam Varyasyon Kaynakları

Kaynak: (Ege, 2022)

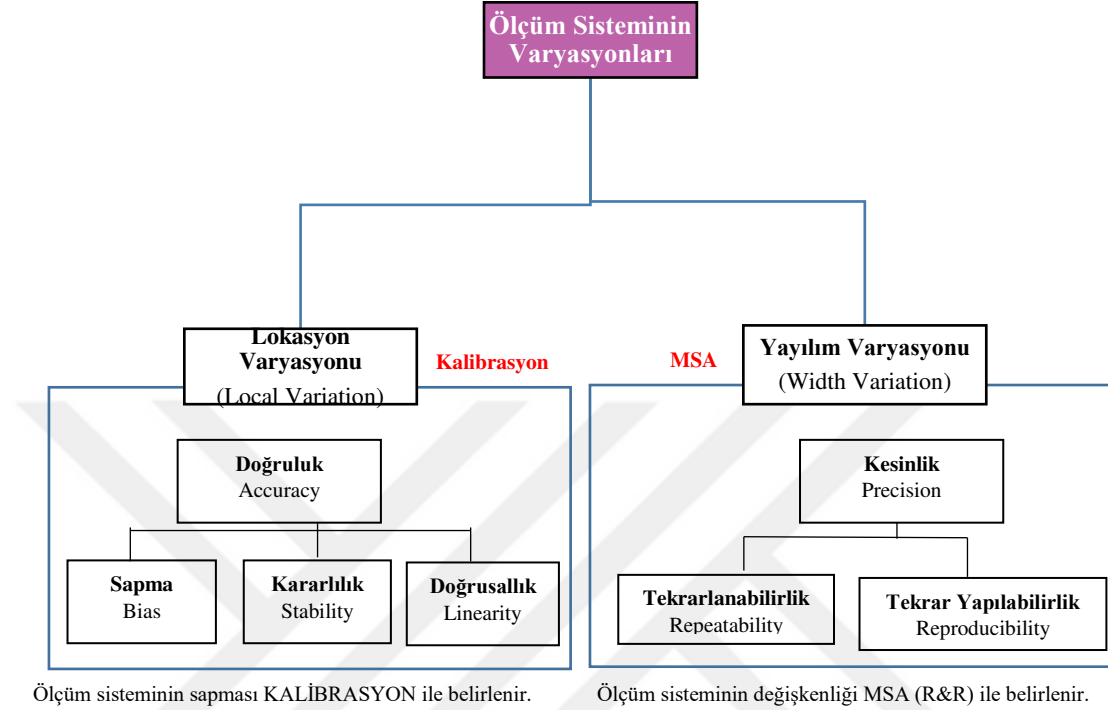
1.1.2. Ölçüm Sistemi ve Kalibrasyon

Ölçüm sisteminin değerlendirilmesi ve kalibrasyon faaliyetleri sıkça karıştırılıyor olsa da bu iki işlem aynı değildir ve uygulanma amaçları birbirinden farklıdır. Kalibrasyon ölçüm sonuçlarını etkiler. Ancak ölçüm sistemini genel olarak ele alırsak, sistemden kaynaklı değişkenlikler değerlendirilirken ölçüm cihazının doğruluk açısından uygun olması şartı bulunmaktadır. Yani, kalibrasyon ile doğruluğu sağlanmamış ölçüm ekipmanı zaten ölçüm sistemine dahil edilmeyeceğinden dolayı kalibrasyon sistem için gerek şarttır. Kısaca kalibrasyon, ölçüm ekipmanının referans değere göre farklılığı olarak tanımlanabilir.

Ölçüm sistemi analizi (MSA) için ise kalibrasyondan farklı olarak “kesinlik” söz konusudur. Yani ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakınlığı önemli bir konudur. Bu durumun istatistiki açıdan ifadesi ise, ölçüm sonuçlarından elde edilen normal dağılım

eğrisinin yayılımı yani genişliğidir. Aşağıda yer alan Şekil 5’de kalibrasyon ile MSA arasındaki farklar gösterilmiştir.

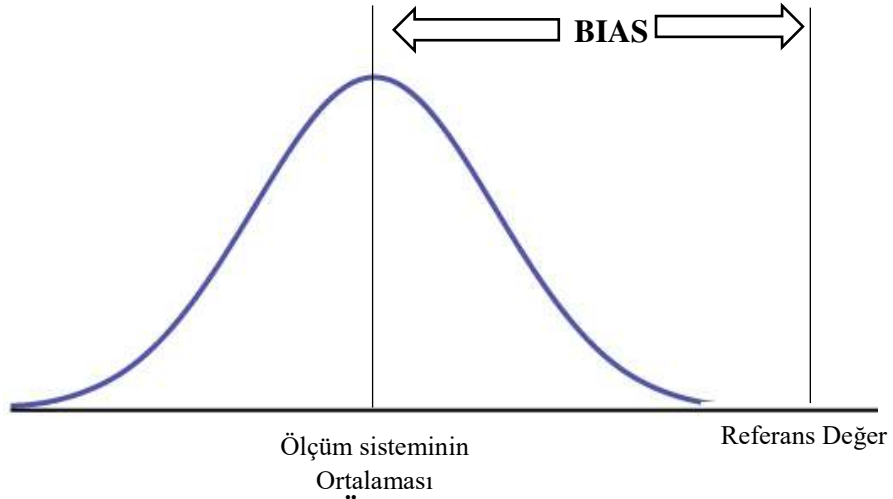
Şekil 5. Ölçüm Sisteminin Varyasyonları



Kaynak: (Ege, 2022)

1.1.3. Lokasyon Değişkenlikleri

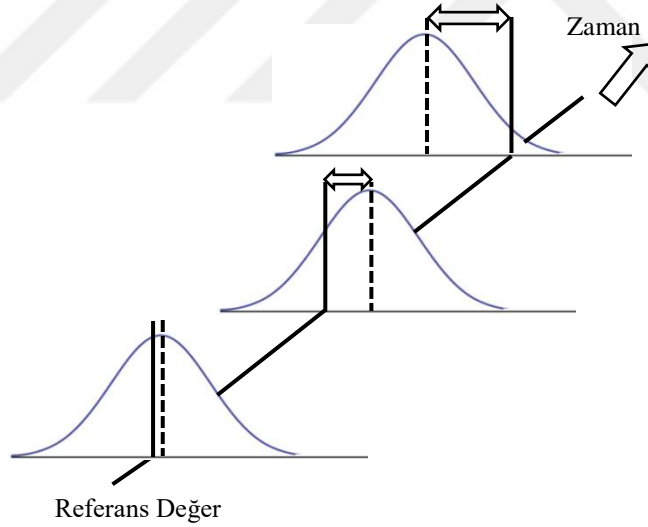
Doğruluk, ölçüm sistemi analizlerinde “hedefe yakınlık” olarak karşılık bulur. Yani doğruluk, ölçüm sonuçlarının referans değere yakınlığı olarak tanımlanır. Ölçüm ekipmanının doğruluğu kalibrasyon faaliyeti ile belirlenir ve doğruluk analizinde üç temel kavram karşımıza çıkar. Bu kavramlar sapma, kararlılık ve doğrusallıktır. Sapma kelimesi yabancı kaynaklarda bias olarak adlandırılır. Aynı ölçüm ekipmanı ile aynı referansın birden fazla kere, aynı şartlarda ölçülmesinden elde edilen aritmetik ortalama değerinin referans değere olan mesafesidir. Başka bir ifade ile ölçüm ekipmanından okunan değerlerin aritmetik ortalamasının referans değer ile olan farkıdır. Şekil 6’da ölçüm sisteminin ortalaması gösterilmiştir.



Şekil 6. Ölçüm Sisteminin Ortalaması

Kaynak: (MSA, 2010)

Kararlılık ise sapmanın zamanla değişimidir. Kararlılık, belirli bir süre boyunca bir veya birden çok parçanın aynı ölçüsünün alınması ile elde edilen dataların toplam varyasyonudur. Şekil 7’de sapmanın zaman ile değişimi gösterilmektedir (Wang, 2004).

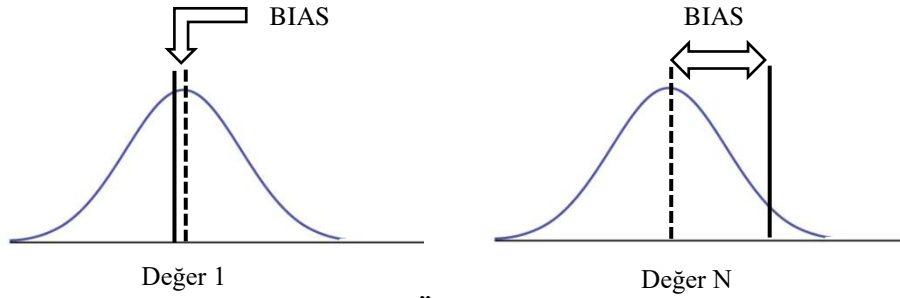


Şekil 7. Referans Değer ve Zaman Aralığı

Kaynak: (MSA, 2010)

Doğrusallık (lineerlik), sapmanın, ölçüm cihazının normal çalışma aralığındaki değişimidir (Stamm, 2009). Örneğin bir ölçüm sistemi küçük parçaları ölçmek konusunda daha hassas iken büyük parçaları ölçerken daha az hassas olabilir. Bu biasın büyüklük ile değişimi olarak alınabilir ve biasın büyüklük ile değişimi doğrusallık

(lineerlik) olarak tanımlanabilir (Wang, 2004). Şekil 8’de bias ölçüm aralığı gösterilmektedir.

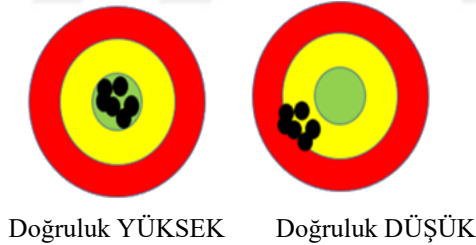


Şekil 8. Bias Ölçüm Aralığı

Kaynak: (MSA, 2010)

Ölçüm ekipmanının doğrusallık analizi yapılırken bu üç faktör aynı anda değerlendirilir. Ölçüm ekipmanından yüksek doğrusallık beklenir. Yani, üç faktörün kombinasyonu ile elde edilen ölçüm değerlerinin referans değere her şartta yakın olması beklenir. Şekil 9’da doğrusallık kavramını daha iyi açıklar.

Sonuç olarak, tüm ölçüm sonuçları birbirlerine yakın olsa dahi, değerler referans değere yani hedefe yakın değil ise doğrusallık olarak uygun cihaz değildir denir.



Şekil 9. Doğrusallık Ölçüm Aralığı

Kaynak: (Ege, 2022)

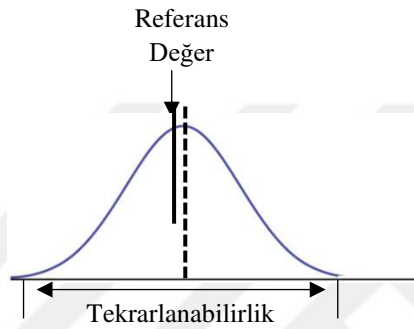
1.1.4. Yayılım Değişkenliği

Kesinlik kavramı, ölçüm sonuçlarının yayılımı başka bir ifade ile birbirine yakınlığı olarak tanımlanmıştır. Bu bölümde kesinlik kavramını incelenirken tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik kavramları üzerinde durulacaktır.

Tekrarlanabilirlik (Repeatability), ölçüm cihazının temel ve doğal kesinliğidir. Aynı ölçüm ekipmanı kullanılarak, aynı parçanın, aynı operatör tarafından defaten ölçülmesiyle ölçüm sonuçları arasındaki değişkenlik yani bir operatörün aynı cihaz ve

aynı parça ile yaptığı ölçümlerdeki tutarsızlıktır. Ölçüm sonuçları arasındaki değişkenlik ne kadar az ise tekrarlanabilirlik o kadar iyi kabul edilir. Tekrarlanabilirlik, genel olarak ekipman varyasyonu olarak bilinir ve MSA çalışmalarında Equipment Variation (EV) ile gösterilir.

Tekrarlanabilirlik zaman zaman statik ve dinamik tekrarlanabilirlik olarak sınıflandırılmaktadır. Statik tekrarlanabilirlik, parçanın ölçüm fikstüründen hiç kaldırılmadan defaten ölçülmesi sonucunda elde edilir. Şekil 10'da tekrarlanabilirlik ölçüm aralığı gösterilmektedir.

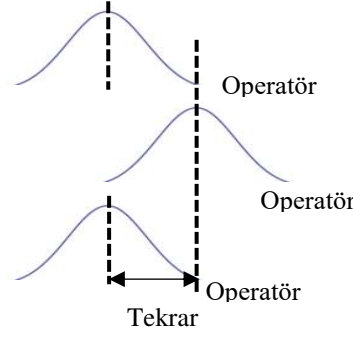


Şekil 10. Tekrarlanabilirlik Ölçüm Aralığı

Kaynak: (MSA, 2010)

$$EV = \bar{R} * K_1$$

Tekrar yapılabilirlik (Reproducibility) ise, birbirinden bağımsız ölçümlerin aynı ölçüm yöntemi ile farklı operatörler ve aynı cihaz kullanılarak alınması ile elde edilen kesinlik değişkenliğidir (varyasyondur) (Benbow ve Broome, 2008). Yani tekrar yapılabilirlik, farklı operatörlerin yaptıkları ölçümler ile ilgili tutarsızlıktır. Başka bir deyişle, aynı parçanın, aynı ölçüm ekipmanı ile farklı ölçümcüler tarafından yapılan ölçümlerindeki ortalama değişkenliktir. Tekrar yapılabilirlik, ölçümcü değişkenliğini temsil eder, MSA çalışmalarında Appraiser Variation (AV) ile gösterilir ve Denklem (1) ile elde edilir. Ölçümcüler arası fark düşük ise tekrar yapılabilirlik o derece iyidir. Şekil 11'de tekrar yapılabilirlik ölçüm değişkenliği gösterilmektedir.

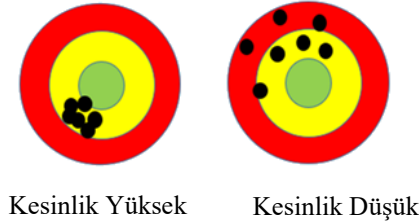


Şekil 11. Tekrar Yapılabilirlik Ölçüm Değişkenliği

Kaynak: (MSA, 2010)

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}} \quad (1)$$

Ölçüm sisteminden temel beklenti ölçüm sonuçlarının birbirlerine yakın olmasıdır. Bu yakınlık tekrarlanabilirlik ve tekrar yapılabilirlik ile sağlanır. Bu iki kelimenin istenen değerlerde olması ölçüm sonuçlarının kesinlik değişkenliği olarak adlandırılır. Kesinlik olarak ölçüm sisteminden beklenti yüksek kesinliktir. Yani tüm sonuçların birbirlerine oldukça yakın olmasıdır. Kesinlik beklentisi Şekil 12’de gösterilmektedir.



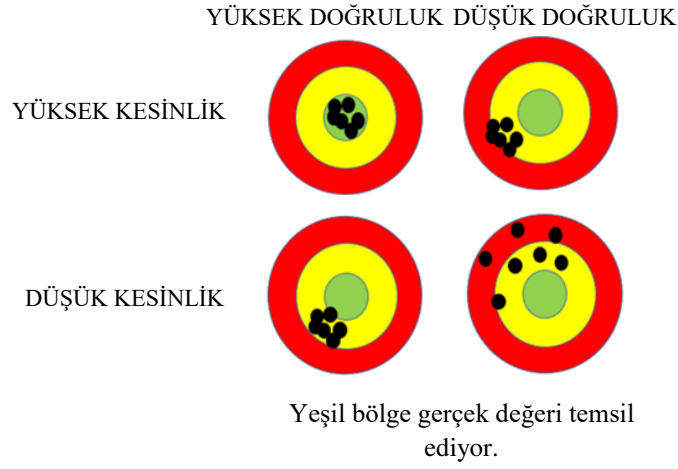
Şekil 12. Kesinlik Beklentisi

Kaynak: (Ege, 2022)

1.1.5. Ölçüm Kalitesi

Bu bölüme kadar olan kısımda, ölçüm sisteminde lokasyon değişkenliği ve yayılım değişkenliğinin varlığı ve bunların faktörleri incelenmiştir. O halde ölçüm sisteminden temel beklenti ölçüm kalitesinin yüksek olmasıdır. Ölçüm kalitesinin yüksek olması ise doğrusalılık ve kesinlik olarak şartları sağlaması ile yakalanır. Yani, ölçüm kalitesi yüksek doğrusalılık ve yüksek kesinlik ile sağlanır. Aşağıdaki Şekil

13’de doğrusallık ve kesinlik kavramlarının birlikte görülmesi açısından kolaylık sağlamaktadır.

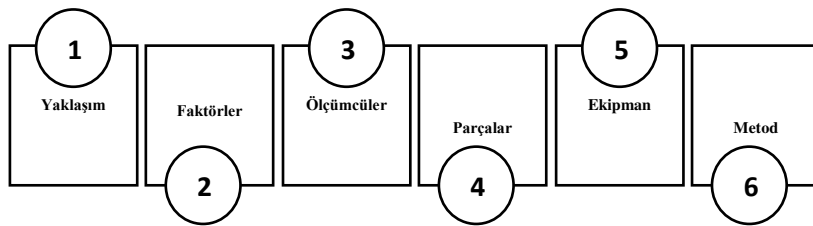


Şekil 13. Doğrusallık ve Kesinlik Kavramları

Kaynak: (Ege, 2022)

1.2. MSA İçin Hazırlık

Ölçüm sistemi analizi, proses verilerinin güvenilirliği açısından önem taşımaktadır. Ölçüm sistemindeki toplam değişkenliğe ulaşmak için çalışmanın sistematik disiplin ile yürütülmesi esastır. Uygulama tecrübeleri değerlendirildiğinde Şekil 14’de yer alan altı hazırlık adımı ile gerçekleştirilecek ölçüm sistemi analizi güvenilir biçimde sonuca ulaşmaktadır (Ege, 2022).



Şekil 14. Ölçüm Sistemi Adımları

Kaynak: (Ege, 2022)

Yaklaşım: Bu aşamada, kalibrasyonda veya ölçüm ekipmanının kullanımında ölçümcülerin etkisi var ise belirlenmelidir. Bazı MSA çalışmaları vardır ki «tekrar

yapılabilirliğin etkisi ihmal edilebilir. Örneğin, ölçümcünün yalnızca butona basarak ölçüm yapıldığı durumlar gibi.

Faktörler: Ölçümcü sayısı, parça sayısı ve tekrar sayısı belirlenirken;

- a) Kritik ölçüler için yapılacak MSA çalışmasında, güvenirliliği arttırmak için parça ve/veya deneme sayısı arttırılabilir.
- b) Hantal, iri ve ağır parçalarda örnekleme sayısı azaltılıp, deneme sayısı arttırılabilir.
- c) Ölçümcü sayısı, parça sayısı ve tekrar sayısı müşteri isteklerine göre belirlenebilir.

Ölçümcüler: Ölçümcüler, ölçüm ekipmanını kullanan kişiler arasından seçilmelidirler.

Parçalar: Parçaların üretim varyasyonu yansıtılmalıdır. Yani, üretim varyasyonunu yansıtan parçalardan seçim yapılmalıdır.

Nicel MSA için seçilen tüm parçalar teknik resim toleransları içinde (alt, üst toleranslara yakın ve nominal değerlerde), nitel MSA çalışmalarında kullanılacak parçalar ise bir kısmı tolerans dışı bir kısmı tolerans içinde olmalıdır. MSA çalışmasında kullanılacak örnek parçalar, devam eden proseslerden günlük olarak alınmalı ve işaretlenmelidir.

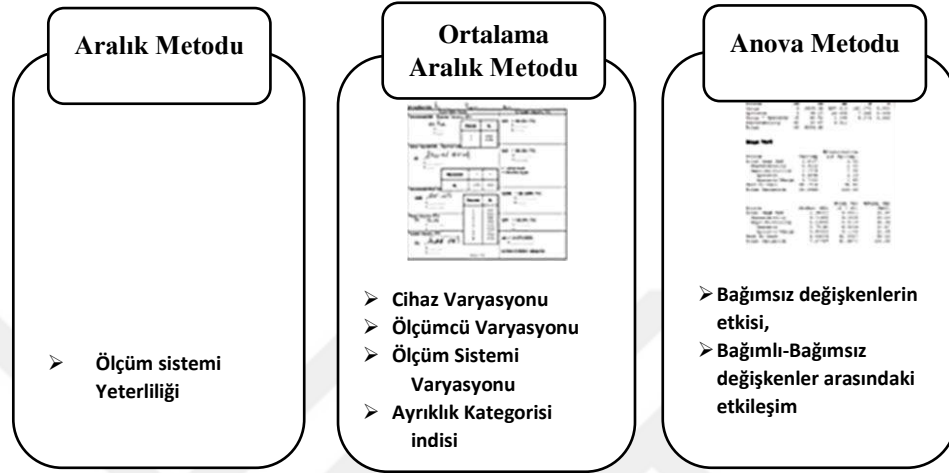
Ekipman: Ölçüm ekipmanının okuma bölüntüsü, MSA yapılan karakteristiğin toleransının en az 1/10'unu gösterecek biçimde olmalıdır.

Örneğin; karakteristiğin varyasyonu 0,001 ise ölçüm ekipmanının okuma bölüntüsü en az 0,0001 olmalıdır.

Metot: MSA faaliyetleri istatistiksel yöntemler ile yapıldığından yanıltıcı ihtimalleri minimize etmek için, çalışma sırasında parçalar ölçümcülere karışık biçimde ve ölçümcülerin hangi parçayı ölçtüklerini bilmeyecek biçimde verilmelidir. MSA çalışmasının güvenirliliği açısından, MSA çalışmanın önemini anlamış personeller tarafından yapılmalıdır. MSA çalışmaları, ölçüm cihazının kullanıldığı alanda yani proses sahasında yapılmalıdır. MSA çalışmaları laboratuvarda yapılan faaliyetler değildir.

1.2.1. MSA Türleri

Ölçüm sistemi analizi veri türlerine bağlı olarak Nicel MSA ve Nitel MSA olarak ikiye ayrılmaktadır (MSA, 2010). Şekil 15’de ölçüm sistemi analizi veri türleri gösterilmektedir.



Şekil 15. Ölçüm Sistemi Analizi Veri Türleri

Kaynak: (Ege, 2022)

Proses sonucunu gösteren veriler sayılabilir ve ölçülebilir nitelikte ise nitel MSA metotlarından biri ile ölçüm sistemi analizi yapılır. Sayılabilir, ölçülebilir veriler, uzunluk, genişlik, zaman, sıcaklık, sertlik, yüzey pürüzlülüğü vb. Nicel MSA çalışmaları için endüstride, kullanılabilecek Aralık Metodu, Ortalama-Aralık Metodu ve Varyans Metodu olarak 3 ayrı metot tanımlanmıştır (MSA, 2010). Bunlardan en yaygın kullanılanı ortalama- aralık metodudur.

1.2.2. Ortalama-Aralık Metodu

Ölçüm sisteminin, üretim prosesi değişkenliğini ölçmek için yeterli olup olmadığını belirlemede ortalama-aralık metodu kullanılır. Metot, 2-3 ölçümcü, 5-10 adet parça ve 2-3 deneme sayısı ile gerçekleştirilir. Bu metot ile aşağıda sıralanan ölçüm sistemi ile ilgili temel noktalara ulaşılır (Ege, 2022);

- Bütün ölçüm cihazları aynı işi yapıyor mu?
- Bütün ölçümcülerin ölçüm yetenekleri aynı mı?
- Ölçüm sistemi varyansı, proses varyansından büyük mü?

- Ölçüm işleminden elde edilen veri ne kadar iyi veya veri birbiriyle çakışmayan kaç grup veya kategoriye ayrılabilir?

Bu soruların cevapları ile ilgili olarak Denklem (2), (3), (4), (5) ve (6) ile hesaplamalar yapılır.

Tekrarlanabilirlik: $EV = \bar{R} * K_1$ (2)

AV (3)

Tekrar Yapılabilirlik: $= \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$

Ölçüm Sistem $GRR = \sqrt{(AV)^2 + (EV)^2}$ (4)

Değişkenliği:

Parça Değişkenliği: $PV = R_p * K_3$ (5)

Toplam Değişkenlik: $TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}$ (6)

Bu formüller kullanılarak yapılan hesaplamalardan sonra her birinin (EV, AV, GRR, PV) toplam varyasyon içindeki yüzdelik payları ise denklem (7), (8), (9) ve (10) ile bulunur.

$\%EV = 100[EV/TV]$ (7)

$\%AV = 100[AV/TV]$ (8)

$\%GR\&R = 100 * \frac{(GR\&R)}{(TV)}$ (9)

$\%PV = 100[PV/TV]$ (10)

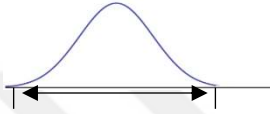
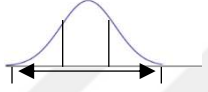
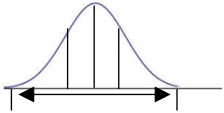
2010 yılında yapılan MSA çalışmalarında son faktör olarak ndc terimine yer verilmiştir. ndc kavramı, “number of distinct” ayrık kategori sayısı olarak ifade edilip Denklem (11)’deki gibi hesaplanmaktadır. ndc ölçüm cihazının çözünürlüğünü ifade etmekte olup ölçüm cihazındaki ayrıştırmayı sağlayan grup (bölüntü) sayısıdır. Ndc değeri ne kadar büyük ise bir parçanın diğerlerinden ayırt edilme şansı o kadar artmaktadır. Ndc değerinin 5 veya 5’ten büyük olması beklenmekte olup ndc

hesaplama değeri küsuratlı çıkar ise en büyük tam sayıya yuvarlatılması gerekmektedir.

$$ndc = 1,41 \left(\frac{PV}{GRR} \right) \quad (11)$$

Tablo 1 'de ayırık kategori sayısı gösterilmektedir.

Tablo 1. Ayırık Kategori Sayısı

Kategori Sayısı	Kontrol	Analiz
 1 veri kategorisi	Ancak şu şartlarda kontrol amaçlı kullanılır: - Proses varyasyonu spesifikasyona göre küçükse, - Kayıp fonksiyonu beklenen proses varyasyonu boyunca düzse, - Varyasyonun ana kaynağı ortalama kaymasına neden oluyorsa	- Proses parametrelerinin kestirimi için kabul edilmez. - Sadece proses uygun veya uygun olmayan parça ürettiğini gösterebilir.
 2-4 veri kategorisi	Proses dağılıma baz alınan yarı değişken kontrol teknikleri ile kullanılır.	Kaba bir kestirim yapılabildiği için proses parametresi tayini için kullanılmaz.
 5 veya daha fazla veri kategorisi	Değişken kontrol grafikleri ile kullanılır.	Önerilendir.

Kaynak: (MSA, 2010)

1.2.3. MSA Kabul Şartları

MSA çalışmaları sonunda %GR&R, NDC ve PV değerlerine bakılarak sonuç değerlendirilmektedir. MSA kabul şartları MSA kabul şartları Tablo 2'de yer almaktadır.

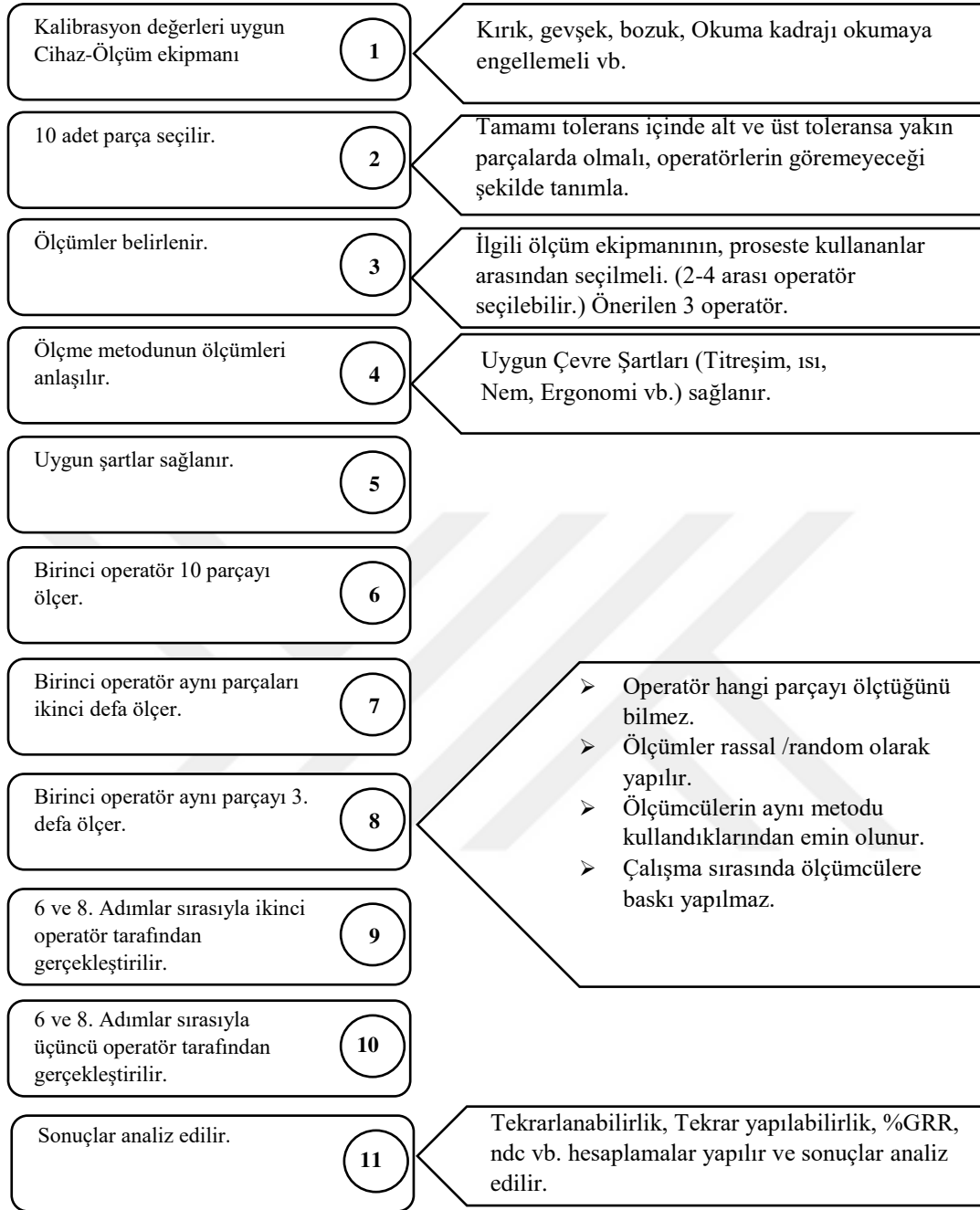
Tablo 2. Kabul Değerleri Tablosu

%GR %R ve NDC Kabul Şartları	
1-Çalışma varyasyonu %GR&R ≥ %30 Ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekir. Problemleri belirlemeye ve düzeltmeye çalışın. %10 ≤ GR&R ≤ %30 Uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına vb. bağlı olarak kabul edilebilir. %GR&R < %10 Ölçüm sistemi kabul edilebilir.	2- Ndc>=5 ve/veya SN>=4 ise kabul edilebilir. Not: hesaplama sonrası rakamı tam sayıya dönüştürüldükten sonra değerlendirme yapılır. 3-PV>GRR PV Parça varyasyonu %99,9'a yakın olması Deney için kullanılan parçaların belirlenmiş tolerans içinde nominala yakın olduğunu, %90'nın altına indiğinde, ölçüm verilerinin nominalden uzaklaşacağını gösterir. (SPC ile sürekli takip edilmelidir.)

Kaynak: (MSA, 2010)

Sonuçlar değerlendirilirken %EV ve %AV değerlerine bakılmaktadır. Eğer; %EV > %AV ise, ölçüm ekipmanından kaynaklı değişkenlik, ölçümcülerden kaynaklı değişkenlikten daha büyüktür. Yani değişkenliğin büyük bölümü ölçüm ekipmanından meydana gelmektedir. Bu durumda, değişkenliği azaltmak için ölçüm ekipmanına kanalize olunur, ölçüm ekipmanına bakım yapılır, varsa ekipmanın kırık, gevşek yerleri giderilir ve çalışma tekrarlanır. %AV>%EV ise, ölçümcüden kaynaklı değişkenlik, ölçüm ekipmanından kaynaklanan değişkenlikten daha fazladır. Yani değişkenliğin büyük bölümü ölçümcülerden kaynaklanır. Bu durumda ölçümcülerin, ölçüm ekipmanını kullanma becerileri arttırılarak çalışma tekrarlanır.

Ortalama-Aralık Metodu uygulama adımları Şekil 16'da ve örnek uygulama ise Tablo 3'de gösterilmektedir.



Şekil 16. Ortalama-Aralık Metodu Uygulama Adımları

Kaynak: (Ege, 2022)

Tablo 3. Örnek Ekipman Ölçüm Ortalama-Aralık Metodu Uygulaması

	Parça Adı MSA Rev4 DOĞRULAMA			Parça No Genel			Karakterisitk			Spesifikasyon	
	Cihaz Adı Genel			Cihaz No Genel			Ölçme Taksimatı			Değer	0,00
										ÜSL	0,50
										ASL	-0,50
ÖLÇÜMCÜ	3		DENEME	3		PARÇA	10				
ÖLÇÜMCÜ DENEME	PARÇA										ORTALAMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.A 1	-0,44	-0,24	-0,20	-0,66	-0,13	0,06	-0,36	0,06	-0,28	-0,14	-0,2330
2. 2	-0,42	-0,26	-0,24	-0,69	-0,15	0,05	-0,33	0,09	-0,32	-0,13	-0,2400
3. 3	-0,45	-0,28	-0,20	-0,68	-0,16	0,04	-0,37	0,10	-0,30	-0,16	-0,2460
4. Ortalama	0,4367	0,2600	0,2133	-0,6767	0,1467	0,0500	0,3533	0,0833	0,3000	0,1433	Xaort= 0,2397
5. Aralık	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03	Raort= 0,0340
6.B 1	-0,42	-0,23	-0,16	-0,64	-0,12	0,03	-0,37	0,04	-0,30	-0,14	-0,2310
7. 2	-0,44	-0,22	-0,18	-0,67	-0,15	0,07	-0,35	0,03	-0,27	-0,14	-0,2320
8. 3	-0,43	-0,20	-0,17	-0,65	-0,14	0,04	-0,36	0,02	-0,29	-0,13	-0,2310
9. Ortalama	0,4300	0,2167	0,1700	-0,6533	0,1367	0,0467	0,3600	0,0300	0,2867	0,1367	Xbort= 0,2313
10. Aralık	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	Rbort= 0,0250
11.C 1	-0,46	-0,22	-0,26	-0,63	-0,13	0,08	-0,36	0,12	-0,28	-0,13	-0,2270
12. 2	-0,47	-0,25	-0,29	-0,64	-0,12	0,1	-0,36	0,13	-0,3	-0,14	-0,2340
13. 3	-0,47	-0,26	-0,25	-0,66	-0,14	0,08	-0,34	0,11	-0,28	-0,13	-0,2340
14. Ortalama	0,4667	0,2433	0,2667	-0,6433	0,1300	0,0867	0,3533	0,1200	0,2867	0,1333	Xcort= 0,2317
15. Aralık	0,01	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	Rcort= 0,0230
16. Parça Ortalama s1 (Xp)	-0,4444	-0,2400	-0,2167	-0,6578	-0,1378	0,0611	-0,3556	0,0778	-0,2911	-0,1378	Xortort= 0,2342 Rp= 0,7356
17.	(Raort=0,034+Rbort=0,025+Rcort=0,023)/ölçümcü=3										Rortort= 0,0273
18.	(Max Xort=-0,2313)-(Min Xort=-0,2397)=Xdiffort						Deneme	D4			0,0084
19.	(Rortort=0,0273)x(D4=2,58)=ÜKLR						2	3,27			0,0705
							3	2,58			

Kaynak: (MSA, 2010)

Ölçüm sistemi analizinin yapılmasındaki temel amaç aşağıdaki iki sorunun cevabının bulunmasıdır:

- Ölçüm sisteminin prodesteki değişkenliğe etkisi var mı? Var ise bu etki ne kadardır?
- Bu etki ölçüm sistemindeki hangi faktörlerden kaynaklanmaktadır? Ve kaynakların etkileri ne kadardır?

Tablo 4’de örnek ölçüm cihazı analiz raporu yer almaktadır.

Tablo 4. Ölçüm Cihazı Analiz Raporu

Ölçüm Cihazı Analizi		% Toplam Varyasyonu (TV)																				
$EV = R_{ortort} * K_1$ =0,0273 x 0,5908 =0,0161	<table><tr><th>Deneme</th><th>K₁</th></tr><tr><td>2</td><td>0,8862</td></tr><tr><td>3</td><td>0,5908</td></tr></table>	Deneme	K ₁	2	0,8862	3	0,5908	%EV=100(EV/TV) =% 6,96														
Deneme	K ₁																					
2	0,8862																					
3	0,5908																					
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} * K_2)^2 - \frac{(EV)^2}{nr}}$ $AV = \sqrt{(0,0084 * 0,5231^2 - \frac{(0,0161)^2}{10 * 3})}$ =0,0033	<table><tr><th>Ölçümcü</th><th>K₂</th></tr><tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr><tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr></table>	Ölçümcü	K ₂	2	0,7071	3	0,5231	%AV=100(AV/TV) =%1,38														
Ölçümcü	K ₂																					
2	0,7071																					
3	0,5231																					
$GRR = \sqrt{(AV)^2 + (EV)^2}$ $GRR = \sqrt{(0,0033)^2 + (0,0161)^2}$ =0,0165	<table><tr><th>Parça</th><th>K₃</th></tr><tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr><tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr><tr><td>4</td><td>0,4467</td></tr><tr><td>5</td><td>0,4030</td></tr><tr><td>6</td><td>0,3742</td></tr><tr><td>7</td><td>0,3534</td></tr><tr><td>8</td><td>0,3375</td></tr><tr><td>9</td><td>0,3249</td></tr><tr><td>10</td><td>0,3146</td></tr></table>	Parça	K ₃	2	0,7071	3	0,5231	4	0,4467	5	0,4030	6	0,3742	7	0,3534	8	0,3375	9	0,3249	10	0,3146	%GRR=100(GRR/TV) =%7,10
Parça	K ₃																					
2	0,7071																					
3	0,5231																					
4	0,4467																					
5	0,4030																					
6	0,3742																					
7	0,3534																					
8	0,3375																					
9	0,3249																					
10	0,3146																					
$PV = R_p * K_3$ =0,07356*0,3146 =0,2314		%PV=100(PV/TV) =%99,75																				
$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}$ $TV = \sqrt{(0,0165)^2 + (0,2314)^2}$ =0,2320		“ndc=1,41(PV/GRR) =19,80597																				
		Yorum: Ölçüm Sistemi kabul edilebilir.																				
ndc ≥ 5 olmalıdır. %GRR %10 hatanın altında Ölçüm sistemi kabul edilebilir. %10 ile %30 hata arasında Uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına v.b. Bağlı olarak kabul edilebilir. %30 hatanın üzerinde Ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekir.																						

Kaynak: (MSA, 2010)

İKİNCİ BÖLÜM

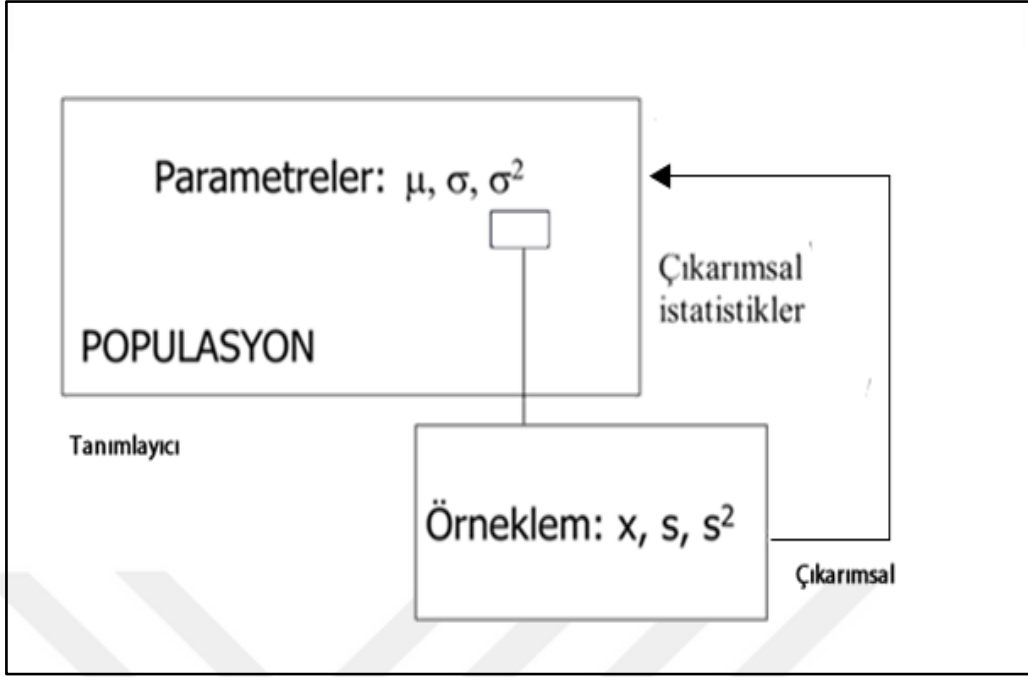
ENDÜSTRİDE İSTATİSTİK VE İSTATİSTİKSEL PROSES KONTROL

2.1. Endüstride İstatistik Nedir?

İstatistik, verilerin doğru biçimde toplanması ve yine uygun biçimde veriye dönüştürülmesi işlemidir (MSA, 2010). Dolayısıyla istatistikten anlamlı sonuçlar elde edebilmek için veriler, verilerin sistematik biçimde elde edilmesi ve bu verilerin uygun modeller ile analiz edilmesi oldukça önemlidir. Günümüz endüstrisinde hizmet ve ürün sunumunun tüm aşamalarında karar verebilmek için ihtiyaç duyulan verileri istatistik ile elde etmek mümkün hatta çok kolaydır. Şirketlerde, süreçlerde ve proseslerde verilerin toplanıp istatistiksel araçlar ile işlenip analiz edilmesi için herhangi bir istatistiksel alt yapıya gerek duyulmaması mümkündür.

Bu bölümde özellikle iş yapılan sektör, ürün, hizmet tipi, proses yapısı, organizasyonel yapı, büyüklük, coğrafya vb. fark etmeksizin istatistiği nasıl kullanılacağı ve yorumlanacağı hakkında bilgiler paylaşılacaktır.

Örneğin, bir proseste gün boyunca 1.000 adet ürün üretildiğini varsayalım. Bu 1.000 adet ürünün müşteri tarafından belirtilen kriterler içinde olup olmadığından emin olunması gerekmektedir. Bu eminlik tüm parçaların ölçülmesi sağlanmakta olup bu yöntem oldukça pahalı ve zaman alıcıdır. İşte tam bu noktada istatistiksel araçlardan faydalanılır. Üretim devam ederken planlı zamanlarda gerçekleşen ölçüm sonuçlarının işlenmesi sonucu tahminde bulunulur. Bu tahmine göre 1.000 adet ürünün uygun olup olmadığı, uygunluk oranının kaç olduğu gibi yorumlar yapılır. İşte bu faaliyet istatistik biliminde Çıkarımsal istatistik olarak karşılık bulur (Akın, 1996). İstatistiksel Proses Kontrol faaliyetlerinde çıkarımsal istatistik modeli oldukça popüler olması ile birlikte bu modelden başka “Tanımlayıcı İstatistik” kavramı da literatürde bulunmaktadır. Şekil 17’de çıkarımsal ve tanımlayıcı istatistik şekilsel olarak yer almaktadır.



Şekil 17. Tanımlayıcı ve Çıkarımsal İstatistik İlişkisi

Kaynak: (Özkan vd. 2018)

Bu noktada; parametre ve istatistik kavramlarını da kısaca açıklamak faydalı olacaktır. Parametre bir popülasyonun özelliğidir ve bir popülasyonu tanımlamaktadır. Örneğin parametre; bir gün içinde üretilen 1.000 adet kutu konservenin ağırlığıdır. İstatistik ise örneklemin bir karakteristiğidir ve örnekleme ile ana kütle ile ilgili çıkarım yapmada kullanılmaktadır. İşte tam da bu nedenle, istatistiksel proses kontrol faaliyetlerinin birçoğu “çıkarımsal istatistik” esasına dayanmaktadır. Örneğin; haftalık üretimden 2.000.000 adet Rulmanın, 200 adedinin ölçülerek 2.000.000 ana kütle için ortalama iç çapın tahmin edilmesi çıkarımsal istatistiktir.

2.1.1. II. Dünya Savaşı ve İstatistiğin Endüstriye Girişi

ABD uzmanları tarafından, 1930’lu yıllarda uygun/uygun değil ayrıştırması ile kalitenin sağlanamadığı anlaşılmıştır. Kalitenin sağlanmasında bitmiş ürünü kontrol etmek yerine prosesin izlememesinin önemli olduğu Shewart tarafından ortaya konmuştur (Yayla, 2023). Yani sanayide İstatistiksel Kalite Kontrol kavramı oluşmaya başlamıştır. Aynı yıllarda Bell laboratuvarında Shewart ve Deming birlikte çalışmaktaydı. II. Dünya savaşı sırasında Deming, ABD savaş sanayisindeki tedarik zincirinde kaliteyi yükseltmek için İstatistiksel Kalite Kontrol eğitimi vermeye

başladı. Toplam 31.000 kişiye bu eğitimleri bizzat verdi ve İPK tekniklerini öğretti. Bu teknikler ile savaş ürünlerinin verimliliği o kadar arttı ki Almanya teslim oluncaya kadar teknikler sır olarak saklandı (Deming, 1982).

2.1.2. II. Dünya Savaşı Sonrası

II. Dünya Savaşı ile Avrupa ve Japonya yerle bir olurken Kuzey ABD’de her şey yolunda idi ve Amerikalı şirketler ne üretseler satabilmekteydiler. Öyle ki yüksek talepleri yetiştirebilmek için kalite ikinci plana düşüyor, istatistiksel tekniklerin zaman kaybettirdiği savunuluyordu (Yayla, 2023). Onlar için terminlere uymak önemliydi. Aynı yıllarda ABD’de Deming, Shewart, Juran gibi kalite bilimcilerini dinleyen neredeyse kalmamıştı, çünkü savunma sanayi dışında bu teknikleri kullanan yoktu.

2.1.3. II. Dünya Savaşı Sonrası Japonya

Savaşta yenilmiş, ekonomisi çökmüş Japonya’da o dönemlerde üretilen ürünlerinin kalitesi oldukça düşüktü. Hatta ABD Japonya’yı işgal ettiğinde karşılaştığı sorunlardan biri haberleşme idi, çünkü Japonya’da haberleşme kurulamıyordu. ABD, haberleşme etkinliğini arttırmak için Japonya’ya modern kalite kontrol tekniklerini kullanması için bilgi vermiş, böylelikle Japonya’nın İstatistiksel Kalite Kontrol ile tanışması sağlanmıştır (Yayla, 2023). Uygulamalarda zorluklar yaşayan Japonya, ABD’den konunun uzmanlarını talep etmiş ve Deming 1950 yılında Japonya’ya gelmiştir. Deming verdiği İPK eğitimleri ile Japonya’da kalite seviyesini yükseltmeye çalışmıştır (Deming, 1982). Bu eğitimler sırasında aşağıda yer alan sorunlar gözlenmiş ve Japonların daha büyük bir yardıma ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.

- Eski çalışanların yeni sistemlerden ürkmesi ve bu sistemlere direnç göstermesi,
- Standart iş uygulamalarının henüz olmaması ve kullanılmaması,
- İstatistiksel uygulamalara orta ve üst kademenin yeterli ilgi göstermemesi

Bu defa 1954 yılında Dr. Joseph Juran Japonya’ya davet edilmiştir. Bir dizi konferanslar veren Juran bu konferanslarda kalitenin operatörler seviyesinde yani üretim sahasında uygulanacak bir teknik olmayıp yönetim tekniği ve felsefesi olduğunu belirtmiştir. Böylece Japonya’da işletme yöneticileri üretimdeki kontrol faaliyetlerine bizzat katılmaya başlamıştır.

Juran'ın önderliğinde sağlanan gelişme adımları ile artık üretimin kontrol edilmesinin tek başına yeterli olmadığı satın alma, araştırma-geliştirme, mühendislik, pazarlama, bakım gibi bölümlerin de kendi süreçlerini eksiksiz yerine getirmeden kusursuz ürünün sağlanamayacağı keşfedilmiştir. Kısaca, mükemmel kalite düzeyine ulaşmak için üretime doğrudan ya da dolaylı destek veren tüm birimlerin kontrole dahil olması gerekmektedir. Japonlar bu gerçeği tespit ettiler ve kalite anlayışını buna göre değiştirdiler. Ortaya konan bu yeni düşünce Toplam Kalite Yönetimi olarak adlandırıldı (Juran, 1989). Ortaya çıkış süreci göz önüne alındığında Toplam Kalite anlayışının temelini istatistiksel tekniklerden oluştuğu söylenebilir.

2.1.4. Aritmetik Ortalama

Aritmetik ortalama ana kütleli oluşturan tüm sayıların toplamlarının, incelenen birim sayısına oranından elde edilmektedir. Aritmetik ortalama değeri, ana kütledeki değerler için kütle merkezini ve denge noktasını tanımlar, $\bar{X}$ ile gösterilir ve Denklem (12) ile hesaplanır.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (12)$$

Burada,

$\bar{X}$ ort = Toplam X / n

n = Ölçüm yapılan örnekteki birim sayısıdır.

Aritmetik ortalamanın özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ege, 2022);

- Bir veri seti için sadece bir aritmetik ortalama bulunmaktadır.
- Yöntem nicel verilere uygulanabilmektedir.
- Birim değerlerde meydana gelen değişim çok küçük olsa bile aritmetik ortalama etkilenmektedir.
- Aritmetik ortalama ile birim değerler arasındaki farkların toplamı sıfırdır.
- Aritmetik ortalama ile birim değerler arasındaki farkların kareleri toplamı minimum bir değerdir.

2.1.4.1. Range (Değişim Aralığı)

Range, ölçüm alınan ana kütle içerisindeki en büyük değer ile en küçük değer arasındaki farktır (MSA, 2010). Bu hesaplamada en büyük değer ile en küçük değer işleme alındığından diğer sayıların hiçbir değeri yoktur. Bu nedenle, range değeri istatistik hesaplamalarında güvenilirliği azaltmakta olup sıklıkla kullanılmaz. Range “R” ile gösterilir ve Denklem (13) ile hesaplanır.

$$R = X_{\max} - X_{\min} \quad (13)$$

Burada; R = En Büyük Değer – En Küçük Değer.

Örnek: Dış çap değerleri aşağıdaki gibi ölçülen bir örnek hacminde değişim aralığını hesaplayınız.

Çap değerleri: 11,25mm, 11,30mm, 11,23mm, 11,24mm, 11,25mm, 11,25mm, 11,23mm, 11,25mm, 11,20mm, 11,22mm, 11,23mm

Çözüm:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

$$X_{\max} = 11,30$$

$$X_{\min} = 11,20$$

$$R = 11,30 - 11,20$$

$$R = 0,10$$

2.1.4.2. Mod (Tepe Değer)

Mod, örnek hacminde en çok tekrar eden elemandır. Mod değerinin hesaplanmasında değerlerin büyüklük sırasına göre dizilmesi şart olmamakla birlikte bu işlem mod değerinin belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Mod değerinin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (MSA, 2010);

- Örnekteki eleman sayısı az olduğunda, mod değeri güvenilir sonuç vermemektedir.
- Birden fazla mod değeri olduğunda ya mod değeri hesaplanmamakta ya da mod değerlerini kapsayacak biçimde sınıf aralığı belirlenerek histogram oluşturulmaktadır.
- Mod değeri hesaplanırken, örnek hacmindeki tüm değerler işleme dahil edilmediği için maksimum ve minimum değerlerden etkilenmemektedir.
- Hesaplama, nitel ve nicel örneklere uygulanabilmektedir.

Örnek: Dış çap değerleri aşağıdaki gibi ölçülen bir örnek hacminde mod değerini hesaplayınız.

Çap değerleri: 11,25mm, 11,30mm, 11,23mm, 11,24mm, 11,25mm, 11,25mm, 11,23mm, 11,25mm, 11,20mm, 11,22mm, 11,23mm

Çözüm: Tüm veriler, büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanır. Aynı değerli rakamlar yan yana getirilir. Aynı değere sahip rakamların miktarı belirlenir. En çok tekrarlanan sayı mod değeri olarak belirlenir.

11,20 - 11,22 - 11,23 - 11,23 - 11,23 - 11,24 - 11,25 - 11,25 - 11,25 - 11,25 - 11,30

Mod = 11,25.

2.1.4.3. Medyan (Ortanca)

Örnek hacmindeki tüm veriler, büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe sıralandığında ortada kalan değer medyan olarak adlandırılır (MSA, 2010). Kullanılan örnek sayısı tek ise tam ortadaki sayı medyandır. Örnek sayısı çift ise, bu defa ortada yer alan iki sayının aritmetik ortalaması medyandır (Akın, 1996).

Örnek: Dış çap değerleri aşağıdaki gibi ölçülen bir örnek hacminde medyan hesaplayınız.

Çap değerleri: 11,25mm, 11,30mm, 11,23mm, 11,24mm, 11,25mm, 11,25mm, 11,23mm, 11,25mm, 11,20mm, 11,22mm, 11,23mm

Çözüm: Tüm veriler, büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanır. Aynı değerli rakamlar yan yana getirilir.

11,20 - 11,22 - 11,23 - 11,23 - 11,23 - 11,24 - 11,25 - 11,25 - 11,25 - 11,25 - 11,30

Örnekteki eleman sayısı tek;

6. sayı

n = 11

$$\text{Medyan} = \frac{n + 1}{2}$$

$$\text{Medyan} = \frac{11 + 1}{2}$$

Medyan = 6 (Verilerin sıralanmış durumlarındaki 6.sayı medyayı verir)

Medyan = 11, 24

Örnek: Örnekteki eleman sayısı çift ise;

2, 4, 3, 4, 2, 4, 5, 3, 5, 4, 3, 5, 3, 5, 4, 2, 2, 3, 4, 5, 4, 2

Çözüm: Tüm veriler, büyükten küçüğe ya da küçükten büyüğe doğru sıralanır. Aynı değerli rakamlar yan yana getirilir.

n = 22

2, 2, 2, 2, 2, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 5, 5, 5, 5

└┐└┐

11. ve 12. Sayılar

$$J = \frac{n}{2} = \frac{22}{2} = 11$$

$$J + 1 = 11 + 1 = 12$$

11. ve 12. sayıların aritmetik ortalaması medyanı verir.

$$\text{Medyan} = \frac{3 + 4}{2} = 3,5$$

Medyanın özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (MSA, 2010);

- Medyan, aşırı uç değerlerden etkilenmemektedir.
- Medyanda, ana kütledeki değerler ile ortanca arasındaki farkın yarısı negatif, yarısı pozitifdir.

2.1.4.4. Standart Sapma ve Varyans

Bir dağılımı tanımlayan iki önemli ölçü, ortalama ve varyanstır. Varyansın pozitif karekökü ise standart sapma olarak bilinmektedir. Standart sapma, ana kütledeki her bir değer in veri noktasını ve aritmetik ortalamadan olan uzaklığını tanımlamaktadır. Veri noktalarının dağılımı büyük ise standart sapma da büyük olmaktadır. Standart sapma (S) ile gösterilir. Standart sapmanın özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (MSA, 2010);

- Standart sapma, matematik işlemler için uygun bir dağılma ölçüsü olup yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Standart sapmada aritmetik ortalama gibi istatistik analiz için kullanılan temel ölçülerden biridir.
- Standart sapma, ölçülen değerlerin ortalama değere olan mesafesini vermektedir.
- Standart sapma, sıfıra yakın olabilmekte ancak negatif değer almamaktadır.
- Standart sapma, dağılımın yaygınlığını vermektedir.
- Normal dağılım eğrisinin dışı açılmaya başladığı nokta ile ortalama değer arasındaki mesafe 1 standart sapmayı vermektedir.

Standart sapma değeri istatistiksel çalışmaların belki de en önemli, en anlaşılması zor, en çok yanlış yorumlanan ve yanlış seçilen kavramıdır. Çünkü standart sapma formülü, ana kütlenin ya da örneklerin standart sapması olarak ikiye ayrılmaktadır (MSA, 2010). Ayrıca uygulanan yeterlilik analizine göre de standart sapma formülü değişmektedir. Proses yeterlilik çalışmalarında Tahmini Standart Sapma formülü kullanılırken, Makine Yeterlilik ve Proses Performansı çalışmalarında gerçek standart sapma formülü kullanılmaktadır. Yeterlilik analizlerinde kullanılacak Standart sapma formülleri Tablo 5’de gösterilmiştir.

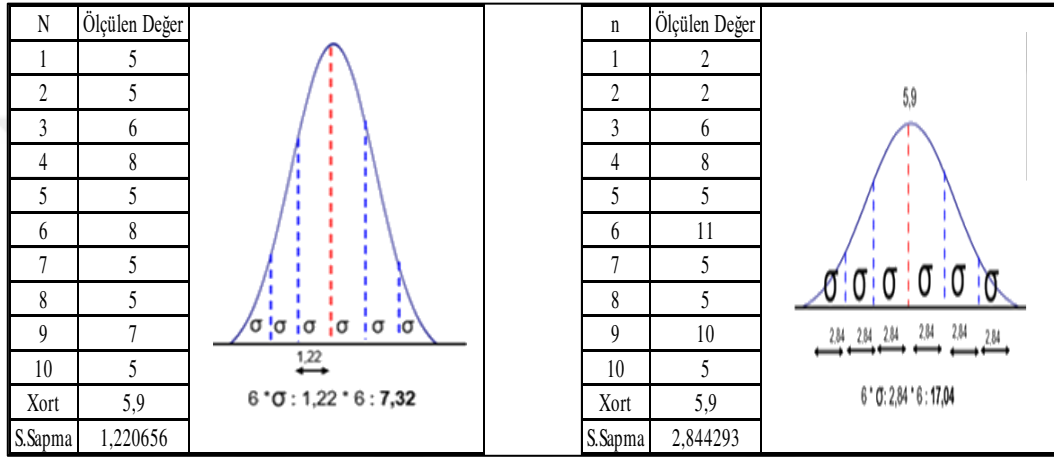
Tablo 5. Standart Sapma Formülleri

	Kullanıldığı Kartlar	Standart Sapma Türü	Formül	Kısaltmaların Açıklanması
Proses Yeterlilik	$\bar{X} - R$	Tahmini Standart Sapma	$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$	R: Aralıkların Ortalaması d ₂ :Tablodan alınır. Sabit sayı
	$\bar{X} - S$	Tahmini Standart Sapma	$\sigma = \frac{\bar{S}}{c_4}$	S: Örneklem Ortalaması c ₄ :Sabit sayı. Tablodan gelir.
Proses Performans	$\bar{X} - R$	Gerçek Standart Sapma	$\sigma = \sqrt{\sum_i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	Xi: Her tekil parçanın ölçüm sonucu $\bar{X}$: Tüm örneklerin ortalaması n: Toplam örnek sayısı
Makine Yeterliliği	---	Gerçek Standart Sapma		

Kaynak: (Ege, 2022)

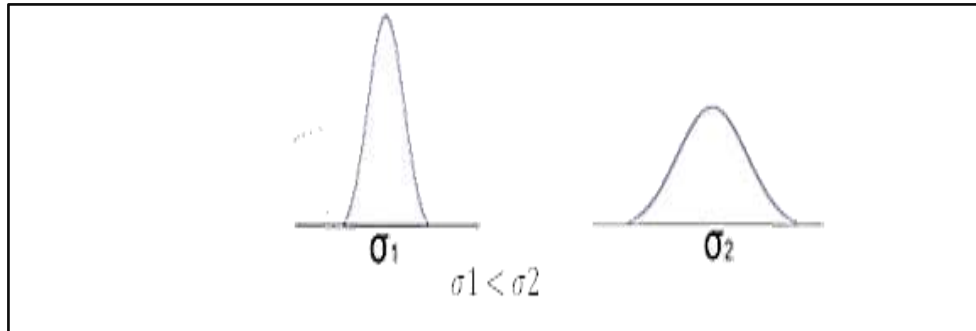
Standart sapma ne kadar küçük ise veriler o derece ortalamaya yaklaşmıştır şeklinde yorumlanır. Ölçüm değerlerinden elde edilen veriler ile hesaplanan standart sapma değeri ortalamaya yaklaştıkça, yeterlilik sonucunun yükselme ihtimali bulunmaktadır. Bu konu ileriki başlıklarda daha fazla detaylandırılacaktır. Burada önemli olan standart sapmaya anlam kazandırmak olduğundan standart sapma ile

aritmetik ortalama arasındaki ilişki bir örnek ile doğrulanacaktır. Aşağıdaki örnek, 10 farklı veri ile gerçekleştirilmiş ve her iki örnekte de aritmetik ortalamalar eşit olarak elde edilmiştir. Ancak her iki örneğin standart sapmaları farklı çıkmıştır. Aynı ortalama sahip verilerin standart sapması küçük olanlardan oluşan Normal Dağılım Grafiği şekli dar iken, standart sapma değeri büyük olanlardan oluşan Normal Dağılım Grafiği ise daha basık olur. Tüm yeterlilik analizlerinde standart sapmanın küçük yani normal dağılım eğrisinin dar olması beklenir. Şekil 18’de ve Şekil 19’da dar ve basık normal dağılım grafiği örneklerini göstermektedir.



Şekil 18. Büyük Olan Normal Dağılım Grafiği

Kaynak: (Ege, 2022)



Şekil 19. Basık Olan Normal Dağılım Grafiği

Kaynak: (Ege, 2022)

- Standart sapma ne kadar büyük ise ölçülen değerlerin ortalamadan uzaklaştığı,
- Standart sapma ne kadar küçük ise, ölçülen değerlerin ortalama ya yaklaştığı anlaşılır.

2.2. İstatistiksel Proses Kontrol Uygulama

2.2.1. İstatistiksel Proses Kontrol

Kalite iyileştirme ve geliştirme sürecinde istatistiksel teknikler geniş bir kullanım alanına sahiptir. İstatistiğin kalite kontrolde geniş uygulama olanağı bulması, minimum malzeme ve işçilikle yüksek kalite düzeyinde ve büyük miktarlarda üretimi zorunlu kılan II. Dünya Savaşı'nda gerçekleşmiştir (Kobu, 1997).

İstatistiksel teknikler, süreçlerde gözlenen değişkenlikleri belirlemeye çalışır. İstatistik, imalat sisteminde görülen bir aksaklık veya kontrolsüzlük sonucunda mamul özelliklerinde standartlardan sapmaları ortaya çıkarır. İstatistiksel proses kontrolü, muayene yolu ile %100 kalite güvencesi sağlanamaması nedeni ile ortaya çıkmıştır. Burada amaç, üretilen ürünü kontrol etmek yerine, ürünü üreten sistemi kontrol etmektir. Üretilen ürünün özellikleri onu üreten prosesin bir fonksiyonudur, diğer bir ifade ile, proses ile ürün arasında bir sebep-sonuç ilişkisi bulunmaktadır. Eğer tüm proses değişkenleri kontrol altına alınabilirse, ürünün özellikleri de kontrol altına alınmış olur (Kavrakoğlu, 1993).

İyi bir organizasyon ve yönetim tarafından desteklenen bir istatistiksel proses kontrol metodu ile üretim/hizmet için gerekli olan proses transformasyonu esnasında kalitenin kontrolü yapılmaktadır. İstatistiksel proses kontrolü sadece bir araç olmayıp, aynı zamanda kalite problemlerine sebep olan değişkenliklerin azaltılması için bir stratejidir. İstatistiksel proses kontrolünün iyileştirilebilmesi için uygulamadan sonra prosesin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla İstatistiksel Proses Kontrol kelimelerinin taşıdığı anlamı benimsemek gerekmektedir. İstatistiksel Proses Kontrol (Statistical Process Control), üç kelime ile ifade edilir. Kelimelere yüklenebilecek anlamlar sondan başa doğru aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Ege, 2022);

- **Kontrol:** Üretilen ürün ya da hizmetin uygunluğu kontrol edilir.
- **Proses:** Proseste ki değişkenler (malzeme, metot, operatör, makine, ölçüm, çevre) izlenir.
- **İstatistiksel:** İstatistiksel araçlar ile analiz etmek, tahmin etmek gerçekleştirilir.

İstatistiksel Proses Kontrol, süreçler hakkında veriler toplayarak, süreçlerin gidişatının incelenmesi ve değişkenliğin ölçülmesi temeline dayanan kalite kontrol tekniğidir.

Walter Shewhart tarafından 1924 yılında geliştirilen İstatistiksel Proses Kontrol tekniğinde; istatistiksel metotlarla, imalat esnasında üründen ya da ürünün kalitesini etkileyen özelliklerden belli periyotlarla toplanan veriler incelenmekte ve bu veriler analiz edilmekte; önceden belirlenen limitlerin dışına çıkan değerler oluştuğunda süreçteki bu değişkenliğin nedeni araştırılmakta, bulunan bu nedeni ortadan kaldırmak için incelemeler yapılmaktadır (Ege, 2022). İstatistiksel Proses Kontrol tekniğinde amaç; süreçleri kontrol altında tutmak ve hataları ortaya çıkmadan önlemektir. Süreç Kontrolü adı verilen bu yöntemde, tüm süreç boyunca;

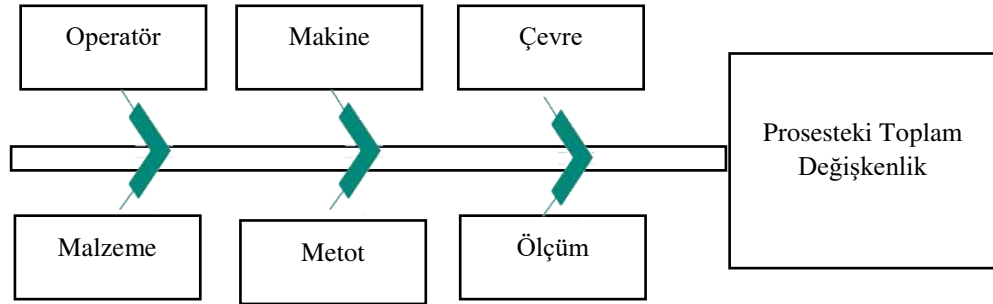
- Hedef kaliteden sapmalar ve uygunsuzluklar tespit edilir,
- Uygunsuzluğa yol açan gerçek sebepler ortaya çıkarılır,
- Buna bağlı olarak belirlenen düzeltici/önleyici faaliyetler uygulanır (Ege, 2022).

Hataların görünür belirtileri (semptomlar) ile kökeninde yatan sebepler genellikle çok farklı olduklarından, uygun “tedaviye” başlanabilmesi için iyi bir “teşhis” gereklidir. Verimin artırılması için hayati önem taşıyan doğru teşhise varabilmek için ise, objektif verilerin kullanıldığı, bilimsel temellere dayanan yöntemlerden faydalanmak gerekmektedir. İstatistiksel yöntemler bu kriterleri sağladıklarından, süreç kontrolü mekanizmasında yaygın olarak kabul görmektedirler. İstatistiksel Proses Kontrolü, istatistik tekniklerinin veri toplamak, analiz etmek, yorumlamak ve çözümler getirmek üzere kalite problemlerine uygulanması olarak tanımlanmaktadır. İPK, üretimin önceden belirlenmiş kalite özelliklerine uygunluğunu ve kusurlu ürün üretiminin en aza indirgenmesini sağlayıcı bir nitelik taşımaktadır. İPK uygulamalarında proses sürekli gözlemlenerek problemler tespit edilmekte, problemin sebepleri belirlenmekte, çözüm geliştirilmekte, geliştirilen çözüm uygulanmakta ve proses tekrar izlenmektedir. Bu döngü sonsuz olup bu sayede prosesin sürekli iyileştirilmesi sağlanmaktadır (Devor ve ark., 1992).

İPK çalışmaları hem ürün ve hizmetin ölçülmesi hem de proses parametrelerinin izlenmesi ile yapılabilmektedir. Kaldı ki tercih edilen ürünün değil prosesin izlenmesidir. Yani, ürün veya hizmetin karakteristiğine etki eden proses parametrelerini izlemek hem daha garanti hem de daha hesaplı bir metottur. Yani, talaşlı üretim prosesinde, parçanın dış çap, iç çap, boy gibi parametrelerini ölçerek proses izlenebileceği gibi makinenin, sıcaklık, ilerleme, hız, basınç, ses, titreşim vb. parametrelerini izleyerek de ürün ve hizmetin uygunluğu tahmin edilebilmektedir. Ancak burada önemli olan, ürün veya hizmetin teknik özelliklerine etki eden parametreleri bilmek ve bunları izlemektir. Bu parametrelerin günümüzde makinelerden otomatik olarak alınmasından dolayı elde edilmesi daha ucuz ve daha kolaydır. Ayrıca bu sistem analizciye operatör spekülasyonunun önüne geçme fırsatı da sunmaktadır. Ancak belirtilmelidir ki, ürün ve hizmeti direkt ölçerek istatistiksel proses kontrol yöntemiyle proses izlenebilmektedir.

2.2.1.1. Proses Değişkenliği

Ürün ve hizmetin üretim aşamasında sonuçları etkileyen proses faktörleri bulunmaktadır. Bu faktörlerin her biri ürün ve hizmet sonucuna az ya da çok etki etmektedir. Bahsi geçen bu faktörler Şekil 20’de gösterilmektedir.



Şekil 20. Proses Toplam Değişkenliği

Kaynak: (Ege, 2022)

Kontrol kartlarının mucidi olduğu kabul edilen Walter Shewart “Hiçbir iki şey birbirinin aynı değildir” açıklaması ile, proseste peş peşe üretilen parçaların aynı karakteristiklerinin ölçüm sonucunun %100 aynı olmayacağını vurgulamıştır (Ege, 2022). Başka bir ifade ile, toz şeker ambalajı prosesinden ardışık olarak alınan x adet toz şeker ambalajı tartıldığında her birinin aynı ağırlığa sahip olması mümkün değildir.

Kesinlikle aralarında ağırlık farkı vardır. İşte bu farkın istatistikteki karşılığı varyasyon yani “değişkenlik”tir. Prosesin kontrol altında olup olmadığı bu değişkenlik ile direkt ilgilidir. Bir prosesteki değişkenlik kaçınılmaz ise prosesteki temel hedeflerden biri bu değişkenliği minimize etmek olmalıdır. Proses sonuçlarındaki temel hedef nominal değerlerde üretim yapmak olduğu kadar, aynı zamanda değişkenliğin en aza indirildiği üretimi gerçekleştirmektir. Bu amaçlardan en az biri sağlanamadığı durumlarda uygunsuz ürün ve hizmet sunumu ihtimali artacaktır. Ürün ve hizmet sunumu var ise mutlaka değişkenlikte vardır deniliyorsa, bu değişkenliğin üç kaynağından bahsetmek mümkündür (Akın, 1996);

- Parça içinde varyasyon (parçanın farklı yüzeylerindeki ölçülerinin değişmesi)
- Parçadan parçaya görülen varyasyon (Aynı anda üretilmiş parçalar arasındaki ölçü farklılığı)
- Zamanla ilgili varyasyon (Gün boyunca farklı zamanlarda üretilen parçalardaki farklılık)

Prosesteki her türlü değişkenliğin, tolerans içinde olup olmamasına bakılmaksızın iki nedeni bulunmaktadır. Bu nedenler:

- Genel nedenler
- Özel nedenlerdir (Akın, 1996).

2.2.1.2. Genel Nedenler

Prosesteki değişkenliklerin yaklaşık %85’inin genel nedenlerden meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu kabulün bir dayanağı ve matematiksel bir hesabı var mıdır bilinmez ancak, prosesteki rutin faktörlerden tetiklendiği için kabulü yanlış sayılmayacaktır. Prosesteki değişkenliğinin genel nedenleri, nedeni tespit edilemeyen 6 faktörden (makine, operatör, malzeme, metot, ölçme, çevre) oluşmakta olup aşağıdaki özellikleri taşımaktadır (Akın, 1996);

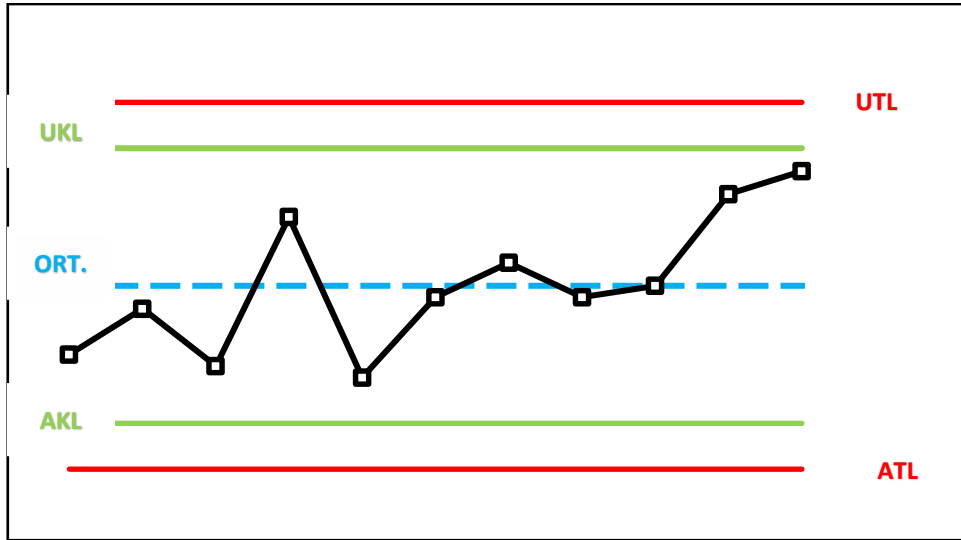
- Her prosesin tabiatında bulunur,
- Tesadüfen meydana gelir,
- Süreç kararlıdır ve iyileştirme potansiyeline sahiptir,

- Prosesin çıktısı önceden tahmin edilebilir,
- Varyasyon, sistematik faaliyetler ile azaltılabilir.

Genel nedenlere örnekler aşağıdaki gibi verilebilir (Akın, 1996);

- **Makine:** Uygun olmayan makine,
- **Ölçüm:** Hatalı, boşluklu ölçüm ekipmanı kullanmak,
- **Malzeme:** Girdilerin gereklilikleri karşılamaması, değişkenliği,
- **Operatör:** Operatör için yetersiz talimat, talimata uymama, tecrübe ve dikkat eksikliği,
- **Metod:** Üretim, işleme şeklinin uygun olmaması,
- **Çevre:** Üretim ve ölçme sahasının ısı, ışık, nem, toz, gürültü, havalandırma şartlarındaki rutin değişimler.

Genel nedenlerin etkilerini azaltmak için sistematik aksiyonlar almak gerekmektedir. Yani metod u değiştirmek, operatörün yetkinliğini arttırmak, işlenen parçadaki kararlılığı arttırmak, ölçme sistemini geliştirmek gibi yönetsel yaklaşımlar genel nedenlerden kaynaklanan değişkenliği azaltmaktadır. Şekil 21’de görüldüğü gibi, her ölçüm frekansındaki sonuçlar farklıdır yani değişkenlik bulunmaktadır. Ancak proses hala kontrol altındadır.



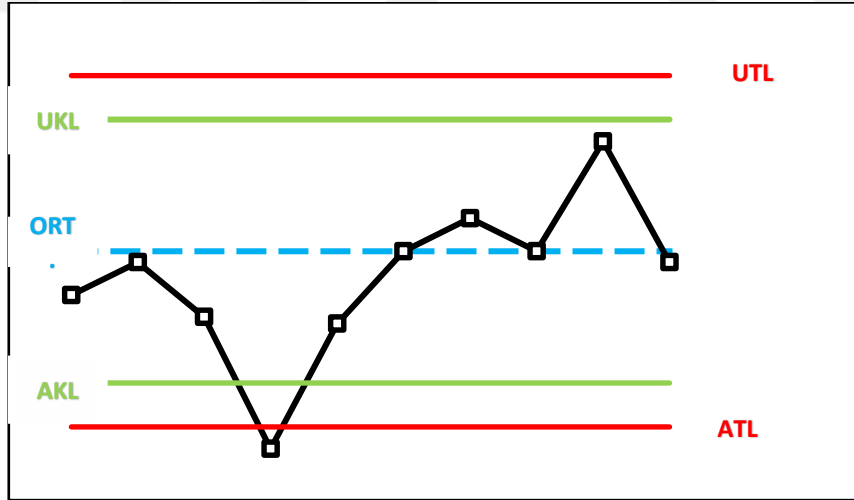
Şekil 21. Genel Nedenlere Örnek

Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.1.3. Özel Nedenler

Prosesteeki değişkenliğe neden olan özel nedenler oluştuğunda proses kontrol dışına çıkmaktadır. Yani, hatalı ürün ve hizmetin oluşma ihtimali yüksektir. Şekil 22'deki örnek grafikte görüleceği gibi proses nominalde seyir ederken, birden kontrol limitleri dışına çıkmaktadır. İşte bu durum için, o ölçüm anında prosesin tabiatını majör olarak etkileyen bir özel neden olduğu kabul edilmektedir. Bu özel nedenlere aşığıdaki örnekler verilebilir (Akın, 1996).

- **Makine:** Takım, aparat, kalıp aşınması, elektrik dalgalanmaları, aşırı titreşim vb.,
- **Ölçüm:** Yanlış, bozuk, kırık ölçüm ekipmanı kullanımı; Yanlış ölçüm ya da yanlış kayıt,
- **Malzeme:** Malzemedeki yapısal değişiklik, sertlik, yoğunluk, homojenlik vb.,
- **Operatör:** Yönetim, beceri, vurdumduymazlık, kasıt, tezgâh ayarı vb.



Şekil 22. Özel Nedenlere Örnek

Kaynak: (Akın, 1996)

Özel nedenler sıralansa da hangisinin proses değişikliğine neden olduğunu anlamak için bu defa lokal bir analiz yapılması gerekmektedir. Yani, genel nedenlerde oluşan değişikliklerde sistematik yaklaşım uygulanırken özel nedenlerden oluşan

değişkenlikler de ise lokal analiz yapılmaktadır. Örneğin, değişkenlik makine arızasından kaynaklı ise makine tamir, bakımı yapılarak değişkenlik giderilmektedir. Prosesteeki değişkenliğinin özel nedenleri aşağıda sıralanan özelliklere sahiptir (Akın, 1996);

- Proseste nadiren görülürler,
- Önceden bilinmezler (tahmin edilmezler),
- Etkileri prosesi kontrol dışına çıkarır,
- Süreç kararsızdır,
- Varyasyon lokal faaliyetler ile giderilmektedir.

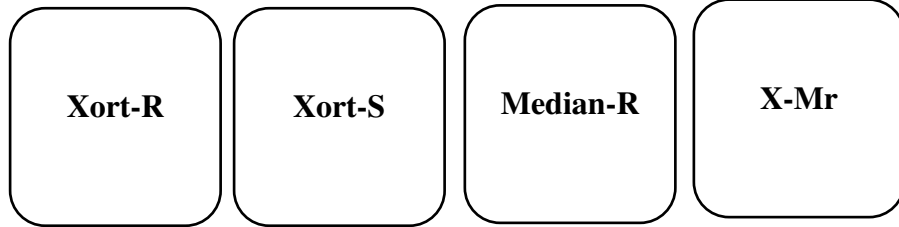
2.2.2. Nicel Kontrol Kartları

Kontrol kartlarının kullanım sebeplerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Akın, 1996);

- Prosesin istatistiksel olarak kontrol altında olup olmadığı gözlemlemek,
- Prosesin nasıl seyredeceğini izlemek,
- Proseşe yapılan müdahale sonrasındaki değişiklikleri izlemek,
- Süreçteki varyasyonların nedenlerini (genel –özel) belirlemek,
- Prosesi yeterlilik açısından analiz etmek,
- Uygunsuzluklar oluşmadan önce tespit etmek.

Proses verilerine bağlı olarak proses takibinde kullanılacak araçlar da değişmektedir. Bu aşamada kontrol kartları seçimi verilere bağlı olarak yapılmaktadır (Akın, 1996). Yani veriler boy, ağırlık, sertlik gibi sayısal olarak değerlendiriliyor ise nicel kontrol kartları kullanılmalıdır. Eğer prosesten elde edilen veriler sayısal birimler ile tanımlanamayıp bu veriler yerine çapaklı - çapaksız, sert-yumuşak, mat-parlak gibi sayılamayan ifadeler ile tanımlanıyorsa bu defa nitel kontrol kartları kullanılmalıdır. Nicel kontrol kartları, proses değişikliğinin sayısal olarak tespit edildiği tüm durumlarda kullanılan kartlardır. Bu kartlar, ortalama ile birlikte range veya standart sapma ile birlikte kullanılmaktadırlar. Nicel kontrol kartları prosesteeki değişimin büyüklüğünü ve yönünü göstermekte olup ölçüm metodu doğru ve kesin sonuçlar

vermelidir. Ayrıca, ölçüm ekipmanının hassasiyeti veri hassasiyetinin en az 1/10'u değerinde olmalıdır Akın, 1996). Nicel kontrol kartı verilerine örnek olarak çap, kalınlık, sertlik değeri, ağırlık, boy, yüzey pürüzlülüğü, tork değerleri, boya kalınlığı vb. verilebilir. Şekil 23'de nicel kontrol kart örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 23. Nicel Kontrol Kartları Örnekleri

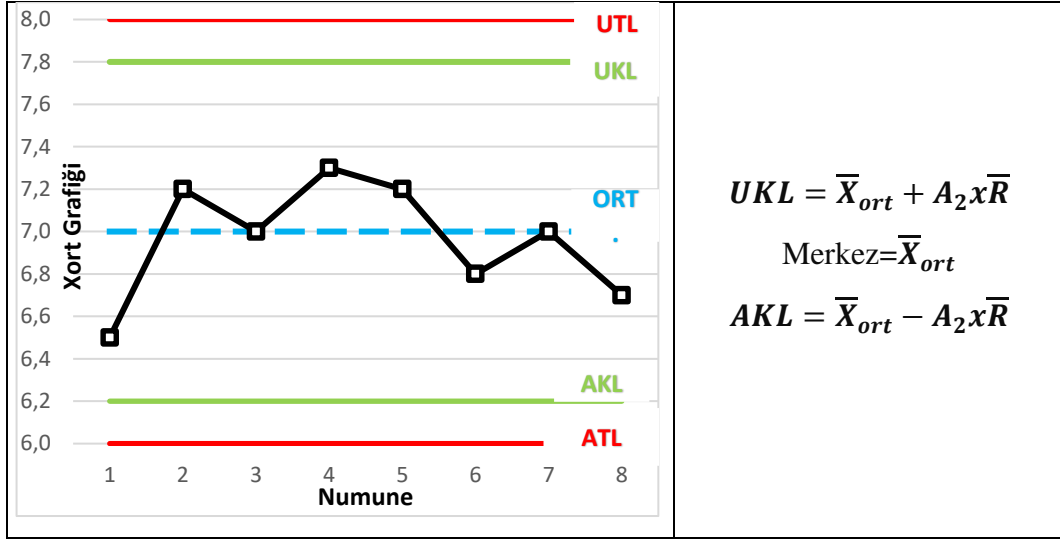
Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.2.1. Ortalama - Aralık Kontrol Kartı

Ortalama-Aralık Kontrol Kartı, en sık kullanılan nicel kontrol kartı olup bu kontrol kartı ile proses yeterlilik analizi de gerçekleştirilebilmektedir. Bu kartta ortalama ve aralık olarak iki ayrı grafik oluşmaktadır. Ortalama grafiği, verilerin frekansiyel ölçüm sonucu elde edilen aritmetik ortalamalarındaki değişimleri, aralık grafiği ise, frekansiyel ölçüm anındaki örnekler arasındaki farkların değişimini izlemek için kullanılmaktadır (MSA, 2010). Bu fark ne kadar küçük ise o kadar iyidir. Ortalama aralık kartı aşağıda sıralanan durumlarda kullanılır;

- Sürekli üretimin olduğu durumda,
- Ölçüm sonuçlarının sayısal olduğu durumda,
- Ölçüm süresinin kısa olduğu durumda,
- Proseste ölçümün kolay olduğu durumda,
- Tahribatsız ölçümün olduğu durumda,
- Örnek büyüklüğünün ($1 < n < 9$) olduğu durumda.

Ortamlardaki değişimleri izlemek için oluşturulan ortalama grafiği tek başına proses ile ilgili bilgi vermemekte olup aralık (R) grafiği ile birlikte ya da sonrasında yorumlanmaktadır. Şekil 24'de aralık grafiği örneği gösterilmektedir.



Şekil 24. Xort Grafiği

Kaynak: (Ege, 2022)

UKL Üst Kontrol Limiti

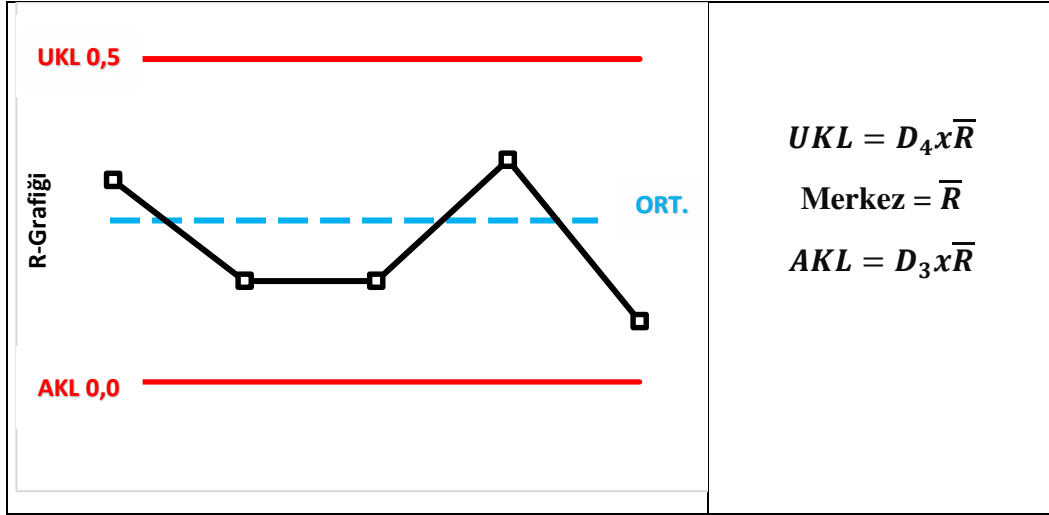
AKL Alt Kontrol Limiti

$\bar{R}$ Merkez Çizgisi.

A_2 :Sabit değer

$\bar{X}$:Değerlerin aritmetik ortalaması

Aralık grafiği prosesteki değişkenliği izlemek için kullanılmaktadır. Aralık grafiği yorumlanırken, ilk bakılacak nokta, üst kontrol limiti dışında nokta olup olmadığıdır. Üst kontrol limiti dışında nokta var ise prosesteki değişkenlik kabul edilmez. Bu noktada, değişkenliğin nedenlerini (genel, özel) inceleyip tedbir alındıktan sonra proses devam ettirilir (Akın, 1996). Şekil 25’de değişkenliğin nedenleri tablosu gösterilmiştir.



Şekil 25. Aralık (R) Grafiği

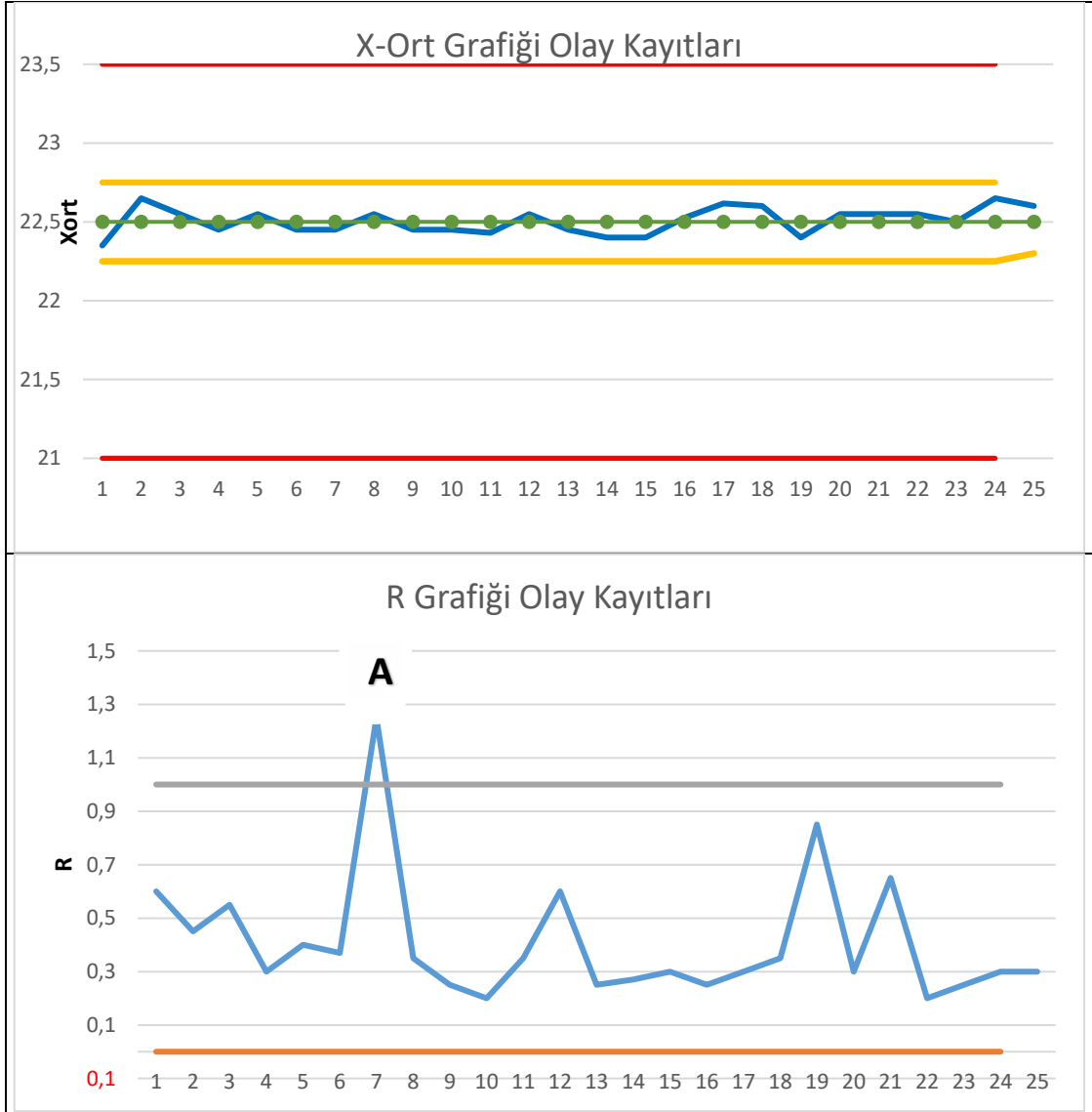
UKL Üst Kontrol Limiti

AKL Alt Kontrol Limiti

$\bar{R}$ Merkez Çizgisi.

Tüm kontrol kartları için geçerli olan önemli bir detay ise proses devam ederken tüm olayların kayıt altına alınması gerekliliğidir. Çünkü bu sayede, olası bir sapmayı analiz etme, kontrol dışı durumu inceleme ve iyileştirme çalışmaları için kayıt altına alınan her türlü değişiklik incelenip, bu değişikliklerin değişkenliğe olan etkisi analiz edilebilir ve bu analiz sonunda, prosesteki değişkenliği azaltacak tedbirler alınabilir (Ege, 2022). Şekil 26’da bir proseste olayların kayıt edilmesi örneği yer almaktadır.

Kontrol Limitleri Dışı	Alt Grup (Örnek Sayısı)	Olay Kaydı
	1	Setup Yapıldı
	2	Insert (telafi) yapıldı.
	4	123 lo nolu ham maddeye geçildi.
A	7	Kesici uç Değiştirildi. Yeniden ayar yapıldı.
	9	Operatör değişti.
	10	Fikstüre bakım gevşedi.
	13	Makine Arızalandı. Bakım yapıldı. Kayıt:122
	14	
	17	



Şekil 26. Prosesteki Olayların Kayıt Edilmesi Örneği

Şekil 26'daki örnek incelendiğinde, 7 numaralı ölçüm anında prosesteki değişkenlik artmış ve üst kontrol limitinin üzerine çıkmıştır. Değişkenlik önceden tahmin edilmemiş ve aniden çıkmış, yani değişkenlik özel nedenlerden kaynaklanmıştır. Bu durumda lokal iyileştirme yapılmalıdır. Ancak, değişkenliğe etki eden faktörler proses sırasında olay kaydı ile raporlanmaz ise lokal konu belirlenemeyip iyileştirme yapılamaz ya da iyileştirme yanlış yerlerde yapılmaya çalışılır. Bazen, etkisi olmayan faktörlere yapılan dokunuşlar proseste farklı sorunlara yol açar. İşte bu açıdan proses devam ederken her türlü değişiklik eksiksiz biçimde olay kaydı olarak kayıt edilmelidir.

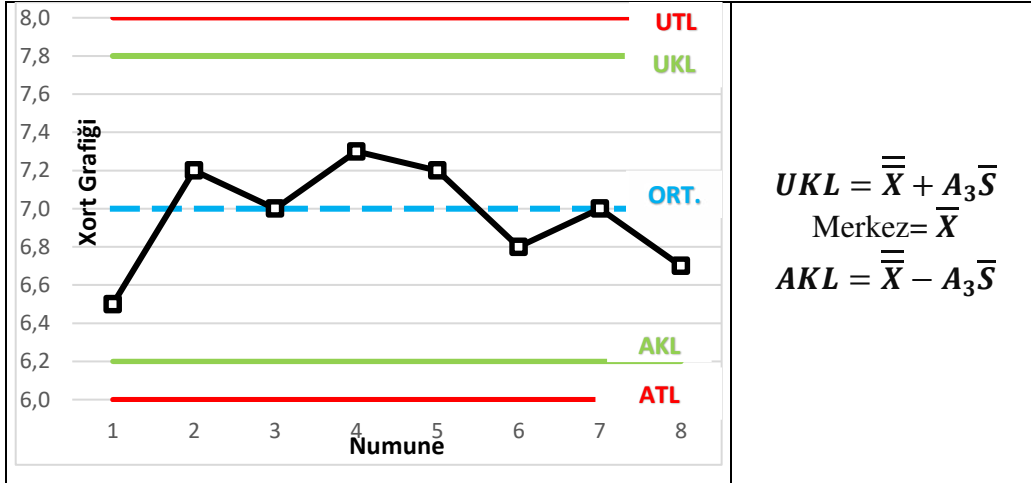
2.2.2.2. Ortalama – Standart Sapma Kontrol Kartı

Alt grup (örnek) sayıları küçük olduğunda hem aralık (R) hem de standart sapma (S) kontrol kartları kullanılabilir. Ancak örnek büyüklükleri arttığında R kontrol kartlarında değerlendirmeye katılmayan veri miktarı arttığı için bu kontrol kartları tercih edilmez ve yerine S kontrol kartları tercih edilir (MSA, 2010). Yani, önceki başlıkta değinilen aralık kontrol kartında tüm veriler hesaplamada kullanılmaz. Aralık grafiği için yalnızca en büyük ve en küçük değerler dikkate alınır. Bu nedenle tüm verilerin hesaplamalarda kullanıldığı standart sapma grafikleri daha güvenilirdir. Genel olarak Ortalama - Standart Sapma Kontrol Kartları aşağıda sıralanan durumlarda kullanılır;

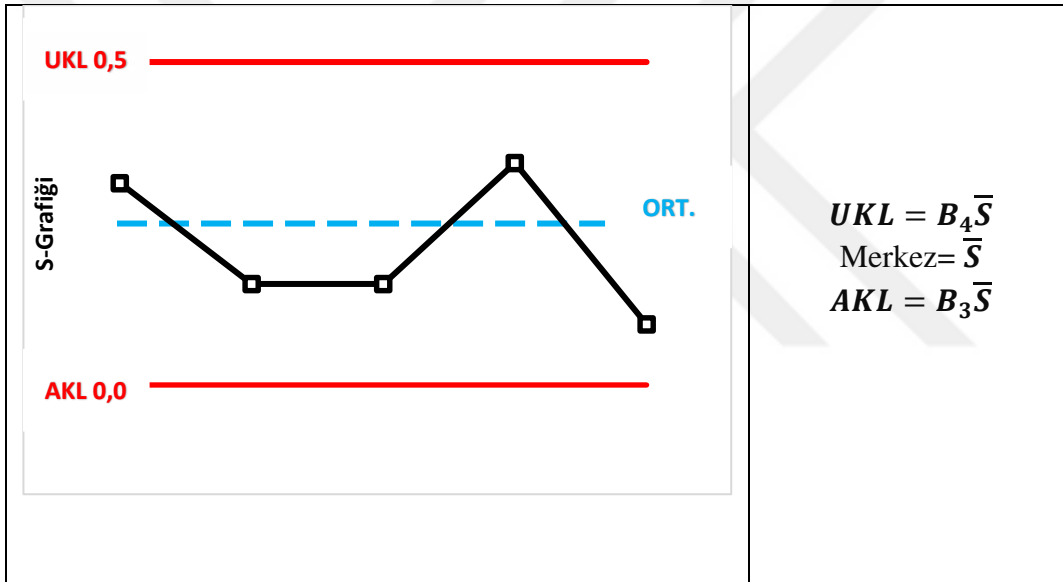
- Sürekli üretimin olduğu durumlarda,
- Ölçüm sonuçlarının sayısal olduğu durumlarda,
- Ölçüm süresinin kısa olduğu durumlarda,
- Proseste ölçümün kolay olduğu durumlarda,
- Tahribatsız ölçümün olduğu durumlarda,
- Örnek büyüklüğünün ($n \geq 9$) olduğu durumlarda. (n: örnek sayısı)

Ortalama - Aralık Kontrol Kartı ve Ortalama - Standart Sapma Kontrol kartı kullanım yerleri açısından birbirlerine benzemektedirler. Her iki kartın ortalama grafikleri aynı olup, hesaplama metotları ise farklıdır. Burada, standart sapma, gerçek standart sapma formülü ile hesaplanmaktadır. (Bknz. Standart Sapma)

Şekil 27’de X grafiği verilerinin ortalaması ve Şekil 28’de ise S grafiği verilerinin ortalamaya göre sapmaları gösterilmektedir.

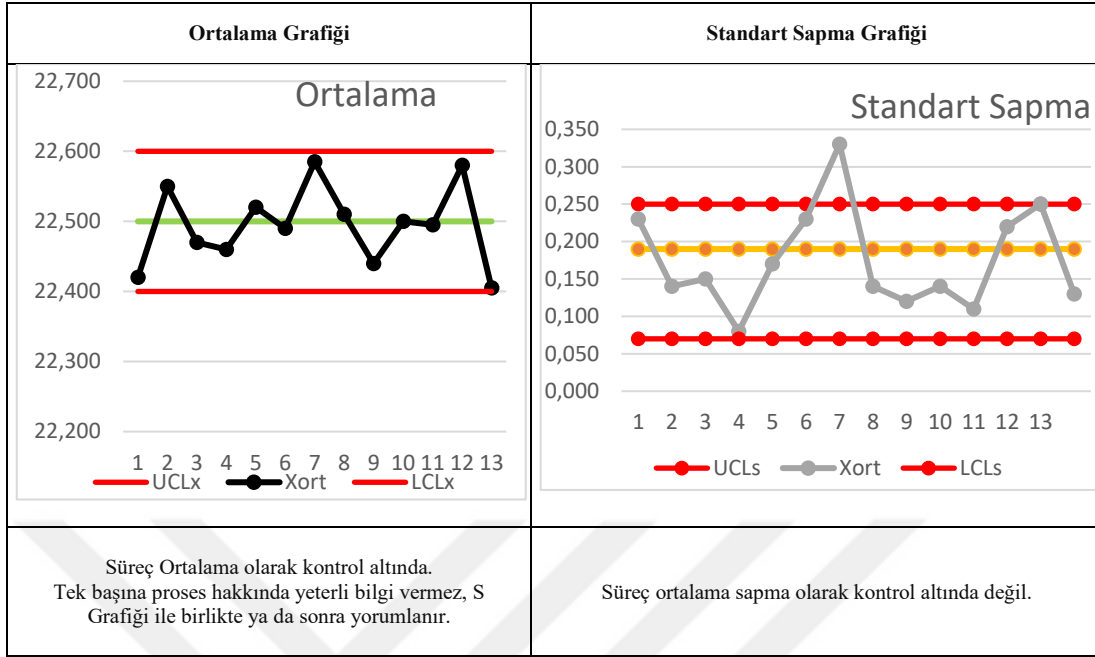


Şekil 27. X Grafiği Verilerinin Ortalaması



Şekil 28. S Grafiği Verilerinin Ortalamaya Göre Sapmaları

Grafiklerden önce standart sapma grafiği yorumlanır. Tüm veriler üst kontrol limitinin içinde ise, proses için “ortalamadan sapma olarak kontrol altındadır” denir. Sonra, ortalama grafiği yorumlanır. Tüm veriler üst ve alt kontrol limitlerinin içindeyse, “proses ortalama olarak kontrol altındadır” denir. Şekil 29’da ortalama - standart sapma kontrol kartının karşılaştırılması gösterilmektedir.



Şekil 29. Ortalama-Standart Sapma Kontrol Kartının Karşılaştırılması

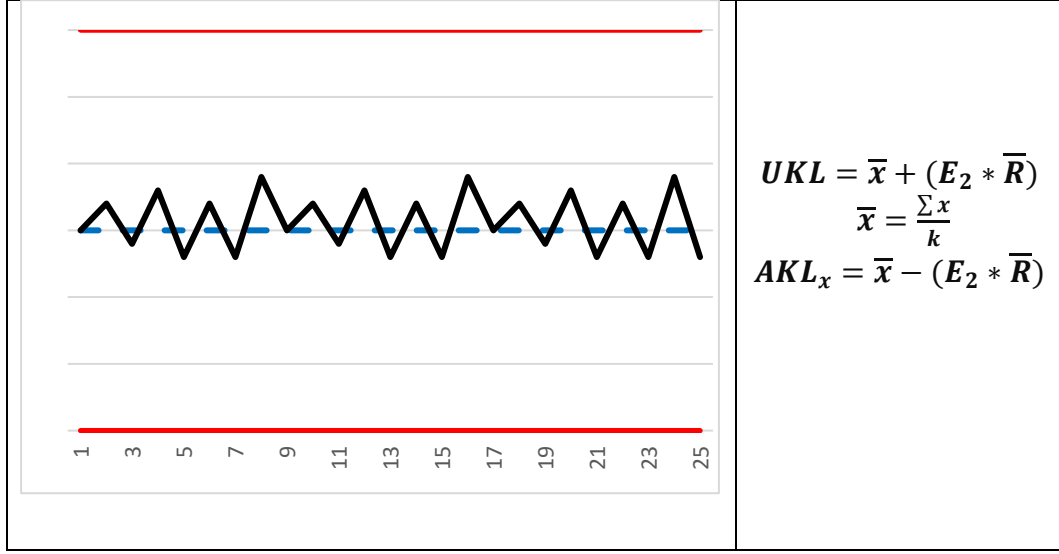
Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.2.3. Tekil (I)-Hareketli Aralık (MR) Kontrol Kartı (X-mR)

Bazen bir proseste tekil veriler elde edilmektedir. Örnekleme miktarının her frekansta 1 adet olduğu durumlarda Tekil-Hareketli Ortalama Kontrol Kartı kullanılmaktadır. Genel olarak, Tekil (I) Grafiği, her ölçümün değerini gösterirken, Hareketli Ortalama (mR) grafiği ise tekil ölçümler arasındaki farkı göstermektedir. Tekil - Hareketli Ortalama Kontrol Kartı aşağıda sıralanan durumlarda kullanılır (MSA, 2010);

- Örnek sayısının ($n=1$) olduğu durumlarda,
- Kontrol maliyetlerinin yüksek olduğu durumlarda,
- Kontrol süresinin fazla olduğu durumlarda,
- Tahribatlı kontrolün olduğu durumlarda,
- Eş zamanlı yapılan okumaların sonuçlarının benzer olması durumunda.

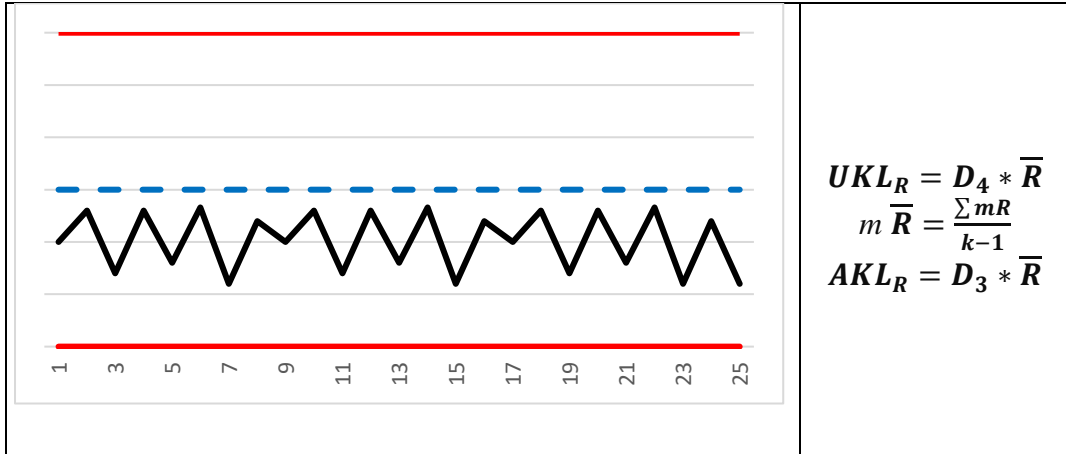
Şekil 30'da X grafiği her ölçüm değerinin gösterilmesi ve Şekil 31'de de mR grafiği tekil ölçümler arasındaki fark şematize edilmiştir.



Şekil 30. X Grafiği Her Ölçüm Değerinin Gösterilmesi

Kaynak: (Ege, 2022)

- UKL: Üst Kontrol Limiti
- AKL: Alt kontrol Limiti
- $\bar{R}$: Range
- $\bar{\bar{x}}$: Ölçümlerin aritmetik ortalaması
- E_2 : İstatistiksel Sabit değer



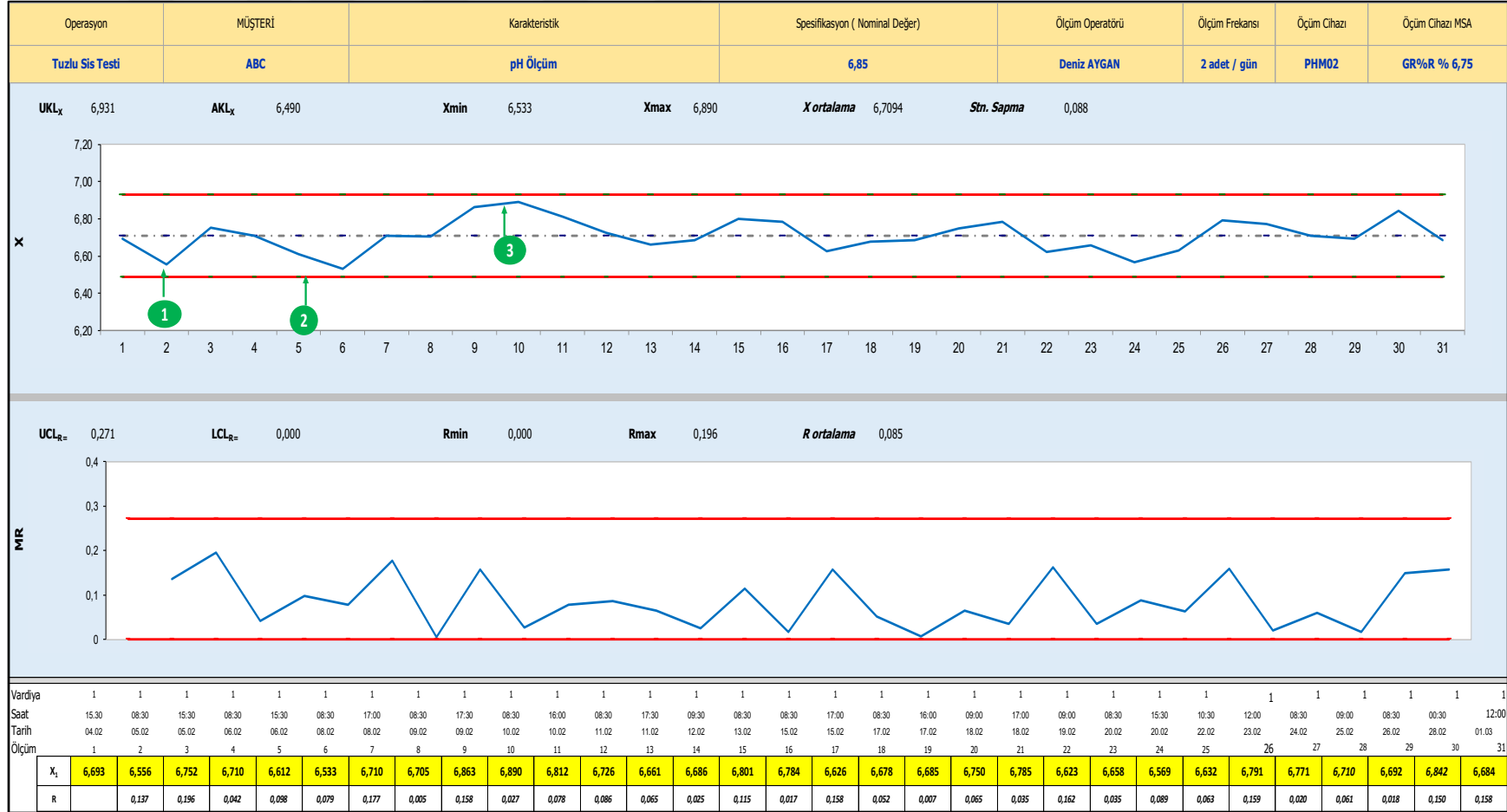
Şekil 31. Mr Grafiği Tekil Ölçümler Arasındaki Fark

Kaynak: (Ege, 2022)

UKL_R :	Üst Kontrol Limiti
AKL_R :	Alt kontrol Limiti
$\bar{R}$:	Range
$\bar{x}$:	Ölçümlerin aritmetik ortalaması
D_4 :	İstatistiksel Sabit değer
D_3 :	İstatistiksel Sabit değer

Tekil - Hareketli ortalama kontrol kartlarının yorumlanmasında, tekil ve hareketli ortalama grafikleri birlikte kullanılmaktadır. Grafiklerde tüm değerler kontrol limitleri içindeyse, “Proses kontrol altındadır”, en az bir değer kontrol limitlerinin dışında ise “Proses kontrol altında değildir” şeklinde yorum yapılmaktadır (Ege, 2022).

Kontrol dışı bir durum var ise tüm istatistiksel kartlarda olduğu gibi, olay kayıtları incelenmekte ve değişkenliğe neden olan etkiler analiz edilmektedir. Şekil 32’de tekil - hareketli ortalama kontrol kartı örneği ve Tablo 6’da ise gerçekleşen faaliyetler / değişiklikler bilgileri gösterilmektedir.



Şekil 32. Tekil-Hareketli Ortalama Kontrol Kartı Örneği

Kaynak: (Ege, 2022).

Tablo 6. Gerçekleşen Faaliyetler / Değişiklikler

Sıra No	Tarih	Vardiya	Gerçekleşen Faaliyetler / Değişiklikler	Tuzlu Su Tankı Ölçüm Sonucu
1	02.02.2021	1	Saat 08:30 da yeni çözelti hazırlandı. 42 ml NaOH eklendi. Tuzlu su tankı pH değeri 6,712 olarak ayarlandı.	6,712
2	06.02.2021	1	Saat 08:30 da yeni çözelti hazırlandı. 52 ml NaOH eklendi. Tuzlu su tankı pH değeri 6,709 olarak ayarlandı.	6,709
3	10.02.2021	1	Saat 09:30 da yeni çözelti hazırlandı. 29 ml HCl eklendi. Tuzlu su tankı pH değeri 6,750 olarak ayarlandı.	6,750

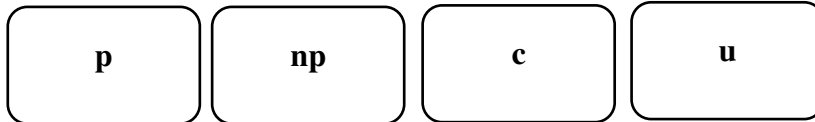
Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.3. Nitel Kontrol Kartları

Proseste elde edilen parçaların uygunluğu sayısal (ölçülebilir) veriler ile tanımlanamadığı durumlarda nitel (kalitatif) veriler ile ürün uygunluğu tanımlanmaktadır. Bu gibi durumlarda, genellikle incelenen her bir öğeyi, o kalite özelliğiyle ilgili spesifikasyonlara uygun veya uygun olmayan olarak sınıflandırmak gerekmektedir. Spesifikasyonlara olan uygunluk değerlendirmesi herhangi bir ölçüm aleti ile niceliksel (ölçerek) değil niteliksel yani görerek, duyarak dokunarak yani duyu organları ile yapılmaktadır (MSA, 2010). Bu tür ölçülemeyen özelliklere örnek olarak aşağıda sıralanan maddeler verilebilir (Ege, 2022);

- Çamaşır makinesi üretim hattında tespit edilen hata sayısı,
- Elektrik prizi üretimi yapan fabrikada bir ay içindeki hatalı parça oranı,
- Ambalajlama için karton koli üretimi yapan işletmedeki birim ürünlerdeki hata sayısı,
- Otomobil dikiz aynası üretimi hattından alınan bir adet ürünlerdeki hata sayısı.

Şekil 33’de nitel kontrol kart örnekleri yer almaktadır.



Şekil 33. Nitel Kontrol Kartları Örnekleri

Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.3.1. P Kontrol Kartı

Ürün uygunluğu geçer-geçmez, mat-parlak, kusurlu-kusursuz, iyi-kötü gibi yorumlar ile tanımlanabilen prosesler için kullanılan istatistiksel araçlardan biri olan p kontrol kartı “HATALI PARÇA ORANI” nı takip etmek için kullanılmaktadır. P kontrol kartının özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (MSA, 2010);

- Nitel veriler (iyi-kötü, hatalı-hatasız vb.) için kullanılmaktadır.
- Kartın amacı süreçteki kusurlu ürün yüzdesini kontrol etmektir.
- Bu kart ile bir veya daha fazla hata karakteristiği takip edilebilmektedir.
- Kart örnek sayısı sabit ve değişken olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

Örnek sayısının sabit olduğu durumlar

Bazen proseslerde örnek sayısı sabit olabilmektedir. Örneğin, iki sac levhanın kaynaklı birleştirilmesi prosesi sonrası üretilen ürünlerden her gün 200 adet kontrol istasyonuna alınarak görsel kontrol yapılmış olsun. Yapılan bu kontrol sonucunda üç tip hata karakteristiği tespit ediliyor. Bu faaliyet bir ay boyunca her gün 200 adet ürünün kontrol edilmesiyle tekrarlandığı durumlarda örnek sayısı sabit olarak değerlendirilir ve p kontrol kartı ile hata oranları izlenir. P kontrol kartları uygulamalarında alt ve üst sınır hesaplamalarında alt sınır sıfırdan daha küçük çıkar ise grafikte alt sınır 0 (sıfır) olarak belirtilir ve alt sınırın altındaki oranlar uygunsuzluk olarak kabul edilmez. P kontrol kartlarında örnek sayısı sabit olduğu durumlar için ilave bazı kurallar vardır. Bu kurallar aşağıdaki gibi sıralanabilir (MSA, 2010);

- Kural 1: Örnek sayısı (n) en az 50 olmalıdır.
- Kural 2: En az 25 alt grup olmalı ve her alt grupta en az 5 hatalı örnek bulunmalıdır.

P kontrol kartlı uygulamalarında örnek sayısının sabit olduğu durumlarda Denklem (13) kullanılmaktadır.

$$UCL_P = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad CL_P = \bar{p} \quad LCL_P = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (13)$$

Şekil 34’de örnek sayısının değişken grafikleri ve Tablo 7’de ise elde edilen değerler gösterilmektedir.

Tablo 7. Örnek Sayısı Sabit

Örnek Sayısı: SABİT					
Sıra No	Tarih	Üretim Miktarı	Kontrol Edilen Parça Sayısı	Hatalı Parça Sayısı	Hatalı Parça Oranı
1	06.05.2000		200	6	0,030
2	07.05.2000		200	8	0,040
3	08.05.2000		200	13	0,065
4	09.05.2000		200	7	0,035
----	-----		----	----	-----
24	04.06.2000		200	16	0,065
25	05.06.2000		200	16	0,080
Toplam		11,850	5000	283	0,0566
$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,0566 + 3\sqrt{\frac{0,0566(1-0,0566)}{200}} = 0,1056$ $CL_p = \bar{p} = 5000/283 = 0,0566$ $LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,0566 - 3\sqrt{\frac{0,0566(1-0,0566)}{200}} = 0,0076$					

Kaynak: (Ege, 2022)

Örnek sayısının değişken olduğu durumlar

Örnek sayısının değişken olduğu durumlarda ise alt ve üst kontrol limitleri her örnek sayısından sonra tekrar hesaplanmakta ve grafikte gösterilmektedir. Örneğin, bu defa dikiz aynası üretimi yapan bir işletme son kontrol prosesinde her gün farklı adetlerde dikiz aynası kontrol istasyonuna alıyor olsun ve göz kontrolü uygulasin. Bu kontrol sonucunda örneklerde belirtildiği gibi farklı hata karakteristikleri tespit edilir. İşte bu gibi örnek sayısının yani her frekansiyel periyotta kontrol edilen parça sayısının ilk örnekteki gibi sabit olmayıp değişken olduğu durumlar için de p kontrol kartları kullanılmakta olup örnek sayısının değişken olduğu durumlardaki kontrol limitlerinin hesaplanması farklılık göstermektedir. P kontrol kartlı uygulamalarında örnek sayısının değişken olduğu durumlarda Denklem (14) kullanılmaktadır.

$$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad CL_p = \bar{p} \quad LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (14)$$

P kontrol kartlarında örnek sayısı değişken olduğu durumlar için ilave bazı kurallar vardır. Bu kurallar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kural 1: Örnek sayısı (n) en az 50 olmalıdır.
- Kural 2: En az 25 alt grup olmalı ve her alt grupta en az 5 hatalı örnek bulunmalıdır.

- Kural 3: En küçük ölçüm adedinin en büyük ölçüm adedine oranı $\geq 0,75$ olmalıdır.

Dikkat edilirse ilk iki kural, örnek sayısının sabit olduğu durumlarda da bulunmaktadır. Bu kurallara ilave olarak eklenen Kural 3 ile örneğin 30 gün boyunca kontrol edilen parça sayıları incelendiğinde, en düşük sayıda parçanın kontrol edildiği zaman ile en yüksek sayıda parçanın kontrol edildiği zamanlar arasında min 0,75 değeri olması şartı bulunmaktadır.



Tablo 8. P Kontrol Kartı

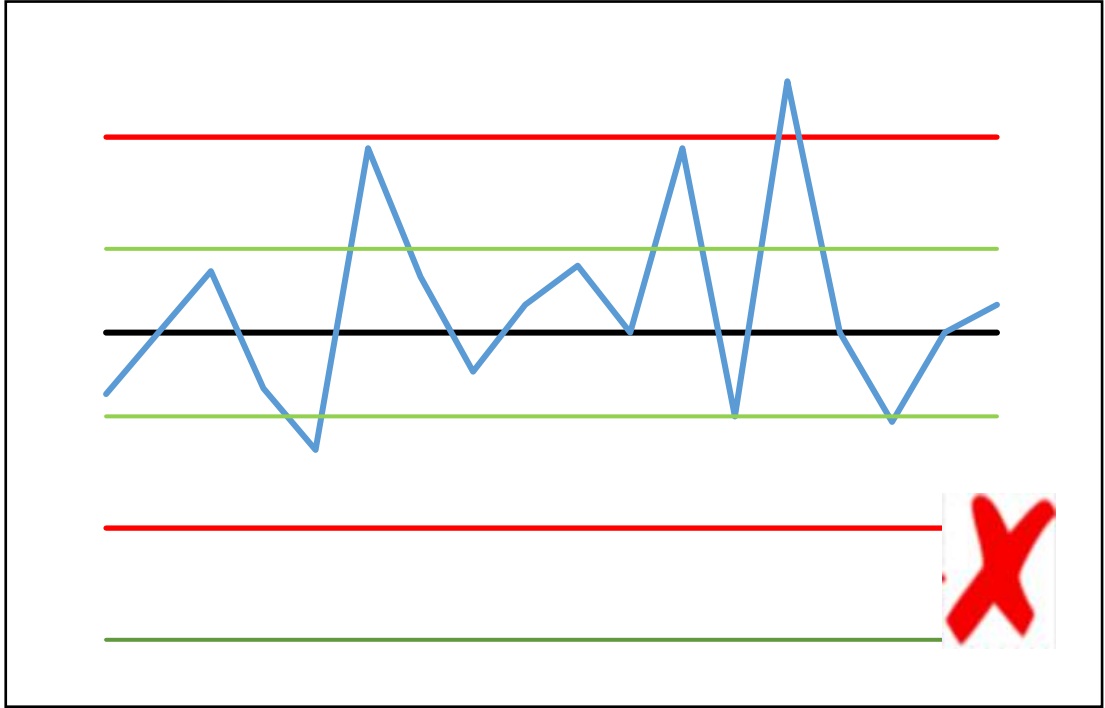
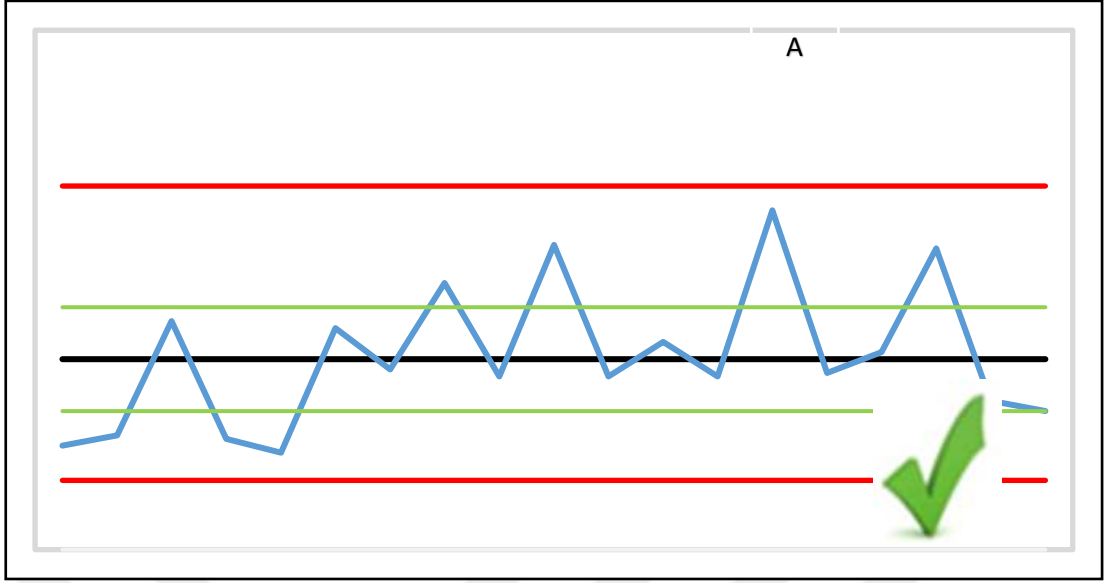
Örnek Sayısı: DEĞİŞKEN					
Sıra No	Tarih	Üretim Miktarı	Kontrol Edilen Parça Sayısı	Hatalı Parça Sayısı	Hatalı Parça Oranı
1	06.05.2000		968	8	0,008
2	07.05.2000		1216	13	0,011
3	08.05.2000		1100	13	0,012
4	09.05.2000		1050	16	0,015
----	-----		----	----	-----
24	04.06.2000		1000	15	0,015
25	05.06.2000		1187	21	0,018
Toplam		75000	26908	283	0,0132
$UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,0132 + 3\sqrt{\frac{0,0132(1-0,0132)}{1194}} = 0,024$ $CL_p = \bar{p} = 26908/356 = 0,0132$ $LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,0132 - 3\sqrt{\frac{0,0132(1-0,0132)}{1194}} = 0,0028$					

Kaynak: (Ege, 2022)

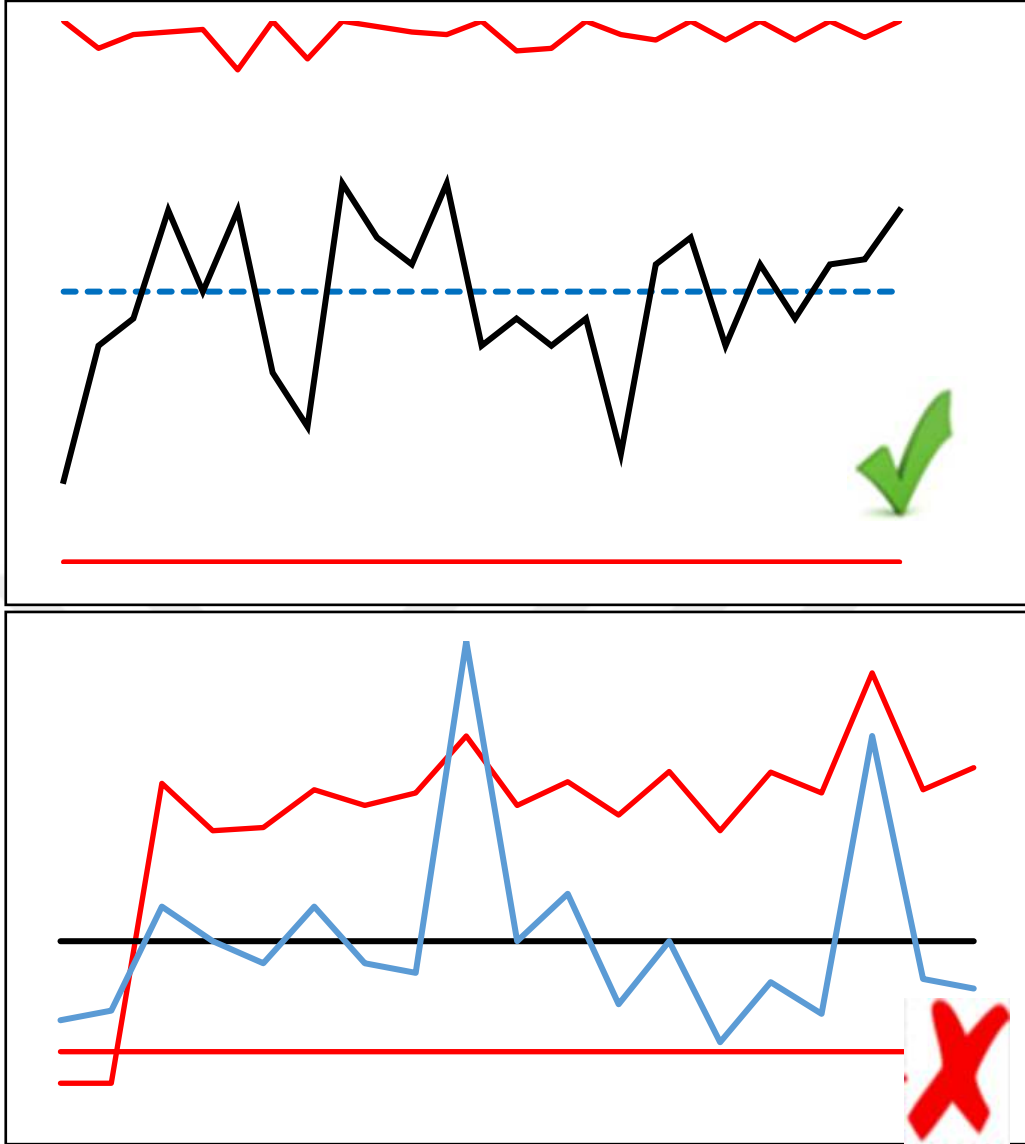
P kontrol kartları yorumlanmadan önce verilerin tüm kuralları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmeli ve verilerin tüm kuralları sağlaması durumunda ise aşağıdaki gibi bir yol izlenmelidir (MSA, 2010);

- Tüm değerler Üst Kontrol Limitinin altında ise prosesteki hata oranı kabul edilebilir seviyededir, yani, değişiklikler GENEL NEDENLERDEN kaynaklanmıştır.
- Üst Kontrol Limitinin üzerinde en az bir nokta var ise, prosesteki hata oranı kabul edilemez. Hata oranının artması ÖZEL NEDENLERDEN kaynaklanmıştır.

Şekil 36’da ve Şekil 37’de örnek sayısının sabit ve değişken olduğu durumlardaki proses grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 36. Sabit ve Değişken Olduğu Durumlardaki Proses Grafikleri-1



Şekil 37. Sabit ve Değişken Olduğu Durumlardaki Proses Grafikleri-2

2.2.3.2.np Kontrol Kartı

np kontrol kartları örnek sayısının sabit olduğu durumlarda ve “uygun olmayan ürün miktarının” takibinde kullanılmakta olup genel olarak aşağıda sıralanan durumlarda tercih edilmektedir;

- Nitel (iyi-kötü, hatalı-hatasız vb.) veriler için kullanılmaktadır.
- Kartın amacı süreçteki kusurlu ürün adetlerini kontrol etmektir.
- Bu kart ile bir veya daha fazla hata karakteristiği takip edilmektedir.
- Kart örnek sayısı sabit olduğu durumlarda kullanılmaktadır.

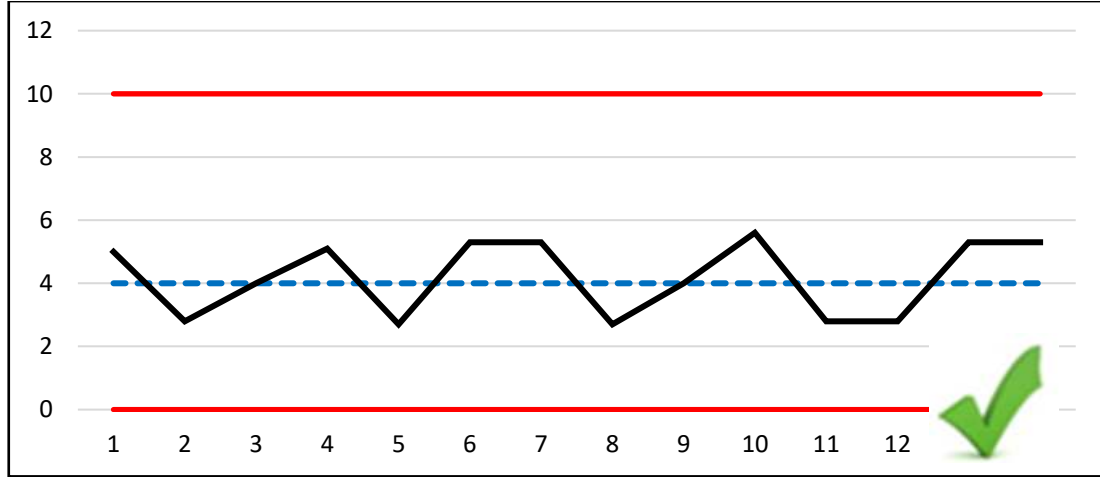
Örnek olarak travers braketi üretimi yapan bir işletme her vardiyada 80 adet ürünü kontrol ediyor ve çıkan sonuçlarla uygun olmayan ürün miktarını izlemeyi hedefliyor olsun. Bu durumda np kontrol kartı kullanılır. Np kontrol kartlarının kontrol limitleri ve merkez değeri Denklem (15) ile hesaplanmaktadır; (Ege, 2022)

$$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad nP = \frac{\sum np}{k} \quad LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (15)$$

np kontrol kartlarında da istatistiksel güvenirlik açısından aşağıda belirtilen iki kural geçerli olmaktadır;

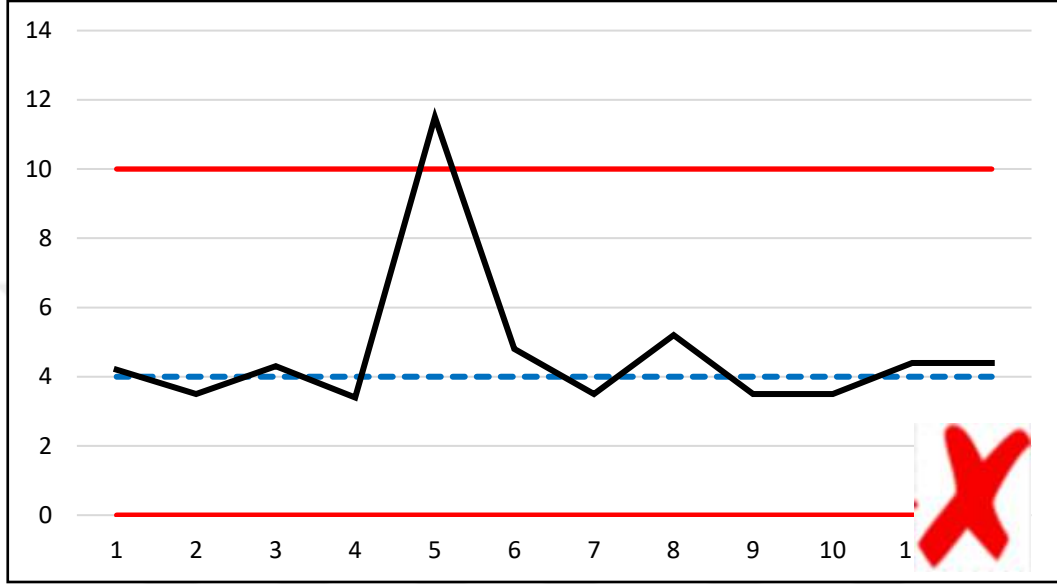
- Kural 1: Örnek sayısı (n) en az 50 olmalıdır.
- Kural 2: En az 25 alt grup bulunmalıdır.

np kontrol kartlarında, tüm değerler Üst Kontrol Limitinin altında ise prosesteki kusurlu sayısı kabul edilebilir seviyededir. Yani değişiklikler “Genel Nedenlerden” kaynaklanmaktadır. Tüm değerlerin üst kontrol limitinin altında olması ve değişikliklerin “Genel Nedenlerden” kaynaklanması durumu Şekil 38’de gösterilmektedir.



Şekil 38. Tüm Değerler Üst Kontrol Limitinin Altındadır ve Değişiklikler “Genel Nedenlerden” Kaynaklanmaktadır

np kontrol kartlarında, tüm değerler Üst Kontrol Limitinin üzerinde ise prosesdeki kusurlu sayısı kabul edilemez seviyededir. Yani kusurlu miktarının artması “Özel Nedenlerden” kaynaklanmaktadır. Tüm değerlerin üst kontrol limitinin üzerinde olması ve değişikliklerin “Özel Nedenlerden” kaynaklanması durumu Şekil 39’da ve Şekil 40’da np kontrol kartı gösterilmektedir.



Şekil 39. Tüm Değerler Üst Kontrol Limitinin üzerinde Özel Nedenlerden

2.2.3.3. C Kontrol Kartları

C kontrol kartları her bir kontrol edilen parçadaki kusur sayısını izlemek için kullanılmaktadır. Kontrol edilen ürün miktarı her seferinde 1 (bir) adet olduğu için örnek sayısı sabittir. Örneğin otomobil üreticisi her vardiyada bir adet ürünü kontrol istasyonuna alıyor ve detaylı bir hata tespiti yapıyor olsun. Detaylı olarak incelenen bu araçta tespit edilen her türlü hata karakteristiği c kontrol kartı kullanılarak takip edilir. Aynı zamanda c kontrol kartı için aşağıda sıralanan durumlar için de kullanılabilir; (Ege, 2022)

- Birim (1 adet) parçalardaki kusur sayısının gösterildiği durumlarda,
- Bir veya daha fazla hata karakteristiği takip edildiği durumlarda,
- Örnek sayısının sabit olduğu durumlarda

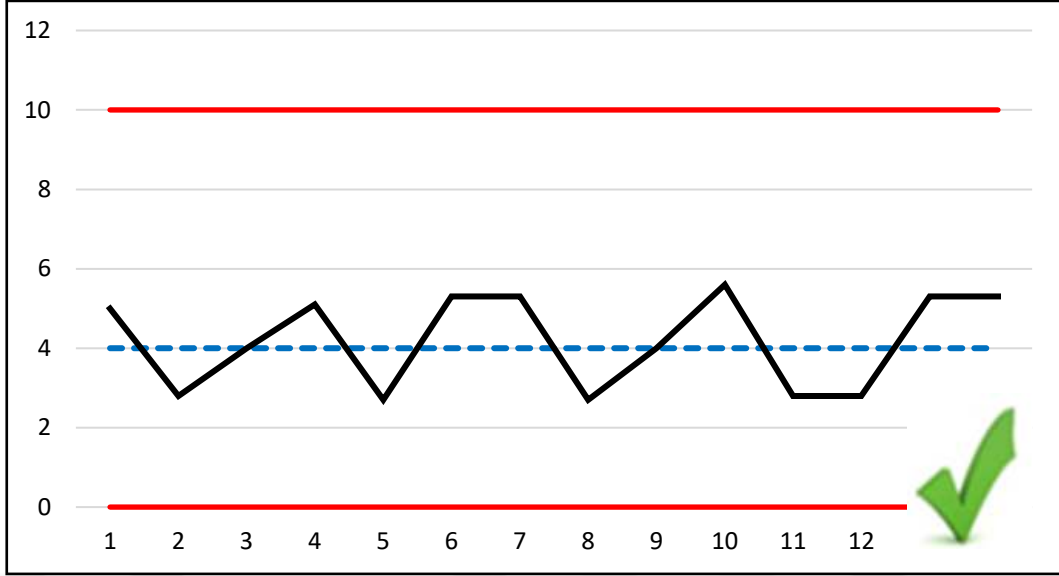
Kalite seviyesinin değişmediği durumlarda ürün kalitesinin kusur sayısı ile ifade edilebildiği durumlarda kullanılan c kontrol kartları için gerekli hesaplamalar Denklem (16) yardımıyla gerçekleştirilmektedir;

$$UCL = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}} \quad LCL = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}} \quad CL = \bar{C} \quad (16)$$

Yapılan hesaplamalar sonunda alt kontrol limiti negatif ise alt kontrol limiti 0 (sıfır) kabul edilir. C kontrol kartlarında, alt grup sayısının yani her gün bir ürün kontrol edilerek oluşturulan c kontrol kartından bahsederek en az 25 günlük sonuç olması kuralı bulunmaktadır. Periyod vardiya ise, en az 25 vardiyalık değerlendirme sonucunu bünyesinde bulundurmalıdır. c kontrol kartlarında aşağıda belirtilen iki kural daha vardır;

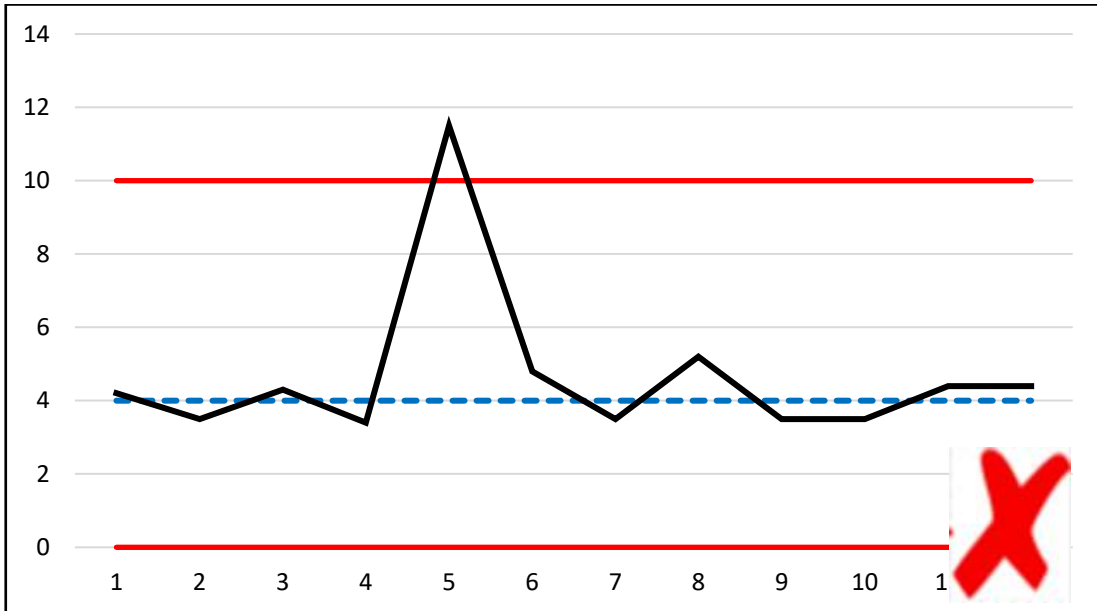
- Kural 1: En az 25 alt grup bulundurulmalıdır.
- Kural 2: LCL negatif ise 0 (sıfır) kabul edilmelidir.

C kontrol kartlarında, tüm değerler Üst Kontrol Limitinin altında ise birim ürünlerdeki kusur sayısı kabul edilebilir seviyededir. Yani, değişiklikler “Genel Nedenlerden” kaynaklanmaktadır. Şekil 41’da kabul edilebilir seviyedeki kusur sayısı gösterilmektedir.



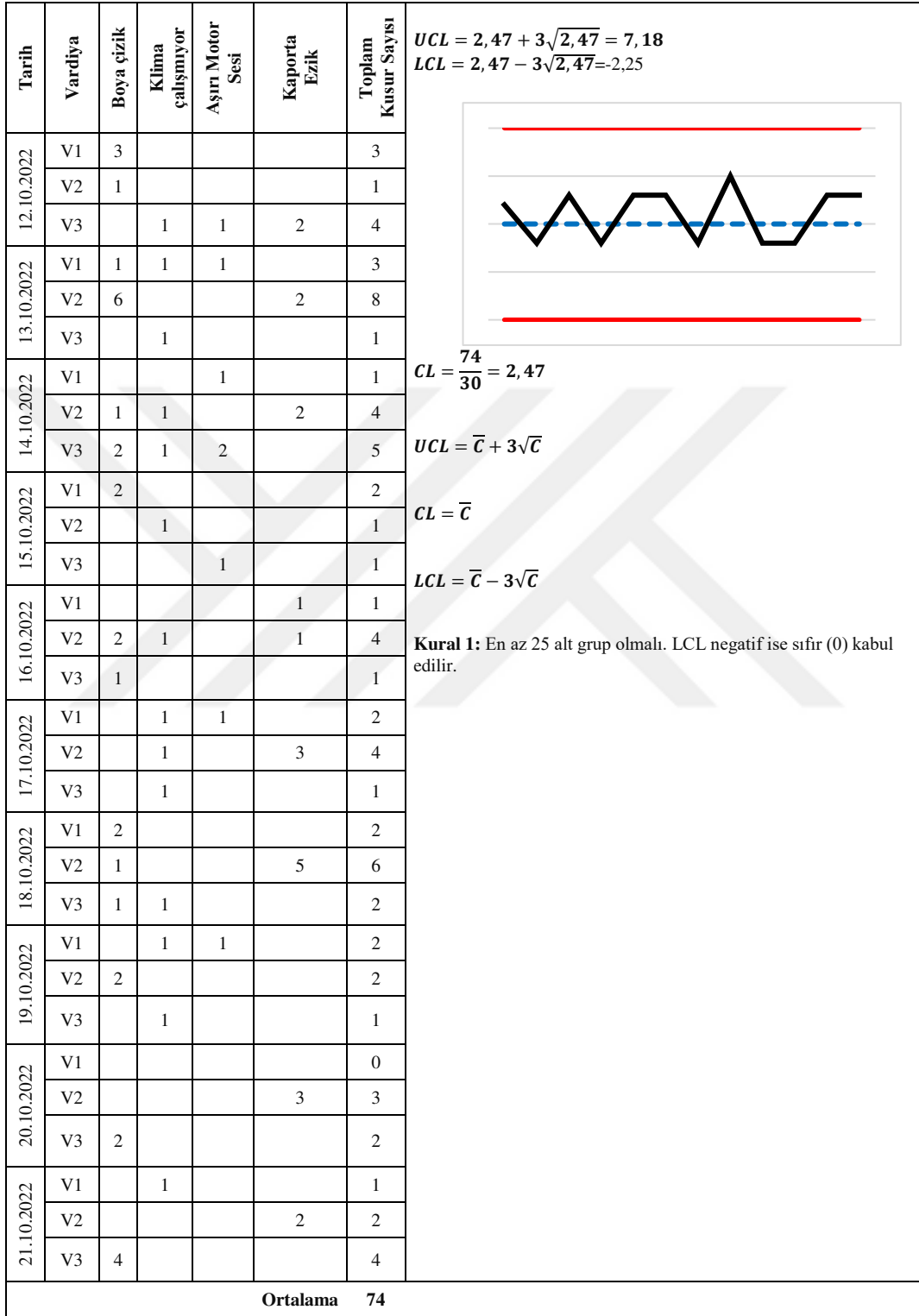
Şekil 41. Kusur Sayısı Kabul Edilebilir Seviye

C kontrol kartlarında, Üst Kontrol Limitinin üzerinde en az bir nokta var ise, birim ürünlerdeki kusur sayısı kabul edilemez seviyededir. Yani, d birim ürünlerdeki kusur sayısının artması “Özel Nedenlerden” kaynaklanmaktadır. Şekil 42’da kabul edilemez seviyedeki kusur sayısı gösterilmektedir.



Şekil 42. Kusur Sayısı Kabul Edilemez Seviye

Şekil 43’de X marka otomobil üretim hattında her vardiyada 1 adet otomobilin kontrol edildiği sistem için c kontrol kartı örneği gösterilmektedir.



Şekil 43. C Kontrol Kartı

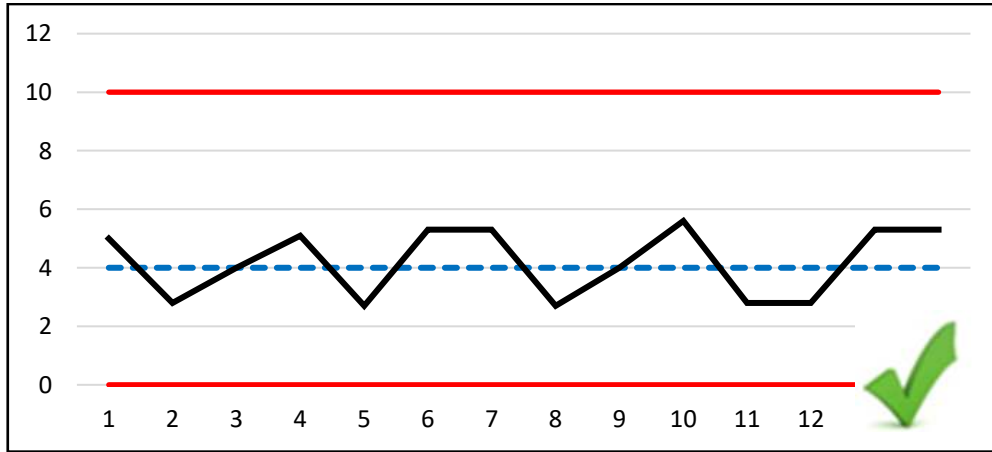
Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.3.4. U Kontrol Kartı

Eğer bir deney (alt grup) birden fazla birimden oluşuyorsa ve birimlerin sayısı deneyden deneye değişiyorsa kullanılan C grafiği yerine U grafiğidir. Hatırlanırsa C grafiğinde her bir örnekteki yani parçadaki toplam kusur sayıları dikkate alınırken U kontrol kartında birim başına düşen kusur sayıları dikkate alınmaktaydı. Başka bir ifade ile C kontrol kartında bir adet ürün kontrol ediliyorken U kontrol kartında örneğin 20 adet ürün kontrol ediliyor olsun ve bu 20 adet ürünlerdeki toplam hata sayısı 20'ye bölünerek birim başına düşen hata sayısı bulunmaktaydı. U kontrol kartları aşağıda sıralanan durumlar için de kullanılabilmektedir (MSA, 2010);

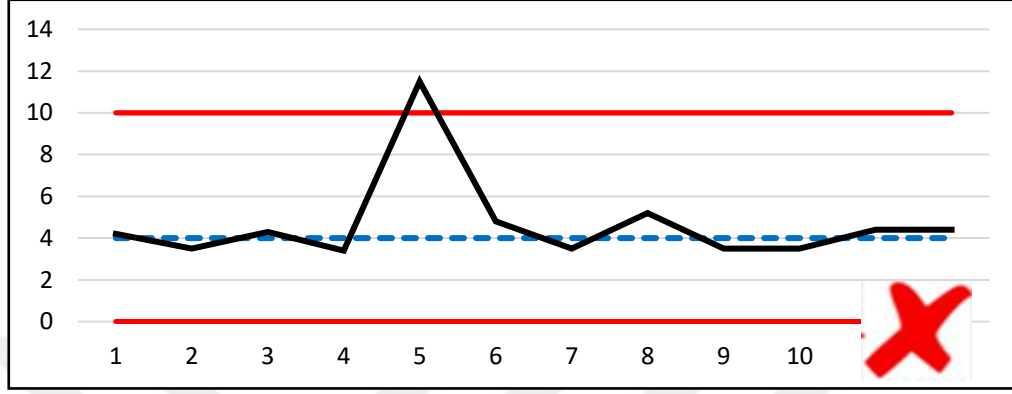
- Birim parçalardaki kusur sayısının gösterildiği durumlarda,
- Bir veya daha fazla hata karakteristiğinin takip edildiği durumlarda,
- Örnek sayısının sabit veya değişken olduğu durumlarda,
- Kalite seviyesinin değişmediği durumlarda ve ürün kalitesinin kusur sayısı ile ifade edilebildiği durumlarda.

U kontrol kartlarında, tüm değerler Üst Kontrol Limitinin altında ise birim ürünlerdeki kusur sayısı kabul edilebilir seviyededir. Yani, değişiklikler “Genel Nedenlerden” kaynaklanmaktadır. Şekil 44’de kabul edilebilir seviyedeki kusur sayısı gösterilmektedir.



Şekil 44. Birim Üründeki Kabul Edilebilir Kusur Sayısı

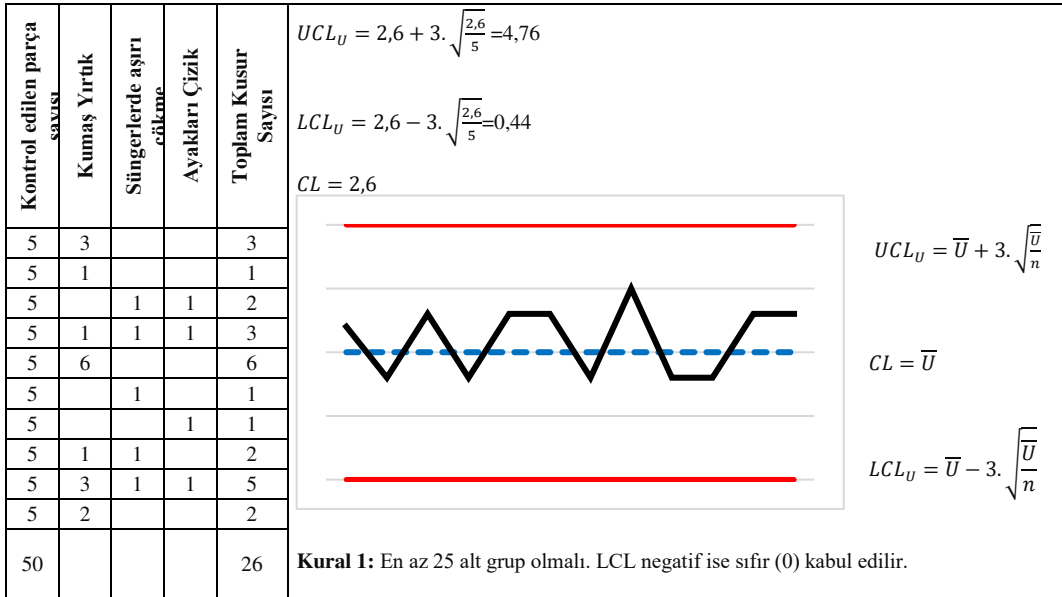
U kontrol kartlarında, Üst Kontrol Limitinin üzerinde en az bir nokta var ise, birim ürünlerdeki kusur sayısı kabul edilemez seviyededir. Yani, birim ürünlerdeki kusur sayısının artması “Özel Nedenlerden” kaynaklanmaktadır. Şekil 45’de kabul edilemez seviyedeki kusur sayısı gösterilmektedir.



Şekil 45. Limitinin Üzerinde En Az Bir Nokta Var Olduğundan Kabul Edilemez Kusur Sayısı

Kaynak: (Ege, 2022)

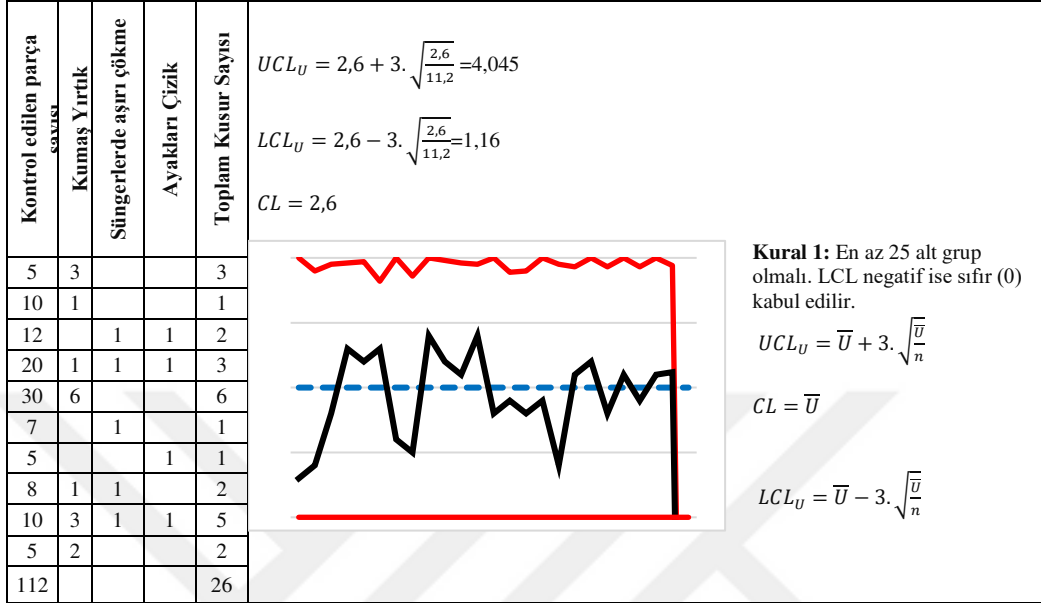
Şekil 46’de oturma grubu üretimi yapan bir fabrikada her gün 5 adet kanepenin kontrol edildiği sistemi için kontrol edilen kanepelerdeki toplam kusur sayısını gösteren sabit u kontrol kartı örneği yer almaktadır.



Şekil 46. Sabit U Kontrol Kartı

Kaynak: (Ege, 2022)

Şekil 47’da ise X marka otomobil üretim hattında belirli adetlerde otomobilin kontrol edildiği sistemde kontrol edilen her otomobildeki kusur sayısı için değişken u kontrol kartı örneği yer almaktadır.



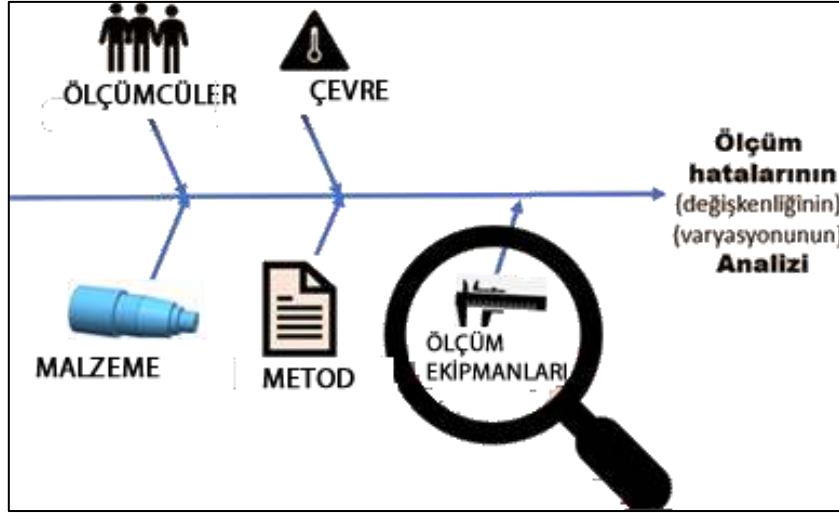
Şekil 47. Değişken U Kontrol Kartı

Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.4. Yeterlilik Analizleri

2.2.4.1. Ölçüm Ekipmanı Yeterlilik Analizi

Proseslerin çıktıları ile ilgili uygunluğunu değerlendirmek amacıyla prosese uygun ölçüm ve muayene ekipmanları kullanılmaktadır. Kullanılan bu ölçüm ekipmanlarının uygunluğu proses sonucuna doğrudan etki etmektedir. Bazen doğru olan üretim, ölçüm ekipmanının yanlış göstermesi ya da ekipmanın arızası nedeniyle uygunsuz üretim olarak tanımlanıp yanlış alarmı neden olabilmektedir. Bazen de hatalı işlenmiş parçaların aynı nedenlerden dolayı uygun olarak tanımlanması ve hatalı parçanın müşteriye ulaşması söz konusu olabilmektedir. Karşılaşılabilecek bu iki hata tipi de paydaşlara ve müşterilere karşı olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında ölçüm sistemi içinde ölçüm ekipmanının uygunluğu oldukça önemlidir. Şekil 48’da ölçüm sistemi yeterliliği ile ilgili bir görsele yer verilmektedir.



Şekil 48. Ölçüm Sistemi Yeterliliği GR&R

Kaynak: (Ege, 2022)

Bir prodesteki ölçüm sonuçlarını etkileyen ölçümcüler, ölçülen parça, çevre, ölçüm metodu ve ölçüm ekipmanı olarak tanımlanabilecek beş temel faktör bulunmaktadır. Ölçüm sonuçları bu beş faktörde meydana gelen değişimden ve kararsızlıktan etkilenmektedir. Bu faktörler tanımlanmış sınırlar içinde olduğu müddetçe proses çıktısına olan etkileri kabul edilebilir seviyededir. Yani bu durumda faktörlerin proses çıktısına majör bir etkisi bulunmamaktadır.

Bir prodeste kullanılan ekipmanların yeterliliğinin analiz edilmesi oldukça önemlidir. Ölçüm ekipmanı yeterlilik analizi, ölçüm ekipmanından kaynaklı değişimleri tespit etmek için kullanılırken ve sapma ve tekrarlanabilirliğin ölçüm sonuçları üzerindeki etkisinin de analiz edilmesini sağlamaktadır. Ölçüm ekipmanı yeterliliği analizi aşağıdaki durumlarda gerçekleştirilir (Ege, 2022);

- Yeni ölçüm ekipmanı alındığı durumlarda,
- Büyük çaplı bakım görüldüğü durumlarda,
- Yer değişimi yapıldığı durumlarda (sabit ve taşınmaz ekipmanlar için geçerli),
- Uzun süre çalıştırılmamış ölçüm ekipmanlarının kullanıldığı durumlarda.

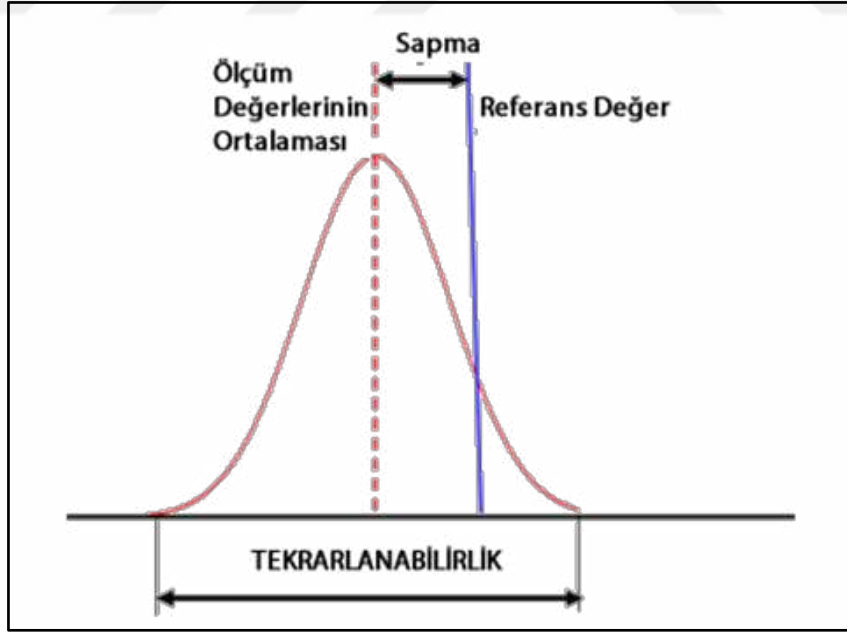
Ölçüm ekipmanı yeterlilik analizinde sapma ve tekrarlanabilirlik olarak iki parametre bulunmaktadır (Ege, 2022);

Sapma: Ortalama değer ile aynı ölçüye ait referans değer arasındaki fark sapma olarak adlandırılmaktadır. Bu fark ne kadar küçük ise sapma o kadar iyi seviyededir. Yani ölçüm ekipmanının yeterli olabilmesi için sapma değerinin küçük olması beklenmektedir.

Tekrarlanabilirlik: Ölçüm cihazının aynı parça üzerindeki istikrarlı ölçüm yeteneği tekrarlanabilirlik olarak adlandırılmaktadır. Tekrarlanabilirlik, aynı parça, aynı cihaz ve aynı operatör arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bu üçlü arasındaki değişkenlik ne kadar iyi ise tekrarlanabilirlik o kadar iyi seviyededir.

Ölçüm ekipmanı yeterlilik analizi çalışmasında aşağıda sıralanan iki terim üzerinde çalışılır (Ege, 2022);

- C_g ile gösterilen “Potansiyel Yeterlilik İndeksi” terimi
- C_{gk} ile gösterilen “Kritik Yeterlilik İndeksi” terimi Şekil 49’de ölçüm ekipmanı yeterlilik analizi şematize edilmektedir.



Şekil 49. Ölçüm Ekipmanı Yeterlilik Analizi

Kaynak: (Ege, 2022)

Potansiyel yeterlilik indeksi C_g , ölçüm cihazının, teknik resim toleranslarının belirlenen yüzdede çalışabilme yeteneğini göstermektedir ve ölçüm cihazındaki TEKRARLANABİLİRLİK etkisidir. Potansiyel yeterlilik indeksi Denklem (17) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$C_g = \frac{\left(\frac{k}{100}\right) * (\text{Toplam Tolerans})}{L * S} \quad (17)$$

Burada,

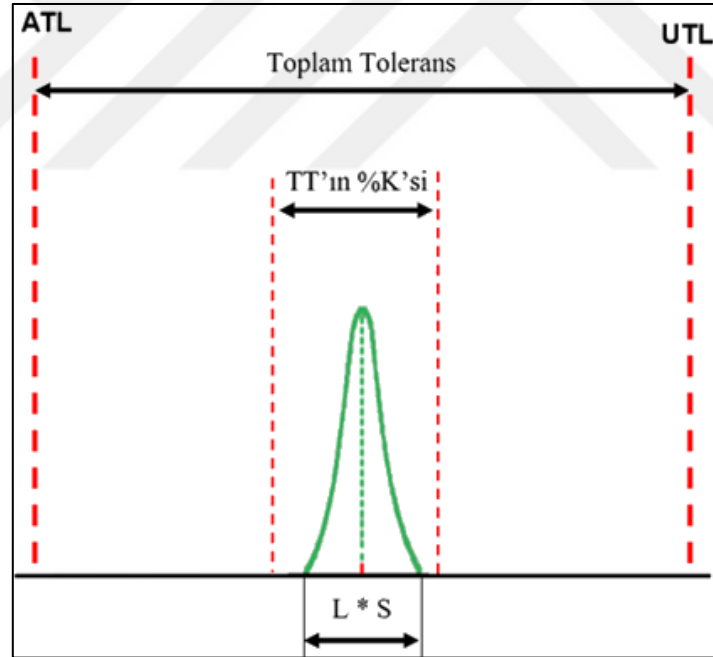
C_g : Cihaz Yeterliliği

K: Yüzde (Toleransın)(%20)

L: Katsayı (6)

S: Gerçek Standart Sapmadır.

Şekil 50’de potansiyel yeterlilik indeksi gösterilmektedir.



Şekil 50. Potansiyel Yeterlilik İndeksi

Kaynak: (Ege, 2022)

Kritik yeterlilik indeksi C_{gk} ise çalışma varyasyonunun NOMİNAL değere göre konumunu göstermektedir. Yani ölçüm cihazındaki TEKRARLANABİLİRLİK

ve SAPMA etkisidir. Kritik yeterlilik indeksi Denklem (18) yardımıyla hesaplanmaktadır (Ege, 2022);

$$C_{gk} = \frac{\left(\frac{k}{200}\right) * (\text{Toplam Tolerans}) - |\bar{X}_g - X_m|}{L * S} \quad (18)$$

Burada,

C_{gk}: Cihaz Yeterlilik İndeksi

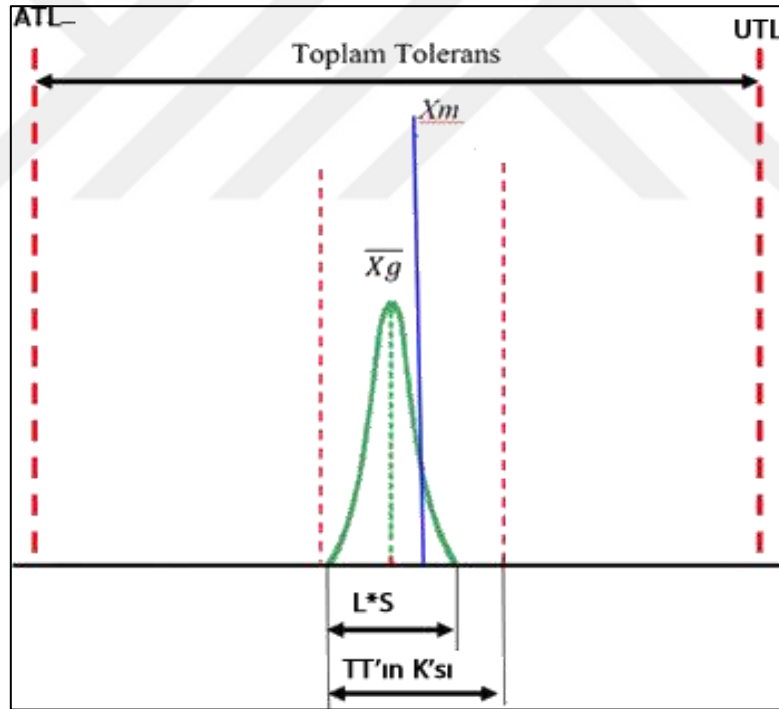
K: Yüzde (Toleransın)

$\bar{X}_g$: Ölçümlerin Aritmetik Ortalaması

L: Katsayı (3)

S: Gerçek Standart Sapmadır.

Şekil 51’da kritik yeterlilik indeksi gösterilmektedir.



Şekil 51. Kritik Yeterlilik İndeksi

Kaynak: (Ege, 2022)

Potansiyel yeterlilik indeksi olan C_g ölçüm ekipmanının yalnızca tekrarlanabilirliğini, kritik yeterlilik indeksi olan C_{gk} ise ölçüm ekipmanının tekrarlanabilirlik ile sapmasını göstermektedir.

Tekrarlanabilirlik, her ölçüm sonucunun birbirlerine yakın olması olduğuna göre ölçüm sonuçları birbirlerine ne kadar yakın ise cihazın tekrarlanabilirliği o derece iyi seviyededir. Başka bir ifade ile tekrarlanabilirlik yayılım olarak tanımlandığında, ölçüm sonuçlarının oluşturduğu normal dağılım eğrisinin yayılımı değerlendirilmektedir. Ayrıca, tekrarlanabilirlik hedef değer ile ilişkili olmadığından tekrarlı yapılan ölçüm sonuçları birbirlerine oldukça yakın ancak her biri nominal değerden çok uzak olsa bile tekrarlanabilirlik değeri iyidir şeklinde bir yorum yapılabilir. Ölçüm değerlerinin hedef değerlere olan farkını gösteren sapma değeri ise ne kadar küçükse ise ekipmanın sapması o kadar iyi seviyededir. Endüstride her zaman sapma değeri küçük olan ekipmanlar tercih edilmektedir (Ege, 2022). Şekil 52’de beklenti değerleri tablosu yer almaktadır.

	Tekrarlanabilirlik		Sapma	
	Düşük değişkenlik (Düşük yayılım)		Düşük sapma (Hedefe yakınlık)	
				
Tekrarlanabilirlik	✓	X	✓	✓
Sapma	X	X	✓	X

Şekil 52. Beklenti Değerleri Tablosu

Kaynak: (Ege, 2022)

Ölçüm ekipmanı yeterlilik analizleri çalışmalarında kabul şartı olarak potansiyel yeterlilik indeksi ve kritik yeterlilik indeksi 1,33 değerinden büyük ya da bu değere eşit olmalıdır (Ege, 2022). Bazı durumlarda kabul değeri müşteri şartlarına bağlı olmakla birlikte bu durumlarda kabul şartları müşteriler tarafından belirlenen değerlerdir.

Aşağıda yer alan örnek uygulama yeni alınmış bir ölçüm ekipmanı için gerçekleştirilmiştir. Ölçüm faaliyetine başlamadan önce ölçümcüye çalışmanın amacı ve ölçme metodu anlatılmış, ölçümcünün ölçüm ekipmanını uygun biçimde kullanıp

kullanmadığı teyit edilmiştir. Uygulamada aynı operatör aynı parçayı 50 defa peş peşe ölçmüş ve sonuçlar Şekil 53’de yer alan forma kaydedilmiştir.

Ölçüm faaliyeti gerçekleştirilirken önemli olan bir husus, operatörün her bir ölçümü yaptıktan sonra ölçüm ekipmanını ve ölçülen parçayı elinden bırakmasıdır. Yani her ölçüm öncesi operatör ölçüm ekipmanını ve iş parçasını tekrar almakta ve ölçüm yapmaktadır. Ayrıca, ölçüm ekipmanı yeterlilik analizi yapılırken operatör ölçtüğü parçanın tolerans aralıklarını bilmemekte böylece iş parçasının doğru ya da yanlış parça olduğunu bilmemekte ve ölçüm değerlerini etkilememektedir. Bu şekilde 50 parçanın ölçümü tamamlandıktan sonra ölçülen parçanın üst ve alt limiti Şekil 53’de gösterilen forma işlenmiştir. Son olarak, şirket kararlarına ya da müşteri taleplerine bağlı olarak tolerans değeri tanımlanmıştır. Aksi belirtilmediği müddetçe hesaplamalarda tolerans değeri %20 olarak belirlenebilmektedir (Ege, 2022).

Gerekli hesaplamalar gerçekleştirildikten sonra elde edilen potansiyel yeterlilik indeksi ve kritik yeterlilik indeksi değerleri, kabul değeri ile karşılaştırılmıştır. Hesaplanan her iki değer kabul değerine eşit ya da kabul değerinin üstünde ise bu ekipman kullanım için uygundur ve ölçüm sistemlerine dahil edilebilir. Ancak unutulmamalıdır ki, ölçüm ekipmanı yeterliliği analizi yapmak demek bu ekipmanın şirketin ölçüm sistemleri analizi (MSA) kapsamında uygun bir ekipman olduğu anlamını taşımamaktadır. Çünkü ölçüm ekipmanı yeterliliği analizinde metot, ölçümcü, çevre şartları, malzeme faktörleri sabit kabul edilmiş ve yalnızca ölçüm ekipmanının ölçüm sonuçlarına etkisi araştırılmıştır. Ancak ileriki bölümlerde belirtileceği üzere, ölçüm sistemi analizlerinde ölçüm faaliyetindeki diğer faktörlerin de etkisi dahil edilerek değerlendirme yapılması gereklidir.

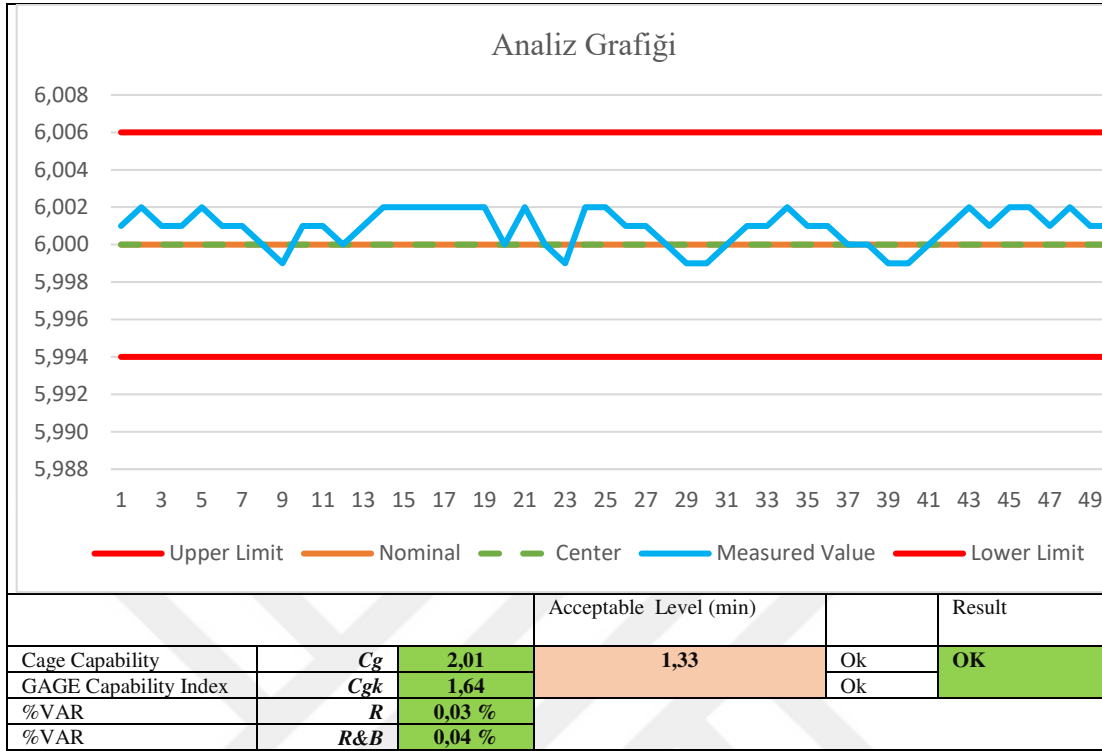
Ölçüm Verileri			
Değer			
1	6,001	26	6,001
2	6,002	27	6,001
3	6,001	28	6,000
4	6,001	29	5,999
5	6,002	30	5,999
6	6,001	31	6,000
7	6,001	32	6,001
8	6,000	33	6,001
9	5,999	34	6,002
10	6,001	35	6,001
11	6,001	36	6,001
12	6,000	37	6,000
13	6,001	38	6,000
14	6,002	39	5,999
15	6,002	40	5,999
16	6,002	41	6,000
17	6,002	42	6,001
18	6,002	43	6,002
19	6,002	44	6,001
20	6,000	45	6,002
21	6,002	46	6,002
22	6,000	47	6,001
23	5,999	48	6,002
24	6,002	49	6,001
25	6,002	50	6,001

Cause Capability			
New GAGE	☐	GAGE No	111
		Type of GAGE	Micrometer
After Maintenance	☐	Part No	222
		Characteristic	Diameter
Move to GAGE	☐	Unit	mm
		Date	27.03.2021
Management Request	☐	Operator Name	A.Y
Customer Request	☐		
Capability Plan	☐		
Supplie	☐		
New	☐	Current	☐
Name (If Supplier)		Measured Max. Value	Xmax 6,002
Other	☐	Measured Min. Value	Xmin 5,999
Explains (if Other)		Range	R 0,003
		Avarage	Ȳ 6,00090
		Standart Deviation	S 0,000995
Upper Tolerance Limit	UTL 6,030	3*S	0,002985
Part Nominal Value	6,000	6*S	0,005969
Lower Tolerance Limit	5,970	Number of out MAX. Tolerance	Nok (+) 0
Percent of Tolerance for cg-cgk	LTL 20%	Number of out MIN. Tolerance	Nok (-) 0
Tolerance (UTL-LTL)	0,060	Total Number Of Out Tolerance	Nok 0
Refrances Value	6,002	Sample size	N 50

Şekil 53. Örnek Yeni Alınmış Bir Ölçüm Ekipmanı İçin Analiz-1

Kaynak: (Ege, 2022)

Şekil 54. örnek yeni alınmış bir ölçüm ekipmanı için analiz-2 gösterilmektedir.



Şekil 54. Örnek Yeni Alınmış Bir Ölçüm Ekipmanı İçin Analiz-2

Kaynak: (Ege, 2022)

Bu örnekte potansiyel yeterlilik indeksi ve kritik yeterlilik indeksi değerleri kabul limitinin üzerinde çıkmıştır. Yani bu ölçüm ekipmanı şirketin ölçüm sistemine dahil edilebilir. C_g değerinin kabul limitinin altında olduğu durumlar için, bu ölçüm ekipmanının tekrarlanabilirlik yeteneği uygun değildir yorumu yapılır. Bu durumda ölçüm ekipmanında tekrarlanabilirliğe etkisi olan gevşek, esneme ihtimali bulunan yerler tespit edilerek gerekli küçük bakım onarım faaliyetleri yapılması önerilir. C_{gk} değeri kabul limitlerini sağlamaz ise cihaz için hem tekrarlanabilirlik hem de sapma yeteneği uygun değildir yorumu yapılır. Tekrarlanabilirlik için küçük çapta bakım, tamir, sıkma gibi işlemler yapılırken, sapma değerini iyileştirmek için yani cihazın doğru değeri göstermesi için ise cihazın gösterge sistemine müdahale edilip, referans değerinin doğru göstermesi sağlanır. Ölçüm ekipmanı yeterlilik analizi sonucu uygun çıkmayan kritere bağlı olarak düzeltme faaliyetleri yapıldıktan sonra, ölçüm ekipmanı yeterlilik analizi tekrarlanır ve sonuçlar tekrar yorumlanır. Aynı durum devam ediyorsa, cihazın daha geniş toleranslarda çalışacak proseslere uygun olduğu sonucuna

varılır ve cihaz daha kaba proseslerde kullanılır ya da aynı cihaz hiçbir şekilde kullanıma alınmaz, ölçüm sistemine dahil edilmez.

2.2.4.2. Makine Yeterlilik Analizi

Makine yeterlilik çalışmaları, finiş işlem yapılan makinelerde uygulanmaktadır. Bu analiz diğer değişkenlerin (malzeme, metod, insan, çevre) sabit tutulup, yalnızca makinenin etkisini belirlemek için yapılmaktadır. Müşteriler tarafından aksi belirtilmedikçe, makine yeterlilik katsayıları C_m ve $C_{mk} \geq 1,33$ alınabilir. Makine yeterlilik çalışması aşağıdaki sıralanan durumlarda, makinenin çalışan tüm eksenleri için yapılabilir (Ege, 2022);

- Yeni alınan makinelere,
- Makine bindirmesi ve benzer bir durumun ortaya çıkmasından dolayı yapılan bakım sonrasında,
- Makine yerinin değiştirilmesinden sonra,
- Makinenin bulunduğu ortamı etkileyen deprem, yer kayması ve buna benzer etkilerden sonra.

Makine yeterlilik çalışması öncesi aşağıda sıralanan birtakım şartların sağlanması gerekmektedir;

- Aynı veya benzer operasyonlarda tecrübeli operatör seçilmeli ve operatöre, makine yeterlilik ile ilgili detay bilgiler (amaç ve metod) verilmelidir.
- Yeterlilik için en az 70 adet parça hazır bulundurulmalıdır (ilk işlenen 10 ve son işlenen 10 adet parça ölçülmez ve makine yeterlilik çalışmasına dahil edilmez yani çalışma 50 adet parça için yapılır).
- Toplam toleransın 1/10'u hassasiyetli ve kalibrasyonu yapılmış ölçü aleti ve bu ölçü aletini kullanacak operatör hazır bulundurulmalıdır.
- Ortam sıcaklığının 20-25 derece ya da seri üretim sıcaklığı olmasına dikkat edilmelidir. Aşırı soğuk ve aşırı sıcak ortamlarda makine yeterlilik çalışması yapılmaz.

- Yeterlilik çalışmasında makine haricindeki proses bileşenleri (malzeme, metot, insan, çevre) en iyi koşulda tutulmalıdır.
- Makine yeterlilik uygulamasında uygun ayar yapılmalı, makine rejime girdikten sonra, parçalar işlenmeye başlanmalı, ilk 10 parça ölçülmeyip, 11. parçadan itibaren, her parçaya, işleme sıra numarası, 1'den başlayarak yazılmalıdır.

Ayrıca, örnek alma esnasında herhangi bir sebeple (elektrik kesintisi, arıza, takım kırılması, ayar, makinenin bilinmeyen nedenden dolayı durması vb.) duraksama meydana gelirse çalışma tekrar baştan yapılmalıdır. Makine yeterlilik çalışmasında işlenen parçalar, işleme sırasına göre numaralandırılmalı ve aynı karakteristikler aynı ölçüm ekipmanı ve aynı ölçüm operatörü tarafından ölçülmelidir. Veriler makine yeterlilik formüllerine göre hesaplanmalı ve elde edilen sonuçlar analiz edilmelidir. Makine yeterlilik çalışması yapılırken aşağıda sıralanan faktörlerin sabit kalması yani analiz boyunca değişmemesine dikkat edilmelidir. Bu faktörlerin herhangi birinde değişiklik olursa çalışma baştan tekrarlanmalıdır.

Malzeme: Makine yeterlilik çalışmasında işlenecek olan parçalar, bir önceki işlemi yapılmış parçalar arasından, nominal ölçüye yakın olacak şekilde yeterli miktarda seçilerek muhafaza edilmelidir.

Metot: Makine yeterlilik çalışması esnasında her zaman kullanılan cinsteki kesici takım kullanılmalı, proses sırasında soğutma sıvısı, devir sayısı vb. değişkenlerde değişiklik yapılmamalıdır.

İnsan: Makine yeterlilik çalışması esnasında konuyu en iyi bilen operatör çalıştırılmalı, işleme ara verilmemeli ve personel değişikliği yapılmamalıdır.

Çevre: Çevre koşullarının prosese en az etki ettiği bir zamanda çalışma yapılmalıdır. Makine yeterlilik çalışması için uygun zaman mesai başlangıcından 1 – 1,5 saat sonrası olabilmektedir. Makine yeterlilik değeri **Cm** Denklem (19) yardımıyla elde edilir.

$$Cm = \frac{UTL-ATL}{6\sigma} \quad (19)$$

Burada,

Cm: Makine yeterlilik değeri

Cmk: Kritik makine yeterlilik indeksi = min

ÜTL: Üst tolerans limiti (teknik resim üst toleransı)

ATL: Alt tolerans limiti (teknik resim alt toleransı)

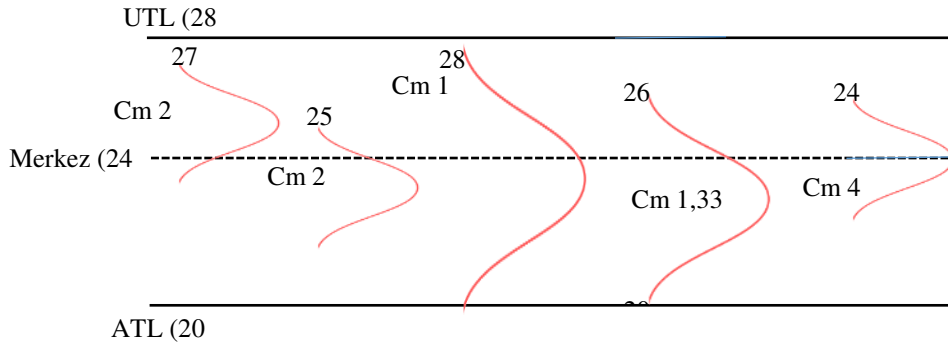
S: Standart sapma

$\bar{X}$: Örneklerin aritmetik ortalamasıdır.

Cm makine yeterliliği değeri sadece makine bağımlı faktörlerin etkisinin geçerli olduğu koşullarda, makinenin üretim ve tekraralama yeteneğini belirlemek için yapılır. Bu noktada, iki temel çıkarım yapmak mümkündür (MSA, 2010);

- **Cm** değeri ne kadar yüksekse, makine o kadar iyi kabul edilir.
- Normal dağılım eğrisi merkezden kaçmış olsa bile yayılımı aynı ise Cm değerinin değişmediği kabul edilir.

Şekil 55’de makine yeterlilik indeksi görülmektedir.



Şekil 55. Cmk Makine Yeterlilik İndeksi

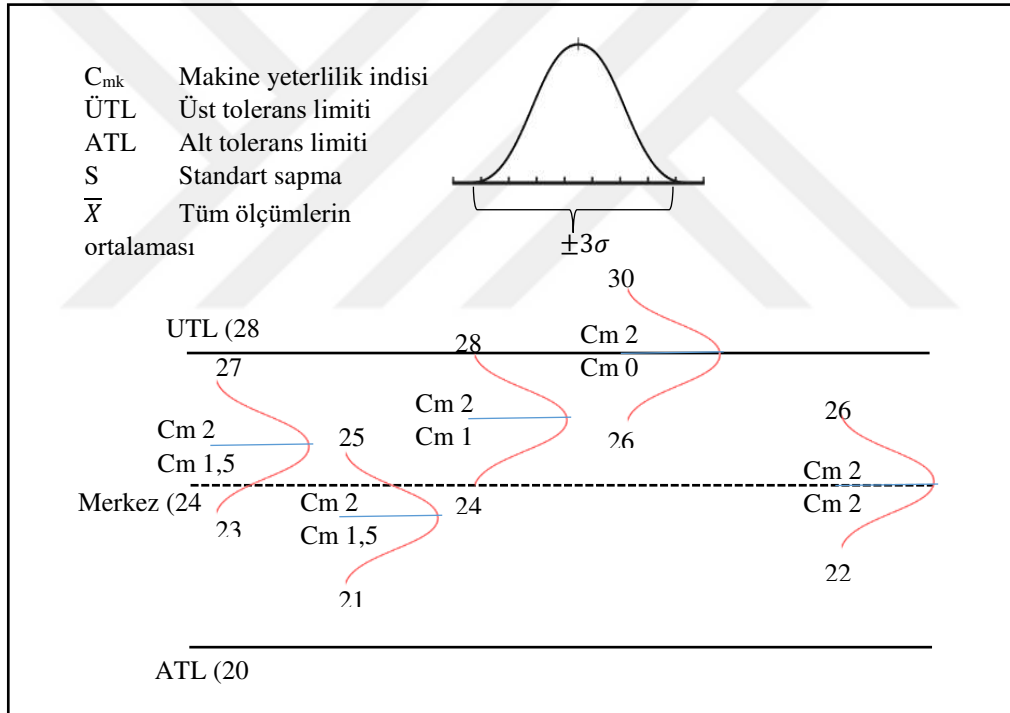
Kaynak: (Ege, 2022)

Cmk makine yeterlilik indeksi, dağılımın toleranslara göre konumunu temsil etmektedir.

- Dağılım eğrisine ait ortalama değer, merkezden uzaklaştıkça yani alt ve üst toleransa yaklaştıkça C_{mk} değeri azalır.
- Dağılım eğrisine ait ortalama değer toleranslar üzerine gelirse C_{mk} değeri sıfıra eşit olur.
- Dağılım eğrisine ait ortalama değer toleransın dışına çıkarsa C_{mk} negatif değer alır.

C_{mk} değeri Denklem (20) yardımıyla elde edilmekte ve Şekil 56'de, C_{mk} makine yeterlilik indeksi dağılımının toleranslara göre konumu gösterilmektedir.

$$C_{mküst} = \frac{UTL - \bar{X}}{3 \cdot S} \quad C_{mkalt} = \frac{\bar{X} - ATL}{3 \cdot S} \quad C_{mk} = \min(C_{mküst}; C_{mkalt}) \quad (20)$$



Şekil 56. C_{mk} Makine Yeterlilik İndeksi Dağılımının Toleranslara Göre Konumu

Kaynak: (Ege, 2022)

C_m ve C_{mk} makine yeterlilik indeks değerlerinin her ikisinin de minimum 1,33 değerinde olması beklenmektedir (Ege, 2022). Ancak şirket politikasına ve müşteri taleplerine göre bu değerler, 1,67 veya 2,00 de olabilmektedir. Makine yeterlilik

alışması sonunda elde edilen C_m ve C_{mk} değerleri yukarıda belirtilen kabul şartları ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda eğer elde edilen C_m değeri kabul şartlarının altında ise makinenin kendisinden ortaya çıkan değişkenlik kabul edilemezdir. Bu durumda makineye kapsamlı bir BAKIM faaliyeti uygulanmalıdır (Bu bakım çalışması ile makinenin niteliğine bağlı olarak; boşluk, titreşim, paralellik, aşırı ısınma, aşırı ses vb. problemler giderilir). Yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen C_{mk} değeri kabul şartlarını sağlamıyor ise makinede tekrar SETUP (AYAR) işlemleri yapılarak değerler nominale (tolerans hedef değerine) çekilmelidir. Gereklidüzeltmeler yapıldıktan sonra yeterlilik çalışması tekrar edilir. Elde edilen sonuçlar kabul değerinin altında ise ilgili makinenin çalışabileceği hassasiyet hesaplanır. Eğer makineye uygun hassasiyetli işler yoksa makine bakıma alınarak makinenin hassasiyeti sağlanır ya da bu makineden çıkan ürünlerin tüm karakteristikleri %100 ölçülerek ayıklanır ki bu pahalı bir işlemdir ve sıklıkla tercih edilmemektedir. Böyle bir durumda hiçbir şey yapılamadığı takdirde ise makine kullanım dışı bırakılır. Şekil 57’de makine kapasite sınıflaması örneği gösterilmektedir.

Machine Capability Study				Report No: 33	
Short Term Performance				Report Date: 28.06.2022	
Measurement Data		Cause Of Capability		Data Details	
Value					
1	18,968	<u>Customer Request</u>		Machine No CNC0001	
2	18,970			Type of Machine CNC	
3	18,974			Part No I111	
4	18,974			Operation Name D.AYGAN	
5	18,973			Axis / Characteristic X Çap	
If Other				Control Equipment Name MİKROMETR	
6	18,973	<u>Technical Drawing</u>		E	
7	18,972			Control Equipment No M01	
8	18,975			Value Unit mm	
9	18,974			Study Date 30.03.2021	
10	18,975			Operation Name HASAN ESKİ	
11	18,975	Upper Tolerance Limit UTL 18,980 mm			
12	18,973	If only Nominal Value 18,970 mm			
13	18,971	Lower Tolerance Limit LTL 18,950 mm			
		Total Tolerance 0,030 mm			
14	18,974				
15	18,970				
16	18,974				
17	18,973				
18	18,973				
19	18,972				
20	18,972				
21	18,970				
22	18,970				
23	18,972				
24	18,974				
25	18,973				
26	18,971				
27	18,971				
28	18,973				
29	18,974				
30	18,973				
31	18,971				
32	18,972				
33	18,973				
34	18,974				
35	18,971				
36	18,973				
37	18,970				
38	18,972				
39	18,969				
40	18,970				
41	18,969				
42	18,970				
43	18,969				
44	18,970				
45	18,971				
46	18,970				
47	18,971				
48	18,969				
49	18,970				
50	18,969				

Result acc to Valid N

N50

Maximum18,975

Minimum18,968

Range0,007

Nok (+)0

Nok (-)0

Result acc to Valid N

Mean18,972

Stn.Deviation0,002

Mode18,970

Median18,972

Kurtasis-1,113

Skewness-0,048

Analysis Graphic

135791113151719212325272931333537394143454749

Upper LimitValueNominal

Lower LimitCenter

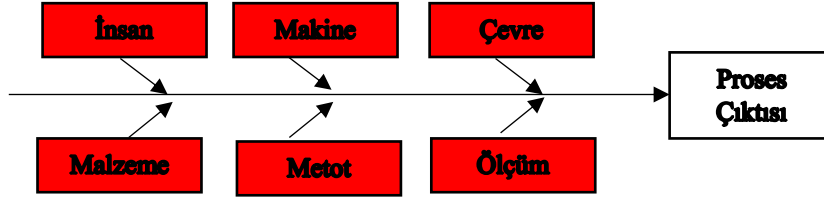
Distribution (Shapire Wilk)	Machine Capability C_m	Machine Capability Index C_{mk}	Acceptable Level (min)	Result
Normal Distribution	2,65	1,45	1,67	Machine Not Capable

Şekil 57. Makine Kapasite (Yeterlilik) Çalışması

Kaynak: (Ege, 2022)

2.2.4.3. Proses Performansı Analizi

Proses performansı analizi, makine dahil procese etki eden tüm unsurların proses çıktısına olan etkisini belirlemek için uygulanmaktadır. Analiz, mevcut prosesin o anki kesin durumunu göstermekte olup kesin bir değerdir yani analiz gelecek durum ile ilgili tahmin yürütmemektedir. Şekil 58’da proses yeterlilik çıktısı gösterilmektedir.



Şekil 58. Proses Yeterlilik Çıktısı

Kaynak: (Ege, 2022)

Proses performansı çalışması aşağıda sıralanan durumlarda gerçekleştirilmektedir (MSA, 2010);

- Ön seri üretim aşamasında,
- Yeni proseslerde,
- Seri üretimi devam eden ancak kararlı (stabil) olmayan proseslerde,
- Seri üretimde ancak kısa süreli ya da küçük lotlarda.

Proses performansı hesaplamalarında tıpkı makine yeterlilik analizinde olduğu gibi, proses performansı değeri P_p ve proses performansı indeksi P_{pk} değerleri hesaplanırken gerçek standart sapma formülü kullanılmaktadır. Proses performansı değeri olan P_p , partideki ölçülen tüm parçaların dağılımı hakkında bilgi vermekte ve yeterliliği göstermektedir. Proses performans değeri Denklem (21) kullanılarak hesaplanır.

$$P_p = \frac{UTL - ATL}{6 \cdot S} \quad (21)$$

Proses performansı indeks değeri olan P_{pk} , ölçümlerden elde edilen dağılımın alt ve üst toleranslara göre konumunu göstermekte olup Denklem (22) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$P_{pküst} = \frac{UTL - \bar{X}}{3 \cdot S} \quad P_{pkalt} = \frac{\bar{X} - ATL}{3 \cdot S} \quad P_{pk} = \min(P_{pküst}; P_{pkalt}) \quad (22)$$

2.2.4.4. Proses Yeterliliği Analizi

Proses yeterliliği analizi prodesteki makine dahil malzeme, metot, insan, çevre değişkenlerinden ortaya çıkan doğal varyasyonun incelenmesini içermektedir. Proses yeterliliği analizi, proses kararlılığının durumunu ve çıktı sonuçlarının tahmin edilebilmesini sağladığından günümüz sanayisinde çok önemli bir yere sahiptir (MSA, 2010). Proses kararlılığını belirlemek için yapılan proses yeterliliği analizleri sayısal olarak C_p ve C_{pk} indeksleri ile ifade edilmekte olup bu değerlerin hesaplanmasında tahmini standart sapma formülü kullanılmaktadır. C_p ve C_{pk} indeksleri prosesin genel dağılımı hakkında detaylı bilgi vererek, prosesin olası tolerans dışına çıkma eğilimlerinin veya potansiyel problemlerin önceden tespitine olanak sağlamaktadır. C_p ve C_{pk} parametreleri spesifikasyon limitleri ile dağılım arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır.

Proses yeterliliği analizi, proses devam ederken ortalama - aralık kontrol kartından elde edilen değerler ile hesaplanmaktadır. Yani, makine yeterliliğinde ve proses yeterliliğinde olduğu gibi bu analiz için özel bir veri ölçümü yapılmamaktadır. C_p indeksi, sadece prosesin yayılımını göstermekte olup tek başına prosesin mevcut durumu hakkında yeterli bilgiyi içermemektedir. C_{pk} ise hem prodesteki yayılımı hem de dağılımın konumunu belirtmektedir. Proses yeterliliği analizinde aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmektedir (MSA, 2010).

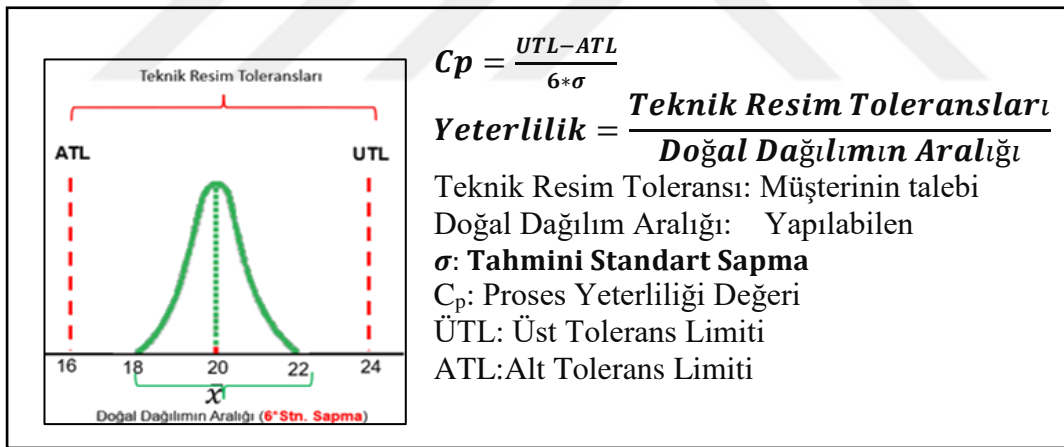
- Kontrol edilecek ölçü belirlenir,
- Makine Teknik Resim limitlerine göre uygun biçimde ayar yapılır,
- Prosesle uygun, personel ve ölçüm ekipmanı (Ölçüm ekipmanı hassasiyeti, toleranstan en az 1/10 oranında daha hassas olmalı) sağlanır,
- Kontrol frekansı belirlenir (1 saat, 2 saat, vardiya, gün vb.),

- Alt grup sayısı belirlenir (Yaygın olarak 5 adet uygulansa da, alt grup sayısı 2'den fazla olabilir),
- Örnek alma miktarı belirlenir (Genellikle 25 adet örnek seçilir),
- 25 örneğin her biri için Xort ve R değerleri hesaplanır.

Proses yeterliliği değeri olan C_p , prosesteki tüm unsurların (makine, fiktür-aparat, malzeme, metot, insan, çevre) değişkenliğinden ortaya çıkan doğal varyasyonun incelenmesidir. Bu değer, proses kararlılığını ve sonraki sonuçların tahmin edilebilmesini sağladığından günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Proses yeterliliği hesaplanmadan önce,

- Prosesin stabil olduğundan,
- Verilerin normal dağılım gösterdiğinden,
- Örneklemenin yeterli olduğundan emin olunmalıdır (MSA, 2010)

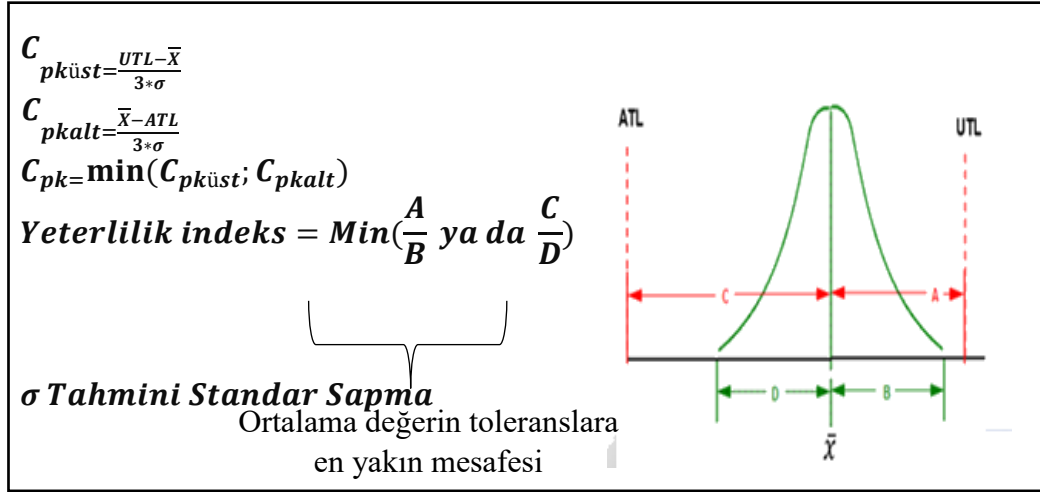
Şekil 59'de C_p proses yeterliliği değeri gösterilmektedir.



Şekil 59. C_p – Proses Yeterliliği Değeri

Kaynak: (Ege, 2022)

Proses yeterliliği indeksi olan C_{pk} , proses dağılımının toleranslara göre yeri hakkında detaylı bilgi vererek, olası tolerans dışına çıkma eğilimlerinin veya potansiyel problemlerin önceden tespit edilebilmesi sağlamaktadır. C_{pk} parametreleri, teknik resim tolerans limitleri ile dağılım arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktadır. Şekil 60'de C_{pk} proses yeterliliği indeksi gösterilmektedir.



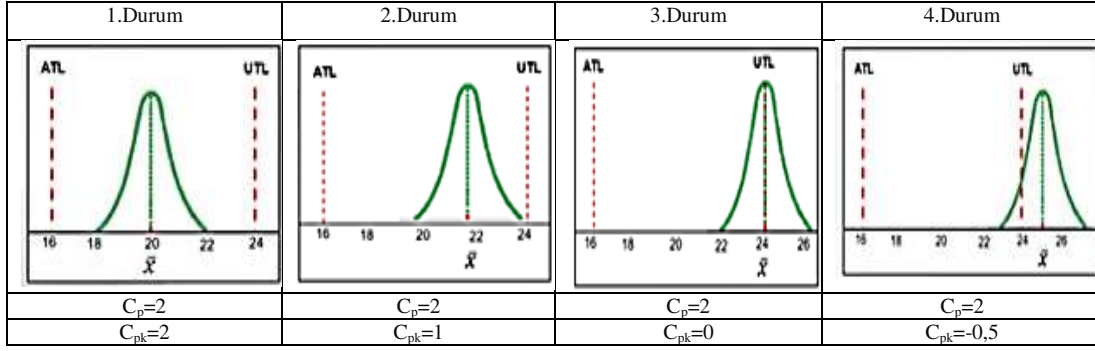
Şekil 60. C_{pk} – Proses Yeterliliği İndeksi

Kaynak: (Ege, 2022)

C_p ile C_{pk} değerleri arasındaki ilişki durumları aşağıdaki gibi tanımlanabilir (MSA, 2010);

- Durum 1: Dağılımın ortalaması ile tolerans limitlerinin ortası aynı değerse C_p değeri, C_{pk} değerine eşit olur.
- Durum 2: Dağılımın ortalaması, tolerans limitlerinin herhangi birine yaklaşıyorsa C_{pk} değeri, C_p değeri ile sıfır arasında yer alır.
- Durum 3: Dağılımın ortalaması, tolerans limitlerinden biri ile üst üste gelirse C_{pk} değeri sıfıra eşit olur.
- Durum 4: Dağılımın ortalaması, tolerans limitlerinden herhangi birinin dışında ise C_{pk} değeri negatif olur.
- C_{pk} değeri hiçbir zaman C_p değerinden büyük olamaz bu değere eşit olabilir.

Şekil 61’da C_p değeri ile C_{pk} değeri arasındaki ilişki grafikleri yer almaktadır.



Şekil 61. C_p ile C_{pk} Arasındaki İlişki Grafiği

Kaynak: (Ege, 2022)

Müşteriler tarafından aksi belirtilmedikçe proses yeterliliği kabul değeri C_p ve C_{pk} için $\geq 1,67$ 'dir. Ancak yeterlilik analizi uygulanan karakteristik, güvenlik ya da regülasyon özelliği taşıyorsa bu değer yükseltilir. Tablo 9'da C_p yeterlilik değeri tablosu ve Tablo 10'da ise C_{pk} yeterlilik indeksi tablosu gösterilmektedir.

Tablo 9. C_p Yeterlilik Değeri Tablosu

C_p yeterlilik değeri	Proses	Otomotiv için
$C_p < 1$	Yeterli değil	Kabul edilmez
$1 < C_p < 1,33$	Yeterli	Kabul edilmez
$1,33 < C_p < 1,67$	Yeterli	Kabul edilebilir ancak iyileştirilmelidir
$1,67 < C_p < 2$	Yeterli	Kabul (PPAP 4 edition kabul değeri)
$C_p > 2$	Yeterli	Kabul edilir

Kaynak: (Ege, 2022)

Tablo 10. C_{pk} Yeterlilik İndeksi Tablosu

C_{pk} yeterlilik indeksi	Otomotiv için
$C_{pk} < 0$	Proses ortalaması tolerans limitlerinin dışındadır
$C_{pk} = 0$	Proses verilerinin ortalaması tolerans limitlerinin birine eşittir
$0 < C_{pk} < 1$	Proses sonuçlarının bir kısmı tolerans limitlerinin içindedir
$C_{pk} = 1$	C_p değerine bağlı olarak proses sonuçlarının bir kısmı spefikasyonları karşılar
$C_{pk} > 1$	Ölçülen değerlerin tamamı tolerans limitleri içindedir

Kaynak: (Ege, 2022)

C_{pk} indeksi kabul şartlarını sağlamıyorsa tekrar ayar (setup) yapılarak, ölçü nominal değerlere çekilir. Böylece C_{pk} değeri yükseltilir. Çünkü, verilerin ortalaması nominal değere yani toleransın ortasına ne kadar yakın ise C_{pk} değeri o kadar büyük olur ve kabul değerlerini sağlar. C_p değeri kabul değerlerini sağlamıyorsa proses

faktörlerinin yani makine, malzeme, metot, operatör, çevre ve ölçüm faktörlerinin etkisi kabul edilemez denir. Prosesin yetersiz çıkmasına neden olan bu faktörler, ortalama-aralık kontrol kartındaki olay kayıtları incelenerek bulunup, faktörlerin etkileri ortadan kaldırılana kadar prosesten çıkan tüm ürünler %100 ölçülerek değerlerin garanti altına alınması sağlanır.

Örnek Uygulama: CNC ile gerçekleştirilen tornalama prosesinde, parçaya ait teknik resim ölçülerine göre parçanın çapı 20 ± 2 mm'dir. Ölçülen parçaların ortalama değeri 20,4 mm ve standart sapması ise 0,4'dir. Bu proses için proses yeterliliği değerini ve proses yeterliliği indeksini hesaplayınız.

Çözüm:

Nominal ölçü:	20	
ÜTL Üst Tolerans Limiti:	22	$C_p = \frac{22-18}{6 \cdot 0,4} = 1,67$
ATL Alt Tolerans Limiti:	18	$C_{pküst} = \frac{22-20,4}{3 \cdot 0,4} = 1,33$
Xort Ortalama değer:	20,4	$C_{pkalt} = \frac{20,4-18}{3 \cdot 0,4} = 2$
σ Standart Sapma:	0,4	
$C_p = \frac{UTL-ATL}{6 \cdot \sigma}$		
$C_{pküst} = \frac{UTL-\bar{X}}{3 \cdot \sigma}$		
$C_{pkalt} = \frac{\bar{X}-ATL}{3 \cdot \sigma}$		
$C_{pk} = \min(C_{pküst}; C_{pkalt})$		

Hesaplanan C_p ve $C_{pküst}$ değerleri 1,33 e eşit ve bu değerden büyük olduğundan dolayı proses yeterlidir sonucuna varılır.

Aşağıda yer alan Tablo 11'de makine yeterliliği proses performans ve yeterliliği tablosu ve Tablo 12'de ise özel durumlar için C_{pk} değeri hesaplama tablosu yer almaktadır.

Tablo 11. Makine Yeterliliği Proses Performans ve Yeterliliği Tablosu

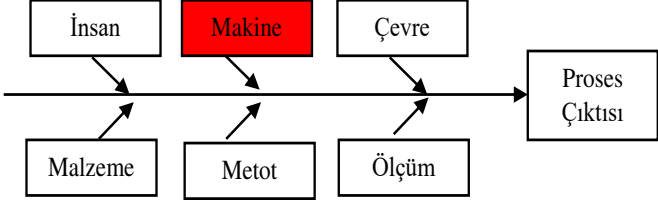
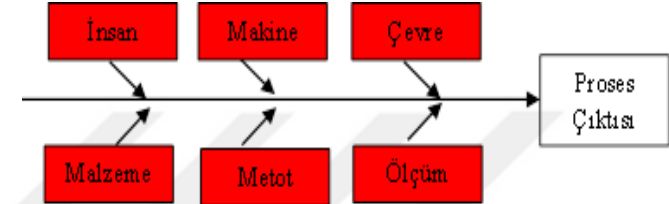
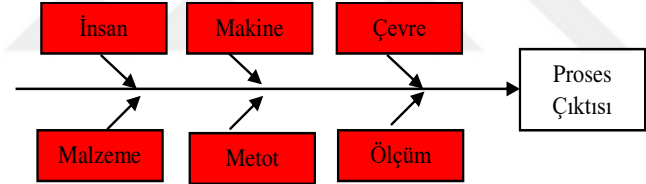
	Makine Yeterliliği	Proses Performansı	Proses Yeterliliği
	Makinenin yeterliliğini gösterir.	Prosesin performansını gösterir.	Prosesin yeterliliğini gösterir.
Ön seri üretim	--	Uygulanır.	Uygulanmaz.
Seri üretim	--	Kararlı olmayan seri üretimde	Kararlı seri üretimde
Lot Büyüklükleri	--	Kısa süreli ve küçük lotlarda	Uzun süreli ve büyük lotlarda
Proses/Makine	Yeni makine, Büyük arıza sonrası, Taşıma/yer değiştirme sonrası, Uzun süreli duruşlar sonrası	Yeni proseste	Yeni olmayan tüm proseslerde
Formül	Gerçek standart sapma kullanılır.	Gerçek standart sapma kullanılır.	Tahmini standart sapma kullanılır.
Bilgi	Kesindir. Makine şu anda tekrarlanabilirlik olarak nasıl?		
Miktar	Ardışık olarak üretilen tüm parçaların ölçümü yapılır.	Ardışık olarak üretilen tüm parçaların ölçümü yapılır.	Frekansiyel ölçümler ve örnekleme ile yapılır.
Kontrol Limitleri	Alt ve üst kontrol limitleri hesaplanmaz.	Kontrol kartlarında kullanılmak üzere Alt/üst kontrol limitleri hesaplanır.	Kontrol kartlarında kullanılmak üzere Alt/üst kontrol limitleri hesaplanır.

Kaynak: (Ege, 2022)**Tablo 12. Özel Durumlarda C_{pk} Değeri Hesaplama Tablosu**

	Durum Açıklaması	C _{pk}	Formül
Durum 1	Alt tolerans limitinin olmadığı durumlar. Örnek: Kauçuk parçanın sertlik değeri max. 85 shore A.	C _{pk} =C _{pküst}	$C_{pküst} = \frac{UTL - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}$
Durum 2	Üst tolerans limitinin olmadığı durumlar. Örnek: Metal parçanın sertlik değeri min 180 HB.	C _{pk} =C _{pkalt}	$C_{pkalt} = \frac{\bar{X} - ATL}{3 \cdot \sigma}$

Kaynak: (Ege, 2022)

Şekil 62 değişken ve sabit proses çıktısı sonuçlarını gösterirken Tablo 13’de yeterlilik ve indeksi standart / tahmini tablosuna ve Şekil 63’de ise yeterlilik ve indeks dağılımın şekli / dağılım konumu tablosuna yer verilmektedir.

Makine Yeterliliği	 Sadece makineye bağlı faktörlerin etkisini belirlemek için yapılır. Diğer proses unsurları SABİT kabul edilir. Tüm parçalar ölçülür.
Proses Performansı	 Makine dahil tüm proses unsurlarının proses çıktısına olan etkisini belirlemek için yapılır. Tüm proses unsurları DEĞİŞKENDİR. Tüm parçalar ölçülür. Kesindir.
Proses Yeterliliği	 Makine dahil tüm proses unsurlarının proses çıktısına olan etkilerini belirlemek için yapılır. Tüm proses unsurları DEĞİŞKENDİR. Frekansiyel ölçüm yapılır. Tahmine dayanır.
Değişken	Sabit

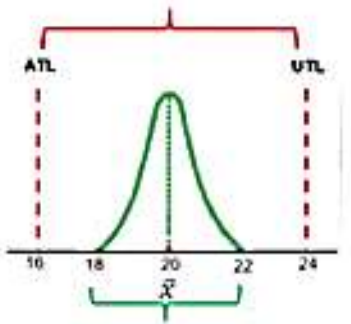
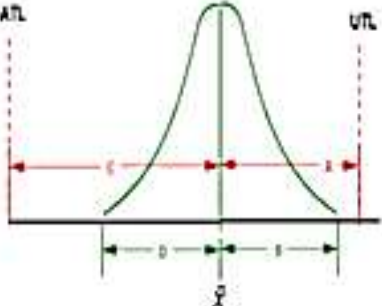
Şekil 62. Değişken ve Sabit Proses Çıktısı Sonucu

Kaynak: (Ege, 2022)

Tablo 13. Yeterlilik ve İndeksi Standart / Tahmini Tablosu

	Yeterlilik (c)	Yeterlilik İndeksi (Ck)
Makine Yeterliliği	$C_m = \frac{UTL - ATL}{6 * S}$	$C_{mküst} = \frac{UTL - \bar{X}}{3 * S}$ $C_{mkalt} = \frac{\bar{X} - ATL}{3 * S}$ $C_{mk} = \min(C_{mküst}; C_{mkalt})$
Proses Performansı	$P_p = \frac{UTL - ATL}{6 * S}$	$P_{pküst} = \frac{UTL - \bar{X}}{3 * S}$ $P_{pkalt} = \frac{\bar{X} - ATL}{3 * S}$ $P_{pk} = \min(P_{pküst}; P_{pkalt})$
Proses Yeterliliği	$C_p = \frac{UTL - ATL}{6 * \sigma}$	$C_{pküst} = \frac{UTL - \bar{X}}{3 * \sigma}$ $C_{pkalt} = \frac{\bar{X} - ATL}{3 * \sigma}$ $C_{pk} = \min(C_{pküst}; C_{pkalt})$
<i>S Gerçek Standart Sapma σ Tahmini Standart Sapma</i>		

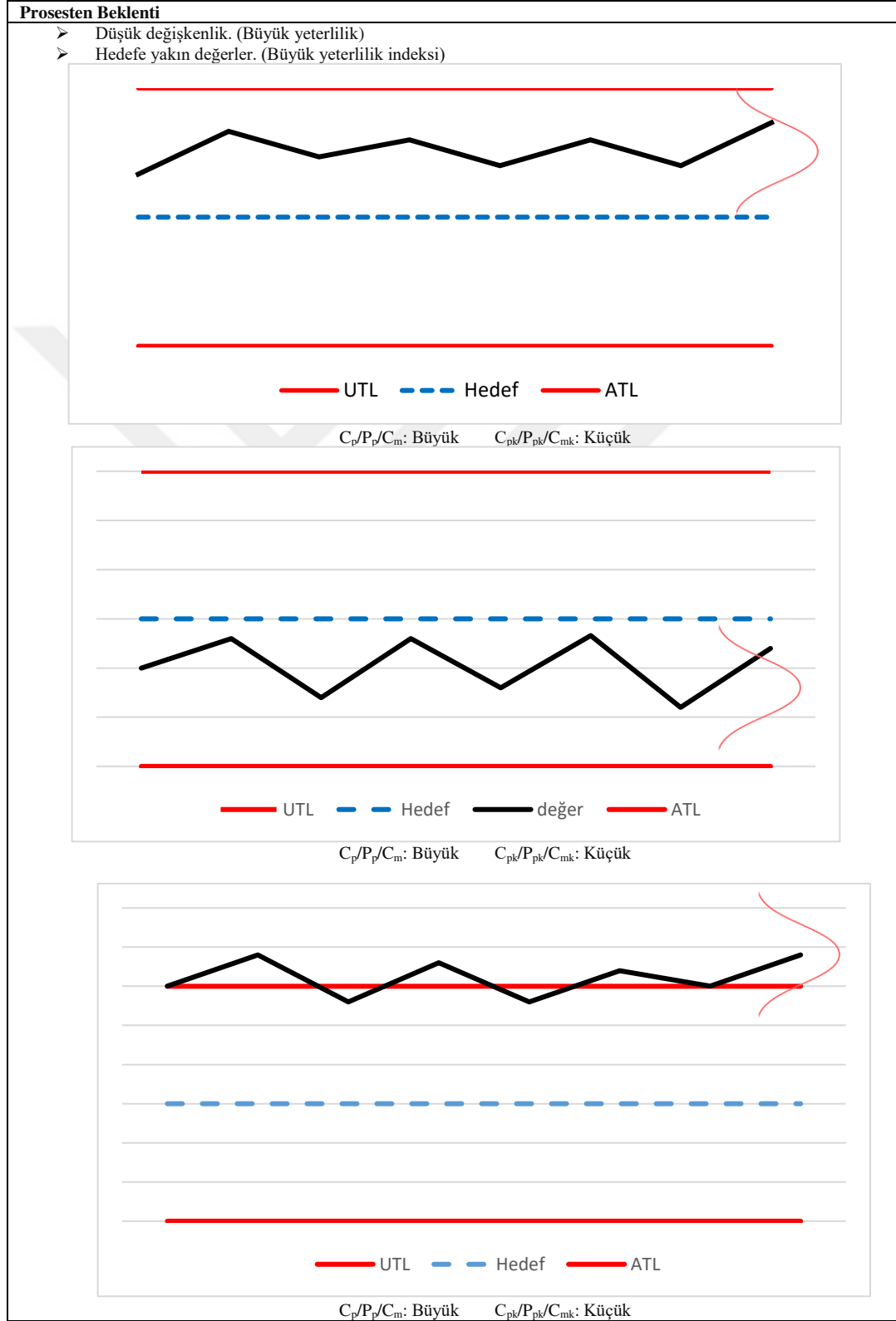
Kaynak: (Ege, 2022)

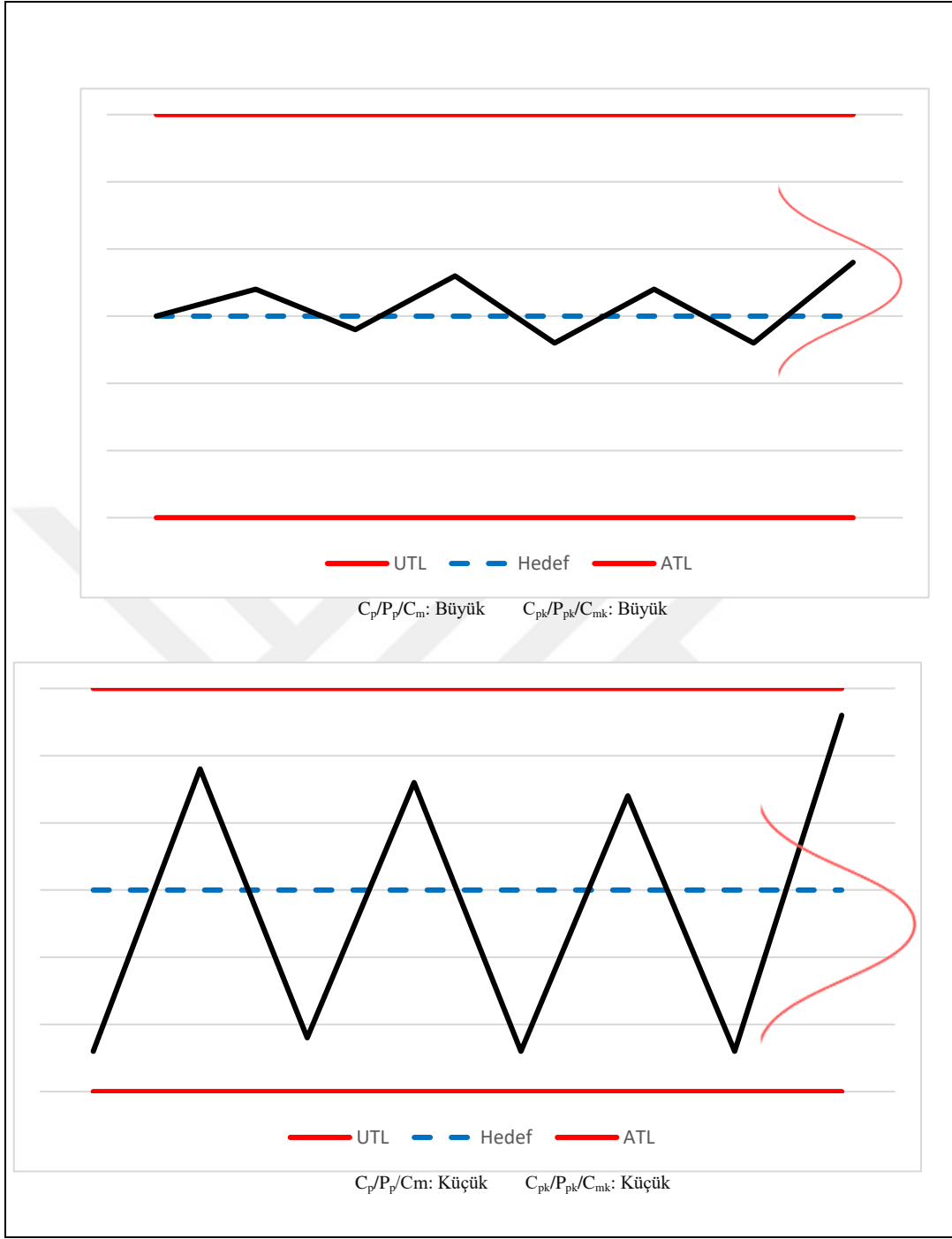
Yeterlilik ve Index	
Yeterlilik değeri Ölçüm verilerinden oluşan dağılımın şeklini (Açıklık-kapalılık) tanımlar. Teknik Resim Toleransları  Doğal Dağılımın Aralığı (6*Stn.sapma) Teknik Resim Toleransı: Müşterinin talebi Doğal Dağılım Aralığı: Yapılabilen $Yeterlilik = \frac{\text{Teknik Resim Toleransları}}{\text{Doğal Dağılımın Aralığı}}$	Yeterlilik İndeksi Toleranslara göre dağılımın konumunu tanımlar.  A/B: ortalama değer in alt veya üst toleransa en yakın mesafesi C/D: Ortalama değer in dağılım uç noktasına olan mesafesi $Yeterlilik indeksi = \min(\frac{A}{B} \text{ ya da } \frac{C}{D})$

Şekil 63. Yeterlilik ve İndeks Dağılımın Şekli / Dağılım Konumu Tablosu

Kaynak: (Ege, 2022)

Şekil 64 procesten beklenti sonuç tablosunu gösterirken Şekil 65 prototip üretim ve ön seri üretim proses performansını ve Şekil 66 APQP, MSA ve SPC sıralama tablosunu göstermektedir.





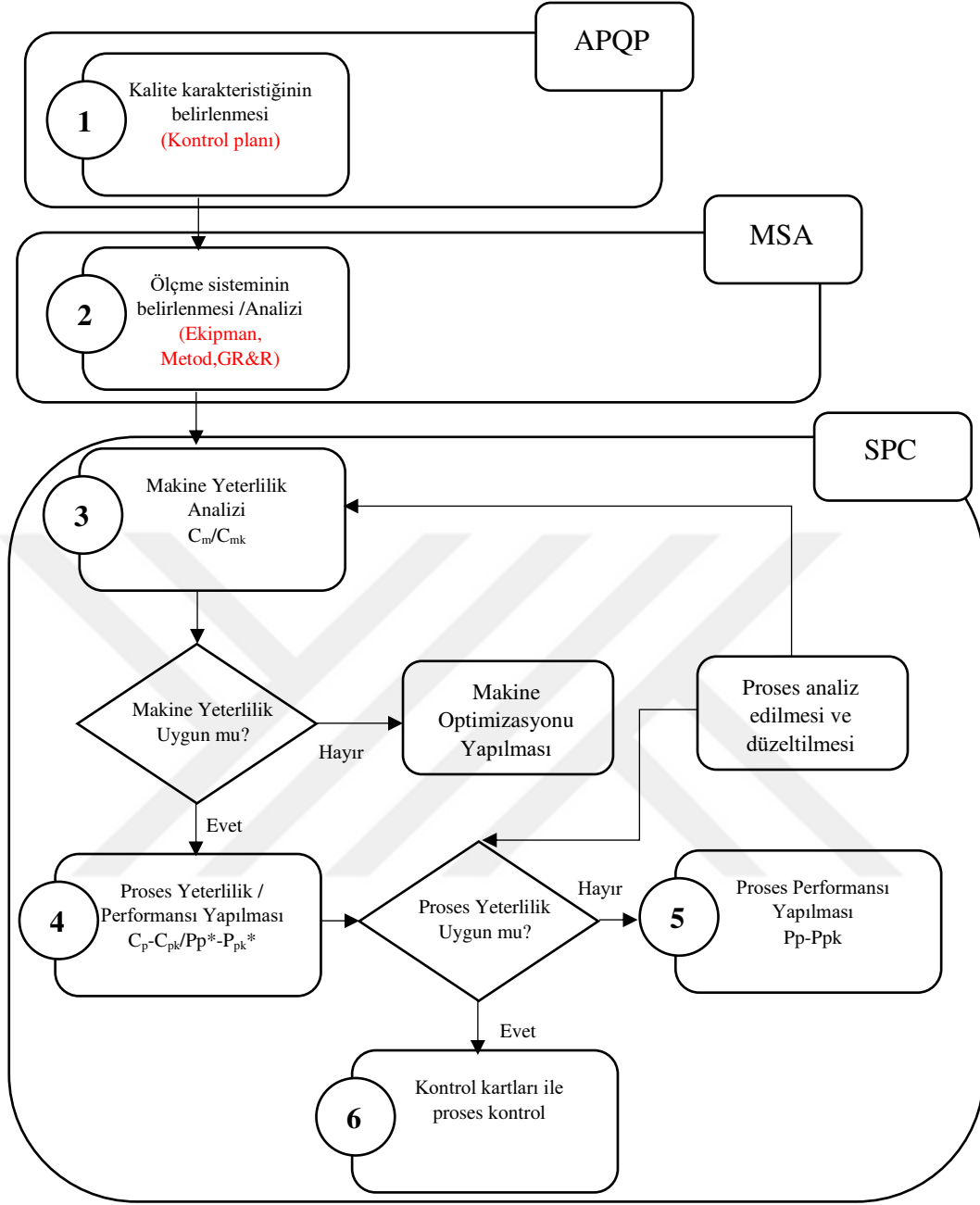
Şekil 64. Prosesten Beklenti Sonuç Tablosu

Kaynak: (Ege, 2022)

Prototip Üretim %100 Ölçme / Muayene			Ön Seri Üretim Proses Performansı ➤ Tüm parçalar ölçülür. ➤ Gerçek standart sapma ve P_p ve P_{pk} hesaplanır. ➤ Seri üretim için UKL-AKL, frekans ve örnek sayısı belirlenir.		
Seri Üretim					
Kontrol Kartları Operatör tarafından; $\bar{X} - R$, $\bar{X} - S$, $\bar{X} - Mr$ Kartları ile kayıt alınır.	Proses Yeterliliği ➤ 25 Alt Grupta uygun	İyileştirme Varyasyonun edenleri azaltılır.	Kontrol Kartları Yeni AKL/UKL ile kontrol devam eder.	Proses Yeterliliği ➤ İyileştirme sonrası tekrar C_p^*/C_{pk}^* hesaplanır. ➤ Yeni AKL/UKL	İyileştirme Varyasyonun edenleri azaltılır.
— UKL - - - XORT — AKL			— UKL - - - XORT — AKL		
			Sürekli İyileştirme		
Seri üretimdeki kararsız durumlarda ve küçük lotlarda C_p/C_{pk} yerine P_p/P_{pk} kullanılır.					

Şekil 65. Prototip Üretim ve Ön Seri Üretim Proses Performansı

Kaynak: (Ege, 2022)



Şekil 66. APQP, MSA ve SPC Sıralama Tablosu

Kaynak: (Ege, 2022)

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMANIN UYGULAMA ALANI FİRMA TANITIMI

3.1. Araştırmanın Uygulama Alanı

Bu bölümde bu tez kapsamında yapılan araştırmanın uygulama alanına, firmanın tanıtımına, sahip olduğu kalite belgelerine ve firmanın yatırım ve ürün geliştirme çalışmalarına yer verilmiştir.

3.1.1. Firmanın Tanıtımı

Çalışma yapılan firma 2001 yılında kurulmuş olup endüstriyel ürünler üretmektedir. Bakır alaşımları üzerine sıcak dövme ve talaşlı imalat yapan firma Gebze Organize Sanayi bölgesinde yer alıp ürünlerinin %98'ini ihraç etmektedir. Türkiye'nin en büyük ilk 500 firması içinde yer alan kuruluşun süreçleri ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi, ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi, ISO 10002 Müşteri memnuniyeti ve Şikayetleri Yönetim Sistemleri ile sertifikalandırılmıştır.

CNC tezgahlarında modern imalat yapan ve bir araştırma geliştirme merkezine sahip olan firmanın bu tez kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın yapıldığı fabrika görseli Şekil 67'da yer almaktadır.



Şekil 67. Fabrika Görseli

3.1.2. Firmanın Vizyon ve Misyonu

Torun Grubunun vizyonu, birlikte gelişmeye önem veren müşterilerine endüstriyel ürünleri farklı hammadde ve üretim proseslerini kullanarak, optimum maliyet, kalite ve hızda, global lokasyonlarda, müşterilerinin ihtiyacı olan entegrasyon becerilerini de sunarak, müşterilerine değer katan global bir marka olmak iken misyonu ise sırasıyla, müşterileri, çalışanları, tedarikçileri, sosyal ve ekolojik çevresi ve yatırımcıları için değer üretmektir.

3.1.3. Firmanın Ar-ge Merkezi ve Entegre Çözüm Süreçleri

Firma Ar-Ge merkezinde aşağıda sıralanan çalışmalar gerçekleştirilmektedir:

- **Ürün Tasarımı ve Geliştirme:** Firma ürün geliştirme tecrübesini tasarım aşaması da dahil olmak üzere müşterileriyle paylaşmakta, ürünlerde optimum tasarım ve fonksiyonelliği bulmak için geliştirmeler yapmaktadır.
- **Fiyat Optimizasyonuna Yönelik Tasarım:** Firma kaliteyi koruyarak yaptığı tasarımsal iyileştirmeler ile müşterilerine optimum maliyet sunmaktadır.
- **Üretim Ekipmanı Tasarımı:** Firma tasarım merkezi ekibi ile fabrikalarının günlük üretimde kullandığı tüm kesici ve delici takımların, kalıpların, aparat ve ekipmanların tasarımını kendi tesislerinde gerçekleştirmektedir.
- **Yeni Ürün Geliştirme:** Firma ileri teknolojiye sahip laboratuvar ve gelişmiş mühendislik yazılımları ile değerli fikirleri ürüne dönüştürme konusunda çözüm ortağı olmaktadır.
- **Süreç Optimizasyonu:** Firmanın Ar-Ge merkezi gelişmiş bilimsel optimizasyon yöntem ve araçlarını kullanarak; operasyonların ve makinelerin verimliliğini artırmak, üretim süreçlerini optimize etmek, yüksek kaliteli ürünler ortaya çıkarmak ve maliyetleri düşürmek için hizmet vermektedir.
- **Araştırma Projeleri İş birlikleri:** Firma, üniversite, araştırma enstitüleri ve müşterilerini kapsayan uluslararası birçok toplulukla farklı araştırma projeleri yürütmekte ve bilimsel çalışmalar gerçekleştirmektedir.
- **Girişimcilik:** Firma kurumsal girişimciliği ve çalışanlarının fikirlerini, fikir aşamasından prototip aşamasına kadar metal ve metal dışı her alanda desteklemektedir.

- Açık İnovasyon: Firmada müşteri, tedarikçi ve akademi iş birliğine inanılmakta ve yenilikçi çözümlerle farklılaşarak yeni modellerle tüm paydaşlara katkı sağlamaya çalışılmaktadır.
- Atölyeler ve Grup Çalışmaları: Firma tüm iş ortakları ile birlikte her zaman en iyi çözümü bulmaya çalışmakta, en iyi yetenekleri bulmak ve tüm paydaşlarla birlikte değer yaratmak için hackathonları, start-up'ları ve akademi'yi kullanmaktadır. Şekil 68'de firmanın Ar-Ge Belgesi gösterilmektedir.



Şekil 68. Ar-Ge Belgesi

3.1.4. Firmanın Kurumsal Kalite Sertifikaları

Torun Metal firması, ISO 9001, ISO 14001, ISO 27001, ISO 10002, ISO 45001, ISO 50001, Arge Merkezi, Tasarım Merkezi Sertifikası, AD 2000 ürün belgelendirme sertifikası, Yetkilendirilmiş Yükümlü Sertifikası ve Sıfır Atık Belgelerine sahiptir. Şekil 69'de firmanın ISO 9001:2015 ve ISO 10002:2018 Kalite Sertifikaları gösterilmektedir.



Şekil 69. ISO 9001:2015 ve ISO 10002:2018 Kalite Sertifikaları

Torun Metal Gebze Organize Sanayi Bölgesi Şubesi; IATF 16949, ISO 9001, ISO 45001, ISO 14001 Şekil 69’de ISO 14001:2015 Çevre Yönetim Sistemi Belgesi Şekil 70’de gösterilmektedir.



Şekil 70. ISO 14001-2015 Çevre Yönetim Sistemi Belgesi

Torun Çek, ISO 9001 belgesine sahiptir ve Şekil 71’de firmanın ISO 9001:2015 Kalite Sertifikası gösterilmektedir.



Şekil 71. ISO 9001: 2015 Kalite Sertifikası

Torun & Schmidt ise ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi belgesine sahip olup Şekil 72’de firmanın ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Sertifikası gösterilmektedir.



Şekil 72. ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi Sertifikası

3.1.5. Firmanın Üretim Teknolojileri

Firmanın üretim teknolojileri konusundaki çalışmaları incelendiğinde alüminyum malzeme ile yüksek basınçlı döküm, talaşlı imalat, çubuktan işleme, pirinç malzeme ile sıcak dövme, alçak basınçlı döküm, hatebur dövme, talaşlı imalat, çubuktan işleme, paslanmaz çelik malzeme ile talaşlı imalat ve magnezyum malzeme ile yüksek basınçlı döküm ve talaşlı imalat yapmakta olup Şekil 73’de fabrikanın atölye görseli yer almaktadır.



Şekil 73. Fabrika Atölye Görseli

3.1.6. Yatırım Stratejileri ve Torun Bakır

2019 ve 2020 yıllarında Torun Bakır’ın yaptığı toplam yatırım 673.244 Avro’dur. Torun Bakır Dövme İşlemleri için 2019-2020 yatırım bütçesi ise 525.820 Avro olarak tahmin edilmiş ve fiilen 215.158,28 Avro olarak gerçekleşmiştir. Yeni fikirler ve inovasyon kampanyası kapsamında 2019-2020 bütçe yatırımlarının bir kısmı gerçekleştirilmiş, bir kısmı ise 2020-2021 yılına ertelenmiştir. 2019-2020 yılında dövme işlemi yatırımı ve bazı otomatik pres masalarında Pirometer lazer sıcaklık ölçüm yatırımı yapılarak ürün kalitesi iyileştirilmiştir. Firma iki grafitleme makinesine yatırım yaparak, özellikle geniş formatlı biletler için homojen tavlamayı başlatmış, pres tezgahları tahliye sisteminin bir parçası olarak değiştirilmiştir. Hatebur tezgah üzerine trommel sistemi kurulması ile de müşteri şikayet oranı azaltılmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMANIN MATERYAL VE METODU

4.1. Araştırma Uygulamasının Yöntemi

Bu bölümde Bakır alaşımlarından olan pirinç malzemeler için üretim prosesinde farklı takımlandırma metodları ile proses yeterliliği kıyaslaması yapılarak, prosesin yeterliliği analiz edilecektir. Yapılacak olan analizle proses kabiliyetini en uygun çıktı ile öğrenilmiş derslerden bir sonraki proseslere taşımak amacıyla gerçekleştirilen bu tez çalışmasının yöntem ve metoduna aşağıda yer verilmiştir.

4.1.1. Yöntemi

Bakır alaşımlarından %58 bakır oranlı CW617N alaşımlı sıcak dövme yöntemi ile dövülmüş yarı mamul bir valf gövdesinin nihai talaşlı imalat işleminde, CNC transfer tezgâhı üzerinde analizi yapılacaktır. Bu analiz parçanın sabit çene içerisinde sıkılması ile kesici takımın belli bir devir altında dönerek ve belirli ilerleme hızında parça üzerinden talaş kaldırmak sureti ile gerçekleştirilecektir. Analiz, Ø24+0,1 ölçüsünün iki farklı tip kesici takımının kullanılmasıyla, delik kateri ile işlenmesinde ve karbür form takımı kullanarak işlenmesi ile yapılacaktır.

Ölçüm sistemleri analizi sonrası ürünün kısa zamanlı proses yeterliliği kıyaslamasında kesici takımın proses yeterliliğine etkisinin de analiz çalışması gerçekleştirilecektir.

Uygulamada kullanılan malzeme genelde sıcak dövmede kullanılan alaşım olup aynı zamanda kurşun içermesinden dolayı iyi işlenebilirlik özelliği sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı talaşlı imalatla işleme performansını artırmaktadır. Ürünler RoHS II ve REACH direktiflerine uygun olup içme suyu ile temas eden ürünlerde 4MS ve UBA listesine uygun CW617N-DW alaşımı kullanılmaktadır. CW617N-DW için 4MS ve UBA malzeme sınırlama grubu: B ve C sırasıyla Tablo 14’de ve Tablo 15’de gösterilmektedir.

Tablo 14. Malzeme Özellikleri

Ürün Kodu	EN Sembol	EN No	ASTM		C u	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Al	Si	Diğer Toplam
S617	CuZn40Pb2	CW617N	C3800	Min (%)	57	Kalan	1,6	-	-	-	-	-	-
			0	Max (%)	59	Kalan	2,5	0,3	0,3	0,3	0,05	-	0,2
				Min (%)	57	Kalan	1,6	-	-	-	-	-	-
(*)	CuZn40Pb2-	CW617N-	C3800	Max (%)	59	Kalan	2,2	0,3	0,3	0,3	0,05	0,03	0,2
S617DW	DW	DW	0			n	2	3	3	1	5	3	

(*) Diğer elementlerin her biri < 0,02 % 'dir.

Tablo 15. Malzeme Teknik Özellikleri

Yapı	a+p	Sıcak İşlem	650-800 °C
İşlenebilirlik	95%	Yumuşatma Tavu	450-600 °C
Yoğunluk	8,43g/cm ³	Yumuşatma Süresi	1-3 saat
Elektrik İletkenliği	14,9 MS/m, 25 %IACS	Gerilim Giderme Tavu	200-300 °C
Termal İletkenlik	113 W/(m-K)	Gerilim Giderme Tav Süresi	1-3 saat
Elastiklik Modülü	96 GPa		
Isıl Genleşme Katsayısı	21,1 10 ⁻⁶ /K		
Ergime Aralığı	880-895 °C		

4.1.2. Metodolojisi

Çalışma kapsamında, Ø24,5+0,1 kritik ölçüsü için aşağıda 2 maddede belirtilmiş metodoloji uygulanarak kesici takımların aynı şartlar altında üretimi esnasında ürün proses yeterliliğine etkisi araştırılacaktır.

Analizde, Ø24,53+0,02/-0,01 toleranslı 90 HRC sertliğinde karbür form takım ile CNC transfer tezgâhında üretim yapılacaktır.

50 adet ürün üretmek sureti ile ölçüm sistemi analizi yapılmış üç boyutlu koordinat ölçüm cihazında ürünün ölçülmesi sureti ile C_p ve C_{pk} analizleri gerçekleştirilecektir.

Aynı şartlar altında delik kateri ile ürünün üretilmesi sonrası kesici takımın proses yeterliliğine etkisi de analiz edilecektir.

Şekil 74’de uygulama yapılacak olan 90 HRC sertliğindeki karbür kesici takımı gösterilmektedir.



Şekil 74. Uygulama Yapılacak 90 HRC Sertliğinde Karbür Kesici Resmi

20 mm çapında delik kateri üzerine CCMT sert maden plaket takılarak CNC transfer tezgâhında üretim yapılacaktır.

50 adet ürün üretmek sureti ile ölçüm sistemi analizi yapılmış üç boyutlu koordinat ölçüm cihazında ürünün ölçülmek sureti ile C_p ve C_{pk} analizleri yapılacaktır.

Aynı şartlar altında $\varnothing 24,53+0,02/-0,01$ toleranslı 90 HRC sertliğinde karbür form takımına göre ürünün üretilmesi sonrası kesici takımın proses yeterliliğine etkisi de analiz edilecektir.

Şekil 75’de uygulama yapılacak olan CCMT sert maden plaket takılmış kater resmi gösterilmektedir.



Şekil 75. Uygulama Yapılacak CCMT Sert Maden Plaket Takılmış Kater Resmi

4.1.3. Uygulamanın Amacı

Çalışmada aynı şartlar altında; makine, malzeme, operatör, ölçüm, devir, iletme ve soğutma sıvısı faktörlerinin sabit tutulduğu sadece kesici takım değişiminin ürünün proses yeterliliğine etkisi analiz edilip, prosesin stabil tutulmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

4.1.4. Veri Toplama Yöntemi

Çalışmada, uygulamada kullanılacak ürünlerin üretiminin tamamlanması sonrasında, ürün ölçüm sistemi analizi için, ölçüm belirsizliği en düşük olan ve ürün toleransının 1/10'unun altında kapasiteye sahip ölçüm cihazı seçilmiştir.

Ölçüm cihazı seçiminin ardından ise, en yetkin 3 kalite kontrolcü tarafından ölçüleri bilinen 10 adet ürünün ölçüm sistemleri analizi yapılarak uygulamada ölçüm için kullanılacak kalite kontrolcü tespit edilmiştir.

Aynı şartlar altında, 2 farklı takım denemesi yapılarak, her bir takım kullanılarak seri üretim şartlarında 50 adet ürün üretilmek sureti ile kısa dönemli proses yeterliliği çalışması yapılmıştır.

4.2. Kullanılan Malzeme ve Tezgahlar

Bu bölümde uygulamada kullanılacak malzeme, ürün ve teçhizatlara yer verilmiştir.

4.2.1. Uygulamada Kullanılan Malzeme

Uygulamada kullanılan malzeme CW617N- CuZn40Pb2 alaşımlı malzeme olup özellikleri Tablo 16'da gösterilmektedir.

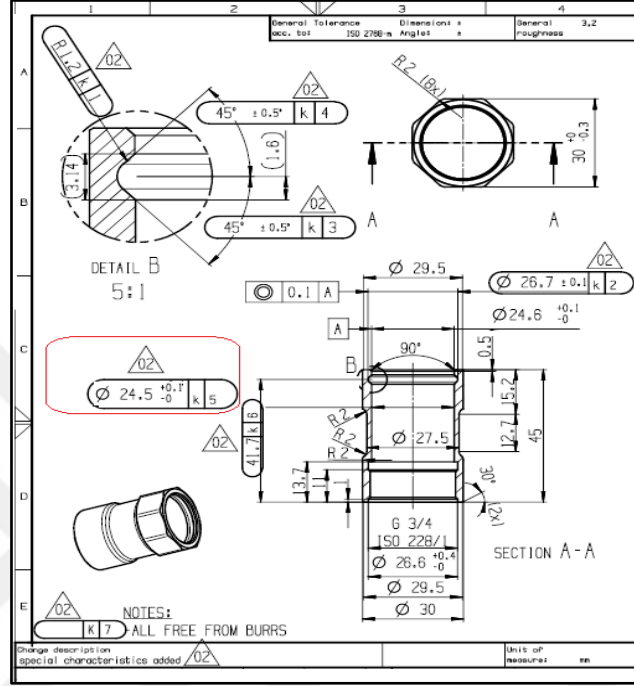
Tablo 16. CW617N Alaşım Elementi Kimyasal Kompozisyonu

EN Sembol	EN No	Aralık	Cu	Zn	Pb	Sn	Fe	Ni	Al	Si	Diğer Toplam
CuZn40Pb2	CW617N	Min (%)	57	Kalan	2	-	-	-	-	-	-
		Max (%)	59	Kalan	3	0	0	0	0,1	-	0,2

Kaynak: (TS EN 12165)

4.2.2. Uygulamada Kullanılan Ürün

Uygulamada kullanılan ürün, valf gövdesi olup Bosch marka kombi içerisinde pompa parçası olarak yer almaktadır. Parçanın teknik resmi Şekil 76’de gösterilmektedir.



Şekil 76. Ürün Teknik Resmi

4.2.3. Üretimde Kullanılan Cihazlar

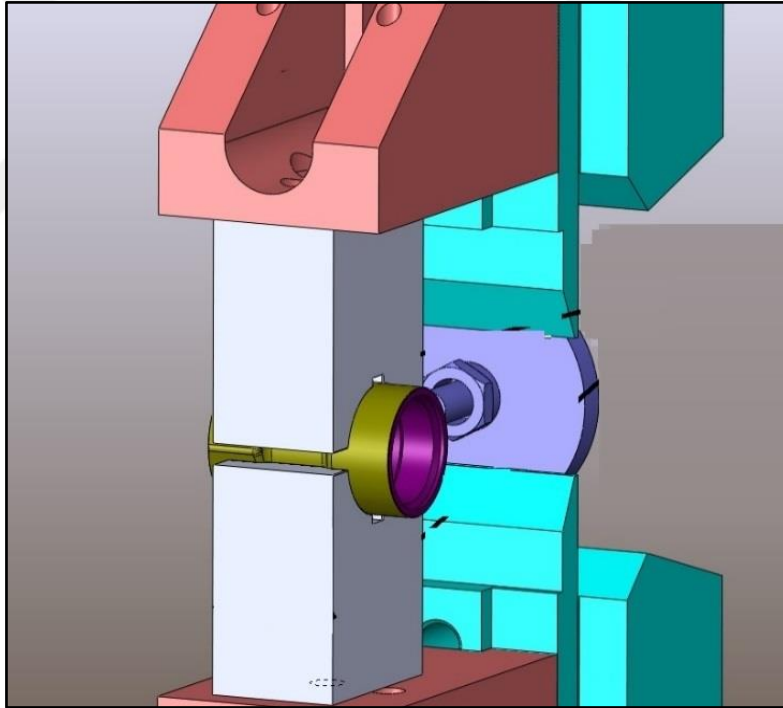
Uygulamada kullanılan üretim yöntemi talaşlı imalat olup makine işleme süresinin kısa olmasının istendiği alanlarda kullanılan CNC transfer tezgâhıdır.

CNC transfer tezgâhı, döner tambur avantajı ile aynı anda 4-6-8-10-12 parça tek bir operatör tarafından tek bir tezgâhta işlenebilmektedir. Ayrıca CNC transfer tezgâhında işleme kafaları aynı anda devreye girmekte bu da işlem süresini yaklaşık %80 oranında kısaltmaktadır. Sonuç olarak standart bir CNC tezgâha göre aynı zamanda işlenen parça sayısı CNC transfer tezgâhında yaklaşık 10-15 kat artmaktadır.

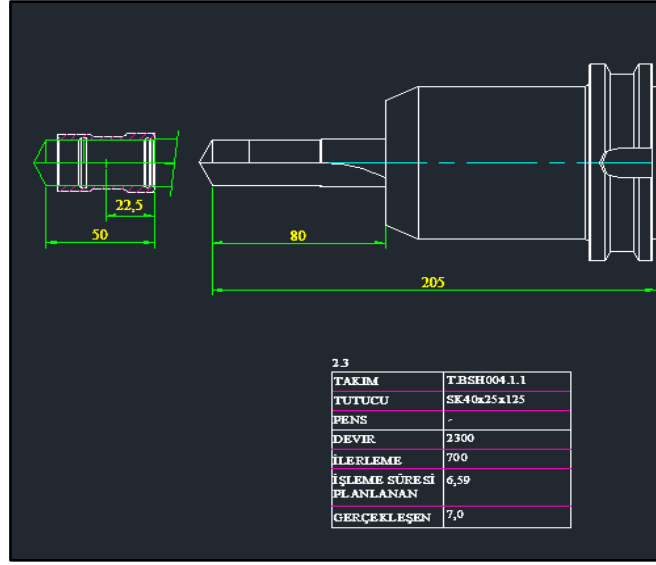
Şekil 77’de CNC kontrol üniteli transfer tezgâhı, Şekil 78’de ürünü çenede bağlama metodolojisi ve Şekil 79’de ise ürünü işleme prosesi gösterilmektedir. (kardeslertransfer.com)



Şekil 77. CNC Kontrol Ünitesi Transfer Tezgâhı



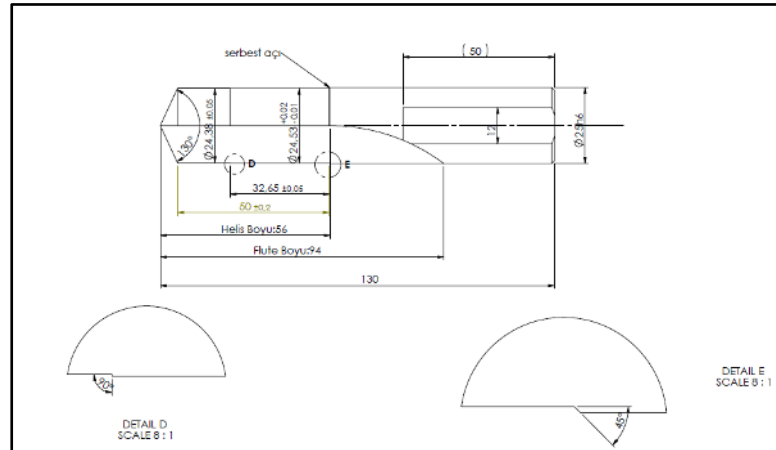
Şekil 78. Ürünü Çenede Bağlama Metodolojisi



Şekil 79. Ürünü İşleme Prosesi

Şekil 79’de ürün işleme proses çizimine göre çalışmada uygulanacak devir 2300 devir/dakika, uygulanacak ilerleme 700 mm/dakika ve uygulanacak kesici takım Ø24,54 ölçülü 90 HRC sertliğindeki karbür form takımıdır.

Uygulama yapılacak olan 90 HRC sertliğindeki karbür kesici takımın teknik resmi Şekil 80’de gösterilmektedir.

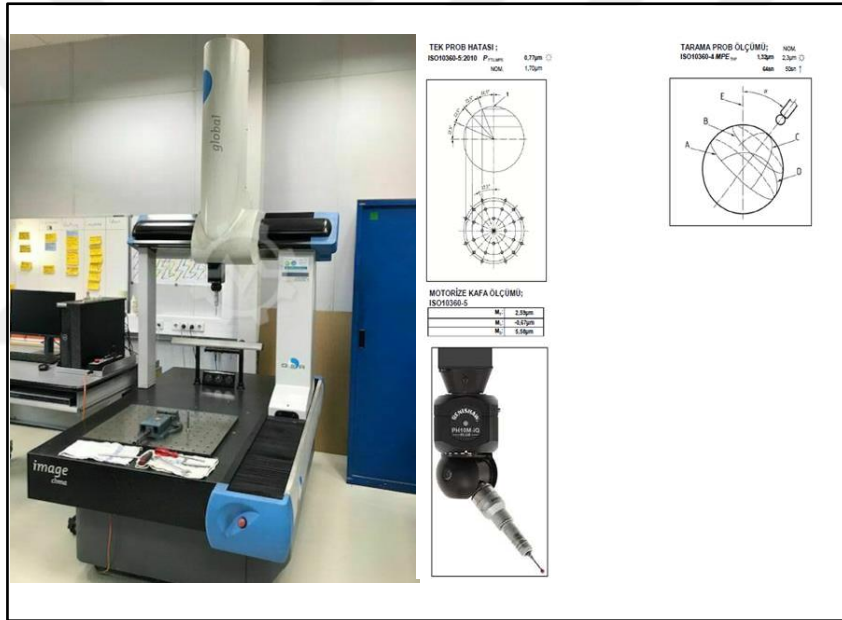


Şekil 80. Uygulama Yapılacak 90 HRC Sertliğinde Karbür Kesici Takım Teknik Resmi

Uygulama yapılacak olan 90 HRC sertliğindeki karbür kesici takımın resmi gösterilmektedir.

Talaşlı imalatta kullanılan soğutma sıvısının görevi, sıcaklığı kontrol altında tutmak ve takım ile parçanın ısınmasını önlemektir (Akkurt, 1998). Uygulamada bu amaçla soğutma sıvısı olarak %3 vizkozitedeki bor yağı kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan soğutma sıvısının markası Petrofil marka bor yağıdır.

Uygulama yapılacak olan parça ölçüsü $\varnothing 24.5+0,1$ kritik ölçü olup ürün ölçümünde kullanılacak ölçüm cihazı ise üç boyutlu koordinat ölçüm cihazıdır. Şekil 81’de, 3 boyutlu koordinat ölçüm makinesini ve cihaz ölçüm sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 81. 3 Boyutlu Koordinat Ölçüm Makinesi ve Cihaz Ölçüm Sonuçları

Uygulamada cihaz ölçüm belirsizliği $\pm (1.7+3 L/1000)$ µm olup ölçüm ortamı $20^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve $\% 50\pm 3$ RH değerlerinde klimatize edilmiştir. Ölçümü yapılacak olan malzemeler 1 gün boyunca 24 saat süreyle hazırlanan bu ortamda ölçüm öncesinde klimatize edilmiştir. Ölçümler PC-DMIS software üzerinden program yazılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 82’de gösterilmektedir.



Şekil 82. Parça Ölçüm Şekli

4.2.4. Üretimde Kullanılan Adımları

Uygulamada, Makine kurulum yapıldıktan ve kalite onayı alındıktan sonra;

- Makine CNC kontrol ünitesi transfer tezgâhında ürün setup ayarı yapıldı.
- Ø24.54 ölçülü 90 HRC sertliğindeki karbür form takımı ile ürün uygulamasına başlandı.
- Ürün kalite onayı alındı.
- Kalite onayı sonrası 50 adet parça Şekil 85’de gösterildiği üzere sırasıyla numaralandırıldı.
- Tezgâhta üretilen 50 adet numune 24 saat $20^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ve $\% 50\pm 3$ RH değerlerinde klimatize ortamda bekletildi.
- Ürünleri ölçmek için ölçüm cihazı seçildi.
- Ürünler numara sırasına göre gerçek değeri tespit etmek için 10 adet ürün üç kalite operatörü tarafından 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazında ölçüldü.

Ölçüm sistemi %7,63 değeri ile kabul seviyesinde bulundu ve en yetkin 3 numaralı kalite kontrolcü ye ürünler kontrol edilmesi için görev verildi. Şekil 83. üretilen işlem görmüş ürünler gösterilmektedir.



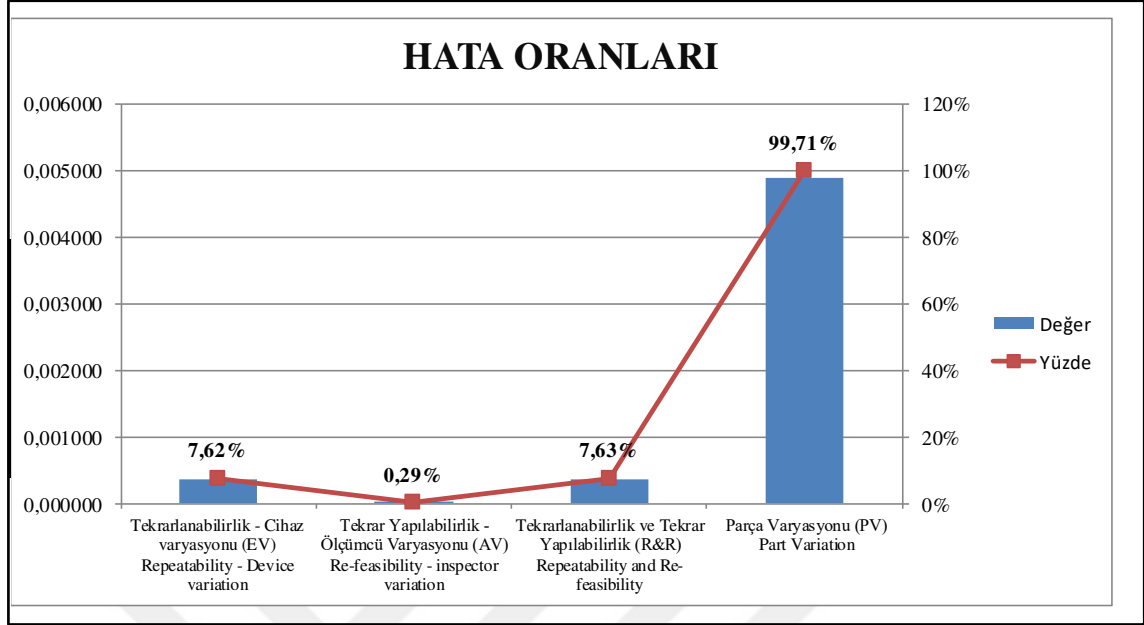
Şekil 83. Üretilen İşlem Görmüş Ürünler

Tablo 17’de yapılan uygulamanın MSA ölçüm sistemi analiz tablosu ve Tablo 18’de ise ölçüm sistemleri analizinde elde edilen veriler yer almaktadır.

Tablo 17. MSA Ölçüm Sistemi Analizi Tablosu

MSA - ÖLÇÜM SİSTEMİ ANALİZİ - GR&R MEASURING SYSTEM ANALYSIS																							
PARÇA ADI / PART NAME : GÖVDE KARAKTERİSTİK / CHARACTERISTIC : Ø24,5±0,1 TOLERANS / TOLERANCE : 0.1 ÖLÇÜM ALETİ / MEASURING DEVICE : 3 BOYUTLU KOORDİNAT ÖLÇÜM CİHAZI																							
ÖLÇÜMCÜ / INSPECTOR	3	DENEME TRIAL				3	PARÇA PART				10												
ÖLÇÜMCÜ INSPECTOR	DENEME TRIALS	PARÇA PART	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ORTALAMA AVERAGE										
1. ORHAN	1	24,563	24,558	24,567	24,563	24,571	24,564	24,566	24,562	24,563	24,555		24,563										
2.	2	24,562	24,558	24,567	24,564	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555		24,563										
3.	3	24,562	24,557	24,567	24,565	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555		24,563										
4.	Ortalama / Average	24,562	24,558	24,567	24,564	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555	Xaort = Xa Avg.	24,5632										
5.	Aralık / Range	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	Raort = Ra Avg.	0,001										
6. FAHRİ	1	24,563	24,557	24,567	24,563	24,571	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555		24,563										
7.	2	24,563	24,558	24,567	24,564	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,554		24,563										
8.	3	24,562	24,558	24,567	24,565	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,554		24,563										
9.	Ortalama / Average	24,563	24,558	24,567	24,564	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555	Xbort = Xb Avg.	24,5632										
10.	Aralık / Range	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	Rbort = Rb Avg.	0,001										
11. MUSTAFA	1	24,562	24,558	24,567	24,563	24,571	24,564	24,566	24,562	24,563	24,555		24,563										
12.	2	24,562	24,558	24,567	24,564	24,570	24,563	24,566	24,562	24,564	24,555		24,563										
13.	3	24,562	24,557	24,567	24,565	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,554		24,563										
14.	Ortalama / Average	24,562	24,558	24,567	24,564	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555	Xcort = Xc Avg.	24,5631										
15.	Aralık / Range	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	Rcort = Rc Avg.	0,001										
16.	Parça Ortalaması (X _p)	24,562	24,558	24,567	24,564	24,570	24,564	24,566	24,562	24,564	24,555	Xortort = Xort Avg.	24,5632										
17.	(Raort / Raavg =	0,001	+ Rbort =	0,001	+ Rcort =	0,001	) / Ölçümcü =	3				R _p =	0,016										
18.	(Max Xort =	24,5632	(Min Xort =	24,5631	) =	Xdiffort	Deneme Trial	D ₄	D ₃ = 0			Xdiffort XdiffAvg	0,0001										
19.	(Rortort = Rortavg	0,0006	) x (D ₄ =	2,58	ÜKLR		2	3,27				ÜKLR	0,0016										
20.	(Rortort = Rortavg	0,0006	) x (D ₃ =	0,00	AKLR		3	2,58				AKLR	0,000										
Ölçüm Cihazı Analizi Measuring Device Analysis		Tolerans/Tolerance : 0,0010					% Toplam Varyasyon TOLERANSA GÖRE (TA) % Total Variation According to Tolerance																
Tekrarlanabilirlik - Cihaz varyasyonu (EV) Repeatability - Device variation		$EV = \frac{Rortort}{K1} \times K1$ $= \frac{0,00063}{0,59080}$ $= 0,00037$					<table border="1"> <tr><td>Deneme Trial</td><td>K1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,8862</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,5908</td></tr> </table>		Deneme Trial	K1	2	0,8862	3	0,5908	$\% EV = \frac{100 (EV / TA)}{224,50} = 7,62 \%$			$\frac{100 (EV/TV)}{7,62} = 13,12 \%$					
Deneme Trial	K1																						
2	0,8862																						
3	0,5908																						
Tekrar Yapılabilirlik - Ölçümcü Varyasyonu (AV) Re-feasibility - inspector variation		$AV = \sqrt{\frac{Xdiffort \times K2^2}{nr} - (EV^2 / nr)}$ $= \sqrt{\frac{0,0000000}{0,00000000} - 0,00000000}$ $= 0,00001406$					<table border="1"> <tr><td>Ölçümcü Inspector</td><td>K2</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr> </table>		Ölçümcü Inspector	K2	2	0,7071	3	0,5231	$\% AV = \frac{100 (AV / TA)}{8,44} = 0,29 \%$			$\frac{100 (AV/TV)}{0,29} = 344,83 \%$					
Ölçümcü Inspector	K2																						
2	0,7071																						
3	0,5231																						
Tekrarlanabilirlik ve Tekrar Yapılabilirlik (R&R) Repeatability and Re-feasibility		$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ $= \sqrt{0,0000001 + 0,0000000}$ $= 0,00037$					<table border="1"> <tr><td>Parça Part</td><td>K3</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,7071</td></tr> </table>		Parça Part	K3	2	0,7071	$\% GRR = \frac{100 (GRR / TA)}{224,66} = 7,63 \%$			$\frac{100 (GRR/TV)}{7,63} = 13,12 \%$							
Parça Part	K3																						
2	0,7071																						
Parça Varyasyonu (PV) Part Variation		$PV = R_p \times K_3$ $= 0,016 \times 0,31$ $= 0,00489$					<table border="1"> <tr><td>3</td><td>0,5231</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,4467</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,4030</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,3742</td></tr> <tr><td>7</td><td>0,3534</td></tr> </table>		3	0,5231	4	0,4467	5	0,4030	6	0,3742	7	0,3534	$\% PV = \frac{100 (PV / TA)}{2936,27} = 99,71 \%$			$\frac{100 (PV/TV)}{99,71} = 1,0029 \%$	
3	0,5231																						
4	0,4467																						
5	0,4030																						
6	0,3742																						
7	0,3534																						
Toplam Varyasyon (TV) Total Variation		$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$ $= \sqrt{0,0000001 + 0,0000239}$ $= 0,00491$					<table border="1"> <tr><td>8</td><td>0,3375</td></tr> <tr><td>9</td><td>0,3249</td></tr> <tr><td>10</td><td>0,3146</td></tr> </table>		8	0,3375	9	0,3249	10	0,3146	$ndc = \frac{1,41 \times (PV / GRR)}{18,43} = 18,43$			KARAR : PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONU KABUL SEVİYESİNDE.					
8	0,3375																						
9	0,3249																						
10	0,3146																						
% GRR :		% 10 hatanın altında under % 10 failure % 10 ile % 30 hata arasında between % 10 and % 30 failure % 30 hatanın üzerinde more than % 30 failure					Ölçüm sistemi kabul edilebilir. Uygulamanın önemine, ölçüm cihazının maliyetine, tamir masraflarına v.b. bağlı olarak kabul edilebilir. Kabul değil. Ölçüm sisteminin geliştirilmesi gerekir. >5 KABUL. EĞER <5 İSE PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONUNA GÖRE DÜŞÜK SEVİYEDE.																
ndc		PARÇA VARYASYONU/ÖLÇÜM SİSTEM VARYASYONU PART VARIATION / MEASURING SYSTEM VARIATION																					

Tablo 18. Ölçüm Sistemleri Analizinden Elde Edilen Veriler



İnspektör sabit kalmak şartı ile 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazında üretim sıralamasına göre 24,54 ölçülü 90 HRC sertlik değerine sahip karbür form takımından üretilen ürünler için kısa dönemli proses yeterlilik çalışması yapıldı.

Tablo 19’da Ø24,54 ölçülü 90 HRC sertliğindeki karbür takımdan elde edilen proses yeterlilik analiz verileri gösterilmektedir.

Tablo 19. Ø24,54 Ölçülü 90 HRC Sertliğinde Karbür Takımdan Elde Edilen Proses Yeterlilik Analizi Verileri

Project / Proje:		Process Capability Analysis Proses Kapabilite Analizi		Short Term (Cp/Cpk) Kısa Dönem (Cp/Cpk)	
Project / Proje:		Characteristics / Özellikler :		Equipment / Ekipman:	
Project / Proje:	BOSCH	Process/Part: Proses/Parça:	TALAŞLI İMALAT/GÖVDE	Name / İsim:	CNC TRANSFER
Project No / Proje No.:	BSH800	Spect/Drawing No.: Spek/Çizim No :	BSH003	Code/Ekip.Kod:	MC MA 215
Product / Ürün:		Characteristic: Özellik:	ÇAP	Opr. Name: Opr. Kodu/Adı:	MUSTAFA
Part Code / Parça Kodu:	BSH004	Nominal Meas.: Normal Ölçü :	24,550	Measuring Device:	
Part Desc. / Parça adı:	GÖVDE	Üst Sınır USL	24,600	Name / İsim:	CMM
Ø24,554 ÖLÇÜLÜ 90 HRC SERTLİĞİNDE FORM TAKIMINDAN ELDE EDİLEN VERİLERDİR.		Alt Sınır LSL:	24,500	Calibr. Code.: Kalib. Kodu:	OC001
		Tolerance/Tolerans:	0,100	Approval No.: Onay Kodu :	
No.:	Meas./ Ölçüm	No.:	Meas./ Ölçüm	Default Normal Distribution / Varsayılan Normal	
1	24,563	26	24,565		
2	24,561	27	24,562		
3	24,567	28	24,567		
4	24,564	29	24,566		
5	24,568	30	24,564		
6	24,564	31	24,561		
7	24,567	32	24,562		
8	24,562	33	24,563		
9	24,563	34	24,567		
10	24,559	35	24,564		
11	24,567	36	24,565		
12	24,562	37	24,562		
13	24,571	38	24,568		
14	24,566	39	24,562		
15	24,564	40	24,563		
16	24,563	41	24,557		
17	24,569	42	24,563		
18	24,565	43	24,564		
19	24,567	44	24,566		
20	24,559	45	24,563		
21	24,562	46	24,563		
22	24,562	47	24,562		
23	24,558	48	24,565		
24	24,561	49	24,567		
25	24,564	50	24,565		
				Histogram n = 50 (out: 0)	
				Runchart	
x-bar:	24,564	s:	0,003	UCL:	24,572
Short Term Process Capability Index Kısa Dönem Proses Kapabilite İndeksi				Cp	5,90
				Cpk	4,26
				Stability:	OK
Date / Tarih :				Signature: İmza	
Name / İsim :					

Bulunan bu sonuçların ardından, uygulama metodolojisinin ikinci maddesinde belirtilen CCMT kartuş uçlu delik katerinde numune alma çalışmaları başlatıldı.

Makine CNC kontrol üniteli transfer tezgâhında ürün setup ayarının yapılmasının ardından CCMT sert maden plaketa takılmış kater ile ürün uygulamasına başlandı. Ürün kalite onayı alındı ve kalite onayı sonrası 50 adet parça Şekil 84’de ise tezgâhta üretilen klimatize edilen numuneler gösterilmektedir.



Şekil 84. Tezgâhta Üretilen Klimatize Edilen Numuneler

Tezgâhta üretilen 50 adet numune 24 saat süre ile $20^{\circ}\pm1^{\circ}\text{C}$ ve $\%50\pm3$ RH değerlerinde klimatize edilmiş ortamda bekletildi. Aynı cihaz, aynı inspektör sabit kalmak sureti ile 3 boyutlu koordinat ölçüm cihazında üretim sıralamasına göre CCMT sert maden plaketa takılmış kater ile üretilen ürünler için kısa dönemli proses yeterlilik çalışması yapıldı. Tablo 20’de CCMT kartuş uçlu delik katerinden elde edilen proses yeterlilik analizi verileri gösterilmektedir.

Tablo 20. CCMT Kartuş uçlu delik katerinden elde edilen proses yeterlilik analizi verileri

Process Capability Analysis Proses Kapabilite Analizi					Short Term (Cp/Cpk) Kısa Dönem (Cp/Cpk)				
Project / Proje:		Characteristics / Özellikler :		Equipment / Ekipman:					
Project / Proje:	BOSCH	Process/Part: Proses/Parça:	TALAŞLI İMALAT/GÖVDE	Name / İsim:	CNC TRANSFER				
Project No / Proje No.:	BSH800	Spect/Drawing No.: Spek/Çizim No.:	BSH003	Code/Ekip.Kod:	MC MA 215				
Product / Ürün:		Characteristic: Özellik:	ÇAP	Opr. Name: Opr. Kodu/Adı:	MUSTAFA				
Part Code / Parça Kodu:	BSH004	Nominal Meas.: Normal Ölçü :	24,550	Measuring Device:					
Part Desc. / Parça adı:	GÖVDE	Üst Sınır USL	24,600	Name / İsim:	CMM				
Ø24,554 ÖLÇÜLÜ 90 HRC SERTLİĞİNDE FORM TAKIMINDAN ELDE EDİLEN VERİLERDİR.		Alt Sınır LSL:	24,500	Calibr. Code.: Kalib. Kodu:	OC001				
		Tolerance/Tolerans:	0,100	Approval No.: Onay Kodu :					
				Default Normal Distribution / Varsayılan Normal					
No.:	Meas./Ölçüm	No.:	Meas./Ölçüm	Histogram n = 50 (out: 0)					
1	24,557	26	24,540						
2	24,555	27	24,545						
3	24,557	28	24,539						
4	24,556	29	24,542						
5	24,553	30	24,540						
6	24,556	31	24,541						
7	24,556	32	24,541						
8	24,555	33	24,541						
9	24,553	34	24,539						
10	24,551	35	24,535						
11	24,553	36	24,539						
12	24,553	37	24,536						
13	24,552	38	24,540						
14	24,553	39	24,538						
15	24,549	40	24,535						
16	24,548	41	24,535						
17	24,545	42	24,533						
18	24,545	43	24,541						
19	24,543	44	24,537						
20	24,545	45	24,535						
21	24,543	46	24,535						
22	24,543	47	24,535						
23	24,543	48	24,535						
24	24,541	49	24,537						
25	24,541	50	24,535						
				Runchart					
x-bar:	24,544	s:	0,007	UCL:	24,566	LCL:	24,522	Stability:	OK
Short Term Process Capability Index Kısa Dönem Proses Kapabilite İndeksi				Cp	2,23	≥ 1,67		OK	
				Cpk	1,96				
Explanations / Açıklamalar :									
Date / Tarih :		Name / İsim :		Signature: İmza					

4.2.5. Uygulamanın Bulguları ve Sonuçları

Bu bölümde uygulamanın karbür kesici takım ile elde edilen veriler ve CCMT kartuş uçlu delik kateri ile elde edilen bulgularına ve sonuçlarına yer verilmiştir.

4.2.5.1. Karbür Kesici Takım ile Elde Edilen Veriler

Uygulamada 90 HRC sertliğinde Ø24,54 ölçülü karbür kesici takım ile Tablo 19’da analiz edilen, kısa dönemli proses yeterlilik çalışmalarından elde edilen verilerin sonuç özeti Tablo 21’de gösterilmektedir.

Tablo 21. 90 HRC sertliğinde Ø24,54 ölçülü karbür kesici takım proses yeterlilik Analiz Özeti

Ortalama	Xort	24,564
Standart Sapma	s	0,003
Üst kontrol Sınırı	UCL	24,572
Alt Kontrol Sınırı	LCL	24,555
Ölçüm Sistemi Analizi	%GRR	7,63
Proses Yeterliliği	Cp	5,90
Proses Yeterlilik İndisi	Cpk	4,26

4.2.5.2. CCMT Kartuş Uçlu Delik Kateri ile Elde Edilen Veriler

Uygulamada CCMT kartuş uçlu delik kateri ile Tablo 20’de analiz edilen, kısa dönemli proses yeterlilik çalışmalarından elde edilen verilerin sonuç özeti Tablo 22’de gösterilmektedir.

Tablo 22. CCMT Kartuş Uçlu Delik Kateri ile Elde Edilen verilerin proses yeterlilik Analiz Özeti

Ortalama	Xort	24,544
Standart Sapma	s	0,007
Üst kontrol Sınırı	UCL	24,566
Alt Kontrol Sınırı	LCL	24,522
Ölçüm Sistemi Analizi	%GRR	7,63
Proses Yeterliliği	Cp	2,33
Proses Yeterlilik İndisi	Cpk	1,96

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulamada aynı şartlar altında ve aynı üretim girdilerinin bulunduğu, belli kriterlere sahip 2 farklı kesici takımın ürün üzerinde talaş kaldırmak sureti ile yapılan proses yeterlilik çalışmasında, nominal ölçüde kullanılan karbür form takımında delik katerine göre standart sapmanın daha düşük olduğu ve proses yeterlilik ve proses yeterlilik indisinin 2 katı daha etkin elde edildiği görülmüştür.

Karbür form takımında ölçünün takımın ölçüsü seviyelerinde çalıştığı ve değişkenliğin düşük olduğu görülmektedir.

Delik kateri ile yapılan çalışmada katerin delik ölçüsünden düşük olması ve çalışmada başlangıç numunesinde elde edilen ölçülerden sürekli aşağı yönde bir ölçü kayması yaşanması ve buna istinaden standart sapmanın düşük olduğu ve karbür form takımında yapılan çalışmaya göre proses yeterliliği ve proses yeterlilik indisinin %50 altında olduğu deney sonuçlarından elde edilmiştir.

Bu çalışmada talaşlı imalat prosesinde, makine, devir, ilerleme, kesilen malzeme gibi kriterlerin sabit tutulduğu aynı şartlar altında 2 farklı kesici takım ile üretim yapılarak elde edilen ve proses yeterlilik çalışmasında takımın proses yeterliliğine etkisinde bakır alaşımlarında form takımı ile üretilen ürünlerde sapmanın düşük ve proses yeterliliğinin yüksek çıktığı sonucu görülmüştür.

SONUÇ

Üretim prosesleri içerisinde, özellikle kalıplama gibi işlemler ile elde edilemeyecek yüzey kalitesi, boyut ve geometrik şekillerin gerçekleştirilebilmesi için talaşlı üretim metotlarından faydalanılır. Talaşlı üretim uygulamalarında makinaların teknik özellikleri ve kesicilerin hassasiyetleri, işlenen parçaların boyut ve ölçülerine direkt etki eder. Yani, iş parçasındaki beklenen ölçüleri yakalayabilmek için hem makine hem de kesici takımların önemi büyüktür.

Günümüz endüstrisinde takım tezgahları ve kesici takımlar her geçen gün gelişmektedirler. Universal tip takım tezgahları, CNC tornalara, yüksek hızlı, 5 eksenli, çift tablalı CNC tezgahlarına evrildi. Bununla paralel olarak bu tezgahlarda kullanılacak özel takımlar da geliştirildi. Üretim proseslerinde, teknik resimlerde belirtilen toleransların sağlanabilmesi için işleme metodu, işlenecek parçanın malzemesel uygunluğu ile birlikte uygun makine seçimi ve uygun kesici takım seçimi de oldukça önemli hale geldi.

Rekabetin ve fiyat baskısının her geçen gün arttığı günümüz endüstrisinde işletmeler ellerindeki makinalar ve kesiciler ile her türlü prosesi gerçekleştirmeye çalışmaktadırlar. Ancak her makine her işe uygun olmadığı gibi her kesici takım ile her defasında istenilen hassasiyete ulaşmak da mümkün değildir. Bu amaçla, her yeni projenin başlangıç fazında mevcut makine ve kesici kaynağının, müşteri taleplerine yani teknik resim toleranslarına uygunluğu açısından emin olunması, projenin geleceği açısından önem taşır. Çünkü uygun olmayan ekipmanlar ile gerçekleştirilen talaşlı üretim faaliyetleri sonunda ya aşırı ıskarta ya da müşteri şikayetleri ile karşılaşılır. Karşılaşılan bu aşırı ıskarta veya müşteri şikayetlerinin engellenebilmesi için Proses Yeterliliği Analizi uygulanmalıdır. Proses Yeterliliği Analizi ile proje boyunca makineden kaynaklı değişkenliklerin önceden tahmin edilebilmesi ve gerekirse gereken önlemlerin alınabilmesi sağlanır.

Bu tez çalışmasında, aynı özelliklere sahip 50 adet iş parçası, aynı makinede hem Karbür form takımı ile hem de CCMT delik takımı ile ardışık olarak işlenmiş ve parçaların Proses Yeterlilik Analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, Karbür form takımı ile işlenen parçalarda Proses Yeterlilik Değeri (C_p) 5,9 ve Yeterlilik İndeksi (C_{pk}) ise 4,26 olarak bulunmuştur. Aynı şartlar altında, aynı

makinede, aynı operatör ve aynı hammadde ile bu defa CCMT delik kateri kullanılarak 50 adet parça işlenmiş, CCMT delik kateri ile yapılan yeterlilik çalışmasında Proses Yeterliliği (C_p) 2,33 ve Yeterlilik İndeks değeri (C_{pk}) ise 1,96 olarak hesaplanmıştır. Böylece, tüm proses unsurlarının (makine, operatör, malzeme, metot) sabit kaldığı şartlar altında yalnızca kesici takımların, parça ölçülerine olan etkileri analiz edilmiş, elde edilen araştırma sonuçları incelendiğinde ise, Karbür form takımının, CCMT delik katerine göre daha az değişkenliğe neden olduğu sonucu ortaya konmuştur. Yani ardışık olarak işlenen parçalarda ölçü kararlılığı daha yüksek olmakla birlikte, buna karşılık CCMT delik kateri ile aynı işlem yapıldığında değişkenlik daha yüksektir.

Gerçekleştirilen bu çalışma gösteriyor ki, Pirinç malzeme talaşlı üretim proseslerinde hassas yani yeterlilik değeri yüksek bir proses ile çalışılmak isteniyor ise, CCMT delik kateri yerine Karbür Form kesici takımı kullanılmalıdır. Karbür Form kesici takımı ile ardışık işlenen parçalar arasındaki benzerlik yani kararlılık yüksek olacağından, iskartaların ve müşteri şikayetlerinin önüne geçilecektir.

Yapılan bu çalışma gelecekte yapılabilecek pirinç malzeme talaşlı üretim sürecinde proses yeterlilik çalışması konusundaki çalışmalara yol gösterecek, proseslerin kararlılığına takım analizinin etkisi analiz edilerek farklı malzeme cinslerinde, farklı takım cinsleri analiz edilerek proses kabiliyetinin geliştirilmesine öncülük edecektir.

KAYNAKÇA

- Abdou, G., Yien, J., (1995). Analysis of Force Patterns and Tool Life in Milling Operations.”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10, 1995, s.11-18.
- Akın, B. (1996). İPK Teknikleri-Proses Yeterlilik ve Makine Yeterlilik Analizi, *Bilim Teknik Yayınevi*, İstanbul, 1996
- Altın, A., Gökkaya, H., Nalbant, M., (2006). İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının İnconel 718 Süper Alaşımın İşlenebilirliğine Etkisi, *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, 3, 2006, s.581-586.
- Benbow, D., Broome, H., (2008). *The Certified Reliability Handbook*, *Quality Press*, Milwaukee, WI.
- Canyılmaz, E., Kutay, F., (2003). Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 18, No.3, 2003, s.51-63
- Crosby, P. B., (1987). Quality Process Improvement Management College (course materials). *San Jose, CA: Philip Crosby Associates, Inc.*
- Deming, W. E., (1982). Quality, productivity and competitive position. *Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, Center forAdvanced*
- Devor, M., Wall, P. D., Catalan, N., (1992) Systemic lidocaine silences ectopic neuroma and DRG discharge without blocking nerve conduction. *Pain* 48: 261268.
- Dowey, S. J., Matthews, A., (1998). Taguchi and TQM Quality Issues for Surface Engineered applications, *Surface and Coatings Technology*, 110, 1998.
- Ege, H., (2022). MSA Eğitim Notları, *Akademion6*, Sakarya, Türkiye, www.akademion6.com (Erişim Tarihi: 25.03.2023).
- El-Mounayri, H., Mohamed, G., Briceno, H. J., (2002). Enhanced Modeling and Optimization of Milling using Hybrid Technique, *Transactions of the CSME*, Vol.26, No.2, 2002, s.179.

- Erzurumlu, T., Öktem, H., (2007). Comparison of Response Surface Model With Neural
- Feigenbaum, A.V., (1991). *Total Quality Control*, Singapore, McGraw-Hill
- Feng, C.J. Wang, X., (2002). Development of Emprical Models for Surface Prediction in Finish Turning, *Advanced Manufacturing Technology*, 20, 2002, s.348-356.
- Gökkaya, H., Altın, A., Nalbant, M., (2006). İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının İnconel 718 Süper Alasımın İşlenebilirliğine Etkisi, Gazi Üniversitesi, *Mühendisler Mimarlar Fakültesi Dergisi* 21, 3, 2006, s.581-586.
- IATF 16949 Geçişiniz İçin Önemli Tarihler, [https://www.bsigroup.com/tr- TR/IATF - 16949-Otomotiv-Kalite-Yonetim-Sistemi/](https://www.bsigroup.com/tr-TR/IATF-16949-Otomotiv-Kalite-Yonetim-Sistemi/)
- Imai, M., (1986). Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success, New York: *McGraw-Hill Publishing Company*.
- Ishikawa, K., (1985). What is total quality control? Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall
- Juran, J. M., (1989). Juran on leadership for quality. *New York: Free Press*.
- Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F., Tsuji, S., (1984). Attractive quality and must-be quality. *The Journal of the Japanese Society for Quality Control*, 14(2), 39-48.
- Kavrakoğlu, İ., (1993). Toplam Kalite Yönetimi, 4. Baskı, *KalDer Yayınları*, İstanbul, 1993, s.16-18, 69, 73.
- Kobu, B., (1997). Üretim Yönetimi, İstanbul Üniversitesi, *İşletme İktisadi Enstitüsü Yayınları* No:3424.
- Kopac, J., (1998). Influence of Cutting Material and Coating Ontool Quality and Tool Life, *Journal of Material Processsing Technology*, 78, 1998, s.95-103

- MSA (2010). Measurement Systems Analysis (MSA), 4th Edition, AIAG, ISBN: 1605342114 / 9781605342115, Soft Cover, P: 240, Year: 2010, Availability: In Stock, <https://www.standardsmedia.com/Measurement-Systems-Analysis-MSA-4th-Edition-3588-book.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2023.)
- Noordin, M. Y., Venkatesh, V. C., Sharif, S., Elting, S., Abdullah, A., (2004). Application of Response Surface Methodology in Describing the Performance of Coated Carbide Tools When Turning AISI 1045 steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 145, 2004, s.46-58.
- Öktem, H. T., Erzurumlu, H. K., (2005). Application of Response Surface Methodology in the Optimization of Cutting Conditions for Surface Roughness, *Journal of Materials Technology*, 170, 2005, s.11-16.
- Özcan, T., Pekel, E., (2018). Diagnosis Of Diabetes Mellitus Using Statistical Methods And Machine Learning Algorithms. *Sigma Journal Of Engineering And Natural Sciences-Sigma Muhendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Vol.36, No.4, 1263-1280.
- Reddy, N., Kumar, S., Rao P., (2005). A Genetic Algorithmic Approach For Optimization Of Surface Roughness Prediction Model In Dry Machining, *Machine and Science and Technology*, 9, 2005, s.63-84.
- Sharma, P., Verma, A., Sidhu, R. K., Pandey, O. P., (2005). Process Parameter Selection For Strontium Ferrite Magnets Using Taguchi L9 Orthogonal Design, *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, 168, s.147-151.
- Stamm, B. H., (2009-2012) Professional Quality of Life: Compassion Satisfaction and Fatigue Version 5 (ProQOL). www.proqol.org - [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1843634](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1843634) (Erişim Tarihi: 25.03.2023)
- şahin, Y., (2000). Talaş Kaldırma Prensipleri 1, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2000.
- şahin, Y., Motorcu, S. R., (2005). Surface Roughness Model For Machining Mild Steel With Coated Carbide Tool, *Materials and Design*, 26, 2005, s.321-326.
- Taguchi, G., (1990). Introduction to Quality Engineering, *Asian Productivity Organization*, Tokyo.

- Taraman, K. S., Lambert, B.K., (1972). Application Of Response Surface Methodology to The Selection Of Machining Variables, *AIIE Transactions*, vol 4, issue 2, s. 111-115.
- Tosun, N., Tosun, G., (2004). Minimum Yüzey Pürüzlülüğü Koşulu için Delme Parametrelerinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu, *F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 2004, 301-309.
- M.Akkurt, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998
- Wang, J., (2004). Assessing Measurement System Acceptability For Process Control And Analysis Using Gage R&R Study, (*Master of Science Degree*), *University of Wisconsin-Stout*, 2004.
- Wang, X., Feng, C.J., (2002). Development of Emprical Models for Surface Prediction in Finish Turning, *Advanced Manufacturing Technology*, 20, 2002, s.348-356.
- Yayla, N. (2023). İstatistiksel Proses Kontrol (İPK) Eğitimi, NYC, Danışmanlık, <https://www.nycdanismanlik.com/yenilikler/92-istatistiksel-proses-kontrol-ipk-egitimi.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2023)
- Zhang, J. Z., Chen, C. J., Kirby, E. D., (2007). Surface Roughness Optimization In An End-Milling Operation Using The Taguchi Design Method, *Journal of Materials Processing Technology*, 2007, 184, s.233-239.
- Zuperl, U. Francis C., F., (2003). Optimization Of Cutting Conditions During Cutting By Using Neural Networks, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Volume 19, Issues 1-2, Feburary- April, 2003, s. 189-199.

