

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ROBOT KAYNAK FİKSTÜRÜNDEKİ SAPMALARIN
KAYNAK MAKROLARI ÜZERİNE ETKİSİ**

**Hazırlayan
Büşra AKKAŞ**

**Danışman
Doç. Dr. Hamdi TAPLAK**

Yüksek Lisans Tezi

**Eylül 2024
KAYSERİ**

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ROBOT KAYNAK FİKSTÜRÜNDEKİ SAPMALARIN
KAYNAK MAKROLARI ÜZERİNE ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Büşra AKKAŞ

Danışman
Doç. Dr. Hamdi TAPLAK

Eylül 2024
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Büşra AKKAŞ

İmza

YÖNERGEYE UYGUNLUK

“ROBOT KAYNAK FİKSTÜRÜNDEKİ SAPMALARIN KAYNAK MAKROLARI ÜZERİNE ETKİSİ” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Büşra AKKAŞ

İmza

Danışman

Doç. Dr. Hamdi TAPLAK

İmza

Makina Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Selahaddin Orhan AKANSU

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana inanan ve yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Hamdi TAPLAK'a ve bu süreçte bana destek olan Halil Tolga AYVALI ve Furkan SAİM başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarım, her daim yanımda olan sevgili aileme ve dostlarıma teőekkürlerimi sunarım.

Büşra AKKAŞ

Eylül 2024, KAYSERİ

ROBOT KAYNAK FIKSTÜRÜNDEKİ SAPMALARIN KAYNAK MAKROLARI ÜZERİNE ETKİSİ

Büşra AKKAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2024
Danışman: Doç. Dr. Hamdi TAPLAK

ÖZET

Geçerli kılma (validasyon), bir prosesin belirlenmiş gereksinimlere uygun olup olmadığını ve güvenilir sonuçlar verip vermediğini belirleyen sistematik bir süreçtir. Bu süreç, sistem gereksinimlerinin belirlenmesinden başlayarak, eksenel tekrarlanabilirlik ve parametrelerin uyumuna kadar geniş bir yelpazede kapsamlı testleri içerir.

Bu tez çalışmasında, bir robotik MAG kaynağına ait validasyon protokolü çerçevesinde, robot eksenleri, robot pozisyonları ve fikstürlerin tekrarlanabilirlik verileri değerlendirilmiş ve Cpk proses yeterlilik indeksi analiz yöntemi ile yeterlilikleri ölçülmüştür. Mevcut fikstürlerin tekrarlanabilirlik verilerine dayanarak yeni bir fikstür tasarlanmış ve bu fikstürle yapılan kaynak işlemleri makro testlerle incelenmiştir. İki farklı kaynak pozisyonunda yapılan bu analizler, kaynak nüfuziyet derecelerini değerlendirerek robot, pozisyoner ve fikstürün performansını ve uyumunu test etmiştir.

Fikstürler gibi sabitleme mekanizmaları, iş parçalarının doğru pozisyonlarda tutulmasını sağlayarak üretim süreçlerinde hem hassasiyeti hem de verimliliği artırır, aynı zamanda üretim maliyetlerini düşürmede önemli katkılar sunar. Araştırma, validasyon süreçlerinin titizlikle izlenmesinin yanı sıra, robotik sistemlerin ve fikstürlerin sürekli doğruluğunun denetlenmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, bu çalışma, tıbbi cihaz üretiminde kalite kontrol ve validasyon süreçlerinin kritik önemini ortaya koyarak, süreç iyileştirmelerine yönelik değerli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Geçerli kılma, Kaynak robotu, Robot kaynak fikstürü, Yeterlilik, Cpk analizi, Tekrarlanabilirlik, Kaynak kalitesi

THE EFFECT OF DEVIATIONS IN ROBOT WELDING FIXTURES ON WELD MACROS

Büşra AKKAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, September 2024

Supervisor: Assoc. Prof. Hamdi TAPLAK

ABSTRACT

Validation is a systematic process that determines whether a process meets specified requirements and provides reliable results. This process encompasses a broad range of comprehensive tests, from defining system requirements to evaluating axial repeatability and parameter conformity.

In this thesis, within the framework of a validation protocol for a robotic MAG welding system, the repeatability data of robot axes, robot positioners, and fixtures have been assessed, and their capabilities were measured using the Cpk process capability index analysis method. Based on the repeatability data of existing fixtures, a new fixture was designed, and welding operations with this fixture were examined through macro tests. Analyses performed at two different welding positions assessed the weld penetration levels, thereby testing the performance and compatibility of the robot, positioner, and fixture.

Fixtures and other clamping mechanisms enhance both precision and efficiency in manufacturing processes by ensuring workpieces are held in correct positions, while also significantly contributing to the reduction of production costs. This research underscores the necessity of meticulously monitoring validation processes and continuously verifying the accuracy of robotic systems and fixtures. Additionally, the study highlights the critical importance of quality control and validation processes in medical device manufacturing, providing valuable insights for process improvements.

Keywords: Validation, Welding robot, Robotic welding fixture, Capability, Cpk analysis, Repeatability, Welding quality

İÇİNDEKİLER

ROBOT KAYNAK FİKSTÜRÜNDEKİ SAPMALARIN KAYNAK MAKROLARI ÜZERİNE ETKİSİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ.....	1

1.BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1.1.Robotlu Kaynak Sistemleri.....	3
1.2.Robot Kaynak Fikstürleri.....	4
1.3.Kaynak Yöntemleri.....	4
1.3.1.Gazaltı Kaynak Yöntemleri	5
1.4.Kaynak Prosesi Kalite Faktörleri	5
1.5.Kaynak Pozisyonları	6
1.6.Kaynakta Muayene Yöntemleri.....	8
1.6.1.Tahribatsız Muayeneler	9
1.6.2.Tahribath Muayeneler	9
1.7.Validasyon (Geçerli Kılma)	10
1.8.Yeniden Validasyon	11

1.9.Literatür Çalışması	12
-------------------------------	----

2.BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1.Çalışma Kapsamındaki Ekipmanlar	19
2.1.1.Robot Kaynaklar	19
2.1.2.Kaynak Fikstürleri.....	21
2.1.3.Kontrol Ekipmanları.....	21
2.2.Kaynak Proses Parametreleri.....	22
2.3.Validasyon Protokolü.....	23
2.3.1.Kurulum Yeterlilik.....	23
2.3.2.Operasyonel Yeterlilik	24
2.3.3.Performans Yeterlilik.....	26
2.4.Proses Takibi ve Bakım Faaliyetleri.....	26

3.BÖLÜM

UYGULAMA VE BULGULAR

3.1.Validasyon (Geçerli Kılma)	28
3.1.1.Kaynak Robotu Tekrarlanabilirlik Ölçümleri.....	28
3.1.1.1. Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği.....	29
3.1.1.2. Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği	32
3.1.1.3. Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği.....	35
3.2.Test Düzenegi	38

4.BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1.Tartışma ve Sonuç.....	46
4.2.Öneriler	47
KAYNAKÇA.....	49
EKLER.....	52
EK 1. Robot Eksenleri Tekrarlanabilirlik Analizi (Minitab).....	52
EK 2. Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirlik Sonuçları (Minitab)	61
EK 3. Robot Fikstürü Tekrarlanabilirlik Sonuçları (Minitab).....	71
ÖZGEÇMİŞ	80

KISALTMALAR

- ASME** : American Society of Mechanical Engineers / Amerikan Makine Mühendisleri Derneği
- ABD** : Amerika Birleşik Devletleri
- CMT** : Cold Metal Transfer / Soğuk Metal Transferi
- Cp** : Process Capability / Proses Yeterliliği
- Cpk** : Process Capability Index / Proses Yeterlilik İndeksi
- CpL** : Lower Process Capability Index / Alt Limit Proses Yeterlilik İndeksi
- CpU** : Upper Process Capability Index / Üst Limit Proses Yeterlilik İndeksi
- DSLR** : Digital Single-Lens Reflex / Dijital Tek Lensli Refleks
- GMAW**: Gas Metal Arc Welding / Gazaltı Kaynağı
- FDA** : Food and Drug Administration / Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi
- ISO** : International Organization for Standardization / Uluslararası Standardizasyon Örgütü
- KYS** : Kalite Yönetim Sistemi
- LSL** : Lower Specification Limit / Alt Spesifikasyon Sınırı
- MAG** : Metal Active Gas Welding / Metal Aktif Gaz
- MIG** : Metal Inert Gas Welding / Metal İner Gaz
- TIG** : Tungsten Inert Gas Welding / Tungsten İner Gaz
- IQ** : Installation Qualification / Kurulum Yeterlilik
- OQ** : Operational Qualification / Operasyonel Yeterlilik
- PQ** : Performance Qualification / Performans Yeterlilik
- PLC** : Programmable Logic Controller / Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
- TPM** : Total Productive Maintenance / Toplam Verimli Bakım
- USL** : Upper Specification Limit / Üst Spesifikasyon Sınırı
- YSA** : Yapay Sinir Ağları

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1 ISO 6947 ve ASME standartlarına göre kaynak pozisyonları.....	7
Tablo 2.1 Kaynak robotu özellikleri	20
Tablo 2.2 Kaynak robotu hareket hızı.....	20
Tablo 2.3 Robot kaynak kritik parametreler listesi	22
Tablo 3.1 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği.....	29
Tablo 3.2 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği.....	30
Tablo 3.3 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği.....	31
Tablo 3.4 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği.....	31
Tablo 3.5 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği	33
Tablo 3.6 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği	33
Tablo 3.7 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği	34
Tablo 3.8 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği	34
Tablo 3.9 2019 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği.....	36
Tablo 3.10 2020 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği.....	36
Tablo 3.11 2022 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği.....	37
Tablo 3.12 2023 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği.....	37
Tablo 3.13 Kaynak parametre değerleri.....	39
Tablo 3.14 PB pozisyonu makro analizi ölçüm değerleri	42
Tablo 3.15 PF pozisyonu makro analizi ölçüm değerleri	45
Tablo 4.1 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2019)	52
Tablo 4.2 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2020)	54
Tablo 4.3 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2022)	57
Tablo 4.4 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2023)	59
Tablo 4.5 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2019)	61
Tablo 4.6 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2020)	64
Tablo 4.7 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2022)	66
Tablo 4.8 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2023)	69
Tablo 4.9 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2019)	71
Tablo 4.10 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2020)	73
Tablo 4.11 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2022)	75
Tablo 4.12 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2023)	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Kaynak pozisyonları.....	7
Şekil 1.2 Geçerli Kılma (Validasyon) Temel Adımları	11
Şekil 2.1 Fanuc ARC Mate 120iC Kaynak Robotu.....	19
Şekil 2.2 Kaynak robotu eksenleri.....	20
Şekil 3.1 Schunk Pneumatik Klamp Sistemi.....	35
Şekil 3.2 Yeni Fikstür Tasarımı.....	38
Şekil 3.3 PF ve PB Pozisyonunda Kaynatılan Parça Örnekleri.....	39
Şekil 3.4 Kaynak makroları için kullanılan mikroskop	40
Şekil 3.5 PB01 Makro Analizi.....	40
Şekil 3.6 PB02 Makro Analizi.....	41
Şekil 3.7 PB03 Makro Analizi.....	41
Şekil 3.8 PB04 Makro Analizi.....	42
Şekil 3.9 PB05 Makro Analizi.....	42
Şekil 3.10 PF01 Makro Analizi	43
Şekil 3.11 PF02 Makro Analizi	43
Şekil 3.12 PF03 Makro Analizi	44
Şekil 3.13 PF04 Makro Analizi	44
Şekil 3.14 PF05 Makro Analizi	45
Şekil 3.15 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksenine.....	53
Şekil 3.16 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksenine.....	53
Şekil 3.17 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenine	54
Şekil 3.18 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksenine.....	55
Şekil 3.19 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksenine.....	56
Şekil 3.20 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenine	56
Şekil 3.21 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksenine.....	58
Şekil 3.22 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksenine.....	58
Şekil 3.23 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenine	59
Şekil 3.24 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksenine.....	60
Şekil 3.25 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksenine.....	60
Şekil 3.26 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenine	61

Şekil 3.27 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat	62
Şekil 3.28 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat	63
Şekil 3.29 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen	63
Şekil 3.30 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat	65
Şekil 3.31 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat	65
Şekil 3.32 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen	66
Şekil 3.33 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat	67
Şekil 3.34 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat	68
Şekil 3.35 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen	68
Şekil 3.36 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat	70
Şekil 3.37 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat	70
Şekil 3.38 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen	71
Şekil 3.39 2019 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Ekseni	72
Şekil 3.40 2019 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Ekseni	72
Şekil 3.41 2019 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Ekseni.....	73
Şekil 3.42 2020 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Ekseni	74
Şekil 3.43 2020 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Ekseni	74
Şekil 3.44 2020 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Ekseni.....	75
Şekil 3.45 2022 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Ekseni	76
Şekil 3.46 2022 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Ekseni	76
Şekil 3.47 2022 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Ekseni.....	77
Şekil 3.48 2023 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Ekseni	78
Şekil 3.49 2023 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Ekseni	78
Şekil 3.50 2023 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Ekseni.....	79

GİRİŞ

Bir tıbbi cihazın yaşam döngüsü boyunca, tasarımı, geliştirilmesi, üretimi, depolanması, dağıtımı, kurulumu, bakımı ve nihai olarak bertarafı süreçlerinin tasarımı ve takibi tıbbi cihaz üreticileri için kritiktir. Ürünün güvenli kullanımı için tasarım aşamasında belirlenen kabul kriterlerine yönelik validasyon faaliyetleri, ürünü müşteriye sunmadan önce tamamlanmalıdır [1]. Bu sayede, üretim süreçlerinde malzeme kullanımı, işgücü ve mühendislik faaliyetleri etkili bir şekilde planlanarak seri üretimde potansiyel israf önemli ölçüde azaltılabilir.

ISO 14971 Risk Yönetimi standardına göre riskin tanımı: “Zararın meydana gelme ihtimali ile bu zararın şiddetinin bileşimi.” şeklindedir [2]. Tıbbi cihazlarda risk yönetimi, ürün geliştirme sürecinin temel bir bileşenidir. Bu süreç, potansiyel riskleri belirleyerek ve yöneterek ürünlerin güvenliği, güvenilirliği ve yasal düzenlemelere uygunluğunu sağlamaya odaklanır.

Farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılan robot teknolojileri, medikal cihaz üretiminde de önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle manuel ve robot kaynak süreçleri, validasyon gerektiren başlıca üretim aşamalarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu süreçlerde, kritik özelliklerin sağlanabilmesi için proses parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi, validasyonunun yapılması ve optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Parametrelerin titizlikle yönetilmesi, hem ürün kalitesini artırmakta hem de üretim süreçlerinin güvenilirliğini sağlamaktadır.

Bir kaynak robotunun başarılı bir şekilde çalışabilmesi ve güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için birçok bileşen bir araya gelir. Robot kaynağında kullanılan doğru bir fikstür, iş parçalarını hassas bir şekilde konumlandırarak robotun tekrarlanabilir ve verimli kaynak işlemleri gerçekleştirmesine olanak tanır, bu da üretkenliği artırır ve kaliteyi sağlar. Aynı zamanda, fikstürler, iş parçası tutma ve sabitleme üzerinden

güvenlik, kararlılık ve üretim süreçlerinde esneklik sağlayarak operasyonel verimliliğini artırır.

Bu bağlamda, tez çalışması robotik kaynak prosesinin validasyon sürecinde fikstürün kritik rolünü detaylı bir şekilde ele almaktadır. Fikstürlerin doğru kullanımı ve validasyonu, yüksek kaliteli kaynakların elde edilmesi ve üretim süreçlerinin verimliliğinin artırılması açısından önemlidir. Optimum fikstür tasarımı ve validasyonu, kaynak proseslerinde hata oranını en aza indirirken, üretim hızını ve güvenilirliğini de maksimize eder.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Robotlu Kaynak Sistemleri

Kaynak robotları, endüstriyel otomasyonun önemli bir unsuru olan özel robotik sistemlerdir. Genellikle metallerin veya diğer malzemelerin birleştirilmesi işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Bu robotlar, üretim süreçlerini daha etkili, verimli ve güvenli hale getirerek endüstriyel tesislerde yaygın bir şekilde kullanılır.

Kaynak robotları, kaynak hatalarını en aza indirerek ürün kalitesini artırabilir ve nihayetinde işçilik maliyetlerini düşürebilir. Bu nedenle, endüstriyel üretimde kaynak robotları hem teknik hem de ekonomik açıdan birçok avantaj sunmaktadır. Ayrıca insanların zorlu koşullarda çalışmasına gerek kalmadan, kaynak robotları tehlikeli ortamlarda görev yapabilir, böylece iş güvenliği açısından avantaj sağlar.

Bir robot kaynak hücresi tipik olarak bir kontrol sistemi, iş parçası için aparatlar ve/veya manipülatörler, güç kaynakları ve ilgili kaynak ekipmanlarını içerir. Endüstride yaygın olarak kullanılan bir robot genellikle 6 eksenli olup, bu özellik daha az eksenli robotlara kıyasla daha büyük bir esneklik sağlar. 6 serbestlik dereceli robotlar çalışma uzayı içinde kalan her türlü yörüngeyi izleyebilmektedir ve genellikle üç boyutlu parçaların kaynakla imalatında kullanılır. Robot kaynağıyla ilgili diğer önemli hususlar arasında gerekli tüm pozisyonlara erişilebilirlik, deformasyon telafisi ve uygun aparatların (fikstür) seçimi bulunmaktadır. Kaynak işleminde daha fazla erişilebilirlik elde etmek amacıyla iş parçasını konumlandırmak için manipülatörler kullanılabilir [3, 4].

Doğru kaynak prosesi ve ekipman seçimi, kaynak kalitesini ve üretim kapasitesini doğrudan etkiler. Robotlar, kaynakçıdan daha hızlı ve sabit sonuçlar elde ederken, kaynakçının esnekliğine sahip değildir. Hangi tip parçaların robotlu kaynak sistemiyle işleneceğine karar vermek, maliyet etkinliği açısından kritiktir. Robotlu kaynak sistemleri, kullanılan kaynak telinin 1.5 katı kadar tekrarlanabilir hassasiyette yüksek kaliteli kaynak sağlar. Parçalar bu aralıkta tekrarlanabilir değil ise dokunma sensörü (Touch Sensor) veya herhangi bir dikiş izleme sistemi (Seam Tracker) veya ark sensörü (Arc Sensor) gerekecektir [5].

1.2. Robot Kaynak Fikstürleri

Fikstürler, üretim süreçlerinde iş parçalarının doğru pozisyonlarda sabitlenmesini temin ederek üretimin verimliliğini ve kalitesini artırmaktadır. Bu mekanizmaların kullanımı, çeşitli parçaların doğru özelliklerle üretilmesini sağlarken aynı zamanda üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik önemli katkılar sunar. Bu bağlamda, fikstürlerin entegrasyonu, üretim kalitesi ve maliyet etkinliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Eskiden manuel işlemlerle yapılan fonksiyonlar, şimdi otomasyon sistemleri ve özel ekipmanlarla desteklenen yeni teknolojik fikstürlerle gerçekleştirilmektedir. Bu fikstürler, kaynak robotlarıyla kullanılarak seri üretim kapasitelerini artırmakta ve operatör ve ortam güvenliği için koruma sistemleri taşıdığı için önemlidir. Üretim parçalarının sabit koordinatlarda olması gerekliliği, özel tasarlanmış hassas fikstürlere ihtiyaç duyulmasını sağlamaktadır [4, 6].

1.3. Kaynak Yöntemleri

Genel olarak, kaynak işlemi, iki veya daha fazla malzemenin ısı, basınç veya her ikisinin kombinasyonu ile birleştirilmesi sürecidir. Bu işlem, bir dolgu malzemesi kullanılarak veya kullanılmayarak yapılabilir.

Kaynak işlemleri, genel hat itibari ile malzeme veya işlemin cinsine, uygulanış şekline ve kaynağın amacına göre dört aşamada sınıflandırılabilir. Malzeme türüne göre, metalik ve plastik malzeme kaynağı olarak iki aşamada sınıflandırılabilirken, işlem cisine göre ergitme ve basınç kaynağı olarak ikiye ayrılmaktadır [6].

1.3.1. Gazaltı Kaynak Yöntemleri

Gazaltı kaynak yöntemi, koruyucu bir gaz atmosferi altında yapılan bir ark kaynak yöntemidir. Bu yöntemde, kaynak yapılacak bölgeye dışarıdan bir koruyucu gaz verilerek kaynak sırasında metalin oksidasyon ve kirlenmesi önlenir. Gazaltı ark kaynağı türleri [6];

Ergiyen Elektrotla Yapılan Gazaltı Ark

- Soygaz atmosferinde (MIG)
- Karbondioksit atmosferinde (MAG)

Ergimeyen Elektrotla Yapılan Gazaltı Ark

- Erimeyen tek elektrotla (TIG)
- Erimeyen çift elektrotla (Ark Atom)

Gazaltı kaynak yöntemleri arasında en yaygın olanları MIG (Metal Inert Gas) ve MAG (Metal Active Gas) kaynak yöntemleridir. MIG yönteminde inert gazlar (örneğin argon veya helyum), MAG yönteminde ise aktif gazlar (örneğin karbondioksit veya gaz karışımları) kullanılır. Yöntem açısından, MIG ve MAG arasında gaz türü dışında belirgin bir farklılık bulunmamaktadır. Dolayısıyla, MIG-MAG ayrımında en önemli faktör, seçilen gaz türüdür [7, 10, 12]. Bu yöntemler, yüksek kaliteli ve temiz kaynak dikişleri sağlamak için yaygın olarak tercih edilir. Bu tez çalışmasında, tıbbi cihaz üreticisi tesisindeki gaz altı kaynak yöntemini (MAG kaynağı) kullanan robotlar ele alınmıştır.

1.4. Kaynak Prosesi Kalite Faktörleri

Kaynak prosesinin kalite faktörleri, yapı elemanlarının güvenliğini, dayanıklılığını ve performansını doğrudan etkileyen kritik unsurlardır. Bu faktörler, sadece nihai ürünün kalitesini değil, aynı zamanda işletmenin genel performansını ve pazar konumunu da etkiler.

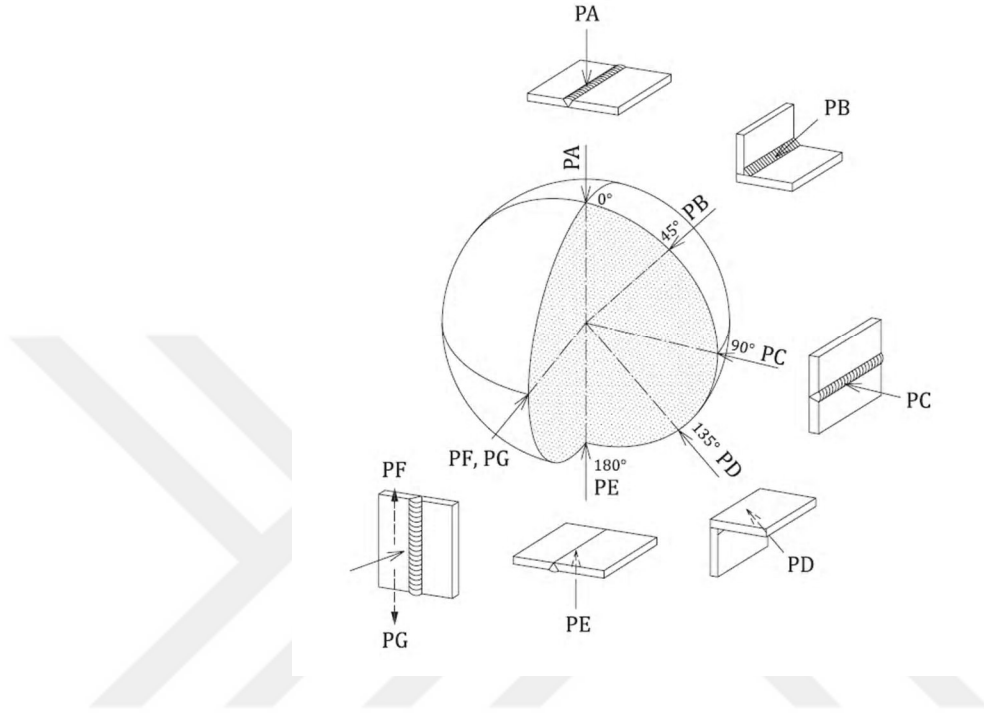
Kaynak prosesinin kalite faktörleri, çeşitli kriterlere ve standartlara uyulmasını gerektirir [8]:

- İlk olarak, tasarım aşamasında yasal düzenlemeler ve standartlar dikkate alınmalı ve uygun teknik resimler kullanılmalıdır.
- Malzeme seçiminde, mümkün olduğunca standartlaştırılmış ve sertifikalı malzemeler tercih edilmeli, ayrıca uygun nakliye ve depolama koşulları belirlenmelidir.
- Kullanılan kaynak yöntemleri tanımlanmalı ve ISO 9606 standardına uygun olmalıdır. Kaynak personelinin, ISO 9606 standardına göre sertifikalandırılmış olması gerekmektedir.
- Kaynak ağızları özenle planlanmalı, temizlenmeli ve uygun şekilde hazırlanmalıdır.
- Çalışma koşulları ve atölye donanımı, minimum gereksinimleri karşılamalı ve güvenlik şartlarına uygun olmalıdır.
- Kaynaktan sonraki ısı işlemler belirli parametreler dahilinde yapılmalı ve uygun standartlar göz önünde bulundurulmalıdır.
- Muayene süreçleri, teknik resimlere ve uygun standartlara göre titizlikle gerçekleştirilmelidir.
- Son olarak, bağımsız kontrol kuruluşları tarafından yapılan kontroller ve detaylı dokümantasyon, kalite güvencesi önlemlerinin sonuçlandırılması açısından kayıt altına alınmalıdır.

1.5. Kaynak Pozisyonları

Kaynak pozisyonları, kaynak işlemlerinin farklı yöntem ve tekniklerine göre konumlandırıldığı ve uygulandığı pozisyonlardır. Bu pozisyonlar, kaynak işlemlerinin kalitesini ve verimliliğini doğrudan etkileyebilir.

Kaynağın pozisyonu, eksen eğimine göre ve kaynağın yüzünün yatay düzleme göre dönmesine göre tanımlanır. EN ISO 6947:2019 Standardına göre kaynak pozisyonları Şekil 1.1’de gösterildiği gibidir [9].



Şekil 1.1 Kaynak pozisyonları

Kaynak pozisyonu sembolleri ve anlamları ISO 6947 ve ABD kaynak pozisyonları sınıflandırma sistemlerinde farklı sembollerle gösterilmektedir. İki standarda göre kaynak sembolleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 ISO 6947 ve ASME standartlarına göre kaynak pozisyonları

Kaynak Sembolü ISO	Kaynak Sembolü ASME	Kaynak Pozisyonu
PA	1F	Düz
PA	1G	Düz
PB	2F	Yatay
PC	2G	Yatay
PD	4F	Tavan

PE	4G	Tavan
PF	3G (Yukarıdan aşağı)	Dikey
PG	3G (Aşağıdan yukarı)	Dikey
PH	5G (Yukarıdan aşağı)	Yatay
PJ	5G (Aşağıdan yukarı)	Yatay
PH-L045	6G (Yukarıdan aşağı)	45 Derece
PJ-L045	6G (Aşağıdan yukarı)	45 Derece

Kaynak pozisyonlarının seçiminde, kaynak yapılacak malzemenin türü ve kalınlığı, kullanılacak kaynak yönteminin (MIG, TIG, GMAW vb.) özellikleri, iş güvenliği ve çalışma ergonomisi ile kaynakçının deneyim ve yetkinliği göz önünde bulundurulmalıdır. İş güvenliği ve ergonomi de göz önünde bulundurularak doğru pozisyon seçimi, kaynakçının deneyimi ve yetkinliği ile birlikte kaynak işleminin kalitesini artırır. Bu seçimler ayrıca üretim sürecinin verimliliğini artırarak genel iş akışını optimize eder.

1.6. Kaynakta Muayene Yöntemleri

Kaynak kalitesi, mühendislik projelerinin güvenli ve başarılı bir şekilde tamamlanması için kritik öneme sahiptir. Güvenlik ve ekonomik faktörler göz önünde bulundurularak, kaynak işlemleri titizlikle uygulanmalı ve ilgili standartlara uygun şekilde gerçekleştirilmelidir.

Kaynakta kullanılan muayene yöntemleri, kaynak işlemlerinin güvenli ve kaliteli olmasını sağlamak için kritik bir rol oynar. Bu yöntemler, kaynak hatalarını tespit ederek, onarım ve kalite kontrol süreçlerinde önemli katkılar sağlar. Her muayene yönteminin kendine özgü avantajları ve spesifik kullanım alanları bulunmaktadır, bu nedenle uygun yöntemin seçimi kaynağın türüne ve kullanım amacına göre belirlenir.

Bu yöntemler genellikle iki ana kategoriye ayrılır: tahribatsız muayene ve tahribatlı muayene.

1.6.1. Tahribatsız Muayeneler

Kaynak kalitesinin kontrolüne yönelik kullanılan tahribatsız yöntemler [10]:

- Görsel Muayene (Visual Inspection – VT)
- Manyetik Parçacık Muayene (Magnetic Particle Testing - MT)
- Radyografik Muayene (Radiographic Testing - RT)
- Sıvı Penetrant Muayene (Liquid Penetrant Testing - PT)
- Ultrasonik Muayene (Ultrasonic Testing - UT)
- Elektromanyetik Muayene (Electromagnetic Testing - ET)
- Optik Emisyon Test (Optical Emission Spectroscopy - OES)

1.6.2. Tahribatlı Muayeneler

Tahribatlı muayene yöntemlerinde, kaynaklı parçadan alınan numuneler teste tabi tutulur ve yerel davranışları incelenir, bu nedenle numunenin tüm parçayı temsil etmesi önemlidir. Tahribatsız muayene ise, yapının bütünlüğünü bozmadan geniş alanlarda hızlı inceleme sağlar ve genel durum hakkında bilgi verir. Tahribatsız yöntemler, yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde etkilidir ancak derinlemesine analizlerde tahribatlı yöntemler kadar detaylı sonuç vermez. Her iki yöntem de kaynak muayenelerinde tamamlayıcıdır; tahribatsız muayene hızlı tarama için, tahribatlı muayene ise detaylı analizler için kullanılır. Bu iki yöntem, kaynak kalitesinin güvenilir ve kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar [10].

Tahribatlı muayene yöntemleri:

- Sertlik Testi (Hardness Test)

- Metalografik (Makro-Mikro Yapı) İnceleme (Macro and Micro Examination)
- Çekme Testi (Tensile Test)
- Kırılma Tokluğu ve Çentik Darbe Testi DeneYleri (Charpy Impact Test)
- Kesme Testi (Sheer Test)
- Bükme Testi (Bend Test)
- Yorulma Testi (Fatigue Test)
- Sürünme Deneyi (Creep Test)
- Korozyon Deneyi (Corrosion Test)

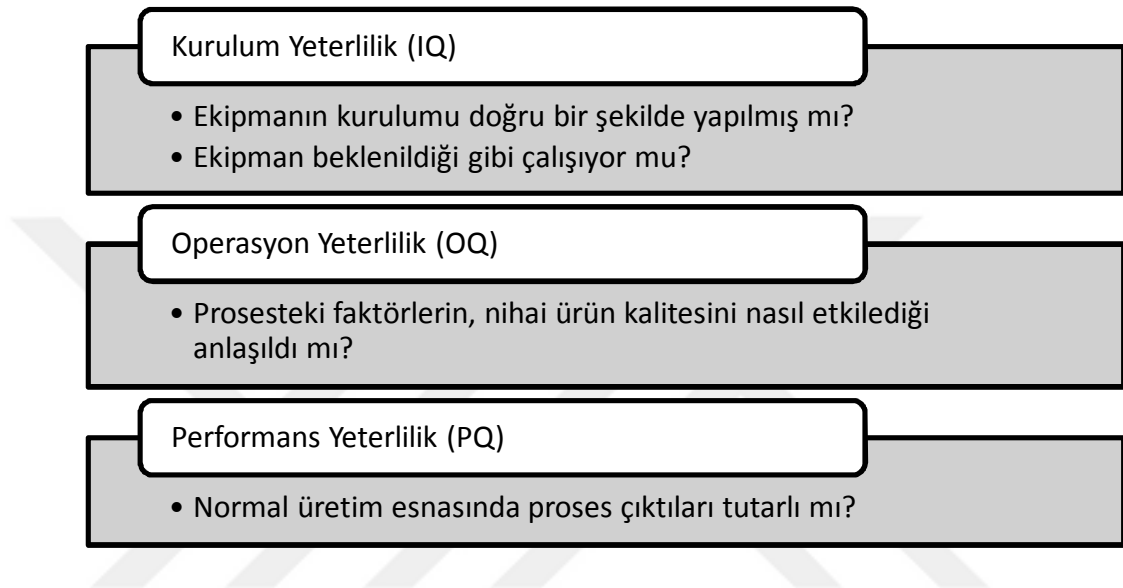
ISO 17637, kaynaklı birleşimlerin görsel muayenesi için rehberlik sunarken; ISO 5817, bu birleşimlerdeki kusurların kabul edilebilirlik seviyelerini belirler. Bu iki standart birlikte kullanılarak kaynaklı birleşimlerin kalite kontrolü etkin bir şekilde gerçekleştirilir ve değerlendirilir [10].

Bu tez çalışmasında kaynak işlemi sonrası kaynak kalitesini değerlendirmek için kaynak numunelerine Metalografik (Makro-Mikro Yapı) inceleme yapılmıştır. Kaynak görselleri ISO 17637 standardına göre incelenirken, görsel muayene sırasında tespit edilen kusurların kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için ISO 5817 standardı [18] rehber olarak kullanılmıştır.

1.7. Validasyon (Geçerli Kılma)

Regülasyonlara göre validasyon, özellikle ilaç, biyoteknoloji ve tıbbi cihaz endüstrilerinde kullanılan bir terim olup, bir sürecin, yöntemin, yazılımın veya sistemin belirlenmiş gereksinimlere ve düzenleyici standartlara uygunluğunu kanıtlama sürecini ifade eder. Validasyonun temel amacı, belirli bir ürünün veya sürecin sürekli olarak güvenli ve etkili olmasını sağlamaktır. Bu süreç, ürün kalitesinin, hasta güvenliğinin ve yasal uyumluluğun temin edilmesi için kritik öneme sahiptir.

Validasyon çalışmaları, süreçlerin önceden belirlenen gereksinimlere uygun olduğundan emin olmak için yeterli kontrolün sağlandığını doğrulamalıdır. Validasyon faaliyetleri ve sonuçları belgelenmelidir. Özetle; bir prosesin çıktıları tam olarak doğrulanamıyorsa, proses valide edilmelidir. Buna örnek olabilecek prosesler ise kaynak prosesi, şişirme enjeksiyon, plastik enjeksiyon vb. [1, 11].



Şekil 1.2 Geçerli Kılma (Validasyon) Temel Adımları

Kurulum yeterlilikleri (IQ) ekipmanın doğru ve güvenli bir şekilde kurulduğunu, operasyonel yeterlilikler (OQ) ekipmanın belirlenen spesifikasyonlara uygun çalıştığını, performans / proses yeterlilikleri (PQ) ise üretim sürecinin istenen kalite standartlarını karşıladığını doğrular. Bu adımlar, ürün kalitesini garanti altına alır, süreçlerin verimliliğini artırır ve üretim hatalarını en aza indirir. Validasyon süreci, müşteri memnuniyetini sağlarken, yasal ve endüstri standartlarına uyumu da temin eder [12].

Tez çalışması kapsamında robot kaynak prosesi ele alındığı için Şekil 1.2’de belirtilen temel validasyon adımları, firmanın belirlemiş olduğu validasyon protokolleri takip edilerek gerçekleştirilmiştir ve uygulama çıktıları standart ve regülasyonlar çerçevesinde değerlendirilmiştir.

1.8. Yeniden Validasyon

Proses kontrol altında çalıştığı sürece ve proses ya da proses çıktısında herhangi bir değişiklik yoksa, prosesin yeniden valide edilmesine gerek yoktur.

Yeniden validasyon şu durumlarda gerekli olabilir:

- Mühendislik veya operasyon talebi doğrultusunda tetiklenen ve kaliteyi veya validasyon durumunu etkileyebilecek fiili proses değişiklikleri.
- Kalite göstergelerinde olumsuz eğilimler (trendler).
- Prosesi etkileyen ürün tasarımındaki değişiklikler.
- Proseslerin / Ürünlerin / Alt sistemlerin bir tesisten başka bir tesise transferi.
- Prosesin uygulanma şeklindeki değişiklikler.
- Kritik parametrelere etki edecek bakım faaliyetleri.

Eğer yapılan değişiklik, validasyonun tüm yönlerinin tekrarlanmasını gerektirmiyorsa, yeniden validasyon başlangıçtaki validasyon kadar kapsamlı olmayabilir. Yapılacak yeniden validasyonun kapsamı, ekiple belirlenerek dokümanite edilmelidir.

1.9. Literatür Çalışması

ISO 13485:2016 Tıbbi cihazlar uluslararası standardı 7.3.7 maddesinde tasarım aşamasında olan bir ürün için; Tasarım ve geliştirmenin geçerli kılınması, nihai ürünün, belirtilen uygulama veya kullanım amacı için gereklilikleri karşılayacak yeterlilikte olduğunu güvence altına almak için planlanan ve dokümanite edilen düzenlemelere uygun olarak yapılmalıdır, şeklinde ifade ederken, 7.5.6 maddesinde ise seri üretimde olan bir ürüne ait proseslerin geçerli kılınmasına yönelik gereklilikler; Kuruluş, elde edilen çıktının, müteakip izleme ve ölçüm ile doğrulanmadığı veya doğrulanmadığı tüm üretim ve hizmet sunma proseslerini geçerli kılmalıdır, şeklinde belirtilmiştir [1].

TS EN ISO 14971 standardının 8. ve 9. maddelerine göre, tıbbi cihaz imalatçısı, üretim öncesi risk yönetim sürecini detaylı bir şekilde gözden geçirmekle yükümlüdür. Ayrıca, tıbbi cihaz veya benzeri cihazlarla ilgili üretim ve üretim-sonrası aşamalarda bilgi

toplamak ve bu bilgileri sistemli bir şekilde değerlendirmek amacıyla bir sistem kurmalı, belgelemeli ve muhafaza etmelidir [2].

Nilsson J., yaptığı çalışmada MIG kaynağı ile yapılan mevcut üretimdeki sorunları ele alarak robot kaynak entegrasyonu sürecindeki zorlukları ve iyileştirme çalışmalarını ele almıştır. Kaynak kalitesini ve robotun performansını artırmak için elektrotun konumlandırılması, parametre optimizasyonu, robot ekipmanının değiştirilmesi, temel malzeme iyileştirmeleri ve kaynak sırası gibi konular iyileştirme kapsamında tutulmuştur. Proje sonunda CMT (Soğuk Metal Transferi) ile robot kaynağı, manuel TIG kaynağına göre kaynak sürelerini büyük ölçüde azaltarak verimliliği artırdığını ve CMT'nin düşük ısı girişi, daha küçük deformasyonlara neden olarak üretim sonrası düzeltme işçiliğini azalttığını gözlemlemiştir. Ayrıca atölyede daha önce CMT kaynağı yapılmadığı için yeterli tecrübenin olmaması sebebiyle projede harcanan zamanın büyük bir kısmı tüm parametre ayarlarını öğrenmek ve bunların etkisini anlamak için harcanmıştır [3].

Kaynak uygulamalarında robot kullanımı milattan önce 270 yıllarına dayanıyor olsa da 1995'li yıllarda günümüz robotları üretim sektörüne dahil olmuştur. Onat M., yaptığı yüksek lisans tezinde kaynak işlemleri sırasında ortaya çıkan mekanik davranışların dairesel ark kaynağına olan etkilerini incelemiştir. Sabit torç ve servo motor tahrikli döner fikstür yapısı ile endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılan ark robotu karşılaştırılmıştır. Yapılan üç farklı deneyde, döner kaynak makinesi kullanılarak üretilen parçalarda yapılan titreşim analizleri, kaynak parametrelerindeki değişkenliklerin kalite üzerinde etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Ancak, sabit fikstür endüstriyel ark robot sistemi kullanıldığında titreşim seviyelerindeki farklılıkların kalitesel sonuçları etkilemediği ve daha yüksek titreşim seviyelerinin kaynak nüfuziyeti veya kalınlığı üzerinde belirgin bir değişiklik yaratmadığı gözlemlenmiştir [4].

Gök ve Afyon, 2000, "Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi" konusunda yazmış olduğu makalede üretici kuruluşların bugünün uluslararası pazarında rekabet edebilir bir çizgi yakalamak için robota dayalı kaynak sistemlerini tercih ettiğini ve bu tercihte olan üreticilerin kaynak kalitesini, verimliliğini ve esnekliğini arttırmak ve müşterilerinin dinamik ihtiyaçlarını karşılamak gerektiğini fark ettiklerini belirtmiştir. Kaynak işlemlerinde fikstür kullanılmasının önemi incelendiğinde, fikstür üzerinde yapılan

kaynak sonrası parça deformasyonlarının daha az olduğu görülmüştür. Özellikle kaynak uygulamalarında fikstür kullanımı, kaynağa bağlı açılmal distorsiyonları etkili bir şekilde azalttığı görülmüştür. Ayrıca, imalat sanayisinde sıklıkla kullanılan fikstürler, imal edilebilirlik, maliyet ve imalat kalitesini doğrudan etkilemektedir [5].

Kılıç M., 2021, "Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı ve Kaynak Sonrası Distorsiyonların Deneysel Olarak İncelenmesi" tez çalışmasında, farklı problemlerin çözümü için tasarlanmış kontrol, montaj ve kaynak fikstürlerinin tasarımını incelemiş ve kaynaklı imalat sonrası meydana gelen distorsiyonları deneysel olarak araştırmıştır. Kaynak fikstürünün distorsiyonu azaltmaya yönelik etkisini net bir şekilde gözlemlemiştir [6].

Tekrar edilebilirlik, diğer bir ismiyle doğrulanabilirlik, herhangi bir makina ekipman veya aletin belirtilen noktaya gidebilme ve pozisyonlama yeteneğidir. Türker K. S., 2015, "Endüstride Kaynak Robotları (Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi)" yüksek lisans tezinde seçim yapılacak robotlu sistemdeki manipülatör, yanında seçilen pozisyoner ve varsa kaydırıcının da (slider) bir tekrar edilebilirlik değeri olacağını belirtmiştir. Türker, çalışmasında robot kaynak fikstürlerinin tasarımı ve imalatının da oldukça önemli olduğunu altını çizmiştir. Doğrusallığın süreç içerisinde çalışmaya bağlı olarak değişmemesi için, her parçada minimum iki adet pim veya farklı doğrusal sabitleme yöntemi kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Çalışma ekinde kaynak fikstürlerinde imalat sonrası kontrol listesi örneği paylaşmıştır [7].

Kerse'nin "Kaynak Dikişlerinde Yükleme Durumlarına Bağlı Olarak Yöntem ve Kalite Seçim Esaslarının İncelenmesi" yüksek lisans tezinde kaynak dikişlerinde yüklenme durumlarının nasıl etkilediğini ve bu durumlara bağlı olarak kullanılan yöntem ve kalite seçim kriterlerinin nasıl olması gerektiğini vurgulamaktadır. Kaynak kalitesinde etkili olan tüm faktörler ilgili standartlar çerçevesinde ele alınarak detaylı bir şekilde anlatılmaktadır [8].

ISO 6947 standardı, "Kaynak - Kaynak pozisyonları" olarak adlandırılan bir standarttır ve kaynak işlemlerinde kullanılan farklı pozisyonları tanımlar. Bu standardın amacı, kaynakçıların ve kaynak işlemlerinin belirli pozisyonlarda nasıl kalifiye edileceğini ve değerlendirileceğini belirlemektir. Ayrıca, farklı kaynak pozisyonlarında yapılacak kaynak işlemlerinde hangi sapmaların kabul edilebilir olduğunu ve bu pozisyonların

nasıl belirleneceğini açıklar. Bu sayede, kaynak işlemlerinin standartlara uygunluğu ve güvenilirliği sağlanmış olur [9].

Münüklü Ö., yüksek lisans tezi çalışmasında S355J2+N kalite yapı çeliğinin, MAG kaynak makinası kullanılarak gerçekleştirilen rutil özlü tel (ELCOR R 71) ve metal özlü tel (ELCOR M 70) kaynaklarındaki mekanik özelliklerini ve makro-mikro yapılarını karşılaştırmalı bir şekilde analiz etmiştir. Bu çalışma, TS EN ISO 17639 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş olup, ilgili parçaların makro ve mikro yapı analizleri, ana metal (BM), ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve kaynak (WM) bölgeleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Her iki telin makro görüntülerinde kaynak uygunsuzluğu tespit edilmemiş, test parçalarının makro yapısında iki pasonun ayırt edilebildiği ve kaynak, ısı tesiri altındaki bölge ve ana metal bölgelerinin kolaylıkla ayrılabilirdiği belirlenmiştir. Her iki telin kaynağında farklı gaz kombinasyonları veya akım ve gerilim değerleri kullanılarak kaynağın mekanik özellikleri ile mikro ve makro yapıların etkilerinin araştırılabileceğini önermiştir [10].

FDA (Food and Drug Administration), Amerika Birleşik Devletleri'nde gıda, ilaç, tıbbi cihazlar ve diğer ilgili ürünlerin güvenliğini ve etkinliğini düzenleyen federal bir ajanstır. Halk sağlığını korumak için bu ürünlerin üretim, dağıtım ve pazarlama süreçlerini denetler ve bilimsel değerlendirmeler yapar. FDA'nın 21 CFR 820.75 maddesi, tıbbi cihaz üreticileri için süreç validasyonu gerekliliklerini belirler. Bu düzenleme, üretim süreçlerinin sürekli olarak belirlenen spesifikasyonlara uygun ürünler üretilmesini sağlamak amacıyla kontrol edilmesini, doğrulanmasını ve belgelenmesini zorunlu kılar. Ayrıca, süreçte yapılan değişikliklerin geçerliliğini korumak için yeniden validasyon gerektiğinde, bu süreç de titizlikle kayıt altına alınmalıdır [11].

Ayvalı H. T., bir tıbbi cihaz üretim tesisinde kullanılan FANUC marka dört adet ARC Mate 120iC modeli robot kaynağın aksenel tekrarlanabilirliğini ölçerek geçerli kılma faaliyetlerini yapmış ve ilgili bakım faaliyetlerini incelemiştir. Uzun vadede oluşabilecek sapmaları analiz edebilmek için tüm yıllara ait proses yeterliliklerinin yeni ortalama değeri ve sapma değerini hesaplayabilmek için M1 metodu yardımıyla varyansı hesaplamış ve karekökünü alarak yeni sapma değerini belirlemiştir. Yeni ortalama değeri için her yıl çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır. Robot üretici

firmanın vermiş olduğu tekrarlanabilirlik değeri; $\pm 0,08$ mm değerine göre Cpk yeterlilik analizi sonucu en az 1,47 seviyelerinde gerçekleşmiştir. 1,33 seviyesine göre prosesin yeterli olduğu görülmüştür [12].

FANUC ARC Mate 120iC, yüksek hızlı ark kaynak ve kesme işlemleri için tasarlanmış, altı eksenli endüstriyel bir robottur. Ekipman kullanım kılavuzu Fanuc, ARC Mate 120iC Mechanical Unit Operator's Manual" validasyon sürecinde ekipman kurulumunda ve proses yeterlik faaliyetleri için müşteri için rehber niteliğindedir [13].

Kızılaslan B. (2020) "İstatistiksel Kalite Kontrol" kitabında, kalite kontrolünün temel kavramlarını, DMAIC döngüsünü ve kalite kontrol süreçlerindeki istatistiksel yöntemleri detaylı bir şekilde açıklamış ve örneklerle desteklemiştir [14].

Ayyıldız M., ve Aşkar Ayyıldız E., "Prototip olarak Tasarlanan Lineer Delta Robotun Doğruluk ve Tekrarlanabilirlik Performansı" çalışmalarında lineer delta robotun prototipini yaparak doğruluk ve tekrarlanabilirlik performansı gerçekleştirmiştir. Performans testleri ISO 9283 standardına göre yapılmış ve 30 tekrarlı olan veriler alınmıştır. Lineer delta robotun performans testlerinin sonuçlarında; ortalama doğruluk 1,25 mm, ortalama tekrarlanabilirlik ise 1,45 mm olarak bulunmuştur. Doğruluk ve tekrarlanabilirlik bir robottan beklenen en temel kriterler arasındadır [15].

Zeylan F. (2006) "Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu Kontrolü" tez çalışmasında kartezyen koordinatlarda sabit hızda hareket eden, otomatik tel ve gaz beslemeli bir kaynak robotu tasarlamış ve kartezyen robotun hareketinin sağlanabilmesi için kaynak yapılacak mesafe ve kaynak hızı gibi parametrelerin tanımlanabileceği bir bilgisayar yazılımı geliştirmiştir. Fakat bilgisayar yazılımı, kaynak torcunun istenilen koordinatlara gitmesi için gerekli komutları gönderdikten sonra, bu komutların gerçekleşip gerçekleşmediği ile ilgili bir geri besleme almamaktadır. Kaynak torcunun kaynak yapılacak bölgenin sıfır noktasına getirilmesi manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmayla birlikte sensör sistemlerinin oldukça önemli olduğunu göstermiştir [16].

Schunk, iş parçalarını ve paletleri güvenli ve hassas bir şekilde konumlandırmak için endüstriyel otomasyon ve mühendislikte kavrama sistemleri, otomasyon çözümleri ve makine sabitleme ürünleri sunan bir firmadır. Bu tez kapsamında robot kaynak fikstürü

sabitlenmesi için kullanılan VERO-S NSE plus 138 model otomatik klamp sistemine ait kullanım kılavuzu rehber olarak kullanılmıştır [17].

TS EN ISO 5817, kaynaklı bağlantıların kalite gereksinimlerini belirleyen bir standarttır. Bu standart, özellikle kaynaklı metal yapıların ve bileşenlerin kalite seviyelerini sınıflandırmak için kullanılır. Üreticiler ve müşteriler, spesifik proje gereksinimlerine göre uygun kaynak kalite seviyesini bu standarda göre seçebilirler [18].

ISM-PM200SA Insize firması tarafından üretilen bir dijital ölçüm cihazıdır. Yüksek çözünürlüklü görüntüleme özelliği sayesinde kaynaklı dikişler, mikro yapılar, yüzey kusurları ve diğer malzeme özelliklerinin detaylı analizini sağlar [19].

ISM PRO, Insize tarafından geliştirilen ve özellikle kaynaklı dikişler ile diğer metal işleme süreçlerinin kalite kontrolü için kullanılan kapsamlı bir ölçüm, analiz ve raporlama yazılımıdır. ISM-PM200SA, ISM-PM600SA ve ISM-PM160L dijital mikroskoplarda bu yazılım kullanılabilir. Bu yazılım, tez kapsamında yapılan kaynaklı parçaların makro analiz verilerini dijital mikroskoptan almak amacıyla kullanılmıştır [20].

Ulu, B., yaptığı tez çalışmasında optimum kaynak yörüngesi planlaması için görüntü işleme tekniğini kullanarak, robotla bilgisayar arasında geliştirilen iletişim protokolü ve MATLAB programı üzerinden otomatik olarak üretilen kaynak yolunu içeren yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yaklaşım ile, imalat hatalarından kaynaklı hatalardan etkilenmeyen bir şekilde geliştirilen sinir ağı modeli ile yörünge hatalarını gidererek optimum sonuçlar elde etmeyi amaçlamıştır [21].

Kaynakların görsel muayenesi, yüzeysel kusurların ve hataların tespiti için uygulanan son derece önemli bir testtir. Bu kusurlar, kaynaklarda en sık karşılaşılan hatalardır. Ayarlı gönye, mikrometre veya bu amaçla tasarlanmış kaynak kalibrasyon takımlarının kullanılması her zaman bir kullanıcı gerektirdiğinden üretimde duruşlara ve uzun vadede yüksek hata oranlarının oluşmasına sebep vermektedir. M. Rodríguez-Martín, S. Lagüela, D. Gonzalez-Aguilera ve P. Rodríguez-Gonzálvez yazdıkları makalede optik makro-fotogrametrik ölçüm yöntemini incelemiş ve bir makro lens ile donatılmış DSLR kamera ve fotogrametrik rekonstrüksiyon yazılımı yardımıyla kaynakların hızlı ve

invaziv olmayan bir şekilde muayenesine ve tespit edilen kusurların geometrik özelliklerinin ölçülmesine imkân sağlayan bir yöntem önermişlerdir [22].



2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Çalışma Kapsamındaki Ekipmanlar

2.1.1. Robot Kaynaklar

Farklı tasarımda olan parçaların imalatı manuel kaynak veya robot kaynakta üretilecek şekilde ürün çetelerinde tanımlıdır. Üretim tesisinde beş adet kaynak hücresi bulunmaktadır. Şekil 2.1’de gösterilen FANUC markasına ait ARC Mate 120iC model eklemlı robot kullanılmaktadır. Çalışma kapsamına beş numaralı kaynak KR05, dahil edilmiştir.



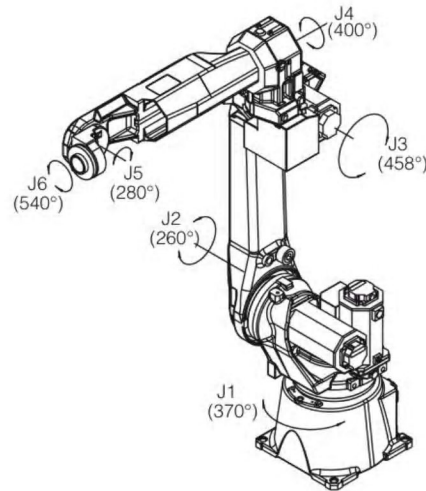
Şekil 2.1 Fanuc ARC Mate 120iC Kaynak Robotu

Tablo 2.1 Kaynak robotu özellikleri

Robot Özellikleri	
Aks sayısı / Axes	6
Yük taşıma / Payload	20 kg
Erişim Alanı / H-Reach	1811 mm
Tekrarlanabilirlik / Repeatability	$\pm 0,08\text{mm}$
Robot Kütlesi / Robot Mass	250 kg

Tablo 2.2 Kaynak robotu hareket hızı

Robot Hareket Hızı	
J1	195 °/s (3.4 rad/s)
J2	175 °/s (3.05 rad/s)
J3	180 °/s (3.14 rad/s)
J4	360 °/s (6.28 rad/s)
J5	360 °/s (6.28 rad/s)
J6	550 °/s (9.6 rad/s)



Şekil 2.2 Kaynak robotu eksenleri

Şekil 2.2’de verildiği gibi kaynak robotunun altı eksenli olması, X, Y ve Z eksenlerinde hareket edebilmesini sağlar. Bu sayede, karmaşık ve çok yönlü kaynak işlemleri gerçekleştirilebilir ve farklı açılardan zor erişilen bölgelerde kaynak yapılabilir [12, 13].

2.1.2. Kaynak Fikstürleri

İlgili kaynak robotunda parçaların sabitlenmesi için kullanılan altı farklı fikstür bulunmaktadır. Kaynak hücrelerine iki adet fikstür bağlanabilir ve bu sayede farklı parçaların aynı anda farklı kaynak pozisyonlarında kaynak yapılabilmesi sağlanır. Bu fikstürler, PLC kontrollü ve pnömatik klamplıdır. Bu sayede, üretim ve montaj süreçlerinde otomatik kontrol ve hassas tutma işlemleri sağlanır. PLC, pnömatik klampların doğru zaman ve sırada çalışmasını yönetir. Pnömatik klamplar, hava basıncı kullanarak hızlı ve güçlü tutma işlemleri gerçekleştirir. İş parçaları hassas ve güvenilir bir şekilde sabitlenir, bu da üretim verimliliğini artırır. Fikstürlerin sağlam yapısı ve modüler tasarımı, çeşitli parçaların işlenmesine uyum sağlar.

Ayrıca, bu fikstürde poka yoke prensibi uygulanmıştır. Fikstürde yer alan bu özellik sayesinde, operatör hataları en aza indirilir ve doğru parçaların doğru şekilde yerleştirildiğinden emin olunur. Fikstürdeki poka yoke mekanizmaları, üretim hattında hata oranını düşürerek güvenilirliği ve performansı artırır.

2.1.3. Kontrol Ekipmanları

Kalite özellikleri genellikle spesifikasyonlar doğrultusunda değerlendirilir. Üretilen bir ürünün spesifikasyonları, hem bileşenlerin hem de nihai ürünün kalite özellikleri için belirlenen hedef değerlerdir [14].

- **Komparatör:** Komparatörler, mekanik, elektronik veya optik olabilir ve genellikle makine parçalarının kalite kontrolünde ve hassas imalat süreçlerinde kullanılır. Robot eksenlerinin istenilen hassasiyette tekrarlama yapıp yapmadığını doğrulamak amacıyla kullanılmaktadır.
- **Optik Araçlar:** Kaynaklı parçadan alınan numune, yüzey incelemesi için hazırlanır ve bu süreç genellikle zımparalama ve gerektiğinde parlatma ile gerçekleştirilir. Optik mikroskop ile iç yapı analizi yapılacaksa, yüzeyin

dağlanması gerekir. Bu işlemler, ISO 17639 standardına uygun olarak gerçekleştirilir [10].

- **3 Boyutlu Ölçüm Cihazı:** Prob adı verilen bir ölçüm aleti ile nesnenin yüzeyine dokunarak veya temassız sensörlerle nesnenin 3D koordinatlarını toplar. Bu veriler, nesnenin boyutları, şekli ve konumunun yüksek doğrulukla belirlenmesine olanak tanır.

2.2. Kaynak Proses Parametreleri

Kaynak proses parametreleri, kaynak işleminin kalitesini ve verimliliğini belirleyen temel değişkenlerdir. Bu parametreler arasında akım (amper), gerilim (volt) ve kaynak hızı gibi elektriksel ve mekanik değişkenler bulunur. Gaz debisi ve ısı giriş miktarı, kaynak dikişinin mikro yapısını ve mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Elektrod veya tel çapı ile elektrod açısı, kaynak havuzunun kontrolünü ve nüfuziyet derinliğini optimize eder.

Kritik proses parametreleri proses tasarımı ve proses iyileştirme çalışmaları sonrasında doğan düzenlemelere göre ekiple birlikte belirlenmektedir. Bu parametrelerin belirlenmesi, ölçüm sonuçlarının sistematik bir şekilde takip edilerek kayıt altına alınmasını gerektirir. Şirket tarafından belirlenen Robot Kaynak Prosesi kritik parametre listesi Tablo 2.3'te olduğu gibidir.

Tablo 2.3 Robot kaynak kritik parametreler listesi

Makine / Ekipman	Proses Girdileri	Proses parametreleri
Kaynak Robotu	Operasyonel eksen hareketleri	Eksenlerin tekrarlanabilirliği
Pozisyoner ve Ana Eksen	Operasyonel eksen hareketleri	Eksenlerin tekrarlanabilirliği
Tel Sürme ve Hortum Paketi	1. Kaynak teli 2. Koruyucu gaz 3. Elektrik iletimi	1. Kaynak teli hızı 2. Koruyucu gaz debisi 3. Akım değeri

Bu tez çalışması kapsamında, proses kritik parametreleri, ilgili standartlar ve proses yapısına uygun olarak şirket tarafından belirlenmiş kabul kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışmada, tekrarlanabilirlik ölçümlerine odaklanıldığından, yalnızca eksen tekrarlanabilirlik alt ve üst limit değerleri paylaşılmıştır. Şirket tarafından kabul edilen tekrarlanabilirlik kabul kriterleri ise;

- Robot eksenleri ve robot pozisyoner tekrarlanabilirliği için limit toleransları $\pm 0,08$ 'dir.
- Fikstürün sök-tak tekrarlanabilirliği için eksenlerin limit toleransı $\pm 0,3$ 'tür.
- Tüm eksenler için verilen limit değerlerine göre cpk yeterlilik indeksi (Cpk) $\geq 1,30$ olmalıdır.

Tekrarlanabilirliğe ek olarak, kaynak robotlarında kaynak yapılacak bölgedeki robotun hareket toleransı, genellikle kullanılan kaynak telinin yarıçapı kadar olmalıdır [12, 16]. Robot yeterlilik analizlerinde kaynak teline göre üst ve alt limit 0,4'ten büyük olup olmama durumu değerlendirilmiştir.

Tablo 2.3'te belirtilen robot kaynak kritik parametrelerine etki eden herhangi bir bakım faaliyeti, ekipman yer değiştirme veya benzeri durumlar meydana geldiğinde validasyon süreci yeniden yürütülmelidir. 1.8 maddesinde belirtilen validasyon tekrarının gerektiği durumlar, ilgili departmanlar tarafından takip edilmeli ve validasyon prosedürleri veya proses talimatları bu durumları kapsayacak şekilde güncellenmelidir. Ayrıca, personellere bu güncellemeler hakkında gerekli eğitimler verilmeli ve bu eğitimler eğitim formu ile kayıt altına alınmalıdır.

2.3. Validasyon Protokolü

2.3.1. Kurulum Yeterlilik

Proses ekipmanları ve yardımcı sistemlerin listesi çıkarılarak kurulumundaki kritik noktaların, üretici tarafından belirlenen teknik özelliklere uygunluğunun objektif kanıtlarla doğrulanması yapılır. Bu sayede ekipmanın doğru bir şekilde kurulup kurulmadığı net olarak belirlenir. Aşağıdaki başlıklar IQ kapsamında değerlendirilir:

- Ekipman Gözlemi
- Dokümantasyon
- Bakım
- Çevresel Şartlar
- Güç Kaynağı Çıkış Değer Ölçümleri (Faz, Frekans, Voltaj, Akım)
- Yardımcı Sistemler
- Sağlık ve Güvenlik

2.3.2. Operasyonel Yeterlilik

Doğru kurulduğu tespit edilmiş olan ekipmanın amaçlandığı gibi çalıştığının objektif kanıtlarının sunulması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda değerlendirilen süreçler aşağıdaki gibidir:

- Güvenlik sistemleri
- Gaz debisi
- Robotik kaynak fikstürü
- Bilgisayar yazılım doğrulama işlemi
- Robot müdahale güvenliği
- Tel hızı
- Kaynak ünitesi çıkış değerleri
- Tekrarlanabilirlik
 - ✓ Robot eksenleri tekrarlanabilirliği
 - ✓ Robot pozisyoner tekrarlanabilirliği

✓ Robot fikstür tekrarlanabilirliği

Yeterlilik hesabı yöntemleri, sistemlerin performans ve güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılan tekniklerdir. Proses Yeterlilik İndeksi (Cpk ve Cp), prosesin toleranslara uygunluğunu ölçer. İstatistiksel Proses Kontrol (SPC), üretim süreçlerini izler ve sapmaları tespit ederken, hipotez testleri kalite standartlarına uyumu doğrulamak için kullanılır.

Tekrarlanabilirlik sonuçlarının yer aldığı tablolarda Cp ve Cpk değerlerinin yanı sıra CpL ve CpU değerleri de sunulmuştur. Şirketin belirlediği kabul kriterlerine göre, çalışma kapsamında yeterlilik analizinde sadece Cpk değeri dikkate alınmaktadır. CpL ve CpU değerlerinin yüksek olması, sürecin spesifikasyon sınırlarına göre merkezi ve daha stabil olduğunu gösterirken, düşük CpL ve CpU değerleri, sürecin alt veya üst sınırdan birine çok yakın olduğunu, dolayısıyla hatalı üretim riskinin arttığını işaret eder. Yeterlilik analizleri için aşağıdaki formüllerden faydalanılmıştır.

USL: Üst limit, LSL: Alt limit

\bar{X} = Aritmetik ortalama, σ = Sapma değeri

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$T = USL - LSL$$

$$Cp = \frac{T}{6 \cdot \sigma}$$

$$Cpk = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot \sigma}\right)$$

Cpk değerleri genellikle 1,30 veya 1,33 gibi standart sınırlarla kıyaslanır, ancak farklı bağlamlarda ve endüstrilerde başka kıyaslama değerleri de kullanılabilir. Örneğin, Ayvalı'nın tez çalışmasında, Cpk'nın 1,33'ten küçük ya da büyük olmasına göre proses yeterlilik sonuçlarını değerlendirmiştir [12]. Öte yandan, Kızılaslan'ın "İstatistiksel

Kalite Kontrol" kitabında ise Cpk'nın 0 veya 1'den küçük ya da büyük olma durumlarına göre değerlendirmeler yapılmıştır [14].

2.3.3. Performans Yeterlilik

Kurulum koşulları ve operasyonel yeterlilik gereksinimleri doğrultusunda test edilip onaylanmış robot kaynak makineleriyle gerçekleştirilen kaynak işlemlerinin performans niteliklerinin, standart gereksinimlere uygunluğunun test edilmesi ve sonuçların değerlendirilerek raporlanmasıdır.

Bu aşamada kaynak dikişinin tahribatsız olarak görsel muayenesi yapılması yanı sıra makro testlerle doğrulandır. Makro testler için akredite kuruluşlar tercih edilebileceği gibi şirket bünyesinde bulunan yetkin personeller (kaynak proses uzmanı / kaynak mühendisi) tarafından da yapılabilmektedir.

Şirket içinde gerçekleştirilen geçmiş yıl validasyonları, akredite edilmiş bir kuruluş tarafından yapılan makro testlerle desteklenmiş ve bu testlerin sonuçları validasyon raporuna eklenmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan kaynaklı parçaların makro analizi, Şekil 3.4'te belirtilen dijital mikroskop yardımıyla şirket bünyesinde yapılmıştır.

2.4. Proses Takibi ve Bakım Faaliyetleri

Bir ekipmanın kurulumu esnasında, üretici firmanın kullanma kılavuzunda belirttiği bilgiler doğrultusunda kapsamlı bir bakım talimatı hazırlanmalıdır. Bu bakım faaliyetleri, ekipmanın uzun ömürlü ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak amacıyla titizlikle planlanır ve belgelenir. Hazırlanan bakım talimatları, validasyon sürecinin IQ (Kurulum Yeterlilik) adımıyla ayrıntılı bir şekilde kontrol edilerek doğrulandır.

Tesiste, Toplam Verimli Bakım (TPM) yaklaşımı doğrultusunda, fikstürler ve robot kaynaklar için gerekli bakım talimatları mevcuttur. Ayrıca, bu bakım talimatlarının ve proses takibinin etkisini değerlendirebilmek için detaylı bakım formları oluşturulmuştur. Bu sayede, bakım faaliyetlerinin etkinliği ve süreç üzerindeki etkileri düzenli olarak bakım ekibi ve proses mühendisleri tarafından izlenip değerlendirilebilecektir [12].

Bakım ekibi gerçekleştirdiği bakım işlemlerinde, ilgili prosesin validasyon kritik parametre listesinde yer alan herhangi bir parametreye etkisinin olup olmadığını kontrol etmelidir. Eğer bir etki tespit edilirse, bakım ekibi imalat ekibini derhal bilgilendirmelidir. Etki tespit edilmediği durumlarda ise, bakım faaliyeti raporu gerekçesiyle birlikte kaydedilmelidir.



3. BÖLÜM

UYGULAMA VE BULGULAR

3.1. Validasyon (Geçerli Kılma)

Operasyonel Yeterlilik (OQ) ve Performans Yeterlilik (PQ) adımları, validasyon prosedüründe belirtilen protokoller doğrultusunda gerçekleştirilmiş olup, Kalite Yönetim Sistemi'nde (KYS'de) muhafaza edilmek üzere hem dijital kopyaları hem de imzalı çıktıları saklanmaktadır. Kalite yönetimi kapsamında, tüm kayıtlar sistematik bir şekilde arşivlenmeli ve gerektiğinde erişime açık bulundurulmalıdır.

Tez kapsamında, robot ve fikstür tekrarlanabilirliğinin yanı sıra kaynak kalitesinin değerlendirilmesine odaklanılmıştır. Ancak, kurulum yeterliliği konusuna ilişkin çalışmalar bu aşamada ele alınmamıştır.

Robotların pozisyon performansı, doğruluk ve tekrarlanabilirlik ile ölçülür. Doğruluk, robotun üç boyutlu uzayda istenen pozisyona ne kadar hassas ulaşabildiğini ifade ederken; tekrarlanabilirlik, aynı pozisyona tekrar tekrar yüksek tutarlılıkla ulaşabilme yeteneğini gösterir. Bu parametreler, robotların güvenilirliği ve etkinliği açısından kritiktir. Doğruluk ve tekrarlanabilirlik EN ISO 9283 standardına göre yapılmalıdır, ancak ölçümler için farklı yöntemler kullanılabilir [12, 15, 16].

3.1.1. Kaynak Robotu Tekrarlanabilirlik Ölçümleri

Prosesin müşteri ihtiyaçlarına göre belirlenmiş spesifikasyon limitlerine göre değerlendirilmesi yeterlilik indeksleri ile gerçekleştirilir [14]. EN ISO 9283 standardına göre eksenel tekrarlanabilirlik için numune sayısı 30 olarak belirtilmektedir. Şirketin validasyon protokolünde de 30 tekrar yapılacak şekilde planlama yapılmıştır [12]. 2.2'de belirtilen kabul kriterlerine göre ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

3.1.1.1. Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği

Robot eksen tekrarlanabilirliği için takip edilmesi gereken adımlar aşağıda verilmiştir.

- Kaynak robotuna bağlı torcun ölçüm için tamamen sıkı ve gevşek olmadığından emin olun.
- Kaynak torcunu robot tezgahına doğru robotun tüm eksenleri hareket edecek şekilde ölçüm alınabilecek bir konumda pozisyonlandırın.
- Komparatörlerin ölçüm ucu kaynak torcuna temas ettirilerek, ekranındaki değer sıfırlanır.
- Kaynak torcu robotun tüm eksenleri hareket ettirilerek komparatörle teması kesilir ve tekrar güvenli bir şekilde komparatörlere aynı şekilde temas ettirilir.

30 tekrar yapıldıktan sonra her tekrarda eksenlerdeki sapmalar, Ek 1'de gösterildiği şekilde kaydedilmiştir. 2019 yılı için Cp ve Cpk analizlerinin sonuçları Tablo 3.1'de, 2020 yılı için Tablo 3.2'de, 2022 yılı için Tablo 3.3'te ve 2023 yılı için Tablo 3.4'te değerlendirilmiştir.

Tablo 3.1 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0119	-0,0216	-0,0430
Sapma (σ)		0,0056	0,0083	0,0079
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Robot	Cp	4,78	3,20	3,36
	CpL	5,49	2,34	1,56
	CpU	4,07	4,06	5,16
	Cpk	4,07	2,34	1,56
LSL		-0,40	-0,40	-0,40
USL		0,40	0,40	0,40
Tel	Cp	23,91	15,99	16,80
	CpL	24,62	15,13	14,99
	CpU	23,21	16,86	18,60
	Cpk	23,21	15,13	14,99

Tablo 3.1'deki sonuçlara baktığımızda Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyük çıkmıştır. Prosesin yeterliliği sağlanmıştır.

Robot eksen tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2019 yılı için Ek 1'de X eksen verileri Şekil 3.15'te, Y eksen verileri Şekil 3.16'da ve Z eksen verileri Şekil 3.17'de sunulmuştur.

Tablo 3.2 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0129	-0,0056	-0,0348
Sapma (σ)		0,0037	0,0212	0,0094
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Robot	Cp	7,27	1,26	2,83
	CpL	8,44	1,17	1,60
	CpU	6,09	1,34	4,06
	Cpk	6,09	1,17	1,60
LSL		-0,40	-0,40	-0,40
USL		0,40	0,40	0,40
Tel	Cp	36,33	6,28	14,14
	CpL	37,50	6,19	12,91
	CpU	35,15	6,37	15,37
	Cpk	35,15	6,19	12,91

Tablo 3.2'deki veriler incelendiğinde X ve Z eksen için Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyükken Y ekseninde daha düşüktür. Kaynak teline göre değerlendirme yaparsak proses yeterliliği sağlanmış olsa da geçen yıla göre daha düşük sonuçlar alınmıştır. Prosesin takip edilmesi gerektiği yorumunu yapabiliriz.

Robot eksen tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2020 yılı için Ek 1'de X eksen verileri Şekil 3.18'de, Y eksen verileri Şekil 3.19'da ve Z eksen verileri Şekil 3.20'de sunulmuştur.

Tablo 3.3 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0075	0,0036	0,0037
Sapma (σ)		0,0160	0,0028	0,0033
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Robot	Cp	1,67	9,66	8,09
	CpL	1,83	10,10	8,47
	CpU	1,52	9,22	7,71
	Cpk	1,52	9,22	7,71
LSL		-0,40	-0,40	-0,40
USL		0,40	0,40	0,40
Tel	Cp	8,36	48,30	40,44
	CpL	8,51	48,74	40,82
	CpU	8,20	47,86	40,06
	Cpk	8,20	47,86	40,06

Tablo 3.3'teki verilere baktığımızda Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyük olduğu görülmektedir. Tablo 3.2 2020 yılı verilerine göre proses daha yeterli çıkmıştır.

Robot eksen tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2022 yılı için Ek 1'de X eksen verileri Şekil 3.21'de, Y eksen verileri Şekil 3.22'de ve Z eksen verileri Şekil 3.23'de sunulmuştur.

Tablo 3.4 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0028	0,0035	0,0045
Sapma (σ)		0,0022	0,0033	0,0042
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Robot	Cp	12,25	8,19	6,36
	CpL	12,68	8,54	6,72
	CpU	11,83	7,83	6,01
	Cpk	11,83	7,83	6,01
LSL		-0,40	-0,40	-0,40
USL		0,40	0,40	0,40
Tel	Cp	61,26	40,95	31,81
	CpL	61,69	41,30	32,17
	CpU	60,84	40,59	31,46
	Cpk	60,84	40,59	31,46

Tablo 3.4'teki verilere baktığımızda, Tablo 3.3 2022 yılı verilerine kıyasla biraz daha düşük veriler elde edilmiştir fakat Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyük olduğu görülmektedir. Sistem yeterlidir.

Robot eksen tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2023 yılı için X eksen verileri Şekil 3.24'te, Y eksen verileri Şekil 3.25'te ve Z eksen verileri Şekil 3.26'da sunulmuştur.

Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'ü genel olarak değerlendirdiğimiz zaman, kaynak robotlarında, $\pm 0,08$ mm robot eksen tekrarlanabilirliği ve $\pm 0,4$ mm kaynak teli yarıçapı toleranslarına göre Cpk değerleri incelendiğinde, daha geniş tolerans aralığının ($\pm 0,4$ mm) daha yüksek Cpk değeri sağladığı görülmüştür. Bu durum, sürecin spesifikasyon limitleri içinde daha iyi performans gösterdiğini ve daha az varyasyon sergilediğini ifade eder. Dar tolerans aralığı ($\pm 0,08$ mm) ise sürecin spesifikasyon limitlerine daha yakın olduğunu ve daha sıkı bir kontrol gerektirdiğini gösterir.

3.1.1.2. Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği

Tekrarlanabilirlik testi eğer var ise pozisyonerli kaynak hücrelerinde uç eksene ve ana eksene uygulanmalıdır.

Uç eksen ve ana eksen için de en az 90 derece hareket tekrarı sağlanarak robot eksenlerinde olduğu gibi komparatörle ölçüm yapılır ve ölçüm değerleri kaydedilir.

Kaynak robotunda mevcut olan uç pozisyonerleri döndüren ana eksen için fikstür içeri ve fikstür dışarı manuel komutlarıyla 30 kez komut tekrarlanmıştır. Bu hareket ana eksen miline en yakın olacak konumda yerleştirilen dijital komparatörle ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Ek 2'de gösterildiği şekilde kayıt altına alınmıştır.

Robot pozisyoner tekrarlanabilirliği 2019 yılı için Cp ve Cpk analizlerinin sonuçları Tablo 3.5'te, 2020 yılı için Tablo 3.6'da, 2022 yılı için Tablo 3.7'de ve 2023 yılı için Tablo 3.8'de değerlendirilmiştir.

Tablo 3.5 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği

Değerler		A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
Ortalama		0,0010	0,0108	-0,0193
Sapma (σ)		0,0010	0,0020	0,0080
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Pozisyoner	Cp	25,81	13,07	3,33
	CpL	26,12	14,83	2,52
	CpU	25,49	11,30	4,13
	Cpk	25,49	11,30	2,52

Tablo 3.4'teki verilere baktığımızda Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyük olduğu görülmektedir.

Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2019 yılı için A kanat verileri Şekil 3.27'de, B kanat verileri Şekil 3.28'de ve Ana eksen verileri Şekil 3.29'da sunulmuştur.

Tablo 3.6 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği

Değerler		A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
Ortalama		0,0014	0,0102	-0,0178
Sapma (σ)		0,0012	0,0029	0,0090
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Pozisyoner	Cp	22,33	9,19	2,97
	CpL	22,73	10,36	2,31
	CpU	21,93	8,02	3,63
	Cpk	21,93	8,02	2,31

Tablo 3.6'daki verilere baktığımızda, 2019 yılı verilerine göre biraz daha düşük çıksa da Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyük olduğu ve yeterli olduğu görülmektedir.

Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, Ek 2'de 2020 yılı için A kanat verileri Şekil 3.30'da, B kanat verileri Şekil 3.31'de ve Ana eksen verileri Şekil 3.32'de sunulmuştur.

Tablo 3.7 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği

Değerler		A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
Ortalama		0,0016	0,0017	0,0201
Sapma (σ)		0,0013	0,0010	0,0093
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Pozisyoner	Cp	20,07	25,93	2,85
	CpL	20,47	26,47	3,57
	CpU	19,67	25,39	2,14
	Cpk	19,67	25,39	2,14

Tablo 3.7'deki verilere baktığımızda, 2020 yılı verilerine göre Cp ve Cpk değerleri daha yüksek çıkmıştır. Kabul kriteri 1,3'ten büyük olduğu için yeterlidir.

Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2022 yılı için A kanat verileri Şekil 3.33'de, B kanat verileri Şekil 3.34'te ve Ana eksen verileri Şekil 3.35'te sunulmuştur.

Tablo 3.8 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği

Değerler		A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
Ortalama		0,0115	0,0100	0,0018
Sapma (σ)		0,0051	0,0015	0,0014
LSL		-0,08	-0,08	-0,08
USL		0,08	0,08	0,08
Pozisyoner	Cp	5,27	18,10	18,42
	CpL	6,03	20,37	18,83
	CpU	4,51	15,83	18,00
	Cpk	4,51	15,83	18,00

Tablo 3.8 2023 verileri incelendiğinde, Cp ve Cpk değerlerinin 1,30 değerinden yüksek olduğu görülmüştür.

Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2023 yılı için A kanat verileri Şekil 3.36'da, B kanat verileri Şekil 3.37'de ve Ana eksen verileri Şekil 3.38'de sunulmuştur.

Robot pozisyoner için tüm yıllara göre Cp ve Cpk değerleri istenilen seviyenin üzerinde olduğu görülmüştür.

3.1.1.3. Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği

Bağlı olan fikstürü sistemden ayırıp tekrar sisteme bağlandığında fikstür pozisyonunu komparatörlerle kontrol edilir.

Robot fikstürleri, Şekil 3.1'de gösterilen Schunk markasına ait Pneumatik Klamp Sistemi [17] kullanılarak kolay bir şekilde sökülüp takılabilir. Bu sistem hem yüksek mekanik hassasiyet hem de güvenilirlik sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Klamp sisteminin hassasiyeti, her ne kadar protokolde 30 tekrar olacak şekilde planlansa da 15 kez sökülüp takılma işlemi gerçekleştirilerek değerlendirilmiştir. Yüksek hassasiyetli arm cihazı ile ölçüldüğü için ekip 15 kez olması tarafından yeterli görüşmüştür. Her bir takma işleminde, arm ölçüm cihazı kullanılarak fikstürün sıfır noktası belirlenmiş ve X, Y, Z eksenlerinde meydana gelen sapmalar kaydedilmiştir. Elde edilen sapma verileri, proses yetenek analizi kapsamında Cpk ile değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 Schunk Pneumatik Klamp Sistemi

Kaynak robotuna ait toplamda altı farklı fikstür bulunmaktadır. Üretim verilerinin analizi sonucunda, potansiyel dar boğaz oluşturabilecek fikstürlerden altı numaralı

fikstüre ait tekrarlanabilirlik sonuçları incelenmiştir. Minitab programı kullanılarak verilerin yeterlilik analizleri yapılmıştır. 2019 yılı için Cp ve Cpk analizlerinin sonuçları Tablo 3.9'da, 2020 yılı için Tablo 3.10'da, 2022 yılı için Tablo 3.11'de ve 2023 için Tablo 3.12'de değerlendirilmiştir.

Tablo 3.9 2019 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0181	-0,0027	0,0495
Sapma (σ)		0,0259	0,0180	0,0132
LSL		-0,30	-0,30	-0,30
USL		0,30	0,30	0,30
Fikstür	Cp	3,86	5,57	7,57
	CpL	4,09	5,52	8,82
	CpU	3,62	5,62	6,32
	Cpk	3,62	5,52	6,32

Tablo 3.9'a göre 2019 verileri için Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten yüksek çıkmıştır.

Robot fikstür tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, Ek 3'te 2019 yılı için X eksenine Şekil 3.39'da, Y eksenine verileri Şekil 3.40'da ve Z eksenine verileri Şekil 3.41'de sunulmuştur.

Tablo 3.10 2020 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0034	-0,0103	0,0474
Sapma (σ)		0,0015	0,0137	0,0140
LSL		-0,30	-0,30	-0,30
USL		0,30	0,30	0,30
Fikstür	Cp	67,38	7,33	7,14
	CpL	68,14	7,07	8,27
	CpU	66,63	7,58	6,01
	Cpk	66,63	7,07	6,01

Tablo 3.10'daki veriler incelendiğinde, Cp ve Cpk değerleri 1,3'ten büyüktür. 2019 yılı verilerine göre X eksenine verileri oldukça yüksek çıkmıştır.

Robot fikstür tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2020 yılı için X eksenini Şekil 3.42'de, Y eksenini verileri Şekil 3.43'de ve Z eksenini verileri Şekil 3.44'de sunulmuştur.

Tablo 3.11 2022 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		0,0136	0,0215	0,0239
Sapma (σ)		0,0060	0,0112	0,0166
LSL		-0,30	-0,30	-0,30
USL		0,30	0,30	0,30
Fikstür	Cp	16,57	8,96	6,02
	CpL	17,32	9,60	6,50
	CpU	15,82	8,32	5,54
	Cpk	15,82	8,32	5,54

Tablo 3.11'e göre 2022 yılında üç eksen için de değerler 1,3'ten yüksek çıkmıştır. 2020 yılına göre X eksenini verilerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Robot fikstür tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2022 yılı için X eksenini Şekil 3.45'te, Y eksenini verileri Şekil 3.46'da ve Z eksenini verileri Şekil 3.47'de sunulmuştur.

Tablo 3.12 2023 Robot Fikstürü Tekrarlanabilirliği

Değerler		X	Y	Z
Ortalama		-0,0281	-0,0702	-0,0227
Sapma (σ)		0,0216	0,0292	0,0085
LSL		-0,30	-0,30	-0,30
USL		0,30	0,30	0,30
Fikstür	Cp	4,62	3,43	11,82
	CpL	4,19	2,63	10,93
	CpU	5,05	4,23	12,72
	Cpk	4,19	2,63	10,93

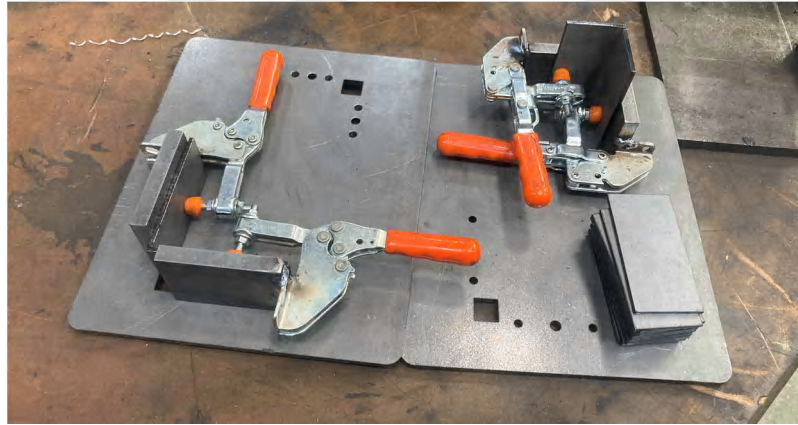
Tablo 3.12'ye göre önceki yıllara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Ancak, Cp ve Cpk değerleri, 1,3'ten büyük olduğu için bu sonuçlar yeterli olarak ele değerdirebiliriz.

Robot fikstür tekrarlanabilirlik verileri, Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen grafikler, 2023 yılı için X eksen Şekil 3.48'de, Y eksen verileri Şekil 3.49'da ve Z eksen verileri Şekil 3.50'de sunulmuştur.

Fikstürün sök-tak tekrarlanabilirliği için eksenlerin belirlenen limit toleransı $\pm 0,3$ 'tür. Kabul kriteri olarak belirlenen Cpk yeterlilik indeksi tüm eksenler için $(Cpk) \geq 1,30$ olmalıdır. Buna göre yapılan değerlendirmede, X, Y ve Z eksenlerinin Cpk değerlerinin tüm yıllar için 1,30'dan büyük olduğu görülmektedir.

3.2. Test Düzeneği

Bu tez kapsamında, mevcut fikstürlerin tekrarlanabilirlik verileri temel alınarak Şekil 3.2'de belirtilen yeni bir fikstür tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu yeni fikstürle iki farklı kaynak pozisyonunda yapılan kaynak işlemlerinin makro testleri uygulanarak nüfuziyetleri analiz edilmiştir. Bu analiz, robot, pozisyoner ve fikstürün uyum içinde çalıştığını ve yeni tasarımın performansını ve etkinliğini değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.



Şekil 3.2 Yeni Fikstür Tasarımı

Şekil 3.3'te gösterildiği gibi 60x30 mm kesilen plakalardan 5'er adet PF (aşağıdan yukarıya) ve PB (yatay) yönünde kaynak işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.3 PF ve PB Pozisyonunda Kaynatılan Parça Örnekleri

Tablo 3.13'te belirtilen kaynak parametreleri, her bir kaynak pozisyonu için sabit tutulmuştur.

Tablo 3.13 Kaynak parametre değerleri

Kaynak Parametresi	PB Kaynak Pozisyonu	PF Kaynak Pozisyonu
Tel sürme hızı	4.8 m/dk	9.1 m/dk
Amper	48 A	185 A
Voltaj	14.5 V	21.8 V

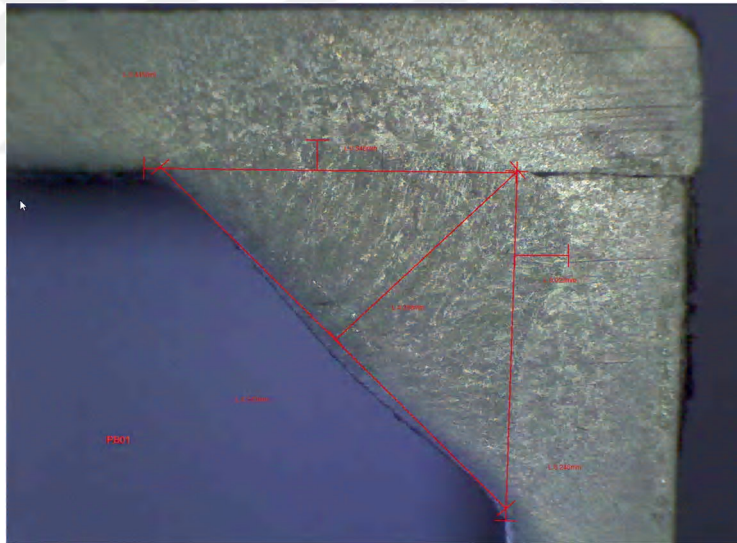
Numunelere yapılan her kaynak işleminden önce fikstür vinç yardımıyla sökölüp yeniden Schunk'a takılması sağlanmıştır. Kaynatılan parçalar, tam ortadan kesilerek zımpara ile parlatılmıştır. Kesim yerlerine Nital Çözeltisi uygulanarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklı bağlantılarda kabul edilebilir hata ve kusur seviyeleri TS EN ISO 5817 [18] standardına göre analiz edilerek, dokümanite edilmek üzere kayıt altına alınmıştır. PB ve PF pozisyonlarında kaynatılan numunelere ait makro analizler Şekil 3.4'te gösterilen ISM-PM200SA model dijital mikroskop [19] yardımıyla yapılmıştır.

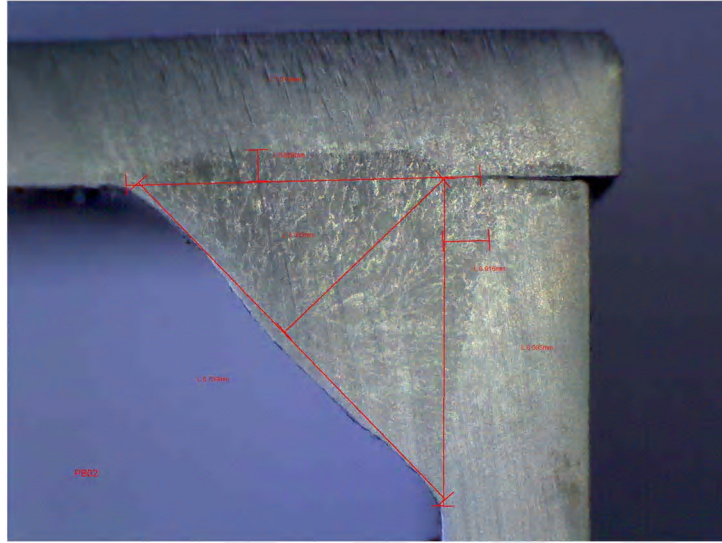


Şekil 3.4 Kaynak makroları için kullanılan mikroskop

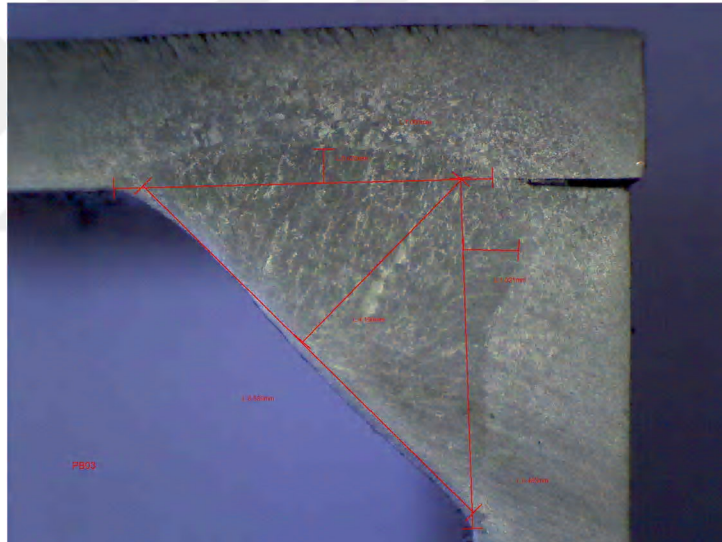
PB kaynak pozisyonunda kaynatılan beş numuneye ait makro analizler Insize ISM-PRO [20] aracılığı ile yapılmış olup, sonuçlar Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir.



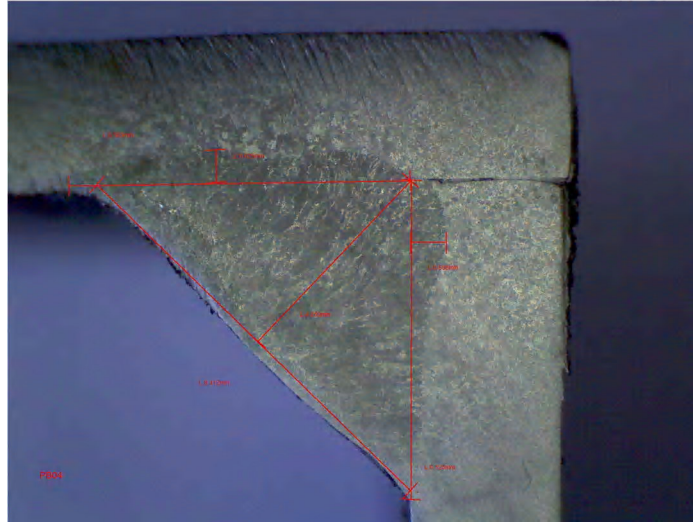
Şekil 3.5 PB01 Makro Analizi



Şekil 3.6 PB02 Makro Analizi



Şekil 3.7 PB03 Makro Analizi



Şekil 3.8 PB04 Makro Analizi



Şekil 3.9 PB05 Makro Analizi

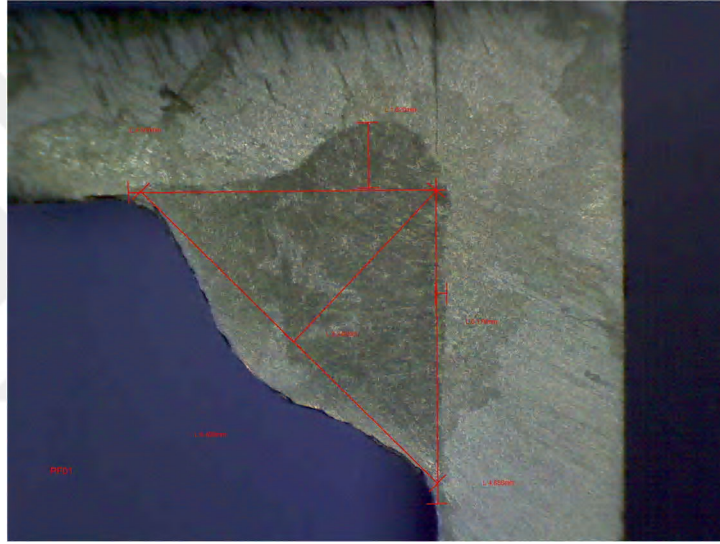
PB yönünde kaynatılan parçalara ilişkin makro analiz sonuçları, Tablo 3.14'te belirtilmiştir.

Tablo 3.14 PB pozisyonu makro analizi ölçüm değerleri

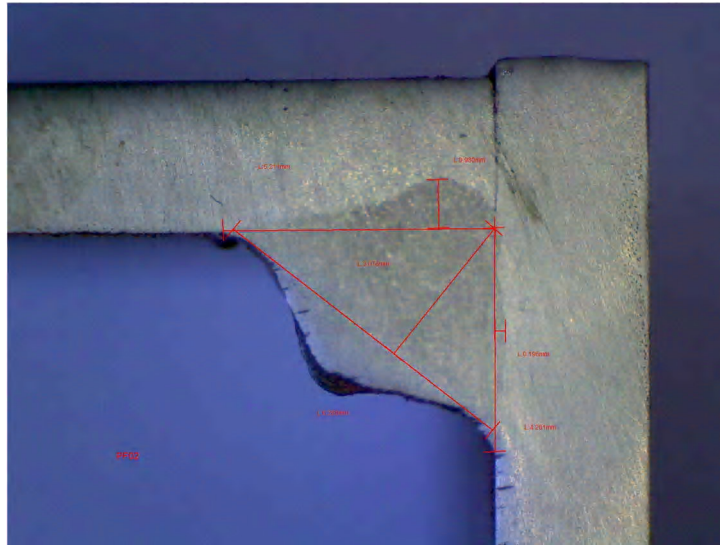
Numune	h1	h2	b	t1	t2	a
PB01	6,445	6,246	8,563	0,545	0,929	4,358
PB02	7,019	6,503	8,739	0,626	0,916	4,362
PB03	7,003	6,483	8,589	0,625	1,021	4,199
PB04	6,563	6,125	8,412	0,625	0,688	4,259
PB05	6,279	6,762	8,846	0,379	1,260	4,391

PB kaynak pozisyonunda gerçekleştirilen kaynakların makro analizleri incelendiğinde, kaynak bacaklarının simetrik olduğunu ve köşe kaynaklarda herhangi bir asimetrinin bulunmadığı gözlemlenmiştir. Kaynaklarda kök nüfuziyetinin mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kök nüfuziyeti değerlendirmesi için t1 ve t2 değerleri dikkate alınmıştır. Bu durum, kaynak sürecinin güvenilirliğini ve etkinliğini göstermektedir.

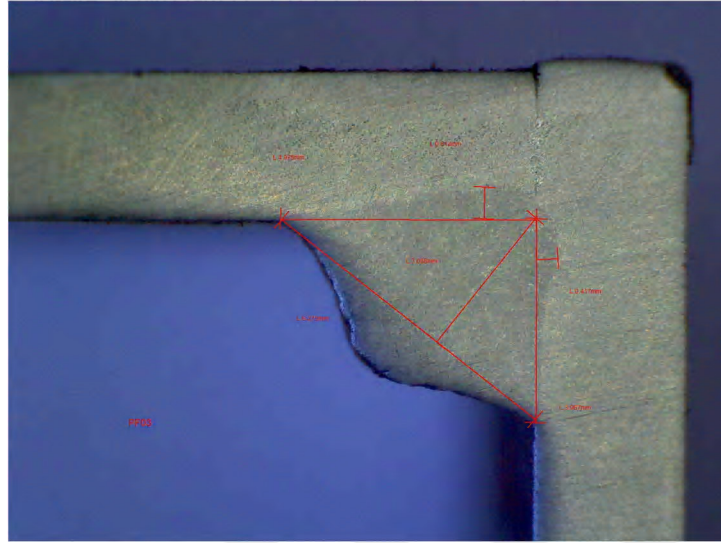
PF kaynak pozisyonunda kaynatılan beş numuneye ait makro analizler Insize ISM-PRO [20] aracılığı ile yapılmış olup, sonuçlar Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.



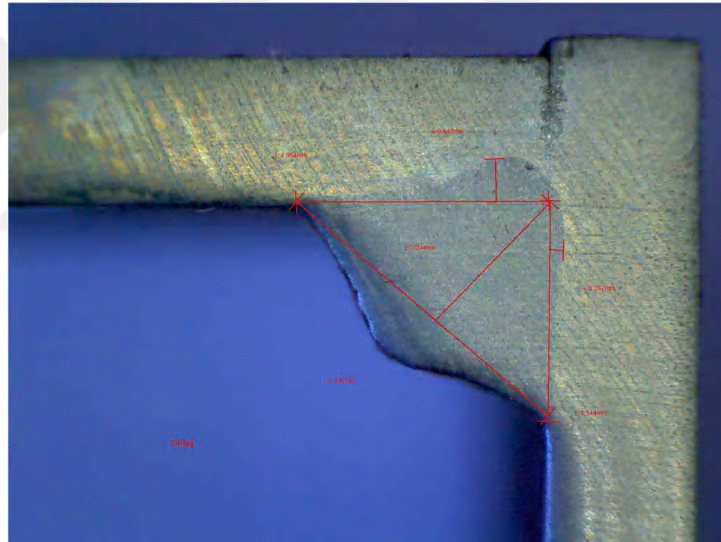
Şekil 3.10 PF01 Makro Analizi



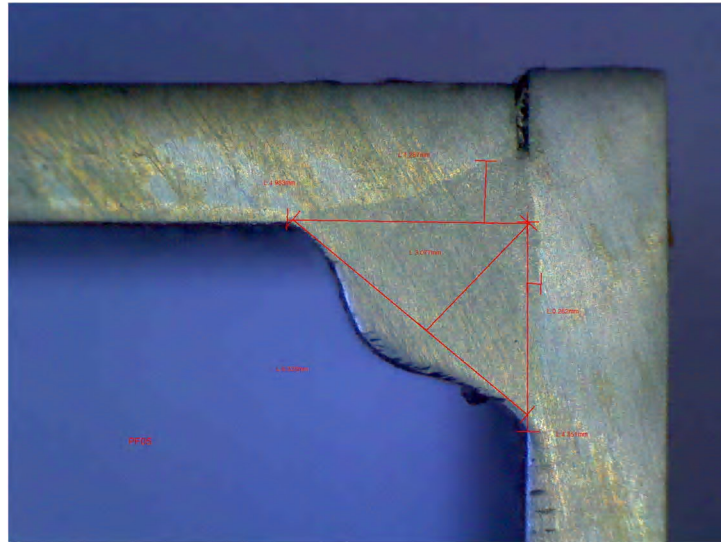
Şekil 3.11 PF02 Makro Analizi



Şekil 3.12 PF03 Makro Analizi



Şekil 3.13 PF04 Makro Analizi



Şekil 3.14 PF05 Makro Analizi

PF yönünde kaynatılan parçalar için yapılan makro analizlere ait ölçülen veriler Tablo 3.15'te belirtilmiştir.

Tablo 3.15 PF pozisyonu makro analizi ölçüm değerleri

Numune	h1	h2	b	t1	t2	a
PF01	4,800	4,888	6,490	1,020	0,176	3,246
PF02	5,211	4,281	6,288	0,930	0,195	3,076
PF03	4,975	3,967	6,275	0,614	0,417	3,088
PF04	4,964	4,344	6,492	0,842	0,267	3,244
PF05	4,983	4,351	6,328	1,287	0,282	3,077

PF kaynak pozisyonunda yapılan kaynakların makro analizleri, kök nüfuziyetinin mevcut olduğunu ve kaynak bacalarının simetrik olduğunu ortaya koymuştur. Kök nüfuziyeti için incelediğimiz t1 ve t2 değerlerinin kararlılığı, kaynak kalitesinin yeterliliğine işaret etmektedir. Bu bulgular, kaynak sürecinin güvenilir ve etkin olduğunu göstermekte, kaynak kalitesi açısından olumlu bir değerlendirme sunmaktadır.

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tartışma ve Sonuç

Tıbbi cihaz üretimi yapan firmada, validasyon faaliyetleri 2015 yılından bu yana sürdürülmektedir. Tez kapsamında incelenen kaynak robotu ise 2018'de yeni ürün geliştirme aşamasında entegre edilmiştir. Değişken fikstürlü sistemle donatılmış olan bu yeni kaynak robotu, yüksek hassasiyet gerektiren bir yapıya sahiptir. Bu da tekrarlanabilirliğin çok daha kritik olduğu anlamına gelmektedir. Üretim süreçlerindeki dijitalleşme sayesinde [12] mevcut kaynak robotlarına ait validasyon verilerinin, yeni ürün geliştirme çalışmalarına önemli ölçüde rehberlik ettiği anlaşılmaktadır.

Firma tarafından kabul edilen robot eksenleri ve robot pozisyoner tekrarlanabilirliği için limit toleransları $\pm 0,08$ iken, fikstürün sök-tak tekrarlanabilirliği için eksenlerin limit toleransı $\pm 0,3$ 'tür. Bu alt ve üst limitlere göre yapılan Cp ve Cpk değerleri $\pm 0,3$ için daha yüksek çıkarken, $\pm 0,08$ için daha düşük sonuçlar vermiştir. Özellikle, robot eksenleri için kaynak telinin yarıçapı kadar bir tolerans aralığı olan $\pm 0,4$ mm alt ve üst limitler alınarak yapılan analizler, sürecin bu geniş tolerans aralığında daha stabil çalıştığını göstermiştir. Bu bulgular, süreçteki varyasyonları minimize etmek ve kaliteyi artırmak için tolerans aralıklarının uygun şekilde belirlenmesinin önemini vurgulamaktadır.

Mevcut validasyon protokolüne göre, fikstürün sök-tak işlemi 15 kez tekrarlandıktan sonra elde edilen bir kaynaklı parçanın makro analizine tabi tutulmakta ve raporlama bu analiz sonuçlarına dayanmaktaydı. Ancak, geliştirilen yeni test düzeneği ile her bir fikstür sök-tak işleminden sonra bir kaynaklı parça alınarak makro analiz yapılmıştır.

Bu yaklaşım, örneklem sayısının artırılması suretiyle sistemdeki sapmaların kaynak kalitesine olan etkisinin daha detaylı bir şekilde analiz edilmesine ve doğrulanmasına olanak sağlamıştır.

Validasyon periyodunun sık olması her ne kadar süreci daha iyi kontrol altında tutmamızı sağlıyor gibi görünse de, bu süre zarfında proseste meydana gelebilecek olumsuz durumlar fark edilmeyebilir ve daha ciddi sorunlara yol açabilir. Firma bünyesinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, validasyon prosedürü yeniden yapılandırılmış ve proseslerin izlenmesine yönelik ilave gereklilikler getirilmiştir. Önceki yıllarda, validasyon faaliyeti olarak IQ, OQ ve PQ protokolleri takip edilmekteydi. İzleme (monitoring) kapsamında, her üç ayda bir kaynak makroları yapılarak proses çıktıları analiz edilmeye başlanmıştır. Bu sayede, validasyon periyodu bir yıldan iki yıla çıkarılmış ve mühendislik ile kalite kontrol maliyetlerinde önemli ölçüde azalma sağlanmıştır.

4.2. Öneriler

Fikstür tasarımının önemi, kaynak sonrası parça deformasyonlarının azaltılmasında belirleyici bir faktördür. Onat [4] ve Türker'in [7] çalışmaları, sabit torç ve servo motor tahrikli döner fikstür sistemlerinin, endüstriyel kaynak robotlarına kıyasla titreşim seviyelerini ve dolayısıyla kaynak kalitesini nasıl etkilediğini göstermektedir. Gelecek çalışmalar kapsamında, kaynak işlemi sırasında oluşan titreşim seviyelerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi ve bu titreşimlerin kaynak makrosu üzerindeki etkilerinin incelenmesi önerilmektedir. Ayrıca, parçaların soğuma sürelerinin kaynak makroskopik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılması, sürecin optimizasyonu ve kalite kontrolü açısından önemli bir katkı sağlayabilir.

Ulu (2017) yaptığı yüksek lisans çalışmasında [21], görüntü işleme ile elde edilen verileri YSA modeli geliştirerek kaynak yolunun otomatik olarak tespit edilebilmesini sağlamıştır. Ancak, direkt olarak robotun eklem açılarının tahmin edilmesinin daha sağlıklı olacağını belirtmiştir. Özellikle yeni ürün devreye alma süreçlerinde bu tarz yönelem araştırma araçları kullanılarak yapılan çalışmalar, validasyon sürecine önemli katkılar sağlayabilir.

Kaynaklı parçalarda özellikle yüksek risk taşıyan bölgelerde makro analiz uygulamaları yapılması yanı sıra seri üretim esnasında operatörlerin görsel denetimi ve onayı gerekmektedir. Bu operatörlerin, kaynak süreçlerinde deneyimli olmaları beklenir. M. Rodríguez-Martín, S. Lagüela, D. González-Aguilera ve P. Rodríguez-Gonzálvez'in çalışmaları [22], kaynakların görsel muayenesi için optik makro-fotogrametrik ölçüm yöntemlerinin kullanımını önermektedir. Bu yöntemle, sadece makro lensli bir dijital tek lensli refleks (DSLR) kamera ve yazarlar tarafından geliştirilen fotogrametrik rekonstrüksiyon yazılımı kullanılarak, uzman olmayan operatörler tarafından çekilen görüntülerle kaynakların doğru ve ölçekli 3D modelleri oluşturulabilir. Bu teknoloji, seri üretim sırasında kaynakların hızlı ve yerinde denetlenmesine olanak tanıyarak, robotik kaynak uygulamalarında kalite kontrolü büyük ölçüde iyileştirebilir.

KAYNAKÇA

1. International Standard Organization, 2016. ISO 13485:2016, Medical Devices- Quality Management Systems — Requirements for Regulatory Purposes.
2. International Standard Organization, 2020. TS EN ISO 14971, Medical devices — Application of Risk Management to Medical Devices.
3. Nilsson, J., 2018. Evaluation of Current Welding Robot and Improvement Proposals for Future Use, KTH Royal Institute of Technology, School of engineering sciences, Sweden, 35s.
4. Onat, M., 2020. Döner Kaynak Makinesi ve Endüstriyel Ark Robotundaki Titreşimlerin Parça Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Analiz, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 78s.
5. Gök, G. V., & Afyon, Ç., 2000. Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi, Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi, Ankara, 221-230.
6. Kılıç, M., 2021. Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı ve Kaynak Sonrası Distorsiyonların Deneysel Olarak İncelenmesi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 106s.
7. Türker, K. S., 2015. Endüstride Kaynak Robotları (Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi), Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 285s.
8. Kerse, Z., 2009, Kaynak Dikişlerinde Yükleme Durumlarına Bağlı Olarak Yöntem ve Kalite Seçim Esaslarının İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 166s.
9. International Standard Organization, 2019. ISO 6947:2019, Welding and Allied Processes — Welding Positions.
10. Münüklü, Ö., 2021. Robotik Kaynak Uygulamalarında Kaynak Uygulamalarında Rutil ve Metal Özlü Teller Kullanılarak Yapılan

Birleştirmelerin Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması, İstanbul Gedik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 138s.

11. U.S. Food and Drug Administration, 2024. 21 CFR Part 820: Quality Management System Regulation.
12. Ayvalı, H. T., 2023. Kaynak Robotlarında Eksenel Tekrarlanabilirlik Testleri ve Geçerli Kılma Çalışmaları, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 143s.
13. Fanuc, ARC Mate 120iC Mechanical Unit Operator's Manual, (Web sayfası: <https://www.fanuc.eu/tr/tr>)
14. Kızılaslan, B., İstatistiksel Kalite Kontrol, (web sitesi: <https://busenurk.github.io/quality-control/book/>), (Erişim Tarihi: Ocak 2021)
15. Ayyıldız, M., & Ayyıldız Aşkar, E., 2020. Prototip Olarak Tasarlanan Lineer Delta Robotun Doğruluk ve Tekrarlanabilirlik Performansı. **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 8: 869-879.
16. Zeylan, F., 2006. Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu Kontrolü, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 114s.
17. Vero-S Nse Plus Operating Manual, (web sitesi: https://schunk.com/us/en/workpiece-clamping-technology/quick-change-pallet-systems/quick-change-pallet-system-for-general-milling-applications-and-heavy-duty-cutting/individual-modules-nse-plus/c/PGR_4051), (Erişim Tarihi: Ekim 2022)
18. International Standard Organization, 2023. TS EN ISO 5817, Welding - Fusion-Welded Joints in Steel, Nickel, Titanium and Their Alloys (Beam Welding Excluded) — Quality Levels for Imperfections.
19. ISM-PM200SA Digital Microscope Operation Manual (Web sitesi: <https://m.insize.com/page-21-1489-1t31eu.html>)

20. ISM-PRO Software Digital Microscope Operation Manual (Web sitesi: <http://www.insizeus.com/index.php/page-418-428.html>)
21. Ulu, B., 2017. Endüstriyel Robotlarda Kaynak Yörüngesinin Analizi ve Kontrolü, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 69s.
22. Rodríguez-Martín, M., et al., 2015. Procedure for Quality Inspection of Welds Based on Macro-Photogrammetric Three-Dimensional Reconstruction. **Optics & Laser Technology**, 73 : 54–62.



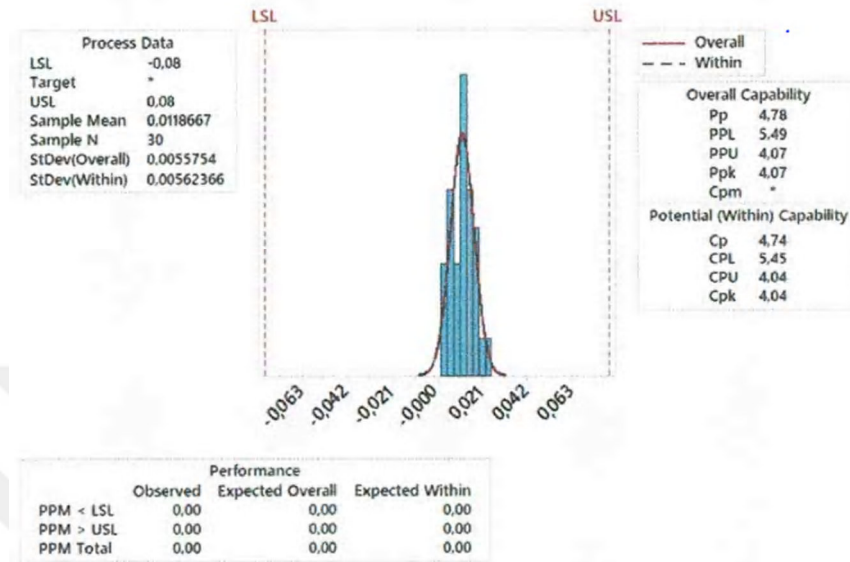
EKLER

EK 1. Robot Eksenleri Tekrarlanabilirlik Analizi (Minitab)

Tablo 4.1 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2019)

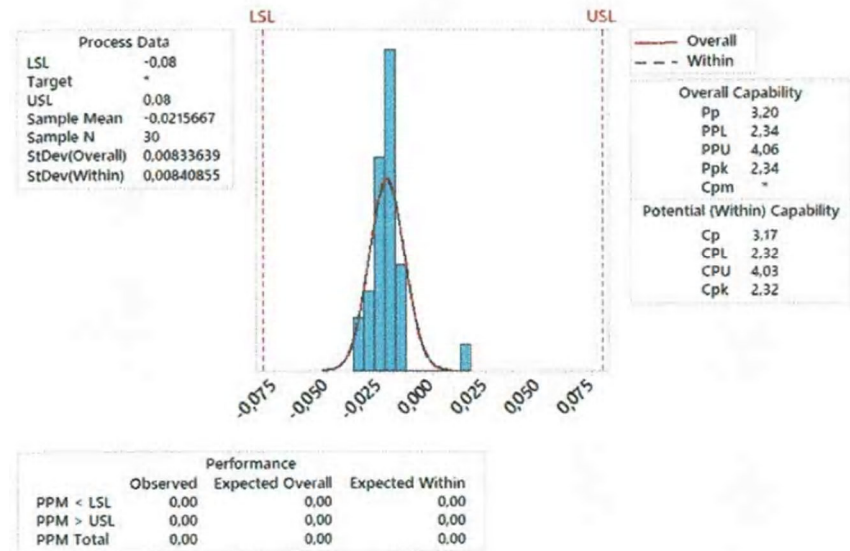
Ölçüm	X Ekseni	Y Ekseni	Z Ekseni
1	0,007	0,015	-0,028
2	0,005	-0,017	-0,032
3	0,012	-0,027	-0,045
4	0,002	-0,022	-0,041
5	0,007	-0,022	-0,043
6	0,013	-0,020	-0,051
7	0,002	-0,028	-0,055
8	0,012	-0,024	-0,046
9	0,016	-0,023	-0,058
10	0,016	-0,023	-0,049
11	0,003	-0,016	-0,035
12	0,006	-0,017	-0,036
13	0,007	-0,015	-0,035
14	0,008	-0,018	-0,037
15	0,018	-0,019	-0,024
16	0,010	-0,019	-0,036
17	0,021	-0,022	-0,044
18	0,015	-0,021	-0,041
19	0,017	-0,022	-0,042
20	0,014	-0,023	-0,043
21	0,024	-0,029	-0,050
22	0,017	-0,026	-0,047
23	0,019	-0,023	-0,044
24	0,008	-0,024	-0,048
25	0,011	-0,033	-0,055
26	0,012	-0,022	-0,042
27	0,016	-0,021	-0,039
28	0,013	-0,029	-0,050
29	0,012	-0,035	-0,051
30	0,013	-0,022	-0,042

Process Capability Report for Robot X

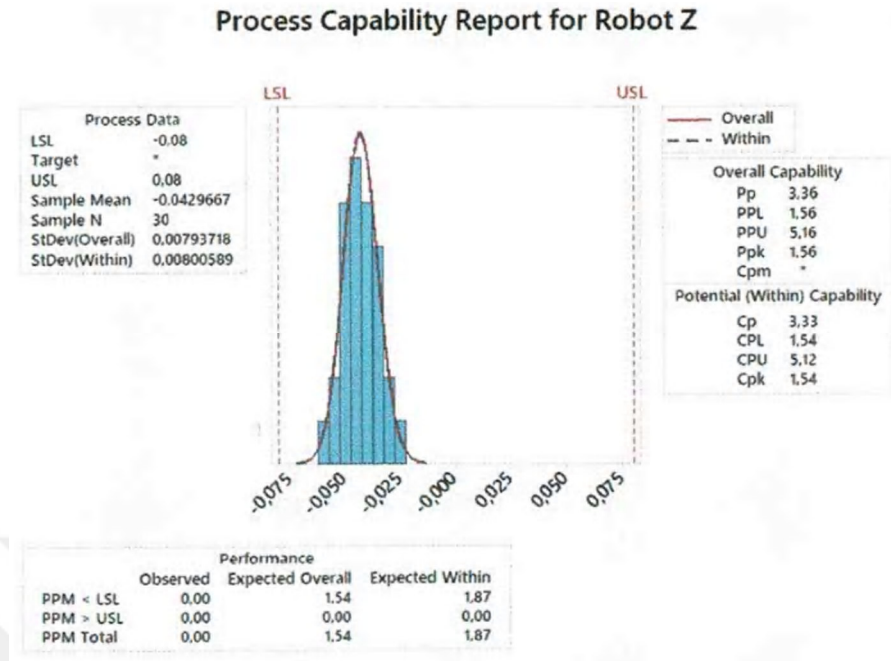


Şekil 3.15 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksenli

Process Capability Report for Robot Y



Şekil 3.16 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksenli

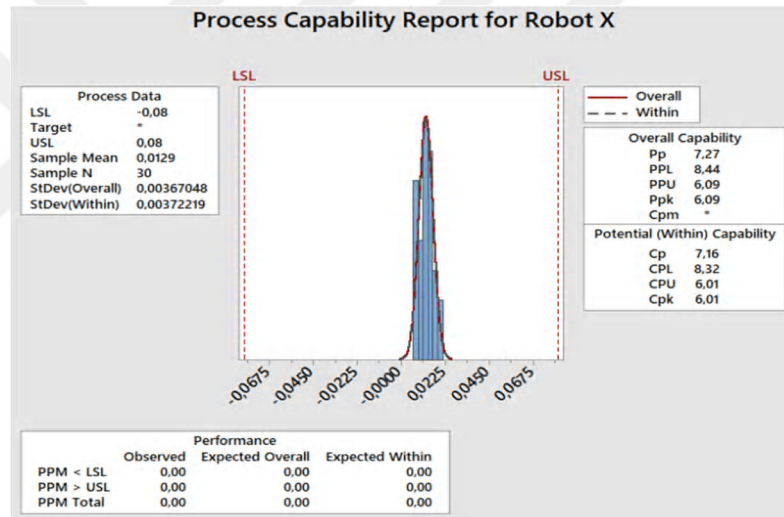


Şekil 3.17 2019 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenini

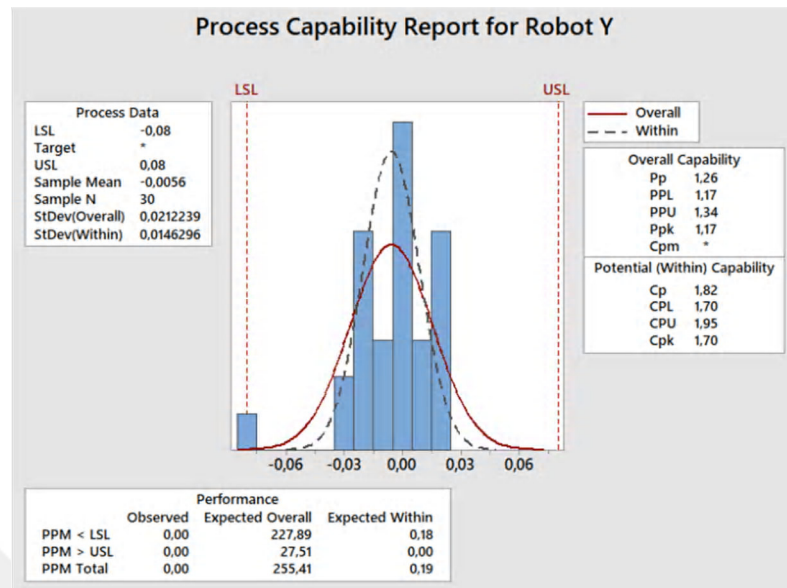
Tablo 4.2 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2020)

Ölçüm	X Eksenini	Y Eksenini	Z Eksenini
1	0,008	0,002	-0,018
2	0,008	0,018	-0,020
3	0,007	0,017	-0,021
4	0,012	0,021	-0,023
5	0,011	0,022	-0,026
6	0,013	0,023	-0,026
7	0,015	0,017	-0,026
8	0,008	0,013	-0,027
9	0,007	0,011	-0,031
10	0,019	0,005	-0,032
11	0,018	0,003	-0,030
12	0,016	0,001	-0,030
13	0,007	0,000	-0,028
14	0,021	-0,002	-0,033
15	0,015	-0,003	-0,034
16	0,014	-0,005	-0,034
17	0,013	-0,010	-0,036
18	0,013	-0,003	-0,038

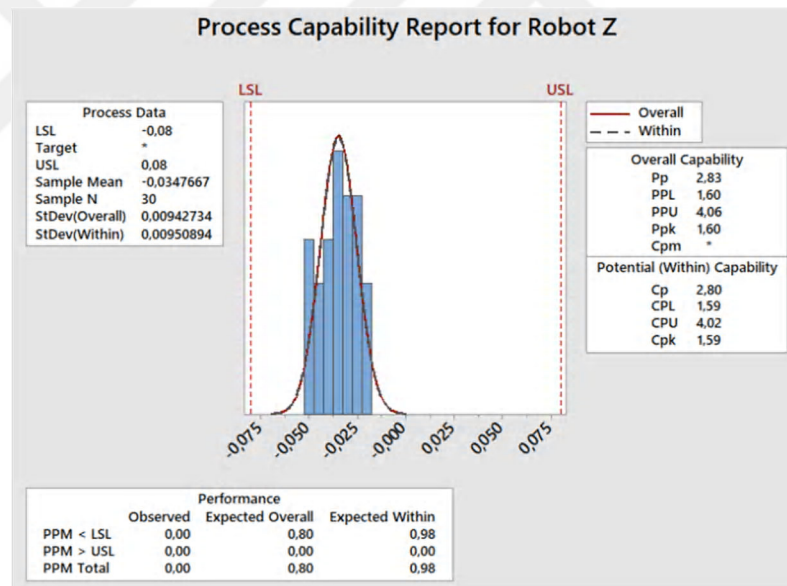
19	0,012	-0,005	-0,036
20	0,011	-0,080	-0,037
21	0,011	-0,012	-0,041
22	0,013	-0,015	-0,041
23	0,012	-0,021	-0,041
24	0,011	-0,025	-0,044
25	0,015	-0,025	-0,048
26	0,014	-0,027	-0,051
27	0,017	-0,026	-0,050
28	0,016	-0,021	-0,048
29	0,017	-0,021	-0,047
30	0,013	-0,020	-0,046



Şekil 3.18 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksen



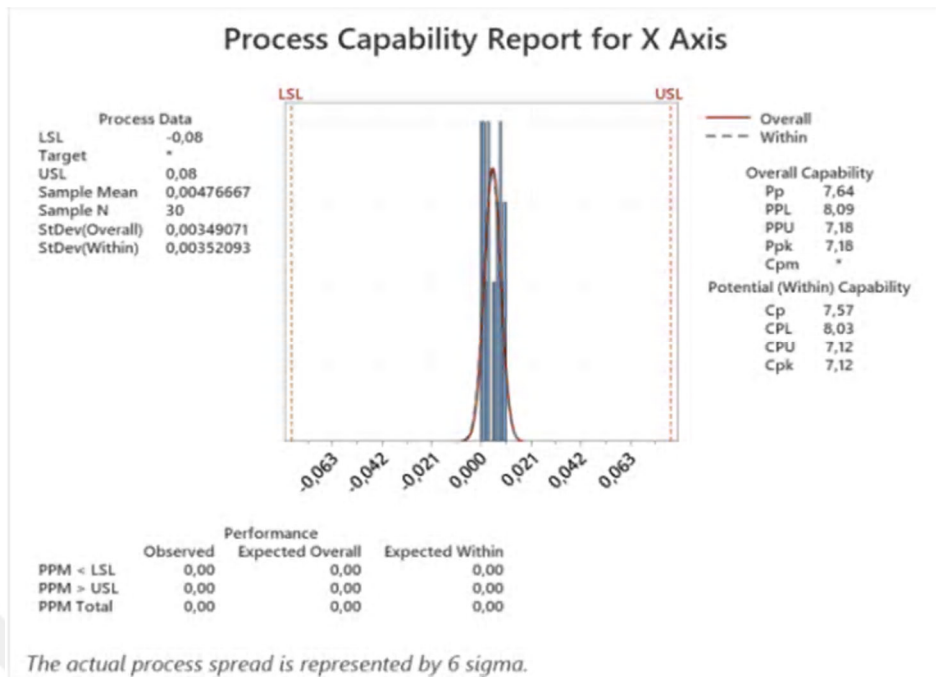
Şekil 3.19 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksenli



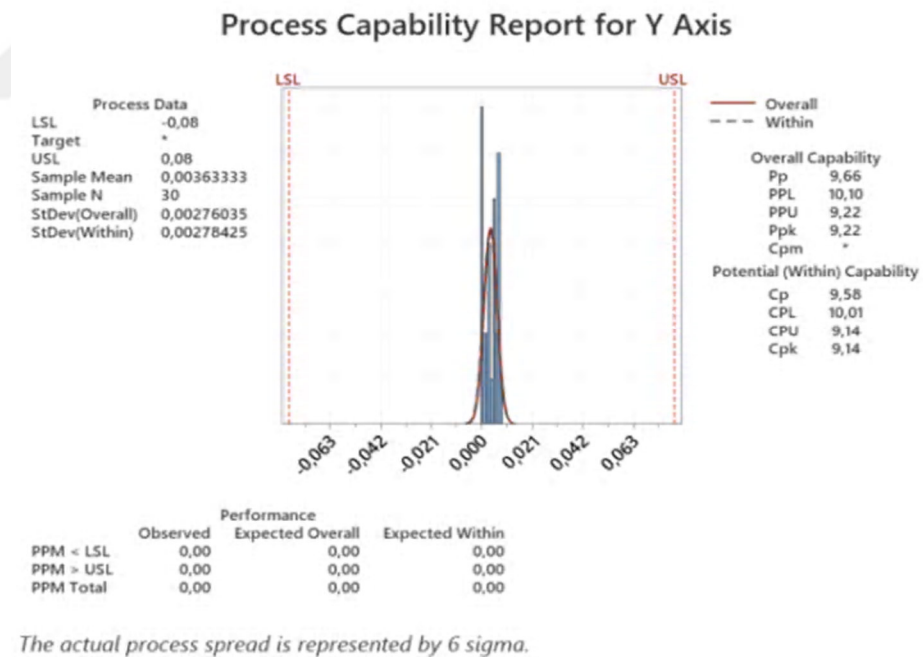
Şekil 3.20 2020 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenli

Tablo 4.3 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2022)

Ölçüm	X Ekseni	Y Ekseni	Z Ekseni
1	0,0030	0,0000	0,0010
2	0,0030	0,0000	0,0010
3	0,0030	0,0000	0,0010
4	0,0010	0,0000	0,0000
5	0,0010	0,0010	0,0000
6	0,0010	0,0000	0,0010
7	0,0010	0,0010	0,0010
8	0,0000	0,0020	0,0000
9	0,0000	0,0000	0,0020
10	0,0000	0,0000	0,0030
11	0,0000	0,0020	0,0040
12	0,0020	0,0030	0,0050
13	0,0020	0,0030	0,0050
14	0,0030	0,0030	0,0030
15	0,0050	0,0030	0,0000
16	0,0050	0,0040	0,0030
17	0,0060	0,0050	0,0050
18	0,0060	0,0050	0,0060
19	0,0080	0,0070	0,0080
20	0,0900	0,0070	0,0080
21	0,0080	0,0070	0,0080
22	0,0080	0,0060	0,0090
23	0,0070	0,0080	0,0070
24	0,0070	0,0060	0,0060
25	0,0070	0,0050	0,0080
26	0,0100	0,0050	0,0120
27	0,0100	0,0050	0,0012
28	0,0100	0,0070	0,0013
29	0,0090	0,0070	0,0014
30	0,0080	0,0070	0,0015

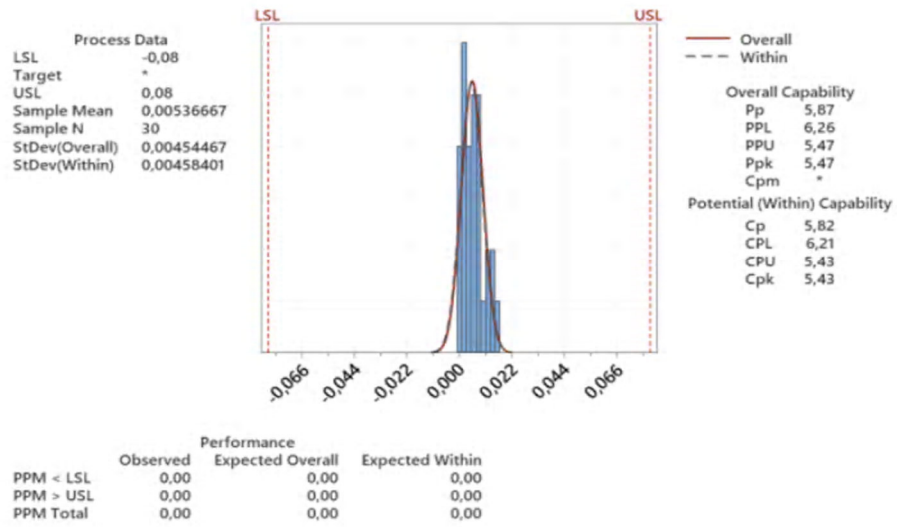


Şekil 3.21 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Ekseni



Şekil 3.22 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Ekseni

Process Capability Report for Z Axisz



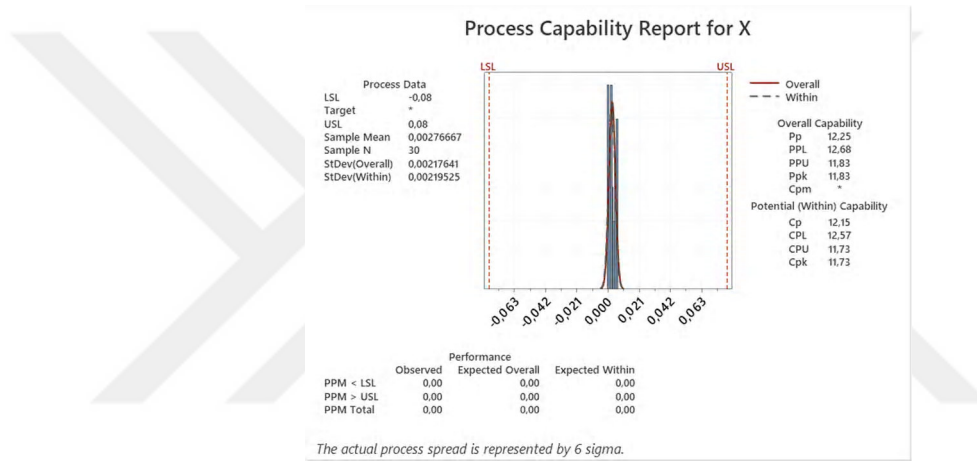
The actual process spread is represented by 6 sigma.

Şekil 3.23 2022 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenini

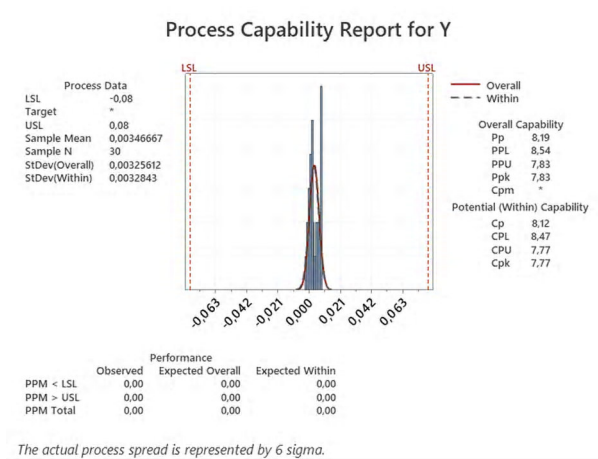
Tablo 4.4 Robot eksen tekrarlanabilirlik sonuçları (2023)

Ölçüm	X Eksenini	Y Eksenini	Z Eksenini
1	0,0000	-0,0010	0,0010
2	0,0000	-0,0010	0,0000
3	0,0000	-0,0020	0,0000
4	0,0010	0,0000	0,0000
5	0,0010	0,0010	0,0000
6	0,0020	0,0020	0,0000
7	0,0020	0,0020	0,0000
8	0,0030	0,0000	0,0000
9	0,0010	0,0020	0,0010
10	0,0040	0,0020	0,0020
11	0,0050	0,0010	0,0020
12	0,0060	0,0010	0,0020
13	0,0020	0,0010	0,0010
14	0,0020	0,0000	0,0010
15	0,0040	0,0020	0,0020
16	0,0060	0,0030	0,0030
17	0,0000	0,0030	0,0040
18	0,0000	0,0040	0,0050
19	0,0010	0,0050	0,0060
20	0,0000	0,0050	0,0080

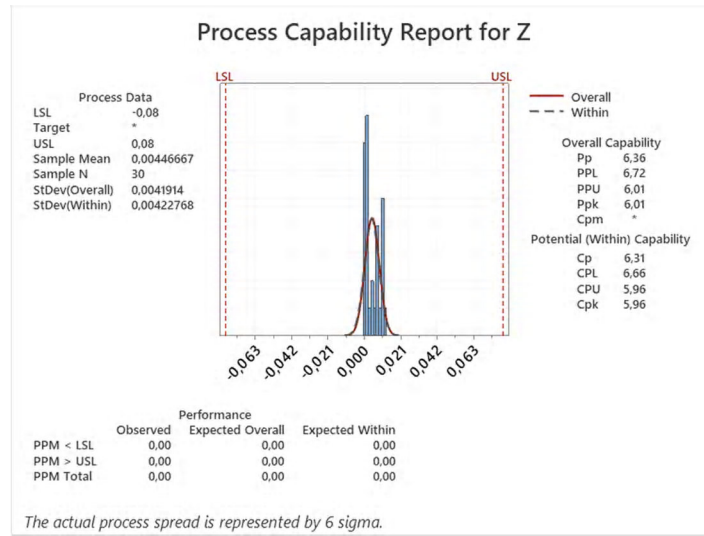
21	0,0020	0,0060	0,0080
22	0,0030	0,0060	0,0080
23	0,0030	0,0070	0,0080
24	0,0020	0,0080	0,0090
25	0,0050	0,0080	0,0100
26	0,0050	0,0070	0,0100
27	0,0050	0,0080	0,0100
28	0,0060	0,0080	0,0110
29	0,0060	0,0080	0,0120
30	0,0060	0,0080	0,0100



Şekil 3.24 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksen



Şekil 3.25 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksen



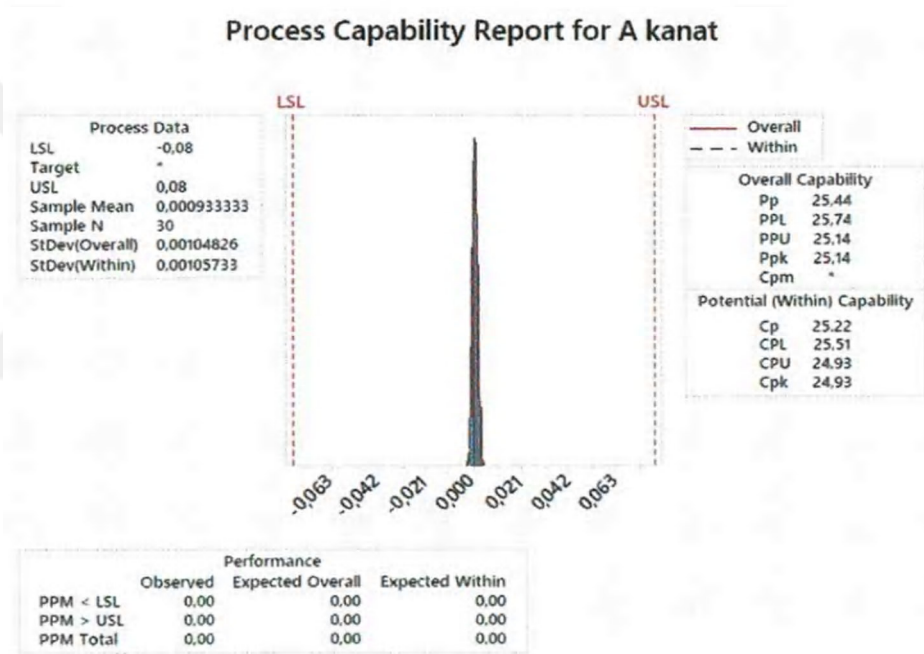
Şekil 3.26 2023 Robot Eksenleri Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenli

EK 2. Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirlik Sonuçları (Minitab)

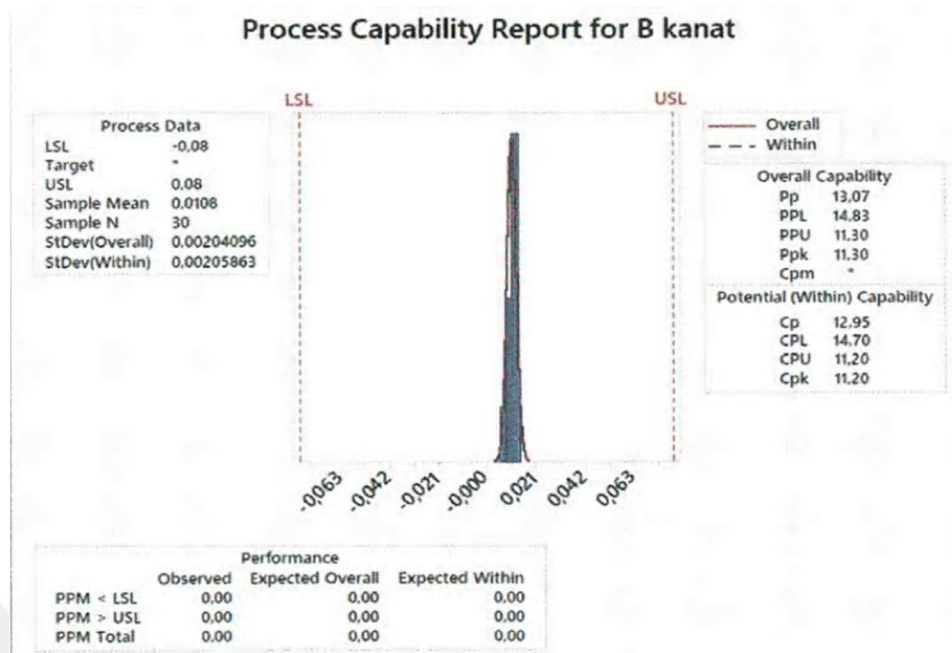
Tablo 4.5 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2019)

Ölçüm	A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
1	0,001	0,007	-0,002
2	0,001	0,008	0,001
3	-0,001	0,006	-0,014
4	0,000	0,008	-0,012
5	-0,001	0,009	-0,006
6	0,002	0,010	-0,015
7	0,000	0,011	-0,009
8	0,000	0,009	-0,014
9	0,003	0,008	-0,017
10	0,001	0,009	-0,013
11	0,002	0,010	-0,024
12	0,003	0,011	-0,024
13	0,002	0,011	-0,024
14	0,001	0,011	-0,017
15	0,001	0,011	-0,019
16	0,001	0,013	-0,017
17	0,001	0,011	-0,024
18	0,000	0,012	-0,022
19	0,002	0,014	-0,027
20	0,001	0,012	-0,020

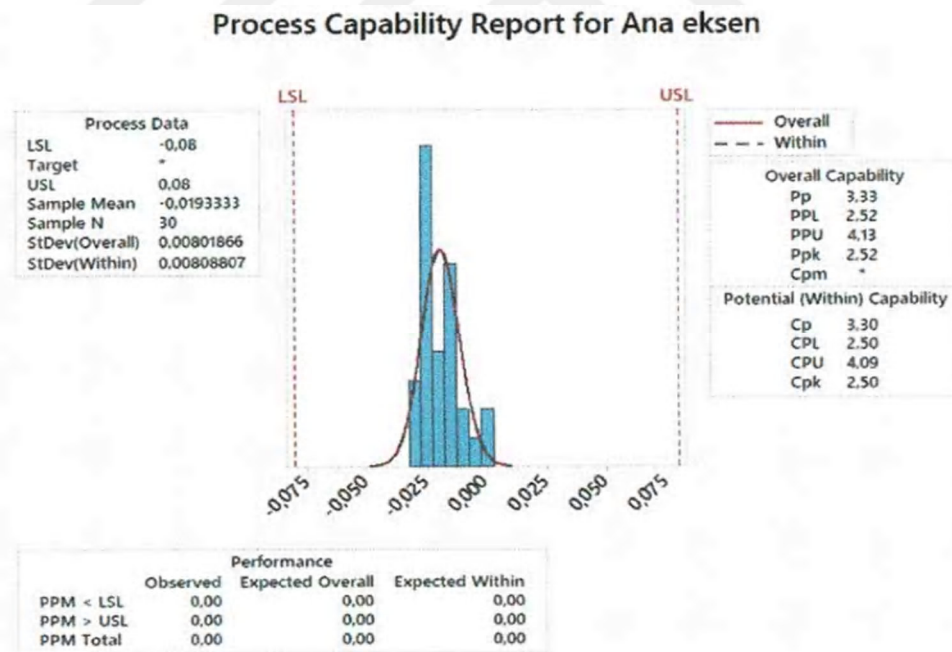
21	0,001	0,013	-0,027
22	0,002	0,012	-0,024
23	0,001	0,013	-0,022
24	0,000	0,013	-0,028
25	0,000	0,010	-0,025
26	0,002	0,012	-0,024
27	0,000	0,013	-0,024
28	0,000	0,012	-0,027
29	0,001	0,013	-0,029
30	0,002	0,012	-0,031



Şekil 3.27 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat



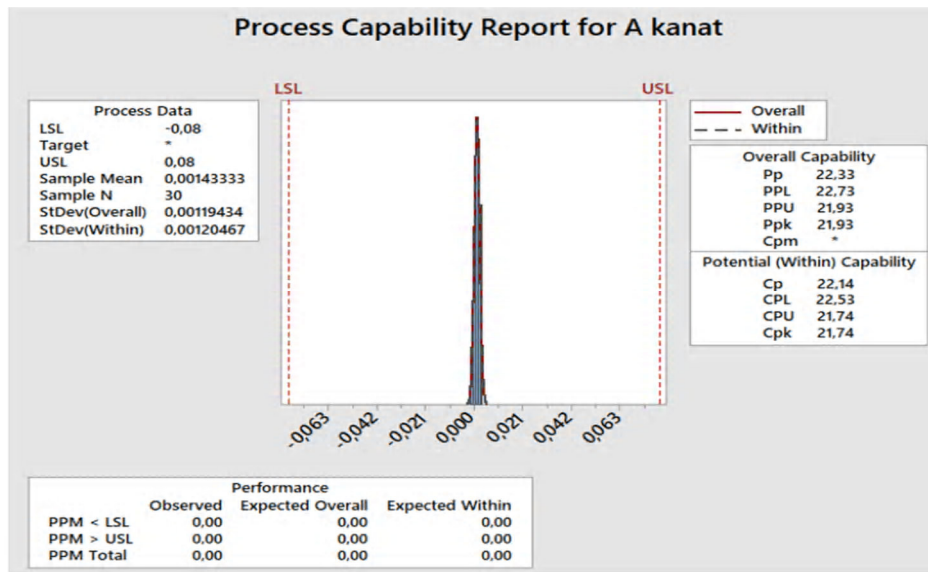
Şekil 3.28 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat



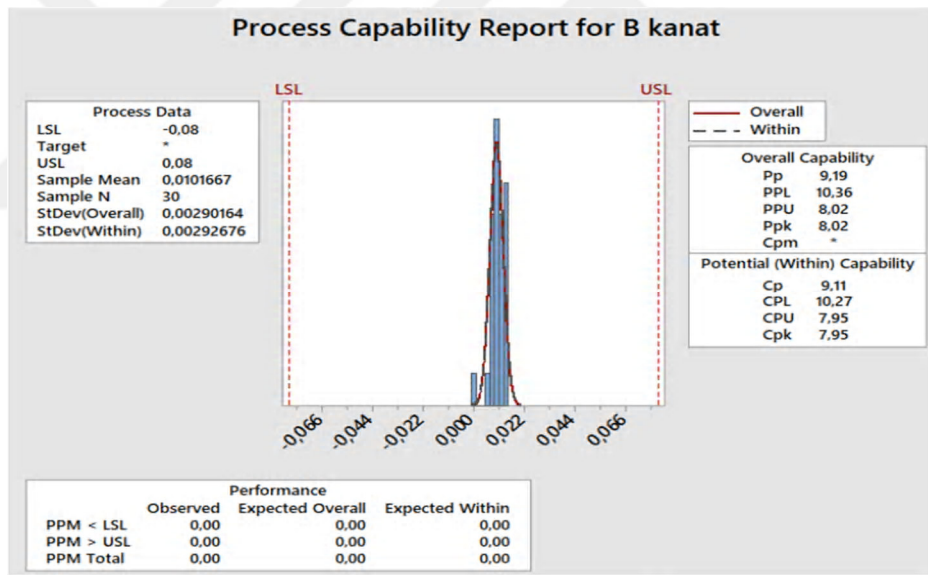
Şekil 3.29 2019 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen

Tablo 4.6 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2020)

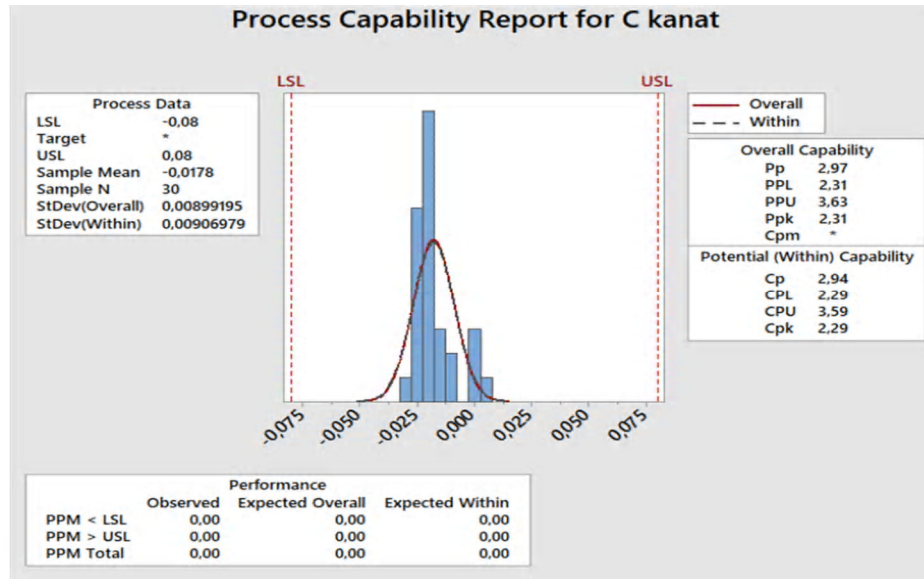
Ölçüm	A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
1	0,001	0,005	0,001
2	-0,001	0,008	0,002
3	0,001	0,008	0,003
4	0,000	0,008	0,000
5	0,001	0,011	-0,008
6	0,001	0,010	-0,008
7	0,001	0,010	-0,015
8	-0,001	0,010	-0,021
9	0,002	0,010	-0,020
10	0,003	0,010	-0,020
11	0,003	0,012	-0,020
12	0,003	0,000	-0,020
13	0,002	0,008	-0,022
14	0,002	0,008	-0,024
15	0,001	0,008	-0,024
16	0,001	0,013	-0,024
17	0,001	0,013	-0,023
18	0,000	0,014	-0,022
19	0,001	0,010	-0,022
20	0,002	0,010	-0,022
21	0,001	0,010	-0,022
22	0,002	0,010	-0,028
23	0,003	0,011	-0,027
24	0,003	0,011	-0,027
25	0,000	0,011	-0,026
26	0,000	0,012	-0,023
27	0,002	0,013	-0,020
28	0,003	0,014	-0,018
29	0,003	0,013	-0,017
30	0,002	0,014	-0,016



Şekil 3.30 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat



Şekil 3.31 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat

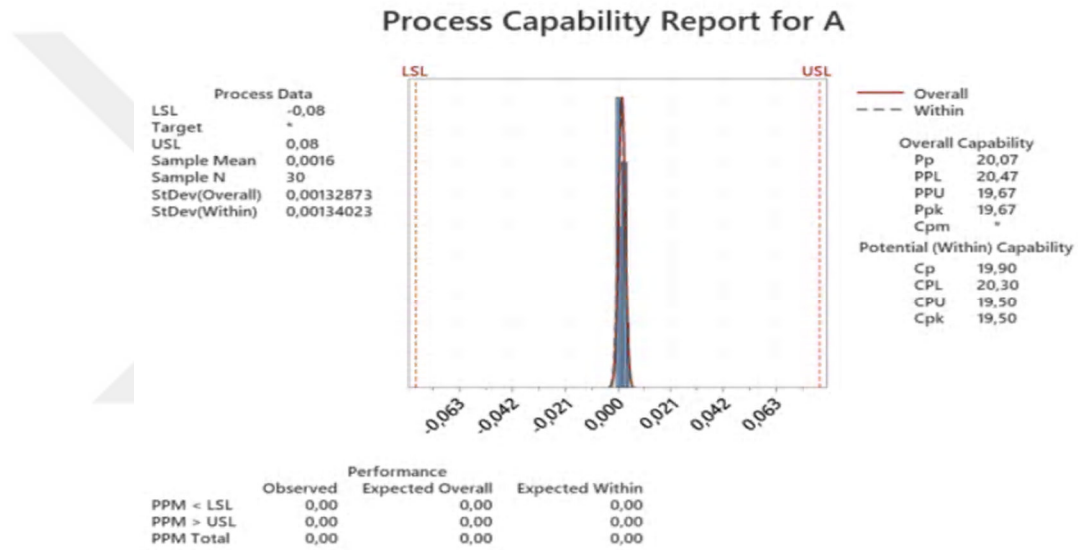


Şekil 3.32 2020 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen

Tablo 4.7 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2022)

Ölçüm	A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,008
3	0,000	0,000	0,011
4	0,000	0,001	0,009
5	0,000	0,001	0,004
6	0,002	0,002	0,013
7	0,001	0,002	0,010
8	0,001	0,002	0,001
9	0,001	0,003	0,021
10	0,000	0,001	0,025
11	0,001	0,001	0,019
12	0,002	0,002	0,018
13	0,002	0,000	0,017
14	0,003	0,000	0,022
15	0,003	0,001	0,023
16	0,003	0,002	0,024
17	0,002	0,002	0,023
18	0,001	0,003	0,028
19	0,002	0,003	0,020
20	0,002	0,002	0,018
21	0,000	0,001	0,025

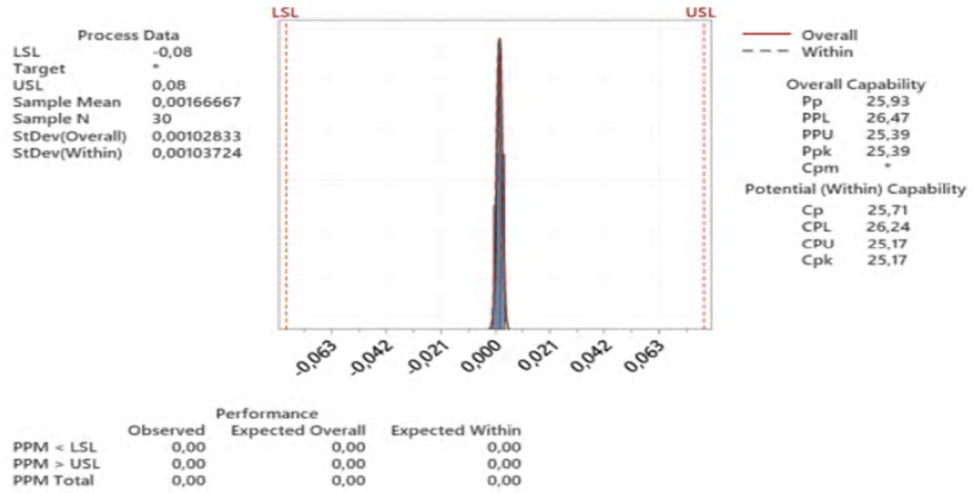
22	0,000	0,001	0,022
23	0,000	0,002	0,028
24	0,003	0,003	0,032
25	0,004	0,002	0,030
26	0,004	0,002	0,027
27	0,003	0,002	0,031
28	0,003	0,003	0,033
29	0,003	0,003	0,030
30	0,002	0,003	0,030



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Şekil 3.33 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat

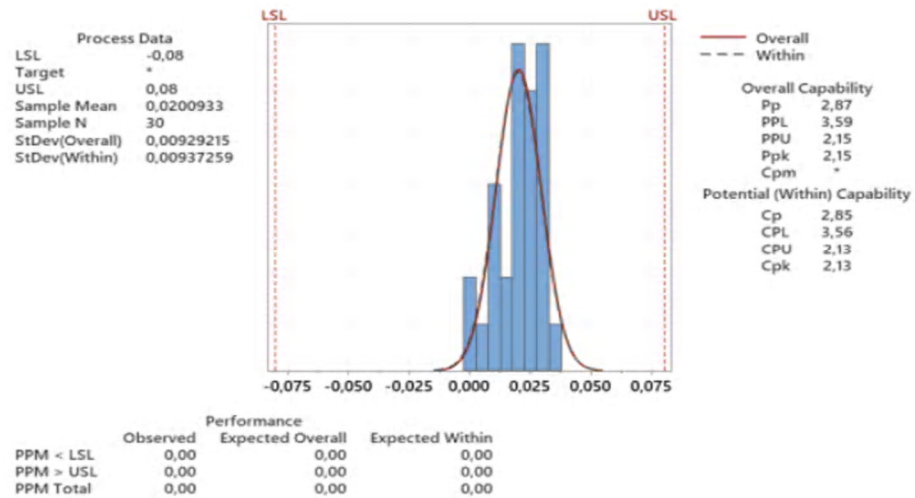
Process Capability Report for B



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Şekil 3.34 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat

Process Capability Report for Main

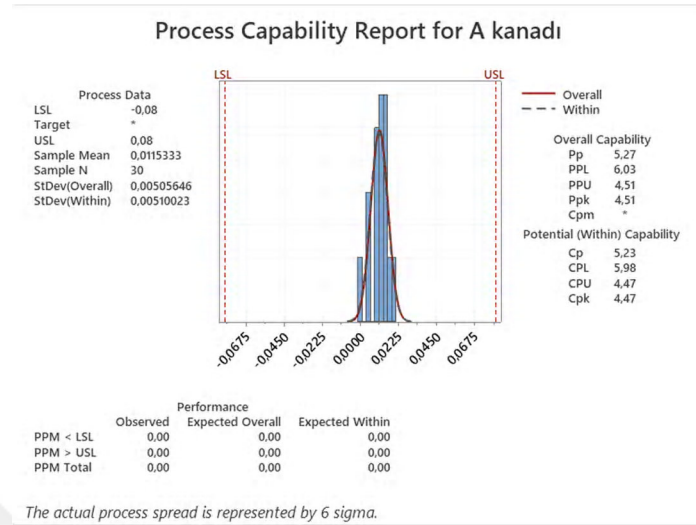


The actual process spread is represented by 6 sigma.

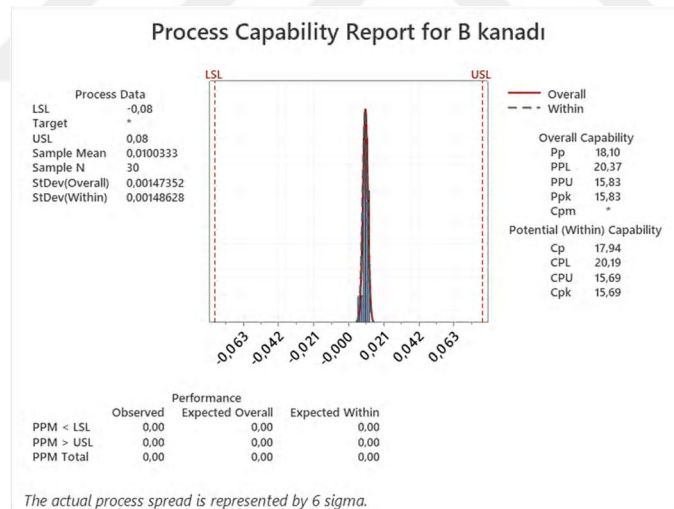
Şekil 3.35 2022 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen

Tablo 4.8 Robot pozisyoner tekrarlanabilirlik sonuçları (2023)

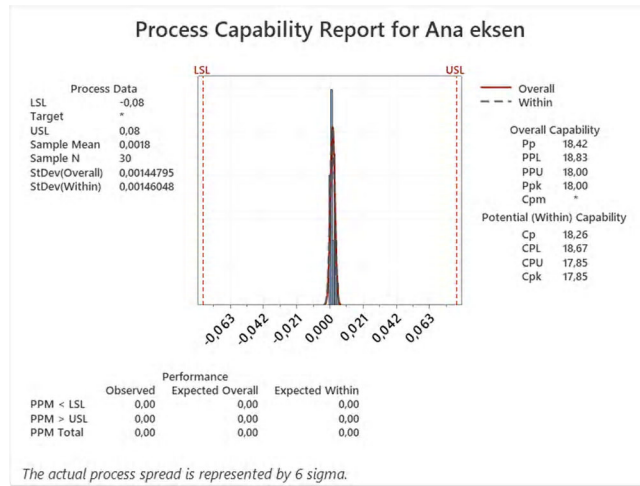
Ölçüm	A Kanat	B Kanat	Ana Eksen
1	0,005	0,007	0,000
2	0,021	0,006	0,002
3	0,012	0,008	0,001
4	0,019	0,009	0,001
5	0,018	0,009	0,001
6	0,014	0,009	0,000
7	0,010	0,010	0,001
8	0,009	0,009	0,000
9	0,005	0,010	0,001
10	0,001	0,010	0,000
11	0,000	0,009	0,001
12	0,012	0,010	0,000
13	0,004	0,010	0,001
14	0,005	0,011	0,000
15	0,010	0,010	0,003
16	0,010	0,010	0,002
17	0,012	0,011	0,003
18	0,014	0,009	0,001
19	0,016	0,011	0,001
20	0,013	0,011	0,003
21	0,012	0,011	0,003
22	0,015	0,009	0,005
23	0,011	0,010	0,004
24	0,013	0,011	0,004
25	0,015	0,012	0,003
26	0,015	0,012	0,001
27	0,014	0,012	0,004
28	0,011	0,011	0,002
29	0,013	0,012	0,003
30	0,017	0,012	0,003



Şekil 3.36 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi A Kanat



Şekil 3.37 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi B Kanat

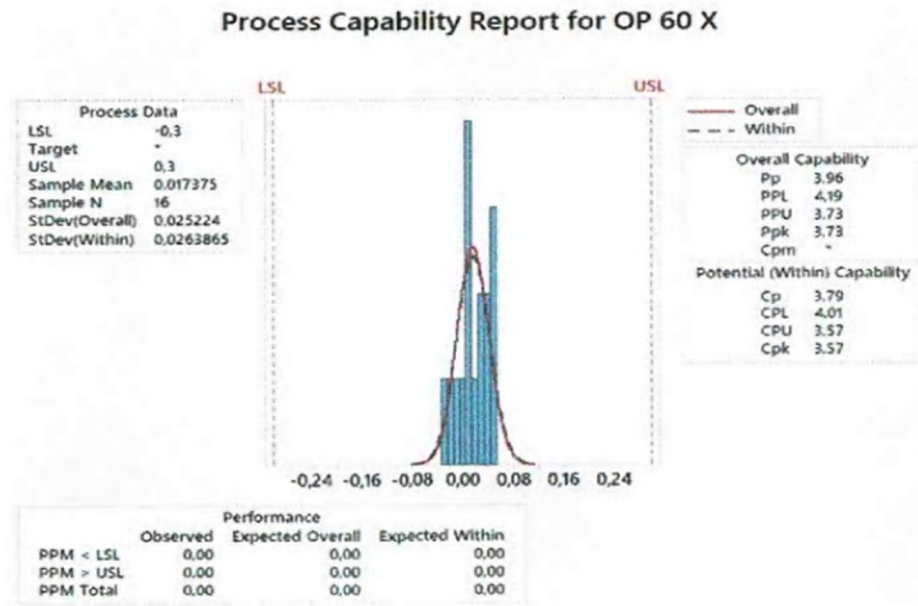


Şekil 3.38 2023 Robot Pozisyoner Tekrarlanabilirliği Analizi Ana Eksen

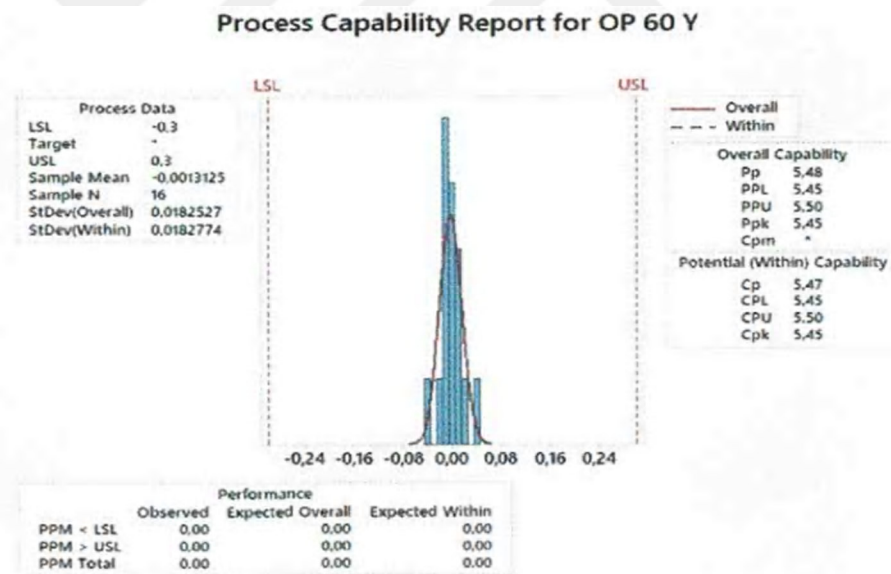
EK 3. Robot Fikstürü Tekrarlanabilirlik Sonuçları (Minitab)

Tablo 4.9 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2019)

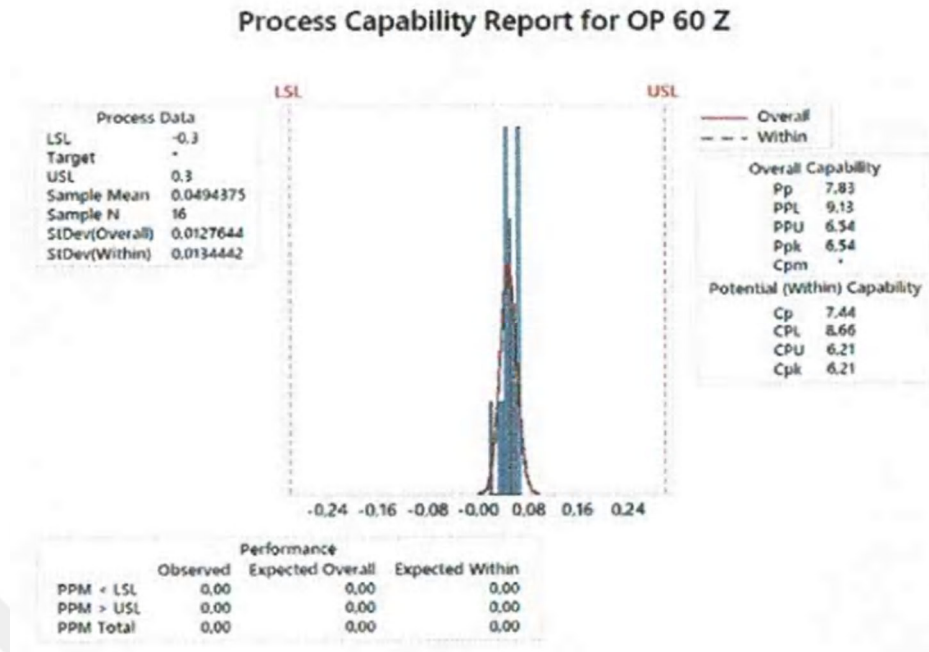
Fikstür OP60			
Ölçüm	X Eksen	Y Eksen	Z Eksen
1	-0,010	-0,038	0,064
2	0,008	-0,012	0,054
3	0,032	0,007	0,048
4	-0,019	-0,005	0,046
5	0,011	-0,007	0,035
6	0,015	-0,001	0,048
7	0,039	-0,003	0,020
8	0,049	0,043	0,043
9	0,036	-0,012	0,046
10	0,054	-0,021	0,038
11	0,032	0,012	0,046
12	-0,001	0,013	0,066
13	0,046	0,000	0,067
14	-0,032	-0,011	0,055
15	0,012	-0,006	0,067



Şekil 3.39 2019 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksen



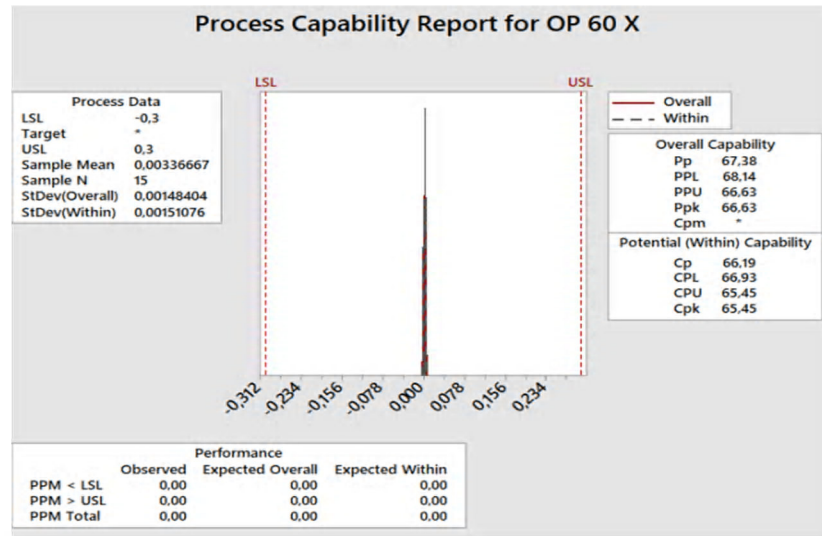
Şekil 3.40 2019 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksen



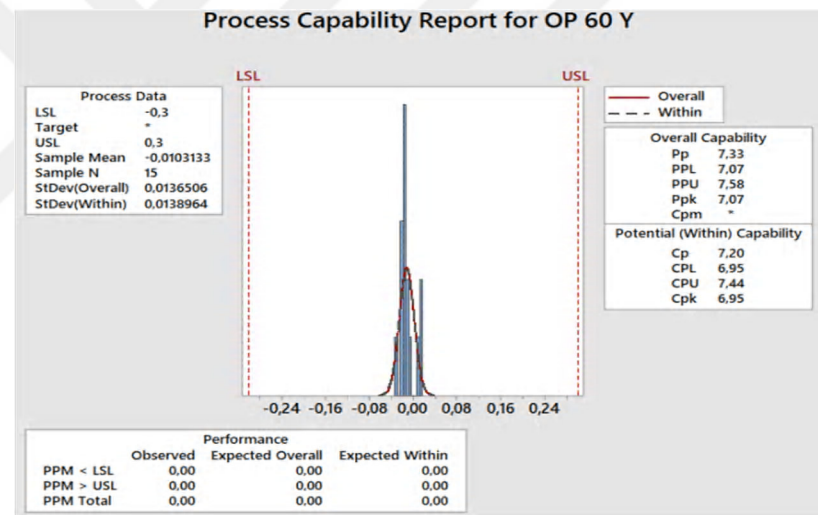
Şekil 3.41 2019 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksen

Tablo 4.10 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2020)

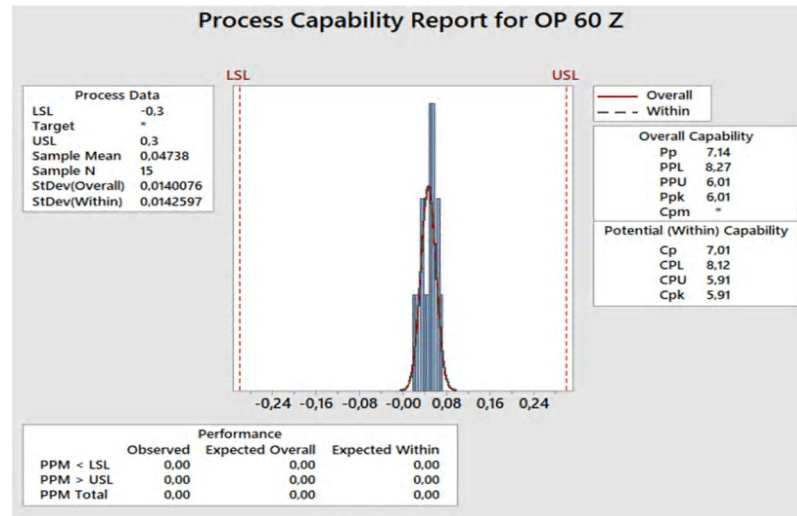
Fikstür OP60			
Ölçüm	X Eksen	Y Eksen	Z Eksen
1	0,0016	-0,0320	0,0541
2	0,0012	-0,0142	0,0532
3	0,0032	-0,0070	0,0354
4	0,0018	-0,0183	0,0379
5	0,0025	-0,0141	0,0451
6	0,0039	-0,0159	0,0214
7	0,0042	-0,0154	0,0511
8	0,0051	-0,0114	0,0488
9	0,0041	-0,0214	0,0647
10	0,0054	-0,0213	0,0485
11	0,0056	-0,0111	0,0254
12	0,0045	0,0124	0,0365
13	0,0036	0,0127	0,0698
14	0,0024	-0,0134	0,0641
15	0,0014	0,0157	0,0547



Şekil 3.42 2020 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksen



Şekil 3.43 2020 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksen

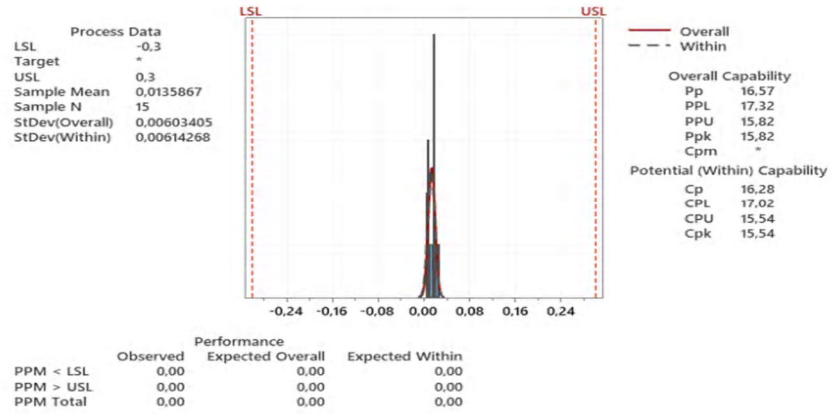


Şekil 3.44 2020 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenli

Tablo 4.11 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2022)

Fikstür OP60			
Ölçüm	X Eksenli	Y Eksenli	Z Eksenli
1	0,0055	0,0135	0,0045
2	0,0041	0,0036	0,0620
3	0,0086	0,0072	0,0139
4	0,0107	0,0110	0,0270
5	0,0168	0,0155	0,0147
6	0,0153	0,0131	0,0362
7	0,0080	0,0206	0,0369
8	0,0125	0,0245	0,0082
9	0,0214	0,0184	0,0163
10	0,0185	0,0315	0,0472
11	0,0179	0,0366	0,0360
12	0,0238	0,0385	0,0051
13	0,0163	0,0240	0,0164
14	0,0069	0,0263	0,0135
15	0,0175	0,0380	0,0205

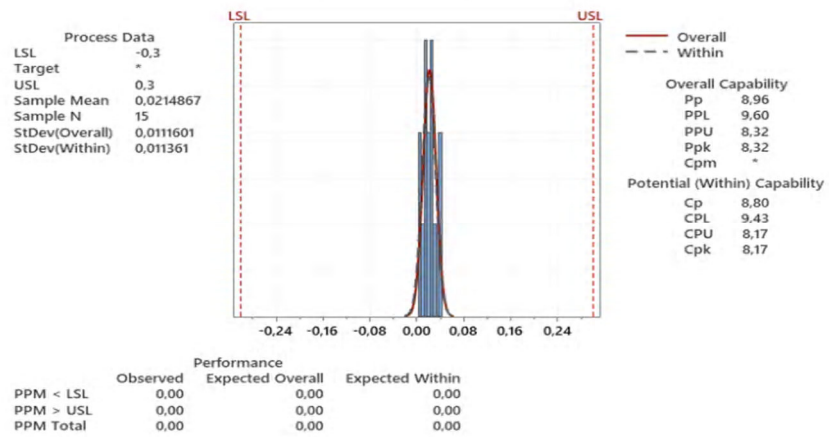
Process Capability Report for OP60-X



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Şekil 3.45 2022 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksen

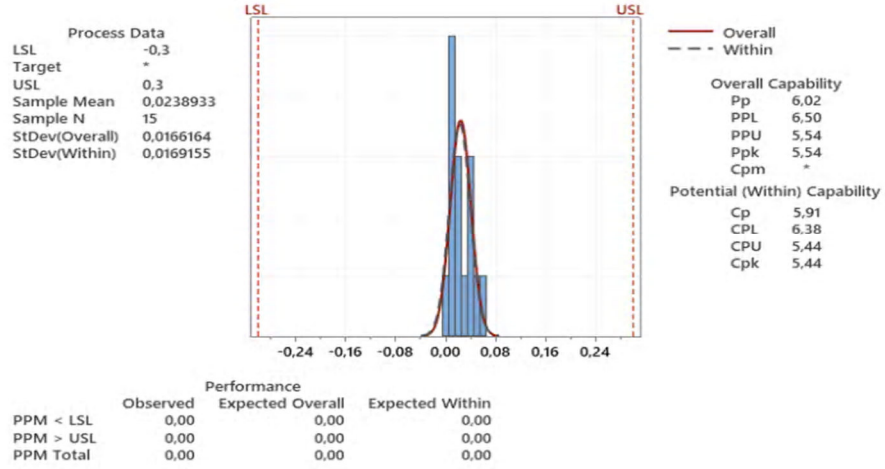
Process Capability Report for OP60-Y



The actual process spread is represented by 6 sigma.

Şekil 3.46 2022 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksen

Process Capability Report for OP60-Z

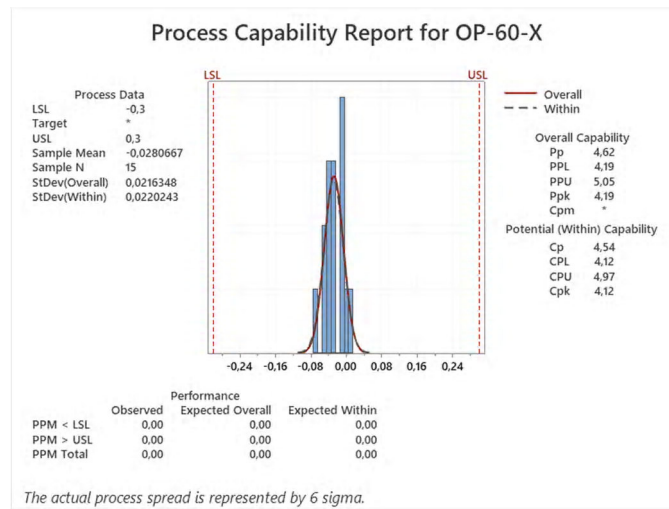


The actual process spread is represented by 6 sigma.

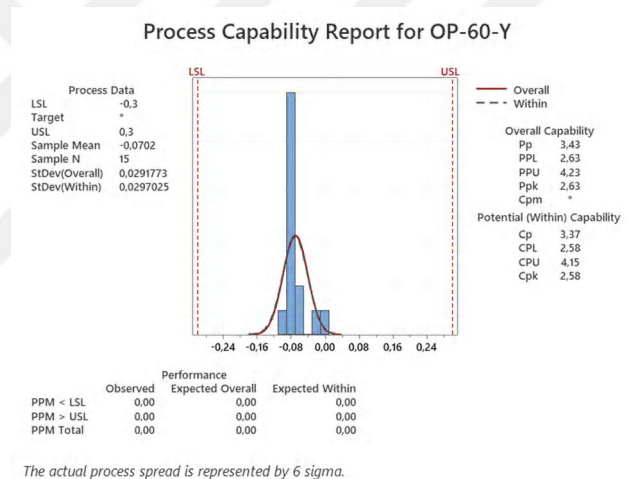
Şekil 3.47 2022 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksen

Tablo 4.12 Robot fikstürü tekrarlanabilirlik sonuçları (2023)

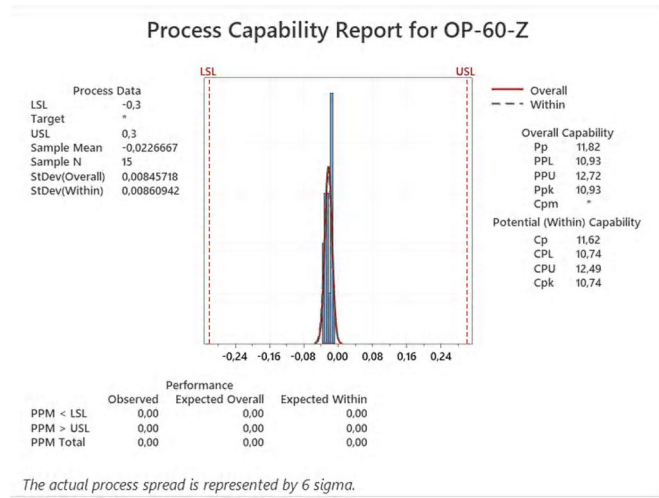
Fikstür OP60			
Ölçüm	X Eksen	Y Eksen	Z Eksen
1	-0,0130	-0,0680	-0,0080
2	-0,0030	-0,0890	-0,0190
3	-0,0070	-0,0210	-0,0260
4	0,0140	0,0090	-0,0140
5	-0,0290	-0,0790	-0,0170
6	-0,0350	-0,0860	-0,0260
7	-0,0140	-0,0750	-0,0150
8	-0,0350	-0,0790	-0,0360
9	-0,0150	-0,0740	-0,0130
10	-0,0360	-0,0800	-0,0260
11	-0,0380	-0,0800	-0,0290
12	-0,0680	-0,1080	-0,0170
13	-0,0550	-0,0870	-0,0300
14	-0,0490	-0,0840	-0,0330
15	-0,0380	-0,0520	-0,0310



Şekil 3.48 2023 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi X Eksen



Şekil 3.49 2023 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Y Eksen



Şekil 3.50 2023 Robot Fikstür Tekrarlanabilirliği Analizi Z Eksenli

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Büşra AKKAŞ

Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği	2012
Lise	Özel Hisarcıkloğlu Fen Lisesi, Kayseri	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2024-Halen	Philips	Product Industrialization Engineer
2018-2024	Stryker / Muka Metal A.Ş.	İmalat Mühendisi
2017-2018	Stroton Yapı Kimyasalları ve Yalıtım Tic.Ltd.Şti,	Endüstri Mühendisi
2013-2014	Form Sünger ve Yatak Sanayi Tic.A.Ş.	Endüstri Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Akkas, B., 2024. The Effect of deviations in robot welding fixtures on weld macros, 418 – (-). **6th International Black Sea Modern Scientific Research Congress**, 23 – 25 Ağustos, 2024, Trabzon, 526s.