

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ROBOTİK METAL KORUYUCU GAZ KAYNAK (MSG) HATTI
ENTEGRASYONU ÖN HAZIRLIK SÜRECİNDE TEORİK VE
DENEYSEL TEKNİK ANALİZLERİN YAPILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nilay MERMER ÇINAR**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

EYLÜL 2022

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ROBOTİK METAL KORUYUCU GAZ KAYNAK (MSG) HATTI
ENTEGRASYONU ÖN HAZIRLIK SÜRECİNDE TEORİK VE
DENEYSEL TEKNİK ANALİZLERİN YAPILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nilay MERMER ÇINAR
(191222004)**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı**

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

EYLÜL 2022



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Formu

Enstitümüz, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı (191222004) numaralı öğrencisi Nilay Mermer Çınar'ın "*Robotik Metal Koruyucu Gaz Kaynak (Msg) Hattı Entegrasyonu Ön Hazırlık Sürecinde Teorik Ve Deneysel Teknik Analizlerin Yapılması*" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 16.09.2022 tarihinde oluşturulan jüri tarafından *Oy Birliği* ile *Yüksek Lisans* tezi olarak *Kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 16/09/2022

1) Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bülent İMAMOĞLU

2) Jüri Üyesi: Prof. Dr. Ahmet Karaaslan

3) Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Onur Cem Namlı

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Robotik Metal Koruyucu Gaz Kaynak (MSG) Hattı Entegrasyonu Ön Hazırlık Sürecinde Teorik Ve Deneysel Teknik Analizlerin Yapılması” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim (16/09/2022).

Nilay Mermer Çınar

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gedik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü yüksek lisans bitirme çalışmasıdır. Robotik kaynak hatlarının entegrasyonu esnasında yapılması gereken hazırlıkların literatürde detaylı olarak ele alınmamış olması sebebiyle bu konu seçilmiştir.

Robotik Entegrasyon süreçleri ile ilgili 2019 yılından beri edinmiş olduğum sektörel tecrübe ve akademik bilgiyi birleştirerek hazırlanmıştır. Bu tez, bu çalışmanın hazırlanmasında ve tamamlanmasında bir şekilde katkıda bulunan ve değerli yardımlarını esirgemeyen birkaç kişinin rehberliği ve katkıları olmadan mümkün olmazdı.

Öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Bülent İmamoğlu, eski yöneticim ve daimî idolüm Fuat Kabakçıoğlu'na, her anlamda gelişimimizi destekleyen ve başarılarıyla bize örnek olan Yöneticim Halil Aslan'a, Netform Mühendislik adına teknik destek veren Mert Aygen ve Ali Baran Mete'ye yüksek lisans çalışmam ve araştırmama verdikleri sürekli destek, sabır, motivasyonu, teşviki ve engin bilgileri için teşekkür ederim. Onların rehberliği, bu tezin araştırılması ve yazılması sırasında her zaman bana yardımcı oldu.

Tüm süreç boyunca, katkılarından dolayı desteklerini esirgemeyen meslektaşlarım Tuğba Aydın, Murat Özen, Barış Aktaş ve Arif Baksı'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve beni yüreklendiren aileme, son olarak da sevgi dolu ve destekleyici Eşim Ferdi Çınar ve kızımız Jülide'ye teşekkür ederim.

Eylül 2022

Nilay MERMER ÇINAR
Makina & Kaynak Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YEMİN METNİ	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ.....	4
2.1. Seri İmalat Yapılması.....	5
2.2. İnce Malzemelerle Çalışılması.....	5
2.3. Fikstür Maliyetlerinin Karşılabilir Olması.....	5
3. GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ	7
4. ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ ENTEGRASYON SÜRECİ ÖN HAZIRLIKLAR.....	10
4.1. Risk Analizi Uygulanması.....	10
4.2. Robot Erişebilirliğinin CAD Programı Kullanılarak Belirlenmesi.....	18
4.3. Kaynak Haritası (Sıra Planı) Belirlenmesi.....	24
4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Kaynak Prosesinin Simule Edilmesi.....	33
4.4.1. Geometri.....	35
4.4.2 Fikstür	35
4.4.3 Malzeme	35
4.4.4 Kaynak proses parametreleri	35
5. SONUÇ.....	52
KAYNAKÇA	54
EKLER.....	57
EK A.1: Tablo	57
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

CAE	: Bilgisayar Destekli Mühendislik / Computer Aided Engineering
FMEA	: Hata Türleri ve Etkileri Analizi / Failure Mode and Effects Analysis
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi / Finite Element Method
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı / International Organization for Standardization
İSG	: İş Sağlığı ve Güvenliği / Occupational Health and Safety
MAG	: Metal Aktif Gaz Kaynağı / Metal Active Gas Welding
MSG	: Metal Koruyucu Gaz Kaynağı / Metal Shielding Gas Welding
MYK	: Mesleki Yeterlilik Kurumu / Vocational qualification institute
NDT	: Tahribatsız Test / Non-Destructive Testing
RÖS	: Risk Öncelik Sıralaması / Risk Priority Ranking
PQR	: Kaynak Prosedürü Deneyi / Procedure Qualification Record
WPS	: Kaynak Yöntem Şartnamesi / Welding Process Specification

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4. 1: İş Akış Şemasında Kullanılan Semboller	12
Tablo 4. 2: Robotik Kaynak Prosesi İş Akış Şeması	13
Tablo 4. 3: Robotik Kaynak Prosesi İş Akış Şeması	16
Tablo 4. 4: Yaskawa MA2010 Robotu Özellikleri Tablosu	19
Tablo 4. 5: Deneysel Sonuçlara Göre Y Eksenindeki Şekil Değişikliği Değerleri	50



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 4. 1: Dar Alanlarda Robot Erişimi.....	20
Şekil 4. 2: Gantry Üzerinde Ters Asılı Robotun Erişimi.....	21
Şekil 4. 3: Gantry, Pozisyoner, Robot ve Kaynak Makinesi İçin Yerleşim.....	21
Şekil 4. 4: Dar Açılı Kaynak Ağzı İçin Nozul Çapının Kontrolü.....	22
Şekil 4. 5: Erişim Sorunu Yaşanılan Bölge-1	22
Şekil 4. 6: Erişim Sorunu Yaşanılan Bölge-2	23
Şekil 4. 7: Stoper Yerleşimi Kontrolü -1.....	23
Şekil 4. 8: Stoper Yerleşimi Kontrolü -2.....	24
Şekil 4. 9: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 1.....	27
Şekil 4. 10: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 2.....	28
Şekil 4. 11: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 3.....	28
Şekil 4. 12: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 4.....	29
Şekil 4. 13: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 5.....	29
Şekil 4. 14: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 6.....	30
Şekil 4. 15: Kaynak Sıra Planı (1. Ve 6. Kaynak adımları arası)	31
Şekil 4. 16: Kaynak Sıra Planı (11. İle 14. Adımlar arası).....	32
Şekil 4. 17: Kaynak Yolu Üzerinde, Kaynak Yönünün Hatalı Belirlenmesi.....	37
Şekil 4. 18: Doğru Yönlendirilmiş Kaynak Yolu.....	38
Şekil 4. 19: Model Üzerindeki Tüm Kaynak Yolları	38
Şekil 4. 20: Hatalı Konumlandırılan Kaynak Yolu	39
Şekil 4. 21: Tek Parça Üzerinde Seçilmiş Lokal Joint	40
Şekil 4. 22: Hex. Mesh ve Kombine Mesh Analiz Karşılaştırması	42
Şekil 4. 23: Kaynağın Makrografik Görüntüsü	44
Şekil 4. 24: Isı Kaynağı Modellenmesi	45
Şekil 4. 25: 15 Mm'den İnce Parçaların Kalınlık Yönünde Irki Elemana Bölünmesi	46
Şekil 4. 26: 15 mm'den Kalın Parçaların Kalınlık Yönünde üç veya Daha Fazla Elemana Bölünmesi	46
Şekil 4. 27: Kaynak Esnasında Parça Üzerindeki Sıcaklık Değişimi.....	48
Şekil 4. 28: En Yüksek Sıcaklığın Kontrol Edilmesi	49
Şekil 4. 29: Y eksenindeki Şekil Değişikliği.....	51

ROBOTİK METAL KORUYUCU GAZ KAYNAK (MSG) HATTI ENTEGRASYONU ÖN HAZIRLIK SÜRECİNDE TEORİK VE DENEYSEL TEKNİK ANALİZLERİN YAPILMASI

ÖZET

Günümüzde kaynaklı imalat proseslerinde robotlar aktif olarak kullanılmaktadır. Robotik kaynak hatlarının entegrasyonu sırasında kaynak ile ilgili ön görülemeyen teknik hatalar istenilen kalitede ürün çıkartılamamasına, beklenen üretim sürelerinin aşılmasıyla, amortisman sürecinin uzamasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı robotik Metal Koruyucu Gaz Kaynak (MSG) hattı entegrasyonunda yapılan teorik ön hazırlıkların ne kadar fayda sağladığını göstermek ve entegrasyon sürecinde karşılaşılabilecek hataları minimuma indirmektir.

Çalışmanın ilk bölümünde Robotik Kaynak Sistemleri incelenmiştir. Ardından koruyucu gaz kaynağı incelenmiş, parametre çalışmaları, makine seçim kriterleri ve kullanılacak yardımcı ekipmanların nasıl seçildiği hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde entegrasyon esnasında sistemde çıkabilecek hataların saptanması için bir risk analiz yöntemi olan hata modu ve etki analizi (FMEA) yöntemi kullanılmıştır. Hataların ön hazırlık sürecinde saptanması için hata modu ve etki analizi (FMEA) yapılmıştır. Sonraki bölümde üretilecek olan malzeme üzerinde Robot kolunun erişebileceği noktalar, bir 3D modelleme programı olan Siemens NX kullanılarak tespit edilmiştir. Uygulanabilir bir kaynak haritası belirlenirken bu verilerden de faydalanılmıştır. Kullanılan tüm parametreler onaylı bir PQR'a bağlı olan WPS'lerle belirlenmiştir. Kaynak haritası üzerinde WPS numaraları da bulunmaktadır. Simufact Welding programı kullanılarak kaynak dikişlerinin içyapıları, statik ve dinamik dayanımları, çatlama eğilimleri, malzemede oluşabilecek şekil değişiklikleri analiz edilmiştir. Son olarak yapılan deneysel analizler ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda yapılacak olan robotik sistem entegrasyonlarının aşamaları belirlenmiş, hangi değişkenlere dikkat edilmesi gerektiği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Robot, Kaynak, Analiz, Simufact Welding, Ansys, Hata Türü ve Etkileri Analizi*

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL TECHNICAL ANALYSIS IN ROBOTIC METAL PROTECTIVE GAS WELDING (MSG) LINE INTEGRATION PREPARATION PROCES

ABSTRACT

Today, robots are actively used in welded manufacturing processes. During the integration of robotic welding lines, unforeseen technical errors related to welding cause the product not to be of the desired quality, and the prolongation of the depreciation process by exceeding the expected production times.

The aim of this study is to show how the theoretical preparations made in robotic Metal Shielding Gas Welding (MSG) line integration are beneficial and to minimize the errors that will be encountered during the integration process.

In the first part of the study, Robotic Welding Systems were examined. Then, the shielding gas source was examined, and detailed information was given about parameter studies, machine selection criteria and how to choose the auxiliary equipment to be used.

In the second part of the study, failure mode and effect analysis, which is a risk analysis method (FMEA), was performed to detect the errors that may occur in the system during integration. Failure mode and effect analysis (FMEA) was performed to detect errors during the preliminary preparation process. In the next section, the points that the robot arm can reach on the material to be produced were determined using Siemens NX, a 3D modeling program. These data were also used while determining a viable resource map. All parameters used were determined by WPSs connected to an approved PQR. There are also WPS numbers on the resource map. By using the Simufact Welding program, the internal structures of the weld seams, their static and dynamic strengths, cracking tendencies, and shape changes that may occur in the material were analyzed. Finally, the experimental analyzes and the theoretical results were compared. As a result of this study, the stages of robotic system integrations to be made were determined, and which variables should be considered were examined.

Keywords: *Robot, Welding, Analysis, Simufact Welding, Ansys, FMEA*

1. GİRİŞ

Robot teknolojisinin amacı, insan için tehlikeli, tek düze veya fiziksel yeteneğini zorlayan işleri yapabilecek otonom sistemler geliştirmektir. Son 30 yıl içerisinde robotlu sistemler, dünyada ve Türkiye'de tüm endüstri alanlarında hızla kabul görmüş ve kullanılabilir hale gelmiştir. Bugün dünyada 1.000.000'dan fazla çalışır durumdaki robot, başlıca kaynak, boyama, yapıştırma, katlama ve malzeme transferinde kullanılmaktadır [1].

İlk Endüstriyel Robotlar 1960'larda hayatımıza girdiğinden beri kaynak sektöründe robotların gelişimi oldukça dikkat çekicidir. Bu gelişimin sebebi kaynak robotlarının yalnızca üretim verimliliği ve kalitesini arttırmakla kalmayıp çalışanların sahip olması gereken teknik ihtiyaçları da büyük ölçüde azaltmasıdır.

Tamamen el yeteneğine bağlı olarak şekillenen bir prosesin sürekli aynı kararlılıkta yapılabilmesine olanak sağlayan robotların gelişimi proses kalitesini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. Doğru programlanmış kaynak robotu her seferinde neredeyse aynı kararlılıkla kaynak yapabilmektedir. Torç hareketlerinin sürekli aynı kalite ile tekrarlanması, yedi gün yirmi dört saat kesintisiz çalışma performansı robotların tercih edilmesinin başlıca sebeplerindedir.

Geçmişte ağırlıklı olarak fiyat esasına göre rekabet edilirken günümüzde rekabet; fiyat ile kalite, etkin bir pazarlama, üründe yaratıcılık, değişen talebe hızlı yanıt verme yeteneği, ürün çeşitliliği ve geleceğe yatırım ile belirlenir olmuştur [2-3]. Firmalar değişen piyasa koşullarına uyum sağlamak, müşteri ihtiyaçlarını karşılamak ve tercih edilebilirliklerini arttırmak için robot sistemlerine yönelmektedir. Bu çalışmada robotlu üretim hatlarını hızlı ve başarılı bir şekilde devreye almak için teknik olarak yapılması gereken ön hazırlıklar ele alınacaktır. Çalışmanın ilk bölümünde Robotik Kaynak Sistemleri incelenecektir.

Ardından koruyucu gaz kaynağı incelenecek, parametre çalışmaları, makine seçim kriterleri ve kullanılacak yardımcı ekipmanların nasıl seçildiği hakkında detaylı bilgi verilecektir. Koruyucu gaz kaynağı (Gaz Altı Kaynağı), eriyen kaynak ilave metali

veya eritilmeyen bir elektrot kullanan ve kaynak banyosunu havadan korumak için EN ISO 14175-1' e göre koruyucu bir gazdan faydalanan tüm ark kaynağı yöntemlerini ifade eden genel bir terimdir. Ark, aynı zamanda kaynak ilave malzemesi de olan eriyen bir elektrotla iş parçası arasında yanıyor bu kaynak prosesleri metal koruyucu gaz kaynağı (MSG) olarak adlandırılır.

Çalışmanın ikinci bölümünde entegrasyon esnasında sistemde çıkabilecek hataların saptanması için bir risk analiz yöntemi olan (FMEA) hata modu ve etki analizi yapılacaktır. Erken ve tutarlı FMEA'ların tasarım sürecinde kullanılması projede karşılaşılabilecek hataların minimize edilmesi ve üretimin güvenli bir şekilde gerçekleşmesine olanak sağlarken, yüksek kalitede ürün üretmeyi daha mümkün kılar. FMEA'lar firmaların teknik bilgilerinden (know how) faydalanarak gelecekte kullanmak üzere oluşturulur. Ürün geliştirme aşamalarında yapılan FMEA ile potansiyel hatalar tanımlanıp, belirlenen hataların nedenleri ve etkileri tespit edilecektir. Olasılığı, şiddeti ve saptana bilirliliğine yönelik önlemler alınacaktır [4-5].

Ardından üretilecek olan malzeme üzerinde Robot kolunun erişebileceği noktalar, bir 3D modelleme programı olan Siemens NX kullanılarak tespit edilecektir. Uygulanabilir bir kaynak haritası belirlenirken bu verilerden de faydalanılacaktır. Ayrıca yapılan modelleme ile tocun girmediği, robot kolunun erişemediği noktalar belirlenerek manuel kaynak yapılması zorunlu alanlar da tespit edilecektir. Bu aşamada hattın amortisman süresinin ve kapasitesinin doğru hesaplanabilmesi için üretim süresinin doğru belirlenmesi oldukça önemlidir.

Gerekli ön çalışmaların ardından kaynak parametreleri ve kaynak konumları belirlenecektir. Simufact Welding programı kullanılarak kaynak dikişlerinin içyapıları, statik ve dinamik dayanımları, çatlama eğilimleri gibi konularda önceden fikir sahibi olunacaktır. Simufact Welding, malzemelerin elastik plastik davranışını modellemek ve yapısal kaynak simülasyonu için kapsamlı işlevsellik sunan modüler bir ürün grubudur. Üç boyutlu soğuma etkisinin araştırılabilmesi için de bu programdan destek alınacaktır. Simufact Welding ile yapılan sonlu elemanlar analizlerinin (FEM) gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini kanıtlayan çalışmalar mevcuttur [4-5-6-7]. Yapılan statik ve dinamik analizler ile malzemenin dayanımı konusunda kontroller sağlanabilecektir. Bu şekilde doğru parametrelerin, doğru pozisyonların ve diğer önlemlerin (ön ısıtma, ara açmaz, altlık kullanımı vs.) belirlenmesi sağlanacaktır.

Son bölümde yapılan analizler sonucunda özellikle hata yaşanma olasılığı yüksek olan kaynak dikişlerine ait demo parçalar kullanılarak teorik analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılacaktır.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda teorik olarak yapılan teknik analizler ile deneysel sonuçlar kıyaslanarak, robotik sistemlerin entegrasyonunda yapılan teknik hazırlıkların gerçek üretim süreçleriyle uyumu ve faydası konusunda bilgi sahibi olunacaktır.



2. ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ

İnsanların tehlikeli ve yüksek ölçüde bilek gücü gerektiren ağır işleri bir cihaza ya da varlığa yaptırma isteği Antik Yunan-Helen dönemine kadar dayanmaktadır. Bu yüzyıllardan beri kullanılan “Automata” terimi insan benzeri cihazları ifade eder. Öte yandan “Robot” teriminin daha genel bir anlamı vardır. “Ağır iş” veya “zorla çalıştırma” anlamına gelen Çekçe “robota” kelimesinden gelmektedir. İlk kez 1920 yılında kullanılmıştır [8].

20. yüz yılın ortalarına kadar robot ve robotik kelimeleri ancak bilim kurgu romanlarında karşımıza çıkan ve ütopyik görülen teknolojilerdi. Her ne kadar sanayii devrimi ile endüstriyel robotlar kullanılmaya başlamış olsa da günümüzde kullanılan akıllı robot teknolojileri 2000’ li yıllarda yaygınlaşmıştır.

Müşteri beklentilerine uygun teslim tarihleri içinde, kalite gerekliliklerine uygun kaynaklı ürünler teslim etmek için insan yeteneğine dayalı manuel işçilik kullanmak uzun vadede sürdürülebilir bir çözüm değildir. Nitelikli iş gücüne erişimin zorluğu, sınırlı çalışma süreleri ve sürekli aynı kalitede ürün çıkarmanın zorluğu kaynak sektöründe robotların aktif kullanımını zorunlu hale getirmiştir

Özellikle uçak uzay, otomotiv ve beyaz eşya imalat sanayisinde kaynaklı imalat süreçleri ağırlıklı olarak robotlarla yönetilmektedir. Bu sektörlerde robotik kaynak sistemlerinin daha çok tercih edilmesinin başlıca sebepleri;

- Seri imalat yapılması
- İnce malzemelerle çalışılması
- Fikstür (sabitleme elemanı) maliyetlerinin karşılanabilir olması

Olarak sıralanabilir. Bu maddeleri detaylı olarak ele alacak olursak;

2.1. Seri İmalat Yapılması

Seri imalat yapılan hatlarda, hattın üretim kapasitesini arttırmak ve üretim sürekliliğini sağlamak öncelikli amaçtır. İlk yatırım maliyetlerinin hızlı karşılanması, hatta üretilecek olan ürün miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması seri imalat yapılan bir hat için daha göze alınabilir bir durumdur. Yanı sıra robotlar öğretilmiş olan rotalarda sürekli olarak çalışmakta ve öğretilen işi öğretildiği sıralama ile sürekli olarak tekrarlamaktadır. Seri imalat yapılmayan hatlarda robotik sistemlerin kurulması halinde, her bir yeni ürün için farklı rotalar yazılmalı ve farklı parametre ayarları yapılmalıdır. Mevcut rotaların her defasında değiştirilmesi robotik hattı verimsiz kılacaktır. Rota değişikliği için yetkin personel istihdam edilmesi ve çok sayıda deneme parçasının parametre ayarları için harcanması gerekecektir. Seri imalat yapılan hatlarda ise, her parça için ayrı rota yazılmasına ve parametre ayarının yapılmasına gerek yoktur. Bu sebeple robotik kaynak sistemleri seri imalat için son derece uygundur.

2.2. İnce Malzemelerle Çalışılması

Bahsi geçen sektörlerde kullanılan sac kalınlığı genellikle 15 mm altındadır. İstisnai durumlar söz konusu olsa dahi ön tav, pasolar arası sıcaklık gibi ısıya bağlı prosesler gerektiren kalınlıkta ve kompozisyonda malzemelerle çalışılmıyor oluşu sistemin robotiğe uyarlanmasını kolaylaştırmaktadır. Robotik bir sisteme ön tav ya da pasolar arası sıcaklık kontrolü eklemek her zaman ekstra bir maliyet ve bekleme zamanı anlamına gelmektedir. Ayrıca yörüngeden sapma olması gibi olası robot arızalarına karşı, sürekli kaynak dikişi boyunun daha kısa olması, hatalı kaynak dikişlerine bağlı fire malzeme maliyetinin göze alınabilir olması açısından önem arz eder.

2.3. Fikstür Maliyetlerinin Karşılabilir Olması

Robotik bir sistemin devamlı doğru parça üretebilmesi robota verilen iş parçalarının doğru konumda olmasına bağlıdır. Parçalarda kesimden kaynaklı distorsiyon (çarpılma), montajdan kaynaklı kaçıklık gibi hataların en aza getirilmesi robotik sistemin sürekliliği açısından oldukça önemlidir. İster comarc takip sistemli ister lazer takip sistemli olsun robotlar sadece ufak sapsmaları tolere edebilir. Bu sebeple

kullanılacak fikstürlerin parçayı her defasında aynı konuma getirebilmesi, mümkünse de parça üzerindeki distorsiyon, ondülasyon gibi şekil bozuklarını da düzelterek, montajına olanak sağlaması gerekmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında sürekli aynı şekilde stabil olarak üretimi mümkün olan parçalarla çalışmak ya da fikstürler ile düzeltilmesi mümkün kalınlıklardaki parçaları robotiğe uyarlamak daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Tüm bu özellikleri sağlayan sektörlerin yanı sıra günümüzde makine imalat sektöründe çalışan firmalardan, tersanelere kadar yüksek tonajlı çelik işi yapan firmalarda da kaynak robotları aktif olarak kullanılmak istenmektedir. Çünkü, bir firmanın kaynak sektöründe rekabetçi kalabilmesi için kaynak işlemlerinin hızlı, kaliteli ve ön görülebilir olması elzemdir.



3. GAZ ALTI KAYNAK YÖNTEMİ

Kaynak, iki ayrı parçanın tek bir entegre parça halinde birleştirildiği bir imalat prosesidir. Kaynaklı imalat, çelik endüstrisi başta olmak üzere en yaygın yararlanılan birleştirme metotlarından biridir. Uygulama esnekliği ve geniş skalada ayarlanabilen proses parametresi sayesinde ince parçalardan kalın yapılara kadar pek çok ölçekteki geometri birbirine kaynakla birleştirilebilmektedir [9].

Kaynak işleminden sonra ideal olarak, parçalar arasında tam bir süreklilik bulunmalı ve bağlantı alanı, tek tek parçaların ana metalinden ayırt edilemez olmalıdır. Elektronlar ara yüzdeki atomlar tarafından paylaşılabilirse, iki parça birbirine birleştirilebilir. Bu durumun gerçekleşmesi için, kaynak işlemi esnasında birleştirilecek parçaların erimesine yol açan harici ısı ya da basınç uygulanır.

Isıya bağlı tüm kaynak işlemleri bir anlamda dar alana kısıtlı eriyik madde ile yapılan döküm işlemleridir. Dolgu malzemesi elektrik arkı, gaz alevi gibi ısıyı yükselten ve ergimeye sebep olan bir yöntemle ısıtılıp sıvı fazda kaynak ağzının içine dökülür. Kaynak işlemi esnasında ana malzeme de ergiyip kaynak banyosuna karışır ve dolgu metali ile katılaşır. Bu işlemin sonucunda birbiri ile ergiyerek karışmış bir kaynak bölgesi, ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) ve artık tek bir parça gibi hareket eden iki farklı parça oluşur. Isıdan Etkilenen Bölge (HAZ), ana metalin kaynak esnasında eriyemeyen, ancak fiziksel özellikleri (malzeme iç yapısı, tanecik boyutu, sertlik değeri vb.) kaynak işlemi esnasında oluşan ısının etkisiyle değişen alanıdır [10].

Tüm kaynak işlemleri dört temel gereksinimi karşılamalıdır: bir bağlantı elde etmek için enerji sağlama, bağlantı yüzeylerinden yüzey kirliliğini gidermek için bir mekanizma, atmosferik kirlenmeyi önleme ve istenen mikro yapıyı elde etmek için kaynakların metalurjisini kontrol etme [11].

Gaz altı kaynak yönteminde kaynak banyosunu oluşturmak için gerekli olan ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrotla iş parçası arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrottan geçen akımın elektrotta oluşturduğu direnç aracılığıyla üretilir. Elektrot çıplak bir tel olup, elektrot besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk

edilir. Kaynak banyosu, atmosferin olumsuz etkilerine karşı uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur. Ark atmosferinin karakteri, dikiş kalitesini doğrudan etkiler.

Bu çalışmada Gaz Altı Kaynağı metotlarından MAG (Metal Aktif Gaz Kaynağı) ile çalışılacaktır. Bu yöntemin diğer kaynak yöntemlerine göre bazı üstünlüklerinin olması bu günkü kaynak endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Bu avantajları sıralayacak olursak;

- Geniş malzeme çeşitliliği ile çalışmaya imkân verir.
- Kaynak donanımlarının ayarı basittir. Diğer kaynak yöntemlerinde yetkin olan kaynakçı, rahatlıkla MAG kaynağı konusunda da birkaç gün içinde eğitilebilir.
- Cüruf ve sıçrak oluşumu kolaylıkla kontrol altına alınabilir. Kaynak sonrası temizlik ihtiyacı minimumdur.
- Kaynak işleminin her pozisyonda yapılabilmesine olanak sağlar.
- Kaynak telinin sürekli olarak banyoyu beslemesi sayesinde duraklamalar ortadan kalmakta ve çok uzun kaynak dikişleri dahi neredeyse hiç dur kalk yapılmadan tamamlanabilmektedir. Bu sebeple dur kalk esnasında meydana gelen krater çatlağı, gözenek, yanma oluşu gibi hatalar daha az oluşmaktadır.
- Yüksek kaynak hızı ve birim zamanda yüksek oranda kaynak metali yığılması, daha az kaynak metali harcanarak daha dar kök açıklıklarında çalışılabilmesi yöntemin üstünlüklerindedir.

Tüm bu olumlu özelliklerin yanı sıra, kullanımını sınırlayan dezavantajları ise şu şekilde sıralayabiliriz;

- Kaynak makineleri daha pahalıdır ve daha sık bakım gerektirir.
- Torç paketinin uzunluğu kaynak yapılabilecek alanı sınırlandırır. Kaynak donanımının taşınması elektrik ark yöntemine göre daha zordur.
- Gaz koruması sebebiyle şantiye ve açık alanlarda kullanımı için ekstra önlemler gereklidir.

Torçun erişimi, elektrik ark ve TIG kaynak yöntemine göre daha kısıtlıdır [12].

Bu yöntem geçtiğimiz 60 yıl içinde son derece yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Boru hatları, çelik yapı imalatı, endüstriyel ekipman imalatı, gemi inşa ve otomotiv endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüketilen kaynak dolgu malzemelerinin %70'i bu yöntem için harcanmaktadır [13].

Mekanize ve yarı mekanize kaynak için yöntemin uyarlanabilirliği çok yüksektir. Özellikle tam mekanize (robotik) kaynak uygulamalarında gaz altı kaynak metotlarından MAG kaynak yöntemi yoğun olarak kullanılmakta ve geliştirilmektedir.

Pasolar arası temizliğin gerekmemesi, tel değiştirme ihtiyacının çok az olması (big pack tellerin kullanımı sayesinde), neredeyse tüm pozisyonlarda kaynak yapılması için olanak sağlaması, geliştirilen yeni teknolojiler ile malzeme özelliğine göre arkın ayarlanabilir olması (darbeli ark, kısa ark, spreyc ark vb.), sinerjik kontrollü makinelerle stabil ve yüksek kaliteli dikişlerin rahatlıkla elde edilebilir olması bu yöntemin robotik olarak kullanılmasına olanak sağlayan temel özellikleridir.

4. ROBOTİK KAYNAK SİSTEMLERİ ENTEGRASYON SÜRECİ ÖN HAZIRLIKLAR

4.1. Risk Analizi Uygulanması

Risk analizi firmaların hedeflerine bağlı olarak yönetim anlayışları çerçevesinde; karşılaşılabilecek riskleri önceden belirlemesine olanak sağlar. Özellikle yeni yatırım, yeni proje ve termin tarihleri dar işlerde bir risk analiz yönteminin uygulanması oldukça önemlidir.

Bu konu ile ilgili risk yönetim sistemine sahip olunması, ISO 31000 Risk Yönetim Sisteminin de bir gerekliliğidir. Bu standartta belirtildiği üzere, risk yönetimi bir kuruluşla ilgili tüm faaliyetlerin bir parçasıdır. Risk ise belirsizliğin ulaşılması gereken hedefler üzerindeki etkisidir. Risk yönetimi ise riskle ilgili olarak bir kuruluşu kontrol etmek ya da yönlendirmek için yapılan faaliyetlerin tümüdür. Risk yönetiminin amacı, değer yaratmak ve korumaktır [14].

Bu bağlamda risk analiz yöntemlerinin temel işlevi süreç içinde ortaya çıkabilecek istenmeyen olayların ne kadar riskli olduğunu ve riskin boyutunun verebileceği zararı belirlemektir. Riski azaltacak önlemler almaya teşvik eder. Bir işin uygulanabilir olup olmadığı konusunda bilgi verir. Risk analizi yapılacağı zaman olası tehlikeleri, bu tehlikelerin etkilerini ve tehlikelerin oluşma olasılıkları tahmin edilmelidir [15].

Bu tez kapsamında sanayide en çok kullanılan risk analiz yöntemi FMEA (Failure Mode and Effect Analysis/Hata Türü ve Etkileri Analizi), kullanılmıştır.

İlk resmi FMEA 1960'ların ortalarında havacılık ve uzay endüstrisinde gerçekleştirilmiştir. Özellikle güvenlik konularına odaklanmıştır. Günümüzde ağırlıklı olarak otomotiv sektöründe bir kalite geliştirme aracı olarak kullanılmaktadır [16].

FMEA, ürün ve süreç sorunlarını ortaya çıkmadan önce tanımlamak ve önlemek için kullanılan sistematik bir yöntemdir. FMEA, hatayı önleme, müşteri memnuniyetini artırma ve sistem güvenilirliğini sağlamak üzerine kurulmuştur [17].

Proses FMEA'nın uygulanması gereken durumlar şu şekilde sıralanabilir [18];

- Yeni ürün ya da üretim hattı devreye alınması durumunda, fizibilite analizi aşamasında,
- Proses içinde bir iş adımında ya da kullanılan parçalarda değişiklik yapıldıysa,
- Yeni prosesler uygulamaya alındıysa

Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında, bir robotik sistem entegrasyonu gerçekleştirilmeden önce sistemde meydana gelebilecek olası hatalar saptanmalı ve önlemleri önceden alınmalıdır. Örneğin robotik sistemlerde sürekli öğretilmiş bir işlem yapılacağı için, robota verilecek olan işin sürekli stabil olarak gelmesi gerekmektedir. Eğer parçalarda boyutsal hatalar varsa bu sistemin çalışmasına ve sürekliliğine engel teşkil edecektir. Benzer ihtimallerin önceden saptanması ve önlem alınması gereklidir. Bu sebeple bir robotik sistem yatırımı yapmadan önce üretimde ortaya çıkabilecek tüm hata faktörleri dikkate alınmalıdır.

FMEA'nın kullanımı istatistiklere dayalıdır. İstatistiklerin belirlenmesi yeterli zaman ve insan gücü gerektirir. Süreç veya ürün hakkında detaylı bilgiler edinilmesi esastır. Aksi halde, FMEA, sürece ve tecrübeye dayalı istatistiklere güvenmek yerine tahminlere dayalı ve doğruluğundan şüphe edilen bir sürece dönüştürülecektir [19].

FMEA sürecinin oluşturulabilmesi için model bir iş akışına ihtiyaç vardır. İş akışındaki her bir adım FMEA da dikkatlice incelenir ve hata analizi yapılır. Bir iş akışında ne kadar çok olasılıkla ele alınırsa FMEA'nın vereceği sonuç da o kadar doğru olur.

İş akış şeması, bir prosesin tamamlanması için gereken iş adımlarını sıralı bir biçimde ve uygun şekillerle ifade edildiği bir akış şemasıdır.

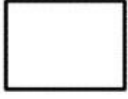



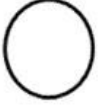


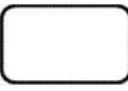
Bir iş akışı şemasında;

- Prosesin tamamlanması için gerekli bütün adımlar,
- Süreçteki adımları tanımlayan semboller,
- Akışın belirtmek için kullanılan oklar bulunmalıdır.

İş akış şemasında tanımlanan proses, sadece şemaya bakılarak anlaşılabilir olmalıdır.











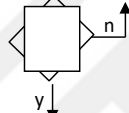
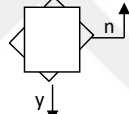
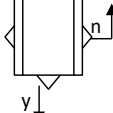
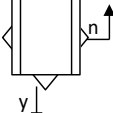
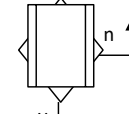
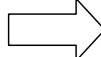
İş akış şemasında kullanılan sembollerin tanımları Tablo 4.1'de verilmiştir [20].

Tablo 4. 1: İş Akış Şemasında Kullanılan Semboller

Sembol	Anlamı
	Proseste bir adımı ifade eder ve adım ismi sembolün içine yazılır. Çoğunlukla bir adet ok girişi ve çıkışı mevcuttur.
	Bir adım veya bir kararın akış yönünü gösterir.
	Bir soru ile ilgili verilmesi gereken kararı ifade eder. Soru şeklin içine yazılır. Birden fazla ok çıkışı olabilir.
	Gecikme veya beklemeyi ifade eder.
	Başka bir sayfa veya akış diyagramına bağlantıyı ifade eder. Diğer diyagramda da başlangıç bağlantısı anlamına gelir.
	Giriş veya çıkışı ifade eder.
	Belgeyi ifade eder.
	Alternatif olarak kullanılan semboldür.

Tablo 4.2' de verilen bilgilere dayalı olarak Robotik Kaynak Prosesi için hazırlanmış olan İş Akış Şeması Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4. 2: Robotik Kaynak Prosesi İş Akış Şeması

			Kaynaklı Gövde Robotik Üretimi Proses Akışı / Welded Frame Robotic Production Process Flow			<input checked="" type="checkbox"/> Prototip / Prototype <input checked="" type="checkbox"/> Ön-seri / Pre-launch <input type="checkbox"/> Seri Üretim / Serial Production			
Parça Adı / Part name : Gövde Üretimi / Welded Frame			Hazırlayan / Prepared By: Nilay Mermer			Doküman No / Document No: 01			
									
HAMMADDE / RAW MATERIAL	KALİTE KONTROL / QUALITY CONTROL	OPERASYON / OPERATION	BİRKAÇ KONTROLLU AYNI LOKASYONDA YAPILAN OPERASYONLAR / MULTIPLE CONTROLLED OPERATIONS THAT DONE AT SAME LOCATION	OPERASYON KONTROL EDİLECEK / OPERATION WILL BE DOING CONTROLLED	PAKETLEME / PACKAGING	STOK / STOCK	SEVK / SHIPMENT	BİR SONRAKİ PROSES / NEXT PROCESS	
OPERASYON / OPERATION NAME		ŞEMALAR / SYNOPTIC DIAGRAM			KONTROL PARAMETRESİ / CONTROL PARAMETER				
A10		Gelen Malzeme							
A20		Yüzey Hazırlığı Surface Preparation							Görsel Kontrol
A30		Fikstürleme							Fikstür planı ve Teknik Resim
A40		Puntalama							Teknik Resim / Ölçü Kontrolü
A50		Robotik Kaynak							Parametre (Kaynak)-Görsel, Manyetik ve Ölçüsel Kontrol
A60		Manuel Kaynak ile Eksik Kaynakların Tamamlanması							Parametre (Kaynak)-Görsel, Manyetik ve Ölçüsel Kontrol
A70		Kaynaklı Ürün							Diameters and dimensions

FMEA sürecinin yönetilmesinden bir kişi sorumlu olsa da sürecin tamamlanabilmesi için konusunda uzman bir ekibin bir arada çalışması şarttır. FMEA' da ekip oluşturmanın amacı, farklı kişilerin farklı bakış açılarından ve uzmanlıklarından

faydalanabilmektir. İş akışında tanımlanmış olan her adım, prosesin belirli yönleriyle ilgili olduğundan, farklı alanda uzmanlaşmış kişilerden görüş alınması elzemdir. İyi bir FMEA ekibi 4 ila 6 kişiden oluşur [21].

Bu çalışmada kullanılan FMEA, İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürü'nün liderliğinde, Kıdemli Kaynak Mühendisi, Mühendislik Müdürü, İşletme ve İmalat Şefi, Kalite Müdürü ve Yalın Üretim Müdürü'nden oluşan 6 kişilik uzman bir ekibin çalışması sonucunda oluşturulmuştur. Çalışan ekibin nitelikleri aşağıda belirtilmiştir;

- **İş Sağlığı ve Güvenliği Müdürü:** 23 yıl sektör tecrübesi olan A sınıfı İş Güvenliği Uzmanı ve Çevre Mühendisi
- **Kıdemli Kaynak Mühendisi:** 6 yıl iş tecrübesine sahip NDT uzmanlıkları ve Robotik hat entegrasyon tecrübesi olan bir Makine ve Kaynak Mühendisi,
- **Mühendislik Müdürü:** 16 sene tasarım ve analiz tecrübesi bulunan alanında doktora derecesine sahip bir Gemi İnşaat Mühendisi,
- **İşletme ve İmalat Şefi:** 17 sene imalat tecrübesine sahip bir Makine Mühendisi,
- **Kalite Şefi:** Sektörde 14 sene iş tecrübesi bulunan bir Makine Mühendisi
- **Yalın Üretim Müdürü:** 26 sene iş tecrübesi bulunan bir Endüstri Mühendisidir.

Özellikle daha önce robotik kaynak tecrübesine sahip olmayan firmalar amortisman süresini doğru belirlemek ve sistemin verimliliğini ön görebilmek için tüm süreci detaylandırarak inceledikleri bir Proses FMEA' ya ihtiyaç duyarlar. Normalde Proses FMEA' süreci kurgulanırken giriş kalite kontrol aşamasının sorunsuz olarak ilerlediği varsayılır. Ancak kaynak robotu için FMEA hazırlanırken, malzeme özelliklerinin üzerinde önemle durulması gerektiği için bu çalışma esnasında malzeme giriş kabulleri de FMEA sürecine dahil edilmiştir.

FMEA yapılırken, her hatanı, müşteri üzerinde oluşturacağı potansiyel etkilere göre analizler yapılır. Amaç, mümkünse hatayı oluşmadan önlemek, mümkün değilse de potansiyel hataların müşteriye ulaşmadan tespitini sağlamaktır. FMEA yöntemi kullanılarak hata çıkma olasılığı en aza indirilir verimliliğin artırılarak maliyetlerin düşürülmesi sağlanır. Bu da firmanın rekabet gücünü önemli ölçüde artırır [22].

FMEA yönteminde, hata riski belirlemek için üç öncelikli bileşen vardır.

- Şiddet Derecesi(Ş)

- Meydana Gelme Olasılığı (O)
- Tespit Edilebilirlik, Saptama (S)

Şiddet derecesi hatanın olası etkilerini belirler. Meydana gelme olasılığı, hatanın tekrarlama frekansı ile belirlenir. Tespit edilebilirlik ise, hatanın bertaraf edilmesi için müşteriye ulaşmadan önce saptama bilirliliğini ifade eder.

Bu üç değişkenin birbiri ile çarpımı, RÖS (Risk Öncelik Sayısı) değerini verir [23];

$$(RÖS) = \text{Meydana Gelme Olasılığı (O)} \times \text{Şiddet Derecesi (Ş)} \times \text{Saptama (S)} \quad (4.1)$$

Klasik FMEA’ da üç ana değişken için 1-10 arasında değişen puanlama ile ölçek tabloları mevcuttur [24]. Riskin Meydana Gelme Olasılığı ve Şiddeti arttıkça derecesinin arttığı görülmektedir. Ancak Tespit Edilebilirlik dereceleri için durum tam tersidir. Bir riskin fark edilme olasılığı ne kadar düşük ise derecesi o kadar yüksek olmaktadır. Şiddet derecesi, potansiyel hatanın sistemin tümüne ya da bir alt sisteme olan etkisini temsil eder. Hatanın müşteri üzerinde yaratacağı etki şiddetin seviyesini belirler [25]. Şiddetin belirlenmesi de 1-10 arası puanlama sistemi ile mümkündür. [26]. Bir hatanın belirlenip belirlenememeği “Tespit Edilebilirlik, Saptama” değeri ile ölçülür. Saptamanın belirlenmesinde önceki tecrübeler ve hata saptama için kullanılan teknolojik imkânlar göz önünde bulundurulur [27].

RÖS değerini etkileyen üç ana değişkene ait veriler Şekil 4.1’ de bir araya getirilmiştir. Şekil 4.1 bu bölümde yer alan tüm kaynaklardan faydalanılarak, oluşturulmuş genel bir Proses FMEA Faktörleri Derecelendirme şemasıdır. Bu şemada kırmızı renk ile belirtilen RÖS değerleri önlem alınması zorunlu yüksek riskleri, sarı renk ile belirtilen RÖS değerleri önlem alınması opsiyonel olarak belirtilen orta seviyede riskli durumları yeşil renk ile belirtilenler ise risk seviyesi düşük ve önlem alınması gerekmeyen alanları temsil etmektedir.

Tablo 4.2 de verilen İş Akış Şeması ve Tablo 4.3’ de verilen, değerler kullanılarak, Robotik Kaynaklı İmalat Prosesi için bir FMEA oluşturulmuştur. İlgili FMEA tablosu Ekler kısmında Tablo A1’ de verilmiştir.

Tablo 4. 3: Robotik Kaynak Prosesi İş Akış Şeması

NO	ŞİDDET DERECEŞİ	MEYDANA GELME OLASILIĞI			TESPİT EDİLEBİLİRLİK	
			FREKANS (1 in ...)	Cpk		TESPİT EDİLEBİLME KESİNLİĞİ
1	Müşteri olumsuz etkiyi fark etmeyecek veya önemsizdir.	Meydana gelme olasılığı uzaktır.	1.000.000	> 1,67	Bir sonraki müşteriye ulaşmadan potansiyel arızanın bulunacağından veya önleneyeğinden tamamen emin olunur. Makine, ürün, fiyktür vb. ekipmanlardan dolayı hatalı üretimin yapılmayacağı kesin olmalıdır.	100%
2	Müşteri muhtemelen küçük bir sıkıntı yaşayacaktır.	Destekleyici belgelerle düşük hata oranı.	20.000	1,33	Potansiyel arızanın bir sonraki müşteriye ulaşmadan önce bulunacağı veya önleneyeği neredeyse kesin. Hata otomatik denetimlerle ürün üretilmeden önce engellenir.	99%
3	Müşteri, performanstaki küçük düşüş nedeniyle sıkıntı yaşayacaktır	Destekleyici belgeler olmadan düşük hata oranı.	5.000	1,16	Potansiyel arızanın bir sonraki müşteriye fark edilmeden ulaşma olasılığı düşüktür. Hata kontroller ile ürün üretildikten sonra tespit edilir. Bir sonraki prosese gitmez.	95
4	Düşük performans nedeniyle müşteri memnuniyetsizliği. Müşteri tarafından %75 farkedilir.	Nadiren gerçekleşen hatalar	1.500	1,10	Kontroller, olası arızanın bir sonraki müşteriye ulaşmasını tespit edebilir veya önleyebilir. Hata üretildikten sonra kontrol edildiği halde bir sonraki prosese de kontrol gereklidir.	90
5	Ürün çalışır ancak, alt sistemlerde etkisi devam eden sorunlar nedeniyle müşteri problem yaşar.	Destekleyici belgelerle nispeten ılımlı başarısızlık oranı	500	1,03	Potansiyel hatanın bir sonraki müşteriye ulaşma olasılığı orta düzeydedir.	85
6	Garanti kapsamında onarım veya önemli üretim veya montaj şikayeti.	Destekleyici belgeler olmadan nispeten ılımlı başarısızlık oranı	100	0,93	Kontrollerin olası arızayı tespit etmesi veya bir sonraki müşteriye ulaşmasını engellemesi çok olası değildir. Operatörün ölçü aletiyle yaptığı kontrollerde tespit edilebilir.	80
7	Tam fonksiyon kaybı olmaksızın bileşen arızası nedeniyle yüksek derecede müşteri memnuniyetsizliği. Verimlilik, yüksek hurda veya yeniden işleme düzeylerinden etkilenir.	Destekleyici belgelerle nispeten yüksek başarısızlık oranı.	50	0,87	Potansiyel arızanın bir sonraki müşteriye ulaşmadan tespit edilmesi veya önlenmesi olasılığı çok düşüktür. Ancak görsel kontrol ile üretim anında tecrübeye dayalı olarak yakalanabilir.	70
8	Emniyet veya hükümet düzenlemeleri üzerinde olumsuz bir etki olmaksızın işlev kaybından kaynaklanan çok yüksek düzeyde memnuniyetsizlik.	Destekleyici belgeler olmadan yüksek başarısızlık oranı.	20	0,77	Mevcut kontroller muhtemelen olası arızayı tespit etmesi beklenmez. Ancak bir sonraki prosese örsel kontrol ile üretim anında tecrübeye dayalı olarak yakalanabilir.	60
9	Arıza veya hükümet düzenlemelerinin ihlali öncesi uyarı ile emniyetli sistem performansı üzerindeki olumsuz etki nedeniyle müşteri tehlikeye girer.	Garanti verilerine veya önemli Tasarım Doğrulama* testlerine dayalı olarak arıza neredeyse kesindir.	10	0,67	Mevcut kontroller muhtemelen olası arızayı tespit etmesi mümkün değildir. Ancak rastgele kontrollerle tespit edilebilir.	50
10	Arıza veya hükümet düzenlemelerinin ihlali öncesinde uyarı yapılmadan emniyetli sistem performansı üzerindeki olumsuz etki nedeniyle müşteri tehlikeye girer.	Garanti verilerine veya önemli Tasarım Doğrulama* testlerine dayalı olarak arıza garantisidir.	3	0,53	Mevcut kontrollerin potansiyel arızayı tespit etmeyeceğine dair mutlak kesinlik vardır.	< 50

FMEA’da görüleceği üzere risk faktörünü azaltmak için kontrol noktaları, ekstra dokümanlar gibi önlemler tanımlanmıştır. Operatör hatalarının önüne geçilmesi için standartlara uygun eğitimler ve teknik dokümanlar eklenmiştir.

Alınması gereken önlemlerden bazıları manuel kaynak ve robotik kaynak için eş değer öneme sahipken, bazıları robotik kaynak prosesi için daha ciddi risk oluşturmaktadır.

Alınması gereken önlemler RÖS değerine göre incelendiğinde Robotik Kaynakta en yüksek riske sahip durumlar ve alınacak temel önlemler şu şekilde sıralanabilir;

- **Hata:** Parça çarpılabilir (distorsiyona uğrayabilir) (Uygun olmayan kaynak haritasından kaynaklı)

Önlem: Bir kaynak haritası belirlenmelidir. Kaynak haritasının doğruluğu ve parçanın çarpılma miktarı, sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak simüle edilmelidir.

- **Hata:** Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon (nüfuziyet), yanma oluşu vb. (Robotun kaynak işlemi sırasında hata vermesinden kaynaklı)

Önlem: Montaj kontrol planı oluşturulmalı ve periyodik bakım talimatı eklenmelidir.

- **Hata:** Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb. (Gazın aniden bitmesinden kaynaklı)

Önlem: Gaz alarm sistemi ya da gaz tankı kullanılmalıdır.

Yukarıda sıralanmış olan üç temel hata incelendiğinde robotik sistemlerin entegrasyonu sırasında;

- Robot erişebilirliği test edilmeli ve kaynak sıra planının uygulanabilirliği belirlenmeli
- Kaynak Haritası oluşturulmalı
- Bir sonlu elemanlar programı kullanılarak, parçanın kaynak sonrasındaki davranışları analiz edilmeli ve kaynak sıra planı, jig(kılavuz), fikstür ve ara açmazların uygunluğu kontrol edilmeli
- Kaynak kontrol formları, otonom bakım formları, WPS ve PQR’lar, kaynakçı listeleri gibi dokümanları içeren bir kaynak kitabı oluşturulmalıdır.

Yapılan FMEA analizi sonuçlarına göre Robotik hat entegrasyonu esnasında uygulanması gereken işlemler bölüm 5,6,7 ve 8' de detaylarıyla anlatılmıştır.

4.2. Robot Erişebilirliğinin CAD Programı Kullanılarak Belirlenmesi

CAD sistemleri kullanılarak robotların çalışma alanları belirlenebilmektedir. Referans çalışmalarda [28-29 ve 30] Siemens NX sistemi ile robotların hareket analizleri yapılmıştır. NX programı, Siemens tarafından geliştirilen üç boyutlu bir CAD/CAM/CAE yazılımıdır [31]. Bu çalışmada Siemens NX programının seçilmiş olma sebebi, bu programın diğer yaygın CAD programlarına nazaran, karmaşık sistemlerde ve boyut olarak büyük montajlarda daha stabil çalıştığı tecrübe edilmiş olmasıdır.

Bir robotik sistem entegrasyonu yapılırken, kullanılacak olan robot kolunun kaynak yapılacak bölgelere erişiminin olması öncelikli gereksinimdir. Robotun erişemediği bölgelerde, manuel kaynak yöntemine geçilmesi ya da alternatif çözümler bulunması gerekecektir.

Robot seçimi yapılırken hareket kısıtı konusunda robot kolu ve robotun taşıma kapasitesini belirlemek prosese uygun robotun mekanik özelliklerini de belirleyecektir.

Projede Yaskawa, 6 eksenli MOTOMAN MA2010 yüksek hızlı robot kullanılmıştır. Üretilecek olan parçanın karmaşık yapısı ve erişim ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda maksimum erişebilirliği sağlaması için 2010 mm mesafeye kadar erişim sağlayabilen, uzun kollu bir model tercih edilmiştir.

Torç ise robotun taşıma kapasitesinin ne kadar yüksek olması gerektiği konusunda belirleyici faktördür. Torçlar su soğutmalı ve hava soğutmalı torçlar olarak sınıflandırılır. Bir torcun soğutma yöntemi seçilirken, göz önünde bulundurulacak en önemli kriter yüklenebilecekleri maksimum akım şiddetidir. Kaynak sırasında kullanılacak olan akımın şiddeti ve çalışma süresi arttıkça torcun soğutulma ihtiyacı da artacaktır.

Robotik kaynak prosesi sırasında torç uzun çalışma çevrimleri süresince kullanılacaktır. Hava soğutmalı torç su soğutmalı torca göre daha hızlı ısınmaktadır [32]. Aşırı ısınma torç, meme, nozul ve kaynak kalitesi için kötüdür. Torcun, dolayısıyla memenin aşırı ısınması metalin genişlemesine, meme deliğinin boyutunun

azalmasına neden olacaktır. Bu durum da tel beslemede sorunlara neden olacaktır. Tel artık memeden sorunsuz şekilde beslenmeyecektir ve potansiyel olarak memenin tel ile yanmasına neden olabilecek ve ark kararsızlığına yaratacaktır. Bu sebeple hem torç kullanım süresi kısılacak hem meme sarfiyatı artacak hem de kaynak hatası oluşacaktır.

Bu sebeple hava soğutmalı torcun robot üzerinde sürekli kullanımı yoğun kaynak yapılırken, mevcut projeler esnasında, uygun değildir.

Tüm bu faktörler göz önüne alınarak robotun taşıma kapasitesinin yüksek olmasına da dikkat edilmiştir. Robot taşıma kapasitesi 10 kg'dır. Robotun taşıma kapasitesinin yüksek olması su soğutmalı torç paketini rahatça taşıyabilmesine olanak sağlar.

Robotun temel teknik özellikleri belirlendikten sonra, robot imalatçısı firmanın sağladığı kinetik sınırlar (hareket sınırları) belirlenerek, robot üzerinde bulunan 6 eksen için de hareket kısıtlarını belirten çemberler çizilmiştir.

İş parçası üzerinde kaynak yapılacak olan alanlar Bölüm:6' da detaylı olarak incelenecek olan Kaynak Haritası' nda sırasıyla belirlenmiştir.

Katı model tasarımı tamamlandıktan sonra bu kaynak sıra planına uygun olarak robot her bir kaynak bölgesi üzerinde sırayla gezdirilmiştir. Her bir pozisyonda robot eksenlerinin konumu, robot üreticisi firmanın verdiği hareket kısıtlarıyla (bknz: Tablo 4.4) karşılaştırılarak robot erişebilirliği kontrol edilmiştir.

Tablo 4. 4: Yaskawa MA2010 Robotu Özellikleri Tablosu

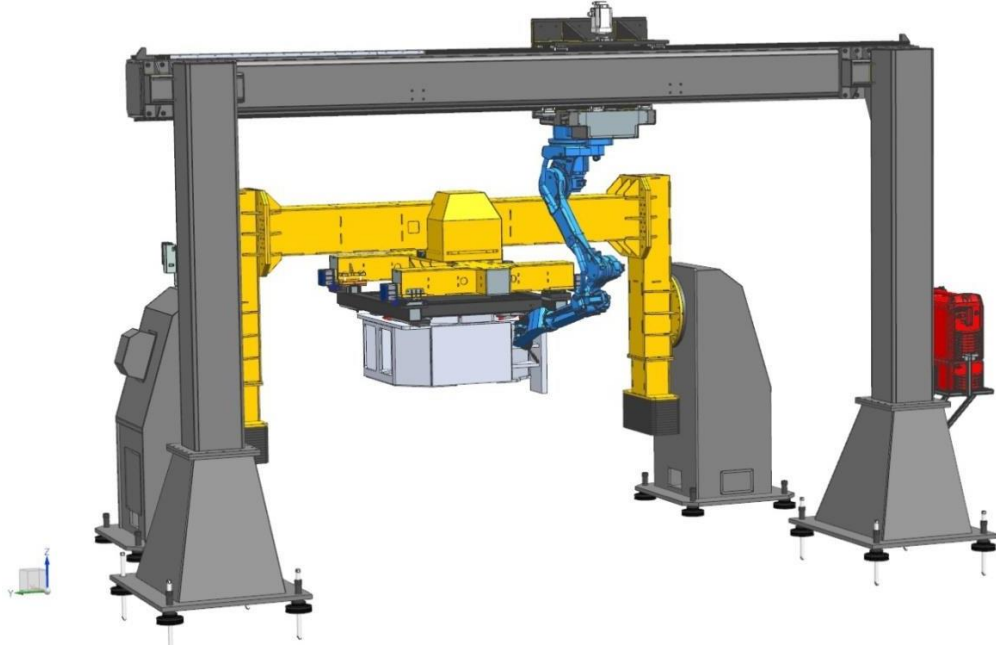
Teknik Özellikler MA2010 (Tip zemin, duvar: YR MA2010-A00, tavan tipi: YR -MA2010-A10)						
Eksenler	Maksimum Hareket Aralığı [°C]	Maksimum Hız [°/sn]	İzin Verilen Moment [Nm]	İzin Verilen Atalet Momenti [kg*m ²]	Kontrollü Eksenler	6
					Maks.yük (kg)	10
S	±180	197			Tekrarlanabilirlik [mm]	±0.08
L	+155/-105	190			Maks. Çalışma aralığı R [mm]	2010
U	+220/-170	210			Sıcaklık [°C]	0 to +40
R	: I:150	410	22	0,65	Nem [%]	20- 80
B	AOO: +90/-135 A10: +135/-90	410	22	0,65	Ağırlık (kg)	280
T	±210	610	9,80	0,17	Güç kaynağı, ortalama [KVA]	2

Robotun istenilen pozisyona gelmesi kaynağın sağlıklı atılması için yeterli değildir. Çevresel faktörlerden etkilenmeden görevini yerine getirebileceği bir alana ihtiyaç vardır. Bu sebeple robot yörünge alanı ve hareket kabiliyeti belirlenirken sadece torcun gerçek boyutu değil hareket izdüşümü dikkate alınmalıdır.

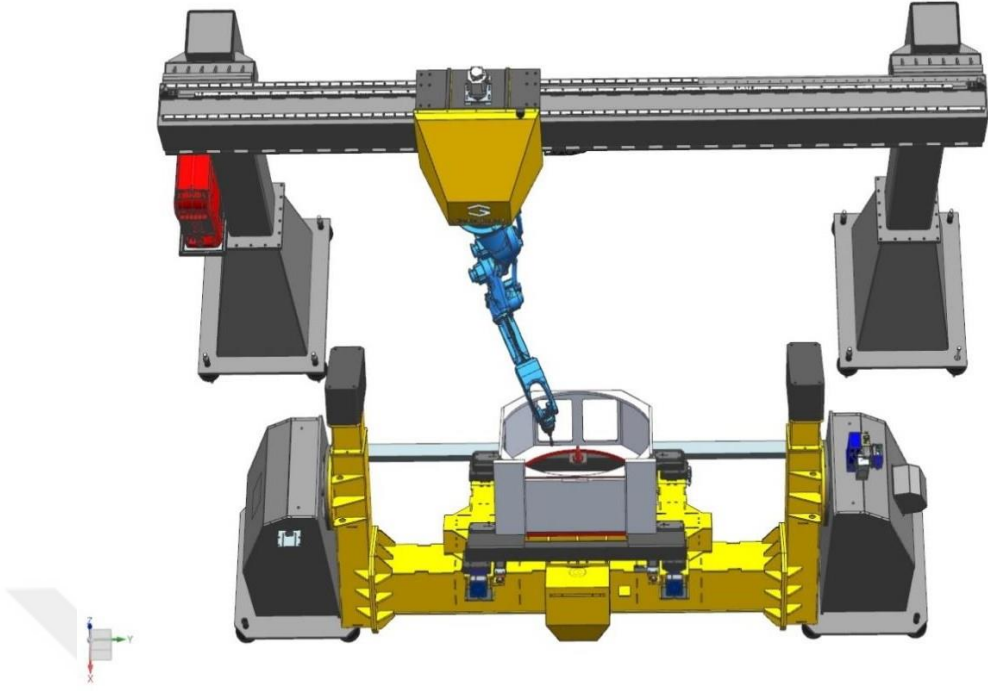
Cad programları ile yapılan sanal denemelere dayanarak, robotun ihtiyacı olan çalışma alanını tespit etmek ve robot elemanlarının sistemin diğer elemanları ile çarpışmasını tahmin etmek mümkündür.

Bu sürecin gerçekleşmesi için robot, gantry (ayaklı çerçeve sehpa), pozisyoner, araçmaz ve iş parçasının modellenmesi gerekmektedir.

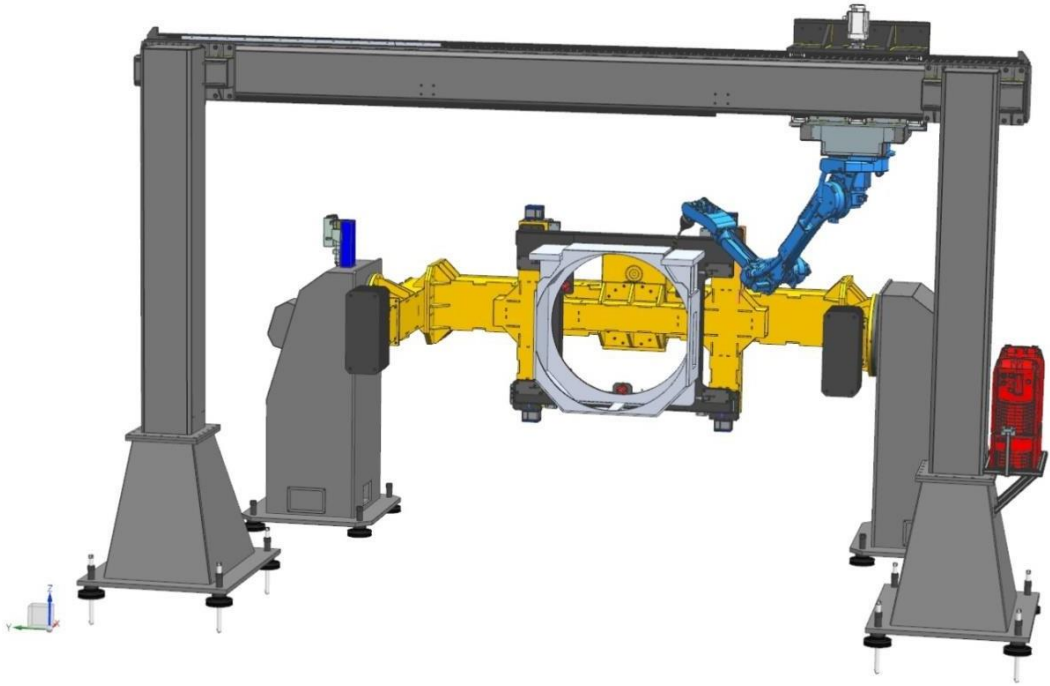
Aşağıda Siemens NX programı üzerinde yapılan modelleme örnekleri mevcuttur. (Şekil 4.1 ve Şekil 4.8 arasında gösterilmiştir.)



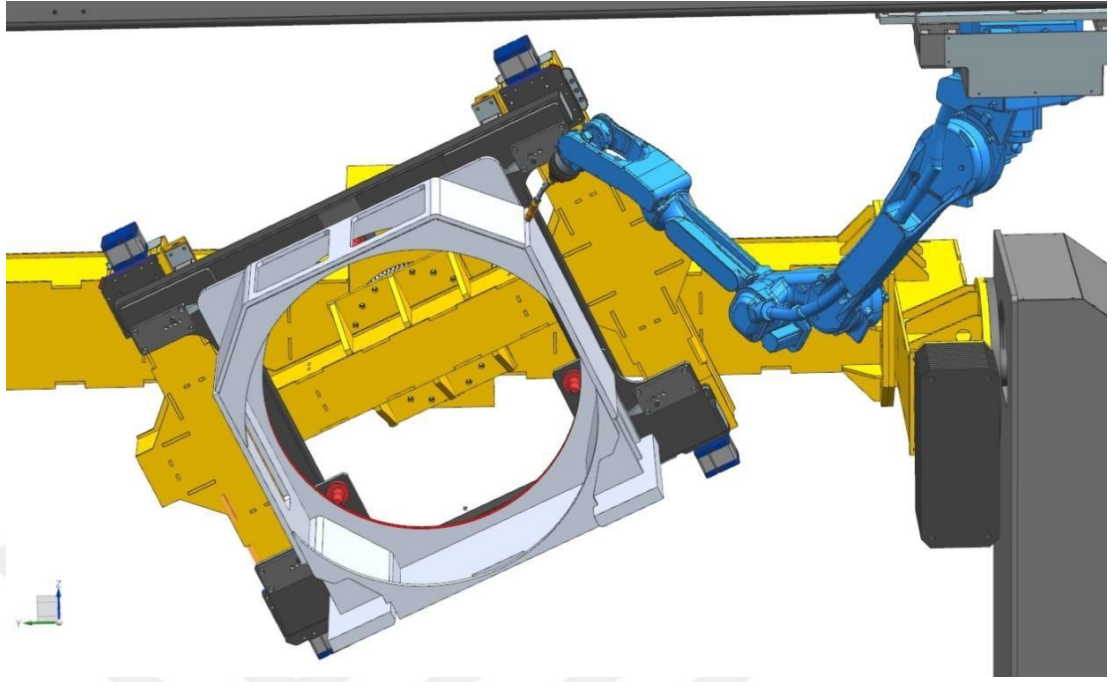
Şekil 4. 1:Dar Alanlarda Robot Erişimi



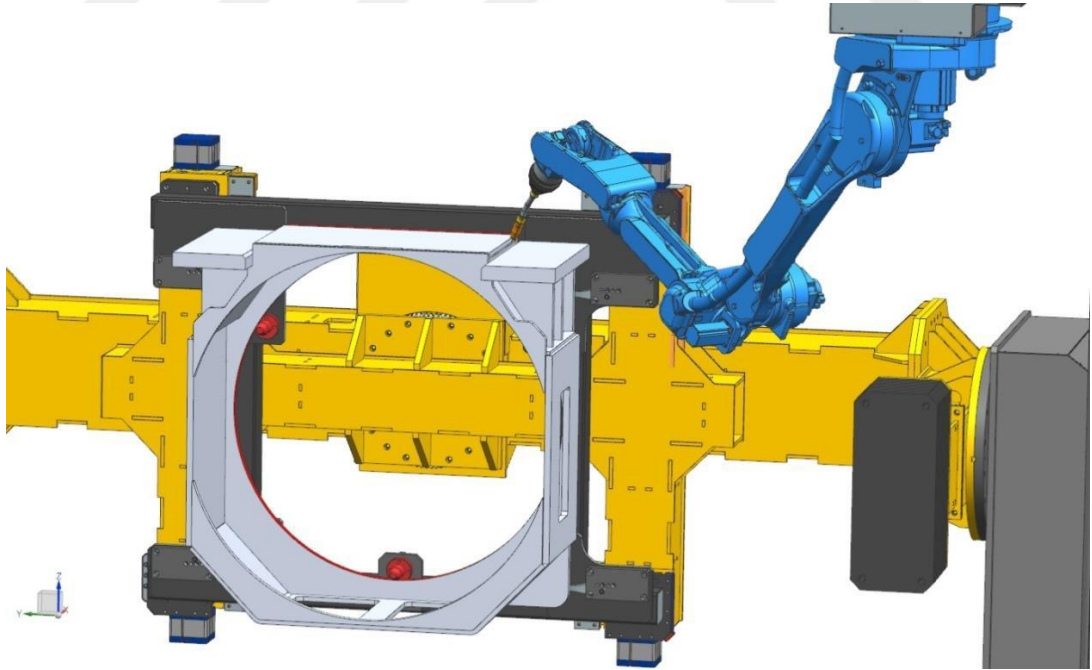
Şekil 4. 2:Gantry Üzerinde Ters Asılı Robotun Erişimi



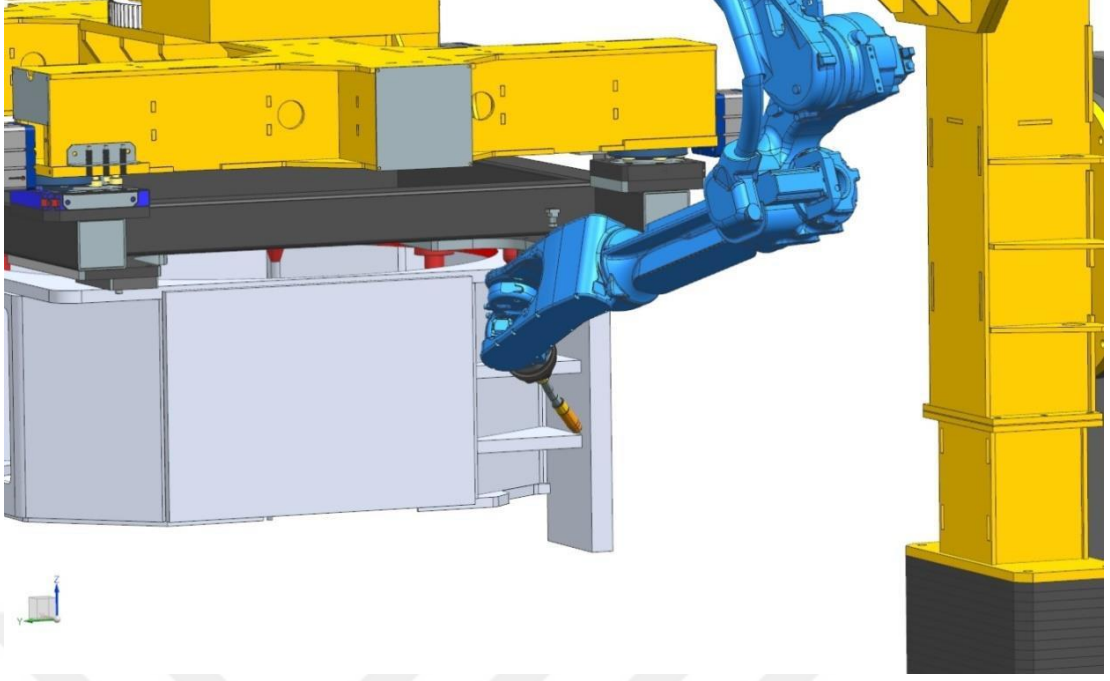
Şekil 4. 3: Gantry, Pozisyoner, Robot ve Kaynak Makinesi İçin Yerleşim



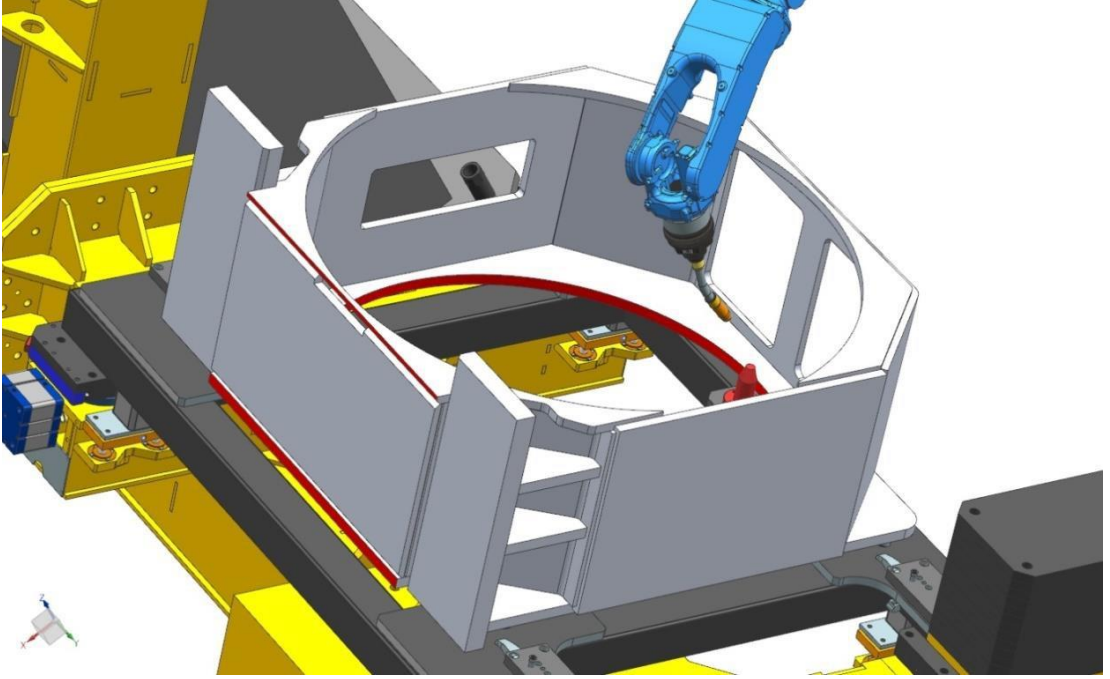
Şekil 4. 4: Dar Açılı Kaynak Ağzı İçin Nozul Çapının Kontrolü



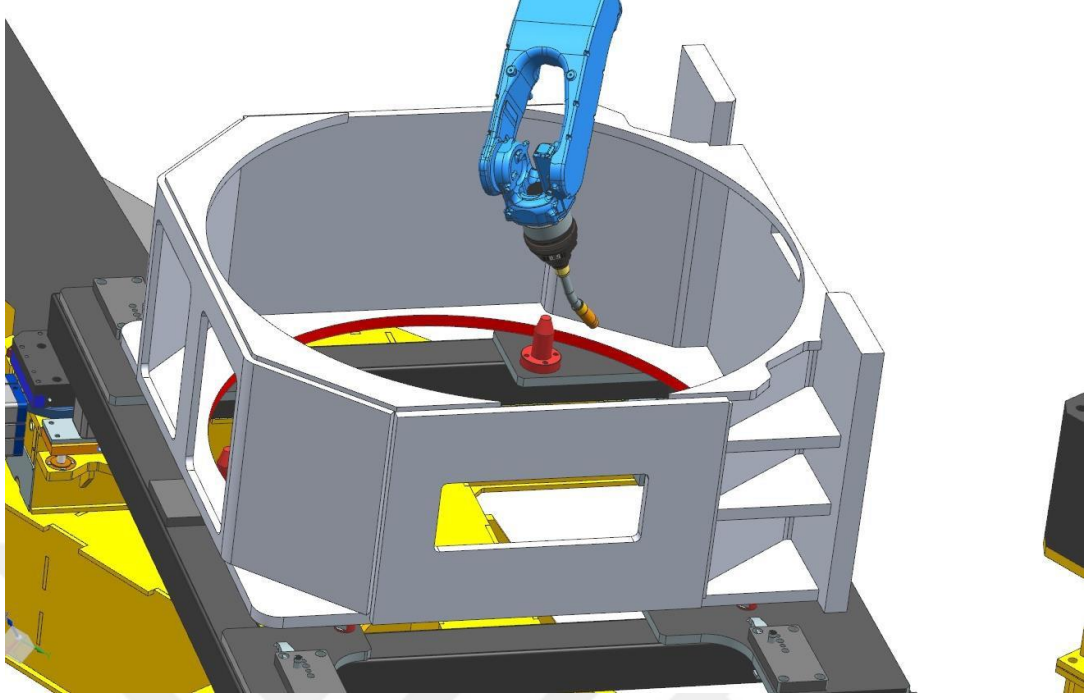
Şekil 4. 5: Erişim Sorunu Yaşanılan Bölge-1



Şekil 4. 6: Erişim Sorunu Yaşanılan Bölge-2



Şekil 4. 7: Stoper Yerleşimi Kontrolü -1



Şekil 4. 8: Stoper Yerleşimi Kontrolü -2

Robotun erişilebilirlik kontrolünün ardından, erişim sağlanamayan bölgeler için aşağıda sayılacak önlemler alınabilir;

- Gantry, pozisyoner, stoperlerde değişiklik yapmak,
- Düz boyunlu torçlar yerine farklı tasarımlarda, deve boynu torç gibi, torçlar kullanmak,
- Erişilemeyen bölgeleri kaynak haritasından çıkartarak manuel kaynak ile birleştirmek.
- Robotu değiştirmek.

4.3. Kaynak Haritası (Sıra Planı) Belirlenmesi

Kaynak haritası, kaynak yollarının numaralandırılmasıyla oluşur. Üzerinde çok sayıda kaynak dikişi bulunan parçalarda gerilmeleri ve distorsiyonu en aza indirmek için bir kaynak sıra planının belirlenmesi elzemdir.

Distorsiyonu en aza indirmek ve şekil değişikliklerini kontrol edebilmek için temel olarak aşağıda verilen kıstaslara uyulmalıdır;

- Kaynak tasarımı, kaynak parametreleri ve kaynak yöntemi belirlenirken mümkün olan en az kaynak metali oluşumuna ve düşük ısı girdisi ile kaynağa izin verecek şekilde belirlenmelidir. Montaj sırasında kök açıklığı WPS değerlerine göre minimum bırakılmalıdır.
- Kaynak kenarı hazırlığı, atölye imalat çizimleri ve WPS (ler) ile uyumlu olmalıdır.
- Malzeme hazırlığı, onaylanmış atölye imalat çizimlerine uygun boyutta kesilmeli ve kenarları pürüzsüz hale getirilmelidir. Kesimden sonra tespit edilen herhangi bir malzeme kusuru, yeniden taşlama ve kaynak ile tamir edilebilir.
- Kabul edilebilir toleranslarda hizalamayı sağlamak ve sürdürmek için yerleştirme ve kaynaklama sırasında destek elemanları ve fikstürler kullanılacaktır. Parçaların tam olarak desteklenmesini sağlamak için stratejik yerlere geçici destekler yerleştirilecektir.
- Montaj esnasında;
 - ❖ Mümkün olan yerlerde elemanları birleştirmek için ön ayar tekniği uygulanmalıdır. Bu aşamada montaj formenin taşeronlara eşlik etmesi ve montaj işleminin her aşamasını kontrol etmesi gerekmektedir.
 - ❖ Montaj konfigürasyonu çizime ve onaylı WPS' e göre olacaktır. Yapısal bileşenin montaj boyutu ayarlanırken, kaynak sonrası oluşabilecek çekmeler de düşünülmelidir. Gerekli yerlere ön sehim verilmelidir.

Kaynak sıra planı belirlenirken aşağıdaki hususlara dikkat edilmedir [33,34];

- Ön ısıtma, puntalama ve kaynaktan önce propan gazıyla ısıtma veya diğer onaylanmış yöntemler kullanılarak onaylı WPS' e göre gerektiği şekilde uygulanmalıdır.
- Çatlamaya duyarlı olmayan parçalar hariç, yapı elemanlarını güçlendiren kaynak dikişleri en son kaynatılmalıdır. (Amaç yapı elemanının mümkün olduğunca uzun süre serbest büzülme bırakmaktır)
- Tam mekanize kaynak yöntemlerinin uygulaması dışında, ağırlık merkezinden dışarıya doğru simetrik şekilde kaynak yapılmalıdır.

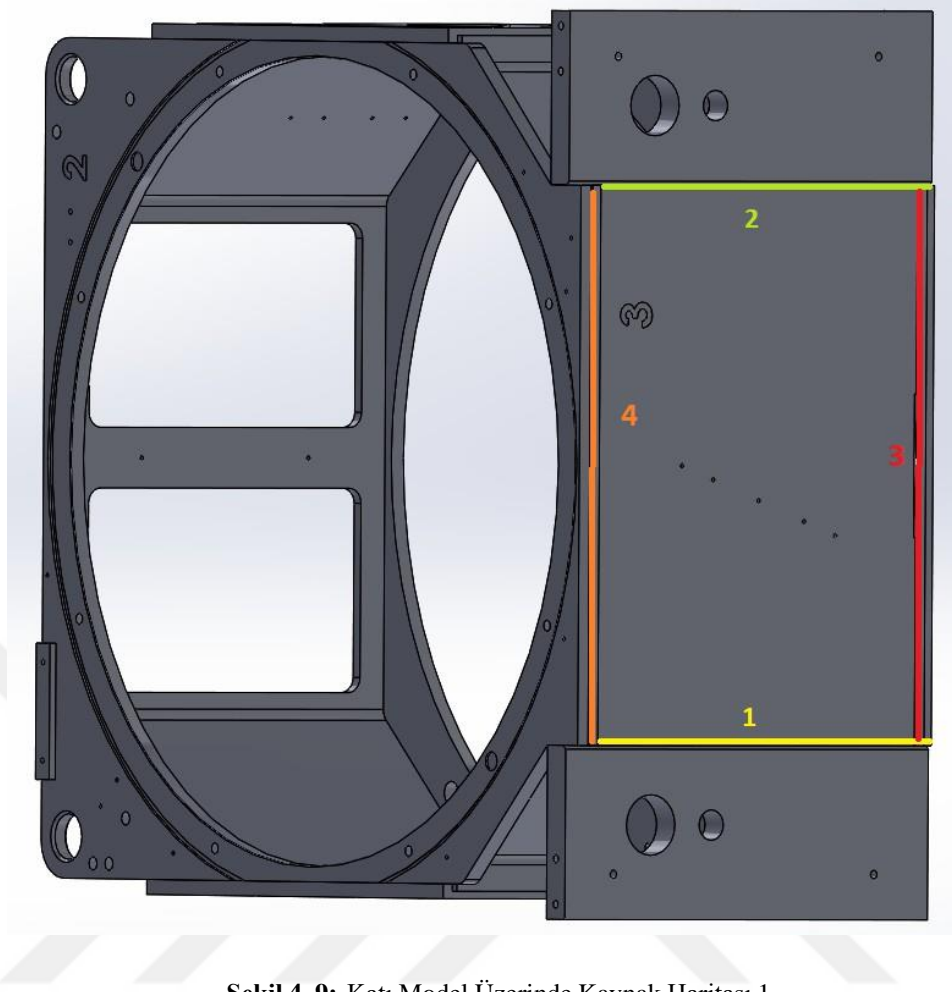
- Önce kısa, sonra uzun kaynak dikişleri yapılmalıdır.
- Önce boyuna dikişler, ardından çevresel dikişler kaynatılmalıdır.
- Yükleme biliniyorsa, önce çekme bölgesi, ardından basınç ve kesme bölgesi kaynatılmalıdır.
- Alın ve ardından köşe kaynakları kaynaklanmalıdır.
- Kaynak işlemi sırasında hizalamayı korumak için destekler kullanılacaktır. Kaynak tamamlandıktan sonra kaldırılacaktır. Kaynak destek elemanları, söküldükten sonra düzgün bir şekilde taşlanacak ve gerekirse görsel veya MPI ile test edilecektir.

Yapısal parça/bileşenin kaynağına yüksek derecede büzülme olan eleman (lar)dan daha az büzülme olan eleman (lar)a doğru başlanmalıdır. Bir eleman üzerindeki kaynak ilerlemesi, parçaların nispeten sabitlendiği noktalardan olacaktır.

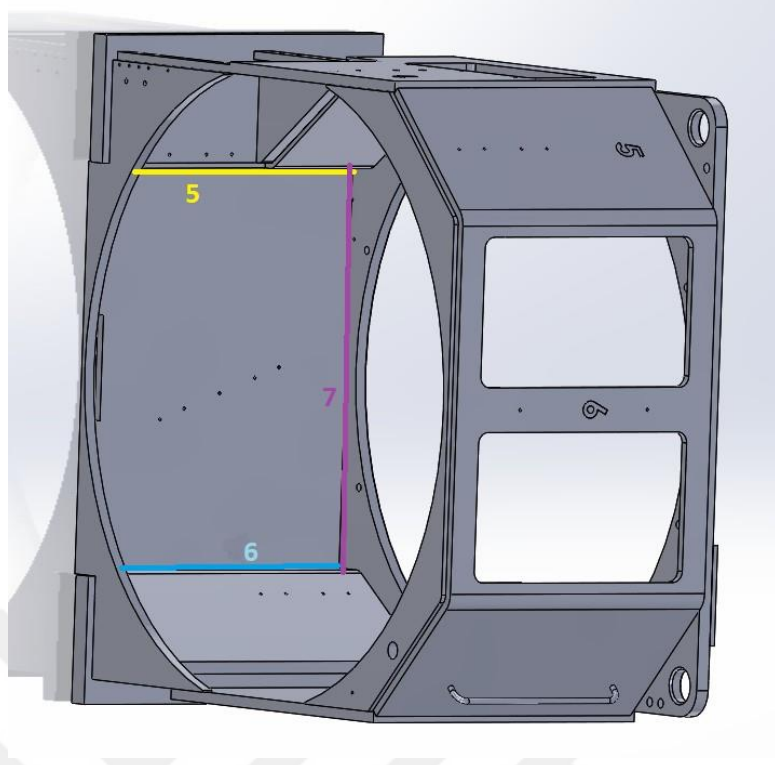
- Kaynak işi yapan tüm kaynakçılar, tanımlanan standartlara göre kalifiye olmalıdır. Kaynakçı yeterlilik pozisyonları, ortak konfigürasyona bağlıdır ve tanınmış standartlara uygun olmalıdır.
- Tüm kaynak parametreleri, amper, ön ısıtma, elektrotların tipi ve boyutu, ilgili onaylı kaynak prosedürüne uygun olmalıdır.
- Kötü hava koşullarına hazırlık olarak, kaynak işlemine başlamadan önce hava koşullarına karşı koruma ve rüzgâr siperi sağlanmalıdır.

Yukarıda verilen kıstaslar doğrultusunda Robot ile erişilebilen noktaların bir haritası çıkartılmıştır. Kaynak haritası oluşturulurken TS EN ISO 14731 standardına göre yetkilendirilmiş kaynak mühendisi tarafından ısıl gerilme ve çekmeleri önleyecek sıralama ile hazırlanmıştır. Kaynak haritası hazırlanırken döngü süresini optimize edebilmek adına robota program yazacak kişilerle birlikte çalışma yürütülmüştür.

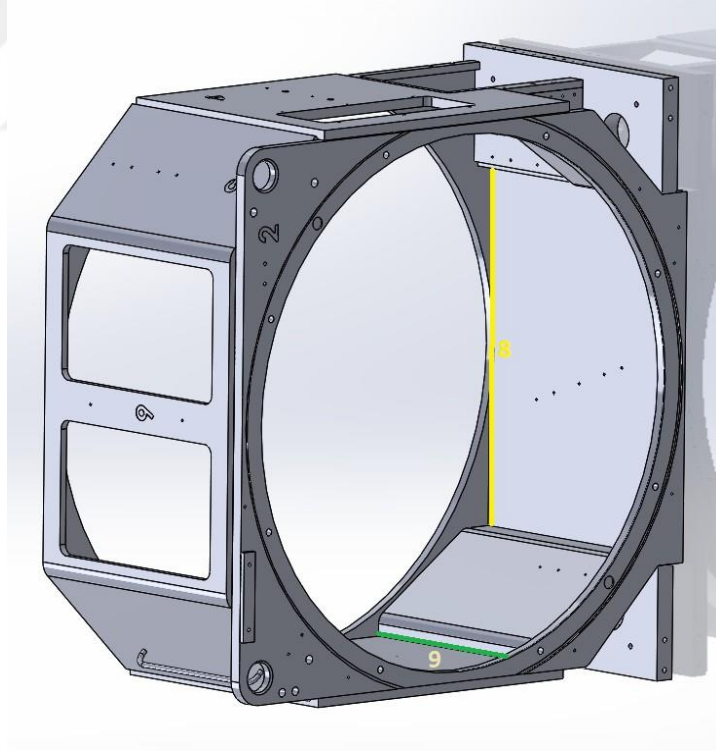
Haritanın katı model üzerinde sıralı gösterimi Şekil 4.9 ve Şekil 4.14 arasında verilmiştir.



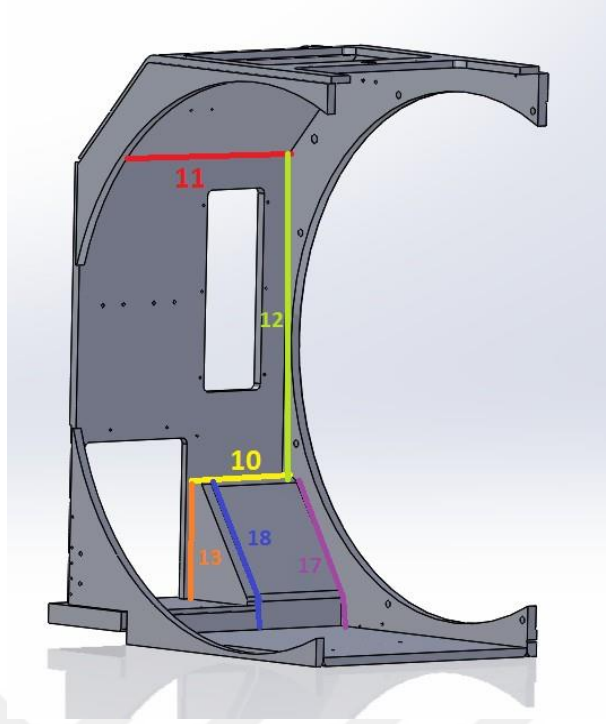
Şekil 4. 9: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 1



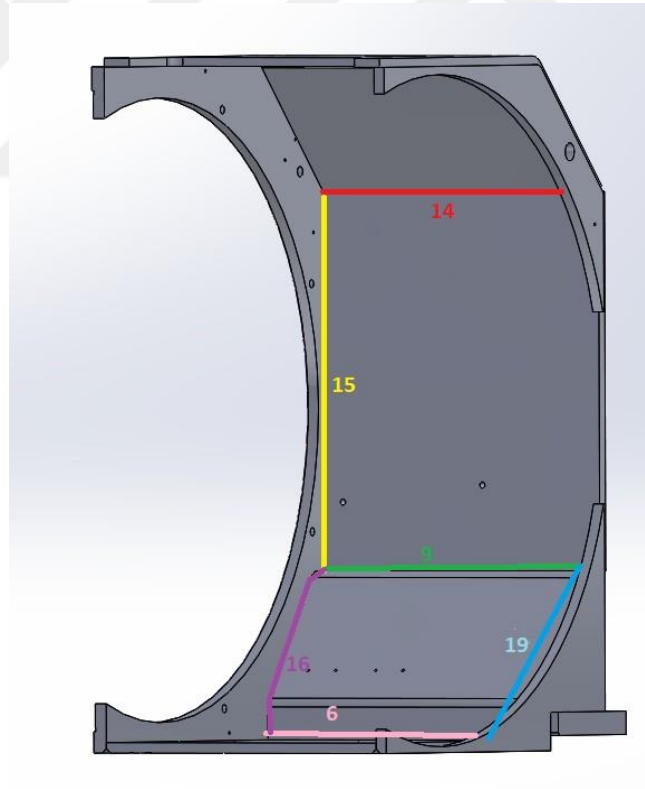
Şekil 4. 10: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 2



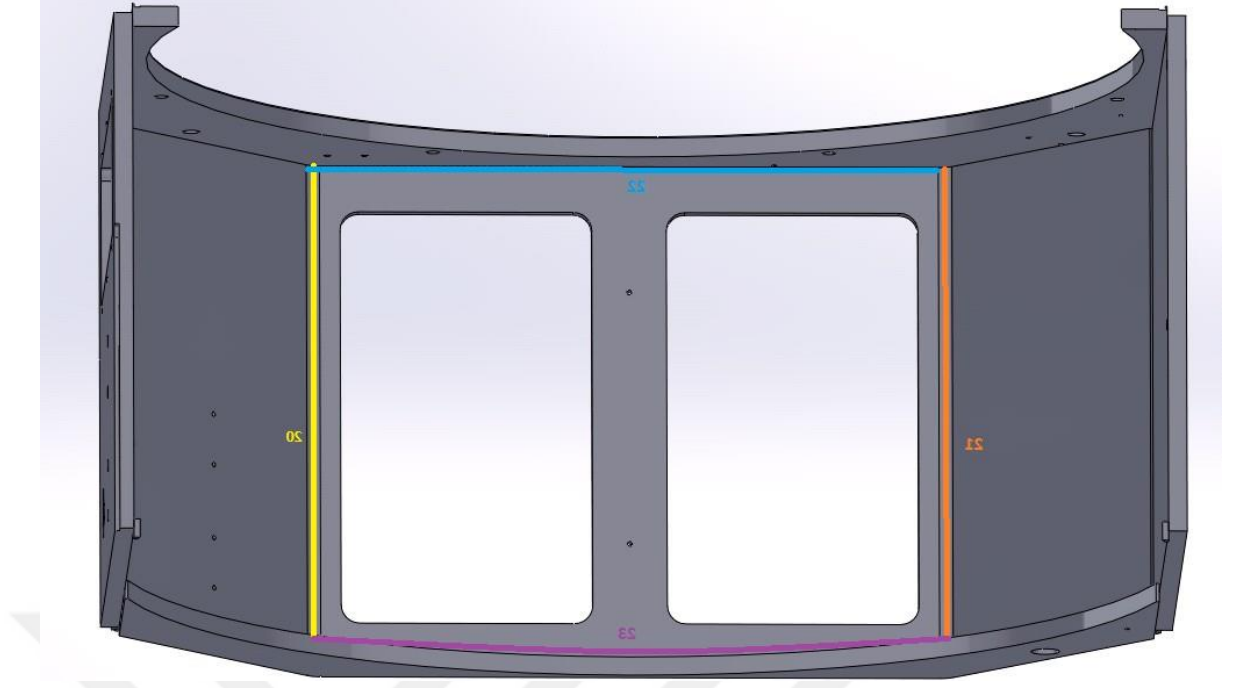
Şekil 4. 11: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 3



Şekil 4. 12: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 4




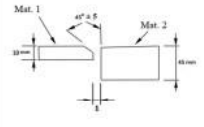

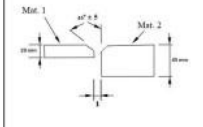
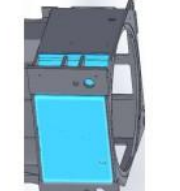
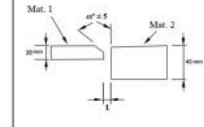
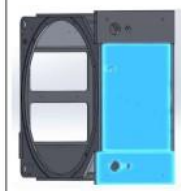
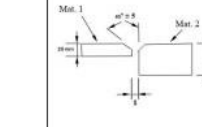
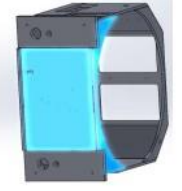
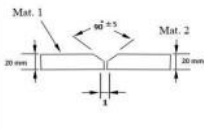
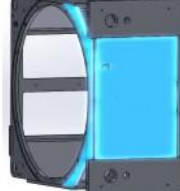
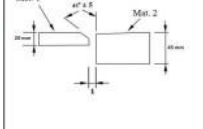

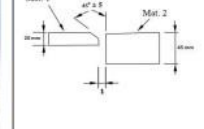
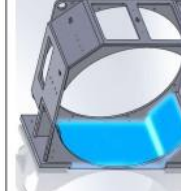
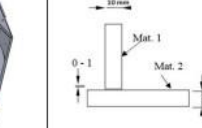
Şekil 4. 13: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 5



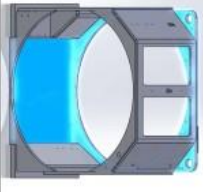
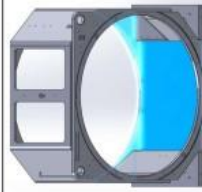
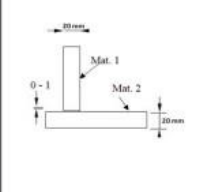
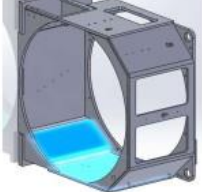
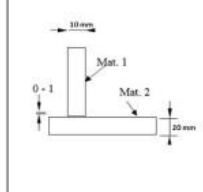

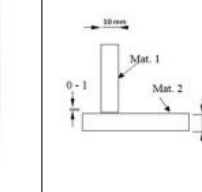

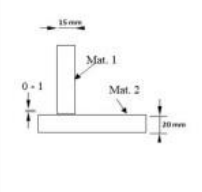

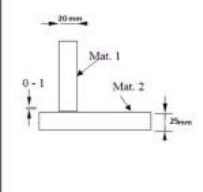

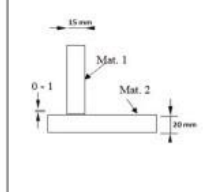
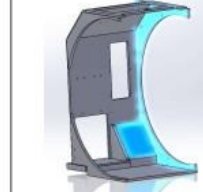
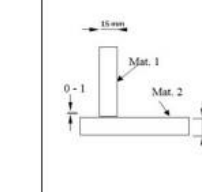
Şekil 4. 14: Katı Model Üzerinde Kaynak Haritası 6

Kaynak sıra planı üç boyutlu model üzerinde çizgilerle ifade edildikten sonra, her bir kaynak dikişinde hangi WPS' in kullanılması gerektiği, kaynak ağzı ve parametreleri detayı da, kaynak sıra planında detaylarıyla tanımlanmıştır.

Hazırlanmış olan kaynak haritasında kaynak sırası, kaynak ağzı tasarımı, kaynak pozisyonu, parça kalınlıkları, kullanılması gereken yükseklik ve a ölçüsü belirtilmelidir. İlgili parçaya ait parametre detayları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16' da verilmiştir.

Kaynak No		1.1	Kaynak No		1.2	Kaynak No		2.1	Kaynak No		2.2
Kaynatılacak Parçalar		Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Parça Kodu
Parça 1		29058431	Parça 1		29007366	Parça 1		29058431	Parça 1		29007366
Parça 2		290005947	Parça 2		29058450	Parça 2		290005947	Parça 2		29058450
Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı		
											
Kaynak Pozisyonu		PC	Kaynak Pozisyonu		PA	Kaynak Pozisyonu		PA	Kaynak Pozisyonu		PA
Parça 1 Kalınlık		10	Parça 1 Kalınlık		20	Parça 1 Kalınlık		40	Parça 1 Kalınlık		40
Parça 2 Kalınlık		45	Parça 2 Kalınlık		45	Parça 2 Kalınlık		60	Parça 2 Kalınlık		60
Kaynak Paso Sayısı		2	Kaynak Paso Sayısı		2	Kaynak Paso Sayısı		6	Kaynak Paso Sayısı		6
min. a (mm) (EN ISO 5817)		N/A	min. a (mm) (EN ISO 5817)		N/A	min. a (mm) (EN ISO 5817)		7.2	min. a (mm) (EN ISO 5817)		7.2
max. a (mm) (EN ISO 5817)		N/A	max. a (mm) (EN ISO 5817)		N/A	max. a (mm) (EN ISO 5817)		28	max. a (mm) (EN ISO 5817)		28
ideal a ölçüsü (mm)		N/A	ideal a ölçüsü (mm)		N/A	ideal a ölçüsü (mm)		N/A	ideal a ölçüsü (mm)		17.5 (Prepared joints)
WPS No:			WPS No:			WPS No:			WPS No:		
Kaynak No		3	Kaynak No		4	Kaynak No		5	Kaynak No		6
Kaynatılacak Parçalar		Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Parça Kodu
Parça 1		291058493	Parça 1		29007366	Parça 1		2905832-2905839	Parça 1		29058431
Parça 2		29058450	Parça 2		29058450	Parça 2		2958450	Parça 2		29058450
Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı		
											
Kaynak Pozisyonu		PC	Kaynak Pozisyonu		PA	Kaynak Pozisyonu		PA	Kaynak Pozisyonu		PA
Parça 1 Kalınlık		20	Parça 1 Kalınlık		10	Parça 1 Kalınlık		10	Parça 1 Kalınlık		10
Parça 2 Kalınlık		20	Parça 2 Kalınlık		20	Parça 2 Kalınlık		20	Parça 2 Kalınlık		20
Kaynak Paso Sayısı		2	Kaynak Paso Sayısı		1	Kaynak Paso Sayısı		6	Kaynak Paso Sayısı		1
min. a (mm) (EN ISO 5817)		N/A	min. a (mm) (EN ISO 5817)		4,0	min. a (mm) (EN ISO 5817)		4,0	min. a (mm) (EN ISO 5817)		4,0
max. a (mm) (EN ISO 5817)		N/A	max. a (mm) (EN ISO 5817)		7	max. a (mm) (EN ISO 5817)		7	max. a (mm) (EN ISO 5817)		7
ideal a ölçüsü (mm)		N/A	ideal a ölçüsü (mm)		5 mm	ideal a ölçüsü (mm)		5	ideal a ölçüsü (mm)		5 mm
WPS No:			WPS No:			WPS No:			WPS No:		
Kaynak No		7	Kaynak No		8	Kaynak No		9	Kaynak No		10
Kaynatılacak Parçalar		Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Parça Kodu
Parça 1		29007366	Parça 1		29058493	Parça 1		29058431	Parça 1		29058432
Parça 2		29058450	Parça 2		29058450	Parça 2		29058450	Parça 2		29058437
Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı			Kaynak Ağzı Tasarımı		

Şekil 4. 15: Kaynak Sıra Planı (1. Ve 6. Kaynak adımları arası)

							
Kaynak Pozisyonu	PA	Kaynak Pozisyonu	PA	Kaynak Pozisyonu	PA	Kaynak Pozisyonu	PA
Parça 1 Kalınlık	20	Parça 1 Kalınlık	20	Parça 1 Kalınlık	10	Parça 1 Kalınlık	10
Parça 2 Kalınlık	45	Parça 2 Kalınlık	20	Parça 2 Kalınlık	20	Parça 2 Kalınlık	20
Kaynak Paso Sayısı	2	Kaynak Paso Sayısı	1	Kaynak Paso Sayısı	1	Kaynak Paso Sayısı	1
min. a (mm) [EN ISO 5817]	6,2	min. a (mm) [EN ISO 5817]	4,0	min. a (mm) [EN ISO 5817]	4,0	min. a (mm) [EN ISO 5817]	4,0
max. a (mm) [EN ISO 5817]	14	max. a (mm) [EN ISO 5817]	14	max. a (mm) [EN ISO 5817]	7	max. a (mm) [EN ISO 5817]	7
ideal a ölçüsü (mm)	zısmide verilen ölçü standart dışı		ideal a ölçüsü (mm)	mm	mm	ideal a ölçüsü (mm)	5 mm
WPS No:	VESTAS-14	WPS No:	VESTAS-08	WPS No:	VESTAS-03	WPS No:	VESTAS-03
Kaynak No	11	Kaynak No	12	Kaynak No	13	Kaynak No	14
Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu
Parça 1	29058438	Parça 1	29058437	Parça 1	29058435	Parça 1	29058438
Parça 2	29058437	Parça 2	29007366	Parça 2	29058437	Parça 2	29005944
Kaynak Ağzı Tasarımı		Kaynak Ağzı Tasarımı		Kaynak Ağzı Tasarımı		Kaynak Ağzı Tasarımı	
							
Kaynak Pozisyonu	PA	Kaynak Pozisyonu	PA	Kaynak Pozisyonu	PA	Kaynak Pozisyonu	PA
Parça 1 Kalınlık	15	Parça 1 Kalınlık	20	Parça 1 Kalınlık	15	Parça 1 Kalınlık	20
Parça 2 Kalınlık	20	Parça 2 Kalınlık	25	Parça 2 Kalınlık	20	Parça 2 Kalınlık	15
Kaynak Paso Sayısı	1	Kaynak Paso Sayısı	6	Kaynak Paso Sayısı	6	Kaynak Paso Sayısı	6
min. a (mm) [EN ISO 5817]	4,0	min. a (mm) [EN ISO 5817]	4,5	min. a (mm) [EN ISO 5817]	4,0	min. a (mm) [EN ISO 5817]	3,4
max. a (mm) [EN ISO 5817]	---	max. a (mm) [EN ISO 5817]	---	max. a (mm) [EN ISO 5817]	11	max. a (mm) [EN ISO 5817]	14
ideal a ölçüsü (mm)	5	ideal a ölçüsü (mm)	5	ideal a ölçüsü (mm)	5	ideal a ölçüsü (mm)	5
WPS No:	VESTAS-05	WPS No:	VESTAS-15	WPS No:	VESTAS-05	WPS No:	VESTAS-05
Kaynak No	15	Kaynak No	16	Kaynak No	17	Kaynak No	18
Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu	Kaynatılacak Parçalar	Parça Kodu
Parça 1	29005944	Parça 1	29058431	Parça 1	29058432	Parça 1	29058435
Parça 2	29007366	Parça 2	29007366	Parça 2	29007366	Parça 2	29058432
Kaynak Ağzı Tasarımı		Kaynak Ağzı Tasarımı		Kaynak Ağzı Tasarımı		Kaynak Ağzı Tasarımı	

Şekil 4. 16: Kaynak Sıra Planı (11. İle 14. Adımlar arası)

4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Kaynak Prosesinin Simule Edilmesi

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) 80 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. İlk olarak 1941 senesinde British Columbia Üniversitesi'nde A. Hrennikof'un yazdığı ve kafes yapısını konu alan makalesi FEM'in doğuşu olarak kabul edilir [35].

Bu yöntemde analiz edilen parçanın çok ve belirli sayıda (sonlu) elemana bölünmesiyle çözüm yapar. Yöntemin adı da buradan gelmektedir. Analizi yapılan cisim n ($= 1, 2, 3$) boyuta sahipken, n boyutlu sonlu elemanlar sistemine ayrılır. Bunu şu şekilde düşünebiliriz [36];

- Bir boyut ile ifade edilen cisimler düğümlere,
- İki boyutla ifade edilen cisimler çizgilere
- Üç boyutla ifade edilen cisimler düzlemlere ayrılır.

Cisimin hangi eleman tipine ayrıldığı fark etmeksizin, tüm elemanlar cisimi düğümlerden oluşan bir yapı halinde tanımlar. Her bir düğüm noktasına "nod" adı verilir. Cisim düğümlerle yeniden yapılandırılır [37]. Bu şekilde karmaşık tek bir problemin çözümü, basit birçok düğüm noktasına ait karmaşık çözümlerle yakınsanabilir.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hem lineer hem de nonlinear sistemler için çözüm gerçekleştirilebilir. Bir problemin lineer mi yoksa nonlinear mi olacağı Hooke yasasına göre belirlenir. Hooke yasasına göre, lineer yapısal bir sistemin davranışları uygulanan kuvvete oranla doğrusal olarak değişiklik gösterirken, nonlinear sistemlerde değişim doğrusal olarak gerçekleşmemektedir. Yani lineer bir sistemde, sistemin etkisi ve tepkisi orantılı olarak değişirken, nonlinear sistemlerde ise etki ve tepki doğru orantılı olarak değişmemektedir [38].

Dünyada hiçbir sistem tam olarak lineer olmamasına rağmen, bazen nonlinear kayıplar ihmal edilecek kadar az olabilir. Ancak kaynak işlemi esnasında üç boyutlu soğuma, zamana bağlı olarak malzeme iç yapısında değişim ve parçada şekil değişikliği gibi nonlinear sistem etkilerinin ihmal edilemeyecek kadar fazla olduğu durumlar söz konusudur. Bu sebeple kaynaklı bölge analizi yapılırken mukakak nonlinear analiz yöntemiyle çalışılmalıdır.

Kaynak simülasyonu için genel Sonlu Elemanlar programları kullanılabilir., ANSYS, ABAQUS, MARC, vb. gibi çok amaçlı yazılımlarla da kaynaklı bölge analizleri yapılabilmektedir. Ancak bu programlarda ısı kaynağı, kaynak banyosundaki metalin ergiyerek elektrodla karışımı sonucu oluşan yeni meteryal, kaynak koruyucu gazının etkisi gibi hassas bir şekilde modellenmesi gereken pek çok değişken bulunmaktadır. Bu yöntemde tüm değişkenleri hesaba katabilmek için deneysel sonuçlara, kusursuz bir modellemeye ve bolca zamana ihtiyaç vardır [40].

Standart sonlu elemanlar programlarıyla kaynaklı bölge analizi yapmak sektörel anlamda elverişli değildir. Bu sebeple kaynak üstüne yoğunlaşmış, fazla programlama bilgisi gerektirmeksizin teorik simülasyonlar elde edebilen programlar geliştirilmiştir. Sysweld, Weld Planner ve Simufact Welding bu programlar arasında sayılabilir. Ancak tüm programların ortak dezavantajı uzun süre zaman alan analiz zamanına ihtiyaç duymalarıdır. Nonlineer analiz yapıldığı için özellikle fazla sayıda elemana bölünmesi gereken çok pasolu dikişlerin analiz süresi oldukça uzundur. Tek bir kaynak simülasyonunun hesaplama süresi, son yıllarda endüstride kaynak simülasyon yazılımının uygulanmasını önemli ölçüde kısıtlamıştır. Günümüzde kısa ve tek pasolu kaynak dikişlerinin simülasyonu birkaç gün içinde çözüme ulaştırılabilmektedir. Ancak ön tav, pasolar arası tav ve soğuma süresi gibi proseslerin çözüme eklenmesi analiz süresini ciddi ölçüde arttırmaktadır. Bu sebeple kaynak için oluşturulmuş hazır paket programları genellikle otomotiv, havacılık gibi sektörlerde ince malzemelerle, tek paso ve karmaşı geometriye sahip olmayan parçaların kaynak analizini yapmak için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, çok pasolu kaynak dikişi de içeren, 10 mm' den 60 mm kalınlığa kadar değişken kalınlıklarda parçalardan oluşan bir gövdenin kaynak analizi incelenmiştir.

Tüm nonlineer değişimleri doğru saptayabilmek için kaynak parametreleri, tel ve gaz seçimi, fikstür ve ara açmaz tasarımı, gap boşluğu gibi kriterler dikkate alınmalıdır. Bu sebeple kaynaklı imalat için özel olarak geliştirilmiş olan bir FEM programı kullanmak parametreleri doğru tanımlayabilmek açısından gereklidir. Bu çalışmada kaynaklı imalat analizi için geliştirilmiş Simufact Welding programı kullanılmıştır.

Kaynaklı bölge analizi yapılırken aşağıdaki parametreler doğru olarak saptanmalıdır ;

4.4.1. Geometri

- Kaynaklanan parçaların ve fikstür elemanlarının kaynaklanacak parçalara temas eder durumdaki montaj CAD geometrisi (STEP veya CAD formatları) Kaynak dikişleri CAD modelinde yer alırsa, simülasyon modeli hazırlama süreci yarı yarıya azalacaktır. CAD modelinde yer almayan kaynak dikişleri Simufact Welding içerisinde oluşturulacaktır.
- Kaynak ağız tasarımı belirlenmelidir.
- Kaynak bölgesi makrograf (kesit) görüntüsü (Mümkünse farklı kaynak parametrelerinin kullanıldığı tüm dikişlerden, değilse test numunesinden alınmış görüntü edinilmelidir.)
- Varsa punta kaynaklarının konumu belirlenmelidir.

4.4.2 Fikstür

- CAD modelinde hangi fikstür (sabitleme elemanı) elemanlarının hareketli, hangilerinin sabit olduğu belirlenmelidir.
- Fikstür kuvvetleri ve varsa deformasyon direnç katsayısı (Elastisite modülü / stiffness) tespit edilmelidir.
- Fikstür elemanlarının açılma sırası ve zamanları,
- Parçayı fikstürden çıkartma zamanı net olarak saptanmalıdır.

4.4.3 Malzeme

- Kaynaklanan parçaların ve tel malzemesi (DIN, AISI, vb.) kodu belirlenmelidir.

4.4.4 Kaynak proses parametreleri

- Kaynak tipi (TIG, MIG, SAW, EBW, vb.)
- Kaynak yöntemi (manuel veya robot ile)
- Kaynak hızı
- Akım & Voltaj (veya güç)
- Varsa salınım türü
- Tel çapı ve besleme hızı
- Ön ısıtma uygulanıyorsa kaynak başlangıcındaki parça sıcaklığı belirlenmelidir.

Yukarıda belirtilen temel değişkenlerin belirlenmesi analiz sonucunun tutarlı olabilmesi için büyük öneme sahiptir.

Yukarıda verilen parametrelerin yanı sıra analizin çözümünde , çarpılma, gerilme, sıcaklık dağılımı, faz dönüşümü, nüfuziyet vb. durumlardan hangisinin inceleneceği belirlenmelidir. Bu temel değişkenlerin yanı sıra program kullanılarak karmaşık geometriler için fikstür optimizasyonu da yapılabilmektedir. Örneğin karmaşık geometri bir parçada kullanılması planlanan tüm fikstürler yerleştirilerek analiz sonucunda daha az yüklemeye maruz kalan klempler çıkartılarak fikstür geometrisi optimize edilebilmektedir.

Analizi yapılacak olan parçanın imalat resimlerinde verilen tolerans değerleri, kaynak analizinin hassasiyetinin saptanması konusunda bilgi vermektedir. İstenilen çözüm hassasiyetine göre çözüm yöntemi belirlenmelidir. Çözüm yöntemleri şu şekilde sıralanabilir;

- Transient: Çözümün zamana bağlı değişkenlere göre hesaplandığı çözüm yöntemi
- Meta- Transient: Direnç punta kaynakları için kullanılan çözüm yöntemi
- Thermal Cycle: Isıya bağlı analizlerdir.
- Single Shot: En hızlı ve en çok sapma ile yapılan analizlerdir.

Isı kaynağı modellemesi ne kadar benzer yapılırsa sonuç da o kadar tutarlı olur. Isı kaynağının parametrelerinin hızlı ve hassas kalibre edilebilmesi için, ana prostesteki parçalara uygun geometrilerdeki parçalar üzerinden makro kesit alınarak buna göre kalibre edilmesi gerekmektedir.

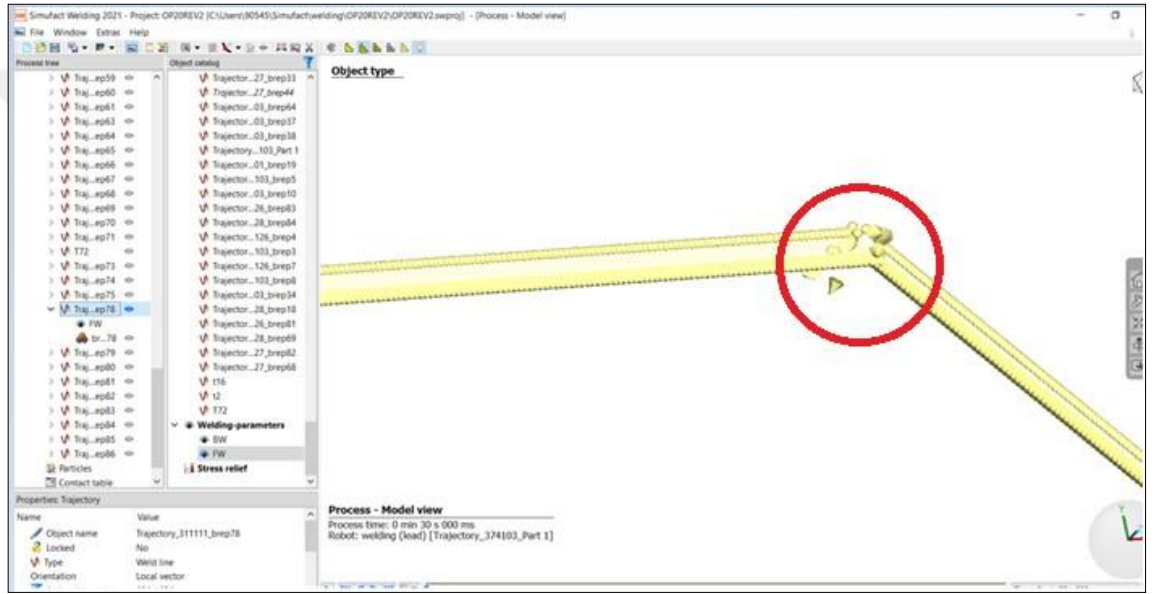
Parça üzerinde bulunan küçük delikler, radyuslar gibi eleman sayısını arttıracak ve analiz sonucu ciddi oranda etkilemeyecek olan geometrik şekiller yalınlaştırılmalıdır. CAD modeli mümkün olduğunca az ve stabil mesh ile bölünebilmelidir.

Simufact welding programı kullanılırken geometrinin analize en uygun haline getirilebilmesi için CAD programı olarak Apex kullanılmaktadır. Analize dahil edilmeyecek olan unsurlar çıkartıldıktan sonra model üzerinde açık yüzey olup olmadığı kontrol edilmelidir. Açık yüzeyler kadar analizi etkileyen diğer bir konuya iç içe geçmiş geometrilerdir. Tüm model kontrol edilerek iç içe geçmiş parçalar olmadığından emin olunmalıdır. 1 mm^3 'ün altındaki iç içe geçmiş hacimler göz ardı edilebilir.

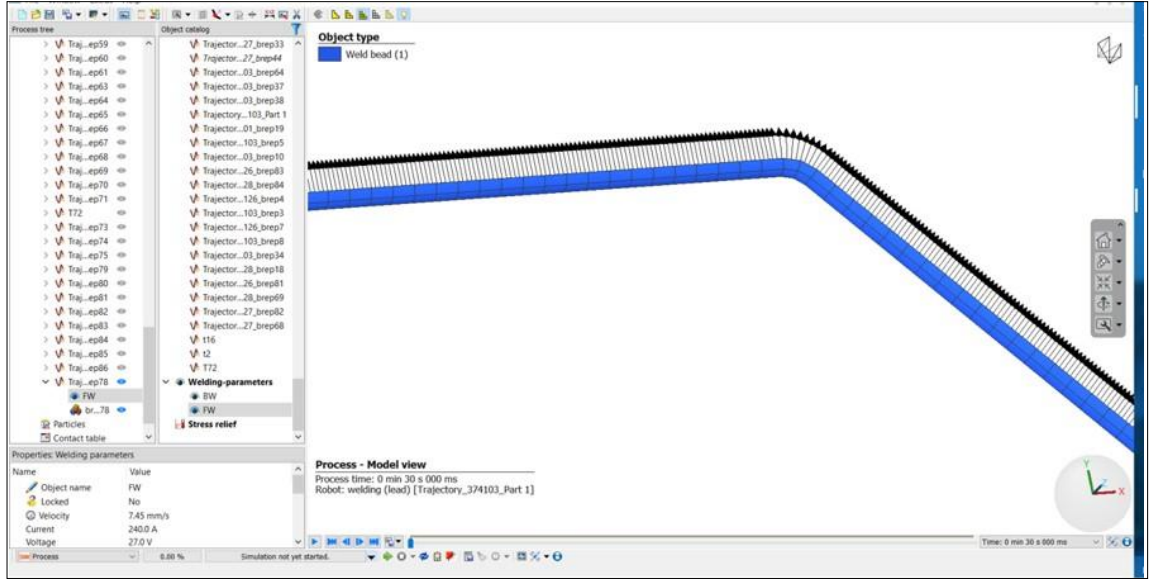
Özellikle saclarla çalışma yapılırken, resim üzerindeki kalınlıkların homojenliği kontrol edilmelidir. Parça yüzeyinde boşluk, sivri çıkıntı gibi hataların analiz modeli

üzerinde bulunmaması gerekmektedir. Modeli oluşturan klempe, ara açmaz, fikstür gibi elemanlar da CAD modelinde belirtilmiş olmalıdır. Mesh hassasiyetini sağlamak için Apex ve Simufact'ın kombine kullanılması daha işlevsel olacaktır.

Kaynak dikişleri CAD modeli üzerinde bulunabileceği gibi, Apex programında da modele eklenebilir. Simufact programında kaynak yollarının doğru uzunlukta, doğru bölgede, doğru yönde ve doğru sıralama ile oluşturulması analiz kalitesini doğrudan etkilemektedir. Torç açısının tanımlanması gerekmektedir. Kaynak yönünün doğru belirlenip belirlenmediği okların yönünden anlaşılır (Bkz.: Şekil 4.17 ve Şekil 4.18).

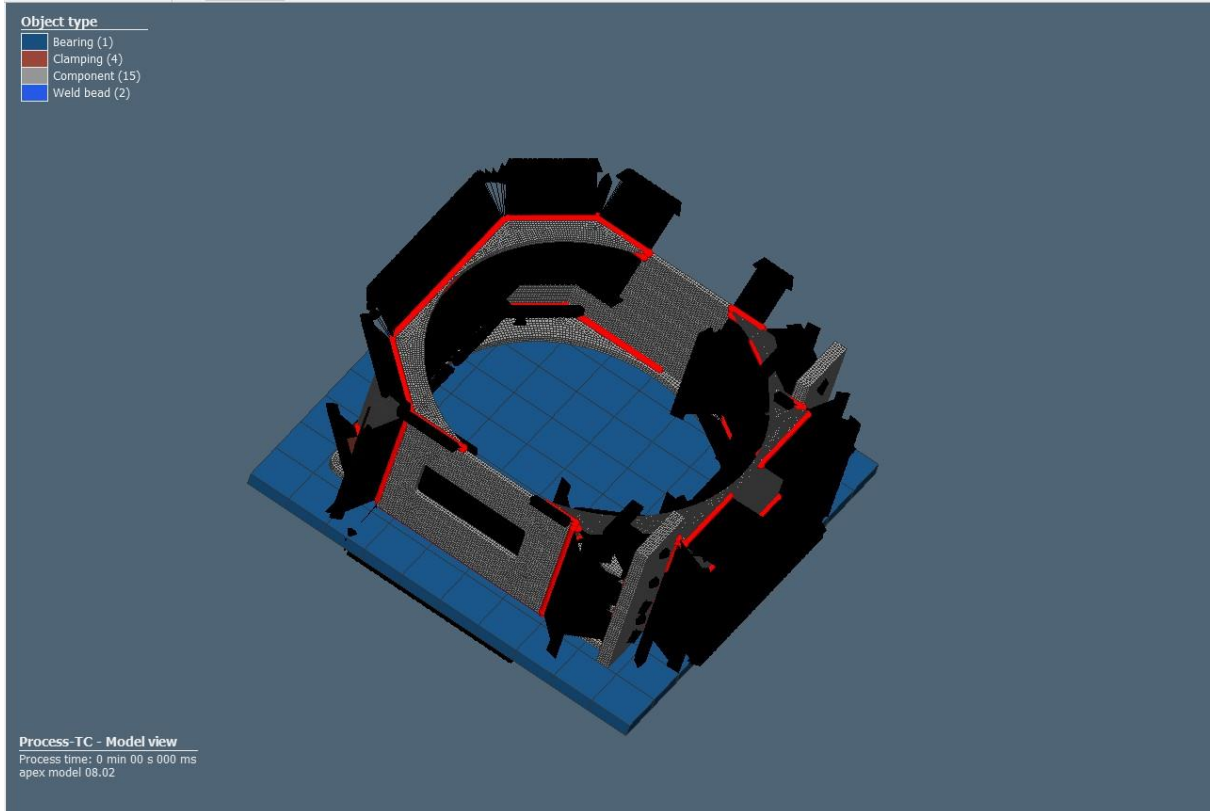


Şekil 4. 17: Kaynak Yolu Üzerinde, Kaynak Yönünün Hatalı Belirlenmesi



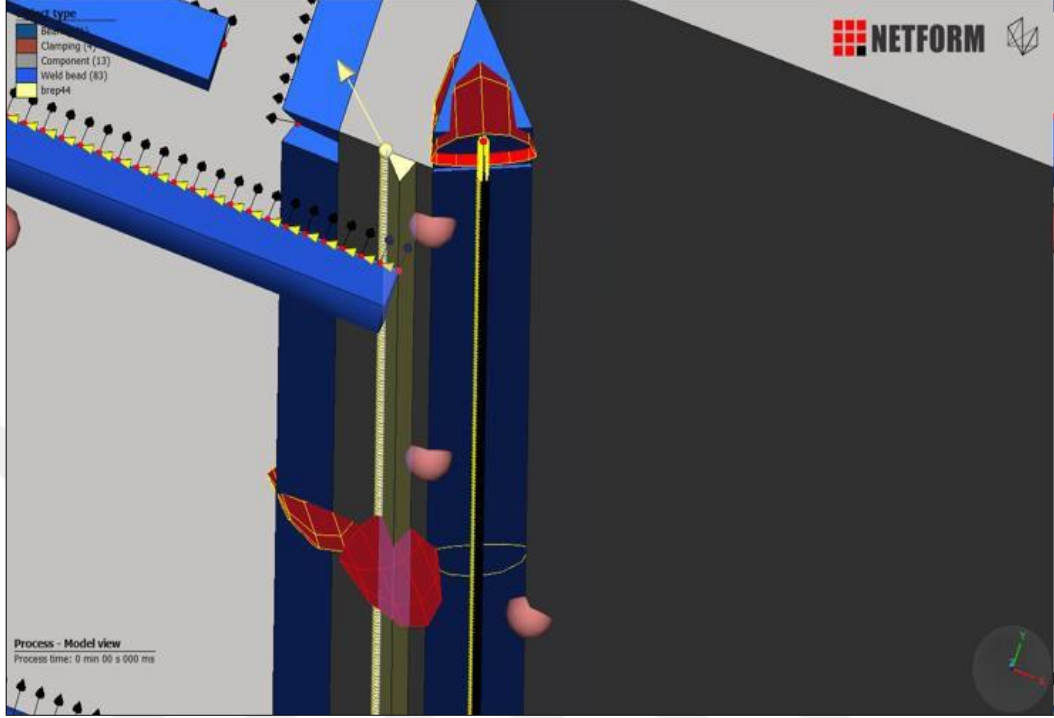
Şekil 4. 18: Doğru Yönlendirilmiş Kaynak Yolu

Model üzerindeki tüm kaynak yollarının doğruluğundan emin olunmalıdır. Tüm parça üzerinde kaynak yollarının işaretlenmiş hali Şekil 4.19' de verilmiştir.



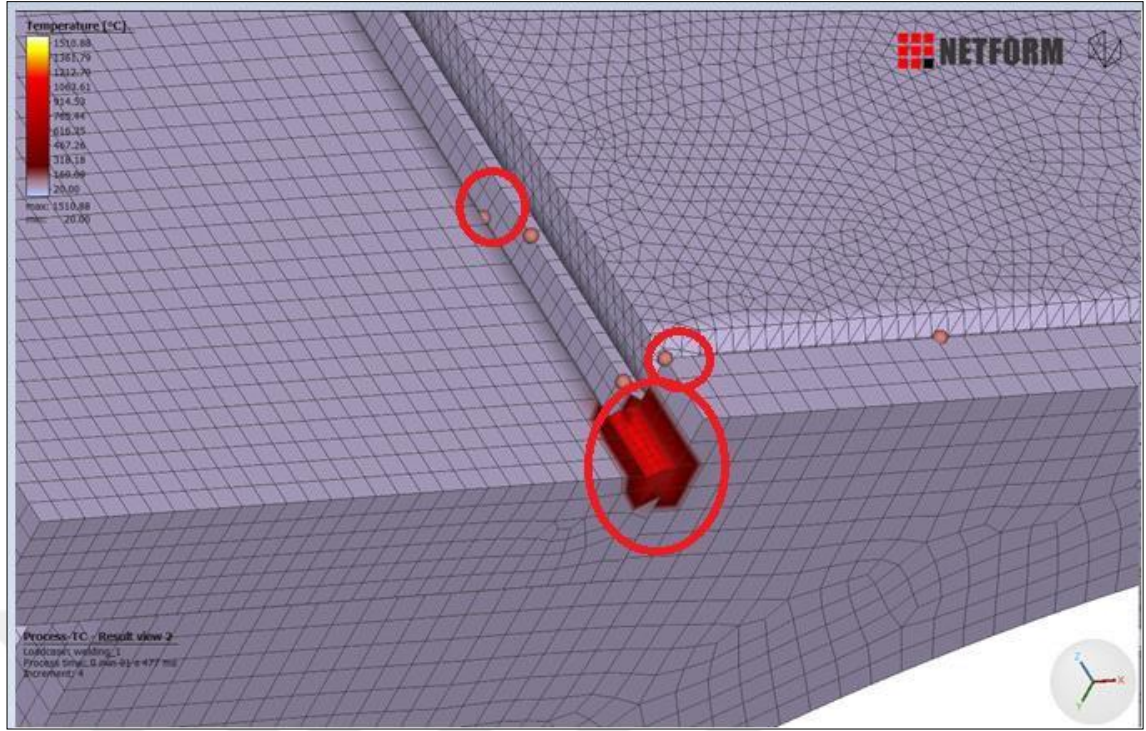
Şekil 4. 19: Model Üzerindeki Tüm Kaynak Yolları

Şekil 4.20'deki gibi hatalı kaynak yönlerinin oluşmasının sebebi genellikle penetrasyonun yanlış bölgede tanımlanmasıdır. İlgili kaynak dikişinin konumunun ve penetrasyonun Şekil 4.18'deki gibi parça içinde kalmış olması olasıdır.



Şekil 4. 20: Hatalı Konumlandırılan Kaynak Yolu

Kaynak yolları, CAD modeli üzerinde tanımlanabileceği gibi, Simufact Welding Programı içinde, düğüm seçimi yapılarak da tanımlanabilir. Bu durumda lokal bağlantı noktalarının yerlerinin doğru noktalarda tanımlandığından emin olunmalıdır. Lokal Joint'ler, kaynak dikişi olmadan, iki komşu parçanın birbirine temas ettiği kenarlarda tanımlanmalıdır. Bazı lokal Joint'ler sadece tek parçaya temas edecek şekilde tanımlanamaması durumunda kaynak dikişi tek parça üzerinde oluşur ve kaynaklı bağlantı tanımlanamaz. Bu durumlarda lokal (yerel) bağlantı noktalarının boyutları büyütülebilir ya da konumları değiştirilebilir. (Bkz.: Şekil 4.21)



Şekil 4. 21: Tek Parça Üzerinde Seçilmiş Lokal Joint

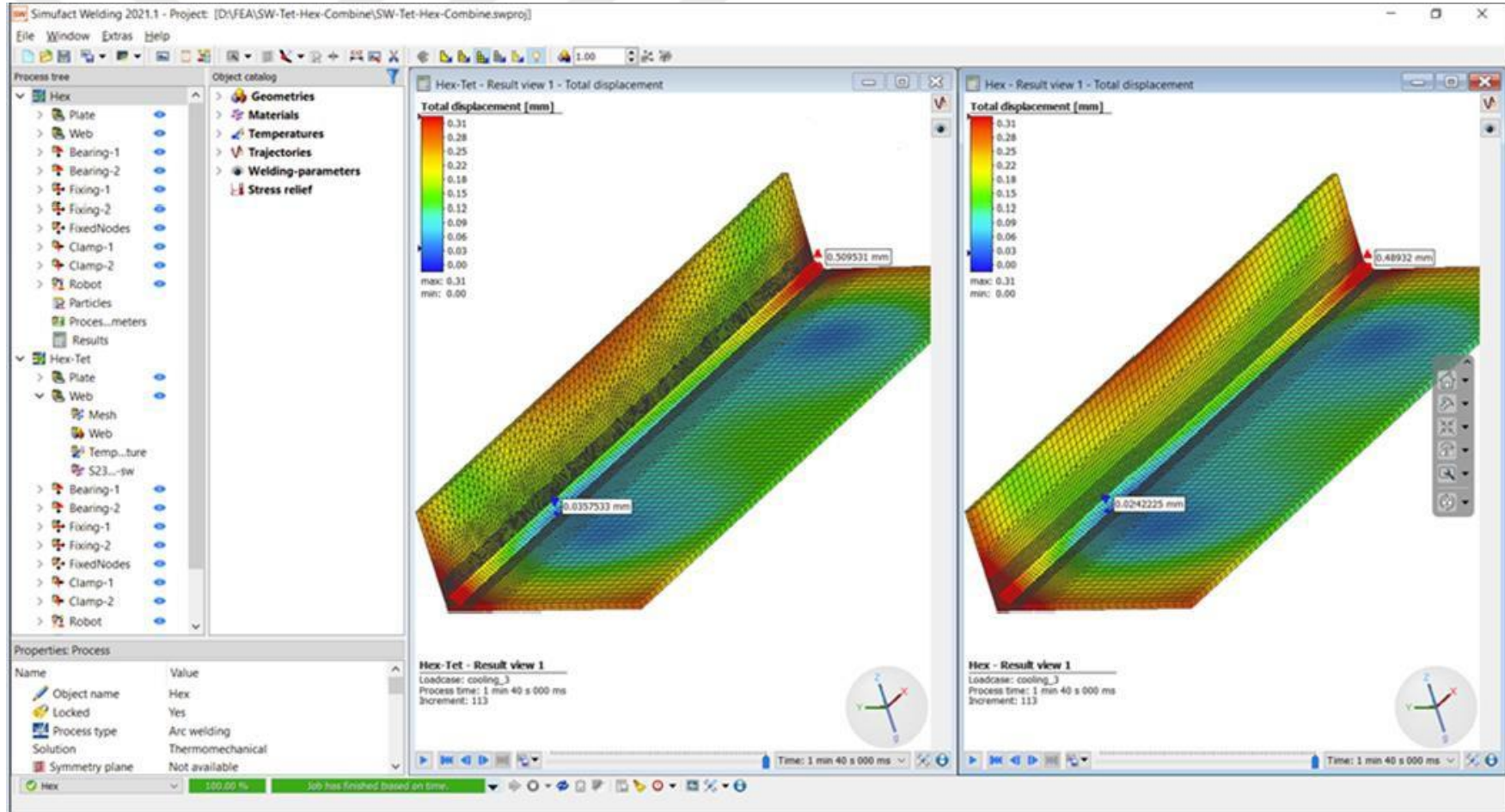
Simufact Welding programında kaynak dikişlerine iki farklı şekilde mesh (kafes-ağ yapısı) atılabilir. Kaynak dikişleri CAD modelinde yer almıyorsa, tanımlanan kaynak yolu üzerinde, Simufact Welding içerisinde kaynak dikişi oluşturulur. Bu işlem sırasında kaynak dikişi meshi otomatik olarak oluşturulur. Kaynak dikişinin her kenarında 3-5 adet arası eleman olması yeterlidir. “Quality” kısmındaki “medium” seçeneği çoğu uygulamada yeterli hassasiyette mesh oluşturmak için yeterlidir. “Extrusion” kısmındaki seçenekler ile mesh modifiye edilebilir. Kaynak dikişi ve parça arasındaki temas hatalarını minimize etmek için “Trajectory Length Reduction” seçeneği ile başlangıç ve bitiş kısımları çıkartılarak kaynak yolları kısaltılabilir. Kaynak dikişleri CAD modelinde yer alıyorsa, Apex kullanılarak ilk önce kaynak dikişinin kesit yüzeyinde 2D mesher, sonrasında kaynak boyunca 2.5D mesher ile mesh oluşturulabilir. Apex’den “Export BDF” script’i ile mesh’ler export edileceği zaman her kaynak dikişi için 2D yüzey mesh’ini silmek gerekmektedir. 2.5D ile mesh’lenemeyen kaynak dikişleri 3D mesher ile Tet eleman kullanılarak mesh’lenebilir.

3 boyutlu meshler sahip oldukları yüz sayılarına göre adlandırılmaktadır. Yüz sayısı arttıkça düğüm noktası sayısı ve buna bağlı olarak analiz hassasiyeti de artar. Temelde tetrahedrons (tet) (dört yüzlü) ve hexahedrons (hex.) (Altı yüzlü) meshler

kullanılmaktadır. Çoğu durumda mesh için hex. Eleman kullanmak daha hassas sonuç alınabilmesi için önerilmektedir. Ancak parça geometrisinin müsaade etmediği durumlarda tet. ve hex. Meshler kombine olarak kullanılabilir.

Aşağıda yapılan çalışmada aynı parçaya, aynı parametrelerle kaynak yapılmıştır. Şekil 4.22' e tet. Ve hex. mesh kombine kullanılırken ve sadece hex. elemandan oluşan meshler kullanılırken yapılan analiz karşılaştırılmıştır.





Şekil 4. 22: Hex. Mesh ve Kombine Mesh Analiz Karşılaştırması

Her iki bölge için de “Total Displacement” (Toplam Yer Değiştirme) değerleri aynı kalırken. Noktasal şekil değişiklikleri farklılık göstermiştir. Yapılacak olan çalışmada total displacement değeri ve şekil değişikliği dağılımı önemli olduğu için her iki mesh kombineli olarak kullanılabilir.

Parça çok ince ise solid shell mesh, parçanın kalınlığı yönünde tek sıralı olarak kullanılabilir. Kaynak dikişi üzerinde tanımlanacak olan meshler, parçanın geri kalanına göre daha küçük olmalıdır. Kaynak dikişlerine mesh atılırken eleman boyutu küçültülebileceği gibi, simufact welding içindeki “refinement” özelliği kullanılarak da analiz sırasında elemanlar otomatik olarak küçültülebilir.

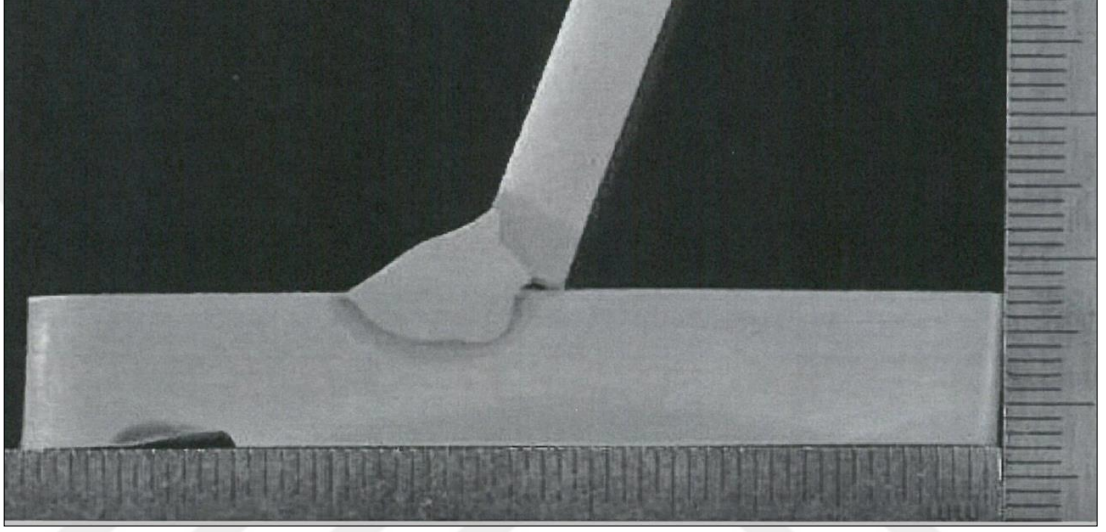
Parçanın kalınlığının kaynak dikişinin kenar uzunluğuna yakın olduğu durumlarda parçaya 1 veya 2 sıra eleman ile 1. Seviye refinement tanımlanmalıdır. Eğer parça kaynak kenar uzunluğunun iki katından fazla ise parça 2 veya 3 sıra eleman ile 1. veya 2. Seviye refinement tanımlanır.

Fikstür elemanları oluşturulurken özellikle parça üzerinde bulunan kavisli ve delikli parçaların içine geçme olup olmadığı kontrol edilmelidir. Fikstür kapama ve açma zamanları gerçeğe uyum olarak tanımlanmalıdır. Fikstür içinde malzemenin fazladan bekletilmesi distorsiyona sebep olmaktadır. Ara açmaz ya da baskı elemanlarının kuvveti, kuvvet yönü ve deformasyon sabiti gibi özellikler tanımlanır. Hızlı modelleme ile CAD modelinde yer alan tüm fikstür elemanları “Bearing” (etki) olarak tanımlanabilir fakat “Clamp” (kıskaç) olmadığında parça “Bearing”ler arasında kayma yapabilir. Bu da temas hesabını zorlaştıracağı için çözüm süresini uzatabilir. Bu sebeple “Bearing” tanımlaması yapıldığında sabit tutacak kuvvet de parça üzerinde tanımlanmalıdır. Bu çalışmada “Bearing”lerin kayma yapmasını engellemek amacıyla üzerine baskı kuvveti uygulanmıştır

Analiz esnasında kullanılacak malzemeler programın malzeme kütüphanesinden seçilebileceği gibi, kütüphanede bulunmayan malzemeler için akma eğrileri ötelenerek ve malzeme verileri aktararak ya da sıfırdan tüm malzeme parametreleri deneysel olarak girilerek oluşturulabilir. Malzeme verisinin doğruluğu analiz sonucunu doğrudan etkilemektedir.

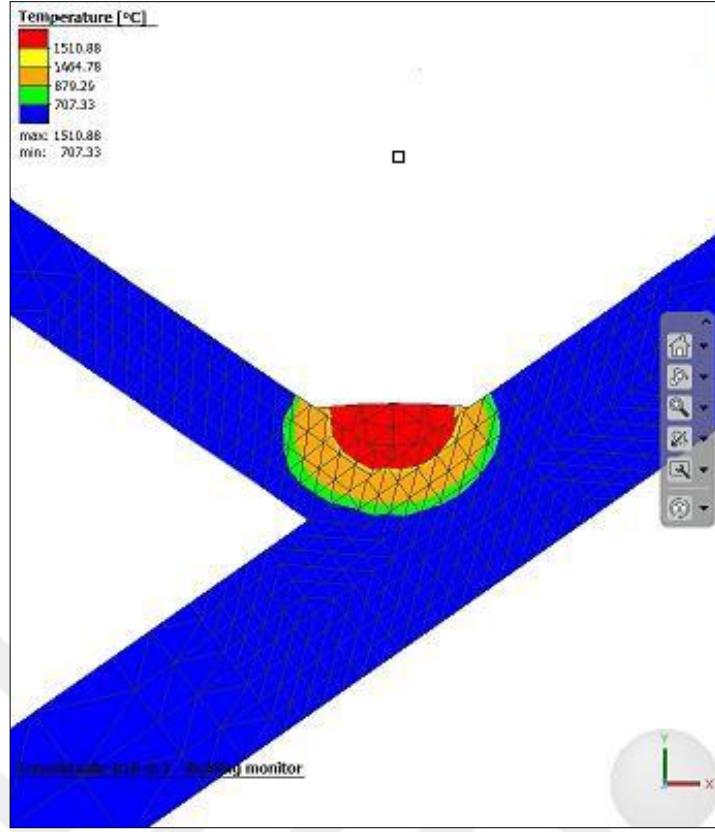
Kaynağın doğru modellenmesi için bir ısı kaynağının (heat source) tanımlanması gerekmektedir. Isı kaynağı tanımlanırken ilgili parametrelerle kaynatılmış test parçalarının makro grafik görüntüleri referans alınmalıdır. Kaynak hızı, voltaj, amper,

kaynak pozisyonu, koruyucu gaz gibi parametreler tanımlanır. Isı kaynağı tanımlandıktan sonra oluşan kaynak görünümü ile makrografik görüntü kıyaslanmalıdır. Şekil 4.23' de makrografik kesiti verilen parçanın Şekil 4.24' de simüle edilmiş kaynak dikiş kesiti verilmiştir. Eğer farklı kaynak dikişleri için farklı parametreler kullanılıyorsa, makrografi görüntülerine göre yeni ısı kaynakları tanımlanmalıdır.



Şekil 4. 23: Kaynağın Makrografik Görüntüsü

Isı kaynağı büyük olursa, parçanın kaynak dikişi dışında kalan yüzeylerinde de sıcaklık ergime sıcaklığına çıkmaktadır. Bu sebeple ısı kaynağı tanımlanırken sadece makro kesitte oluşan ergimiş bölgeyi kapsamalıdır. Isı girdisinin genişliği ve derinliğinin kaynak bölgesinden 1 mm fazla alınması yeterlidir.



Şekil 4. 24: Isı Kaynağı Modellenmesi

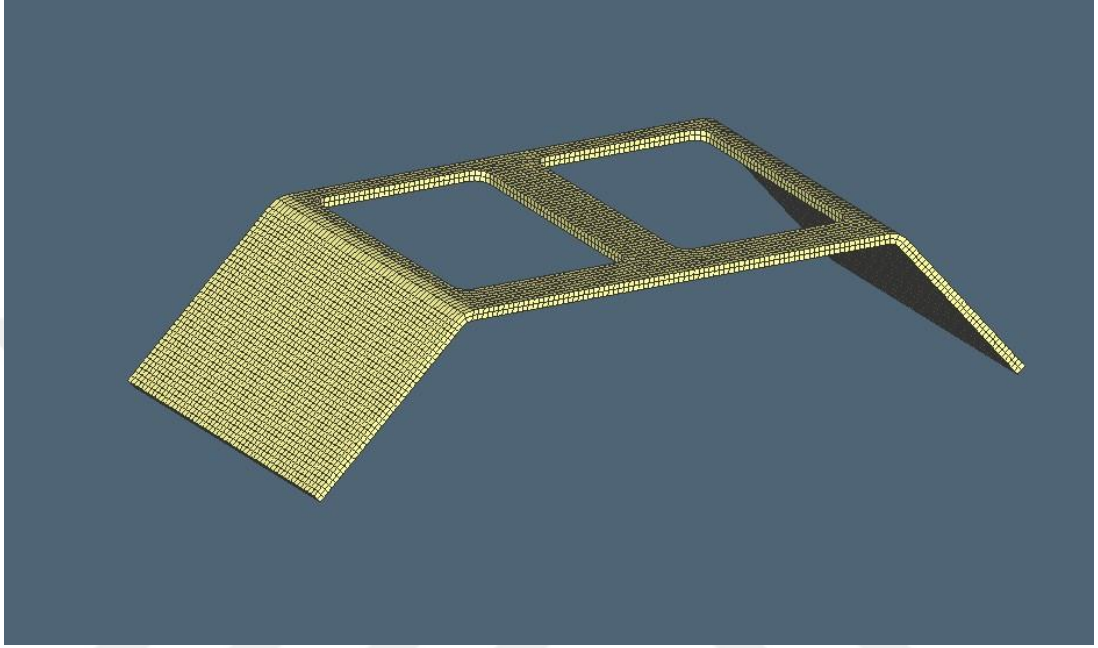
Manuel kaynakta sürekli aynı nüfuziyet verisini elde etmek zor olsa da robotik kaynaklarda makrografik görüntü üzerinden modelleme yapmak güvenilir bir metottur.

Kaynak simülasyonu yapılırken verimlilik katsayısı da tanımlanmalıdır. Verimlilik katsayısı, analiz edilecek parçaların ölçülerinde (ör: kalınlık, dikiş kalınlığı, vb..) kaynatılmış test parçalarındaki nüfuziyet bölgeleri, analizde hesaplanan nüfuziyet bölgesi ile örtüştürülerek kalibre edilir. Weaveing (salınım) varsa, toplam kaynak yolu reel proseste simülasyondakine göre daha fazla olacağı için verimlilik, birim uzunluktaki enerjiyi azaltmak için, düz kaynakta kullanılacak değerin yaklaşık yarısı alınır.

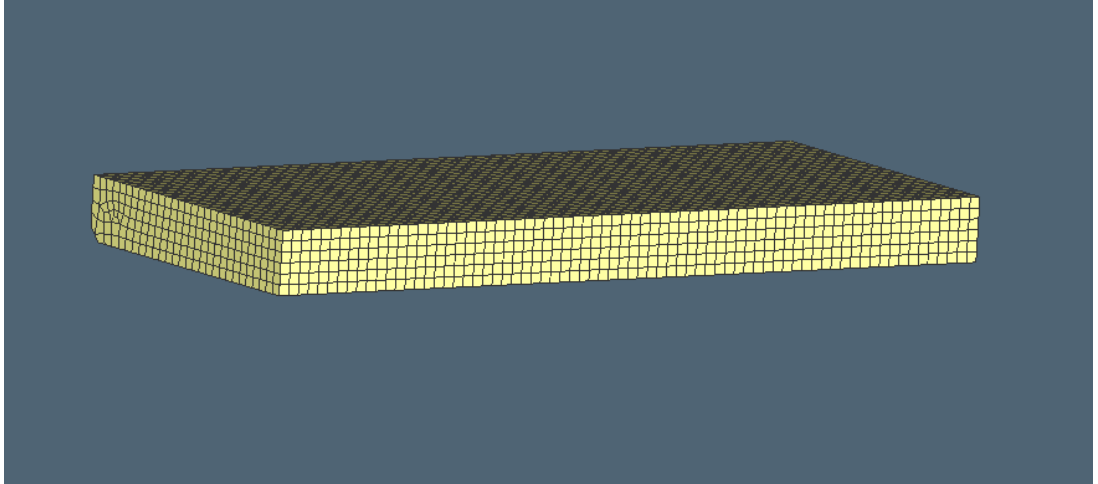
Tüm bu veriler ışığında karmaşık geometriye ve farklı kaynak tiplerine sahip bir rüzgâr türbini gövdesinin analizi yapılarak deneysel verilerle kıyaslanmıştır.

İlgili analizler yapılırken öncelikle doğru mesh değerine yakınsamak amacıyla mesh hassasiyetleri ve kombine mesh denemeleri yapılmıştır. Kullanılan 24 gerçek, 24 sanal çekirdekli bilgisayarda nonlinear (doğrusal olmayan) analiz esnasında çözülebilecek maksimum mesh sayısı dikkate alınarak parça 15 mm ve altındaki kalınlıklar için enine

yönde iki elemana (Şekil 4.25), daha üzerindeki kalınlıklar içinse elemana (Şekil 4.26) bölünmüştür. Ayrıca kombine mesh denemesi de yapılarak farklı eleman tipleri ve boyutlarının mesh kalitesini etkilemediği sonucuna varılmıştır. Gövdenin elemanlara bölünmesi aşamasında kullanılması gereken optimum eleman sayısı belirlenirken T birleştirmelerle 12 defa analiz yapılmış ve sonucun yakınsadığı nokta baz alınmıştır.



Şekil 4. 25: 15 Mm'den İnce Parçaların Kalınlık Yönünde İrki Elemana Bölünmesi

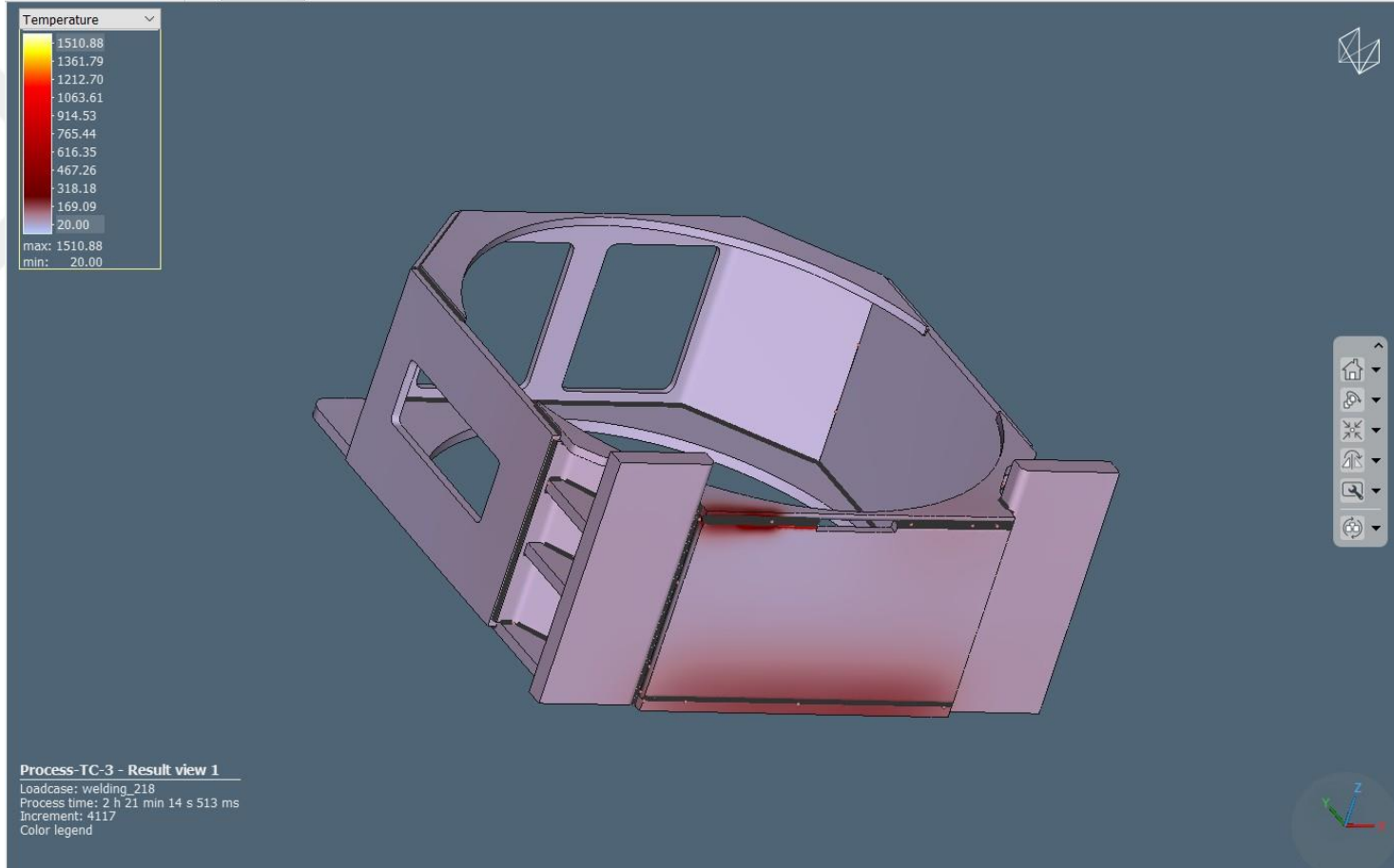


Şekil 4. 26: 15 mm'den Kalın Parçaların Kalınlık Yönünde üç veya Daha Fazla Elemana Bölünmesi

Yapılan analizde termal değişimler incelenmiştir. Çelik için ergime sıcaklığı [39] 1450-1520 °C arasındadır. Bu sebeple ısı kaynağı tarafından malzemede oluşturulan sıcaklığın 1500 °C civarında ve 1520 °C' yi geçmemesine dikkat edilmiştir. Analizin

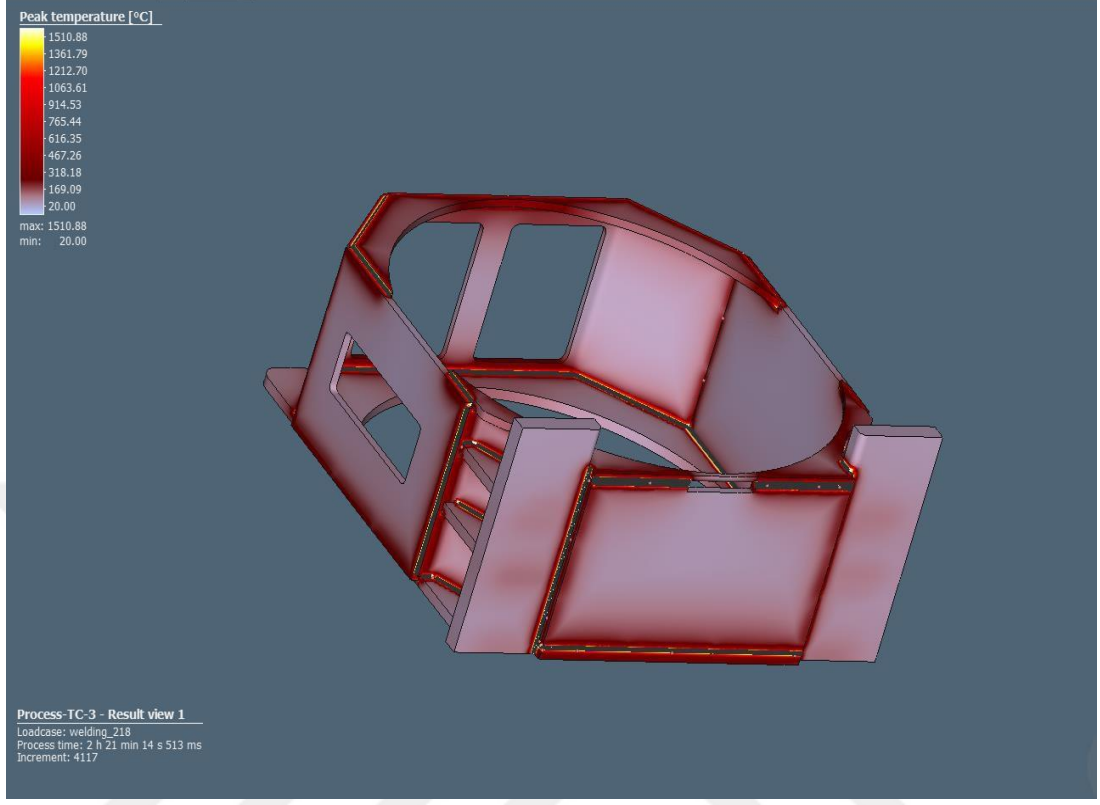
doğruluğunu kanıtlamak için sıcaklık önemli bir parametredir (Şekil 4.27). Eğer parça ergime sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa erişmiş olsaydı kaynak işleminin yapılması zor bir hale gelecekti. Hatta çok yüksek sıcaklıklarda parça delinebilir ya da gaz fazına hızlı bir geçiş gözlemlenebilirdi. Ergime sıcaklığının altında ise parça ergimeyecek için kaynak işlemi gerçekleşmeyebilir ya da nüfuziyetsizlik oluşabilirdi. Bu sebeple ısı kaynağının parçayı yeterli sıcaklığa kadar ısıtacağından emin olunmalıdır.





Şekil 4. 27: Kaynak Esnasında Parça Üzerindeki Sıcaklık Değişimi

Isı kaynağının verdiği sıcaklık “Peak Temperature” (en yüksek sıcaklık) alanından kontrol edilmelidir (Şekil 4.28).



Şekil 4. 28: En Yüksek Sıcaklığın Kontrol Edilmesi

Tüm bu işlemler yapıldıktan sonra şekil değişikliklerinin üretim toleransları içinde olup olmayacağını anlamak amacıyla “Total Displacement” (Toplam Yer Değiştirme) ve X, Y, Z yönlerindeki yer değiştirmeler kontrol edilmelidir.

İlgili parçada teorik olarak en yoğun kaynak dikişinin bulunduğu ve en fazla çekmenin beklendiği alan ayak altından yukarıya doğru (y yönünde)’ dir. Bu alanda talaşlı imalat ile işlenebilmesi mümkün 5 mm işleme payı mevcuttur.

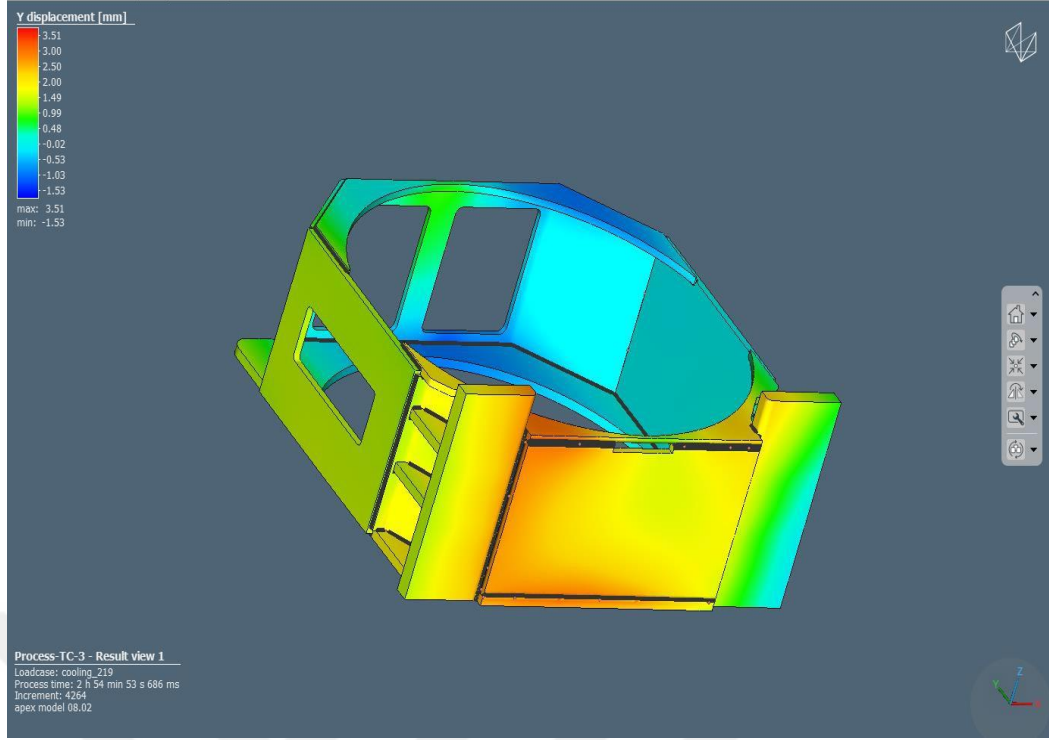
Çekme yönünü ve miktarını tespit edebilmek amacıyla CMM (Coordinate Measuring Machine- Koordinat Ölçüm Makinesi) kullanılmıştır. Bu makinede koordinat eksenlerinde hareket eden ve 360 derece dönebilen prop bilgisayar kontrolü ile otomatik olarak yönlendirilerek temas ettiği noktalardan otomatik olarak bir geometri oluşturur. Ardından bu geometri CAD verisi haline getirilir ve her bir eksen üzerindeki şekil değişikliği net olarak ölçümlenebilir.

Yapılan deneysel çalışmalarda y yönündeki şekil değişikliği değerleri Tablo 4.5’ deki gibi verilmiştir;

Tablo 4. 5: Deneysel Sonuçlara Göre Y Eksenindeki Şekil Değişikliği Değerleri

Parça No	Y eksenindeki Şekil Değişikliği (mm)
1	4,80
2	3,40
3	3,30
4	5,20
5	2,40
6	2,60
7	3,20
8	4,40
Ortalama	3,66

Yapılan deneysel çalıŐmalara göre Y eksenindeki Şekil değişikliği ortalama 3,66 mm çıkmaktadır. Deneysel sonuçlara göre ise Y eksenindeki maksimum Şekil değişikliği 3,51 mm' dir. (Şekil 4.29)



Şekil 4. 29: Y eksenindeki Şekil Değişikliği

Y eksenindeki kritik şekil değişikliği arasındaki fark ortalama değerin %4,098' ine eşit olmaktadır. Yani verilen sonuçlar ortalama %4 hata payıyla doğru kabul edilebilmektedir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada bir rüzgâr türbini gövdesine ait, parçanın üretimi esnasında kullanılacak olan robotik kaynak hattının entegrasyon süreci incelenmiştir. Bu çalışma bir robotik kaynak hattı entegrasyonu sırasında yapılması gereken Teorik ve Deneysel teknik analizleri içermektedir.

Çalışma kapsamında robot erişimi, doğru robot ve ekipmanların seçilmesi, erişilebilirlik kontrolü, risk analizi, risk analizi sonucunda riskli görülen noktalara karşı alınan önlemler, deneysel sonuçlarla teorik analiz sonuçlarının karşılaştırılması incelenmiştir.

Çalışma sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmiştir;

- Bir kaynak hattı entegrasyonu gerçekleştirilmeden önce risk analizi yapılmalıdır.
- Yapılan risk analizi sonucunda önlem alınması gereken alanlar tespit edilmeli ve bu doğrultuda çözümler sunulmalıdır.
- Bir kaynak hattı entegrasyonu sırasında kaynak haritası, kaynak sıra planı, kaynak parametreleri belirlenmeli ve robotun bu parametrelere uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir.
- Robot erişiminin uygun olup olmadığı bir CAD programı kullanılarak test edilmelidir.
- Yapılacak olan kaynakta meydana gelecek olan şekil değişimleri bir sonlu elemanlar analizi kullanılarak belirlenmelidir.
- Sonlu elemanlar programları kullanılırken, makro kesitlere ve kaynak parametrelerine uygun ısı kaynağı tanımlanması, kaynak sıra planına uygun bir analiz yapılması analizin doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Doğru yapılan analizler deneysel sonuçlarla neredeyse aynı (%4 sapma) sonuçlar vermektedir.
- Karmaşık geometriye sahip, çok pasolu parçaların analizinin yapılması çok uzun zaman ve gelişmiş bir teknoloji gerektirmektedir.

Varılan bu sonuçlar doğrultusunda ileride yapılacak olan çalışmalarda mesh boyutlarının değişiminin analiz sonucu üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmelidir. Ayrıca çok pasolu kaynak dikişlerinin analizleri uzun zaman aldığı için çok pasolu dikişlerin daha basit bir şekilde analizini gerçekleştirebilecek yöntemler araştırılmalıdır.

Yapılan çalışma farklı kaynak yöntemleriyle ve farklı malzemelerle çalışan sistemler üzerinde de denenmelidir.



KAYNAKÇA

- [1] Xue, K., Wang, Z., Shen, J., Hu, S., Zhen, Y., Liu, J., ... & Yang, H. (2021). Robotic seam tracking system based on vision sensing and human-machine interaction for multi-pass MAG welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 63, 48-59.
- [2] Tükel, D. B., & Talu, T. (2010). Robotlu kaynak üretim hattı tasarımı. Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları (ASYU).
- [3] Urdaneta, G., Colmenares, J. A., Queipo, N. V., Arapé, N., Arévalo, C., Ruz, M., ... & Romero, A. (2007). A reference software architecture for the development of industrial automation high-level applications in the petroleum industry. *Computers in industry*, 58(1), 35-45.
- [4] Press, D. (2003). Guidelines for failure mode and effects analysis (FMEA), for automotive, aerospace, and general manufacturing industries. CRC Press.
- [5] Aravinth, P., Subramanian, S. P., Vishnu, S. G., & Vignesh, P. (2012). Process failure mode and effect analysis on TIG welding process-a criticality study. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 3(2), 746.
- [6] Minh, P. S., & Phu, T. V. (2014). Study on the structure deformation in the process of gas metal arc welding (GMAW). *American Journal of Mechanical Engineering*, 2(4), 120-124.
- [7] Hu, M. (2018). Research on teaching of arc welding robot based on simufact welding simulation. In *2018 2nd International Conference on Management, Education and Social Science (ICMESS 2018)*. Atlantis Press.
- [8] Gasparetto, A., & Scalera, L. (2019). A brief history of industrial robotics in the 20th century. *Advances in Historical Studies*, 8(1), 24-35.
- [9] Manurung, Y. H., Lidam, R. N., Rahim, M. R., Zakaria, M. Y., Redza, M. R., Sulaiman, M. S., ... & Abas, S. K. (2013). Welding distortion analysis of multipass joint combination with different sequences using 3D FEM and experiment. *International journal of pressure vessels and piping*, 111, 89-98.
- [10] Mikulak, R. J., McDermott, R., & Beauregard, M. (2017). *The basics of FMEA*. CRC Press.
- [11] Xiros, N. (2013). Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping.
- [12] Kaluç, E. (2004). *Kaynak teknolojisi el kitabı: cilt-I ergitme esaslı kaynak yöntemleri*. TMMOB.
- [13] Uluslararası Kaynak Enstitüsü, ODTÜ Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/ Uygulama Merkezi (2016), *Uluslararası Kaynak Mühendisliği Kursu, Modül-1, Konu1.08-1, Syf:3*

- [14] **Tranchard, S.** (2018). Risk management: The new ISO 31000 keeps risk management simple. *Governance Directions*, 70(4), 180-182.
- [15] **Çınar, F., Solmaz, M. S., & Çakmak, E.** (2020). Evaluation of ship manoeuvres in port by using fuzzy fine kinney method. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(4), 537-548.
- [16] **Mikulak, R. J., McDermott, R., & Beauregard, M.** (2017). *The basics of FMEA*. CRC Press.
- [17] **Carlson, C. S.** (2012). Understanding the fundamental definitions and concepts of FMEAs. In *Effective FMEAs*.
- [18] **Kim, Y. Y., Kim, K., Jung, S., Kim, C., Kim, J., Roth, S. V., ... & Ree, M.** (2016). Synchrotron X-ray scattering and photon correlation spectroscopy studies on thin film morphology details and structural changes of an amorphous-crystalline brush diblock copolymer. *Polymer*, 105, 472-486.
- [19] **Damanab, P. S., Alizadeh, S. S., Rasoulzadeh, Y., Moshashaie, P., & Varmazyar, S.** (2015). Failure modes and effects analysis (FMEA) technique: a literature review. *Scientific Journal of Review*, 4(1), 1-6.
- [20] **Poyraz, Ö.** (2010). *İmalat süreçlerinin kalitesinin, verimliliğinin artırılmasına yönelik sürekli iyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE.
- [21] **Damanab, P. S., Alizadeh, S. S., Rasoulzadeh, Y., Moshashaie, P., & Varmazyar, S.** (2015). Failure modes and effects analysis (FMEA) technique: a literature review. *Scientific Journal of Review*, 4(1), 1-6.
- [22] **Taş, Y., Koç, K.,** (2010). The application of the failure mode effects analysis to furniture industries". *İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi* 2, 150-178
- [23] **Şimşir, F., Demir, H. İ., & Azdemir, S.** (2018). Demir çelik sektöründe hibrid DEMATEL ve TOPSİS-ELECTRE yöntemleri ile hata türleri ve etkileri analizi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 22-34.
- [24] **Liu, H. C., Liu, L., Liu N., Mao, L. X.** (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment, *Expert Systems with Applications*, Volume 39, Pages 12926-12934.
- [25] **Tay, K. M., & Lim, C. P.** (2006). Fuzzy FMEA with a guide rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol: 23, 2006, No:8 (1047-1066)
- [26] **Down M., Brozowski L., Younis H., Benedict D., Feghali J., Schubert M., Brender R., Gruska G., Vallance G., Krasich M., Haughey W.** (2008). Potential failure mode and effect analysis (FMEA). *4th ed., Chrysler LLC Ford Motor Company General Motors Corporation*, Germany.
- [27] **Çeber, Y.** (2010). *Hata türü ve etkileri analizi yönteminin (FMEA) üretim sektöründe uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniv., Sosyal Bilim. Enst., İzmir, 2010.

- [28] **Herbuś, K., Ociepka, P.** (2015). Analysis of the hexapod work space using integration of a CAD/CAE system and the LabVIEW software IOP conf. Series. *Materials Science and Engineering*, 95 012096
- [29] **Gwiazda, A., Herbuś, K., Kost, G., Ociepka, P.**, (2015), Motion analysis of mechatronic equipment considering the example of the Stewart platform, In *Solid State Phenomena* (Vol. 220, pp. 479-484). Trans Tech Publications Ltd.
- [30] **Dymarek, A., Dzitkowski, T., Herbuś, K., Kost, G., and Ociepka, P.** (2014). Geometric analysis of motions exercised by the Stewart platform. In *Advanced Materials Research* (Vol. 837, pp. 351-356). Trans Tech Publications Ltd.
- [31] **Koh, J.** (2013). *Siemens NX 8 Design Fundamentals*. Onsia.
- [32] **Türkkan, G.** (2008). *Koruyucu gaz kaynağında (MIG/MAG) gaz debisinin kaynak nüfuziyeti ve kaynak hızına etkisi* (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [33] **Xiros, N.**(2013). Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping.
- [34] **Chen, Z., Chen, Z., & Sheno, R. A.** (2015). Influence of welding sequence on welding deformation and residual stress of a stiffened plate structure. *Ocean Engineering*, 106, 271-280.
- [35] **Liu, W. K., Li, S., & Park, H. S.** (2022). Eighty years of the finite element method: Birth, evolution, and future. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-23.
- [36] **Günay, D.** (1993). Mühendisler için sonlu elemanlar metodunun temelleri.
- [37] **Demir, Ö.** (2008). Bir gemi yapısının sonlu elemanlar yöntemi ile analizi.
- [38] **Perret, W., Thater, R., Alber, U., Schwenk, C., & Rethmeier, M.** (2011). Approach to assess a fast welding simulation in an industrial environment Application for an automotive welded part. *International Journal of Automotive Technology*, 12(6), 895-901.
- [39] **Aslandoğan, R.** (2009). *Dökümde akıcılık ve akıcılığı etkileyen faktörlerin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi FBE.
- [40] **Url-1** <http://eng.harran.edu.tr/~rtasaltin/dersler/elektrik/kontrol/ders_notu1/temeller/131_modelleme22.pdf>, alındığı tarih: 10.04.2022

EKLER

EK A.1: Tablo

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması

Proes FMEA															
FMEA TALİMATLARI															
1) Proses, ürün ya da servisi tanımlayın ve adlandırın. Sorumlu ekip ve kişileri belirleyin.															
2) A sütunundaki öge işlevlerini listeleyin.															
3) B sütununda olası arıza modlarını tanımlayın.															
4) C sütununda hata modlarının potansiyel etkilerini açıklayın.															
5) D sütunundaki önem derecesini belirlemek için sağlanan tabloyu (Derecelendirme Faktörleri Sekmesinde) kullanın.															
6) E sütununda olası hata nedenlerini tanımlayın. Bunları düzeltilebilecek veya kontrol edilebilecek bir aksiyon tanımlayın.															
7) F sütununda tanımlanan arıza nedeninin oluşma olasılığını derecelendirin. Derecelendirme Faktörleri Sekmesinde sağlanan tabloyu kullanın.															
8) Hata modunu önlemek için mevcut süreç kontrollerini G sütununda tanımlayın.															
9) Bu arıza nedeninin tespit edilme olasılığını belirlemek için sağlanan tabloyu (Derecelendirme Faktörleri Sekmesinde) kullanın.															
10) Risk Öncelik Numarası otomatik olarak hesaplanacaktır.															
11) J, K ve L sütunlarındaki diğer eylemleri belirlemek için RPN'yi kullanın. Eylem gerçekleştirildikten sonra RPN'yi yeniden hesaplayın.															
İş Adımı Adı:				FMEA Takımı: İSG Müdürü / Kalite Müdürü / İmalat Müdürü / Kaynak Şefi / Robotik ve Otomasyon Müdürü / Dizayn Şefi				Hazırlayan: Nilay Mermer				FMEATarihi: 01.07.2022		Revision #: 00	
İşlem Adımı veya Değişken veya Anahtar Veri	Potansiyel Hata Modu	Hatanın Potansiyel Etkisi	Şiddet	Potansiyel Nedenler	Olası Etki	Mevcut Proses Kontrolleri	Saptama	RÖS	Önerilen Aksiyonlar	Sorumlu ve Hedef Tarih	Alınan Aksiyon	Şiddet	Olası Etki	Saptama	RÖS
İşlem adımı nedir?	İşlem Adımı, Değişken veya Anahtar Giriş hangi şekillerde yanlış gidebilir? (gereksinimleri karşılamama olasılığı)	Temel Çıktı Değişkenleri (müşteri gereksinimleri) veya dahili gereksinimler üzerindeki etkisi nedir?	Müşteri üzerindeki etkisi ne kadar şiddetli?	Anahtar Girişinin yanlış gitmesine neden olan nedir? (Hata modu nasıl oluşabilir?)	Nedenin ortaya çıkma olasılığı ne kadar siktir??	Hata modunun oluşmasını engelleyen veya gerçekleşmesi durumunda algılayan mevcut kontroller nelerdir?	Nedenin Tespiti ne kadar olasıdır?	Spesifikasyonları karşılamak için Risk Önceliği	Nedenin Oluşumunu azaltmak veya Tespiti iyileştirmek için eylemler nelerdir? Yüksek RPN'lerde (9 veya 10 Şiddetinde) aksiyon alınmalıdır.	Önerilen eylemlerden kim sorumludur? Hangi tarih?	Uygulanan eylemler nelerdir? Bitirme ayını/yılına dahil edin. (Ardından elde edilen RPN'yi yeniden hesaplayın.)	Gelecekteki Önem Derecesi	Gelecekteki Oluşum	Gelecekteki Algılama	
Gelen Malzeme	Parça toleranslarının birikmesi (toplam tolerans değerinin aşılması)	Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	2	Toplam üretim toleransından daha yüksek toleransa sahip parçaların kabul etmek.	2	Malzemelerin giriş kabulü yapılırken, toplam tolerans değerini geçmeyecek ürünler seçilmelidir. Her bir son ürün için ürün ağacındaki tüm parçalar beraber seçilmelidir.	5	20							
Gelen Malzeme	Tasarıma uygun olmayan kaynak kök açıklığı	Kaynak hataları ile karşılaşma, aşın isir girdisi ve distorsiyon riski artar. Kalitesiz ürün, müşteri memnuniyetsizliği	3	Uygun olmayan kaynak ağız boyutları	7	Kaynak işlemi öncesi, kaynak işlemi sırasında ve sonrasında kaynak kontrolleri standartlara uygun olarak yapılmalıdır.	10	210	Kaynak ağız kalibreli bir kaynak ağız açma makinesi tarafından açılmalıdır.	On Üretim Fabrika Müdürü	Kaynak ağız açmak için tam mekanize bir kaynak makinesi satın alınmıştır. Kaynak ağız ölçümü seri imalat başında ve her lot sonunda yapılmaktadır.	3	3	4	36
Gelen Malzeme	Yanlış boyut	Üretim öncesi parçaların boyutlarındaki tolerans aşımı toplam ölçüyü değiştirir. Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	5	tolerans dışı malzeme kullanmak	5	Sadece eğitimli kalite kontrol personelleri tarafından boyutsal kontroller sağlanacaktır. Yeni bir tedarikçi ile çalışılmaya başlandığında, lot kontrollerine geçilmeden önce en az ilk 50 ürün %100 ölçülmelidir.	2	50							

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Yüzey Hazırlığı	Yanlış ölçüm	Yeniden çalışma/Onarma /Yanlış boyutsal değerler Müsteri Memnuniyetsizliği	5	kalibre edilmemiş bir ölçüm aletinin kullanılması	4	Tüm ölçüm cihazları kalibrasyonlu olacaktır.	3	60							
Yüzey Hazırlığı	Kaynak alanında kirli yüzey	Gözenek hatası	5	Kaynak bölgesine bir öncelikli kaynaktan gelen sıçrıntılar	7	Her kaynak dikişine başlamadan önce operatör göz ile muayene yapar.	4	140	Kaynak öncesi kontroller kaynak kontrol planında tanımlanır. Kaynak işlemi başlamadan önce kaynak formeni tarafından tüm kontroller tamamlanır.	Kalite Kontrol Departmanı	Kaynak öncesinde kullanılabilmesi için, kaynak kontrol formu oluşturulmuş ve kaynak formleri tarafından kullanılmaya başlanmıştır.	5	4	3	60
Yüzey Hazırlığı	Kaynak alanında kirli yüzey	Gözenek hatası		Boyalı, kirli, paslı yüzey	4	Kaynak öncesi kontroller kaynak kontrol planında tanımlanır. Kaynaktan önce %100 görsel muayene yapılmalıdır.	3	60							
Sabitleme	Arızalı fikstür ve operatör hatası	Geometrik hata. Teknik resme göre kabul edilemeyen (paaalellik , diklik, eşmerkezlilik, mesafe vb.)	6	Hatalı fikstür tasarımı.	5	Fikstürler, hem 3D modelleme hem de analiz programları simüle edilerek modellenir. Ayrıca el hesabı yapılır. Tüm sonuçlar rapor edilmelidir.	2	60							
Sabitleme	Arızalı fikstür ve operatör hatası	Geometrik hata. Teknik resme göre kabul edilemeyen (paaalellik , diklik, eşmerkezlilik, mesafe vb.)	3	fikstür imalat hatası	9	Fikstürler kullanıma başlamadan önce kalite kontrol departmanı tarafından doğrulanır.	1	54							
Sabitleme	Arızalı fikstür ve operatör hatası	Geometrik hata. Teknik resme göre kabul edilemeyen (paaalellik , diklik, eşmerkezlilik, mesafe vb.)	3	fikstür deformasyonu	8		6	144	Periyodik bakımları her ay yapılmaktadır. (önlem)	Bakım Departmanı	Fikstür bakımı, periyodik bakım listesine eklenmiştir.	8	4	4	128
Sabitleme	Arızalı fikstür ve operatör hatası	Geometrik hata. Teknik resme göre kabul edilemeyen (paaalellik , diklik, eşmerkezlilik, mesafe vb.)	6	Fikstür kullanım planı yetersiz veya hatalı	6	Üretim Metodolojisine Göre fikstüre parça yerleştirilmektedir.	6	108	Fikstür kullanılmaya başlamadan önce, fikstür kullanım planı (yöntem durumu) yerinde kontrol edilecektir. Proje yöneticisi, kalite yöneticisi, ISG yöneticisi ve tasarım yöneticisi fikstür kullanım planını onaylamalıdır.	Mühendislik departmanı	Method Statement (Yöntem Beyanı) dokümanına fikstür kullanım planı eklenmiş ve ilgili birimlere onaylanmıştır.	7	4	4	112
Sabitleme	Arızalı fikstür ve operatör hatası	Geometrik hata. Teknik resme göre kabul edilemeyen (paaalellik , diklik, eşmerkezlilik, mesafe vb.)	6	Uygun olmayan sabitleme. Fikstür ve montaj işlemi sırasında operatör hatası.	3	Fikstürleme işlemini yalnızca ilgili fikstürün kullanımı konusunda eğitim almış personel gerçekleştirmelidir. Sabitleme işlemi, fikstür kullanım talimatlarına göre yapılmalıdır.	3	54							
Punta Kaynağı	Yanlış punta kaynağı	Malzeme üzerinde bozulmalar	5	uygun olmayan punta kaynağı	7		6	210	1. Yalnızca eğitilmiş personel kaynak işlemini yapmalıdır. (ayrıca sertifikaya sahip olmalıdır.) 2. Kaynak yapılırken kaynak haritasına uyulmalıdır. 3. Punta kaynağının boyutu da tanımlanmalıdır.	Kalite Kontrol / Kaynak Departmanı	1. Kaynakçılar tanımlanmış, kaynakçılara özel giriş kartları bastırılmıştır. 2. Tüm formlere kaynak haritası kullanımı eğitimi verilmiş ve örnek bir kaynak haritasına uygulanmıştır. 3. Punta kaynağının boyutu da tanımlanmıştır.	5	4	4	80

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Robotik Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb.)Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	7	Ön ısıtma sıcaklığı uygun değildir.	4	PQR ve WPS'yi hazırlayın. Sıcaklık ölçümü, bir lazer termometre veya ısı tebeşiri kullanılarak yapılmalıdır.	5	140	Isı tebeşiri kullanımı sahada yaygınlaştırılmalıdır.	Kaynak Departmanı	Isı tebeşirleri ilgili projelerin ön tav ihtiyaçlarına uygun olarak depoya bildirilmiştir. Her kaynak formeni çalıştığı projeye uygun ısı tebeşirini temin edebilmektedir.	7	3	3	63
Robotik Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb.)Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	7	Jigler ve sabitleme aparatı düzgün kullanılmamış olması	8	Sadece iş başı eğitimi almış personel jigleri ve sabitleme aparatını kullanabilir.	7	392	Operatörler için hazırlanan ve her adımı görsel olarak tanımlanan jig kullanım talimatları sahaya asılacaktır.	Mühendislik Departmanı	Jig kullanım talimatı oluşturulmuş ve MS' a eklenmiştir.	7	4	3	84
Robotik Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb.)Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	4	Bozulmayı önlemek için kullanılan jigler ve sabitleme aparatları yetersizdir.	4	Fikstürler ve jigler, hem 3D modelleme hem de analiz programları simüle edilerek modellenir. Ayrıca el hesabı yapılır. Tüm sonuçlar rapor edilmelidir.	4	64	Bir sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak jig ve fikstürü simüle edinilmelidir.	Mühendislik Departmanı	Simufact Welding Programı kullanılarak kaynak işlemi simüle edilmiştir.	7	2	2	28
Robotik Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb.)Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	7	Uygun olmayan ısı girdisi	9	PQR ve WPS'yi hazırlayın	6	378	Kaynak işlemine başlamadan önce kaynakçılar mevcut WPS'ye göre test edilmelidir. WPS' de tanımlanan ısı girdi değerlerine uyulmaması durumunda verilen kaynakçı bu projelerde çalışmamalıdır. Veya kullanılan kaynak makinelerinde uygun kaynak parametrelerinin otomatik görev bazlı belirlenmesini sağlayan yazılımlar kullanılmalıdır. Öncelikle bir kaynak haritası oluşturulmalı ve daha sonra buna göre bahsedilen kaynak haritası takip edilmelidir. Mümkünse, kaynak planlayıcı veya simufact kaynağı gibi bir sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak kaynak haritası oluşturulmalıdır.	Kaynak Departmanı	Kaynak izlenebilirliği sayesinde parametrelere uygun kaynak yapmayan kaynakçılar belirlenmiştir. Hata oranı %10' dan fazla olan kaynakçıların işine son verilmiştir.	7	5	4	140
Robotik Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb.)Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	7	Uygun olmayan kaynak haritası	9	Kaynak sırası ,kaynak şefinin tecrübesine göre belirlenmektedir. Kaynak haritası mevcut değil.	8	504	Öncelikle bir kaynak haritası oluşturulmalı ve daha sonra buna göre bahsedilen kaynak haritası takip edilmelidir. Mümkünse, kaynak planlayıcı veya simufact kaynağı gibi bir sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak kaynak haritası oluşturulmalıdır.	Mühendislik Departmanı	Simufact Welding Programı kullanılarak kaynak işlemi simüle edilmiştir.	7	2	2	28

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Robotik Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlik, mesafeler vb.)Yanlış boyutsal değerler Müşteri Memnuniyetsizliği	5	Tel çapının hatalı seçilmesi	5	PQR ve WPS'yi hazırlanır	4	100	Birden fazla boyutta tel çapı denemesi her malzeme için yapılmalı ve ince tel seçiminden kaçınılmalıdır.	Kaynak Departmanı	Her PQR için en az iki farklı boyutta tel ile deneme yapılması	7	3	3	63	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	9	Robotun kaynak işlemi sırasında hata vermesi	8	Montaj sonrası parça kontrolü yapılmalıdır. Robotun periyodik bakımları ve otonom bakımları düzenli olarak yapılmalıdır.	7	504	Montaj kontrol planına eklemeler yapılmalıdır. Robot için periyodik bakım talimatı oluşturulmalıdır.	Bakım Departmanı	Montaj kontrol planına eklemeler yapıldı ve Robot için periyodik bakım talimatı oluşturulmuştur.	7	3	3	63	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Gazın aniden bitmesi	6	Gaz demeti kullanılıyor, operatör kontrolü	8	336	Gaz demeti için alarm sisteminin ya da gaz tankının alınması	İşletme Müdürlüğü	Gaz demetleri için alarm sistemi alınmıştır.	7	2	2	28	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Telin aniden bitmesi	3	Tel için big-pack ler kullanılmaktadır. (tel varili)	2	42								
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Robotun rotasından çıkması	5	Montaj sonrası parça kontrolü yapılmalıdır.Gap açıklığının orantılı olmasına dikkat edilmelidir.	6	210	Montaj sonrası gap açıklığı ölçümü kalite kontrol evraklarına eklenmelidir.	Kalite Departmanı	Montaj sonrası gap açıklığı ölçümü, ölçüm kartlarına eklenmiştir.	6	3	3	54	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Robotun ön tav ihtiyacına uygun olmaması	3	WPS' lerde ön tav koşulu varsa robot pürmüzü taşıyabilecek ve ön tav sıcaklığında çalışabilecek mekanik özelliklere sahip olmalıdır.	4	84	Siakta çalışma özelliği olmayan robot kolları için ısıya dayanıklı battaniyeler kullanılabilir. Robotun pürmüzü taşıyıp taşıyamayacağı satınalma yapmadan önce gözönünde bulundurulmalıdır.	Kaynak Departmanı	Robot kolunun taşıma kapasitesi ve çalışma sıcaklığının projeye uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.	4	3	3	36	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Uygun olmayan kaynak yöntemi kullanılması	4	PQR ve WPS hazırlanır	3	84	Projeye göre sahada mock-up uygulanabilir.	Kalite Departmanı	Proje gerektirmediği için mock-up uygulanmamıştır.	5	4	3	60	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Uygun olmayan parametre	4	PQR ve WPS hazırlanır	2	56								

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Uygun olmayan elektrod	4	PQR ve WPS hazırları	2	56							
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Uygun olmayan gaz	4	PQR ve WPS hazırları	2	56							
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Kaynak operatörünün yetkin olmaması	6	Sadece belgeli kaynak operatörleri çalışabilir.	3	126	Kaynak robotu için kullanım talimatı oluşturulmalıdır.	Mühendislik departmanı	Kaynak robotu kullanım talimatı hazırlanmıştır.	5	4	3	60
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Yetersiz temizlik periyodu uygulanması	6	Sadece belgeli kaynak operatörleri çalışabilir.	3	216	Kaynak robotu için kullanım ve otonom bakım talimatı oluşturulmalıdır.	Mühendislik departmanı	Kaynak robotu kullanım ve otonom bakım talimatı hazırlanmıştır.	5	4	3	60
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Uygun olmayan çevre koşulları (rüzgar, sıcaklık, nem vb.)	5	NDT	4	120	Her kaynak işleminden önce kaynak öncesi kontrol formu hazırlanmalı ve çevre koşulları kontrol edilmelidir.	Kaynak Departmanı	Kaynak öncesi kontrol formu oluşturuldu.	5	3	4	60
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Şasi pensesinin yanlış bağlanması	3	Sadece belgeli kaynak operatörleri çalışabilir.	4	84	Kaynak robotu için kullanım ve otonom bakım talimatı oluşturulmalıdır.	Mühendislik departmanı	Kaynak robotu kullanım talimatı hazırlanmıştır.	5	3	3	45
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Yanlış polarizasyon	3	Sadece belgeli kaynak operatörleri çalışabilir.	4	72	Kaynak robotu için kullanım ve otonom bakım talimatı oluşturulmalıdır.	Mühendislik departmanı	Kaynak robotu kullanım ve otonom bakım talimatı hazırlanmıştır.	5	4	3	60
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	5	Kalibre edilmemiş kaynak makinesi	4	Üçüncü taraf yetkili şirketler tarafından Periyodik Muayene.	2	40							
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	4	Uygun olmayan kaynak makinesi	3	PQR ve WPS hazırları	3	36							

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	4	Salınım ayarlarının yanlış yapılması	3	Kök açıklığına göre doğru salınım ayarları yapıp yapılmadığı kaynağa başlanmadan önce test parçası üzerinde doğrulanır.PQR ve WPS hazırlanır	3	36								
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	4	Takip sisteminin hatalı seçilmiş olması	5	Mock up çalışması yapılmalıdır.	3	60								
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Hatalı kaynak ağız	6		6	252	Kaynak ağız kalibreli bir kaynak ağız açma makinesi tarafından açılmalıdır.	Üretim Departmanı	Kaynak ağız açmak için tam mekanize bir kaynak makinesi satın alınmıştır. Kaynak ağız ölçümü seri imalat başında ve her lot sonunda yapılmaktadır.	6	4	2	48	
Robotik Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	7	Nozullar gibi uygun olmayan veya kirli sarf malzemeleri	7		4	196	Torç temizleyici sprey ve otomatik temizleme aparatı kullanılmalıdır.	Üretim Departmanı	Seramik torç temizleme spreyi ve torç temizleme makinesi satın alınmıştır.	5	4	3	60	
Robotik Kaynak	Robotun verimli kullanılamaması	Ön görülen termin süresinden daha geç ürün teslim edilmesi	7	Erişilemeyen bölge sayısı fazla olması. Robotun hareket kapasitesinin ürün için yetersiz olması	6		5	210	Katı model üzerinde erişim kontrolü yapılmalıdır.	Dizayn Departmanı	Katı model üzerinde erişim denemesi yapılmış ve bu bağlamda deve boynu torç kullanılmaya başlanmıştır.	5	4	3	60	
Manuel Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri. Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb..)	7	Ön ısıtma sıcaklığı uygun olmaması.	4	PQR ve WPS'yi hazırlayın. Sıcaklık ölçümü, bir lazer termometre veya ısı tebeşiri kullanılarak yapılmalıdır.	5	140	Mümkünse, ön ısıtma operatör tarafından bir tabloya kaydedilebilir.	Kalite Kontrol Departmanı	Ön ısıtma sıcaklığı kayıt altına alınmıştır.	5	4	3	60	
Manuel Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri. Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb..)	7	Jigler ve sabitleme aparatı düzgün kullanılmamış olması.	8	Sadece iş başı eğitimi almış personel jigleri ve sabitleme aparatını kullanabilir.	7	392	Operatörler için hazırlanan ve her adımı görsel olarak tanımlanan jig kullanım talimatları sahaya asılacaktır.	Mühendislik Departmanı	Jig kullanım talimatı oluşturulmuş ve MS' a eklenmiştir.	7	3	3	63	
Manuel Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri. Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb..)	7	Bozulmayı önlemek için kullanılan jigler ve sabitleme aparatları yetersiz olması.	6	Fikstürler ve jigler, hem 3D modelleme hem de analiz programları simüle edilerek modellenir. Ayrıca el hesabı yapılır. Tüm sonuçlar rapor edilmelidir.	4	168	Mümkünse, kaynak planlayıcı (weld planner) veya simufact kaynağını (simufact welding) kullanın ve jig ve fikstürü simüle edin.	Mühendislik Departmanı	Simufact Welding Programı kullanılarak kaynak işlemi simüle edilmiştir.	7	3	3	63	

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Manuel Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb..)	7	Uygun olmayan ısı girdisi	9	PQR ve WPS'yi hazırlayın.	6	378	Kaynak işlemine başlamadan önce kaynakçılar mevcut WPS'ye göre test edilmelidir. WPS'de tanımlanan ısı girdi değerlerine uyulmaması durumunda verilen kaynakçı bu projelerde çalışmamalıdır. Veya kullanılan kaynak makinelerinde uygun kaynak parametrelerinin otomatik, görev bazlı belirlenmesini sağlayan yazılımlar kullanılmalıdır. Öncelikle bir kaynak haritası oluşturulmalı ve daha sonra buna göre bahsedilen kaynak haritası takip edilmelidir. Mümkünse, kaynak planlayıcı veya simufact kaynağı gibi bir sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak kaynak haritası oluşturulmalıdır.	Kaynak Departmanı	Kaynak izlenebilirliği sayesinde parametrelere uygun kaynak yapmayan kaynakçılar belirlenmiştir. Hata oranı %10' dan fazla olan kaynakçıları işine son verilmiştir.	7	4	3	84
Manuel Kaynak	Parça çarpılabilir	Hatalı geometrik şekil, üründe çarpılmalar ve istenmeyen şekil değişiklikleri . Teknik resme göre uygun olmayan ölçüler (paralellik, diklik, eşmerkezlilik, mesafeler vb..)	7	Uygun olmayan kaynak haritası	6	Kaynak sırası ,kaynak şefinin tecrübesine göre belirlenmektedir. Kaynak haritası mevcut değil.	6	252	Öncelikle bir kaynak haritası oluşturulmalı ve daha sonra buna göre bahsedilen kaynak haritası takip edilmelidir. Mümkünse, kaynak planlayıcı veya simufact kaynağı gibi bir sonlu elemanlar analiz yazılımı kullanılarak kaynak haritası oluşturulmalıdır.	Mühendislik Departmanı	Simufact Welding Programı kullanılarak kaynak işlemi simüle edilmiştir.	7	2	2	28
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Uygun olmayan kaynak yöntemi	2	Sozleşmede müşteri tarafından belirlenir.	2	24							
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Uygun olmayan parametre	4	PQR ve WPS.	2	48							
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Uygun olmayan elektrod	4	PQR ve WPS.	4	96	Farklı elektrotlar için (çap, kimyasal bileşim oranı, üretici vb.) testler yapılmalı ve en az 3 farklı elektrot karşılaştırılarak nihai karar verilmelidir. Yapılan tüm testler raporlanmalıdır.	Kalite Kontrol Departmanı	PQR hazırlanırken 3 farklı elektrod ile deneme yapılmıştır.	7	3	3	63
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak,	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Uygun olmayan gaz	5	PQR ,WPS ve NDT test	2	60							
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Yetkinliği olmayan kaynakçı	9	Kaynakçılar ISO 9606 standardına göre sertifikalandırılmalıdır. Ayrıca MYK belgesine sahip kaynakçılar istihdam edilmelidir.	3	162	Kıruk projelerde Kaynak Departmanı kontrollü ısı girdi değerine ekstra testler talep etmelidir. (Isı girişinin kontrol edilmesi gereken şekil değiştirme toleransı düşük projeler, dubleks paslanmaz gibi özel malzemelerle çalışan projeler, kalın (+25 mm) parçaların birleştirildiği projeler)	Kalite Kontrol Departmanı	Kaynak departmanı ilgili kontrolleri prosedürlerine eklemiştir.	7	3	3	63

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Niteliksiz kaynakçı	9		5	270	Kaynakçı yapmış olduğu kaynak dikişini markalamalıdır. Marka, kaynakçı numarasını ve WPS numaralarını içermelidir. Taşlama işleminden önce WPS'de belirtilen kaynak inspektörü, kontrolü yapılmalıdır. Kaynak dikişlerinde hata yapan kaynakçılar, kaynak inspektörü tarafından hazırlanan listeye dahil edilmelidir. Aynı kaynakçı tarafından yapılan tekrarlayan hatalar izlenmelidir. Hafta içinde yaptığı kaynağın %30'undan fazlasında hatalı olan kaynakçılar ile çalışmaya devam edilmemelidir.	Kalite Kontrol Departmanı	Kaynak izlenebilirliği sayesinde parametrelere uygun kaynak yapmayan kaynakçılar belirlenmiştir. Hata oranı %10' dan fazla olan kaynakçıların işine son verilmiştir.	6	4	4	96
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	5	Yorgun kaynakçı	10		10	500	4857 sayılı iş kanunu gereği kaynakçılar hiçbir durumda 7,5 saatten fazla çalıştırılmaz. Mevzuata uygun olarak çalışma saatleri düzenlenmelidir.	İSG Departmanı	Kaynakçı mesaiileri ilgili mevzuata uygun olmayan çalışmalar için İSG departmanı pauntaj kontrollerine sınırlama getirmiştir.	7	5	4	140
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	5	Uygun olmayan çevre koşulları (rüzgar, sıcaklık, nem vb.)	5	NDT	4	100	Her kaynak işleminden önce kaynak öncesi kontrol formu hazırlanmalı ve çevre koşulları kontrol edilmelidir.	Kaynak Departmanı	Kaynak öncesi kontrol formu oluşturuldu.	5	4	3	60
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	5	Şasi pensesinin yanlış bağlanması	5	NDT	3	75	Aşağıda belirtilen hususların kontrol edilebilmesi için kaynak öncesi kontrol formlarına bir madde eklenmeli ve konuyla ilgili yöntem açıklamada ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Kelepçe ve çalışma kabloları hasarsız olmalıdır. Şasi kelepçesi, kaynak yapılacak alana uygun bir mesafede olmalıdır. Şasi kelepçesinde kir, yağ, pas olmadığından emin olun. Şasi kelepçesi bakır gibi iyi bir iletken yapılmalıdır.	Kalite Kontrol Departmanı	Otonom bakım formları oluşturulmuş ve devreye alınmıştır.	5	4	3	60
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	5	Kaynak yapılacak alana erişim zorluğu	2	Kaynak işlemine başlamadan önce Mühendislik Departmanı tarafından erişilebilirlik kontrolleri yapılır. Ayrıca kaynak işlemi öncesi İSG departmanı tarafından ergonomi kontrolü yapılmaktadır.	1	10							

Tablo A.1: Robotik Kaynak Hattı FMEA Çalışması (Devamı)

Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	4	Yanlış polarizasyon	4	PQR ,WPS ve NDT test hazırlanmalıdır.	3	48							
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Nozullar gibi uygun olmayan veya kirli sarf malzemeleri	7		4	168	Torç temizleyici sprej ve otomatik temizleme aparatı kullanılmalıdır.	Üretim Departmanı	Seramik torç temizleme spreji ve torç temizleme makinesi satın alınmıştır.	5	4	3	60
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	5	Kalibre edilmemiş kaynak makinesi	4	Üçüncü taraf yetkili şirketler tarafından Periyodik Muayene.	2	40							
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Uygun olmayan kaynak makinesi	6		2	72	Günlük, haftalık ve aylık bakım planları hazırlanmalı ve bunlara uygunluğu kontrol edilmelidir.	Üretim Departmanı	Otonom bakım formları oluşturulmuş ve devreye alınmıştır.	6	3	3	54
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Hatalı kaynak ağız	7		5	210	Kaynak ağız kalibreli bir kaynak ağız açma makinesi tarafından açılmalıdır.	Üretim Departmanı	Kaynak ağız açmak için tam mekanize bir kaynak makinesi satın alınmıştır. Kaynak ağız ölçümü seri imalat başında ve her lot sonunda yapılmaktadır.	6	3	3	54
Manuel Kaynak	Kaynak kusurları: çatlak, sıçrama, boşluk, büzülme, düşük penetrasyon, yanma oluşu vb.	Ürün emniyeti ile ilgili kusurlar	6	Akım kablolarında hasar	9		3	162	Günlük, haftalık ve aylık bakım planları hazırlanmalı ve bunlara uygunluğu kontrol edilmelidir.	Üretim Departmanı	Otonom bakım formları oluşturulmuş ve devreye alınmıştır.	6	3	3	54

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nilay MERMER ÇINAR

Lisans: Akdeniz Üniversitesi Makine Mühendisliği /ODTÜ Kaynak Mühendisliği

Mesleki Deneyimler

- 03/2021 - Halen** : GEMAK Tersanesi Kıdemli Kaynak Müh.
03/2019 - 03/2021 : GAMAK Motor Fabrikası Kaynak ve NDT Koordinatörü
11/2018 - 03/2019 : Alberk QA Technic Planlama Şefi
12/2017 - 11/2018 : Biltek Akademi Kaynak Mühendisi
02/2017 - 11/2018 : Makine Müh. Odası İstanbul Şubesi Kaynak Müh.