

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/khosbd>

Kaynaklı Üretimde Kalite Yönetimi ve FMEA Yöntemi ile Hata Analizi; İnşaat Makinaları Üretiminde Bir Uygulama

Quality Management in Welded Manufacturing and Failure Analysis with The FMEA Method: An Application in Construction Machinery Manufacturing

Hacı SARI ^{1*}

¹Pi Makina Otomotiv, Genel Müdür, GOP Mah.79/1. Sok. No:6 Gölbaşı Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 02.02.2026
Düzeltilme: 26.02.2026
Kabul: 22.03.2026

Önemli Noktalar

Kaynaklı imalatta en yüksek riskli hataların tasarım kaynaklı olduğu ve hatalı montaj seçimlerinden kaynaklandığı saptanmıştır. Üretimdeki hataların büyük çoğunluğunun operatörlerin teknik eğitim eksikliği ve yanlış parametre kullanımından kaynaklandığı belirlenmiştir. RÖS değeri yüksek hataların önlenmesi için periyodik personel eğitimi, standartlara tam uyum ve tasarım-üretim koordinasyonu temel çözüm önerisi olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

FMEA (Hata Türü ve Etkileri Analizi)
Kaynaklı Üretim
Kalite Yönetimi
Risk Öncelik Sayısı (RÖS)
Üretim Hata
Analizi

Grafiksel Özet

Bu çalışma, iş makineleri üretiminde kritik bir yer tutan kaynaklı imalat süreçlerini FMEA yöntemiyle analiz ederek, potansiyel hataları sistematik bir risk değerlendirmesine tabi tutmuştur. Analizler sonucunda, özellikle tasarım aşamasındaki hatalı montaj seçimlerinin ve üretimdeki insan hatalarının en yüksek risk öncelik sayılarına (RÖS) sahip olduğu saptanmıştır. Bulgular, kaynak hatalarının büyük oranda insan faktörüne ve yanlış parametre seçimlerine dayandığını ortaya koyarken; personel eğitimi, teknik şartnamelere uyum ve tasarım-üretim birimleri arasındaki koordinasyonun bu riskleri minimize etmede hayati önem taşıdığını göstermektedir.

Keywords

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)
Welded production
Quality Management
Risk Priority Number (RPN)
Production Error
Analysis



Özet

Günümüz rekabetçi üretim sektöründe kalite yönetimi ve hata analiz teknikleri, sürdürülebilir başarı için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, iş ve inşaat makineleri üreten bir firmada kaynaklı imalat süreçlerine Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) yönteminin uygulanmasını ele almaktadır. Kaynaklı üretimde oluşabilecek hatalar belirlenmiş, bu hataların olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değerleri kullanılarak Risk Öncelik Sayısı hesaplanmıştır. Analiz sonucunda en kritik hata türleri tespit edilerek önleyici ve düzeltici tedbirler önerilmiştir. Bulgular, insan faktörüne bağlı hataların önemli olduğunu, süreç iyileştirmeleri ve eğitimle bu hataların azaltılabileceğini göstermektedir.

Abstract

In today's competitive manufacturing industry, quality management and failure analysis techniques are critical to achieving sustainable success. This study examines the application of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method to welded manufacturing processes in a company producing construction and industrial machinery. Potential failures in welded production were identified, and Risk Priority Numbers were calculated using occurrence, severity, and detectability values. As a result of the analysis, the most critical failure modes were identified and preventive and corrective actions were proposed. The findings indicate that human-related errors are significant; however, these errors can be reduced through process improvements and employee training.

* Corresponding author, e-mail: hsari@pimakina.com.tr

1. GİRİŞ

Sanayi devrimi sonrası üretim süreçlerinde yaşanan hızlı gelişmeler, işletmelerin üretim kalitesini artırmaya yönelik sistematik yaklaşımlar benimsemesini zorunlu hale getirmiştir [1]. Bu nedenle, üretim süreçlerinde kaliteyi geliştirmek insan emeği ve makine kullanımındaki israfı en aza indirerek, daha kaliteli ürünler ve üstün hizmetler üretilmesini sağlar. Bu süreç, maliyetlerin düşmesi, rekabet gücünün artması ve çalışma ortamında daha mutlu, verimli çalışanların oluşmasıyla sonuçlanan bir zincirleme etki yaratır. Sonuç olarak, daha fazla istihdam ve sürdürülebilir büyüme sağlanır [2].

Sanayide üretim hatalarını en aza indirmek amacıyla Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis-FMEA) gibi sistematik yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımların kullanıldığı sektörler içerisinde tercih edilen ve süreç içerisinde çeşitli hatalarla karşılaşılabilen imalat yöntemlerinden biri de kaynaklı imalattır. Kaynaklı imalat, üretimde en yaygın kullanılan birleştirme yöntemlerinden biri olup, yapısal bütünlük açısından büyük öneme sahiptir [3]. Kaynaklı imalat sürecinde ortaya çıkan hatalar, ürün performansını etkilediği gibi, yeniden işleme ve hurda oranlarını artırarak maliyet yönetimini de zorlaştırabilir.

Bu çalışmada, inşaat makinelerinin üretiminde kullanılan kaynaklı üretim süreçlerine yönelik kalite yönetimi yaklaşımları ele alınmış ve bu süreçlerde uygulanabilecek FMEA yöntemi ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Çalışmada önce

kalite yönetimi ve FMEA'nın temel prensipleri açıklanmış, ardından kaynaklı üretim süreçlerinde sıkça karşılaşılan hatalar tanımlanmış ve bu hatalara yönelik bir analiz modeli geliştirilmiştir.

2. KALİTE YÖNETİMİ VE FMEA YÖNTEMİ

2.1. Kalite Yönetimi Kavramı ve İlkeleri

Kalite yönetimi, müşteri beklentilerini karşılamak ve aşmak için sistematik süreç iyileştirmeleri uygulamayı amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır [4]. Kalite yönetimi, organize edilmiş faaliyetlerin planlandığı şekilde gerçekleşmesini garanti altına alan sistematik bir yaklaşımdır. Problemleri önlemeyi amaçlayan ve bu doğrultuda gerekli tutumları ve kontrolleri oluşturarak önlemeyi mümkün kılan bir yönetim disiplini [5].

Kalite yönetiminin evrimleşmiş ve bütüncül bir formu olan Toplam Kalite Yönetimi (TQM- Total Quality Management) ise bu sistematik yapıyı daha geniş bir organizasyonel kültür haline getirir.

Toplam Kalite Yönetimi, işletmelerin rekabet gücünü, etkinliğini ve esnekliğini artırmaya yönelik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, organizasyonun her seviyesinde tüm faaliyetlerin planlanması, organize edilmesi ve anlaşılmasını içerir [6].

2.2. Kaynaklı Üretimde Kalite Yönetimi ve FMEA ile Hata Analizi

FMEA çeşitli sektörlerde, örneğin imalat, elektronik, kimya, tıp, tekstil ve diğerlerinde, sistemin kalitesini ve güvenilirliğini analiz etmek ve iyileştirmek için etkili bir kontrol aracı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Sanayide

* Corresponding author, e-mail: hsari@pimakina.com.tr

kullanılan metal birleştirme teknikleri arasında en yaygın yöntemlerden biri olan kaynaklı üretim, ürün kalitesini doğrudan etkileyen kritik bir süreçtir. Bu nedenle üretim aşamalarındaki olası hata kaynaklarının önceden belirlenmesi ve alınacak önleyici tedbirlerle bu hataların en aza indirilmesi gerekmektedir [8]. Hata Türü ve Etkileri Analizi, üretimde karşılaşılabilecek hata türlerini belirleyerek, bu hataların olası etkilerini ve sebeplerini sistematik bir şekilde analiz eden bir yöntemdir [9]. FMEA döngüsel bir süreçtir ve sürekli değerlendirmeye ihtiyaç vardır [10].

Kaynak işlemlerinde Hata Türleri ve Etkileri Analizinin uygulanması, kalite yönetimi açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bu analiz yöntemi, üretim sürecinde meydana gelebilecek olası hata türlerini sistematik bir şekilde belirleyerek, erken aşamada önlem alınmasını sağlar. Böylece, üretim sürecinde oluşabilecek kusurların nihai ürün üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirgenmiş olur. Gerekli tüm önlemler alınmasına rağmen, genellikle bütün kaynaklı birleştirmeler farklı büyüklüklerde de olsa hata içermektedir. Kaynak prosesine ait değişkenlerin uygun seçilmemesi doğrudan ya da dolaylı olarak bağlantıda kaynak hatalarına neden olmaktadır [11].

Kaynak hataları, yalnızca mekanik dayanıklılığı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda ürünün kullanım ömrünü de doğrudan etkileyerek güvenlik riskleri oluşturabilir. Bu nedenle kaynak hatalarının minimize edilmesi kritik bir zorunluluktur. Etkili bir kalite yönetimi yaklaşımı, üretim güvenliğini sağlamak adına kaynaklı üretim süreçlerinde mutlaka uygulanmalıdır.

FMEA, potansiyel süreç arızalarını analiz etmek ve bu arızaları değerlendirmek amacıyla yapılır. Her arıza veya hasar meydana geldiğinde, RPN değeri aranır ve ardından RPN değeri en büyük değerden başlayarak sıralanır. Bu, karşılaşılan sorunların ana nedenidir. RPN değeri, her bir sorunun ciddiyet, oluşum ve tespit değerlerinin çarpılmasıyla elde edilir. RPN, uygun arıza modu düzeltici eylemlerini belirlemek için bir kritiklik göstergesidir. Kaynak işlemlerinde FMEA uygulamaları, üretim süreçlerindeki hata kaynaklarını belirleyerek, bu hataların olası etkilerini analiz etmeye ve önleyici tedbirler geliştirmeye odaklanmaktadır. Hata analiz süreci kapsamında, her bir hata türü için şiddet (S), olasılık (O) ve tespit edilebilirlik (T) değerleri belirlenerek, Risk Öncelik Sayısı (RÖS) hesaplanır [9]. Bu analiz sonucunda, yüksek RÖS değerine sahip olan hatalar için öncelikli düzeltici faaliyetler planlanarak kalite kontrol süreçleri güçlendirilir.

Kaynaklı üretimde hata analizi yapılırken, üretim sürecinde kaynak işlemi sırasında ortaya çıkabilecek tüm hata türleri ayrıntılı şekilde değerlendirmelidir. Bu hatalar, kaynak birleşiminde sürekliliğin sağlanmaması, birleşim noktalarında metalurjik, fiziksel veya mekanik özelliklerin homojen olmaması gibi kaynak işlemiyle doğrudan ilişkili nedenlerden kaynaklanabilir. Kaynak hatalarının tanımını ve sınıflandırmasını yapan standartlar mevcuttur. Bu standartlara göre kaynak hataları iki ana kategoriye ayrılmaktadır: kaynak bölgesinde oluşan hatalar (Isıdan Etkilenen Bölge – HAZ dahil) ve kaynak alanı dışındaki hatalar [12].

Uluslararası Kaynak Enstitüsü (International Institute of Welding, IWW), kaynakta

oluşabilecek bu süreksizlikleri altı alt kategoriye ayırarak sınıflandırmaktadır. Bu kategoriler arasında çatlaklar, boşluklar, kalıntılar, yetersiz ergime, yüzey kusurları ve diğer çeşitli hatalar yer almaktadır. Bu tür hataların önlenmesi için, FMEA uygulamaları belirli aşamalardan oluşmaktadır. İlk aşamada, üretim sürecindeki ve tasarımdaki olası hata türleri belirlenmekte olup bunların üretim kalitesi üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Üretim sırasında kaynak elektrodunun çabuk çekilmesi sonucu kaynak dikişinin bitişlerinde meydana gelen bir hata türü olan krater çatlak oluşumu buna örnek olarak verilebilir. Bu durum mekanik dayanıklılığı ciddi şekilde zayıflatabilir [13].

İkinci aşamada bu tür hataların tespit edilebilme olasılıkları ve yöntemleri araştırılmaktadır. Bu hataların çeşitli formlarını belirlemek ve tespit etmek için en yaygın kullanılan 5 yöntem bulunmaktadır: VT (Görsel Muayene), MT (Manyetik Parçacık Testi), PT (Sıvı Penetrant Testi), RT (Radyografik Test) ve UT (Ultrasonik Test) [12].

Son aşamada ise, elde edilen verilere dayanarak yüksek risk taşıyan hata türlerine karşı önleyici stratejiler geliştirilmektedir. Bu kapsamda, belirli periyotlarla operatörlerin eğitimi, üretim parametrelerinin optimize edilmesi ve malzeme seçiminde yüksek kalite standartlarının uygulanması, tasarımların üretime uygun hale getirilmesi gibi önlemler kaliteyi artırmada önemli rol oynamaktadır.

Kaynaklı üretimde kalite yönetiminin etkin uygulanması, üretim süreçlerinde hata oranlarını azaltmak ve güvenlik standartlarını yükseltmek açısından kritik öneme sahiptir. FMEA yöntemi, hata analizinin sistematik olarak

gerçekleştirilmesini sağlayarak, kaynak hatalarının önlenmesine yönelik çözümler sunmaktadır. Bu bağlamda, Risk Öncelik Sayısı (RÖS) yüksek olan hata türleri önceliklendirilerek, üretim sürecinde düzeltici faaliyetler uygulanmalı ve kalite yönetimi süreçleri sürekli iyileştirilmelidir.

3. KAYNAKLI BAĞLANTI KUSURLARI

Kaynaklı bağlantılar, endüstriyel üretim süreçlerinde kritik bir rol oynayan ve yapısal bütünlüğü doğrudan etkileyen bileşenlerdir. Kaynak, iki ana metalin, gerektiğinde basınç ve/veya ilave dolgu metali kullanılarak ergime sıcaklığına kadar ısıtılması suretiyle kalıcı olarak birleştirildiği bir imalat işlemidir [14]. Bu tür bağlantıların sağlamlığı, üretim kalitesinin yanı sıra güvenlik ve uzun ömür açısından da belirleyicidir. Ancak, uygulamada kaynaklı bağlantıların tamamen hatasız üretilmesi nadiren mümkün olmaktadır [3]. Bu nedenle, kaynaklı üretimde kalite yönetimi ve hata analizinin sistematik olarak ele alınması, potansiyel kusurların önlenmesi ve en aza indirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Üretim ve montaj süreçlerinde karşılaşılan kaynak hataları, çoğunlukla hatalı kaynak tasarımı ile kaynak prosedürlerine yeterli düzeyde riayet edilmemesinden kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, temel metal ile kaynak metali arasındaki malzeme uyumsuzlukları ve kullanılan sarf malzemelerin kontaminasyona maruz kalması da bu tür hataların ortaya çıkmasında etkili rol oynamaktadır [15].

Kaynak hataları, kaynaklı birleşimin hem dış kısmında hem de iç kısmında oluşabilir. Bazı hatalar, izin verilen sınırlar içinde olduğu sürece kabul edilebilir; ancak çatlaklar, gözeneklilik,

yetersiz nüfuziyet gibi hatalar asla kabul edilmez [16].

Yetersiz nüfuziyet kaynakçının malzemeyi doğru şekilde kaynak işlemini yapamaması ve metalin önceden katılaşması sonucunda, eritilmiş metal ile doldurulmayan bir boşluk oluşması durumudur. Bu hata düşük ısı girdisi, kaynak banyosunun çok büyük olup arkın önünde ilerlemesi, birleşim açısının çok düşük olması, yanlış elektrot ve torç açısı, yüzey kirliliği ve yüksek kaynak hızı gibi sebepler sonucu meydana gelmektedir. Çatlaklar ise diğer kaynak hatalarına kıyasla kaynaklardaki en problemlili kusurdur ve kaynağın dayanıklılığını ve bütünlüğünü olumsuz etkiler. Bu çatlaklar, aşırı soğuma, yanlış kaynak teknikleri veya malzeme sorunları gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanabilir. Kaynakta çatlak oluşumuna neden olan faktörler arasında ana metalin zayıf sünekliği, katılaşmadan kaynaklanan artık gerilmeler, ana metalin kirlenmesi, yüksek kaynak hızı ve düşük akım, kaynak öncesi ön ısıtma yapılmaması, kötü bağlantı tasarımı, yüksek kükürt ve karbon içeriği olarak sıralanabilir. Gözenek oluşumu ise kaynak metalinin içinde hava veya gaz kabarcıklarının sıkışması sonucu meydana gelir. Gözenek oluşumunun nedenleri arasında yanlış tel seçimi, daha uzun ark kullanımı, yüksek kaynak akımları, kaynak yüzeyinde pas veya yağ bulunması, nem varlığı, koruyucu gazın yanlış kullanımı ve hatalı yüzey işleme yer almaktadır [17].

Kaynak kusurlarının oluşumunu önlemek amacıyla kalite yönetimi yaklaşımlarının etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. FMEA gerçekleştirilmesinin temel amacı, belirlenen amaç ve getirilen sınırlar gibi belirli koşullar altında, yeni bir tasarımın, sürecin veya sistemin

öngörülen gereksinimleri tamamen veya kısmen karşılayamama olasılığını önlemektir [18].

Kaynak kusurlarının tespitinde; doğrudan içyapı incelemelerinin yapıldığı ve sonuçların anında değerlendirilebildiği tahribatsız muayene yöntemleri (NDT), kaynaklı bağlantıların hasar analizlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Oluşan hatalar, üretim sürecinin hangi aşamasında meydana gelirse gelsin, bu yöntemlerle tespit edilebilir. Farklı prensiplere dayanan tahribatsız muayene teknikleri, hasar oluşmadan önce hataların erken tespiti için kullanılmaktadır.

Kaynaklı imalatlarda kullanılan başlıca tahribatsız muayene yöntemleri şunlardır;

VT (Visual Testing / Görsel Muayene): Gözle yapılan inceleme ile yüzeydeki çatlak, gözenek gibi hataların tespiti için kullanılır.

PT (Penetrant Testing / Sıvı Penetrant Testi): Yüzey çatlaklarını görünür hale getirmek için renkli veya floresan sıvılar kullanılır.

MT (Magnetic Particle Testing / Manyetik Parçacık Testi): Ferromanyetik malzemelerde yüzeye yakın veya yüzey hatalarının tespiti için uygulanır.

RT (Radiographic Testing / Radyografik Test): X veya gama ışınlarıyla kaynak içindeki hacimsel hatalar (gözenek, curuf) görüntülenir.

UT (Ultrasonic Testing / Ultrasonik Test): Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgalarıyla iç hataların yeri ve boyutu belirlenir.

Ayrıca, gerekli görülen durumlarda sertlik ölçümü gibi tahribatlı muayene yöntemlerine de başvurulabilir. Bu yöntemlerin seçimi, yapılacak işin türüne ve kritikliğine göre belirlenmekte,

böylece kontrol sisteminin sınırları da doğal olarak ortaya çıkmaktadır [15].

Bununla birlikte, kaynak kalitesini sadece sonradan yapılan muayenelerle değil, üretim öncesinde de güvence altına almak gereklidir. Bu kapsamda, Kaynak Prosedürü Kalifikasyon Kayıtları (PQR) oluşturmak, kaynakların ilgili standartlara ve teknik gerekliliklere uygunluğunu doğrulamak açısından büyük önem taşımaktadır. PQR'ler sayesinde süreç güvenilirliği artırılırken, olası hataların oluşma riski de önemli ölçüde azaltılabilir.

Tüm bu teknik önlemlerin yanı sıra, kaynak kalitesinin sürdürülebilir şekilde artırılması, insan faktörünü de göz ardı etmemeyi gerektirir. Bu bağlamda, operatörlerin yetkinliği belirleyici unsurlardan biridir. Düzenli eğitim programları ve sertifikasyon süreçleri hem bireysel performansın hem de genel kalite seviyesinin artmasına katkı sağlar. Sürekli gelişim odaklı bu yaklaşım, kalite yönetimi sistemlerinin uzun vadeli başarısında kritik bir rol oynar.

Sonuç olarak, kaynaklı bağlantılarda kusurların tamamen ortadan kaldırılması mümkün olmasa da sistematik kalite yönetimi ve hata analiz yöntemleri ile bu hataların minimum seviyeye indirilmesi sağlanabilir. FMEA gibi analitik yaklaşımlar, hataları önceden tahmin ederek önleyici stratejilerin geliştirilmesine katkıda bulunurken, tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri, üretim sürecinin güvenli ve verimli bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Kalite kontrol mekanizmalarının etkin bir şekilde işletilmesi ve sürekli iyileştirme anlayışı, kaynaklı üretimde güvenliği ve dayanıklılığı artırarak, üretim süreçlerinin daha verimli hale gelmesini mümkün kılacaktır.

4. UYGULAMA YÖNTEMİ

Bu çalışmada, iş ve inşaat makineleri sektöründe faaliyet gösteren bir üretici firmanın greyder imalatına ilişkin kaynaklı üretim süreci, ilgili standartlar ve üretim akışı çerçevesinde detaylı olarak incelenmiştir. Kaynaklı imalat üzerinde doğrudan veya dolaylı etkiye sahip olan yardımcı prosesler de sistematik biçimde analiz edilmiş, bu bütüncül yaklaşım doğrultusunda, sürece özgü risklerin tanımlanması ve önceliklendirilmesi amacıyla FMEA yöntemi uygulanmıştır.

Uygulama kapsamında, kaynaklı imalatı doğrudan etkileyen; hammadde temininden üretime sevkiyatına, kullanılan makinelerden üretim süreçlerine, tasarımsal faktörlerden imalat prosesine kadar tüm aşamalar detaylı şekilde ele alınmıştır.

Hata türlerinin sınıflandırılması ile şiddet, tespit edilebilirlik ve olasılık değerlerinin belirlenmesi aşamalarında, literatürde, MAG (Metal Active Gas) kaynağı sırasında ortaya çıkabilecek olası hatalar kapsamlı bir şekilde incelenmiş; bunun yanı sıra, kaynaklı imalat süreçlerini doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyebilecek diğer ilgili üretim prosesleri de belirlenmiştir. Ayrıca, üretici firmada görev yapan yetkin personel ile gerçekleştirilen görüşmeler aracılığıyla hem geçmişte hem de günümüzde karşılaşılan problemler sistematik biçimde tespit edilmiştir.

Olası ve mevcut hata türleri sistematik olarak listelenmiş; her bir hata için Risk Öncelik Sayıları (RÖS), hem literatürdeki mevcut bilgilerden hem de üretici firmanın saha tecrübelerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, RÖS değeri 100'ün üzerinde olan kritik hata türleri ile bu hataların muhtemel etkileri tespit edilerek, söz konusu risklerin

azaltılmasına yönelik düzeltici ve önleyici faaliyet planları oluşturulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan derecelendirme ölçekleri Tablo 1’de sunulmuş olup, risk öncelik skorları (RÖS), ilgili tablodaki kriterler doğrultusunda hesaplanmıştır.

Tablo 1: Şiddet, tespit edilebilirlik, olasılık değerleri derecelendirme skalası [9].

Şiddet (\$)	Derece	Tespit Edilebilirlik (T)	Derece	Olasılık (O)	Derece
Yok	1	Neredeyse Kesin	1	Neredeyse Kesin	10
Çok Önemsiz	2	Çok Yüksek	2	Çok Yüksek	9
Önemsiz	3	Yüksek	3	Yüksek	8
Çok Düşük	4	Ortanın Üstü	4	Ortanın Üstü	7
Düşük	5	Orta	5	Orta	6
Orta	6	Az	6	Az	5
Yüksek	7	Çok Az	7	Çok Az	4
Çok Yüksek	8	Zor	8	Zor	3
Tehlikeli Etki	9	Çok Zor	9	Çok Zor	2
Çok Tehlikeli Etki	10	Neredeyse İmkânsız	10	Neredeyse İmkânsız	1

5. UYGULAMA BULGULARI VE SONUÇLARI

5.1. Kalite Yönetimi Kavramı ve İlkeleri

Kaynaklı imalat süreci ve bu süreci etkileyen yan proseslerde ortaya çıkmış veya ortaya çıkma potansiyeline sahip olan hata türleri, sistematik bir yaklaşımla analiz edilerek her bir süreç adımı temelinde sınıflandırılmıştır. İlk olarak, planlama ve hazırlık aşamasında analiz edilecek süreçler belirlenir ve proje ekibinin görev dağılımı yapılır. Sonrasında, süreç ve hata analizleri gerçekleştirilerek hataların olasılığı ve şiddeti

değerlendirilir. Son aşamada ise kritik hatalara yönelik düzeltici önlemler alınarak süreç iyileştirme çalışmaları uygulanır [19]. Bu kapsamda gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen hata türleri, ilgili oldukları üretim aşamalarıyla ilişkilendirilmiş şekilde yapılandırılmış ve bu kapsamlı sınıflandırmaya Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6 içerisinde yer verilmiştir.

Tablo 2: Kaynaklı imalat biriminde hata türleri ve olası nedenleri (hammadde kabul süreci).

Hata Türleri ve Olası Nedenleri	\$	O	T	RÖS
Tedarikçi firmadan kusurlu malzeme gelmesi	9	2	1	18
Tedarikçi firmadan yanlış malzeme gelmesi	9	2	1	18
Giriş kalite kontrol sorumlusunun malzeme kontrol görevini yerine getirmemesi	10	2	8	160
Tedarikçi firmaya yanlış malzeme siparişinin verilmesi	9	2	1	18

Tablo 3: Kaynaklı imalat biriminde hata türleri ve olası nedenleri (hammaddenin üretime verilmesi süreci).

Hata Türleri ve Olası Nedenleri	\$	O	T	RÖS
Üretimde kullanılacak ham malzemenin kumlanmadan üretim hattına verilmesi (Sac, profil, vb.)	5	4	1	20
Üretim hattına yanlış malzeme verilmesi	9	4	8	288

Tablo 4: Kaynaklı imalat biriminde hata türleri ve olası nedenleri (imalat ekipmanları).

Hata Türleri ve Olası Nedenleri	\$	O	T	RÖS
Kaynak makinalarının aksamlarında meydana gelen arızalar nedeniyle kaynak makinalarının kalibrasyonunun zamanla bozulması (Elektrik/ elektronik, aşırı ısınma, mekanik aşınmalar, ani sıcaklık, basınç değişimleri, şok ve titreşimler)	4	4	6	96
Gaz regülatörlerinin filtrelerin tıkanması ve iç mekanizmalarda	6	8	3	144

yıpranmalar nedeniyle basınç göstergelerinin arızalanması

Tablo 5: Kaynaklı imalat biriminde hata türleri ve olası nedenleri (tasarım süreci).

Hata Türleri ve Olası Nedenleri	Ş	O	T	RÖS
Birbirine kaynatılan ve kalınlık yönünde yüklemeye maruz kalan parçanın tasarım sürecinde teslim teknik şartlarının verilmemesi (EN 10164)	6	6	7	252
Tasarım sürecinde motor kaputlarının kaynaklı imalatında kullanılan saclarının et kalınlığının ince seçilmesinden dolayı malzemenin deformasyona uğraması	5	8	3	120
Tasarım sürecinde hatalı montaj seçiminden dolayı kaynak ve malzeme çatlağı (İndüksiyon yöntemiyle sertleştirilen pimlerin, silindir bağlantı koluna kaynatılması sonucu çatlama oluşması)	7	7	7	343

Tablo 6: Kaynaklı imalat biriminde hata türleri ve olası nedenleri (üretim süreci).

Hata Türleri ve Olası Nedenleri	Ş	O	T	RÖS
Üretim hattındaki personelin çok düşük ya da yüksek amperde kaynak yapması	7	3	9	189
Üretim hattındaki personelin çok düşük ya da yüksek koruyucu gaz debisinde kaynak yapması	7	4	6	168
Üretim hattındaki kaynak yapan personelin kaynak öncesi ön ısıtma prosesini atlaması	6	5	8	240
Üretim hattındaki kaynakçının yanlış kaynak teli kaynak yapması	9	3	7	189
Üretim hattındaki kaynakçının yanlış koruyucu gaz ile kaynak yapması	8	3	7	189
Üretim hattındaki kaynak personelin kaynak esnasında pasolar arası sıcaklığın 200 C° altına düşmesini beklememesi	6	5	9	270
Üretim hattındaki kaynak personelin pasolar arasında oluşan cüruf kalıntılarının temizlenmemesi	7	2	9	126
Üretim hattındaki kaynak personelin kaynak bölgesini yağ, kir ve paslardan arındırmaması	8	3	6	144
Üretimde yetkin olmayan personel tarafından kaynak yapılması	8	2	6	96

Açık hava koşullarına maruz kalan metal parçalar üzerinde gerçekleştirilen metot kaynaklarında korozyon başlangıcı.	7	5	6	210
Yakıt borusu ve dişli kutusunun kaynak bölgelerinde nüfuziyet yetersizliği nedeniyle yağ ve yakıt sızıntısı oluşması	10	6	5	300
Üretimde Şasinin slot kaynak bölgesindeki paslanma nedeniyle kaynak işleminin yapılamaması	7	7	3	147
Üretim hattındaki imalat personelinin puntalama öncesi ön ısıtma prosesini atlaması	6	6	8	288
Üretim hattındaki imalat personelinin yanlış kaynak teli ile puntalama yapması	5	3	7	105
Üretim hattındaki sertifikalı kaynak personelin yetkinliğinin dışındaki pozisyonlarda kaynak yapması	7	2	6	84
Üretim hattındaki Kaynak personelinin teknik resimlerde belirtilen kaynak yüksekliklerine uymaması	7	4	3	48

Meydana gelen, gelebilecek hata türleri ve olası nedenleri her biri için şiddet, olasılık ve tespit edilebilirlik değerleri belirlenerek RÖS değeri hesaplanmıştır. RÖS değeri 100'ün üzerinde olan hata türleri ve olası nedenleri, Tablo 7'de verilmiştir. Hata türlerinin kök nedenlerini anlamak için detaylı analizler yapılmış, hatalar; insan, makine, malzeme, çevre ve yöntem gibi farklı faktörlere göre sınıflandırılmıştır. Kök nedenlerin belirlenmesinde 6M analiz yöntemi kullanılmıştır [20].

Tablo 7: FMEA uygulaması sonucu RÖS değerlerinin (RÖS ≥ 100) büyükten küçüğe sıralanışı.

No	Hata Türleri ve Olası Nedenleri	RÖS
1	Tasarım sürecinde hatalı montaj seçiminden dolayı kaynak ve malzeme çatlağı (İndüksiyon yöntemiyle sertleştirilen pimlerin, silindir bağlantı koluna kaynatılması sonucu çatlama oluşması)	343
2	Yakıt borusu ve dişli kutusunun kaynak bölgelerinde nüfuziyet yetersizliği nedeniyle yağ ve yakıt sızıntısı oluşması	300

3	Üretim hattına yanlış malzeme verilmesi	288
4	Üretim hattındaki imalat personelinin puntalama öncesi ön ısıtma prosesini atlaması	288
5	Üretim hattındaki kaynak personelin kaynak esnasında pasolar arası sıcaklığın 200 C° altına düşmesini beklememesi	270
6	Birbirine kaynatılan ve kalınlık yönünde yüklemeye maruz kalan parçanın tasarım sürecinde teslim teknik şartlarının verilmemesi (EN 10164)	252
7	Üretim hattındaki kaynak yapan personelin kaynak öncesi ön ısıtma prosesini atlaması	240
8	Açık hava koşullarına maruz kalan metal parçalar üzerinde gerçekleştirilen metot kaynaklarında korozyon başlangıcı.	210
9	Üretim hattındaki personelin çok düşük ya da yüksek amperde kaynak yapması	189
10	Üretim hattındaki kaynakçının yanlış kaynak teli kaynak yapması	189
11	Üretim hattındaki kaynakçının yanlış koruyucu gazı ile kaynak yapması	189
12	Üretim hattındaki personelin çok düşük ya da yüksek koruyucu gaz debisinde kaynak yapması	168
13	Giriş kalite kontrol sorumlusunun malzeme kontrol görevini yerine getirmemesi	160
14	Üretimde Şasinin slot kaynak bölgesindeki paslanma nedeniyle kaynak işleminin yapılamaması	147
15	Gaz regülatörlerinin filtrelerin tıkanması ve iç mekanizmalarda yıpranmalar nedeniyle basınç göstergelerinin arızalanması	144
16	Üretim hattındaki kaynak personelin kaynak bölgesini yağ, kir ve paslardan arındırmaması	144
17	Üretim hattındaki kaynak personelin pasolar arasında oluşan öüf kalıntılarının temizlenmemesi	126
18	Tasarım sürecinde motor kaputlarının kaynaklı imalatında kullanılan saclarının et kalınlığının ince seçilmesinden dolayı malzemenin deformasyona uğraması	120
19	Üretim hattındaki imalat personelinin yanlış kaynak teli ile puntalama yapması	105



Şekil 1: Kaynakta oluşan gözenekler.

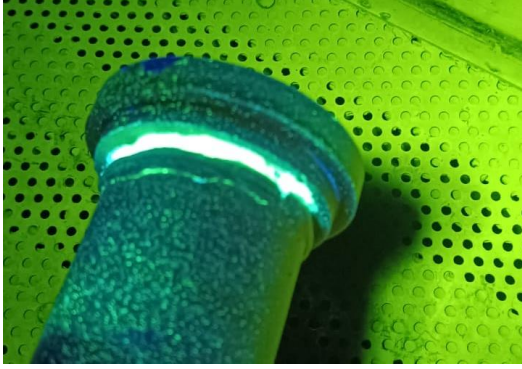
Şekil 1'de görülen gözenek oluşumu, düşük koruyucu gaz debisinin kaynak banyosunda atmosferle temasına yol açması sonucu meydana gelmiştir.



Şekil 2: Hatalı puntalama.

Şekil 2'de görülen kaynak, personelin kaynak öncesi ön ısıtma uygulamadan düşük amperde puntalama yapması sonucu çatlak oluştuğu tespit edilmiştir.

Bu yüksek riskli hata türleri için karşılaşılan bazı hatalar, aşağıdaki görseller ile paylaşılmıştır.



Şekil 3: Yakıt borularındaki kaynakların manyetik parçacık muayenesi.

Şekil 3’de görüldüğü üzere yakıt borularında kaynak sonrası kaynak dikişlerine tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan manyetik parçacık testi yapılmış ve yakıt borularının bir kısmında kaynak bölgelerinde nüfuziyet yetersizliği nedeniyle yakıt sızıntısı oluşmasına neden olabilecek çatlak tespit edilmiştir.



Şekil 4: Üretimde şasinin slot kaynak bölgesindeki paslanma nedeniyle kaynak işleminin yapılamaması.

Şekil 4’de Şasinin atölyeye girişinden kaynak prosesine geçiş sürecine kadar parçalarda paslanmalar meydana geldiği görülmüştür. Slot bölgelerinde yüzey temizliği geometrik şekilden dolayı yapılamadığı için kaynak prosesinde risk teşkil etmektedir, bu sebep ile parça tekrar kumlamaya gönderilmiştir ve kaynak işlemi daha sonra yapılmıştır.

Belirlenen yüksek riskli hata türleri ve olası nedenlerine uygulanan düzeltici & önleyici faaliyetler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Düzeltici & önleyici faaliyetler

No	Hatanın Türleri ve Olası Nedenleri	Düzeltilici & Önleyici Faaliyetler
1	Tasarım sürecinde hatalı montaj seçiminden dolayı kaynak ve malzeme çatlağı (İndüksiyon yöntemiyle sertleştirilen pimlerin, silindir bağlantı koluna kaynatılması sonucu çatlama oluşması)	Pimlerin silindir ile bağlantılarının kaynaklı bağlantı yerine, cıvatalı bağlantı ile yapılması
2	Yakıt borusu ve dişli kutusunun kaynak bölgelerinde nüfuziyet yetersizliği nedeniyle yağ ve yakıt sızıntısı oluşması	Parçalarda kaynak sonrası sızdırmazlık testi için ara kontrol aşaması eklenmesi
3	Üretim hattına yanlış malzeme verilmesi	Hangi malzemeler giriş kalite kontrol aşamasından geçtikten sonra tanımlanarak etiketleri eklenerek imalata verilmesi
4	Üretim hattındaki imalat personelinin puntalama öncesi ön ısıtma prosesini atlaması	Personele malzeme ve kaynakla ilgili teknik eğitim verilmesi
5	Üretim hattındaki kaynak personelin kaynak esnasında pasolar arası sıcaklığın 200 C° altına düşmesini beklememesi	Personele EN ISO 15609 -1 standardına göre kaynak şartnamesi ve mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
6	Birbirine kaynatılan ve kalınlık yönünde yüklemeye maruz kalan parçanın tasarım sürecinde teslim teknik şartlarının verilmemesi (EN 10164)	Kalınlık yönünde yüklenen malzemelerde lamel yırtılma oluşumunu engellemek için malzemelerin Z35 kalitede tedarik edilmesi
7	Üretim hattındaki kaynak yapan personelin kaynak öncesi ön ısıtma prosesini atlaması	Personele EN ISO 15609 -1 standardına göre kaynak şartnamesi ve mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
8	Açık hava koşullarına maruz kalan metal parçalar üzerinde gerçekleştirilen metot kaynaklarında korozyon başlangıcı.	Metot kaynaklarındaki boşluklarda oluşabilecek korozyonların engellenmesi için tasarım bölümü ile görüşülüp metot kaynağın sürekli kaynağa çevrilmesi
9	Üretim hattındaki personelin çok düşük ya da yüksek amperde kaynak yapması	Personele EN ISO 15609 -1 standardına göre kaynak şartnamesi ve mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
10	Üretim hattındaki kaynakçının yanlış kaynak teli kaynak yapması	Personele EN ISO 15609 -1 standardına göre kaynak şartnamesi ve mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
11	Üretim hattındaki kaynakçının yanlış koruyucu gazı ile kaynak yapması	Personele EN ISO 15609 -1 standardına göre kaynak şartnamesi ve mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
12	Üretim hattındaki personelin çok düşük ya da yüksek	Personele EN ISO 15609 -1 standardına göre kaynak şartnamesi

	koruyucu gaz debisinde kaynak yapması	ve mesleki yeterlilik eğitiminin verilmesi
13	Giriş kalite kontrol sorumlusunun malzeme kontrol görevini yerine getirmemesi	İlgili Personele görev yetki ve sorumluluk eğitiminin verilmesi
14	Üretimde Şaşinin slot kaynak bölgesindeki paslanma nedeniyle kaynak işleminin yapılamaması	Kaynak öncesi şaşinin tekrar kumlanması
15	Gaz regülatörlerinin filtrelerin tıkanması ve iç mekanizmalarda yıpranmalar nedeniyle basınç göstergelerinin arızalanması	Personele kalibrasyonlu gaz flowmetre temin edilmesi ve kaynak öncesi gaz kontrolü yapması konusunda eğitim verilmesi
16	Üretim hattındaki kaynak personelin kaynak bölgesini yağ, kir ve paslardan arındırılmaması	Kaynak personeline teknik eğitiminin verilmesi
17	Üretim hattındaki kaynak personelin pasolar arasında oluşan cüruf kalıntılarının temizlenmemesi	Kaynak personeline teknik eğitiminin verilmesi
18	Tasarım sürecinde motor kaputlarının kaynaklı imalatında kullanılan saclarının et kalınlığının ince seçilmesinden dolayı malzemenin deformasyona uğraması	Kaynakların metot kaynağına çevrilmesi ile çarpılmaları azaltmak ve ölçüsel kaçıklıkların engellenmesi, montaj deliklerinin slot şeklinde açılması ile montaj kolaylığı
19	Üretim hattındaki imalat personelinin yanlış kaynak teli ile puntalama yapması	Kaynak personeline teknik eğitiminin verilmesi

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, iş ve inşaat makineleri üretimi yapan bir firmanın kaynaklı imalat süreçlerinde kalite yönetimi ve hata analizini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, FMEA yöntemi kullanılarak hata türleri belirlenmiş, risk önceliklendirme analizleri yapılmış ve bu hataların ortadan kaldırılmasına yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir. FMEA yönteminin kaynaklı üretim süreçlerinde pratik uygulamalarla nasıl kullanılabileceğini göstermesi literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Özellikle üretim sürecine doğrudan entegre edilmiş FMEA yaklaşımı ile kalite yönetim sistemlerinin sahaya uygulanabilirliğine yönelik önemli bulgular elde edilmiştir. Bulgular, kaynaklı imalat süreçlerinde en yaygın hata türlerinin yanlış kaynak parametreleri kullanımı, operatör hataları, malzeme seçimindeki

eksiklikler, yetersiz kalite kontrolleri ve tasarım kaynaklı sorunlar olduğunu göstermiştir. FMEA analizleri sonucunda, işletmenin üretim sürecinde ortaya çıkabilecek hata türleri detaylı olarak incelenmiş ve bu hataların temel nedenleri belirlenmiştir. Kaynak parametrelerindeki tutarsızlıklar, uygun olmayan malzeme kullanımı, operatör deneyimsizliği ve yetersiz kalite kontrol uygulamaları gibi faktörler, üretim kalitesini olumsuz etkileyen ana unsurlar olarak tespit edilmiştir. Bu kapsamda, özellikle risk öncelik sayısı (RÖS) yüksek olan hata türlerine odaklanılarak önleyici stratejiler geliştirilmiştir. Analizler, üretim sürecinde ortaya çıkan hataların büyük bir kısmının etkin kalite yönetimi uygulamaları ile önlenebileceğini göstermiştir. Kaynak operatörlerine yönelik belirli periyotlarla gerçekleştirilecek eğitim programları, operatör hatalarının azaltılmasında kritik bir rol oynayacaktır. Kaynak operatörlerinin yetkinliklerinin ise belirli dönemlerde EN ISO 9606-1 standardına uygun olarak test edilmesi, kaynak kalitesini iyileştirerek insan kaynaklı hata riskini azaltacaktır. Ayrıca, süreç içi kalite kontrollerinin artırılması, hataların erken tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Üretim süreçlerinde hataların erken tespiti ve giderilmesi, yalnızca kaliteyi artırmakla kalmayıp aynı zamanda kaynak verimliliğini ve sürdürülebilirliği de desteklemektedir. Bu kapsamda, otomatik kalite kontrol sistemlerinin kullanılması, üretim hattında meydana gelebilecek hataların anında tespit edilmesini sağlayarak manuel kontrollerde ortaya çıkabilecek insan kaynaklı hataları minimize edecektir. Tedarik zinciri yönetiminde izlenebilirliğin sağlanması, malzeme giriş

kontrollerinin sıkılaştırılması ve uygun malzeme kullanımının garanti altına alınması, kaynaklı imalat süreçlerinde kalitenin artmasına katkı sağlayacaktır. Özellikle farklı malzeme türlerinin birleştirilmesi sürecinde, uygun dolgu malzemesi ve koruyucu gaz seçiminin doğru yapılması, kaynak bağlantı noktasında mukavemet kayıplarının önüne geçecektir. Tasarım kaynaklı hataların önlenmesi amacıyla, üretim ve kalite ekipleri ile tasarım departmanlarının daha etkin iş birliği içerisinde çalışması gerekmektedir. Tasarım sürecinde kaynaklanabilirliği optimize edecek çözümler geliştirilerek, ilerleyen aşamalarda ortaya çıkabilecek kalite sorunlarının en aza indirilmesi sağlanabilir. Sonuç olarak, kaynaklı imalat süreçlerinde kalite yönetimi ve hata analizine yönelik sistematik bir yaklaşım benimsenmesi, yalnızca mevcut hataların tespit edilmesine değil, aynı zamanda gelecekte oluşabilecek sorunların önlenmesine de katkı sağlamaktadır. Bu çalışma, kaynaklı üretim süreçlerine yönelik olarak Hata Türleri ve Etkileri Analizi yönteminin uygulamalı biçimde ele alınmasıyla literatürdeki mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır. Özellikle üretim hatalarının önceden tespit edilmesi ve olası risklerin sistematik bir şekilde analiz edilmesi amacıyla geliştirilen FMEA, genellikle teorik çerçevede incelenmekte, ancak uygulama alanına yönelik örnekler özellikle kaynaklı imalatta sınırlı kalmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu çalışma, kaynaklı üretim süreçlerinde FMEA'nın sahada nasıl kullanılabileceğini göstermesi bakımından önemli bir boşluğu doldurmakta ve literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Önceki araştırmalar, FMEA analizi kullanılarak kaynak hatalarının önceliklendirilmesinin kalite kontrolünde karar

verme süreçlerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, yüksek riskli kaynak hatalarını belirlemede ve hedefli iyileştirme stratejileri geliştirmede FMEA'nın etkinliğini vurgulayan sonuçlarıyla örtüşmektedir [21]. Bir başka çalışma FMEA yönetimiyle kaynak işlemine zarar veren ana faktörün, standart bir işletim prosedürüne sahip olmayan makine ayarları olduğunu bulmuştur [22]. Bu çalışma sektörde benzer uygulamalar için yol gösterici nitelikte olup, FMEA yönteminin üretim süreçlerinde daha yaygın bir şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şu ana kadar elde edilen bulgular, işletmelerin kaynaklı üretim süreçlerinde verimliliği artırmak ve hata oranlarını minimize etmek adına atabileceği adımları net bir şekilde ortaya koymuştur. Geliştirilen çözümler ve uygulama önerileri, mevcut üretim hatalarının azaltılmasına ve uzun vadede daha sürebilir bir kalite yönetim sisteminin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Uygulanan analizler sonucunda, kaynaklı imalat süreçlerinde önleyici bakım stratejilerinin geliştirilmesi, operatör eğitimlerinin artırılması ve süreç içi denetimlerin sıkılaştırılması gerektiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesine katkı sunan tüm uzmanlara değerli görüş ve önerileri için teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmanın değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi sürecinde yapıcı eleştirileriyle katkı sağlayan Editör ve Hakemlere de şükranlarımı sunarım.

YAZAR KATKILARI

Hacı SARI: Fikrin ortaya konulması, çalışmanın tasarlanması, literatür taramasının yapılması, veri toplama süreci, analizlerin gerçekleştirilmesi,

elde edilen bulguların incelenmesi ve değerlendirilmesi ile yazım sürecinin denetlenmesi ve içeriğin bilimsel açıdan kontrol edilmesi aşamalarında katkı sağlamıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMALARI

Yazar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- [1] Juran JM., "Juran's Quality Handbook. 4th ed., "Mc Graw Hill, New York, USA, 1999.
- [2] Deming WE., "Principles for transformation of Western Management," Out of the Crisis, 18-96, Cambridge, Massachusetts, USA, 1986.
- [3] Messler Jr RW., "A Practical guide to welding solutions: overcoming technical and material-specific issues," John Wiley & Sons, 2019.
- [4] Natarajan D., "ISO 9001 Quality Management Systems," Springer International Publishing, Cham, Switzerland, 2017.
- [5] Crosby PB., "Quality Is Free: The Art of Making Quality Certain," McGraw-Hill, New York, USA, 1979.
- [6] Oakland JS., "Total Quality Management: Text with Cases. 3rd ed.," Routledge, London, England, 2003.
- [7] Wu, A., Liu, W., & Nie, W., Literature Review and Prospect of the Development and Application of FMEA in Manufacturing Industry, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 112, 1409–1436, 2021, doi:10.1007/s00170-020-06425-0.
- [8] Altınışık, A., Hugul, O., The seven-step failure diagnosis in automotive industry. Engineering Failure Analysis, 116: 104702, 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104702.
- [9] Stamatis DH., "Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution," ASQ Quality Press, Milwaukee, USA, 2003.
- [10] Subriadi, A. P. and Najwa, N. F., The consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment, Heliyon, 6(1), pp. 1-12, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03161.
- [11] Aydoğdu K, Genel K., "Kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımını etkileyen faktörler". Sakarya University Journal of Science, 6(1), 84-89, 2002, doi: 10.16984/saufbed.20674.
- [12] Wirani AP, Janwar M, Wajdi MS., "Application of the FMEA Method to Know the Factors Causing Weld Defects in the Boiler Fabrication Process". International Journal of Social and Management Studies, 2(2), 106-114, 2021, doi: 10.5555/ijosmas.v2i1.285.
- [13] Türker A., "Kaynak Hataları, Yüksek Lisans Tezi," Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [14] Conte, R., Izquierdo, D.R. & Francesco, G. Submerged arc welding process: a numerical investigation of temperatures, displacements, and residual stresses in ASTM A516-Gr70 corner joined samples. Int J Adv Manuf Technol 127, 5437–5448 (2023), doi: 10.1007/s00170-023-11908-x.
- [15] Mercan S., "Kaynak bağlantılarında hasar analizi". International Journal of Innovative Engineering Applications, 3(2), 67-75, 2019. https://izlik.org/JA37EA85GD.
- [16] O'Brien RL, "Welding Handbook: Welding Processes, Vol2.," American Welding Society, 1991.
- [17] Rizvi SA, Ali W., "Welding defects, Causes and their Remedies: A Review". Indian Welding Journal, 53(1), 42-47, 2020, doi: 10.24036/tm.v2i2.3272.
- [18] Sharma KD, Srivastava S., "Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: a literature review". Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science, 5(1), 1-17, 2018.
- [19] Gueorguiev, T., Kokalarov, M., Sakakushev, B., Recent trends in FMEA methodology. 2020 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Konferans Bildiri Kitabı, 2020.
- [20] Mendi, T. C., & Aydoğan, H., Motor Montaj Fabrikasında Subap Sarma Sorunu Üzerine Proses Hata Türleri ve Etkileri Analizi (PFMEA) ve İyileştirmeleri Çalışması. MAS

Journal of Applied Sciences, 10(1), 161-178,
2025, doi: 10.5281/zenodo.15099329.

- [21] Jalal, M. R. S. A., & Yusim, A. K., Welding quality control using the failure modes and effects analysis (FMEA) method at PT. X. Journal of Marine-Earth Science Technology, 5(2), 42–48, 2024, doi: 10.12962/j27745449.v5i2.1807.
- [22] Bangun, C. S., Maulana, A., Rasjidin, R., & Rahman, T., Application of SPC and FMEA methods to reduce the level of hollow product defects. Jurnal Teknik Industri, 8(1), 12-16, 2022, doi: 10.24014/jti.v8i1.16681

ERKEN GÖRÜNÜM