

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATA TÜRLERİ ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK MANTIK
KULLANARAK BİR DEMİR ÇELİK FİRMASININ ÜRETİM
SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vildan ÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Seher ARSLANKAYA

Haziran 2022

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HATA TÜRLERİ ETKİLERİ ANALİZİNDE BULANIK MANTIK
KULLANARAK BİR DEMİR ÇELİK FİRMASININ ÜRETİM
SÜREÇLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vildan ÖZ

Enstitü Anabilim Dalı : ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 01.06.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr.
Seher ARSLANKAYA
Jüri Başkanı**

**Doç Dr.
Ayten YILMAZ YALÇINER
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi
Caner ERDEN
Üye**

BEYAN

Yüksek lisans tezi olarak hazırladığım “ Hata Türleri Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Kullanarak Bir Demir Çelik Firmasının Üretim Süreçlerinin İyileştirilmesi” adlı çalışmamın tüm verilerinin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını belirtir bunu onurumla doğrularım.

Vildan ÖZ

18.05.2022

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Seher ARSLANKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, hayatımın her adımında desteklerini hep hissettiğim, bana gösterdiği sevgi ve destekle her zaman yanımda olan kıymetli aileme ve sevgili eşim aynı zamanda da meslektaşım Özgün OSMANOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Tesis Üretim Prosesleri.....	10
3.1.1. Asitleme ve tandem haddeleme hattı.....	10
3.1.2. Galvaniz hattı.....	11
3.1.3. Boyama hattı.....	12
3.1.4. Elektrolitik temizleme hattı.....	13
3.1.5. Yığın tavlama hattı.....	13
3.1.6. Temper hattı.....	14
3.1.7. Çelik servis merkezi.....	15
3.2. Firmadaki Kalite Kusurlarının Belirlenmesi ve FMEA Yöntemi ile Değerlendirilmesi.....	15

3.2.1. FMEA Ekiplerinin Belirlenmesi	15
3.2.2. FMEA Gerçekleştirilmesi	16
3.2.2.1. Adım 1- planlama ve hazırlık	16
3.2.2.2. Adım 2 – yapı analizi.....	17
3.2.2.3. Adım 3 – foksiyon analizi.....	17
3.2.2.4. Adım 4 -hata analizi.....	18
3.2.2.5. Adım 5 – risk analizi.....	19
3.2.2.6. Adım 6 – optimizasyon.....	23
3.2.3. Risk etkinliğinin değerlendirilmesi	24
3.2.3.1. Adım 7 – sonuçların dökümantasyonu	25
3.2.4. Önlem alma ve iyileştirme.....	25
3.3. Kalite İyileştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi.....	25
3.3.1. Kalitenin tanımı	25
3.3.2. Toplam kalite yönetimi	26
3.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi	28
3.4.1. FMEA Çeşitleri.....	31
3.4.1.1. Sistem FMEA	31
3.4.1.2. Tasarım FMEA	31
3.4.1.3. Proses FMEA.....	31
3.4.1.4. Servis FMEA	32
3.5. Bulanık Mantık.....	32
3.6. Bulanık Küme Teorisi.....	34
3.7. Bulanık Sistem.....	35
3.7.1. Bulanıklaştırma.....	36
3.7.2. Kural tabanı	36
3.7.3. Çıkarım	37
3.7.4. Durulaştırma	37

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI.....	39
4.1. Firmadaki Kalite Kusurlarının Risk Durumlarının Tespit Edilmesi.....	39
4.2. Firmadaki Kalite Kusurlarının Bulanık FMEA ile Değerlendirilmesi ..	40

BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	48
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BAF	: Yığın tavlama hattı
CCL	: Boyama hattı
ÇSM	: Çelik servis merkezi
ECL	: Elektronik temizleme hattı
FMEA	: Hata türleri etkileri analizi
HDGL	: Galvaniz hattı
PL	: Asitleme hattı
PLTCM	: Tandem hattı
O	: Olasılık
RÖS	: Risk öncelik sayısı
S	: Saptanabilirlik
Ş	: Şiddet
TKY	: Toplam kalite yönetimi
TPM	: Temper hattı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. PL (Asitleme) Hattı.....	11
Şekil 3.2. PLTCM (Tandem) Hattı	11
Şekil 3.3. Galvaniz (HDGL) Hattı	12
Şekil 3.4. Yığın Tavlama (BAF) Hattı	14
Şekil 3.5. Temper (TPM) Hattı	15
Şekil 3.6. FMEA Çalışma Metodolijisi.....	18
Şekil 3.7. Hata Zinciri	19
Şekil 3.8. Toplam Kalite Yönetiminin Unsurları	26
Şekil 3.9. FMEA süreci.....	29
Şekil 3.10. Klasik kümelerin üyelik fonksiyonu (Yörükoğlu, 2014).....	35
Şekil 3.11. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonu (Yörükoğlu, 2014).....	35
Şekil 3.12. Bulanık mantık sistem yapısı (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007).....	36
Şekil 4.1. Bulanık Modellemede Giriş ve Çıkışlar	41
Şekil 4.2. Olasılık üyelik fonksiyonu	42
Şekil 4.3. Şiddet üyelik fonksiyonu	42
Şekil 4.4. Saptanabilirlik üyelik fonksiyonu	43
Şekil 4.5. Risk öncelik sayısı üyelik fonksiyonu	43
Şekil 4.6. Kural Tabanı	44
Şekil 4.7. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik için risk öncelik sayıları örneği	46
Şekil 5.1. 2020 yılı hata oranları	50
Şekil 5.2. 2021 yılı hata oranları	51

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Şiddet (Ş).....	20
Tablo 3.2. Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Olasılık (O).....	21
Tablo 3.3. Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Saptanabilirlik (S).....	21
Tablo 3.4. FMEA için Faaliyet Önceliği.....	22
Tablo 3.5. Kalite İyileştirme Yöntemleri (Çetin, C., Akın, B. ve Erol, V., 2001).	27
Tablo 4.1. Mevcut Risk Durumlarının FMEA Yöntemi ile Belirlenmesi.....	39
Tablo 4.2. Kural Tabanı	45
Tablo 4.3. Risk Öncelik Sayıları	47
Tablo 5.1. Klasik FMEA ve Bulanık FMEA RÖS Karşılaştırması	48

ÖZET

Anahtar kelimeler: Hata türleri etkileri analizi, Bulanık Mantık, Risk

Hata türü ve etkileri analizi, oluşabilecek hataları ortaya çıkmadan önce önlem almayı sağlayan güçlü bir sayısal analiz tekniğidir. Hata türü ve etkileri analizi çoğu firma ve sektörde yaygın şekilde uygulanmaktadır. FMEA, mamüllerde ve süreçlerde oluşabilecek hataları ortaya çıkmadan önce tespit etmek ve önceliklendirmek için tercih edilen sistematik bir analiz yöntemidir. FMEA, risk yönetimi sürecinin tanımlama ve değerlendirme kısmında yer almaktadır. Bu iki kısımda riskler göz önüne alınır, yapılan analiz ve değerlendirme sonuçlarıyla potansiyel önemi büyük riskler tespit edilir.

Bulanık mantık analizleri, problemin incelenmesi ve tespit edilmesi, sistemdeki verilerin mantıksal modellerinin oluşturulması, varolan bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanamaması kısımlarından oluşmaktadır.

Bu çalışmada, Bulanık hata türü ve etkileri analizi yöntemiyle; demir çelik sektöründe hammadde ve üretim kaynaklı kalite kusurlarının minimize edilmesi ve kök nedenlerinin bulunması amaçlanmıştır. Risk değerlendirme yöntemlerinden hata türü ve etkileri analizi yöntemiyle elde edilen girişler, klasik hata türü ve etkileri analizinden farklı olarak, bulanık hata türü ve etkileri analizi yöntemiyle de uygulanıp mevcut olan ve oluşabilecek risklerin tespiti net bir şekilde sonuca ulaştırılmıştır. Tespitler sonucunda mümkün olan doğrultuda ise aksiyonların alınması ve minimum kalite kusuru ile üretimlerin yapılması hedeflenmiştir. Ayrıca iki yöntem birbiri ile karşılaştırılarak bulanık hata türleri ve etkileri analizi yönteminin avantajları ortaya konulmuştur.

IMPROVEMENT OF AN IRON AND STEEL COMPANY'S PRODUCTION PROCESSES USING FUZZY LOGIC IN FAILURE MODE EFFECTS ANALYSIS

SUMMARY

Keywords: Failure Modes Effects Analysis, Fuzzy Logic, Risk

Failure mode and effects analysis is a powerful numerical analysis technique that enables one to take precautions before possible errors occur. Failure mode and effects analysis is widely applied in most companies and industries. FMEA is a systematic analysis method preferred to detect and prioritize errors that may occur in products and processes before they occur. FMEA is included in the definition and evaluation part of the risk management process. Risks are considered in these two parts, and the results of the analysis and evaluations determine the potential risks.

The fuzzy logic analysis consists of examining and determining the problem, creating logical models of the data in the system, converting existing information into fuzzy sets, and interpreting the model.

In this study, the method of Fuzzy error type and effects analysis is; In the iron and steel industry, it is aimed to minimize the quality defects originating from raw materials and production and to find the root causes. The inputs obtained by the method of error type and effects analysis, which is one of the risk assessment methods, are applied with the fuzzy error type and effects analysis method, unlike the classical error type and effects analysis, and the detection of existing and potential risks has been clearly concluded. As a result of the determinations, it aims to take actions in the direction possible and produce with the minimum quality defect. In addition, the advantages of fuzzy error types and effects analysis methods are revealed by comparing the two methods with each other.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Üretim firmalarında potansiyel hataların, daha ürünün tasarım aşamasındayken belirlenerek bu hataların oluşturabileceği risklerin analizinin yapılması ve yönetilmesi günümüz şartlarında oldukça önemlidir. Üretim sektöründe süreç içerisinde oluşan hatalar ve kusurlu üretimler zamanında tespit edilemediğinde kalite eksikliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu da müşteri kayıplarına neden olabilmektedir. Müşterilerin beklentisi teknolojik gelişmelerle birlikte oldukça karmaşık ve yönlendirilmesi zorlaşmıştır. Rekabet ortamında ayakta kalabilmek için ürün ve proses güvenilirliğinin kazanılmış olması gerekmektedir. Bu güvenilirliği kazanabilmek için kullanılan birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Yeni ürünün üretim sürecini tamamlamasından, ürünün müşteriye teslim edilmesi ve ürün teslimatı sonrasında garanti adımına kadar geçen süre zarfı içerisinde ürün güvenilirliğinin yüksek tutulmasına ihtiyaç vardır. Hatayı minimuma indirmenin ilk adımı ise hatanın ne olduğu ve hataya neyin sebep olduğunun bilmektir. Hata tespitinin neden kaynaklandığını bulabilmek için de oluşabilecek risklerin, tasarım ve üretim süreçlerinde tespit edilip çözülmesi gerekmektedir. Hataların tespiti ve önceliklendirilmesi konusunda güçlü bir analiz yöntemi olan hata türü ve etkileri analizi, ürüne/hizmete ve müşteriye olan güvenilirliğin artırılabilmesi amacıyla uygulanan risk analiz yöntemleri arasında ön plana çıkmaktadır.

FMEA oluşabilecek hataların, oluşmadan ve hatta olabildiğince erken önlem alınmasını amaçlayan, iyileştirme çalışmalarına nereden başlanacağı konusunda yol gösteren bir kalite tekniğidir. FMEA analizinin avantajları arasında; müşteri memnuniyetinin yüksek tutulması, piyasada rekabet artısının kazanılması, ürün/proses kalitesi ve güvenilirliğinin artırılması, işletme imajının sağlanması, işletmenin varolan teknik bilgisinin artırılması, varolan çalışmalardan sonra yapılan mühendislik çalışmalarının değişikliklerinde ve bu değişiklikler sebebi ile oluşan maliyetlerin en aza indirilmesi, yeni projeler için referans oluşturulması sayılabilir (VDA 4, 2012).

Bu çalışmada, demir elik şekillendirme süreçlerinde hammadde ve üretim kaynaklı kalite kusurları araştırılmış, bu kusurların minimize edilmesi ve kök nedenlerinin bulunması için Risk Değerlendirme Yöntemlerinden FMEA yöntemi kullanılmıştır. Klasik hata türleri ve etkileri analizi yöntemindeki kesin değerlerden farklı olarak, Bulanık Mantık yöntemide uygulanarak mevcut ve potansiyel risklerin tespiti daha net bir şekilde tespit edilmiştir. Tespitler sonucunda mümkün olan doğrultuda aksiyonların alınması ve minimum kalite kusuru ile üretimlerin yapılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde risk analizi yöntemleri kullanılarak yapılan birçok çalışma mevcuttur. Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda birden fazla risk analizi yönteminin kalite diyagramlarıyla birlikte kullanılarak sonuçlarının karşılaştırıldığı görülmüştür. Tezin bu bölümünde literatürdeki çalışmalara yer verilmiştir.

Geum vd. (2011) çalışmalarında, herhangi bir organizasyondaki meydana gelen hata sebeplerinin kaynaklarının tek bir kelime ile değiştirilemeyeceğini vurgulamaktadırlar. Çalışmada 3 ana neden altındaki 19 hata türü için servis FMEA çalışması yapılmıştır. Birbiri ile ilişkili olan hata türü için esnek bir çalışma yapılması amacıyla GIA uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, iki yöntem birbiri ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Shafiee ve Dinmohammadi'nin (2014) çalışmalarında, rüzgar türbin sistemlerinde FMEA metodolojisini kullanmıştır. FMEA riskleri ile maliyet risklerini analiz etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda, FMEA ile riskleri belirleyerek risk öncesinde potansiyel hataların önlenmesi ile maliyet kazancı sağlamışlardır.

Karadayı ve Kuvvetli'nin (2015) yapmış olduğu çalışmada FMEA ve Fine-Kinney olarak 2 farklı yöntemle şeker üretim prosesinde karşılaşılabilecek tehlikeler ortaya konulmuştur. Yöntemlerin uygulanması sonucunda karşılaşılabilecek en önemli tehlikeler iki yöntemde de farklı çıkmıştır.

Hilal Sivri (2017) yapmış olduğu çalışmada bir firmadaki boyahane prosesinde iş sağlığı ve güvenliği açısından riskleri belirlemek için FMEA yöntemi kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda, çalışanların iş sağlığı ve güvenliğine daha çok önem göstermesi ve gerekli eğitimlerin verilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Sönmez'in (2017) çalışmasında yazar otomotiv sektöründe hizmet eden yan sanayilerde farklı imalat yöntemleriyle yapılan üretimleri FMEA yöntemiyle karşılaştırmıştır. Çalışmanın sonucunda FMEA sürecinde parametrelerin objektif olarak belirlenmesi gerektiği ve bu süreçte bulanık mantık veya AHP yöntemlerinden destek alınması gerektiği belirtilmiştir.

Şıman'ın (2017) çalışmasında, amortisör montajında meydana gelebilecek hatalar FMEA ile değerlendirilmiştir. Risklerin ağırlıkları ve sıralaması belirlenirken çok kriterli karar verme yöntemlerinden yardım alınmıştır. Çalışmanın sonucunda, yapılan çalışmanın risk değerlendirme sürecinde başarılı ve etkili olduğu görülmüştür. Risk değerlendirme yaparken bulanık küme teorisinin belirsiz ortamlarda güçlü bir destek aracı olduğu belirtilmiştir.

Bayraktaroğlu'nun (2018) çalışmasında, iş sağlığı ve güvenliği açısından risk değerlendirmesi yapılmıştır. 3T ve Fine-Kinney yöntemleri ile elde edilen veriler FMEA ile değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda değişkenliğin yüksek olduğu çalışma ortamlarında risk değerlendirme çalışmaları yapmanın güç olduğu görülmüştür. Birden çok risk değerlendirme yöntemi kullanılarak uygulanabilirliği kolaylaştırılmıştır.

Dayan ve Fırlalı'nın (2018) çalışmalarında, bakır profil üretimi yapan bir firmada üretimde verim düşüklüğüne sebep olan bir proses için kalite diyagramları ve FMEA birlikte kullanılarak prosesteki hatalar ve nedenleri incelenmiştir. Yapılan risk değerlendirmeleri ve öneriler sonucunda işletmedeki toplam RÖS değerinde %41'lik bir fayda sağlanmıştır.

Erdil ve Ekerim'in (2018) çalışmalarında, buzdolabı donanım malzemeleri üreten bir firmada kapı menteşe üretim hattında FMEA çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda risk oranında azalma ve kalite düzeyinde yükselmeler görülmüştür.

Şimşir vd. (2018) çalışmalarında, haddehanede üretim sonucunda çıkan kalitesiz ürünlerdeki hataların tespiti için FMEA kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme

teknikleri ile belirlenen hatalara öncelik sıralaması yapılmıştır. Kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri FMEA yönteminin daha başarılı bir şekilde sonuç verdiğini göstermiştir.

Turan'ın (2018) çalışmasında, güç transformörü üreten bir fabrikada tasarım ve üretim sürecinde oluşabilecek risklerin giderilmesi için bulanık FMEA kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bulanık FMEA yönteminin risk değerlendirmede klasik FMEA'ya göre daha gerçeğe yakın ve etkili sonuç verdiği görülmüştür.

Atalay'ın (2019) çalışmasında, bir kablo üretim firmasındaki bir hatta ortaya çıkan hurdaların nedenlerini belirlemek ve bunların azaltılması için FMEA uygulanmıştır. FMEA'da ortaya çıkabilecek belirsizlikleri giderebilmek için bulanık mantık ve GİA kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda üç farklı yöntemin birbirinin eksik ve dezavantajlarını kapatmasını sağlayarak daha doğru ve etkin sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır.

Güven'in (2019) çalışmasında, metal sektöründe faaliyet gösteren bir firmada güvensiz davranışları tespit etmek üzere FMEA analizi yapılmıştır. FMEA'yakatkı sağlamak için AHP'den yararlanılmıştır. Çalışma sonucunda tehlikenin sadece üretim alanında değil çalışma alanının tamamında olduğu belirlenmiştir.

Şençoban Kaya ve Alaykırın'ın (2019) çalışmalarında, döküm sektöründe üretilen bir parçanın iş akış şeması çıkartılmış ve proses FMEA ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda FMEA süreklilik isteyen bir süreç olması sebebiyle kalite iyileştirme süreçleri bir arada kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Keçeci'nin (2019) çalışmasında, Asansör kurulum sürecinde ortaya çıkabilecek tehlikeler için FMEA çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda FMEA yönteminin diğer klasik yöntemlere kıyasla farkedilebilirlik bileşenini dahil etmesiyle daha yetkin bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Savaş ve Kocabaş'ın (2019) çalışmalarında endüstriyel kazanlarda verim düşüşüne sebep olan faktörlerin belirlenmesi için FMEA uygulanmıştır. İlişkiler idyagramı ile faktörler arası ilişkiler incelenmiş ve çözüm için Poka-Yoke tekniği kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, kalite geliştirme yöntemlerinin enerji verimliliği çalışmaları için kullanışlı bir araç olduğu gösterilmiştir.

Tok Ünlü'nün (2019) çalışmasında, laboratuvarlar için risk oluşturabilecek alanları belirlemek için FMEA ve bulanık FMEA yöntemleri uygulanarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, bulanık FMEA ve klasik FMEA ile yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu sebeple bulanık FMEA'nın da risk analizinde kullanılabilir uygun bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir.

Yazıcı vd. (2019) çalışmalarında, lojistik sektöründe hizmet veren bir firmanın müşteri memnuniyetsizliğini azaltmak için iade oranında iyileşme yapılması hedeflenmiştir. Çalışmada pareto analizi, neden sonuç diyagramı ile FMEA yönteminden yararlanılmıştır. Kalite diyagramlarıyla iade oranında iyileşme sağlanarak müşteri memnuniyetsizliği giderilmeye çalışılmıştır.

Bilici ve Kosanoğlu'nun (2020) çalışmalarında, bir tekstil firmasında bulunan darboğazlarda iyileştirme yapmak için değer akış haritasıyla sistemin performansı ortaya koyulmuş ve sistemde bulunan sorunlar için FMEA uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda yalın üretim anlayışının gelişmesine katkı sağlanmıştır.

Eren ve Pamuk'un (2020) çalışmalarında, konfeksiyon firmasında numune onay sürecinde gerçekleşen zaman kayıplarının sebeplerini bulmak ve yer alan riskleri değerlendirmek için FMEA uygulanmıştır. Hataların alt sebeplerine inmek için hata ağacı analizinden yararlanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, FMEA ile müşteri temsilcilerinin firmanın çalıştığı alanda daha çok teknik bilgiye sahip olması gerektiği belirlenmiştir.

Güngör'ün (2020) çalışmasında, mobilya sektöründe faaliyet gösteren bir firmada EFQM modeli uygulanırken meydana gelebilecek sorunların analizi için FMEA

uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, kalite modellerinin devreye alınırken FMEA yönteminin kullanılması gerektiği gösterilmiştir.

Karadal ve Ova'nın (2020) çalışmalarında, et ürünleri işletmesinde 5 farklı yöntem ile gıda güvenliği risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada, FMEA, PRA, ETA, HAZAOP ve Risk değerlendirme matrisi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, farklı yöntemlerin kullanılması tehlikelerin matematiksel olarak kanıtlanmasını ve detaylandırılmasına olanak sunulmuştur.

Sağbaş ve Kahraman'nın (2020) çalışmalarında, elektrikli ev aletleri üretim sürecinde fire oranının azaltılması ve verimi düşük olan proseslerin iyileştirilemesi için FMEA uygulanmıştır. Hataların nedenlerini tespit etmek için kalite diyagramlarından yararlanılmıştır. Çalışmanın sonucunda kusursuzluğu hedefleyen proste, iyileştirmeler yapılarak hurdaya ayrılan ürün sayısında azalma meydana gelmiştir.

Uçum'un (2020) çalışmasında, CNC ve freze tezgahlarında iş sağlığı ve güvenliği açısından risk analizi yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, iki yöntem karşılaştırıldığında Fine-Kinney yönteminin daha kolay uygulanabildiği ve daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ulu ve Şahin'in (2020) çalışmalarında, bir mühendislik fakültesinde meydana gelebilecek iş kazaları ve meslek hastalıklarını minimize edebilmek için FMEA yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, 26 farklı risk tespit edilmiş ve bu riskler için uygulanması gereken önlemler belirlenmiştir.

Uslu'un (2020) çalışmasında, savunma ve havacılık sektöründe yer alan bir firmada üretim sürecinde üretim kaynaklı oluşabilecek hataların belirlenmesi için FMEA temelli bir analiz yöntemi geliştirilmiştir.

Durmuş vd. (2021) çalışmalarında, bir çay fabrikasında iş sağlığı ve güvenliği açısından risk analizi yapılarak oluşabilecek riskler belirlenmiştir. Risklerin belirlenmesinde Fine-Kinney yöntemi kullanılmıştır. FMEA yöntemi ile tüm

sektörlerde meydana gelebilecek tehlikeler saptanmış ve incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, çay endüstrisinin iş sağlığı ve güvenliği açısından birçok tehlike barındığı görülmüştür.

Oral ve Bayhun'un (2021) çalışmalarında, paketleme makinelerinde meydana gelebilecek iş kazalarını HRNS ve FMEA yöntemiyle değerlendirmek için iş kazası raporları incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda, üretim prosesinde yer alan makineler için etkin iş güvenliği sağlamak için HRNS gib daha detaylı yöntemlere başvurulması gerektiği belirtilmiştir.

Özakın'ın (2021) çalışmasında, sac üretim prosesinde meydana gelebilecek ürün hataları tespit edilmiş ve bu hatalara yönelik FMEA uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, üretim sürecinde yüksek riske sahip hataların oluşmasını engellemek ve azaltabilmek için alınması gereken önlemlere yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Poyraz ve Şimşir'in (2021) çalışmalarında, ulusal satış ofislerinde talep planlama sürecinde meydana gelebilecek hataları ve bu hataların sonuçlarını azaltabilmek için FMEA uygulanmıştır. Bulanık Swara ve Copras ile hatalar analiz edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, FMEA yönteminin eksik bulunan yönleri Bulanık Swara – Copras yöntemi ile giderilmiştir.

Selimoğlu vd. (2021) çalışmalarında, işletmelerde iç denetim süreçlerinde iyileştirme yapmak ve oluşabilecek riskleri belirlemek için Yalın Altı Sigma'nın DMAIC modeli kullanılmıştır. Bu modeldeki ölçme aşamasında FMEA yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, iç denetim faaliyetlerinde verimlilik artmıştır.

Uslu vd. (2022) çalışmalarında savunma ve havacılık sektöründe üretim yapan firmanın üretim sürecinde karşılaşılabilecek hatalarda FMEA'nın zayıf yönlerini ortadan kaldırmak için ÇBST-FMEA yöntemiyle ortaya konulmuştur. Yöntem uygulanırken risk kriterleri ve hata türleri birden fazla yöntemin kullanılarak bütünleşik bir şekilde belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda önerilen ÇBST-FMEA yaklaşımıyla

geleneksel FMEA'nın eksiklikleri giderilmeye çalışılmıştır. Farklı bakış açılarının sonuçları bir arada değerlendirilmesi sağlanmıştır.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, Kocaeli ilinde Türkiye'nin yassı çelik ihtiyacını karşılamak, sektörde dinamik ve global bir oyuncu olmak adına profesyonel kadrosu ile 4 yıldır aktif olarak Demir-Çelik sektöründe hizmet veren bir firmada yapılmıştır.

Firma, yenilikçi yaklaşımıyla otomotiv ve beyaz eşya sektöründe hammadde kaynağı sağlamaktadır.

Çalışmanın asıl amacı hammadde ve üretim süreçlerinde ortaya çıkan hatalar sebebi ile kusurlu ürün oranlarını minimize etmektir. Bu iyileştirmelerin sonucunda ise hata öncesi aksiyonların alınması ve minimum kalite kusuru ile üretim yapılıp, kusurlu ürün kaynaklı maliyetlerin azalması, kaliteli ürün üretiminden dolayı artan müşteri memnuniyeti gibi geri dönüşler hedeflenmiştir.

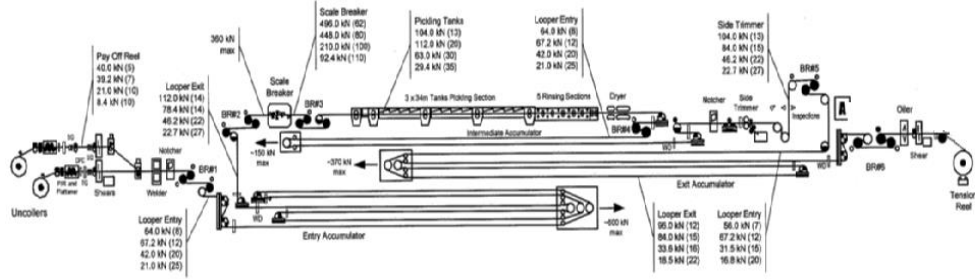
3.1. Tesis Üretim Prosesleri

Tesiste, sıcak haddelenmiş girdi malzeme, müşteri ihtiyaç ve talepleri doğrultusunda çeşitli üretim proseslerinden geçtikten sonra, asitli sıcak, soğuk haddelenmiş/tavlanmış, galvaniz kaplı veya boyalı nihai ürünlere çevrilerek satışa sunulmaktadır.

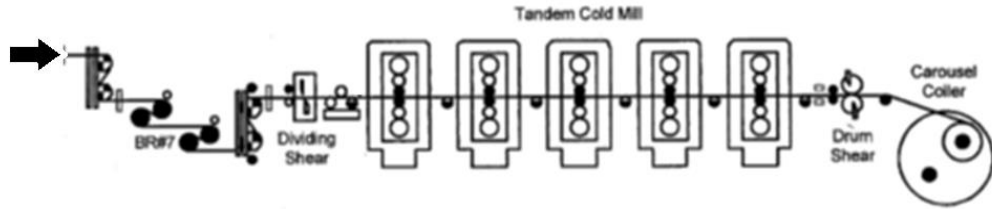
3.1.1. Asitleme ve tandem haddeleme hattı

Sürekli asitleme ve tandem (PLTCM) hattı, şerit yüzeyindeki tufal katmanın temizlenmesi için asitleme bölümü (PL), şerit kenarların kesilmesi için side trimmer bölümü ve hedef kalınlığa haddeleme için (TCM) bölümü olarak üç ana bölümden oluşur. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de PL-TCM hatları gösterilmiştir.

- PL: Asitlenmiş, Kenarları Kesilmiş ve Yağlanmış Mamül
- TCM: Asitlenmiş, Kenarları Kesilmiş ve Haddelenmiş Full Hard Mamül



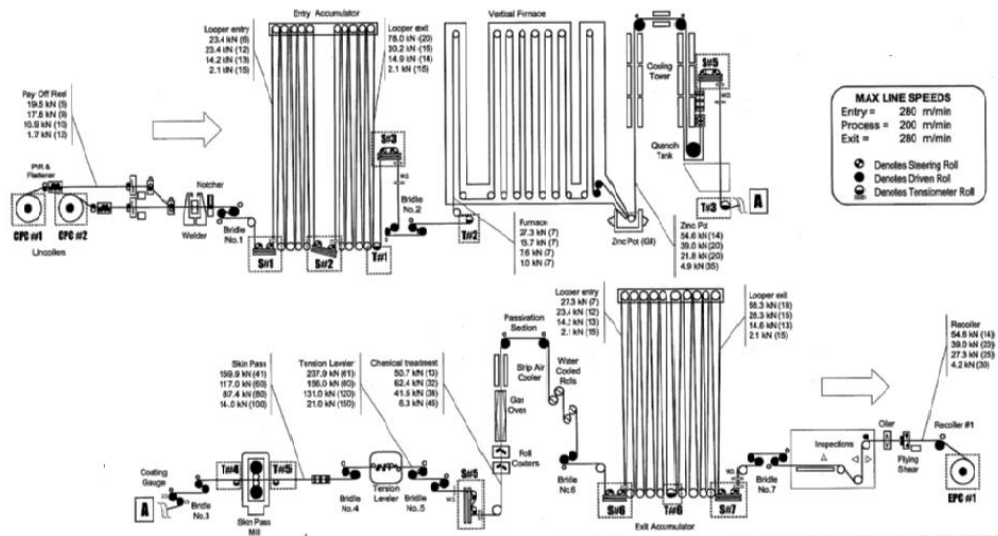
Şekil 3.1. PL (Asitleme) Hattı



Şekil 3.2. PLTCM (Tandem) Hattı

3.1.2. Galvaniz hattı

Sürekli galvanizleme hattında (CGL) asitlenmiş, haddelenmiş veya temperlenmiş soğuk rulolar, müşteri isteğine göre istenen kalitelere tavlânır ve sıcak daldırma yöntemi ile istenen ağırlıkta çinko kaplanır. Ekstra olarak müşterinin isteğine göre temperleme, pasivasyon, markalama Logo) ve elektrostatik yağlama işlemleri yapılır. Şekil 3.3.'de Galvaniz hattı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Galvaniz (HDGL) Hattı

3.1.3. Boyama hattı

Boyama hattında (CCL) galvanizli veya temperlenmiş soğuk rulolar, alt ve üst yüzeyde astar/backcoat/sonkat boya uygulamaları ile müşterinin istediği tip ve kalınlıkta boyanır. Ekstra olarak müşterinin isteğine göre markalama (Logo) ve soğuk laminasyon ile yüzeye film uygulaması yapılır.

RAL K7 Calssic renk kartelasında bulunan renkler haricinde, müşterilerin talep ettiği özel renklerinde üretilmi mümkündür. Polyester, PVDF ve plastisol düz yüzeye sahipken, PUR-PA ve wrinkle polyester tipli boyalarda yüzey efekti mevcuttur.

- Polyester (Çok çeşitli renk ve parlaklık seçeneği)
- PVDF (Yüksek UV direnci, renk solmasına karşı uzun ömürlü)
- PVC Plastisol (yüksek korozyon direnci, yüksek bükülebilirlik)
- PUR-PA (Yüksek çizilme direnci)
- Wrinkle polyester (Mat ve dekoratif görünüm, yağmur-kar tutunmasını önleyen yapı)

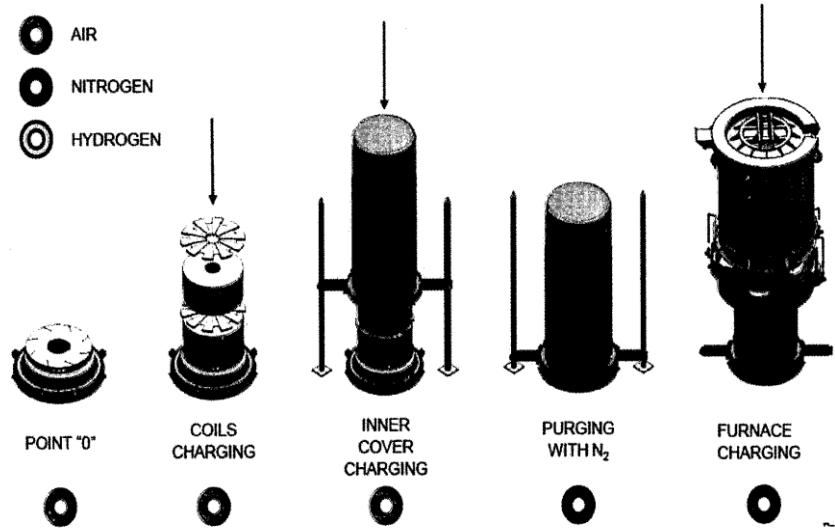
3.1.4. Elektrolitik temizleme hattı

Elektrolitik temizleme hattı (ECL), TCM ünitesinden gelen full hard bobinlerin yığın tavlama (BAF-Batch Annealing Furnace) öncesi yüzeyindeki hadde yağlarından ve demir tozlarından arındırılması amacı ile kullanılır.

Hatta ilerleyen bir önceki bobin sonu ile yeni gelen bobin ucu birbirine kaynatılarak kimyasal, elektrolitik e mekanik (firçalama) olarak temizlendikten sonra durulanır ve kurutularak tekrar bobin haline getirilir.

3.1.5. Yığın tavlama hattı

Yığın tavlama hattı (BAF), soğuk haddeleme esnasında çelik levhada oluşan gerilimleri gidermek için kullanılır. Bobinler, yatay olarak istiflendiklerinden tesis giriş ve çıkışında tilter olarak adlandırılan ekipmanlar mevcuttur. Elektrolitik temizleme ünitesinden gelen bobinler, giriş tilterde yatık pozisyona getirilir. Kaidelere istiflenerek inner cover kapatılarak ortam oksijenden arındırılır. Önce ısıtma kapağı ile ısıtılır. Isıtma işlemi tamamlandıktan sonra inner cover hiçkaldırılmadan soğutma kapağı kapatılarak soğutma işlemi yapılır. İşlemi biten bobinler, çıkış tilterde tekrar dik konuma alınarak sonraki üniteye sevk edilir. Inner cover kapatıldıktan sonra inner coveriçerisine ilk olarak azot üflenerek oksijensiz ortam sağlanır. Daha sonra azot ile hidrojen yer değiştirilerek ortamda tavlama süresinde hidrojen kullanılır. Tesis, 6 ısıtma ve 6 soğutma olmak üzere toplam 12 kaideden oluşmaktadır. Şekil 3.4.'de Baf hattı gösterilmiştir.

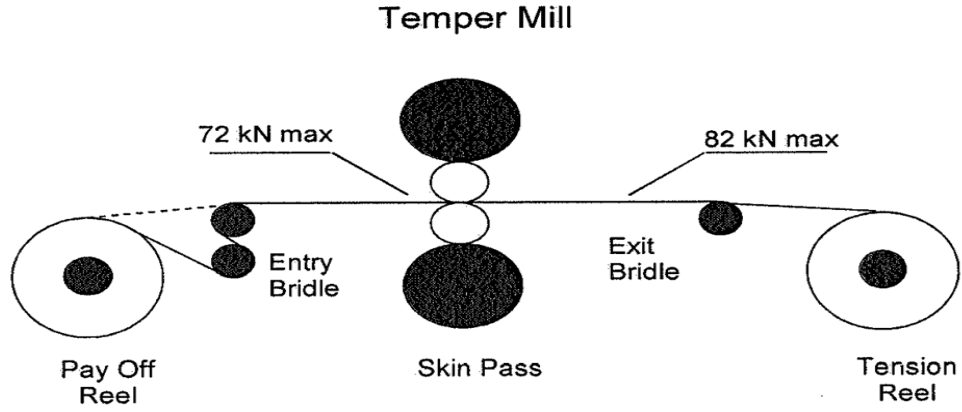


Şekil 3.4. Yiğın Tavlama (BAF) Hattı

3.1.6. Temper hattı

Yüzey düzgünlüğü (düzeltme) ütüleme anlamında kullanılır. PL-TCM hattında işlenen belli kalınlık ve genişlikteki bobinlerin HDGL veya ECL-BAF hatlarında üretimi tamamlandıktan sonra belirli gergi ve baskı ile şeride uzama kazandırılarak işlenmesi işlemidir. Temperleme kuru yapılan bir işlemdir.

Temper hattında, PL-TCM hattında işlenen malzemeler sert e kırılğan yapıya sahip olur. HDGL veya BAF hatlarında malzeme tavlama işlemi uygulandıktan sonra moleküller boşlukları gidermek, malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmek, mukavemet ve malzeme yüzeyinde müşteri isteğine göre pürüzlülük kazandırılır. Şekil 3.5.'te Temper Hattı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Temper (TPM) Hattı

3.1.7. Çelik servis merkezi

Çelik servis merkezinde, galvanizli sac, soğuk sac, sıcak sac, boyalı sac ürünlerini; trapez, levha, oluk, dilinmiş rulo gibi formlayarak satışa sunmaktadır.

3.2. Firmadaki Kalite Kusurlarının Belirlenmesi ve FMEA Yöntemi ile Değerlendirilmesi

Firmada FMEA çalışmaları müşteri olarak, otomotiv müşterileri ve iç müşteriler dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan FMEA'lar, imalat proseslerine yönelik faaliyetler ile hataları müşteriye gitmeden önce önlemeyi ve müşteri memnuniyetini arttırmayı hedeflemektedir.

Yapılan sektör araştırması ardından firmada FMEA ekipleri kurulmuş olup ilgili görev tanımları oluşturulmuştur.

3.2.1. FMEA Ekiplerinin Belirlenmesi

FMEA çalışmaları, çapraz fonksiyonlu ekip yaklaşımı ile yapılmıştır. Ekip, ilgili üretim, kalite, bakım vb. bölüm çalışanlarından üretim hatlarının birim yöneticilikleri liderliğinde oluşturulmuştur. Standart bir FMEA formunu hazırlanmış ve Kontrol planları belirlenmiştir. Konuya bağlı olarak, uzmanlıklarına göre, ilgili birim

yöneticileri ve ekip üyeleri FMEA eğitimlerine katılmıştır. İlgili eğitimlerin sonucunda ilgili departman sorumlulukları belirlenmiştir.

Departman Sorumlulukları;

Üretim Müdürlüğü: FMEA ekiplerinin liderliği üstlenir ve hat bazlı FMEA'ların yapılmasından sorumludur.

Kalite Müdürlüğü: FMEA formunu hazırlanmasına istinaden kontrol planlarının hazırlanması ve güncelliğinden sorumludur.

Planlama ve Lojistik Müdürlüğü: Paketleme, stok ve sevkiyat süreçlerinde çıkacak olası hata türleri ve etkilerinin hazırlanması, gerekli faaliyetlerin planlanması ve takibinden sorumludur.

Belirlenen departman sorumlulukları ardından ilgili kişiler tarafından FMEA gerçekleştirebilmek için aşağıda belirtilen adımlar izlenmiştir.

3.2.2. FMEA Gerçekleştirilmesi

FMEA formu, 7 adım yaklaşımı ile aşağıda belirtilen açıklamalar doğrultusunda doldurulması hedeflenmiştir.

3.2.2.1. Adım 1- planlama ve hazırlık

FMEA çalışmasının, 5T (Amaç, Zamanlama, Ekip, Göre, Araçlar) metodu uygulanarak hazırlanmıştır. Analize nelerin dahil edilip nelerin hariç bırakılacağı belirlenerek yapı analizi için temel oluşturulmuştur.

FMEA başlığında, kuruluş adı, imalat yeri, müşteri adı, model yıl/program, konu, FMEA başlama tarihi, FMEA revizyon tarihi, çapraz fonksiyonlu ekip, FMEA numarası, proses sorumlusu ve gizlilik seviyesi belirtilmiştir.

3.2.2.2. Adım 2 – yapı analizi

Yapı analizi bölümünde proses maddesi, proses adımı ve proses iş elemanı sütunları belirlenmiştir.

Üretim hatlarının akış şemalarına göre proses konuları, proses adımları, alt adımları tanımlanmış ve fonksiyon analizi için temel oluşturulmuştur.

- Proses Maddesi: Üretim hatları akış şemalarının ana başlığını oluşturan bölümdür.
- Proses Adımı: Üretim hatları akış şemalarının adımlarının belirlendiği bölümdür.
- Proses İş Elemanı: 4M tipinin (insan, makine/ekipman, malzeme, ortam) tanımlandığı bölümdür.

3.2.2.3. Adım 3 – fonksiyon analizi

Fonksiyon analizi bölümünde yapı analizinde tanımlanan proses maddesi, adımı ve iş elemanlarının ne yapması gerektiği belirlenmiştir.

Yapı analizi adımı belirlenen proses fonksiyonları görsel hale getirilmiş, üretim akış şemaları çerçevesinde şartların ve karakteristiklerin fonksiyonlarla bağlantısı tanımlanmış ve hata analizi için temel oluşturulmuştur.

Alınan kararlar neticesinde her proses maddesi, adımı ve iş elemanları için birden fazla fonksiyon olabileceği neticesine varılmıştır.

Fonksiyon tanımları; pozitif, açık, faaliyet fiili şekilde yapılmış ve şimdiki zaman formatında oluşturulmuştur.

Proses maddesinin fonksiyonunda sizin tesis, sevk edilen tesis ve son kullanıcı için tanımlar ayrı olarak tanımlanmıştır.

Ürün ve proses karakteristiğinin fonksiyonlarının negatif halleri hata türü ve hata nedeni olarak tanımlanmıştır.

3.2.2.4. Adım 4 -hata analizi

Hata nedenleri, türleri ve etkilerini belirlemek ve risk analizi için temel oluşturan adımdır. FMEA çalışma metodolijisi Şekil 3.6.'da gösterilmiştir.

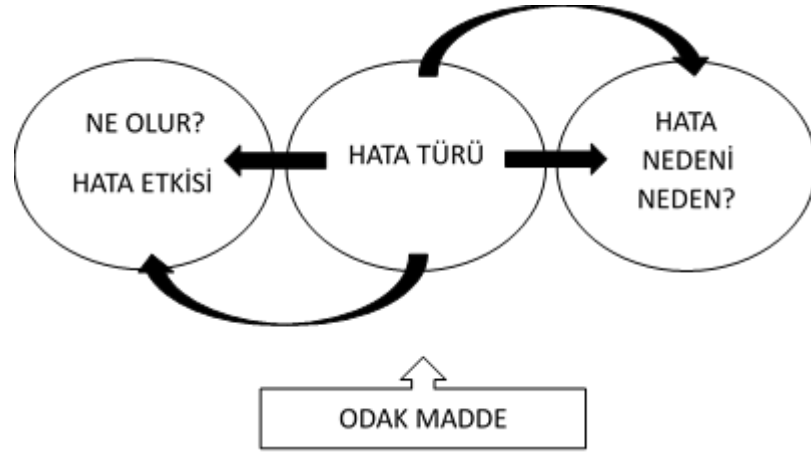


Şekil 3.6. FMEA Çalışma Metodolijisi

Hata zincirini çıkarabilmek için dikkat edilmesi gereken üç husus vardır.

- Hata Etkisi
- Hata Türü
- Hata Nedeni

Şekil 3.7.'de Hata zinciri gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Hata Zinciri

- Sizin Tesis: Hatanın tesiste saptandığı öngörülerek hata türünün etkisi
- Sevk Edilen Tesis: Hatanın bir sonraki tesise sevk edilmeden önce yakalanamayacağı, öngörülerek hata türünün etkisi
- Son Kullanıcı: Proses maddesinin etkisi (son kullanıcının ne fark edeceği, hissedeceği, duyacağı, koklayacağı vb.)

Hata nedenlerinin hata türü ile ilişkilendirilmesi için “Neden hata türü oluyor?”, Hata etkilerinin hata türü ile ilişkilendirilmesi için “Hata türünün oluşması durumunda ne olur?” soruları sorularak ilişkilendirilmiştir.

3.2.2.5. Adım 5 – risk analizi

FMEA formunda şiddet, olasılık ve saptanabilirlik değerlendirilmesi sonucunda faaliyet ihtiyacını değerlendirerek riski ortadan kaldırmak, hata nedenleri için önleyici kontrollerin, hata nedeni ve hata türü için saptama kontrollerinin belirlendiği adımdır. Risk analizi adımında kullanılacak olan üç kriter;

1. Şiddet (Ş): Değerlendirilmesi yapılan proses adımındaki hata türü için en ciddi etkinin puanlandırılmasıdır. (Tablo 3.1.)
2. Olasılık (O): Proseste hata nedeninin oluşmasının puanlandırılmasıdır. (Tablo 3.2.)

3.Saptanabilirlik (S): Listelenmiş olan saptama tipindeki proses kontrollerinden en etkili olan proses kontrolünün puanlandırılmasıdır (Tablo 3.3.).

Tablo 3.1. Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Şiddet (Ş)

Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Şiddet (Ş)				
Ş	Etki	Sizin tesise olan etkisi	Sevk edilen tesise olan etkisi	Son kullanıcıya olan etkisi
10	Çok Yüksek	Hata, işçi için akut sağlık veya emniyet riskine neden olabilir.	Hata, işçi için akut sağlık veya emniyet riskine neden olabilir.	Kullanıcıların sağlığını etkiler.
9		Hata, tesis içinde yönetmelik uyumsuzluğuna neden olabilir.	Hata, tesis içinde yönetmelik uyumsuzluğuna neden olabilir.	Yönetmelikler ile uyumsuzluk.
8	Yüksek	Üretim çalışmasından etkilenen ürünlerin %100'ü hurdaya çıkabilir.	Tüm üretim vardiyasından daha büyük hat duruşu, yönetmelik uyumsuzluğundan farklı olarak saha tamiri veya yenilemesi gerekebilir.	Öngörülen servis ömrünün kısalması.
7		Ürün ayıklaması yapılabilir. %100'den azı hurdaya çıkabilir.	1 saatten tüm üretim vardiyasına kadar hat duruşu, olası sevkiyat duruşu olabilir.	Öngörülen servis ömrünün kısalması.
6	Orta	Üretim çalışmasının %100 üne hat dışından yeniden işlem yapılmalı ve kabul edilmeli.	1 saate kadar duruşu olabilir.	Ürün kullanım fonksiyonlarında kayıp
5		Üretim çalışmasının bir kısmına hat dışında yeniden işlem yapılmalı ve kabul edilmeli.	Ürünün %100'den daha azı etkilenir, ayıklama gerekir. Hat duruşu olmaz.	Ürün kullanım fonksiyonlarında azalma
4		Üretim çalışmasının %100' üne işleme devam edilmeden önce hat içerisinde yeniden işlem yapılmalı.	Hatalı ürün önemli reaksiyon planını tetikler, ilave hatalı ürün beklenmez, ayıklama gerekmez.	Rahatsız edici görünüm
3	Düşük	Üretim çalışmasının bir kısmına işleme devam edilmeden önce hat içerisinde yeniden işlem yapılmalı	Hatalı ürün minör reaksiyon planını tetikler, ilave hatalı ürün beklenmez, ayıklama gerekmez.	Orta derecede rahatsız edici görünüm
2		Proses, operasyon veya operatör için hafif rahatsızlık.	Hatalı ürün hiçbir reaksiyon planını tetiklemez. İlave hatalı ürün beklenmez. Ayıklama gerekmez.	Hafif derece rahatsız edici görüntü.
1	Çok Düşük	Fark edilebilir etki yok.	Fark edilebilir etki yok	Fark edilebilir etki yok.

Tablo 3.2. Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Olasılık (O)

Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Olasılık (O)			
O	Hata Nedeninin Oluşma Tahmini	Kontrol Tipi	Önleyici Kontroller
10	Son derece yüksek	Yok	Önleyici kontrol yok
9	Çok yüksek	Davranışsal	Önleyici kontrollerin, hata nedenini önlemede küçük etkisi olacaktır.
8			Önleyici kontrollerin, hata nedenini önlemede biraz etkisi olacaktır.
7	Yüksek	Davranışsal veya teknik	Önleyici kontroller, hata nedenini önlemede etkilidir.
6			Önleyici kontroller, hata nedenini önlemede etkilidir.
5	Orta	En iyi uygulamalar.	Önleyici kontrollerin, hata nedenini önlemede yüksek etkisi olacaktır.
4			Önleyici kontrollerin, hata nedenini önlemede yüksek etkisi olacaktır.
3	Düşük	Teknik	Önleyici kontrollerin, hata nedenini önlemede oldukça etkilidir.
2	Çok düşük		Önleyici kontrollerin, hata nedenini önlemede oldukça etkilidir.
1	Son derece düşük		
Teknik: Makinelere, takım ömrüne, takım malzemesine, vb güven			
En iyi uygulama: Kalibrasyon prosedürleri, hatasızlaştırma doğrulaması, önleyici bakım, proses izleme vb			
Davranışsal: Operatörlere, yeteneklere, takım liderlerine güven vb.			

Tablo 3.3. Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Saptanabilirlik (S)

Proses Genel Değerlendirme Kriterleri – Saptanabilirlik (S)			
S	Saptanabilme Yeteneği	Saptama Metodu Olgunluğu	Saptama için Fırsat
10	Çok düşük	Herhangi bir test veya numune metodu oluşturulmamış veya bilinmiyor.	Hata türü saptanamaz.
9		Test veya muayene metodunun hata türünü saptaması olası değil.	Hata türü, rastgele denetimlerle saptanamaz.
8	Düşük	Test veya muayene metodunun etkili ve güvenilir olduğu kanıtlanmamıştır.	Hata türünü veya hata nedenini saptayabilecek operatör muayenesi.
7			Hata türünü veya hata nedenini saptayabilecek makine bazlı saptama
6	Orta	Test veya muayene metodunun etkili ve güvenilir olduğu kanıtlanmıştır.	Hata türünü veya hata nedenini saptayabilecek operatör muayenesi.
5			Hata türünü veya hata nedenini saptayabilecek makine bazlı saptama
4	Yüksek	Sistemin etkili veya güvenilir olduğu kanıtlanmıştır.	Hatalı ürün, güvenilir bir sistem ile kontrol edilerek ürünün tesisten çıkmasını önlemek.
3			Hatalı ürün, güvenilir bir sistem ile kontrol edilerek ürünün tesisten çıkmasını önlemek.
2		Muayene metodunun etkili ve güvenilir olduğu kanıtlanmıştır.	Makine bazlı saptama metodu ile neden saptanacak ve hata türünün üretilmesi önlenecektir.
1	Çok yüksek	Hata türü, tasarım ve proses nedeniyle fiziksel olarak üretilemez veya saptama metodlarının her zaman için hata türünü veya hata nedenini saptayacağı ispatlanmıştır.	

Hata türü ve etkilerinin nedenlerinin ve kontrollerinin tanımlanmasını, şiddet, olasılık ve saptanabilirlik puanlaması dahil olmak üzere tamamlandıktan sonra riski azaltmak için risk önceliği (Tablo 3.4.) belirlenmiştir.

Risk önceliği;

Yüksek Öncelik (Y): Gözden geçirme ve risk için en yüksek önceliktir. Ekip, önleme ve saptama kontrollerin iyileştirecek uygun riski tanımlamalı veya mevcut kontrollerin niçin yeterli olduğu açıklanmalıdır. **Orta Öncelik (O):** Gözden geçirme ve risk için orta önceliktir. Ekip, önleme ve saptama kontrollerin iyileştirecek uygun riski tanımlamalı veya mevcut kontrollerin niçin yeterli olduğu açıklanmalıdır.

Düşük Öncelik (D): Gözden geçirme ve risk için düşük önceliktir. Ekip, önleme ve saptama kontrollerin iyileştirecek için riskler belirleyebilir.

Tablo 3.4. FMEA için Faaliyet Önceliği

FMEA İÇİN RİSK ÖNCELİĞİ						
Etki	Ş	Hata Nedeni Oluşma Tahmini	O	Saptama Yeteneği	S	Risk Önceliği
Ürün veya tesis etkisi çok yüksek	9-10	Çok Yüksek	8-10	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek
				Orta	5-6	Yüksek
				Yüksek	2-4	Yüksek
				Çok Yüksek	1	Yüksek
	Yüksek	6-7	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
				Orta	5-6	Yüksek
				Yüksek	2-4	Yüksek
				Çok Yüksek	1	Yüksek
	Orta	4-5	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
				Orta	5-6	Yüksek
				Yüksek	2-4	Yüksek
				Çok Yüksek	1	Orta
	Düşük	2-3	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
				Orta	5-6	Orta
				Yüksek	2-4	Düşük
				Çok Yüksek	1	Düşük
Çok düşük	1	Çok Yüksek – Çok Düşük	1-10	Düşük		
			Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
			Orta	5-6	Yüksek	
			Yüksek	2-4	Yüksek	
Ürün veya tesis etkisi yüksek	7-8	Çok Yüksek	8-10	Çok Yüksek	1	Yüksek
				Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek
				Orta	5-6	Yüksek
				Yüksek	2-4	Yüksek
	Yüksek	6-7	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
				Orta	5-6	Yüksek
				Yüksek	2-4	Yüksek
				Çok Yüksek	1	Orta

Tablo 3.4. (Devamı)

		Orta	4-5	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
				Orta	5-6	Orta	
				Yüksek	2-4	Orta	
				Çok Yüksek	1	Orta	
		Düşük	2-3	Düşük – Çok Düşük	7-10	Orta	
				Orta	5-6	Orta	
				Yüksek	2-4	Düşük	
				Çok Yüksek	1	Düşük	
		Çok Düşük	1	Çok Yüksek – Çok Düşük	1-10	Düşük	
Ürün veya tesis etkisi orta	4-6	Çok Yüksek	8-10	Düşük – Çok Düşük	7-10	Yüksek	
				Orta	5-6	Yüksek	
				Yüksek	2-4	Orta	
				Çok Yüksek	1	Orta	
	Yüksek	6-7			Düşük – Çok Düşük	7-10	Orta
					Orta	5-6	Orta
					Yüksek	2-4	Orta
					Çok Yüksek	1	Düşük
	Orta	4-5			Düşük – Çok Düşük	7-10	Orta
					Orta	5-6	Düşük
					Yüksek	2-4	Düşük
					Çok Yüksek	1	Düşük
Düşük	2-3			Düşük – Çok Düşük	7-10	Düşük	
				Orta	5-6	Düşük	
				Yüksek	2-4	Düşük	
				Çok Yüksek	1	Düşük	
Çok Düşük	1			Çok Yüksek – Çok Düşük	1-10	Düşük	
				Düşük – Çok Düşük	7-10	Orta	
				Orta	5-6	Orta	
				Yüksek	2-4	Düşük	
Ürün veya tesis etkisi düşük	2-3	Çok Yüksek	8-10	Çok Yüksek	1	Düşük	
				Düşük – Çok Düşük	7-10	Orta	
				Orta	5-6	Orta	
				Yüksek	2-4	Düşük	
	Yüksek	6-7			Düşük – Çok Düşük	7-10	Düşük
					Orta	5-6	Düşük
					Yüksek	2-4	Düşük
					Çok Yüksek	1	Düşük
	Orta	4-5			Düşük – Çok Düşük	7-10	Düşük
					Orta	5-6	Düşük
					Yüksek	2-4	Düşük
					Çok Yüksek	1	Düşük
Düşük	2-3			Düşük – Çok Düşük	7-10	Düşük	
				Orta	5-6	Düşük	
				Yüksek	2-4	Düşük	
				Çok Yüksek	1	Düşük	
Çok Düşük	1			Çok Yüksek – Çok Düşük	1-10	Düşük	
				Düşük – Çok Düşük	7-10	Orta	
				Orta	5-6	Orta	
				Yüksek	2-4	Düşük	
Görülebilir etki yok	1	Çok Düşük – Çok Yüksek	1-10	Çok Yüksek – Çok Düşük	1-10	Düşük	
				Çok Yüksek – Çok Düşük	1-10	Düşük	

3.2.2.6. Adım 6 – optimizasyon

Riski azaltmak için riskleri belirlemek ve bu risklerin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan adımdır.

Riskler; belirli ölçülebilir, ulaşılabilir, sorumlusu ve hedef tarihi belli olmalıdır. Ekip risk olmadığını karar verirse FMEA formunun açıklama sütununa “Başka bir risk

önceliklendirmesine gerek yok” ifadesi yazarak risk analizini tamamlamaktadır. Ekip risklerin statüsünü aşağıdaki kriterlere göre belirleyerek “Statüsü” sütununa bunu belirlemelidir.

Açık: Hiçbir risk tanımlanmamış.

Karar Bekleniyor: Risk tanımlanmış ancak henüz kararlaştırılmamış, Karar belgesi oluşturuluyor.

Uygulama Bekliyor: Risk tanımlanmış ancak henüz uygulanmamış.

Tamamlanmış: Tamamlanmış olan riskler uygulanmış ve bunların etkinliği kanıtlanmış ve dökümanite edilmiş. Sonuç değerlendirilmesi yapılmış.

Uygulanmamış: Bir riskin uygulanmamasına karar verildiğinde kullanılır. Bu pratik ve teknik sınırlamalarla ilgili risklerin mevcut yeteneklerin ötesinde olması durumunda ortaya çıkabilir.

3.2.3. Risk etkinliğinin değerlendirilmesi

FMEA, ekip her maddenin risk önceliğinin değerlendirilip risk seviyelerini veya tüm faaliyetlerin kapanma dökümanlarını kabul edinceye kadar “Tamamlanmış” olarak kabul edilmez. Faaliyet tamamlandıktan sonra olasılık ve saptanabilirlik değerleri yeniden değerlendirilmeli ve yeni risk önceliği belirlenmelidir. Yeni faaliyet, taslak risk önceliği puanlaması olarak tahmini etkinlik değerlendirilmesi olarak kabul edilir. Etkinlik test edilinceye kadar riskin statüsü “Uygulama Bekleniyor” olarak kalır. Testler tamamlandıktan sonra taslak puanlama teyit edildikten sonra riskin statüsü “Tamamlanmış” olarak değiştirilir.

3.2.3.1. Adım 7 – sonuçların dökümantasyonu

Her bir FMEA için sonuç raporu ilgili proses sorumlusu tarafından hazırlanır. FMEA için ön kapak sayfası hazırlanır. FMEA kapak sayfasında Proses adı, yapıma sebebi, ekip, alınan referanslar, faaliyet özetleri ve gözden geçirme tarihi bulunur.

3.2.4. Önlem alma ve iyileştirme

Yeni ürün devreye alma aşamasında, üründe ve süreçte yapılan kontroller kontrol planında yer almaktadır. Otomotive giden ürünlerin geçtiği tüm hatlar için kontrol planları bulunmaktadır. Kontroller kontrol planlarında belirtilen esaslar dahilinde gerçekleştirilir. FMEA ve kontrol planları üründe veya uygulanan kontrollerde herhangi bir değişiklik olduğunda gözden geçirilerek gerekiyorsa revize edilir.

3.3. Kalite İyileştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi

3.3.1. Kalitenin tanımı

Japon yönetim bilimi ve kalite uzmanı Kaoru Ishikawa kaliteyi aşağıdaki şekilde tanımlamaktadır; “Dar anlamda kalite, ürün kalitesi demektir. Geniş anlamda kalite iş kalitesi, hizmet kalitesi, proses kalitesi, firma kalitesi, hedeflerin kalitesidir.” (Ishikawa,1995).

Kalite tanımlarında en çok öne çıkan konu, müşterinin isteklerini dikkate alarak, ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılamadır. Bir başka kalite tanımında ise “Ürünün sevkiyat sonrasında itibaren toplumda sebep olduğu en az zarardır.” (Bryne & Taguchi, 1986). Taguchi bu tanımında kaliteyi, maruz kalacağı zarar riski üzerinden tanımlamıştır.

Tarih boyunca gerçekleşen değişimlere doğrusal olarak, kalite tanımında veya anlayışında değişiklikler olmuştur. Klasik kalite anlayışına göre, bir ürün/hizmet için tarif edilen kalite özellikleri, belirlenen sınırlar arasında kaldığı sürece,

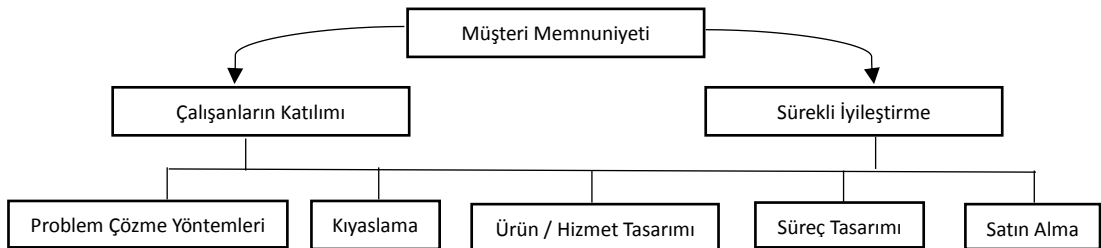
ürünün/hizmetin kaliteli olduğunu söylemek mümkün iken, günümüzde belirlenen kalite özellikleri arasında yer alan ürünler veya hizmetler, müşteri memnuniyetini sağlayabilmek ve yoğun rekabet şartlarında ayakta kalabilmek için yeterli değildir (Taşeli ve Köksal, 2004).

3.3.2. Toplam kalite yönetimi

Toplam kalite yönetimi, “müşterilerin taleplerini olabildiğince ekonomik şekilde karşılamak için, işletmenin farklı departmanlarında kalitenin benimsenmesi, yaşatılması ve geliştirilmesi yolundaki çalışmalarını birleştirip koordine eden etkili bir yöntemdir.” (Kovancı, 2001).

Geniş anlamda TKY, varolan tüm süreçlerin, ürünlerin/hizmetlerin tam katılım ile iyileştirilmesi, iç ve dış müşteri memnuniyetinin artırılması ve müşteri aitliğinin sağlanması amacıyla tüm sonuçların geliştirilmesine dayanan, müşteri beklentilerinin önemini her şeyin başında gören ve müşteri tarafından tarif edilen kaliteyi, tüm çalışmaların yürütülmesi esnasında ürün/hizmet bünyesinde oluşturan modern yönetim biçimidir. (Akdağ, 2005).

TKY, müşterinin ihtiyaçlarını ve taleplerini göz önünde bulunduran, işletmede çalışanların aktif olarak süreçlere katılımını gerçekleştirerek iş süreçlerini geliştirme ve noksansız üretimi hedefleyen müşteri temel, bir yönetim anlayışıdır (Budak, 1997).



Şekil 3.8. Toplam Kalite Yönetiminin Unsurları

Toplam kalite yönetimi, müşteri odaklı yönetim olarakta bilinmektedir. Şekil 3.8.’de toplam kalite yönetiminin müşteri memnuniyeti, çalışanların katılımı ve sürekli

iyileştirme olarak üç ana başlıkta yoğunlaşmaktadır. Müşteri memnuniyeti doğrudan işletmelerin rekabeti ile ilgilidir.

Kalitenin iyileştirilmesi ise, işletmeler için tek seferde uygulanan ve kapatılan bir göre değildir. Kalitenin iyileştirilmesi, müşterilerin istek ve ihtiyaçlarına göre üretim süreci boyunca kontrollü ilerlemesine ve ürünün müşteriye kusursuz bir şekilde teslim edilmesine, teslim sonrasında kullanım sürecine kadar devam etmektedir. İşletmelerde kullanılan kalite yöntemleri Tablo 3.5.'te görülmektedir.

Tablo 3.5. Kalite İyileştirme Yöntemleri (Çetin, C., Akın, B. ve Erol, V., 2001)

YÖNTEMLER		UYGULAMALAR
Beyin Fırtınası Yöntemleri	İlgi Diyagramı	Belirli bir konu hakkında birçok fikri ve düşünce görüşünü alma ve alınan görüşleri farklı gruplara ayırma yöntemidir.
	Nominal Grup Tekniği	Takım kararlaştırma yöntemidir.
	Kuvvet Alanı Analizi	Yapılacak değişikliklere destek olmayı veya karşı çıkmayı amaçlayan kuvvetleri tanımlayan yöntemdir.
Şematik Yöntemler	Akış Şeması	Varolan bir süreçten yeni bir süreç inşa etmek amacıyla kullanılan yöntemdir.
	Süreç Akış Diyagramı	
	Ağaç Diyagramı	Bir konu ve onu ilgilendiren elamanları arasındaki ilişkiyi gösterebilmek için kullanılan şemadır.
	Ok Diyagramı	Program değerlendirme ve gözden geçirme tekniği olarak bir çizelgeleme, planlama türüdür.
	Matris Diyagramı	İki boyutlu bir dizi satır ve sütundan meydana gelen yöntemdir.
Hataya İlişkin Yöntmler	Poke – Yoke	Hataların devamlılığını ve hatalı ürünün üretilmesini önlemeyi ve sürecin iyileştirmeyi amaçlayan yöntemdir.
	Hata Türleri ve Etkileri Analizi	Riskleri tahmin ederek hataları önlemeye yönelik bir analiz yöntemidir.
Tasarıma İlişkin Yöntemler	Altı Sigma	Hatayı en aza indirmeyi amaçlamaktadır.
	Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu	Ürünün performans farklılıklarını minimuma indirilerek hem üretim esnasında hem sonrasında oluşan maliyetini azaltmayı amaçlayan yöntemdir.
	Kalite Fonsiyon Göçerimi	Ürün ve hizmetlerin planlamasına ilişkin bir tasarım projesi veya metodolojisidir.
Diğer Yöntemler	Toplam Verimli Bakım	Kalite kontrolün, süreç denetiminde kullanılan bir yöntemdir.
	Tam Zamanında Üretim	İşletmedeki zaman ve kaynak kayıplarını önlemeyi ve ortadan kaldırmayı amaçlayan bir yöntemdir.
	Kıyaslama	Bir sürecin, bir ürünün tanınmış lider kuruluşların süreçleriyle veya ürünleriyle kıyaslanmasını esas alan yöntemdir.

3.4. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

Hata türü, prosesin ürünün amaçlanan fonksiyonunu sunmamasına veya sağlamamasına neden olabilecek durum olarak tanımlanır.

Hata türlerinin tam olarak belirlenmesi için, geçmiş problemlerden, kalite sapmaları, red veya hurda raporlarından, benzer prosesler ile kıyaslamadan, müşteri geri bildirimlerinden veya FMEA ekibinin beyin fırtınası yapması yollarından yararlanılır.

Hata nedeni, hata türünün oluşmasına neden olan belirtidir. Hata nedenleri açık olmalıdır. 4M (insan, makine/Ekipman, Malzeme, Ortam) hata nedenleri olarak belirtilmelidir.

Hata Analizi adımı hata yapısını odak maddesi hata türü ve bununla ilişkili hata etkileri ve potansiyel hata nedenleridir.

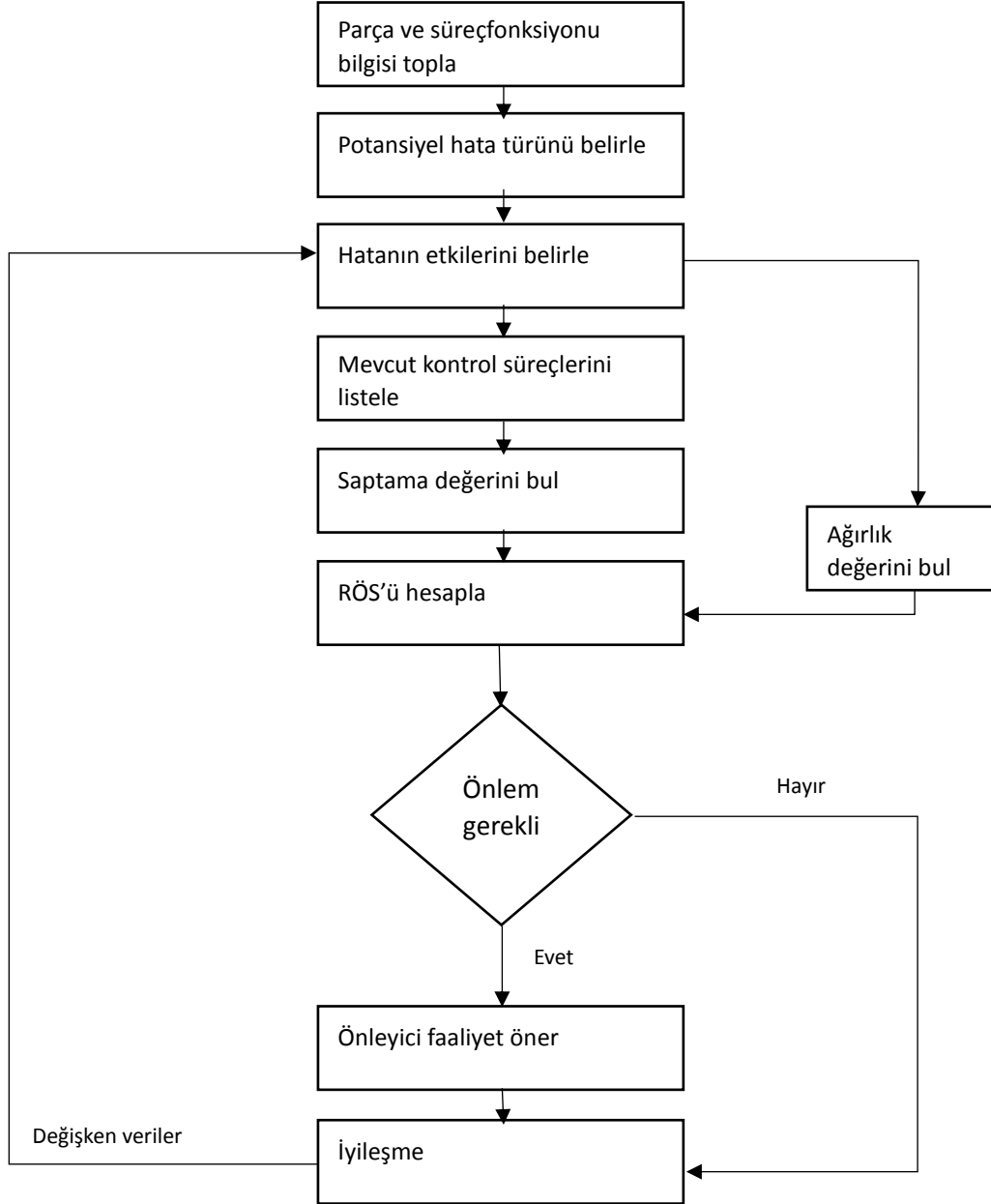
Hata türü ve etkileri analizinin yapılması gerektiği durumlar aşağıda gösterilmiştir.

- Yeni sistemler, ürünler, prosesler veya tasarımlar oluşturulurken,
- Varolan sistem değiştirilirken,
- Mevcut sistem için yeni uygulamalar tasarlanırken,
- Mevcut sistemin geliştirilmesi gerektiği düşünülürken.

FMEA çalışması, yeni sistem, tasarım veya hizmet varoldukça devamını sürdürmektedir. Bir tek sistem, tasarım veya hizmetin sonlandırılması veya sürdürülmemesi kararı alındığında son bulmaktadır.

Hata türü ve etkileri analizinin standart bir uygulama adımı bulunmamaktadır. Her firma kendi organizasyon şekline ve taleplerine göre uygulama adımları oluşturmakta ve bu süreci devam ettirmektedir.

FMEA'nın uygulama süreçlerindeki farklılıklara rağmen genel FMEA prosedürü Şekil 3.9.'daki gibi olmaktadır.



Şekil 3.9. FMEA süreci

Bir süreçte, üretim veya hizmetin hazır hale gelmesinden sonra veya üretim aşamasındaki proste, dikkat edilmesi gereken sürecin veya ürünün güvenilir bir şekilde ilerlemesini sağlamaktır. Güvenilirlik, müşteri memnuniyetini sağlamakta etkisi olan önemli bir etkidir. Müşteriler aldıkları ürünün kullanılabilirlik süresinin

uzun ve kusursuz bir kullanımı olmasını talep etmekte. Bu sebeple ürünün güvenilirliğini artırmak ve bunun devamlılığını sağlamak için atılması gereken ilk adım, oluşabilecek hataların türlerini ve bu hata türlerinin ürün veya süreçlere olan etkilerini belirleyebilecekleri bir risk analizinin yapılması ve kontrol altına alınmasıdır.

Hata türü ve etkileri analizinin amaçlarından biri de müşteri taleplerine ve varolan hükümlere uygun şekilde ürün ve üretim tasarımı yapmaktır. Ayrıca ürün ve üretim güvenilirliğinin artırılabilmesi sağlamaktır. Güvenilirliği üründeki talepleri karşılaması gereken özellikleri noksatsız ve kusursuz yerine getirmesidir. Hata türü ve etkileri analizi müşteri karşısında kalite, garanti ve iade maliyetlerini düşürmektedir. Minimum zamanda ürün ve üretim geliştirilerek, üretimin kusursuz başlayabilmesi, planlara ve programlara uyarak ilerleme, karlı üretim, firma içinde kazanılmış tecrübelerin artırılması, firma rekabet yeteneklerinin geliştirilmesi en temel amaçlar içerisinde (Ravi ve Prabhu, 2001).

FMEA'nın sisteme veya sürece sağladığı faydalar aşağıdaki gibi listelenebilir;

- Hizmet eya ürünün kalite düzeyini artırmaktadır.
- Firma süreçlerinde yaşadığı problemleri net bir şekilde görebilmekte ve önlem alabilmektedir.
- Müşteri memnuniyetini artırmaktadır.
- Firmaları sürekli geliştirme yönünde ilerlemesini sağlamaktadır.
- Hataya sebep olabilecek tüm süreçler belirlenerek önlem alınabildiğinden dolayı maliyette iyileşmeler olmaktadır.

FMEA çalışmaları aşağıda belirtile prensipler doğrultusunda gerçekleştirilir.

- Her üretim hattı için ayrı FMEA çalışması yapılır
- Her üretim hattının iş akışı doğrultusunda her proses değerlendirilir
- Gerektiğinde ürün grupları için değerlendirmeler ayrı ayrı belirtilir.

3.4.1. FMEA Çeşitleri

Günümüzde dört çeşit FMEA olduğu kabul edilmektedir.

- Sistem FMEA
- Tasarım FMEA
- Proses FMEA
- Servis FMEA' dır.

3.4.1.1. Sistem FMEA

Ürün/hizmet tasarımlarının ön süreçlerinde sistemi ve alt sislemlerinin analizi yapılarak, sistem eksiklerinden kaynaklanan sistem fonksiyonları arasındaki oluşabilecek hata türlerini belirlemeyi sağlayan yöntemdir. Sistem FMEA doğru bir şekilde analiz edilebilirse tespit edilen hata türleri ile güvenlik konularında da bilgi sahibi olunacak ve gerçekleşebilecek hataları minimuma indirilebilecek potansiyel tasarım çalışmalarının bir listesi, potansiyel hata türlerinin rös tarafından derecelendirilmiş bir listesi ve ayrıca zamanında hata türlerini tespit edebilecek sistem fonksiyonlarının bir listesi edilebilecektir (Çakmak, 2015).

3.4.1.2. Tasarım FMEA

Ürünlerin üretilmeden önce tasarımının planlanması aşamasındaki potansiyel hataları tespit etmek, ürün arızalarını tanımlamaya ve önlemeye odaklanan yöntemdir. Tasarım FMEA ürünün istenilen kalitede, güvenilir ve düşük maliyetle üretilmesine yardımcı olmaktadır.

3.4.1.3. Proses FMEA

Proses FMEA, üretim ya da montaj süreçlerinde oluşabilecek hata türlerini ortadan kaldırmak ve süreçlerin neden bu hatayı meydana getirdiğini incelemeyi amaçlayan yöntemdir. Ayrıca Proses FMEA yeni bir makina veya ekipman proseslerinin geliştirilmesinde yardımcı olmaktadır.

Proses FMEA aşağıda belirtilen durumlarda uygulanması zorunludur.

- Mevcut prosesleri analiz etmek,
- Yeni bir ürün/tesis, üretim hattı, proses devreye alındığında
- Mevcut ürün/tesis, üretim hattı, proseste değişiklik veya modernizasyon olduğun da FMEA uygulanması zorunludur.

3.4.1.4. Servis FMEA

Servis FMEA, sürecin başlangıcından tasarım ve planlama aşamalarından sonra üretim, kalite kontrol gibi sistemlerin devamlılığını sağlamak için sürecin en etkili şekle getirmeyi amaçlayan yöntemdir.

3.5. Bulanık Mantık

Bulanık kavramı, belirli bir sistem, mantık, küme gibi belirsizlikleri anlamlandırabilmek için kullanılmaktadır. Bulanık teosi kısaca kesinliği bulunmayan, öznel kararlara açık olan, sözel ifadelerin matematiksel bir modele çeviren sistem olarak niteliklendirilebilir (Tuş, 2006).

Bulanık mantık yöntemi sayesinde belirsiz gibi görünen sözel ifadeler matematiksel ifadelere dönüştürülebilmektedir (Ural, 2006). Bulanık mantığı diğer yöntemlerden ayıran özelliği ise; oldukça karmaşık, yeteri kadar bilgiye ulaşılamayan ve insana özel anlayış yeteklerine ihtiyaç duyulan hallerde oldukça kullanışlı oluşudur.

Zadeh tarafından bulanık mantığın genel özellikleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Özden, 2007).

- Bulanık mantıkta, kesin ifadeler dayanan fikirler yerine, yaklaşık fikirler kullanılmaktadır.
- Bulanık mantıkta her ifade $[0,1]$ aralığında belirli bir derece ile gösterilmektedir.

- Bulanık mantıkta bilgi çok, orta, düşük gibi sözel ifadeler şeklinde yapılmaktadır.
- Bulanık çıkarım işlemi sözel ifadeler arasında tanımlanan kurallarla yapılmaktadır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilmektedir.

Bulanık mantık matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için çok uygun bir yöntemdir.

Bulanık mantığın kullanım sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Okul, 2007).

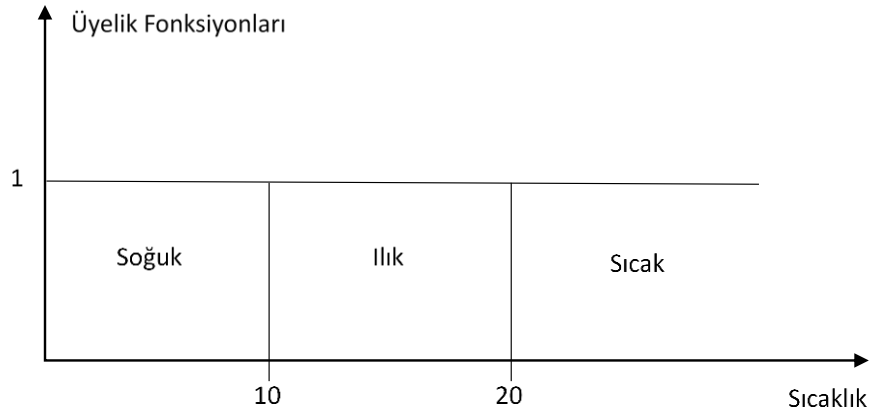
- Sistemin matematiksel bir modelinin yapılamaması gerekmektedir.
- Sistemlerin nonlineer olması, varolan bilgilerin noksan olması veya sistemin oldukça karmaşık olması gibi sebeplerden dolayı matematiksel modelin ifade edilememesi veya edilebilse dahi oldukça karmaşık olabilmesiyle klasik yöntemlerin uygulanmasından kaçınılması.
- Sistemin noksan datayla çalışması olasıdır, bu sebeple çalışmanın bir uzman görüşüne ihtiyacı duymaktadır.
- Sistem sonucunda uzun vadeli bir değişim istenmektedir, ani ve kesin değişimler istenmemektedir.
- Sistem değişebilen şartlar ve engelleyici etkiler altındada çalışmak zorundadır.
- Sistemin değişken olması ve değişen şartlar altında en az değişiklikle çalışabilmesi istenmektedir.
- Sonuçlar klasik kontrol yöntemleriyle bulunduğundan daha doğru veya daha doğrudan elde edilebilir.
- Bulanık çıkarım ekipmanları ve bulanık kontrollerin iyileştirilmesiyle kontrol algoritmalarını iyileştirme süresi ve maliyeti azaltılabilmektedir.
- Daha az kodlama ve daha az hafıza gereksiminden dolayı donanım maliyetleri düşer.

Bulanık mantık, bulanık küme teorisinden geliştirilen ve çoğu problemde varolan belirsizliği matematiksek olarak modelleyebilmek ve çözebilmek için yöntemler geliştirmektedir (Chin vd., 2008).

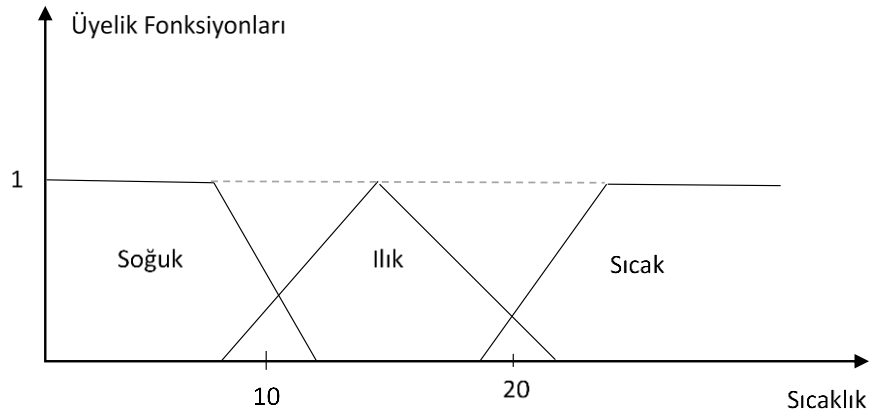
3.6. Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi; düşük, orta, yüksek, çok yüksek gibi sözel terimlerin kullanılarak verileri derecelendirerek anlamlandırılan ve bu şekilde olaylarda varolan belirsizliklerin anlamlandırılmasında daha gerçeğe yakın sonuçların bulunmasını sağlayan bir teoridir (Nabiyev, 2005). Sayısal değişkenlerin yerine dilsel değişkenlerin kullanılması, bulanık küme teorisini klasik teoriden ayıran en önemli özelliktir.

Teoriye göre varolan küme elemanı için kümenin elemanı olması, o elemanın tanımlanması için yeterli bir bilgi değildir. Bulanık küme teorisi için bilinen elemanın üyelik derecesi ve hangi kümeye ait olduğu durumunu bilmek gerekli bir durumdur. Bu durumu açıklamak gerekirse, bir yerleşim yeri için 10 derecenin altı soğuk, 10-20 derece aralığı ılık ve 20 derecenin üzeri sıcak olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma klasik küme yaklaşımı ile yapıldığında üyelik fonksiyonu Şekil 3.10.'daki gibi olmaktadır. Şekil detaylı incelendiğinde sıcaklık kümeleri arasında kesin geçişlerin olduğu fark edilmektedir. Örneğin 20 derece sıcak kabul edilirken 19 derece ılık kabul edilmektedir. Sınıflandırma Şekil 3.11.'de olduğu gibi bulanık küme mantığı ile yapılması halinde ise 9 derece hem soğuk hemde ılık, 11 derece hem ılık hem de soğuk, 19 derece hem ılık hem sıcak, 21 derece hem sıcak hemde ılık larak kabul edilmektedir (Yörükoğlu, 2014).



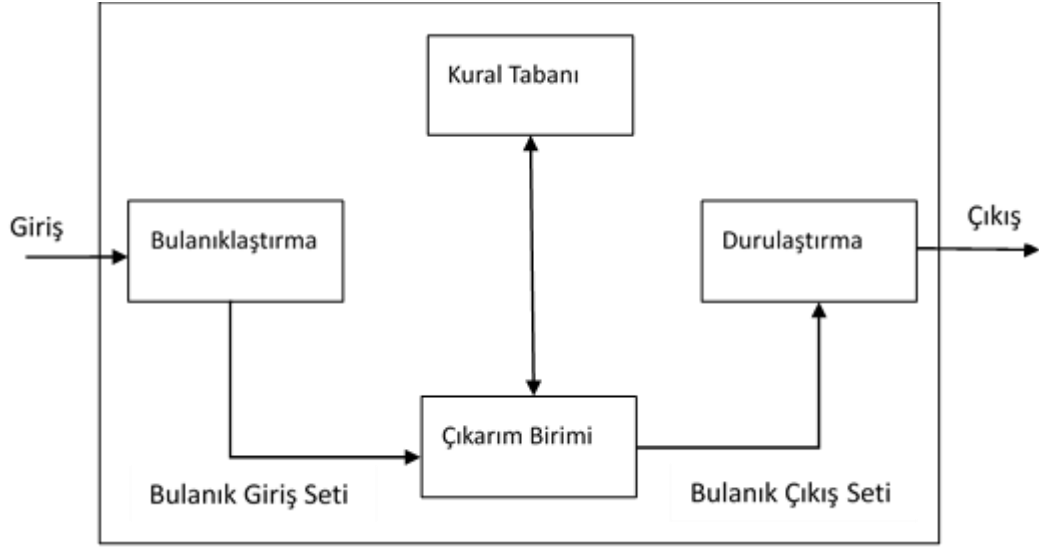
Şekil 3.10. Klasik kümelerin üyelik fonksiyonu (Yörükoğlu, 2014)



Şekil 3.11. Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonu (Yörükoğlu, 2014)

3.7. Bulanık Sistem

Bulanık kümelerin veya bulanık mantığın ve buna denk gelen matematiksel modellemeyi kullanan statik veya dinamik sistemler bulanık sistemler olarak ifade edilmektedir. Bulanık sistemler, çoklu sayıdaki girdileri kural tabanı yardımıyla işleyerek tek bir çıktıya dönüştürür. Bulanık bir süreç; bulanıklaştırma, kural işleme, durulaştırma ve çıkıştan oluşmaktadır. Bulanık sistemin genel yapısı Şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Bulanık mantık sistem yapısı (Eğrisöğüt Tiryaki ve Kazan, 2007)

3.7.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, üyelik işlemlerinde yararlanılarak giriş bilgilerinin bulunduğu bulanık kümeyi veya kümelerinin üyelik derecesini sonuçlandırıp, girilen sayısal değerlere düşük, çok düşük gibi sözel değişkenler tanımlama işlemidir. Bulanıklaştırma süreçlerinde aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmektedir.

- Giriş değişkenlerinin ölçüsü başka bir değişle, değişkenin alabileceği değer aralığı belirlenmektedir.
- Uzaya karşılık gelen ve giriş değişkenlerinin oranına dönüştüren performans ölçeklendirmesi yapılmaktadır.
- Belirlenen üyelik fonksiyonlarıyla giriş verileri ölçek değişikliğine başka bir değişle, uygun sözel değişkenlere dönüştürülür ve diğer adımlara iletmek üzere bulanık veriler hazırlanır.

3.7.2. Kural tabanı

Sistemin girişiyle çıkışı arasındaki bağlantıyı açıklayan ve karar vermede kullanılan çok fazla kural ve sistem değişkenleri bulunmaktadır. Sistemlerin modellenmesinde 5 farklı bulanık kural tabanlı yöntem bulunmaktadır. İlk yöntem bulanık modellerde

girişlerin ve çıkışların koşulları sayısal değer olarak verilmektedir. İkinci yöntem giriş koşulları kesin kümelerde verilmektedir. Çıkış koşulları sayısal değerler olarak verilir. Üçüncü yöntem olarak giriş koşulları kesin kümede tanımlanmış olup çıkışta bulanık bağları kümede verilmektedir, çıkışlarda doğrusal olmayan net işlemler tarafından verilmektedir. En çok tercih edilen beşinci yöntemse hem giriş hemde çıkış koşullarını bulanık kümelerde tanımlar (Elmas, 2003). Ayrıca, bulanık kural tabanı oluşturulurken aşağıdaki özelliklerde dikkate alınmalıdır (Sağlam, 2007).

- Kurallar, eksiksiz olmalı ve olası koşullar unutulmamalıdır.
- Kurallar, dengeli olmalıdır, çelişkili sonuçlar olmamalıdır.
- Kurallar, tam olmalıdır.

3.7.3. Çıkarım

Bulanık çıkarım, bulanık kurallar üzerine bulanık mantık uygulanarak bulunan ifadelerdir. Sözel ifadelerin birbirleri arasında tanımlanan kurallar ile gerçekleştirilir. Çıkarımın bu aşamasında karar verme mantığı ve bilgi tabanı kullanılmaktadır. Minimum ilişki yöntemiyle bulunan çıkarımlar “ve” bağlacı kullanılarak incelenmelidir. Bulanık mantıkta “veya” bağlacı maksimum işlemi ifade etmektedir. Başlangıçta girişler arasında minimum işlemi uygulanmalı ve her bir kuralın çıkış üzerindeki etkisi bulunmalıdır. Sonrasında çıkışlar üzerinde maksimum işlemi uygulanarak bulanık sonuç elde edilmektedir. Eğer kurallar arasında aynı sonucu veren kurallar varsa bu kurallardan en büyüğü seçilmeli ve diğer kurallar gözardı edilmelidir (Çakmak, 2015). Literatürde Mamdani, Takagi ve Sugeno çıkarımları çoğunlukla tercih edilecek çıkarım yöntemlerindedir.

3.7.4. Durulaştırma

Çıkarım biriminde bulunan bulanık dataların, varolan sistemde kullanılabilmesi için doğru veya net değerlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Bulanık değerlerin doğru değerlere dönüştürülmesi işlemi, durulaştırma olarak ifade edilmektedir (Eğrisöğüt Tirkay & Kazan, 2007). Bulanık sistemlerin üyelik fonksiyonlarıyla oluşturulan kural

cümlelerinin şartları, durulaştırmayla tek bir ifade şeklinde bulunmaktadır. Durulaştırma işlemi, bulanık çıkarım sisteminin son adımını oluşturmaktadır. Durulama yöntemlerinde genellikle dört ana özellik bulunmaktadır. Bu özellikler aşağıdaki gibidir (Bodur, 2012).

- Durulama işlemi her zaman sayısal bir değer bulmaktadır.
- Üyelik fonksiyonu durulanan değerleri tespit eder.
- İki üçgen bulanık sayının işleme alınarak durulanmasıyla bulunan değer her zaman bireysel olarak durulanıp işleme alınmasıyla bulunan değerlerin arasında yer almaktadır.
- Pürüz bir durumda, durulanmış değer sınırlı bölgeye denk getirilmektedir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Firmadaki Kalite Kusurlarının Risk Durumlarının Tespit Edilmesi

Firmada, 3 kalite uzmanı, 1 planlama uzmanı, 1 üretim uzmanı ve 1 satış planlama uzmanından oluşan FMEA ekipleriyle birlikte yapılan beyin fırtınası ve geçmişe yönelik veri arşivinden kusurlu üretimler, etkileri ve müşteri görüşleri belirtilen adımlar sayesinde tespit edilmiştir. Müşteri geri dönüşleri ve kalite ekiplerinde görüşlerinden faydalanılarak derecelendirme işlemi hata türü ve etkileri analizi metoduyla gerçekleştirilmiş, sonuçlar Tablo 4.1.' de gösterilmiştir.

Hata türü ve etkileri analizi yönteminde uygulamada kullanılacak olan Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Saptanabilirlik (S) değerleri belirlenerek ve Risk Öncelik Sayıları (RÖS) hesaplanmıştır. Olasılık, Şiddet ve Saptanabilirlik girişlerinin ve risk öncelik sayılarının FMEA daki önceliklendirilmesi yapılmıştır.

Tablo 4.1. Mevcut Risk Durumlarının FMEA Yöntemi ile Belirlenmesi

FİRMADAKİ KALİTE KUSURLARINA GÖRE RİSK SEVİYESİNİN TESPİTİ							
N	Kusur	Olası etki (risk)	Mevcut durum	Riskin derecelendirilmesi			
				O	Ş	S	RÖS
1	Kalınlık Farkı (Haddelenen sacın belirli bölgelerinde farklı sebeplerle aynı oranda haddelenmemesi)	Ayıklama yapılamayan bölgelerde olan kalınlık farkından dolayı ürünün A5 (kusurlu ürün) kaliteye ayrılması	Mekanik olarak ezme oranlarındaki reçete geçişleri arasında manuel müdahale edilememektedir.	6	7	4	168
2	Düşük Tonaj (Müşteri siparişlerinin min-max spec aralığı dışında tonaj bölünmesi)	Müşteri düşük tonajı kabul etmediği takdirde ürünün tekrar üretilmesi gerekebilir.	TCM'de oluşan proses kaynaklı sorunlarda bıçakların tonaj ayarı bozulabiliyor.	4	7	4	112
3	Hadde Yarası (Sacların haddelenme aşamasında 2 merdane arasında oluşan izler)	Ayıklama yapılamayan bölgelerde olan izlerden dolayı ürünün A5 (kusurlu ürün) kaliteye ayrılması	Yoğun üretim yapıldığında aksatılan merdane bakımlarında meydana gelebiliyor.	5	5	5	125

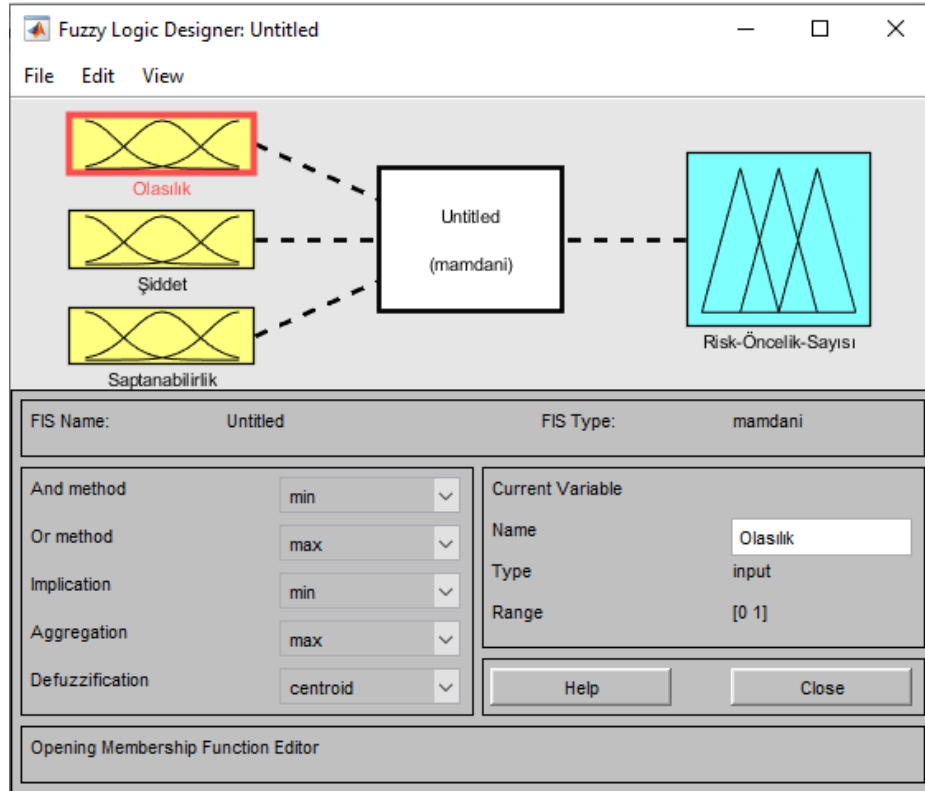
Tablo 4.1. (Devamı)

4	Merdane İzi (Üretim planlarında sacların genişliklerinin kurala uygun şekilde verilmediğinde oluşan izler)	Oluşan geçiş izlerinden kenar kesme yapılması ve müşteri genişlik speği dışına çıkması	Değişken hammadde genişliklerinden kaynaklanan üretim planlarındaki uyumsuzluklardan dolayı olabiliyor.	5	5	6	150
5	Kenar Hatası (Müşteri talebine göre siparişin kenarlarının kesilerek düzeltilmesi)	Müşteri genişlik speği dışında kalması	Prosess kaynaklı kenar kesme ayarlarının zamanında yapılamamasından veya üretim planlama yanlışlıklarından kaynaklanabiliyor.	4	8	3	96
6	Teleskop (Üretim esnasında sarıcı merdanelerde bobinlerin düzgün sarılmaması)	TPM hattında rework yapılarak ikinci işleme girmesi	Yoğun üretim yapıldığında aksatılan merdane bakımlarında meydana gelebiliyor.	5	4	2	40

4.2. Firmadaki Kalite Kusurlarının Bulanık FMEA ile Değerlendirilmesi

Bulanık FMEA analizi ile demir-çelik firmasındaki üretim süreçlerinde yaşanan kalite kusurları FMEA yöntemi ile tespit edilmiş olup RÖS değerleri hesaplanmıştır. Yapılan FMEA sonucundan sonra riskler için bulanık mantık analiz yöntemi uyularak sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada istenilen amaç doğrultusunda, öncelikle üretim sürecindeki riskler için hata türü ve etkileri analizi yöntemiyle bulunan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik durumları bulanık mantık sisteminde giriş olarak kullanılmış ve üyelik fonksiyonlarını oluşturmuştur. Ardından RÖS değerleri ile çıkış fonksiyonu oluşturularak kural tabanları tanımlanmıştır.

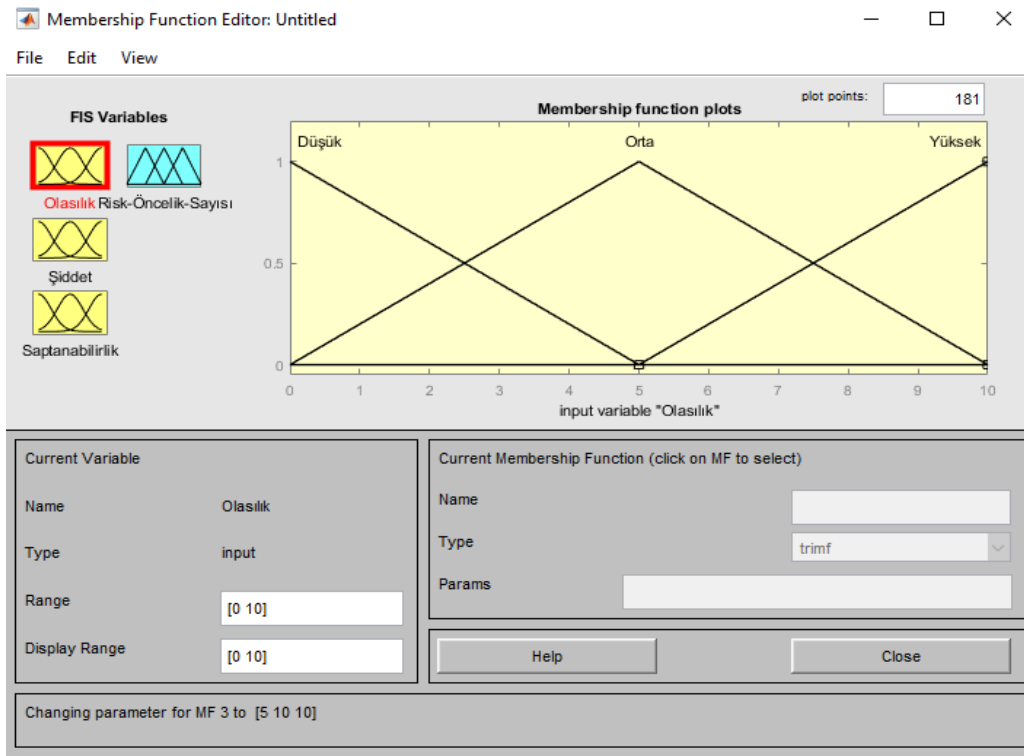
FMEA yöntemiyle belirlenen giriş ve çıkışlar MATLAB programında Mamdani bulanık çıkarımı kullanılarak tanımlanmıştır. Şekil 4.1.'de giriş ve çıkışlar gösterilmiştir.



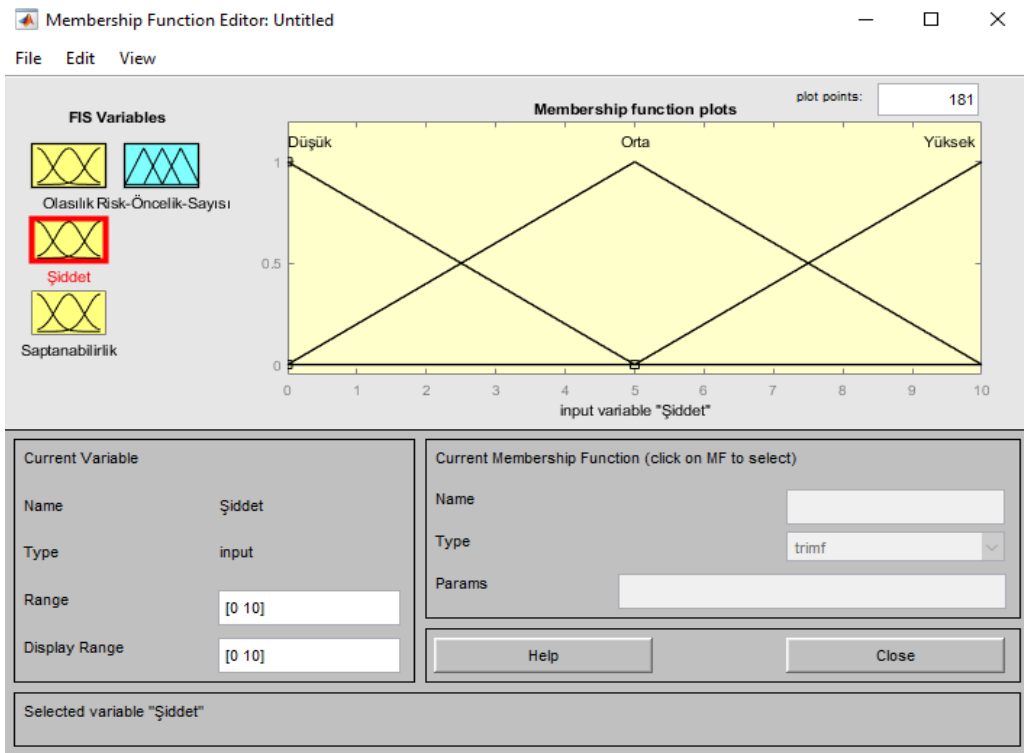
Şekil 4.1. Bulanık Modellemede Giriş ve Çıktılar

Durulaştırma için ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır. Ağırlık merkezi, bulanık mantık kontrol uygulamaları için en fazla kullanılan yöntemdir.

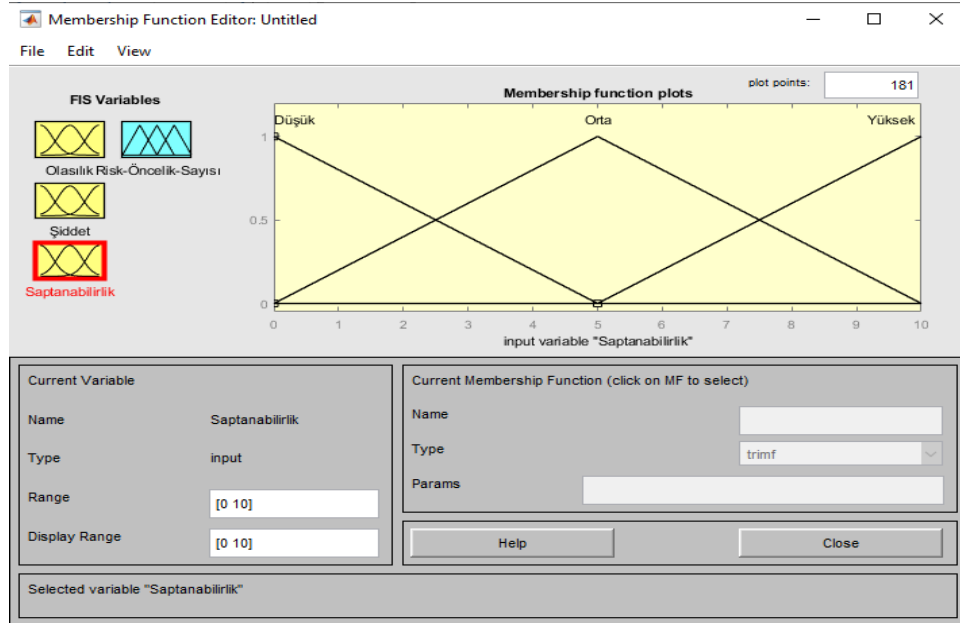
Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik girişleri için üyelik fonksiyonları tespit edilmiştir. Üyelik fonksiyonu için onlu skala kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonlarının giriş değerleri için trimf fonksiyonu kullanılmıştır. Girdi üyelik fonksiyonları Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Olasılık üyelik fonksiyonu

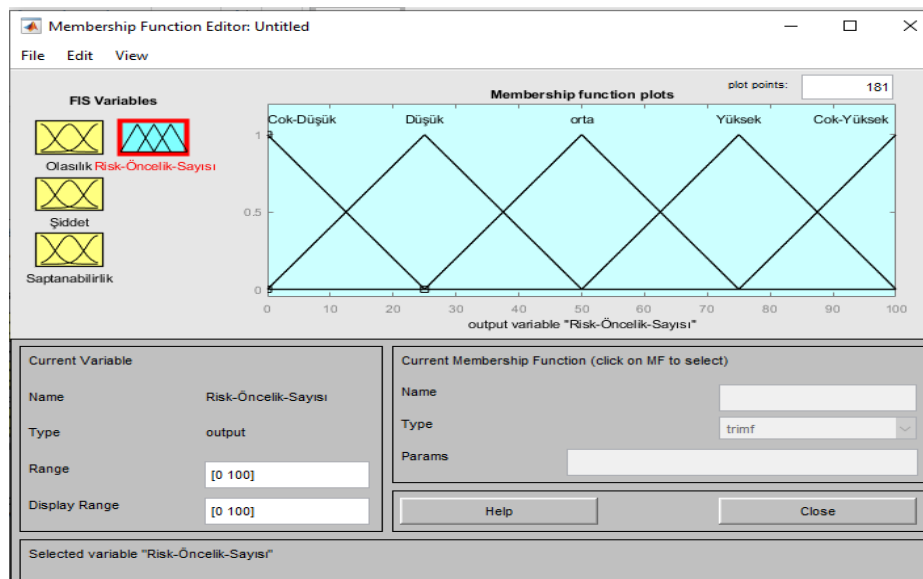


Şekil 4.3. Şiddet üyelik fonksiyonu



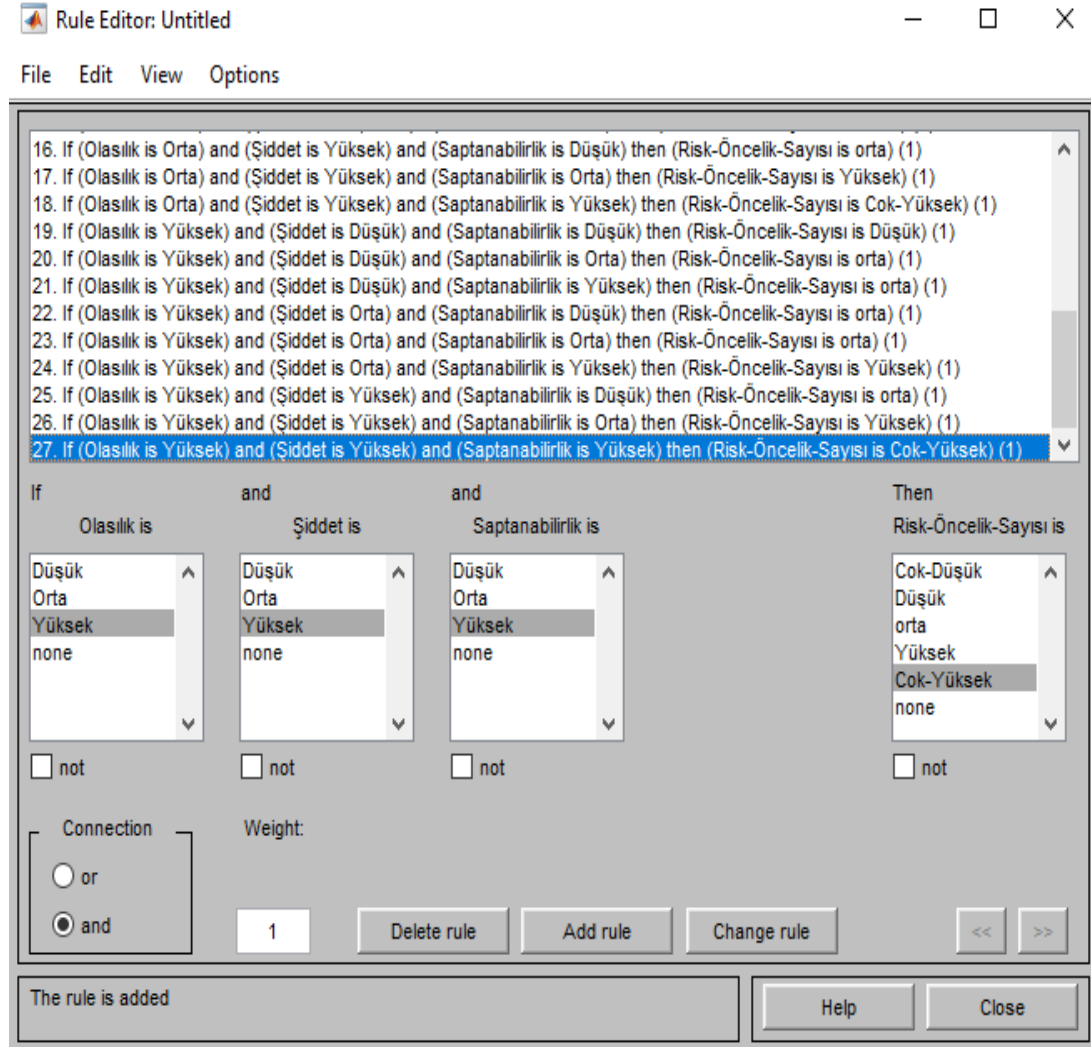
Şekil 4.4. Saptanabilirlik üyelik fonksiyonu

Risk öncelik sayısı çıkışı için, kurulan fmea ekiplerinin görüşleri ve geçmiş verilere dayanarak risk durumu için beş durum belirlenmiştir. Bu durumlar sırasıyla Çok Düşük, Düşük, Orta, Yüksek ve Çok Yüksek'tir. Fonksiyon aralık değeriye onlu skalaya göre yapılmıştır. Şekil 4.5.'te risk öncelik sayısı üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Risk öncelik sayısı üyelik fonksiyonu

Firmadaki üretim süreçleri için bulunan hataların risk durumları bulanık mantık ile çözülmesi için kural tabanı yine FMEA ekibindeki uzmanlarca ve geçmiş verilere dayanarak belirlenmiştir. Şekil 4.6.’da kural tabanı gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kural Tabanı

Kurallar “ve” bağlacıyla tanımlanmış, ağırlık oranı “1” olarak alınmıştır.

Tablo 4.2.’de sistem için oluşturulan kural tabanı gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Kural Tabanı

1	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Düşük) (1)
2	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Düşük) (1)
3	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Düşük) (1)
4	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Düşük) (1)
5	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
6	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Yüksek) (1)
7	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
8	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Yüksek) (1)
9	If (Olasılık is Düşük) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Yüksek) (1)
10	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Düşük) (1)
11	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Düşük) (1)
12	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
13	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
14	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
15	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Yüksek) (1)
16	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
17	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Yüksek) (1)
18	If (Olasılık is Orta) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Yüksek) (1)
19	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Düşük) (1)
20	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
21	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Düşük) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
22	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
23	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
24	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Orta) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Yüksek) (1)
25	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Düşük) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Orta) (1)
26	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Orta) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Yüksek) (1)
27	If (Olasılık is Yüksek) and (Şiddet is Yüksek) and (Saptanabilirlik is Yüksek) then (Risk-Öncelik-Sayısı is Çok Yüksek) (1)

Giriş, çıkış fonksiyonlarının belirlenmesi ve kural tabanının oluşturulmasının ardından kural tabanına göre bulunan bulanık risk öncelik sayıları teker teker hesaplanmıştır. Şekil 4.7.'de kural tabanına göre oluşturulan bulanık risk öncelik sayıları gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik için risk öncelik sayıları örneği

Firmada FMEA ekipleri tarafından ve geçmiş verilerden yararlanılarak belirlenen 54 hatalı üretim riski belirlenmiştir. Her bir hata klasik FMEA ve bulanık FMEA yöntemleriyle risk öncelik sayıları hesaplanmıştır. Klasik FMEA ile hesaplanan risk öncelik sayıları Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Risk Öncelik Sayıları

FİRMADAKİ KALİTE KUSURLARINA GÖRE RİSK SEVİYESİNİN TESPİTİ					
N O	KUSUR	RİSKİN DERECELENDİRİLMESİ			
		O	Ş	S	RÖS
1	Kalınlık Farkı	6	7	4	168
2	Düşük Tonaj	4	7	4	112
3	Hadde Yarası	5	5	5	125
4	Merdane İzi	5	5	6	150
5	Kenar Hatası	4	8	3	96
6	Teleskop	5	4	2	40
7	Asit Yanığı	4	7	8	224
8	Bakır Toplanması	3	6	8	144
9	Batık	6	6	5	180
10	Çentik	5	6	5	150
11	Çizik	6	6	7	252
12	Düşük Akma Değeri	5	6	6	180
13	Geniş Ürün	4	8	9	288
14	Göbek Çökmesi	5	9	10	450
15	Göbek Kırığı	5	7	7	245
16	Haddesiz Kısım	5	6	7	210
17	Hasarlanma	4	7	8	224
18	Kabuk	3	7	7	147
19	Kaynak	4	5	8	160
20	Kenar Akma İzi	4	8	8	256
21	Kenar Dalgası	5	9	9	405
22	Kırıksıklık	6	8	9	432
23	Konvektör Yapışması	3	6	6	108
24	Leveling İzi	4	5	5	100
25	Mekanik Değer	3	6	7	126
26	Muhtelif Kalınlık	4	8	9	288
27	Pas	2	10	10	200
28	Pullanma	2	8	9	144
29	Ridge	4	6	6	144
30	Sargı Şişmesi	6	6	7	252
31	Solüsyon Lekesi	5	8	9	360
32	Su Lekesi	5	7	7	245
33	Sürtünme İzi	6	8	9	432
34	Toka İzi	6	8	8	384
35	Yüksek Tonaj	7	7	10	490
36	Trapaj	5	5	5	125
37	Tufal	2	9	9	162
38	Vinç Vuruğu	1	10	10	100
39	Düşük Yağlama	6	7	7	294
40	Yapışma İzi	2	9	9	162
41	Yırtık	1	10	9	90
42	Boya Açılması	2	9	9	162
43	Boya Kabarması	2	8	9	144
44	Dalga	3	8	8	192
45	Delik	1	10	10	100
46	Galvaniz Dökülmesi	1	10	10	100
47	Isı Buklesi	5	4	7	140
48	İç Çap Hatası	1	7	7	49
49	Pasivasyon Lekesi	4	7	7	196
50	Skinpass Kırılma İzi	5	8	8	320
51	SPM'siz Kısım	4	8	6	192
52	Uygunsuz Yüzey Kalitesi	3	8	8	192
53	Yağ Lekesi	5	8	9	360
54	Solüsyon Şişmesi	2	7	7	98

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Firmada üretim süreçlerindeki hata risklerinin risk öncelik sayılarının hesaplanmasından sonra klasik FMEA ile bulanık FMEA karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda klasik FMEA ve bulanık FMEA sıralamalarında değişiklikler olduğu görülmüştür. FMEA ekibindeki uzmanların görüşleri neticesinde bulanık FMEA ile elde edilen sıralamaların önem derecesinin daha doğru olduğu tespit edilmiştir. Firmadaki 54 hata durumu için karşılaştırma sonuçları Tablo 5.1.'deki gibidir.

Tablo 5.1. Klasik FMEA ve Bulanık FMEA RÖS Karşılaştırması

KLASİK FMEA VE BULANIK FMEA KARŞILAŞTIRMASI					
N O	KUSUR	Klasik FMEA		Bulanık FMEA	
		RÖS	Sıralama	RÖS	Sıralama
1	Kalınlık Farkı	168	28	60,5	42
2	Düşük Tonaj	112	44	54,1	51
3	Hadde Yarası	125	42	50	52
4	Merdane İzi	150	33	56	48
5	Kenar Hatası	96	51	57,6	44
6	Teleskop	40	54	42,3	54
7	Asit Yanığı	224	18	66,7	26
8	Bakır Toplanması	144	36	65,2	29
9	Batık	180	26	56	47
10	Çentik	150	34	56	49
11	Çizik	252	14	61,2	38
12	Düşük Akma Değeri	180	27	56,9	45
13	Geniş Ürün	288	11	72	17
14	Göbek Çökmesi	450	2	84	5
15	Göbek Kırığı	245	16	62,9	32
16	Haddesiz Kısım	210	20	61,2	40
17	Hasarlanma	224	19	66,7	27
18	Kabuk	147	35	62,9	35

Tablo 5.1.(Devamı)

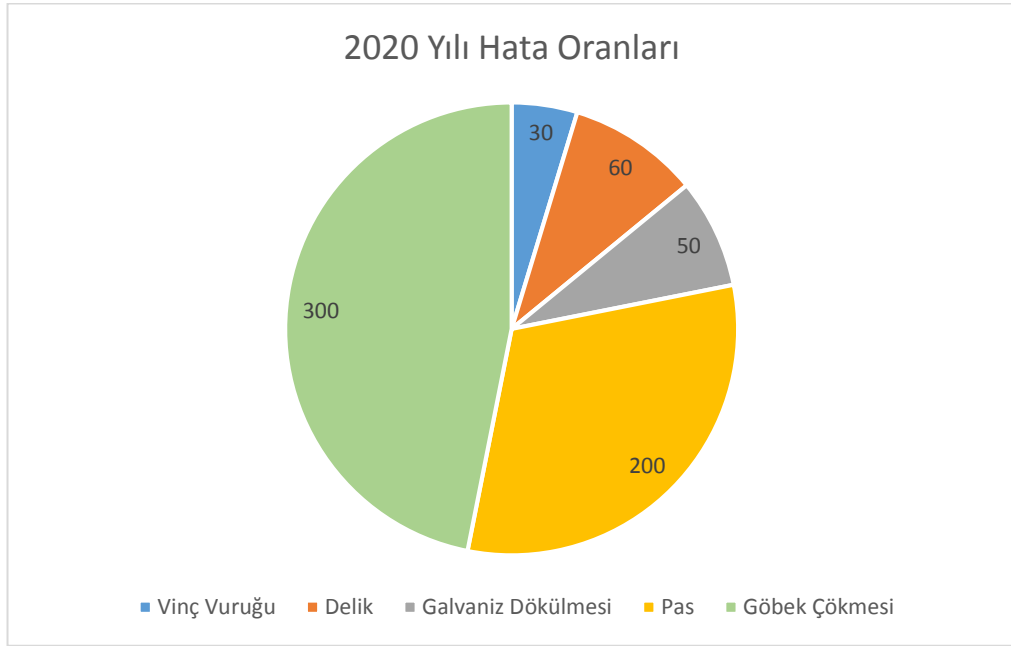
19	Kaynak	160	32	64,5	30
20	Kenar Akma İzi	256	13	67,6	23
21	Kenar Dalgası	405	5	74,2	8
22	Kırışıklık	432	3	72	13
23	Konvektör Yapışması	108	45	57,7	43
24	Leveling İzi	100	46	50	53
25	Mekanik Değer	126	41	61,2	41
26	Muhtelif Kalınlık	288	12	72	18
27	Pas	200	21	91	4
28	Pullanma	144	37	72	19
29	Ridge	144	38	56,9	46
30	Sargı Şişmesi	252	15	61,2	39
31	Solüsyon Lekesi	360	7	72	15
32	Su Lekesi	245	17	62,9	33
33	Sürtünme İzi	432	4	72	14
34	Toka İzi	384	6	67,6	21
35	Yüksek Tonaj	490	1	77,1	7
36	Trapaj	125	43	50	52
37	Tufal	162	29	72,5	9
38	Vinç Vuruğu	100	47	91,7	1
39	Düşük Yağlama	294	10	62,9	31
40	Yapışma İzi	162	30	72,5	10
41	Yırtık	90	52	84	6
42	Boya Açılması	162	31	72,5	11
43	Boya Kabarması	144	39	72	20
44	Dalga	192	23	67,6	24
45	Delik	100	48	91,7	2
46	Galvaniz Dökülmesi	100	49	91,7	3
47	Isı Buklesi	140	40	54,2	50
48	İç Çap Hatası	49	53	62,9	37
49	Pasivasyon Lekesi	196	22	62,9	34
50	Skinpass Kırılma İzi	320	9	67,6	22
51	SPM'siz Kısım	192	24	65,2	28
52	Uygunsuz Yüzey Kalitesi	192	25	67,6	25
53	Yağ Lekesi	360	8	72	16
54	Solüsyon Şişmesi	98	50	62,9	36

Yapılan karşılaşma neticesinde firmada üretim sürecinde yaşanabilecek hata risklerinin önem riskine göre sıralandırılmış olup, en riskli 5 maddede hataları önleyebilmek için aksiyonlar alınmıştır. Hataları önlemek amacıyla Kalite departmanı

tarafından aksiyon ekipleri kurulmuş ve üretim hatalarını en aza indirgeyebilmek için önlemler alınmaya başlanmıştır. İlgili riskler için haftalık 8D planları hazırlanmış ve görev paylaşımı yapılarak hızlı bir şekilde aksiyonlar alınmıştır.

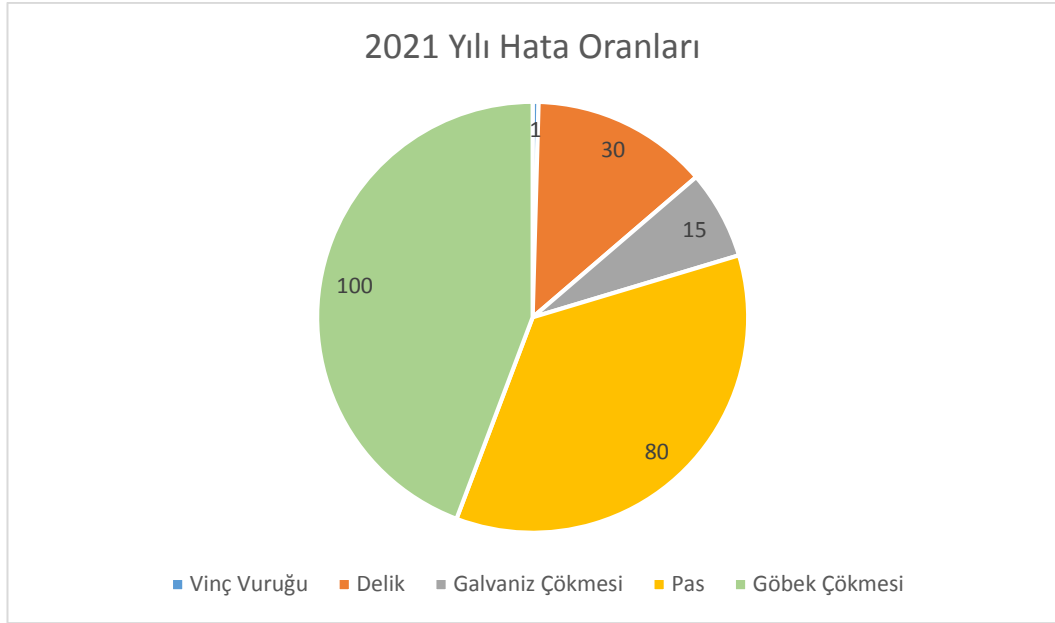
Geçmiş veriler incelendiğinde 2020 yılında toplamda 207 olumsuz müşteri geri dönüşü olmuş iken alınan aksiyonlar neticesinde 2021 yılında 110 olumsuz müşteri geri dönüşü alınmıştır. Yapılan FMEA çalışması sayesinde firmada 1 yılda %47 oranında bir iyileştirme elde edilmiştir.

Ayrıca bulanık FMEA analizi sonucunda tespit edilen öncelikli risklerinin 2020 yılında tekrarlanma sıklıkları Şekil 5.1.'deki gibidir.



Şekil 5.1. 2020 yılı hata oranları

Bulanık FMEA analizi sonucunda tespit edilen öncelikli risklerinin 2021 yılında tekrarlanma sıklıkları Şekil 5.1.'deki gibidir.



Şekil 5.2. 2021 yılı hata oranları

Yapılan çalışma neticesinde hem üretim süreçlerinde %47 oranında bir iyileştirme olmuş hemde hata oranlarında hata oluşmadan önlemler alınabildiği için azalma olmuştur.

KAYNAKLAR

- Akdağ M. (2005). Total Quality Management and Its Place in the Orgabization, Selçuk İletişim, 4(1), 159-170.
- Atalay, E. B. (2019). Bulanık Mantık ve Gri Teori Esaslı HTEA ile Kablo Sektöründe Hata Önceliklendirme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bayraktaroğlu, Z. (2018). 3T Risk Değerlendirmesi, Fine Kinney, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Risk Analiz Yöntemlerinin Bir Üst Yapı Şantiyesinde Değerlendirilmesi. İstanbul Yeniüzyıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bilici, S., & Kosanoğlu, F. (2020). Değer Akış Haritalama ve FMEA Yöntemleri Kullanılarak Tekstil Sektöründe Yalın Üretim Uygulaması. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 33(1), 131-142.
- Bry D., M. And Taguchi S. (1986). The Taguchi Approach to Parameter Desing, ASQC Quality Congress Transactions, Anaheim, CA, 168.
- Bodur, K. (2012). Bulanık Mantık Yaklaşımı ile Deprem Konumlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilimdalı, Trabzon.
- Budak G. (1997). TKY’de İnsan Kaynakları Planlaması. CBÜ İİBF Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 3(1).
- Chin, K. S., Chan, A. ve Yang, J. B. (2008) “Development of a Fuzzy FMEA Based Product Design System”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, c. 36, s. 7-8, ss. 633–649.
- Çakmak, M. (2015). Demir-çelik sektöründe bulanık hata türleri ve etkileri analizi (BULANIK FMEA) yöntemi ile risk değerlendirme uygulaması, Yüksek Lisans tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilimdalı.
- Çetin C., Akın B. Ve Erol V. (2001). Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Güvence Sistemi (ISO 9000-2000 Reviyonu) İke, Süreç, Uygulama (2. Basım), Beta Basım, İstanbul.
- Dayan, T. A., & Fırlalı, A. (2018). Hata Türü Etkileri Analizi Ve Kalite Araçları Kullanılarak Bakır Profil Üretim Verimliliğinin Artırılması. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 67-76.

- Durmuş, H., Yurtsever, Ö., & Yalçın, B. (2021). Bir Çay Fabrikasında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(2), 287-298.
- Eğrisöğüt Tiryaki, A. ve Kazan, R. (2007). Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48 (565).
- Elmas, Ç. (2003). Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık). Ankara: Seçkin Yayıncılık San. Ve Tic. A.Ş., 24-125.
- Erdil A. , Ekerim A. (2018). Üretim ve Hizmet Sektöründe Kalite Değerlendirilmesine Genel Bakış: Üretim Sektöründe Hata Türleri ve Etkileri Analiz Uygulaması. *PressAcademia Procedia*. 7(1): 170-175.
- Eren, E. R., & Pamuk, O. (2020). Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin Konfeksiyon Sektöründe Uygulanması. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(3), 1533-1546.
- Geum Y., Cho Y., Park Y. (2011). A Systematic Approach For Diagnosing Service Failure: Service – Specific FMEA and Grey Relational Analysis Approach, *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 3125-3142.
- Güngör, A. Mobilya Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmenin EFQM Mükemmellik Modeli Uygulamasında FMEA Yöntemiyle Risk Analizi. *Ağaç ve Orman*, 2(1), 1-6.
- Güven, N. (2019). Talaşlı İmalat Sektöründe Risk Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ishikawa K. (1995). *Toplam Kalite Kontrol*, İstanbul, KalDer Yayınları
- Karadal, N., & Gülden, O. V. A. Sosis ve Salam Üretimindeki Ön Proses İşlemlerinde Gıda Güvenliği Risklerinin Farklı Metotlarla Belirlenmesi. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 84-102.
- Karadayı, Burkay, Kuvvetli. (2015) Şeker Üretimi Yapan Bir Firma İçin Risk Analizi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası X. Endüstri-İşletme Mühendisliği Kurultayı / İstanbul.
- Kaya, S. Ş., & Alaykırın, K. (2019). Hata türü ve etkileri analizi ve döküm sektöründe bir uygulama. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 76-89.
- Keçeci, Ş. (2019). Hata Türü Etkileri Analizi Yöntemi ile Bir Asansör Yapıya Tesis Edilmesinde Risk Analizi Çalışması. *Mesleki Bilimler Dergisi (MBD)*, 8(2), 78-91.
- Kovancı, A. (2001). *Toplam Kalite Yönetimi Fakar Nasıl? (1. Basım)*, Sistem Yayıncılık, İstanbul.
- Nabiyev, V. (2005) *Yapay Zeka, Problemler-Yöntemler-Algoritma (2. Basım)*, Seçkin Kitabevi: Ankara.

- Okul, D. (2007). “Analitik ağ süreci ve bulanık mantık kullanımıyla kalite fonksiyon yayılımının mobilya sektöründe uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 70,71.
- Oral, T., & Bayhun, S. Gıda Paketleme Makinelerinin Kullanım Risklerinin HRNS Metodu ve FMEA Yöntemi İle Karşılaştırılması. Black Sea Journal of Engineering and Science, 5-6.
- Özakın, B. Sac Malzeme Üretiminde Hata Türleri ve Etkileri Analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (28), 1204-1209.
- Özden, S. (2007) “Bir elektrikli asansör sisteminin bulanık mantık tekniği ile denetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 28-31.
- Poyraz, P. (2021). Tedarik Zinciri Risk Yönetiminde Süreç Aşamalı Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Hata Analizi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ravi S. N., ve Prabhu, B. S. (2001). Modified Approach for Prioritization of Failures in A System Failure Mode and Effects Analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, 18(3), 324-336.
- Sağbaş, A., & Kahraman, B. Hata Türü Etkileri Analizi İle Elektrikli Ev Aletleri Üretiminde Süreç Verimliliğinin Geliştirilmesi. European Journal of Engineering and Applied Sciences, 3(2), 1-7.
- Sağlam, G. (2007) Hiyerarik Bulanık Mantık PID Kontrolörleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Savaş, A. F., & Kocabaş, C. (2019). Endüstriyel Kazanlarda Yanma Veriminin Süreç Geliştirme Teknikleri Kullanılarak İyileştirilmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 357-368.
- Selimoğlu, S. K., Yeşilçelebi, G., & Altunel, M. (2021). İç Denetim Süreçlerini İyileştirme ve Risk Yönetimi Araçları: Yalın Altı Sigma ve FMEA. Muhasebe ve Finansman Dergisi, 201-218.
- Shafiee M., ve Dinmohammadi F. (2014). An FMEA – Based Risk Assessment Approach for Wind Turbine Systems: A Comparative Study of Onshore and Offshore. Energies, 7(2), 619-642.
- Sivri, Hilal. (2017). Orta ölçekli bir işletmede, toz ve kimyasal maruziyetinin belirlenmesi ve risk değerlendirmesi yapılması. MS thesis. Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Sönmez, Y. (2017). Otomotiv Sektöründeki Ürün veya Proseslere Ait Hatalar Üzerinde FMEA Uygulamaları. Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, üretim Yönetimi ve Pazarlama Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- Şimşir, F., Demir, H. İ., & Azdemir, S. (2018). Demir Çelik Sektöründe Hibrid Dematel ve Topsis-Elektre Yöntemleri ile Hata Türleri ve Etkileri Analizi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6(3), 22-34.
- Şişman, B. (2017). Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık Ahp ve Bulanık Vıkor Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirmesi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9(18), 234-250.
- Taşeli, A. Köksal, G. (2004). Yeniden İşleme ve Muayene Hatasının Kalite Kaybı Üzerindeki Etkileri. *Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 14. Ulusal Kongresi*, Adana, 1-3.
- Tok Ünlü, E. (2019). Risk Değerlendirmesinde FMEA Yöntemine Bulanık Mantık Yaklaşımı: Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarları Uygulaması. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Turan, M. (2018). Transformator Üreten Bir Firmada Bulanık FMEA ile Risk Analizi Uygulaması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Uçum, M. (2020). CNC ve Freze Tezgahlarında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleriyle Risk Analiz Uygulamaları ve Karşılaştırılması. İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ulu, M., & Şahin, H. (2020). Hata türü ve etkileri analizi tekniği ile bir mühendislik fakültesinde risk değerlendirme. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 16(2), 63-76.
- Uslu, T. (2020). Savunma ve Havacılık Sanayisi İçin Çok Kriterli Karar Verme Temelli Yeni Bir Proses Tipi Hata Türü ve Etkileri Analizi Yaklaşımının Geliştirilmesi. Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Uslu, T., Can, G. F., & Delice, E. K. (2022). Çok boyutlu yeni bir süreç tipi HTEA yaklaşımı: Savunma ve havacılık sanayi uygulaması. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 37(3). Verband der Automobilindustrie (VDA-4). 2012. *Quality Management in the Automobile Industry. Volume4: Product and Process FMEA*, 1-70.
- Yazıcı, K., Boran, S., & Gökler, S. H. (2019). Bir Lojistik Firmasında 6 Sigma Yöntemi Uygulaması. *Alphanumeric Journal*, 7, 87-98.
- Yörükoğlu, H. (2014). Yenilenebilir enerji kaynakları risklerinin Bulanık FMEA yöntemi ile analizi / The analysis of the risks of renewable energy resources by using Bulanık FMEA technique. Yüksek Lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Vildan ÖZ

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Endüstri Mühendisliği	2022
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Endüstri Mühendisliği	2017
Lise	Mehmet Akif Ersoy İMKB ATL / Bilişim Teknolojileri	2012

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2021-Halen	Yıldız Demir Çelik	Üretim Planlama Uzmanı
2019-2021	Özerden Plastik San. Ve Tic. A.Ş.	Üretim Planlama Uzmanı
2016-2017	Toyota Otomotiv San. Türkiye A.Ş	Üretim Aday Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

ESERLER (makale, bildiri, proje vb.)

1. Time Series Analysis of Sales Quantity In An Automotive Company and Estimation By Artificial Neural Networks / Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi – 2018
2. Implementation of The Lean Manufacturing System for The Solution of Production Planning Problems