

**T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**



**BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
TEKNİKLERİ İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ
ANALİZİ: BAĞLANTI ELEMANLARI SEKTÖRÜNDE
BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DESTE**

**Hazırlayan
Ezgi GÜNAYDIN**

MALATYA 2022

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İŞLETME ANABİLİM DALI
ÜRETİM YÖNETİMİ VE PAZARLAMA BİLİM DALI

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HATA TÜRÜ
VE ETKİLERİ ANALİZİ: BAĞLANTI ELEMANLARI SEKTÖRÜNDE BİR
UYGULAMA

EZGİ GÜNAYDIN

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA DESTE
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MALATYA 2022

ONUR SÖZÜ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Deste danışmanlığında hazırlamış olduğum bu çalışmada etik ilkelere uyduğumu ve bana ait olmayan düşünceler için kaynak belirttiğimi beyan ederim.

ÖNSÖZ

Tezimin her aşamasında değerli düşünceleriyle bana yardımcı olan ve çalışmamda karşılaştığım problemler karşısında desteklerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğretim Üyesi Mustafa Deste'ye,

Tezimin uygulama aşamasını gerçekleştirmem için her türlü imkanı sağlayan benim de bir parçası olmaktan gurur duyduğum Tekno Bağlantı Elemanları Pazarlama ve Tic. A.Ş.'nin başta Genel Müdür'ü Sayın Mahmut Bilgiç'e, İnsan Kaynakları Müdürü Sayın Mustafa Tekedereli'ye ve tezimin uygulama aşamasında bana yardımcı olan Isıl İşlem-Kaplama Müdürü Sayın H. Turgut Durmaz'a,

Hayatımın tüm aşamalarında yanımda olan ve beni aldığım her kararda sonsuz güvenle destekleyen canım Annem, Babam ve Kardeşime teşekkürlerimi sunuyorum.

ÖZET

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HATA TÜRÜ ETKİLERİ ANALİZİ: BAĞLANTI ELEMANLARI SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Ezgi GÜNAYDIN

İnönü Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

98 + xvii sayfa

2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DESTE

İşletmeler, müşteri memnuniyetlerini artırarak piyasadaki rakiplerin önüne geçmek için çeşitli stratejiler uygulamaktadırlar. Bu strateji çerçevesinde kullanılan yöntemlerden biri de ürün veya hizmetlerdeki hataların daha oluşmadan önce keşfedilmesini sağlayan Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemidir.

HTEA yönteminde potansiyel hataların şiddeti, olasılığı ve keşfedilebilirliği belirlenerek puanlandırması yapılır. Ancak HTEA yönteminde, puanlanma sürecinde kullanılan ölçülerin kısıtlı yapısından dolayı daha hassas analiz gerektiren durumlarda yetersiz kalabileceğini ifade etmek mümkündür.

Bu çalışmada, bağlantı elemanları sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede HTEA'nın klasik ölçeklendirme yönteminin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ile bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Uygulama çerçevesinde, işletmede belirlenen bir süreç incelenerek öncelikli olarak beyin fırtınası yöntemi ile potansiyel hatalar tespit edilmiştir. Belirlenen bu hatalar, ürün ve süreç kaynaklı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Hataların değerlendirme sürecinde öncelikle klasik HTEA yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise, DEMATEL yöntemi ile ağırlıklandırma yapılarak bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ile analizler yapılmıştır. Analizlerde, bulanık VIKOR, bulanık TOPSIS,

bulanık MOORA ve bulanık Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemleri kullanılmıştır. Bu süreçte daha hassas ölçümler yapabilmek için bulanık yöntemler tercih edilmiştir. Ayrıca uygulanan yöntemlerin sonuçlarının farklılıklarından kaynaklanan hataların da en aza indirilebilmesi için beş yöntemin sonuçlarını dikkate alan bir model önerilmiştir.

Anahtar Kelimer: HTEA, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri, Bulanık Mantık

ABSTRACT

FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS BY FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION MAKING TECHNIQUES: AN APPLICATION IN THE FASTENERS INDUSTRY

Ezgi GÜNAYDIN

İnönü Üniversitesi

Sosyal Bilimler Enstitüsü

İşletme Anabilim Dalı

98 + xvii pages

2022

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DESTE

Companies apply various strategies to increase customer satisfaction and to get ahead of their competitors in the market. One of the methods used within the framework of this strategy is the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) method, which enables the discovery of errors in products or services before they occur.

In the FMEA method, the severity, probability and discoverability of potential errors are determined and scored. However, due to the limited nature of the measures used in the scoring process in the FMEA method, it is possible to state that it may be insufficient in cases where more sensitive analysis is required.

In this study, an application was carried out with fuzzy multi-criteria decision making techniques in order to eliminate the disadvantages of the classical scaling method of FMEA in a company operating in the fastener industry. Within the framework of the application, a process determined in the enterprise was examined and potential errors were determined primarily by brainstorming method. These identified errors are divided into two groups as product and process origin. First of all, in the evaluation process of the errors, analyzes were carried out with the classical FMEA method. Then, by weighting with the DEMATEL method, analyzes were made with fuzzy multi-criteria decision making techniques. Fuzzy VIKOR, fuzzy TOPSIS, fuzzy MOORA and

fuzzy Gray Relational Analysis (GIA) methods were used in the analyses. In this process, fuzzy methods were preferred in order to make more precise measurements. In addition, in order to minimize the errors caused by the differences in the results of the applied methods, a model that takes into account the results of the five methods has been proposed.

Key Words: FMEA, Multi-Criteria Decision Making Techniques, Fuzzy Logic

İÇİNDEKİLER

ONUR Sözü	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
KISALTMALAR	xvii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

1.1. HTEA Tanımı.....	3
1.2. HTEA'nın Amacı	5
1.3. HTEA'nın Tarihsel Gelişimi	6
1.4. HTEA'nın Kullanım Alanları.....	7
1.5. HTEA Analizinin Avantajları.....	7
1.6. HTEA Analizinin Dezavantajları.....	9
1.7. HTEA Çeşitleri	10
1.7.1. Sistem HTEA	10
1.7.2. Tasarım HTEA.....	10
1.7.3. Süreç HTEA.....	10
1.7.4. Servis HTEA	11
1.8. HTEA Terminolojisi.....	11
1.9. HTEA Uygulama Aşamaları.....	14

İKİNCİ BÖLÜM
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

2.1. Çok Kriterli Karar Verme'nin Tanımı.....	17
2.2. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri.....	18
2.2.1. DEMATEL Yöntemi	19
2.2.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi.....	21
2.2.3. Bulanık MOORA Yöntemi.....	24
2.2.4. Bulanık GİA Yöntemi	27
2.2.5. Bulanık VIKOR Yöntemi.....	30

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HATA TÜRÜ
VE ETKİLERİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

3.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	33
3.2. Çalışmanın Yöntemi	34
3.3. Hataların Tespitine Yönelik Analizler	34
3.3.1. DEMATEL Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma	36
3.3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemiyle HTEA Uygulaması	38
3.3.3. Bulanık MOORA Yöntemiyle HTEA Uygulaması.....	53
3.3.4. Bulanık GİA Yöntemiyle HTEA Uygulaması.....	63
3.3.5. Bulanık VIKOR Yöntemiyle HTEA Uygulaması.....	73
3.3.6. Klasik HTEA Yöntemi ile Analiz.....	85
3.3.7. Genel Değerlendirme ve Yeni Bir Model Önerisi.....	87

SONUÇ	90
KAYNAKÇA	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: 1. RÖF Puanının Hesaplanması	15
Şekil 1.2: 2. RÖF Puanının Hesaplanması	16

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1: HTEA'nın Kullanım Alanları	7
Tablo 1.2: Şiddet Değerlendirmesi Tablosu.....	12
Tablo 1.3: Olasılık Puanlandırma Tablosu.....	13
Tablo 1.4: Keşfedilebilirlik Tablosu	14
Tablo 1.5: En Sık Kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri	18
Tablo 2.1: Dematel Değerlendirme Tablosu	20
Tablo 2.2: Kriterlerin Önem Düzeylerinin Dilsel İfadesi	22
Tablo 2.3: MOORA ve ÇKKVT'nin Kıyaslanması.....	25
Tablo 3.1: Isıl İşlem Bölümünde Süreci Etkileyen Hatalar	35
Tablo 3.2: Isıl İşlem Bölümünde Ürünü Etkileyen Hatalar	35
Tablo 3.3: Direk İlişki Matrisi	36
Tablo 3.4: Normalize Edilmiş Direkt İlişki Matrisi.....	37
Tablo 3.5: Toplam İlişki Matrisi	37
Tablo 3.6: Etkileyen ve Etkilenen Değerler.....	37
Tablo 3.7: Kriter Önem Ağırlıklarının Hesaplanması.....	38
Tablo 3.8: Süreçler İçin Birleşik Karar Matrisi	39
Tablo 3.9: Ürünler İçin Birleşik Karar Matrisi	40
Tablo 3.10: Süreci Etkileyen Kriterler İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	42
Tablo 3.11: Ürünü Etkileyen Kriterler İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	43
Tablo 3.12: Süreç Hataları İçin Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi	44
Tablo 3.13: Ürün Hataları İçin Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi	45
Tablo 3.14: Süreç Hatalarının Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri.....	46

Tablo 3.15: Ürün Hatalarının Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri.....	46
Tablo 3.16: Süreci Hatalarının İdeal Çözümüne Olan Uzaklıkları.....	47
Tablo 3.17: Ürün Hatalarının İdeal Çözümüne Olan Uzaklıkları.....	48
Tablo 3.18: Süreci Etkileyen Hataları d_i^* ve d_i^- Değerleri	50
Tablo 3.19: Ürünü Etkileyen Hataları d_i^* ve d_i^- Değerleri	50
Tablo 3.20: Süreci Etkileyen Hataları CCI Değerleri	52
Tablo 3.21: Ürünü Etkileyen Hataları CCI Değerleri	52
Tablo 3.22: Süreci Etkileyen Hatalar İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	54
Tablo 3.23: Ürünü Etkileyen Hatalar İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi.....	55
Tablo 3.24: Süreci Etkileyen Hatalar İçin Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi ...	56
Tablo 3.25: Ürünü Etkileyen Hatalar İçin Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi ...	57
Tablo 3.26: Süreci Etkileyen Hatalar İçin Fayda Kriterleri Karşılaştırmaları	59
Tablo 3.27: Ürünü Etkileyen Hatalar İçin Fayda Kriterleri Karşılaştırmaları	60
Tablo 3.28: Süreci Etkileyen Hataların Performans Değerleri	61
Tablo 3.29: Ürünü Etkileyen Hataların Performans Değerleri	62
Tablo 3.30: Süreci Etkileyen Hataların Normalize Karar Matrisi	64
Tablo 3.31: Ürünü Etkileyen Hataların Normalize Karar Matrisi	65
Tablo 3.32: Süreci Etkileyen Hataların Referans Serileri.....	66
Tablo 3.33: Ürünü Etkileyen Hataların Referans Serileri.....	66
Tablo 3.34: Süreci Etkileyen Hataların Uzaklık Matrisi Hesaplaması.....	67
Tablo 3.35: Ürünü Etkileyen Hataların Uzaklık Matrisi Hesaplaması.....	68
Tablo 3.36: Süreci Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Katsayı Matrisi	69
Tablo 3.37: Ürünü Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Katsayı Matrisi	70

Tablo 3.38: Süreci Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Değerleri.....	72
Tablo 3.39: Ürünü Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Değerleri.....	72
Tablo 3.40: Süreci Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde Değerlerinin Hesaplanması.....	74
Tablo 3.41: Ürünü Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde Değerlerinin Hesaplanması.....	74
Tablo 3.42: Süreci Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde Değerlerinin Hesaplanması.....	75
Tablo 3.43: Ürünü Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde Değerlerinin Hesaplanması.....	76
Tablo 3.44: Süreci Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde ve Değerleri.....	77
Tablo 3.45: Ürünü Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde ve Değerleri.....	78
Tablo 3.46: Süreci Etkileyen Hataların Değerleri.....	79
Tablo 3.47: Ürünü Etkileyen Hataların Değerleri.....	79
Tablo 3.48: Süreci Etkileyen Hataların Qj Değerleri.....	80
Tablo 3.49 : Ürünü Etkileyen Hataların Qj Değerleri.....	80
Tablo 3.50: Süreci Aksatan Hataların Durulaştırılmış Qj Değeri.....	81
Tablo 3.51: Ürün Kaynaklı Hataların Durulaştırılmış Qj Değeri.....	82
Tablo 3.52: Süreci Etkileyen Hataların Sıralanması.....	83
Tablo 3.53: Ürünü Etkileyen Hataların Sıralanması.....	84
Tablo 3.54: Süreci Etkileyen Hataların HTEA'ya Göre Sıralanması.....	85
Tablo 3.55: Ürünü Etkileyen Hataların HTEA'ya Göre Sıralanması.....	86
Tablo 3.56: Süreci Etkileyen Hataların Nihai HTEA Sıralaması.....	87
Tablo 3.57: Ürünü Etkileyen Hataların Nihai HTEA Sıralaması.....	88

KISALTMALAR

HTEA	: Hata Türü ve Etkileri Analizi
ÇKKVT	: Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri
DEMATEL	: The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
GİA	: Gri İlişkisel Analiz
VIKOR	: Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje
TOPSIS	: Technic for Order Preference by Similarity to İdeal Solution
MOORA	: Multi-objective Optimization By Ratio Analysis
RÖF	: Risk Öncelik Faktörü

GİRİŞ

İşletmelerin zorlu piyasa şartlarında ayakta kalıp müşterilerini tatmin etmeleri gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Ürünlerde meydana gelen hatalar, kimi zaman üründe kullanılan malzemeler nedeniyle kimi zamanda üretim esnasındaki süreçte oluşan olumsuzluklar veya personel kaynaklı olarak meydana gelmektedir. Her ne sebeple olursa olsun meydana gelen bu hatalar müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Bu memnuniyetsizlik müşteri kaybetmekle sonuçlanabilmektedir. Ayrıca mevcut hatayı düzeltebilmek için işletmelerin katlanacağı maliyetler de bulunmaktadır. Bu durum ise; işletmeleri hataya yer bırakmayacak ürün veya hizmet sunmaya zorlamaktadır. Üstelik günümüzde hata oluştuğundan sonra değil oluşmadan önce potansiyel hataların fark edilip düzeltilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle işletmeler, üretim veya hizmet süreçlerini gözden geçirerek daha önce olmuş ya da olması muhtemel hataları belirleyip bunlara çözüm aramaktadır. Bu çalışma için en sık kullanılan yöntemlerden biri ise HTEA'dır.

HTEA ile mevcut ya da potansiyel hatalar belirlendikten sonra bu hataların şiddeti, olasılığı ve keşfedilebilirliği puanlandırılarak hesaplanır. Hesaplama sonucunda ortaya çıkan yüksek puanlı hataların puanlarının düşürülmesi için çalışmalar yapılır. Bu çalışmalar sonucunda ilgili hata yeniden şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik açısından puanlandırılır ve puan kabul edilebilir seviyeye gelmemiş ise, yeni çalışmalar yapılarak oluşan puan kabul edilebilir seviyeye gelene kadar iyileştirme çalışmaları yapılır. Böylelikle belirlenen hataların ortaya çıkma ihtimali azaltılmakla birlikte hata ortaya çıksa dahi verebileceği potansiyel zararlar da azaltılmış olur.

HTEA, işletmelerin mevcut veya potansiyel hataları keşfetmek için en sık başvurduğu yöntemlerden biri olsa dahi bu yöntemde kendi içerisinde bazı dezavantajları bulunmaktadır. Özellikle şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanlaması için kullanılan puanlandırma tabloları, analizi yapan karar vericileri puanlandırma açısından kısıtlamaktadır. Bu nedenle günümüzde bulanık mantık yardımıyla HTEA çalışmaları uygulanarak puan kısıtlamasının önüne geçilebilmektedir.

HTEA'yı daha objektif hale getirebilmek için bulanık puanlandırma sistemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlere çok kriterli karar verme teknikleri de uygulanır ise, çıkacak sonuçların doğruluk oranları arttırılmış olacaktır. Ancak her çok kriterli karar verme tekniğinin kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu durumda farklı sıralama sonuçlarının çıkmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle bir çok yöntemin sonucunun dikkate alınarak bir sıralama yapılmasıyla, hataların daha doğru şekilde önceliklendirilmesi beklenmektedir.

Bu çalışmada karar vericilerin daha objektif puanlandırma yapabilmesi için birden fazla bulanık çok kriterli karar verme teknikleri ve klasik HTEA kullanılıp çıkan sonuçlar geliştirilen bir model sayesinde yeniden sıralanarak en doğru sonuca ulaşılma istenmiştir.

Bu araştırmada bağlantı elemanları sektöründe olan bir işletmede ısıl işlem prosesi aşaması için HTEA uygulanmıştır. Süreç incelenirken beyin fırtınası yapılarak süreç öncesi, süreç aşaması ve süreç sonrası operasyonlarını yöneten sorumlular ile potansiyel hatalar belirlenmiştir. Analiz yapılırken ürün hataları ve süreç hataları ayrı başlıklar altında sınıflandırılmıştır. İlgili sorumlulara belirlenen hatalar için şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik açısından sözel ifadeler ile puanlandırma yaptırılmıştır. DEMATEL yöntemi ile şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanları ağırlıklandırılmıştır. Daha sonra bulanık TOPSIS, bulanık VIKOR, bulanık MOORA ve bulanık gri ilişkisel analiz yöntemleri kullanılarak HTEA yapılmıştır. Ayrıca süreç aşamasındaki sorumlular ile belirlenen potansiyel hatalar üzerinden klasik HTEA da yapılmıştır. Uygulanan tüm yöntemler sonucunda hatalar sıralanmış olup bu yöntemlerdeki sıralama sonuçlarını dikkate alan bir model önerilmiştir. Oluşturulan bu sıralama neticesinde en yüksek puana sahip riskler için çözüm önerileri sunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM

HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

İşletmelerin öncelikli hedefleri kâr elde etmektir. Kâr elde edebilmeleri için en önemli nokta ise müşterilerini memnun ederek satışlarını arttırmaktır. Bunu yapabilmeleri için hatalarını en aza indirerek üretim veya hizmet sunmaları gerekmektedir. Hataları en aza indirmenin yanında hatalara en doğru zamanda ve doğru şekilde müdahale etmeleri de gerekmektedir.

İşletmelerin hatalarını en aza indirip önüne geçebilmeleri için ilk olarak hatanın ne olduğunu ve neden kaynaklandığını bilmeleri gerekmektedir. Bunu yapabilmelerini sağlayan tekniklerden birisi HTEA'dır. Bu teknik hataları önceden görerek önlemek için kullanılmaktadır (Şimşir vd., 2018: 23).

1.1. HTEA Tanımı

HTEA, müşterilere en az hata ile ürün ve hizmetleri ulaştırmak için ortaya çıkabilecek potansiyel riskleri önceden belirleyerek hataları önceden minimum düzeye indirecek önleyici faaliyetler çalışmasıdır (Şişman, 2017: 234-250). HTEA oluşabilecek hataları önlemek için riskleri önceden tahmin ederek hataların önlenmesini sağlayan güçlü bir analiz tekniğidir (Özyazgan vd. 2013: 228).

HTEA, potansiyel hataları değerlendirmek ve ortaya çıkmadan önlemeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntem neyin yanlış gidebileceğini veya bir şeyler yanlış giderse, sonuçlarının ne olacağını sorgulayarak hataları belirlemeyi ve bu sayede kalitesizliği en başından engellemeyi amaçlamaktadır (Özveri ve Kabak, 2015: 96).

HTEA, literatürde sayısal yöntemlerden biri olarak geçen risk analizi yöntemlerinden bir tanesidir (Özfiat, 2014: 756). Aynı zamanda üretim veya hizmet sektörlerinde oluşabilecek hataları önceden görerek tanımlamak ve ortadan kaldırmak için kullanılan yaygın yöntemlerden bir tanesidir (Efe vd., 2016: 128).

HTEA, oluşabilecek çok sayıdaki hata içerisinde hataların iyileştirme çalışmaları yerine, sistemin tümü üzerinde önemli katkılar sağlayabilecek hata türlerini sınıflandıran yöntemdir (Çeber, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2010: 33). Oluşabilecek potansiyel hataları belirleyerek bu hataları önlemek için ürün tasarımının ya da tasarım sonrasında süreçlerin analizinin kullanıldığı sistemdir (Büyüktuna, Pamukkale Üniversitesi, 2012: 4).

HTEA, en geniş anlamıyla ise, bir sistemin ya da sistemin bir parçasının tasarımı gibi geçmiş tecrübelerle dayanarak yanlış gidebileceği öngörülen her bir adımın analizinin yapılması ile özetlenen bir mühendislik düşünce tarzıdır (Aran, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 2006: 18).

HTEA, hatanın ortaya çıkması durumunda oluşabilecek olumsuzlukları müşteri gözünden algılayarak olasılık, şiddet ve saptanabilirlik tahminin yapıldığı bir analiz tekniğidir (Yılmaz, İstanbul Kültür Üniversitesi, 2017: 3).

Potansiyel oluşabilecek hataların ortadan kaldırmanın yanı sıra sistemlerin kurulabilmesi için süreçteki güvenilirliği arttırmayı da amaçlayan hataların müşterilere ulaşmadan önlenmesini sağlayan bir tekniktir (Turan vd., 2019: 477).

Sezgisel bir yaklaşıma dayanan HTEA, ilgili işletmeye zarar verebilecek hatalı ürün veya hizmetlerin henüz piyasaya sunulmadan engellenmesi için kullanılan ve bu hataların önceden fark edilerek düzeltici faaliyetler yardımıyla iyileştirilip müşteriye ulaşmadan sorunu çözebilen bir analizdir (Akgün, 2017: 2).

Tüm bu tanımlar ışığında HTEA'yı, bir süreçte karşılaşılabilecek potansiyel hataların ortaya çıkmadan önce tahmin ederek bu hataların ilgili sürece vereceği zararın önceden hesaplanması ile bu zararları önlemeye yönelik çalışmalar yaparak oluşabilecek potansiyel zararı minimize edecek çalışmaların yapılmasını sağlayan ve bu çalışmaların hataları önlemede ne kadar etkili olduğunu ölçebilen bir yöntem olarak tanımlayabiliriz.

HTEA, hata tespiti ve tespit edilen hataların potansiyel zararlarını tespit etmede kullanılan tekniklerden bir tanesi olmasının yanı sıra ilgili hata için alınan önlemlerin potansiyel zararı ne kadar azalttığını da hesaplayabilen bir yöntemdir.

1.2. HTEA'nın Amacı

HTEA oluşabilecek riskleri önceden tespit ederek önlem almasını amaçlamaktadır. Bu analiz, işletmenin uğrayabileceği zararlar minimuma indirilerek kazancın korunmasını sağlamak açısından önem teşkil etmektedir. Bu yöntem sayesinde müşteri memnuniyeti korunarak potansiyel müşterileri kazanmakta daha kolay olacaktır.

HTEA, üretim süreçlerinde yaşanan aksamaların sebep olduğu hataların bulunarak yönetilmesini ve iş güvenliği sırasında yapılan hataların tespiti ve bunları önlemeyi amaçlamaktadır (Özfırat vd., 2021: 39).

Bu analiz, iş kazalarının önlenmesinin sağlanması için hataların bulunmasına yardım etmesinin yanı sıra endüstride üretim hatalarının bulunup bertaraf edilmesini de sağlamaktadır (Özfırat, 2014: 755-768).

“Ne yanlış gidiyor?” ve “Eğer bir şeyler yanlış giderse sonucu ne olur?” gibi soruları sorarak tasarım aşamasında olası hataları tespit etmek için ve daha başlangıçta kalitesizliği önlemek için cevaplanmasını amaçlamaktadır (Özver vd. 2015: 96).

HTEA, sistemde bir problem meydana geldikten sonra çözüm üretilmesi değil, oluşabilecek problemleri önceden çözerek tedbirler oluşturmasıyla diğer risk değerlendirmelerinden farklıdır. Sistemde oluşabilecek hataların tahminini önceden yaparak elde mevcut olan kaynakları tehlikeliden başlayarak ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır (Şişman, 2017: 235).

HTEA'nın birden fazla karar alıcı tarafından ele alınması sebebiyle daha güvenilir bir yöntem ile değerlendirilmesine yardımcı olur. Bu sebeple endüstrinin birçok sektöründe kullanılan güvenilirlik analizi için kullanılan güçlü bir yöntemdir (Tekez, 2018: 21). Oluşabilecek risklerin önceden hesaplanması ve önlem alınması potansiyel kayıpların da farkına varılmasını sağladığı için şirketlerin geleceklerini öngörerek buna uygun olarak planlama yapmasını da sağlaması açısından şirketler açısından önem teşkil etmektedir.

1.3. HTEA'nın Tarihsel Gelişimi

HTEA'nın tarihçesi çok eski zamanlara dayanmaktadır. Teknik olarak HTEA 1900'lü yılların ortasında ortaya çıkan iyi düzenlenmiş risk tekniklerinden birisidir (Özfirat vd., 2021: 39). HTEA'nın dünyadaki tarihsel gelişimi aşağıda açıklanmıştır.

HTEA ilk kez 1960 yılında havacılık sektöründe kullanılmaya başlanan bir tasarım metodolojisi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Efe vd., 2016: 128). Bu analiz ilk kez Amerikan ordusu tarafından kullanılarak geliştirilmiş olup NASA tarafından oluşabilecek sistemsel hataların etkilerinin belirlenmesinde kullanılmıştır (Özfirat, 2014: 755-768).

NASA'nın aya göndereceği Apollo uzay aracındaki parçaların çok pahalı olması sebebi ile herhangi bir teknik arıza olmasının istenmemesinden dolayı faaliyetleri düşürmek için HTEA uygulamıştır. Bu teknik yaklaşık 10 yıl boyunca askeri sır olarak tutulduktan sonra ilk kez 1961 yılında HTEA'nın gizli tutulan tabloları yayınlanmıştır (Atalay, Kocaeli Üniversitesi, 2019: 12).

HTEA, 1975 yılında Japon NEC firmasında bilgisayar üretiminde kullanılmaya başlanmış olup 1977 yılında Ford'da başlayarak 1985'de Fiat firmasında otomobil endüstrisinde faaliyet gösteren alanlarda kullanılmaya başlanmış ve Chrysler ve General Motors'ta uygulamaya başlanmıştır (Turan vd., 2019: 476).

HTEA Şubat 1993 yılında Amerikan Kalite Kontrol Topluluğu (ASQC) ve Otomotiv Endüstrisi Faaliyet Grubu (AIAG) tarafından standart haline getirilmiştir. QS 9000'in beş unsurundan biri olmuş olup böylelikle QS 9000'in standardının gelişmesinde işbirliği çalışmalarını yürüten Chrysler, Ford ve General Motor şirketleri tarafından kabul edilerek desteklenmeye başlanmıştır (Büyüktuna, Pamukkale Üniversitesi, 2012: 5).

Günümüzde ise genel olarak otomotiv sektöründe kullanılmaya devam etmek ile birlikte metal sanayi alanlarında da geniş kullanım alanı bulmaktadır. Geçmişten günümüze kadar kullanılan bu teknik uygulanabilirliğinin kolaylığı sayesinde bir çok sektörde kullanım alanı bulmaktadır (Çeber, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2010: 35).

1.4. HTEA'nın Kullanım Alanları

HTEA uygulanabilirliğinin kolay olması sayesinde yıllar boyunca gelişerek bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Yıllar boyunca HTEA'nın bazı kullanım alanları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1.1: HTEA'nın Kullanım Alanları

(Elitaş vd., 2009: 65)

Yıl	Yazar	Uygulandığı Alan	Konu
1978	Leg	Mühendislik	HTEA'nın tanıtılması
1992	Kara vd.	Risk Analizi	Risklerin önem düzeylerinin belirlenmesi
1993	Gilchrist	Maliyet Analizi	Maliyeti arttıran risklerin belirlenmesi
2000	Yılmaz	Kalite Geliştirme	Kalite Geliştirme problemlerine HTEA uygulanması
2000	Houten ve Kimura	Ürün Tasarımı	Sanal ürün tasarımında ve görsel bakım sistemlerinde kullanılması
2004	Teoh ve Case	Veri Analizi	Bilgi tabanlı modellerde veri analizi için yazılım tasarlanması
2004	Tari ve Sabater	Vaka Analizi	Vaka analizindeki bazı kritik faktörlerin belirlenmesi
2005	Atmaca	Kalite Yönetim	Otomotiv sektöründe kalite yönetim sistemlerinin geliştirilmesi
2005	Kılıç	İş Sağlığı ve Güvenliği	İSG'de bir method olarak HTEA kullanılması
2005	Lewis	Eğitim	Teknoloji eğitiminde ideal başarı sürecinin geliştirilmesi
2006	Ho ve Xie	6 Sigma	6 sigma uygulanabilirliğinin belirlenmesi

1.5. HTEA Analizinin Avantajları

HTEA uzun yıllardır birçok sektörde ve alanda kullanılan etkili tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu tekniğin uygulanmasının birçok avantajı mevcuttur.

Bu analiz yöntemi sistem veya ürün tasarımı ile üretim süreci boyunca en etkili yöntem olmakla birlikte doğru bir şekilde uygulanması durumunda firmaya yarar sağlayacak bir kalite tekniğidir (Çeber, Dokuz Eylül Üniversitesi, 2010: 37).

HTEA iyi bir şekilde yapıldığı takdirde meydana gelebilen hataların sebeplerini ve sonuçlarını belirlemede, bu hataların net bir şekilde tarif edilmesinde, bu hataların önceliklendirilmesinde ve iyileştirici uygulamaların takibinde etkili bir yöntemdir (Uslu, Selçuk Üniversitesi, 2016: 37).

Aynı zamanda HTEA nihai oluşacak ürünlerin, müşteri ihtiyaç ve beklentilerini anlayarak, bunları sağladığından emin olmayı, bunun için de imalat ve montaj süreçlerini planlayarak oluşturulacak ürünün karakteristik analizini yapmak ve bu süreçler için sistemin dayandığı nedenleri dokümente etmek gibi faydaları mevcuttur (Çevik ve Aran, 2009: 246).

HTEA, bir ürünün yaratılış sürecindeki hataları tespit ederek kontrol altına almasının yanı sıra ürün çeşitliliği arttığı zaman geleneksel tasarım yöntemlerinin aksine düşük hata oranlarını daha iyi tespit eder (Sabır ve Bebekli, 2015: 158).

Bu analiz, insanların ürün ya da süreçler ile ilgili oluşabilecek hataların tanımlamasını deneyimleriyle tahmin etme ve teknolojinin kombiniyle oluşan bir analitik tekniktir (Yörükoğlu vd., 2013: 229). HTEA'nın süreci yürüten deneyimli kişilere yaptırılması süreçte meydana gelebilecek ufak problemlerin de gözden kaçmamasını sağlayacaktır.

HTEA'nın muhakkak ki yukarıda sayılan avantajlardan daha farklı avantajları da mevcuttur. Ancak genel olarak özetleyecek olursak HTEA sayesinde ilgili alanda meydana gelebilecek sıkıntılar önceden tespit edilerek ve önem sırasına göre derecelendirilerek önüne geçilmesi sağlamaktadır. Bu durum da ilgili kişi ya da kurumların oluşabilecek olası yan etkilere karşı en az zarara yakalanmasını sağlamaktadır.

1.6. HTEA Analizinin Dezavantajları

HTEA şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik faktörlerini uzman bilgisine dayandırarak ölçen bir yöntem olmakla birlikte risk faktörlerinin kesin bir biçimde ölçülmesinin güç olması ve bu yöntemde uzmanların önem derecelerinin göreceli olarak değişmesi, HTEA'nın çok net bir şekilde doğru cevap vermesini engellemektedir (Turan ve Ocaktan, 2019: 476).

HTEA'da tüm risklere eşit ağırlık verilerek hesaplama yapıldığı için şiddet, olasılık veya keşfedilebilirlik yanları farklı verilse dahi çarpımları aynı sonucu verebilmektedir. Böyle bir sorunda da hangi riskin önceliklendirilmesi gerektiği kesin bir şekilde anlaşılamamaktadır (Aytaç vd., 2012: 56).

HTEA'nın bu kesin değerleri vermesi şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik arasındaki önemin açık bir şekilde görülmesinin önünde bir engeldir ve genellikle çok yüksek, yüksek vb. dilsel ifadelerle bu üç faktörün kesin bir şekilde değerlendirmenin zor olması bu yöntemin dezavantajları arasındadır (Efe vd., 2016: 128).

HTEA'nın kalan bazı dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Uslu, Selçuk Üniversitesi, 2016: 38-39):

- HTEA'yı yapan ekibin bir kişinin etkisinde kalarak yönlendirilmesi sonucu objektif sonuçlara ulaşılamaması
- HTEA'nın firmada bulunan süreçleri iyileştirmek yerine sadece müşterilerin şartlarını karşılamak için gerekli hesaplamaların yapılması
- HTEA'da süreç için geç kalınması nedeni ile ürün üzerinde yeterli iyileştirmenin yapılamaması
- HTEA'nın sürekli olarak gözden geçirilmemesinin sonucu olarak güncelliğini yitirmesi ve kullanışsız hale gelmesi
- HTEA'nın çok zaman alan ve anlaşılması ile uygulamasının karmaşık olarak görülmesi sebebi ile uygulanmaya yanaşılmaması

1.7. HTEA Çeşitleri

HTEA kullanım alanlarına göre kendi içerisinde sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma şu şekildedir:

- Sistem HTEA
- Tasarım HTEA
- Süreç HTEA
- Servis HTEA

1.7.1. Sistem HTEA

Sistemin ve sistemi oluşturan alt sistemler arasındaki potansiyel hataları belirleyerek sistemin kalitesini korumaya ve sürdürülebilirliğini arttırmaya yönelik yapılan çalışmalar sistem HTEA'sıdır. Bu yöntem kullanılarak sistemde meydana gelebilecek potansiyel hatalar tespit edilir, sistemler arasında uygulanacak prosedürler daha kolay oluşturulur, sistem içerisindeki fazlalıklar tespit edilerek ortadan kaldırılır ve optimum sistem tasarımında alternatifler arasında daha kolay seçim yapılabilir.

1.7.2. Tasarım HTEA

Tasarım HTEA, henüz tasarım aşamasında olan ürün için hataların belirlenerek önceliklendirilmesi ve çözülmesi için kullanılan bir yöntemdir ve bu yöntem için gerekli olan veriler özellikler kalite kontrol kayıtları başta olmak üzere üretim/montaj hata oranları kayıtlarından veya ürünün servis kayıtlarından elde edilerek oluşturulur.

1.7.3. Süreç HTEA

Bu HTEA türünde ilk ürün veya hizmet uygulamaya geçilmeden önce ilgili sürecin gözden geçirilerek ortaya çıkması muhtemel hataların keşfedilerek önlenmesi

amaçlanmakla birlikte süreç HTEA'sı diğer türlere göre daha karmaşık yapıdadır (Aydan ve Kaya, 2017: 478-479).

1.7.4. Servis HTEA

İş akışlarının, sistem ve proses analizlerinin etkin şekilde kullanılarak müşteriye servis ulaşmadan önce ortaya çıkabilecek hataların analiz edilerek önlenmesini sağlar (Yaylalı, Selçuk Üniversitesi, 2008: 7).

1.8. HTEA Terminolojisi

HTEA bir tablo üzerinden ilgili alanlar doldurularak yapılmaktadır. Bu analizi yapabilmek için tablo üzerinde belirtilen kelimelerin ne ifade ettiği bilinmelidir. Bu bölümde HTEA için kullanılacak olan tablo üzerindeki alanların neler olduğu ve ne anlama geldikleri açıklanacaktır.

Hata Türü : Hata türü, ilgili sistem, tasarım, servis veya süreç için meydana gelmesi muhtemel hatalardır. Bu aynı zamanda muhtemel risk türü olarak da düşünülebilmektedir.

Hata Etkisi : Hata türü bölümüne yazılmış olan potansiyel hatanın meydana getirebileceği ve firmayı olumsuz yönde etkileyebilecek olan etkilerdir.

Hata Sebepleri : Hata sebepleri, meydana gelebilecek potansiyel hatanın meydana gelmesine neden olan etkenlerdir.

Şiddet Puanı : Potansiyel meydana gelme ihtimali bulunan hatanın etkisinin firmayı uğratacağı zararın 1 ile 10 arasında puanlandırılması ile bulunan puandır. Aşağıdaki tablo kullanılarak puanlandırma işlemi yapılmaktadır.

Tablo 1.2: Şiddet Değerlendirmesi Tablosu
(Ford Motor Company, 2011: 3.33)

Şiddet Değerlendirmesi	
Risk insan sağlığını ve işgüvenliğini tehlikeye sokacak ve yasalar ile ters düşülmesini sağlayacak bir etki yaratır. Kurumun varlığını ve geleceğini tehlikeye sokar.	10
Risk insan sağlığını ve işgüvenliğini tehlikeye sokar. Ancak yasalar ile ters düşülmesini sağlayacak bir etki yaratmaz.	9
Risk insan sağlığını ve işgüvenliğini tehlikeye sokmaz. Ancak yasalar ile ters düşülmesini sağlayacak bir etki yaratır.	8
Risk kurum içinde işlerin büyük bir kısmının yolunda gitmemesine neden olur. Çok yoğun seviyede müşteri/çalışan/paydaş/yönetim memnuniyetsizliği yaşatır.	7
Risk kurum içinde işlerin büyük kısmının yolunda gitmemesine neden olur. Yoğun seviyede müşteri/çalışan/paydaş/yönetim memnuniyetsizliği yaşatır.	6
Risk kurum içinde bazı işlerin yolunda gitmemesine neden olur. Orta seviyede müşteri/çalışan/paydaş/yönetim memnuniyetsizliği yaşatır.	5
Risk kurum içinde bazı işlerin yolunda gitmemesine neden olur. Düşük seviyede müşteri/çalışan/paydaş/yönetim memnuniyetsizliği yaşatır.	4
Risk kurum içinde bazı işlerin yolunda gitmemesine neden olur. Çok düşük seviyede müşteri/çalışan/paydaş/yönetim memnuniyetsizliği yaşatır.	3
Risk'in kayda değer bir etkisi yoktur.	2
Risk'in hiçbir etkisi yoktur.	1

Olasılık Puanı :Bu puan meydana gelebilecek potansiyel hatanın meydana gelme ihtimali üzerinden puanlandırma yapılarak oluşturulur. Bu puanlandırma için aşağıda bulunan puanlandırma tablosu kullanılmaktadır.

Tablo 1.3: Olasılık Puanlandırma Tablosu
(Ford Motor Company, 2011: 3.44)

Olasılık Değerlendirmesi		
Hata Olasılığı	Olayın/Durumun İstatistiksel Gerçekleşme Oranı	Derecesi
Çok Yüksek	$\geq 100 / 1000$ $\geq 1/10$	10
	50 /1000 1/20	9
Yüksek	20/1000 1/50	8
	10/1000 1/100	7
	2/1000 1/500	6
Orta	0,5/1000 1/2,000	5
	0,1/1000 1/10,000	4
	0,01/1000 1/100,000	3
Düşük	$\leq 0,001/1000$ $\leq 1/1,000,000$	2
	Önemeye yönelik kontrollerle hata elimine edilmiş	1

Yukarıdaki tablo kullanılırken olayın gerçekleşme ihtimali istatistiki açıdan biliniyor ise; olayın istatistiksel gerçekleşme oranları üzerinden, bilinmiyor ya da takip edilemiyorsa sözel ifadeler üzerinden puanlandırma işlemi yapılabilmektedir. Bu puanlandırma işlemi tabloda ilgili alana yazılır.

Keşfedilebilirlik Puanı :Ortaya çıkabilecek potansiyel hataların önlenmesi için mevcut durumda var olan önleyici faaliyetlerin hatayı önleme oranına göre verilen puandır. Aşağıda gösterilen keşfedilebilirlik tablosu kullanılarak puan verilir.

Tablo 1.4: Keşfedilebilirlik Tablosu
(Ford Motor Company, 2011: 3.53)

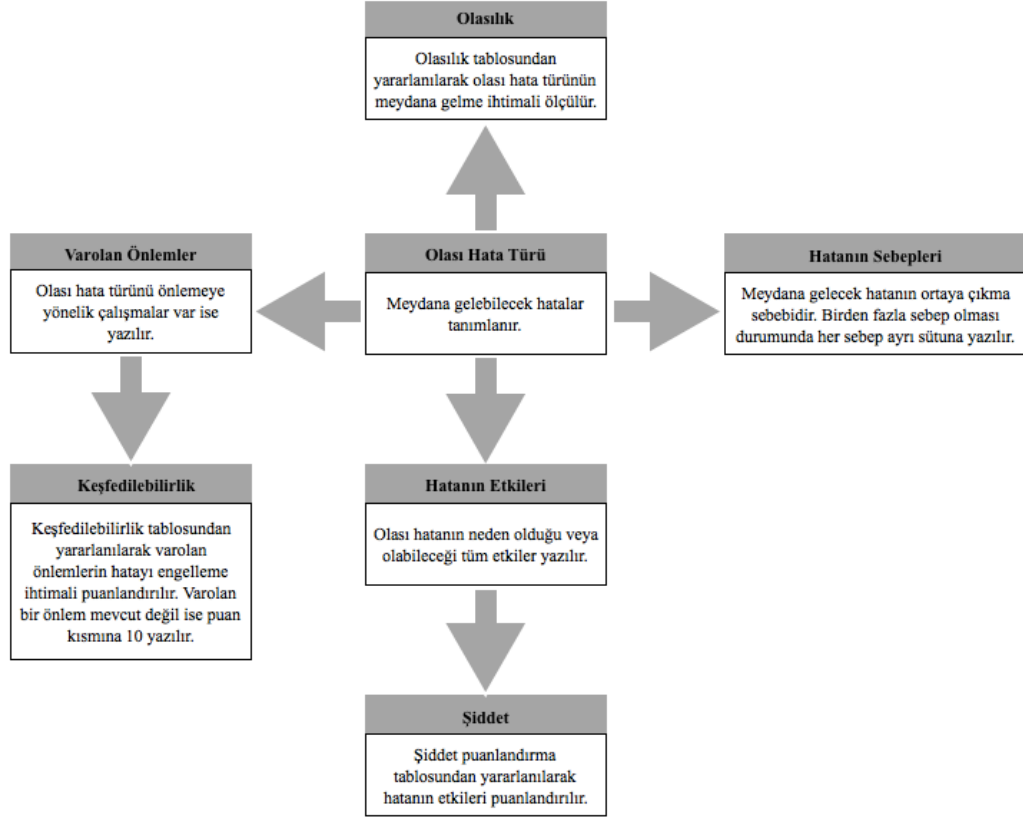
Keşfedilebilirlik (Yakalanma Olasılığı)	
Hemen Hemen İmkansız	10
Çok Zor	9
Zor	8
Çok Düşük	7
Düşük	6
Orta	5
Orta Derecede Yüksek	4
Yüksek	3
Çok Yüksek	2
Hemen Hemen Kesin	1

RÖF Puanı : Yukarıda açıklanan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanlarının verilmesinden sonra bu üç puan değeri çarpılarak oluşturulan puan türüne RÖF Puanı adı verilir. Bu puan potansiyel hatanın puanıdır.

1.9. HTEA Uygulama Aşamaları

HTEA iki aşamada uygulanmakta olup iki aşamanın uygulamaları ayrı ayrı aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

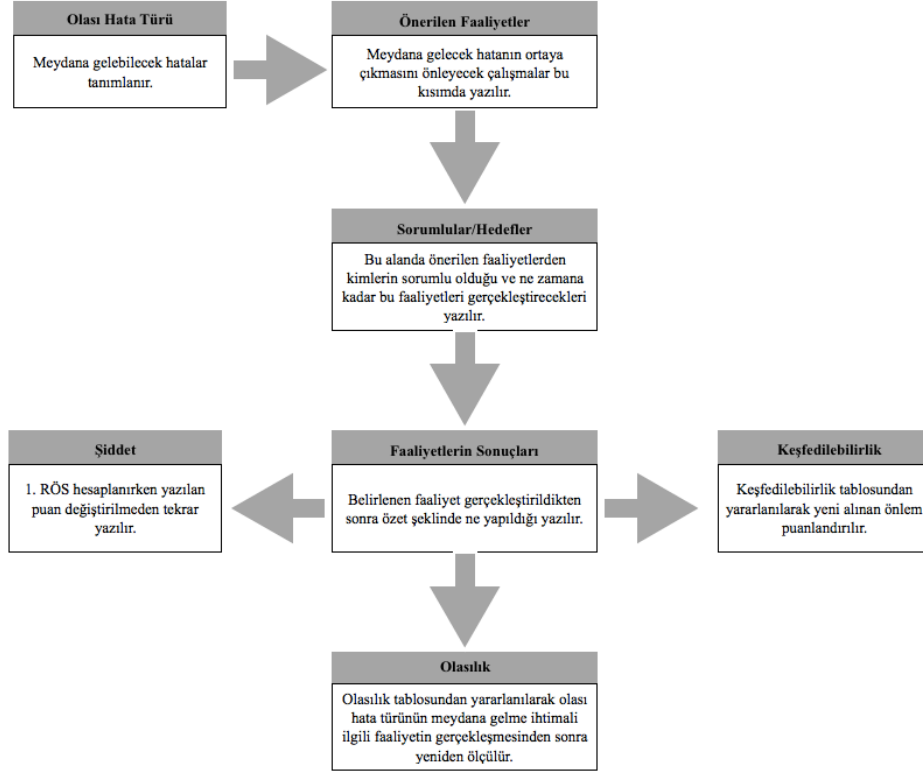
Şekil 1.1: 1. RÖF Puanının Hesaplanması



Şekil 1.1’de gösterilen işlemler, HTEA tablosundaki adımlar tamamlandıktan sonra ortaya çıkan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanları çarpılarak 1. RÖF puanı hesaplanır.

İlk RÖF puanı hesaplandıktan sonra oluşan puanlar incelenerek iyileştirme yapılacak hatalar belirlenir. Bu hatalar belirlendikten sonra Şekil 1.2’de gösterilen aşamalar takip edilir. Bu aşamalar uygulandıktan sonra yeniden olasılık ve keşfedilebilirlik puanlaması yapılarak hatanın zarar verme ihtimali ölçülür. Olasılık ve keşfedilebilirlik puanları alınan önlemlere göre zaman içinde değişiklik gösterebilir şiddet puanı sabit kalmaktadır.

Şekil 1.2: 2. RÖF Puanının Hesaplanması



HTEA’da hesaplama yapılırken dikkate edilecek en önemli hususlar şu şekilde sıralanabilir.

- Hatanın olası sebepleri tabloya ayrı ayrı yazılarak her bir sebebin puanlandırılması ayrı yapılmalıdır. Bu sayede hatanın ortaya çıkmasına neden olan büyük sebepten başlanarak faaliyetler planlanabilir.
- Potansiyel hataların olası etkilerinin şiddeti hiçbir zaman değişmeyeceği için şiddet puanı 1. RÖF değeri hesaplandığında ne ise 2. RÖF değerinde de aynı olmalıdır.

İKİNCİ BÖLÜM

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

Günümüzde insanlar bir konu hakkında karar alacakları zaman, konuyu birçok açıdan ele alarak çok boyutlu olarak düşünmektedirler. Özellikle işletmeler bir konu hakkında karar vereceği zaman en doğru kararı alabilmek için maliyet, pazarlama, kalite vb. açıların hepsini göz önüne alarak karar verebilmektedirler.

Bu bölümde bu kararı verirken kullandıkları yöntemlerden biri olan çok kriterli karar verme tekniklerinin neler olduğu, nasıl kullanıldığına değinilmiştir.

2.1. Çok Kriterli Karar Verme'nin Tanımı

Çok kriterli karar verme, bir çok farklı disiplinin bir araya gelerek karar vericinin birden fazla boyutta problemi değerlendirmesini ve olabilecek optimum çözümler arasından kendisine en çok faydayı sağlayacak çözümü seçmesine yardımcı olan tekniklerdir (Yıldırım ve Önder, 2018: 15).

Yöneylem araştırması sınıfına ait olan ve en yaygın kullanılan yöntemlerden olan çok kriterli karar verme teknikleri, bir konu hakkında karar verileceği zaman konu için gerekli olan nicel veya nitel kriterlerin belirlenmesini sağlayarak bu kriterlere uygun olan seçenekler arasından en iyi olanı seçmeyi ya da en iyiden en kötüye seçenekleri sıralamaya yarayan yöntemlerdir (Özbek, 2021: 27).

Çok kriterli karar verme teknikleri hem yöneticilerin günlük hayatta sıklıkla karşılaştıkları ve çözmeye alışık oldukları gerçek hayat problemlerini hem de matematik ve istatistik kullanarak çözmek zorunda kaldıkları yönetsel karar verme süreçleri için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde birden fazla olan ve birbiriyle çatışan amaçlar en doğru şekilde çözülmektedir (Kabak ve Çınar, 2020: 2).

İnsanoğlu bir konu hakkında karar verirken tek bir kritere göre değil konuyu ilgilendiren birden fazla kriteri göz önüne alarak karar verirler. Ancak bu kararı verirken tüm kriterlere uyan çözümü bulmak her zaman kolay olmamaktadır. Çok kriterli karar

verme teknikleri ise, bu kriterleri gözden geçirerek alternatifler arasında süreci kombine ederek hızlı bir şekilde en doğru ve güvenilir kararın alınmasını sağlar (Çetinbaş, 2018: 13). Belirlenen problemin çözümü için, ilgili kriterlerin belirlenmesi ve önem sırasına göre sıralanması, çözüm alternatiflerinin bu kriterleri ne oranda sağladığının belirlenmesi ile bütün kriterler üzerinden her alternatife ait nihai değerlendirmenin yapılarak en yüksek faydayı sağlayacak alternatifin tercih edilmesini sağlayan yöntemlere çok kriterli karar verme teknikleri denilmektedir (Ersöz ve Kabak, 2010: 100).

Tüm bu bilgiler ışığında çok kriterli karar verme teknikleri için çözüme kavuşturulmak istenen problemler için belirlenen kriterler doğrultusunda en uygun çözümün belirlenmesidir denilebilir.

2.2. Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

Çok kriterli karar verme için günümüzde birden fazla yöntem geliştirilmiş olup bu yöntemlerin kendi içerisinde bazı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. En sık kullanılan yöntemlerden bazılarının isimleri aşağıda sıralanmış olup bu araştırmada kullanılan yöntemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

En sık kullanılan çok kriterli karar verme tekniklerini şu şekilde sıralamak mümkündür (Yıldırım ve Önder, 2018:1-337, Özbek, 2021:16-373 ve Kabak ve Çınar, 2020 :1-347):

Tablo 1.5: En Sık Kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri

Analitik Hiyerarşi Süreci	Edas	VIKOR	TOPSIS	Todim	Paprika
Üstünlük Tabanlı Kaba Küme Analizi	Electre	Waspas	Promethee	DEMATEL	Mabac
Veri Zarflama Analizi	GİA	MOORA	Macbetch	Aras	Oreste
Analitik Ağ Süreci	Codas	Entropi	Swara	Ocra	Smaa-2
Machbeth	Uta	Stem	Copras	Eatwios	

Bu çalışmada kullanılan yöntemler DEMATEL, VIKOR, TOPSIS, MOORA ve Gri ilişkisel analiz yöntemleri olup aşağıdaki başlıklarda yöntemler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

2.2.1. DEMATEL Yöntemi

DEMATEL yöntemi, 1972 ve 1976 yılları arasında Cenevre Battelle Memorial Enstitüsü tarafından karışık problemleri çözmek amacıyla kullanılmaya başlayan bir yöntemdir (Gürbüz ve Çavdarıcı, 2018:289).

DEMATEL yöntemi ilgili problemler için belirlenen kriterleri kendi içerisinde diğer kriterler üzerinde daha çok etkiye sahip olan sebep kriterleri ve diğer önemli kriterlerin etkisinde kalan sonuç kriterleri olarak iki başlık altında inceleyen bir yöntemdir (Battal, 2018:102).

DEMATEL yöntemini kendi içerisinde beş adımda uygulamak mümkündür. Bu adımlar ve kullanılan formüller aşağıdaki gibidir:

1.Adım: Direk İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda konu hakkında uzman olan kişiler tarafından ilgili konu için belirlenen kriterlerin birbirlerini nasıl etkiledikleri incelenir ve N sayıda uzman kişi olması durumunda N adet nxn boyutunda matris oluşturulur (Ünal ve Çetin, 2020: 781). Elde edilen bu matris denklem (1) kullanılarak direk ilişki matrisinin (a_{ij}) oluşmasını sağlar (Ünal ve Çetin, 2018: 781).

$$a_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_{ij}^k \quad (1)$$

İlgili uzmanların belirlenen kriterlerin birbiri ile ilişkisini incelediği ve bu ilişkileri puanladıkları tablo aşağıdaki gibidir.

Tablo 2.1: Dematel Değerlendirme Tablosu
(Ünal ve Çetin, 2018: 781)

Sayısal Değer	Tanımı
0	Etkisiz
1	Düşük Derecede Etkili
2	Orta Derecede Etkili
3	Yüksek Derecede Etkili
4	Çok Yüksek Derecede Etkili

Adım 2: Direkt İlişki Matrisinin Normalize Edilmesi

Aşağıda gösterilen denklem (2) ve denklem (3) yardımıyla oluşturulan direkt ilişki matrisi satır ve sütunlarındaki en küçük değerler kullanılarak normalize edilir. Normalize edilen X matrisinin köşegen değerleri 0'dır (Badem ve Özel, 2018: 81).

$$X = k \cdot A \quad (2)$$

$$k = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Adım 3: Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması

Direkt ilişki matrisi normalize edildikten sonra denklem (4) yardımıyla toplam ilişki matrisi (T) oluşturulur. Denklemde gösterilen I birim matrisi temsil etmektedir (Gök ve Perçin, 2016: 135).

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (4)$$

Adım 4: Etkileyen ve Etkilenen Değerlerin Belirlenmesi

Bu aşamada etki matrislerinin satırlar ve sütunlar toplamı denklem (5) ve denklem (6) yardımıyla bulunmuştur. Satır toplamları için D vektörü, sütun toplamları için R vektörü kullanılmıştır (Sarı vd., 2017: 481).

$$D = \left[\sum_{i=1}^n t_{ij} \right]_{i \times n} = [t_j]_{n \times 1} \quad (5)$$

$$R = \left[\sum_{j=1}^n t_{ij} \right]_{i \times n} = [t_j]_{1 \times n} \quad (6)$$

Adım 5: Kriterlerin Önem Ağırlıklarını Hesaplanması

Bu aşamada denklem (7)'de gösterildiği gibi D ve R vektörlerinin toplam etkileri ile net etkilerinin kareli ortalaması ile kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanır (Sarı vd., 2017: 481).

$$w_i = [(D_i + R_i)^2 + (D_i - R_i)^2]^{1/2} \quad (7)$$

2.2.2. Bulanık TOPSIS Yöntemi

Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen TOPSIS yöntemi, en iyi negatif alternatif çözüme en uzak, en iyi pozitif alternatif çözüme en yakın olacak en iyi alternatifi bulmak için kullanılan bir çok kriterli karar verme yöntemidir (Kabak, 2011: 6).

Ancak bu yöntem özellikle belirsizliğin olduğu veya kriterlerin kesin bir sayısal değer ile ifade edilemediği durumlarda yetersiz olmasından dolayı bulanık TOPSIS yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem ile birden fazla karar vericinin çok sayıda belirsiz

kriterler altında mevcut alternatifleri değerlendirerek en doğru sonuca ulaşılması sağlanmaktadır (Erdin, 2019: 39).

Bulanık TOPSIS yönteminin kullanılabilmesi için belirlenen kriterler için kullanılacak dilsel ifadeler ve karşılıkları aşağıdaki gibidir:

Tablo 2.2: Kriterlerin Önem Düzeylerinin Dilsel İfadesi
(Cheng,1999:28 aktaran Göksu, 2008:44)

Sözel İfade	Bulanık Sayı Karşılığı
Çok Düşük	1,1,3
Düşük	1,3,5
Ortalama	3,5,7
Yüksek	5,7,9
Çok Yüksek	7,9,9

Bu dilsel ifadeler kullanılarak karar vericiler belirlenen kriterleri puanlandırabilirler. Tüm karar vericiler puanlandırma işlemini yaptıktan sonra aşağıdaki adımlar izlenir.

Adım 1: Birleşik Karar Matrisinin Oluşturulması

Karar vericilerin vermiş olduğu puanların bulanık sayılara dönüştürülmesinden sonra denklem (8) ve denklem (9) kullanılarak karar matrisleri birleştirilir.

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}) \quad (8)$$

$$a_{ij} = \min_k(a_{ij}^k), b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{ij}^k, c_{ij} = \max_k(c_{ij}^k) \quad (9)$$

Adım 2: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Oluşturulan birleşik karar matrisindeki kriterlerin fayda ve maliyet kriterleri olma durumuna göre fayda kriterleri için denklem (10) maliyet kriterleri için ise denklem (11) uygulanır (Kurt ve Yıldız, 2020: 98).

$$r_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \quad \text{ve} \quad c_j^* = \max_i(c_{ij}) \quad (10)$$

$$r_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \quad \text{ve} \quad a_j^- = \min_i(a_{ij}) \quad (11)$$

Adım 3: Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisinin Hesaplanması

Değerlendirilmeye tabi tutulacak kriterlerin ağırlıkları ile normalize edilmiş karar matrisinin ağırlıklandırılması denklem (12) yardımıyla bulunur (Kurt ve Yıldız, 2020: 98).

$$v_{ij} = r_{ij} \times w_{ij} \quad (12)$$

Adım 4: Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Hesaplanması

İdeal çözüme en yakın sonuçları bulmak için denklem (13) yardımıyla ideal pozitif çözüm ve denklem (14) yardımıyla ideal negatif çözüm bulunur (Ögel ve Nuryyev, 2020: 315).

$$v_j^* = \max_i(v_{ij3}) \quad \text{olduğunda} \quad A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) \quad (13)$$

$$v_j^- = \min_i(v_{ij1}) \quad \text{olduğunda} \quad A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (14)$$

Adım 5: İdeal Çözümlere Olan Uzaklığın Hesaplanması

İdeal çözümler bulunduktan sonra alternatiflerin kriterlerinin ideal pozitif çözüm ile ideal negatif çözüme olan uzaklıkları denklem (15) yardımıyla hesaplanır (Kurt ve Yıldız, 2020: 98).

$$d(x, y) = \sqrt{\left(\frac{1}{3}[(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2 + (c_1 - c_2)^2]\right)} \quad (15)$$

Adım 6: Her Bir Alternatifin İdeal Pozitif ve İdeal Negatif Çözümüne Olan Uzaklığı

Bu bölümde belirlenen her alternatifinin kriterlerine denklem (16) ve denklem (17) uygulanır (Kurt ve Yıldız, 2020: 98).

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^*) \quad (16)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(v_{ij}, v_j^-) \quad (17)$$

Adım 7: Herbir Alternatif İçin Yakınlık Katsayısının Hesaplanması

Herbir alternatif için denklem (18) kullanılarak yakınlık katsayısı hesaplanır. Bulunan sonuçlar büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi çözüm bulunur (Unvan, 2020: 909).

$$CC_I = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (18)$$

2.2.3. Bulanık MOORA Yöntemi

İlk kez Brauers ve Zavadskas tarafından kamuda özelleştirme çalışmalarında kullanılan bulanık MOORA yöntemi çok amaçlı bir optimizasyon yöntemi olmakla birlikte oransal analiz yöntemi ile çeşitli karar problemlerinde kullanılarak alternatif çözümler sunmaktadır (Şişman ve Doğan 2016: 361).

MOORA yönteminin diğer çok kriterli karar verme tekniklerine göre avantaj durumu aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 2.3: MOORA ve ÇKKVT'nin Kıyaslanması
(Özbek, 2021: 210)

Çkkvt	Basitlik	Hesaplama Süresi	Güvenilirlik	Matematiksel İşlemler	Veri Türü
VIKOR	Basit	Az	Orta	Makul	Nicel
TOPSIS	Makul Kritik	Makul	Orta	Makul	Nicel
Promethee	Makul Kritik	Fazla	Orta	Makul	Karma
Electre	Makul Kritik	Fazla	Orta	Makul	Karma
AHS	Çok Kritik	Çok Fazla	Zayıf	Azami	Karma
MOORA	Çok Basit	Çok Az	İyi	Asgari	Nicel

Bulanık MOORA yönteminin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir. Adımlar sıralanırken bulanık sayıların oluşturulması ve birleşik karar matrisinin oluşturulması aşaması bulanık TOPSIS ile aynı olduğu için o aşamalar tekrar anlatılmamıştır. Bundan sonraki çok kriterli karar verme teknikleri yöntemlerinin açıklamalarında da bu bölüm yapıldı sayılarak diğer adımlara geçilecektir.

Adım 1: Vektör Normalizasyonu ile Karar Matrisinin Oluşturulması

Denklem (8) ve denklem (9)'daki işlemler uygulanarak oluşturulan karar matrisi bu adımda normalleştirilmektedir. Bu adımda denklem (19), denklem (20) ve denklem (21) yardımıyla her üç bulanık sayı normalleştirilerek normalleştirme sürecinin daha doğru olması ve ikili karşılaştırmaların daha iyi yapılabilmesi sağlanmaktadır (Şişman, 2016: 308).

$$r_{ij}^l = \frac{x_{ij}^l}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^n)^2])}} \quad (19)$$

$$r_{ij}^m = \frac{x_{ij}^m}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^n)^2])}} \quad (20)$$

$$r_{ij}^n = \frac{x_{ij}^n}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m [(x_{ij}^l)^2 + (x_{ij}^m)^2 + (x_{ij}^n)^2])}} \quad (21)$$

Adım 2: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denlem (22), denklem (23) ve denklem (24)'den yararlanılarak ağırlıklı normalize karar matrisleri oluşturulur (Organ ve Kenger, 2018:275).

$$v_{ij}^l = w_j r_{ij}^l \quad (22)$$

$$v_{ij}^m = w_j r_{ij}^m \quad (23)$$

$$v_{ij}^n = w_j r_{ij}^n \quad (24)$$

Adım 3: Fayda Kriterleri Açısında Alternatiflerin Hesaplanması

Fayda kriteri için denklem (25), (26) ve (27);

$$S_i^{+l} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^l | j \in J^{max} \quad (25)$$

$$S_i^{+m} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^m | j \in J^{max} \quad (26)$$

$$S_i^{+n} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^n | j \in J^{max} \quad (27)$$

Maliyet kriteri için denklem (25-a), (25-b) ve (25-c) kullanılır (Şişman, 2016: 308).

$$S_i^{-l} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^l | j \in J^{min} \quad (25-a)$$

$$S_i^{-m} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^m | j \in J^{min} \quad (26-b)$$

$$S_i^{-n} = \sum_{j=1}^n v_{ij}^n | j \in J^{min} \quad (27-c)$$

Adım 4: Herbir Alternatifin Performans Değerinin Oluşturulması

Denklem (28) yardımıyla her bir alternatifin performans değeri aşağıdaki gibi oluşturulur (Şişman, 2016: 308).

$$S_i(s_i^+, s_i^-) = \sqrt{\left(\frac{1}{3}[(s_i^{+l} - s_i^{-l})^2 + (s_i^{+m} - s_i^{-m})^2 + (s_i^{+n} - s_i^{-n})^2]\right)} \quad (28)$$

Adım 5: Alternatif Sıralamalarının Yapılması

Performans indeks rakamları incelenerek alternatifler kendi içinde sıralanır ve en yüksek puana sahip alternatif tercih edilir (Organ ve Kenger, 2018: 275).

2.2.4. Bulanık GİA Yöntemi

Ju Long Deng tarafından belirsizliğin sayısal değerlere dönüştürülmesi amacıyla Gri Sistem Teorisi adı verilen bir yöntem önermiştir (Candan, 2019: 280).

Gri terimi zayıf, eksiz ya da belirsiz gibi anlamları ifade etmekle birlikte gri ilişki analiz de çok değişkenli durumlarda yeterli veriye sahip olmayan veya belirsizliğe sahip olması nedeniyle çözüme kavuşturulamayan problemler için mevcut olan tüm alternatif kriterleri karşılaştırarak derecelendirmesi işlemidir (Başdeğirmen ve Işılda, 2018: 565).

Gri ilişki analiz yöntemi, karmaşık ilişki içerisindeki karar problemlerine uygulanan bir çözüm olduğu için diğer çok kriterli karar verme teknikleriyle birlikte ya da tek başına oldukça başvurulan bir yöntemdir (Dinler, 2021: 203).

Gri ilişki analizinin aşamaları aşağıdaki gibidir. Sözel değerlerin bulanık değerlere dönüştürme işlemleri bulanık TOPSIS ve bulanık MOORA'da olduğu gibi hesaplandığı için o adım atlanarak diğer aşamaların açıklamaları verilmiştir.

Adım 1: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda fayda veya maliyet durumları göz önüne alınarak aşağıda verilen denklem (29) ve denklem (30) kullanılmaktadır (Şenocak, 2016: 32). Burada önemli olan nokta karar kriterlerimizin bize maliyet mi yoksa fayda mı sağladığının iyi tespit edilmesidir.

$$r_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad (29)$$

$$\text{Eğer, } r_j^+ = \max_i r_{ij}$$

$$r_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right), \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, n \quad (30)$$

$$\text{Eğer, } l_j^- = \min_i l_{ij}$$

Adım 2: Referans Serinin Belirlemesi

Aşağıda gösterilen amaç fonksiyonu en büyükleme ise denlem (31) ve amaç fonksiyonu en küçükleme ise denklem (32) yardımıyla karar matrisinde istenilen durumu elde etmek için seçilmesi gereken ve istenilen sonuca en yakın olan alternatifler tek tek belirlenerek referans serisi oluşturulur (Şenocak, 2016:32).

$$R_0 = [r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0n} = \max(r_{ij})] \quad j=1, 2, \dots, n \quad (31)$$

$$R_0 = [r_{01}, r_{02}, \dots, r_{0n} = \min(r_{ij})] \quad j=1, 2, \dots, n \quad (32)$$

Adım 3: Uzaklık Matrisinin Oluşturulması

Uzaklık matrisi denklem (33) ile gösterildiği şekliyle hesaplanmakta olup bu formül sayesinde oluşturulacak matris yardımıyla normalize karar matrisinde bulunan değerlerin, referans serisine olan uzaklıkları hesaplanacaktır (Şenocak, 2016: 32).

$$d(A, B) = \sqrt{\left(\frac{1}{3}[(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]\right)} \quad (33)$$

Adım 4: Gri İlişkisel Katsayı Matrisinin Oluşturulması

Gri ilişkisel katsayı matrisinin oluşturulması için kullanılacak olan formül denlem (34)'de gösterilmiştir.

$$y_{0i}(j) = \frac{\delta_{min} + \zeta\delta_{max}}{\delta_{0i}(j) + \zeta\delta_{max}} \quad (34)$$

$$\delta_{max} = \max_i \max_j \delta_{0i}(j)$$

$$\delta_{min} = \min_i \min_j \delta_{0i}(j)$$

Denklem (34)'de belirtilen ζ çıkacak sonucu belirleyici bir değerdir. Literatürde çoğunlukla 0,5 olarak alınmış olup $[0,1]$ arasında değer almaktadır (Akyurt ve Kabadayı, 2020:45). Bu katsayı 0,5'ten farklı bir değer olsa dahi alternatiflerin nihai sıralaması değişmeyecek olup değer 0,5'ten yüksek verilirse alternatifler arzu edilen değere yaklaşacak, 0,5'ten küçük verilmesi halinde arzu edilen değerlerden uzaklaşacaktır (Şenocak, 2016: 33).

Adım 5: Gri İlişkisel Derecelerin Hesaplanması

Aşağıda gösterilen denklem (35) yardımıyla ise belirlenen alternatifler kendi içerisinde sıralanır (Şenocak, 2016: 33).

$$\gamma_{0i} = \sum_{j=1}^n [w_i(j)\delta_{0i}(j)] \quad i=1,2,\dots,m \quad j=1,2,\dots,n \quad (35)$$

2.2.5. Bulanık VIKOR Yöntemi

Karar vericilerin tercihlerini belirleyememesi veya bilmemesi durumunda onlara yardımcı olmak amacıyla Opricovic tarafından çok kriterli karar verme tekniklerinden biri olan VIKOR yöntemi geliştirilmiştir (Yıldız ve Deveci, 2013: 429).

Bulanık VIKOR yöntemi ise; karşılaştırılmayacak derecede birbiri ile çelişen ayrık bulanık çok kriterli karar verme tekniklerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir (Polat ve Kara, 2021: 379).

Bulanık VIKOR yöntemi son yıllarda personel seçimi, tedarikçi seçimi ve kaynak planlaması gibi bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır (Yıldız, 2016: 118).

Bu yöntem uygulanırken aşağıdaki adımlar takip edilmelidir. Sözel değerlerin bulanık değerlere dönüştürme işlemleri bulanık TOPSIS, bulanık gri ilişkisel analiz ve bulanık MOORA’da olduğu gibi hesaplandığı için o adım atlanarak diğer aşamaların açıklamaları verilmiştir.

Adım 1: En İyi En Kötü Bulanık Değerin Belirlenmesi

Bu adımda her bir sütun kendi içerisinde incelenerek denklem (36) ve denklem (37) yardımıyla her bir sütunun maksimum ve minimum değerleri hesaplanır (Yavuz ve Deveci, 2014:466).

$$f_j^* = \max_i x_{ij} \quad (36)$$

$$f_j^- = \min_i x_{ij} \quad (37)$$

Adım 2: S_j ve R_j Değerlerinin Belirlenmesi

Aşağıda gösterilen denklem (38) ve denklem (39) yardımıyla S_j ve R_j değerleri hesaplanır. Buradaki denklemlerde gösterilen w_i kriter ağırlıklarını temsil ederken S_j ‘i’ alternatifin bütün kriterlere en iyi bulanık değere uzaklığını toplamını, R_j ise; ‘j’

krITERINE göre ‘i’ alternatifinin bulanık en kötü değere uzaklığını ifade etmektedir (Yavuz ve Deveci, 2014: 466).

$$S_j = \sum_{j=1} [w_i(f_i^* - x_{ij})/(f_i^* - f_i^-)] \quad (38)$$

$$R_j = \max[w_i(f_i^* - x_{ij})/(f_i^* - f_i^-)] \quad (39)$$

Adım 3: $S_j^-, S_j^*, R_j^-, R_j^*$ Yardımıyla Q_i Değerlerinin Belirlenmesi

Aşağıda gösterilen denklem (40) ve denklem (41) yardımıyla maksimum çoğunluk kuralı olan S_j^* ve farklı görüştekilerin minimum bireysel pişmanlığını ifade eden R_j^* bulunmaktadır. Bu hesaplamalardan sonra denklem (42) yardımıyla Q_i bulunmaktadır (Yılsız ve Deveci, 2013: 430).

$$S_j^* = \min_j S_j, S_j^- = \max S_j \quad (40)$$

$$R_j^* = \min_j R_j, R_j^- = \max R_j \quad (41)$$

$$Q_j = v(S_j - S^*)/(S^- - S^*) + (1 - v)(R_j - R^*)/(R^- - R^*) \quad (42)$$

Adım 4: Q_i Değerlerinin Durulaştırılması

Bu aşamada BNP (Best Nonfuzzy Performance Value) yöntemi kullanılarak, u_i bulanık sayının üst değeri, m_i orta değeri, l_i ise alt değeri göstermek kaydıyla Q_i değerinin bulanıklaştırılması sağlanmıştır ve buradaki Q_i , alternatiflerin sıralamasında kullanılmaktadır (Akyüz, 2012: 205).

$$BNP_i = [(u_i - l_i) + (m_i - l_i)]/3 + l_i \quad (43)$$

Adım 5: En İyi Alternatiflerin Uzlaştırıcı Çözüm Olup Olmadığının Kontrolü

Aşağıda aşamaları anlatılan her iki koşulunda sağlanması durumunda belirlenen alternatif uzlaştırıcı çözümdür.

1. Şart: Kabul Edilir Avantaj

$$Q(A^{--}) - Q(A^-) \geq DQ \quad (44)$$

$$DQ = \frac{1}{(m - 1)} \quad (45)$$

Bu eşitlik yardımıyla alternatif sayılarını A^- ilk sıradaki alternatifi A^{--} ise en iyi ikinci alternatifi temsil etmektedir (Akyol, 2019: 36).

2. Şart: Kabul Edilebilir İstikrar

En iyi alternatifin aynı zamanda S ve R değerlerinin sıralamasının en az bir tanesinde en iyi alternatif olduğu durum olmalıdır (Dinçer ve Görener: 249) . $Q(A^m) - Q(A^-) < DQ$ ise aynı zamanda 1. koşul sağlanamıyorsa (A^m) ve (A^-) alternatiflerine benzer çözümlerdir diyebiliriz (Faydalı ve Erkan, 2020: 9).

Adım 6: En İyi Alternatifin Seçilmesi

Bu adımda Q değeri en küçük olan alternatif en iyi alternatif olarak seçilmektedir (Faydalı ve Erkan, 2020: 9).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Bu bölümde Malatya 2. Sanayi Bölgesi'nde faaliyet göstermekte olan bir bağlantı elemanları fabrikasının ısıtım bölümünde oluşabilecek hatalar çerçevesinde, bulanık çok kriterli karar verme teknikleri kullanılarak HTEA yapılmıştır.

3.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İmalat sektörlerinde ürünün kalitesini etkileyen bir çok olumsuz durumla karşılaşılabilir. Özellikle fark edilirse hemen önlenemeyecek ama fark edilmediği takdirde büyük sorunlara yol açabilecek küçük hataların olması, işletmeleri büyük zararlara sevk edebilmektedir. Bu durumu engelleyebilmenin en temel yolu hata henüz ortaya çıkmadan oluşabileceğini öngörüp önlem almaktan geçmektedir. Bu çalışmanın amacı da imalat sektöründe meydana gelebilecek hataları tespit ederek hataları en önemliden itibaren sıralayıp çözüme kavuşturmadır.

Bu amaca ulaşmak için Malatya 2. Organize Bölgesi'nde 2012 yılından itibaren vida, civata ve somun üreten bir bağlantı elemanları işletmesinde üretilen ürünlerin dayanıklılığını arttırmaya yönelik önemli bir bölüm olan ısıtım aşamasında ürün veya işlem sürecinde meydana gelebilecek zararları tespit ederek bunları önlemeye yönelik çalışmaların yapılması amacıyla HTEA yapılmıştır.

Analiz yapılırken beyin fırtınası yöntemiyle hatalar belirlenmiş olup hataların sıralanması için birden fazla bulanık çok kriterli karar verme tekniği kullanılarak sıralamalar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikiden fazla bulanık çok kriterli karar verme tekniği kullanarak karşılaştırma ile hata sıralaması yapması ve daha önce bağlantı elemanları sektöründe böyle bir yöntemin kullanılmamış olması çalışmanın hem literatüre hem de sektöre sağladığı katkı olarak görülebilir.

3.2. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada belirlenen amaca ulaşmak için fabrikada ürün kalitesini arttırmaya yönelik en önemli çalışmalardan biri olan ve çalışma sırasında yaşanacak ufak aksaklıkların bile hem ürüne hem de işletmeye büyük zararlar vereceği bilinen ısıtma işlemi aşaması baz alınmıştır.

Bölümle ilgili oluşabilecek hatalar, süreç sahibi olan 1 Kimyager, 1 Metalurji ve Malzeme Mühendisi ile birlikte ısıtma işlemi öncesi süreçleri yöneten 1 Endüstri Mühendisi ve ısıtma işlemi sonrası malzemeye kaplama yapan bölüm sorumlusu 1 Kimyager ile birlikte beyin fırtınası yöntemiyle belirlenmiştir. Belirlenen hatalar kendi içerisinde süreci etkileyen ve ürünü etkileyen hatalar olmak üzere 2 gruba ayrılarak incelenmiştir.

Kendi içerisinde gruplara ayrılan hatalar için olma ihtimallerine göre çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük sözel ifadeleri ile belirlenen kişiler tarafından derecelendirilmiştir. Yapılan derecelendirmeler toplanarak sırasıyla bulanık TOPSIS, bulanık MOORA, bulanık gri ilişkisel analiz ve bulanık VIKOR yöntemleri uygulanarak HTEA yapılmıştır. Daha sonra ısıtma işlemi bölüm sorumluları ile klasik HTEA yapılmıştır. Analizlerin tamamında Ms Excel kullanılmış olup analiz sonuçları karşılaştırılarak tek bir hata sıralaması elde edilmiştir.

3.3. Hataların Tespitine Yönelik Analizler

Bu bölümde sırası ile çalışmaların uygulama aşamaları anlatılmıştır. Çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulamasına geçilmeden önce belirlenen süreç öncesi, süreç ve süreç sonrası sorumlular ile görüşülerek beyin fırtınasıyla ısıtma işlemi bölümünde meydana gelebilecek hatalar belirlenmiştir. Hatalar kendi içerisinde ürünü etkileyen ve süreci etkileyen hatalar olarak gruplandırılmıştır. Aşağıdaki Tablo 4.1’de süreci etkileyen hatalar ve Tablo 4.2’de ürünü etkileyen bu hatalar sıralanmıştır.

Tablo 3.1: Isıl İşlem Bölümünde Süreci Etkileyen Hatalar

ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması
Eksik personelle çalışılması	Üretimden seri ürün gelmemesi
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	Fırın bandının arızalanması
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması
Üretimden ürün gelmemesi	Plansız bakım yapılması
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	Isıl işlem hatlarının tıkanması
Hat sonundaki nozulların tıkanması	Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması

Tablo 3.2: Isıl İşlem Bölümünde Ürünü Etkileyen Hatalar

ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması
Fırın bandının arızalanması	Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağzındaki yağın yanması
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması

Gruplandırma işlemi yapıldıktan sonra her bir hatanın şiddeti, olasılığı ve keşfedilebilirliği çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere 5’li ölçekte belirlenen sorumlular tarafından sözel olarak değerlendirilmiştir. Verilen cevaplar neticesinde belirlenen bulanık çok kriterli karar verme teknikleri sırayla uygulanarak her biri için sıralama yapılmıştır.

3.3.1. DEMATEL Yöntemi ile Kriter Ağırlıklandırma

Bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerine geçmeden önce HTEA için belirlenmiş olan kriterlerden olan şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik DEMATEL yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır.

Ağırlıklandırma işlemi firmanın kalite yönetim sorumlusu tarafından yapılmış olup işlem adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1: Direk İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu çalışma için tek bir karar verici olduğu için denklem (1) uygulanmamış olup Tablo 2.1 yardımıyla şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik için aşağıdaki Tablo 3.3 oluşturulmuştur.

Tablo 3.3: Direk İlişki Matrisi

	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
Şiddet	0	0	3
Olasılık	0	0	2
Keşfedilebilirlik	0	4	0

Adım 2: Direk İlişki Matrisinin Normalize Edilmesi

Bu adımda satır ve sütunlar kendi aralarında toplanarak denklem (3) yardımıyla k değeri hesaplanır. Yapılan işlem neticesinde k değeri 0,2 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplama sonucunda denklem (2)'de belirtilen formül kullanılarak oluşturulan direk ilişki matrisi normalize edilir. Yapılan hesaplama neticesinde ortaya çıkarılan normalize edilmiş direk ilişki matrisi Tablo 3.4'de gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Normalize Edilmiş Direkt İlişki Matrisi

	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
Şiddet	0,000	0,000	0,600
Olasılık	0,000	0,000	0,400
Keşfedilebilirlik	0,000	0,800	0,000

Adım 3: Toplam İlişki Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda birim matris kullanılarak denklem (4) kullanılarak toplam ilişki matrisi Tablo 3.5'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3.5: Toplam İlişki Matrisi

	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
Şiddet	0,000	0,000	0,529
Olasılık	0,000	0,000	0,235
Keşfedilebilirlik	0,000	0,941	0,000

Adım 4: Etkileyen ve Etkilenen Değerlerin Belirlenmesi

Bu adım satır ve sütun toplamları denklem (5) ve denklem (6)'ya göre alınarak D vektörü ve R vektörü Tablo 3.6'daki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3.6: Etkileyen ve Etkilenen Değerler

	D Vektörü	R Vektörü
Şiddet	0,529	0,000
Olasılık	0,235	0,941
Keşfedilebilirlik	0,941	0,765

Adım 5: Kriterlerin Önem Ağırlıklarının Hesaplanması

Bu adımda denlem (7) yardımıyla D ve R vektörlerinin net etkileri üzerinden kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda kriterlerin önem ağırlıkları Tablo 3.7'deki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 3.7: Kriter Önem Ağırlıklarının Hesaplanması

Kriterler	Kriter Önem Ağırlığı
Şiddet	0,195
Olasılık	0,358
Keşfedilebilirlik	0,447

Yukarıdaki hesaplamalar sonucunda belirlenen kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiş olup en önemli kriter olarak 0,447 ağırlık ile keşfedilebilirlik belirlenmiştir. İkinci önemli kriter 0,358 ile olasılık olurken 0,195 ile şiddet üçüncü öneme sahip kriter olmuştur.

Bundan sonraki bölümlerde bu ağırlıklandırmalar kullanılarak sırasıyla bulanık TOPSIS, bulanık MOORA, bulanık gri ilişkisel analiz ve bulanık VIKOR yöntemleri ile HTEA yapılmıştır.

3.3.2. Bulanık TOPSIS Yöntemiyle HTEA Uygulaması

Bu bölümde bulanık TOPSIS yöntemi ile HTEA'nın nasıl yapıldığı açıklanmıştır.

Adım 1: Birleşik Karar Matrisinin Oluşturulması

DEMATEL ağırlıklandırma yönteminden sonra belirlenen sözel ifadeler kullanılarak Tablo 2.2'deki karşılıklar ilgili alanlara yazılmıştır. Yazılan değerlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi için denklemler (8) ve denklemler (9) kullanılarak süreç için belirlenen hatalar için Tablo 3.8 ve ürün için belirlenen hatalar için ise, Tablo 3.9 oluşturulmuştur.

Tablo 3.8: Süreçler İçin Birleşik Karar Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
	1	2,5	7	1	4,5	9	1	5	9
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	1	2,5	7	1	4,5	9	1	5	9
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	3	7	9	1	5	9	3	5	7
Eksik personelle çalışılması	1	6,5	9	1	6	9	1	2,5	5
Üretimden seri ürün gelmemesi	1	5,5	9	3	5,5	9	3	6	9
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	3	6,5	9	1	4	7	1	6,5	9
Fırın bandının arızalanması	5	8	9	1	4	7	1	4,5	9
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	5	8	9	1	3,5	9	1	3	9
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	7	9	9	1	1,5	5	1	6	9
Üretimden ürün gelmemesi	1	6	9	1	2,5	5	1	5,5	9
Plansız bakım yapılması	5	7,5	9	1	3,5	9	1	2,5	7
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	3	5,5	9	1	2	5	1	4,5	9
Isıl işlem hatlarının tıkanması	1	6	9	1	4,5	9	1	4	7
Hat sonundaki nozulların tıkanması	1	5,5	9	1	4,5	9	3	6,5	9
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	1	4	7	3	7,5	9	1	3,5	9
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	3	6	9	1	5,5	9	1	5	9
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	5	7,5	9	1	4	9	1	3	7
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	1	2,5	7	1	3,5	9	1	4,5	9
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	5	8	9	1	6	9	1	3,5	7

Tablo 3.9: Ürünler İçin Birleşik Karar Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	1	2,5	7	1	4,5	9	1	5	9
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	3	7	9	1	5	9	3	5	7
Fırın bandının arızalanması	1	6,5	9	1	6	9	1	2,5	5
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	1	5,5	9	3	5,5	9	3	6	9
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	3	6,5	9	1	4	7	1	6,5	9
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağzındaki yağın yanması	5	8	9	1	4	7	1	4,5	9
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	5	8	9	1	3,5	9	1	3	9
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	7	9	9	1	1,5	5	1	6	9
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	1	6	9	1	2,5	5	1	5,5	9
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	5	7,5	9	1	3,5	9	1	2,5	7
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	3	5,5	9	1	2	5	1	4,5	9
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	1	6	9	1	4,5	9	1	4	7
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	1	5,5	9	1	4,5	9	3	6,5	9
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	1	4	7	3	7,5	9	1	3,5	9
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	3	6	9	1	5,5	9	1	5	9
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	5	7,5	9	1	4	9	1	3	7

Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da karar vericilerin vermiş olduğu sözel cevaplar baz alınarak hazırlanmış olan bulanık sayılara dönüştürülmüş tablolar bundan sonraki bulanık çok kriterli karar verme tekniklerinde de birebir aynı şekilde kullanılmıştır.

Adım 2: Normalize Edilmiş Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denklem (10) ve denklem (11) yardımıyla Adım 1’de oluşturulan karar matrisleri normalize edilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken şiddet ve olasılık kriterlerinde yüksek puan alanları bulmak amaçlanırken keşfedilebilirlik için tam tersi düşük puanlı alternatif bulunmalıdır. Bu durumda şiddet ve olasılık fayda kriteri olarak keşfedilebilirlik ise maliyet kriteri olarak ele alınmıştır.

Süreci etkileyen hatalar göz önüne alındığında şiddet için maksimum c değeri 9 ve olasılık için maksimum c değeri 9 olarak alınırken keşfedilebilirlik için minimum a değeri 1 olarak alınmıştır.

Örneğin, süreci etkileyen hatalarda Şiddet, Olasılık ve Keşfedilebilirlik kriterleri için “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” alternatifi göz önüne alınırsa r_{ij} değeri;

$$\text{Şiddet için, } r_{ij} = \left(\frac{1}{9}, \frac{2,5}{9}, \frac{7}{9} \right)$$

$$\text{Olasılık için, } r_{ij} = \left(\frac{1}{9}, \frac{4,5}{9}, \frac{9}{9} \right)$$

$$\text{Keşfedilebilirlik için, } r_{ij} = \left(\frac{1}{1}, \frac{1}{5}, \frac{1}{9} \right)$$

olacak şekilde hesaplanır.

Bu durum tüm kriterler için uygulanarak aşağıda belirtilen Tablo 3.10 ile süreci etkileyen kriterler için normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuş olup Tablo 3.11’de ise aynı işlemler ürünü etkileyen kriterler için birleşik karar matrisine uygulanarak normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 3.10: Süreci Etkileyen Kriterler İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,111	0,278	0,778	0,111	0,500	1,000	0,111	0,200	1,000
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,333	0,778	1,000	0,111	0,556	1,000	0,143	0,200	0,333
Eksik personelle çalışılması	0,111	0,722	1,000	0,111	0,667	1,000	0,200	0,400	1,000
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,111	0,611	1,000	0,333	0,611	1,000	0,111	0,167	0,333
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,333	0,722	1,000	0,111	0,444	0,778	0,111	0,154	1,000
Fırın bandının arızalanması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,444	0,778	0,111	0,222	1,000
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,389	1,000	0,111	0,333	1,000
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,778	1,000	1,000	0,111	0,167	0,556	0,111	0,167	1,000
Üretimden ürün gelmemesi	0,111	0,667	1,000	0,111	0,278	0,556	0,111	0,182	1,000
Plansız bakım yapılması	0,556	0,833	1,000	0,111	0,389	1,000	0,143	0,400	1,000
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,333	0,611	1,000	0,111	0,222	0,556	0,111	0,222	1,000
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,111	0,667	1,000	0,111	0,500	1,000	0,143	0,250	1,000
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,111	0,611	1,000	0,111	0,500	1,000	0,111	0,154	0,333
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,111	0,444	0,778	0,333	0,833	1,000	0,111	0,286	1,000
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,333	0,667	1,000	0,111	0,611	1,000	0,111	0,200	1,000
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,556	0,833	1,000	0,111	0,444	1,000	0,143	0,333	1,000
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,111	0,278	0,778	0,111	0,389	1,000	0,111	0,222	1,000

Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,667	1,000	0,143	0,286	1,000
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tablo 3.11: Ürünü Etkileyen Kriterler İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,111	0,278	0,778	0,111	0,500	1,000	0,111	0,200	1,000
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,333	0,778	1,000	0,111	0,556	1,000	0,143	0,200	0,333
Fırın bandının arızalanması	0,111	0,722	1,000	0,111	0,667	1,000	0,200	0,400	1,000
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,111	0,611	1,000	0,333	0,611	1,000	0,111	0,167	0,333
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,333	0,722	1,000	0,111	0,444	0,778	0,111	0,154	1,000
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağzındaki yağın yanması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,444	0,778	0,111	0,222	1,000
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,389	1,000	0,111	0,333	1,000
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,778	1,000	1,000	0,111	0,167	0,556	0,111	0,167	1,000
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,111	0,667	1,000	0,111	0,278	0,556	0,111	0,182	1,000
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,556	0,833	1,000	0,111	0,389	1,000	0,143	0,400	1,000
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,333	0,611	1,000	0,111	0,222	0,556	0,111	0,222	1,000
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,111	0,667	1,000	0,111	0,500	1,000	0,143	0,250	1,000
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,111	0,611	1,000	0,111	0,500	1,000	0,111	0,154	0,333
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,111	0,444	0,778	0,333	0,833	1,000	0,111	0,286	1,000
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,333	0,667	1,000	0,111	0,611	1,000	0,111	0,200	1,000
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,556	0,833	1,000	0,111	0,444	1,000	0,143	0,333	1,000

Adım 3: Ağırlıklı Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denklem (12) kullanılarak DEMATEL yöntemi ile ağırlıklandırılmış kriterler alternatifler ile çarpılarak ağırlıklı karar matrisi oluşturulur.

Bu adım için izlenen yola örnek göstermek istenirse;

Süreç hatalarında şiddet kriteri için DEMATEL yöntemi ile belirlenmiş ağırlık olan 0,195 ile Tablo 3.10’da belirtilen şiddet değerleri sırası ile çarpılarak Tablo 3.12’de belirtilen şiddet değerleri elde edilir. Olasılık ve keşfedilebilirlik değerleri için de aynı yöntem kullanılarak ilgili değerler elde edilir. Hesaplama sonucunda bulunan değerler Tablo 3.12 ve Tablo 3.13’te gösterilmiştir.

Tablo 3.12: Süreç Hataları İçin Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,022	0,054	0,152	0,040	0,179	0,358	0,050	0,089	0,447
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,065	0,152	0,195	0,040	0,199	0,358	0,064	0,089	0,149
Eksik personelle çalışılması	0,022	0,141	0,195	0,040	0,238	0,358	0,089	0,179	0,447
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,022	0,119	0,195	0,119	0,219	0,358	0,050	0,075	0,149
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,065	0,141	0,195	0,040	0,159	0,278	0,050	0,069	0,447
Fırın bandının arızalanması	0,108	0,174	0,195	0,040	0,159	0,278	0,050	0,099	0,447
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,108	0,174	0,195	0,040	0,139	0,358	0,050	0,149	0,447
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,152	0,195	0,195	0,040	0,060	0,199	0,050	0,075	0,447
Üretimden ürün gelmemesi	0,022	0,130	0,195	0,040	0,099	0,199	0,050	0,081	0,447
Plansız bakım yapılması	0,108	0,163	0,195	0,040	0,139	0,358	0,064	0,179	0,447
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,065	0,119	0,195	0,040	0,079	0,199	0,050	0,099	0,447
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,022	0,130	0,195	0,040	0,179	0,358	0,064	0,112	0,447
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,022	0,119	0,195	0,040	0,179	0,358	0,050	0,069	0,149

Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,022	0,087	0,152	0,119	0,298	0,358	0,050	0,128	0,447
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,065	0,130	0,195	0,040	0,219	0,358	0,050	0,089	0,447
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,108	0,163	0,195	0,040	0,159	0,358	0,064	0,149	0,447
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,022	0,054	0,152	0,040	0,139	0,358	0,050	0,099	0,447
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,108	0,174	0,195	0,040	0,238	0,358	0,064	0,128	0,447

Tablo 3.13: Ürün Hataları İçin Ağırlıklı Normalleştirilmiş Karar Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,022	0,054	0,152	0,040	0,179	0,358	0,050	0,089	0,447
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,065	0,152	0,195	0,040	0,199	0,358	0,064	0,089	0,149
Fırın bandının arızalanması	0,022	0,141	0,195	0,040	0,238	0,358	0,089	0,179	0,447
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,022	0,119	0,195	0,119	0,219	0,358	0,050	0,075	0,149
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,065	0,141	0,195	0,040	0,159	0,278	0,050	0,069	0,447
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,108	0,174	0,195	0,040	0,159	0,278	0,050	0,099	0,447
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,108	0,174	0,195	0,040	0,139	0,358	0,050	0,149	0,447
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,152	0,195	0,195	0,040	0,060	0,199	0,050	0,075	0,447
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,022	0,130	0,195	0,040	0,099	0,199	0,050	0,081	0,447
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,108	0,163	0,195	0,040	0,139	0,358	0,064	0,179	0,447
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,065	0,119	0,195	0,040	0,079	0,199	0,050	0,099	0,447
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,022	0,130	0,195	0,040	0,179	0,358	0,064	0,112	0,447

Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,022	0,119	0,195	0,040	0,179	0,358	0,050	0,069	0,149
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,022	0,087	0,152	0,119	0,298	0,358	0,050	0,128	0,447
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,065	0,130	0,195	0,040	0,219	0,358	0,050	0,089	0,447
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,108	0,163	0,195	0,040	0,159	0,358	0,064	0,149	0,447

Adım 4: Bulanık Pozitif ve Negatif İdeal Çözümlerin Hesaplanması

Bu adımda denklem (13) ve denklem (14) yardımıyla ideal pozitif ve negatif çözümler hesaplanır.

Bu hesap için Tablo 3.12 ve Tablo 3.13'te belirtilen sütunların her biri ayrı ayrı incelenerek herbir sütundaki maksimum ve minimum değerler bulunur.

Tablo 3.14'te süreç, Tablo 3.15'te ise ürün hatalarının ideal pozitif ve negatif çözümleri bulunmuştur.

Tablo 3.14: Süreç Hatalarının Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
	Vj*	Vj-	Vj0	Vj*	Vj-	Vj0	Vj*	Vj-	Vj0
Vj*	0,152	0,195	0,195	0,119	0,298	0,358	0,089	0,179	0,447
Vj-	0,022	0,054	0,152	0,040	0,060	0,199	0,050	0,069	0,149

Tablo 3.15: Ürün Hatalarının Pozitif ve Negatif İdeal Çözümleri

	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
	Vj*	Vj-	Vj0	Vj*	Vj-	Vj0	Vj*	Vj-	Vj0
Vj*	0,152	0,195	0,195	0,119	0,298	0,358	0,089	0,179	0,447
Vj-	0,022	0,054	0,152	0,040	0,060	0,199	0,050	0,069	0,149

Adım 5: İdeal Çözümlere Olan Uzaklığın Hesaplanması

Bu adımda denklem (15) kullanılarak tüm alternatif kriterlerin ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanır.

Süreç hatalarından ilki olan “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” üzerinden örnek verecek olursak Tablo 3.12’de bulunan her bir değer ilgili V_j^* ve V_j - değerlerinden çıkarılır. Çıkan sonucun karesi alınır. İlgili değerler toplanarak 3’e bölünür ve karekökü alınır çıkan sonuç ideal çözüme olan uzaklıktır.

Bu durumda aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

V_j^* Şiddet değeri hesaplaması için;

$$V_j^* = \sqrt{\frac{1}{3}[(0,222 - 0,152)^2 + (0,054 - 0,195)^2 + (0,152 - 0,195)^2]}$$

V_j - Şiddet değeri hesaplaması için;

$$V_j = \sqrt{\frac{1}{3}[(0,222 - 0,222)^2 + (0,054 - 0,054)^2 + (0,152 - 0,152)^2]}$$

hesaplaması yapılarak V_j^* için 0,114 ve V_j - için 0 sonucu elde edilir. İlgili tabloların tamamı ise aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Tablo 3.16: Süreç Hatalarının İdeal Çözüme Olan Uzaklıkları

Süreci Etkileyen Hatalar	V_j^*			V_j -		
	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,114	0,083	0,056	0,000	0,115	0,173
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,056	0,073	0,180	0,067	0,122	0,014
Eksik personelle çalışılması	0,081	0,057	0,000	0,056	0,138	0,185
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,087	0,046	0,184	0,045	0,138	0,003
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,059	0,103	0,068	0,061	0,073	0,172
Fırın bandının arızalanması	0,028	0,103	0,051	0,089	0,073	0,173
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,028	0,103	0,029	0,089	0,103	0,178

Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma yağının bulunmaması	0,000	0,172	0,064	0,114	0,000	0,172
Üretimden ürün gelmemesi	0,084	0,154	0,061	0,050	0,023	0,172
Plansız bakım yapılması	0,031	0,103	0,015	0,084	0,103	0,184
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,067	0,163	0,051	0,052	0,011	0,173
Isıtma hatlarının tıkanması	0,084	0,083	0,041	0,050	0,115	0,174
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,087	0,083	0,185	0,045	0,115	0,000
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,101	0,000	0,037	0,019	0,172	0,175
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,063	0,065	0,056	0,056	0,130	0,173
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,031	0,092	0,023	0,084	0,108	0,178
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,114	0,103	0,051	0,000	0,103	0,173
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,028	0,057	0,033	0,089	0,138	0,176

Tablo 3.17: Ürün Hatalarının İdeal Çözüme Olan Uzaklıkları

Ürünü Etkileyen Hatalar	Vj*			Vj-		
	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,114	0,083	0,056	0,000	0,115	0,173
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,056	0,073	0,180	0,067	0,122	0,014

Fırın bandının arızalanması	0,081	0,057	0,000	0,056	0,138	0,185
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,087	0,046	0,184	0,045	0,138	0,003
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,059	0,103	0,068	0,061	0,073	0,172
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,028	0,103	0,051	0,089	0,073	0,173
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,028	0,103	0,029	0,089	0,103	0,178
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,000	0,172	0,064	0,114	0,000	0,172
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,084	0,154	0,061	0,050	0,023	0,172
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,031	0,103	0,015	0,084	0,103	0,184
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,067	0,163	0,051	0,052	0,011	0,173
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,084	0,083	0,041	0,050	0,115	0,174
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,087	0,083	0,185	0,045	0,115	0,000
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,101	0,000	0,037	0,019	0,172	0,175
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,063	0,065	0,056	0,056	0,130	0,173
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,031	0,092	0,023	0,084	0,108	0,178

Adım 6: Her Bir Alternatifin İdeal Pozitif ve İdeal Negatif Çözümüne Olan Uzaklığı

Bu adımda denklem (16) ve denklem (17) aracılığıyla Tablo 3.16 ve Tablo 3.17’de verilen değerler için her bir sütun kendi içinde V_j^* ve V_j^- ayrı ayrı olmak üzere toplanarak Tablo 3.18 ve Tablo 3.19’da belirtilen değerlere ulaşılır.

Tablo 3.18: Süreci Etkileyen Hataları di* ve di- Değerleri

Süreci Etkileyen Hatalar	dj*	dj-
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,253	0,287
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,310	0,203
Eksik personelle çalışılması	0,139	0,379
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,317	0,186
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,230	0,307
Fırın bandının arızalanması	0,183	0,335
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,159	0,370
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,236	0,286
Üretimden ürün gelmemesi	0,299	0,246
Plansız bakım yapılması	0,149	0,370
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,281	0,236
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,208	0,339
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,355	0,160
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,138	0,366
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,184	0,359
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,146	0,371
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,267	0,276
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,118	0,403

Tablo 3.19: Ürünü Etkileyen Hataları di* ve di- Değerleri

Ürünü Etkileyen Hatalar	dj*	dj-
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,253	0,287
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,310	0,203

Fırın bandının arızalanması	0,139	0,379
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,317	0,186
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,230	0,307
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,183	0,335
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,159	0,370
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,236	0,286
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,299	0,246
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,149	0,370
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,281	0,236
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,208	0,339
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,355	0,160
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,138	0,366
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,184	0,359
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,146	0,371

Adım 7: Herbir Alternatif İçin Yakınlık Katsayısının Hesaplanması

Bu adımda denklem (18) kullanılarak sonuçlar sıralanmıştır. Bu denklem uygulanırken örneğin süreç hatalarındaki “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” alternatifi için aşağıdaki formül uygulanarak;

$$CC_I = \frac{0,287}{0,287 + 0,253}$$

sonuç 0,531 olarak bulunmuştur.

Süreç hataları için hesaplanan diğer alternatifler ve ürün hataları alternatiflerinin sonuçları sırası ile Tablo 3.20 ve Tablo 3.21’de gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar büyükten küçüğe doğru sıralanmışlardır.

Tablo 3.20: Süreci Etkileyen Hataları CCI Değerleri

Süreci Etkileyen Hatalar	CCI
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,773
Eksik personelle çalışılması	0,732
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,726
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,717
Plansız bakım yapılması	0,713
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,699
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,661
Fırın bandının arızalanması	0,647
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,620
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,572
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,547
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,532
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,507
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,457
Üretimden ürün gelmemesi	0,451
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,396
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,370
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,311

Tablo 3.21: Ürünü Etkileyen Hataları CCI Değerleri

Ürünü Etkileyen Hatalar	CCI
Fırın bandının arızalanması	0,732
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,726
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,717
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,713

Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,699
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,661
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,647
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,620
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,572
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,547
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,532
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,457
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,451
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,396
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,370
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,311

Yukarıdaki tablolarda da görüldüğü gibi bulanık TOPSIS yöntemi ile yapılan HTEA’da süreci en çok etkileyen hata türü “Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması” olurken ürünü en çok etkileyen hata türü “Fırın bandının arızalanması” olarak belirlenmiştir.

3.3.3. Bulanık MOORA Yöntemiyle HTEA Uygulaması

Bu yöntem uygulanırken Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da belirtilen birleşik karar matrisleri aynı şekilde bu yöntemde de kullanılmıştır. Bulanık MOORA yönteminin birleşik karar matrisinden sonraki aşamaları aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

Adım 1: Vektör Normalizasyonu ile Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denklem (19), denklem (20) ve denklem (21) kullanılarak süreç hataları için belirlenen “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin

aksaması” kriteri için ilgili Tablo 3.8’de bulunan değerler ile aşağıdaki hesaplamalar yapılır.

$$r_{ij}^l = \frac{1}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m [(1)^2 + (2,5)^2 + (7)^2])}}$$

$$r_{ij}^m = \frac{2,5}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m [(1)^2 + (2,5)^2 + (7)^2])}}$$

$$r_{ij}^n = \frac{7}{\sqrt{(\sum_{i=1}^m [(1)^2 + (2,5)^2 + (7)^2])}}$$

Yukarıdaki işlemler sonucunda belirlenen kriter için normalize edilmiş değerleri sırası ile; 0,133 , 0,333 , 0,933 olacaktır.

Süreci etkileyen hatalar ve ürünü etkileyen hataların tamamı için yukarıda belirlenen işlem uygulanarak normalize edilmiş karar matrislerine ulaşılabacaktır.

İlgili işlemler yapılarak Tablo 3.22 ve Tablo 3.23’de sonuçlar gösterilmiştir.

Tablo 3.22: Süreci Etkileyen Hatalar İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,133	0,333	0,933	0,099	0,445	0,890	0,097	0,483	0,870
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,254	0,594	0,763	0,097	0,483	0,870	0,329	0,549	0,768
Eksik personelle çalışılması	0,090	0,583	0,807	0,092	0,552	0,829	0,176	0,440	0,880
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,094	0,519	0,849	0,274	0,502	0,821	0,267	0,535	0,802
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,261	0,565	0,783	0,123	0,492	0,862	0,090	0,583	0,807
Fırın bandının arızalanması	0,383	0,614	0,690	0,123	0,492	0,862	0,099	0,445	0,890
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,383	0,614	0,690	0,103	0,361	0,927	0,105	0,314	0,943

Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma yağı bulunmaması	0,482	0,620	0,620	0,188	0,282	0,941	0,092	0,552	0,829
Üretimden ürün gelmemesi	0,092	0,552	0,829	0,176	0,440	0,880	0,094	0,519	0,849
Plansız bakım yapılması	0,393	0,589	0,707	0,103	0,361	0,927	0,133	0,333	0,933
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,274	0,502	0,821	0,183	0,365	0,913	0,099	0,445	0,890
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,092	0,552	0,829	0,099	0,445	0,890	0,123	0,492	0,862
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,094	0,519	0,849	0,099	0,445	0,890	0,261	0,565	0,783
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,123	0,492	0,862	0,248	0,620	0,744	0,103	0,361	0,927
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,267	0,535	0,802	0,094	0,519	0,849	0,097	0,483	0,870
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,393	0,589	0,707	0,101	0,404	0,909	0,130	0,391	0,911
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,133	0,333	0,933	0,103	0,361	0,927	0,099	0,445	0,890
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,383	0,614	0,690	0,092	0,552	0,829	0,127	0,444	0,887

Tablo 3.23: Ürünü Etkileyen Hatalar İçin Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,130	0,391	0,911	0,101	0,404	0,909	0,097	0,483	0,870
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,248	0,620	0,744	0,127	0,444	0,887	0,094	0,519	0,849
Fırın bandının arızalanması	0,482	0,620	0,620	0,127	0,444	0,887	0,119	0,537	0,835
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,261	0,565	0,783	0,123	0,492	0,862	0,094	0,519	0,849
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,393	0,589	0,707	0,123	0,492	0,862	0,099	0,445	0,890
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,085	0,638	0,765	0,183	0,365	0,913	0,101	0,404	0,909
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,383	0,614	0,690	0,103	0,361	0,927	0,094	0,519	0,849

Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,090	0,583	0,807	0,183	0,365	0,913	0,267	0,535	0,802
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,254	0,594	0,763	0,099	0,445	0,890	0,097	0,483	0,870
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,383	0,614	0,690	0,123	0,492	0,862	0,119	0,537	0,835
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,097	0,483	0,870	0,103	0,361	0,927	0,097	0,483	0,870
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,248	0,620	0,744	0,123	0,492	0,862	0,099	0,445	0,890
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,097	0,483	0,870	0,101	0,404	0,909	0,099	0,445	0,890
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,248	0,620	0,744	0,101	0,404	0,909	0,097	0,483	0,870
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,097	0,483	0,870	0,094	0,519	0,849	0,099	0,445	0,890
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,183	0,365	0,913	0,103	0,361	0,927	0,176	0,440	0,880

Adım 2: Ağırlıklı Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denklem (22), denklem (23), denklem (24) kullanılarak Tablo 3.24 ve Tablo 3.25 oluşturulmuştur. Bu adımdaki değerlerin bulunması için DEMATEL ile ağırlıklandırılmış şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik katsayıları Tablo 22 ve Tablo 23'teki ilgili değerler ile çarpılmıştır.

Tablo 3.24: Süreci Etkileyen Hatalar İçin Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,026	0,065	0,182	0,035	0,159	0,318	0,043	0,216	0,389
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,050	0,116	0,149	0,035	0,173	0,311	0,147	0,245	0,344
Eksik personelle çalışılması	0,018	0,114	0,158	0,033	0,198	0,296	0,079	0,197	0,394
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,018	0,101	0,166	0,098	0,179	0,294	0,119	0,239	0,358

Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,051	0,110	0,153	0,044	0,176	0,308	0,040	0,261	0,361
Fırın bandının arızalanması	0,075	0,120	0,135	0,044	0,176	0,308	0,044	0,199	0,398
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,075	0,120	0,135	0,037	0,129	0,332	0,047	0,141	0,422
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,094	0,121	0,121	0,067	0,101	0,336	0,041	0,247	0,370
Üretimden ürün gelmemesi	0,018	0,108	0,162	0,063	0,157	0,315	0,042	0,232	0,380
Plansız bakım yapılması	0,077	0,115	0,138	0,037	0,129	0,332	0,060	0,149	0,417
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,053	0,098	0,160	0,065	0,131	0,327	0,044	0,199	0,398
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,018	0,108	0,162	0,035	0,159	0,318	0,055	0,220	0,385
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,018	0,101	0,166	0,035	0,159	0,318	0,117	0,253	0,350
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,024	0,096	0,168	0,089	0,222	0,266	0,046	0,161	0,414
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,052	0,104	0,157	0,034	0,186	0,304	0,043	0,216	0,389
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,077	0,115	0,138	0,036	0,145	0,325	0,058	0,175	0,407
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,026	0,065	0,182	0,037	0,129	0,332	0,044	0,199	0,398
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,075	0,120	0,135	0,033	0,198	0,296	0,057	0,198	0,397

Tablo 3.25: Ürünü Etkileyen Hatalar İçin Ağırlıklı Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,025	0,076	0,178	0,036	0,145	0,325	0,043	0,216	0,389
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,048	0,121	0,145	0,045	0,159	0,317	0,042	0,232	0,380
Fırın bandının arızalanması	0,094	0,121	0,121	0,045	0,159	0,317	0,053	0,240	0,373
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,051	0,110	0,153	0,044	0,176	0,308	0,042	0,232	0,380

Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,077	0,115	0,138	0,044	0,176	0,308	0,044	0,199	0,398
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağzındaki yağın yanması	0,017	0,125	0,149	0,065	0,131	0,327	0,045	0,181	0,406
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,075	0,120	0,135	0,037	0,129	0,332	0,042	0,232	0,380
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,018	0,114	0,158	0,065	0,131	0,327	0,119	0,239	0,358
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,050	0,116	0,149	0,035	0,159	0,318	0,043	0,216	0,389
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,075	0,120	0,135	0,044	0,176	0,308	0,053	0,240	0,373
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,019	0,094	0,170	0,037	0,129	0,332	0,043	0,216	0,389
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,048	0,121	0,145	0,044	0,176	0,308	0,044	0,199	0,398
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,019	0,094	0,170	0,036	0,145	0,325	0,044	0,199	0,398
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,048	0,121	0,145	0,036	0,145	0,325	0,043	0,216	0,389
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,019	0,094	0,170	0,034	0,186	0,304	0,044	0,199	0,398
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,036	0,071	0,178	0,037	0,129	0,332	0,079	0,197	0,394

Adım 3: Fayda Kriterleri Açısında Alternatiflerin Hesaplanması

Bu adımda ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisleri fayda kriterleri açısından incelenir. Bunun yapılabilmesi için denklem (25), (26), (27) ve denklem (25-a), (25-b), (25-c) kullanılır.

Süreci etkileyen hatalar üzerinden örnek verecek olursak; alternatifler, kriterlerin fayda mı yoksa maliyet türünde mi olduğuna bakılarak incelenir.

Örneğin süreci etkileyen hatalar için yeniden “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” üzerinden örnek verecek olursak; şiddet ve olasılık değerlerinin yüksek olduğu keşfedilebilirliğin düşük olduğu değeri bulmak istediğimiz için şiddet ve olasılık kriterlerini fayda modeli olarak keşfedilebilirliği ise; maliyet modeli olarak ele almamız gerekmektedir. Bu durumda ilgili denklemlerden

yararlanarak örnek olarak aldığımız alternatif için hesaplama yapacak olursak, Si* değeri için Tablo 3.24’te belirtilen şiddet ve olasılık değerleri;

Si* = (0,026+0,035) , (0,065+0,159) , (0,182+0,318) olacak şekilde hesaplanarak ilgili değer (0,061 , 0,224 , 0,501) olarak hesaplanacaktır.

Si- değeri için ise sadece keşfedilebilirlik ele alınacağı için Tablo 3.24’te bulunan değerler aynen alınacaktır. Bu durumda Si- için ilgili değer (0,043 , 0,216 , 0,389) olacaktır.

Süreç hatalarının geri kalanı ve ürün hataları için yapılmış olan hesaplamaların kalanları Tablo 3.26 ve Tablo 3.27’de gösterilmiştir.

Tablo 3.26: Süreci Etkileyen Hatalar İçin Fayda Kriterleri Kaşılaştırılmaları

Süreci Etkileyen Hatalar	Si*			Si-		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,061	0,224	0,501	0,043	0,216	0,389
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,084	0,289	0,460	0,147	0,245	0,344
Eksik personelle çalışılması	0,050	0,311	0,454	0,079	0,197	0,394
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,116	0,281	0,459	0,119	0,239	0,358
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,095	0,286	0,461	0,040	0,261	0,361
Fırın bandının arızalanması	0,119	0,296	0,443	0,044	0,199	0,398
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,112	0,249	0,466	0,047	0,141	0,422
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,161	0,222	0,457	0,041	0,247	0,370
Üretimden ürün gelmemesi	0,081	0,265	0,477	0,042	0,232	0,380
Plansız bakım yapılması	0,113	0,244	0,470	0,060	0,149	0,417
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,119	0,229	0,487	0,044	0,199	0,398
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,053	0,267	0,480	0,055	0,220	0,385

Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,054	0,261	0,484	0,117	0,253	0,350
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,113	0,318	0,434	0,046	0,161	0,414
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,086	0,290	0,460	0,043	0,216	0,389
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,113	0,259	0,463	0,058	0,175	0,407
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,063	0,194	0,514	0,044	0,199	0,398
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,108	0,317	0,431	0,057	0,198	0,397

Tablo 3.27: Ürünü Etkileyen Hatalar İçin Fayda Kriterleri Kaşılaştırılmaları

Ürünü Etkileyen Hatalar	Si*			Si-		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,062	0,221	0,503	0,043	0,216	0,389
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,094	0,280	0,463	0,042	0,232	0,380
Fırın bandının arızalanması	0,139	0,280	0,438	0,053	0,240	0,373
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,095	0,286	0,461	0,042	0,232	0,380
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,121	0,291	0,446	0,044	0,199	0,398
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,082	0,255	0,476	0,045	0,181	0,406
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,112	0,249	0,466	0,042	0,232	0,380
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,083	0,244	0,484	0,119	0,239	0,358
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,085	0,275	0,467	0,043	0,216	0,389
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,119	0,296	0,443	0,053	0,240	0,373
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,056	0,223	0,501	0,043	0,216	0,389
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,092	0,297	0,453	0,044	0,199	0,398
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,055	0,239	0,495	0,044	0,199	0,398

Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,085	0,266	0,470	0,043	0,216	0,389
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,053	0,280	0,474	0,044	0,199	0,398
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,072	0,200	0,510	0,079	0,197	0,394

Adım 4: Herbir Alternatifin Performans Değerinin Oluşturulması

Bu adımda denklem (28) kullanılarak performans değerleri oluşturulur. İlgili hesaplama sonucu oluşturulmuş performans değerleri Tablo 3.28 ve Tablo 3.29'da gösterilmiştir.

Tablo 3.28: Süreci Etkileyen Hataların Performans Değerleri

Süreci Etkileyen Hatalar	S
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksamaması	0,065
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	0,081
Eksik personelle çalışılması	0,077
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,063
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	0,067
Fırın bandının arızalanması	0,075
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,077
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,087
Üretimden ürün gelmemesi	0,063
Plansız bakım yapılması	0,070
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	0,069
Isıl işlem hatlarının tıkanması	0,061
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,086
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	0,099
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,064
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunmaması	0,067

Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,068
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,077

Süreci etkileyen hatalardan olan “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” üzerinden örnek verecek olursak ilgili işlem aşağıdaki gibidir:

$$R_0 = \sqrt{\left(\frac{1}{3}\right)[(0,061 - 0,043)^2 + (0,224 - 0,216)^2 + (0,501 - 0,389)^2]}$$

$$R_0 = \sqrt{0,0043}$$

$$R_0 = 0,065$$

Tablo 3.29: Ürünü Etkileyen Hataların Performans Değerleri

Ürünü Etkileyen Hatalar	S
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,067
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,063
Fırın bandının arızalanması	0,066
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	0,064
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,074
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,062
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,065
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,076
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,062
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,064
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	0,065
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	0,071
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,061
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,060
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,064

Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	0,067
---	-------

Adım 5: Alternatif Sıralamalarının Yapılması

Bu aşamada ise bulunan S değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanarak mevcut hatalar önem sırasına konulabilir. Bu durumda Tablo 3.28 ve Tablo 3.29’da bulunan S değerleri kendi içerisinde sıralamaya konulursa ;

Süreç için belirlenen hatalarda ilk sırayı “Üretimden gelen kazanların tam dolu gelmemesi” alırken ürün için belirlenen hatalarda ilk sırayı “Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması” alacaktır.

3.3.4. Bulanık GİA Yöntemiyle HTEA Uygulaması

Bu yöntem uygulanırken Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da belirtilen birleşik karar matrisleri aynı şekilde bu yöntemde de kullanılmıştır. Bulanık GİA yönteminin birleşik karar matrisinden sonraki aşamaları aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

Adım 1: Normalize Karar Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da bulunan değerler kendi içerisinde maliyet veya fayda olma durumlarına göre maksimum ve minimum değerleri bulunur. Bu durumda süreci etkileyen hataların sıralandığı Tablo 3.8 için şiddet ve olasılık değerlerinin maksimum, keşfedilebilirliğin minimum olduğu değerler bulunmalıdır. Bu durum için şiddet değerleri içerisindeki maksimum değer 9, olasılık değerleri içerisindeki maksimum değer 9 ve keşfedilebilirlik içerisindeki minimum değer 1 olduğunu görmekteyiz.

Bu hesaplamayı Tablo 3.9 için de yaptıktan sonra denklem (29) ve denklem (30) yardımıyla aşağıda gösterilen tablolar oluşturulmuştur.

Tablo 3.8’de süreci etkileyen alternatiflerden olan “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” maddesi için örnek yapılacak olursa, şiddet ve olasılık değerleri denlem (29) yardımıyla sırasıyla;

$$r_{ij} = \left(\frac{1}{9}, \frac{2,5}{9}, \frac{7}{9}\right) = (0,111, 0,278, 0,778)$$

$$r_{ij} = \left(\frac{1}{9}, \frac{4,5}{9}, \frac{9}{9}\right) = (0,111, 0,500, 1,000)$$

olarak hesaplanacaktır.

Aynı şekilde keşfedilebilirlik puanı da denklem (30) yardımıyla;

$$r_{ij} = \left(\frac{1}{1}, \frac{1}{5}, \frac{1}{9}\right) = (1,000, 0,200, 0,111)$$

olacaktır.

Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra süreci ve ürünü etkileyen hatalar için tablolar sırasıyla Tablo 3.30 ve Tablo 3.31’de gösterilmiştir.

Tablo 3.30: Süreci Etkileyen Hataların Normalize Karar Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,111	0,278	0,778	0,111	0,500	1,000	1,000	0,200	0,111
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,333	0,778	1,000	0,111	0,556	1,000	0,333	0,200	0,143
Eksik personelle çalışılması	0,111	0,722	1,000	0,111	0,667	1,000	1,000	0,400	0,200
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,111	0,611	1,000	0,333	0,611	1,000	0,333	0,167	0,111
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,333	0,722	1,000	0,111	0,444	0,778	1,000	0,154	0,111
Fırın bandının arızalanması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,444	0,778	1,000	0,222	0,111
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,389	1,000	1,000	0,333	0,111
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıl işlem yağının bulunmaması	0,778	1,000	1,000	0,111	0,167	0,556	1,000	0,167	0,111
Üretimden ürün gelmemesi	0,111	0,667	1,000	0,111	0,278	0,556	1,000	0,182	0,111
Plansız bakım yapılması	0,556	0,833	1,000	0,111	0,389	1,000	1,000	0,400	0,143
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,333	0,611	1,000	0,111	0,222	0,556	1,000	0,222	0,111
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,111	0,667	1,000	0,111	0,500	1,000	1,000	0,250	0,143

Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,111	0,611	1,000	0,111	0,500	1,000	0,333	0,154	0,111
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,111	0,444	0,778	0,333	0,833	1,000	1,000	0,286	0,111
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,333	0,667	1,000	0,111	0,611	1,000	1,000	0,200	0,111
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,556	0,833	1,000	0,111	0,444	1,000	1,000	0,333	0,143
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,111	0,278	0,778	0,111	0,389	1,000	1,000	0,222	0,111
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,667	1,000	1,000	0,286	0,143

Tablo 3.31: Ürünü Etkileyen Hataların Normalize Karar Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,111	0,333	0,778	0,111	0,444	1,000	1,000	0,200	0,111
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,333	0,833	1,000	0,111	0,389	0,778	1,000	0,182	0,111
Fırın bandının arızalanması	0,778	1,000	1,000	0,111	0,389	0,778	1,000	0,222	0,143
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,333	0,722	1,000	0,111	0,444	0,778	1,000	0,182	0,111
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,556	0,833	1,000	0,111	0,444	0,778	1,000	0,222	0,111
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağzındaki yağın yanması	0,111	0,833	1,000	0,111	0,222	0,556	1,000	0,250	0,111
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,556	0,889	1,000	0,111	0,389	1,000	1,000	0,182	0,111
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,111	0,722	1,000	0,111	0,222	0,556	0,333	0,167	0,111
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,333	0,778	1,000	0,111	0,500	1,000	1,000	0,200	0,111
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,556	0,889	1,000	0,111	0,444	0,778	1,000	0,222	0,143
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,111	0,556	1,000	0,111	0,389	1,000	1,000	0,200	0,111
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,333	0,833	1,000	0,111	0,444	0,778	1,000	0,222	0,111

Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,111	0,556	1,000	0,111	0,444	1,000	1,000	0,222	0,111
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,333	0,833	1,000	0,111	0,444	1,000	1,000	0,200	0,111
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,111	0,556	1,000	0,111	0,611	1,000	1,000	0,222	0,111
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,111	0,222	0,556	0,111	0,389	1,000	1,000	0,400	0,200

Adım 2: Referans Serinin Belirlemesi

Denklem (31) ve denklem (32)'de gösterildiği üzere referans serileri Tablo 3.30 ve 3.31'de ki değerler kendi içerisinde fayda ve maliyet durumuna göre maksimum ve minimum değerleri bulunarak referans seriler için kullanılacak değerler belirlenir.

Bu durumda süreci etkileyen hatalar incelediğinde şiddet için her bir sütun incelenirse değerler sırasıyla; 0,778 , 1,000 , 1,000 olacaktır. Diğer sütunlar da maliyet ve fayda durumu göz önüne alınarak referans seri değerleri bulunabilir. Bu durumda oluşacak değerler Tablo 3.32 ve Tablo 3.33'te gösterildiği gibi olacaktır.

Tablo 3.32: Süreci Etkileyen Hataların Referans Serileri

Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
0,778	1,000	1,000	0,333	0,833	1,000	0,333	0,154	0,111

Tablo 3.33: Ürünü Etkileyen Hataların Referans Serileri

Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
0,778	1,000	1,000	0,111	0,611	1,000	0,333	0,167	0,111

Adım 3: Uzaklık Matrisinin Oluşturulması

Denklem (33) yardımıyla uzaklık matrisi hesaplaması yapılır. Tablo 3.8’de süreci etkileyen alternatiflerden olan “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” maddesi için örnek yapılacaktır. Örnek yapıldığı üzere;

$$d(A, B) = \sqrt{\frac{1}{3}[(0,778 - 0,111)^2 + (1,000 - 0,278)^2 + (1,000 - 0,778)^2]}$$

hesaplaması ile şiddet değeri 0,848 olarak bulunacaktır. Kalan değerler için aynı işlem uygulandığında süreci ve ürünü etkileyen hatalar için oluşturulmuş olan tablolar sırasıyla Tablo 3.34 ve Tablo 3.35’teki gibi olacaktır.

Tablo 3.34: Süreci Etkileyen Hataların Uzaklık Matrisi Hesaplaması

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,848	0,357	0,388
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,339	0,306	0,056
Eksik personelle çalışılması	0,475	0,210	0,465
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,547	0,222	0,013
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,378	0,466	0,385
Fırın bandının arızalanması	0,170	0,466	0,391
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,170	0,463	0,425
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma yağının bulunmaması	0,000	0,811	0,385
Üretimden ürün gelmemesi	0,509	0,723	0,386
Plansız bakım yapılması	0,210	0,463	0,458
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,466	0,766	0,391
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,509	0,357	0,398
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,547	0,357	0,000

Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,711	0,000	0,407
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,421	0,257	0,388
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,210	0,410	0,426
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,848	0,463	0,391
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,170	0,210	0,408

Tablo 3.35: Ürünü Etkileyen Hataların Uzaklık Matrisi Hesaplaması

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,801	0,167	0,386
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,306	0,314	0,385
Fırın bandının arızalanması	0,000	0,314	0,390
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,378	0,278	0,385
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,210	0,278	0,389
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağzındaki yağın yanması	0,419	0,591	0,394
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,170	0,222	0,385
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,475	0,591	0,000
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,339	0,111	0,386
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,170	0,278	0,390
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,588	0,222	0,386
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,306	0,278	0,389
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,588	0,167	0,389

Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,306	0,167	0,386
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,588	0,000	0,389
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,975	0,222	0,459

Adım 4: Gri İlişkisel Katsayı Matrisinin Oluşturulması

Bu adımda denklem (34) yardımıyla aşağıdaki işlem uygulanmıştır. Bu işlemin yapılması için öncelikli olarak Tablo 3.34 ve Tablo 3.35’de gösterilen tüm değerler kendi içerisinde incelenerek maksimum ve minimum değerleri bulunur.

Bu durumda Tablo 3.34’ün maksimum değeri 0,848 iken minimum değeri 0’dır. Aynı şekilde Tablo 3.35’in maksimum değeri 0,975 iken minimum değeri 0’dır.

Denklem (34)’de belirtilen ζ literatürde çoğunlukla alındığı gibi 0,5 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda Tablo 3.8’de süreci etkileyen alternatiflerden olan “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” için şiddet değeri hesaplaması;

$$y_{0i}(j) = \frac{0 + (0,5 \times 0,848)}{0,848 + (0,5 \times 0,848)}$$

olacak olup sonuç 0,333 şeklinde çıkacaktır. Geri kalan alternatiflere de aynı işlem uygulandığı takdirde Tablo 3.36 ve Tablo 3.37’de gösterilen değerlere ulaşılabilecektir.

Tablo 3.36: Süreci Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Katsayı Matrisi

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,333	0,543	0,522
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,555	0,581	0,883
Eksik personelle çalışılması	0,472	0,668	0,477
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,437	0,656	0,971

Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,529	0,476	0,524
Fırın bandının arızalanması	0,714	0,476	0,520
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,714	0,478	0,500
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma işlem yağının bulunmaması	1,000	0,343	0,524
Üretimden ürün gelmemesi	0,454	0,370	0,524
Plansız bakım yapılması	0,668	0,478	0,481
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,476	0,356	0,520
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,454	0,543	0,516
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,437	0,543	1,000
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,373	1,000	0,510
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,502	0,623	0,522
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,668	0,509	0,499
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,333	0,478	0,520
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,714	0,668	0,510

Tablo 3.37: Ürünü Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Katsayı Matrisi

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet	Olasılık	Keşfedilebilirlik
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,378	0,745	0,558
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,614	0,608	0,559
Fırın bandının arızalanması	1,000	0,608	0,555
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,563	0,637	0,559
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,699	0,637	0,556
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,538	0,452	0,553
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,742	0,687	0,559

Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulosunda eğiklik olması	0,507	0,452	1,000
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,590	0,814	0,558
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,742	0,637	0,555
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,453	0,687	0,558
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,614	0,637	0,556
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,453	0,745	0,556
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,614	0,745	0,558
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,453	1,000	0,556
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,333	0,687	0,515

Adım 5: Gri İlişkisel Derecelerin Hesaplanması

Denklem (35) yardımıyla alternatiflerin nihai değerleri oluşturulur. Denklem içerisinde verilen w_j değeri için DEMATEL yöntemi ile ağırlıklandırılmış şiddet, olasılık ve keşfedilebilirlik puanları kullanılmıştır.

Bu durumda süreci etkileyen alternatiflerden olan “ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması” için şiddet değeri hesaplaması;

$$\gamma_{0i} = \sum_{j=1}^3 [(0,195 \times 0,333) + (0,358 \times 543) + (0,447 + 522)] = 0,493$$

olarak hesaplanacaktır.

Kalan değerler de aynı şekilde hesaplandığı takdirde süreci ve ürünü etkileyecek hata türleri Tablo 3.38 ve Tablo 3.39’da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Çıkan sonuçlar ise kendi arasında büyükten küçüğe olacak şekilde sıralanmıştır.

Tablo 3.38: Süreci Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Değerleri

Süreci Etkileyen Hatalar	Toplam
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,754
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,726
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,711
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,659
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,606
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,554
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma işlem yağının bulunmaması	0,552
Eksik personelle çalışılması	0,544
Fırın bandının arızalanması	0,542
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,535
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,534
Plansız bakım yapılması	0,516
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,513
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,508
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,493
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,469
Üretimden ürün gelmemesi	0,455
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,453

Tablo 3.39: Ürünü Etkileyen Hataların Gri ilişkisel Değerleri

Ürünü Etkileyen Hatalar	Toplam
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,708
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,695
Fırın bandının arızalanması	0,661
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,656

Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,640
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,636
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,621
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,613
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,604
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,596
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,590
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,588
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,587
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,584
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,541
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,514

Tablolarda da görüldüğü üzere süreci etkileyen hatalar için ilk sırada “Üretimden seri ürün gelmemesi” olarak bulunurken ürünü etkileyen hatalar için ilk sırada “Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması” olarak bulunmuştur.

3.3.5. Bulanık VIKOR Yöntemiyle HTEA Uygulaması

Bu yöntem uygulanırken Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da belirtilen birleşik karar matrisleri aynı şekilde bu yöntemde de kullanılmıştır. Bulanık VIKOR yönteminin birleşik karar matrisinden sonraki aşamaları aşağıdaki şekilde uygulanmıştır.

Adım 1: En İyi En Kötü Bulanık Değerin Belirlenmesi

Denklem (36) ve denklem (37) yardımıyla Tablo 3.8 ve Tablo 3.9’da belirtilen birleşik karar matrislerinin tüm sütunları kendi arasında incelenerek her sütunun minimum ve maksimum değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler aşağıdaki Tablo 3.40 ve Tablo 3.41’de gösterilmiştir.

Tablo 3.40: Süreci Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde f_j^* ve f_j^-

Değerlerinin Hesaplanması

	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
f_j^*	7	9	9	3	7,5	9	3	6,5	9
f_j^-	1	2,5	7	1	1,5	5	1	2,5	5

Tablo 3.41: Ürünü Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde f_j^* ve f_j^-

Değerlerinin Hesaplanması

	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
f_j^*	7	9	9	1	5,5	9	3	6	9
f_j^-	1	2	5	1	2	5	1	2,5	5

Adım 2: S_j ve R_j Değerlerinin Belirlenmesi

Bu adımda öncelikli olarak denklem (38) yardımıyla S_j değeri hesaplanmıştır. Süreci etkileyen hataların ilk şiddet değeri olan Tablo 3.8'deki değer için örnek verilecek olursa; DEMATEL ile ağırlıklandırılmış şiddet puanının, ilgili sütunun maksimum değeri olan f_j^* değerinden ilgili sütundaki ilk değer çıkarılmasının sonucu ile çarpılıp bu sonucun ilgili sütunun f_j^* değeri ile f_j^- farkına bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu işlem denklem yardımıyla anlatılacak olursa,

$$S_j = [0,195 * (7 - 1)/(7 - 1)]$$

$$S_j = 0,195$$

olacak şekilde sonuç bulunur. Tüm değerler için aynı formülü uyguladıktan sonra tüm satırlar kendi arasında toplanarak ilgili hatanın S_j değeri bulunur. Bu hesaplama sonucunda bulunan S_j değerleri Tablo 3.42 ve Tablo 3.43'de gösterilmiştir.

Tablo 3.42: Süreci Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde S_j Değerlerinin Hesaplanması

Süreci Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,195	0,195	0,195	0,358	0,179	0,000	0,447	0,168	0,000
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,130	0,060	0,000	0,358	0,149	0,000	0,000	0,168	0,224
Eksik personelle çalışılması	0,195	0,075	0,000	0,358	0,089	0,000	0,447	0,447	0,447
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,195	0,105	0,000	0,000	0,119	0,000	0,000	0,056	0,000
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,130	0,075	0,000	0,358	0,209	0,179	0,447	0,000	0,000
Fırın bandının arızalanması	0,065	0,030	0,000	0,358	0,209	0,179	0,447	0,224	0,000
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,065	0,030	0,000	0,358	0,238	0,000	0,447	0,391	0,000
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma yağının bulunmaması	0,000	0,000	0,000	0,358	0,358	0,358	0,447	0,056	0,000
Üretimden ürün gelmemesi	0,195	0,090	0,000	0,358	0,298	0,358	0,447	0,112	0,000
Plansız bakım yapılması	0,065	0,045	0,000	0,358	0,238	0,000	0,447	0,447	0,224
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,130	0,105	0,000	0,358	0,328	0,358	0,447	0,224	0,000
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,195	0,090	0,000	0,358	0,179	0,000	0,447	0,279	0,224
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,195	0,105	0,000	0,358	0,179	0,000	0,000	0,000	0,000
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,195	0,150	0,195	0,000	0,000	0,000	0,447	0,335	0,000
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,130	0,090	0,000	0,358	0,119	0,000	0,447	0,168	0,000
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,065	0,045	0,000	0,358	0,209	0,000	0,447	0,391	0,224
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,195	0,195	0,195	0,358	0,238	0,000	0,447	0,224	0,000
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,065	0,030	0,000	0,358	0,089	0,000	0,447	0,335	0,224

Tablo 3.43: Ürünü Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde S_j Değerlerinin Hesaplanması

Ürünü Etkileyen Hatalar	Şiddet			Olasılık			Keşfedilebilirlik		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,195	0,167	0,098	0,000	0,153	0,000	0,447	0,128	0,000
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,130	0,042	0,000	0,000	0,204	0,179	0,447	0,064	0,000
Fırın bandının arızalanması	0,000	0,000	0,000	0,000	0,204	0,179	0,447	0,192	0,224
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,130	0,070	0,000	0,000	0,153	0,179	0,447	0,064	0,000
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,065	0,042	0,000	0,000	0,153	0,179	0,447	0,192	0,000
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,195	0,042	0,000	0,000	0,358	0,358	0,447	0,255	0,000
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,065	0,028	0,000	0,000	0,204	0,000	0,447	0,064	0,000
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,195	0,070	0,000	0,000	0,358	0,358	0,000	0,000	0,000
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,130	0,056	0,000	0,000	0,102	0,000	0,447	0,128	0,000
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,065	0,028	0,000	0,000	0,153	0,179	0,447	0,192	0,224
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,195	0,112	0,000	0,000	0,204	0,000	0,447	0,128	0,000
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,130	0,042	0,000	0,000	0,153	0,179	0,447	0,192	0,000
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,195	0,112	0,000	0,000	0,153	0,000	0,447	0,192	0,000
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,130	0,042	0,000	0,000	0,153	0,000	0,447	0,128	0,000
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,195	0,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,447	0,192	0,000
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,195	0,195	0,195	0,000	0,204	0,000	0,447	0,447	0,447

Yukarıda gösterilen bu tablolar yardımıyla her bir satırdaki kriterler kendi içerisinde toplanarak S_j değeri ve denklem (39) yardımıyla her bir satırdaki kriterlerin maksimum değeri belirlenerek R_j değeri hesaplanır yapılan hesaplamalar sonucu bulunan değerler Tablo 3.44 ve Tablo 3.45’de gösterilmiştir.

Tablo 3.44: Süreci Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde S_j ve R_j Değerleri

Süreci Etkileyen Hatalar	Si			Ri		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,586	0,537	0,615	0,195	0,358	0,447
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,190	0,507	0,391	0,130	0,358	0,224
Eksik personelle çalışılması	0,270	0,447	1,341	0,195	0,358	0,447
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,300	0,119	0,056	0,195	0,119	0,056
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,205	0,745	0,447	0,130	0,358	0,447
Fırın bandının arızalanması	0,095	0,745	0,671	0,065	0,358	0,447
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,095	0,596	0,838	0,065	0,358	0,447
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma işlem yağının bulunmaması	0,000	1,073	0,503	0,000	0,358	0,447
Üretimden ürün gelmemesi	0,285	1,013	0,559	0,195	0,358	0,447
Plansız bakım yapılması	0,110	0,596	1,118	0,065	0,358	0,447
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,235	1,043	0,671	0,130	0,358	0,447
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,285	0,537	0,950	0,195	0,358	0,447
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,300	0,537	0,000	0,195	0,358	0,000
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,541	0,000	0,782	0,195	0,000	0,447
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,220	0,477	0,615	0,130	0,358	0,447
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,110	0,566	1,062	0,065	0,358	0,447
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,586	0,596	0,671	0,195	0,358	0,447
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,095	0,447	1,006	0,065	0,358	0,447

Tablo 3.45: Ürünü Etkileyen Hataların Bulanık VIKOR Yönteminde S_j ve R_j Değerleri

Ürünü Etkileyen Hatalar	Si			Ri		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,460	0,153	0,575	0,195	0,153	0,447
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,172	0,383	0,511	0,130	0,204	0,447
Fırın bandının arızalanması	0,000	0,383	0,862	0,000	0,204	0,447
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,200	0,332	0,511	0,130	0,179	0,447
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,107	0,332	0,639	0,065	0,179	0,447
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,237	0,715	0,703	0,195	0,358	0,447
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,093	0,204	0,511	0,065	0,204	0,447
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,265	0,715	0,000	0,195	0,358	0,000
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,186	0,102	0,575	0,130	0,102	0,447
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,093	0,332	0,862	0,065	0,179	0,447
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,307	0,204	0,575	0,195	0,204	0,447
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,172	0,332	0,639	0,130	0,179	0,447
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,307	0,153	0,639	0,195	0,153	0,447
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,172	0,153	0,575	0,130	0,153	0,447
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,307	0,000	0,639	0,195	0,000	0,447
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,586	0,204	1,341	0,195	0,204	0,447

Adım 3: S_j^- , S_j^* , R_j^- , R_j^* Yardımıyla Q_i Değerlerinin Belirlenmesi

Bu adımda denklem (40) ve denklem (41) yardımıyla Si ve Ri sütunları kendi içerisinde incelenerek her bir sütundaki minimum değerleri S_j^* ve R_j^* değerlerini, aynı

sütunların maksimum değerleri ise Si- ve Ri- değerlerini vermektedir. Bu durumda bulunan sonuçlar Tablo 3.46 ve Tablo 3.47'deki gibidir.

Tablo 3.46: Süreci Etkileyen Hataların S_j^- , S_j^* , R_j^- , R_j^* Değerleri

Sj*	0,000	0,000	0,000
Sj-	0,586	1,073	1,341
Rj*	0,000	0,000	0,000
Rj-	0,195	0,358	0,447

Tablo 3.47: Ürünü Etkileyen Hataların S_j^- , S_j^* , R_j^- , R_j^* Değerleri

Sj*	0,000	0,000	0,000
Sj-	0,586	0,715	1,341
Rj*	0,000	0,000	0,000
Rj-	0,195	0,358	0,447

Tablo 3.46 ve Tablo 3.47'deki rakamlar ile birlikte denklem (42) yardımıyla Q_j değeri bulunur. Süreci etkileyen hatalardan ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması hatası ele alınacak olursa, formül v değeri 0,5 kabul edilmek üzere

$$Q_j = 0,5(0,586 - 0,000)/(0,586 - 0,000) + (1 - 0,5)(0,195 - 0,000)/(0,195 - 0,000)$$

şeklinde olacaktır. Buradan da sonuç 1,000 olarak hesaplanacaktır. Süreci ve Ürünü etkileyen hataların tamamı için ilgili Q_j değerleri Tablo 3.48 ve Tablo 3.49'da gösterilmiştir.

Tablo 3.48: Süreci Etkileyen Hataların Qj Değerleri

Süreci Etkileyen Hatalar	Qj		
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	1,000	0,750	0,729
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,496	0,736	0,396
Eksik personelle çalışılması	0,731	0,708	1,000
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,756	0,222	0,083
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,509	0,847	0,667
Fırın bandının arızalanması	0,248	0,847	0,750
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,248	0,778	0,813
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma yağı bulunmaması	0,000	1,000	0,688
Üretimden ürün gelmemesi	0,744	0,972	0,708
Plansız bakım yapılması	0,261	0,778	0,917
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,534	0,986	0,750
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,744	0,750	0,854
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,756	0,750	0,000
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,962	0,000	0,792
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,521	0,722	0,729
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,261	0,764	0,896
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	1,000	0,778	0,750
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,248	0,708	0,875

Tablo 3.49 : Ürünü Etkileyen Hataların Qj Değerleri

Ürünü Etkileyen Hatalar	Qj		
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,893	0,321	0,714
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,480	0,554	0,690
Fırın bandının arızalanması	0,000	0,554	0,821
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,504	0,482	0,690

Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,258	0,482	0,738
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,702	1,000	0,762
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,246	0,429	0,690
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,726	1,000	0,000
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,492	0,214	0,714
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,246	0,482	0,821
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,762	0,429	0,714
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,480	0,482	0,738
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,762	0,321	0,738
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,480	0,321	0,714
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,762	0,000	0,738
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	1,000	0,429	1,000

Adım 4: Q_j Değerlerinin Durulaştırılması

Bu adımda Q_j için bulunan değerlerin her bir satırdaki ortalaması alınarak ya da denklem (43) yardımıyla Q_j değeri durulaştırılır. Formül üzerinden yapılacak sürecin aksamasına neden olan risklerdeki ilk sıranın hesaplaması aşağıdaki gibi olacaktır.

$$BNP_i = [(0,729 - 1,000) + (0,750 - 1,000)]/3 + 1,000$$

bu işlem sonucunda 0,826 bulunur. Sürecin ve ürünün hatalı olmasına neden olan kalan hataların durulaştırılmış Q_j değeri Tablo 3.50 ve Tablo 3.51’de gösterilmiştir.

Tablo 3.50: Süreci Aksatan Hataların Durulaştırılmış Q_j Değeri

Süreci Etkileyen Hatalar	Q_j
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,826
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,543
Eksik personelle çalışılması	0,813
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,354
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,674

Fırın bandının arızalanması	0,615
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,613
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma işlem yağının bulunmaması	0,563
Üretimden ürün gelmemesi	0,808
Plansız bakım yapılması	0,652
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,757
Isıtma işlem hatlarının tıkanması	0,783
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,502
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,584
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,658
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,640
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,843
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,610

Tablo 3.51: Ürün Kaynaklı Hataların Durulaştırılmış Qj Değeri

Ürünü Etkileyen Hatalar	Qj
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,643
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,575
Fırın bandının arızalanması	0,458
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,559
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,493
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,821
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,455
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,575
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,474
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,517
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,635
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,567
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,607

Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,505
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,500
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,810

Adım 5: En İyi Alternatiflerin Uzlaştırıcı Çözüm Olup Olmadığının Kontrolü

Bu adım yardımıyla, bulunan değerlerin uzlaştırıcı çözüm olup olmadığı kontrol edilir. Denklem (44) ve denklem (45) yardımıyla birinci koşulun sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Bu durumda durulaştırılmış Q_j değerleri büyükten küçüğe sıralanır. İkinci en küçük değerden en küçük değer çıkarılır. Çıkan sonuç denklem (45) de gösterilen değerden büyük veya eşit ise 1. koşul sağlanıyor demektir. Denklem (45)'de belirtilen m değeri hata sayısıdır.

2. koşul için ise nihai olarak bulunan Q_j , S_j ve R_j değerleri küçükten büyüğe kendi içerisinde sıralanır. Q_j değerinde belirlenen en iyi alternatifin S_j ya da R_j 'den en az birinde de en iyi alternatif olması durumunda 2. koşulda sağlanıyor demektir.

Süreci etkileyen hatalar bu aşamalar doğrultusunda incelendiğinde 2 koşulu da sağladığı görülmektedir. Ancak ürünü etkileyen hatalar 1. koşulu sağlamayıp ikinci koşulu sağlamaktadır.

Adım 6: En İyi Alternatifin Seçilmesi

Süreci etkileyen hatalar her iki koşulu da sağladığı için sıralama Q_j değerinin küçükten büyüğe sıralanmış hali olan Tablo 3.52'de gösterildiği gibi olacaktır.

Tablo 3.52: Süreci Etkileyen Hataların Sıralanması

Süreci Etkileyen Hatalar	Q_j
Üretimden seri ürün gelmemesi	0,354
Hat sonundaki nozulların tıkanması	0,502
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	0,543
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma yağının bulunmaması	0,563

Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	0,584
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	0,610
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	0,613
Fırın bandının arızalanması	0,615
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	0,640
Plansız bakım yapılması	0,652
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,658
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	0,674
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	0,757
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	0,783
Üretimden ürün gelmemesi	0,808
Eksik personelle çalışılması	0,813
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	0,826
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,843

Ürünü etkileyen hatalarda ise 1. koşul sağlanamazken 2. koşul sağlanmaktadır. Bu durumda da $Q(A^m) - Q(A^-) < DQ$ 'nun olduğu durumlara alternatif çözümler diyebiliriz.

Ancak ilgili çalışmada Q_j değerleri küçükten büyüğe sıralanarak hatalar belirlenmiştir.

Tablo 3.53: Ürünü Etkileyen Hataların Sıralanması

Ürünü Etkileyen Hatalar	Q_j
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	0,455
Fırın bandının arızalanması	0,458
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	0,474
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	0,493
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	0,500
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	0,505

Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	0,517
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	0,559
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	0,567
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	0,575
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	0,575
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	0,607
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	0,635
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	0,643
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	0,810
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	0,821

3.3.6. Klasik HTEA Yöntemi ile Analiz

Bu adımda ısıtma işlem bölümü çalışanları ile beyin fırtınası yöntemi ile belirlenen hatalara klasik HTEA yöntemi ile puanlar atanmıştır. İlgili çalışmanın sonuçları Tablo 3.54 ve Tablo 3.55'te gösterilmiştir.

Tablo 3.54: Süreci Etkileyen Hataların HTEA'ya Göre Sıralanması

Olası Hata Türü	Şiddet	Olasılık	Keşif	R.ö.f
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	7	10	10	700
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	7	9	10	630
Eksik personelle çalışılması	9	7	9	567
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçaların bulunamaması veya geç gelmesi	7	7	10	490
Plansız bakım yapılması	7	8	6	336
Üretimden ürün gelmemesi	5	6	10	300
Üretimden seri ürün gelmemesi	5	6	10	300
Isıl işlem hatlarının tıkanması	7	3	8	168
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	5	4	7,5	150
Reproses kaynaklı yeni ürünün işleme alınmaması	7	2	10	140
Hat sonundaki nozulların tıkanması	7	10	2	140
Covid vb. durumlar nedeniyle işin durması	7	9	2	126

Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısı işlem yağının bulunmaması	7	3	5	105
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	9	7	1	63
Isıl işlem fırınına fazla ürün yüklenmesinden kaynaklı fırında ürün sıkışması	7	2	3	42
Fırın bandının arızalanması	7	2	3	42
Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	4	3	2	24
Üretimden kazanların tam dolu olarak gelmemesi	4	2	2	16

Yukarıdaki tabloda ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması hatası için iki farklı risk sebebi yazıldığı ve ikisinin de keşif puanı farklı olduğu için ortalaması alınarak tabloya eklenmiştir. Yukarıdaki tablo incelendiğinde klasik HTEA için en önemli riskin “Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması” olduğu görülecektir.

Tablo 3.55: Ürünü Etkileyen Hataların HTEA’ya Göre Sıralanması

Olası Hata Türü	Şiddet	Olasılık	Keşif	R.ö.f
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	7	10	10	700
Düzgün izolasyon yapılmamasından kaynaklı ısı kaybı	7	9	10	630
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz olması	7	9	10	630
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	7	5	10	350
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	8	5	8	320
Düzgün izolasyon olmamasından kaynaklı doğru atmosferin oluşmaması	7	4	10	280
Elektrik kesintisi kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	9	7	1	63
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	6	1	10	60
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	7	4	2	56
Fırın bandının arızalanması	7	2	3	42
Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	7	2	3	42
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	7	2	2	28
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	7	2	1	14
Fırındaki sirkülasyonun düzgün olmaması	7	2	1	14

Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	9	1	1	9
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	7	1	1	7

Yukarıdaki tabloda ise ürünü etkileyen hatalar klasik HTEA'ya göre puanlandırılmış olup bu tabloda da en büyük risk teşkil eden hata “Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması” olarak belirlenmiştir.

3.3.7. Genel Değerlendirme ve Yeni Bir Model Önerisi

Bu adımda ise, bulunan tüm hatalar kendi içlerinde sıralamalarında göre ağırlıklandırılmış olup kullanılan beş yöntem neticesinde nihai sıralamalar aşağıdaki gibi olmuştur.

Tablo 3.56: Süreci Etkileyen Hataların Nihai HTEA Sıralaması

Süreci Etkileyen Hatalar	Topsis	Moora	Gia	Vikor	Htea	Toplam
Üretimden seri ürün gelmemesi	2	15	18	18	12	65
Eksik personelle çalışılması	17	16	11	3	16	63
Covid vb. kaynaklı işin durdurulması	3	17	16	16	7	59
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	12	4	13	8	18	55
Plansız bakım yapılması	14	9	7	9	14	53
Arıza giderme sırasında gerekli araç veya parçanın bulunmaması	15	3	9	10	15	52
Fırının çalışması için gerekli olan metanol veya ısıtma işlem yağının bulunmaması	8	11	12	15	6	52
Üretimden kazanların tam dolu gelmemesi	16	5	15	14	1	51
Elektrik kesintisinden kaynaklı aksam bozulması	13	12	8	12	5	50
Hat sonundaki nozulların tıkanması	1	6	17	17	8	49

Forklift arızası veya eksikliği kaynaklı ürün yüklemesinin geç yapılması	18	1	14	13	2	48
Fırın bandının arızalanması	11	13	10	11	3	48
ERP programına girişlerde sorun yaşanması sebebi ile üretimin aksaması	7	18	4	2	10	41
Isıl İşlem hatlarının tıkanması	10	7	6	5	11	39
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile fırında ürün sıkışması	9	14	5	7	4	39
Üretimden ürün gelmemesi	4	10	2	4	13	33
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	6	2	3	1	17	29
Reproses kaynaklı yeni ürün üretilmemesi	5	8	1	6	9	29

Süreci etkileyen hatalar sıralanırken sıralamanın en üstündeki değerlere 18'den başlayarak 1'e kadar katsayı atanmıştır. Beş hesaplama yönteminde ilgili hata için oluşan katsayılar toplanmış büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. Bu durumda süreci en çok etkileyen hata üretimden seri ürün gelmemesidir.

Tablo 3.57: Ürünü Etkileyen Hataların Nihai HTEA Sıralaması

Ürünü Etkileyen Hatalar	Topsis	Moora	Gia	Vikor	Htea	Toplam
Fırın bandının arızalanması	16	14	14	15	7	66
Elektrik kesintisinden kaynaklı fırında kalan malzemenin bozulması	12	10	12	16	10	60
Talaşlı ürün dolayısıyla banyoların tıkanması	11	2	15	12	16	56
Fırın göstergelerinin doğru çalışmaması	8	12	9	13	12	54
Doğalgaz kesintisi kaynaklı ürün bozulmaları	13	7	10	10	9	49
Metanol yağmurlama sisteminin arızalanması	15	3	11	11	8	48

Sertlik ölçümünün yanlış yapılması	4	8	13	14	6	45
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı doğru atmosferin oluşmaması	9	5	7	8	11	40
Elektrik kesintisinden kaynaklı bant rulusunda eğiklik olması	7	9	16	6	1	39
ERP programına girişte sorun yaşanması sebebi ile operatörün yanlış ürünü fırına atması	6	16	6	3	5	36
Üretimden gelen ürünlerin uygunsuz ürün olması	14	1	2	2	14	33
İzolasyonun düzgün yapılmamasından dolayı yaşanacak ısı kaybı	5	6	3	4	15	33
Fırına fazla ürün yüklenmesi sebebi ile altta kalan ürünün sertliğinin düzgün olmaması	3	15	4	7	4	33
Fırındaki sirkülasyonunun düzgün olmaması	2	13	5	9	3	32
Yıkama banyo sıcaklıklarının yeterli yükseklikte olmaması	1	4	8	5	13	31
Elektrik kesintisi kaynaklı fırın ağızındaki yağın yanması	10	11	1	1	2	25

Bu aşamada da aynı ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak 1-16 arasında katsayı verilerek sıralama yapılmıştır. Bu sıralamada ürünü etkileyen hataların başında fırın bandının arızalanması geldiği görülmektedir.

SONUÇ

İşletmelerin müşterilerini memnun edebilmek için uymaları gereken en temel kural hatasız ürün veya hizmeti müşteriye sunabilmektir. Bu durumu başarabilmek için işletmeler, ortaya çıkan hataların tespitinde çeşitli yöntemlere başvurmaktadırlar. Bu önlemler sayesinde üretim esnasında meydana gelen hatalar sonraki aşamalara geçmeden durdurulup müşteriye ulaşması engellenmektedir. Ancak bu durum işletmeler için hem fazladan iş hem de para kaybı anlamına gelmektedir. Ayrıca klasik kalite kontrol yöntemleri de hataları oluştuktan sonra görüp önlem almaya çalıştığı için potansiyel hatalar gözden kaçabilmektedir. Bu tarz durumlar için HTEA ile hatalar henüz ortaya çıkmadan potansiyelleri ölçülerek gerek görülmesi durumunda önlem alınır ve hatanın ortaya çıkma ihtimali engellenmiş olur.

HTEA yöntemi hataları kendi içerisinde önem sırasına koysada bu önem sırası verilen puanların esnek olmamasından dolayı gerçeği hassas bir şekilde oluşturamayabilmektedir. Bunun önüne geçebilmek için DMATEL ile ağırlıklandırılmış birden fazla bulanık çok kriterli karar verme tekniği ile HTEA sıralaması yapıp karşılaştırılmasının daha doğru sonuç verebileceği öngörülmüştür. Böylelikle kullanılan tüm yöntemlerin dezavantajları da bir nevi ortadan kaldırılmış olacaktır.

Bu bağlamda bağlantı elemanları sektöründe faaliyet gösteren bir fabrikanın ısıtma işlem bölümü için ürün ve süreçleri etkileyen hatalara ayrı ayrı bulanık çok kriterli karar verme tekniklerinden olan bulanık TOPSIS, bulanık MOORA, bulanık GİA, bulanık VIKOR yöntemleri kullanılarak hatalar sıralanmıştır. Ayrıca klasik HTEA yöntemi de uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar kendi içerisinde gruplandırılmış olup beş ayrı sıralamadan tek bir sıralama oluşturulmuştur.

Konu ile ilgili yapılan literatür taraması sonucunda birden fazla çok kriterli karar verme tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar olduğu görülmüştür. Ancak bu çalışmalarda genellikle iki yöntem kullanılmıştır. Beş ayrı yöntemin aynı anda kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca çalışmamızda literatürden farklı olarak ürün hatalarına yönelik bir HTEA gerçekleştirilmiştir. Literatürde yapılan diğer çalışmalar uygulama yapılan sektör olarak değerlendirildiğinde bağlantı elemanları sektöründe

benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu açılardan çalışmanın özgünlüğünü ifade etmek mümkündür.

Analizler sonucu yapılan sıralamada süreci etkileyen en önemli hatanın “Üretimden seri ürün gelmemesi” olduğu belirlenmiştir. Isıl işlem bölümünde ürünler için süreçte farklılık yapılması gerektiği için seri ürün gelmediği durumlarda ısıl işlem bandı iki farklı ürün grubu için mesafeli doldurulmaktadır. Bu durum da bandın verimli çalışmasını engellemektedir. Hatanın ortadan kaldırılması için planlama yapılırken diğer aşamalarla birlikte ısıl işlem sürecinin de göz önüne alınarak benzer ürünlerin peş peşe gelmesini sağlayacak bir sistem oluşturulması bir öneri olarak düşünülmüştür.

Ürünü etkileyen hatalar incelendiğinde ise ilk sırada “Fırın bandının arızalanması” geldiği görülmektedir. Isıl işlem fırın bandının herhangi bir nedenden dolayı arızalanması özellikle fırın içerisinde ürün varsa ürünün kullanılmayacak hale gelmesine neden olmaktadır. Bu çerçevede gelecek çalışmalarda bu hatanın çözülmesine yönelik farklı teknikler kullanılması, sorunlu alanlarda HTEA çalışmasının detaylandırılması gelecek çalışma konuları olarak belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Akgün, S., (2017), "HTEA Metodu ve Sağlık Hizmeti Uygulamaları", Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 4 (1), ss. 1-8.
2. Akyol, G., (2019), "Bankaların Kurumsal Sürdürülebilirlik Performanslarının Bulanık VIKOR Yöntemiyle Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli (Türkiye).
3. Akyüz, G., (2012), "Bulanık VIKOR Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi", Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 26 (1), ss.197-215.
4. Aran G., (2006), "Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Tokat (Türkiye).
5. Aytaç, E., Özdemir, M., vd., (2012), "Ürün Tasarım Sürecinde Bulanık Kalite Fonksiyon Göçerimi ve Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizinin Kullanımı", Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 12 (23), ss. 51-80.
6. Akyurt, İ., ve Kabadayı, N., (2020), "Bulanık AHP ve Bulanık Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri ile Kargo Uçak Tipi Seçimi: Bir Türk Havayolu Firmasında Uygulama", Journal of Yasar University, 15 (57), ss.38-55.
7. Badem, E., ve Özel, A., (2018), "Restoran Seçiminde Tüketiciyi Etkileyen Faktörlerin Dematel Yöntemiyle Değerlendirilmesi: Bir Uygulama", Journal of Management Economics Literature Islamic and Political Sciences, 3 (1), ss. 70-89.
8. Battal, Ü., (2018), "Türkiye'de Havayolu Taşımacılığının Finansman Sorunları: Dematel Yöntemi Uygulaması", Ömer Halis Demir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11 (2), ss. 96-111.
9. Başdeğirmen, A., ve Işıldak, B., (2018), "Ulaştırma Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerin Performanslarının Gri İlişkisel Analiz İle Değerlendirilmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23 (2), ss. 563-577.

10. Büyüktuna O., (2012), "Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Makine Sanayinde Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli (Türkiye).
11. Candan, G., (2019), "Lojistik Performans Değerlendirmesi İçin Bulanık AHP ve Gri İlişkisel Analiz Yöntemleri İle Bütünleşik Bir Yaklaşım", Anemon Muş Alparslan Sosyal Bilimler Dergisi, 7 (5), ss. 277-286.
12. Çeber Y., (2010), "Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin (FMEA) Üretim Sektöründe Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir (Türkiye).
13. Çetinbaş, M., (2018), "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle İlgili Excel Uygulaması", Pamukkale İşletme ve Bilişim Yönetimi Dergisi , 4 (1), ss. 12-29.
14. Çevik, O., ve Aran, G., (2009), "Kalite İyileştirme Sürecinde Hata Türü Etkileri Analizi (FMEA) ve Piston Üretiminde Bir Uygulama", Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 8 (16), ss. 241-265.
15. Dinçer, H., ve Görener A., (2011), "Performance Evaluation Using AHP-VIKOR and AHP-TOPSIS Approaches: The Case Of Service Sector", Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 29 ss. 244-260.
16. Dinler, S., (2021), "Türkiye'de Faaliyet Gösteren Hayat Dışı Sigorta Şirketlerinin Gri İlişkisel Analizi ile Performansının Değerlendirilmesi", Oltu Beşeri ve Sosyal Bilimler Fakültesi Dergisi, 2 (2), ss. 200-212.
17. Efe, B., Yerlikaya, M., vd., (2016), "İş Güvenliğinde Bulanık Promethee Yöntemiyle Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi: Bir İnşaat Firmasında Uygulama" GÜFBED/ GUSTU, 6 (2), ss.126-137.
18. Eleren, A., (2007), "Eğitim Başarısının Artırılmasında Süreç Geliştirme Yöntemlerinin Kullanılması ve Bir Uygulama", Afyon Kocatepe Üniversitesi İ.İ.B.F Dergisi, 9 (2), ss. 1-25.

19. Elitaş, C., Erkan M., vd., (2009), “Maliyet Muhasebesi Dersi Eğitim Sürecinin İyileştirilmesinde Hata Türü ve Etkileri Analizi Yönteminin Kullanılması” , Muhasebe ve Finansman Dergisi, 41, ss. 63-71.
20. Erdin, C., (2019), “Bulanık TOPSIS Yöntemiyle Yönetici Seçimi”, Yıldız Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3 (1), ss. 37-50.
21. Ersoy, M., Eleren, A., vd., (2009), “Hata Türü ve Etkileri Analizi ile İş Sağlığı ve Güvenliği Tabanlı Süreçlerin İyileştirilmesi ve Mermer Ocak İşletmelerinde Bir Uygulama”, Madencilik, 48 (3), ss. 19-32.
22. Ersöz, F., ve Kabak, M., (2010), “Savunma Sanayi Uygulamalarında Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Literatür Araştırması”, Savunma Bilimleri Dergisi, 9 (1), ss. 97-125.
23. Faydalı, R., ve Erkan, E., (2020), “Makine Seçim Probleminin Bulanık VIKOR Yöntemiyle İncelenmesi”, Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, 3 (1), ss. 7-12.
24. Ford Motor Company (2011), “Failure Mode and Effects Analysis FMEA Handbook.”
25. Gök, C., ve Perçin, S., (2016), “Elektronik Alışveriş (E-alışveriş) Sitelerinin E-Hizmet Kalitesi Açısından Değerlendirilmesinde Dematel-ASS-VIKOR Yaklaşımı”, Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 16 (2), ss. 131-144.
26. Göksu Y., (2008), “Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve Üniversitelerde Tercih Sıralamasında Uygulama”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta (Türkiye).
27. Gürbüz, F., ve Çavdarıcı, S., (2018), “Geri Dönüşüm Sektörüne İlişkin Sorun Alanlarını Dematel ve Gri Dematel Yöntemiyle Değerlendirilmesi”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), ss.285-301.

28. Kabak, M., (2011), "Birlik Hava Savunma Önceliklerinin Tespitine Bulanık Bir Yaklaşım", Savunma Bilimleri Dergisi, 10 (2), ss. 1-17.
29. Kabak, M., ve Çınar, Y., (2020), "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri Ms Excel Çözümlü Uygulamalar", (1. Baskı), Nobel, Ankara.
30. Korkusuzpolat, T., ve Kara, N., (2021), "Personel Seçiminde Bulanık DEMATEL ve Bulanık VIKOR Yöntemlerinin Uygulanması", Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (23), ss. 376-385.
31. Kurt, Z., ve Aytaç, Y., (2020), "Fuzzy TOPSIS Based Decision Model for Evaluating and Prioritizing R&D / Innovation Projects", Electronic Letters on Science & Engineering, 16 (2) ss. 93-107.
32. Organ, A., ve M Kenger, M., (2018), "Bütünleşik Bulanık AHP-Bulanık MOORA Yaklaşımının Market Personeli Seçimi Problemine Uygulanması", Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6 (18), ss.271-280.
33. Ögel, S., ve Kerim, N., (2021), "Borsa İstanbul'da İşlem Gören Savunma Sanayi Şirketlerinin Bulanık TOPSİS Yöntemi ile Finansal Performans Analizi", BIMJ, 9 (1), ss. 307-326.
34. Özbek, A., (2021), "Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü Kavram - Teori - Uygulama", (3. Baskı), Seçkin, Ankara.
35. Özfırat, P., (2014), "Bulanık Önceliklendirme Metodu ve Hata Türü ve etkileri Analizini Birleştiren Yeni Bir Risk Analizi Yöntemi", Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University, 29 (4).
36. Özfırat, M., ve Özfırat P., (2021), "Yangın Safhalarının HTEA Risk Analizi ile İncelenmesi", Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 5 (1), ss. 37-44.
37. Özveri, O., ve Kabak M., (2015), "The Usage Of MCDM Techniques In Failure Mode And Effect Analysis", Journal of Economics and Management Research, 4 (2), ss. 94-108.

38. Özyazgan, V., ve Engin, F., (2013), “FMEA Analysis and Applications in Knitting Industry”, *Textile and Apparel*, 23 (3) ss. 228-232.
39. Sabır, E., ve Bebekli, M., (2015), “Hata Türleri ve Etkileri Analizinin, HTEA, Tekstil Boya-Terbiye İşletmelerinde Kullanımı”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, 28 (1), ss.157-162.
40. Sarı, İ., Ervural, B., vd., (2017), “Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetiminde Dematel Yöntemiyle Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerinin İncelenmesi ve Sağlık Sektöründe Bir Uygulama”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (4), ss.477-485.
41. Şenocak, A., (2016), “Bulanık Ortamda Sürdürülebilir Tedarikçi Seçimi Problemi İçin Çok Kriterli Karar Verme ve Doğrusal Programlamaya Dayalı Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Endüstri mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli (Türkiye).
42. Şimşir, F., Demir, H., vd., (2018), “Demir Çelik Sektöründe Hibrid DEMATEL ve TOPSİS-ELECTRE Yöntemleri ile Hata Türleri ve Etkileri Analizi”, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 6 (3), ss.22-34.
43. Şişman, B., (2016), “Bulanık MOORA Yöntemi Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Geliştirme Programlarının Seçimi ve Değerlendirilmesi”, *Journal of Yasar University*, 11 (44), ss. 302-315.
44. Şişman, B., (2017), “Hata Türü ve Etkileri Analizinde Bulanık AHP ve Bulanık VIKOR Yöntemleri ile Otomotiv Sektöründe Risk Değerlendirmesi”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9 (18), ss. 234-250.
45. Şişman, B., ve Doğan, M., (2016), “Türk Bankalarının Finansal Performanslarının Bulanık AHP ve Bulanık MOORA Yöntemleri ile Değerlendirilmesi”, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 23 (2), ss.353-371.

46. Tekez, E., (2017), "Failure Modes and Effects Analysis Using Fuzzy TOPSIS In Kmitting Process", *Textile and Apparel*, 28 (1) ss. 21-26.
47. Turan, M., ve Ocaktan D., (2019), "Transformatör Üreten Bir Firmada Risk Analizinde Bulanık HTEA Kullanımı ve Uygulama Yazılımı Geliştirme", *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21 (1), ss.474-487.
48. Unvan, Y., (2020), "Financial Performance Analysis of Banks with TOPSIS and Fuzzy TOPSIS Approaches", *Gazi University Journal of Science*, 33 (4), ss. 904-923.
49. Uslu M., (2016), "Laboratuvar Çalışanlarının Karşılaştığı Fiziksel Risklerin Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ile Değerlendirilmesi: Bir Üniversite Hastanesi Örneği", *Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Konya (Türkiye)*.
50. Ünal, Z., ve Çetin, E., (2020), "Konaklama İşletmelerinde CRM Yazılımının Bütünleşik Dematel ve Todim Yöntemiyle Seçimi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (4), ss. 779-788.
51. Yavuz, S., ve Deveci, M., (2014), "Selection of Shopping Center Location with The Methods of Fuzzy VIKOR and Fuzzy TOPSIS and An Application", *Ege Academic Review*, 14 (3), ss. 463-480.
52. Yaylalı Ç., (2008), "Kalite İyileştirmede Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Bir Üretim Sürecinde Uygulama", *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya (Türkiye)*.
53. Yıldırım, B., ve Önder, E., (2018), "İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri", (3. Baskı), Dora, Bursa.
54. Yıldız, A., ve Deveci, M., (2013), "Based on Fuzzy VIKOR Approach to Personnel Selection Process", *Ege Academic Review*, 13 (4), ss. 427-436.

55. Yıldız, Y., (2016), "Bulanık VIKOR Yöntemini Kullanarak Proje Seçim Sürecinin İncelenmesi", Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14 (1), ss. 115-127.
56. Yılmaz M., (2017), "Hata Türü ve Etkileri Analizi ve Tekstil Sanayiinde Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul (Türkiye).
57. Yörükoğlu, H., Özkale, C., vd., (2013), "The Analysis Of The Risk Of Renewable Energy Resources By Using Fuzzy FMEA Technique", Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, özel sayı, ss. 227-242.