

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNDEKİ  
HATALARIN YENİ BİR BULANIK ÇKKV YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**HAZIRLAYAN**

**CANSU SAKARYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA - 2022**



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNDEKİ  
HATALARIN YENİ BİR BULANIK ÇKKV YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**HAZIRLAYAN**

**CANSU SAKARYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI**

**PROF. DR. KUMRU DİDEM ATALAY**

**ANKARA - 2022**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Cansu SAKARYA tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 30 / 11 / 2022

**Tez Adı:** Otomotiv Sektöründe Sipariş İşleme Sürecindeki Hataların Yeni Bir Bulanık ÇKKV Yöntemi İle Analizi

**Tez Jüri Üyeleri ( Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu )**

**İmza**

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ergün ERASLAN, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

**ONAY**

Prof. Dr. Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... / .....

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: ... / ... / .....

Öğrencinin Adı, Soyadı: Cansu SAKARYA

Öğrencinin Numarası: 22010097

Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği

Programı: Endüstri Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

Tez Başlığı: Otomotiv Sektöründe Sipariş İşleme Sürecindeki Hataların Yeni Bir Bulanık ÇKKV Yöntemi ile Analizi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 47 sayfalık kısmına ilişkin, 02 / 12 / 2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4'dür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrencinin İmzası:

**ONAY**

Tarih: ... / ... / .....

Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişilere içtenlikle teşekkür eder.

Sayın hocam Prof. Dr. Kumru Didem ATALAY'a (tez danışmanı), tez çalışmam süresince her aşamada hem bilgi ve deneyimiyle hem de anlayış ve hoşgörüsüyle her zaman yanımda olduğu için, ve eğitim sürecinde beni her konuda desteklediği ve yol gösterdiği için ...

Sayın hocam Prof. Dr. İmdat KARA'ya, Sayın hocam Prof. Dr. Berna DENGİZ'e ve Sayın hocam Prof. Dr. Yusuf Tansel İÇ'e tüm eğitim sürecinde bana inandıkları, destekledikleri ve yol gösterdikleri için...

Sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER'e bilgi, fikir ve öneri ile tez çalışmama sağladığı katkılar için...

Endüstri Mühendisliği'nin saygıdeğer tüm hocaları, araştırma görevlileri ve idari personellerine anlayış ve destekleri için...

Sevgili annem Belgin KUMAŞCIOĞLU başta olmak üzere AİLEME tüm eğitim hayatım ve tez çalışmam boyunca bana olan anlayış, sabır, moral, motivasyon ve tüm destekleri için...

# ÖZET

**Cansu SAKARYA**

## **OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNDEKİ HATALARIN YENİ BİR BULANIK ÇKKV YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

**Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**2022**

Siparişe özel üretim sistemlerinde üretim aşamasına geçmeden önce mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme süreci firmaların kilit görevi gören süreçlerinin başında gelmektedir. Bu sürecin verimliliği sonraki aşamalar için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yer alan bir firmada mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılmasına yönelik Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Integrated Determination of Objective Criteria Weights (IDOCRIW) Tabanlı Double Normalization-based Multiple Aggregation (DNMA) Yöntemi önerilmiştir. Çalışmanın amacı, sipariş işleme sürecindeki mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümleri önem düzeylerine göre sıralamaktır. Önerilen yöntemde, kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi ve karar vericilerin kendi görüşlerinde net olmaması gibi nedenlerle tereddütlü bulanık sayılar kullanılmıştır. Kriterlerin önem ağırlıklarını elde etmek için Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Yönteminden, hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerine göre sıralanması amacıyla ise DNMA Yönteminden faydalanılmıştır. Önerilen yeni bütünleşik yöntem ile elde edilen sonuçlar farklı yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ilgili literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, belirsizlik içeren durumlarda verideki düzensiz bilginin ortadan kaldırılması, ikincisi ise süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik yeni bir yöntemin geliştirilmesidir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** Otomotiv Endüstrisi, Tereddütlü Bulanık Mantık, Hata Analizi, IDOCRIW Yöntemi, DNMA Yöntemi

# ABSTRACT

**Cansu SAKARYA**

## **ANALYSIS OF FAILURES IN ORDER PROCESSING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY WITH A NEW FUZZY METHOD**

**Başkent University Institute of Science**

**Department of Industrial Engineering**

**2022**

In make-to-order systems, order processing, in which engineering and design activities are carried out before the production phase, is one of the leading key processes of the companies. The efficiency of this process is very important for the next stages. In this study, a New Integrated Hesitant Fuzzy Integrated Determination of Objective Criteria Weights (IDOCRIW) Based Double Normalization-based Multiple Aggregation (DNMA) Method is proposed to reduce the failures occurring in order processing in which engineering and design activities are carried out of a company operating in the automotive industry. The aim of the study is to rank the departments causing failures that lead to the repetition of engineering and design activities in order processing according to their importance levels. In the proposed method, hesitant fuzzy numbers are used because of reasons such as the criteria have been evaluated by different decision makers and the decision makers have not been clear in their own views. Hesitant Fuzzy IDOCRIW Method is used to obtain the importance weights of the criteria, and the DNMA Method is used to rank the departments leading to failures according to their importance levels. The results obtained with the proposed new integrated method are compared with different methods. The study has two important contributions to the related literature. The first one is the elimination of disordered information in uncertain structured data and the second one is the development of a new method to increase process efficiency.

**KEY WORDS:** Automotive Industry, Hesitant Fuzzy Logic, Failure Analysis, IDOCRIW Method, DNMA Method



# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLOLAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	4
2.1. Üretim Sektöründe Çok Kriterli Karar Verme .....	4
2.2. Otomotiv Sektöründe ÇKKV .....	5
2.3. Sipariş İşleme Sürecinde ÇKKV .....	6
3. METOT .....	8
3.1. ÇKKV .....	8
3.2. Bulanık Mantık .....	15
3.3. Tereddütlü Bulanık Mantık .....	16
3.4. IDOCRIW Yöntemi .....	17
3.5. DNMA Yöntemi .....	18
4. YENİ BÜTÜNLEŞİK TEREDDÜTLÜ BULANIK IDOCRIW TABANLI DNMA YÖNTEMİ .....	20
5. ÖNERİLEN YENİ BÜTÜNLEŞİK YÖNTEMİN SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNE UYGULANMASI .....	28
5.1. Otomotiv Sektöründe Sipariş İşleme Süreci .....	28
5.2. Önerilen Yöntemin Uygulanması .....	30
5.3. Duyarlılık Analizi .....	40
5.4. Karşılaştırma Analizi .....	42
6. SONUÇLAR .....	45
KAYNAKLAR .....	48
EKLER	

**EK 1: Hataların Kaynaklandığı Bölümlerin Ve Kriterlerin Değerleri**

## TABLULAR LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 5.1. Düzenlenmiş Karar Matrisi.....	32
Tablo 5.2. TBKM.....	32
Tablo 5.3. Normalize TBKM.....	33
Tablo 5.4. Tereddütlü Bulanık Çapraz Entropi Matrisi.....	33
Tablo 5.5. Kriter Entropi Değerleri Ve Kriter Entropi Ağırlıkları.....	34
Tablo 5.6. Skor Matrisi.....	34
Tablo 5.7. Normalize Skor Matrisi.....	34
Tablo 5.8. Düzenlenmiş Normalize Skor Matrisi.....	35
Tablo 5.9. Göreceli Kayıp Matrisi.....	35
Tablo 5.10. Ağırlık Sistem Matrisi.....	35
Tablo 5.11. CILOS Kriter Ağırlıkları.....	36
Tablo 5.12. IDOCRIW Kriter Ağırlıkları.....	36
Tablo 5.13. Standart Sapma Ve Normalize Standart Sapma Değerleri.....	37
Tablo 5.14. Ayarlanmış IDOCRIW Kriter Ağırlıkları.....	37
Tablo 5.15. Fayda Fonksiyon Değerleri Ve Sıralamalar.....	38
Tablo 5.16. Nihai Fayda Fonksiyon Değerleri Ve Sıralama.....	39
Tablo 5.17. Farklı CCM, UCM, ICM Model Ağırlıklarına Göre Alternatif Sıralamaları...41	41
Tablo 5.18. Duyarlılık Analizi Spearman Rank Korelasyon Sonuçları.....	42
Tablo 5.19. Alternatiflerin Üç Farklı ÇKKV Yöntemiyle Sıralanması .....	43
Tablo 5.20. Karşılaştırma Analizi Spearman Rank Korelasyon Sonuçları .....	44

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. ÇKKV Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi.....	10
Şekil 3.2. ÇKKV Süreci.....	14
Şekil 4.1. Önerilen Yönteme İlişkin Akış Şeması.....	20
Şekil 5.1. Sipariş İşleme Süreci.....	28
Şekil 5.2. Sipariş İşleme Sürecindeki Adımlar.....	30
Şekil 5.3. Hataların Kaynaklandığı Bölümlerin Hiyerarşik Yapısı.....	31

## SİMGELER VE KISLATMALAR LİSTESİ

Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
IDOCRIW	Integrated Determination of Objective Criteria Weights
DNMA	Double Normalization-based Multiple Aggregation
CILOS	Criteria Impact Loss
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
HTEA	Hata Türü ve Etkileri Analizi
SWOT	Strengths Weaknesses Oppurtunities Threats
ANP	Analytic Network Process
AHP	Analitik Hiyerarşik Proses
PROMETHEE	Preference Ranking for Organization Method for Enrichment Evaluation
TBK	Tereddütlü Bulanık Küme
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality
TBE	Tereddütlü Bulanık Eleman
VIKOR	Viekriterijumsko Kompromisno Rangiranje
TBKM	Tereddütlü Bulanık Karar Matrisi
CCM	Complete Compensatory Model
UCM	Un-Compensatory Model
ICM	Incomplete Compensatory Model

# 1.GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi, teknolojik ve yönetsel yeniliklerin yanı sıra büyüme ve istihdamın dünya çapındaki en önemli itici güçlerinden biridir. Giderek daha karmaşık ve rekabetçi hale gelen küresel pazar nedeniyle, otomotiv şirketleri karlarını arttırabilmek için süreçlerini iyileştirmenin yeni yollarını aramaktadırlar. Otomotiv endüstrisinin özelliklerinden biri, aynı anda geliştirilen birkaç yeni ürünün yönetimi ile ilgilidir. Otomotiv şirketleri genellikle birkaç ürün hattına sahiptir ve mevcut ürünleri geliştirmek veya portföylerine yeni ürünler eklemek için çalışmalar sürdürmektedirler. Teknolojinin gelişmesi genel anlamda zihinlerde makine ve ekipmanların gelişmesi olarak düşünülmektedir. Ancak son dönemlerde teknolojik gelişmelerden en çok etkilenen alanlardan bir tanesi de Araştırma-Geliştirme (Ar-Ge)'dir. Ar-Ge alanında faaliyet gösteren işletmeler incelendiğinde bu alandaki kaynakların ağırlıklı olarak işgücü ve zaman parametrelerinden oluştuğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla bu alanda gerçekleştirilen her birim işgücü ve zaman tasarrufu, işletmenin giderlerini azaltarak, verimlilik ve kar artışı sağlamaktadır. Bu alandaki kaynakların verimini arttırmanın en iyi yolu ise yapılan hataları analiz ederek, belirlemek ve ortadan kaldırmaktır. Böylece, tekrar eden işler ve bundan dolayı ortaya çıkan iş gücü ve zaman kaybı önlenmektedir.

Bu çalışmada, tasarım ve mühendislik alanında yoğun çalışmalar yürüten, otomotiv sektöründe yer alan çok uluslu bir işletmede, mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği, sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılmasına yönelik bütünlük bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem, Yeni Bütünlük Tereddütlü Bulanık Integrated Determination of Objective Criteria Weights (IDOCRIW) Tabanlı Double Normalization-based Multiple Aggregation (DNMA) Yöntemidir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği işletme birçok farklı araç tipi üretmekte ve her bir araç tipinde siparişe özel müşteri isteklerine göre modifikasyonlar yapmaktadır. Bundan dolayı her sipariş için üretim aşamasından önce siparişe özel kapsamlı mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinden geçmektedir. Bu süreç boyunca gerçekleştirilen mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine yol açan her bir hata, maliyetlerin artması ile birlikte sürecin kritik noktalarında tespit edilmesi durumunda projenin zaman planını riske atmaktadır. Bu hataların azaltılması ve erken tespitinin sağlanması direkt olarak işletmenin mühendislik çalışma maliyetini azaltarak verimlilik

artışını sağlayacağından ve projelerin risk düzeyini azaltacağından sipariş işleme sürecinde gerçekleştirilecek hata analizi çalışmasının sonucunun işletmeye büyük ölçüde fayda sağlayacağı açıkça görülmektedir.

Çalışmanın amacı sipariş işleme süreci boyunca mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümleri önem düzeylerine göre sıralamaktır. Bu bölümlere ait önem düzeylerini belirlemek amacıyla alanında yetkili ve uzman olan kişiler karar vericiler olarak seçilmiştir. Bu karar vericiler, hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerini belirlemede dikkate alınması gereken kriterleri belirlemiştir. Seçilen kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda derecelendirmelerin farklı olması ve bunun yanı sıra kendi görüşlerinin net olmaması nedeni ile tereddütlü bulanık mantık kullanılmıştır. Her kriterin farklı bir önceliği olduğu için uygun önem ağırlığını bulmak amacıyla objektif bir değerlendirme yöntemi olan ve Tereddütlü Bulanık Entropi ve Criteria Impact Loss (CILOS) yöntemlerini birleştiren Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Yöntemi kullanılmıştır [1]. Hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerine göre sıralanması, birbirinden bağımsız kriterlerin bulunduğu durumlarda kullanılan DNMA Yöntemi ile gerçekleştirilmiştir [2]. DNMA Yöntemi literatüre oldukça yeni kazandırılan bir yöntem olmakla birlikte iki farklı normalizasyon yöntemiyle ve üç farklı birleştirme fonksiyonunu bütünleştirerek güvenilir sonuçlar sağlamasından dolayı sıralama yöntemleri arasında öne çıkmaktadır.

Birden fazla karar verici olduğundan ve bu karar vericiler verdikleri kararlarda kesin yargılara varamadığından tereddütlü bulanık sayılar kullanılarak bu çalışmada kriter ağırlıklarını belirlemede IDOCRIW yöntemi uygulanmıştır. Burada önerilen Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Yöntemi literatürde daha önce kullanılmamış olup dolayısıyla yeni bir yöntemin geliştirilmesi niteliğindedir. Ayrıca Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Yöntemiyle kriter ağırlıklarının belirlenmesini sağlayan ve alternatiflerin sıralanması için ise DNMA Yöntemini kullanan bütünleşik bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen bu yöntem Bütünleşik Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Yöntemi olarak adlandırılmıştır.

Bir sonraki bölümde literatür araştırması verilmiştir, üçüncü bölümde ise kullanılan ilgili metotlarla ilgili detaylı tanımlamalar ve açıklamalar yapılmıştır. Dördüncü bölümde önerilen Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Tabanlı DNMA Yöntemi adımları açıklanarak beşinci bölümde önerilen yeni yöntemin ilgili işletmedeki sipariş işleme sürecindeki hata analizinde uygulamasına yer verilmiştir. Bu bölümde aynı zamanda

duyarlılık ve karşılaştırma analizleri yapılmıştır. Son olarak ise altıncı bölümde sonuçlar verilerek çalışma tamamlanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Üretim Sektöründe Çok Kriterli Karar Verme

Üretim firmaları rekabetçi avantaj sağlamak için, süreç iyileştirmeleri yaparak süreç verimliliğini artırmaya çalışır. Bu nedenle süreç verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar son yıllarda farklı alanlarda farklı metotların geliştirilmesi ile büyük önem kazanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde süreçlerin iyileştirilmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin sık kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak gerçek hayat problemlerinde eksik bilgi ve hatalı veri girişi sonucunda oluşan veri kirliliği durumlarında meydana gelen belirsizlikleri yok etmek için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Chang et al., [3] bulanık mantık yöntemleri kapsamında Gri İlişkisel Analiz ve Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) yöntemlerini bütünleştiren bir yaklaşım önermiş ve Tayvan'da ekran hücre üretimi gerçekleştiren bir firmadaki üretim sürecinde uygulamıştır. Vahdani et al., [4] çalışmalarında bulanık mantık yapısını ve Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemini bütünleştirerek risk değerlendirme sürecini iyileştiren yeni bir Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemi geliştirmiş ve çelik üretimindeki hataların analiz edilmesinde kullanmışlardır. Çalışmalarında bulanık mantık çerçevesinde karar vericilerin eğilimlerini tanımlamada dilsel terimler kullanarak risk faktörlerini etkin bir şekilde ortaya koymuşlardır. Toklu vd., [5] çalışmalarında Strengths Weaknesses Oppurtunities Threats (SWOT) analizi, Kök Neden Analizi, değiştirilmiş Bolden taksonomisi ve bulanık Analytic Network Process (ANP) metodolojilerinden oluşan sıralı bir model önermişlerdir. Şirketin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için SWOT analizini, zayıflıkların ana ve alt nedenlerini tanımlamak için kök neden analizini, sorunları sosyal bakış açısıyla değerlendirmeye yardımcı olan yeni bir yön ekleyerek Bolden'ın sınıflandırmasını geliştirmişlerdir. Önerdikleri Bulanık Sıralı Model, hangi eylem planının organizasyonu daha fazla etkileyeceğini belirlemeye yardımcı olmuştur. Yadav et al., [6] çalışmalarında, atık azaltma ve kalite iyileştirme zorluklarının üstesinden gelmede uygulamaları kolaylaştırmak için çözüm yaklaşımlarının sıralanmasında Yalın Altı Sigma yöntemlerinden yararlanmışlardır. Ayrıca çalışmalarında ÇKKV yöntemlerinden olan bütünleşik bulanık Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) ve Preference Ranking for Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) kullanmışlardır. Yöntemin uygunluğunu bir üretim firmasında gerçekleştirdikleri bir



uygulama ile test etmişlerdir. Tian et al., [7] risk önceliklerinin belirlenmesinde HTEA kullanmışlardır. Bu analizde bulanık Best Worst Method (BWM) ve Entropi yöntemini birleştirerek bir ÇKKV yaklaşımı önermişlerdir. Gupta et al., [8] mikro küçük orta ölçekli işletmeler organizasyonu için bir Altı Sigma uygulama gerçekleştirmiştir. Önerdikleri yöntem ile Hindistan'daki bir firmada bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, yeterli veri bulunmamasına rağmen firmanın sigma seviyesinde önemli bir iyileşme elde edilmiştir.

## 2.2. Otomotiv Sektöründe ÇKKV

Birçok sektörde olduğu gibi özellikle de arklı malzeme, makine ve üretim yönteminin ihtiyaç duyulduğu otomotiv sektöründeki gerçek hayat uygulamalarına bakıldığında belirsizliğin bulanık mantık ile tanımlandığı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllardaki çalışmalarda, bulanık ÇKKV yöntemlerinin otomotiv sektörü özelinde oldukça geniş bir yelpazeye sahip olduğu görülmektedir. Yousefi et al., [9] çalışmalarında çeşitli endüstrilerde sağlık, güvenlik ve çevre risklerini değerlendirmek ve sıralamak için bütünlük sağlam Veri Zarflama Analizi-HTEA yaklaşımı sunmuşlardır. Bu çalışmada, farklı olarak HTEA'ya ekstra parametreler eklenerek, belirsizlik ve istenmeyen durumlar eş zamanlı olarak ele alınmıştır. Önerilen yaklaşım, otomotiv yedek parça imalatında faaliyet gösteren bir firmada uygulanmıştır. Bu yaklaşımın geleneksel HTEA'ya kıyasla daha güvenilir ve gerçeğe yakın bir risk analizi gerçekleştirdiği gözlenmiştir. Baynal ve Sarı, [10] bir otomotiv imalat şirketinde üretim sürecindeki montaj hattı sorunlarına çözüm önerileri getirerek risk yönetimi faaliyetlerine katkıda bulunmak için Gri İlişkisel Analiz ve HTEA yöntemlerini birleştiren bütünlük bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntem ile geleneksel HTEA'da kriterlerin eşit ağırlıklı değerlendirilmesinin getirdiği dezavantajların önüne geçmek amacıyla belirsiz durumları da gösterebilen Gri İlişkisel Analiz yöntemiyle kriterler ağırlıklandırılmıştır. Yöntemin etkinliğini otomotiv imalat şirketinde yaptıkları uygulama ile göstermişlerdir. Bagheri et al., [11] üç farklı otomobil modelinin üretiminde kullanılan otomobil parçalarının üretim sürecindeki riskleri ölçmek ve sıralamak için HTEA, Aralıklı Veri Zarflama Analizi ve Gri İlişkisel Analiz yöntemlerini kullanmışlardır. Soltanali et al., [12] çalışmalarında risk analizini Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi'ne dayalı HTEA ile gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yöntemin etkinliğini, güvenilirlik ve emniyetin önemli başarı faktörlerinin başında geldiği süreç endüstrileri kategorisinde yer alan bir otomotiv üretim

hattındaki sorunları çözmek için kullanmışlardır. Soltanali et al., [13] otomotiv üretim hatlarında bakım kararı vermek amacıyla riske dayalı bir karar verme yaklaşımı geliştirilmişlerdir. Riske dayalı bakım yaklaşımı, işletme faaliyetlerindeki genel riski azaltmak amacıyla, bakım kararı vermek için yararlı bir araç olduğundan HTEA kullanılmıştır. Ancak, risk öncelik puanı tahmini için geleneksel HTEA modelinin dezavantajlarının üstesinden gelmek için, karmaşık otomotiv ekipmanlarında etkili karar kriterlerini dilsel bulanık küme teorisi kullanarak değerlendirmişlerdir. Önerilen model ile elde edilen en yüksek bulanık risk öncelik puanlarına sahip arıza modları belirlenerek bakım kararlarının verilmesi sağlanmıştır. Hezam et al., [14] Hindistan'daki özel bir evde sağlık hizmeti kuruluşu için alternatif yakıtlı araçları sıralamak ve seçmek amacıyla yeni bir ÇKKV analizi tanımlamışlardır. Problemin çeşitli niteliksel ve niceliksel özellikleri Method based on the Removal Effects of Criteria (MEREK), Ranking Sum (RS) ve DNMA yöntemlerine dayalı bütünleşik bir sezgisel bulanık ÇKKV sunmaktadır. Çalışmalarını duyarlılık ve karşılaştırma analizleriyle desteklemişlerdir.

### **2.3. Sipariş İşleme Sürecinde ÇKKV**

Üretim aşamasından önce siparişe özel kapsamlı mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme süreci firmaların kilit görevi gören süreçlerinin başında gelmektedir. Bu sürecin verimliliği uzun vadede gerçekleştirilen faaliyetler için oldukça önemlidir. Literatürde sipariş işleme sürecinin verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalarda daha çok tedarik ve lojistik konuları ele alınmış ve bu çalışmaların da oldukça sınırlı olduğu gözlenmiştir. Uthayakumar and Rameswari, [15] sipariş işleme süresinin azaltılması ve kalite iyileştirme yatırım değerlendirmeleri koşulları altında bütünleşik bir envanter modeli sunmuşlardır. Çalışmalarında önerdikleri model, sipariş işleme süresinin azaltılması ve kalite iyileştirmenin envanter modeli üzerindeki etkilerinin araştırılmasında öncü bir çalışma olmuştur. Acero et al., [16] yedek parçalar için tedarik zinciri yönetimi süreçlerine odaklanarak yalın metodolojilerin kullanımını değerlendirmişlerdir. Değer Akış analizi uygulayarak malzeme siparişi işleme süreçlerini iyileştirmek için bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, sürekli iyileştirme ve yalın düşünce ile uyumlu bir şekilde yalın ve Altı Sigma yaklaşımlarını birleştirmektir. Haktanır ve Kahraman, [17] bir ürün veya sürecin tasarımında meydana gelebilecek olası hataları keşfetmek için yapılandırılmış bir yaklaşım olan HTEA'yı karar

verme ve değerlendirmelerdeki belirsizliği temsil edebilecek şekilde geliştirerek, yeni bir aralık değerli bulanık n6trosofik y6ntem 6nermişlerdir. 6nerilen y6ntem, Teredd6tl6 Bulanık K6me (TBK)'ler, sezgisel bulanık k6meler, Pisagor bulanık k6meler ve k6resel bulanık k6meler gibi bulanık k6melerin bir6ok uzantısından farklı olarak, belirsizlik parametrelerini bağımsız ele alan n6trosofik k6meler kullanmıştır. Bu y6ntem ile bir otomotiv firmasında tasarım s6recindeki olası arıza nedenlerini sıralamışlardır.

### 3. METOT

Bu çalışmada önerilen yeni bütünleşik yöntem, Tereddütlü Bulanık Yaklaşım tabanlı IDOCROW yöntemi ve alternatiflerin sıralanmasında kullanılan DNMA yöntemini içermektedir. Bu bölümde, önerilen bütünleşik yöntem içerisinde kullanılan metotlara ilişkin temel bilgiler ve kavramlar açıklanmıştır.

#### 3.1. ÇKKV

Karar verme insanlık tarihi kadar eskidir, ancak doğrudan ÇKKV ile ilgili ilk kaydedilen örneği verebilmek çok zordur. Teorik temeller, özellikle de St. Petersburg Oyunu ile ilgili tartışmalar genellikle 17. yüzyıla kadar uzanmaktadır. Bernstein, 1996'da St. Petersburg Oyununu tanımlamıştır. Bu oyunda, bir madeni para ile yazı gelene kadar  $n$  kez atılmaktadır. Yazı gelmesi durumunda, oyuncu  $2 \times n$  para birimi değerindeki ödülü kazanmaktadır. Bu noktada ortaya çıkan problem “bu oyun için ne kadar ücret alınmalıdır?” sorgusudur [18].

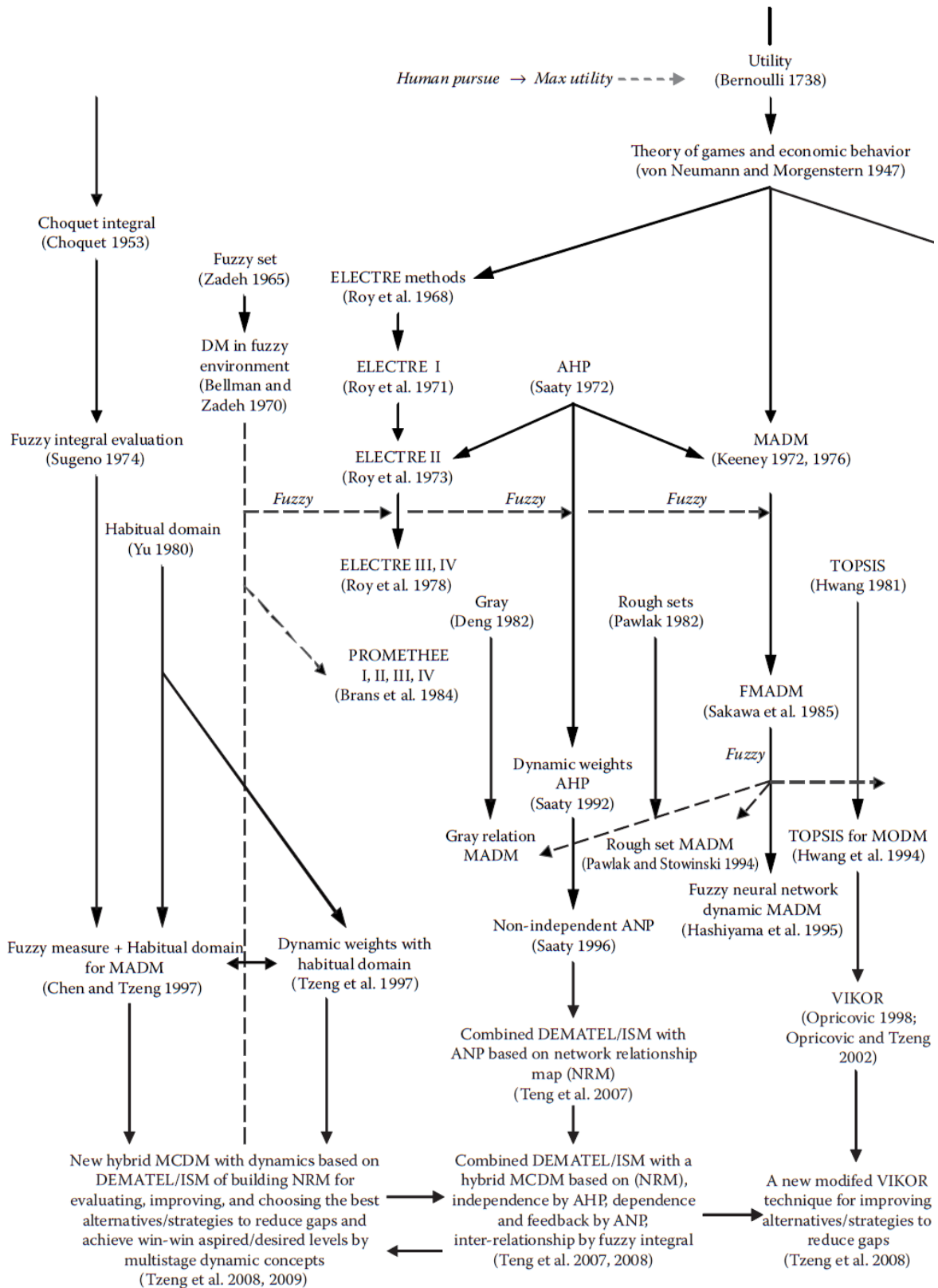
Beklenen değer teorisine göre Beklenen Değer (BD),  $BD = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} 2^n$  ile hesaplanır ve sonsuzdur. Ancak bu sonuç ikna edici olmamıştır. Bu sorun, 1738'de Bernoulli tarafından ortaya atılan fayda teorisinin temellerine bağlı olarak değişmeye başlamıştır. Fayda teorisine göre, insanlar en büyük beklenen değer yerine en iyi faydaya sahip alternatifi seçmektedirler [19].

1944'te Von Neumann and Morgenstern'in [20] fayda teorisine hakkındaki kitabı ile yeni bir bakış açısı ortaya çıkmış ve buna bağlı olarak karar analizin gelecekteki gelişmeleri sağlanmış ve teori somutlaştırılmıştır. Günümüzdeki çalışmaların çoğu karar verme yaklaşımlarını çok kriterli fayda teorisine dayalı yöntemler ve sıralamaya dayalı yöntemler olarak iki kategoriye ayırmaktadırlar. 1968'de geliştirilen Elimination and Choice Expressing Reality (ELECTRE) Yöntemi [21] ve 1986'da literatüre kazandırılan PROMETHEE Yöntemi [22] yaygın olarak kullanılan sıralama yaklaşımları arasında yer almaktadır. Fayda teorisinin de kendine göre bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Öncelikle, fayda fonksiyonları oluşturmak, karar vericiler ile etkileşim içerisinde bulunmaları gereken bir süreç olduğundan maliyetlidir. Ek olarak, fayda fonksiyonları bağımsızlık varsayımı altında oluşturulmaktadır. Genellikle, birikimli fayda fonksiyonları basitlikleri sebebiyle

tercih edilmektedirler [23]. Fayda fonksiyonlarını oluşturmanın zorluğu, sıralama yaklaşımları gibi fayda teorisinin temel alınmadığı başka yontemlerin ortaya çıkışını beraberinde getirmiştir.

Bununla birlikte, bulanık ÇKKV'nin literatüre kazandırılmasıyla ölçüm teorisinde yeni gelişmeler meydana gelmiştir [24]. Sugeno, 1977'de çalışmasında fayda teorisindeki bağımsızlık varsayımının üstesinden gelebilmek için yeni ölçütler geliştirmiştir [25].

1972'de Zadeh, [26] tarafından AHP'nin temelleri atılmışken, 1981'de Hwang and Yoon [27] tarafından TOPSIS Yöntemi önerilmiş ve 1996'da Saaty [28] ANP'yi geliştirilmiştir. Ayrıca, Zadeh [29] 1965'te sunduğu öncü çalışması ile bulanık karar verme yaklaşımlarını öne çıkarmıştır. 2011'de Tzeng and Huang [30] tarafından ÇKKV yontemlerinin birbirleri aralarındaki ilişkinin tarihsel gelişimi Şekil 2.1. ile görselleştirmiştir.



Şekil 3.1. ÇKKV Yöntemlerinin Tarihsel Gelişimi [30]

Karar verme, her insanın hayatının birçok alanında karşı karşıya kaldığı bir etkinliktir. İki veya daha fazla alternatifin mevcut olduğu durumlarda sosyal, kişisel veya profesyonel alanda her insan karar verme durumları ile karşı karşıya kalabilir. Genel olarak, günlük yaşam sorunları tek ölçüte indirgenir ve sonuçlar sezgisel olarak hesaplanır. Ancak, çoklu, orantısız ve çelişkili kriterler göz önünde bulundurulduğunda seçenekler kümesi arasından en iyi alternatifi tespit etmek karar vericilerin bilişsel sınırlamalarını aşarak karmaşık bir konu haline gelir. Karmaşık problemlerde doğru kararlar almak, gerçek hayat problemlerinde geleceğe yönelik önemli etkiler yaratır.

Doğru kararlar vermenin önemi sadece kişisel kararlarla sınırlı olmamakla birlikte, aynı zamanda büyük rekabet baskısı altında faaliyet gösteren ticari kuruluşlar için de geçerlidir. Bir takım hedeflerle karşılaşan kuruluşlar, pazardaki rekabet güçlerini korumak için çeşitli kaynaklarını en verimli şekilde yönetmelidirler. Bu nedenle, yöneticiler bir dizi farklı alternatif arasından seçim yapmak durumunda olan karar vericilerdir. Bilgi teknolojisindeki gelişmeler sayesinde şirketler her geçen gün daha çok bilgiye erişebilmektedirler. Ancak bu durum, alternatif sayısının da artışı beraberinde getirmektedir. Şirketler hem pazar dinamiklerini, sosyal, ekonomik ve ekolojik faktörleri ve rakiplerin eylemlerini hem de günlük temel operasyonları göz önünde bulundurmaya zorundadırlar. Bu nedenle her geçen gün doğru kararlar alabilmek şirket yöneticileri için kritik bir konu haline gelmektedir.

ÇKKV objektif bir en iyi çözüm sunmadığından, klasik yöneylem araştırmasından ayrılmaktadır. Sübjektifliğin çok kriterli kararların doğasını oluşturması, yöneylem araştırmasının temelleri ve karar vermenin sübjektif doğası arasında çelişki yaratmaktadır. Karar problemleri, yapılandırılmış, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış problemler olarak kategorize edilebilir [31, 32]. Kararların sübjektifliği çoğunlukla iyi yapılandırılmamış problemlerde görülür. Yapılandırılmış problemler geleneksel matematiksel modeller ile tanımlanabilir. Problem bileşenleri arasındaki ilişkiler semboller veya sayılar ile tanımlanır. Standart çözüm teknikleri bu problemlerin olası sonuçlarını analiz etmekte başarılıdır.

Yapılandırılmamış problemlerde, sistem bileşenleri arasındaki ilişki bilinmez, yalnızca kaynaklar veya özellikler gibi problem bileşenlerini açıklamak mümkündür. Bu sebeple, geleneksel matematiksel modeller bu kategoride yer alan problemleri çözmek amacıyla kullanılamaz. Yapılandırılmamış problemlerin önemli özellikleri aşağıdaki gibidir [31]:

- Problem ya da problem bileşenlerinden bazıları karar vericinin daha önceden karşılaşmadığı yapıdadır.
- Problem çoğunlukla sözlü biçimde formüle edilir, nitel değerlendirme baskındır.
- Alternatifler, yalnızca karar vericilerin subjektif yargılarına göre değerlendirilmektedir.
- Çözümle ilgili yargılar uzman görüşlerine dayanarak belirlenmektedir.

Yarı yapılandırılmış problemler nitel ve nicel unsurlar barındırdığından hem yapılandırılmış hem de yapılandırılmamış bileşenleri içermektedirler.

Endüstri Mühendisliği alanı, çoğunlukla, yapılandırılmamış veya yarı yapılandırılmış karar problemleri ile ilgilenmektedir. Bu nedenle, problemin yapılandırılması, özellikle kriterlerin ve bunların arasındaki ilişkilerin belirlenmesi karar vericiler için kritik bir konuyu temsil etmektedir. Tatmin edici ve doğru kararların alınabilmesi açısından, problem yapılandırmasının bir alt başlığı olarak, birbiri ile etkileşim halinde olan kriterlerin belirlenmesi, hayati önem taşımaktadır.

Özellikle, karar kriterlerinin birbirinden bağımsız olduğu varsayımı, karmaşık, belirsiz ve dinamik karar verme ortamlarında yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Ayrıca, çok sayıda psikolojik araştırma, karar vericilerin ek analitik destek almadıkları durumlarda, basitleştirilmiş ve çelişkili karar kuralları kullandıklarını göstermektedir [33, 34].

ÇKKV’de aşağıda verilen altı temel karar problemlerini modellemede sistematik bir yaklaşım sağlanmaktadır [35]:

- Değer: Bir kişinin derinden önemseydiği bir şeyi,
- Hedef: Belirli bir problem çerçevesinde değerlerin formüle edilmesini
- Amaç: Problem çözümünün istenen özelliği doğrultusunda hedefin belirlenmesini,
- Karar Verici: Karar vermekten sorumlu tek bir kişiyi, bir grup insanı veya bir kuruluşu,
- Karar Alternatifleri: Bir karar problemindeki uygun çözümleri,
- Kriterler: Karar alternatiflerinin değerlendirmesinde nitelik veya amaç olarak kullanılan temelleri,
- Sonuçlar: Her bir karar alternatifinin performansını gösterir.

Karar vericiler, çok sayıda farklı karar durumuyla karşı karşıya kalmaktadırlar. Literatürde birçok karar problemi ve bunların çözüm yöntemleri bulunmaktadır. 1981’de Roy [36] tarafından dört ana karar problem grubu tanımlanmıştır:



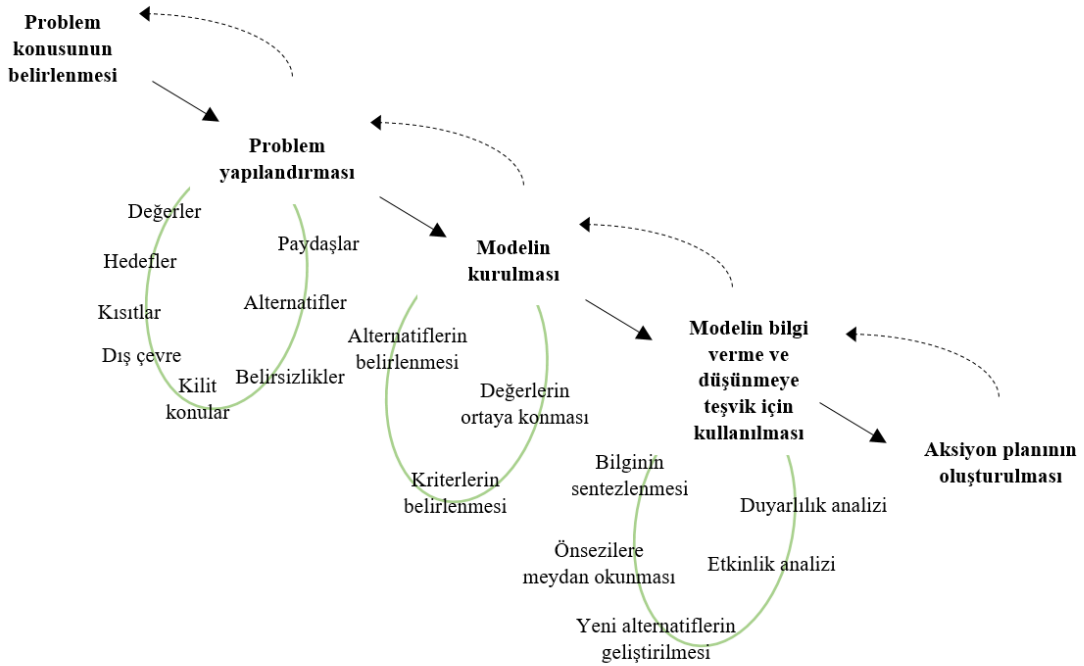
1. Seçim Problemi: Hedef, en iyi seçeneği seçmek veya seçenekler grubunu, eşdeğer veya birbiriyle karşılaştırılması mümkün olmayan iyi seçeneklerin bir alt kümesine dönüştürmektir. Belirli bir iş için bir kişinin seçilmesi veya üniversitede seçmeli dersler arasından bir ders seçmek, seçim problemlerine örnek olarak gösterilebilmektedir.
2. Sınıflandırma Problemi: Seçenekler, kategori olarak adlandırılan, sıralı ve önceden tanımlanmış gruplara ayrılmaktadır. Amaç, sonrasında benzer tanımlayıcı, organizasyonel veya öngörülen davranışları veya özellikleri olan seçenekleri yeniden gruplandırmaktır. Örneğin, çalışanlar farklı performans grupları altında sınıflandırılmak istenirse, bunlar üstün, ortalama ve zayıf performans gösteren çalışanlar olabilir. Bu sınıflandırmalara dayanarak, gerekli önlemler alınabilir. Bunun yanı sıra, bir sonraki adımda dikkate alınacak seçeneklerin sayısını azaltmak için eleme yöntemi olarak da fayda sağlamaktadır.
3. Sıralama Problemi: Seçenekler, skora veya ikili karşılaştırmalar vb. temel alınarak en iyiden en kötüye sıralanmaktadır. Sıralama tam veya birbiriyle kıyaslanamayan seçeneklerin olması durumunda kısmi olarak yapılabilmektedir. Üniversitelerin, öğretim kalitesi, araştırma uzmanlığı ve kariyer fırsatları gibi çeşitli kriterlere dayanarak sıralanması buna örnek olarak verilebilir.
4. Tanımlama Problemi: Hedef, seçenekleri ve bunların sonuçlarını tanımlamaktır. Karar probleminin özelliklerini anlamak amacıyla kullanılmaktadır.

Bunlara ek olarak Bana e Costa, [37] 1996'da sınıflandırma probleminin bir dalı olan eleme problemini önermiştir. Ayrıca Keeney, [38] 1992'de hedeflere ulaşmak ve karar vericinin isteklerini yerine getirmek için yeni bir eylem tanımlamayı veya oluşturmayı amaçlayan bir tasarım problemini öne sürmüştür.

Bell et al., [39] karar analizi alanında normatif, tanımlayıcı ve kuralcı olmak üzere üç farklı yaklaşımdan bahsetmektedir. Normatif yaklaşımda rasyonel seçim varsayılmakta ve karar vericilerin kararlarında mantıklı temeller oluşturmaları beklenmektedir. Bu yaklaşım en iyilik odaklı olmakla beraber temelleri yönetim bilimi ve istatistik üzerine kurulmuştur. Geleneksel beklenen değer modeli, beklenen fayda modeli ve subjektif beklenen fayda modeli normatif yaklaşıma örnek olarak verilebilmektedir. Ayrıca olasılık teorisi ve Bayes istatistikleri, normatif modellerde merkezi rollere sahiptir. Tanımlayıcı yaklaşımlar ise, karar vericilerin gerçek davranışlarına odaklanmakta ve gerçek davranışları matematiksel olarak modellemeye çalışmaktadır. Geliştirilen modeller gerçek hayat durumlarıyla karşılaştırılarak tahmin kalitesi değerlendirilmektedir. Tanımlayıcı yaklaşımlar

ampirik araştırma odaklı ve insanların her zaman rasyonel olmadığı fikrine dayanmaktadır [40]. Davranış bilimi ve bilişsel psikoloji bu yaklaşıma temel oluşturan iki önemli alandır. Tanımlayıcı modelin popüler bir örneği beklenti teorisi modelidir. Kuralcı yaklaşım, normatif yaklaşımı uygulayarak daha iyi kararlar verilmesini vurgularken, aynı zamanda irrasyonel insan yargısını ve gerçek hayat durumlarında rasyonel modellerin sınırlamalarını da göz önünde bulundurmaktadır. Bu yaklaşım en iyi karar ile sübjektif bakış açısıyla seçim yapan insan davranışını kesiştirmektedir. Bu model, karara giden yolun mümkün olduğu kadar basit ve karar vericiler tarafından anlaşılması kolay olmasını temel alarak, önyargılardan kaçınmayı hedeflemektedir. Kuralcı yaklaşım aynı zamanda, karar atmosferinin karmaşıklığını azaltma ve yönetilebilir boyutunu korumaktadır.

ÇKKV literatüründe kriterler, alternatifler, amaçlar gibi unsurların önceden bilindiği varsayılmaktadır. Ancak karar vericiler daha kapsamlı bir başlık olan problem yapılandırmasının bir alt kümesi olarak karar verme sürecini oluştururlar ve bu süreç 2002’de Belton and Stewart tarafından Şekil 2.2.’de verildiği gibi görselleştirilmiştir [41].



Şekil 3.2. ÇKKV Süreci [41]

Genel bir ÇKKV sorunu, problem yapılandırma aşamasında başlamaktadır çünkü problem yapılandırma aşaması, farklı açılardan düşünmeyi gerektirmekte ve karar problemlerinde şüphesiz ki var olan karmaşıklığı yönetmeyi amaçlamaktadır. Problem yapılandırma aşamasında, problemin merkezindeki aktörler belirlenmekte, kilit konular, alternatifler, kriterler, hedefler ve sistem sınırları tanımlanmaktadır. Model oluşturma aşamasında karar matrisi, karar vericilerin performans skorlarını ve tercihlerini ortaya çıkararak doldurulmaktadır. Bilgi sentezlendikten ve ilk sonuçlar alındıktan sonra, sorgulayıcı bir düşünme yapısıyla duyarlılık analizi gerçekleştirilmekte ve alternatifler ve problem yeniden incelenmektedir.

### **3.2. Bulanık Mantık**

Modelleme ve analiz için kullanılan yöntemlerin çoğu verinin kesin, deterministik ve belirli özelliklere sahip olma koşulu altında çalışırlar. Kesinlik durumu belirli bir derecelendirme yerine katı 0-1 mantığı ile ifade edilir. Bu ikili geleneksel mantıkta karakteristik fonksiyon temel alınarak bir ifade ya doğru yada yanlış olarak tanımlanır. Ancak bunların arasında herhangi bir değer alamaz. Klasik küme teorisinde, bir öge bir kümeye ya aittir yada ait değildir. Bu durumda kesinlik kavramı kullanılarak modellenen gerçek sistemlerde parametrelerin belirli olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda model, kesin model olarak adlandırılır ve belirsizlik içermez. Eğer modelin yapısı ve parametreleri kesin bir şekilde biliniyorsa, modelin aldığı değerler ve sonuçlar hakkında hiçbir şüphe olmadığı varsayımı altında çalışılır. Ancak gerçek sistemler modellenirken büyük bir çoğunlukla belirsizlikler ortaya çıktığından dolayı bu varsayım güvenilir değildir. Gerçek bir sistemin tüm özellikleriyle doğru bir şekilde tanımlanması için genellikle verinin belirlenebilmesi, işlenebilmesi ve anlaşılabilir bir hale gelmesi için ayrıntılı bir veri analizi gerektirmektedir. Bu durum, geçmişte bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. 1923'te Russell, [42] klasik mantığın, kesin sembolleri kullanılmasından dolayı gerçek hayatı tam olarak yansıtmadığını ve hayali bir varoluşa uygulanabileceğini ifade etmiştir. Bulanık mantık, 1965 yılında ilk kez Zadeh [43] tarafından ortaya atılmıştır. Bu teori sayesinde sayısal ifadelerle birlikte sembolik ifadelerin de kullanımı mümkün olmaktadır. Bulanık mantığın temelleri matematiksel temellere dayandırılarak güçlendirilmiştir. Zadeh [44] 1973'te, bir sistemin karmaşıklığı arttıkça, kesin bilgilerle davranışları hakkında anlamlı ifadeler verebilme kabiliyetinin azaldığını ifade etmiştir. Kesin olmayan modeller için belirsizliğin ölçülmesinde uzun süre olasılık ve istatistik teorisinin araçları kullanılmıştır [45, 46]. Ancak

bu teorilerin uygulama aşamalarında katı varsayımlar bulunmaktadır ve bu varsayımların sağlanmadığı durumlarla çoğunlukla karşılaşmaktadır. Buradaki belirsizlik ölçümünün olasılık esaslarına göre hesaplanabilmesi için uygun olan olasılık dağılımlarının ve bunlara ait istatistiki bilgilerin önceden bilinmesi gerekmektedir. Belirsizliği bulanık küme teorisi ile tanımlayan bulanık mantık oldukça yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Zadeh [43] ve Goguen [47] bulanık küme teorisini klasik küme kavramından yola çıkarak geliştirmiş ve dilsel değişkenlerin de karar vericiler tarafından değerlendirilmesine olanak sağlamışlardır. Bulanık mantık, karar verme problemlerinde karar vericilerin farklı görüşlere sahip olmalarından dolayı ortaya çıkan belirsizliklerde kesin ifadelerin yerine kullanılan bir yöntem olarak tanımlanır.

### 3.3. Tereddütlü Bulanık Mantık

1965'te Zadeh [43] tarafından ortaya atılan belirsizlik içeren gerçek hayat problemlerinde sıklıkla kullanılan bulanık küme teorisinin geliştirilmiş versiyonları da karar verme süreçlerinde etkili olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler Tip-2, sezgisel, tereddütlü, nötrosofik, polihedron gibi farklı yaklaşımları kapsamaktadır. Problemdeki bulanıklığın yapısına göre uygun bulanık yöntemin seçilmesi önemli bir sorundur. Tereddütlü bulanık yaklaşım, birden fazla karar vericinin olduğu ve bu karar vericilerin verdiği kararlarda kesin yargıların olmadığı durumlarda tercih edilebilir ve karar vericilerin görüşleri birden fazla üyelik derecesi ile ifade edilir [48]. Tereddütlü bulanık yaklaşım nitel ve nicel kriterlerin değerlendirilmesinde karar vericinin kararsız doğasına yakın ve esneklik içeren bir yapının ortaya çıkmasına olanak sağlar [49]. Tereddütlü bulanık yaklaşımda, bulanık yaklaşımdan farklı olarak tek bir üyelik derecesi bulunmaz. Bu yaklaşımda oluşturulan birden fazla üyelik dereceleri bir bulanık kümeye atanır. Bu durum kararsızlıktan kaynaklanan belirsizliği modellemeyi amaçlayan bulanık kümelerin bir uzantısıdır [50]. TBK ve Tereddütlü Bulanık Eleman (TBE) kavramları Tanım 1 ile verilmiştir.

Tanım 1:  $X$  boş olmayan bir küme üzere,  $X$  üzerinde tanımlı TBK  $A$ ,  $[0,1]$  değerlerinden oluşan bir alt kümedir ve eşitlik 3.1. ile verilmiştir.

$$A = \{ \langle x, \alpha(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (3.1)$$

Burada  $\alpha(x)$ ,  $x \in X$ 'in  $A$  kümesine ait üyelik derecelerini gösterir.  $\alpha(x)$  TBE olarak adlandırılır ve  $A$  bu elemanların oluşturduğu bir kümedir [51]. TBE'ler farklı sayıda

elemanlara sahip olabildiği için  $\alpha(x)$ 'in içerdiği eleman sayıları  $l_x$  ile gösterilmiştir.  $\alpha(x) = \{\alpha^{\lambda(j)}(x)\}_{j=1}^{l_x}$  olmak üzere, burada  $\alpha^{\lambda(j)}(x)$ ,  $\alpha(x)$  içindeki  $j$ 'inci en büyük değeri temsil eder. Tereddütlü bulanık kümelerdeki üyelik derecelerinin eleman sayılarını eşit hale getirmek amacı ile  $\alpha(x)$ 'in içerdiği elemanlar artan sıraya göre düzenlenir ve eksik olan elemanlar en büyük eleman ekleme yöntemi ile her biri eşit sayıda olacak şekilde düzenlenerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir [52].

### 3.4. IDOCRIW Yöntemi

ÇKKV'de her kriterin farklı bir önceliği ve önem düzeyi olduğundan hepsinin eşit ağırlıklara sahip olduğu varsayılmaz dolayısıyla her kriter için uygun önem düzeyini belirlemek temel amaçlardan birisidir. Bu alanda literatürde geliştirilen yöntemler subjektif ve objektif yöntemler olarak iki ana başlıkta gruplandırılabilirler. AHP, Full Consistency Method (FUCOM), Level Based Weight Assessment (LBWA) vb. gibi subjektif yöntemlerde ağırlıklar belirlenirken sadece karar vericilerin tercihleri dikkate alınırken, Criteria Importance Through Intercriteria Correlation (CRITIC), Entropi, CILOS, IDOCRIW vb. gibi yöntemlerde veriler kullanılarak ağırlıklar belirlenmektedir. Birçok gerçek hayat probleminde karar vericinin uzmanlığının dikkate alınması gerektiğinden subjektif ağırlıklandırma tercih edilmektedir. Ancak ağırlıklandırma mevcut verinin kullanılması ile gerçekleştirildiğinde oluşan objektif ağırlıklandırma yöntemleri daha gerçekçi ve değerlidir.

Objektif kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden IDOCRIW yöntemi 2016'da Zavadskas ve Podvezko tarafından önerilmiştir [1]. Bu yöntem, literatürde sıkça kullanılan ve etkinliği birçok çalışmada kanıtlanmış CILOS ve Entropi yöntemleri bir araya getirilerek geliştirilmiştir. Buna bağlı olarak ele alınan bu iki yöntemden herhangi birinde bulunan eksiklik diğeri tarafından ortadan kaldırılmış olacaktır.

Entropi kavramı, bilim ve mühendislik dalları olan fizik, bilgi teorisi ve matematik, termodinamik alanında gelişmiş ve ardından bilgi entropisi ortaya çıkmıştır. Entropi ilk olarak, Rudolph tarafından 1865'de termodinamik alanında geliştirilmiş ve 1948'de Shannon tarafından bilgi entropisi kavramı ortaya atılmıştır [53]. Bilgi teorisinde entropi yöntemi, belirsizliğin bir ölçüsü olarak elde edilen verinin sağladığı faydalı bilginin miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. ÇKKV problemlerinde, kriterlerin önem düzeylerinin ortaya çıkarılmasında kullanılan bu yöntem, ağırlıkların hesaplanması için

objektif bir değerlendirme yöntemidir [54]. Bu yöntemde sırasıyla normalizasyon ve entropi hesabı uygulandıktan sonra kriter önem ağırlıkları belirlenmiş olur. Tereddütlü bulanık ortamlarda kullanılan TBE'ye ait çapraz entropi kavramı ise Tanım 2'de verilmiştir.

Tanım 2:  $\alpha$  TBE olmak üzere,  $\alpha$  için entropi  $E_A(\alpha)$  eşitlik 3.2. ile verilmiştir [52].

$$E_A(\alpha) = 1 - \frac{2}{l_\alpha T} \sum_{i=1}^{l_\alpha} \left( \frac{((1+q\alpha_{\lambda(i)}) \ln(1+q\alpha_{\lambda(i)}) + (1+q(1-\alpha_{\lambda(l_\alpha-i+1)})) \ln(1+q(1-\alpha_{\lambda(l_\alpha-i+1)})))}{2} - \frac{2+q\alpha_{\lambda(i)}+q(1-\alpha_{\lambda(l_\alpha-i+1)})}{2} \ln \frac{2+q\alpha_{\lambda(i)}+q(1-\alpha_{\lambda(l_\alpha-i+1)})}{2} \right), q > 0 \quad (3.2)$$

Burada  $T = (1 + q) \ln(1 + q) - (2 + q)(\ln(2 + q)) - \ln 2$ 'dir ve  $q$  sıfırdan farklı pozitif reel bir sayıdır.

Uygulamada yaygın olarak kullanılmasına rağmen Entropi yönteminin bir dezavantajı bulunmaktadır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında yalnızca Entropi yönteminin kullanıldığı durumlarda, alternatiflerden birisinin gerçekçi olmayacak şekilde çok yüksek tahmin edilmesi sonucu ortaya çıkabilmektedir. Ancak teorik temeli ilk olarak 1974'te Mirkin tarafından sunulan ve 2016'da Zavadskas ve Podvezko tarafından literatüre kazandırılan CILOS yöntemi, Entropi yönteminin bu dezavantajını ortadan kaldırmaktadır [1, 55]. CILOS yönteminde normalizasyon işlemi, göreceli kayıp matrisi, ağırlık sistem matrisi ve doğrusal denklem sistemleri kullanılmaktadır. Literatür incelendiğinde bu yöntemin güvenilir sonuçlar ortaya koyduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, geçmiş çalışmalarda etkinliği kanıtlanan entropi yöntemini de etkinliğini de göz ardı etmemek gerekir. Zavadskas ve Podvezko CILOS ve Entropi yöntemlerinin birbirini tamamlayıcı olabileceğini belirterek, 2016'da IDOCRIW yöntemini öne sürmüşlerdir. Entropi yöntemi kullanılarak belirlenen bir kriterin ağırlığı büyük olduğunda, etki kaybı da büyük olacaktır. Ancak aynı kriterin ağırlığı CILOS yöntemi kullanılarak elde edildiğinde ilgili kriterin ağırlığı göreceli olarak azalacaktır. CILOS ve Entropi yöntemlerini birleştirerek kullanan IDOCRIW yöntemiyle hesaplanan ağırlıklar daha dengeli ve güvenilir bir nihai sonuç elde edilmesini sağlamaktadır [7].

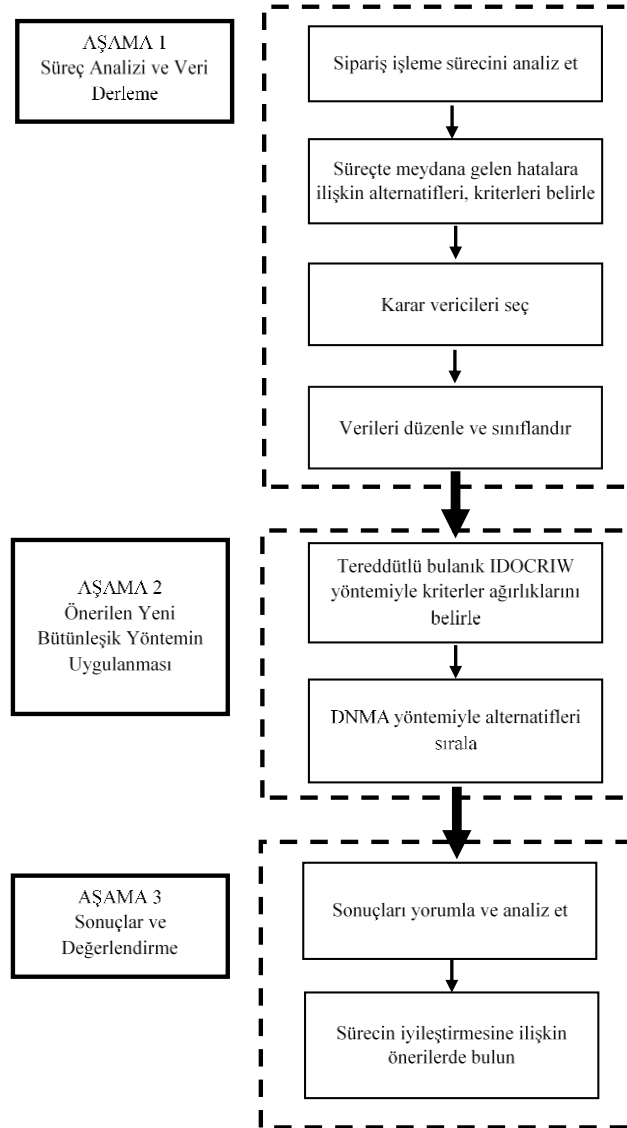
### 3.5. DNMA Yöntemi

DNMA yöntemi 2020'de Liao ve Wu tarafından alternatiflerin sıralanması amacıyla geliştirilmiştir [2]. Çok Karar Vericili ÇKKV karar vericiler tarafından birden çok kriter

üzerinden değerlendirilen sonlu bir alternatifler kümesini sıralama sürecidir. Genel olarak, çok karar vericili ÇKKV problemi hem nicel hem de nitel kriterlerden oluşur. Çok Karar Vericili ÇKKV problemleri üstünlük ve fayda değerine dayalı sıralama yöntemleri olarak iki başlık altına ayrılmaktadır. ELECTRE ve PROMETHEE gibi sıralama yöntemleri her bir kriter altındaki alternatiflerin ikili karşılaştırmalarına dayanır. Çok karar vericili ve çok kriterli problemlerde, hesaplamaların karmaşıklığı nedeniyle üstünlük yöntemlerinin kullanımı daha sınırlıdır. Ancak Simple Multi-Attribute Rating Technique (SMART), Multiplicative Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MULTIMOORA), TOPSIS ve Viekriterijumsko Kompromisno Rangiranje (VIKOR) gibi fayda değerine dayalı yöntemler çok karar vericili ÇKKV problemlerinde daha etkilidir. Bu yöntemler kullandıkları farklı normalizasyon ve birleştirme yaklaşımları ile birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Ortak noktaları, kriterlerin farklı birimde olmaları durumunda normalizasyon yaklaşımı ile aynı birime dönüştürülebilmelidir. Ancak bazı durumlarda verilerin uygun şekilde normalize edilmemesinden dolayı yanıltıcı nihai sonuçlar ile karşılaşılabilir. DNMA yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılan doğrusal ve vektör normalizasyonu yaklaşımlarının ikisini birlikte uygulayarak bu sorunu ortadan kaldırmaktadır. Buna bağlı olarak farklı birimlere sahip kriterler değerlerinden daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Normalizasyon işleminden sonra DNMA yönteminde üç farklı fayda fonksiyonu kullanılarak alternatifler için üç farklı sıralama elde edilir. Buna bağlı olarak farklı yönlerden değerlendirilerek elde edilen sıralamalar arasında birleştirme yapılarak nihai bir sıralama elde edilir. Bu durum alternatiflerin nihai sıralama sonuçlarının yüksek bir güvenilirliğe sahip olmasına olanak sağlar [2, 56].

## 4. YENİ BÜTÜNLEŞİK TEREDDÜTLÜ BULANIK IDOCRIW TABANLI DNMA YÖNTEMİ

Bu bölümde, çalışma kapsamında önerilen Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Tabanlı DNMA Yöntemi için geliştirilen algoritma verilmiştir. Bu yöntem konusu ve kapsamı belirlenmiş bir süreçte ortaya çıkan hataların analizi için kullanılabilir. Yeni bütünleşik algoritmanın adımları Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Önerilen Yönteme İlişkin Akış Şeması



### IDOCRIW (Entropi Yönteminin Adımları):

**Adım 1:** Tereddütlü Bulanık Karar Matrisi (TBKM) 'ni oluştur.

$m$  alternatif  $A_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ),  $n$  kriter  $C_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) ve  $k$  karar verici  $KV_k$  ( $k = 1, \dots, v$ )'nin bulunduğu bir süreç ele alınsın.  $k$ . karar verici tarafından  $j$ . kriter için belirlediği TBE  $\alpha_{kj}$  olsun.  $l_{\alpha_{kj}}$  ise TBE  $\alpha_{kj}$  'nin uzunluğunu (eleman sayısını) gösterebilir. TBE  $\alpha_{kj}$  'lerden oluşan TBKM eşitlik 4.1. ile verilmiştir.

$$TBKM = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{v1} & \cdots & \alpha_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4.1)$$

**Adım 2:** Normalize TBKM'yi oluştur.

Her bir TBE  $\alpha_{kj}$  farklı uzunluklarda olduğu için elemanları küçükten büyüğe doğru sıralanır ve uzunluğu en büyük olan TBE ye eşit olacak şekilde sahip olduğu en büyük üyelik derecesi eklenerek eşitlik 4.2. ile gösterilen normalize TBKM  $A$  elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} \alpha'_{11} & \cdots & \alpha'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha'_{v1} & \cdots & \alpha'_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4.2)$$

**Adım 3:** Normalize TBE  $\alpha'_{kj}$  için çapraz entropi değerlerini hesapla.

Normalize TBE  $\alpha'_{kj}$  için çapraz entropi değeri  $E(\alpha'_{kj})$ , eşitlik 3.2. kullanılarak hesaplanır.

**Adım 4:** Tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi  $E$  'yi oluştur.

Adım 3'te hesaplanan  $E(\alpha'_{kj})$   $k = 1, \dots, v$ ,  $j = 1, \dots, n$  çapraz entropi değerleri kullanılarak tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi  $E$ , eşitlik 4.3.'teki gibi oluşturulur.

$$E = \begin{bmatrix} E(\alpha'_{11}) & \cdots & E(\alpha'_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E(\alpha'_{v1}) & \cdots & E(\alpha'_{vn}) \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4.3)$$

**Adım 5:** Her bir kriter için entropi değerini ve entropi kriter ağırlığını hesapla.

Eşitlik 4.3.'te verilen çapraz entropi değerleri kullanılarak  $j$ . kriterin kriter entropi değeri  $E_j$  eşitlik 4.4. ile hesaplanır.

$$E_j = \frac{1}{v} \sum_{k=1}^v E(\alpha'_{kj}) ; j = 1, \dots, n \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.4. ile verilen kriter entropi değerleri kullanılarak  $j$ . kriterin entropi kriter ağırlığı  $w_j$ , eşitlik 4.5. ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{1-E_j}{n-\sum_{j=1}^n E_j} ; j = 1, \dots, n \quad (4.5)$$

### **IDOCR IW (CILOS Yönteminin Adımları):**

**Adım 6:** Skor matrisi  $Y$ 'yi oluştur.

Adım 2'de oluşturulan normalize TBKM'deki her bir TBE  $\alpha_{kj}$ 'nin elemanlarının aritmetik ortalaması alınarak skor değeri elde edilir. Bu işlem sonucunda eşitlik 4.6. ile gösterilen skor matrisi  $Y$  bulunur.

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{v1} & \cdots & y_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4.6)$$

**Adım 7:** Normalize skor matrisi ( $Y'$ )'ni oluştur.

Eşitlik 4.7. ile  $Y$  matrisinin her elemanı normalize edilir ve bu değerler ile eşitlik 4.8. ile gösterilen  $Y'$  matrisi oluşturulur.

$$y'_{kj} = \frac{y_{vn}}{\sum_{k=1}^v y_{vn}} ; j = 1, \dots, n \quad (4.7)$$

$$Y' = \begin{bmatrix} y'_{11} & \cdots & y'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y'_{v1} & \cdots & y'_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4.8)$$

**Adım 8:** Düzenlenmiş normalize skor matrisi  $B$ 'yi oluştur.

$Y'$  matrisi, her bir sütundaki maksimum değerler matrisin köşegeninde yer alacak şekilde düzenlenerek  $B$  matrisi oluşturulur. Bunun için  $Y'$  matrisindeki her bir sütundaki maksimum değer ilgili sütunun matriste köşegenine denk gelen elemanı ile yer değiştirilir ve eşitlik 4.9. ile gösterilen  $B$  matrisi oluşturulur.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{v1} & \cdots & b_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4.9)$$

**Adım 9:** Göreceli kayıp matrisi  $P$ 'yi oluşturun.

Eşitlik 4.10. ile  $B$  matrisindeki her sütunun köşegen değerinden her bir satır elemanının çıkartılarak köşegen eleman değerine bölünmesi sonucunda eşitlik 4.11. ile gösterilen  $P$  matrisi elde edilir.

$$p_{kj} = \frac{b_{kk} - b_{kj}}{b_{kj}} ; k = 1, \dots, v ; j = 1, \dots, n \quad (4.10)$$

$$P = \|p_{kj}\| \quad (4.11)$$

**Adım 10:** Ağırlık sistem matrisi  $F$ 'yi belirle.

Önceki adımda bulunan  $P$  matrisinin her sütununun toplamı bulunur. Bu toplamın negatif değeri  $P$  matrisinin 0 değerini alan köşegenlerine yazılarak eşitlik 4.12. ile verilen  $F$  matrisine ulaşılır.

$$F = \begin{bmatrix} -\sum_{k=1}^v p_{k1} & \cdots & p_{kv} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{v1} & \cdots & -\sum_{k=1}^v p_{kv} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

**Adım 11:** Doğrusal denklem sistemi çöz.

Eşitlik 4.13.'teki  $v$  denklem ve  $n$  bilinmeyenden oluşan doğrusal denklem sistemi çözülür.

$$F_{v \times n} \begin{pmatrix} t_1 \\ \dots \\ t_n \end{pmatrix} = 0 \quad (4.13)$$

**Adım 12:** CILOS kriter ağırlıklarını hesapla.

Önceki adımda elde edilen sonuçların eşitlik 4.14. ile normalize edilmesi sonucunda CILOS kriter ağırlıkları elde edilir.

$$q_j = \frac{t_j}{\sum_{j=1}^n t_j} \quad (4.14)$$

**Adım 13:** Nihai objektif tereddütlü bulanık IDOCRIW kriter ağırlıklarını hesapla.

Adım 5'te bulunan  $w_j$  entropi kriter ağırlıklarını ve Adım 13'te bulunan  $q_j$  CILOS kriter ağırlıkları kullanılarak eşitlik 4.15. ile  $j$ . kriterin tereddütlü bulanık IDOCRIW kriter ağırlığı  $\tau_j$ , elde edilir.

$$\tau_j = \frac{w_j q_j}{\sum_{j=1}^n w_j q_j} ; j = 1, \dots, n \quad (4.15)$$

### DNMA Yönteminin Adımları:

**Adım 14:** Alternatiflerin kriterlere göre karar matrisini oluştur.

DNMA yöntemini uygulayabilmek için karar matrisi  $X$  oluşturulmuş ve eşitlik 4.16. ile verilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (4.16)$$

Burada  $x_{ij}$ ,  $X$  karar matrisinin  $i$ . alternatifin  $j$ . kriterine göre oluşturulan her bir elemanını göstermektedir.

**Adım 15:** Normalizasyon işlemini gerçekleştir.

Eşitlik 4.17. ile doğrusal normalizasyon işlemi, eşitlik 4.18. ile ise vektör normalizasyon işlemi gerçekleştirilerek  $X$  karar matrisindeki değerler normalize edilir.  $r_j$ ,  $X$  karar matrisinin  $j$ . sütunundaki maksimum değeri temsil etmektedir.

$$\tilde{x}_{ij}^{1N} = 1 - \frac{|x_{ij} - r_j|}{\max\{\max_i x_{ij}, r_j\} - \min\{\min_i x_{ij}, r_j\}} ; i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \quad (4.17)$$

$$\tilde{x}_{ij}^{2N} = 1 - \frac{|x_{ij} - r_j|}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2 + r_j^2}} ; i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n \quad (4.18)$$

**Adım 16:** Kriter ağırlıklarını standart sapmaya bağlı olarak düzenle.

Öncelikle eşitlik 4.19. ile her  $C_j$  kriterinin standart sapması  $\sigma_j$  hesaplanır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \left( \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left( \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \right) \right)^2}{m}} ; \quad j = 1, \dots, n \quad (4.19)$$

Eşitlik 4.19. ile bulunan kriterlere ait standart sapma değerleri eşitlik 4.20. ile normalize edilir.

$$\tau_j^\sigma = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j} \quad (4.20)$$

Elde edilen normalize standart sapma değerleri ve Adım 14'te bulunan  $\tau_j$  tereddütü bulanık IDOCRIW kriter ağırlıkları kullanılarak, eşitlik 4.21. ile kriter ağırlıkları düzenlenir.

$$\tau_j^* = \frac{\sqrt{\tau_j^\sigma \tau_j}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{\tau_j^\sigma \tau_j}} \quad (4.21)$$

**Adım 17:** *Fayda fonksiyonlarını hesapla.*

Bu adımda her alternatif için üç farklı model ile alternatiflerin fayda fonksiyonu değerleri hesaplanır.

Tam Telafi Edici Model'de (Complete Compensatory Model (CCM)), bir alternatifin bazı kriterler altındaki düşük performansı, alternatifin diğer kriterler altındaki iyi performanslarıyla tamamen telafi edilebilir. Her alternatif için CCM fayda fonksiyon değeri eşitlik 4.22. ile hesaplanır. Burada  $a_i$ ,  $i$ . alternatifin fayda fonksiyon değerini göstermektedir.

$$a_i^{CCM} = \sum_{j=1}^n \frac{\tau_j^* \bar{x}_{ij}^{1N}}{\max_i \bar{x}_{ij}^{1N}} \quad (4.22)$$

Telafi Edici Olmayan Model'de (Un-Compensatory Model (UCM)), seçilen alternatifin herhangi bir kritere göre çok kötü bir performans göstermesinin önüne geçmek için kullanılır. Ayrıca bir alternatifin tüm kriterlere göre en kötü performansını belirlemeyi amaçlamaktadır. Her alternatif için UCM fayda fonksiyon değeri eşitlik 4.23. ile hesaplanır.

$$a_i^{UCM} = \max_j \tau_j^* \left( \frac{1 - \bar{x}_{ij}^{1N}}{\max_i \bar{x}_{ij}^{1N}} \right) \quad (4.23)$$

Kısmi Telafi Edici Model’de (Incomplete Compensatory Model (ICM)), bazı kriterler altında çok kötü performans gösteren fakat diğer kriterler altında çok iyi performans gösteren alternatif yerine ortalama bir performansa sahip alternatifin tercih edilmek istendiği durumlardaki gereksinimi karşılamaktadır. Her alternatif için ICM fayda fonksiyon değeri eşitlik 4.24. ile hesaplanır.

$$a_i^{ICM} = \prod_j \left( \frac{\bar{x}_{ij}^{2N}}{\max_i \bar{x}_{ij}^{2N}} \right)^{\tau_j^*} \quad (4.24)$$

**Adım 18:** Her model için alternatifleri fayda fonksiyon değerlerine göre sırala.

$r^{CCM}(a_i)$ , i. alternatifin CCM ile elde edilen fayda fonksiyon değerine göre azalan şekilde (en büyük değere sahip olan alternatif ilk sırada olacak şekilde) sıralanması sonucu elde edilen sıralamadaki sıra numarasını temsil eder.

$r^{UCM}(a_i)$ , i. alternatifin UCM ile elde edilen fayda fonksiyon değerine göre artan şekilde (en küçük değere sahip olan alternatif ilk sırada olacak şekilde) sıralanması sonucu elde edilen sıralamadaki sıra numarasını gösterir.

$r^{ICM}(a_i)$  ise, i. alternatifin ICM ile elde edilen fayda fonksiyon değerine göre artan şekilde (en küçük değere sahip olan alternatif ilk sırada olacak şekilde) sıralanması sonucu elde edilen sıralamadaki sıra numarasını ifade eder.

**Adım 19:** Fayda fonksiyonlarını birleştirip nihai fayda fonksiyon değerlerini belirle.

Adım 18’de hesaplanan  $a_i^{CCM}$ ,  $a_i^{UCM}$  ve  $a_i^{ICM}$  fayda fonksiyon değerleri Öklid uzaklığı kullanılarak eşitlik 4.25. ile birleştirilir.

$$DN_i = v^{CCM} \sqrt{\varphi \left( \frac{a_i^{CCM}}{\max_i a_i^{CCM}} \right)^2 + (1 - \varphi) \left( \frac{m - r^{CCM}(a_i) + 1}{m} \right)^2} - \\ v^{UCM} \sqrt{\varphi \left( \frac{a_i^{UCM}}{\max_i a_i^{UCM}} \right)^2 + (1 - \varphi) \left( \frac{r^{UCM}(a_i)}{m} \right)^2} + \\ v^{ICM} \sqrt{\varphi \left( \frac{a_i^{ICM}}{\max_i a_i^{ICM}} \right)^2 + (1 - \varphi) \left( \frac{m - r^{ICM}(a_i) + 1}{m} \right)^2} \quad (4.25)$$

Burada,  $v^{CCM} + v^{UCM} + v^{ICM} = 1$  olmalıdır.

$\varphi \in [0,1]$  ise aralığında değer alabilir. Liao ve Wu [2] tarafından  $\varphi = 0,5$  alınması önerilir.

Burada  $DN_i$  değeri  $i$ . alternatifin üç farklı modelin birleştirilmesi sonucunda elde ettiği nihai fayda fonksiyon değerini gösterir,  $v^{CCM}$ ,  $v^{UCM}$  ve  $v^{ICM}$  değerleri ise her bir modelin önem ağırlığını temsil eder.  $v^{CCM}$ ,  $v^{UCM}$  ve  $v^{ICM}$  değerleri karar vericilerin risk tutumlarına göre kendileri tarafından belirlenir. Karar vericiler tarafından alternatiflerin geniş kapsamlı performanslarına, yani alternatifin çoğu kritere göre en iyi olmasına daha fazla önem veriliyorsa,  $CCM$ 'ye en büyük ağırlık verilebilir. Eğer karar vericiler riske girmek istemiyorlarsa, yani seçilen alternatif bazı kriterlere göre kötü performans göstermemesi gerekiyorsa  $UCM$ 'ye daha büyük bir ağırlık atanabilir. Ayrıca, normalizasyon teknikleri olan doğrusal normalizasyona ve vektör normalizasyonuna göre de belirlenebilir. Eğer normalizasyon adımında doğrusal normalizasyonun daha etkili yada verimli olduğu düşünülüyorsa  $CCM$  ve  $UCM$ 'ye büyük ağırlık verilebilir. Bunların haricindeki durumlarda ise  $ICM$ 'ye en büyük ağırlık değeri atanabilir.

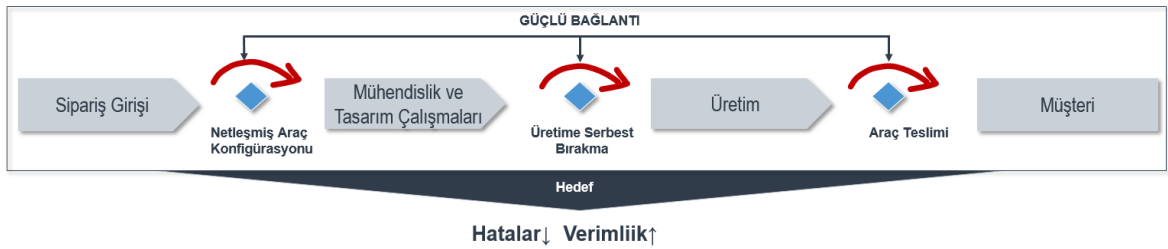
**Adım 20:** *Nihai fayda fonksiyon değerine göre alternatifleri sırala.*

$DN$  nihai fayda fonksiyon değerleri hesaplandıktan sonra, alternatifler bu değerlere göre azalan şekilde sıralanır. En büyük  $DN$  değerine sahip olan alternatif nihai fayda fonksiyon sıralamasına göre en yüksek önem düzeyine sahip olan alternatif olur.

## 5. ÖNERİLEN YENİ BÜTÜNLEŞİK YÖNTEMİN SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNE UYGULANMASI

### 5.1. Otomotiv Sektöründe Sipariş İşleme Süreci

Çalışmaların yürütüldüğü işletmede birçok farklı araç tipinin üretimi gerçekleştirilmektedir. Her bir araç tipinde müşteri isteklerine göre modifikasyonlar yapılarak sipariş bazlı otomotiv üretimi yapılmaktadır. Her sipariş birçok açık uçlu ve seri aracın iç, dış, mekanik ve elektrik olmak üzere her türlü sistem ve donanımını etkileyen müşteri isteği içermektedir. Bu sebeple gelen her araç siparişinin kabulü öncesinde siparişte istenilen araç konfigürasyonu Ar-Ge departmanında çalışan mühendisler tarafından teknik yapılabirliği ve üretimdeki uygulanabilirliği özelinde kontrol edilmektedir. Uygun olan her bir müşteri isteği için gereken mühendislik çalışma süreleri, üretim süreleri ve malzeme maliyetleri belirlenerek toplam maliyet hesabı yapılmaktadır. Bu bilgiler ışığında müşteriyle son görüşmeler gerçekleştirilerek araç konfigürasyonun son hali belirlenerek sipariş girişi gerçekleşmektedir. Müşteri, ihtiyacı doğrultusunda aynı sipariş numarasıyla netleştirilen konfigürasyona sahip bir veya birden fazla araç sipariş edebilmektedir. Aynı sipariş numarası içerisinde yer alan tüm araçlar için mühendislik süreçleri sadece bir defa yürütülmektedir. Bu durum iş yükünü siparişteki araç sayısı çarpanı kadar azaltmaktadır. Aynı zamanda olası bir mühendislik hatasının bir sipariş içerisinde yer alan araçların hepsinde aynı anda tespit edilmesi anlamına gelmektedir. Sipariş girişinin ardından Ar-Ge departmanı tarafından gerekli mühendislik çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Böylece ürün üretime hazır hale gelmektedir. Üretim aşaması tamamlandıktan sonra ilgili siparişteki araç veya araçlar müşteriye teslim edilmektedir. Yukarıda ayrıntılarıyla açıklanan genel sipariş işleme süreci Şekil 5.1. ile verilmiştir.

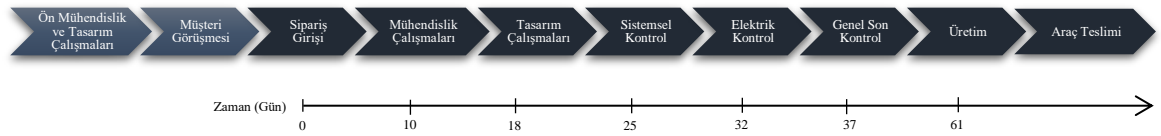


Şekil 5.1. Sipariş İşleme Süreci



Süreç boyunca yapılan olası herhangi bir mühendislik hatasının sürecin hangi aşamasında tespit edildiği önemli bir faktördür ve aşamalara göre etkileri farklılık göstermektedir. Bir hatanın sürecin son aşamalarında fark edilmesi zaman kaybı yaratmakta ve maliyeti arttırmaktadır. Bu sebeple hatanın sürecin başlangıcında belirlenmesi bu sorunun etkilerini azaltmaktadır. Dolayısıyla sipariş işleme süreci boyunca, sipariş üretim aşamasına gelinceye kadar gerekli yerlerde ve sıklıkta kontrol noktaları bulunmaktadır. Bu kontrol noktalarında mühendislik ve tasarım çalışmaları Ar-Ge içerisinde farklı birimler tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmalar ilgili siparişte kullanılacak önceki siparişler için oluşturulmuş mühendislik çalışmalarının ve bu çalışmalarda ihtiyaç oluşturan fiili malzemelerin belirlenip sisteme yansıtılmasını içermektedir. Bunun yanı sıra, yeni bir tasarım ihtiyacı varsa bunun belirlenip tasarım ekibine iletilmesini kapsamaktadır. Bir sonraki adımda tasarım ekibi iletilen yeni gereklilikler ile yeni tasarımları oluşturulmaktadır. Üç farklı kontrol noktası mühendislik ve tasarım çalışmaları tamamlandıktan sonra sonuçların doğruluğunu test etmektedir. İlk olarak sistemsel bir kontrolün gerçekleştirildiği bir adım bulunmaktadır. Bu aşamada sisteme yansıtılan çalışmalarda sistemsel bir hata olup olmadığı gözlenmektedir. Başka bir deyişle bu aşama her bir isteğe ilişkin çalışmanın sisteme yansıtılıp yansıtılmadığı ve kullanılması öngörülen malzemelerin tümünün sistemde görünüp görünmediğini içermektedir. Sipariş üretime serbest bırakıldıktan sonra süreçteki tüm paydaşlar bu ortak sistemdeki verileri temel alarak çalışmalarını yürütmektedirler. Örneğin Malzeme Yönetimi Departmanı bu aşamada sisteme tanımlanmış malzemeleri sipariş etmekte, Üretim Departmanı ise bu çalışmaları temel alarak üretime montaj talimatları hazırlamaktadır. Bu sebeple sistemde tanımlı olan mühendislik ve tasarım çalışmalarının eksiksiz ve doğru olması büyük önem taşımaktadır. Sistemsel kontrol adımından sonra elektrik sistemlerine ait kontrollerin yapılması için uzman elektrik mühendisleri siparişte istenilen çalışmaları detaylı olarak incelemektedir. Ar-Ge kontrol adımlarından sonuncusu ilgili siparişte kullanılacak tüm mühendislik ve tasarım çalışmalarının, araç üzerindeki üçboyutlu uygulamalarının bilgisayarda incelenmesidir. Bu süreç araçta kullanılan parçalarda uygunsuzluk olup olmadığının üretim başlamadan önce tespit edilmesine olanak sağlamaktadır. Ar-Ge Departmanındaki tüm kontrol adımları gerçekleştirilip, gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra sipariş edilen araçlar üretim aşamasına geçmektedirler. Böylece Ar-Ge Departmanın gerçekleştirdiği çalışmalar baz alınarak organizasyondaki diğer tüm departmanlar sipariş ile ilgili çalışmalarını gerçekleştirmektedirler. Bunlar gerekli malzemelerin sipariş edilmesi, yeni satın alma kontratlarının yapılması ve montaj talimatlarının hazırlanması gibi birçok önemli çalışmalardır. Dolayısıyla bu aşamadan sonra

mühendislik ve tasarım çalışmalarında çıkacak en ufak bir hata tüm organizasyonun çalışmalarını etkilemektedir. Bu durum proje planında gecikmelere sebebiyet vermekle birlikte siparişin teslim tarihinin etkilenmesine kadar birçok risk içermektedir. Böylece olası bir hatanın sürecin en başlarında tespit edilmesi büyük önem arz etmektedir. Sipariş girişiyle başlayan sipariş işleme süreci boyunca gerçekleştirilen çalışmalar zamana bağlı olarak Şekil 5.2. ile gösterilmiş, sürecin aşamalarının hangi zaman diliminde (gün bazında) gerçekleştirildiği sunulmuştur.

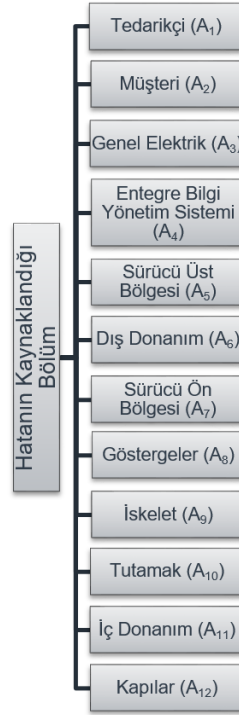


Şekil 5.2. Sipariş İşleme Sürecindeki Adımlar

Bu çalışmada sipariş işleme sürecindeki hata ölçütlerine bağlı olarak en çok mühendislik hatasına hangi bölümlerin sebep olduğunun tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda, ilgili bölümler hataların azaltılmasına yönelik süreç iyileştirmeleri gerçekleştirerek maliyetin azalmasına ve verimliliğin artmasını sağlayabilecekleridir.

## 5.2. Önerilen Yöntemin Uygulaması

İşletmede çalışma kapsamında kullanılacak verilerin toplanması ilk aşamayı oluşturmaktadır. Derlenen bu hata verileri, ayıklanıp, düzenlenmiş ve on iki bölüm altında sınıflandırılmıştır. Şekil 5.3. ile sunulan bu bölümler problemin alternatiflerini oluşturmaktadır.



Şekil 5.3. Hataların Kaynaklandığı Bölümlerin Hiyerarşik Yapısı

İşletmede yapılan görüşmeler sonucunda alanında uzman olan karar vericiler tarafından belirlenen kriterler dört ana başlık altında incelenmiştir. Bu kriterler, siparişteki araç sayısı ( $C_1$ ), hatanın tespit edilme zamanı ( $C_2$ ), hatanın düzeltilmesi için parça ihtiyacının olup olmaması ( $C_3$ ) ve hatanın düzeltilmesi için harcanan mühendislik çalışma süresi ( $C_4$ )'dir. Belirlenen her bir kritere ait 149 hataya ait bilgiler EK 1'de sunulmuştur. Kriterlere ait her bir alternatif için birden fazla veri bulunmaktadır. Birinci kriter sayı, ikinci kriter gün ve dördüncü kriter saat cinsinden ifade edilmiştir. Bu üç kriterin her birisi için alternatif bazında tek veri elde etmek amacıyla bu verilerin medyanı alınarak tek bir değer elde edilmiştir. Medyan kullanılmasının sebebi veri seti içinde aykırı değerlerin bulunmasıdır. Üçüncü kriter olan hatanın düzeltilmesi için parça ihtiyacının olup olmaması kriteri ise evet hayır olmak üzere ikili bir değişken ile ifade edilmektedir. Bu ikili değişkeni yüzde cinsinden ifade edebilmek için kaç verinin bulunduğu, bu verilerin içinden kaçında parça ihtiyacının olduğu bilgisi kullanılmış ve parça ihtiyacı olma durumuna göre (0,1) aralığında değerlere dönüştürülmüştür. Örneğin, bir alternatife ait on verinin altısında parça ihtiyacı var ise ve dördünde yok ise, parça ihtiyacı olma durumu 0,6 değeri ile temsil edilmektedir. Tüm bu düzenlemeler sonucunda elde edilen düzenlenmiş karar matrisi X Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Düzenlenmiş Karar Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$A_1$	4,0	14,0	0,571	3,0
$A_2$	5,0	10,0	1,000	34,0
$A_3$	5,0	32,0	0,690	5,0
$A_4$	4,0	37,0	0,605	3,0
$A_5$	4,0	37,0	1,000	6,4
$A_6$	3,0	37,0	0,778	7,0
$A_7$	3,5	37,0	0,333	5,0
$A_8$	2,0	37,0	0,000	5,0
$A_9$	5,5	23,5	1,000	8,0
$A_{10}$	3,0	49,0	0,667	13,0
$A_{11}$	4,0	37,0	0,565	9,5
$A_{12}$	1,5	10,0	1,000	23,5

Belirlenen kriterlerin önem derecelerini tespit etmek amacıyla işletmede dört karar vericinin görüşleri alınmıştır. Bu karar vericilerden kriterlere (0,1) aralığında dereceler vermeleri istenmiştir. Ancak karar vericiler kendi derecelendirmelerinde net olamayıp bir kritere birden fazla derecelendirme sunmuşlardır. Bu durum çalışmada belirsiz karar verme yöntemlerinden olan TBE'lerin kullanımına sebep olmuştur. Dolayısıyla dört karar vericinin kriterler bazındaki derecelendirmeleri TBKM olarak oluşturulmuş ve bu matrisin elemanları Tablo 5.2. ile verilmiştir. Matris oluşturulurken her bir karar vericinin kriterlere verdiği derecelendirmeler küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır.

Tablo 5.2. TBKM

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	{0,2;0,4}	{0,4;0,5;0,7}	{0,3;0,4;0,5}	{0,2;0,4;0,6;0,7}
$KV_2$	{0,4;0,5}	{0,6;0,8}	{0,3;0,5;0,8}	{0,1;0,2;0,4}
$KV_3$	{0,3;0,5;0,6}	{0,4;0,5;0,6}	{0,3;0,4;0,7}	{0,1;0,5;0,6;0,7}
$KV_4$	{0,3;0,6;0,7}	{0,5;0,6;0,7;0,8}	{0,4;0,5;0,7;0,8}	{0,2;0,3;0,5;0,6}

Tablo 5.2.'de verilen TBE'ler tereddütlü bulanık mantığa göre birer üyelik derecesini temsil etmektedir. TBKM'de görüldüğü üzere her bir TBE farklı eleman sayısına sahiptir. Eleman sayılarının eşitleme işlemi normalizasyon olarak isimlendirilir ve tereddütlü bulanık mantıkta birden fazla normalizasyon yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada yöntemler arasından en büyük üyelik derecesini ekleme yöntemi seçilmiştir. Böylece oluşturulan normalize edilmiş TBKM Tablo 5.3. ile verilmiştir.

Tablo 5.3. Normalize TBKM

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	{0,2;0,4;0,4}	{0,4;0,5;0,7;0,7}	{0,3;0,4;0,5;0,5}	{0,2;0,4;0,6;0,7}
$KV_2$	{0,4;0,5;0,5}	{0,6;0,8;0,8;0,8}	{0,3;0,5;0,8;0,8}	{0,1;0,2;0,4;0,4}
$KV_3$	{0,3;0,5;0,6}	{0,4;0,5;0,6;0,6}	{0,3;0,4;0,7;0,7}	{0,1;0,5;0,6;0,7}
$KV_4$	{0,3;0,6;0,7}	{0,5;0,6;0,7;0,8}	{0,4;0,5;0,7;0,8}	{0,2;0,3;0,5;0,6}

Eşitlik 3.2. kullanılarak normalize TBKM'de yer alan k. karar verici tarafından j. kriter için normalize TBE  $\alpha'_{kj}$  için entropi değeri  $E(\alpha'_{kj})$  hesaplanarak normalize tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi  $E$ 'nin elemanları Tablo 5.4. ile verilmiştir.

Tablo 5.4. Tereddütlü Bulanık Çapraz Entropi Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	0,88355	0,97577	0,97587	0,99490
$KV_2$	0,99361	0,74755	0,95072	0,79857
$KV_3$	0,99348	0,99521	0,99511	0,97415
$KV_4$	0,98724	0,91255	0,96071	0,96071

Eşitlik 4.4. ile hesaplanan kriter entropi değerleri  $E_j$  ( $j = 1,2,3,4$ ) ve eşitlik 4.5. ile hesaplanan kriter entropi ağırlıkları  $w_j$  ( $j = 1,2,3,4$ ) Tablo 5.5. ile verilmiştir.

Tablo 5.5. Kriter Entropi Değerleri ve Kriter Entropi Ağırlıkları

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$E_j$	0,9645	0,9078	0,9706	0,9321
$w_j$	0,1579	0,4098	0,1306	0,3018

Tablo 5.3. ile verilen normalize TBKM'deki her bir TBE  $\alpha_{kj}$ 'nin elemanlarının aritmetik ortalaması alınarak skor değerleri elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda skor matrisi  $Y$ 'nin elemanları Tablo 5.6. ile verilmiştir..

Tablo 5.6. Skor Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	0,33333	0,57500	0,42500	0,50000
$KV_2$	0,46667	0,75000	0,60000	0,27500
$KV_3$	0,43333	0,52500	0,62500	0,47500
$KV_4$	0,53333	0,65000	0,57500	0,40000

Skor matrisi  $Y$ 'nin elemanları eşitlik 4.7. ile normalize edilerek normalize skor matrisi  $Y'$ 'nin elemanları oluşturulmuş ve Tablo 5.7. ile verilmiştir.

Tablo 5.7. Normalize Skor Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	0,18868	0,23000	0,19101	<b>0,30303</b>
$KV_2$	0,26415	<b>0,30000</b>	0,26966	0,16667
$KV_3$	0,24528	0,21000	<b>0,28090</b>	0,28788
$KV_4$	<b>0,30189</b>	0,26000	0,25843	0,24242

Normalize skor matrisinde her bir sütundaki maksimum değerler seçilerek matrisin köşegen elemanlarını oluşturacak şekilde düzenlenerek düzenlenmiş normalize skor matrisi  $B$  oluşturulmuş ve elemanları Tablo 5.8. ile verilmiştir.

Tablo 5.8. Düzenlenmiş Normalize Skor Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	<b>0,30189</b>	0,26000	0,25843	0,24242
$KV_2$	0,26415	<b>0,30000</b>	0,26966	0,16667
$KV_3$	0,24528	0,21000	<b>0,28090</b>	0,28788
$KV_4$	0,18868	0,23000	0,19101	<b>0,30303</b>

Eşitlik 4.10. ile  $B$  matrisindeki her sütunun köşegen değerinden her bir satır elemanının çıkartılarak köşegen eleman değerine bölünmesi sonucunda göreceli kayıp matrisi  $P$  matrisi elde edilmiş ve elemanları Tablo 5.9. ile verilmiştir.

Tablo 5.9. Göreceli Kayıp Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	<b>0,0000</b>	0,1333	0,0800	0,2000
$KV_2$	0,1250	<b>0,0000</b>	0,0400	0,4500
$KV_3$	0,1875	0,3000	<b>0,0000</b>	0,0500
$KV_4$	0,3750	0,2333	0,3200	<b>0,0000</b>

Ağırlıklı sistem matrisi  $F$  eşitlik 4.12. ile oluşturulmuş ve matrisin elemanları Tablo 5.10. ile verilmiştir.

Tablo 5.10. Ağırlık Sistem Matrisi

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$KV_1$	<b>-0,6875</b>	0,1333	0,0800	0,2000
$KV_2$	0,1250	<b>-0,6667</b>	0,0400	0,4500
$KV_3$	0,1875	0,3000	<b>-0,4400</b>	0,0500
$KV_4$	0,3750	0,2333	0,3200	<b>-0,7000</b>

$$\begin{cases} -0,6875t_1 + 0,1333t_2 + 0,0800t_3 + 0,2000t_4 = 0 \\ 0,1250t_1 - 0,6667t_2 + 0,0400t_3 + 0,4500t_4 = 0 \\ 0,1875t_1 + 0,3000t_2 - 0,4400t_3 + 0,0500t_4 = 0 \\ 0,3750t_1 + 0,2333t_2 + 0,3200t_3 - 0,7000t_4 = 0 \end{cases} \quad (5.1)$$

Ağırlık sistem matrisindeki her bir satıra ilişkin değerler katsayı olarak kullanılarak dört adet doğrusal denklem eşitlik 5.1.'de verildiği gibi oluşturulmuş ve doğrusal denklem sistemi çözülmüştür. Ardından eşitlik 4.14. kullanılarak her bir kritere ait kriter ağırlıkları  $q_j$  ( $j = 1,2,3,4$ ) Tablo 5.11.'de verildiği gibi bulunmuştur.  $q_j$ 'ler CILOS kriter ağırlıklarıdır.

Tablo 5.11. CILOS Kriter Ağırlıkları

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$q_j$	0,16886	0,25180	0,27790	0,30144

Tablo 5.5.'te gösterilen entropi kriter ağırlıkları ( $w_j$ ) ve Tablo 5.11.'de verilen CILOS kriter ağırlıkları ( $q_j$ ) kullanılarak eşitlik 4.15. ile nihai objektif tereddütlü bulanık IDOCRIW kriter ağırlıkları ( $\tau_j$ ) hesaplanmış ve Tablo 5.12. ile verilmiştir.

Tablo 5.12. IDOCRIW Kriter Ağırlıkları

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$\tau_j$	0,10719	0,38073	0,18276	0,32933

Tablo 5.1.'de hataların kaynakladığı on iki bölümün her bir kritere göre aldığı değerlerden oluşan alternatiflerin kriterlere göre düzenlenmiş karar matrisi  $X$ 'in elemanları sunulmuştur.

$X$ 'te standart sapmalar eşitlik 4.19. ile hesaplanmış ve eşitlik 4.20. ile normalize edilmiş ve Tablo 5.13. ile sunulmuştur.



Tablo 5.13. Standart Sapma ve Normalize Standart Sapma Değerleri

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
<b>Standart Sapma</b>	0,2082	0,2470	0,2933	0,2639
<b>Normalize Standart Sapma</b>	0,2056	0,2440	0,2897	0,2607

Eşitlik 4.21. kullanılarak standart sapmaları bağlı düzenlenmiş IDOCRIW kriter ağırlıkları hesaplanmış ve Tablo 5.14. ile verilmiştir.

Tablo 5.14. Ayarlanmış IDOCRIW Kriter Ağırlıkları

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
$\tau_j^*$	0,1521	0,3122	0,2357	0,3001

Alternatifler için CCM fayda fonksiyon değerleri eşitlik 4.22. ile hesaplanmış ve azalan şekilde sıralanmış, UCM fayda fonksiyon değerleri eşitlik 4.23. ile hesaplanmış ve artan şekilde sıralanmış ve ICM fayda fonksiyon değerleri eşitlik 4.24. ile hesaplanmış ve azalan şekilde sıralanmıştır. Tüm bu hesaplamalar Tablo 5.15. ile sunulmuştur.

Tablo 5.15. Fayda Fonksiyon Değerleri ve Sıralamalar

	<i>CCM</i>	<i>Sıralama</i> (büyükten küçüğe)	<i>UCM</i>	<i>Sıralama</i> (küçükten büyüğe)	<i>ICM</i>	<i>Sıralama</i> (büyükten küçüğe)
<b>A<sub>1</sub></b>	0,4188	11	0,4802	12	0,7547	11
<b>A<sub>2</sub></b>	0,6688	2	0,3122	4	0,8825	1
<b>A<sub>3</sub></b>	0,5614	8	0,3208	6	0,7767	10
<b>A<sub>4</sub></b>	0,6555	3	0,4335	11	0,8097	5
<b>A<sub>5</sub></b>	0,5797	6	0,2672	3	0,7848	8
<b>A<sub>6</sub></b>	0,6366	4	0,3361	7	0,8314	3
<b>A<sub>7</sub></b>	0,5634	7	0,4055	9	0,7991	6
<b>A<sub>8</sub></b>	0,3676	12	0,4055	10	0,7524	12
<b>A<sub>9</sub></b>	0,5442	9	0,2517	2	0,7779	9
<b>A<sub>10</sub></b>	0,6231	5	0,2033	1	0,8239	4
<b>A<sub>11</sub></b>	0,7327	1	0,3426	8	0,8603	2
<b>A<sub>12</sub></b>	0,4341	10	0,3122	5	0,7957	7

CCM: Complete Compensatory Model, UCM: Un-Compensatory Model, ICM: Incomplete Compensatory Model

Eşitlik 4.25. ile alternatiflerin nihai fayda fonksiyon değerleri Öklid uzaklık hesabını kullanarak elde edilmiştir. Burada, fayda fonksiyonları eşit ağırlıklı, yani  $v^{CCM} = \frac{1}{3}$ ,  $v^{UCM} = \frac{1}{3}$  ve  $v^{ICM} = \frac{1}{3}$  olarak değerlendirilmiştir. Hesaplanan *DN* nihai fayda fonksiyonu değerleri ise azalan şekilde sıralanmış ve Tablo 5.16.'da verilmiştir.

Tablo 5.16. Nihai Fayda Fonksiyon Değerleri ve Sıralama

	<i>DN</i>	<i>Sıralama</i>
$A_1$	0,0123	12
$A_2$	0,4660	1
$A_3$	0,2245	8
$A_4$	0,2523	7
$A_5$	0,3194	5
$A_6$	0,3523	4
$A_7$	0,2038	10
$A_8$	0,0421	11
$A_9$	0,2844	6
$A_{10}$	0,4352	2
$A_{11}$	0,4186	3
$A_{12}$	0,2126	9

DN: Nihai Fayda Fonksiyon Değeri

*CCM*, *UCM* ve *ICM* modelleriyle elde edilen fayda fonksiyonu değerlerinin eşit ağırlıklı olarak alınması sonucunda Tablo 5.16'ya görüldüğü gibi en önemli alternatifin  $A_2$  (Müşteri), en önemsiz alternatifin de  $A_1$  (Tedarikçi) olduğu belirlenmiştir. Buna göre mühendislik ve tasarım çalışmalarındaki hataların en çoğunun müşteri kaynaklı hatalardan meydana geldiği tespit edilmiştir. Örneğin sebeplerden bazıları müşteri isteklerinin tam olarak anlaşılabilmesi veya müşterinin isteklerini tam olarak tarif edememesi olabilir. Bu bakış açısıyla hataların hangi zamanlarda ve süreçlerde ortaya çıktığı kök neden analizi gerçekleştirilerek belirlenebilir ve problemlili süreçlerde iyileştirmeler yapılması sağlanabilir. Müşteri temelli süreçlerde yapılacak her bir iyileştirmenin direkt olarak işletme maliyetlerini azaltarak verimlilik artışı sağlayacağı açıktır. Çalışma kapsamında önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar işletmedeki uzman kişiler tarafından da anlamlı bulunmuştur. İşletmenin sipariş işleme sürecinde yer alan bölümler içerisinde öncelikli olarak müşteri süreçlerine odaklanarak mühendislik ve tasarım çalışmalarındaki hataların azaltılması hedeflenmektedir. Ayrıca mühendislik ve tasarım çalışmalarında en az hatanın tedarikçi kaynaklı olduğu

belirlenmiştir. Dolayısıyla tedarikçi odaklı süreçlere yoğunlaşılması aciliyet teşkil etmemektedir.

### 5.3. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi farklı ağırlıklar veya kriter değerleri kullanılarak sıralamalardaki farklılıkların gözlemlendiği bir yöntemdir. Eğer ağırlıklarda veya kriter değerlerinde küçük değişiklikler, karar alternatiflerinin sıralamasında önemli değişikliklere yol açıyorsa alternatif sıralamasının duyarlı olduğu söylenebilmektedir. Bu çalışmada, nihai fonksiyon değerlerine göre alternatif sıralamalarının elde edilmesinde *CCM*, *UCM* ve *ICM*'lerinin fayda fonksiyonlarının ağırlıkları değiştirildiğinde, alternatif sıralamasının nasıl farklılaştığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada 0,6, 0,3 ve 0,1 ağırlık değerleri kullanılarak toplam altı kombinasyon oluşturulmuş ve *CCM*, *UCM* ve *ICM*'lerinin fayda fonksiyon ağırlıkları olarak alınarak altı farklı sıralama elde edilmiştir. Bu sıralamalar Tablo 5.17. ile verilmiştir.

Tablo 5.17. Farklı *CCM*, *UCM*, *ICM* Model Ağırlıklarına Göre Alternatif Sıralamaları

$W_1$ : Ağırlıklandırma 1:  $v^{CCM} = 0,6$  ,  $v^{UCM} = 0,1$  ,  $v^{ICM} = 0,3$   
 $W_2$ : Ağırlıklandırma 2:  $v^{CCM} = 0,6$  ,  $v^{UCM} = 0,3$  ,  $v^{ICM} = 0,1$   
 $W_3$ : Ağırlıklandırma 3:  $v^{CCM} = 0,3$  ,  $v^{UCM} = 0,6$  ,  $v^{ICM} = 0,1$   
 $W_4$ : Ağırlıklandırma 4:  $v^{CCM} = 0,3$  ,  $v^{UCM} = 0,1$  ,  $v^{ICM} = 0,6$   
 $W_5$ : Ağırlıklandırma 5:  $v^{CCM} = 0,1$  ,  $v^{UCM} = 0,3$  ,  $v^{ICM} = 0,6$   
 $W_6$ : Ağırlıklandırma 6:  $v^{CCM} = 0,1$  ,  $v^{UCM} = 0,6$  ,  $v^{ICM} = 0,3$

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$
$A_1$	11	12	12	11	12	12
$A_2$	2	1	2	1	1	2
$A_3$	9	8	7	10	10	8
$A_4$	5	6	9	5	8	10
$A_5$	6	5	3	6	5	4
$A_6$	3	4	6	3	4	6
$A_7$	7	9	10	7	9	9
$A_8$	12	11	11	12	11	11
$A_9$	8	7	4	8	6	3
$A_{10}$	4	3	1	4	2	1
$A_{11}$	1	2	5	2	3	5
$A_{12}$	10	10	8	9	7	7

Tablo 5.17. incelendiğinde altı kombinasyonun üçünde  $A_2$  alternatifi, ikisinde  $A_{10}$  alternatifi ve birinde ise  $A_{11}$  alternatifi en önemli alternatif olarak bulunmuştur. Bu durumda işletme öncelikli olarak  $A_2$ ,  $A_{10}$  ve  $A_{11}$  alternatiflerinin temsil ettiği bölümlerde önlem alması gerekmektedir. Böylece mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine yol açan hatalar büyük bir ölçüde azaltılmış olacaktır. Dolayısıyla hem mühendislik çalışma maliyetleri, hem proje zaman planının riske girme olasılığı, hem de bu hatalardan dolayı ortaya çıkan ek parça maliyetlerinde azalma meydana gelerek, işletmenin verimliliğinde bir artış sağlanacaktır. Uygulamanın yapıldığı işletmenin büyük ölçekli olduğu düşünülürse küçük bir maliyetin bile ortadan kaldırılmasıyla işletmeye yüksek oranda bir kazanım sağlanmış olur. Bu sebeple, bu çalışmanın sonuçlarının işletmeye büyük ölçüde fayda sağlayacağı açıktır.

Tablo 5.18. Duyarlılık Analizi Spearman Rank Korelasyon Sonuçları

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$
$W_1$	1	0,951	0,671	0,986	0,860	0,636
$W_2$	0,951	1	0,839	0,944	0,930	0,790
$W_3$	0,671	0,839	1	0,685	0,895	0,979
$W_4$	0,986	0,944	0,685	1	0,895	0,664
$W_5$	0,860	0,930	0,895	0,895	1	0,902
$W_6$	0,636	0,790	0,979	0,664	0,902	1

$p < \alpha = 0,05$  olup, tüm korelasyonlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. En yüksek korelasyon  $W_1$  ve  $W_4$  arasında olup, 0,986'dır. En düştük korelasyon  $W_1$  ve  $W_6$  arasında olup, 0,664'tür.

#### 5.4. Karşılaştırmaya Analizi

Önerilen yeni btnleştik tereddütlü bulanık IDOCRIW tabanlı DNMA yöntemi ile elde edilen sonuçların karşılaştırmaya amacıyla elde edilen sonuçlar literatürde sıkıca kullanılan ve etkinliği birçok farklı çalışmada gösterilmiş iki farklı sıralama yöntemi ile karşılaştırmaya mıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında uygulamada kullanılan yeni tereddütlü bulanık IDOCRIW yöntemiyle bulunan ağırlıklar kullanılmıştır. Ardından alternatifler TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile sıralanmış ve sonuçlar Tablo 4.18.'de verilmiştir. VIKOR yönteminde sıralama sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olan maksimum grup faydası parametresi  $\omega$  için üç farklı değer kullanılarak üç farklı sıralama elde edilmiştir.

Tablo 5.19. Alternatiflerin Üç Farklı ÇKKV Yöntemiyle Sıralanması

<i>Önerilen yeni bütünleşik yöntem</i>	<i>TOPSIS</i>	<i>VIKOR</i>		
		$\omega = 0,9$	$\omega = 0,5$	$\omega = 0,1$
<b>A<sub>1</sub></b>	12	12	12	10
<b>A<sub>2</sub></b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	9
<b>A<sub>3</sub></b>	8	10	7	6
<b>A<sub>4</sub></b>	7	8	8	7
<b>A<sub>5</sub></b>	5	5	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>A<sub>6</sub></b>	4	6	6	4
<b>A<sub>7</sub></b>	10	9	9	8
<b>A<sub>8</sub></b>	11	11	11	10
<b>A<sub>9</sub></b>	6	7	5	5
<b>A<sub>10</sub></b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>A<sub>11</sub></b>	<b>3</b>	4	4	<b>2</b>
<b>A<sub>12</sub></b>	9	<b>3</b>	10	11

$\omega$ , VIKOR yönteminde kullanılan maksimum grup faydası parametresini temsil etmektedir [56].

Önerilen yeni bütünleşik yöntem sonucunda elde edilen alternatiflerin önem sıralamasına göre en önemli üç alternatif sırayla, **A<sub>2</sub>** (Müşteri), **A<sub>10</sub>** (Tutamak) ve **A<sub>11</sub>** (İç Donanım) olarak belirlenmiştir. TOPSIS yöntemi ile edilen önem sıralaması ise sırasıyla **A<sub>2</sub>** (Müşteri), **A<sub>10</sub>** (Tutamak) ve **A<sub>12</sub>** (Kapılar) alternatiflerini en önemli üç alternatif olarak vermektedir. Karşılaştırma analizi kapsamında kullanılan bir diğer yöntem olan VIKOR yönteminde  $\omega = 0,9$  kullanılarak, en önemli üç alternatifi sırasıyla **A<sub>10</sub>** (Tutamak), **A<sub>5</sub>** (Sürücü Üst Bölgesi) ve **A<sub>2</sub>** (Müşteri) olarak belirlenmiştir.  $\omega = 0,5$  alındığı durumda ise VIKOR yöntemi en önemli üç alternatif olarak sırasıyla **A<sub>10</sub>** (Tutamak), **A<sub>11</sub>** (İç Donanım) ve **A<sub>5</sub>** (Sürücü Üst Bölgesi) alternatiflerini vermiştir. VIKOR yönteminde  $\omega = 0,1$  kullanıldığı durumda ise en önemli birinci alternatif **A<sub>10</sub>** (Tutamak), ikinci alternatif **A<sub>11</sub>** (İç Donanım) ve üçüncü alternatif **A<sub>6</sub>** (Dış Donanım) olarak belirlenmiştir. Buna göre, çalışma kapsamında önerilen yeni bütünleşik yöntem ile elde edilen önem sıralaması literatürde sıkça kullanılan ve etkinliği bilinen TOPIS ve VIKOR yöntemleriyle karşılaştırıldığında,

yöntemler arasında tutarlı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Çalışmada önerilen yöntem ile elde edilen en önemli alternatif olan  $A_2$  (Müşteri) alternatifi TOPSIS yöntemi sonucunda da en önemli alternatif olarak belirlenmiştir. Yeni yöntemde ikinci önem düzeyinde bulunan  $A_{10}$  (Tutamak) alternatifi TOPSIS yöntemi sonucundaki sıralamada da aynı şekilde ikinci önem düzeyinde tespit edilmişken, VIKOR yönteminin üç farklı alternatif sıralamasının her birinde ise birinci önem düzeyinde bulunmuştur. Yeni yöntem ile elde edilen sonuçlarda ise üçüncü önem sıralamasında olan  $A_{11}$  (İç Donanım) alternatifi TOPSIS ve VIKOR ( $\omega = 0,9$ ) yöntemlerinin sonuçlarında dördüncü önem düzeyinde, VIKOR ( $\omega = 0,5$ ) ve VIKOR ( $\omega = 0,1$ ) sıralamalarında ise ikinci önem düzeyinde yer almaktadır. Bu sonuçlar ışığında, çalışmada önerilen yeni bütünleşik yöntemin tutarlılığı ve etkinliği de açıkça ortaya konmuştur.

Tablo 5.20. Karşılaştırma Analizi Spearman Rank Korelasyon Sonuçları

	<i>Önerilen yeni bütünleşik yöntem</i>	<i>TOPSIS</i>	<i>VIKOR</i> $\omega = 0,9$	<i>VIKOR</i> $\omega = 0,5$	<i>VIKOR</i> $\omega = 0,1$
<i>Önerilen yeni bütünleşik yöntem</i>	1	0,832	0,916	0,706	<b>0,497</b>
<i>TOPSIS</i>	0,832	1	0,734	0,427	<b>0,182</b>
<i>VIKOR</i> $\omega = 0,9$	0,916	0,734	1	0,825	0,636
<i>VIKOR</i> $\omega = 0,5$	0,706	0,427	0,825	1	0,930
<i>VIKOR</i> $\omega = 0,1$	<b>0,497</b>	<b>0,182</b>	0,636	0,930	1

$p < \alpha = 0,05$  olup, korelasyonlardan iki tanesi hariç hepsi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. VIKOR ( $\omega = 0,1$ ) ile elde edilen sıralama ile önerilen yeni yöntem ve TOPSIS yöntemi arasındaki korelasyonlar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Dolayısıyla VIKOR ( $\omega = 0,1$ ) ile hesaplanan alternatif sıralaması önerilen yöntem ve TOPSIS yöntemiyle bulunan sıralamalardan istatistiksel olarak farklıdır. En düşük korelasyon ise TOPSIS ve VIKOR ( $\omega = 0,1$ ) yöntemi arasında olup, 0,182'dir. En yüksek korelasyonun çalışmada önerilen yeni bütünleşik yöntem ve VIKOR ( $\omega = 0,9$ ) yöntemi arasında olduğu belirlenmiş ve 0,916'dır. Yöntemler arasındaki korelasyonların birden fazlası istatistiksel



olarak anlamlı bulunmuş olsa da yöntemlerin uygulandığı işletmedeki uzman kişiler ile gerçekleştirilen görüşmeler, sipariş işleme sürecinde sadece önerilen yeni bütünleşik yöntemin yakalayabildiği önemli alternatiflerin bulunduğunu göstermiştir. Sipariş işleme sürecinde yer alan bölümler içerisinde mühendislik ve tasarım hatalarının azaltılmasına yönelik öncelikli olarak müşteri süreçlerinin gözden geçirilmesinin gerektiği açıktır. Bu durum önerilen yeni bütünleşik yöntem ve TOPSIS yöntemi tarafından yakalanmıştır.  $A_2$  (Müşteri) alternatifi VIKOR yönteminde de sıralamada üst sıralarda yer alsa da en önemli alternatif olarak tespit edilememiştir. İşletme, alternatif sıralamasını temel alarak on iki bölüm içerisinde tek bir bölümün süreçlerine odaklanacak olursa, VIKOR yöntemi işletmedeki uzman kişilerce de en önemli bölüm olarak görülen alternatifi tespit etmekte yetersiz olmuştur. Bu durumu, VIKOR yönteminin sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olan maksimum grup faydası parametresi  $\omega$  'nın değiştirilerek yöntemin uygulanması da değiştirmemiştir. VIKOR yöntemiyle hesaplanan üç farklı alternatif sıralamasının hiç birisinde  $A_2$  (Müşteri) alternatifi en önemli alternatif olarak bulunmamıştır. Önerilen yeni bütünleşik yöntem ile TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama genel anlamda yakın olsa da önemli ve göz ardı edilemeyecek önemli bir farklılık bulunmaktadır.  $A_{12}$  (Kapılar) alternatifi TOPSIS yöntemi ile üçüncü önem sırasında bulunmuş olup, yeni yöntem ile dokuzuncu önem sırasını almıştır. İşletmedeki uzman kişiler ile gerçekleştirilen görüşmeler bu alternatifi üçüncü önem sırasında yer alacak kadar önemli bir alternatif olmadığı belirlenmiştir.  $A_{12}$  (Kapılar) bölümünde gerçekleştirilen çalışmaların, mühendislik ve tasarım çalışmalarındaki hatalara olan etkisinin çok büyük olmadığı anlaşılmıştır. Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı sipariş işleme sürecindeki bölümlerin önem sıralamasında en etkin ve doğru sonuçların çalışmada önerilen bütünleşik yöntem ile sağlandığı açıktır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, birçok farklı çeşide sahip araç üreten bir otomotiv firmasında müşteriye özel araçların tasarım ve mühendislik faaliyetlerinin sipariş işleme süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem sayesinde sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılması, süreç verimliliğinin artırılması ve hata kaynaklı maliyetlerin azaltılması hedeflenmiştir. Önerilen Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Tabanlı DNMA Yöntemi projelerin risk düzeyini azaltacağından işletmeye büyük ölçüde fayda sağlayacaktır. Çalışma kapsamında tereddütlü bulanık ortamlarda kriter ağırlıklandırmasında kullanılmak üzere Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin seçilen kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda derecelendirmelerin farklı olduğu ve karar vericilerin kendi görüşlerinde de net olmadığı durumlarda kullanılması, etkin sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışma ile etkinliği kanıtlanmış objektif değerlendirme yöntemlerinden Entropi ve CILOS yöntemlerinin avantajlarını kullanarak birleştiren, böylelikle daha etkin sonuçlar elde edilmesini sağlayan IDOCRIW Yönteminin tereddütlü bulanık ortamlarda kullanımı sağlanmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında alternatif sıralaması için çok karar vericili ÇÇKV problemlerinde birden çok normalizasyon ve birleştirme yaklaşımını birlikte kullanmasından dolayı etkin sonuçlar sağlayan DNMA Yöntemi uygulanmıştır. Böylelikle Bütünleşik Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Tabanlı DNMA Yöntemi geliştirilmiştir.

Önerilen yeni yöntem otomotiv sektöründe faaliyet gösteren uluslararası bir işletmenin sipariş işleme sürecine uygulanmıştır. Yöntem, sipariş işleme sürecinde yer alan bölümlerden hangilerinin en çok mühendislik ve tasarım hatasına sebep olduğunu belirlemek amacıyla uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde etkinliği kanıtlanmış yöntemler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları işletmedeki uzman kişilerce değerlendirildiğinde, sipariş işleme süreci kapsamında sadece önerilen yeni bütünleşik yöntemin yakalayabildiği önemli alternatiflerin bulunduğu belirlenmiştir. Böylece önerilen yeni yöntem ile bulunan alternatif önceliklerinin mevcut yöntemler ile elde edilenlerden daha güvenilir olduğu ve yöntemin süreç verimliliği için yararlı ve etkili bir araç sağlayabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışmanın ilgili literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik yeni bir yöntem geliştirilmesidir. İkincisi, belirsizlik

içeren bir yapıda bulunan veride düzensiz bilgiyi ortadan kaldırmasıdır. Bu kapsamda tereddütlü bulanık ortamlarda çok karar vericili ÇKKV problemlerinde etkin sonuçlar elde etmek amacıyla kullanılacak Bütünleşik Tereddütlü Bulanık IDOCRIW Tabanlı DNMA Yöntemi literatüre kazandırılmıştır.

Çalışmanın devamı olarak, elde edilen alternatif sırasına göre en çok mühendislik ve tasarım hatasına sebebiyet veren bölümlerin süreçlerinde yapılabilecek iyileştirmeler üzerinde çalışılabilir. Hataların ilgili bölümlerde hangi zamanlarda ve süreçlerde ortaya çıktığı kök neden analizi gerçekleştirilerek belirlenebilir ve problemlerli süreçlerde iyileştirmeler yapılması sağlanabilir. Gerekli önlemlerin alınması maliyetlerin azalmasını ve verimliliğin artmasını sağlayarak işletmeye büyük ölçüde fayda sağlayacaktır. Gelecek çalışmalarda önerilen yöntem aynı işletmenin farklı süreçlerinde, aynı sektördeki farklı işletmelerde ve farklı sektörlerde uygulanarak etkinliği bu alanlarda da incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] E.K. Zavadskas and V. Podvezko, "Integrated Determination of Objective Criteria Weights in MCDM," *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 15 no. 2, pp.267-283, Feb. 2016, doi: [10.1142/S0219622016500036](https://doi.org/10.1142/S0219622016500036).
- [2] H. Liao and X. Wu, "DNMA: A double normalization-based multiple aggregation method for multi-expert multi-criteria decision making," *Omega*, vol. 94 no.3, Apr. 2019, doi: [10.1016/j.omega.2019.04.001](https://doi.org/10.1016/j.omega.2019.04.001).
- [3] K. Chang, Y. Chang, and I. Tsai, "Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach," *Engineering Failure Analysis*, vol. 31, pp. 211-224, Feb. 2013, doi: [10.1016/j.engfailanal.2013.02.020](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.02.020).
- [4] B. Vahdani, M. Salimi, and M. Charkchian, "A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 77, pp. 357-368, Mar. 2014, doi: [10.1007/s00170-014-6466-3](https://doi.org/10.1007/s00170-014-6466-3).
- [5] M. C. Toklu, M. B. Erdem and H. Taşkın, "A fuzzy sequential model for realization of strategic planning in manufacturing firms," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 102, pp. 512-519, 2016.
- [6] G. Yadav, D. Seth and T. N. Desai, "Application of hybrid framework to facilitate lean six sigma implementation: a manufacturing company case experience," *Production Planning & Control*, vol. 29 no. 3, pp. 185-201, 2018.
- [7] Z. P. Tian, J. Q. Wang and H. Y. Zhang, "An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy best-worst, relative entropy, and VIKOR methods," *Applied Soft Computing*, vol. 72, pp. 636-646, 2018.

- [8] A. Gupta, P. Sharma, A. Jain, H. Xue, S. C. Malik and P. C. Jha, “An integrated DEMATEL Six Sigma hybrid framework for manufacturing process improvement,” *Annals of Operations Research*, pp. 1-41, 2019.
- [9] S. Yousefi, A. Alizadeh, J. Hayati, M. Bagheri, “HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: A study of automotive parts industry in Iran,” *Safety Science*, vol. 102, pp. 144-158, Feb. 2018, doi: [10.1016/j.ssci.2017.10.015](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.10.015).
- [10] K. Baynal and T. Sari, “Risk management in automotive manufacturing process based on FMEA and grey relational analysis: A case study,” *Advances in Production Engineering & Management*, vol. 13 no. 1, pp. 69-80, Mar. 2018, doi: [10.14743/apem2018.1.274](https://doi.org/10.14743/apem2018.1.274).
- [11] M. Bagheri, S. Yousefi, and M. J. Rezaee, “Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 29, pp. 1803-1825, Dec. 2018, doi: [10.1007/s10845-016-1214-1](https://doi.org/10.1007/s10845-016-1214-1).
- [12] H. Soltanali, A. Rohani, M. Tabasizadeh, M. H. Abbaspour-Fard, and A. Parida, “An improved fuzzy inference system-based risk analysis approach with application to automotive production line,” *Neural Computing and Applications*, vol. 32 no. 14, pp. 10573-10591, Nov. 2019, doi: [10.1007/s00521-019-04593-z](https://doi.org/10.1007/s00521-019-04593-z).
- [13] H. Soltanali, A. Rohani, M. H. Abbaspour-Fard, A. Parida, and J. T. Farinha, “Development of a risk-based maintenance decision making approach for automotive production line,” *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 11 no. 1, pp. 236-251, Feb. 2020, doi: [10.1007/s13198-019-00927-1](https://doi.org/10.1007/s13198-019-00927-1).
- [14] I. M. Hezam, A. R. Mishra, P. Rani, F. Cavallaro, A. Saha, J. Ali, W. Strielkowski, and D. Streimikiene, “A Hybrid Intuitionistic Fuzzy-MEREC-RS-DNMA Method for Assessing the Alternative Fuel Vehicles with Sustainability Perspectives,” *Sustainability*, vol. 14, May 2022, doi: [10.3390/su14095463](https://doi.org/10.3390/su14095463).

- [15] R. Uthayakumar and M. Rameswari, “An integrated inventory model for a single vendor and single buyer with order-processing cost reduction and process mean,” *International Journal of Production Research*, vol. 50 no. 11, pp. 2910-2924, 2012.
- [16] R. Acero, M. Torralba, R. Pérez-Moya and J. A. Pozo, “Value Stream Analysis in Military Logistics: The Improvement in Order Processing Procedure,” *Applied Sciences*, vol. 10 no. 1, 2019.
- [17] E. Haktanır and C. Kahraman, “Interval-valued neutrosophic failure mode and effect analysis,” *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 39 no. 5, pp. 6591-6601, Nov. 2020, doi: [10.3233/JIFS-189121](https://doi.org/10.3233/JIFS-189121).
- [18] P. L. Bernstein, *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1996.
- [19] D. Bernoulli, “Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis,” *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, vol. 5, pp. 175-192, 1738.
- [20] J. von Neumann and O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1944.
- [21] B. Roy, “Classement et choix en presence de points de vue multiples,” *Revue Francaise d’Informatique et de Recherche Operationnelle*, vol. 8 no. 1, pp. 57-75, 1968.
- [22] J. P. Brans, P. Vincke and B. Mareschal, “How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method,” *European Journal of Operational Research*, vol. 24 no. 2, pp. 228-238, 1986.
- [23] P. C. Fishburn, *Utility theory for decision making*, New York, NY, USA: Wiley & Sons, 1970.
- [24] G. Choquet, “Theory of capacities,” *Annales de l’Institut Fourier*, vol. 5, pp. 131-295, 1954.

- [25] M. Sugeno, "Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey," in *Fuzzy automata and decision processes*, Amsterdam, Netherlands: North Holland, pp. 89-102, 1977.
- [26] T. L. Saaty, "An eigenvalue allocation model for prioritization and planning," in *Working Paper, Energy Management and Policy Center*, Pennsylvania, AR, USA: University of Pennsylvania, 1972.
- [27] C. L. Hwang and K. Yoon, *Multiple attribute decision making, methods and Applications*, New York, NY, USA: Springer-Verlag, 1981.
- [28] T. L. Saaty, *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process*, Pittsburgh, AR, USA: RWS Publications, 1996.
- [29] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8 no. 3, pp. 338-353, 1965.
- [30] G. H. Tzeng and C.Y. Huang, "Combined DEMATEL technique with hybrid MCDM methods for creating the aspired intelligent global manufacturing & logistics systems," *Annals of Operations Research*, vol. 197, pp.159-190, 2012.
- [31] O. I. Larichev and E. M. Moshkovich, *Qualitative Methods of Decision-Making*, Moscow, Russia: Nauka, 1996.
- [32] J. Lu, G. Zhang, D. Ruan, and F. Wu, *Multi-Objective Group Decision-Making: Methods, Software and Applications with Fuzzy Set Techniques*, London, UK: Imperial College Press, 2007.
- [33] P. Slovic, B. Fischhoff and S. Lichtenstein, "Behavioral decision theory," *Annual Review of Psychology*, vol. 28 no.1, pp.1-39, Feb. 1977, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.28.020177.000245>.
- [34] W. Pedrycz, P. Ekel, and R. Parreiras, *Fuzzy Multicriteria Decision-Making: Models, Methods and Applications*, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2011.

- [35] J. Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1999.
- [36] B. Roy, "The optimisation problem formulation: Criticism and overstepping," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 32 no.6, pp. 427-436, 1981.
- [37] C. A. Bana e Costa, "Les problématiques de l'aide à la décision : vers l'enrichissement de la trilogie choix-tri-rangement," *Operations Research - Recherche Opérationnelle*, vol. 30 no. 2, pp. 191-216, 1996.
- [38] R. L. Keeney, *Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision Making*, Cambridge, UK: Harvard University Press, 1992.
- [39] D. E. Bell, R. L. Keeney and H. Raiffa, *Conflicting objectives in decisions*, New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1977.
- [40] K. P. Yoon and C. L. Hwang, *Multiple Attribute Decision Making: An Introduction*, Ventura, CA, USA: SAGE Publications, 1995.
- [41] V. Belton and T. J. Stewart, *Multiple Criteria Decision Analysis An Integrated Approach*, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [42] B. Russell, "Vagueness," *Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, vol. 1, pp. 84-92, 1923.
- [43] L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- [44] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes," *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernet*, vol. 3, pp. 28-44, 1973.
- [45] L.A. Zadeh, "From imprecise to granular probabilities," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 154, pp. 370-374, 2005.



- [46] W.A. Lodwick and K.D. Jamison, "Interval-valued probability in the analysis of problems containing a mixture of possibilistic, probabilistic and interval uncertainty," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 159, pp. 2845-2858, 2008.
- [47] J.A. Goguen, "The logic of inexact concepts," *Synthese*, vol. 19, pp. 325-373, 1969.
- [48] A. Başar, "Klasik ve sezgisel bulanık ikili karşılaştırma ile yazılım geliştirme projelerinin maliyet tahmini: uygulama örneği," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 10 no. 2, 2017, doi: <https://doi.org/10.17671/gazibtd.309269>.
- [49] T. Adar, E. Kılıç, "Banka sektöründe insan hata analizi için yeni bir bütünleşik yöntem: İFASS&ÇK-KBDTK," *Ergonomi*, vol. 1 no. 2, pp. 108–122, 2018.
- [50] R. M. Rodriguez, L. Martinez, V. Torra, Z. S. Xu and F. Herrera, "Hesitant fuzzy sets: State of the art and future directions," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 29 no. 2, pp. 495–524, 2014.
- [51] M. Xia and Z. Xu, "Hesitant fuzzy information aggregation in decision making," *International Journal of Approximate Reasoning*, vol. 52, pp. 395–407, 2011.
- [52] Z. Xu and M. Xia, "Hesitant Fuzzy Entropy and Cross-Entropy And Their Use in Multiattribute Decision-Making," *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 27, pp. 799-822, 2012.
- [53] H. Zhang, C. Gu, L. Gu and Y. Zhang, "The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & Information Entropy a case in the Yangtze River Delta of China," *Tourism Management*, vol. 32, pp. 443-451, 2011.
- [54] N. Ömürbek, E. Aksoy, "Bir Petrol Şirketinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Performans Değerlendirmesi," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 21 no. 3, pp. 723-756, 2016.
- [55] B. G. Mirkin, *Problema Grupovogo Vibora*, Moscow, Russia: Nauka, 1974.

[56] F. Ecer, *Çok Kriterli Karar Verme*, Ankara, Turkey: Seçkin, 2020.

## EKLER

### EK 1: Hataların Kaynaklandığı Bölümlerin Ve Kriterlerin Değerleri

Alternatif (Hatanın Kaynaklandığı Bölüm)	Kriter 1 (Siparişteki Araç Sayısı)	Kriter 2 (Hatanın Tespit Edilme Zamanı (gün bazında))	Kriter 3 (Malzeme İhtiyacı)	Kriter 4 (Hatanın Düzeltilmesi için Harcanan Mühendislik Çalışma Süresi (saat bazında))
Tedarikçi	4	-	Evet	3
Tedarikçi	1	10	Hayır	-
Tedarikçi	2	10	Hayır	-
Tedarikçi	43	10	Evet	28
Tedarikçi	5	18	Evet	-
Tedarikçi	4	61	Evet	-
Tedarikçi	2	37	Hayır	3
Müşteri	5	10	Evet	-
Müşteri	1	37	Evet	-
Müşteri	5	10	Evet	40
Müşteri	43	10	Evet	28
Genel Elektrik	1	-	Evet	8
Genel Elektrik	8	32	Evet	-
Genel Elektrik	15	32	Evet	-
Genel Elektrik	132	32	Evet	-
Genel Elektrik	1	32	Evet	-
Genel Elektrik	2	32	Evet	-
Genel Elektrik	15	32	Evet	-
Genel Elektrik	72	32	Evet	4
Genel Elektrik	5	32	Evet	-
Genel Elektrik	1	32	Evet	-
Genel Elektrik	10	32	Evet	-
Genel Elektrik	43	32	Evet	-
Genel Elektrik	4	32	Evet	-
Genel Elektrik	5	10	Evet	-
Genel Elektrik	43	10	Evet	6
Genel Elektrik	2	10	Evet	-
Genel Elektrik	4	18	Evet	-
Genel Elektrik	132	61	Evet	-
Genel Elektrik	72	61	Evet	-
Genel Elektrik	72	61	Evet	-
Genel Elektrik	132	61	Evet	-
Genel Elektrik	2	61	Evet	-
Genel Elektrik	43	61	Evet	-
Genel Elektrik	5	61	Evet	4
Genel Elektrik	5	61	Evet	-
Genel Elektrik	5	37	Evet	-
Genel Elektrik	9	37	Evet	-
Genel Elektrik	15	37	Evet	-
Genel Elektrik	4	37	Evet	-
Genel Elektrik	1	32	Hayır	-
Genel Elektrik	4	32	Hayır	-
Genel Elektrik	1	32	Hayır	-
Genel Elektrik	2	32	Hayır	-

Genel Elektrik	3	32	Hayır	-
Genel Elektrik	3	32	Hayır	-
Genel Elektrik	2	32	Hayır	-
Genel Elektrik	2	32	Hayır	-
Genel Elektrik	2	10	Hayır	-
Genel Elektrik	5	10	Hayır	-
Genel Elektrik	1	10	Hayır	-
Genel Elektrik	5	25	Hayır	-
Genel Elektrik	9	25	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	2	32	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	7	32	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	15	32	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	10	32	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	32	Evet	18
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	32	Evet	18
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	1	10	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	9	10	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	18	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	61	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	61	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	61	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	1	61	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	61	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	61	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	61	Evet	11,5
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	6	37	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	3	37	Evet	4
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	37	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	37	Evet	9
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	1	37	Evet	9
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	3	37	Evet	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	2	37	Evet	9
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	3	32	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	2	32	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	10	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	5	10	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	1	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	1	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	2	61	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	4	61	Hayır	-
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	3	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	3	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	2	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	2	61	Hayır	3
Entegre Bilgi Yönetim Sistemi	9	37	Hayır	-
Sürücü Üst Bölgesi	1	18	Evet	28
Sürücü Üst Bölgesi	5	37	Evet	6,4
Sürücü Üst Bölgesi	4	37	Evet	6,4
Dış Donanım	2	18	Evet	8
Dış Donanım	4	10	Evet	5
Dış Donanım	4	10	Evet	6
Dış Donanım	6	37	Evet	4
Dış Donanım	4	37	Evet	9
Dış Donanım	1	37	Hayır	9
Dış Donanım	2	-	Evet	13
Dış Donanım	2	61	Evet	-

Dış Donanım	3	61	Hayır	5
Sürücü Ön Bölgesi	8	37	Evet	8
Sürücü Ön Bölgesi	4	10	Evet	-
Sürücü Ön Bölgesi	4	37	Hayır	5
Sürücü Ön Bölgesi	1	37	Hayır	5
Sürücü Ön Bölgesi	3	37	Hayır	5
Sürücü Ön Bölgesi	2	37	Hayır	5
Göstergeler	2	37	Hayır	5
İskelet	2	10	Evet	-
İskelet	9	37	Evet	8
Tutamak	72	37	Evet	13
Tutamak	5	10	Evet	50
Tutamak	1	37	Evet	-
Tutamak	2	61	Evet	-
Tutamak	3	61	Evet	-
Tutamak	3	61	Evet	-
Tutamak	2	61	Evet	-
Tutamak	2	61	Evet	-
Tutamak	5	61	Hayır	-
Tutamak	3	37	Hayır	-
Tutamak	2	37	Hayır	-
Tutamak	5	37	Hayır	7,5
İç Donanım	4	32	Evet	-
İç Donanım	43	10	Evet	-
İç Donanım	2	18	Hayır	10
İç Donanım	4	18	Hayır	4
İç Donanım	1	18	Hayır	4
İç Donanım	8	61	Evet	10
İç Donanım	43	61	Evet	36
İç Donanım	4	61	Evet	-
İç Donanım	5	61	Evet	-
İç Donanım	4	61	Evet	-
İç Donanım	2	61	Evet	-
İç Donanım	2	61	Hayır	5
İç Donanım	1	37	Evet	-
İç Donanım	1	37	Evet	-
İç Donanım	1	37	Evet	-
İç Donanım	2	37	Evet	5
İç Donanım	4	37	Evet	-
İç Donanım	4	37	Hayır	5
İç Donanım	9	37	Hayır	10
İç Donanım	72	37	Hayır	5
İç Donanım	1	37	Hayır	14
İç Donanım	2	37	Hayır	5
İç Donanım	1	25	Hayır	9
Kapılar	1	-	Evet	-
Kapılar	2	10	Evet	23,5