



**AHP'YE DAYALI BULANIK UTASTAR YAKLAŞIMI:  
MALZEME TAŞIMA EKİPMANI UYGULAMASI**

**AHP BASED FUZZY UTASTAR APPROACH:  
APPLICATION OF MATERIAL HANDLING EQUIPMENT  
SELECTION**

**ZEYNEP DUR**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ GÜLDAL GÜLERYÜZ**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

2019

**ZEYNEP DUR'un hazırladığı "AHP'ye Dayalı Bulanık UTASTAR Yaklaşımı: Malzeme Taşıma Ekipmanı Uygulaması" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.**

Dr. Öğr. Üyesi Pelin TOKTAŞ

Başkan

  
.....

Dr. Öğr. Üyesi Güldal GÜLERYÜZ

Danışman

  
.....

Prof. Dr. Özlem Müge AYDIN TESTİK

Üye

  
.....


Doç. Dr. Oumout CHOUSEINOGLU

Üye

  
.....

Dr. Öğr. Üyesi Ceren TUNCER ŞAKAR

Üye

  
.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*Her koşulda, her anımda, her zorlukta yanımda olan, aynı şehirde olmasak da desteklerini hep hissettiğim, ahlak-saygı kavramlarını bana öğreterek hayatta en önemli şeyin iyi bir insan olmak olduğunu bana benimseten biricik anneme ve babama...*

*Fikrine ihtiyaç duyduğum her zaman beni dinleyen ve yol göstericim, deniz fenerim olan biricik abime...*

*Tanıştığımız günden beri varlığıyla beni mutlu eden, huzur bulduğum, evlilik hazırlıklarıyla birlikte yürüttüğüm tez yazım sürecimde en büyük destekçim olan, can yoldaşım, hayat arkadaşım müstakbel eşime...*

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

11 / 06 / 2019



ZEYNEP DUR

## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “*Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge*” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

11 / 06 / 2019



ZEYNEP DUR

# ÖZET

## AHP'YE DAYALI BULANIK UTASTAR YAKLAŞIMI: MALZEME TAŞIMA EKİPMANI UYGULAMASI

**Zeynep DUR**

**Yüksek Lisans, Endüstri Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Güldal GÜLERYÜZ**

**Haziran 2019, 72 sayfa**

Malzeme Taşıma Sistemi doğru miktardaki malzemenin doğru zamanda ve minimum maliyet ile istenilen lokasyona teslim edilmesi amacıyla oluşturulan; malzemelerin bir yerden başka bir yere taşınması, depolanması gibi süreçleri içeren bir sistemdir. Malzeme taşıma sistemlerinin en önemli ve ana ögesi malzeme taşıma ekipmanlarıdır. Malzeme taşıma sisteminin yeniden düzenlenmesinin ana problem olduğu bir firmada doğru ekipman seçimi de en önemli alt problemlerden biridir.

Birçok firma malzeme taşıma ekipmanı seçimine önem vermekte ve süreçleri için en uygun ekipmanları kullanmayı hedeflemektedir. Uygun taşıma ekipmanı, malzemelerin üretim hatlarına taşınması sırasındaki verimliliği artırır. Uygun olmayan ekipman kullanıldığında ise, üretimdeki bekleme zamanları, hata oranları artar.

Bu çalışmada, proje bazlı çalışan bir firmanın malzeme taşıma sistemi yeniden değerlendirilerek, malzeme taşıma ekipmanı seçimi yapılacaktır. Çalışmada malzeme taşıma ekipmanı olarak, firma tarafından belirlenmiş bir iş sahasında kullanılacak olan mobil vinç ele alınmaktadır.

Literatüre bakıldığında malzeme taşıma ekipmanı seçiminde çok kriterli karar verme metotları, bilgi destekli sistemler, analitik metotlar veya bunların kombinasyonlarının kullanıldığı görülür. Bu çalışmada ekipman seçiminde çok kriterli karar verme problemi

yöntemlerinden olan ve puanlama modeli olarak bilenen AHP yönteminden ve toplanabilir fayda fonksiyonlarının kullanıldığı UTASTAR yönteminden yararlanılmaktadır. Potansiyel alternatifler ve seçim kriterleri karar vericiler ile görüşülerek, karar vericilerin düşüncelerine ve önceliklerine göre belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan metotlar bulanık mantık ile desteklenerek ayrıca değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Malzeme Taşıma Ekipmanı, Çok Kriterli Karar Verme, AHP, UTASTAR, Toplanabilir Fayda, Bulanık Mantık



## **ABSTRACT**

### **AHP BASED FUZZY UTASTAR APPROACH: APPLICATION OF MATERIAL HANDLING EQUIPMENT SELECTION**

**Zeynep DUR**

**Master of Science, Department of Industrial Engineering**

**Supervisor: Asst. Prof. Güldal GÜLERYÜZ**

**June 2019, 72 pages**

Material handling system is a system which transfer material from one location to another location or store material in a storage. Correct quantity, right time and minimum cost are the main aim of the material handling system. Material handling equipment is a major part in material handling system. If designing the whole material handling system is the main problem, then choosing the right equipment is one of the biggest sub problems.

Companies pay special attention to choose material handling equipment and aim to select material handling equipment which is proper with processes. Choosing the appropriate material handling equipment positively affects the efficiency of handling the materials in production facilities. Delays in production, high lead times, defects and high production costs might be associated with unsuitable material handling systems.

In this study, a project-based company's material handling system reevaluated and selected material handling equipment. According to company's need and requests, mobile crane is used as material handling equipment.

Many of the approaches to equipment selection problem focuses on multi criteria decision making methods, knowledge-based systems or analytic methods or the combination of these approaches. This study applies scoring type (AHP) method and a utility additive type (UTASTAR) method to crane selection problem for a project-based firm. Potential

alternatives and the criteria are determined using decision maker's opinions and preferences are obtained. Fuzzy logic is also added to methods.

**Key Words:** Material Handling Equipment Selection, Multi Criteria Decision Making, AHP, UTASTAR, Additive Utility, Fuzzy Logic

## TEŞEKKÜR

Lisans dönemimden itibaren akademik çalışmalarına destek olan, lisansüstü eğitim sürecimde de sabrı, hoşgörüsü ve yardımlarıyla tezime yön veren, bilgi, tecrübe ve desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Güldal GÜLERYÜZ'e,

Tez sürecimde emeği geçen, yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Özlem Müge TESTİK'e,

Lisans ve yüksek lisans dönemlerim boyunca yardımlarını ve desteğini benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan arkadaşım Seda ALBAYRAK'a,

Lisansüstü eğitim sürecimde gerekli bütün kolaylıkları sağlayan, tez verilerini almam konusunda yardımlarını esirgemeyen GÜLERMAK ailesindeki tüm yöneticilerime ve değerli çalışma arkadaşlarıma,

Lisans ve lisans üstü eğitim sürecimde emeği geçen Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma ve tüm bölüm çalışanlarına,

Tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan canım aileme,

Bu süreçteki desteği ve gösterdiği anlayış için müstakbel eşime

Sonsuz Teşekkürler...

Zeynep Dur

Haziran 2019, Ankara

# İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| ÖZET .....  | i    |
| ABSTRACT.....   | iii  |
| TEŞEKKÜR.....   | v    |
| İÇİNDEKİLER .....   | vi   |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....   | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                       | ix   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                 | x    |
| 1. GİRİŞ .....  | 1    |
| 2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ.....                   | 3    |
| 2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci .....                          | 7    |
| 2.2. Çok Kriterli Fayda Teorisi .....                         | 9    |
| 2.3. Toplanabilir Fayda Yöntemleri.....                       | 10   |
| 2.3.1. Ağırlıklı Toplanabilir Fayda Yöntemi .....             | 12   |
| 2.3.2. Toplanabilir Fayda Diskriminant Yöntemi.....           | 13   |
| 2.3.3. İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda Yöntemi..... | 14   |
| 3. MALZEME TAŞIMA EKİPMANI SEÇİMİ .....                       | 16   |
| 4. METODOLOJİ .....   | 19   |
| 4.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Sayılar .....                  | 19   |
| 4.1.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme .....                   | 19   |
| 4.1.2. Bulanık Sayılar ve Aritmetik İşlemler .....            | 21   |
| 4.1.3. Bulanık Sayıların Karşılaştırılması .....              | 23   |
| 4.2. Analitik Hiyerarşi Süreci .....                          | 24   |
| 4.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci.....                   | 29   |
| 4.4. İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda.....           | 31   |
| 4.5. Bulanık İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda .....  | 36   |
| 5. UYGULAMALAR .....  | 39   |
| 5.1. AHP Yönteminin Uygulaması .....                          | 40   |

|   |    |
|---|----|
| 5.2. B-AHP Yönteminin Uygulaması .....    | 42 |
| 5.3. UTASTAR Yönteminin Uygulaması.....   | 45 |
| 5.4. B-UTASTAR Yönteminin Uygulaması..... | 53 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....              | 60 |
| KAYNAKLAR .....                           | 63 |
| EKLER.....                                | 69 |
| EK 1 – Anket Örneği .....                 | 69 |
| EK 2 – Tezden Türetilmiş Bildiriler ..... | 71 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                            | 72 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1. Karar Verme Süreci .....                            | 4  |
| Şekil 2.1.1. Hiyerarşik Yapı Örneği .....                      | 9  |
| Şekil 2.2.1. Toplanabilir Ayrılabilir Fayda Yaklaşımı .....    | 11 |
| Şekil 2.3.1.1. WUTA Metodu Akış Şeması .....                   | 13 |
| Şekil 4.1.1.1. Bulanık Renk Kümeleri .....                     | 20 |
| Şekil 4.1.2.1. Üçgensel Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu..... | 22 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 4.2.1. AHP Yöntemi Tercih Ölçeği .....                                | 25 |
| Çizelge 4.2.2. RI Değerleri .....   | 28 |
| Çizelge 4.3.1. Bulanık Önem Derecesi ve Bulanık Karşıt Önem Derecesi .....    | 30 |
| Çizelge 5.1.1. AHP Yöntemi Tutarlılık Analizi .....                           | 42 |
| Çizelge 5.2.1. Olabilirlik Değerleri .....                                    | 44 |
| Çizelge 5.2.2. Alternatif Yüzde Dağılımları .....                             | 44 |
| Çizelge 5.3.1. Karar Vericinin Tercih Sıralaması .....                        | 45 |
| Çizelge 5.3.2. Kriterlerin Fayda Durumları .....                              | 46 |
| Çizelge 5.3.3. Kriter Değerlerinin Eşit Aralıklara Bölünmesi .....            | 47 |
| Çizelge 5.3.4. Kriterlerin En Kötü Değerlerinin Fayda Değerleri .....         | 47 |
| Çizelge 5.3.5. Kriterlerin Marjinal Fayda Değeri Formülleri .....             | 48 |
| Çizelge 5.3.6. UTASTAR Doğrusal Program Modeli .....                          | 50 |
| Çizelge 5.3.7. İlk Çözümünden Ulaşılan wij Değerleri .....                    | 50 |
| Çizelge 5.3.8. İlk Çözümünden Ulaşılan Marjinal Fayda Değerleri .....         | 51 |
| Çizelge 5.3.9. K1 Kriterinin Duyarlılık Analizi Doğrusal Program Modeli ..... | 52 |
| Çizelge 5.3.10. Duyarlılık Analizi Sonucunda Elde Edilen wij Değerleri .....  | 52 |
| Çizelge 5.3.11. Global Fayda Değerleri .....                                  | 53 |
| Çizelge 5.4.1. B-UTASTAR İlk Girdi Değerleri .....                            | 55 |
| Çizelge 5.4.2. B-UTASTAR İlk Girdi Sonucu Ulaşılan wij Değerleri .....        | 55 |
| Çizelge 5.4.3. B-UTASTAR İlk Girdi Sonuçları .....                            | 56 |
| Çizelge 5.4.4. B-UTASTAR İkinci Girdi Değerleri .....                         | 56 |
| Çizelge 5.4.5. B-UTASTAR İkinci Girdi Sonucu Ulaşılan wij Değerleri .....     | 57 |
| Çizelge 5.4.6. B-UTASTAR İkinci Girdi Sonuçları .....                         | 57 |
| Çizelge 5.4.7. B-UTASTAR Üçüncü Girdi Değerleri .....                         | 58 |
| Çizelge 5.4.8. B-UTASTAR Üçüncü Girdi Sonucu Ulaşılan wij Değerleri .....     | 58 |
| Çizelge 5.4.9. B-UTASTAR Üçüncü Girdi Sonuçları .....                         | 59 |
| Çizelge 6.1. B-UTASTAR Çözümü Korelasyon Katsayıları .....                    | 61 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

|           |   |
|-----------|---|
| ÇKKV      | Çok Kriterli Karar Verme                                    |
| TOPSIS    | İdeal Çözüme Benzerlik ile Tercih Sıralaması                |
| PROMETHEE | Zenginleşen Değerlendirmeler için Tercih Sıralaması Yöntemi |
| ELECTRE   | Eleme ve Seçme Yöntemi                                      |
| SAW       | Basit Ağırlıklı Toplam Modeli                               |
| AHP       | Analitik Hiyerarşi Süreci                                   |
| B-AHP     | Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci                           |
| MAUT      | Çok Kriterli Fayda Teorisi                                  |
| UTA       | Toplanabilir Fayda  |
| WUTA      | Ağırlıklı Toplanabilir Fayda                                |
| UTADIS    | Toplanabilir Fayda Diskriminant                             |
| UTASTAR   | İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda                   |
| B-UTASTAR | Bulanık İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda           |
| CR        | Tutarlılık Oranı  |
| CI        | Tutarlılık İndeksi  |
| RI        | Rassal Tutarlılık İndeksi                                   |



# 1. GİRİŞ

Küreselleşme ve teknoloji son zamanlarda oldukça gelişmiş ve ciddi boyutlara ulaşmıştır. Teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte firmalar arası rekabet de hızla artmaktadır. Firmalar bu rekabet ortamında varlığını sürdürebilmek ve pazar payını artırabilmek için maliyetlerini azaltmaya ve kâr paylarını artırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadırlar. Müşterilere daha hızlı ulaşmak ve daha iyi hizmet vermek de firmaların hedefleri arasındadır. Bu hedefler doğrultusunda malzeme taşıma maliyetleri de ön plana çıkmakta ve malzeme elleçleme sistemlerinin seçimi büyük önem kazanmaktadır.

Malzeme taşıma sistemi, malzeme elleçleme süreçlerinden oluşan bir sistemdir. Malzeme elleçleme, malzemelerin bir malzeme taşıma ekipmanına yüklenmesi, malzeme taşıma ekipmanı yardımı ile bir lokasyondan başka bir lokasyona taşınması ve malzemenin taşıma ekipmanından ilgili lokasyona boşaltılması / indirilmesi süreçlerini ifade eder. Malzeme elleçleme sürecinde kullanılan ekipmanlar da sürecin en önemli ögesidir.

Kay [1], malzeme elleçleme ekipmanlarını 5 farklı kategoride incelemiştir.

1. Taşıma (Transport) Ekipmanları: Malzemenin bir lokasyondan başka bir lokasyona taşınması için kullanılan ekipmanlardır.
2. Konumlama (Positioning) Ekipmanları: Malzemenin tek lokasyonda yönetilmesini ve konumlandırılmasını sağlayan ekipmanlardır.
3. Birim Yük Oluşturma (Unit Load Formation) Ekipmanları: Taşıma ve stoklama sırasında malzemelerin bütünlüğünü koruyan sınırlandırma ekipmanlarıdır.
4. Depolama (Storage) Ekipmanları: Malzemenin bir süre belirli bir yerde depolanması için kullanılan ekipmanlardır.
5. Tanımlama ve Kontrol (Identification and Control) Ekipmanları: Malzemelerin tesis içerisinde, tesisler, tedarikçiler ve müşteriler arasındaki hareketlerini koordine ve takip etmek için kullanılan ekipmanlardır.

Birçok firma malzeme taşıma ekipmanı seçimine önem vermekte ve süreçleri için en uygun ekipmanları kullanmayı hedeflemektedir. Uygun taşıma ekipmanı, malzemelerin üretim hatlarına taşınması sırasındaki verimliliği artırır. Uygun olmayan ekipman kullanıldığında ise, üretimdeki bekleme zamanları ve hata oranları artar.

Malzeme taşıma ekipmanı seçimi birçok firma için stratejik bir karardır. Ekipman piyasasında çok farklı malzeme taşıma ekipmanı bulunur ve her tip ekipman için farklı kriterler değerlendirilir. Bu nedenle malzeme taşıma ekipmanı seçimi aslında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak değerlendirilebilir. ÇKKV, alternatifler arasından seçim yaparken aynı anda birden fazla kriterin ele alınmasıdır. ÇKKV modelleri temelde Puanlama, Uyum-Uyumsuzluk ve Uzlaşma olmak üzere 3 grupta incelenebilir. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu Puanlama, Eleme ve Seçme Yöntemi (ELECTRE) metodu Uyum-Uyumsuzluk, VİseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) metodu da Uzlaşma modeli olarak değerlendirilir.

Bu tez çalışmasında, çelik konstrüksiyon üretimi yapan ve aynı zamanda proje bazlı taahhüt işleri yapan bir firma için uygun malzeme taşıma ekipmanı (vinç) seçimi hedeflenmiştir. Ekipman seçiminde sabit sayılarla ifade edilemeyen durumlar da göz önünde bulundurularak bulanık mantık yöntemi seçim aşamasına dahil edilmiştir. Ekipman seçimi sürecinde puanlama modellerinden AHP yönteminden ve toplanabilir fayda fonksiyonlarının kullanıldığı İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda (UTASTAR) yönteminden yararlanılmıştır.

AHP yöntemi malzeme taşıma ekipmanı seçimi problemlerinde sıklıkla kullanılan ve matematiksel işlemleri çok karışık olmayan bir yöntemdir. Bu nedenle ekipmanların puanlanıp tercih sıralamasının belirlenmesi için AHP yöntemi kullanılmıştır. AHP yöntemi alternatiflerin yüzde önem dağılımlarını bularak alternatifleri tercihe göre sıralarken; UTASTAR yöntemi karar vericinin tercih sıralamasına uygun kriter ağırlıklarını belirler. Tez çalışmasına konu olan malzeme taşıma ekipmanı seçimi problemi şirketin her yeni projesinde gündeme gelmektedir. UTASTAR uygulaması sayesinde benzer projeler için ekipman seçimindeki kriter ağırlıklarının ayrı ayrı belirlenmesine / karar verilmesine gerek kalmayacak, metod uygulaması sonrasında ulaşılan kriter ağırlıkları şirkete bir sonraki proje için ön değer olacaktır. UTASTAR yöntemi için tek karar vericiden alınan alternatif tercih sıralaması yeterlidir. Bu çalışmada UTASTAR uygulamasında karar vericinin tercih sıralaması kullanılırken; Bulanık İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda (B-UTASTAR) uygulamasında AHP yönteminden elde edilen tercih sıralaması kullanılmıştır.

## 2. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Kişilerin veya firmaların erişmek istedikleri amaçlara, mevcut fırsatları dahilinde; hayata geçirebilecekleri eylemlerden kendileri için en uygun olan faaliyetin seçilme aşamaları “Karar Verme” olarak tanımlanabilir [2]. Günümüzde şirketlerin karşılaştıkları karar verme durumları karmaşık bir yapıdadır ve tek bir kritere ve/veya amaca bağlı değildir. Birden fazla kriterin göz önünde bulundurulduğu karar verme sürecine ÇKKV süreci denir. ÇKKV durumlarıyla günlük hayatımızda da sıklıkla karşılaşırız. Örneğin; bir otomobil satın almayı düşündüğümüzde, ilk alım maliyeti, yakıt durumu, model gibi kriterler açısından alternatifleri değerlendiririz. Ya da bir telefon satın alırken, fiyat, model, hafıza, fotoğraf çekim kalitesi gibi kriterleri göz önünde bulundururuz.

Alternatifler arasından seçim yaparken birden fazla kriterin göz önünde bulundurulması çok nitelikli / kriterli karar verme olarak değerlendirilir. Literatürde ÇKKV yöntemi çeşitliliği çok olsa da hemen hemen bütün problemlerin taşıdığı özellikler ortaktır [3].

Alternatifler: Seçme, sıralama, önceliklendirme ve/veya eleme yapılacak adaylar.

Çoklu nitelikler: Her problemin kendine özgü amacı/kriteri bulunur. Çoğu problemde nitelik birden fazladır.

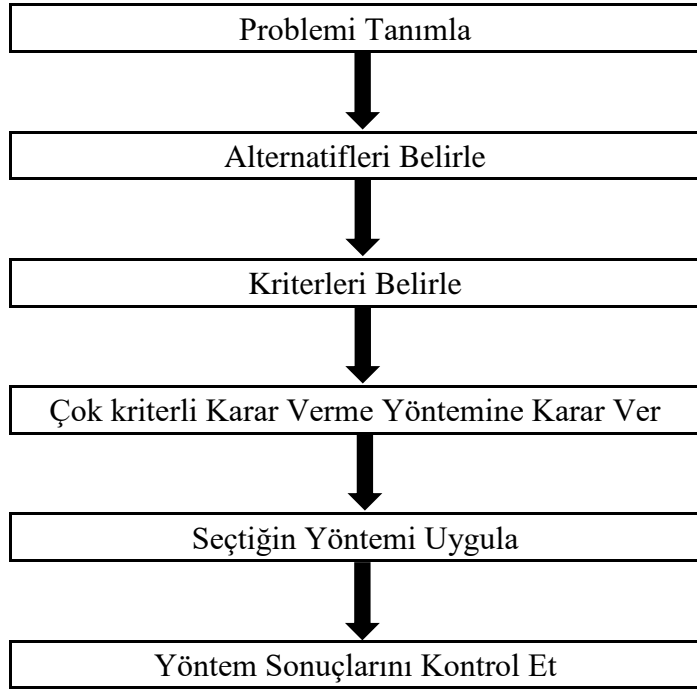
Nitelikler arası zıtlık: Bir problemin içerdiği nitelikler birbiriyle uyumsuzluk gösterebilir. Örneğin, düşük yakıt tüketimli araçlarda genellikle oturma alanları daha küçüktür. Nitelikler arası zıtlık, problemdeki bir niteliğin yüksek değeri iyi olarak tanımlanırken aynı problemdeki bir başka niteliğin düşük değerinin iyi olarak tanımlanmasıdır.

Kıyaslanamayan birimler: Birden fazla niteliğe sahip olan bir problemdeki her bir kriter/nitelik çoğu zaman farklı ölçü birimlerine sahiptir. Örneğin, problemdeki fiyat kriteri TL ile ölçülürken, uzunluk kriteri metre ile ölçülür.

Karar ağırlıkları: Çoğu problem niteliklerin birbiriyle olan göreceli önem dereceleri ile ilgili bilgiye ihtiyaç duyar. Bu önem seviyeleri ağırlık kümesi olarak verilir ve bir problemdeki her bir niteliğin ağırlıklarının toplamı 1’dir. Karar ağırlıklarının belirlenmesi için en küçük kareler toplamı gibi yöntemler uygulanabilir veya ağırlıklar direkt karar verici tarafından belirlenmiş olabilir.

Karar matrisi: ÇKKV problemleri  $m \times n$  boyutundaki alternatif-kriter matrisi formatında ifade edilir.

ÇKKV sürecinde farklı seçenekler kıyaslanır ve öncelikli olarak hedef gerçekleştirmeye yönelik ölçütler, kriterler belirlenir. Daha sonra seçeneklerin kriterlere uygunluğuna bakılır. Karar verici(ler) için tüm kriterler eş seviyede önemli değildir. Karar verici(ler) için her bir kriterin önemi (ağırlığı) aynı olmak zorunda değildir. Bu nedenle kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi çok önemlidir[4]. ÇKKV sürecindeki aşamalar özetle Şekil 2.1’de gösterildiği şekildedir.



Şekil 2.1. Karar Verme Süreci [4]

ÇKKV yöntemleri ölçülebilen ve ölçülemeyen faktörlerin aynı problem içinde değerlendirilmesine imkan sağlar ve karar verme sürecine çok sayıda kişiyi aynı anda dahil edebilir [2]. Karar verme aşamasında bir alternatif için birden fazla kriteri aynı anda değerlendirip çözüm bulabilir.

ÇKKV problemleri incelendiğinde problem çözümü için fazlasıyla yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Literatürde karmaşık problemlerin karar verme sürecini kolaylaştırmak için önerilen 70’den fazla yöntem vardır. Bu yöntemler genel anlamda, çoklu kriterlerin çözümlenmesi ve modelleme tercihlerine odaklanmıştır [5].

Literatürde çok nitelikli karar ile çoklu nitelikli karar aynı anlamda kullanılmakta ve aynı sınıfa dahil edilmektedir [6].

AHP, Technique for Order of Preference by Similarity to İdeal Solution (TOPSIS), Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE), ELECTRE, Ağırlıklı Toplam Yöntemi ve Ağırlıklı Çarpım Yöntemi ÇKKV için kullanılan yöntemler arasındadır.

Ağırlıklı Toplam Yöntemi tek boyutlu ve aynı birimlere sahip kriterlerin karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Ağırlıklı Çarpım Yöntemi ise; alternatiflerin diğer alternatiflere kıyasla kriter oranlarını ele alarak sıralama yapan bir yöntemdir ve tek / çok boyutlu karar problemlerinde kullanılabilir [7].

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon [8] tarafından geliştirilmiş bir ÇKKV yöntemidir. Wu, Lin ve Tasai [9] yaptıkları çalışmada TOPSIS yönteminde çözümün, elde edilen en iyi ölçütlerin bileşimi olan pozitif-ideal çözümden en kısa ve elde edilen en kötü ölçütlerin bileşimi olan negatif-ideal çözümden en uzak mesafede olması düşüncesiyle seçildiğini belirtmiştir.

TOPSIS yöntemi, karar matrisindeki her kriterin artan veya azalan fayda sağladığını varsayar. Değeri arttıkça faydası artan kriterin en büyük değeri, değeri arttıkça faydası azalan kriterin ise en küçük değeri tercih sırasında en öndedir. Sayısal olmayan tüm değerler sayısallaştırılmalıdır. TOPSIS yöntemi tüm kriterleri eşit önemde kabul eder, kriter ağırlıklarını karar verici belirler [3].

Behzadian ve arkadaşları [10] yaptığı çalışmada 2002-2012 yılları arasında çokça makalede farklı alanlarda (tedarik zinciri yönetimi, tasarım, mühendislik, sağlık, insan kaynakları yönetimi, vb.) TOPSIS metodunun kullanıldığını belirtmişlerdir.

Samut [11] yaptığı çalışmada performans değerlendirmesi süreçleri için AHP ve TOPSIS yöntemlerini entegre ederek kullanmıştır.

Orçun ve Eren [12] de BİST'te (Borsa İstanbul) işlemi olan şirketlerin finans durumları açısından performanslarını değerlendirmek ve birbiri ile karşılaştırmak için TOPSIS yönteminden yararlanmışlardır.

Karabıçak, Boyacı, Kocabaş Akay ve Özcan [13] karayolu yapım firmalarının şantiye yeri belirleme probleminin çözümünde TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır.

ÇKKV problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan metotlardan biri de PROMETHEE yöntemidir. PROMETHEE bir öncelik belirleme yöntemidir.

PROMETHEE I ve II yöntemleri ilk defa J.P. Brans [14] tarafından 1982 yılında bir konferansta sunulmuştur. PROMETHEE I parçalı sıralama yaparken, PROMETHEE II tam sıralama yapar. Brans ve Mareschal birkaç yıl sonra PROMETHEE III (aralıklar tabanlı sıralama) ve PROMETHEE IV (sürekli durumlar) yöntemlerini geliştirmişlerdir. Aynı yazarlar PROMETHEE yönteminin görsel etkileşimli GAIA modülünü önermişlerdir. PROMETHEE V (segment kısıtları içeren) ve PROMETHEE VI (insan beyni temsili) yöntemleri de yine aynı yazarlar tarafından önerilmiştir.

PROMETHEE yöntemi literatürdeki diğer öncelik belirleme metotlarının uygulama sırasındaki zorluklarından yola çıkılarak geliştirilmiştir [15]. Bu yöntem karar verme problemindeki alternatifleri kriterlere göre değerlendirir ve alternatifleri ikili karşılaştırarak öncelikleri belirler.

Literatüre bakıldığında PROMETHEE yönteminin ekipman seçimi problemlerinin çözümü için kullanıldığı görülmektedir. Yılmaz ve Dağdeviren [16] yaptıkları çalışmada Mig-Mag Kaynak Makinesi ekipmanı seçimi probleminde PROMETHEE metodunu kullanmış ve kesin olmayan bulanık veriler için de Bulanık PROMETHEE (B-PROMETHEE) yöntemini uygulayarak bu iki metodun sonuçlarını kıyaslamıştır. Yılmaz ve Dağdeviren bir başka çalışmada [17] yine ekipman seçimi problemi ile ilgilenmiş ve B-PROMETHEE ve 0-1 Hedef Programlama metotlarını birlikte kullandıkları yeni bir yöntem sunmuşlardır.

ELECTRE alternatiflerin performanslarına göre birbirleriyle kıyaslanmasına ve seçimine dayanır. Bu yöntem ilk defa 1966 yılında Benayoun ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [18]. Daha sonraki süreçlerde sürekli geliştirilen bu yöntem farklı versiyonlarla literatürde yer almıştır. Her versiyonun amacı da birbirinden farklıdır. Örneğin; ELECTRE I en iyi alternatifleri içeren bir set oluşturmayı amaçlarken ELECTRE II, III ve IV alternatifleri iyiden kötüye doğru sıralamak için kullanılır [18].

ELECTRE yöntemi temelde farklı alternatiflerin bütün mümkün ikililerini kriterler bazında karşılaştırarak alternatiflere kriterler bazında skorlar oluşturan bir yöntemdir.

Literatürde ELECTRE yönteminin birçok ÇKKV probleminde kullanıldığı görülmüştür. Soner ve Önüt [19] tedarikçi seçiminde bu yöntemi kullanmıştır. Rouyendegh ve Erol

[20] proje seçiminde bulanık ELECTRE yönteminden faydalanmıştır. Kaplan, Araz ve Göktepe [21] iplik makinesinin göbek kısmındaki ekipmanın seçiminde ELECTRE III kullanmıştır.

Basit Ağırlıklı Toplam (SAW) metodu 1954 yılında Churchman ve Ackoff'un yaptığı çalışmalarla literatüre kazandırılmıştır [22]. Bu yöneme literatürde Ağırlıklı Toplam Modeli olarak rastlamak da mümkündür [23].

SAW yöntemi ağırlıklı ortalama temeline dayanır. Her alternatifin her kriterde sahip olduğu değer maksimum değere bölünmesi (kriterin yüksek değerde olması iyi ise maksimum değer, kriterin düşük değerde olması iyi ise minimum değer kullanılır.) ile bulunan değer kriter ağırlığı ile çarpılarak alternatifin tercih sırası hesaplanır [24].

SAW yönteminin adımları aşağıdaki gibidir [22].

1. Karar matrisinin normalize edilmesi,
2. Her alternatifin tercih değerinin hesaplanması

SAW yöntemi matematiksel hesaplama basitliği sebebiyle literatürde sıklıkla kullanılmıştır. Perçin ve Çakır [23] lojistik firmalarının performans ölçümü için, Ömürbek, Karaatlı ve Balcı [22] otomotiv firmalarının performans değerlendirmesi için, Afshari, Mojahed ve Yusff [24] ise personel seçimi için bu yöntemi kullanmışlardır. Adela, Jasmi ve Basiron dansçı seçiminde bu yöntemden yararlanmışlardır [25].

## **2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci**

AHP, 1968 yılında Myers ve Alpert'in yaptığı çalışmalar ile literatüre kazandırılmıştır [26]. Metot 1977 yılında Saaty [27] tarafından geliştirilmiş, birden fazla kriter bulunduran karmaşık problemler için kullanılan ÇKKV yöntemidir. AHP karmaşık problemlerin hedef, kriterler, varsa alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiyi ele alan hiyerarşik yapıda modellenmesine imkân sağlar ve karar vericinin nitel ve nicel düşüncelerini karar aşamasına dahil edebilir [28].

Kaplan [26] yazdığı tezde AHP'nin teoride ve uygulamada bazı eleştirilere konu olduğunu belirtmiş ve AHP'nin katkı ve kısıtlarını aşağıdaki gibi açıklamıştır.

Katkılar:

1. Uygulanması diğer metotlara göre daha kolay olan bir karar verme yöntemidir.
2. Karmaşık problemlerin basitleştirilerek çözülmesini sağlar.
3. Karar vericilerin problemin tanımını ve unsurları ile ilgili anlayışlarını artırır.
4. Ölçülebilir ve ölçülemez bilgileri karar sürecine dahil edebilir.
5. Kararın tutarlılık derecesinin ölçülmesine imkân sağlar.
6. Grup olarak karar verilmesi gereken konular/problemler için uygundur.

#### Kısıtlar:

1. Probleme yeni bir alternatif eklendiğinde veya problemden herhangi bir alternatif çıkarıldığında karar alternatiflerinin sıralaması değişir/değişebilir. Bu konuda literatürdeki tartışmalar devam etmektedir.
2. Modelleme süreci sübjektif bir yapıya sahiptir. Bu da yöntemin “Kesinlikle Doğru” kararlar için garanti veremeyeceğini ifade eder.
3. Karar hiyerarşisindeki kademe arttıkça (yeni alt kriterler eklenebilir) ikili karşılaştırma sayısı artacak ve bu çözüm süresini olumsuz etkileyecektir. Bir başka deyişle, kriter sayısı arttıkça karar vericinin tutarlılığı azalacaktır.

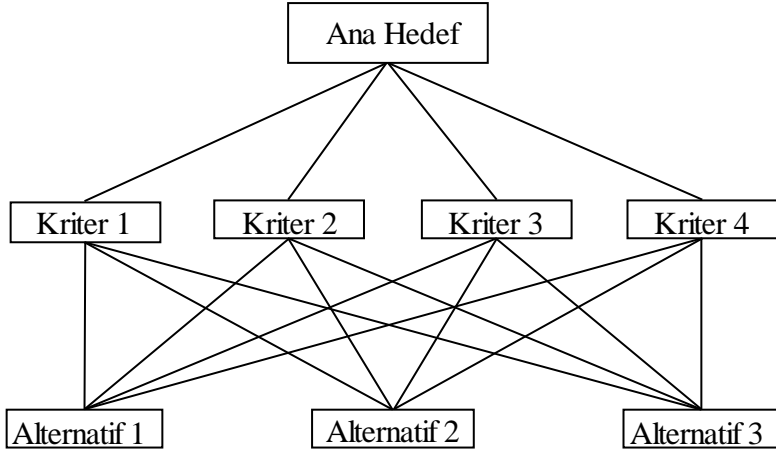
Yaralıoğlu [29] AHP yöntemini, karar hiyerarşisinin tanımlanabildiği durumlarda kullanılan, alternatiflerin yüzde dağılımlarını veren karar verme yöntemi şeklinde tanımlamıştır. AHP yönteminde karşılaştırma matrislerinin oluşturulabilmesi için önceden belirlenmiş karşılaştırma skalaları kullanılmaktadır.

AHP yönteminin temel 5 adımı aşağıdaki gibidir [29].

1. Alternatif ve kriterlerin belirlenmesi,
2. Kriterler arası kıyas matrisinin oluşturulması,
3. Kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması,
4. Her bir kriter için alternatif noktalarındaki yüzde önem dağılımlarının hesaplanması,
5. Karar / alternatif noktalarındaki sonuç dağılımının hesaplanması.

AHP yönteminin en önemli adımı ilk basamak olan alternatif ve kriterlerin belirlenmesidir. Yönteme ismini veren hiyerarşik yapı bu adımda oluşturulur. Hiyerarşi problemin boyutuna göre değişiklik gösterse de yapı, ana hedef, kriterler ve alternatiflerden oluşur. Şekil 2.1.1’de hiyerarşik bir yapı örneğine yer verilmiştir.





Şekil 2.1.1. Hiyerarşik Yapı Örneği

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde AHP yönteminin çok farklı alanlardaki problemlerin çözümü için kullanıldığı görülmektedir. Satış, satın alma, imalat, personel işlemleri gibi birçok alanda AHP yönteminin uygulamaları mevcuttur. Kaplan [26] tedarikçi seçimi için bu yöntemi kullanırken, Yaralıoğlu [29] performans değerlendirme sürecinde bu yöntemden faydalanmıştır. Chan, Ip ve Lau [30] ve Komljenovic ve Kecojevic [31] malzeme taşıma ekipmanı seçiminde AHP yöntemini kullanmıştır. Sharma, Soni ve Patidar [32] da malzeme taşıma ekipmanı seçimi probleminde AHP yönteminden yararlanmış, TOPSIS metodunu da çalışmasına dahil etmiştir. Supçiller ve Deligöz [33] bir tekstil firması için en iyi tedarikçi seçimi probleminde AHP, TOPSIS, VIKOR gibi ÇKKV yöntemlerini kullanmıştır. Kara ve Ecer [34] de tekstil sektöründe tedarikçi seçimi için AHP ve VIKOR yöntemlerinden faydalanmıştır.

## 2.2. Çok Kriterli Fayda Teorisi

Keeney [35] 1987 yılında yaptığı çalışmada bir enerji ajansının karşılaştığı nükleer atıkların depolanması sorununu ele almıştır. Ajansın kriterler arası etkileşimi göz önünde bulundurmadan yaptığı yer seçimi eleştirilere maruz kalmış ve süreç yeniden değerlendirildikten sonra Çok Kriterli Fayda Teorisi (MAUT) yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

MAUT yöntemi temelde, her karar verme probleminde karar vericinin en büyük, en yüksek olmasını istediği reel değerli bir fayda fonksiyonunun olduğunu savunur [36].  $U$  fayda fonksiyonu, kriterleri bir araya getirir ve ortak bir fayda meydana getirir.

Literatürde bir çok çalışmada fayda fonksiyonu olarak toplamsal fayda fonksiyonu kullanılmıştır [37].

MAUT metodunda ölçülebilir ve ölçülemez kriterler bir arada kullanılarak fayda değeri en yüksek alternatif bulunur [38]. Karar aşamasında nicel kriterleri değerlendirmek kolaydır, ancak nitel kriterlerin değerlendirilmesinde zorluklar yaşanır. MAUT yöntemi nitel veriyi de değerlendirmeye kolaylıkla dahil eder. Değerlendirmeler ikili karşılaştırmalar ile yapılır.

MAUT yöntemi aşağıdaki 5 adımdan oluşur [39].

1. Amaç ve niteliklerin belirlenmesi,
2. Niteliklerin (kriterler) nicel verilere dönüştürülmesi,
3. Her bir nitelik için fayda fonksiyonlarının oluşturulması,
4. Her bir niteliğin ağırlıklarının hesaplanması,
5. Çok nitelikli fayda fonksiyonunun oluşturulması.

MAUT yönteminde karar vericinin tercihleri fayda fonksiyonunu birebir etkiler ve karar vericinin tercihi fayda fonksiyonu anlamına gelir [22].

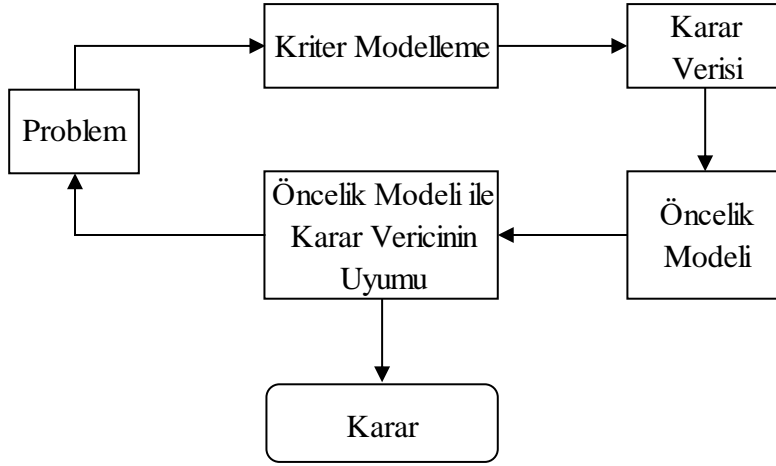
Literatürde MAUT yönteminin bir çok problemin çözümü için kullanıldığı görülmektedir. Ömürbek, Karaatlı ve Balcı [22], otomotiv firmalarının performans değerlendirmesi için yaptıkları çalışmada MAUT yönteminden faydalanmıştır. Konuşkan ve Uygun [38], akıllı telefon seçimi için bu yöntemi kullanırken; Kim iki çalışmasında da ([39], [40]) uygun bir demontaj senaryosu seçimi için bu yöntemi kullanmıştır. Hatush ve Skitmore [41] taahhüt sektöründe taşeron seçimi konusu için, Adalı ve Işık [42] ise üretici firma seçimi için MAUT yöntemini kullanmıştır.

### **2.3. Toplanabilir Fayda Yöntemleri**

Toplanabilir Fayda (UTA) yöntemleri MAUT yöntemine alternatif olarak geliştirilen regresyon tabanlı yöntemlerdir [5]. UTA metodu ilk olarak Siskos [43] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Fayda bağımsızdır ve bu nedenle toplanabilir [44]. Her bir kriterin faydası ayrı ayrı ölçülüp, toplam faydayı bulmak için faydalar ayrı ayrı toplanabilir. Layard ve Walters [45], bu durumu sütlü kahve örneği üzerinde anlatmış, süt

ile kahvenin faydalarının bağımsız olduğunu, bu varsayımın da “ihtiyaçların bağımsızlığı” olarak tanımlandığını belirtmiştir.

Siskos ve Grigoroudis [5], toplanabilir ve ayrılabilir fayda yöntemlerinin sistematığını Şekil 2.2.1’de belirtildiği gibi ifade etmiştir.



Şekil 2.2.1. Toplanabilir Ayrılabilir Fayda Yaklaşımı [5]

Literatürdeki çok kriterli karar verme metotlarının çoğunda analistler son kararı bulmak için çalışırlar. Ancak bu durum tersten de düşünülebilir. Bilinen bir karara (sonuca) sebep olan durumlar (kriter ağırlıkları, fonksiyonlar) belirlenmek istenebilir [37].

UTA yönteminde karar vericiden beklenen tek veri alternatiflerin önceliğe göre sıralanmasıdır, karar vericiden bu sıralama dışında herhangi bir şey beklenmez [46]. Bu durum UTA metotlarının tercih edilme sebepleri arasındadır. UTA metotları için kriter değerleri ve karar vericinin alternatif sıralaması yeterlidir. Ancak her metotta olduğu gibi UTA metotlarının da bazı spesifik problemleri vardır. UTA metotları doğrusal programlama kullanır ve doğrusal programlama modelinin birden fazla çözümü olabilir [46].

UTA metotlarının geneline bakıldığında, işlem basamakları hemen hemen aynıdır. UTA metotlarının temel adımları aşağıdaki gibidir.

1. Kriter değerleri eşit aralıklara bölünür.
2. Her alternatifin fayda fonksiyonu kriterlerin fayda fonksiyonlarının toplamı cinsinden bulunur.

3. Her alternatifin fayda fonksiyonu  $w_{ij}$  değişenleri cinsinden hesaplanır.  $w_{ij}$ , değeri eşit aralıklara bölünen kriter  $i$ 'nin  $j$ 'ninci değerindeki fayda değerini ifade eder. Konuyla ilgili detaylara metodoloji bölümünde yer verilmiştir.
4. En çok tercih edilenden en az tercih edilen sıraya göre dizilen alternatiflerin birbiri arasındaki fayda farkları fonksiyonları ( $\Delta$ ) bulunur.
5. Bu yöntem için belirlenmiş olan doğrusal program modeli çözülür.

UTA metotları literatürde diğer karar verme yöntemleri kadar yaygın değildir ancak yine de literatürde bu metot ve varyasyonları ile ilgili bilgiye ulaşmak mümkündür. Beuthe ve Scannella [46], yaptıkları çalışmada UTA metotlarını karşılaştırmış; Athawale, Kumar ve Chakraborty [47] ise, üretim hattına malzeme seçimi problemi için bu yöntemden yararlanmışlardır. Ağırlıklı Toplanabilir Fayda (WUTA), Toplanabilir Fayda Diskriminant (UTADIS) ve UTASTAR yöntemleri UTA yönteminin birer çeşididir.

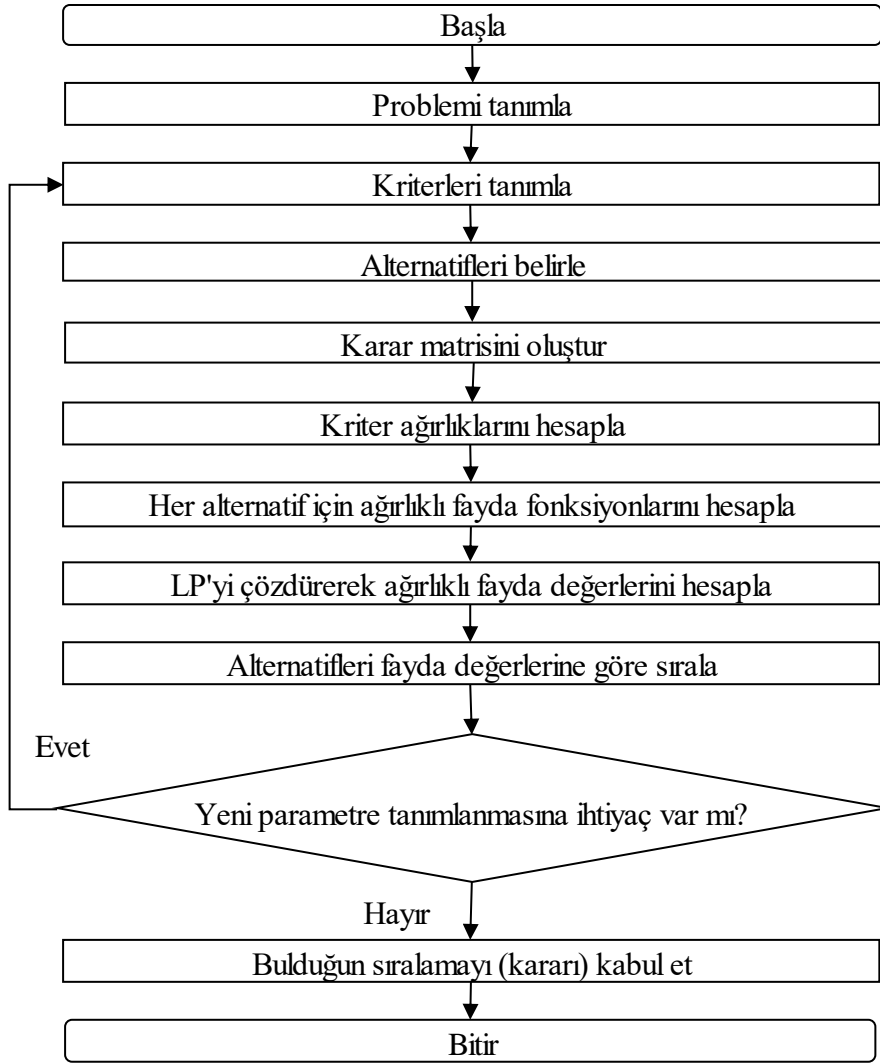
### **2.3.1. Ağırlıklı Toplanabilir Fayda Yöntemi**

WUTA metodu Jacquet-Lazreze ve Siskos [43] tarafından UTA metodunun bir uzantısı olarak literatüre kazandırılmıştır. WUTA metodu UTA metodundan farklı olarak probleme kriter ağırlıklarını da dahil eder.

Karande ve Chakraborty [48], yaptıkları çalışmada malzeme taşıma ekipmanı seçimi için bu metodu kullanmış ve kriter ağırlıklarını hesaplamak için AHP yönteminden faydalanmıştır. Aynı analistler 2015 yılında yaptıkları bir başka çalışmada [49], tedarikçi seçimi problemi için yine aynı metodu kullanmıştır. UTA metodunda kriter ağırlıkları girdi olarak kullanılmaz ve dikkate alınmaz ama kriter ağırlıkları karar vericinin kararını etkileyen bir durumdur [48]. UTA metodunda karar vericinin tercihlerini sıralarken hangi kritere hangi oranda önem verdiğini belirtmesine gerek yoktur. Çünkü UTA metodunun amacı zaten karar vericinin tercih sıralamasına uygun kriter ağırlıklarını belirlemektir.

WUTA metodunun prosedürel akış şeması Şekil 2.3.1.1'de verilmiştir [49]. Problem tanımı, alternatif-kriter belirlenmesi gibi süreçler tamamlandıktan sonra karar matrisi oluşturulur. Kriter ağırlıkları hesaplanıp her alternatifin ağırlıklı fayda değerlerine ulaşılır. Doğrusal program modeli çözülerek alternatiflerin global fayda değerleri elde edilir. Global fayda değeri en yüksek olan alternatif en çok tercih edilen alternatif olurken

fayda değeri en düşük olan alternatif de en az tercih edilen alternatif olacaktır. Alternatifler en iyiden en kötüye doğru sıralanır. Problem yeniden irdelenerek probleme dahil edilmesi gereken başka bir kriter olup olmadığına karar verilir ve süreç tamamlanır.



Şekil 2.3.1.1. WUTA Metodu Akış Şeması [49]

### 2.3.2. Toplanabilir Fayda Diskriminant Yöntemi

UTADIS metodu 1980 yılında Devaud [50]'un yaptığı çalışmalar ile literatüre kazandırılmış ve Siskos [43] tarafından geliştirilmiştir. UTADIS metodu sürece alternatifleri gruplayarak başlar. Esas amaç en çok tercih edilen gruptaki alternatiflerin en yüksek ağırlıkları alabileceği şekilde alternatifleri kriterlere göre 0-1 aralığında bir ölçeğe taşımaktır [50].

UTADIS yöntemi genellikle finansal problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Ancak farklı konulardaki problemlerin çözümünde de bu metodun kullanıldığı görülmektedir. Örneğin; Çolak ve Ulucan [51] mobilya endüstrisinde kârlılığı etkileyen faktörlerin belirlenmesi için bu metottan yararlanmıştı. Ulucan ve Atıcı [50] ise Türkiye'deki elektrik dağıtım sektöründe bir uygulama için bu yöntemi kullanmıştır.

### 2.3.3. İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda Yöntemi

UTASTAR metodu ilk kez 1985 yılında Siskos ve Yannacopoulos [52] tarafından UTA metodunun daha gelişmiş bir versiyonu olarak literatüre kazandırılmıştır. UTASTAR metodu UTA yönteminden farklı iki önemli modifikasyon önerir [5].

1. UTA metodu tek hata fonksiyonu kullanırken, UTASTAR metodu ikili hata (fazla tahmin ve eksik tahmin hataları) fonksiyonu kullanır.
2. UTA metodundaki orijinal  $u_i(g_i^j)$  değerleri yerine  $w_{ij}$  değişkenleri kullanılır. Bu sayede doğrusal programlama modeli biraz daha sadeleştirilmiş olur.  $u_i(g_i^j)$ , kriter  $i$ 'nin  $j$ 'ninci değerindeki marjinal fayda değerini ifade eder.  $w_{ij}$  değişkeni de aynı durumu daha sade bir şekilde ifade etmek için kullanılır.

UTASTAR metodu temelde aşağıdaki 4 adımdan oluşur [37].

1. Referans set (alternatifler) için global fayda fonksiyonları  $u_i(g_i^j)$  ve  $w_{ij}$  değişkenleri cinsinden oluşturulur.
2. Ardışık alternatifler arasındaki fayda farkları ikili hata fonksiyonları ile birlikte ifade edilir.
3. Hata fonksiyonları toplamının minimize edilmesi amaç fonksiyonuna sahip doğrusal program modeli çözülür.
4. Doğrusal program modelinden elde edilen optimal çözüme yakın başka çözümlerin olup olmadığı test edilir.

UTASTAR metodunun detaylarına metodoloji bölümünde yer verilmiştir.

Siskos ve Yannacopoulos [52] UTASTAR algoritmasının UTA algoritması ile kıyaslandığında bazı göstergelere göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Bu göstergeler aşağıdaki gibidir.

1. Optimal çözüme ulaşmak için gerekli olan iterasyon (tekrarlama) sayısı UTASTAR metodunda daha azdır. Dolayısıyla çözüme daha hızlı ulaşılır.
2. Problemin başında karar vericiden alınan sıralama ile UTASTAR sonucunda çıkan sıralama arasındaki Kendall's Tau ( $\tau$ ) korelasyon katsayısı, UTA metoduna göre daha yüksektir. Dolayısıyla UTASTAR metodu sonucunda ulaşılan tercih sıralaması karar vericinin tercihiyle daha uyumludur.
3. Minimize edilmiş hatalar toplamı gözlemlerin dağılımı için gösterge olarak alınır. İkili hata fonksiyonu kullanılması daha anlamlı ve uygun sonuçlar elde edilmesini sağlar.

Literatüre bakıldığında UTASTAR yönteminin çok çeşitli problemlerin çözümü için kullanıldığı görülmektedir. Papapostolou, Karakosta ve Marinakis [53] yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili ülkelerin riskleri konusunda bu yöntemden faydalanmıştır. Xiong ve Cheng [54] yaptıkları çalışmada ağırlıklı UTASTAR (WUTASTAR) yöntemini önermiş ve önerdikleri yöntemi tedarikçi değerlendirme probleminde uygulamışlardır. Ghaderi, Ruiz ve Agell [55] UTASAR yöntemini baz alan ve tekdüze olmayan fayda fonksiyonlarının kullanılabilceği yeni bir yaklaşım önermişler ve bu yaklaşımlarını renk seçimi konusunda uygulamışlardır. Makui ve Momeni [56], klasik veri zarflama analizinin (DEA) karar vericinin alternatifler üzerindeki etkisini dikkate almadığını belirterek, yaptıkları çalışmada CSW (Common Set of Weights) modelinden yararlanarak DEA ve UTASTAR yöntemlerini bir arada kullanmışlardır.

### 3. MALZEME TAŞIMA EKİPMANI SEÇİMİ

Rekabetin hızla arttığı günümüzde firmalar için zaman ve maliyet kavramı çok daha önemli hale gelmektedir. Üretim yapan bir firmanın direkt üretim için harcadığı zaman ve maliyet kadar malzeme elleçleme sürecinde harcadığı zaman ve maliyet de çok önemlidir. Malzeme elleçleme malzemelerin bir ekipmana yüklenmesi, bu ekipman vasıtasıyla lokasyonlar arası taşınması ve ilgili lokasyona gelindiğinde malzemenin ekipmandan indirilmesi süreçlerini kapsar.

Firmalar daha az maliyet ve zaman harcayarak müşterilerine çok daha iyi hizmet vermeyi ve rakipleri arasında yok olup gitmeden daha da gelişerek büyümeyi hedefler. Bu hedefler dikkate alındığında da önemli bir maliyet kalemi olan ve zaman açısından süreçleri etkileyen malzeme elleçleme süreçlerinin doğru kurulması öne çıkar. Malzeme elleçleme sürecinin en önemli ögesi süreçte kullanılan ekipmanlardır.

Ekipman piyasası incelendiğinde çok çeşitli malzeme taşıma ekipmanı olduğu görülmektedir. Ekipman çeşitliliği arttıkça seçim kriterleri de çeşitlenmektedir. Ekipman seçiminde birden fazla kriter göz önünde bulundurulduğunda ekipman seçimi, ÇKKV problemi şeklinde değerlendirilebilir.

Bu tez çalışmasında proje bazlı taahhüt işleri yapan bir firma için bir çeşit malzeme taşıma ekipmanı olan mobil vinç seçimi problemi üzerine çalışılmıştır.

Konuyla ilgili literatür incelendiğinde; malzeme taşıma ekipmanı seçimi süreciyle ilgili birçok çalışma yapıldığı ve ekipman seçiminde farklı farklı yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür.

Yılmaz ve Dağdeviren [16], ekipman seçiminde PROMETHEE ve B-PROMETHEE yöntemlerinin kullanılmasıyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada ekipman seçimi; genellikle birbirine benzeyen birçok ekipmanın arasından en doğru seçimi gerektiren, içerisinde çok sayıda kriter barındıran karmaşık karar verme problemi olarak tanımlanmıştır. Uygulama olarak gaz altı kaynak makinesi seçimi problemi ele alınmıştır. Problem çözümü için öncelikle alternatifler ve kriterler belirlenmiş, karar hiyerarşisi oluşturulmuştur. Sonrasında AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. AHP yönteminin ardından PROMETHEE metodu ve bulanık PROMETHEE metotları uygulanmıştır, PROMETHEE ve B-PROMETHEE sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan



kıyaslama sonucunda B-PROMETHEE metodunun uygulamasıyla ulaşılan sonuçların karar vericiler için daha uygun olduğu ve bu sonuçların karar vericileri daha çok etkilediği görülmüştür.

Yılmaz ve Dağdeviren bir başka çalışmalarında [17] ise B-PROMETHEE yöntemi ile 0-1 tam sayılı hedef programlama yaklaşımını kullanmıştır.

Onut, Kara ve Mert [57], malzeme taşıma ekipmanı seçiminde Bulanık Analitik Ağ Süreci (B-ANP) ve Bulanık TOPSIS (B-TOPSIS) metotlarını kullanmıştır. Çalışmada öncelikle nitel ve nicel kriterler içeren bir anket hazırlanmış, hazırlanan anket karar vericilere uygulanmıştır. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde B-ANP yöntemi, ideal çözüme en yakın alternatif sıralamasında da B-TOPSIS metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucu, aynı veriler ile daha önceden de yapılan ve kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında B-AHP yöntemi kullanılan çalışmanın sonucu ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre B-ANP yöntemi, B-AHP yöntemine göre daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Sharma, Soni ve Patidar [32], malzeme taşıma ekipmanlarının iş süresini ve üretim maliyetini etkilediğini belirtmiş, bu nedenle malzeme taşıma ekipmanı seçiminin önemli olduğunu vurgulamıştır. Ekipman seçimi sürecinde AHP metodunu kullanmıştır.

Yurdakul ve İpek [58], taşımadan kaynaklı maliyetlerin imalat maliyetlerinin %13-40'ını oluşturduğunu ve bu nedenle de günümüzde malzeme taşıma cihazı seçiminin önem kazandığını vurgulamıştır. Yapılan çalışmada malzeme taşıma sistemi seçimi için karar destek sistemi önerilmiştir. Önerilen karar destek programında 2 aşamalı soru sorulmaktadır. İlk aşamada genel sorular sorularak taşıt tipi belirlenmekte, ikinci aşamada ise ilk aşamada belirlenen taşıt tipine özel sorular sorularak malzeme taşıma ekipmanı seçimi yapılmaya çalışılmaktadır. Son olarak kullanıcının talebine göre ekonomik analiz, AHP veya TOPSIS uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

Momani ve Ahmed [59] yaptıkları çalışmada malzeme taşıma ekipmanı seçiminde Monte Carlo simülasyonu ile AHP metodunu birlikte kullanarak hibrit bir model uygulamışlardır. Monte Carlo simülasyonun kullanılması karar vericinin tercihlerinde rassal değişkenler kullanılmasını sağlamıştır. Rassal değişkenlerin kullanılmasıyla sonuçların güvenilirliği de artmıştır.

Chamzini ve Shariati [60] ekipman seçimindeki belirsizliklerden dolayı problemlerin çözümünde bulanık yöntemler kullanmanın kaçınılmaz olduğunu vurgulamışlardır. Yaptıkları çalışmada kriter ağırlıklarını bulmak için B-AHP yöntemini, alternatiflerin önceliklendirilmesinde ise B-TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları vaka çalışmasında önerdikleri yöntemleri kullanarak 3 alternatif için öncelik sıralaması belirlemişlerdir.

Tuzkaya, Gülsün, Kahraman ve Özgen [61], malzeme taşıma ekipmanı seçiminde entegre olarak birçok ÇKKV yönteminden faydalanmıştır. Bulanık ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş, B-PROMETHEE yaklaşımı ile de alternatifler değerlendirilmiştir.

Rossi, Bertoloni, Fenaroli, Marciano ve Alberti [62], yaptıkları çalışmada manuel malzeme taşıma ekipmanı seçimini konu almışlar ve AHP'yi baz alan yeni geliştirdikleri bir metodun uygulamasını yapmışlardır.

Temiz ve Çalış [63], ÇKKV yöntemlerinden AHP ve PROMETHEE yöntemleri ile iş makinesi seçimi yapmıştır. Teknik özellikler, satın alma fiyatı gibi kriterler göz önünde bulundurmışlardır.

Han, Hasan, Bouferguene, Hussein ve Kosa [64], yaptıkları çalışmada taahhüt şantiyeleri için vinç seçimi konusunu ele almış ve seçim için karar destek modeli geliştirmişlerdir.

Chamzini ve Yakhcali [65], inşaat sektöründe önemli bir yere sahip olan tünel delme makinesi seçimi için B-AHP ve B-TOPSIS metotlarından faydalanmıştır. B-AHP yöntemi ile belirlenen ağırlıklar B-TOPSIS yönteminde kullanılmıştır.

Karande ve Chakraborty [48] yaptıkları çalışmada uygun bir malzeme taşıma ekipmanı seçiminin karmaşık bir süreç olduğundan bahsetmiş ve seçim problemini ÇKKV problemi olarak tanımlamıştır. Malzeme taşıma ekipmanı seçiminde nicel ve nitel kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bazı kriterler düşük değerlerinde tercih edilirken (yararlı olmayan) bazı kriterler yüksek değerlerinde tercih ediliyor (yararlı) olabilir. Yapılan çalışmada saatlik sabit maliyet, saatlik değişken maliyet, hız, genişlik gibi kriterler doğrultusunda WUTA metodu kullanılarak konveyör seçimi yapılmıştır. Kriterlerin yararlı ve yararlı olmayan olarak sınıflandırılması yapılmıştır. Marjinal fayda ve toplam fayda fonksiyonları hesaplanarak alternatifler sıralanmıştır.

## 4. METODOLOJİ

Tez çalışması kapsamında AHP ve UTASTAR yöntemleri üzerine çalışılmıştır. Tez kapsamında bu metotlar kullanılarak mobil vinç seçim süreci değerlendirilmiştir.

Karar vericiler çoğu zaman problem ile ilgili sabit değerli kesin yargılarda bulunamaz veya bulunmak istemez. Karar verme sürecinin belirsiz ve bulanık doğası gereği karar verici belirli aralıklar dahilinde yargıda bulunabilir, tercihlerini tam olarak belirtemeyebilir. Karar verme probleminde her kriterin değeri de her zaman sabit sayılarla ifade edilemeyebilir. Bu durumda kriter değerlerini aralıklı sayılar ile ifade etmek gerekir. Bu ve bunun gibi belirsiz durumlar da göz önünde bulundurularak UTASTAR metodu bulanık yaklaşım da dahil edilerek problem üzerinde yeniden uygulanmıştır.

UTASTAR yönteminde tek bir karar vericiden alınan veri yeterlidir, ancak AHP yöntemi için konuyla ilgili şirket çalışanlarına alternatifler ve kriterler bazında hazırlanan anketler verilmiştir. Anket sonuçları değerlendirilmiş ve AHP çözümünde bu veri kullanılmıştır. Uygulama kısmının en son bölümünde ise, tek bir karar vericinin tercih sıralamasını Bulanık UTASTAR (B-UTASTAR) yöntemi için girdi olarak kullanmak yerine, sonuçları tutarlı bulunan AHP uygulamasının sıralaması kullanılmıştır.

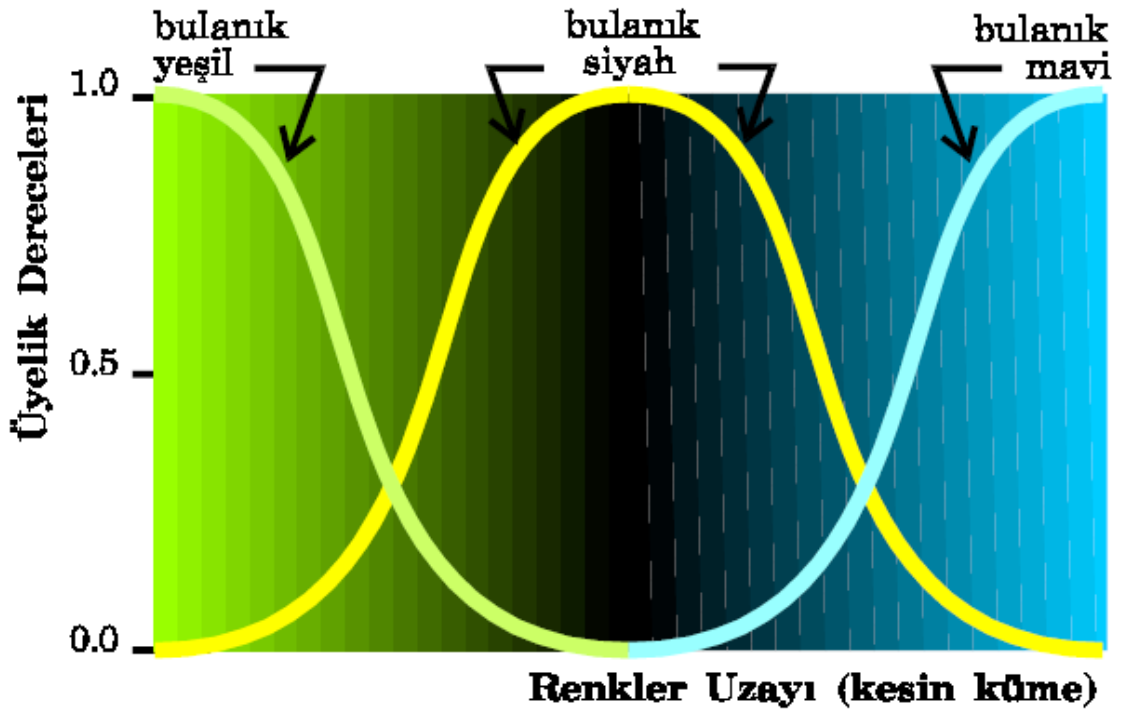
Tezin bu bölümünde, kullanılan yöntemler ile ilgili daha detaylı bilgi verilecek ve formülasyonlar açıklanacaktır.

Tezde kullanılan metotların uygulamaları Microsoft Excel ve Java yazılımındaki kodlar ile gerçekleştirilmiştir.

### 4.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Sayılar

#### 4.1.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme

Bulanık mantık ve bulanık küme süreçleri 1965 yılında Zadeh [66] tarafından literatüre kazandırılmıştır. Altaş [67], bulanık küme kavramının anlaşılabilmesi için öncelikle bulanıklık kavramının iyi bir şekilde anlaşılması, kavranması gerektiğini belirtmiş ve bulanıklık kavramını Şekil 4.1.1.1'de verilen ara renkler ile anlatmıştır.



Şekil 4.1.1.1. Bulanık Renk Kümeleri [67]

Şekil 4.1.1.1’de yeşil, siyah ve mavi renk kümesindeki üç renk bölgesi de kesin bir renk tonuna sahip değildir. Yeşil renk sağa doğru gidildikçe koyulaşmakta ve siyaha dönmekte (bu bölgenin yeşil bulanık kümesine ait olma derecesi sağa doğru gidildikçe azalmaktadır.), mavi renk ise sola doğru gidildikçe koyulaşmakta ve siyaha dönmektedir. Bu durumda bu üç renk bölgesini bulanık kümeler ile ifade etmek daha doğru olacaktır. Siyah ve mavi tonlarının hakim olduğu sağ kısmın yeşil bulanık kümesinde hiçbir bağlantısı (üyeliği) yokken, yeşil ve siyah tonlarının hakim olduğu sol kısmın da mavi bulanık kümesinde üyeliği yoktur.

Altaş’ın renk kümeleri ile daha anlaşılır hale getirmeye çalıştığı bulanık küme Zadeh [66] tarafından ait olma (devamlı üyelik) derecelerine sahip elemanları olan bir küme olarak tanımlanmıştır. Bulanık küme, her üyesini 0 ile 1 arasında değişkenlik gösteren üyelik derecesi olan bir fonksiyon ile nitelendirir. Kümenin dışında kalan elemanların üyelik değeri 0 iken, küme içindeki (küme tam dahil olan) elemanların üyelik değeri 1’dir. Kümeye tam dahil olmayan ancak küme içinde bulunan belirsiz elemanların üyelik değerleri ise kümeye dahil olma derecelerine göre 0-1 arasında değişir. Bulanık olmayan kümelerde eleman kümeye ya dahildir ya da değildir. Kümeye dahil olan eleman 1 değerini alırken küme dışındaki eleman 0 değerini alır.

#### 4.1.2. Bulanık Sayılar ve Aritmetik İşlemler

Bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Bu durumda üyelik fonksiyonu olarak farklı farklı fonksiyonlar (üçgen, yamuk, çan, gaussian, vb.) kullanılabilir [67]. Bulanık sayılar ile ilgili literatür araştırması yapıldığında üçgen ve yamuk fonksiyonların daha yaygın kullanıldığı görülmektedir [68]. Bulanık kümeler ile yapılan işlemlerde kolaylık sağlamak adına bulanık sayılar kullanılır [69]. Bu tez çalışmasında kriterlerin değerleri bulanık sayılar ifade edilecektir. Tezde ele alınan kriterlerin değerlerinin aralıkları çok büyük değildir. Dolayısıyla yamuksal sayı kullanılmasının çok uygun olmayacağı düşünülmüştür. Bu durumdan ve üçgensel bulanık sayıların matematiksel işlemlerinin daha rahat uygulanabilir olmasından dolayı tez çalışmasında üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır.

X evrensel kümesindeki A bulanık kümesi 4.1.1 eşitliğinde belirtildiği gibi tanımlanır [70].

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X, \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (4.1.1)$$

Bu tanımlamadaki  $\mu_A(x)$  üyelik fonksiyonunu ifade eder.

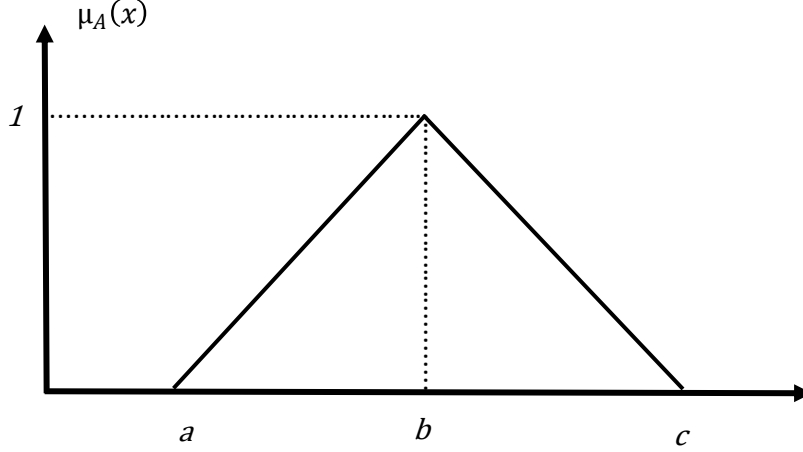
Üçgensel bulanık sayının gösterimi genellikle  $(a, b, c)$  şeklindedir [71]. Burada  $a < b < c$  koşulu sağlandığından üyelik fonksiyonu  $(a,b]$  aralığında 0'dan 1'e doğru artış gösterirken,  $[b,c)$  aralığında 1'den 0'a doğru azalış gösterir [70].

Üyelik fonksiyonu  $b$  noktasında 1 değerini ( $\mu_A(b) = 1$ ) alırken,  $a$  ve  $c$  noktalarında 0 değerini ( $\mu_A(a) = \mu_A(c) = 0$ ) alır.

Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonunun matematiksel formülasyonu 4.1.2 eşitliğindeki gibidir [70].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & x \in (a,b) \\ \frac{c-x}{c-b}, & x \in [b,c) \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (4.1.2)$$

Üçgensel bulanık sayıların üyelik fonksiyonu iki doğrusal parçanın oluşturduğu bir üçgen şeklindedir ve grafiksel olarak Şekil 4.1.2.1’de gösterildiği gibi ifade edilir [70].



Şekil 4.1.2.1. Üçgensel Bulanık Sayının Üyelik Fonksiyonu [70]

Bulanık sayıların aritmetik işlemleri için literatürde farklı metodolojiler vardır ve genellikle çarpım işlemi hakkında farklı düşünceler bulunmaktadır [70]. Konuyla ilgili Kaufman ve Gupta’nın [72] önerdiği metodoloji daha sık kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da bu metodoloji kullanılmıştır.

$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$  ve  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3)$  şeklinde tanımlanan,  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$  ‘ün gerçekte sayılar olduğu iki üçgen bulanık sayının aritmetiksel işlemleri 4.1.3, 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6 ve 4.1.7 eşitliklerindeki gibi olmaktadır [70]:

- Toplama

$$\tilde{A} \oplus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \oplus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3) \quad (4.1.3)$$

- Çıkarma

$$\tilde{A} \ominus \tilde{B} = (a_1, a_2, a_3) \ominus (b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1) \quad (4.1.4)$$

- Skaler bir sayı ile çarpım

$$k \otimes \tilde{A} = k \otimes (a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} (k * a_1, k * a_2, k * a_3), & k > 0 \\ (k * a_3, k * a_2, k * a_1), & k < 0 \end{cases} \quad (4.1.5)$$

- Bulanık sayı ile çarpım (çapraz çarpım)

$$(a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = \begin{cases} (a_1 * b_1, a_2 * b_2, a_3 * b_3), & a_1 > 0 \\ (a_1 * b_3, a_2 * b_2, a_3 * b_3), & a_1 < 0, a_3 \geq 0 \\ (a_1 * b_3, a_2 * b_2, a_3 * b_1), & a_3 < 0 \end{cases} \quad (4.1.6)$$

- Tersini alma

$$(a_1, a_2, a_3)^{-1} = \left( \min\left(\frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_3}\right), \frac{1}{a_2}, \max\left(\frac{1}{a_1}, \frac{1}{a_3}\right) \right), \quad a_1 \neq 0, a_2 \neq 0, a_3 \neq 0 \quad (4.1.7)$$

### 4.1.3. Bulanık Sayıların Karşılaştırılması

Kesin sayıların kıyaslanması rahatlıkla yapılabilirken söz konusu bulanık sayılar olduğunda kıyaslama süreci biraz daha farklı olmaktadır. Literatürde bulanık sayıların sıralanması ile ilgili çokça çalışma bulunmaktadır.

Sun ve Wu [73], üçgen veya yamuk bulanık sayıların sıralanması için bulanık simulasyon analizi kullanmıştır. Nejad ve Mashinchi [74], bulanık sayıların sağ ve sol kısımlarındaki alanları baz alan bir sıralama yöntemi önermiştir. Önerdikleri metot üçgensel, yamuksal veya başka herhangi bulanık sayılar için kullanılabilir. Deng [75], ideal çözümü baz alan yeni bir yaklaşım önermiştir. Quiupeng ve Zuxing [76], yaptıkları çalışmada tüm bulanık sayılar için kullanılacak yeni bir yaklaşımdan bahsetmişlerdir ve bu yeni yaklaşımı olasılık teorisi üzerine kurmuşlardır.

Bu tez çalışmasında Roubens [77] tarafından üçgensel bulanık sayılar için kullanışlı ve iyi sonuç veren bir çözüm olan eşitlik 4.1.8'de ifade edilen sıralama fonksiyonu kullanılmıştır.

$$R(a) = \frac{a_1 + 4a_2 + a_3}{2}, \quad (a_1, a_2, a_3) \text{ üçgensel bulanık sayı.} \quad (4.1.8)$$

## 4.2. Analitik Hiyerarşi Süreci

AHP’de ilk aşama olarak problemin tanımlanması gerekmektedir. AHP, insan beyninin çalışma mekanizmasına çok benzer şekilde çalışmaktadır. Çok kriterli bir karar verme sürecinde insan beyni öncelikli olarak ikili kıyaslamalar üzerine çalışır. AHP de aynı şekilde ikili kıyaslamalara yer verir.

AHP temelde 3 mantığa dayanmaktadır [28]. Bunlardan ilki çift taraflı olma mantığıdır. X elemanı Y’nin 6 katı büyüklüğünde ise Y elemanı da X’in 1/6’sı büyüklüğündedir. İkinci olarak AHP, karşılaştırılan elemanların birbiri arasında çok büyük farkların olmaması gerektiğini ifade eder. Üçüncü mantık ise; bir kademede ki yargıların/kararların başka bir kategorideki yargıları etkilememesi, kademeler arası yargıların birbirinden farklı olmasıdır.

AHP yöntemi ile çözülecek bir karar verme probleminde uygulanması gereken işlemler aşağıda sırasıyla anlatılmış ve formüller ile açıklanmıştır [29].

### Adım 1: Problem tanımı

Problem tanımı yapılabilmesi için alternatiflerin ve kriterlerin ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Tezde alternatif sayısı “ $m$ ”, kriter sayısı da “ $n$ ” ile ifade edilecektir. Sonucu etkileyecek olan seçim kriterlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi çok önemlidir. Doğru belirlenmemiş kriterler ikili karşılaştırmaların tutarlılığını olumsuz etkileyebilir. Tezde üzerinde çalışılan problem 10 alternatif ve 7 kriterden oluşmaktadır.

### Adım 2: Kriterler arası kıyas matrisinin oluşturulması

Kriter sayısı  $n$  olduğundan kriterler arası kıyas matrisi  $n \times n$  boyutunda kare matristir. A kriterlerin karşılaştırılması matrisi eşitlik 4.2.1’deki gibidir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & \dots & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & \dots & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & \dots & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.2.1)$$

Matrisin köşegeni üzerindeki (her kriterin kendisiyle kıyaslanması durumu) bileşenler 1 değerini alır. Önem değerlerine göre karşılıklı kriter kıyası yapılır. Kriterlerin öncelik



derecelerinin belirlenmesi için bir ölçeğe ihtiyaç vardır. Analitik hiyerarşi yöntemi için Saaty'nin geliştirdiği ve literatüre kazandırdığı göreceli ölçek kullanılır. Bu ölçeğe Çizelge 4.2.1'de yer verilmiştir.

Çizelge 4.2.1. AHP Yöntemi Tercih Ölçeği [3]

| Önem Derecesi | Tanım                                      | Açıklama   |
|---------------|--|--|
| 1             | Eşit önem                                  | İki faaliyet amaca eşit düzeyde katkıda bulunur.   |
| 3             | Birinin diğerine göre çok az önemli olması | Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre çok az derecede tercih ettirir.                     |
| 5             | Kuvvetli derecede önemli                   | Tecrübe ve yargı bir faaliyeti diğerine göre çok az derecede tercih ettirir.                     |
| 7             | Çok kuvvetli düzeyde önemli                | Bir faaliyet güçlü bir şekilde tercih edilir ve baskınlığı uygulamada rahatlıkla görülür.        |
| 9             | Aşırı derecede önemli                      | Bir faaliyetin diğerine tercih edilmesine ilişkin kanıtlar çok büyük bir güvenilirliğe sahiptir. |
| 2,4,6,8       | Ara değerler                               | Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasına düşen değerlerdir.              |

A karşılaştırma matrisini biraz daha anlaşılır şekilde anlatmak gerekirse; birinci kriterin ikinci kritere göre karşılaştırmasını yapan bir kişi matrisin birinci satır ikinci sütündeki ( $i = 1, j = 2$ ) hücrelerini belirleyecektir. Birinci kriter ile ikinci kriter arasındaki skala için karar vericinin sadece  $a_{12}$  hücrelerini doldurması yeterlidir. Ters durumda (ikinci kriterin birinci kritere göre karşılaştırması yapılırken) zaten  $a_{21}$  hücreleri otomatik olarak dolacaktır. Çünkü bu hücredeki skala  $a_{12}$  hücrendeki skalanın tersi olacaktır. Örneğin;  $a_{12} = 3$  ise  $a_{21} = 1/3$  olacaktır.

Karşılaştırmalar sadece matrisin köşegen üstündeki kısmı için yapılır. Köşegenin altında kalan hücrelerin değerleri 4.2.2 eşitliği ile hesaplanır.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (4.2.2)$$

### Adım 3: Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi

İkinci adımda belirlenen kıyas matrisi kriterlerin birbirine göre önem seviyesini gösterir. Ancak kriterlerin bütün kriterler içindeki ağırlıklarını belirlemek gerekmektedir. Bunun için kıyas/karşılaştırma matrisinin sütun vektörleri kullanılır. Kriter sayısı  $n$  olduğundan,  $n$  adet  $n$  bileşenli bir vektör oluşturulur. Bu vektör ve vektör bileşenleri 4.2.3 eşitliğindeki gibidir.

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \dots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (4.2.3)$$

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ji}}$$

4.2.3 eşitliğindeki formüller her kriter için yapıldığında  $n$  adet  $B$  vektörü elde edilir. Bu vektörler yan yana eklenerek 4.2.4 eşitliğindeki  $C$  matrisi elde edilir.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & \dots & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & \dots & \dots & c_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \dots & \cdot \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & \dots & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.2.4)$$

Kriterlerin yüzde önem dağılımlarını elde etmek için  $C$  matrisi kullanılır. Öncelik vektörüne ulaşmak için  $C$  matrisinin satır elemanlarının aritmetik ortalaması alınır.  $W$  öncelik vektörünün formülü 4.2.5 eşitliğinde verildiği gibidir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (4.2.5)$$

$W$  sütun vektörü de eşitlik 4.2.6'daki gibi ifade edilir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.2.6)$$

**Adım 4:** Her bir kriter için alternatif noktalarındaki yüzde önem dağılımlarının hesaplanması

Üçüncü adımda kriterlerin kendi aralarındaki ağırlıkları hesaplanmıştı. Bu aşamada da her kriter için alternatiflerin ağırlıkları belirlenir. Bunun için kıyas/karşılaştırma süreci ve matris işlemleri kriter sayısı kadar tekrarlanır. Daha basit bir şekilde ifade edilirse; alternatiflerin her biri her kriter için birer birer karşılaştırılır. Bu durumda elde edilen matrisler  $m \times m$  boyutunda olacaktır. Her karşılaştırma işleminin ardından  $m \times 1$  boyutunda, değerlendirilen kriterin alternatifler üzerindeki ağırlığını gösteren S sütun vektörü 4.2.7 eşitliği kullanılarak elde edilir.

$$S_i = [s_{ji}]_{m \times 1} \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m \quad (4.2.7)$$

**Adım 5:** Alternatiflerin sonuç dağılımının hesaplanması

n tane  $m \times 1$  boyutundaki S vektörlerinin bir araya getirilmesiyle  $m \times n$  boyutlu K karar matrisi oluşturulur.

$$K = [s_{ij}]_{m \times n} \quad (4.2.8)$$

K matrisi W öncelik matrisi ile çarpılarak alternatiflerdeki yüzde dağılımlar elde edilmiş olur.

$$[s_{ij}]_{m \times n} \times [w_i]_{n \times 1} \quad (4.2.9)$$

Analitik hiyerarşi sürecinin temel aşamaları yukarıda anlatılan 5 adımdır. Ancak kriter karşılaştırmalarında karar vericinin kıyaslamalarının tutarlı olup olmadığı da test edilmeli ve gerekiyorsa tüm süreç en baştan yeniden işlemelidir. Tutarlılık analizi için öncelikle  $A \times W = D$  şeklinde sütun vektörü hesaplanır.

D sütun vektörünün W öncelik vektörünün karşılıklı elemanlarının birebir bölünmesiyle her kritere ilişkin E temel değerine ulaşılır. E değerlerinin aritmetik ortalaması da  $\lambda$  değerini verir. E ve  $\lambda$  hesaplamaları için 4.2.10 ve 4.2.11 eşitlikleri kullanılır.

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad i=1,2,\dots,n \quad (4.2.10)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (4.2.11)$$

$\lambda$ 'nın hesaplanmasının ardından 4.2.12 eşitliği kullanılarak ile CI tutarlılık indeksi hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4.2.12)$$

Tutarlılık analizinin son aşaması olarak  $CR = CI/RI$  formülü ile CR değerine ulaşılır. RI değerleri Saaty tarafından tespit edilerek tablo haline getirilmiştir. Bu tablo Çizelge 4.2.2'deki gibidir. CR değeri 0,10'dan küçük ise matrisler tutarlıdır.  $CR > 0,10$  ise matrislerde tutarsızlık bulunmaktadır. Bu durum yapılan kıyaslamada mantık hatası olabileceğini ifade eder. Böyle bir durum ile karşılaşırsa, ikili kıyas matrisleri aşamasına geri dönülüp kıyaslamaların dikkatli bir şekilde yeniden yapılması sağlanmalıdır.

Çizelge 4.2.2. RI Değerleri [3]

| Kriter Sayısı (n) | Rassal Indeks (RI) |
|-------------------|--------------------|
| 2                 | 0                  |
| 3                 | 0,52               |
| 4                 | 0,89               |
| 5                 | 1,11               |
| 6                 | 1,25               |
| 7                 | 1,35               |
| 8                 | 1,4                |
| 9                 | 1,45               |
| 10                | 1,49               |
| 11                | 1,51               |
| 12                | 1,48               |
| 13                | 1,56               |

Karar verme problemlerinde her zaman tek karar verici mekanizma olmayabilir. Bazı durumlarda birden fazla kişiden veri alınır. Böyle durumlarda karar vericilerden ayrı ayrı alınan karar matrisleri tek bir matris haline getirilmeli ve AHP aşamalarına bu tek matris üzerinden devam edilmelidir. Bu tarz durumlarda geometrik ortalama kullanılır [7].

Aritmetik ortalama kullanılmamasının sebebi, aritmetik ortalamanın aralıklardan etkilenmesi durumunun olabilmesidir. Tez çalışmasına konu olan problem için alanında uzman kişilere anket yapılmıştır. Dolayısıyla karar verici birden fazladır ve tüm matrisleri tek matrise çevirmek için geometrik ortalama kullanılmıştır.

### 4.3. Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci

Karar verme problemi ister klasik olsun ister bulanık amacı en iyi karara ulaşmaktır [78]. Analitik hiyerarşi süreci ikili karşılaştırmalarda gerçek sayıları kullanır ve bu durum sıklıkla eleştirilmektedir. Nitel kriterlerin gerçek sayılar ile ifade ediliyor olması karar vericileri zorlamakta ve subjektif sonuçlara neden olmaktadır [69]. Bu durumda Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci (B-AHP) tercih edilir.

B-AHP modeli literatürde sıklıkla yer almış ve farklı problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Aydın [78], hastane yeri seçimi için bu metodu kullanırken, Ertuğrul ve Karakaşoğlu [79] bir işletmeye bilgisayar seçmek için bu metottan yararlanmıştır. Kaptanoğlu ve Özok [71], akademik performans değerlendirme için, Dağdeviren [69] de personel seçimi için B-AHP modelini kullanmıştır.

B-AHP modeline de klasik AHP modelindeki gibi kriter ve alternatiflerin doğru bir şekilde tanımlanması ile başlanır ve karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ile devam edilir. Bu çalışmadaki karşılaştırma matrisleri Çizelge 4.3.1'de [78] belirtildiği şekilde oluşturulmuştur. Matrisler klasik AHP modelindeki gibi gerçek sayılardan oluşmayacak, belirtilen bulanık sayılardan oluşacaktır.

$\tilde{a}_{ij} = (a_i, b_i, c_i)$  şeklinde ifade edilen bir bulanık değerlendirme için metodoloji kısmında yer verilen bulanık sayıların özelliklerinden yararlanılarak  $\tilde{a}_{ji} = \frac{1}{\tilde{a}_{ij}} = \left(\frac{1}{c_i}, \frac{1}{b_i}, \frac{1}{a_i}\right)$  şeklinde tanımlanır. Burada  $i$  karşılaştırma matrisinin satırını,  $j$  de sütununu ifade eder.

Çizelge 4.3.1. Bulanık Önem Derecesi ve Bulanık Karşıt Önem Derecesi [78]

| Önem Derecesi | Bulanık Önem Derecesi | Bulanık Karşıt Önem Derecesi |
|---------------|-----------------------|------------------------------|
| 1             | (1, 1, 1)             | (1, 1, 1)                    |
| 2             | (1/2, 3/4, 1)         | (1, 4/3, 2)                  |
| 3             | (2/3, 1, 3/2)         | (2/3, 1, 3/2)                |
| 4             | (1, 3/2, 2)           | (1/2, 2/3, 1)                |
| 5             | (3/2, 2, 5/2)         | (2/5, 1/2, 2/3)              |
| 6             | (2, 5/2, 3)           | (1/3, 2/5, 1/2)              |
| 7             | (5/2, 3, 7/2)         | (2/7, 1/3, 2/5)              |
| 8             | (3, 7/2, 4)           | (1/4, 2/7, 1/3)              |
| 9             | (7/2, 4, 9/2)         | (2/9, 1/4, 2/7)              |

Literatürde birçok bulanık AHP yöntemi bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında Chang [80] tarafından geliştirilen derece yöntemine yer verilmiştir. Bu yöntemde  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  kriterler kümesi ve  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$  amaç kümesi olmak üzere her kriter amacı gerçekleştirecek şekilde düşünülür. Böylelikle hedeflere ilişkin  $M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m$  şeklinde m tane analiz değeri elde edilmiş olur.  $M_{gi}^j$  değerleri üçgensel bulanık sayılar olarak ifade edilir.

B-AHP'nin adımlarında kullanılan formüller 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6 ve 4.3.7 eşitliklerinde sırasıyla belirtilmiştir.

**Adım 1:** i kriterine ilişkin bulanık büyüklük değeri belirlenir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (4.3.1)$$

$(l_i, m_i, u_i)$  üçgensel bulanık bir sayı olmak üzere  $S_i$  formülündeki hesaplamalar 4.3.2 ve 4.3.3 eşitliklerine göre yapılır.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \left( \sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (4.3.2)$$

$$\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{j=1}^m u_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m m_j}, \frac{1}{\sum_{j=1}^m l_j} \right) \quad (4.3.3)$$

**Adım 2:** Eşitlik 4.3.4 kullanılarak W ağırlık vektörü hesaplanır.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (4.3.4)$$

W vektörü W' vektörünün normalleştirilmesi ile elde edilen bir vektördür.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (4.3.5)$$

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k), k = 1, 2, \dots, n \text{ ve } k \neq i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.3.6)$$

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  ve  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  üçgen bulanık sayıları olmak üzere  $V(M_1 \geq M_2)$  ve  $V(M_2 \geq M_1)$  değerleri hesaplanır ve  $M_1, M_2$  sayıları kıyaslanır.

$$V(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1, & m_1 \geq m_2 \\ 0, & l_2 \geq u_1 \\ \frac{l_2 - u_2}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)}, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad (4.3.7)$$

#### 4.4. İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda

UTASTAR yöntemi UTA metodundan geliştirilen ve doğrusal programlama teknikleri kullanan bir yöntemdir. Bu bölümde aksi belirtilmedikçe Siskos'un [37] çalışmaları referans alınacak ve UTASTAR metodunun işlem basamakları anlatılmıştır.

- UTA metodunda öncelikle  $A_R$  referans seti ve  $g$  kriter seti oluşturulur. Referans seti aslında alternatifleri ifade eder. Alternatif sayısının m, kriter sayısının n olduğu problemin referans seti " $A_R = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ " şeklinde ifade edilir.

Alternatifler en iyiden en kötüye doğru sıralanır. En iyi (en çok tercih edilen) alternatif  $a_1$  en kötü (en az tercih edilen) alternatif de  $a_n$  şeklinde ifade edilir.

Kriter seti de " $g = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ " şeklinde belirtilir.

$i$  kriteri  $[g_{i*}, g_i^*]$  aralığında değerler alır.  $i$  kriterinin en iyi değeri  $g_i^*$ ,  $i$  kriterinin en kötü değeri de  $g_{i*}$  şeklinde ifade edilir. Bazı kriterlerin faydası kriter değeri arttıkça artarken, bazı kriterlerin değeri arttıkça fayda değeri azalır. Örneğin; fiyat kriterinin değeri arttıkça faydası azalır. Dolayısıyla fiyat kriterinin en düşük değeri kriterin en iyi değeridir.

- Fayda fonksiyonları ile tercih arasında bir bağlantı vardır.

$$u[g(a)] > u[g(b)] \leftrightarrow aPb \text{ (a, b'ye tercih edilir)}$$

$$u[g(a)] = u[g(b)] \leftrightarrow aIb \text{ (a ile b arasında tercih açısından fark yoktur)}$$

- UTA metodunda global fayda fonksiyonu 4.4.1 eşitliğindeki gibi elde edilir. Global fayda toplanabilir formdadır.

$$u(g) = \sum_{i=1}^n u_i(g_i) \quad (4.4.1)$$

$i = 1, 2, \dots, n$  ve  $u_i(g_i), g_i$  kriterinin alternatif üzerindeki fayda fonksiyonu

- $u_i(g_i)$  fonksiyonları azalmayan, 0 ile 1 arasında normalize edilmiş fonksiyonlardır. Bu nedenle 4.4.1 eşitliğindeki formüle normalizasyon kısıtı eklenmelidir. Eşitlik 4.4.2'de  $g_i^*$  kriterin en iyi değerini,  $g_{i*}$  de kriterin en kötü değerini ifade eder.

$$\sum_{i=1}^n u_i(g_i^*) = 1 \quad (4.4.2)$$

$$u_i(g_{i*}) = 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$$

- Her marjinal fayda fonksiyonu sürekli ve parçalı doğrusal fonksiyon olarak varsayılır. Bu nedenle  $[g_{i*}, g_i^*]$  aralığındaki  $i$  kriterinin değerleri  $(\alpha_i - 1)$  eşit aralığa bölünür. Her aralığın uç noktasındaki değerler  $g_i^j$  şeklinde ifade edilir. Bu ifade  $i$  kriterinin  $j$  aralığındaki uç noktasını belirtir.

$$g_i^j = g_{i*} + \frac{j-1}{\alpha_i-1} \times [g_i^* - g_{i*}], \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (4.4.3)$$

- $a$  alternatifinin  $i$  kriterindeki marjinal değeri doğrusal interpolasyon sayesinde hesaplanır.



$$u_i[g_i(a)] = u_i[g_i^j] + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} \times [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)], \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (4.4.4)$$

- Toplanabilir model öncelik kriterleri dikkate alındığında her bir alternatifin fayda fonksiyonu 4.4.5 eşitliğindeki gibi tanımlanır. UTA metodunda tek hata değişkeni kullanılırken, UTASTAR metodunda tahminin altında ve tahminin üstünde olan iki farklı hata değişkeni kullanılır.

$$u'[g(a)] = \sum_{i=1}^n u_i [g_i(a)] - \sigma^+(a) + \sigma^-(a), \quad \forall a \in A_R \quad (4.4.5)$$

- En iyiden ( $a_1$ ) en kötüye ( $a_m$ ) en kötüye doğru sıralanan alternatifler arasındaki ardışık fayda farkları 4.4.6 eşitliğindeki gibi hesaplanır.

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = u'[g(a_k)] - u'[g(a_{k+1})], \forall k = 1, 2, \dots, m \quad (4.4.6)$$

- Alternatifler arasındaki ardışık global fayda fonksiyonları arasındaki fayda farkları eşitlik 4.4.7'deki kriterleri sağlamalıdır. Bu formüllerdeki  $\delta$  değeri, pozitif küçük bir sayıdır.

$$\begin{aligned} \Delta(a_k, a_{k+1}) &> \delta, \quad \text{if } a_k > a_{k+1} \\ \Delta(a_k, a_{k+1}) &= 0, \quad \text{if } a_k \sim a_{k+1} \end{aligned} \quad (4.4.7)$$

- Kriterlerin belirlenen aralıklardaki uç değerleri  $w_{ij}$  değişkeni kullanılarak eşitlik 4.4.8'deki gibi ifade edilir.

$$w_{ij} = u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) \geq 0, \forall i = 1, 2, \dots, n \text{ ve } \forall j = 1, 2, \dots, (\alpha_i - 1) \quad (4.4.8)$$

- Fayda fonksiyonları yazıldıktan sonra esas problem her kriterin fayda fonksiyonlarını (katsayılarını) hesaplamaktır. Hesaplanan katsayılar ile alternatiflerin fayda değerleri bulunup sıralandığında en başta karar vericiden alınan sıralama ile uyumlu bir sıralama elde edilmesi beklenmektedir. Marjinal ve global fayda değerlerini hesaplayabilmek için 4.4.9 eşitliğindeki doğrusal program modeli yazılır ve çözülür. Bu doğrusal programda hata fonksiyonları toplamı modelde belirtilen kısıtlar altında en küçüklenir.

$$[min]z = \sum_{k=1}^m \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)$$

*Kısıtlar*

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) > \delta, \quad a_k > a_{k+1}$$

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = 0, \quad a_k \sim a_{k+1}$$

$$u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j) > 0$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\alpha_i-1} w_{ij} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0, \forall i, j, k \quad (4.4.9)$$

UTASTAR metodunun algoritması aşağıda sırasıyla verilen 5 adımda özetlenebilir.

1. Alternatifler en iyi alternatif en başta en kötü alternatif en sonda olacak şekilde yeniden sıralanır ( $a_1 > a_2 > \dots > a_m$ ). Sıralamada eşit derece verilen  $a_k \sim a_{k+1}$  alternatifler de olabilir ancak bu durumun çok fazla olması sonuçları olumsuz etkileyebilir.
2. Alternatiflerin global fayda fonksiyonları öncelikle marjinal değerler bazında, sonrasında da  $w_{ij}$  değişkenleri bazında yazılır.

$$u(g) = \sum_{i=1}^n u_i(g_i) \quad (4.4.10)$$

$$u_i[g_i(a)] = u_i[g_i^j] + \frac{g_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} \times [u_i(g_i^{j+1}) - u_i(g_i^j)], \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (4.4.11)$$

$$u_i(g_i^1) = 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (4.4.12)$$

$$u_i(g_i^j) = \sum_{t=1}^{j-1} w_{it}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \text{ ve } \forall j = 2, 3, \dots, (\alpha_i - 1) \quad (4.4.13)$$

3. İlk adımda belirlenen sıraya göre ardışık alternatifler arasındaki fayda farkları, hata fonksiyonları ile birlikte yazılır.

$$\begin{aligned}
\Delta(a_k, a_{k+1}) &= u'[g(a_k)] - u'[g(a_{k+1})] \\
&= u[g(a_k)] - \sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k) - u[g(a_{k+1})] + \sigma^+(a_{k+1}) \\
&\quad - \sigma^-(a_{k+1})
\end{aligned} \tag{4.4.14}$$

4. Eşitlik 4.4.15'deki doğrusal programlama modeli çözülür.

$$[\min]z = \sum_{k=1}^m (\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k))$$

*Kısıtlar*

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) > \delta, \quad a_k > a_{k+1}$$

$$\Delta(a_k, a_{k+1}) = 0, \quad a_k \sim a_{k+1}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\alpha_i-1} w_{ij} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0, \delta \text{ küçük pozitif bir sayı} \quad \forall i, j, k \tag{4.4.15}$$

5. Son aşamada 4. Adımdaki doğrusal programlama modelinin çözümünden ulaşılan optimal değere yakın değerlerde başka çözüm/çözümler olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bu aşamada birden fazla çözüm bulunursa; bulunan bu çözümlerin ortalaması alınarak sonuca ulaşılır.

Bu aşamada eşitlik 4.4.16'deki amaç fonksiyonuna sahip doğrusal program modelinin çözülmesi gerekmektedir.

$$\begin{aligned}
[\max]u_i(g_i^*) &= \sum_{j=1}^{\alpha_i-1} w_{ij} \quad \forall i \\
&= 1, 2, \dots, n
\end{aligned} \tag{4.4.16}$$

Bir önceki adımdaki doğrusal programın kısıtlarına ek olarak eşitlik 4.4.17'deki kısıt da doğrusal programın kısıtlarına dahil edilir.

$$\sum_{k=1}^m (\sigma^+(a_k) + \sigma^-(a_k)) \leq z^* + \varepsilon,$$

$$z^* \text{ bir önceki adımın optimal çözümü, } \varepsilon \text{ küçük pozitif bir sayı} \tag{4.4.17}$$

#### 4.5. Bulanık İkili Hata Fonksiyonlu Toplanabilir Fayda

UTASTAR metodunun bulanık metot ile birlikte kullanıldığı ilk çalışma Patiniotakis, Apostolou ve Mentzas [70] tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı; UTASTAR metodunda bulanık skorlar kullanarak bulanık fayda fonksiyonları oluşturabilmektir. UTASTAR metodunda sabit sayılar ile ifade edilebilen kriterler ile birlikte kesin ve sabit olarak ifade edilemeyen bulanık sayıları da kullanmışlardır.

Bulanık UTASTAR yöntemi, problemin kesin sayılarla ifade edilemediği belirsiz durumlarda bulanık sayıları probleme dahil edebilmek için klasik UTASTAR metodunun geliştirilmesiyle oluşturulan toplanabilir fayda yöntemidir [70].

Karar verici klasik UTASTAR metoduna girdi olarak verdiği alternatiflerin sıralamasını bulanık UTASTAR için de aynı şekilde verir. Sonuçta bulunan fayda değerleri ile karar vericinin ilk verdiği karar sıralamasına mümkün oldukça fazla uyum sağlayan bir sıralama bulunmak istenir. Bulanık UTASTAR yönteminde fayda fonksiyonlarının katsayısı bulanık sayılar olacaktır, dolayısıyla alternatiflerin fayda değerleri bulanık fayda değerlerinden meydana gelecektir.

Orijinal UTASTAR metodunda kullanılan tüm parametlerin bulanık karşılıkları vardır.  $\delta$  ve  $\varepsilon$  değerleri de bulanık sayılar ile ifade edilebilmektedir. Sadece alternatiflerin sıralaması ve kriter değerlerinin bölüdüğü aralık sayısı bulanık değildir. Dolayısıyla bu iki durum için klasik UTASTAR metodundaki eşitlikler/formüller kullanılabilir. [70]

Bulanık UTASTAR algoritmasının adımları klasik UTASTAR yönteminden çok farklı değildir. Söz konusu bulanık sayılar olduğunda bazı hesaplamalarda değişiklik olmaktadır. Bulanık UTASTAR algoritmasının aşamaları aşağıda sırasıyla verilmiştir. Eşitliklerde hangi parametrelerin/sayıların bulanık olduğunu ifade edebilmek adına bulanık sayılar için “~” ibaresi kullanılacaktır.

1. UTASTAR metodundaki ilk adım ile aynıdır. Bu sıralamada eşit derece verilen  $(a_k \sim a_{k+1})$  alternatifler de olabilir ancak bu durumun çok fazla olması sonuçları olumsuz etkileyebilir.
2. Alternatiflerin global fayda fonksiyonları öncelikle marjinal değerler bazında, sonrasında da  $\tilde{w}_{ij}$  değişkenleri bazında yazılır.

$$\tilde{u}_i[\tilde{g}_i(a)] = \sum_{k=1}^{q-1} \tilde{w}_{ik} + \frac{\tilde{g}_i(a) - g_i^j}{g_i^{j+1} - g_i^j} \times \tilde{w}_{iq}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (4.5.1)$$

3. İlk adımda belirlenen sıraya göre ardışık alternatifler arasındaki fayda farkları, hata fonksiyonları ile birlikte yazılır.

$$\begin{aligned} \tilde{\Delta}(a_k, a_{k+1}) &= \tilde{u}[g(a_k)] - \tilde{u}[g(a_{k+1})] \\ &= \tilde{u}[g(a_k)] - \tilde{\sigma}^+(a_k) + \tilde{\sigma}^-(a_k) - \tilde{u}[g(a_{k+1})] + \tilde{\sigma}^+(a_{k+1}) \\ &\quad - \tilde{\sigma}^-(a_{k+1}) \end{aligned} \quad (4.5.2)$$

4. Tüm hata fonksiyonlarının toplamını minimize etmeyi amaçlayan 4.5.3 eşitliğindeki doğrusal program çözülür. Bu doğrusal programdaki eşitlikler ve eşitsizlikler bulanıktır. A alternatifi, B alternatifine tercih ediliyorsa; bu iki alternatif arasındaki bulanık fark  $\delta$ 'dan büyük veya  $\delta$ 'ya eşit olmalıdır. Alternatifler arasında herhangi bir tercih sırası yok, iki alternatif de karar vericiye göre sıralamada aynı dereceye sahipse; alternatif fayda değerleri arasındaki bulanık fark 0'a eşittir.

$$[\min] \tilde{F} = \sum_{k=1}^m (\tilde{\sigma}^+(a_k) + \tilde{\sigma}^-(a_k))$$

*Kısıtlar*

$$\tilde{\Delta}(a_k, a_{k+1}) > \tilde{\delta}, \quad a_k > a_{k+1}$$

$$\tilde{\Delta}(a_k, a_{k+1}) = \tilde{0}, \quad a_k \sim a_{k+1}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{\alpha_i} \tilde{w}_{ij} = 1$$

$$\tilde{w}_{ij} \geq 0, \tilde{\sigma}^+(a_k) \geq 0, \tilde{\sigma}^-(a_k) \geq 0, \tilde{\delta} \text{ küçük pozitif bir sayı} \quad \forall i, j, k \quad (4.5.3)$$

Bu adımdaki doğrusal program modelinin çözümü için bulanık doğrusal programı çözen uygun bir metot kullanılmalıdır. Literatürde bununla ilgili birçok yöntem vardır. Örneğin; Gasimov ve Yenilmez [81] bu konuyla ilgili 2002 yılında bir çalışma yaparken, Gani ve Assarudeen [82] de 2012 yılında bir çalışma yapmıştır. Bu tez çalışmasında Kumar ve Kaur [83] tarafından önerilen bulanık doğrusal program çözüm metodu kullanılmıştır. Bu metot bulanık doğrusal eşitlikleri 3 ayrı

kesin eşitlik olarak yazar. Bulanık ifadeleri bu şekilde kesin ifadelere dönüştürdükten sonra doğrusal programlama modeline yeni kısıtlar ekler. Bulanık ifadelerin hepsi kesin ifadelere dönüştürüldüğünde, doğrusal program uygun herhangi bir metot ile çözülebilir. Bu tez çalışmasında Simplex metodu kullanılmıştır.

Kesin ifadelere dönüştürülüp çözülen doğrusal programlama modelinden elde edilen sonuçlar bulanık formda yazıldığında bulanık katsayılarla, dolayısıyla bulanık fayda değerlerine ulaşılır.

5. Son aşamada 4. Adımdaki doğrusal program modelinin çözümünden ulaşılan optimal değere yakın değerlerde başka çözüm/çözümler olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bu aşamada birden fazla çözüm bulunursa; bulunan bu çözümlerin ortalaması alınarak sonuca ulaşılır.

B-UTASTAR algoritmasında bu aşama için kullanılacak olan doğrusal program klasik UTASTAR algoritmasındaki doğrusal program ile benzerdir. B-UTASTAR'da kullanılan doğrusal program, klasik UTASTAR'daki doğrusal programdan farklı olarak bulanık parametreler ve eşitlikler/eşitsizlikler içerir.

## 5. UYGULAMALAR

Tezin bu bölümünde malzeme taşıma ekipmanı seçimi sürecinde yapılan işlemler ve uygulamalara yer verilmiştir.

Çalışmada proje tabanlı taahhüt işleri yapan bir firma için malzeme taşıma ekipmanı seçimi problemi ele alınmıştır. Mobil vinç, firmada sıklıkla kullanılan ve satın alınması gereken bir çeşit malzeme taşıma ekipmanıdır. Bu çalışmada şirketin makine ikmal müdürü ve makine ikmal bölümündeki diğer uzman kişiler ile birlikte belirlenen temel kriterlere uygun 10 mobil vinç alternatifinin seçimi üzerine çalışılmıştır.

Bu 10 alternatif, konusunda uzman makine ikmal mühendisleri ile görüşülerek 30-40 ton kapasiteye sahip mobil vinçler arasından belirlenmiştir.

Seçim aşamasında büyük rolü olan kriterler de uzman kişilerin görüşleri alınarak, uzman kişiler ile birlikte belirlenmiştir. Bu çalışmada sırasıyla aşağıdaki 7 kriter kullanılmıştır.

- K1: Minimum bom uzunluğu (m)
- K2: Maksimum bom uzunluğu (m)
- K3: Maksimum yükleme açısı ( $^{\circ}$ )
- K4: Motor gücü (kW)
- K5: Maksimum hız (km/s)
- K6: Toplam ağırlık (kg)
- K7: Fiyat (\$)

Alternatifler A1, A2, ..., A10 şeklinde ifade edilmiştir.

Her bir alternatifin her bir kriterde aldığı değerler, vinç katalogları kullanılarak bulunmuştur. Fiyat kriteri için de bu vinçleri satan firmalardan ve satınalma bölümü çalışanlarından bilgi alınmıştır.

Alternatif ve kriter belirlenmesi sürecinden sonra ilgili alternatiflerin seçimi için sırasıyla AHP, B-AHP, UTASTAR ve B-UTASTAR metotları kullanılmıştır. Bu bölümde bu metotların uygulaması anlatılmıştır.

## 5.1. AHP Yönteminin Uygulaması

AHP yönteminin ilk aşamasına göre, problem m=10 alternatif ve n=7 kriterden oluşmaktadır.

İkinci adım ve sonrasındaki aşamaların tamamlanması için öncelikle konusunda uzman 10 kişiye anket uygulanmıştır. Anket Makine İkmal Müdürlüğü personelleri ve konuyla ilgili satınalma personeline uygulanmıştır. Anket yapılmadan önce kişilere tüm kriterler ve alternatifler anlatılmış, önem derecesi skalaları ve anlamları kişiler ile ayrıca paylaşılmıştır. Anket sırasında anlaşılmayan konularda anketi dolduran katılımcılara yani karar vericilere yardımcı olunmuştur. Bir karar vericinin bazı anket sorularına verdiği cevaplara EK-1'de yer verilmiştir. Karar vericilerin anketlere verdikleri cevaplar düzenlendikten sonra, her karar vericinin kıyaslama matrisleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. AHP yönteminin uygulanabilmesi için tek bir matris kullanılması gerektiği için, karar vericilerin anket sorularına verdikleri cevapları tek bir matriste toplamak gerekmektedir. Bunun için her karar vericinin cevaplarından oluşturulan kıyaslama matrislerinin geometrik ortalaması alınarak tek matris üzerinden çalışmaya devam edilmiştir.

Anket sonuçları neticesinde elde edilen kriter-kriter kıyaslama matrisi elde edilmiştir.

$$A = \begin{matrix} K1 \\ K2 \\ K3 \\ K4 \\ K5 \\ K6 \\ K7 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0,48 & 1,15 & 0,34 & 1,15 & 1,14 & 0,18 \\ 2,09 & 1 & 4,70 & 3,30 & 4,32 & 2,78 & 0,87 \\ 0,87 & 0,21 & 1 & 0,76 & 2,29 & 1,41 & 0,34 \\ 2,93 & 0,30 & 1,32 & 1 & 2,35 & 3,35 & 0,37 \\ 0,87 & 0,23 & 0,44 & 0,43 & 1 & 0,63 & 0,29 \\ 0,88 & 0,36 & 0,71 & 0,30 & 1,59 & 1 & 0,21 \\ 5,47 & 1,15 & 2,93 & 2,71 & 3,5 & 4,70 & 1 \end{bmatrix}$$

A matrisinin sütun vektörleri kullanılarak yüzde önem dağılımları belirlenmiştir. Bunun için 4.2.3 ve 4.2.4 eşitlikleri kullanılarak C matrisi elde edilmiştir.

$$C = \begin{matrix} K1 \\ K2 \\ K3 \\ K4 \\ K5 \\ K6 \\ K7 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,07 & 0,13 & 0,09 & 0,04 & 0,07 & 0,08 & 0,06 \\ 0,15 & 0,27 & 0,38 & 0,37 & 0,27 & 0,19 & 0,27 \\ 0,06 & 0,06 & 0,08 & 0,09 & 0,14 & 0,09 & 0,10 \\ 0,21 & 0,08 & 0,11 & 0,11 & 0,15 & 0,22 & 0,11 \\ 0,06 & 0,06 & 0,04 & 0,05 & 0,06 & 0,04 & 0,09 \\ 0,06 & 0,10 & 0,06 & 0,03 & 0,10 & 0,07 & 0,07 \\ 0,39 & 0,31 & 0,24 & 0,31 & 0,22 & 0,31 & 0,31 \end{bmatrix}$$



4.2.5 ve 4.2.6 formülleri kullanılarak hesaplanan W hesaplanmıştır.

$$W = \begin{matrix} K1 \\ K2 \\ K3 \\ K4 \\ K5 \\ K6 \\ K7 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,08 \\ 0,27 \\ 0,09 \\ 0,14 \\ 0,06 \\ 0,07 \\ 0,30 \end{bmatrix}$$

Her bir kriter için alternatif değerlendirmelerinin yapıldığı 10\*10'luk matrisler hazırlandıktan sonra S vektörleri 4.2.7 formülüne göre, bu S sütun vektörlerinden oluşan 10\*7 boyutundaki K matrisi de 4.2.8 formülüne göre hesaplanmıştır.

$$K = \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \\ A7 \\ A8 \\ A9 \\ A10 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,20 & 0,05 & 0,04 & 0,05 & 0,06 & 0,09 & 0,08 \\ 0,09 & 0,02 & 0,07 & 0,06 & 0,06 & 0,09 & 0,11 \\ 0,17 & 0,04 & 0,20 & 0,26 & 0,20 & 0,16 & 0,29 \\ 0,06 & 0,21 & 0,20 & 0,24 & 0,27 & 0,13 & 0,18 \\ 0,11 & 0,03 & 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,10 & 0,07 \\ 0,05 & 0,07 & 0,13 & 0,07 & 0,12 & 0,07 & 0,02 \\ 0,13 & 0,10 & 0,09 & 0,08 & 0,03 & 0,09 & 0,07 \\ 0,05 & 0,09 & 0,04 & 0,04 & 0,05 & 0,07 & 0,03 \\ 0,08 & 0,23 & 0,10 & 0,11 & 0,11 & 0,14 & 0,09 \\ 0,05 & 0,16 & 0,08 & 0,06 & 0,05 & 0,07 & 0,05 \end{bmatrix}$$

K matrisi ile W sütun vektörü 4.2.9 eşitliğindeki gibi çarpılmış ve alternatiflerin yüzde dağılımları hesaplanmıştır.

$$K * W = \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \\ A7 \\ A8 \\ A9 \\ A10 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0,07220 \\ 0,06931 \\ 0,18859 \\ 0,18856 \\ 0,05846 \\ 0,06337 \\ 0,08680 \\ 0,053339 \\ 0,13302 \\ 0,086631 \end{bmatrix}$$

Alternatiflerin yüzde dağılımları büyükten küçüğe doğru sıralandığında “**A3 > A4 > A9 > A7 > A10 > A1 > A2 > A6 > A5 > A8**” şeklinde bir tercih sırası elde edilmiştir. Bu

sıralama elde edildiğinde AHP sürecinin temel adımları tamamlanmış olmakla birlikte, karar vericilerden alınan cevapların (kıyas matrislerinin) kendi içinde tutarlı olup olmadığını test etmek gerekmektedir. Bunun için 4.2.10, 4.2.11 ve 4.2.12 eşitlikleri kullanılmıştır.

Kriter-kriter kıyas matrisi için tutarlılık analizi yapılırken kriter sayısı 7 olduğu için RI değeri olarak 1.35; her bir kriter bazında alternatiflerin kıyas matrisleri için tutarlılık analizi yapılırken alternatif sayısı 10 olduğundan RI değeri olarak 1,49 alınmıştır.

Tutarlılık analizi sonuçları Çizelge 5.1.1’de gösterilmiştir. AHP sonuçlarının kabul edilebilir olması için, tutarlılık analizi sonucunda elde edilen CR değerinin en fazla 0,10 olması gerekmektedir. Çizelge 5.1.1’de görüldüğü gibi bu duruma engel bir sonuç ile karşılaşılmemiştir, dolayısıyla kıyas matrisleri tutarlıdır.

Çizelge 5.1.1. AHP Yöntemi Tutarlılık Analizi

|           | Kriter - Kriter | K1<br>Alt.-Alt. | K2<br>Alt.-Alt. | K3<br>Alt.-Alt. | K4<br>Alt.-Alt. | K5<br>Alt.-Alt. | K6<br>Alt.-Alt. | K7<br>Alt.-Alt. |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| n         | 7               | 10              | 10              | 10              | 10              | 10              | 10              | 10              |
| RI        | 1,35            | 1,49            | 1,49            | 1,49            | 1,49            | 1,49            | 1,49            | 1,49            |
| $\lambda$ | 7,30            | 10,60           | 10,94           | 10,66           | 11,38           | 10,72           | 10,27           | 11,33           |
| CI        | 0,05            | 0,07            | 0,10            | 0,07            | 0,15            | 0,08            | 0,03            | 0,15            |
| CR        | 0,04            | 0,04            | 0,07            | 0,05            | 0,10            | 0,05            | 0,02            | 0,10            |

## 5.2. B-AHP Yönteminin Uygulaması

Mobil vinç seçimi aşamasındaki kesin olmayan bulanık durumlar da çözüme dahil edilmek istendiğinden AHP yöntemi bulanık mantık ile desteklenerek yeniden çözülmüştür. AHP ve B-AHP metodunun çözümünden ulaşılan sonuçlardan uygun olanı B-UTASTAR metodunda girdi olarak kullanılacaktır.

Klasik AHP yönteminde olduğu gibi B-AHP yönteminde de sürece alternatif ve kriterlerin belirlenmesi ile başlanmıştır. Karşılaştırma matrisi oluşturma aşamasında ise karar vericilerden alınan önem dereceleri Çizelge 4.3.1 kullanılarak üçgensel bulanık sayılar ile ifade edilen önem derecelerine çevrilmiştir. Bulanık AHP uygulamasında, karar vericilerden alınan cevaplar medyan kullanılarak tek matris haline getirilmiştir.

4.3.1, 4.3.2 ve 4.3.3 eşitlikleri kullanılarak bu kriter-kriter karşılaştırma matrisi için bulanık hesaplamalar yapılmış ve 5.2.1 eşitliğindeki  $M_{gi}^j$  değerlerine ulaşılmıştır.

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^1 = (6,35; 7,83; 9,57)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^2 = (12,67; 15,00; 17,50)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^3 = (8,35; 9,83; 11,57)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^4 = (8,95; 11,33; 13,90)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^5 = (3,21; 3,83; 5,03)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^6 = (3,44; 4,17; 5,30)$$

$$\sum_{i=1}^7 M_{gi}^7 = (15,00; 18,00; 21,00)$$

$$\left[ \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 M_{gi}^j \right] = (57,97; 70,00; 83,87) \quad (5.2.1)$$

W ağırlık vektörünün hesaplanabilmesi için öncelikle V olabilirlik değerleri 4.3.7 formülüne göre hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 5.2.1’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.2.1. Olabilirlik Değerleri

|                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| $V(M1 \geq M2) = 1,2962$ | $V(M2 \geq M1) = 1$      | $V(M3 \geq M1) = 1$      |
| $V(M1 \geq M3) = 1,0631$ | $V(M2 \geq M3) = 1$      | $V(M3 \geq M2) = 1,2334$ |
| $V(M1 \geq M4) = 1,2286$ | $V(M2 \geq M4) = 1$      | $V(M3 \geq M4) = 1,1648$ |
| $V(M1 \geq M5) = 1$      | $V(M2 \geq M5) = 1$      | $V(M3 \geq M5) = 1$      |
| $V(M1 \geq M6) = 1$      | $V(M2 \geq M6) = 1$      | $V(M3 \geq M6) = 1$      |
| $V(M1 \geq M7) = 0$      | $V(M2 \geq M7) = 1,1056$ | $V(M3 \geq M7) = 1,3354$ |
| $V(M4 \geq M1) = 1$      | $V(M5 \geq M1) = 1,3086$ | $V(M6 \geq M1) = 1,3118$ |
| $V(M4 \geq M2) = 1,0689$ | $V(M5 \geq M2) = 0$      | $V(M6 \geq M2) = 0$      |
| $V(M4 \geq M3) = 1$      | $V(M5 \geq M3) = 0$      | $V(M6 \geq M3) = 0$      |
| $V(M4 \geq M5) = 1$      | $V(M5 \geq M4) = 0$      | $V(M6 \geq M4) = 0$      |
| $V(M4 \geq M6) = 1$      | $V(M5 \geq M6) = 0,9968$ | $V(M6 \geq M5) = 1$      |
| $V(M4 \geq M7) = 1,1744$ | $V(M5 \geq M7) = 0$      | $V(M6 \geq M7) = 0$      |
| $V(M7 \geq M1) = 1$      | $V(M7 \geq M3) = 1$      | $V(M7 \geq M5) = 1$      |
| $V(M7 \geq M2) = 1$      | $V(M7 \geq M4) = 1$      | $V(M7 \geq M6) = 1$      |

4.3.4, 4.3.5 ve 4.3.6 eşitlikleri kullanılarak d değerleri ve W ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Kriter ağırlıkları,  $W = (0;0,25;0,25;0,25;0;0;0,25)$  şeklinde bulunmuştur.

Kriter-Kriter karşılaştırma matrisi için yapılan işlemler alternatiflerin her bir kriter bazında kıyaslandığı 7 matris için de ayrı ayrı uygulanmış ve Çizelge 5.2.2’de görülen ağırlık tablosuna ulaşılmıştır. Bu tablodaki yüzde dağılımları büyükten küçüğe doğru sıralandığında “**A4 > A3 > A9 > A2 > A6 > A10 > A7 > A8 > A1 > A5**” şeklinde bir tercih sıralaması elde edilmiştir.

Çizelge 5.2.2. Alternatif Yüzde Dağılımları

|            | <b>K1</b> | <b>K2</b> | <b>K3</b> | <b>K4</b> | <b>K5</b> | <b>K6</b> | <b>K7</b> | <b>Yüzde Dağılımı</b> |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| <b>A1</b>  | 0,2006    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0000    | 0,1203    | 0,0000    | <b>0,0000</b>         |
| <b>A2</b>  | 0,2006    | 0,0000    | 0,1473    | 0,0000    | 0,0000    | 0,1022    | 0,2500    | <b>0,0993</b>         |
| <b>A3</b>  | 0,2006    | 0,0000    | 0,1473    | 0,5000    | 0,3333    | 0,0868    | 0,2500    | <b>0,2243</b>         |
| <b>A4</b>  | 0,0000    | 0,1667    | 0,1473    | 0,5000    | 0,3333    | 0,1203    | 0,2500    | <b>0,2660</b>         |
| <b>A5</b>  | 0,2006    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0000    | 0,1203    | 0,0000    | <b>0,0000</b>         |
| <b>A6</b>  | 0,0000    | 0,1667    | 0,1473    | 0,0000    | 0,3333    | 0,0759    | 0,0000    | <b>0,0785</b>         |
| <b>A7</b>  | 0,1975    | 0,1667    | 0,1270    | 0,0000    | 0,0000    | 0,1203    | 0,0000    | <b>0,0734</b>         |
| <b>A8</b>  | 0,0000    | 0,1667    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0581    | 0,0000    | <b>0,0417</b>         |
| <b>A9</b>  | 0,0000    | 0,1667    | 0,1473    | 0,0000    | 0,0000    | 0,1203    | 0,2500    | <b>0,1410</b>         |
| <b>A10</b> | 0,0000    | 0,1667    | 0,1364    | 0,0000    | 0,0000    | 0,0753    | 0,0000    | <b>0,0758</b>         |

### 5.3. UTASTAR Yönteminin Uygulaması

UTASTAR yönteminin uygulanması için tek karar vericinin alternatifleri önceliklerine göre tercih sırasına koyması yeterlidir. Bu tez çalışmasında UTASTAR yöntemine girdi olacak tercih sıralaması şirketin ekipman alımında da sorumlu olan Makine İkmal Müdürü'nden alınmıştır. Karar vericinin sıralaması Çizelge 5.3.1'de verilmiştir. Alternatif 9 ve Alternatif 10 karar verici için aynı derecede önceliklendirilmiş ve 2. sıraya koyulmuştur. Tek karar vericinin sıralaması, AHP uygulaması sonucunda elde edilen sıralamadan farklıdır.

Çizelge 5.3.1. Karar Vericinin Tercih Sıralaması

| Alternatifler | Karar Vericinin Sıralaması |
|---------------|----------------------------|
| A1            | 6                          |
| A2            | 5                          |
| A3            | 4                          |
| A4            | 3                          |
| A5            | 8                          |
| A6            | 7                          |
| A7            | 1                          |
| A8            | 9                          |
| A9            | 2                          |
| A10           | 2                          |

UTASTAR yönteminin uygulanabilmesi için gerekli olan ilk aşama alternatiflerin tercih önceliğine göre en yüksekte en düşüğe doğru yeniden sıralanmasıdır.

Bu sıralama “ $A7 > A10 \sim A9 > A4 > A3 > A2 > A1 > A6 > A5 > A8$ ” şeklindedir ve “ $(a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, a_9, a_{10}) = (A7, A10, A9, A4, A3, A2, A1, A6, A5, A8)$ ” şeklinde ifade edilir.

UTASTAR yönteminin uygulanması için gerekli ikinci temel gereklilik ise belirlenen kriterlerin hangilerinin fayda sağlayan (kriter değerinin artışı iyidir.), hangilerinin fayda sağlanamayan (kriter değerinin azalışı iyidir.) kriter olduğunu belirlenmesidir. Bu tez çalışmasında kullanılan kriterlerin sınıflandırması Çizelge 5.3.2'deki gibidir. “Maliyet tipi” olarak ifade edilen kriterlerin değeri arttıkça faydası azalırken, “Fayda tipi” olarak ifade edilen kriterlerin değeri arttıkça faydası artmaktadır.

Kriter değerleri ekipman katalogları kullanılarak bulunmuştur. Fiyat kriteri için de tedarikçilerle iletişime geçilmiş ve şirketin satınalma personellerinden bilgi alınmıştır.

Çizelge 5.3.2. Kriterlerin Fayda Durumları

| <b>Kriter</b> | <b>Fayda Durumu</b> |
|---------------|---------------------|
| K1            | Maliyet tipi        |
| K2            | Fayda tipi          |
| K3            | Fayda tipi          |
| K4            | Fayda tipi          |
| K5            | Fayda tipi          |
| K6            | Maliyet tipi        |
| K7            | Maliyet tipi        |

Kriterlerin maliyet veya fayda tipli olarak sınıflandırılmasının ardından kriter değerlerinin eşit aralıklara bölünmesi gerekmektedir. Bunun için her kriterin en iyi ve en kötü ( $g_i^*$  ve  $g_{i*}$ ) değerleri belirlenip, 4.4.3 eşitliği kullanılarak kriter değerlerinin aralıklardaki uç değerleri hesaplanmıştır. Uç değerlerin hesaplanması için kullanılan  $\alpha_i$  değerleri ve sonuçlar Çizelge 5.3.3'te gösterildiği gibidir. Bu çizelgedeki veriye 4.4.3 eşitliği uygulandığında her kriterin en kötü değerinin fayda değerinin 0 olduğu görülmektedir. Bu değerlere Çizelge 5.3.4'de yer verilmiştir.

Çizelge 5.3.3. Kriter Değerlerinin Eşit Aralıklara Bölünmesi

|            | <b>K1</b> | <b>K2</b> | <b>K3</b> | <b>K4</b> | <b>K5</b> | <b>K6</b> | <b>K7</b> |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>A1</b>  | 8,8       | 29        | 76        | 119       | 40        | 27400     | 148750    |
| <b>A2</b>  | 9,8       | 27,4      | 78        | 108       | 39        | 27800     | 100000    |
| <b>A3</b>  | 9,1       | 28,6      | 80        | 158,2     | 50        | 27200     | 50000     |
| <b>A4</b>  | 12        | 32        | 80        | 165       | 57        | 25660     | 80000     |
| <b>A5</b>  | 9,2       | 28,7      | 76        | 97        | 39,5      | 25370     | 147000    |
| <b>A6</b>  | 9,7       | 31        | 81        | 175       | 50        | 27590     | 200000    |
| <b>A7</b>  | 9,1       | 30,1      | 78        | 119       | 30        | 24620     | 115000    |
| <b>A8</b>  | 9,8       | 31        | 76        | 122       | 40        | 28780     | 190000    |
| <b>A9</b>  | 10        | 32        | 78        | 123,1     | 41,3      | 17600     | 90000     |
| <b>A10</b> | 10        | 31,5      | 78        | 119       | 37        | 32300     | 130000    |

| $g_1^*$    | $g_2^*$    | $g_3^*$    | $g_4^*$    | $g_5^*$    | $g_6^*$    | $g_7^*$    |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 8,8        | 32         | 81         | 175        | 57         | 17600      | 50000      |
| $g_{1*}$   | $g_{2*}$   | $g_{3*}$   | $g_{4*}$   | $g_{5*}$   | $g_{6*}$   | $g_{7*}$   |
| 12         | 27,4       | 76         | 97         | 30         | 32300      | 200000     |
| $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\alpha_3$ | $\alpha_4$ | $\alpha_5$ | $\alpha_6$ | $\alpha_7$ |
| 3          | 3          | 3          | 4          | 3          | 4          | 4          |

**j**

| 1 | $g_1^1$ | $g_2^1$ | $g_3^1$ | $g_4^1$ | $g_5^1$ | $g_6^1$ | $g_7^1$ |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|   | 12      | 27,4    | 76      | 97      | 30      | 32300   | 200000  |
| 2 | $g_1^2$ | $g_2^2$ | $g_3^2$ | $g_4^2$ | $g_5^2$ | $g_6^2$ | $g_7^2$ |
|   | 10,4    | 29,7    | 78,5    | 123     | 43,5    | 27400   | 150000  |
| 3 | $g_1^3$ | $g_2^3$ | $g_3^3$ | $g_4^3$ | $g_5^3$ | $g_6^3$ | $g_7^3$ |
|   | 8,8     | 32      | 81      | 149     | 57      | 22500   | 100000  |
| 4 |         |         |         | $g_4^4$ |         | $g_6^4$ | $g_7^4$ |
|   |         |         |         | 175     |         | 17600   | 50000   |

Çizelge 5.3.4. Kriterlerin En Kötü Değerlerinin Fayda Değerleri

|                                |
|--------------------------------|
| $u_1(g_1^1) = u_1(12) = 0$     |
| $u_2(g_2^1) = u_2(27,4) = 0$   |
| $u_3(g_3^1) = u_3(76) = 0$     |
| $u_4(g_4^1) = u_4(97) = 0$     |
| $u_5(g_5^1) = u_5(30) = 0$     |
| $u_6(g_6^1) = u_6(32300) = 0$  |
| $u_7(g_7^1) = u_7(200000) = 0$ |

Alternatiflerin sıralaması yeniden düzenlenip kriterler de eşit aralıklara bölüldükten sonra global fayda fonksiyonlarının yazılması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk

olarak marjinal fayda değerleri bazında global fayda fonksiyonları belirlenmiştir. Bunun için, 4.4.10 ve 4.4.11 eşitliklerinden yararlanılmış ve marjinal fayda değerleri cinsinden global fayda fonksiyonları bulunmuştur. 5.3.1 ve 5.3.2 eşitliklerinde sadece A1 ve A2 alternatiflerinin global fayda fonksiyonları gösterilmiştir. Diğer alternatifler için de aynı eşitlikler kullanılarak global fayda fonksiyonları elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}
 U(A1) &= U[g(A1)] \\
 &= u_1[g_1(A1)] + u_2[g_2(A1)] + u_3[g_3(A1)] + u_4[g_4(A1)] \\
 &\quad + u_5[g_5(A1)] + u_6[g_6(A1)] + u_7[g_7(A1)]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(A1) &= u_1(8,8) + 0,304 * u_2(27,4) + 0,696 * u_2(29,7) + u_3(76) + 0,154 * u_4(97) \\
 &\quad + 0,846 * u_4(123) + 0,259 * u_5(30) + 0,741 * u_5(43,5) + u_6(27400) \\
 &\quad + 0,975 * u_7(150000) + 0,025 * u_7(10000) \quad (5.3.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(A2) &= U[g(A2)] \\
 &= u_1[g_1(A2)] + u_2[g_2(A2)] + u_3[g_3(A2)] + u_4[g_4(A2)] \\
 &\quad + u_5[g_5(A2)] + u_6[g_6(A2)] + u_7[g_7(A2)]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(A2) &= 0,375 * u_1(8,8) + 0,625 * u_1(10,4) + u_2(27,4) + 0,8 * u_3(78,5) + 0,2 \\
 &\quad * u_3(76) + 0,423 * u_4(123) + 0,577 * u_4(97) + 0,666 * u_5(43,5) \\
 &\quad + 0,334 * u_5(30) + 0,918 * u_6(27400) + 0,082 * u_6(32300) \\
 &\quad + u_7(10000) \quad (5.3.2)
 \end{aligned}$$

Global fayda fonksiyonlarını  $w_{ij}$  değişkenleri cinsinden yazmak için 4.4.13 eşitliği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.3.5. Kriterlerin Marjinal Fayda Değeri Formülleri

|   |  |
|---|--|
| $u_1(g_1^2) = u_1(10,4) = w_{11}$         | $u_4(g_4^4) = u_4(175) = w_{41} + w_{42} + w_{43}$   |
| $u_1(g_1^3) = u_1(8,8) = w_{11} + w_{12}$ | $u_5(g_5^2) = u_5(43,5) = w_{51}$                    |
| $u_2(g_2^2) = u_2(29,7) = w_{21}$         | $u_5(g_5^3) = u_5(57) = w_{51} + w_{52}$             |
| $u_2(g_2^3) = u_2(32) = w_{21} + w_{22}$  | $u_6(g_6^2) = u_6(27400) = w_{61}$                   |
| $u_3(g_3^2) = u_3(78,5) = w_{31}$         | $u_6(g_6^3) = u_6(22500) = w_{61} + w_{62}$          |
| $u_3(g_3^3) = u_3(81) = w_{31} + w_{32}$  | $u_6(g_6^4) = u_6(17600) = w_{61} + w_{62} + w_{63}$ |
| $u_4(g_4^2) = u_4(123) = w_{41}$          | $u_7(g_7^2) = u_7(150000) = w_{71}$                  |
| $u_4(g_4^3) = u_4(149) = w_{41} + w_{42}$ | $u_7(g_7^3) = u_7(100000) = w_{71} + w_{72}$         |
|   | $u_7(g_7^4) = u_7(50000) = w_{71} + w_{72} + w_{73}$ |



Marjinal fayda fonksiyonları  $w_{ij}$  değişkenleri cinsinden yazıldıktan sonra global fayda fonksiyonları da  $w_{ij}$  değişkenleri cinsinden yazılabilir. Bunun için, marjinal fayda fonksiyonları cinsinden yazılan global fayda fonksiyonlarındaki marjinal fayda fonksiyonları yerine yukarıda hesaplanan  $w_{ij}$  değişkenleri cinsinden olan marjinal fayda fonksiyonları kullanılmıştır.

$w_{ij}$  değişkenleri cinsinden global fayda fonksiyonları eşitlik 5.3.3 ve 5.3.4'teki gibidir. Burada sadece A1 ve A2 alternatifleri için yapılan global fayda fonksiyonları gösterilmiştir. Diğer alternatifler için de aynı süreç uygulanmış ve tüm alternatiflerin global fayda fonksiyonları  $w_{ij}$  değişkenleri cinsinden yazılmıştır.

$$\begin{aligned}
 U(A1) &= U[g(A1)] \\
 &= w_{11} + w_{12} + 0,696 * w_{21} + 0,846 * w_{41} + 0,741 * w_{51} + w_{61} + w_{71} \\
 &\quad + 0,025 * w_{72} \qquad \qquad \qquad (5.3.3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(A2) &= U[g(A2)] \\
 &= w_{11} + 0,375 * w_{12} + 0,8 * w_{31} + 0,423 * w_{41} + 0,666 * w_{51} \\
 &\quad + 0,918 * w_{61} + w_{71} + w_{72} \qquad \qquad \qquad (5.3.4)
 \end{aligned}$$

Alternatiflerin tercih önceliğine göre yeniden sıralanması işlemi yapılmıştır. Global fayda fonksiyonları yazıldıktan sonra ardışık alternatifler arasındaki fayda farkının hesaplanması gerekmektedir. Bunun için, 4.4.14 eşitliği kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
 \Delta(a_1, a_2) &= \Delta(A7, A9) \\
 &= 0,563 * w_{12} - 0,826 * w_{22} - 0,154 * w_{41} - 0,004 * w_{42} - 0,837 \\
 &\quad * w_{51} - 0,43 * w_{62} - w_{63} - 0,3 * w_{72} - 0,2 * w_{73} - \sigma^+(a_1) + \sigma^-(a_1) \\
 &\quad + \sigma^+(a_2) - \sigma^-(a_2) \qquad \qquad \qquad (5.3.5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta(a_2, a_3) &= \Delta(A9, A10) \\
 &= 0,217 * w_{22} + 0,154 * w_{41} + 0,004 * w_{42} + 0,318 * w_{51} + w_{61} \\
 &\quad + w_{62} + w_{63} + 0,6 * w_{72} + 0,2 * w_{73} - \sigma^+(a_2) + \sigma^-(a_2) + \sigma^+(a_3) \\
 &\quad - \sigma^-(a_3) \qquad \qquad \qquad (5.3.6)
 \end{aligned}$$

5.3.5 ve 5.2.6 eşitliklerinde sadece ilk iki ardışık alternatifler arasındaki fayda farkı fonksiyonu yazılmıştır. Diğer ardışık alternatifler arasındaki fark fonksiyonları da aynı şekilde hesaplanmıştır.

Ardışık alternatifler arasındaki fayda farkları da hesaplandıktan sonra 4.4.15 eşitliğindeki doğrusal program modeli  $\delta = 0.01$  için çözülmüştür. Doğrusal program modelinin çözümü için Excel Solver kullanılmıştır. Tez çalışmasına konu olan 10 alternatif 7 kriterden oluşan problem için yazılan doğrusal program modeli Çizelge 5.3.6’de verilmiştir.

Çizelge 5.3.6. UTASTAR Doğrusal Program Modeli

$$[min]z = \sigma^+(a_1) + \sigma^-(a_1) + \sigma^+(a_2) + \sigma^-(a_2) + \sigma^+ + \sigma^+(a_3) + \sigma^-(a_3) \\ + \sigma^+(a_4) + \sigma^-(a_4) + \sigma^+(a_5) + \sigma^-(a_5) + \sigma^+(a_6) + \sigma^-(a_6) \\ + \sigma^+(a_7) + \sigma^-(a_7) + \sigma^+(a_8) + \sigma^-(a_8) + \sigma^+(a_9) + \sigma^-(a_9) \\ + \sigma^+(a_{10}) + \sigma^-(a_{10})$$

*Kısıtlar*

$$\Delta(a_1, a_2) > 0,01$$

$$\Delta(a_2, a_3) = 0$$

$$\Delta(a_3, a_4) > 0,01$$

$$\Delta(a_4, a_5) > 0,01$$

$$\Delta(a_5, a_6) > 0,01$$

$$\Delta(a_6, a_7) > 0,01$$

$$\Delta(a_7, a_8) > 0,01$$

$$\Delta(a_8, a_9) > 0,01$$

$$\Delta(a_9, a_{10}) > 0,01$$

$$w_{11} + w_{12} + w_{21} + w_{22} + w_{31} + w_{32} + w_{41} + w_{42} + w_{43} + w_{51} + w_{52} + w_{61} \\ + w_{62} + w_{63} + w_{71} + w_{72} + w_{73} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0$$

Doğrusal program modeli çözülmüş ve amaç fonksiyonu  $z^* = 0$  olarak hesaplanmıştır. Optimal çözümdeki  $w_{ij}$  değerleri de Çizelge 5.3.7’teki gibidir.

Çizelge 5.3.7. İlk Çözümde Ulaşılan  $w_{ij}$  Değerleri

|                |                |               |            |            |               |
|----------------|----------------|---------------|------------|------------|---------------|
| $w_{11}=0,15$  | $w_{21}=0,257$ | $w_{31}=0,25$ | $w_{41}=0$ | $w_{43}=0$ | $w_{71}=0,33$ |
| $w_{12}=0,018$ | $w_{22}=0$     | $w_{32}=0$    | $w_{42}=0$ | $w_{63}=0$ | $w_{72}=0$    |
| $w_{51}=0$     | $w_{52}=0$     | $w_{61}=0$    | $w_{62}=0$ | $w_{73}=0$ |               |

$w_{ij}$  değerlerinin yardımı ile hesaplanan marjinal fayda değerleri Çizelge 5.3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3.8. İlk Çözümünden Ulaşılan Marjinal Fayda Değerleri

| <b>K1</b>              | <b>K2</b>              | <b>K3</b>              | <b>K4</b>         | <b>K5</b>          | <b>K6</b>           | <b>K7</b>                |
|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|
| $u_1(12)$<br>= 0       | $u_2(27,4)$<br>= 0     | $u_3(76)$<br>= 0       | $u_4(97)$<br>= 0  | $u_5(30)$<br>= 0   | $u_6(32300)$<br>= 0 | $u_7(20000)$<br>= 0      |
| $u_1(10,4)$<br>= 0,148 | $u_2(29,7)$<br>= 0,257 | $u_3(78,5)$<br>= 0.250 | $u_4(123)$<br>= 0 | $u_5(43,5)$<br>= 0 | $u_6(27400)$<br>= 0 | $u_7(150000)$<br>= 0,328 |
| $u_1(8,8)$<br>= 0,166  | $u_2(32)$<br>= 0,257   | $u_3(81)$<br>= 0.250   | $u_4(149)$<br>= 0 | $u_5(57)$<br>= 0   | $u_6(22500)$<br>= 0 | $u_7(100000)$<br>= 0,328 |
|                        |                        |                        | $u_4(175)$<br>= 0 |                    | $u_6(17600)$<br>= 0 | $u_7(50000)$<br>= 0,328  |

Marjinal fayda değerleri hesaplandıktan sonra doğrusal program modelinin optimal değerine yakın başka değerlerde çözüm/çözümler olup olmadığı kontrol edilmiştir. Buna duyarlılık analizi denir.

Duyarlılık analizi için 4.4.16 eşitliğindeki amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonuna, bir önceki adımda kullanılan doğrusal program modelinin kısıtlarına 4.4.17 eşitliği ek kriter olarak eklenmiş ve yeni bir doğrusal program modeli oluşturulmuştur. Yeni oluşturulan doğrusal program modeli,  $\delta = 0,01$  kabul edilerek oluşturulmuştur. Çizelge 5.3.9’da sadece K1 kriteri için oluşturulan doğrusal program modeline yer verilmiştir. Diğer kriterler için de ayrı ayrı doğrusal program modelleri oluşturulmuştur. Burada aslında amaç fonksiyonu  $z^* = 0$  ‘a yakın başka çözümler olup olmadığı kontrol edilmektedir.  $z^* = 0$  olduğundan 4.4.17 eşitliğindeki kriterin doğrusal program modeline eklenmesine gerek kalmamıştır. Çünkü optimal değer 0 (sıfır) olarak bulunması hata fonksiyonlarının her birinin değerinin 0 (sıfır) olduğu anlamına gelir.

Duyarlılık analizi için oluşturulan doğrusal program modeli her kriter için ayrı ayrı çözülmüştür. Her çözümden elde edilen  $w_{ij}$  değerleri ve bunların ortalaması Çizelge 5.3.10’da gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.3.9. K1 Kriterinin Duyarlılık Analizi Doğrusal Program Modeli

$$[maks]u_1(g_1^*) = w_{11} + w_{12}$$

*Kısıtlar*

$$\Delta(a_1, a_2) > 0,01$$

$$\Delta(a_2, a_3) = 0$$

$$\Delta(a_3, a_4) > 0,01$$

$$\Delta(a_4, a_5) > 0,01$$

$$\Delta(a_5, a_6) > 0,01$$

$$\Delta(a_6, a_7) > 0,01$$

$$\Delta(a_7, a_8) > 0,01$$

$$\Delta(a_8, a_9) > 0,01$$

$$\Delta(a_9, a_{10}) > 0,01$$

$$w_{11} + w_{12} + w_{21} + w_{22} + w_{31} + w_{32} + w_{41} + w_{42} + w_{43} + w_{51} + w_{52} + w_{61} + w_{62} + w_{63} + w_{71} + w_{72} + w_{73} = 1$$

$$w_{ij} \geq 0, \sigma^-(a_k) \geq 0, \sigma^+(a_k) \geq 0$$

Çizelge 5.3.10. Duyarlılık Analizi Sonucunda Elde Edilen  $w_{ij}$  Değerleri

|          | $u_1(g_1^*)$ | $u_2(g_2^*)$ | $u_3(g_3^*)$ | $u_4(g_4^*)$ | $u_5(g_5^*)$ | $u_6(g_6^*)$ | $u_7(g_7^*)$ | <i>Ortalama</i> |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| $w_{11}$ | 0,169        | 0,061        | 0,080        | 0,128        | 0,169        | 0,148        | 0,080        | <b>0,119</b>    |
| $w_{12}$ | 0,018        | 0,018        | 0,036        | 0,018        | 0,018        | 0,018        | 0,018        | <b>0,020</b>    |
| $w_{21}$ | 0,189        | 0,285        | 0,084        | 0,169        | 0,189        | 0,257        | 0,119        | <b>0,185</b>    |
| $w_{22}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{31}$ | 0,191        | 0,275        | 0,393        | 0,173        | 0,191        | 0,250        | 0,374        | <b>0,264</b>    |
| $w_{32}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{41}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{42}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{43}$ | 0            | 0            | 0            | 0,143        | 0            | 0            | 0            | <b>0,020</b>    |
| $w_{51}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{52}$ | 0,125        | 0            | 0            | 0            | 0,125        | 0            | 0            | <b>0,036</b>    |
| $w_{61}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{62}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{63}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{71}$ | 0,308        | 0,362        | 0,408        | 0,368        | 0,308        | 0,328        | 0,410        | <b>0,356</b>    |
| $w_{72}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |
| $w_{73}$ | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>0</b>        |

Duyarlılık analizi sonucunda elde edilen global fayda değerleri Çizelge 5.3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3.11. Global Fayda Değerleri

|             |          |
|-------------|----------|
| $U[g(A1)]$  | 0,624019 |
| $U[g(A2)]$  | 0,693743 |
| $U[g(A3)]$  | 0,823455 |
| $U[g(A4)]$  | 0,852488 |
| $U[g(A5)]$  | 0,594757 |
| $U[g(A6)]$  | 0,614019 |
| $U[g(A7)]$  | 0,887188 |
| $U[g(A8)]$  | 0,382626 |
| $U[g(A9)]$  | 0,875728 |
| $U[g(A10)]$ | 0,875728 |

Global fayda değerleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında “ $A7 > A9 \sim A10 > A4 > A3 > A2 > A1 > A6 > A5 > A8$ ” şeklinde bir tercih sırası elde edilmiştir.

#### 5.4. B-UTASTAR Yönteminin Uygulaması

B-UTASTAR yönteminin uygulamasında, kriterlere bulanık mantık uygulanmıştır. UTASTAR yönteminde kesin sayı ile belirtilen kriter değerleri B-UTASTAR uygulamasında üçgensel bulanık sayılar ile belirtilmiştir. Üçgensel bulanık sayı kullanılmasının sebebi, üçgensel bulanık sayıların aritmetiksel işlemlerinin daha rahat yapılabilmesi ve kriter değerlerimin çok büyük aralıklara yayılmamış olmasıdır.

B-UTASTAR süreci, klasik UTASTAR sürecinden çok farklı değildir.

Öncelikle kriter değerleri üçgensel bulanık sayı haline getirilmiştir. Sonrasında bu kriterlerin değeri arttıkça faydası artan bir kriter mi (fayda tipi) yoksa değeri azaldıkça faydası artan (maliyet tipi) bir kriter mi oldukları belirlenmiştir. Burada kullanılan veri klasik UTASTAR uygulamasında kullanılan veri ile aynıdır.

Kriter durumları da belirlendikten sonra kriter değerleri eşit aralıklara bölünmüştür. B-UTASTAR uygulamasında bulanık mantık ile baş edebilmek için klasik UTASTAR uygulamasında kullanılan aralıklardan birer fazla aralık kullanılmıştır. Dolayısıyla K1, K2, K3 ve K5 kriterleri 3’er aralığa bölünürken; K4, K6 ve K7 kriterleri 4’er aralığa bölünmüştür.

Alternatifler en iyiden en kötüye doğru yeniden sıralanmış ve çözüm aşamasında Patiniotakis [70]'in çalışması referans alınmıştır.

4.5.1, 4.5.2 ve 4.5.3 formüllerini içinde barındıran Java kodu [70] çözülerek sonuca ulaşılmıştır. Kod, B-UTASTAR yöntemi aşamalarını sağlamaktadır. B-UTASTAR metodunda çözülmesi gereken doğrusal program modeli kesin sayılar ile ifade edilmediğinden çözüm aşaması da kesin doğrusal programlardan farklıdır. Bu tez çalışmasında, bulanık doğrusal program modelinin çözümünde Kumar [83] tarafından önerilen metot kullanılmıştır. Bulanık doğrusal eşitliklerin 3 ayrı kesin eşitlik olarak yazılması sağlanmış ve bir değişkenin 3'e ayrıştırılmasının doğal bir sonucu olarak doğrusal program modeline yeni kriterler eklenmiştir. Bulanık doğrusal program modeli, kesin doğrusal program modeline dönüştürüldükten sonra yapılması gereken, doğrusal program modelinin çözülmesidir. Doğrusal program modelinin çözümünde de Simplex metodu kullanılmıştır.

B-UTASTAR çözümü için kullanılan ilk girdiler Çizelge 5.4.1'deki gibidir. UTASTAR yöntemi için bir karar vericiden alınan tercih sıralaması yeterlidir ancak bu tez çalışmasında B-UTASTAR uygulaması için sadece tek karar vericiden alınan tercih sıralaması kullanılmamış, B-UTASTAR yönteminin girdisi olarak AHP yönteminden elde edilen alternatif sıralaması ( $A3 > A4 > A9 > A7 > A10 > A1 > A2 > A6 > A5 > A8$ ) kullanılmıştır. Böylelikle B-UTASTAR yöntemi tek karar vericiden alınan kısıtlı veriyi kullanmayacak, grup kararı sonucunda elde edilen tercih sıralamasını kullanacaktır.

B-UTASTAR uygulamasının çözümleri yapılırken sonucun küçük bir pozitif sayı olan  $\delta$  değerinden oldukça fazla etkilendiği tespit edilmiştir. Bu nedenle B-UTARSTAR uygulaması farklı  $\delta$  değerleri için çözülmüştür. Aynı şekilde kesin sayıların hangi oranlarda bulanıklaştırıldığı da sonucu etkilemektedir.

İlk çözüm  $\delta=0,035$  ve  $\varepsilon = 0,01$  için Çizelge 5.4.1'de verilen girdiler ile yapılmıştır.

Çizelge 5.4.1. B-UTASTAR İlk Girdi Değerleri

|            | <b>K1</b>        | <b>K2</b>           | <b>K3</b>           | <b>K4</b>       |
|------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| <b>A1</b>  | (7,84;8,8;12,74) | (23,2;29;37,7)      | (71;76;83)          | (115;119;129)   |
| <b>A2</b>  | (9,6;9,8;11)     | (21,92;27,4;35,62)  | (73;78;85)          | (103;108;118)   |
| <b>A3</b>  | (7,28;9,1;11,83) | (22,88;28,6;37,18)  | (75;80;87)          | (153;158,2;168) |
| <b>A4</b>  | (9,6;12;15,6)    | (25,6;32;41,6)      | (75;80;87)          | (160;165;175)   |
| <b>A5</b>  | (7,36;9,2;11,96) | (22,96;28,7;37,31)  | (71;76;83)          | (93;97;107)     |
| <b>A6</b>  | (7,76;9,7;12,61) | (24,8;31;40,3)      | (76;81;88)          | (170;175;185)   |
| <b>A7</b>  | (7,28;9,1;11,83) | (24,08;30,1;39,13)  | (73;78;85)          | (112;119;129)   |
| <b>A8</b>  | (7,84;9,8;12,74) | (24,8;31;40,3)      | (71;76;83)          | (118;122;130)   |
| <b>A9</b>  | (8;10;13)        | (25,2;31,5;40,95)   | (73;78;85)          | (112;119;129)   |
| <b>A10</b> | (8;10;13)        | (25,6;32;41,6)      | (73;78;85)          | (116;123,1;133) |
|            | <b>K5</b>        | <b>K6</b>           | <b>K7</b>           |                 |
| <b>A1</b>  | (39;40;42)       | (27000;27400;28500) | (130;148,75;189,75) |                 |
| <b>A2</b>  | (38,5;39;42)     | (27000;27800;28900) | (95;100;110)        |                 |
| <b>A3</b>  | (49;50;52)       | (26500;27200;28600) | (45;50;70)          |                 |
| <b>A4</b>  | (56;57;59)       | (25000;25660;26000) | (50;80;100)         |                 |
| <b>A5</b>  | (39;39,5;40)     | (23000;25370;27000) | (110;147;165)       |                 |
| <b>A6</b>  | (49;50;55)       | (27000;27950;29000) | (175;200;250)       |                 |
| <b>A7</b>  | (29;30;32)       | (24000;24620;25000) | (95;115;130)        |                 |
| <b>A8</b>  | (39;40;42)       | (26500;28780;29500) | (175;190;200)       |                 |
| <b>A9</b>  | (36;37;39)       | (32000;32300;34400) | (120;130;145)       |                 |
| <b>A10</b> | (41;41,3;42)     | (17000;17600;18000) | (80;90;100)         |                 |

İlk girdiler ile ulaşılan sonuçlar Çizelge 5.4.2 ve 5.4.3’de gösterilmiştir. B-UTASTAR metodu ilk girdiye uygulandığında; Kendall’s Tau korelasyon katsayısı 0,511 olarak hesaplanmış ve p değeri de 0,0197 olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.4.2. B-UTASTAR İlk Girdi Sonucu Ulaşılan  $w_{ij}$  Değerleri

|                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $w_{11} = (0,687;0,687;0,687)$ | $w_{33} = (0;0;0)$             | $w_{61} = (0;0;0)$             |
| $w_{12} = (0;0;0)$             | $w_{41} = (0;0;0)$             | $w_{62} = (0;0;0)$             |
| $w_{13} = (0;0;0)$             | $w_{42} = (0;0;0)$             | $w_{63} = (0;0;0)$             |
| $w_{21} = (0;0;0)$             | $w_{43} = (0,069;0,069;0,069)$ | $w_{64} = (0,137;0,137;0,137)$ |
| $w_{22} = (0;0;0)$             | $w_{44} = (0;0;0)$             | $w_{71} = (0;0;0)$             |
| $w_{23} = (0;0;0)$             | $w_{51} = (0;0;0)$             | $w_{72} = (0;0;0)$             |
| $w_{31} = (0;0;0)$             | $w_{52} = (0;0;0)$             | $w_{73} = (0;0;0)$             |
| $w_{32} = (0;0;0)$             | $w_{53} = (0,104;0,104;0,104)$ | $w_{74} = (0,04;0,004;0,004)$  |

Çizelge 5.4.3. B-UTASTAR İlk Girdi Sonuçları

| Alternatif | Fayda Değeri        | R     |
|------------|---------------------|-------|
| A1         | (0,687;0,687;0,687) | 0,687 |
| A2         | (0,687;0,687;0,687) | 0,687 |
| A3         | (0,731;0,758;0,809) | 0,764 |
| A4         | (0,828;0,840;0,863) | 0,843 |
| A5         | (0,687;0,687;0,687) | 0,687 |
| A6         | (0,756;0,766;0,818) | 0,777 |
| A7         | (0,687;0,687;0,687) | 0,687 |
| A8         | (0,687;0,687;0,687) | 0,687 |
| A9         | (0,792;0,806;0,825) | 0,807 |
| A10        | (0,687;0,687;0,687) | 0,687 |

B-UTASTAR yöntemi Çizelge 5.4.4'teki ikinci girdiler ile yeniden çözüldüğünde Çizelge 5.4.5 ve 5.4.6'teki sonuçlara ulaşılmıştır. İkinci girdide  $\delta=0,07$  ve  $\varepsilon = 0,01$  olarak kullanılmıştır.

İlk girdideki bulanık sayılar ile ikinci girdideki bulanık sayılar ve kullanılan  $\delta$  ve  $\varepsilon$  değerleri birbirinden farklıdır.

Çizelge 5.4.4. B-UTASTAR İkinci Girdi Değerleri

|     | K1                 | K2                     | K3                   | K4                    |
|-----|--------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| A1  | (7,04;8,8;11,44)   | (23,2;29;37,7)         | (60,8;76;98,8)       | (95,2;119;154,7)      |
| A2  | (7,84;9,8;12,74)   | (21,92;27,4;35,62)     | (62,4;78;101,4)      | (86,4;108;140,4)      |
| A3  | (7,28;9,1;11,83)   | (22,88;28,6;37,18)     | (64;80;104)          | (126,56;158,2;205,66) |
| A4  | (9,6;12;15,6)      | (25,6;32;41,6)         | (64;80;104)          | (132;165;214,5)       |
| A5  | (7,36;9,2;11,96)   | (22,96;28,7;37,31)     | (60,8;76;98,8)       | (77,6;97;126,1)       |
| A6  | (7,76;9,7;12,61)   | (24,8;31;40,3)         | (64,8;81;105,3)      | (140;175;227,5)       |
| A7  | (7,28;9,1;11,83)   | (24,08;30,1;39,13)     | (62,4;78;101,4)      | (95,2;119;154,7)      |
| A8  | (7,84;9,8;12,74)   | (24,8;31;40,3)         | (60,8;76;98,8)       | (97,6;122;158,6)      |
| A9  | (8;10;13)          | (25,2;31,5;40,95)      | (62,4;78;101,4)      | (95,2;119;154,7)      |
| A10 | (8;10;13)          | (25,6;32;41,6)         | (62,4;78;101,4)      | (98,48;123,1;160)     |
|     | K5                 | K6                     | K7                   |                       |
| A1  | (32;40;52)         | (21,92;27,4;35,62)     | (119;148,75;193,375) |                       |
| A2  | (31,2;39;50,7)     | (22,24;27,8;36,14)     | (80;100;130)         |                       |
| A3  | (40;50;65)         | (21,76;27,200;35,36)   | (40;50;65)           |                       |
| A4  | (45,6;57;74,1)     | (20,528;25,660;33,538) | (64;80;104)          |                       |
| A5  | (31,6;39,5;51,35)  | (20,536;25,67;33,37)   | (117,6;147;191,1)    |                       |
| A6  | (40;50;65)         | (22,072;27,59;35,87)   | (160;200;260)        |                       |
| A7  | (24;30;39)         | (19,696;24,620;32)     | (92;115;149,5)       |                       |
| A8  | (32;40;52)         | (23,024;28,78;37,414)  | (152;190;247)        |                       |
| A9  | (29,6;37;48,1)     | (25,84;32,3;41,99)     | (104;130;169)        |                       |
| A10 | (33,04;41,3;53,69) | (14,08;17,6;22,88)     | (72;90;117)          |                       |



Çizelge 5.4.5. B-UTASTAR İkinci Girdi Sonucu Ulaşılan  $w_{ij}$  Değerleri

|                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| $w_{11} = (0,428;0,428;0,428)$ | $w_{33} = (0;0;0)$             | $w_{61} = (0,143;0,143;0,143)$ |
| $w_{12} = (0;0;0)$             | $w_{41} = (0;0;0)$             | $w_{62} = (0;0;0)$             |
| $w_{13} = (0;0;0)$             | $w_{42} = (0;0;0)$             | $w_{63} = (0;0;0)$             |
| $w_{21} = (0;0;0)$             | $w_{43} = (0;0;0)$             | $w_{64} = (0;0;0)$             |
| $w_{22} = (0;0;0)$             | $w_{44} = (0,143;0,143;0,143)$ | $w_{71} = (0;0;0)$             |
| $w_{23} = (0,143;0,143;0,143)$ | $w_{51} = (0;0;0)$             | $w_{72} = (0;0;0)$             |
| $w_{31} = (0,143;0,143;0,143)$ | $w_{52} = (0;0;0)$             | $w_{73} = (0;0;0)$             |
| $w_{32} = (0;0;0)$             | $w_{53} = (0,001;0,001;0,001)$ | $w_{74} = (0;0;0)$             |

Çizelge 5.4.6. B-UTASTAR İkinci Girdi Sonuçları

| <b>Alternatif</b> | <b>Fayda Değeri</b>   | <b>R</b> |
|-------------------|-----------------------|----------|
| A1                | (0,713;0,713;0,714)   | 0,713    |
| A2                | (0,714; 0,714; 0,714) | 0,714    |
| A3                | (0,713;0,714;0,714)   | 0,714    |
| A4                | (0,713;0,714;0,715)   | 0,714    |
| A5                | (0,713;0,714;0,714)   | 0,714    |
| A6                | (0,713;0,713;0,714)   | 0,713    |
| A7                | (0,713;0,714;0,714)   | 0,714    |
| A8                | (0,713;0,713;0,714)   | 0,713    |
| A9                | (0,713;0,714;0,714)   | 0,714    |
| A10               | (0,714; 0,714; 0,714) | 0,714    |

B-UTASTAR metodu ikinci girdiye uygulandığında; Kendall's Tau korelasyon katsayısı 0,867 olarak hesaplanmış ve p değeri de 0,0002 olarak bulunmuştur.

B-UTASTAR yöntemi Çizelge 5.4.7'teki üçüncü girdiler ile yeniden çözüldüğünde Çizelge 5.4.8 ve 5.4.9'daki sonuçlara ulaşılmıştır. Üçüncü girdide  $\delta=0,1$  ve  $\varepsilon = 0,01$  olarak kullanılmıştır.

Üçüncü girdideki bulanık sayılar ile ilk girdideki bulanık sayılar aynıdır, burada  $\delta$  ve  $\varepsilon$  değişikliklerin sonucu ne kadar etkilediği görülmek istenmiştir.

Çizelge 5.4.7. B-UTASTAR Üçüncü Girdi Değerleri

|            | <b>K1</b>        | <b>K2</b>              | <b>K3</b>           | <b>K4</b>       |
|------------|------------------|------------------------|---------------------|-----------------|
| <b>A1</b>  | (7,84;8,8;12,74) | (23,2;29;37,7)         | (71;76;83)          | (115;119;129)   |
| <b>A2</b>  | (9,6;9,8;11)     | (21,92;27,4;35,62)     | (73;78;85)          | (103;108;118)   |
| <b>A3</b>  | (7,28;9,1;11,83) | (22,88;28,6;37,18)     | (75;80;87)          | (153;158,2;168) |
| <b>A4</b>  | (9,6;12;15,6)    | (25,6;32;41,6)         | (75;80;87)          | (160;165;175)   |
| <b>A5</b>  | (7,36;9,2;11,96) | (22,96;28,7;37,31)     | (71;76;83)          | (93;97;107)     |
| <b>A6</b>  | (7,76;9,7;12,61) | (24,8;31;40,3)         | (76;81;88)          | (170;175;185)   |
| <b>A7</b>  | (7,28;9,1;11,83) | (24,08;30,1;39,13)     | (73;78;85)          | (112;119;129)   |
| <b>A8</b>  | (7,84;9,8;12,74) | (24,8;31;40,3)         | (71;76;83)          | (118;122;130)   |
| <b>A9</b>  | (8;10;13)        | (25,2;31,5;40,95)      | (73;78;85)          | (112;119;129)   |
| <b>A10</b> | (8;10;13)        | (25,6;32;41,6)         | (73;78;85)          | (116;123,1;133) |
|            | <b>K5</b>        | <b>K6</b>              | <b>K7</b>           |                 |
| <b>A1</b>  | (39;40;42)       | (27,000;27,400;28,500) | (130;148,75;189,75) |                 |
| <b>A2</b>  | (38,5;39;42)     | (27,000;27,800;28,900) | (95;100;110)        |                 |
| <b>A3</b>  | (49;50;52)       | (26,500;27,200;28,600) | (45;50;70)          |                 |
| <b>A4</b>  | (56;57;59)       | (25,000;25,660;26,000) | (50;80;100)         |                 |
| <b>A5</b>  | (39;39,5;40)     | (23,000;25,370;27,000) | (110;147;165)       |                 |
| <b>A6</b>  | (49;50;55)       | (27,000;27,950;29,000) | (175;200;250)       |                 |
| <b>A7</b>  | (29;30;32)       | (24,000;24,620;25,000) | (95;115;130)        |                 |
| <b>A8</b>  | (39;40;42)       | (26,500;28,780;29,500) | (175;190;200)       |                 |
| <b>A9</b>  | (36;37;39)       | (32,000;32,300;34,400) | (120;130;145)       |                 |
| <b>A10</b> | (41;41,3;42)     | (17,000;17,600;18,000) | (80;90;100)         |                 |

Çizelge 5.4.8. B-UTASTAR Üçüncü Girdi Sonucu Ulaşılan  $w_{ij}$  Değerleri

|                                |                                |                    |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| $w_{11} = (0,385;0,385;0,385)$ | $w_{33} = (0;0;0)$             | $w_{61} = (0;0;0)$ |
| $w_{12} = (0;0;0)$             | $w_{41} = (0;0;0)$             | $w_{62} = (0;0;0)$ |
| $w_{13} = (0;0;0)$             | $w_{42} = (0;0;0)$             | $w_{63} = (0;0;0)$ |
| $w_{21} = (0;0;0)$             | $w_{43} = (0,201;0,201;0,201)$ | $w_{64} = (0;0;0)$ |
| $w_{22} = (0;0;0)$             | $w_{44} = (0;0;0)$             | $w_{71} = (0;0;0)$ |
| $w_{23} = (0;0;0)$             | $w_{51} = (0;0;0)$             | $w_{72} = (0;0;0)$ |
| $w_{31} = (0;0;0)$             | $w_{52} = (0;0;0)$             | $w_{73} = (0;0;0)$ |
| $w_{32} = (0;0;0)$             | $w_{53} = (0,285;0,285;0,285)$ | $w_{74} = (0;0;0)$ |

Çizelge 5.4.9. B-UTASTAR Üçüncü Girdi Sonuçları

| <b>Alternatif</b> | <b>Fayda Değeri</b> | <b>R</b> |
|-------------------|---------------------|----------|
| A1                | (0,385;0,385;0,385) | 0,385    |
| A2                | (0,385;0,385;0,385) | 0,385    |
| A3                | (0,507;0,581;0,724) | 0,589    |
| A4                | (0,786;0,814;0,871) | 0,821    |
| A5                | (0,385;0,385;0,385) | 0,385    |
| A6                | (0,586;0,615;0,757) | 0,643    |
| A7                | (0,385;0,385;0,385) | 0,385    |
| A8                | (0,385;0,385;0,385) | 0,385    |
| A9                | (0,385;0,385;0,385) | 0,385    |
| A10               | (0,485;0,497;0,515) | 0,499    |

B-UTASTAR metodu ikinci girdiye uygulandığında; Kendall's Tau korelasyon katsayısı 0,600 olarak hesaplanmış ve p değeri de 0,008 olarak bulunmuştur.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada malzeme taşıma ekipmanı seçimi problemine birden fazla metot uygulanmıştır.

Problem kesin olmayan sayılarla bulanık mantık kullanılarak değerlendirildiğinde farklı sonuçlara ulaşılabilir. Bulanık mantık kullanılmasının amacı da zaten kesin olmayan veri olduğu durumlarda problemle baş edebilmektir. ÇKKV yöntemlerinden AHP ve B-AHP uygulaması yapıp sonuçlar değerlendirildiğinde de bu sonuca ulaşılmaktadır. AHP yöntemi sıralama yapmaktadır. Tez çalışmasında yapılan uygulamalar neticesinde AHP’den elde edilen alternatif sıralaması “ $A3 > A4 > A9 > A7 > A10 > A1 > A2 > A6 > A5 > A8$ ” şeklinde B-AHP’den elde edilen alternatif sıralaması da “ $A4 > A3 > A9 > A2 > A6 > A10 > A7 > A8 > A1 > A5$ ” şeklindedir. İki yöntemden elde edilen sonuçlar çok büyük farklılık göstermese de iki yöntem birebir aynı sıralamayı vermemektedir. Bu bulanık mantığın getirdiği bir sonuçtur. Problem bulanık sayılar ile ifade edildiğinde farklı sonuçlar elde edilebilir.

Çalışmada özellikle UTASTAR ve B-UTASTAR metotları üzerinde durulmuştur. UTA metodunun gelişmiş bir versiyonu olan UTASTAR metodu alternatif sıralaması gibi bir sonuca ulaşmaz. Karar vericiden alınan tercih sıralamasına uygun kriter ağırlıklarını bulmak UTA metotlarının temel amacıdır. Dolayısıyla AHP metodundan elde edilen sonuçlar ile UTASTAR metodunu kıyaslamak doğru olmayacaktır.

Tez çalışmasında UTASTAR yönteminin girdisi olarak bir karar vericiden alınan tercih sıralaması kullanılmıştır. B-UTASTAR yönteminin girdisi olarak ise AHP ve B-AHP’den elde edilen sonuçların kullanılması planlanmıştır. Ancak AHP ve B-AHP sonuçları karar verici ile birlikte yeniden değerlendirildiğinde AHP’den elde edilen sonucun firma için daha uygun olduğu bilgisine ulaşılmış ve bu nedenle B-UTASTAR yönteminin girdisi olarak AHP’den elde edilen sıralama kullanılmıştır.

UTASTAR uygulamasının sonucunda elde edilen sıralama en başta karar vericiden alınan sıralama ile birebir uyumludur. UTASTAR metodu, karar vericinin belirlediği sıralama ile uyumlu bir sıralama elde edecek marjinal fayda değerlerini hesaplar. Böylelikle karar

vericinin sıralamasıyla uyumlu olacak toplanabilir fayda fonksiyonuna ulaşılmış olur. UTASTAR yöntemi sayesinde toplanabilir fayda fonksiyonundaki katsayılar hesaplanmış olur.

UTASTAR metodunun çözümüyle ulaşılan sonuçlar neticesinde toplanabilir fayda fonksiyonu elde edilmiştir. Bu fonksiyon incelendiğinde karar verici için en önemli kriterin %35,6 oranı ile K7 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla “Fiyat” kriteri diğer tüm kriterler arasında %35,60 oranında daha önemlidir.

$$u(g) = 0,1396 * u_1(g_1) + 0,1845 * u_2(g_2) + 0,2636 * u_3(g_3) + 0,0205 * u_4(g_4) + 0,0358 * u_5(g_5) + 0,3560 * u_7(g_7)$$

Karar verici ilk alternatif sıralamasını belirlerken aslında hangi kritere hangi derecede önem verdiğini bilmez veya belirleyemez. UTASTAR metodu sayesinde karar verici için önemli olan kriterler ve kriterlerin kendi içindeki yüzdeler dağılımı bulunmuştur. Bu durum, ilerleyen zamanlarda aynı kriterleri bulunan bir problem ile karşılaşıldığında kriter önem derecelerinin önceden biliniyor olması demektir. Dolayısıyla UTASTAR ve B-UTASTAR yöntemleri aynı problemle ileriki aşamalarda karşılaşımla durumları için oldukça kullanışlı bir metottur.

B-UTASTAR metodu üç farklı durum için çözülmüştür. Bu çözümler sonucunda ulaşılan Spearman’s Rho korelasyon katsayısı her uygulama için sırasıyla; 0,758;0,939 ve 0,685 şeklinde hesaplanmış ve anlamlı p değerlerine ulaşılmıştır. Kendall’s Tau korelasyon katsayıları ve p değerleri de Çizelge 6.1’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 6.1. B-UTASTAR Çözümü Korelasyon Katsayıları

|                      | <b>B-UTASTAR (1)</b> | <b>B-UTASTAR (2)</b> | <b>B-UTASTAR (3)</b> |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Kendall’s Tau</b> | 0,511                | 0,867                | 0,600                |
| <b>p değeri</b>      | 0,0197               | 0,0002               | 0,008                |

İkinci ve üçüncü girdiler ile uygulanan B-UTASTAR yöntemlerinin sonuçları p değeri açısından değerlendirildiğinde anlamlıdır. Firmada UTASTAR metodu için alternatiflerin sıralamasını veren karar vericinin üstünde bir karar verici daha vardır. Bu üst düzey karar verici ile B-UTASTAR(2) ve B-UTASTAR(3) sonuçları paylaşıldığında karar verici B-UTASTAR(2)’den elde edilen kriter ağırlıklarının firma için daha uygun

olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle firmanın mobil vinç seçimi problemi için B-UTASTAR(2)'nin kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle firma bir sonraki projesinde mobil vinç alımı yaparken bu çalışmadan elde edilen sonuçları kullanabilecektir.

UTASTAR ve B-UTASTAR metotlarında kullanılan  $\delta$ , hesaplanan bir değer değildir. Herhangi bir pozitif küçük sayı  $\delta$  olarak kullanılır. Bu tez çalışması sırasında yapılan uygulamalarda  $\delta$  değerindeki değişikliklerin sonucu direkt etkilediği görülmüştür. Aynı bulanık sayılar ve farklı  $\delta$  değerleri ile çözüm tekrarlandığında farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kesin sayıların hangi oranlarda bulanık sayıya dönüştürüldüğü de sonucu etkileyen bir diğer faktördür. Bu nedenle konuyla ilgili daha sonra yapılacak çalışmalarda sonucun  $\delta$  değerinden daha az etkilendiği bir model geliştirilebilir veya  $\delta$  değerinin seçimi için bir algoritma oluşturulabilir. Aynı şekilde kriter değerlerinin kaç eşit aralığa bölünmesi gerektiği ile ilgili de literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Gelecek çalışmalarda kriter değerlerinin kaç aralığa bölünmesi gerektiği konusunun da irdelenmesi metodun geliştirilmesi açısından önemlidir.

UTASTAR metodu problem tanımında belirlenen kriterler bazında çözüme ulaşır. Probleme yeni bir kriter eklenmesi veya problemde herhangi bir kriterin çıkarılması olası bir durumdur. Bu nedenle çözüm ile kriter sayısı arasında bir bağlantı olup olmadığı üzerine de bir çalışma yapılabilir. Böylelikle, metodun probleme yeni kriter/kriterler eklemek için uygun olup olmadığı görülecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] M. G. Kay, Material Handling Equipment, Met. Finish., vol. 96, no. 12, p. 67, **1998**.
- [2] Ş. Lezki, Using Decision Tree in Multi Criteria Decision Making Problems, İktisadi Yenilik Derg., vol. 2, no. 1, pp. 16–31, **2014**.
- [3] A. Öztel, Çok Kriterli Karar Verme Sürecinde Yeni Bir Yaklaşım, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara **2016**.
- [4] O. Aytekin, İ. Özdemir, H. Kuşan, and Ö. Tezcan, Assessment of Construction Investment Projects Using Analytic Hierarchy Method, Eng. Sci., vol. 7, no. 1, pp. 229–238, **2012**.
- [5] C. Zopounidis and P. M. Pardalos, Eds., Handbook of Multicriteria Analysis, vol. 103. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, **2010**.
- [6] E. Triantaphyllou, Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study. **2000**.
- [7] T. Tunç, Analitik Hiyerarşi Sürecinin Malzeme Taşıma Sistemi Seçiminde Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü, Ankara, **2013**.
- [8] C.-L. Hwang and K. Yoon, Methods for Multiple Attribute Decision Making, pp. 58–191, **2012**
- [9] C.-R. Wu, C.-T. Lin, and P.-H. Tsai, Financial Service of Wealth Management Banking: Balanced Scorecard Approach, J. Soc. Sci., vol. 4, no. 4, pp. 255–263, **2009**.
- [10] M. Behzadian, S. Khanmohammadi Otaghsara, M. Yazdani, and J. Ignatius, A state-of-the-art survey of TOPSIS applications, Expert Syst. Appl., vol. 39, no. 17, pp. 13051–13069, **2012**.
- [11] Y. D. D. P. K. Samut, İki Aşamalı Çok Kriterli Karar Verme ile Performans Değerlendirmesi: AHP ve TOPSIS Yöntemlerinin Entegrasyonu, Anadolu Üniversitesi Sos. Bilim. Derg., vol. 14, no. 4, **2016**.
- [12] Ç. Orçun and B. S. Eren, TOPSIS Yöntemi ile Finansal Performans Değerlendirmesi: XUTEK Üzerinde Bir Uygulama, Muhasebe ve Finans. Derg., no. 75, pp. 139–154, **2018**.
- [13] Ç. Karabıçak, A. İ. Boyacı, M. Kocabaş Akay, and B. Özcan, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Karayolu Şantiye Yeri Seçimine İlişkin Bir Uygulama, Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg., **2016**.
- [14] B. Mareschal, Promethee Methods, Int Ser Oper Res Manag Sci 78(3):163–186, **2005**.

- [15] M. Dağdeviren and E. Erarslan, Promethee Sıralama Yöntemi İle Tedarikçi Seçimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg., vol. 23, no. 1, pp. 69–75, **2008**.
- [16] B. Yılmaz and M. Dağdeviren, Ekipman seçimi probleminde promethee ve bulanık promethee yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi, J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ., vol. 25, no. 4, pp. 811–826, **2010**.
- [17] B. Yılmaz and M. Dağdeviren, A combined approach for equipment selection: F-PROMETHEE method and zero-one goal programming, Expert Syst. Appl., vol. 38, no. 9, pp. 11641–11650, **2011**.
- [18] K. Govindan and M. B. Jepsen, ELECTRE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, European Journal of Operational Research, vol. 250, no. 1. Elsevier, pp. 1–29, **2016**.
- [19] S. Soner and S. Önüt, Multi-Criteria Supplier Selection: An ELECTRE-AHP Application, J. Eng. Nat. Sci. Mühendislik ve Fen Bilim. Derg., vol. 4, no. 0212, pp. 110–120, **2006**.
- [20] B. Daneshvar Rouyendegh and S. Erol, Selecting the Best Project Using the Fuzzy ELECTRE Method, Math. Probl. Eng., **2012**.
- [21] S. Kaplan, C. Araz, and Ö. Göktepe, A Multicriteria Decision Aid Approach on Navel Selection Problem for Rotor Spinning, Text. Res. J., **2006**.
- [22] M. Karaatlı, H. F. Balcı, and N. Ömürbek, Entropi Temelli MAUT ve SAW Yöntemleri ile Otomotiv Firmalarının Performans Değerlemesi, Dokuz Eylül Univ. İktis. ve İdari Bilim. Derg., vol. 31, no. 1, pp. 227–256, **2016**.
- [23] S. Perçin and S. Çakır, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü, Ege Akad. Bakis (Ege Acad. Rev.), **2016**.
- [24] A. Afshari, M. Mojahed, and R. Yusuff, Simple additive weighting approach to personnel selection problem, Int. J. Innov. Manag. Technol., **2010**.
- [25] H. Adela, K. Azmi Jasmi, B. Basiron, M. Huda, and A. Maselena, Selection of dancer member using simple additive weighting, Int. J. Eng. Technol., vol. 7, no. 3, p. 1096, **2018**.
- [26] R. Kaplan, Ahp Yöntemiyle Tedarikçi Seçimi: Perakende Sektöründe Bir Uygulama, İstanbul Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü, İstanbul, **2010**.
- [27] T. L. Saaty and L. G. Vargas, Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process, vol. 34. Boston, MA, **2001**.
- [28] A. Kuruüzüm and N. Atsan, Analitik HiyerarşiYöntemi İşletmecilik Alanındaki Uygulamaları, Akdeniz İ.İ.B.F Derg., no. 1, pp. 83–105, **2001**.
- [29] K. Yaralıoğlu, Performans Değerlendirmeden Analitik Hiyerarşi Proses, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg., vol. 16, no. 1, pp. 129–142, **2001**.



- [30] F. T. S. Chan, R. W. L. Ip, and H. Lau, Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system, *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 116, no. 2–3, pp. 137–145, **2001**.
- [31] D. Komljenovic and V. Kecojevic, Multi-attribute selection method for materials handling equipment, *Int. J. Ind. Syst. Eng.*, vol. 4, no. 2, p. 151, **2009**.
- [32] P. Sharma, Soni, Selection of Material Handling Equipment by using Analytical Hierarchy Process, *J. Eng. Res. Appl. www.ijera.com*, vol. 5, no. 2, pp. 91–94, **2015**.
- [33] A. A. Supçiller and K. Deligöz, Tedarikçi Seçimi Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Uzlaşık Çözümü, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Derg.*, pp. 355–368, **2018**.
- [34] İ. Kara and F. Ecer, AHP-VIKOR Entegre Yönetimi ile Tedarikçi Seçimi: Tekstil Sektörü Uygulaması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.*, **2016**.
- [35] R. L. Keeney, An Analysis of the Portfolio of Sites to Characterize for Selecting a Nuclear Repository, *Risk Anal.*, **1987**.
- [36] D. L. Olson, Decision aids for selection problems, *Journal of the Operational Research Society*, **1997**.
- [37] J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrogott, Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. **2005**.
- [38] Ö. Konuşkan, Özlem Uygun, Çok Nitelikli Karar Verme (MAUT) Yöntemi ve Bir Uygulaması, *Akad. Platf.*, **2014**.
- [39] C. H. J. S.K. Kim, H.S. Park. K.W. Lee, MAUT Approach for Selecting a Proper Decommissioning Scenario, vol. 2, p. 11, **2007**.
- [40] S. K. Kim and O. Song, A MAUT approach for selecting a dismantling scenario for the thermal column in KRR-1, *Ann. Nucl. Energy*, **2009**.
- [41] Z. Hatush and M. Skitmore, Contractor Selection Using Multicriteria Utility Theory: An Additive Model, *Build. Environ.*, **1998**.
- [42] E. A. Adalı and A. T. Işık, Critic and Maut Methods for the Contract Manufacturer Selection Problem, *Eur. J. Multidiscip. Stud.*, **2017**.
- [43] E. Jacquet-Lagrange and J. Siskos, Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 151–164, **1982**.
- [44] İ. Vehbi, E. Oflaz, P. Benan, and Z. Orbay, Türkiye Tüketim Harcaması Esneklik Tahminleri, **2007**.
- [45] A. A. Layard, P.R.G. and Walters, *Microeconomic Theory*, McGraw-Hill, New York, p. 1987, **1987**.
- [46] M. Beuthe and G. Scannella, Comparative analysis of UTA multicriteria methods, *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 130, no. 2, pp. 246–262, **2001**.

- [47] V. M. Athawale, R. Kumar, and S. Chakraborty, Decision making for material selection using the UTA method, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 57, no. 1–4, pp. 11–22, **2011**.
- [48] P. Karande and S. Chakraborty, Material Handling Equipment Selection Using Weighted Utility Additive Theory, *J. Ind. Eng.*, **2012**.
- [49] P. Karande and S. Chakraborty, Supplier Selection Using Weighted Utility Additive Method, *J. Inst. Eng. Ser. C*, **2015**.
- [50] A. Ulucan and K. B. Atıcı, UTADIS Çok Kriterli Sınıflandırma Metodolojisi ve Türkiye Enerji Sektörü Uygulaması, *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 27, no. 2, pp. 141–159, Dec. **2009**.
- [51] A. Çolak, M., Ulucan, Mobilya Endüstrisinde Kârlılığı Etkileyen Faktörlerin UTADIS Yaklaşımı ile Belirlenmesi, Mobilya Endüstrisinde Kârlılığı Etkileyen Faktörlerin UTADIS Yaklaşımı ile Belirlenmesi, vol. 52, no. 1, pp. 1–5, **2012**.
- [52] Y. Siskos and D. Yannacopoulos, UTASTAR: an ordinal regression method for building additive value functions, *Investig. Operacional*, vol. 5, pp. 39–53, **1985**.
- [53] A. Papapostolou, C. Karakosta, V. Marinakis, and A. Flamos, Assessment of RES cooperation framework between the EU and North Africa: A multicriteria approach based on UTASTAR, *Int. J. Energy Sect. Manag.*, **2016**.
- [54] W.-T. Xiong and J. Cheng, A Weighted UTASTAR Method for the Multiple Criteria Decision Making with Interval Numbers, **2016**.
- [55] M. Ghaderi, F. J. Ruiz, and N. Agell, Understanding color trends by means of non-monotone utility functions, in *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, **2014**.
- [56] A. Makui and M. Momeni, Using CSW weight's in UTASTAR method, *Decis. Sci. Lett.*, **2013**.
- [57] S. Onut, S. S. Kara, and S. Mert, Selecting the suitable material handling equipment in the presence of vagueness, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, **2009**.
- [58] M. Yurdakul and A. İpek, Malzeme Taşıma Sistemlerinin Seçilmesine Yönelik Bir Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg.*, vol. 20, no. 2, **2013**.
- [59] A. Momani and A. Ahmed, Material handling equipment selection using hybrid Monte Carlo simulation and analytic hierarchy process, *World Acad. Sci. Eng.*, vol. 5, no. Mc, pp. 953–958, **2011**.
- [60] S. Shariati, Selection of material handling equipment system for surface mines by using a combination of fuzzy MCDM models, *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.*, vol. 5, no. 12, pp. 1501–1511, **2013**.

- [61] G. Tuzkaya, B. Gülsün, C. Kahraman, and D. Özgen, An integrated fuzzy multi-criteria decision making methodology for material handling equipment selection problem and an application, *Expert Syst. Appl.*, **2010**.
- [62] D. Rossi, E. Bertoloni, M. Fenaroli, F. Marciano, and M. Alberti, A multi-criteria ergonomic and performance methodology for evaluating alternatives in ‘manuable’ material handling, *Int. J. Ind. Ergon.*, **2013**.
- [63] I. Temiz and G. Calis, Selection of Construction Equipment by using Multi-criteria Decision Making Methods, in *Procedia Engineering*, **2017**.
- [64] S. H. Han, S. Hasan, A. Bouferguene, M. Al-Hussein, and J. Kosa, An integrated decision support model for selecting the most feasible crane at heavy construction sites, *Autom. Constr.*, **2018**.
- [65] A. Yazdani-Chamzini and S. H. Yakhchali, Tunnel Boring Machine (TBM) selection using fuzzy multicriteria decision making methods, *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, **2012**.
- [66] L. A. Zadeh, Fuzzy Sets-Information and Control-1965, *Inf. Control*, **1965**.
- [67] İ. H. Altaş, Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı, *Enerj. Elektr. Elektromekanik Derg.*, **1999**.
- [68] Ö. M. Aydın and O. Chouseinoglou, Fuzzy assessment of health information system users’ security awareness, *J. Med. Syst.*, vol. 37, no. 6, **2013**.
- [69] M. Dağdeviren, Bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile personel seçimi ve bir uygulama, *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, **2007**.
- [70] I. Patiniotakis, D. Apostolou, and G. Mentzas, Fuzzy UTASTAR: A method for discovering utility functions from fuzzy data, *Expert Syst. Appl.*, vol. 38, no. 12, pp. 15463–15474, **2011**.
- [71] D. Kaptanoğlu and A. F. Özok, Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model, *İTÜ Derg.*, vol. 5, no. 1, pp. 193–204, **2006**.
- [72] G. Bohlender, A. Kaufmann, and M. M. Gupta, Introduction to Fuzzy Arithmetic, Theory and Applications., *Math. Comput.*, **2006**.
- [73] H. Sun and J. Wu, A new approach for ranking fuzzy numbers based on fuzzy simulation analysis method, *Appl. Math. Comput.*, **2006**.
- [74] A. M. Nejad and M. Mashinchi, Ranking fuzzy numbers based on the areas on the left and the right sides of fuzzy number, *Comput. Math. with Appl.*, **2011**.
- [75] H. Deng, Comparing and ranking fuzzy numbers using ideal solutions, *Appl. Math. Model.*, **2014**.
- [76] Q. Gu and Z. Xuan, A new approach for ranking fuzzy numbers based on possibility theory, *J. Comput. Appl. Math.*, **2017**.

- [77] M. Roubens, Inequality Constraints between Fuzzy Numbers and Their Use in Mathematical Programming, in Stochastic Versus Fuzzy Approaches to Multiobjective Mathematical Programming under Uncertainty, **2011**.
- [78] Ö. Aydın, Bulanık AHP ile Ankara için Hastane Yer Seçimi, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg., vol. 24, no. 2, pp. 87–104, **2009**.
- [79] İ. Ertuğrul and N. Karakaşoğlu, Electre ve Bulanık AHP Yöntemleri ile Bir İşletme için Bilgisayar Seçimi, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg., vol. 25, no. 2, pp. 23–41, **2010**.
- [80] D. Y. Chang, Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP, Eur. J. Oper. Res., **1996**.
- [81] R. N. Gasimov and K. Yenilmez, Solving fuzzy linear programming problems with linear membership functions, Turkish J. Math., **2002**.
- [82] A. N. Gani and S. N. M. Assarudeen, A New Operation on Triangular Fuzzy Number for Solving Fuzzy Linear Programming Problem, Appl. Math. Sci., **2012**.
- [83] A. Kumar and J. Kaur, A New Method for Solving Fuzzy Linear Programs with Trapezoidal Fuzzy Numbers, J. Fuzzy Set Valued Anal., **2011**.

## EKLER

### EK 1 – Anket Örneği

Aşağıdaki faktörleri birbirleri ile "Mobil Vinç Seçimi" üzerindeki etkilerine göre karşılaştırınız.

|                         | Kesinlikle tercih edilir | Güçlü derecede tercih edilir | Orta derecede tercih edilir | Az derecede tercih edilir | Eşit derecede tercih edilir | Az derecede tercih edilmez | Orta derecede tercih edilmez | Güçlü derecede tercih edilmez | Kesinlikle tercih edilmez |          |
|-------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------|
| <i>ref.</i><br>Kriter 1 |                          |                              |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Kriter 2 |
| Kriter 1                |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 3 |
| Kriter 1                |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 4 |
| Kriter 1                |                          |                              |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Kriter 5 |
| Kriter 1                |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 6 |
| Kriter 2                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Kriter 7 |
| Kriter 2                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 3 |
| Kriter 2                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 4 |
| Kriter 2                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 5 |
| Kriter 2                |                          | X                            |                             |                           | X                           |                            |                              |                               |                           | Kriter 6 |
| Kriter 3                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 7 |
| Kriter 3                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 4 |
| Kriter 3                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 5 |
| Kriter 3                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 6 |
| Kriter 3                |                          |                              |                             |                           | X                           |                            |                              |                               |                           | Kriter 7 |
| Kriter 4                |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 5 |
| Kriter 4                |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 6 |
| Kriter 4                |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Kriter 7 |
| Kriter 4                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 6 |
| Kriter 5                |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 7 |
| Kriter 5                |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 6 |
| Kriter 6                |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Kriter 7 |

Aşağıdaki alternatifler "Kriter 2" açısından birbirlerine göre hangi derecede tercih edilir?

|              | Kesimlikle tercih edilir | Güçlü derecede tercih edilir | Orta derecede tercih edilir | Az derecede tercih edilir | Eşit derecede tercih edilir | Az derecede tercih edilmez | Orta derecede tercih edilmez | Güçlü derecede tercih edilmez | Kesimlikle tercih edilmez |               |
|--------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------|
| Alternatif 1 |                          |                              |                             |                           |                             | X                          |                              |                               |                           | Alternatif 2  |
| Alternatif 1 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 3  |
| Alternatif 1 |                          |                              |                             |                           | X                           |                            |                              |                               |                           | Alternatif 4  |
| Alternatif 1 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 5  |
| Alternatif 1 |                          |                              |                             |                           |                             | X                          |                              |                               |                           | Alternatif 6  |
| Alternatif 1 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 7  |
| Alternatif 1 |                          |                              |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 1 |                          |                              |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 2 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 2 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 3  |
| Alternatif 2 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 4  |
| Alternatif 2 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 5  |
| Alternatif 2 |                          | X                            |                             | X                         |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 6  |
| Alternatif 2 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 7  |
| Alternatif 2 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 2 |                          |                              |                             |                           |                             | X                          |                              |                               |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 2 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 3 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 4  |
| Alternatif 3 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 5  |
| Alternatif 3 | X                        |                              |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 6  |
| Alternatif 3 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 7  |
| Alternatif 3 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 3 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 3 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 4 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 5  |
| Alternatif 4 | X                        |                              |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 6  |
| Alternatif 4 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 7  |
| Alternatif 4 | X                        |                              |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 4 |                          |                              |                             |                           | X                           |                            |                              |                               |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 4 |                          |                              | X                           | X                         |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 5 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 6  |
| Alternatif 5 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 7  |
| Alternatif 5 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 5 |                          |                              |                             |                           |                             | X                          |                              |                               |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 5 |                          |                              |                             |                           |                             | X                          |                              | X                             |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 6 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 7  |
| Alternatif 6 |                          |                              |                             |                           |                             | X                          |                              |                               |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 6 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 6 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 7 |                          |                              | X                           |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 8  |
| Alternatif 7 |                          |                              |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 7 |                          |                              |                             | X                         |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 8 |                          |                              |                             |                           |                             |                            |                              | X                             |                           | Alternatif 9  |
| Alternatif 8 |                          |                              |                             |                           |                             |                            | X                            |                               |                           | Alternatif 10 |
| Alternatif 9 |                          | X                            |                             |                           |                             |                            |                              |                               |                           | Alternatif 10 |

## **EK 2 – Tezden Türetilmiş Bildiriler**

Material Handling Equipment Selection Using UTASTAR, 17th Annual Conference of European Network for Business and Industrial Statistics (ENBIS), 9-12 Eylül, Napoli (İtalya), 2017.

Malzeme Taşıma Ekipmanı Seçiminde AHP ve UTASTAR Yaklaşımı, Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği (YAEM) 39. Ulusal Kongresi, 12-14 Haziran, Ankara (Türkiye), 2019.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih:24/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: AHP'ye Dayalı Bulanık UTASTAR Yaklaşımı: Malzeme Taşıma Ekipmanı Uygulaması

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 64 sayfalık kısmına ilişkin, 24/06/2019 tarihinde ~~Yüksek Lisans~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 9 'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar ~~hariç~~/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre 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.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Zeynep Dur  
Öğrenci No: N14323294  
Anabilim Dalı: Endüstri Mühendisliği  
Programı: Endüstri Mühendisliği  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

24.06.2019

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Güldal Güteryüz

(Unvan, Ad Soyad, İmza)



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeynep DUR  
Doğum yeri : Dursunbey/BALIKESİR  
Doğum tarihi : 05/01/1992  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0546 403 2340  
Elektronik posta adresi : zynpdur@gmail.com  
Yabancı dili : İngilizce

### EĞİTİM DURUMU

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü  
Yüksek Lisans : Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü

### İş Tecrübesi

2015- ----- : Gülermak Ağır Sanayi ve İnşaat A.Ş.-ERP Mühendisi