

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**BULANIK ORTAMDA ÇOKLU KRİTER KARAR VERME METODU: İNSANSIZ SU
ALTI ARACI (ROV) ALTERNATİF TASARIMLARINDAN EN UYGUN OLANINI
SEÇME ALGORİTMASI VE BİR KARAR VERME YARDIMCI ARACI GELİŞTİRME.**

BİROL ÜLKER
DOKTORA TEZİ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

GEBZE
2014

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

BULANIK ORTAMDA ÇOKLU KRİTER KARAR VERME
METODU: İNSANSIZ SU ALTI ARACI (ROV) ALTERNATİF
TASARIMLARINDAN EN UYGUN OLANINI SEÇME
ALGORİTMASI VE BİR KARAR VERME YARDIMCI ARACI
GELİŞTİRME.

Birol ÜLKER
DOKTORA TEZİ
İŞLETME ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
PROF.DR. BÜLENT SEZEN

GEBZE
2014



DOKTORA TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14 Şubat 2014 tarih ve 2014/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25 Şubat 2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Birol ÜLKER'in tez çalışması İşletme Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent SEZEN

ÜYE

: Prof.Dr. Lütfullah ALPKAN

ÜYE

: Doç.Dr. Bahattin KOÇ

ÜYE

: Doç.Dr. Ramazan KAYNAK

ÜYE

: Doç.Dr. Ebra Tümer KABADAYI

ONAY

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Bu tez çalışmasında, seri üretim için en uygun insansız su altı aracı tasarımının seçilebilmesi maksadıyla hibrit bir bulanık çoklu kriter karar verme algoritması sunulmaktadır.

Geliştirilen algoritma bir iklendirme ve üç aşamadan meydana gelen bir ana bölümden oluşmaktadır. Algoritma, bir çok çoklu kriter karar verme algoritması geliştirme çalışmasında farklı olarak; karar verme grubu üyelerinin heterojen olduklarını kabul eder; bu kapsamda her bir karar verme grubu üyesinin görece ağırlık değerini hesaplar ve bu değerleri karar verme sürecine dahil eder. Algoritmanın ana bölümünün ilk aşamasında bulanık AHP Buckley tekniği, ikinci ve üçüncü aşamalarda ise sırasıyla Chang'ın bulanık AHP Extenet Analysis tekniği ve Chen'in bulanık fuzzy TOPSIS tekniği kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında ayrıca, bir pratik karar verme yardımcı aracı da yaratılmıştır; bu kapsamda geliştirilen çözüm algoritması ve yargı anketleri MATLAB dili ve geliştirme ortamı kullanılarak sayısallaştırılmıştır, karar verme yardımcısı tamamen bilgisayar destekli hale gelmiştir. Sayısallaştırma neticesinde ortaya çıkan karar verme yardımcı aracı bir ROV üretim firmasına uygulanmıştır. İlave olarak bir hassasiyet analizi icra edilmiştir. Bu çalışma geliştirilen algoritmanın kriteri setinden ve Karar Verici grup üyelerinden bağımsız olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Çoklu kriter karar verme, Uzaktan kumanda edilen sualtı aracı, Bulanık küme teorisi, Bulanık AHP, Bulanık TOPSIS.

SUMMARY

This thesis presents a hybrid fuzzy multi criteria decision making (MCDM) algorithm for selecting the proper remotely operated vehicle (ROV) design to manufacture.

The proposed algorithm consists of an initiation section and a three-step main section. Developed algorithm; unlike most of the MCDM studies, assumes the decision making (DM) group members heterogeneous, hence calculates the relative importance values of each DM group member and incorporates into the decision process. First step of the main section uses fuzzy AHP Buckley technique where second and last step uses fuzzy AHP Chang's extent analysis and fuzzy TOPSIS Chen's techniques respectively.

Moreover, a practical decision aid tool is developed by implementing the proposed algorithm. In order to fulfill this objective MATLAB language and development environment has been used. The practical tool is a fully computerized one, since the questionnaires that utilized to gather data for the algorithm were also implemented. The tool is applied on a ROV manufacturing company for demonstration. A sensitivity analysis also conducted and results showed that the proposed algorithm is dependent on neither the DM group members, nor the criteria set.

Key Words : Multi Criteria Decision Making (MCDM), Remotely Operated Vehicle (ROV), Fuzzy Set Theory, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy AHP.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında ve akademik olgunlaşmam esnasında her aşamada yol gösterici ve yönlendirici olan tez danışmanım sayın Prof.Dr. Bülent SEZEN hocama, yapıcı eleştirileri, önerileri ile bu çalışmanın bilimsel bakış açısını ve analitik yaklaşımını derinleştiren sayın Doç.Dr. Ramazan KAYNAK hocama ve sayın Doç.Dr. Bahattin KOÇ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez konusunda çalışabilmem için desteğini esirgemeyen ve beni doktora eğitimimin başından sonuna kadar her şart ve ortamda koşulsuz olarak destekleyen, cesaretlendiren, bilgi birikimlerini ve kişiliklerini kendime örnek aldığım Müh.Albay Mustafa L. CİVELEK'e, (E) Müh.Albay Tahir ÇONKA ve Müh.Kd.Bnb. Kadir KARADENİZ'e minnettarlıklarımı sunarım.

Bu tezi, doğduğu günden itibaren sıklıkla geçirdiği bensiz gecelerin sebebini ileride anlayacağını bildiğim oğlum Batıkan ÜLKER'e, kendi hayatlarından fedakârlık etmekten bir saniye bile imtina etmemiş haklarını asla ödeyemeyeceğimi bildiğim annem, Fendi ÜLKER ve babam Osman ÜLKER'e atfediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon	1
1.2. Araştırma Problemi ve Araştırma Hedefleri	3
1.3. Metodoloji	5
1.3.1. Çözüm Yaklaşımı	6
1.3.2. Duyarlılık Analizi	7
2. LİTERATÜR TARAMASI VE TEORİK ARKA PLAN	9
2.1. Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decision Making)	9
2.1.1. Çok Özellikli Karar Verme (Multi Attribute Decision Making-MADM)	11
2.1.2. Çok Amaçlı Karar Verme (Multi Objective Decision Making-MODM)	11
2.2. Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Verme Uygulamaları	12
2.2.1. Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Vermede Kabul Görmüş Metotlar ve Uygulamaları	14
2.2.2. Analitik Hiyerarşik Süreç (Analytical Hierarchy Process-AHP) ve İdeal Sonuca Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution-TOPSIS) Metodlarının İşlem Basamaklarına Yönelik Literatür İncelemesi	17
2.3. Uzaktan Kumanda Edilen Su Altı Aracı (Remotely Operated Vehicle-ROV) ve ROV Uygulamaları	18
2.4. Bulanık Küme Teorisi (Fuzzy Set Theory)	21
2.4.1. Dilsel Değişken (Linguistic Variable)	23

	<u>Sayfa</u>
2.4.2. Üçgensel Bulanık Sayı (Triangular Fuzzy Number-TFN)	25
2.4.2.1. TFN Aritmetik İşlemleri	26
2.4.2.1.1. Toplama	26
2.4.2.1.2. Çıkarma	27
2.4.2.1.3. Çarpma	27
2.4.2.1.4. Bölme	27
2.4.2.1.5. Tersini Alma	28
2.5. AHP Metodu	28
2.5.1. Bulanık AHP Buckley Yaklaşımı (Fuzzy AHP Buckley's Approach)	35
2.5.2. Bulanık Chang'ın Extent Analysis Tekniği (Fuzzy AHP Chang's Extent Analysis Technique)	37
2.6. TOPSIS Metodu	40
3. ÇÖZÜM ALGORİTMASI DETAYLARI VE BİR KARAR VERME YARDIMCI ARACI	46
3.1. Çözüm Algoritması ve Karar Verme Yardımcı Aracı Bölümleri	46
3.2. Karar Verici Grubu Elemanlarının Heterojenlik Etkisinin İncelenmesi	51
3.3. Karar Verici Grubu Üyelerinin Yargı Belirtme Ölçekleri	56
3.4. Kullanılacak Kriterlerin Belirlenmesi Süreci	58
3.4.1. Kriter Havuzu	60
4. ÇÖZÜM ALGORİTMASININ SAYISALLAŞTIRILMASI	65
4.1. Sayısallaştırma Ortamı	66
4.2. Karar Verici Yargılarını Toplamak için Kullanılan İkili Karşılaştırma Anketlerinin Sayısallaştırılması	68
4.2.1. İkili Karşılaştırma Anketlerinin Sayısallaştırma Esasları Karar Verme Yardımcı Aracının Sayısallaştırılması	68
4.2.1.1. Aşama-1'in İkili Karşılaştırma Anketlerinin Psuedo Yazılımları	69
4.2.1.2. Aşama-2'nin İkili Karşılaştırma Anketlerinin Psuedo Yazılımları	73
4.2.1.3. Aşama-3'ün İkili Karşılaştırma Anketlerinin Psuedo Yazılımları	78
4.3. Çözüm Algoritmasının Sayısallaştırılması (Karar Verme Yardımcı Aracı)	82
4.3.1. Aşama-1'in (AHP Buckley Tekniğinin) Psuedo Yazılımları	83
4.3.2. Aşama-2'nin (AHP Chang's Extent Analysis Tekniğinin) Psuedo Yazılımları	87

	<u>Sayfa</u>
4.3.3. Aşama-3'ün (Chen's TOPSIS Tekniğinin) Psuedo Yazılımları	92
5. ÇÖZÜM ALGORİTMASININ GERÇEK PROBLEME UYGULANMASI	99
5.1. Başlangıç (Initiation) Bölümü	101
5.1.1. Karar Verici Grubun Belirlenmesi	102
5.1.2. Kriter Setinin Belirlenmesi	103
5.2. Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Verme Yardımcı Aracının Kullanımı	104
5.2.1. Karar Vericilerin Ağırlıklandırılması (Aşama-I)	105
5.2.2. Kriter Setinin Ağırlıklandırması (Aşama-II)	110
5.2.3. Alternatif Tasarımların Değerlendirmesi (Aşama-III)	122
5.3. Duyarlılık Analizi	131
6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER	136
6.1. Elde Edilen Sonuçlar	136
6.2. Değerlendirmeler ve Sonraki Çalışmalar	141
KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ	154

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
ACI	: Avarage Index of Randomly Generated Weights, Rastgele Yaratılmış Önem Değerlerinin Ortalama Göstergesi
AHP	: Analytical Hierarchy Process, Analitik Hiyerarşik Süreç
AUV	: Autonomous Underwater Vehicle, Otonom Sualtı Aracı
CAD	: Computer Aided Design, Bilgisayar Destekli Tasarım
CC	: Closeness Coefficient, Yakınlık Katsayısı
CHAR	: Character, Karakter Formatı
CI	: Consistency Index, Tutarlılık İndeksi
CIM	: Computer Integrated Manufacturing, Bilgisayar Bütünleşik Üretim
CIW	: Crisp Importance Weights, Klasik Küme Teorisinde Önem Değerleri
CoA	: Center of Area, Alan Ortası Metodu
CR	: Consistenceny Ratio, Tutarlılık Oranı
CSR	: Corporate Social Responsibility, Tüzel Sosyal Sorumluluk
DM	: Decision Maker, Karar Verici
G/M	: Guided Missile, Güdümlü Füze
GUI	: Graphical User Interface, Grafik Kullanıcı Arayüzü
MATLAB	: MATrix LABoratory
MADM	: Multi Attribute Decision Making, Çok Özellikli Karar Verme
MCDM	: Multi Criteria Decision Making, Çok Kriterli Karar Verme
MMI	: Man-Machine Interface, İnsan-Makine Arayüzü
MODM	: Multi Objective Decision Making, Çok Amaçlı Karar Verme
NIS	: Negative Ideal Solution, Negatif İdeal Çözüm
PIS	: Positive Ideal Solution, Pozitif İdeal Çözüm
ROV	: Remotely Operated Vehicle, Uzaktan Kumanda Edilen Sualtı Aracı
TFN	: Triangular Fuzzy Number, Üçgensel Bulanık Sayı
TOPSIS	: Technique for Order Perfomance by Similarity to Ideal Solution, İdeal Sonuca Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği

Simgeler ve **Açıklamalar**

Kısaltmalar

UUUV : Unmanned Underwater Vehicle, İnsansız Sualtı Aracı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Fuzzy Set'in Kavramsal Gösterimi	22
2.2: 10'a Yakın Rakamların Üyelik Dereceleri	23
2.3: Üçgensel Bulanık Sayı Grafikselsel Gösterimi	26
2.4: Karşılaştırma Matrisi	31
2.5: Yüzde Dağılımı Gösteren S Sütun Matrisi	34
2.6: Karar Noktalarının Yüzde Dağılımını Gösteren R Sütun Vektörü	34
2.7: Tipik Karar Matrisi	43
3.1: Çözüm Algoritmasının Şekilsel Gösterimi	47
3.2: MATLAB Geliştirme Ortamı	48
3.3: Alt Bölüm-1'e ait Anket Ara Yüzü	49
3.4: Alt Bölüm-1'e ait Sonuç Ara Yüzü	50
4.1: MATLAB Çalışma Ortamı (Workspace)	67
4.2: Örnek M-file	68
4.3: Aşama-1 Yargı Toplama Anketi	70
4.4: Aşama-2 Yargı Toplama Arayüzleri; (a) Birinci Sayfa, (b) İkinci Sayfa,(c) Üçüncü Sayfa	75
4.5: Aşama-3 Yargı Toplama Anketi	79
4.6: Aşama-1 Sonuç Sergileme Objesi	87
4.7: Aşama-2 Sonuçları Sergileme Objesi	92
4.8: Aşama-3 Sonuçları Sergileme Objesi	98
5.1: Alternatif ROV Tasarımları	99
5.2: Yönetim Kurulu Başkanının Yargıları	105
5.3: Aşama-1'e Ait Sonuç Sergileme Objesi	109
5.4: Elektrik Mühendisine Ait İkili Karşılaştırma Anketi (a, b ve c)	114
5.5: Aşama-2 Sonuçlarına Ait Sergileme Objesi	122
5.6: Elektrik Mühendisine Ait Skorlama Anketi	124
5.7: Aşama-3 Sonuçları Sergileme Objesi	130
5.8: Duyarlılık Analizi Sonuçları Sergileme Objesi	135

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Rastgele Yaratılmış Önem Değerlerinin Ortalama Göstergesi (ACI)	33
2.2: Dilsel Değişkenler ve TFN Karşılıkları	36
2.3: Örnek Karşılaştırma Matrisi	36
3.1: Karar Verici Kümesinin Heterojenliğinin Karar Sürecine Etkisi	55
3.2: Dilsel Değişkenler (Alt Bölüm-1 ve 2)	57
3.3: Dilsel Değişkenler (Alt Bölüm-3)	57
5.1: İkinci Karar Verici Grubu Üyeleri ve Sorumlulukları	103
5.2: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler	104
5.3: Yönetim Kurulu Başkanının Yargıları (Karakter Formatında)	106
5.4: Yönetim Kurulu Başkanının Yargıları (TFN Formatında)	107
5.5: Yığılanmış Karar Matrisi (TFN Formatında)	107
5.6: Elektrik Mühendisine Ait Değerlendirmeler (Char Formatında)	116
5.7: Elektrik Mühendisine Ait Değerlendirmeler (TFN Formatında)	116
5.8: Elektrik Mühendisinin Değerlendirmelerinin Ağırlıklandırılmış Hali (TFN Formatında)	117
5.9: Yığılanmış Karar Matrisi (TFN Formatında)	117
5.10: Yığılanmış Normalize Edilmiş Karar Matrisi (TFN Formatında)	118
5.11: Hesaplanmış S Değerleri	119
5.12: Kriterlere ait V Değerleri	120
5.13: Elektrik Mühendisinin Skorları (Char Formatında)	123
5.14: Elektrik Mühendisinin Skorları (TFN Formatında)	126
5.15: Elektrik Mühendisinin Skorlarının Ağırlıklandırılmış Hali	126
5.16: Yığılanmış Karar Matrisi	126
5.17: $\tilde{R}$ Matrisi	129
5.18: $\tilde{V}$ Matrisi	129
5.19: Duyarlılık Analizi için Karar Verici Grubu ve Kriterlerde Yapılan Değişiklikler	134

1. GİRİŞ

1.1 Motivasyon

Bir gemi enkazını su yüzeyine çıkarmak, petrol sahaları için araştırma yapmak, belirli bir bölgedeki sualtı yaşamı hakkında fikir sahibi olmak, oşinografi bilgilerini arttırmak vb. birçok faaliyet derin sularda uzun süreli dalış, gelişmiş algılayıcıların kullanımı gibi gereksinimleri ortaya çıkartır. Normal şartlarda bir insanın dalış yapabileceği derinlik, sualtında kalabileceği süre, taşıyabileceği algılayıcı sayısı, yük gibi kısıtlar göz önüne alındığında; yukarıda örnekleri verilmiş birçok görevin insan yerine makineler marifetiyle icra edilmesinin daha verimli olacağı değerlendirilebilir. İnsana bağlı kısıtları ortadan kaldırmak için kullanılabilecek makineler içinde belki de en önemlilerinden bir tanesi ise insansız su altı araçlarıdır (UUV-unmanned underwater vehicle).

UUV'ler en geniş manada kumanda şekillerine göre sınıflandırılabilirler; uzaktaki bir kullanıcı tarafından kumanda edilenler ve kendi kendilerini yönetenler. Literatürde uzaktaki bir kullanıcı tarafından kumanda edilen UUV'ler ROV (uzaktan kumanda edilen araç-remotely operated vehicle) olarak adlandırılır. ROV'ler, bir deniz aracının güvertesinde konuşlanmış olan insan operatör vasıtasıyla kontrol edilen, veri/komut/bilgi alış-verişi ve enerji beslemesi özel bir kablo marifetiyle operatörün konuşlu olduğu deniz aracındaki yardımcı birimlerden sağlanan UUV'ler olarak tanımlanır (Christ and Wernli, 2007).

ROV'lerin icra ettiği görevler ise dört ana kategoride sınıflandırılabilir; ticari görevler, oşinografi görevleri, askeri görevler ve mühendislik görevleri (Barton, 1999). 1960'lı yılların başları UUV'lerin ticari maksatlarla üretiminin başladığı yıllardır, 1990'lı yılların başında ise sayısı binler ile ifade edilebilecek miktarda UUV dünya denizlerinde çeşitli amaçlar ile kullanılır hale gelmiştir (Whitcomb, 2000). Özellikle UUV'lerin üretiminde kullanılan itki (thruster), algılayıcı (sensor), gemi inşa, yön bulma (navigation), robot kol vb teknolojilerdeki hızlı ilerleme, UUV'lerin daha

karmaşık ve gelişmiş hale gelmelerini, buna bağlı olarak da kullanım alanlarının daha da artmasını sağlamıştır.

ROV'lerin bünyelerinde barındırdıkları alt sistemler;

- Rota/yön bulma,
- Aydınlatma,
- Elektronik birimleri ısıtma/soğutma,
- İtki/tahrik sistemi,
- Manipülatörler vb.

Algılayıcılar ise;

- Doppler hız algılayıcı,
- Basınç algılayıcı,
- Sıcaklık algılayıcı,
- İvmeölçer,
- Sonar,
- Altimetre vb. olarak sıralanabilir.

Bu algılayıcı ve alt sistemleri birbirleriyle eş güdümlü olarak çalıştırma görevini yerine getirecek yazılımlar, üretim hattında bütün bu bileşenleri bir araya getirmek maksadıyla kullanılması gerekli olan CIM hücreleri, tasarım üretim sürecinde çalışması gerekli olan gemi inşa, makine mühendisliği, yazılım mühendisliği, malzeme mühendisliği, sistem mühendisliği, işletme mühendisliği vb farklı disiplinlerden gelen yetişmiş personel ihtiyacı göz önüne alındığında ROV'lerin üretim süreçleri tasarım aşamasından nihai ürünün elde edilmesi aşamasına kadar karmaşık ve yüksek maliyetli süreçlerdir.

Bu karmaşık ve yüksek maliyeti üretim sürecinde kısıtlı kaynakların en etkin şekilde yönlendirilmesi maksadıyla çeşitli safhalarda alınması gerekli olan birçok üretim/yönetim kararları mevcuttur. ROV'lerin üretim sürecindeki en önemli

safhalardan bir tanesi ise katı modelleme ve CAD araçları kullanılarak hazırlanan alternatif ROV tasarımlarından en uygun olanının seri üretim maksadıyla seçilmesi aşamasıdır. Bir ROV'nin ömür devrinin başlangıç noktası olarak da kabul edilebilecek bu kararın alınmasında kullanılacak olan metodolojinin;

- Anlaşılabilir işlem basamaklarına sahip,
- En az matematiksel işlem gerektiren,
- Farklı birimlere sahip sayısal ve sayısal olmayan kriterleri kullanabilen,
- Rasyonel, (İç and Yurdakul, 2009) bir yöntem olmasını beklenilir. Bu

beklentiden hareketle;

- Yukarıda maddeler halinde verilmiş olan kıstasları azami derecede karşılayacak bir karar verme algoritmasının geliştirilmesi,
- Geliştirilen bu algoritmanın bir programlama dili kullanımı marifetiyle sayısallaştırılması,
- Bu sayede sayısal bir karar verme yardımcı aracı üretilmesi,
- Üretilen karar verme yardımcı aracının kullanımı vasıtasıyla geliştirilen algoritmanın gerçek bir problem çözümünde kullanılarak doğrulanması bu çalışmanın motivasyonunu meydana getiren unsurlardır.

1.2. Araştırma Problemi ve Araştırma Hedefleri

Su altında hareket ederek çeşitli veriler toplayan, bu verileri işleyerek ve/veya ham halde su üstüne yollayan, tüm bu işlemler için gerekli olan enerji ve veri transferini özel bir kablo marifetiyle sağlayan ve yine aynı kablo üzerinden taşınan komutlara istinaden operatör tarafından yönlendirilen insansız su altı araçları, ROV'ler;

- Talebi kısıtlı ancak arz maliyeti yüksek olan,
- Farklı disiplinlerden bilgi birikimi ve yetişmiş eleman gerektiren,
- Üretim için gerekli ara ürünlerin tedariki ve bulunması güç olan,

- Üretim hattı genel kullanıma uygun olmayan özellikli donanım ve araçlardan meydana gelen ürünler

olduğundan tasarlama ve üretebilme yeteneklerinin elde edilmesi diğer ürünlere oranla görece zor ve maliyetlidir. Dolayısıyla bu tip ürünlerin tasarım ve üretimi için gerekli olan yüksek maliyetli yatırımları gerçekleştirecek müteşebbis sayısı da genellikle kısıtlıdır. Tüm bu bilgiler ışığında ROV ve ROV benzeri özelliklere sahip ürünlerin yaşam döngüsü kapsamındaki kararların da görece kritik kararlar olduğu ve belirli bir sistematik gerektirdiği açıktır.

Bu tartışmadan yola çıkarak araştırma problemi; milli bir ROV üretimi firmasının CAD ortamında geliştirilen ROV tasarım alternatifleri arasından seri üretim için en uygun alternatifi belirlemesi maksadıyla kullanılacak rasyonel bir karar verme algoritması geliştirilmesi olarak belirlenmiştir.

Araştırma hedefleri ise;

- ROV tasarımları arasından seri üretim için en uygun alternatifi belirlenmesi probleminin çözümü için rasyonel bir algoritma geliştirilmesi,
- Algoritma ve algoritmadan üretilen karar verme yardımcısının uygulanabilmesi için gerekli olan karşılaştırma kriterlerinin belirlenmesi,
- Geliştirilen algoritmanın MATLAB programlama dili kullanılarak sayısallaştırılması, bilgisayar ortamından kullanılabilen bir karar verme yardımcısının üretilmesi,
- Algoritmanın ve algoritmadan üretilen karar verme yardımcısının ROV üretim firmasının seri üretim alternatifi belirleme probleminin çözümü maksadıyla kullanılması,
- Geliştirilen algoritmadan elde edilen sonuçların herhangi bir parametreye (Karar Verici grubu üyeleri ve/veya kriterler) bağlı olup

olmadığının belirlenmesi maksadıyla duyarlılık analizi icra edilmesi olarak belirlenmiştir.

1.3. Metodoloji

Araştırma sorusunun çözümü maksadıyla temel olarak çok kriterli karar verme metodu (multi-criteria decision making-MCDM) ve bu metodun uygulaması çerçevesinde ise AHP Buckley (Buckley, 1985), Chang'ın AHP Extent Analizi (Chang, 1996) ve Chen'in TOPSIS (Chen, 2000) teknikleri kullanılmıştır.

Araştırma sorusu bir gerçek hayat çok kriterli karar verme problemidir (real-life MCDM problem). Bu tip problemlerin çözüm metodolojisinde ise insan karar vericilerin yargıları temel alınır. İnsan ise doğası gereğince kesin bilgiye dayalı kati ifadeler yerine, değerlendirme ve tecrübelerle bağlı kesinlik arz etmeyen, konuya ilişkin kati bilgiler yerine yetersiz bilgiye dayalı muğlâk ifadeler (Zadeh, 1965) kullanmaya eğilimlidir. Bu noktadan hareketle;

- MCDM tekniklerinin uygulamasında iki seviyeli (yanlış için 0 ve doğru için 1) mantığa dayalı klasik küme teorisi (crisp logic theory) yerine,
- İstatistiksel olmayan belirsizlikleri ihtiva eden verileri temsil etmek ve bu verilerin üzerinde işlem yapabilmek amacıyla 1965 yılında Lutfi Askar Zadeh tarafından geliştirilmiş olan bulanık mantık teorisi (fuzzy logic theory) kullanılmıştır.

Bulanık mantık teorisinin uygulanması kapsamında matematiksel işlemlerde üçgensel bulanık rakamlardan (triangular fuzzy number, TFN) faydalanılmıştır.

MCDM teknikleri;

- Alternatif ROV tasarımlarından en uygununun seçilmesi maksadıyla belirlenmiş olan kriterleri,

- Seçim işleminde fikir beyan etmek üzere seçilmiş olan Karar Verici grubu üyelerini değerlendirmek ve bunların görece önem derecelerini belirlemek,
- Alternatifleri görece önem dereceleri belirlenmiş olan kriterleri kullanarak puanlamak ve en uygun alternatifi belirlemek maksatlarıyla kullanılmıştır.

Karar Verici grubu üyelerinin değerlendirmelerinin ve puanlamalarının toplanması maksadıyla yüz yüze görüşmeler yapılmış, her bir Karar Vericinin değerlendirmelerinin ve puanlamalarının toplanmasından sonra geliştirilen sayısallaştırılmış karar verme yardımcı aracının bilgisayar ortamında çalıştırılması neticesinde MCDM tekniklerinin hesaplamaları otomatik olarak tamamlanmıştır. Elde edilen sonuçlar bilgisayar ortamında sergileme ara yüzleri (GUI-graphical user interface) yardımıyla kullanıcıya sunulmuştur.

Ayrıca tüm bunlara ilave olarak MCDM teknikleri kullanılarak alternatif ROV tasarımlarından elde edilen sonucun Karar Verici grubuna ve/veya kriterlere bağımlı olup olmadığının belirlenebilmesi maksadıyla bir duyarlılık analizi icra edilmiştir. Duyarlılık analizi kapsamında sonucun bağımlı olabileceği parametreler olan alternatifleri değerlendirmede kullanılan kriterler ve alternatifleri değerlendirme işlevini yerine getiren Karar Verici grup üyelerinde değişiklikler yapılmış, yaratılan yeni kriter seti ve Karar Verici grubu kullanılarak aynı alternatiflerin değerlendirmesi bir kere daha yapılmış elde edilen sonuç ve orijinal Karar Verici grup ve kriterler kullanılarak elde edilen sonuç ile karşılaştırılmak suretiyle duyarlılık analizi icra edilmiştir.

1.3.1. Çözüm Yaklaşımı

Bölüm 1.2’de detaylı olarak açıklanmış olan araştırma sorusu;

- Geniş perspektiften değerlendirildiğinde bulanık ortamda gerçek hayat çoklu kriter karar verme problemi (real life fuzzy MCDM problem),

- Uygulama alanı perspektifinden değerlendirildiğinde ise bir ürünün (ROV) yaşam döngüsünün (life cycle) başlangıç safhasında alınması gereken üretime yönelik gerçek hayata ilişkin bulanık ortam çok kriterli karar verme problemi,

olarak tanımlanabilir.

Araştırma sorusunun çözümü için geliştirilen algoritma özetle; literatürde sıklıkla karşımıza çıkan AHP ve TOPSIS MCDM metotlarının bütünleşik olarak kullanımından meydana gelen iki basamaklı bulanık ortamda MCDM yaklaşımına ilave bir basamak eklenilerek, Karar Verme grubunun heterojenliğinden kaynaklanan etkinin karar verme sürecinin tamamına ithal edilmesini sağlayan üç basamaklı bir algoritmadır.

Doğru çözüme mümkün olabildiğince yakınsanması maksadıyla geleneksel 2 basamaklı çözüm metodolojisinin (MCDM teknikleri AHP ve TOPSIS'in bütünleşik olarak kullanımı) önüne bir basamak daha eklenilmiştir. Eklenen bu ilave basamak ile Karar Vericilerin görece önem değerleri belirlenmekte ve bu önem dereceleri takip eden safhalarda hesaplamalara dâhil edilerek Karar Verici kümenin heterojenliğinin etkileri uygun alternatifi/çözümün belirlenmesi sürecine dâhil edilmiş olmaktadır.

Çözüm algoritması ayrıca değerlendirme kriterlerinin ve Karar Verici grubu üyelerinin belirlendiği bir ilkendirme safhasına da sahiptir.

1.3.2. Duyarlılık Analizi

Bölüm 1.3.1'de detaylı olarak açıklanmış olan çözüm algoritmasından elde edilecek olan neticenin kriter ve/veya Karar Verici grubuna bağımlı olup olmadığının, bu parametrelerde meydana gelecek olan değişikliklerin neticeyi değiştirip değiştirmeyeceğinin belirlenmesi maksadıyla duyarlılık analizi icra edilmiştir.

İcra edilen duyarlılık analizinin amacı çözüm algoritmasının kriterler ve/veya Karar Verici grubuna bağımlı olup olmadığının belirlenmesi olarak tayin edildiğinden duyarlılık analizi yöntemi sadece bağımlılığın mevcudiyetini araştırarak şekilde tasarlanmış, bağımlılık ile karşılaşılması halinde bağımlılığın kaynağının hangi unsur olduğunun araştırılmasına yönelik bir yöntem geliştirilmemiştir.

Tatbik edilen duyarlılık analizi yöntemi takip eden maddelerde özet olarak açıklanmış olup, analizin işleyişi geliştirilen algoritmanın gerçek probleme uygulanmasının açıklandığı beşinci bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Duyarlılık analizi kapsamında;

- Alternatif ROV tasarımlarının puanlanması ve alternatif tasarımları değerlendirmede kullanılan kriterlerin görece önem değerlerinin belirlenmesi aşamalarında görüş bildiren ikinci Karar Verici grubu üyelerinin iki adedi,
- Alternatif ROV tasarımlarını değerlendirmek maksadıyla kullanılan kriterlerin ise dört adedi yeni Karar Vericiler ve kriterler ile değiştirilmiştir.
- Geliştirilen algoritmanın sayısallaştırılması neticesinde elde edilmiş olan bulanık ortamda karar verme yardımcı aracının GUI'leri ve değerlendirmeleri toplamak maksadıyla kullanılan her aşamaya ait anket ara yüzleri yeni kriter ve Karar Verici grubu üyelerine göre güncelleştirilmiştir.
- Güncellenmiş karar verme yardımcı aracı kullanılarak alternatif ROV tasarımları arasından en uygunun seçimi işlemi bölüm 1.3.1'de açıklandığı gibi tekrar edilmiştir,
- Elde edilen sonuç bir önceki sonuç ile karşılaştırılarak kriter ve Karar Verici grubu üyelerinin değişiminin nihai sonuca bir etkisinin olup olmadığına karar verilmiştir.

2.LİTERATÜR TARAMASI VE TEORİK ARKA PLAN

2.1 Çok Kriterli Karar Verme (Multi Criteria Decision Making)

Günlük hayatta karşılaşılan birçok problemi çözmek için alınması gereken kararlar birden fazla alternatif arasından, çoğunlukla birbirleriyle çelişen özellikler/kıstaslar temel alınarak seçim yapmayı gerektirmektedir. Bilgi çağı ve teknolojik gelişmeler ile birlikte karar vericilerin göz önüne alması gereken veri/kıstas/özelliklerin hem miktarı arttığı, hem de yapısı geçmişe oranla daha karmaşık hale geldiğinden karar verme süreci daha da güçleşmektedir.

Karar tipi ya da karar verilen konu ne olursa olsun, karar vericiler kendilerine tahsis edilmiş kısıtlı kaynakları yönlendirmek maksadıyla seçim yaparken kullandıkları yöntem belirli bir rasyonel ilişkiyi bünyesinden barındıran, analitik bir metoda dayanmalıdır. Bu noktadan hareketle, karar verme süreci genel manada bir analiz süreci olarak değerlendirilebilir. Analiz süreçleri ise önceden tanımlı metotlara dayanmalıdır. Karar vermek için yapılan analizlerde çeşitli metotlar kullanılır, bu metotlardan bir tanesi ve en çok bilineni ise multi-criteria decision making-MCDM (Çok kriterli karar verme) metodudur.

MCDM için literatürde çeşitli tanımlamalar mevcuttur;

- Karar vericilerin sonlu sayıdaki alternatifler arasından iki ve/veya daha fazla kıstası temel alarak yapmış oldukları seçim (Saaty, 2005),
- Genellikle birbirleriyle çelişki halinde olan, birden fazla karar verme kıstasından faydalanan mevcut alternatiflerden en iyisini seçme faaliyeti (Pomorel and Romero, 2000) ve
- Birçok olasılık arasından değişik birimlere sahip birçok kıstası kullanarak en iyi olanı seçme yöntemi (Bozbura et al., 2007) bunlardan birkaç örnek olarak sayılabilir.

MCDM metodu kapsamında uygulamaya yönelik olarak geliştirilmiş çeşitli teknikler mevcuttur. Bu tekniklerin temel sınıflandırma başlıkları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Önceliklendirme tabanlı (Priority-based),
- Derecelendirme (Outranking),
- Mesafe tabanlı (Distance-based),
- Karma metotlar (Mixed methods) (Torfi et al., 2010)

MCDM'ye ilişkin en çok bilinen uygulama teknikleri ise;

- Skorlama/puanlama yöntemleri (Scoring),
- Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP),
- Analitik Ağ Süreç (Analytic network process)
- Axiom tasarım (Axiomatic design),
- TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution),
- ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite),
- PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) olarak sıralanabilir (Dağdeviren et al., 2009).

MCDM'yi üç ana öge oluşturur; karar analiz sürecini yerine getirecek karar vericiler, aralarından seçim yapılacak olan alternatifler ve alternatiflerin karşılaştırılmaları esnasında kullanılacak kriter/kıtas/özellikler.

MCDM'nin uygulamasında ise üç aşama mevcuttur. İlk aşama kriter/kıtas/özelliklerin tespit edilmesi ve aralarında önem derecelerini mesnet alan bir sıralama yapılması aşamasıdır. İkinci aşama; mevcut sonlu sayıdaki alternatiflerin bu kriter/kıtas/özellikleri ne kadar sağladıklarının ya da sağlamadıklarının belirlenmesi, her bir alternatif için ilk aşamada belirlenmiş olan ayırıcılara göre nihai bir değerlendirme skoruna ulaşılması aşamasıdır. Son aşama ise en yüksek skora

sahip olan alternatifin belirlenmesi ve uygun olarak ilan edilmesi aşamasıdır (Kahraman, 2008).

Literatürde MCDM ile ilgili olarak iki temel yaklaşım yer alır; MADM (multi attribute decision making-çok ölçütlü karar verme) ve MODM (multi objective decision making-çok amaçlı karar verme) (Hwang and Yoon, 1981) takip eden alt başlıklarda bu yaklaşımlara ilişkin bilgi verilecektir.

2.1.1 Çok Özellikli Karar Verme (Multi Attribute Decision Making-MADM)

MADM (Çok özellikli karar verme) yaklaşımı, sonlu sayıda alternatif arasından seçim yapma, sıralama, sınıflandırma, eleme yapma gibi işlemleri yerine getirmek maksadıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen, aynı ölçü birimini kullanmayan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirme işlemi olarak tanımlanabilir (Hwang and Yoon, 1981).

MADM karar vermede en çok bilinen yaklaşım olarak kabul edilir, Hwang ve Yoon (1981) tarafından yaklaşıma ait teknikler iki ana başlık altında toplanılmıştır; telafi edici (compensatory) teknikler ve telafi edici olmayan (non-compensatory) teknikler. Telafi edici kavramı analizlerinde yüksek ve düşük performanslara sahip ölçütler arasında ödünleşim (trade-off) barındıran teknikler olarak tanımlanmıştır (Hwang and Yoon, 1981). Telafi edici olmayan teknikler ise bu özelliği bünyesinde barındırmayan tekniklerdir.

2.1.2 Çok Amaçlı Karar Verme (Multi Objective Decision Making-MODM)

MODM (Çok amaçlı karar verme) yaklaşımı, birbiriyle etkileşim içinde olan bir ölçüt setinin içindeki ödünleşimleri göz önüne alarak en iyi alternatifi tasarlama

olarak tanımlanabilir, tanım gereği alternatiflerin sayısı sınırsızdır ve uygulama teknikleri genel manada matematiksel optimizasyona dayanır (Gregory, 1988).

MODM yaklaşımında MADM'dan farklı olarak alternatifler karar vericilere sunulmaz, bunun yerine yaklaşım bir alternatif kümesi yaratmak için karar vericilere gerekli olan matematiksel modeli sağlamayı hedefler (Kahraman, 2008).

MODM yaklaşımında çözüm teknikleri genellikle 4 grup halinde sınıflandırılır. İlk gruptaki teknikler uygun çözümün bulunması sürecinde karar vericiden herhangi bir bilgi almaya ihtiyaç duymayan tekniklerdir, bu gruptaki teknikler temel olarak karar vericileri tercihlerine ilişkin tahminlere dayanırlar. İkinci gruptaki teknikler çözüm sürecinin başında karar vericilerin tercihleriyle ilgili bilgileri sayısal, sözel ya da kısmen sayısal kısmen sözel olarak almaya dayanan tekniklerdir. Üçüncü gruptaki teknikler karar vericiye kendi tercih edeceği çözüm alternatifini seçebileceği etkin çözümler alternatifi sunmaya dayalı tekniklerdir. Son grup ise karar verici ile sürekli bir etkileşime dayalı çözüm alternatifleri sunarak nihayete erdiğinde en çok tercih edilen alternatifi belirlemeyi amaçlayan algoritmalarından oluşan tekniklerdir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan karar verme algoritması MADM yaklaşımını temel alan bir algoritmadır, önceden belirlenmiş bir küme içerisinde seçilen kriterlere göre yine önceden belirlenmiş bir alternatif grubunun tüm üyelerinin değerlendirilmesi ve bu değerlemede en yüksek skoru elde eden alternatifi uygun çözüm olarak belirlenmesi prensibine dayanır.

2.2. Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Verme Uygulamaları

Karar vermek, birden çok alternatif arasından bir tanesini tercih etmek olarak tanımlanabilir, tercih etmek ise hayatın her aşamasında icra etmek zorunda olduğumuz bir işlemdir. Hangi renk ayakkabı giyeceğimiz, hangi otobüse bineceğimiz, hangi yemeği yiyeceğimiz, hangi filme gideceğimiz gibi konularda yapmış olduğumuz tercihler günlük hayatımızda çoğunlukla farkına bile varmadan verdiğimiz milyonlarca karardan birkaç tanesidir. Verilen örneklerden de anlaşılacağı gibi tercih

işlevini yerine getirebilmek için birden fazla alternatif gerekmektedir. Alternatifler arasında seçim yapabilmek için ise karşılaştırma kıstaslarına ihtiyaç vardır. Örneğin hangi yemeği yiyeceğimiz konusunda bir tercihte bulunacağımız varsayarsak; sorudan da anlaşılacağı gibi önümüzde birden fazla yemek seçeneği (alternatif) mevcuttur, bu yemekler arasındaki tercihimizde etken ise yemeğin kaloris, yemeğin yapılış şekli, yemeği sevip sevmememiz gibi hususlardan bir tanesi ya da kombinasyonu olabilir.

Seçebilme yeteneğimiz ve bu yetinin geleceğimize olan etkisi bizi diğer yaşam formlarından ayıran temel özelliklerden bir tanesidir (Saaty, 2005). Unutulmamalıdır ki tüm tercihler günlük hayata ait basit seçimler değildir, örneğin üniversitede hangi bölüme gidileceği, mevcut sermayenin hangi işe yatırılacağı gibi doğrudan geleceğimize etki edecek tercihlerde de bulunmamız gereklidir. Bu gibi tercihlerin icrasında ise ölçülebilir, tekrar edilebilir, belli bir akış zincirine ve mantığa sahip süreçlerin kullanılmaya çalışılması doğaldır.

Çok kriterli karar verme (MCMD), karar vermede en sık kullanılan metotlardan bir tanesi ve en çok bilinenidir. MCDM; ayırık elemanlardan meydana gelen bir alternatif kümesi içinden en iyi olanını seçmeyi amaçlayan bir metottur, optimizasyon ölçümleri kullanan genel yöntemlerin aksine MCDM’de ölçümler yerine tercihlerin emarelerinin ya da güçlerinin öznel olarak yorumlanmaları kullanılır (Saaty, 2005). Gerçek hayata ilişkin birçok MCDM problemleri büyük çoğunlukla kesin olmayan veriye dayalı insan yargılarıyla değerlendirilen hem kalitatif hem de kantitatif kriterleri içerir (Vencheh and Mokhtarian, 2011). Alınacak olan kararlarda etken unsur insan olduğundan, kararlar sınırları tam olarak çizilmiş, kesin yargılara dayalı ifadelere dayanılarak değil, genelde eksik bilgi ihtiva eden görüşler ve bu görüşlerin ifade edilmesi ile alınır (Zadeh, 1975). Bu kapsamda; MCDM tekniklerinin fuzzy set teori (bulanık küme teorisi) ile birlikte uygulanması gerçek dünyaya ilişkin problemleri çözmek için en uygun yaklaşım haline gelmiştir. Bu yaklaşımda;

- Kalitatif kriterler fuzzy set teoriye ait lingusitic variable (dilsel değişken) kavramıyla,
- Kantitatif kriterlere ilişkin sayısal değerleri ise fuzzy rakamlar ile ifade edilir.(Chen and Hwang, 1992).

Yapılan literatür çalışmasında iki aşamalı bir metodoloji takip edilmiştir;

- İlk aşamada MCDM yöntemi, bu yönteme ait genel kabul görmüş teknikler, bu tekniklerin çeşitli alanlarda uygulamalarına ilişkin çalışmalar,
- İkinci aşamada ise ağırlıklı olarak genel kabul gören tekniklerin matematik altyapılarının açıklandığı eserler incelenmiştir.

2.2.1. Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Vermede Kabul Görmüş Metotlar ve Uygulamaları

Karar verme metotlarında kullanılan,

- Her bir kritere performans seviyesi vermek,
- Her bir kriterin diğer kriterlere göre ağırlığını belirlemek, hem zor ve çoğu zaman sübjektif (nesnel) bir karardır, hem de eksik bilgi ile belirsiz bir ortamda alınan bir karardır (Hung et al., 2010).

Bu hem zor, hem de eksik bilgi ile alınan üretim tabanlı kararlarda en çok kullanılan MCDM yöntemi teknikleri ise; Outranking, AHP ve TOPSIS'dir (Bozbura et al., 2007). Bölüm 1'de detaylı olarak açıklandığı gibi araştırma sorusuna çözüm üretmek için kullanılan algoritma bulanık AHP ve TOPSIS tekniklerinin bütünleşik kullanımına dayanmakta olduğundan literatür çalışmasının ilk aşamasında bu yöntemlerin kullanıldığı eserlere odaklanılmıştır. Takip eden paragrafta bu çerçevede incelenmiş olan bazı çalışmalar sıralanmıştır.

Ching-Hsue (1997) füze sistemlerini değerlendirmek maksadıyla bulanık AHP tekniğini kullanmıştır. Weck ve arkadaşlarının (1997) üretim döngüsü alternatiflerini değerlendirip en iyi alternatifi belirlemek maksadıyla bir bulanık MCDM algoritması geliştirmiştir. Cheng ve arkadaşları (1999) hücum tipi helikopterler arasında karşılaştırma yapmak maksadıyla bir bulanık AHP modeli geliştirmiş, Wang ve arkadaşlarının (2000) ise bulanık MCDM metodunu esnek üretim hücrelerinde (flexible manufacturing cell (FMC)) kullanılmak üzere makine seçimi amacıyla kullanmıştır. Jiang ve Hsu (2003) gelişmiş üretim teknolojileri arasında seçim yapabilmek amacıyla bulanık AHP, Chu ve Lin (2003) ise üretim hattında kullanılacak olan robot seçimi amacıyla bulanık TOPSIS tekniğini kullanmıştır. Bozdağ ve arkadaşları (2003) yaptıkları bulanık algoritma çalışmasıyla en iyi bilgisayar destekli üretim sistemini belirlemeye çalışırken, Kahraman ve arkadaşlarının (2004) çalışmasında ise yemek firmaları arasında karşılaştırma yapabilmek maksadıyla geliştirilmiş bir bulanık AHP algoritmasının detayları mevcuttur. Cheng ve arkadaşları (2005) bulanık AHP tekniğini metropol alan ağına (kent çapında alan ağı) giriş stratejilerinin gelişimi ve geleceğe dönük planlamaları için kullanmış, Tolga ve arkadaşları (2005) aynı teknik ile işletim sistemi seçimi icra etmiştir. Wang ve Chang (2007) uçaklara ilişkin eğitimlerin ilk safhasının değerlendirilmesi problemini çözmek maksadıyla bulanık TOPSIS tekniğini kullanmıştır. Gharehgozli ve arkadaşları (2008) bulanık AHP ve TOPSIS tekniklerini bütünleşik olarak kullanarak bir firmaya gelen siparişlerin kabul ya da red edilmesine dair kararın verilmesi maksatlı algoritma geliştirmiştir. Önüt ve Soner (2008) bulanık AHP ve TOPSIS tekniklerinin bütünleşik kullanımıyla aktarma merkezi mevki seçimi yaparken, Ertuğrul ve Karakaşoğlu (2009) ise firma performans değerlendirmesi maksadıyla aynı bütünleşik yapıyı kullanmıştır. Gümüş (2009) ise aynı bütünleşik yapıyı tehlikeli atık madde taşıyan firmaların değerlendirilmesi maksadıyla kullanmıştır. Dağdeviren ve arkadaşları (2009) geliştirmiş oldukları bulanık MCDM modeli ile piyade sınıfı askerlerin tüfeklerinin belirlenmesi problemine çözüm üretmişlerdir. Athanasopoulos ve arkadaşlarının (2009) çalışmasında max-min metodu ve bulanık TOPSIS tekniğinin bütünleşik kullanımıyla korozyon etkilerine karşı kaplama malzemesi seçimine ilişkin bir algoritmanın detayları sunulmuştur. İç ve Yurdakul (2009), Ekmekcioglu ve arkadaşları (2010) ve Amiri'ye (2010) ait çalışmalarda bulanık TOPSIS ve AHP

tekniklerinin bütünleşik kullanımı sırasıyla makine yerleşim yeri, işletme konumu belirleme ve petrol yatağı bulma problemlerinin çözümü maksatlarıyla kullanılmıştır. Önut ve arkadaşları (2010) yüksek nüfuslu bir şehirde alış-veriş merkezinin konumu probleminin çözümü maksadıyla bütünleşik bir MCDM metodolojisi geliştirmiştir. Soltanmohammadi ve arkadaşları (2010) yayınlamış oldukları çalışmada bulanık TOPSIS tekniğini kullanarak mayınlandıktan sonra temizlenmiş olan alanlarının yeniden değerlendirilmesine yönelik analitik bir yaklaşım ileri sürmüşlerdir. Yeh ve arkadaşları (2010) dilsel değişkenler kullanarak bilgi sistemleri projeleri arasında seçim yapmayı sağlayan bir bulanık MCDM yaklaşımı ortaya koyarken Merigo (2011) çalışmasında yıllara istinaden uygulanacak yönetsel politikaların belirlenmesi maksadıyla bulanık grup karar verme tekniği geliştirmiştir. Hu ve diğerlerinin (2011) geliştirdiği bulanık MCDM algoritma üretimde kurumsal sosyal sorumluluk (corporate social responsibility (CSR)) konusuna ilişkin önemli husus ve kriterleri inceleme, Afshar ve arkadaşlarının (2011) geliştirmiş olduğu algoritma ise bulanık TOPSIS tekniği kullanarak suya ilişkin projelerin belirlenecek değişik amaçlara göre değerlendirilmesi ve puanlanması amaçlıdır. Chamzini ve Yakhchali'ye (2012) ait çalışma ise bir alternatif havuzu içinden en uygun tünel kazma makinesinin seçilmesi için bulanık AHP ve TOPSIS tekniklerinin bütünleşik kullanımını temel alan bir algoritmaya ilişkin detayları ve algoritmanın uygulamasını içermektedir.

Literatür taraması kapsamında incelenilen eserlerden de anlaşılağı gibi MCDM modeli ve bu modelin uygulama tekniklerinden AHP ve TOPSIS bulanık ortamda karar verme problemlerinin çözümünde gerek tek tek gerekse bütünleşik olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bu alanlar; füze sistemleri ve hücum tipi helikopterlerin değerlendirilmesi gibi askeri uygulamalardan, üretim hücrelerinde kullanılacak en uygun makineyi belirleme, en iyi bilgisayar destekli üretim sistemini belirleme gibi üretim yönetimi kararlarına, metropol alan ağlarına girme stratejileri hakkında karar verme, uçak eğitimlerinin değerlendirilmesi gibi yüksek teknoloji uygulamalarına, petrol yatağı bulma, tünel kazma makinası seçme gibi çeşitli sanayi uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazededir.

Bu çerçevesi son derece geniş uygulama alanları MCDM modeli ve bu modele ait AHP ve TOPSIS tekniklerinin bütünleşik kullanımının araştırma probleminin çözüm yaklaşımı olarak seçilmesi tercihinde en büyük etkidir.

2.2.2. Analitik Hiyerarşik Süreç (Analytical Hierarchy Process-AHP) ve İdeal Sonuca Benzerliğe Göre Sıralama Tekniği (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution-TOPSIS) Metodlarının İşlem Basamaklarına Yönelik Literatür İncelemesi

Literatür taramasının ikinci aşamasında ise bulanık AHP ve TOPSIS tekniklerine ait işlem basamaklarının, matematiksel formülasyonun görece detaylı olarak açıklandığı eserlerin incelenmesine ayrılmıştır.

Çalışmanın amaçlarından bir tanesi de geliştirilen bulanık ortamda karar verme algoritmasının sayısallaştırılması ve böylelikle bilgisayar ortamında kullanılan bir karar verme yardımcı aracı üretilmesi olduğundan literatür taramasının bu aşaması yüksek öneme sahiptir. İncelenecek olan eserlerin belirlenmesi esnasında eserlerin; MCDM metotlarına ilişkin matematiksel arka planın en ayrıntılı ve basit olarak anlatımına haiz çalışmalar olmasına ve metotların orijinal geliştiricilerin eserleri olmasına öncelik verilmiştir. Bu kapsamda;

- Buckley'in AHP yaklaşımı tekniğinin aşamaları için,
 - o Buckley'in (1985) bulanık hiyerarşik analiz çalışması ve,
 - o Çelik ve diğerlerinin (2009) deniz bilimleri enstitüsüne yeni öğretim üyelerinin seçimi uygulaması çerçevesinde geliştirmiş oldukları bulanık değerlendirme algoritmasının anlatıldığı makaleler,
- Chang'ın (1996) Extent Analysis AHP tekniğinin aşamaları için,

- o Chang'ın (1992, 1996) Extent Analysis tekniğini ilişkin işlem basamaklarını anlatmış olduğu eserleri,
 - o Kahraman ve arkadaşlarının (2003b) çoklu-kritere dayalı tedarikçi seçme algoritmasını açıkladıkları çalışmaları,
 - o Bozbura ve diğerlerinin (2007) insan kaynağının değerlendirilmesinde kullanılan kriterleri önceliklendirme maksadıyla geliştirmiş oldukları algoritmanın açıklandığı çalışma,
- Chen'in (2000) TOPSIS tekniği vertex metodu aşamaları için,
 - o Dağdeviren ve diğerlerine (2009) silah seçimine ilişkin makale,
 - o Chen'in (2000) TOPSIS tekniğindeki bulanık ortamda grup karar verme maksatlı uygulamaya yönelik gelişmeleri açıklandığı çalışması
 - o Kahraman ve arkadaşlarına (2007) ait lojistik bilgi teknolojileri arasından seçim yapmak maksadıyla kullanılmak amacıyla geliştirilmiş bulanık TOPSIS modeli,
 - o Anagnostopoulos ve arkadaşlarının (2008) bulanık küme teorisi ile ideal, ideal olmayan çözüm kavramlarını bir araya getiren dilsel değişkenlere dayalı çoklu kriter analiz sistemine ilişkin makalesi incelenmiştir.

2.3. Uzaktan Kumanda Edilen Su Altı Aracı (Remotely Operated Vehicle-ROV) ve ROV Uygulamaları

Güç ihtiyaçlarını ve veri/komut alışveriş gereksinimini bağlı olduğu ana gemiden bir kablo vasıtasıyla sağlayan ve aynı ana gemide konuşlu (uzaktaki) operatör tarafından kontrol edilen insansız sualtı aracı olarak tanımlanan (Christ and Wernli, 2007) ROV'ler dünya denizlerinde 1960'lı yılların başında görülmeye başlamış olup, günümüzde sayıları on binlerle telaffuz edilmektedir.

ROV'ler üzerlerindeki faydalı yükler (payload) sayesinde ayırt edilebilirler, genellikle derin sulardaki zorlu şartlar altında görev icra etmek için kullanılan çalışma sınıfı (work class) ROV'ler bol miktarda kesme, delme, vidalama vb işlevleri yerine getirecek manipölatörler (robot kolları) ve bunların çalışmasını denetlemeye yarayan alıcılar ile donatılmıştır. İnceleme ve araştırma ROV'lerinde ise numune toplamaya yarayan hassas işlemleri yerine getirebilecek hareket eksen sayısı yüksek, özellikle parmak eklemlerini taklit edebilen manipölatörler, bulunduğu yer ve bu yerin yakınındaki çevrede veri ve numune toplayabilecek hassas algılayıcılar bulunur. Hangi sınıfa dahil olurlarsa olsunlar ROV'lere ilişkin geniş bir literatür mevcuttur.

Bu geniş literatürün en önemli nedeni ise ROV üretimi faaliyetinin disiplinler arası bir faaliyet olmasıdır. ROV'ler mekanik, elektronik, gemi inşa, gibi ana bilim dallarındaki pek çok alt teknolojinin bir arada kullanılması sayesinde üretilen araçlar olduklarından ROV'lere ilişkin literatür de disiplinler arasıdır. Takip eden paragrafta bu literatürden çeşitli örnek çalışmalar sıralanmıştır.

Smith ve Parks (1998) yaptıkları çalışmada ROV'lerin sualtındaki ilerleme rotaları, mevkileri hakkında bilgi sunmuşlardır. Bu çalışma kapsamında ROV'lerin bir noktadan başka bir noktaya nasıl gidecekleri, bulundukları yerlerin belirli bir referans noktaya göre nasıl tanımlanacağı hususlarında çözüm algoritmaları geliştirilmiştir.

Wernli (2001) çalışmasında düşük maliyetli sualtı araçlarının askeri uygulamalarda kullanılabilmesinin mevcut teknolojik olanaklar çerçevesinde mümkün olup olmadığı konusunu irdelemiş, ROV'lerin askeri amaçlı kullanımları maksadıyla üzerlerindeki donanımda ne tip değişiklikler gerektiğini ortaya koymuş, ROV'lerin askeri manada kullanımının hangi teknolojik alanlarda ivmelenmeye bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

Rife ve Rocks'un (2002) çalışması ise ilk gösterim (prototip) ROV'lere ilişkin saha tecrübelerine dair bilgiler sunmuş, teori ile pratik arasındaki boşluklar doldurulmaya çalışılmıştır.

Wolf (2003) fiziksel boyutları görece küçük olan ROV'lerde kullanılması öngörülen pnömomatik (hava) sistemler konusundaki detayları açıklamıştır.

Konda ve Ura (2004) araştırma-inceleme maksatlı AUV ve sualtı araçlarının seyrüsefer algoritmaları üzerine çalışma icra etmiştir.

Smallwood ve Whitcomb (2004) sualtı araçlarının dinamik mevkilendirilmesine yönelik model temelli çalışmalar icra etmiş, ROV'lerin sualtında yaptıkları hareket ve manevraların bir referans koordinata göre işaretlenebilmesi, böylelikle sayısal harita ve benzeri medya üzerinde sergilenebilmesi kapsamında literatüre katkıda bulunmuşlardır.

Stein ve arkadaşları (2005) yaşam alanı gözlemi maksadıyla ROV'leri kullanmış; benthic balıklarının belirlenmiş mevkilerdeki varlık ya da yokluklarını belgelemeye çalışmışlardır. Derin göllerin ve denizlerin tabanlarını doğal yaşam alanı olarak belirlemiş olan benthic balıklarının gözlemlenmesi maksadıyla hassas kamera ve sonar cihazları ile donatılmış, yüksek süratle yoğun sayısal veri transfer edebilme kabiliyetine sahip ROV'ler kullanılmış, böylece normal şartlarda insanların erişemeyeceği coğrafi alanlarda inceleme yapılabilmiştir.

Jun ve arkadaşları (2008) robot kolları ve göreve özel oluşturulmuş eklem yapılandırılmaları üzerinde operatörlerin sorumluluklarını azaltıcı analizler yapmışlar, bu sayede robot kolların ve eklem gruplarının herhangi bir işlem maksadıyla kullanılmaları esnasında operatörün etkinliğini minimize edip otomasyonu ön plana çıkarmaya, hata oranını minimize etmeye çalışmışlardır.

2.4. Bulanık Küme Teorisi (Fuzzy Set Theory)

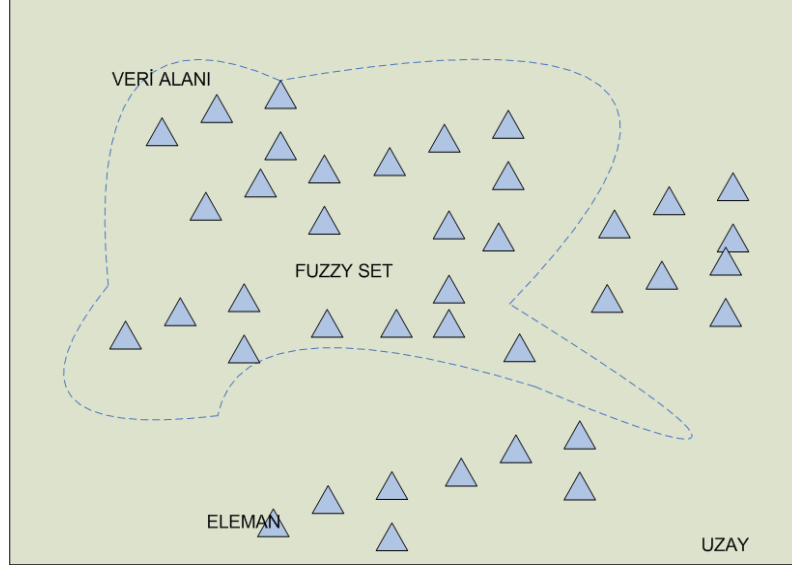
Fuzzy set teorisi iki seviyeli mantığı (Boolean teori; mantık sıfır, mantık bir, doğru-yanlış, evet-hayır vb) temel alan klasik (crisp) küme teorisinin bir süper kümesidir. İnsanlar tarafından kullanılan birçok ifade gerçeklik, kesinlik yerine belirli kabuller, genellemeler ya da eksik bilgileri esas alan tahmin, sağduyu ya da genel mantığa dayalıdır (Zadeh, 1965). Fuzzy set teori, insanların bu tip ifadeleri kullanmaya olan yüksek eğilimi nedeniyle (Zadeh, 1996), istatistiksel olmayan belirsizlikleri ihtiva eden verileri temsil etmek ve bu verilerin üzerinde işlem yapabilmek amacıyla 1965 yılında Lutfi Askar Zadeh tarafından ortaya atılmıştır.

Teorinin insana özgü düşünmek, nedensellik ilişkisi kurmak gibi davranışları matematiksel olarak ifade edebilme yeteneği bilinen en güçlü yönüdür (Tolga et al., 2005). Fuzzy set teori, insan anlayışı ve düşünme şekli ile ilgili birçok belirsizlikle başa çıkılabilmesi ve matematiksel olarak ifadesinin güçlendirilmesi konusunda literatüre çok büyük katkı sağlamıştır (Bojadziev, and Bojadziev, 2007).

İki seviyeli mantığa dayalı klasik küme teorisi çoğunlukla limitleyici olabilir. Örneğin; ortam sıcaklığı hakkındaki fikrimizi beyan ederken 0 °C'yi soğuk (mantık sıfır), 40°C'yi ise sıcak (mantık bir) olarak tanımladığımız takdirde ara değerler için kullanacağımız ılık, ılıman, hafif soğuk vb. gibi ifadelerin bu mantık sisteminde karşılığı yoktur. Mantık sıfır ve mantık bir değerleri soğuk ve sıcak ifadelerine ayrılmış olduğundan diğer tabirler tanımlamak için kullanılabilecek bir ifade mevcut değildir. Oysa sıradan bir insan bulunduğu ortamdaki ısı seviyesini tanımlarken 33 °C ya da 25 °C gibi kesin rakamlar yerine “ılık”, “sıcığa yakın”, “soğukça” gibi ifadeleri kullanmayı tercih eder. İşte bu ifadeler üzerinde işlem yapabilmek için kullanılacak matematiksel teori ise fuzzy set teorisidir.

Fuzzy set; bir veri alanındaki (information environment) elemanların tamamının toplamıdır, ancak bu setin dâhil olduğu alanın sınırları kesin ve kati değildir, yani belirsizdir, diğer bir deyimle bulanıktır (Zadeh, 1965). Zadeh'in tanımına göre bir fuzzy set (küme) aralarında tam olarak tanımlanabilen sınırlar

mevcut olmayan elemanlardan meydana gelen bir kümedir (Zadeh, 1965) (Bknz Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Fuzzy Set'in Kavramsal Gösterimi.

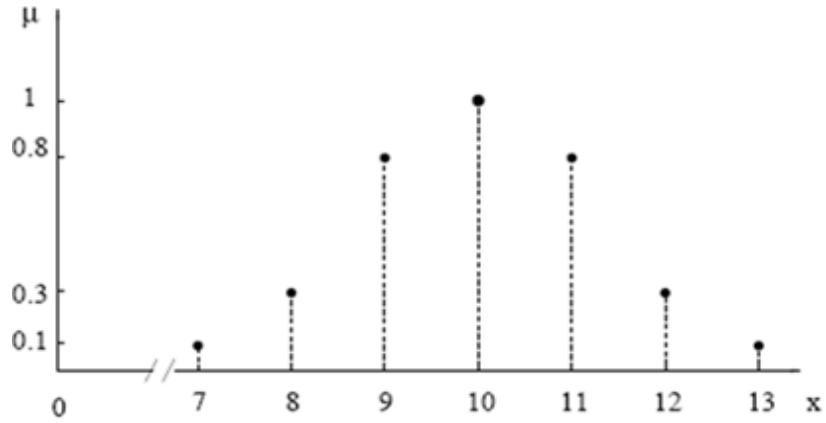
Kati olmayan veri ve insan açısından daha doğal olan bulanık ifadelerin kullanımına olanak sağlayan, son derece güçlü bir araç olan Fuzzy set teori (Vahdani and Hadipour, 2010) çok seviyeli (multi-level) mantığa dayalıdır. Ara değerler belirli bir aralık temel alınarak ifade edilirler, “yüksek”, “orta”, “alçak” ya da “uzun”, “kısa”, “orta” gibi. Klasik mantıktaki evet-hayır ya da doğru-yanlış gibi ikili ifade tarzının dışındaki bu ifade şekli teorinin en önemli unsurudur ve Fuzzy set'in tanımlanmasında kullanılan membership function (üyelik fonksiyonu) ile matematiksel olarak ifade edilir.

Membership fonksiyonu fuzzy kümeye üye olan bir elemanın kümeye olan üyelik derecesinin ifadesidir. Membership fonksiyonu genellikle 0 ile 1 aralığında ifade edilir. Membership fonksiyonu kümenin dâhil olduğu alandaki her bir elemansa bir aralık değeri tahsis eder, bu tahsis edilen değer “degree of membership” (üyelik derecesi) olarak adlandırılır (Bknz. Şekil 2. 2).

Örneğin;

- $\mu_B(x) = 1$ ise x elemanı B fuzzy kümesinin (tam) üyesidir,

- $\mu_B(x) = 0$ ise x elemanı B fuzzy kümesinin üyesi değildir,
- $\mu_B(x) = 0.5$ ise x elemanı B fuzzy kümesinin oldukça üyedir denilebilecekken,
- $\mu_B(x) = 0.8$ ise x elemanın B fuzzy kümesine üyelik derecesi kuvvetlidir ifadesi kullanılabilir.



Şekil 2.2: 10'a Yakın Rakamların Üyelik Dereceleri (Kaynak: Bojadziev, and Bojadziev, 2007).

Bir fuzzy küme matematiksel olarak:

$$F = \{(f, \mu_F(f)), f \in U, \mu_F \in [0,1]\}, \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilebilir (Zadeh, 1975; Kaufmann and Gupta, 1985).

Bu ifadede, U tüm elemanları ihtiva eden ana kütle, uzayı, F bu uzayın bir alt kümesi olan fuzzy set'i, f F fuzzy setinin bir elemanını, μ_F ise f elemanının üyelik fonksiyonunun temsil eder.

2.4.1. Dilsel Değişken (Linguistic Variable)

Dilsel değişken, değerleri rakam yerine kelime, kelime grubu ya da cümle olan değişkenler (Zadeh, 1975) olarak tanımlanır. Değişken, teknoloji çağının en önemli gelişimi olan bilgisayarlar açısından düşünüldüğünde işlem/hesaplamalarda girdileri veya çıktı/çıktıları temsil etmek maksadıyla kullanılan sembol ya da rakamlardır. Günümüzde süratli işlem yapabilme yeteneğini hem hizmet, hem de üretim

sektöründe çok büyük önem kazanmış, kazanmaya da devam etmektedir. Ancak, insan genellikle kesin ve kati yargılar ortaya koyan rakama dayalı değişkenler kullanmak yerine, kendi beyninin çalışma şekline daha elverişli olan kelime ya da kelime gruplarına dayalı dilsel değişkenleri kullanmayı tercih eder (Zadeh, 1965).

Dilsel değişkenler, rakamsal değişkenlere kıyasla çok daha az bilgi içerirler, daha geneldirler ve katilikten uzaktırlar. Örneğin; karşımızda gördüğümüz bir insanın yaşını 20, 21, 22 gibi kesinlik arz eden rakamlar ile ifade etmek yerine, genç, çok genç, oldukça genç gibi kelimeye dayalı ifadeler kullanılarak tanımladığımızda görece daha muğlâk bir tanımlama yapmış oluruz. Çünkü oldukça genç kavramı bir insan için 15-25 yaş gurubunu temsil ederken, başka bir insan için aynı ifade 12-17 yaş aralığını ifade ediyor olabilir.

Günlük hayatımızda her an icra ettiğimiz, hangi yemeği yiyeceğimiz, hangi arabayı satın alacağımız, hangi yöne yürüyeceğimiz, hangi mali enstrümana yatırım yapacağımız gibi hususlardaki belirlemeler tipik karar verme problemleridir. Bu belirleme faaliyetleri esnasında insan atalarından miras aldığı karar verme yeteneğini kullanır ve bu yetenek sanıldığığının aksine kesin ve kati verilere dayanarak çalışmaz, bunun yerine kesin ve kati olarak ifade edilmelerine, ölçeklendirilmelerine ihtiyaç duyulmayan bir takım ön yargılar, geçmişten gelen doğruluğu kesin olmayan bir takım bilgiler, tahminler bu karar verme sürecinde son derece yüksek rol oynarlar (Herrera et al., 2009). İşte bu durum muğlâk ifadeleri sembolize edebilme, bu ifadeler ile işlem yapabilme, bu ifadeleri karar verme süreçlerine ithal edebilme ihtiyacını ortaya çıkartmış ve bu ihtiyacı karşılamak amacıyla dilsel değişkenler kavramı Zadeh (1975) tarafından özellikle fuzzy set teori ile birlikte kullanılmak maksadıyla literatüre tanıtılmıştır.

Dilsel değişkenler Zadeh (1975) tarafından beşli bir veri seti ile ifade edilmişlerdir (L , $T(L)$, U , S , M). Bu ifade tarzında;

- L , değişkenini adını,

- $T(L)$, L değişkeni için kullanılacak olan tüm dilsel değişkenler kümesini,
- U , ana kütle,
- $S, T(L)$ içindeki her bir dilsel değişkenini yaratılması için gerekli olan söz dizim kuralı,
- M, U ana kütesinin fuzzy bir alt kümesi olan $M(X)$ 'in her bir elemanını ilgili dilsel değişken değeri ile bağdaştıran anlamsal kuralı temsil eder.

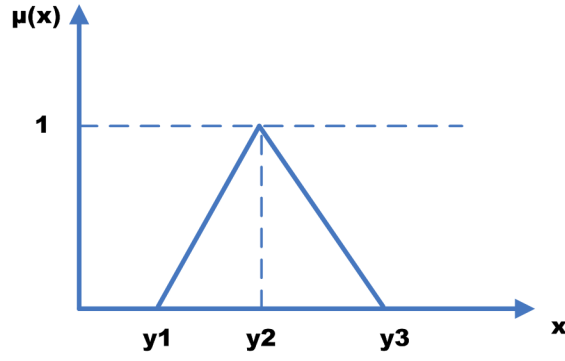
2.4.2. Üçgensel Bulanık Sayı (Triangular Fuzzy Number)

Literatürde, üçgensel, yamuksal vb. şeklinde ifade edilebilen bulanık sayılar kesin olmayan sayısal nicelikleri ifade edebilmek amacıyla kullanılırlar (Chang, 1992).

Bu çalışmada kullanılan bulanık sayılar ise (a_1, a_2, a_3) şeklinde üçlü parametreler ile ifade edilen üçgensel bulanık sayılardır. Bu üçlü parametre grubundaki a_1 üçgensel bulanık sayının alabileceği en düşük değeri (lower limit), a_3 ise bulanık sayının alabileceği en büyük değeri (upper limit) gösterir, a_2 ise orta değerdir (mid value).

Üçgensel bulanık sayının üyelik fonksiyonun matematiksel ifadesi Denklem (2.1)'de, sayının grafiksel gösterimi ise Şekil 2.3'de sunulmuştur.

$$\mu_{\tilde{y}}(x) = \begin{cases} 0, & x < y_1 \\ \frac{x-y_1}{y_2-y_1}, & y_1 \leq x \leq y_2 \\ \frac{y_2-x}{y_2-y_3}, & y_2 \leq x \leq y_3 \\ 0, & x > y_3 \end{cases} \quad (2.2)$$



Şekil 2.3: Üçgensel Bulanık Sayı Grafiksel Gösterimi.

2.4.2.1. TFN Aritmetik İşlemleri

Geliştirilen çözüm algoritması çerçevesinde icra edilen bulanık aritmetik işlemlerin üçgensel bulanık rakamlar ile nasıl gerçekleştirildiği takip eden maddelerde açıklanacaktır.

Aritmetik işlemlerin açıklanması esnasında iki üçgensel bulanık rakam kullanılacaktır; $x = (x_1, x_2, x_3)$ ve $y = (y_1, y_2, y_3)$

2.4.2.1.1. Toplama

İki üçgensel sayının toplanması işleminde; her iki sayının da alabileceği minimum değeri gösteren en küçük değer parametresi, her iki sayının da alabileceği maksimum değeri gösteren en büyük değer parametresi ve orta değer parametreleri kendi aralarında toplanırlar.

Yapılan işlemin matematiksel ifadesi Denklem 2.3’de sunulmuştur. Toplama işleminin sonucunda elde edilen sayı yine bir üçgensel bulanık sayıdır.

$$\tilde{x} \oplus \tilde{y} = (x_1 + y_1, x_2 + y_2, x_3 + y_3) \quad (2.3)$$

2.4.2.1.2. Çıkarma

İki üçgensel sayının birbirinden çıkartılması işleminde; her iki sayının da alabileceği minimum değeri gösteren en küçük değer parametresi, her iki sayının da alabileceği maksimum değeri gösteren en büyük değer parametresi ve orta değer parametreleri kendi aralarında birbirlerinden çıkartılır.

Yapılan işlemin matematiksel ifadesi Denklem 2.4’de sunulmuştur. Çıkarma işleminin sonucunda elde edilen sayı yine bir üçgensel bulanık sayıdır.

$$\tilde{x} \ominus \tilde{y} = (x_1 - y_1, x_2 - y_2, x_3 - y_3) \quad (2.4)$$

2.4.2.1.3. Çarpma

İki üçgensel sayının çarpılması işleminde; her iki sayının da alabileceği minimum değeri gösteren en küçük değer parametresi, her iki sayının da alabileceği maksimum değeri gösteren en büyük değer parametresi ve orta değer parametreleri kendi aralarında birbirleriyle çarpılır.

Yapılan işlemin matematiksel ifadesi Denklem 2.5’de sunulmuştur. Çarpma işleminin sonucunda elde edilen sayı bir üçgensel bulanık sayı olmayabilir.

$$\tilde{x} \otimes \tilde{y} = (x_1 \cdot y_1, x_2 \cdot y_2, x_3 \cdot y_3) \quad (2.5)$$

2.4.2.1.4. Bölme

İki üçgensel sayının bölünmesi işleminde; bölünen sayının alabileceği minimum değeri gösteren en küçük değer parametresi, bölen sayının alabileceği maksimum değeri gösteren en büyük değer parametresine, bölünen sayının alabileceği maksimum değeri gösteren en büyük değer parametresi bölen sayının alabileceği minimum değeri gösteren en küçük değer parametresine bölünür. Orta değerleri

gösteren parametrelerde ise bölünen sayının parametresi bölen sayının parametresi tarafından bölünür.

Yapılan işlemin matematiksel ifadesi Denklem 2.6'da sunulmuştur. Bölme işleminin sonucunda elde edilen sayı bir üçgensel bulanık sayı olmayabilir.

$$\tilde{x} \oslash \tilde{y} = (x_1/y_3, x_2/y_2, x_3/y_1) \quad (2.6)$$

2.4.2.1.5. Tersini Alma

Bir üçgensel sayının tersinin alınması işleminde; tersi alınacak olan sayının alabileceği en küçük, en büyük ve orta değeri gösteren parametrelerin sıraları değiştirilmeden -1'inci kuvvetleri alınır.

Yapılan işlemin matematiksel ifadesi Denklem 2.7'de sunulmuştur. Tersine alma işleminin sonucunda elde edilen sayı bir üçgensel bulanık sayı olmayabilir.

$$\tilde{x}^{-1} = 1/\tilde{x} = (1/x_1, 1/x_2, 1/x_3) \quad (2.7)$$

2.5. AHP Metodu

AHP (Analytical Hierarchy Process-Analitik Hiyerarşi Süreci) Thomas L. Saaty tarafından 1970 yılında genellikle askeri acil durum planları vb konularında kullanılmak üzere bir MCDM metodu olarak literatüre ithal edilmiştir (Saaty, 1980).

AHP metodu, karmaşık karar problemlerini ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler ile bunların arasındaki ilişkiler temelinde modelleyebilme imkânının sağlayan bir metodolojidir. Bu modelleme karmaşık problemlerin daha açık ve anlaşılır hale gelmesini, karar vericilerin problemin çözüme etki edecek olan unsur ve faktörleri daha iyi algılamasını ve sonuç olarak doğruya en yakın kararı vermesini sağlar.

AHP metodunun karmaşık problemleri kalitatif ve kantitatif kriterleri bir arada kullanarak kolay çözülebilir ve hiyerarşik olarak organize edilebilir küçük parçalara bölebilir ve özetlenebilecek iki temel kabiliyeti mevcuttur (Badri, 2001). Bu iki

temel kabiliyet AHP metoduna ait uygulama tekniklerinin mühendislik, üretim, ekonomi gibi alanlarda karar verme yardımcı gereci olarak tercih edilmesine öncül teşkil etmiştir.

Ching-Hsue (1997) tarafından deniz taktik G/M'lerinin analizi, Weck ve arkadaşları (1997) tarafından üretim saykılarının analizi, Chan ve arkadaşlarının (2000) teknoloji alternatifleri arasından seçim, Kahraman ve arkadaşlarının (2003) tesis yerleşimi analizi, Chan ve Kumar'ın (2007) küresel tedarikçi belirleme, Dağdeviren ve Yüksel'in (2008) davranış bazlı emniyet yönetimi, Amiri'nin (2010) petrol yataklarının belirlenmesi için kullanılacak projelerin arasından seçim çalışmalarından da görüleceği gibi literatürde AHP çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde ağırlıklı olarak tercih edilen bir metottur, bu tercihin sebepleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Çoklu kriter kullanımını diğer çözüme metotlarına oranla görece basitleştirmiş olması,
- Metodolojisinin anlaşılabilir olması,
- Hem kalitatif hem de kantitatif kriterlerin bir arada kullanımına olanak sağlaması,
- Arka plandaki matematiksel formülasyonun görece kolay anlaşılabilir ve kavranabilir olması (Kahraman et al., 2003)

AHP metodunun karar verme sürecinin ana aşamaları 3 ana başlık halinde aşağıda olduğu gibi özetlenebilir;

- Problemin küçük parçalara ayrılması, hiyerarşinin kurulması safhasında;
 - o Öncelikle amaç belirlenir,
 - o Bu amaca ulaşmak için yapılacak olan seçimi etkileyecek olan kriterler ortaya konulur,
 - o Problem komplike olmayan daha küçük parçalara bölünür ve

- o Potansiyel alternatifler karar vericilere sunulur,
- Karşılaştırmalı değerlendirme safhasında; karar vericiler tarafından ilk aşamada belirlenmiş olan hiyerarşinin her seviyesinde belirlenmiş olan kriterlere istinaden alternatifler arasında ikili karşılaştırmalar yapılır,
- Önceliklerin sentezlenmesi safhasında;
 - o Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerin yığılması,
 - o Müteakiben sentezlenmesi ve
 - o Eigen (öz değer) vektör yöntemi kullanılarak görece önceliklendirmenin belirlenmesi,
 - o En uygun alternatifin elde edilmesi (Saaty,1994) işlevi yerine getirilir.

AHP metodunun karar verme sürecinin adımlarının detaylı olarak incelenmesi durumunda ise 6 adımdan meydana gelen bir süreç ile karşılaşılır. AHP metodunun detaylı süreci (Navneet ve Kanwal, 2004; Saaty, 2005; Sule, 2001);

Adım 1: Problemin tanımlanıp, hiyerarşik yapının oluşturulması,

Potansiyel alternatifler belirlenir, seçim için kullanılabilecek olan kriterler ortaya konulur, problem ana hedef, kriterler, alt kriterler ve alternatifler temelinde küçük parçalara ayrılır ve bu parçalar arasındaki hiyerarşi belirlenir.

Bu safhada belirlenen kriterlerin detaylı ve açık şekilde tanımlanmaları Karar Verici grubu üyelerinin ikili karşılaştırmaları icra ederken hataya düşmemeleri açısından büyük önem taşır.

Adım 2: Kriterlere ilişkin olarak Karar vericilerden bilgi toplanması (ikili karşılaştırmalar)

Kriterler arasında yapılan ikili karşılaştırmalar neticesinde elde edilen bilgiler kriter sayısı kadar satır ve sütun sayısına haiz bir kare matriste toplanılır. Bu kare matris karşılaştırma matrisi olarak adlandırılır. Bu karar matrisinin köşegeni üzerindeki matris elemanları “1” değerini alır, çünkü köşegendeki matris elemanları her bir kriterin kendisi ile karşılaştırıldığında elde edilen değeri gösterir. Şekil 2.4’de örnek bir karşılaştırma matrisi görülmektedir.

$$\tilde{M} = \begin{pmatrix} 1 & \tilde{m}_{12} & \cdots & \tilde{m}_{1n} \\ \tilde{m}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{m}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{m}_{n1} & \tilde{m}_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Şekil 2.4: Karşılaştırma Matrisi (Kaynak: Saaty, 2005)

Karşılaştırma matrisinde tüm karşılaştırmalar matris köşegenin üst tarafındaki elemanlar için yapılır, alt taraftaki değerler ise doğal olarak Denklem 2.8’de de ifade edildiği gibi üst taraftaki karşılık gelen değer -1’inci kuvvetidir.

Örneğin; birinci kriter ile ikinci kriterin karşılaştırması esnasında Karar Verici birinci kriteri ikinci kriterle göre daha önemli görüyor ise 1’in önemsiz 5’in ise çok önemli manasına geldiği bir skalada bu karşılaştırma için 4 değerini verebilir ve karşılaştırma matrisinin birinci satır ikinci sütun elemanı 4 olur. İkinci ile birinci kriterin karşılaştırılması esnasında ise (köşegenin alt tarafı) karşılaştırma matrisinin ikinci satır birinci sütunundaki eleman $\frac{1}{4}$ değerini alır.

$$m_{ji} = \frac{1}{m_{ij}} \quad (2.8)$$

Adım 3: Kriterlerin görece önem değerlerinin belirlenmesi (yüzde olarak)

Karşılaştırma matrisi kriterlerin birbirlerine göre önem seviyelerini sergiler, her bir kriterin yüzdesel olarak önem derecesini bulmak için ise karşılaştırma matrisinin her bir sütunundan istifade edilir, her bir sütundaki elemanlar Denklem 2.9’da

verilen formülasyona tabi tutulur ve her bir kriter için karşılaştırma matrisindeki sütun sayısı kadar elemana haiz sütun matrisler elde edilir.

Elde edilen bu vektörel matrislerin tek bir matriste toplanmasıyla ise karşılaştırma matrisinin benzeri bir kare matris (C matrisi) elde edilir. Bu matristen istifade ile kriterlerin görece önem değerleri Denklem 2.10 kullanılarak elde edilir.

$$b_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}} \quad (2.9)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (2.10)$$

Adım 4: Kriterlerin arasındaki karşılaştırmaların tutarlılık analizi

Karar Vericiler tarafından yapılan ikili karşılaştırmalarda ortaya koyulan değerlendirmelerin tutarlılığı AHP metodunun sonuçlarının güvenilirliği ile doğrudan ilişkilidir, bu sebeple metot bir tutarlılık analizi yöntemine haizdir. Yöntemin çıktısı tutarlılık oranıdır (Consistencey ratio-CR). Yöntem temel olarak eigen değerlerinin (öz değerler) toplamından elde edilen λ sayısı ile kriter sayısının karşılaştırılmasından ibarettir.

λ sayısının elde edilmesi için öncelikle karşılaştırma matrisi ile her bir kriterin önem değerlerinden (adım 3'te bulunmuş) oluşturulan sütun matrisin matris çarpımı neticesinde yeni bir sütun matrisinin elde edilmesi ardından bu sütun matrisin her bir elemanının önem değerleri matrisinin her bir elemanına bölünmesi neticesinde elde edilen elemanlardan oluşan yeni bir sütun matris yaratılmalıdır, bu sütun matrisinin her bir elemanı aslında bir öz değerdir. Bu öz değerlerin aritmetik ortalamasının alınmasından ise λ sayısı elde edilmiş olur.

CR değerinin hesaplanması için Denklem 2.11’de verilmiş olan matematiksel formül kullanılır, bu formüldeki CI ibaresi Consistency Index (tutarlılık göstergesi) olup Denklem 2.12’de verilmiş olan formül ile elde edilir, ACI ibaresi ise average index of randomly generated weights (rastgele yaratılmış önem değerlerinin ortalama göstergesi) olup Saaty (1980) tarafından bu değer kriter sayısına bağlı olarak Tablo 2.1.’de olduğu gibi yayınlanmıştır.

Hesaplanan CR değerin 0.1’den küçük olması Karar Vericiler tarafından yapılan karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir.

$$CR = \frac{CI}{ACI} \quad (2.11)$$

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2.12)$$

Tablo 2.1: Rastgele Yaratılmış Önem Değerlerinin Ortalama Göstergesi (ACI)

(Kaynak: Sule, 2001).

N	RI	N	RI
1	0	8	1,41
2	0	9	1,45
3	0,58	10	1,49
4	0,90	11	1,51
5	1,12	12	1,48
6	1,24	13	1,56

Adım 5: Her bir kritere istinaden alternatiflerin görece önem dağılım değerlerinin hesaplanması

Her bir alternatifin kriterlere göre önem dağılımının bulunması, bu adımda adım 1:3 arasındaki aşamalar tekrar edilir, ancak bu safhada ikili karşılaştırmalar alternatiflerin sayısı kadar olacaktır (kriter sayısı kadar değil), buna bağlı olarak elde edilen karar matrisinin satır ve sütun sayısı da alternatif sayısı kadar olacaktır. Bahse konu kare matristen (karar matrisinden) elde edilecek olan sütun matrisleri (S matrisleri) her bir alternatifin yüzde olarak önem dağılımını gösterecektir.

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{11} \\ s_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ s_{m1} \end{bmatrix}$$

Şekil 2.5: Yüzde Dağılımı Gösteren S Sütun Matrisi (Kaynak: Saaty, 2005).

Adım 6: Her bir alternatifin önem sırasının bulunması

Adım 5'te elde edilen S matrislerinin bir araya getirilmesiyle yeni bir karar matrisi meydana gelir, bu matris alternatif sayısı kadar satır ve kriter sayısı kadar sütuna sahip olacaktır, bu karar matrisi ile kriterlerin görece önem değerlerini gösteren (W matrisi) matrisin matris çarpımı neticesinde elde edilecek olan sütun matrisi her bir alternatifin görece öncelik sıralamasını tayin etmemizi sağlayacak olan her bir alternatifin görece önem derecesini yüzde cinsinden verir.

$$R = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{21} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_{m1} \end{bmatrix}$$

Şekil 2.6: Karar Noktalarının Yüzde Dağılımını Gösteren R Sütun Vektörü (Kaynak: Saaty, 2005)

Verilen kararlarda karar vericiler için sadece somut kavramlar değil, soyut kavramlar da söz konusu olduğundan karar sürecinde genellikle kesinlikten uzak parametreler ve bu parametrelerden kaynaklanan belirsizlikler de mevcuttur. Bu belirsizlikleri de kontrol altına alarak doğruya en yakın çözüme ulaşabilmek maksadıyla geliştirilmiş çözümlerden bir tanesi ise bulanık küme teorisidir. Bulanık küme teorisinin AHP metoduna uygulanması çerçevesinde literatürde birçok çalışma mevcuttur; van Laarhoven ve Pedrycz (1983)'ün bulanık logaritmik en küçük kareler (fuzzy logarithmic least squares) tekniği, Wang ve diğerlerinin (2006) modifiye

edilmiş bulanık logaritmik en küçük kareler tekniği, Csutora ve Buckley (2001)'e ait Lambda max (λ_{max}) tekniği, Yager (1981)'e ait Yager's Index tekniği, Buckley (1985)'e ait Buckley Yaklaşımı (Buckley Approach) tekniği ve Chang (1992, 1996)'a ait Chang'ın Extent Analysis tekniği bu çalışmalara örnek olarak sayılabilir.

Geliştirilen algoritmanın ilk iki safhasında kullanılmış olan AHP metodu için yukarıda sayılmış olan bulanık uygulama tekniklerinden; Buckley Yaklaşımı tekniği (1985) ve Chang'ın Extent Analysis (Chang 1992, 1996) tekniği seçilmiştir.

2.5.1. Bulanık AHP Buckley Yaklaşımı (Fuzzy AHP Buckley's Approach)

Buckley approach (Buckley yaklaşımı) (Buckley, 1985) tekniği çözüm algoritmasının ilk basamağında, her bir karar vericinin görece ağırlık değerlerinin hesaplanması maksadıyla kullanılmıştır.

Bulanık ortamda çok kriterli karar verme problemlerinin çözümüne ilişkin literatürde bulanık TOPSIS metodu ile bütünleşik olarak pek çok kullanımına rastlanılabilecek olan tekniğin çözüm algoritmasının ilk basamağında kullanım maksadıyla seçilmesinin temelini teşkil eden sebepler aşağıdaki gibi özetlenebilir; Tekniğin,

- Karşılaştırma matrisine has bir çözüm bulabilme kabiliyeti ve
- Görece basit matematiksel modeli (Çelik et 2009 al.,).

Buckley yaklaşımı (Buckley, 1985) tekniğinin adımları ve her bir adıma ilişkin matematiksel formülasyon ise aşağıda açıklanmıştır;

Adım 1: Görece ağırlık değerlerinin belirlenmesi gereken Karar Verici grubu üyelerinin ikili karşılaştırmalarının yapılması ve ikili karşılaştırma karar matrislerinin oluşturulması.

İkili karşılaştırmalarda fikir beyan edecek olan Karar Vericiler değerlendirmelerini Tablo 2.2’de sunulmuş dilsel değişkenleri kullanarak ifade eder, Tablo 2.3’de örnek bir karşılaştırma matrisi sunulmuştur.

Tablo-2.2: Dilsel Değişkenler ve TFN Karşılıkları.

<i>Linguistic Variable</i>	<i>Denotation</i>	<i>TFN</i>
Absolutely Important	(AB)	(7, 9, 9)
Very Important	(VS)	(5, 7, 9)
Essentially Important	(ES)	(3, 5, 7)
Weakly Important	(WK)	(1, 3, 5)
Equal	(EQ)	(1, 1, 3)
Weakly Unimportant	(1/WK)	(0.2, 0.33, 1)
Essentially Unimportant	(1/ES)	(0.14, 0.2, 0.33)
Very Unimportant	(1/VS)	(0.11, 0.14, 0.2)
Absolutely Unimportant	(1/AB)	(0.11, 0.11, 0.14)

Tablo 2.3: Örnek Karşılaştırma Matrisi.

	EE	ME	Mech	BE	NvlArch	SE
EE	1	ES	ES	ES	WK	VS
ME	1/ES	1	EQ	ES	1/ES	ES
Mech	1/ES	EQ	1	ES	1/VS	VS
BE	1/ES	1/ES	1/ES	1	1/AB	EQ
NvlArch	1/WK	ES	VS	AB	1	AB
SE	1/VS	1/ES	1/VS	EQ	1/AB	1

Adım 2: Geometric mean (geometrik ortalama) tekniği kullanılarak i’nci Karar Vericinin bulanık karşılaştırma değerini her bir Karar Vericiye göre hesaplanması.

Hesaplama kullanılan matematiksel formülasyon Denklem 2.5’de sunulmuştur. Denklemdaki “ b_{in} ” i’nci Karar Vericinin n’inci Karar Vericiye göre bulanık karşılaştırma değerini ifade etmektedir. “ r_i ” ise i’nci Karar Vericinin bulanık karşılaştırma değerlerinin ortalamasıdır.

$$\tilde{r}_i = (\tilde{b}_{i1} \otimes \tilde{b}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{b}_{in})^{1/n} \quad (2.5)$$

Adım 3: Relative fuzzy importance value (görece bulanık önem değerlerinin) hesaplanması.

Hesaplama için Denklem 2.6.'da verilen matematiksel formülasyon kullanılır,

Formülasyondaki “ w_i ” i'inci Karar Vericinin bulanık görece önem değeridir ve $w_1 = (w_{i1}, w_{i2}, w_{i3})$ olarak ifade edilir.

$$\tilde{w}_i = r_i \otimes (\tilde{r}_1 \oplus \tilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n)^{-1} \quad (2.6)$$

Adım 4: Her bir Karar Vericinin görece önem değerinin bulanık sayıdan crisp sayıya çevrilmesi, bu işlem esnasında matematiksel formülasyonu Denklem 2.7'de verilen center of area (CoA-alanının ortası) yaklaşımı kullanılır.

$$CIW \tilde{DM}_i = [(w_3 - w_1) + (w_2 - w_1)] / 3 + w_1 \quad (2.7)$$

2.5.2. Bulanık Chang'ın Extent Analysis Tekniği (Fuzzy AHP Chang's Extent Analysis Technique)

Chang's Extent Analysis (Chang'ın genişletilmiş analiz) (Chang, 1996) tekniği alternatif tasarımları değerlemede kullanılacak kriterlerin (bu çalışmada 21 kriter arasından 10 adet kriter mevcut alternatiflerin değerlendirilmesi maksadıyla seçilmiş, kullanılmıştır) görece önem değerlerinin hesaplanması işlevini yerine getirir.

Chang's Extent Analysis (Chang, 1996) tekniği de Buckley approach tekniği gibi (Buckley, 1985) bulanık ortamda çok kriterli karar verme problemlerini çözmek amacıyla tek başına ya da başka teknik ve/veya metotlar ile bütünleşik olarak sıklıkla başvurulan tekniklerden bir tanesidir.

Rostamzadeh ve Sofian'ın (2011) üretim sistemi performansını iyileştirme maksatlı algoritması, İç ve Yurdakul'un (2009), makine merkezi seçimi çalışması

Seçme ve arkadaşlarının (2009) Türkiye bankacılık sektöründe performans değerlendirmesi konulu çalışması, bu tekniğin kullanımına ilişkin örneklerden birkaç tanesi olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada öne sürülen çözüm algoritmasında Chang's Extent Analysis (Chang, 1996) kullanımının tercih edilmesindeki ana nedenler ise aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Birçok bilim insanı tarafından özellikle bulanık TOPSIS metodu ile bütünleşik olarak kullanımının tercih edilmesi,
- Bulanık küme teorisinin AHP metoduna uygulanması kapsamında ortaya çıkan birçok teknik arasında matematiksel hesaplamalarının formölasyonun görece olarak daha az karmaşık olması, dolayısıyla yüksek seviye bilgisayar dili kullanılarak sayısallaştırılmasının görece kolaylığı.

Toplam 5 adımdan oluşan tekniğin her bir adımında icra edilen faaliyetlerin açıklaması ve açıklanan adıma ilişkin matematiksel formölasyon takip eden paragraflarda özetlenmiş ve sunulmuştur (Chang, 1996);

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ve $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ nesne ve hedef kümesi olarak kabul edildiğinde,

Adım 1: Her bir hedef için genişletilmiş analiz değerlerinin hesaplanması

Her bir nesne ele alınır ve her bir hedef için genişletilmiş analiz (Chang, 1992) uygulanır. Sonuç her bir hedef için m adet genişletilmiş analiz değeridir ve Denklem 2.8'de olduğu gibi ifade edilir. İfadedeki her bir M değeri bir üçgensel bulanık rakamdır (TFN).

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

Adım 2: Synthetic Extent Value (yapay genişletilmiş) değerlerin hesaplanması

i'inci nesneye ait yapay genişletilmiş değer Denklem 2.9'da verilmiş matematiksel ifade kullanılarak elde edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \odot \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (2.9.)$$

Adım 3: $M_1 \geq M_2$ ifadesinin olasılık derecesinin hesaplanması

$M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ bulanık üçgensel rakamlar (TFN) olmak üzere $M_1 \geq M_2$ olasılık derecesinin hesaplanması için Denklem 2.10'da verilmiş olan matematiksel ifade kullanılır.

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x \geq y} \left[\min \left(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y) \right) \right] \quad (2.10)$$

Bu ifadede V değeri temel olarak iki bulanık üçgensel rakam arasındaki büyüklük ilişkisinin olasılığını açıklamakta kullanılan değerdir. M_1 ve M_2 TFN olduklarından $M_1 \geq M_2$ olasılık derecesini hesaplamak için hem $V(M_1 \geq M_2)$ hem de $V(M_2 \geq M_1)$ olasılıklarına ihtiyaç vardır. Bu olasılık değerleri ise Denklem 2.11 ve Denklem 2.12 kullanılarak hesaplanır;

$$V(M_1 \geq M_2) = 1 \text{ iff } m_{12} \geq m_{22} \quad (2.11)$$

$$V(M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) \quad (2.12)$$

Denklem 2.12 ifadesindeki d ibaresi μ_{M_1} ile μ_{M_2} 'nin kesişim noktalarının x-ekseni bileşenidir. Bu değer Denklem 2.13 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} V(M_2 \geq M_1) &= hgt(M_2 \cap M_1) \\ &= \frac{m_{11} - m_{23}}{(m_{22} - m_{23}) - (m_{12} - m_{11})} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Adım 4: Ağırlık vektörünün, konveks bir TFN'nin k konveks TFN sayıdan daha büyük olması olasılığının hesaplanması ile belirlenmesi.

Olasılığın hesaplanabilmesi için Denklem 2.14'de verilmiş olan matematiksel ifade kullanılır.

$$\begin{aligned} V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_k) &= V[(M \geq M_1) \text{ and } (M \geq M_2) \text{ and } \dots \text{ and } (M \geq M_k)] \\ &= \min V(M \geq M_k), \quad i = 1, 2, \dots, k \end{aligned} \quad (2.14)$$

$k = 1, 2, \dots, n; k \neq i$ için $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ olarak alınırsa, ağırlık vektörü Denklem 2.15.'de olduğu gibi elde edilir.

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_{1n}))^T \quad (2.15)$$

Adım 5: Bulanık olmayan ağırlık vektörünün elde edilmesi.

Denklem 2.15'den elde edilmiş olan ağırlık vektörünün normalize edilmesi durumunda Denklem 2.16'da verilmiş olan ağırlık vektörü bulunur, bu ağırlık vektöründeki rakamlar TFN değildir.

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_{1n}))^T \quad (2.16)$$

2.4. TOPSIS Metodu

TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) Hwang ve Yoon tarafından (1981) geliştirilerek literatüre dahil edilmiş bir MCDM metodudur.

Yöntem, Karar Verici grubu üyelerinin önceden belirlenmiş olan kriterlere istinaden alternatifleri puanlaması esasına dayanır. Bu puanlama işlemi neticesinde similarity index (benzerlik indeksi) kavramı kullanılarak bir sıralama işlemi yapılır, sıralamada en üst sırada olan alternatif mevcut alternatifler arasında çözüme en uygun alternatif olarak kabul edilir.

Similarity index temel olarak her bir alternatif çözümün negative ideal solution (negatif ideal çözüm) ve positive ideal solution (pozitif ideal çözüme)'a olan relative closeness value (görece yakınlık derecesinin) değerinin hesaplamasıdır. Metot similarity index hesaplamalarını yapabilmek için aşağıdaki tanım ve kabullere dayanır;

- Bir MCDM problemi i alternatif sayısına ve j adet kriter sayısına sahip ise j boyutlu bir çözüm uzayında i kadar nokta ile gösterilebilir,
- Pozitif ideal çözüm her bir kriter için maksimum değerlere sahip olan çözümdür,
- Negatif ideal çözüm ise tüm kriterler için en düşük değerlere sahip çözümdür.

TOPSIS metoduna göre alternatifler arasındaki en uygun çözüm alternatifi pozitif ideal çözüm noktasına en yakın, negatif ideal çözüm noktasına ise en uzak mesafede olan çözümdür. Bu uzaklıklar kullanılarak yakınlık indeksi hesaplanır ve alternatiflerin küçükten büyüğe sıralaması bu indeks değerine göre yapılır.

TOPSIS metodunun çoklu kriter karar verme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmasının başlıca sebepleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Kolaylıkla anlaşılabilen bir mantığa sahip olması,
- Metodun her bir aşamasındaki matematiksel alt yapının görece anlaşılabilir olması,
- Her bir kriter için en uygun alternatifi belirleyebilme kabiliyeti,
- Görece önem değerlerini hem kriterler hem de Karar Verici grubu üyeleri için hesaplama süreçlerine dâhil edebilme özelliği (Wang and Chang, 2007).

TOPSIS metodunun fuzzy versiyonu ilk olarak Chen ve Hwang (1992) tarafından literatüre dâhil edilmiştir. TOPSIS metodunu fuzzy theory (bulanık mantık teorisi) ile birleştiren başka çalışmalar da olmuştur; Linag (1999) pozitif ve negatif

ideal çözüm kavramlarını maksimizasyon ve minimizasyon küme sıralama metodu ile birleştirmiştir, Chen (2000) geliştirmiş olduğu vertex yöntemi ile iki TFN sayı arasındaki mesafeyi klasik bir sayı ile tanımlamayı başarmış, bu rakamı bulanık negatif ideal çözüm ve pozitif ideal çözüm kavramları ile birleştirmiştir, Chang ve Yeh (2002) mesafe kavramı yerine bulanık benzerlik kavramını kullanmışlardır, Jahanshahloo ve arkadaşları ise (2006) normalize edilmiş bulanık sıralamaları yaratmak için bulanık mantık teorisindeki α -cuts kavramını kullanmışlardır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş olan algorithmada ise yukarıda sayılmış olan TOPSIS metodunun bulanık mantık versiyonlarının içinden Chen'in (2000) geliştirmiş olduğu metot kullanılmıştır. Bu seçimin arkasındaki mantık aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Diğer bulanık mantık uygulamaları ile arasında sadece ufak farklılıklar olması, (Çelik et al., 2009)
- Matematiksel işlemlerindeki görece kolaylık ve basitlik,
- Literatürde pek çok çalışmada bulanık MCDM problemlerinin çözüm algoritmalarında bulanık AHP metodu ile birlikte kullanılmış olması,

Yukarıdaki son maddede işaret edilmiş olan birlikte kullanım; bulanık AHP metodunun çalışma kapsamındaki kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde, bulanık TOPSIS metodunun ise alternatiflerin puanlanması ve sıralanmasında kullanılmasıdır. Bu tip kullanıma örnek olarak Torfi ve arkadaşlarının (2010) kullanıcı tercihlerine ilişkin MCDM yaklaşımı, Paksoy ve arkadaşlarının (2012) dağıtım kanalları yönetimi, Awasthi ve Chauhan'ın (2012) şehir lojistik planlama çalışmaları ve Ekmekçioğlu ve arkadaşlarının (2010) alan seçimi algoritması çalışmaları sayılabilir.

Bu çalışmada kullanılan Chen'e ait bulanık TOPSIS metodu 6 adımdan oluşan bir çözüm süreci kullanır (Chen, 2000);

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması.

Karar matrisinde satırlarda puanlaması yapılacak olan (hangisinin üstün olacağı belirlenecek olan) alternatifler, sütunlarda ise karşılaştırma/puanlamada kullanılacak olan kriterler yer alır. Matrisin her bir elemanı bulunduğu satırın temsil etmiş olduğu alternatifi için Karar Verici grubu üyeleri tarafından verilmiş olan performans ölçüsüdür (TFN sayıdır).

Matris elemanları TFN sayı olduklarından $\tilde{x}_{ij} = (x_{1ij}, x_{2ij}, x_{3ij})$ şeklinde ifade edilirler. Şekil 2.7.'de tipik bir karar matrisi sergilenmiştir.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & C_3 & \cdots & C_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \tilde{x}_{13} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \tilde{x}_{23} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \tilde{x}_{31} & \tilde{x}_{32} & \tilde{x}_{33} & \cdots & \tilde{x}_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \tilde{x}_{m3} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Şekil 2.7: Tipik Karar Matrisi (Kaynak: Chen, 2000).

Adım 2: Normalize edilmiş karar matrisinin ($\tilde{R}$ matrisi) oluşturulması.

Normalize edilmiş karar matrisi $\tilde{D}$ matrisinin elemanlarının ilgili kriterin fayda (benefit) ya da maliyet (cost) kriteri olmasına bağlı olarak Denklem 2.17 ve Denklem 2.18'de verilen matematiksel işlemlere tabi tutulması ile elde edilir.

Benefit kriterleri için:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{x_{1ij}}{x_{3j}^+}, \frac{x_{2ij}}{x_{3j}^+}, \frac{x_{3ij}}{x_{3j}^+} \right), \quad x_{3j}^+ = \max_i x_{3ij} \quad (2.17)$$

Cost kriterleri için:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{x_{1j}^-}{x_{3ij}^-}, \frac{x_{1j}^-}{x_{2ij}^-}, \frac{x_{1j}^-}{x_{1ij}^-} \right), \quad x_{1j}^- = \min_i x_{1ij} \quad (2.18)$$

Adım 3: Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisinin ($\tilde{V}$ matrisi) oluşturulması.

Ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisinin elde edilebilmesi için $\tilde{R}$ matrisinin her bir elemanı denklem 2.19.'da verilmiş olan matematiksel işleme tabi tutulur. Denklem'de görülen W_j ibaresi j'inci kriterin görece ağırlık değeridir, bu rakam TFN sayı değildir.

$$\tilde{V}_{ij} = W_j \otimes \tilde{r}_{ij} \quad (2.19)$$

Adım 4: Negatif ve pozitif ideal çözümlerin belirlenmesi.

Negatif ve pozitif ideal çözüm alternatifleri Denklem 2.20 ve Denklem 2.21'e göre belirlenir.

$$NIS^- = \{\tilde{V}_1^-, \tilde{V}_2^-, \dots, \tilde{V}_n^-\} = \min_i V_{ij} \mid (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.20)$$

$$PIS^+ = \{\tilde{V}_1^+, \tilde{V}_2^+, \dots, \tilde{V}_n^+\} = \max_i V_{ij} \mid (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2.21)$$

Bu çalışmada literatürde pek çok çalışmada olduğu gibi (Amiri, 2010; Chamzini and Yakhchali, 2012) bu değerler $V_j^+ = (1, 1, 1)$ ve $V_j^- = (0, 0, 0)$ olarak kullanılmıştır.

Adım 5: Her bir alternatif çözümün pozitif ideal ve negatif ideal çözümden olan mesafesinin hesaplanması.

Her bir alternatif için negatif ve pozitif ideal çözümden olan mesafe Denklem 2.22 ve Denklem 2.23'e göre hesaplanır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{V}_{ij} - \tilde{V}_j^+), \quad (2.22)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{V}_{ij} - \tilde{V}_j^-), \quad (2.23)$$

Her iki denklemde de görülen $d(\tilde{V}_{ij} - \tilde{V}_j^-)$ ibaresini hesaplayabilmek için literatürde pek çok yöntem mevcuttur. Bu çalışmada ise Chen (2000) tarafından geliştirilmiş olan “vertex metodu” kullanılmaktadır. Bu metot iki TFN sayının arasındaki mesafenin Denklem 2.24’deki matematiksel ifade ile hesaplanabileceğini ortaya koyar.

$$(\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(m_{11} - m_{21})^2 + (m_{12} - m_{22})^2 + (m_{13} - m_{23})^2]} \quad (2.24)$$

Adım 6: Her bir alternatifin relative closeness value (görece yakınlık) değerinin hesaplanması.

Bu değer her bir alternatifin sırlanması maksadıyla kullanılır, sıralama küçükten büyüğe doğru yapılır. En büyük değeri alan alternatif en üst sırayı alır, en üst sıradaki alternatif ise en uygun çözüm olarak değerlendirilir. Relative closeness value değeri Denklem 2.25’deki matematiksel ifade ile hesaplanabilir.

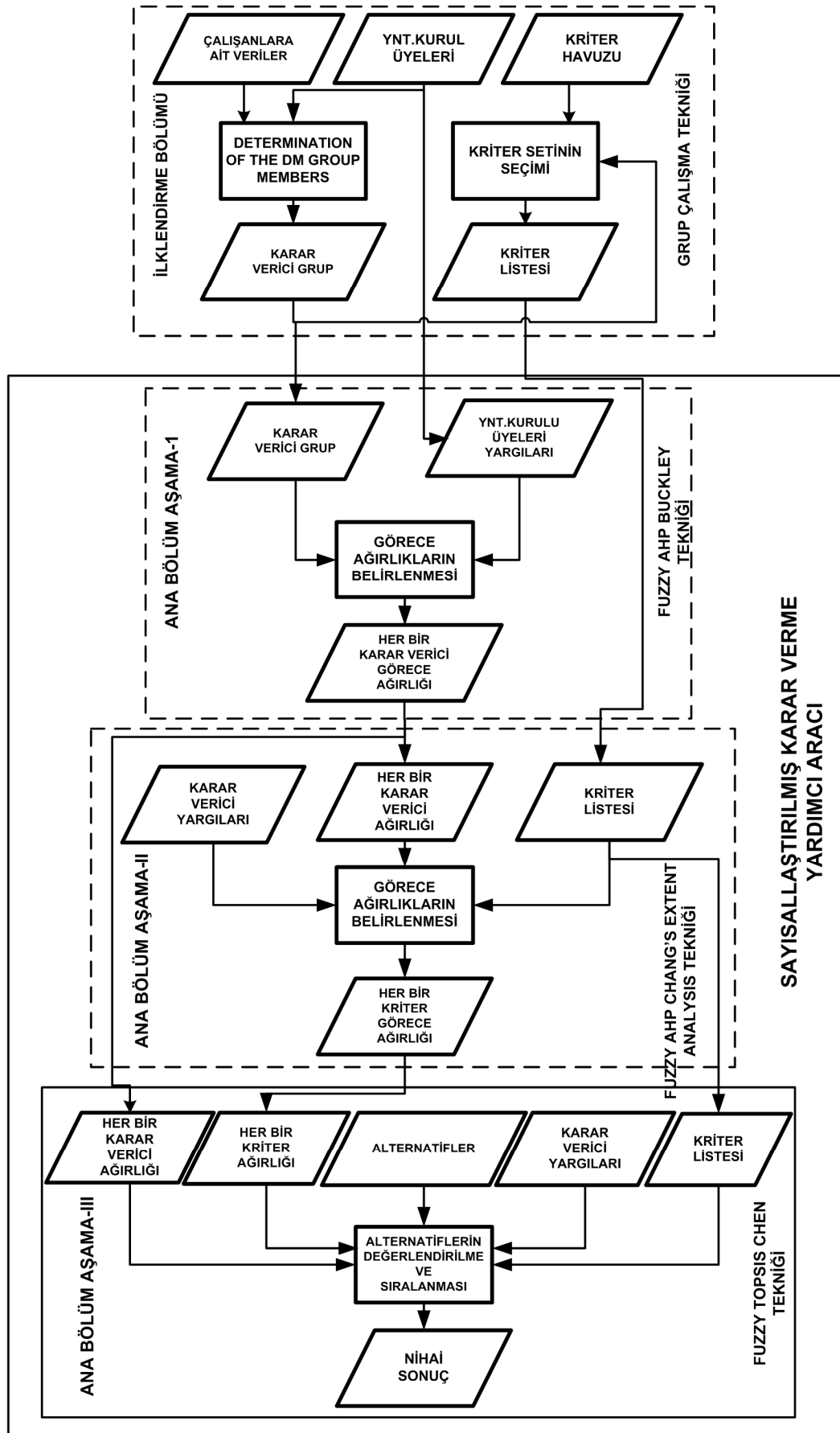
$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (2.25)$$

3. ÇÖZÜM ALGORİTMASI DETAYLARI VE BİR KARAR VERME YARDIMCI ARACI

3.1. Çözüm Algoritması ve Karar Verme Yardımcı Aracı Bölümleri

Araştırma sorusunun çözümü maksadıyla geliştirilen algoritma Şekil 3.1’de görüldüğü gibi 2 ana bölümden meydana gelmektedir; ilklendirme bölümü ve sayısallaştırılmış bulanık ortamda çoklu kriter karar verme yardımcı aracını ihtiva eden ana bölüm. Bölümlerin detaylı açıklamaları takip eden maddelerde sunulmuştur:

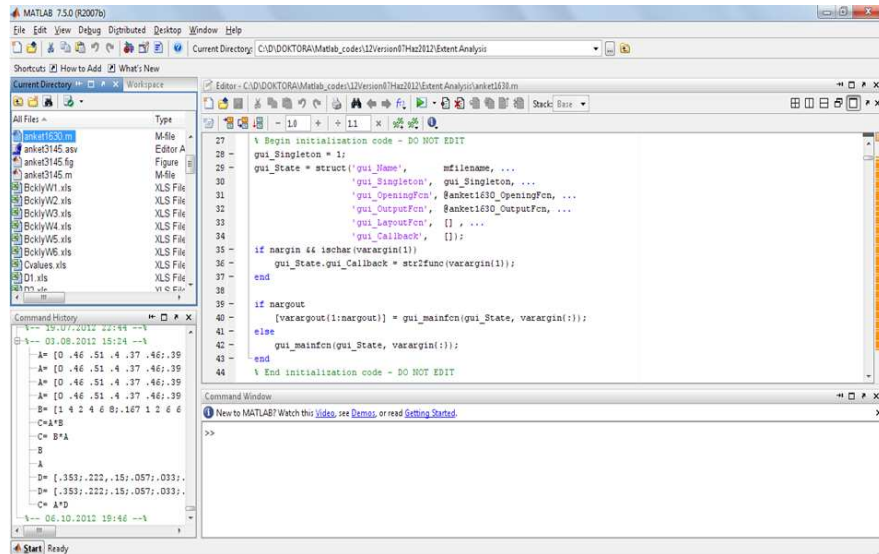
- İlklendirme Bölümü; Ana bölümün ihtiva ettiği sayısallaştırılmış bulanık ortamda çoklu kriter karar verme yardımcı aracının ihtiyaç duyduğu girdilerin hazırlandığı bölümdür. Bölümde icra edilen faaliyetlerde Karar Vericiler grup çalışma tekniğini uygulamışlardır. Bölümde gerçekleşen faaliyetler;
 - o ROV üretici firmasının yönetim kurulu üyelerinin katkılarıyla Karar Verici grubun üyelerinin seçimi ROV şirketinin tüm çalışan havuzu içerisinde gerçekleştirilir (Karar Verici grup 6 üyeden oluşacaktır),
 - o Önceden belirlenmiş olan kriter havuzu seçilen Karar Verici Gruba sunulur, alternatif ROV tasarımlarının arasından en uygunun seçiminde kullanılacak olan kriterler bu havuzdan belirlenir (Kriter sayısı 10 olacaktır),



Şekil 3.1: Çözüm Algoritmasının Şekilsel Gösterimi

- Ana Bölüm; Sayısallaştırılmış bulanık ortamda çok kriterli karar verme yardımcı aracını ihtiva eden bölümdür. Ana bölüm üç alt bölüme ayrılmıştır. Her bir alt bölümde bir MCDM tekniği kullanılmaktadır. Kullanılan MCDM tekniklerinin sayısallaştırılıp, bütünleştirilmesi neticesinde ise karar verme yardımcı aracı elde edilir, ana bölümde her bir alt bölüm tarafından yerine getirilen fonksiyon ve kullanılan MCDM tekniği aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır;
- Alt bölüm-1; başlangıç bölümünde belirlenmiş olan Karar Verici grubun üyelerinin görece önem değerlerinin hesaplanması,

- o İşlemin icrası için fuzzy AHP Buckley (Buckley, 1985) tekniği kullanılır,
- o MCDM tekniğinin tüm aşamaları MATLAB programlama dili kullanılarak Şekil 3.2’de sunulan geliştirme ortamında sayısallaştırılmıştır. Karar Verici grubu üyelerinin görece önem değerlerinin hesaplanmasına yönelik tüm işlemler bilgisayar tarafından MATLAB geliştirme ortamında otomatik olarak icra edilir.



Şekil 3.2: MATLAB Geliştirme Ortamı.

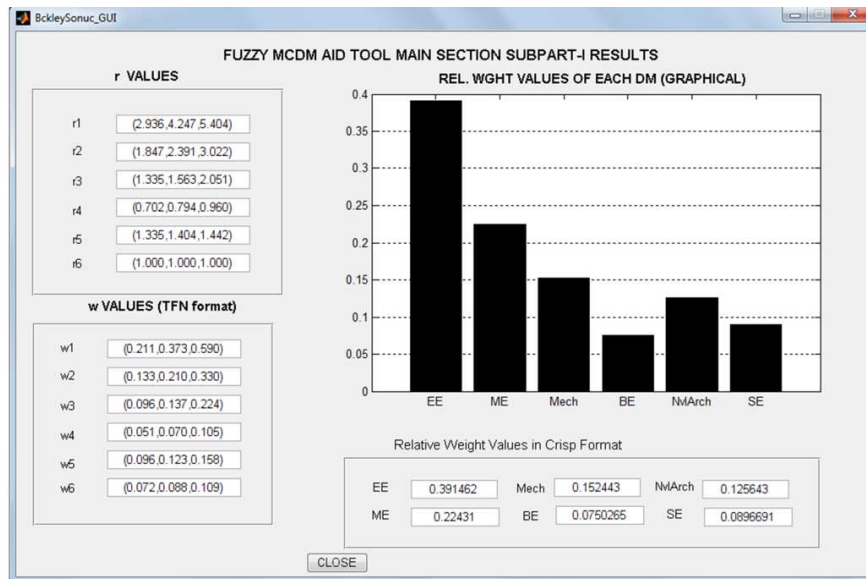
- o Fuzzy AHP Buckley (Buckley, 1985) tekniğinin hesaplamalar için ihtiyaç duyacağı Karar Verici grubu üyelerinin değerlendirmeleri (ikili karşılaştırmaları) MATLAB programlama dili kullanılarak sayısallaştırılmış anket ara yüzleri vasıtasıyla toplanılır, toplanılan değerlendirmeler bilgisayar ortamında saklanılır ve otomatik olarak hesaplamalara dâhil edilir. MATLAB programlama dili kullanılarak geliştirilen alt bölüm-1'e ait anket ara yüzü Şekil 3.3'de sunulmuştur.

Şekil 3.3: Alt Bölüm-1'e ait Anket Ara Yüzü.

- o Bu aşamadan elde edilecek görece ağırlık değerleri takip eden aşamalarda Karar Vericiler tarafından sağlanılacak tüm değerlendirmelerin rakamsal karşılıklarının ağırlıklandırılması maksadıyla kullanılacaktır.
- Alt bölüm-2; ikilendirme bölümünde belirlenmiş olan kriterlerin görece önem değerlerinin hesaplanması,
 - o Bu işlemin icrası için fuzzy AHP Chang's Extended Analysis (Chang, 1996) tekniği kullanılır,
 - o MCDM tekniğinin tüm aşamaları MATLAB programlama dili kullanılarak Şekil 3.2'de sunulan geliştirme ortamında

sayısallaştırılmıştır. Kriterlerin görece önem değerlerinin hesaplanmasına yönelik tüm işlemler bilgisayar tarafından MATLAB geliştirme ortamında otomatik olarak icra edilir.

- o Fuzzy AHP Chang's Extended Analysis (Chang, 1996) tekniğinin hesaplamalar için ihtiyaç duyacağı Karar Verici grubu üyelerinin değerlendirmeleri (ikili karşılaştırmaları) MATLAB programlama dili kullanılarak sayısallaştırılmış anket ara yüzleri vasıtasıyla toplanılır, toplanılan değerlendirmeler bilgisayar ortamında saklanılır ve otomatik olarak hesaplamalara dâhil edilir.
- o Bu aşamada elde edilen kriterler ait görece ağırlık değerleri alternatiflerin değerlendirilmesi aşamasında her bir kriterin ağırlık katsayısı olarak kullanılır.
- o Her bir alt bölümde icra edilen işlemlerin sonuçlarının kullanıcıya bilgisayar ekranında sergilenmesi maksadıyla da MATLAB programlama dili ve MATLAB geliştirme ortamı kullanılmak suretiyle grafik ara yüzler (GUI-Graphical user interface) tasarlanmıştır. Şekil 3.4'de alt bölüm-2 için tasarlanmış olan GUI sunulmuştur.



Şekil 3.4: Alt Bölüm-1'e ait Sonuç Ara Yüzü

- Alt bölüm-3; Alternatiflerin kriterlere istinaden Karar Verici grubu tarafından değerlendirilmesi, en uygun alternatifin seçilmesi,
 - o Bu işlemin icrası için fuzzy Chen's TOPSIS (Chen, 2000) tekniği kullanılır,
 - o MCDM tekniğinin tüm aşamaları MATLAB programlama dili kullanılarak Şekil 3.2'de sunulan geliştirme ortamında sayısallaştırılmıştır. Alternatiflerin skorlarının hesaplanmasına yönelik tüm işlemler bilgisayar tarafından MATLAB geliştirme ortamında otomatik olarak icra edilir.
 - o Fuzzy Chen's TOPSIS (Chen, 2000) tekniğinin hesaplamalar için ihtiyaç duyacağı Karar Verici grubu üyelerinin değerlendirmeleri MATLAB programlama dili kullanılarak sayısallaştırılmış anket ara yüzleri vasıtasıyla toplanılır, toplanılan değerlendirmeler bilgisayar ortamında saklanır ve otomatik olarak hesaplamalara dâhil edilir,
 - o Bu aşamada elde edilen her bir alternatife ait skor alternatiflerin sıralanması maksadıyla kullanılır, sıralamada en yüksek skora haiz alternatif ilk sırayı alır ve en uygun alternatif olarak belirlenmiş olur.

3.2. Karar Verici Grubu Üyelerinin Heterojenlik Etkisinin İncelenmesi

Araştırma sorusunun çözümü maksadıyla geliştirilen algoritmayı meydana getiren MCDM teknikleri bölüm 2.2.1'de detaylı olarak açıklandığı gibi literatürde çok çeşitli alanlardaki karar verme problemlerinin çözümü maksadıyla kullanılmıştır. Ancak; bu çalışmalarda karar verme grubu üyelerinin farklı özelliklere sahip olmasından kaynaklanan heterojen grup yapısı önüne alınmamıştır. Kriterlerin görece önemlerinin belirlenmesi, alternatiflerin kriterlere istinaden değerlendirilmesi aşamalarında girdi sağlayan Karar Vericilerin meydana getirdiği

küme homojen kabul edilmiş, tüm Karar Vericilerin eşit önem derecesine haiz oldukları varsayılmıştır (Athanasopoulos et al., 2009; Afshar et al., 2011; Önüt et al., 2009; Kelemenis and Askounis, 2010; Kelemenis et al., 2011; Xiao et al., 2012; Ekmekçioğlu et al., 2010; Dağdeviren et al., 2009; Chou et al., 2008). Birçok çalışmada Karar Verici grubunun homojen olduğu varsayımı doğrudan belirtilmez ve matematiksel hesaplamaların incelenmesi esnasında bu durum tespit edilebilirken, bazen de Karar Verici grubunun homojen olamayacağı ancak işlemleri daha da karmaşık hale getirmemek maksadıyla bu durumun göz ardı edildiği şeklinde açıklamalar da mevcuttur. Her iki durumda da kümenin heterojenliğinin (homojen olmamasının) çözüm sürecindeki işlem basamaklarına dâhil edilmeksizin uygun alternatifin belirlendiği görülmektedir.

Bu çerçevede; Kahraman ve arkadaşlarının (2004) yemek firması karşılaştırması, Seçme ve arkadaşlarının (2009) Türk bankacılık sisteminin bulanık performans değerlendirmesi, Gümüş'ün (2009) tehlikeli atık madde taşıyan firmaları değerlendirmesi, Aydoğan'ın (2011) Türk uçak şirketlerinin performans ölçümü, Yu ve arkadaşlarının (2011) elektronik ortamda ortaklık kurmuş olan ticari web sayfalarının değerlendirilmesi gibi çalışmalarda klasik iki basamaklı çözüm algoritmaları kullanılmış; bu algoritmalarda AHP metodu alternatifler arasında değerlendirme yapmak maksadıyla kullanılacak olan kriterlerin görece önemlerini belirlenmesi, TOPSIS metodu ise alternatiflerin kriterlere istinaden değerlendirilmesi ve en uygun alternatifin belirlenmesi maksadıyla kullanılmıştır.

Her hangi bir karar verme problemi çözümü için ideal şartlar dâhilindeki çözümler göz önüne alındığında ve/veya yeni geliştirilmiş bir algoritmanın/çözüm yönteminin doğrulanması aşamasında kabul edilebilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilecek Karar Verici grubun homojen kabul edilmesi durumunun, bir gerçek hayat çok kriterli karar verme problemini (real life MCDM problem) çözmek için yaratılan çözüm algoritması için kabul edilebilir bir varsayım olmadığı ise açıktır.

Normal hayatta herhangi bir konuda alan uzmanı olarak kabul ettiğimiz kişilerin her birinin aynı seviyede bilgi, tecrübe, kültür seviyesi, iş tecrübesi, öğrenim

seviyesi vb özelliklere haiz olması mümkün olamayacağından, her bir alan uzmanının yapmış olduğu değerlendirmenin eşit kabul edilmesi de gerçekçi bir durum değildir. Bu gerçekten hareketle, Karar Verici grup üyelerinin eşit seviyede oldukları kabulünü temel alarak elde edilecek olan çoklu karar verme problemleri çözümlerinin de gerçek çözümden ıraksanmasına sebebiyet vereceği ifade edilebilir.

Geliştirilen algorithmada ise yukarıda açıklanmış olan gerçek çözümden ıraksanma probleminin ortadan kaldırılması, doğru çözüme mümkün olabildiğince yakınsanması maksadıyla geleneksel 2 basamaklı çözüm metodolojisinin (MCDM teknikleri AHP ve TOPSIS'in bütünleşik olarak kullanımı) önüne bir basamak daha eklenilmiştir. Eklenen bu ilave basamak ile Karar Vericilerin görece önem değerleri belirlenmekte ve bu önem dereceleri takip eden safhalarda hesaplamalara dâhil edilerek Karar Verici kümenin heterojenliğinin etkileri uygun alternatifin/çözümün belirlenmesi sürecine dâhil edilmiş olmaktadır.

Karar vericiler kümesinin heterojenliğinin karar verme sürecine ilave edilmesinin gerekli olduğunu açıklanması amacıyla Tablo 3.1'de sunulmuş örnek kullanılabilir;

Tablo 3.1'de 4 Karar Vericinin bir kritere ilişkin olarak yapmış oldukları değerlendirmeler görülmektedir.

- Değerlendirme esnasında Karar Vericiler 1'in en kötü, 5'in ise en iyi manasına geldiği bir ölçek kullanmıştır.
- Tablodaki ilk sütun Karar Verici kümesinin heterojen olduğundan hareketle her bir Karar Verici için görece bir önem katsayısı göstermektedir.
- İkinci sütun ise Karar Verici grubu homojen bir grup olarak varsaydığımızda geçerli olacak birbirine eşit 4 görece önem değerini göstermektedir (bu örnekte grup 4 kişiden oluştuğundan her bir Karar Vericinin önem değeri $\frac{1}{4} = 0.25$ olarak gösterilmiştir).

- Üçüncü sütun her bir Karar Vericinin kriter için uygun gördüğü değerlendirmeyi göstermektedir.
- Dördüncü sütun Karar Verici grubun heterojen kabul edilmesi durumunda Karar Vericinin değerlendirmesinin ağırlıklandırılmış halini göstermekte,
- Beşinci sütun ise grubun homojen kabul edilmesi durumunda Karar Vericilerin değerlendirmelerinin ağırlıklandırılmış halini göstermektedir.
- Son sütun ise her bir Karar Vericinin yapmış olduğu değerlendirmenin homojen grup ve heterojen grup durumuna bağlı olarak ağırlıklandırmasından sonra ortaya çıkan sonuçların arasındaki farkın gösterildiği sütundur.

Tablo 3.1: Karar Verici Kümesinin Heterojenliğinin Karar Sürecine Etkisi.

<i>Karar Verici (DM)</i>	<i>Heterojen Grup Görece Önem Değerleri</i>	<i>Homojen Grup Görece Önem Değerleri</i>	<i>Değerlendirmeler (1-5 Skalsı)</i>	<i>Heterojen Grup Ağırlıklandırılmış Değerlendirmeler</i>	<i>Homojen Grup Ağırlıklandırılmış Değerlendirmeler</i>	<i>Δ (Fark)</i>
DM	0.4	0.25	5	2	1.25	0.75
DM	0.3	0.25	2	0.6	0.5	0.1
DM	0.2	0.25	3	0.6	0.75	0.15
DM	0.1	0.25	4	0.4	0.25	0.15

Tablo 3.1'deki 1 numaralı Karar Vericinin kriter üzerindeki değeri değerlendirilmesi örnek olarak incelendiğinde; grubun homojen kabul edilmesi ile heterojen kabul edilmesine bağlı olarak kriter üzerindeki değerlendirmeler arasındaki farkın $0.75 (2 - 1.25 = 0.75)$ olduğu görülür. Bu fark, kullanılacak karar verme metodunun matematiksel formülasyonuna bağlı olarak karar verme sürecinin sonunda gerçekte mevcut alternatif/çözümleri içeren havuzun içinden en ideal olmayan olasılığın dahi seçilmesine sebebiyet verebilecek büyüklükte, göz ardı edilemeyecek bir farktır.

Yukarıdaki örnekten de anlaşılabilir olduğu gibi özellikle belirsizliğin tanım gereği yüksek olduğu bulanık ortamlardaki karar verme süreçlerinde algoritmada kullanılan girdilerin (Karar Verici değerlendirmeleri, örneğin ikili karşılaştırma neticeleri) kesin, kati olmamasından kaynaklanan handikapa ilave olarak böyle bir hatanın da sürece dâhil olması, hesaplamaların hitamında gerçekte uygun olmayan bir alternatifin/çözümün sanki uygun alternatif/çözüm mü gibi ortaya çıkmasına sebebiyet verebilme olasılığı göz ardı edilmez.

Bu tartışmadan hareketle araştırma sorusunun çözümü kapsamında geliştirilen algoritmada çok kriterli karar verme yöntemlerinin geleneksel 2 aşamalı bütünleşik kullanımı yerine, 3 aşamalı bir metodoloji kullanılmıştır.

3.3. Karar Verici Grubu Üyelerinin Yargı Belirtme Ölçekleri

Çözüm algoritmasında kullanılan MCDM tekniklerinin uygulamasında iki farklı Karar Verici grubu mevcuttur; ilk grup milli ROV firmasının çalışanları arasından seçilmiş olduğu ikinci Karar Verici grubu üyelerini değerlendirme işlevini yerine getirmiş, ikinci grup ise kendilerince bir kriter havuzundan seçilmiş olan kriterlerin değerlendirme ve alternatif tasarımların puanlanması işlevlerini icra etmiştir.

Birinci Karar Verme grubu ikinci Karar Verme grubunun üyelerini belirlerken ve ikinci Karar Verme grubu ise kriter havuzundan kriter belirlerken grup çalışma tekniğini kullanmıştır.

Her iki Karar Verme grubu da değerlendirmelerini ifade etmek için dilsel değişkenler (linguistic variable) kullanmıştır. Birinci Karar Verici grubu üyelerinin İkinci Karar Verici grubu üyelerini değerlendirmesi ve İkinci Karar Verici grubu üyelerinin kriterleri değerlendirmesi esnasında kullanılan dilsel değişkenler ile İkinci Karar Verici grubu üyelerinin alternatif ROV tasarımlarını puanlama esnasında kullandıkları dilsel değişkenlerden meydana gelen skala ve bu dilsel değişkenlerin her birinin TFN karşılığı Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’de sunulmuştur.

Tablo 3.2: Dilsel Değişkenler (Alt Bölüm-1 ve 2)

<i>Dilsel Değişkenler</i>	<i>Kısaltma</i>	<i>Üçgensel Bulanık Sayı</i>
Absolutely Important	(AB)	(7, 9, 9)
Very Important	(VS)	(5, 7, 9)
Essentially Important	(ES)	(3, 5, 7)
Weakly Important	(WK)	(1, 3, 5)
Equal	(EQ)	(1, 1, 3)
Weakly Unimportant	(1/WK)	(0.2, 0.33, 1)
Essentially Unimportant	(1/ES)	(0.14, 0.2, 0.33)
Very Unimportant	(1/VS)	(0.11, 0.14, 0.2)
Absolutely Unimportant	(1/AB)	(0.11, 0.11, 0.14)

Tablo 3.3: Dilsel Değişkenler (Alt Bölüm-3)

<i>Dilsel Değişkenler</i>	<i>Kısaltma</i>	<i>Üçgensel Bulanık Sayı</i>
Very High	VH	(9, 10, 10)
High	H	(5, 7, 9)
Medium	M	(3, 5, 7)
Low	L	(1, 3, 5)
Very Low	VL	(1, 1, 3)

Karar Verici grubu üyelerinin yargılarını/puanlarını ifade etmek için kullanılacak olan skalanın ve TFN karşılıklarının belirlenmesi sürecinde literatürde yapılan inceleme neticesinde genel kabul gören eğilimlerin kullanılması yöntemi benimsenmiştir. Bu kapsamda; fuzzy AHP Buckley (Buckley, 1985) ve fuzzy AHP

Chang'ın Extent Analysis (Chang, 1996) teknikleri için literatürde bir çok çalışmada kullanıldığı görülen (Arslan, 2009, Taha and Rostam, 2012, Aslani and Aslani, 2012, Kang et al., 2012, Janackovic et al., 2013, Chen et al., 2014) ve Tablo 3.2'de sunulan 9'lu skala ve TFN karşılıkları kullanılmıştır.

Fuzzy Chen'in TOPSIS (Chen, 2000) tekniği için ise 5'li skalanın literatürde sıklıkla tercih edildiği (Yong, 2006, Kahraman et al., 2007, Perçin, 2008, Chen and Chen, 2008, Torfi et al., 2010, Xi and Zhang, 2011, Ebonzo and Liu, 2012, Chamzini and Yakhchali, 2012) belirlenmiş, skalanın TFN karşılıkları için ise yine literatürde kullanımına çok rastlanılan (Chen, 2000, Anagnostopoulos, 2008, Ekmekçioğlu et al., 2010, Kelemenis and Askounis, 2010) ve Tablo 3.3'de sunulmuş olan eğilimin kullanımına karar verilmiştir.

3.4. Kullanılacak Kriterlerin Belirlenmesi Süreci

Önceki bölümde de görüldüğü gibi ROV literatüründe mekatronikten, seyrüsefere, zorlu coğrafyalarda gözlemden, askeri kullanıma kadar çok geniş bir yelpazede disiplinler ve uygulama alanları mevcuttur. Ancak, bu geniş literatürde ROV'lerin yaşam döngülerine ilişkin karar verme süreçlerinin tanımlanması çerçevesinde; geliştirilmiş alternatif ROV tasarımları arasından seri üretim için en uygun olanının seçimi hususunda rasyonel bir algoritma ve bu algoritmadan türetilmiş bir karar verme yardımcı aracı mevcut olmamasından kaynaklanan bir boşluk mevcuttur. Literatürdeki bu boşluğu doldurmak maksadıyla geliştirilmiş ve detayları yukarıda açıklanmış olan algoritmanın uygulanması için gerekli olan kriter havuzunun belirlenmesi aşamasında da bağımsız bir literatür taraması icra edilmiştir.

Bu tarama neticesinde aşağıda sıralanmış olan kaynaklardan istifade edilerek toplam 21 adet kriterden oluşan bir havuz oluşturulmuştur. Geliştirilmiş olan sayısallaştırılmış bulanık ortamda çok kriterli karar verme yardımcı aracının başlangıç bölümünde (initiation) bu kriterler Karar Verici grubu üyelerine sunulmuş

ve grup çalışma tekniğini uygulayarak 10 adedini seçmeleri talep edilmiştir. Kriter havuzu için incelenen eserler;

- Sualtı araçlarına ilişkin literatürde en önemli kaynaklardan bir tanesi olarak nitelendirilen, sualtı araçları tasarımı konusunun kutsal kitabı olarak da kabul edilen Allemendiger'e (1990) ait "Submersible vehicle systems design" kitabı,
- Bellingham ve arkadaşlarının (1994) ikinci nesil AUV'lere ilişkin hususları ihtiva eden teorik makalesi,
- Kobayashi'nin (1995) Japonya tarafından kullanılan oşinografi maksatlı sualtı araçlarının temel karakteristiklerinin özetlendiği makalesi,
- Lygouras ve arkadaşlarının (1998) yayınlamış olduğu deniz suyundaki kirlilik ölçümü amacıyla kullanılması öngörülen açık gövde tasarımına sahip deneysel ROV THETIS'e ilişkin esasları içeren makale,
- Allen ve arkadaşlarının (1997) daha sonraki yıllarda birçok ROV'inin tasarımına ilham kaynağı olmuş REMUS ROV'sinin üretim isterlerini, saha test sonuçlarını ve performans değerlendirmelerini açıklamak maksadıyla yayınladıkları makale,
- Whitcomb'un (2000) ticari sualtı robotlarının tasarımı ve üretimi hususlarında itici gücü oluşturan derin sulardaki mevcut ve ileriye dönük ticari ihtiyaçları, bu ihtiyaçların teknolojinin gelişim hızına paralel olarak ne kadarlık kısmının karşılanabileceğini açıkladığı makale,
- Griffiths ve Edwards'ın (2003) temel olarak kendi kendini yönlendiren sualtı araçları için kaleme aldıkları ancak uzaktan kumanda edilen sualtı araçlarına da uyarlanabilecek tasarım detaylarına haiz sonraki nesil sualtı araçlarının tasarım ve kullanım esaslarını ihtiva eden makale,
- Gomes ve arkadaşlarının (2005) "Kit for underwater operations-KOS" projesi kapsamında Porto üniversitesi tarafından tasarlanmış olan ROV'ye ilişkin düşük drag (ROV'nin gövdesinin dışında kalan kablo vb

donanıma etki eden deniz suyu sürtünmesinden kaynaklı deniz tabanına doğru olan çekme kuvveti) etkisi ve mekanik simetri hususlarını açıkladıkları makale,

- Wang ve arkadaşlarının (2009) yayınlamış olduğu sığ sularda kullanılacak düşük maliyetli sualtı araçlarının tasarım esaslarına ilişkin detaylara haiz makale,
- Shim ve arkadaşlarının (2010) ROV'lerin üzerindeki manipülatörlerin uzaktan kumanda edilmesine ilişkin çalışmalarını yayınladıkları makaledir.

Kriter havuzunun belirlenmesi aşamasında alternatif ROV tasarımlarının kendileri de rol oynamıştır. Her bir alternatif ayrı bir ana akım ekolünü (açık yapı, yarı açık yapı ve kapalı yapı) temsil ettiğinde ve önceden belirlenmiş genel istekleri karşılayacak şekilde tasarlandığından; örneğin tüm alternatiflerde bir adet robot kol mevcut olması, tüm alternatiflerde renkli ve siyah-beyaz kameraya sahip olması vb. gibi; algoritma çerçevesinde kullanılan kriterler üretim maliyetinden sualtındaki hareket kabiliyetine, güvenlikten güvenilirliğe kadar geniş bir yelpazeyi kapsayacak şekilde, tasarımlar arasındaki genel farklılıklardan daha çok nüansları ortaya çıkartma amacı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

3.4.1. Kriter Havuzu

Yapılan literatür taraması neticesinde belirlenmiş olan 21 adet kriter ve bu kriterlere ilişkin açıklamalar aşağıda olduğu gibidir;

- “Dimensions” (Boyutlar)
Kriter, ROV'nin en, boy ve derinlik ölçüleri ile ilgilidir. Maliyet kriteridir.
- “Weight” (Ağırlık)
Kriter, ROV'nin havadaki toplam ağırlığı ile ilgilidir. Anılan ağırlık, ROV'nin iskeleti, yatay/dikey kanatları, alt sistemleri (robot kol, tahrik

sistemi vb), konektörleri, vidaları vb birimlerden meydana gelir. Maliyet kriteridir.

- “Hydrodynamic Structure” (Hidrodinamik Yapı)
Kriter, ROV tasarımının gövdesi ve kablosu üzerindeki statik basınç, kablodan kaynaklanan drag etkisi ve sürtünme etkisinden meydana gelen direnç kuvvetlerinden sakınması ile ilgilidir. Esasen ROV tasarımının fiziksel parmak izi ile açıklanabilir. Tasarımın hatları yuvarlaklaştıkça yukarıda sayılan kuvvetlerin etkisi azalacaktır. Fayda kriteridir.
- “Power Requirements” (Güç ihtiyacı)
Kriter, dalmış ve satıhta ilerlerken minimum sürat olarak belirlenmiş olan bir sürat kademesinin sağlanması bu sırada (örnek 3 Knts, deniz mili) tüm alt sistemlerin de çalışması için gerekli olan güç ihtiyacının toplamını ifade eder. Maliyet kriteridir.
- “Stability” (Stabilite)
Kriter, ROV tasarımının yüzme merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki ilişkiyi açıklar. Yüzme merkezi ağırlık merkezinin ne kadar üzerinde ise stabilite o kadar iyidir. Fayda kriteridir.
- “Maneuvering Capability” (Manevra Kabiliyeti)
Kriter, manevra sürecindeki duyarlılığı açıklamak için kullanılır. Genellikle itici sisteminin yerleşim yeri ile alakalıdır. Bu yerleşim yeri tasarımının serbestlik derecesini belirler. Serbestlik derecesi ise rakam ile ifade edilir, rakam ne kadar büyükse manevra kabiliyeti o kadar yüksektir. Serbestlik derecesi ise temel olarak birbirinden bağımsız olarak dönüş ve yer değiştirme kabiliyetleri olarak açıklanabilir. Fayda kriteridir.
- “Modularity” (Modülerlik)
Kriter, tasarımdaki kablo, konektör, sabitleme vidası, vida, pul gibi unsurlara kolay erişebilirliği tanımlar. Kriter esasen genel bakım tutum ve acil durumlara müdahale kolaylığı ile açıklanabilir. Fayda kriteridir.
- “Manufacturability” (Üretilebilirlik)

Kriter, ROV tasarımının üretimi için gerekli olan şartlar ile üretici firmanın üretim hattı yetenekleri arasındaki ilişkiyi tanımlar. Ayrıca almaç, itki alt sistemi gibi alt sistemlerin tedariklerindeki kolaylık ya da zorlukları tanımlamada da kullanılabilir. Fayda kriteridir.

- “Structural Design” (Yapısal Tasarım)

Kriter, ROV tasarım yapısının 3 ana unsurunu; iskelet, iskeletin malzemesi ve enclosure (basınca dayanıklı kısım), aynı anda göz önünde bulunduran ve ilişkilendiren kriterdir. Bu üç ana unsurun bütünlüğünü kontrol eder. Fayda kriteridir.

- “Subsystems Allocation Freedom” (Alt sistem Yerleşim Serbestîsi)

Kriter, alt sistemlerin ROV gövdesinde istenilen her yere yerleştirilebilme potansiyelidir. Özellikle ölçüm ile ilgili olan alt sistemlerin ROV gövdesinde belirli açılar ve belirli yerlerde bulunmaları doğru ölçüm yapabilmeleri için gerek şarttır, dolayısıyla tasarımın mümkün olan her yerinin alt sistem yerleşimi için müsait olması istenilir. Kriter tasarımın bu potansiyelini sergiler. Fayda kriteridir.

- “Expandability” (Genişleyebilirlik)

Kriter, ROV tasarımının yeni alt sistemleri barındırabilme kabiliyetini gösterir. Bu alt sistemler elektronik, mekatronik ya da mekanik olabilirler. Basit manada yeni birimleri bünyesinde taşımak için yeterli boş yere sahip olabilmeye potansiyeli olarak tanımlanabilir. Fayda kriteridir.

- “Easiness of the Periodic Maintenance” (Periyodik Bakım Kolaylığı)

Kriter, düzenli aralıklar ile yapılması gerekli olan bakım faaliyetleri için tasarımın ne kadar malzeme ve zamana ihtiyaç duyduğunu açıklamak için kullanılır. Fayda kriteridir

- “Maintenance Easiness (After Recovery from Sea)” (Denizden Alındıktan Sonraki Bakım-Tutumun Kolaylığı)

Kriter, tasarımın denizden alındıktan sonra deniz artıklarından temizlenmesini gerektiren ilk bakımın kolaylığını açıklamak için kullanılır. ROV denizden alındıktan sonra gövde üzerindeki deniz

canlıları, deniz tuzu, çamur vb unsurlardan ilk 15 dakika içinde temizlenmelidir. Dolayısıyla fazla girintili çıkıntılı bir fiziksel yapı ulaşılması ve temizlenmesi güç noktalar anlamına geleceğinden tasarım ne kadar düz hatlara sahipse, dış yüzeyde ne kadar az boşluk ve girinti çıkıntı var ise temizlenmesi de o kadar kolay olur. Fayda kriteridir.

- “Swim Force” (Yüzdürme Gücü)

Kriter, tasarımdaki yüzer malzemeden kaynaklı olan sepiye gücü ve yatay olarak yerleştirilmiş olan itki motorlarından kazanılan ileri hareket gücünün toplamı olarak tanımlanan yüzme gücünü değerlendirmek maksadıyla kullanılır. Bu güç ne kadar yüksek ise tasarımın yüzebilirliği o kadar yüksek demektir. Fayda kriteridir.

- “Total Cost” (Toplam Maliyet)

Kriter, ROV’nin üretilmesi için gerekli olacak tüm maliyetin değerlendirilmesi maksadıyla kullanılır. ROV’de kullanılacak olan alt birimlerin tedarik işlevleri vb unsurları da içerir ancak işçi maliyetleri ve üretim hattı maliyetlerini içermez. Maliyet kriteridir.

- “Compatibility with the Existing Equipment on Board of the Ship” (Gemi Üzerinde Mevcut Donanım Uyumluluk)

Kriter; ROV tasarımının, konuşlandırılacağı gemi sınıfı üzerinde hâlihazırda mevcut olan donanım ve alt yapı ile uyumlu bir şekilde çalışabilmesi, ilave yeni alt yapı ya da donanım ihtiyaç duymaması potansiyelini açıklamak için kullanılır. Fayda kriteridir.

- “Easily Handling on and off the Board of the Ship” (Gemiye Alış-Gemiden Ayrılış Ameliyesinin Kolaylığı)

Kriter, ROV tasarımının gemi üzerine alınması ve/veya gemiden denize, sahile ya da başka bir platforma taşınması için gerekli olacak insan gücü sabit/hareketli vinç vb ihtiyaçlarını değerlendirmek maksadıyla kullanılır. Fayda kriteridir.

- “Safety” (Güvenlik)

Kriter, ROV tasarımının her hangi bir fonksiyonunu icra etmesi esnasında veya gemi üzerinde/sahilde tasarım üzerinde icra edilecek

onarım benzeri işlemler sırasında işlemi yapan operatörün ya da geminin kendisinin risk altında olup olmamasını değerlendirmek maksadıyla kullanılır. Fayda kriteridir.

- “Reliability” (Güvenilirlik)

Kriter, ROV’nin icra etmek maksadıyla tasarlandığı fonksiyonlarının tamamını her şart altında aynı şekilde tekrar edebilme kabiliyetini değerlendirmek maksadıyla kullanılır. Fayda kriteridir.

- “Position changing capability” (Pozisyon Değiştirebilme Kabiliyeti)

Kriter, çok düşük süratlerde bile ROV tasarımının uzaysal koordinatlarını (3 boyutlu olarak) çok hızlı bir şekilde ve kolaylıkla değiştirebilmesi potansiyelini değerlendirmek maksadıyla kullanılır. Esas olarak kısa bir GM (“metacenter” noktasının yüksekliği) yüksekliği, uzun olmayan bir gövde ve açık iskelet yapısına sahip tasarımlar pozisyon değiştirme kabiliyeti görece daha yüksek olan tasarımlardır. Fayda kriteridir.

- “Position keeping capability” (Pozisyon Muhafaza Edebilme Kabiliyeti)

Kriter, ROV tasarımının tarif edilmiş uzaysal bir oryantasyonu (3 boyutlu mevki bilgisi, dalmış durumda iken) minimum sürat ve minimum yatay dümen açısı ile koruyabilme potansiyelini değerlendirmek maksadıyla kullanılır. Fayda kriteridir.

4. ÇÖZÜM ALGORİTMASININ SAYISALLAŞTIRILMASI

Literatürdeki bir çok bulanık ortamda çok kriterli karar verme çalışmasında geliştirilen algoritmaların gerçek hayat uygulamalarında doğru sonuçlar üretebileceğinin gösterimi kısıtlı sayıda kriter, alternatif ve veri kullanılarak ortaya konulan basit örnekler vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu yaklaşımın temel sebebi işlemleri mümkün olduğunca elle yapılabilir seviyede tutmak, böylelikle somutlaştırma işlemini en basit seviyede tutmaktır. Ancak, geliştirilen karar verme algoritmalarının gerçek hayatta uygulanabilir olabilmesi algoritmanın ve karar vericiler grubunun yargılarını/puanlarını toplama maksadıyla kullanılacak olan ikili karşılaştırma/puanlama anketlerinin sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına taşınması ile mümkün olabilir. Sayısallaştırma sayesinde bilgisayar hesaplama gücü kullanılabilir hale geleceğinden algoritmanın kullanımı artık kriter, alternatif ve kullanıcı grubu üyeleri sayısından bağımsız hale gelir.

Bu çalışmada ortaya konulan karar verme algoritmasına esas teşkil eden MCDM teknikleri, MATLAB programlama aracı ile yazılım haline getirilmiş, algoritma herhangi bir matematik bilgisi ve ilave işlem ihtiyacına gerek bırakılmadan yaratılan arayüzler vasıtasıyla istenildiğinde yeniden kullanılmak üzere bir karar verme yardımcı aracı haline dönüştürülmüştür.

Karar verme yardımcı aracının kullanılması için kişisel bir diz üstü bilgisayar ya da masa üstü bilgisayar ve bu bilgisayara ait kaynaklar (RAM, işlemci gücü vb) yeterlidir. Ortalama bir kişisel diz üstü bilgisayarda (2 çekirdekli Pentium işlemci, 2 Gb RAM, 2 GHz'lik işlemci hızı) karar verme yardımcı aracının tüm hesaplamalarını yapıp, GUI'leri oluşturup kullanıcıya sergilemesi için 3.5-4 dakikalık bir süre yeterli olmaktadır. Bahse konu süreye MATLAB geliştirme ortamının çalıştırılması dâhil edilmemiş olup, bu süre de yaklaşık 1 dakika kadardır.

4.1. Sayısallaştırma Ortamı

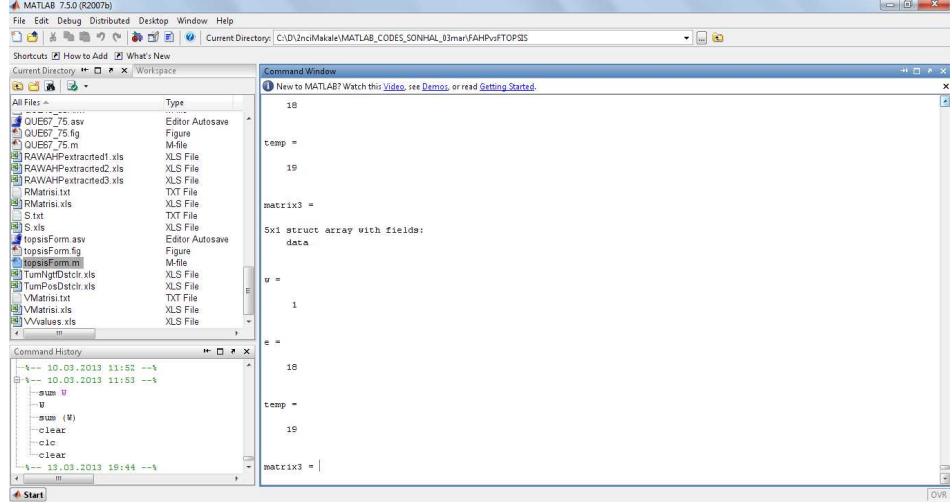
Çalışma kapsamında geliştirilmiş olan 3 aşamalı karar verme algoritmasının sayısallaştırılması maksadıyla MATLAB programlama dili ve MATLAB R2007b geliştirme ortamı kullanılmıştır.

MATLAB kısaltması İngilizce kelimeler MATrix ve LABoratory'nin büyük harfle yazılmış olan kısımlarının bir araya getirilmesi ile ortaya çıkmıştır. 1985 yılında C. B. MOLER tarafından geliştirilmiş olan programlama dilinin ilk sürümü FORTRAN programlama diliyle hazırlanmış olup daha sonraki güncel sürümleri C programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Açık mimari yapısına sahip olan MATLAB esas olarak teknik (mühendislik) hesaplamalar ve matematiksel problemlerin hızlı çözümlenebilmesi maksadıyla geliştirilmiş yüksek performansa sahip bir mühendislik programlama dilidir.

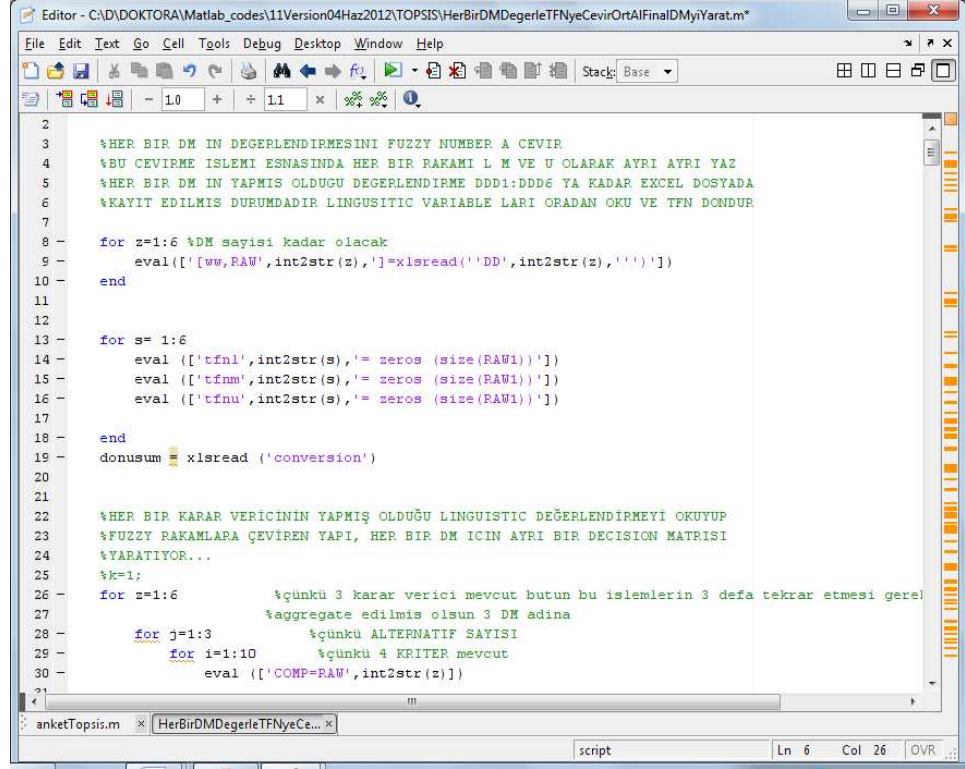
Matrisler ve diziler (array) ile çalışan MATLAB kullanıcıya alışkın olduğu matematiksel notasyonlarla problem ve çözümlerinin sergilenmesi imkânını sağlar. Hesaplama, görsellik ve programlama kavramlarını mümkün olabilecek en basit şekilde bütünleştiren MATLAB ile veri alma, verileri analiz etme ve inceleme, görsellik ve görüntü işleme, algoritma prototipleri oluşturma, algoritma geliştirme, modelleme, simülasyon, programlama ve uygulama geliştirme başlıkları altında işlemler icra edilebilir.

MATLAB programlama dili kullanılarak yazılan programlar "M-file" adı verilen dosyalara kayıt edilmek suretiyle MATLAB geliştirme ortamında çalıştırılırlar. "M-file" yaratmak için MATLAB geliştirme ortamında sağlanmış olan editör kullanılabileceği gibi "notepad", "wordpad" gibi daha basit Microsoft ofis temelli editörlerden de faydalanılabilir. MATLAB kullanılarak yazılan programlar JAVA, C, C++ programlama dillerine kolaylıkla dönüştürülebilirler. Ayrıca, bu dillerde yazılmış olan programlar da MATLAB programlarının içinde çalıştırılabilir.

Diğer üst seviye programlama dillerine (JAVA, FORTRAN, C++ vb.) kıyasla görece daha süratli hesaplama yapabilen, daha kolay yazım kurallarına (syntax) sahip, problem ayıklama (debug) fonksiyonu daha basit ve kullanışlı olan MATLAB LINUX, UNIX ve Windows işletim sistemlerinin tamamı ile uyumlu olduğundan tercih edilen bir programlama dilidir. Şekil 4.1 ve 4.2’de MATLAB geliştirme ortamı (R2007b) ve bir M-file dosyası örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 4.1: MATLAB Çalışma Ortamı (Workspace).



Şekil 4.2: Örnek M-file.

4.2. Karar Verici Yargılarını Toplamak için Kullanılan İkili Karşılaştırma Anketlerinin Sayısallaştırılması

4.2.1. İkili Karşılaştırma Anketlerinin Sayısallaştırma Esasları Karar Verme Yardımcı Aracının Sayısallaştırılması

Bulanık ortam karar verme yardımcısının ihtiyaç duyduğu Karar Verici grubu üyelerinin yargıları iki adet karşılaştırma anketi ile toplanır. Karar verme yardımcısının sayısallaştırılması kapsamında bu iki karşılaştırma anketin de sayısallaştırılması gerekmektedir.

Sayısallaştırma işleminde anketlerin iki ana parçadan oluştuğu düşünülmüştür; soruların ve cevap şıklarının da dâhil olduğu yazılı kısım ve Karar Verici grubuna bu yazılı kısmı sunmak maksadıyla kullanılan pencere. Her iki

kısımında öncelikle görsel tasarımı yapılmış, bilgisayar ekranında nasıl sergilenmesi gerektiği belirlenmiş, müteakiben her iki kısım da kodlanması kolay küçük parçalara bölünmüştür. Örnek; yazılı kısımların sunumu maksadıyla kullanılacak olan pencerenin normal ofis yazılımlarının arayüzlerinde de olduğu gibi sağ üst köşesinde bir açma, bir kapatma ve bir tam ekran düğmesi olması, anket sonuçlarının kayıt edileceği dosya isminin alınması için kullanılacak bir yazılabilir alan, bir kayıt düğmesi, ana sunum penceresi. Belirlenmiş olan her bir küçük parça için birbirinden bağımsız program parçacıkları (yapı taşları) hazırlanmış ve bunların bir ana yazılımda çağırılması yöntemi ile anket arayüzü yaratılmıştır.

Anketlerin (puanlama anketi ve ikili karşılaştırma anketleri) tasarımı yapılırken, mümkün olduğunca ortak bir yapıya sahip olmalarına, böylelikle üretilmiş olan yazılım yapı taşlarının her bir ankette yeniden kullanılabilir olmasına özen gösterilmiştir. Anketlerde ortaklanamayan hususlar için ise ilave yazılım geliştirilmiştir.

Hem puanlama anketinde, hem de ikili karşılaştırma anketlerinde kullanıcı ve makine arayüzünün (man-machine interface-MMI) karmaşıklığından uzak, sade ve basit kullanım isterlerini sağlanması esas alınmış, kullanıcının alışkın olduğu kâğıt ortamdaki anket görselliğine yakın tasarım yaratılmıştır.

4.2.1.1. Aşama-1'in İkili Karşılaştırma Anketinin Pseudo Yazılımları

Aşama-1'de kullanılan ikili karşılaştırma anketine ait MMI'da pencere ortadan ikiye bölünmüş, yapılacak karşılaştırmaya ilişkin sorular sayfanın sağ ve sol yanına sırasıyla 7 ve 8 adet olmak üzere yerleştirilmiştir. Sayfanın en altına sonuçların kayıt edileceği Excel dosyasının adını yazılması gerekli olan bir yazı penceresi (editable text window), pencerenin yanında soruların cevaplanması sona erdikten sonra Karar Vericiye ait yargıların Excel dosyasına yazılmasını sağlayacak bir kayıt düğmesi ve MMI sayfanın kapanmasını sağlayan bir kapatma düğmesi (close button) yerleştirilmiştir. Kapatma düğmesinin iki işlevi mevcuttur; anket penceresini ve Karar Vericinin yargılarının kayıt edildiği Excel dosyasını kapatmak.

MMI penceresinde ayrıca soru bloklarının arasına Karar Verici grubu üyesinin yargılarını belirtmek için kullanabileceği dilsel değişkenlerin kısaltmalarının anlamlarını içeren bir açıklama bölgesi mevcut olup, bu bölgenin hemen üzerinde MMI penceresinin karar verme yardımcı aracının hangi aşamasına ait olduğunun belirtildiği bir başka açıklama bölgesi mevcuttur.

İkili karşılaştırma anketinde Karar Verici grubu üyesi tarafından hakkında yargı belirtilmesi gerekli olan her bir soru statik metin (static text) olarak MMI'a yerleştirilmiştir. Her bir sorunun cevaplandırılması maksadıyla kullanılacak olan dilsel değişken kısaltmaları da, 9 adet, bu statik metinlerin altına yerleştirilmiştir, dilsel değişkenlerin Karar Vericiler tarafında seçilebilmesini sağlamak için ise her bir kısaltmanın yanına bir adet fare yardımıyla çentiklenebilir seçim kutusu (radio button) konulmuştur. Aşama-1'e ait MMI Şekil 4.3'de sunulmuştur.

Şekil 4.3: Aşama-1 Yargı Toplama Anketi

Takip eden paragraflarda psuedo yazılım kullanılarak Aşama-1'in ikili karşılaştırma anketinin sayısallaştırılması esnasında icra edilen faaliyetler açıklanmıştır.

- MMI'ın fiziksel şeklinin (genel hatlarının) belirlenmesi;

MMI penceresinin boyunun cm cinsinden belirlenmesi

MMI penceresinin eninin cm cinsinden belirlenmesi

Statik ve dinamik tekstlerde kullanılacak olan yazı fontunun Arial olarak belirlenmesi

Soruların, açıklama yazılarının MMI üzerindeki yerleşiminin belirlenmesi

- İkili karşılaştırma sorularının MMI ithal edilmesi;

For (soru sayısı kadar)

İkili karşılaştırma sorusunu statik tekst formunda MMI yerleştir

End

- Cevap olarak kullanılacak dilsel değişkenlerin MMI ithal edilmesi;

For (soru sayısı kadar)

Dilsel değişken kısaltmalarını statik tekst olarak MMI'ya yerleştir

Her bir dilsel değişkenin yanına bir adet Radio Button yerleştir

End

- Karar Verici tarafından verilen cevapların okunması ve Excel dosyaya kayıt hazırlığının yapılması;

For (soru sayısı kadar)

For (Dilsel değişken sayısı kadar)

Sorunun altına yerleştirilmiş Radio button işaretlenmiş mi kontrol et

For (Dilsel değişken sayısı kadar)

İşaretlenmiş olan radio butondan okunan verinin hangi kısaltmaya ait olduğunu bulmak için karşılaştırma yap

Okunan dilsel değişken == 'AB' ? or

Okunan dilsel değişken == 'VS' ? or

Okunan dilsel değişken == 'ES' ? or

Okunan dilsel değişken == 'WK' ? or

Okunan dilsel değişken == 'EQ' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/WK' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/ES' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/VS' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/AB' ?

End

İşaretlenmiş olan dilsel değişken kısaltmasını bir vektöre aktar
(karakter formunda)

“Dosya kayıt” düğmesine basılmasını bekle

End

End

- Karar Vericilerin yargılarının Excel dosyaya kayıt edilmesi;

“Dosya kayıt” düğmesine basıldığında

Karar Verici tarafından verilen dosya ismini oku

Okunulan dosya adı ile bir Excel dosya aç

Karar Vericiye ait yargıların karakter formunda kısaltmalarını
içeren vektörü oku

For (Vektör uzunluğu)

Vektörün her bir elemanını Excel dosyasının bir hücreğine yaz

End

- MMI penceresinin kapatılması;

“Close” düğmesine basıldığında

Karar Vericiye ait yargıların kayıt edildiğı Excel dosyasını kapat

MMI sayfasını kapat

Yazılım 6 kişilik karar verme grubuna göre düzenlenmiştir. Karar verici sayısının arttırılması ya da azaltılması gerektiğinde yukarıda açıklanmış olan psuedo

yazılımın MMI'nin fiziksel şeklinin belirlendiği kısımda ve ikili karşılaştırma sorularının MMI ithal edilmesi kısmında düzeltme yapılması gerekmektedir (GUI'nin büyüklüğü değişmeli, soru sayısı artmalı/azalmalı vb.). İkili karşılaştırma anketleri ve skorum anketi geliştirilen karar verme yardımcı aracının görsel unsurları olduklarından dinamik olarak değişebilen şekilde yazılıma dönüştürülmeleri çok etkin olan parçalar değildir, dinamik yazılım yazmak yerine ihtiyaca bağlı olarak küçük rütüşlar ile değıştirilebilir bir yazılım yöntemi tercih edilerek zaman ve gayret tassarufu yapılmıştır.

4.2.1.2. Aşama-2 İkili Karşılaştırma Anketinin Psuodu Yazılımları

Aşama-2'de kullanılan ikili karşılaştırma anketine ait MMI penceresi de ortadan ikiye bölünmüş, yapılacak karşılaştırmaya ilişkin sorular sağ ve sol yanına sırasıyla 7 ve 8 adet olmak üzere yerleştirilmiştir. Aşama-2'de Karar Verici grubu üyesi tarafından hakkında yargı belirtilecek soru sayısı 45 adet olduğundan toplam 3 adet MMI penceresi kullanılmış, her bir MMI'a 15 adet soru yerleştirilmiştir.

İlk iki MMI penceresinin en altında bir sonraki MMI geçmeyi sağlayan birer düğme (button) mevcuttur. Bahse konu düğmeler de aşama-1'deki kapatma düğmesi gibi iki göreve haizdir; basıldığında bilgisayar ekranında sergilenmekte olan MMI penceresini kapatıp bir sonraki MMI açmak ve içinde bulunduğu MMI'daki sorulara ilişkin yargıları bir vektörde saklamak.

Son MMI'da aşama-1 MMI'ında olduğu gibi her bir Karar Verici grubu üyesine ait yargıların kayıt edileceği Excel dosyasının adının yazılması için bir yazı penceresi (editable text window), pencerenin yanında soruların cevaplanması sona erdikten sonra yargıların Excel dosyasına yazılmasını sağlayacak bir kayıt düğmesi ve MMI sayfanın kapanmasını sağlayan bir kapatma düğmesi (close button) yerleştirilmiştir. Kapatma düğmesinin iki işlevi mevcuttur; anket sayfasını kapatmak ve kullanıcının yargılarının kayıt edildiği Excel dosyasını kapatmak.

Her üç MMI penceresinin soru bloklarının arasına Karar Verici grubu üyesinin yargılarını belirtmek için kullanabileceği dilsel değişkenlerin kısaltmalarının anlamlarını içeren bir açıklama bölgesi mevcuttur. Ayrıca, ilk iki MMI penceresinin sol üst köşesinde pencerenin karar verme yardımcı aracının hangi aşamasına ait olduğunu ve kaçınıcı pencere olduğunun belirtildiği bir başka açıklama bölgesi mevcuttur. Son MMI’da ise bu açıklama bölgesi kısaltmaların üzerine yerleştirilmiştir. Karar Verici grubu üyesi tarafından hakkında yargı belirtilmesi gerekli olan her bir soru statik metin (static text) olarak MMI’lara yerleştirilmiştir. Her bir sorunun cevaplandırılması maksadıyla kullanılacak olan dilsel değişken kısaltmaları da, 9 adet, bu statik tekstlerin altına yerleştirilmiştir, dilsel değişkenlerin Karar Vericiler tarafında seçilebilmesini sağlamak için ise her bir kısaltmanın yanına bir adet fare yardımıyla çentiklenebilir seçim kutusu (radio button) konulmuştur. Aşama-2’ye ait MMI’lar Şekil 4.4’de sunulmuştur.

The screenshot displays the 'AHP EXTENT ANALYSIS Pairwise Comparison Page 1' window. It features a central legend titled 'Meaning of the Abbreviations' with the following entries:

- EQ: Equally Important
- WK: Weakly Important
- ES: Essentially Important
- VS: Very Strongly Important
- AB: Absolutely Important
- 1/WK: Weakly Unimportant
- 1/ES: Essentially Unimportant
- 1/VS: Very Strongly Unimportant
- 1/AB: Absolutely Unimportant

The main area contains 15 questions (Q1-Q15) for pairwise comparison. Each question asks 'How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Dimension"?' and provides a set of radio buttons for selection. For example, Q1 asks about 'Power Requirement' vs 'Stability' and Q15 asks about 'Power Requirement' vs 'Compatibility with the Existing Equipment on Board'. The interface also includes a 'Questions 16-30' button at the bottom.

(a)

anket1630

AHP EXTENT ANALYSIS Pairwise Comparison Page 2

Q16: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q17: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☒ ES ☐ V/S ☐ AB

Q18: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Maneuvering Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☒ V/S ☐ AB

Q19: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Modularity"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☒ AB

Q20: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☒ AB

Q21: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☒ V/S ☐ AB

Q22: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☒ V/S ☐ AB

Meaning of the Abbreviations

EQ Equally Important

WK Weakly Important

ES Essentially Important

VS Very Strongly Important

AB Absolutely Important

1/WK Weakly Unimportant

1/ES Essentially Unimportant

1/V/S Very Strongly Unimportant

1/AB Absolutely Unimportant

Questions 31-45

Q23: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q24: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☒ V/S ☐ AB

Q25: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Modularity"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☒ ES ☐ V/S ☐ AB

Q26: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☒ ES ☐ V/S ☐ AB

Q27: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☒ ES ☐ V/S ☐ AB

Q28: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q29: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q30: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☒ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

(b)

anket3145

AHP EXTENT ANALYSIS Pairwise Comparison Page 3

Q31: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q32: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q33: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q34: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q35: How important is Criteria "Position Keeping Capability" when it is compared to Criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q36: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q37: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q38: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Reliability"?

☒ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q39: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q40: How important is Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" when it is compared to criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q41: How important is Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q42: How important is Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q43: How important is Criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board" when it is compared to Criteria "Reliability"?

☒ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q44: How important is Criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☒ VK ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q45: How important is Criteria "Reliability" when it is compared to Criteria "Position keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ VK ☐ ES ☐ V/S ☒ AB

Kayıt Yapılacak Dosya Adı

EE-v16

Dosya Kayıt

KAPAT

(c)

Şekil 4.4: Aşama-2 Yargı Toplama Arayüzleri; (a) Birinci Sayfa, (b) İkinci Sayfa, (c) Üçüncü Sayfa.

Takip eden paragraflarda pseudo yazılım kullanılarak Aşama-2'nin ikili karşılaştırma anketinin sayısallaştırılması esnasında icra edilen faaliyetler açıklanmıştır.

- MMI'ların fiziksel şekillerinin (genel hatlarının) belirlenmesi;

MMI penceresinin boyunun cm cinsinden belirlenmesi

MMI penceresinin eninin cm cinsinden belirlenmesi

Statik ve dinamik tekstlerde kullanılacak olan yazı fontunun Arial olarak belirlenmesi

Soruların, açıklama yazılarının MMI üzerindeki yerleşiminin belirlenmesi

- İkili karşılaştırma sorularının MMI ithal edilmesi;

For (soru sayısı kadar)

İkili karşılaştırma sorusunu statik tekst formunda MMI yerleştir,

End

- Cevap olarak kullanılacak dilsel değişkenlerin MMI ithal edilmesi;

For (soru sayısı kadar)

Dilsel değişken kısaltmalarını statik tekst olarak MMI'ya yerleştir,

Her bir dilsel değişkenin yanına bir adet Radio Button yerleştir,

End

- Karar Verici tarafından verilen cevapların okunması ve Excel dosyaya kayıt hazırlığının yapılması;

For (soru sayısı kadar)

For (Dilsel değişken sayısı kadar)

Sorunun altına yerleştirilmiş Radio button işaretlenmiş mi kontrol et

For (Dilsel değişken sayısı kadar)

İşaretlenmiş olan radio butondan okunan verinin hangi kısaltmaya ait olduğunu bulmak için karşılaştırma yap

Okunan dilsel değişken == 'AB' ? or

Okunan dilsel değişken == 'VS' ? or

Okunan dilsel değişken == 'ES' ? or

Okunan dilsel değişken == 'WK' ? or

Okunan dilsel değişken == 'EQ' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/WK' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/ES' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/VS' ? or

Okunan dilsel değişken == '1/AB' ?

End

İşaretlenmiş olan dilsel değişken kısaltmasını bir vektöre aktar
(karakter formunda)

“Dosya kayıt” düğmesine basılmasını bekle

End

End

- Bir sonraki MMI'ya geçilmesi;

İlk MMI'ın altındaki düğmeye basıldığında

MMI penceresini kapat

Karar Vericinin yargılarını dinamik vektöre kayıt et

- Karar Vericilerin yargılarının Excel dosyaya kayıt edilmesi;

Karar Verici tarafından 3'üncü MMI'da verilen dosya ismini oku

Okunulan dosya adı ile bir Excel dosya aç

Karar Vericiye ait yargıların karakter formunda kısaltmalarını
içeren vektörü oku

For (Vektör uzunluğu)

Vektörün her bir elemanını Excel dosyasının bir hücreğine yaz

End

- Son MMI'ın kapatılması;

“Close” düğmesine basıldığında

Karar Vericiye ait yargıların kayıt edildiği Excel dosyasını kapat

MMI sayfasını kapat

Yazılım 10 adet kritere göre düzenlenmiştir. Kriter sayısının arttırılması ya da azaltılması gerektiğinde yukarıda açıklanmış olan psuedo yazılımın MMI'nin fiziksel şeklinin belirlendiği kısımda ve ikili karşılaştırma sorularının MMI ithal edilmesi kısımda düzeltme yapılması gerekmektedir (GUI'nin büyüklüğü değişmeli, soru sayısı artmalı/azalmalı vb.). İkili karşılaştırma anketleri ve skollama anketi geliştirilen karar verme yardımcı aracının görsel unsurları olduklarından dinamik olarak değişebilen şekilde yazılıma dönüştürölmeleri çok etkin olan parçalar değildir, dinamik yazılım yazmak yerine ihtiyaca bağılı olarak küçük rütuşlar ile değıştirilebilir bir yazılım yöntemi tercih edilerek zaman ve gayret tassarufu yapılmıştır.

4.2.1.3. Aşama-3 Puanlama Anketinin Psuodu Yazılımları

Aşama-3'de kullanılan puanlama anketine ait MMI penceresi de diğer aşamalardaki MMI pencereleri gibi ortadan ikiye bölünmüştür. Bu aşamada toplam 3 adet alternatif 10 adet kritere göre puanlanacağından, toplam 10 soru mevcut olup 5 soru pencerenin sağ kalan 5 soru ise sol tarafından olacak şekilde yerleşim yapılmıştır. Her bir kritere ait sorunun altında 3 alternatif için de değeriendirmelerin ortaya konulmasını sağlayacak dilsel değışken blokları mevcuttur.

MMI penceresinin alt orta kısmında aşama-1 ve aşama-2 MMI pencerelerinde de olduğu gibi Karar Verici grubu üyelerinin verdiği skorların kayıt edileceğı Excel dosyaya verilecek adın yazılması maksadıyla bir yazı penceresi (editable text window) mevcuttur. Bu yazı penceresinin sol tarafında bir düğme mevcut olup bu düğme ilk iki aşamadaki kapatma ve kayıt düğmelerinin görevlerini tek başına yerine getirir. Bu düğmeye basıldığında; Karar Verici skorları Excel dosyaya kayıt edilir, Excel dosya kapatılır ve MMI penceresi kapatılır.

MMI penceresinde soru bloklarının arasında Karar Verici grubu üyesinin yargılarını belirtmek için kullanabileceğı dilsel değışkenlerin kısaltmalarının anlamlarını içeren bir açıklama bölgesi mevcuttur. Karar Verici grubu üyesi

tarafından hakkında yargı belirtilmesi gerekli olan her bir soru statik tekst (static text) olarak MMI'lara yerleştirilmiştir. Her bir sorunun cevaplandırılması maksadıyla kullanılacak olan dilsel değişken kısaltmaları da, 5 adet, bu statik tekstlerin altına alternatif sayısı kadar, 3 adet, yerleştirilmiştir.

Dilsel değişkenlerin Karar Vericiler tarafında seçilebilmesini sağlamak için ise her bir kısaltmanın yanına bir adet fare yardımıyla çentiklenebilir seçim kutusu (radio button) konulmuştur. Bu aşamaya özel olarak her bir kriterin fayda kriteri mi yoksa maliyet kriteri mi olduğunun da belirlenmesi gereklidir, bunun işlem için de fare yardımıyla çentiklenebilir seçim kutuları (radio button) mevcuttur. Aşama-3'e ait MMI penceresi Şekil 4.5'de sunulmuştur.

The screenshot shows the 'TOPSIS EVALUATION FORM' window. It contains two main columns of criteria, each with a 'COST' or 'BENEFIT' radio button. The criteria are: Q1-Rank each alternative with respect to criterion "Dimensions", Q2-Rank each alternative with respect to criterion "Power Requirement", Q3-Rank each alternative with respect to criterion "Stability", Q4-Rank each alternative with respect to criterion "Maneuvering Capability", Q5-Rank each alternative with respect to criterion "Modularity", Q6-Rank each alternative with respect to criterion "Expandability", Q7-Rank each alternative with respect to criterion "Maintenance Ease/ness (after recovery from sea)", Q8-Rank each alternative with respect to criterion "Compatibility with the Existing Equipment On Board", Q9-Rank each alternative with respect to criterion "Reliability", and Q10-Rank each alternative with respect to criterion "Position Keeping Capability". Each criterion has a table of radio buttons for ranking alternatives (Alternative 1, Alternative 2, Alternative 3) on a scale from VL (Very Low) to VH (Very High). A central legend defines the scale: VL: VERY LOW, L: LOW, M: MEDIUM, H: HIGH, VH: VERY HIGH. At the bottom, there are buttons for 'Kaydet ve Kapat' and 'EE.xls'.

Şekil 4.5: Aşama-3 Yargı Toplama Anketi.

Takip eden paragraflarda pseudo yazılım kullanılarak Aşama-3'ün skora anketinin sayısallaştırılması esnasında icra edilen faaliyetler açıklanmıştır.

- MMI'ların fiziksel şekillerinin (genel hatlarının) belirlenmesi;

MMI penceresinin boyunun cm cinsinden belirlenmesi

MMI penceresinin eninin cm cinsinden belirlenmesi

Statik ve dinamik tekstlerde kullanılacak olan yazı fontunun Arial olarak belirlenmesi

Soruların, açıklama yazılarının MMI üzerindeki yerleşiminin belirlenmesi

- Her bir kritere ilişkin skor verilmesini sağlayacak sorunun MMI ithal edilmesi;

For (Kriter sayısı kadar)

Kritere ilişkin skortlama sorusunu statik tekst formunda MMI yerleştir,

End

- Cevap olarak kullanılacak dilsel değişkenlerin MMI ithal edilmesi;

For (Kriter sayısı kadar)

For (Alternatif sayısı kadar)

Dilsel değişken kısaltmalarını statik tekst olarak MMI'ya yerleştir

Her bir dilsel değişkenin yanına bir adet Radio Button yerleştir

End

End

- Kriterin maliyet mi, fayda mı olduğunun belirlenmesi;

For (Kriter sayısı kadar)

Maliyet ve Fayda ibarelerini statik tekst olarak her bir sorunun yanına gelecek şekilde MMI'ya yerleştir

Maliyet ve Fayda ibarelerinin yanına bir adet Radio Button yerleştir

End

- Karar Verici tarafından verilen cevapların okunması ve Excel dosyaya kayıt hazırlığının yapılması;

For (Kriter sayısı kadar)

For (Alternatif sayısı kadar)

Sorunun altına yerleştirilmiş Radio button işaretlenmiş mi kontrol et

For (Dilsel değişken sayısı kadar)

İşaretlenmiş olan radio butondan okunan verinin hangi kısaltmaya ait olduğunu bulmak için karşılaştırma yap

Okunan dilsel değişken == 'VL' ? or

Okunan dilsel değişken == 'L' ? or

Okunan dilsel değişken == 'M' ? or

Okunan dilsel değişken == 'H' ? or

Okunan dilsel değişken == 'VH' ?

End

For (Alternatif sayısı kadar)

İşaretlenmiş olan dilsel değişken kısaltmasını bir vektöre aktar (karakter formunda)

End

End

End

"Kaydet ve Kapat" düğmesine basılmasını bekle

- Karar Vericilerin yargılarının Excel dosyaya kayıt edilmesi ve MMI penceresinin kapatılması;

Karar Verici tarafından verilen dosya ismini oku

Okunulan dosya adı ile bir Excel dosya aç

For (Alternatif sayısı kadar)

Karar Vericiye ait skorların karakter formunda kısaltmalarını içeren vektörü oku

End

For (Vektör uzunluğu)

Vektörün her bir elemanını Excel dosyasının bir hücreğine yaz

End

Karar Vericiye ait yargıların kayıt edildiği Excel dosyasını kapat
MMI penceresini kapat

Yazılım 10 adet kriter ve 3 adet alternatife göre düzenlenmiştir. Alternatif sayısının ya da kriter sayısının arttırılması ya da azaltılması gerektiğinde yukarıda açıklanmış olan psuedo yazılımın MMI'nin fiziksel şeklinin belirlendiği kısımda ve her bir kritere ilişkin skor verilmesini sağlayacak sorunun MMI ithal edilmesi kısmında düzeltme yapılması gerekmektedir (GUI'nin büyüklüğü değişmeli, soru sayısı artmalı/azalmalı vb.). İkili karşılaştırma anketleri ve skorlama anketi geliştirilen karar verme yardımcı aracının göresel unsurları olduklarından dinamik olarak değişebilen şekilde yazılıma dönüştürülmeleri çok etkin olan parçalar değildir, dinamik yazılım yazmak yerine ihtiyaca bağlı olarak küçük rütuşlar ile değiştirilebilir bir yazılım yöntemi tercih edilerek zaman ve gayret tassarufu yapılmıştır.

4.3. Çözüm Algoritmasının Sayısallaştırılması (Karar Verme Yardımcı Aracı)

Karar verme yardımcı aracı 3 aşamadan meydana gelmiştir; ilk aşamada Karar Verici grubu üyeleri bulanık AHP Buckley tekniği (Buckley, 1985) kullanarak birbirlerini değerlendirmek suretiyle her bir Karar Verici grubu üyesinin görece önem değerini belirlerler, ikinci aşamada Karar Verici grubu üyeleri tarafından Chang'ın bulanık AHP Extent Analysis tekniği (Chang, 1996) kullanılarak her bir alternatif tasarımın değerlendirmesinde kullanılacak kriterlerin (10 adet) görece önem değerleri hesaplanır, son aşamada ise alternatif ROV tasarımlarının (3 adet) puanlanması ve en uygunun belirlenmesi işlevi Karar Verici grubu üyeleri tarafından Chen'in TOPSIS tekniği (Chen, 2000) kullanılarak icra edilir.

Bu aşamaların her biri sayısallaştırılmıştır; sayısallaştırma işlemi bölüm 4.1.1'de açıklandığı gibi MATLAB programlama dili ve MATLAB geliştirme ortamı kullanılarak icra edilmiştir. Sayısallaştırma kapsamında yazılmış olan her bir alt programın tüm satırlarının açıklanması mümkün olmayacağından, pseudo yazılım

(sözde yazılım) kullanılarak sayısallaştırma işleminin basamakları açıklanmış, geliştirilen yazılımın programlama dilinin komutlarından bağımsız olarak konuşma dilinde açıklanılması sağlanmıştır.

4.3.1. Aşama-1'in (AHP Buckley Tekniğinin) Pseudo Yazılımları

Karar Verici grubunun üyelerinin yapmış olduğu değerlendirmeler ve puanlamalar da tıpkı bulanık ortamda karar verme algoritmasının her bir aşaması gibi sayısal ortamda gerçekleşir. Bu kapsamda da; her bir Karar Verme grubu üyesine ait değerlendirme ve puanlama sonuçları algoritmanın ilgili aşamasında kullanılmak üzere bilgisayar sabit diskinde dilsel değişken formatında bir Excel dosyaya kayıt edilir. Algoritmanın ilk iki aşamasına ilişkin ikili karşılaştırma anketleri ve son aşamanın puanlama anketinin sayısallaştırılması bölüm 4.2'de açıklanmıştır.

Takip eden paragraflarda ise üç aşamalı karar verme algoritmasının birinci aşamasında kullanılan bulanık AHP Buckley tekniğinin (Buckley, 1985) psuedo yazılımı mevcuttur.

- Her bir Karar Vericiye ait değerlendirmelerin Excel dosyalardan okunması;

```
For (Karar Verici sayısı kadar)
Excel dosyalarını aç
Excel dosyalarının içeriğini oku
End
```

- Karar Vericilere ait değerlendirmelerin dilsel formattan TFN formatına dönüştürülmesi;

```
Dönüşüm skolasına ilişkin Excel dosyasını aç,
Excel dosyanın içeriğini oku,
For (Karar Verici sayısı kadar)
Dönüşüm skolasını kullanarak her bir kararı (l,m,u) formuna çevir
```

End

- Karar vericilere ait karar matrislerinin oluşturulması;

For (Karar Verici sayısı kadar)

Her bir Karar Verici için “Karar Verici sayısı * Karar Verici sayısı”
kadar satır ve sütuna sahip karar matrislerini oluştur (TFN
formunda)

End

- Karar matrislerinin yığılması işlemi

For (Karar Verici sayısı kadar)

Karar matrislerine bulanık toplama işlemini uygula

End

Elde edilen yığın matrisini bir Excel dosyaya kaydet

- Geometrik ortalama metodunun uygulanması

Yığılmış karar matrisine havi Excel Dosyayı aç,

Yığılmış matrisi oku

“Yığılmış matris/Karar Verici sayısı” işlemini yap

Sonuç matrisini depolama maksadıyla bir Excel dosyaya yaz

- Buckley AHP yaklaşımı tekniğinin (Buckley, 1985) r değerlerinin (i^{th} Karar Vericinin her bir Karar Verici için bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları) hesaplanması;

Geometrik ortalaması alınmış olan sonuç matrisini Excel dosyadan oku

For (Karar Verici sayısı kadar)

Okunan matrisin üst diagonal kısmını al

Üst diagonalın her bir satırının elemanlarının bir vektöre ata

End

For (Karar Verici sayısı kadar)

Her bir vektörün elemanlarını birbiriyle çarpım işlemine tabi tut

End

For (Karar Verici sayısı kadar)

Bir önceki döngüden (for) elde edilen sonuçları parantez içinde verilen üstel işleme tabi tut ($1/\text{Karar Verici sayısı}$)

End

Elde edilen r değerlerini (Karar Verici sayısı kadar) Excel Dosyalarına TFN formatında yaz

- Her bir Karar Vericinin bulanık görece ağırlık değerinin hesaplanması;

For (Karar Verici sayısı kadar)

r değerlerinin depolandıkları Excel dosyalarını aç

r değerlerini oku

End

For (Karar Verici sayısı kadar)

Tüm r değerlerini bulanık toplama işlemine tabi tut

($1/\text{Bulanık toplama işlemlerinin sonucu}$) işlemini yap

Yığılanmış ve geometrik ortalama işlemine tabi tutulmuş karar matrisinin her bir satırından elde edilmiş r değerini toplama işlemine tabi tutulmuş ve tersi alınmış olan r değerleri ile bulanık çarpım işlemine tabi tut, her bir Karar Vericinin görece önem değerinin TFN formatını elde et (w değerleri)

End

Elde edilen w değerlerini bir Excel dosyasına yaz

- Her bir Karar Vericinin bulanık görece ağırlık değerinin geleneksel mantık (crisp) değerine dönüştürülmesi;

w değerlerinin depolandıkları Excel dosyasını aç

w değerlerini oku (l,m,u formatında)

For (Karar Verici sayısı kadar)

(u-l) ve (m-l) işlemlerini yap

Yukarıdaki işlemlerinin tamamının sonuçlarını topla

(Sonuçlar/3) işlemini icra et

Yukarıdaki işlemin sonucuna her bir w'nin "l" bileşenini ekle

End

Elde edilen sonuçları (her bir w değerinin crisp halini) Excel dosya yaz

- Aşama-1'den elde edilen sonuçların kullanıcıya sergilenmesi

r değerlerinin depolandıkları Excel dosyasını aç

w değerlerinin depolandıkları Excel dosyasını aç

r değerlerini oku (l,m,u formatında)

w değerlerini oku (l,m,u formatında)

Şekil objesi yarat

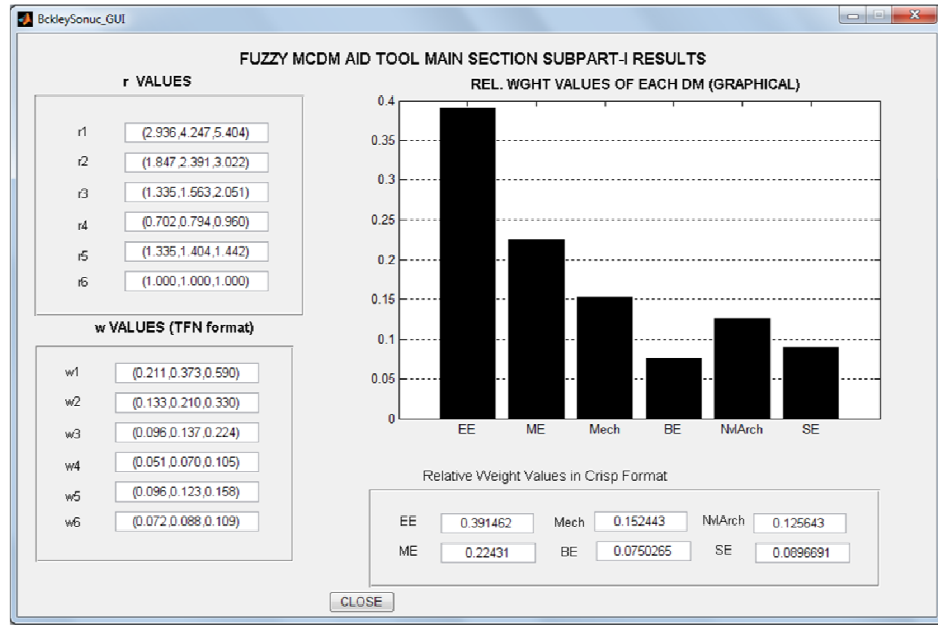
Alt objeleri (3 tablo ve bir grafik) yarat

Alt objeleri şekil objesinin içine yerleştir

r ve w değerlerini uygun alt objelerin içine yazdır

Şekil objesini bilgisayar ekranında sergile (Bknz Şekil 4.6)

Yazılım 6 kişilik bir karar verme grubuna göre düzenlenmiştir, ancak hesaplamalarda kullanılan değişken sayıları (karar verici sayısı) karar vericilere ilişkin değerlendirmeleri içeren excel dosyalarının uzunluklarından belirlenmekte olduğundan, gruba karar verici eklenilmesi ya da çıkartılması ihtiyacı durumunda yukarıda açıklanmış olan psuedo yazılımda herhangi bir düzeltme yapılmasına ihtiyaç yoktur. Ancak, bir önceki bölümde de açıklandığı gibi ilgili ikili karşılaştırma anketinin GUI'sinin yeniden düzenlenmesi, arayüzdeki soruların sayısının arttırılması ya da azaltılması gerekmektedir.



Şekil 4.6: Aşama-1 Sonuç Sergileme Objesi.

4.3.2. Aşama-2'nin (AHP Chang's Extent Analysis Tekniği) Pseudo Yazılımları

Aşama-2; Karar Verici grubu üyelerinin başlangıç aşamasında seçilmiş olan 10 adet kritere ilişkin değerlendirmelerinin kullanılarak her bir kriterin görece önem değerinin hesaplandığı aşamadır. Bu aşamada kullanılan MCDM tekniği Chang'ın bulanık AHP Extent Analysis (Chang, 1996) tekniğidir.

Bu aşamada da ilk aşamada olduğu gibi Karar Verici grubu üyelerinin kriterlere ilişkin değerlendirmelerinin toplanması esnasında sayısallaştırılmış ikili karşılaştırma arayüzleri kullanılmış ve her bir Karar Vericiye ait değerlendirme ayrı bir Excel dosyaya dilsel değişken formatında kaydedilmek suretiyle bilgisayar sabit diskinde saklanılmıştır.

Takip eden paragraflarda psuedo yazılım kullanılarak aşama-2'nin sayısallaştırılması esnasında icra edilen faaliyetler açıklanmıştır.

- Her bir Karar Vericiye ait değerlendirmeler Excel dosyalarından okunması;

For (Karar Verici sayısı kadar)
Excel dosyalarını aç
Excel dosyalarının içeriğini oku
End

- Karar Vericilere ait değerlendirmelerin dilsel değişken formatından TFN formatına dönüştürülmesi;

Dönüşüm skalasına ilişkin Excel dosyasını aç,
Excel dosyanın içeriğini oku,
For (Karar Verici sayısı kadar)
Dönüşüm skalasını kullanarak her bir kararı (l,m,u) formuna çevir
End

- Karar vericilere ait karar matrislerinin oluşturulması;

For (Karar Verici sayısı kadar)
Her bir Karar Verici için “Karar Verici sayısı*Karar Verici sayısı”
kadar satır ve sütuna sahip karar matrislerini oluştur (TFN
formunda)
End

- Aşama-1’de elde edilmiş olan Karar Vericilerin görece ağırlık değerlerinin sürece dâhil edilmesi;

Karar Vericilerin görece önem derecelerini içeren Excel dosyasını
aç,
Excel dosyanın içeriğini oku,

- Karar Vericilerin değerlendirmelerinin ağırlıklandırılması (Karar verici grubun heterojenliğinin karar verme sūrecine dāhil edilmesi);

For (Karar Verici sayısı kadar)

Her bir Karar Vericinin karar matrisinin kendi gōrece ۆnem değeri ile bulanık arpımı

End

- Karar matrislerinin yığınlanması (aggregation) ve normalize edilmesi;

For (Karar Verici sayısı kadar)

Ağırlıklandırılmış karar matrislerini bulanık toplamasını yap

End

Ağırlıklandırılmış ve yığınlanmış karar matrisini Excel dosyaya yaz

For (3 defa; karar matrisinin l, m ve u olmak űzere 3 bileřeni olduęundan)

For (Kriter sayısı kadar)

Ağırlıklandırılmış ve yığınlanmış karar matrisinin her bir sūtunun toplamını al

(l bileřenlerini içeren matrisin her bir sūtunun her bir elemanı / u bileřenlerinin toplamı) iřlemini yap

(m bileřenlerini içeren matrisin her bir sūtunun her bir elemanı / m bileřenlerinin toplamı) iřlemini yap

(u bileřenlerini içeren matrisin her bir sūtunun her bir elemanı / l bileřenlerinin toplamı) iřlemini yap

End

End

Elde edilen normalize edilmiş ve yığınlanmış karar matrisini Excel dosyasını yaz,

- Normalize edilmiş ve yığınlanmış karar matrisinden S değerlerinin (Synthetic Value) hesaplanması;

Normalize edilmiş ve yığılanmış karar matrisine sahip Excel dosyasını aç,

Excel dosyanın içeriğini oku

For (3 defa; karar matrisinin l, m ve u olmak üzere 3 bileşeni olduğundan her bir bileşen için ayrı ayrı)

For (Kriter sayısı kadar)

(1/Ağırlıklandırılmış ve yığılanmış karar matrisinin l bileşenlerini içeren sütunun toplamı) işlemini yap

(1/Ağırlıklandırılmış ve yığılanmış karar matrisinin m bileşenlerini içeren sütunun toplamı) işlemini yap

(1/Ağırlıklandırılmış ve yığılanmış karar matrisinin u bileşenlerini içeren sütunun toplamı) işlemini yap

End

End

Elde edilen S değerlerini bir Excel dosyaya kaydet

- S değerlerini kullanarak V değerlerinin (iki TFN arasındaki karşılaştırmada birinci sayının ikinciden ya da ikinci sayının birinciden büyük olabilme olasılık değerlerinin) hesaplanması;

S değerlerini ihtiva eden Excel dosyasını aç,

Excel dosyanın içeriğini oku

For (Kriter sayısı kadar)

if ($m_1 \geq m_2$)

then

V değeri = 1

else if

V değeri = $(l_1 - u_2) / [(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)]$

End

End

Elde edilen V değerlerini bir Excel dosyaya kaydet

- V değerlerinin kullanılarak c değerlerinin (priority weight (öncelik ağırlık değerlerinin)) hesaplanması;

V değerlerini ihtiva eden Excel dosyasını aç,
Excel dosyanın içeriğini oku
V değerlerini bir vektöre ata
For (Kriter sayısı kadar)
Vektörü sırala min2max (küçükten büyüğe sırala)
En küçük olan V değerini seç
Bu değeri ilgili kriterin c değeri olarak ata
End
Elde edilen c değerlerini bir Excel dosyaya kaydet

- C değerlerinden oluşan vektörün normalize edilerek kriterlerin görece ağırlık değerlerinin hesaplanması;

c değerlerini ihtiva eden Excel dosyasını aç,
Excel dosyanın içeriğini oku
c değerlerini bir vektöre ata
For (Kriter sayısı kadar)
(c vektörünün her bir elemanı/c vektörünün elemanlarının toplamı) işlemini yap
End
Elde edilen her bir değer her bir kritere ilişkin görece ağırlık değeridir (w value), w değerlerini bir Excel dosyaya kaydet

- Aşama-2'den elde edilen sonuçların kullanıcıya sergilenmesi;

S değerlerinin depolandıkları Excel dosyasını aç
w değerlerinin depolandıkları Excel dosyasını aç
S değerlerini oku (l,m,u formatında)
w değerlerini oku (l,m,u formatında)
Şekil objesi yarat

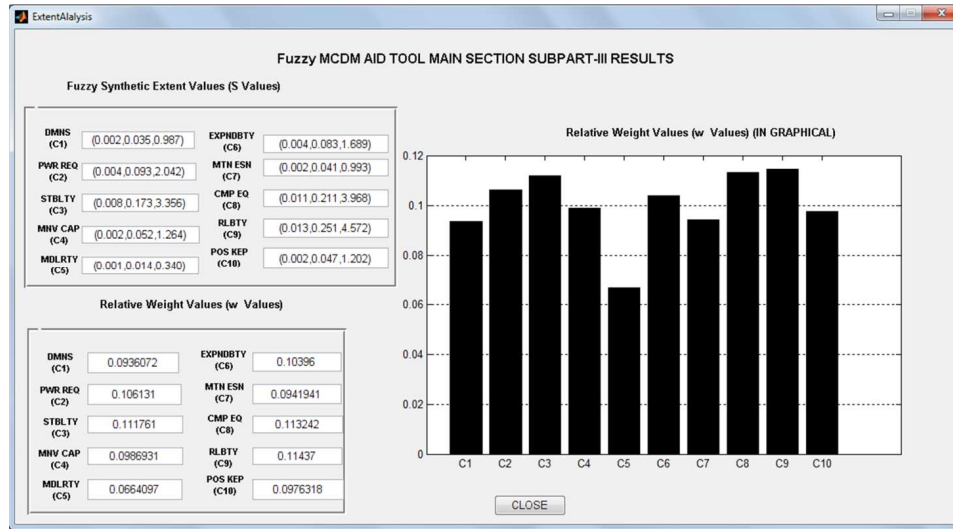
Alt objeleri (2 tablo ve bir grafik) yarat

Alt objeleri şekil objesinin içine yerleştir

S ve w değerlerini uygun alt objelerin içine yazdır

Şekil objesini bilgisayar ekranında sergile (Bknz Şekil 4.7)

Yazılım 10 adet kritere göre düzenlenmiştir, ancak hesaplamalarda kullanılan değişken sayısı (kriter sayısı) kriterlere ilişkin değerlendirmeleri içeren excel dosyalarının uzunluklarından belirlenmekte olduğundan, kriter ilave edilmesi ya da çıkartılması ihtiyacı durumunda yukarıda açıklanmış olan psuedo yazılımda herhangi bir düzeltme yapılmasına ihtiyaç yoktur. Ancak, bir önceki bölümde de açıklandığı gibi ilgili ikili karşılaştırma anketinin GUI'sinin yeniden düzenlenmesi, arayüzdeki soru sayısının artırılması ya da azaltılması gerekmektedir.



Şekil 4.7: Aşama-2 Sonuçları Sergileme Objesi.

4.3.3. Aşama-3'ün (Chen's TOPSIS Tekniği) Pseudo Yazılımları

Aşama-3; Karar Verici grubu üyelerinin alternatif ROV tasarımlarını puanladığı, bu puanlamalar esas alınarak seri üretim için en uygun seçeneğin belirlendiği aşamadır. Bu aşamada kullanılan MCDM tekniği bulanık Chen TOPSIS (Chen, 2000) tekniğidir.

Bu aşamada da ilk iki aşamada olduğu gibi Karar Verici grubu üyelerinin alternatifleri puanlama işlemindeki değerlendirmelerinin toplanması esnasında sayısallaştırılmış puanlama arayüzleri kullanılmış ve her bir Karar Vericiye ait değerlendirme ayrı bir Excel dosyada saklanılmıştır.

Takip eden paragraflarda pseudo yazılım kullanılarak Aşama-3'ün sayısallaştırılması esnasında icra edilen faaliyetler açıklanmıştır.

- Her bir Karar Vericiye ait değerlendirmeler Excel dosyalardan okunması;

```
For (Karar Verici sayısı kadar)
Excel dosyalarını aç
Excel dosyalarının içeriğini oku
End
```

- Karar Vericilere ait değerlendirmelerin dilsel formattan TFN formatına dönüştürülmesi;

```
Dönüşüm skalasına ilişkin Excel dosyasını aç,
Excel dosyanın içeriğini oku,
For (Karar Verici sayısı kadar)
Dönüşüm skalasını kullanarak her bir kararı (l,m,u) formatına çevir
End
```

- Karar vericilere ait karar matrislerinin oluşturulması;

```
For (Karar Verici sayısı kadar)
Her bir Karar Verici için Karar Verici sayısı*Karar Verici sayısı kadar
satır ve sütuna sahip karar matrislerini oluştur (TFN formatında)
End
```

- Aşama-1’de elde edilmiş olan Karar Vericilerin görece ağırlık değerlerinin sürece dâhil edilmesi;

Karar Vericilerin görece önem derecelerini içeren Excel dosyasını aç,
Excel dosyanın içeriğini oku,

- Karar Vericilerin değerlendirmelerinin ağırlıklandırılması (Karar verici grubun heterojenliğinin karar verme sürecine dâhil edilmesi);

For (Karar Verici sayısı kadar)
Her bir Karar Vericinin karar matrisinin kendi görece önem değeri ile bulanık çarpımı
End

- Karar Matrislerinin yığılması ve normalize edilmesi yöntemiyle R matrisinin hesaplanması;

For (Karar Verici sayısı kadar)
Ağırlıklandırılmış karar matrislerini bulanık toplamasını yap
End
For (Kriter sayısı kadar)
If (kriter maliyet kriteri mi?)
then
Yığılmış karar matrisinin her bir satırını ayrı bir vektöre ata
Her bir vektördeki en yüksek elemanın indisini belirle
Bu elemanın u bileşenini vektörün diğer elemanlarının böleni olarak kullan
elseif (kriter fayda kriteri)
Yığılmış karar matrisinin her bir satırını ayrı bir vektöre ata
Her bir vektördeki en küçük elemanın indisini belirle
Bu elemanın l bileşenini vektörün diğer elemanlarının böleni olarak kullan

End

End

Elde edilen R matrisinin Excel dosyaya kayıt et

- Normalize edilmiş Karar matrisinin (R matrisi) kullanılarak V matrisinin (Karar Vericilerin değerlemelerinin kriterlerin görece ağırlık değerleri ile ağırlıklandırılması neticesinde elde edilen matris) hesaplanması;

Normalize edilmiş Karar matrisini (R matrisi) içeren Excel dosyasını aç,

Kriterlerin görece önem değerlerini içeren Excel dosyasını aç,

Excel dosyalarının içeriğini oku

For (Alternatif ROV tasarım sayısı kadar)

For (Kriter sayısı kadar)

Karar matrisindeki değerlendirmeyi ilgili kriterin görece önem değeri ile bulanık çarpım işlemine tabi tut

End

End

Elde edilen V matrisinin Excel dosyaya kayıt et

- Her bir alternatif çözümün negatif ve pozitif ideal çözümden olan mesafesinin Chen'in Vertex metodu (Chen, 2000) kullanılarak hesaplanması;

V matrisini ihtiva eden Excel dosyasını aç,

Excel dosyalarının içeriğini oku

Negatif ideal çözüm için (0, 0, 0) değerini ata

Pozitif ideal çözüm için (1, 1, 1) değerini ata

Her bir alternatif çözüm için pozitif mesafeleri hesapla

For (Alternatif ROV tasarım sayısı kadar)

For (Kriter sayısı kadar)

Pozitif ideal çözümden V matrisindeki her bir elemanın bulanık çıkartma işlemine tabi tut

End

End

Sonuçların karesini almak için bulanık çarpma işlemi yap

For (Alternatif ROV tasarım sayısı kadar)

For (Kriter sayısı kadar)

Yapılan kare alma işlemi sonuçlarının l, m ve u bileşenlerinin toplamını al

End

End

(Elde edilen toplamlar/3) işlemini yap

Bir önceki işlemin sonucunun karekökünü al

Elde edilen sonuçları pozitif mesafeler olarak depola

Her bir alternatif çözüm için negatif mesafeleri hesapla

For (Alternatif ROV tasarım sayısı kadar)

For (Kriter sayısı kadar)

V matrisindeki her bir elemandan Negatif ideal çözümü bulanık çıkartma işlemine tabi tut

End

End

Sonuçların karesini almak için bulanık çarpma işlemi yap

For (Alternatif ROV tasarım sayısı kadar)

For (Kriter sayısı kadar)

Yapılan kare alma işlemi sonuçlarının l, m ve u bileşenlerinin toplamını al

End

End

(Elde edilen toplamlar/3) işlemini yap

Bir önceki işlemin sonucunun karekökünü al

Elde edilen sonuçları negatif mesafeler olarak depola

Elde edilen negatif ve pozitif mesafeleri Excel dosyaya kayıt et

- Yakınlık katsayısının (closeness coefficient-CC value) hesaplanması;

Negatif ve pozitif mesafeleri ihtiva eden Excel dosyasını aç,
Excel dosyasının içeriğini oku
For (Alternatif ROV tasarım sayısı kadar)
(Pozitif çözüm mesafelerinin toplamı/(Pozitif çözüm mesafelerinin toplamı + Negatif çözüm mesafelerinin toplamı)) işlemini yap
End
Elde edilen CC değerlerini Excel dosyaya kayıt et

- Alternatif ROV tasarımlarının yakınlık katsayısına göre sıralanması;

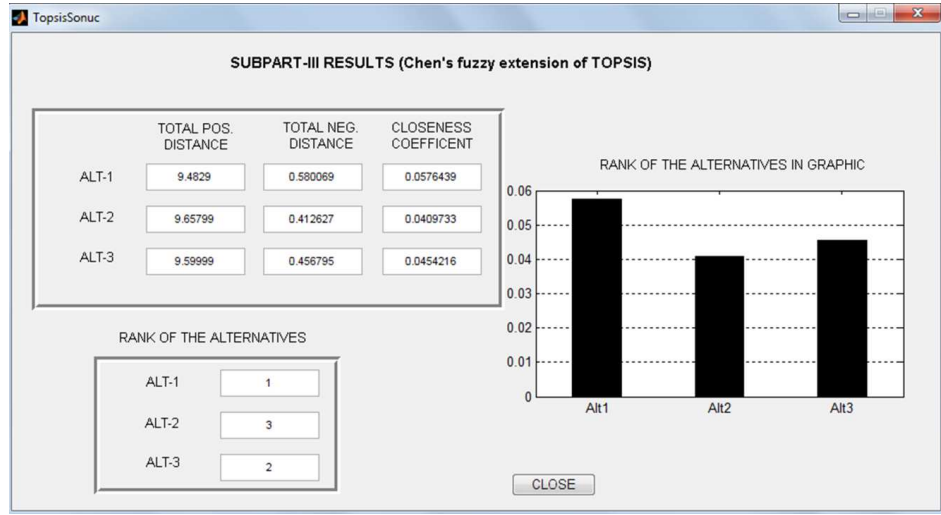
CC değerlerini ihtiva eden Excel dosyasını aç,
Excel dosyasının içeriğini oku
Alternatif ROV tasarımlarını sahip oldukları CC değerlerine göre
büyükten küçüğe doğru sırala
Sıralama değerlerini Excel dosyaya yaz

- Aşama-3'den elde edilen sonuçların kullanıcıya sergilenmesi;

Pozitif çözüm mesafelerini ihtiva eden Excel dosyasını aç
Negatif çözüm mesafelerini ihtiva eden Excel dosyasını aç
CC değerlerini ihtiva eden Excel dosyasını aç
Sıralama değerlerini ihtiva eden Excel dosyasını aç
Pozitif çözüm mesafelerini oku
Negatif çözüm mesafelerini oku
CC değerlerini oku
Sıralama değerlerini
Şekil objesi yarat
Alt objeleri (2 tablo ve bir grafik) yarat
Alt objeleri şekil objesinin içine yerleştir
Pozitif çözüm, negatif çözüm, sıralama değerleri ve CC değerlerini
uygun alt objelerin içine yazdır

Şekil objesini bilgisayar ekranında sergile (Bknz Şekil 4.8)

Yazılım 10 adet kritere ve 3 adet alternatife göre düzenlenmiştir, ancak hesaplamalarda kullanılan değişken sayıları (kriter sayısı ve alternatif sayısı) alternatiflere ilişkin değerlendirmeleri içeren excel dosyalarının uzunluklarından belirlenmekte olduğundan, kriter ve/veya alternatif ilave edilmesi ya da çıkartılması ihtiyacı durumunda yukarıda açıklanmış olan psuedo yazılımda herhangi bir düzeltme yapılmasına ihtiyaç yoktur. Ancak, bir önceki bölümde de açıklandığı gibi ilgili puanlama anketinin GUI'sinin yeniden düzenlenmesi, arayüzdeki soru sayısının ve alternatif sayısının artırılması ya da azaltılması gerekmektedir.



Şekil 4.8: Aşama-3 Sonuçları Sergileme Objesi.

5. ALGORİTMANIN GERÇEK PROBLEME UYGULANMASI

Geliştirilen algoritmanın uygulaması çerçevesinde; MATLAB programlama dili kullanılarak sayısallaştırılmış bulanık ortamda çoklu kriter karar verme yardımcı aracı milli bir ROV üretici firmasının geliştirmiş olduğu üç adet ROV tasarımından hangisinin seri üretim maksadıyla seçileceği problemine çözüm maksadıyla kullanılmıştır.

Firma tarafından geliştirilmiş ve aralarında seçim yapılması gerekli olan alternatif ROV tasarımları Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1 Alternatif ROV Tasarımları.

Karar verme yardımcı aracının kullanılabilmesi için iki karar verici grubuna ihtiyaç vardır;

- Birinci karar verici grubu;
 - o 6 kişilik bir gruptur,
 - o Karar verici grubu üyeleri milli ROV üretici firması tarafından belirlenmiştir,
 - o Bu karar verici grubun üyeleri;
 - Firmanın su altı araçları üretim bölümünün yönetim kurulu başkanı,
 - Bir yönetim kurulu üyesi,
 - İki proje yöneticisi,
 - İnsan kaynakları bölümünden bir yönetici ve
 - Bir iş geliştirmeciden meydana gelmiştir.
 - o Karar Verme yardımcı aracının;

- Başlangıç (initiation) bölümünde alternatif ROV tasarımları arasında seçim yapmak için kullanılacak olan kriterlerin kriter havuzundan seçilmesi,
- Ana bölümde ise bu kriterlerin ağırlıklandırılması ve ROV alternatiflerinin puanlanması aşamalarında yargı belirtecek olan ikinci karar verici grubunun üyelerini seçilmesi işlevini yerine getirmiştir.
- o İlave olarak, karar verme yardımcı aracının ana bölümünün ilk aşamasında ikinci karar verici grubunun her bir üyesinin görece önem değerinin belirlenmesinde de yargı belirtmiştir.
- İkinci karar verici grubu;
 - o Bu grup da ilk karar verici grubu gibi 6 kişiden oluşmuştur,
 - o Bu karar verici grubun üyeleri;
 - Elektrik Mühendisi
 - Gemi İnşa Mühendisi,
 - Mekatronik Mühendisi,
 - İşletme Mühendisi,
 - Makine Mühendisi ve
 - Sistem Mühendisinden oluşmuştur
 - o Karar Verme yardımcı aracının;
 - Başlangıç (initiation) bölümünde kriterlerin belirlenmesi,
 - Ana bölümünde ise kriterlerin ağırlıklandırılması ve
 - Alternatiflerin puanlanması aşamalarında yargı belirtmiştir.

Algoritmanın uygulamasında her bir karar verici grubu üyesi ile yüz yüze yapılan görüşmelerle üyelerin yargıları/alternatiflere ilişkin skorları toplanılmıştır.

Ancak, algoritmanın uygulandığı milli ROV üretim firması diğer birçok alanda projelerde de faaliyet gösterdiğinden karar verme yardımcı aracının grup çalışma

tekniki kullanılan başlangıç (initiation) bölümü haricinde karar verici grubu üyeleri ile toplu olarak görüşmek mümkün olamamıştır. Bunun yerine her gün 1-2 grup üyesi ile görüşme icra edilmiştir. Görüşmeler toplam 20 gün sürmüştür. Görüşmelerde karar verici grup üyesine karar verme yardımcısının hangi safhalarında görüş/skor bildirmesi gerekiyor ise bu aşamaların tamamı uygulanmış, tüm grup üyelerinin yargı ve skorları bilgisayar ortamında depolandıktan sonra karar verme yardımcı aracı tarafından hesaplamalar yapılmıştır.

5.1. Başlangıç (Initiation) Bölümü

Başlangıç (initiation) bölümünde özetle aşağıdaki amaçların yerine getirilmesi için birinci ve ikinci karar verici grubu üyelerinden değerlendirme yapmaları istenilmiştir;

- Karar verme yardımcı aracının ikinci ve üçüncü aşaması ile iklendirme bölümünün ikinci safhasında değerlendirme/skorlama yapacak olan ikinci karar verici grubu üyelerinin belirlenmesi,
- İkinci karar verici grubu üyelerine kriter havuzunun sunulması ve alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriter setinin havuzdan seçilmesi,

Başlangıç (initiation) bölümünde her iki karar verici grubu da grup çalışma tekniğini kullanmıştır.

Başlangıç (initiation) bölümünde yapılan tüm belirlemeler karar verme yardımcı aracının ikinci bölümüne sayısal olarak aktarılması ile (ilgili tüm ikili karşılaştırma ve skorlama ara yüzlerinin yeni karar verici grubu üyeleri ve kriterlere göre güncellenmesi) karar verme yardımcı aracının ana bölümü çalışabilir hale gelmiştir.

5.1.1. Karar Verici (Decision Maker) Grubun Belirlenmesi

Yönetim kurulu ve proje grubundaki yöneticilerden meydana gelen ilk karar verici grubu üyeleri milli ROV üretici firması tesislerinde bir araya gelmiş ve her bir üye eşit kabul edilerek (homojen grup) ROV firması çalışanlarından meydana gelen bir havuzdan 3 aşamalı karar verme yardımcı aracının ikinci ve üçüncü aşaması ile başlangıç (initiation) bölümünün kriter seçimi safhasında yargı belirtecek olan karar verici grubu üyelerini seçmişlerdir.

İlk karar verici grubu üyeleri seçimleri esnasında milli ROV üretici firmasının çalışanlarının;

- Çalışma alanlarındaki geçmiş tecrübelerini,
- Birlikte çalışabilme yeteneklerini (grup çalışması yapabilme kabiliyeti),
- Genel yeteneklerini,
- Özel yeteneklerini,
- İş tecrübesi gibi özelliklerini dikkate alarak seçim yapmışlardır.

Karar verici grubu üyelerinden toplamda 6 kişilik bir karar verici grubunu oluşturmaları talep edilmiştir. Seçilen 6 kişilik grup üyeleri ve her bir üyenin alternatif ROV tasarımların üretilmesi çalışmaları esnasında üstlendikleri sorumluluklar Tablo 5.1.'de sunulmuştur.

Tablo 5.1: İkinci Karar Verici Grubu Üyeleri ve Sorumlulukları.

<i>Karar Verici Grubu Üyesi</i>	<i>Kısaltma</i>	<i>Üyenin ROV Tasarım Geliştirme Esnasındaki Görevi</i>
Makina Mühendisi	ME	ROV'nin mekanik tasarımı, Elektrik Mühendisi ile birlikte ROV'nin gömülü yazılımlarının geliştirilmesi.
Elektrik Mühendisi	EE	ROV'lerin elektrik ve elektronik tasarımları, alt sistemlerin entegrasyonları, gömülü yazılımların geliştirilmesi, gerektiğinde yazılım mühendisi gibi çalışma.
Gemi İnşa Mühendisi	NvIArch	Tüm tasarım çalışmalarının liderliği, ROV'lerin yapısal tasarımı (Makine ve Mekatronik Mühendisleriyle birlikte), Yönetim işlemleri.
Mekatronik Mühendisi	Mech	ROV'nin mekanik tasarımı, elektriki tasarıma destek.
Sistem Mühendisi	SE	Teknik ve yönetsel çabaların birbiriyle eşgüdümü, tasarım süreçlerinin geliştirilmesi ve kontrol edilmesi.
İşletme Mühendisi	BE	Kalite yönetimi, tedarik faaliyetlerinin icrası.

5.1.2. Kriter Setinin Belirlenmesi

Yönetim kurulu ve proje grubundaki yöneticilerden meydana gelen ilk karar verici grubu üyeleri tarafından seçilmiş olan ikinci karar verici grubu üyelerine Bölüm 3’de detaylı olarak açıklanmış olan bir kriter havuzu (21 adet kriterden meydana gelen) sunulmuş, ve kendilerinden bu havuz içinden 10 adet kriteri seçmeleri talep edilmiştir.

Başlangıç (initiation) bölümünün bu safhasında da grup çalışma yöntemi icra edilmiş, grup çalışması maksadıyla ikinci karar verici grubu üyeleri milli ROV üretim firmasının tesislerinde toplanmışlardır. karar verici grubu üyelerinin yapmış olduğu çalışmalar neticesinde Tablo 5.2.’de sunulmuş olan 10 adet kriter belirlenmiştir.

Tablo 5.2: Alternatiflerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler.

<i>Kriter</i>	<i>Kısaltması</i>	<i>Kriter Tipi</i>
Dimension	C1	Cost Criteria
Power Requirement	C2	Cost Criteria
Stability	C3	Benefit Criteria
Maneuvering Capability	C4	Benefit Criteria
Modularity	C5	Benefit Criteria
Expandability	C6	Benefit Criteria
Maintenance Easiness (after the recovery from sea)	C7	Benefit Criteria
Computability with the Existing Equipment on Board of the Ship	C8	Benefit Criteria
Reliability	C9	Benefit Criteria
Position Keeping Capability	C10	Benefit Criteria

Başlangıç (initiation) bölümü faaliyetlerinin tamamlanmasına müteakip, Tablo 5.1 ve 5.2'nin karar verme yardımcısının yazılımına ithal edilmesi faaliyeti icra edilmiş, böylelikle ikili karşılaştırma anketleri ve skollama anketi ara yüzleri (GUI'leri) seçilen karar verici grubu üyelerinin isimlerini ve seçilen kriterleri içerecek şekilde güncellenmiştir.

5.2. Bulanık Ortamda Çok Kriterli Karar Verme Yardımcı Aracının Kullanımı

Karar verme yardımcı aracının ikinci bölümü (ana bölüm) MCDM teknikleri kullanılarak alternatif ROV tasarımları arasından seri üretim için en uygun olan alternatifin belirlendiği 3 aşamalı bölümdür (Bknz. Şekil 3.1).

Bu bölümün her aşaması için karar verici grubu üyesi ile yüz yüze yapılan görüşme ile sayısallaştırılmış bir ara yüz kullanılarak yargı/skorlar toplanılmış ve bilgisayar ortamında depolanmıştır.

Takip eden bölümlerde karar verici grup üyelerinin her bir aşamada yapmış oldukları değerlendirmeler ve bu değerlendirmeler kullanılarak yapılan işlemler, işlemler neticesinde elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

5.2.1. Karar Vericilerin Ağırlıklandırılması (Aşama-I)

Birinci karar verici grubunun her bir üyesinden ilklendirme safhasında seçmiş oldukları ikinci karar verici grubu üyelerini ikili karşılaştırmalar yapmak suretiyle değerlendirmeleri istenilmiştir.

Karar verici grubu üyesinin değerlendirmelerinin alınması için sayısallaştırılmış bir anket kullanılmış, yargıların toplanması ve depolanması maksadıyla bilgisayar kullanılmıştır. Şekil 5.2’de firmanın su altı araçları üretim bölümünün yönetim kurulu başkanına ait ikili karşılaştırma anketi sunulmuştur.

Anketin bilgisayar ortamında doldurulmasından sonra yönetim kurulu başkanına ait yargılar karar verme yardımcı aracı tarafından karakter formatında bir diziye (array) taşınmış ve bu dizideki bilgiler ara yüzde belirtilmiş olan Excel dosyasına matris formatında kayıt edilmiştir. Karar verme yardımcı aracı tarafından Excel dosyaya matris formatında kayıt edilmiş yönetim kurulu başkanına ait yargılar Tablo 5.3’de sunulmuştur.

The screenshot displays the 'CompPairAnk15' application window. It features a central legend titled 'BUCKLEY APPROACH Pairwise Comparison' with the following abbreviations and their meanings:

- EQ: Equally Important
- WK: Weakly Important
- ES: Essentially Important
- VS: Very Strongly Important
- AB: Absolutely Important
- 1/WK: Weakly Unimportant
- 1/ES: Essentially Unimportant
- 1/Vs: Very Strongly Unimportant

The questionnaire consists of 15 questions (Q1 to Q15) comparing different engineering disciplines. Each question has a set of radio buttons for selecting an importance level. For example, Q1 asks 'How important is Electrical Eng. when it is compared to Mechanical Eng.?' and Q15 asks 'How important is Naval Architecture Eng. when it is compared to Systems Eng.?'.

At the bottom of the window, there is a 'File Name to Save' field containing 'YntRr(Bak.xls)', a 'SAVE' button, and a 'CLOSE' button.

Şekil 5.2: Yönetim Kurulu Başkanının Yargıları.

Tablo 5.3: Yönetim Kurulu Başkanının Yargıları (Karakter Formatında)

	EE	ME	Mech	BE	NvlArch	SE
EE	1	ES	ES	ES	WK	VS
ME	1/ES	1	EQ	ES	1/ES	ES
Mech	1/ES	EQ	1	ES	1/VS	VS
BE	1/ES	1/ES	1/ES	1	1/AB	EQ
NvlArch	1/WK	ES	VS	AB	1	AB
SE	1/VS	1/ES	1/VS	EQ	1/AB	1

Karar verme yardımcı aracı daha sonra tabloda görülen yargıları bulanık MCDM teknikleri tarafından kullanılabilmesi amacıyla TFN (triangular fuzzy number, üçgensel bulanık rakamlar) formatına çevirmiştir. Bu çevirme işlemi esnasında kullanılan skala ve karar verici grubu üyelerinin yargılarını belirtmek için kullanabilecekleri dilsel değişkenleri ve kısaltmaları Tablo 3.2’de, yönetim kurulu başkanının yargılarının TFN formatına dönüştürülmüş hali ise Tablo 5.4’de sunulmuştur.

Tablo 5.4: Yönetim Kurulu Başkanının Yargıları (TFN Formatında).

	EE	ME	Mech	BE	NvlArch	SE
EE	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(5.00, 7.00, 9.00)
ME	(0.14, 0.20, 0.30)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.14, 0.20, 0.30)	(3.00, 5.00, 7.00)
Mech	(0.14, 0.20, 0.30)	(1.00, 1.00, 3.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(5.00, 7.00, 9.00)
BE	(0.14, 0.20, 0.30)	(0.14, 0.20, 0.30)	(0.14, 0.20, 0.30)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.11, 0.11, 0.14)	(1.00, 1.00, 3.00)
NvlArch	(0.20, 0.30, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(7.00, 9.00, 9.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(7.00, 9.00, 9.00)
SE	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.14, 0.20, 0.30)	(0.11, 0.14, 0.20)	(1.00, 1.00, 3.00)	(0.11, 0.11, 0.14)	(1.00, 1.00, 1.00)

Tablo 5.5: Yığınlanmış Karar Matrisi (TFN Formatında).

	EE	ME	Mech	BE	NvlArch	SE
EE	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.33, 5.33, 7.33)	(3.00, 5.00, 7.00)	(4.00, 6.00, 8.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(5.33, 7.33, 8.67)
ME	(0.14, 0.19, 0.28)	(1.00, 1.00, 1.00)	(1.67, 2.33, 4.33)	(4.67, 6.67, 8.33)	(1.09, 1.80, 2.53)	(4.67, 6.67, 8.33)
Mech	(0.14, 0.20, 0.30)	(0.71, 0.73, 2.10)	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.67, 5.67, 7.67)	(0.42, 0.45, 1.27)	(3.67, 5.67, 7.67)
BE	(0.13, 0.17, 0.25)	(0.12, 0.16, 0.22)	(0.13, 0.18, 0.27)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.12, 0.15, 0.21)	(1.00, 1.67, 3.67)
NvlArch	(0.15, 0.21, 0.40)	(2.05, 3.40, 4.77)	(3.00, 4.33, 6.33)	(5.00, 7.00, 8.33)	(1.00, 1.00, 1.00)	(5.67, 7.67, 9.00)
SE	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.12, 0.16, 0.22)	(0.13, 0.18, 0.27)	(0.73, 0.77, 2.33)	(0.11, 0.13, 0.18)	(1.00, 1.00, 1.00)

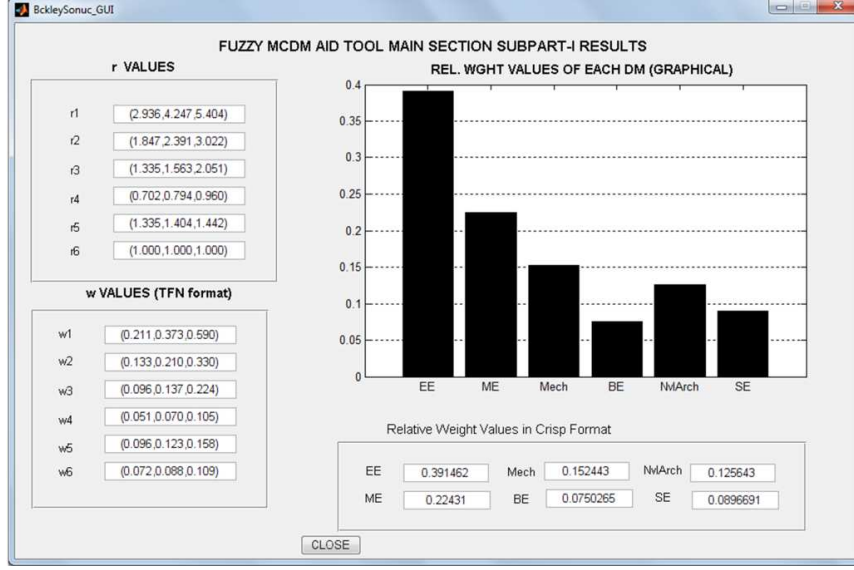
Karar verme yardımcı aracı her bir karar verici grubu üyesi için yukarıda sıralanmış olan işlemleri otomatik olarak yaptıktan sonra bu aşamada kullanılan bulanık AHP Buckley (Buckley, 1985) MCDM tekniğinin ihtiyaç duyduğu yığınlanmış (aggregated) karar verme matrislerini oluşturmuştur. Oluşturulan yığınlanmış karar matrisi Tablo 5.5’de sunulmuştur.

Karar verme yardımcı aracı, Tablo 5.5’de sunulan yığınlanmış karar matrisi elemanlarını kullanarak Bölüm 2.3.1’de detaylı olarak açıklanmış bulanık AHP Buckley (Buckley, 1985) MCDM tekniğinin matematiksel formüllerini otomatik olarak uygulamış ve her bir karar verici grubu üyesinin görece ağırlık değerini hesaplamıştır. Aşağıda yönetim kurulu başkanı için yapılmış olan r (i^{th} karar vericinin her bir karar verici için bulanık karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamaları) ve w (görece ağırlık değeri) değeri hesaplamaları örnek olarak sunulmuştur.

$$\begin{aligned} r_1 &= ((1,1,1) \otimes (3.33,5.33,7.33) \otimes (3,5,7) \otimes (4,6,8) \otimes (3,5,7) \otimes (5.33,7.33,8.67))^{\frac{1}{6}} \\ &= (2.936,4.247,5.404) \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} w_1 &= (2.936,4.247,5.404) \otimes \\ &\quad ((2.936,4.247,5.404) \oplus (1.847,2.391,3.022) \oplus (1.335,1.563,2.051) \\ &\quad \oplus (0.702,0.794,0.960) \oplus (1.335,1.404,1.442) \oplus (1,1,1)^{-1}) \\ &= (0.211,0.372,0.590) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Karar verme yardımcı aracı tarafından karar verici grubu üyelerinin görece ağırlık değerlerinin hesaplanması kapsamında yapılan hesaplamaların neticesinde elde edilen sonuçlar da karar vericilerin yargılarını toplamak için kullanılan ara yüzler gibi ara yüzler (sergileme objeleri) kullanılarak karar verme yardımcı aracı kullanıcısına sergilenmektedir. Şekil 5.3 aşama-1’den elde edilen neticelerin sergilenmesi maksadıyla kullanılmış olan ara yüzdür.



Şekil 5.3: Aşama-1'e Ait Sonuç Sergileme Objesi.

Sergileme objesinden de görüleceği gibi ara hesaplamalar değil kullanıcı için anlam ifade edecek sonuçlar TFN ve crisp (geleneksel matematik) formatında rakamsal ve grafiksel olarak kullanıcıya sunulmaktadır.

Aşama-1, karar verici grup üyeleri arasında görece en yüksek öneme sahip olan üyenin Elektrik Mühendisi olduğunu (0.39'luk görece önem derecesi), en düşük öneme sahip üyenin ise İşletme Mühendisi olduğunu (0.07'lik görece önem derecesi) ortaya koymuştur.

Aşama-1'den elde edilen sonuçlar karar verme algoritmasının diğer adımlarına ithal edilerek karar verici grubunun heterojenliği kavramı karar verme sürecine dâhil edilmiştir. Bölüm 3.2'de de açıklanmış olan normal hayatta herhangi bir konuda alan uzmanı olarak kabul ettiğimiz kişilerin her birinin aynı seviyede bilgi, tecrübe, kültür seviyesi, iş tecrübesi, öğrenim seviyesi vb özelliklere haiz olmasının mümkün olamayacağı, sonuç olarak da her bir alan uzmanının yapmış olduğu değerlendirmenin eşit kabul edilmesinin de gerçekçi kabul edilemeyeceği yargısının gereği olarak her bir karar vericinin grup içindeki görece önem değeri hesaplamıştır. Elde edilen değerler karar verme sürecine ithal edilerek, gerçek çözümden ıraksanmaması hedefine ulaşılmıştır.

5.2.2. Karar Verici Grubu Üyelerinin Kriter Setini Ağırlıklandırması (Safha-II)

Karar verme yardımcı aracının bu aşmasında, başlangıç (initiation) bölümünde milli ROV üretim firmasının çalışanları arasından belirlenmiş olan karar verici grubu üyelerine yine kendileri tarafından başlangıç (initiation) bölümünde belirlenmiş olan kriter setinin her bir elemanının görece ağırlık değerinin hesaplanabilmesi maksadıyla değerlendirmeleri sorulmuştur.

Bu aşamada da, aşama-1’de olduğu gibi karar verici grubu üyelerinin değerlendirmelerinin toplanılması maksadıyla sayısallaştırılmış anketler (ikili karşılaştırma anketleri) kullanılmıştır. Anketler karar vericilere bilgisayar ortamında sunulmuş, verilen cevaplar bilgisayar ortamında depolanmıştır. Karar verici grubu üyeleri yargılarını belirtebilmek maksadıyla Tablo 3.2’de sunulan aşama 1’de de kullanılmış dilsel değişkenleri kullanmıştır.

Karar verme aracının bu aşamasında MCDM tekniği olarak Bölüm 2.5.2’de detaylı olarak açıklanmış olan fuzzy AHP Chang’s Extent Analysis (Chang, 1996) kullanılmıştır. Bu MCDM tekniği de karar verme yardımcı aracının diğer aşamalarında olduğu gibi sayısallaştırılmış olduğundan karar vericilerin yargılarının bilgisayar ortamında depolanmasından sonraki tüm işlemler otomatik olarak bilgisayar kontrolünde gerçekleşmiştir.

Takip eden paragraflarda aşama-2 kapsamında icra edilen faaliyetlerin açıklanması maksadıyla karar verme yardımcı aracının ilk aşamasında en yüksek görece önem değerine sahip olduğu belirlenen Elektrik Mühendisinin kriterlere ilişkin değerlendirmeleri kullanılarak “Dimension (ebatlar)” kriterinin görece önem değerinin hesaplanması kullanılacaktır.

Karar verici grubunun her bir üyesinin değerlendirmeleri Şekil 5.4’de sunulmuş Elektrik Mühendisinin yargılarını içeren örnek ikili karşılaştırma anketi ile toplanmıştır. Karar verme yardımcı aracı tarafından her bir ikili karşılaştırma

anketine işaretlenmiş olan seçenekler okunup, değerlendirmeler Tablo 5.6'da sunulmuş olan Elektrik Mühendisine ait yargılarda olduğu gibi karakter (char) formatında Excel dosyalara kayıt edilmiştir.

Excel dosyalara kayıt edilen değerlendirmeler daha sonra karakter formatından TFN formatına çevrilerek karar matrisleri haline getirilmişlerdir. Bu işlemi takiben karar verme yardımcı aracı aşama-1'den elde etmiş olduğu her bir karar vericiye ilişkin görece önem değerini kullanarak karar matrislerini ağırlıklandırmıştır. Böylelikle karar verici grubun heterojenliğinden kaynaklanan etkinin karar verme sürecine ithal edilmesi, karar verme süreci hitamında elde edilecek olan sonucun gerçeğe mümkün olduğunca yakınlaştırılması sağlanmaya çalışılmıştır. Elektrik Mühendisinin kriterlere ilişkin yapmış olduğu değerlendirmelerin TFN formatına dönüştürülmüş hali Tablo 5.7'de, ağırlıklandırılmış hali ise Tablo 5.8'de sunulmuştur.

Karar verici grubu üyelerinin yargılarının toplanması, TFN formatına çevrilmesi ve ağırlıklandırılması işlemlerinin tamamlanması ile karar verme yardımcı aracının ikinci aşamasının girdileri tamamlanmıştır. Bu girdiler kullanılarak ikinci aşamanın MCDM tekniği fuzzy AHP Chang's Extent Analysis (Chang, 1996) hesaplamaları için ihtiyaç duyulan yığılanmış karar matrisi (aggregated decision matrix) oluşturulmuştur. Yığın matrisin oluşturulabilmesi için her bir karar vericiye ait ağırlıklandırılmış karar matrisleri bulanık toplama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen yığılanmış karar matrisi Tablo 5.9'da sunulmuştur.

anket115

AHP EXTENT ANALYSIS

Pairwise Comparison

Page 1

Q1: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Power Requirement"?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q2: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Stability"?

☒ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q3: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Maneuvering Capability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q4: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Modularity"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☒ ES ☐ VS ☐ AB

Q5: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q6: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q7: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☒ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Meaning of the Abbreviations

EQ **Equally Important**

WK **Weakly Important**

ES **Essentially Important**

VS **Very Strongly Important**

AB **Absolutely Important**

1/WK **Weakly Unimportant**

1/ES **Essentially Unimportant**

1/VS **Very Strongly Unimportant**

1/AB **Absolutely Unimportant**

Q8: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Reliability" ?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q9: How important is Criteria "Dimension" when it is compared to Criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q10: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to Criteria "Stability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q11: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to Criteria "Maneuvering Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☒ ES ☐ VS ☐ AB

Q12: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to Criteria "Modularity"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Q13: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to Criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Q14: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Q15: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to Criteria "Compatibility with the Existing Equipment on Board" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Questions 16-30

(a)

anket1630

AHP EXTENT ANALYSIS Pairwise Comparison Page 2

Q16: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q17: How important is Criteria "Power Requirement" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☒ ES ☐ VS ☐ AB

Q18: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Maneuvering Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Q19: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Modularity"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☒ AB

Q20: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☒ AB

Q21: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Q22: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Meaning of the Abbreviations

EQ **Equally Important**

WK **Weakly Important**

ES **Essentially Important**

VS **Very Strongly Important**

AB **Absolutely Important**

1/WK **Weakly Unimportant**

1/ES **Essentially Unimportant**

1/VS **Very Strongly Unimportant**

1/AB **Absolutely Unimportant**

Q23: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q24: How important is Criteria "Stability" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☒ VS ☐ AB

Q25: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Modularity"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☒ ES ☐ VS ☐ AB

Q26: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Expandability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☒ ES ☐ VS ☐ AB

Q27: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☒ ES ☐ VS ☐ AB

Q28: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q29: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Reliability"?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☐ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Q30: How important is Criteria "Maneuvering Capability" when it is compared to criteria "Position Keeping Capability"?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/WK ☐ EQ ☒ WK ☐ ES ☐ VS ☐ AB

Questions 31-45

(b)

anket3145

Q31: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Expandability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q32: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q33: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q34: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Reliability" ?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q35: How important is Criteria "Modularity" when it is compared to Criteria "Position Keeping Capability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q36: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q37: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q38: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Reliability" ?

☒ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q39: How important is Criteria "Expandability" when it is compared to Criteria "Position Keeping Capability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☒ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q40: How important is Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" when it is compared to Criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☒ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q41: How important is Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" when it is compared to Criteria "Reliability" ?

☐ 1/AB ☒ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q42: How important is Criteria "Maintenance Easiness (after recovery from sea)" when it is compared to Criteria "Position Keeping Capability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☒ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q43: How important is Criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board" when it is compared to Criteria "Reliability" ?

☒ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q44: How important is Criteria "Compatability with the Existing Equipment on Board" when it is compared to Criteria "Position Keeping Capability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☒ W/K ☐ ES ☐ V/S ☐ AB

Q45: How important is Criteria "Reliability" when it is compared to Criteria "Position keeping Capability" ?

☐ 1/AB ☐ 1/V/S ☐ 1/ES ☐ 1/M/K ☐ EQ ☐ W/K ☐ ES ☐ V/S ☒ AB

AHP EXTENT ANALYSIS
Pairwise Comparison
Page 3

Meaning of the Abbreviations

EQ **Equally Important**

W/K **Weakly Important**

ES **Essentially Important**

V/S **Very Strongly Important**

AB **Absolutely Important**

1/W/K **Weakly Unimportant**

1/ES **Essentially Unimportant**

1/V/S **Very Strongly Unimportant**

1/AB **Absolutely Unimportant**

Kayıt Yapılacak Dosya Adı

EE.xls

Dosya Kayıt KAPAT

(c)

Şekil 5.4: Elektrik Mühendisine Ait İkili Karşılaştırma Anketi (a, b ve c).

Bir sonraki işlem olarak karar verme yardımcı aracı yığılanmış karar verme matrisinin normalize edilmiş halini hesaplamıştır. Normalizasyon yığılanmış karar verme matrisinin her bir elemanının matrisin tüm elemanlarının bulanık toplamına bölünmesi ile icra edilmiştir. Elde edilen normalize edilmiş yığılanmış karar matrisi ise Tablo 5.10'da sunulmuştur.

Karar verme yardımcı aracı tarafından normalize edilmiş yığılanmış karar matrisi kullanılarak her bir kritere ait bulanık S değeri (fuzzy synthetic value) hesaplanmıştır. Aşağıda bu hesaplamalara örnek olarak "Dimension" (Ebatlar) kriterine ilişkin S değerinin elde edilişi açıklanmıştır.

$$S_1 = (0.0221, 0.1, 0.4513) \otimes (0.0765, 0.3479, 2.1861) = (0.00169, 0.03479, 0.98663) \quad (5.3)$$

S değerini elde edebilmek için öncelikle "extent analysis" değerleri (M value) bulunmuştur. "Dimension" (Ebatlar) kriterine ait M değerini bulmak için yığılanmış ve normalize edilmiş olan karar matrisinin birinci satırının bulanık toplamı (1 numaralı kriter için hesaplama yapıldığından) hesaplanmış, ardından yığılanmış ve normalize edilmiş karar matrisinin tüm elemanlarının bulanık toplamı hesaplanıp bu toplamın -1'inci kuvveti birinci satırın bulanık toplamı ile bulanık çarpma işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo 5.6: Elektrik Mühendisine Ait Değerlendirmeler (Char Formatında)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1	1/VS	1/AB	1/WK	ES	1/WK	1/ES	EQ	1/VS	1/WK
C2	VS	1	1/WK	ES	VS	VS	VS	VS	1/ES	ES
C3	AB	WK	1	VS	AB	AB	VS	VS	1/ES	VS
C4	WK	1/ES	1/VS	1	ES	ES	ES	1/WK	1/VS	WK
C5	1/ES	1/VS	1/AB	1/ES	1	1/WK	1/ES	1/ES	1/VS	1/ES
C6	WK	1/VS	1/AB	1/ES	WK	1	1/WK	1/WK	1/AB	EQ
C7	ES	1/VS	1/VS	1/ES	ES	WK	1	1/ES	1/VS	1/WK
C8	EQ	1/VS	1/VS	WK	ES	WK	ES	1	1/AB	WK
C9	VS	ES	ES	VS	VS	AB	VS	AB	1	AB
C10	WK	1/ES	1/VS	1/WK	ES	EQ	WK	1/WK	1/AB	1

Tablo 5.7: Elektrik Mühendisine Ait Değerlendirmeler (TFN Formatında).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.11, 0.11, 0.14)	(0.20, 0.33, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.00, 1.00, 3.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.20, 0.33, 1.00)
C2	(5.00, 7.00, 9.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(3.00, 5.00, 7.00)
C3	(7.00, 9.00, 9.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(7.00, 9.00, 9.00)	(7.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(5.00, 7.00, 9.00)
C4	(1.00, 3.00, 5.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.11, 0.14, 0.20)	(1.00, 1.00, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(1.00, 3.00, 5.00)
C5	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.11, 0.11, 0.14)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.14, 0.20, 0.33)
C6	(1.00, 3.00, 5.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.11, 0.11, 0.14)	(0.14, 0.20, 0.33)	(1.00, 3.00, 5.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(0.11, 0.11, 0.14)	(1.00, 1.00, 3.00)
C7	(3.00, 5.00, 7.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.14, 0.20, 0.33)	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.20, 0.33, 1.00)
C8	(1.00, 1.00, 3.00)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.11, 0.14, 0.20)	(1.00, 3.00, 5.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(0.11, 0.11, 0.14)	(1.00, 3.00, 5.00)
C9	(5.00, 7.00, 9.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(7.00, 9.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(7.00, 9.00, 9.00)	(1.00, 1.00, 1.00)	(7.00, 9.00, 9.00)
C10	(1.00, 3.00, 5.00)	(0.14, 0.20, 0.33)	(0.11, 0.14, 0.20)	(0.20, 0.33, 1.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(0.20, 0.33, 1.00)	(0.11, 0.11, 0.14)	(1.00, 1.00, 1.00)

Tablo 5.8: Elektrik Mühendisinin Değerlendirmelerinin Ağırlıklandırılmış Hali (TFN Formatında).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.04, 0.12, 0.59)
C2	(1.06, 2.61, 5.31)	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.63, 1.86, 4.13)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.63, 1.86, 4.13)
C3	(1.90, 3.73, 5.90)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.21, 0.37, 0.59)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.90, 3.73, 5.90)	(1.90, 3.73, 5.90)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(0.03, 0.07, 0.20)	(1.06, 2.61, 5.31)
C4	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.21, 1.12, 2.95)
C5	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.03, 0.07, 0.20)
C6	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.21, 0.37, 1.77)
C7	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.04, 0.12, 0.59)
C8	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.21, 0.37, 0.59)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.21, 1.12, 2.95)
C9	(1.06, 2.61, 5.31)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.63, 1.86, 4.13)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.90, 3.73, 5.90)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.90, 3.73, 5.90)	(0.21, 0.37, 0.59)	(1.90, 3.73, 5.90)
C10	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.03, 0.07, 0.20)	(0.02, 0.05, 0.12)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.04, 0.12, 0.59)	(0.02, 0.04, 0.07)	(0.21, 0.37, 0.59)

Tablo 5.9: Yiğınlanmış Karar Matrisi (TFN Formatında)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(0.66, 1.00, 1.52)	(0.64, 1.68, 4.17)	(0.09, 0.17, 0.39)	(0.39, 1.07, 3.60)	(1.31, 3.56, 8.47)	(0.23, 0.45, 2.01)	(0.36, 0.55, 2.25)	(0.35, 0.57, 2.55)	(0.07, 0.15, 0.32)	(0.20, 0.67, 2.24)
C2	(1.42, 3.43, 7.40)	(0.66, 1.00, 1.52)	(0.10, 0.22, 0.81)	(1.25, 3.22, 7.80)	(2.11, 5.24, 10.88)	(1.32, 3.42, 7.74)	(1.33, 3.47, 8.01)	(1.11, 2.69, 5.48)	(0.08, 0.17, 0.41)	(1.08, 2.91, 7.57)
C3	(2.82, 6.49, 11.79)	(2.16, 5.12, 10.76)	(0.66, 1.00, 1.52)	(3.00, 6.59, 12.99)	(3.43, 7.36, 13.12)	(2.47, 5.75, 10.47)	(2.55, 5.92, 12.01)	(1.24, 2.91, 6.64)	(0.11, 0.23, 0.76)	(2.49, 5.74, 11.82)
C4	(0.55, 1.92, 5.50)	(0.36, 0.85, 2.52)	(0.08, 0.15, 0.35)	(0.66, 1.00, 1.52)	(1.42, 4.19, 9.43)	(0.82, 2.59, 6.12)	(1.17, 3.37, 7.66)	(0.09, 0.21, 0.78)	(0.07, 0.15, 0.32)	(0.66, 2.16, 6.39)
C5	(0.29, 0.58, 1.86)	(0.24, 0.52, 1.20)	(0.08, 0.14, 0.30)	(0.11, 0.25, 0.90)	(0.66, 1.00, 1.52)	(0.10, 0.24, 0.88)	(0.10, 0.23, 0.68)	(0.08, 0.15, 0.33)	(0.07, 0.14, 0.30)	(0.11, 0.24, 0.83)
C6	(1.11, 3.17, 7.56)	(1.01, 1.94, 3.93)	(0.69, 1.25, 2.32)	(0.91, 2.10, 4.46)	(1.76, 4.53, 9.64)	(0.66, 1.00, 1.52)	(1.25, 2.73, 5.59)	(0.34, 0.69, 1.69)	(0.33, 0.63, 1.31)	(1.30, 2.39, 5.23)
C7	(1.18, 3.04, 7.78)	(0.37, 1.10, 2.98)	(0.09, 0.17, 0.41)	(0.27, 0.96, 2.51)	(1.64, 4.58, 10.08)	(0.36, 1.64, 4.48)	(0.66, 1.00, 1.52)	(0.08, 0.16, 0.37)	(0.08, 0.16, 0.36)	(0.12, 0.30, 1.34)
C8	(2.67, 4.78, 8.76)	(2.60, 4.87, 8.45)	(1.05, 2.25, 5.05)	(2.54, 5.64, 11.07)	(3.67, 7.37, 12.46)	(2.47, 5.48, 10.05)	(3.21, 6.68, 12.46)	(0.66, 1.00, 1.52)	(1.00, 2.62, 5.69)	(2.91, 6.20, 11.28)
C9	(3.20, 6.86, 13.43)	(2.68, 5.98, 12.02)	(1.59, 4.48, 9.85)	(3.20, 6.86, 13.43)	(3.30, 7.00, 13.64)	(3.21, 7.02, 11.87)	(2.86, 6.41, 12.77)	(1.56, 3.52, 5.91)	(0.66, 1.00, 1.52)	(4.37, 8.69, 13.64)
C10	(0.88, 3.02, 7.21)	(0.37, 0.56, 2.31)	(0.13, 0.23, 0.68)	(0.38, 0.61, 2.71)	(1.49, 4.34, 9.64)	(0.73, 1.88, 5.28)	(1.00, 3.42, 8.11)	(0.09, 0.20, 0.74)	(0.07, 0.12, 0.23)	(0.66, 1.00, 1.52)

Tablo 5.10: Yığılanmış Normalize Edilmiş Karar Matrisi (TFN Formatında).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	(0.009, 0.029, 0.103)	(0.013, 0.071, 0.376)	(0.004, 0.017, 0.086)	(0.006, 0.038, 0.283)	(0.013, 0.072, 0.407)	(0.004, 0.015, 0.163)	(0.005, 0.016, 0.155)	(0.013, 0.047, 0.456)	(0.007, 0.027, 0.124)	(0.003, 0.022, 0.161)
C2	(0.019, 0.100, 0.501)	(0.013, 0.042, 0.137)	(0.004, 0.022, 0.178)	(0.021, 0.114, 0.613)	(0.021, 0.106, 0.523)	(0.022, 0.116, 0.625)	(0.019, 0.103, 0.553)	(0.043, 0.222, 0.980)	(0.007, 0.032, 0.161)	(0.018, 0.096, 0.544)
C3	(0.039, 0.189, 0.798)	(0.043, 0.217, 0.971)	(0.030, 0.099, 0.333)	(0.049, 0.233, 1.021)	(0.035, 0.150, 0.631)	(0.041, 0.195, 0.846)	(0.036, 0.175, 0.829)	(0.048, 0.241, 1.186)	(0.009, 0.044, 0.297)	(0.040, 0.189, 0.850)
C4	(0.008, 0.056, 0.372)	(0.007, 0.036, 0.228)	(0.004, 0.015, 0.076)	(0.011, 0.035, 0.119)	(0.014, 0.085, 0.453)	(0.014, 0.088, 0.494)	(0.017, 0.100, 0.529)	(0.004, 0.018, 0.139)	(0.007, 0.027, 0.124)	(0.011, 0.071, 0.459)
C5	(0.004, 0.017, 0.126)	(0.005, 0.022, 0.108)	(0.004, 0.014, 0.067)	(0.002, 0.009, 0.071)	(0.007, 0.020, 0.073)	(0.002, 0.008, 0.071)	(0.001, 0.007, 0.047)	(0.003, 0.012, 0.060)	(0.007, 0.027, 0.119)	(0.002, 0.008, 0.060)
C6	(0.015, 0.093, 0.512)	(0.020, 0.082, 0.355)	(0.032, 0.124, 0.511)	(0.015, 0.074, 0.350)	(0.018, 0.092, 0.464)	(0.011, 0.034, 0.123)	(0.018, 0.081, 0.386)	(0.013, 0.057, 0.302)	(0.030, 0.117, 0.514)	(0.021, 0.079, 0.376)
C7	(0.016, 0.089, 0.526)	(0.007, 0.047, 0.269)	(0.004, 0.017, 0.091)	(0.004, 0.034, 0.197)	(0.017, 0.093, 0.485)	(0.006, 0.056, 0.362)	(0.009, 0.030, 0.105)	(0.003, 0.013, 0.065)	(0.007, 0.030, 0.141)	(0.002, 0.010, 0.096)
C8	(0.037, 0.139, 0.593)	(0.052, 0.206, 0.763)	(0.049, 0.224, 1.110)	(0.042, 0.199, 0.871)	(0.037, 0.150, 0.600)	(0.041, 0.186, 0.812)	(0.045, 0.198, 0.860)	(0.025, 0.083, 0.271)	(0.089, 0.488, 2.228)	(0.047, 0.205, 0.811)
C9	(0.044, 0.200, 0.909)	(0.054, 0.253, 1.084)	(0.074, 0.445, 2.167)	(0.052, 0.242, 1.056)	(0.033, 0.142, 0.656)	(0.053, 0.238, 0.960)	(0.040, 0.190, 0.881)	(0.060, 0.291, 1.056)	(0.059, 0.186, 0.593)	(0.071, 0.287, 0.981)
C10	(0.012, 0.088, 0.488)	(0.007, 0.024, 0.209)	(0.006, 0.023, 0.149)	(0.006, 0.022, 0.213)	(0.015, 0.088, 0.464)	(0.012, 0.064, 0.427)	(0.014, 0.101, 0.560)	(0.004, 0.017, 0.133)	(0.007, 0.022, 0.090)	(0.011, 0.033, 0.109)

Karar verme yardımcı aracı benzer şekilde her bir kritere ait S değerini hesapladıktan sonra bu değerleri kullanarak her bir kriter için V değerlerini hesaplamıştır. Hesaplanan her bir S değeri Tablo 5.11’de sunulmuştur.

Tablo 5.11: Hesaplanmış S Değerleri.

	S Değerleri TFN Formatında		
S1	0,001651	0,035475	1,086067
S2	0,003977	0,095444	2,260601
S3	0,00788	0,173237	3,644239
S4	0,002013	0,053185	1,405524
S5	0,000751	0,014435	0,375805
S6	0,004082	0,08324	1,826888
S7	0,001616	0,041765	1,097422
S8	0,009866	0,207735	4,186457
S9	0,011478	0,247429	4,85597
S10	0,001992	0,048054	1,333514

V değerleri temel olarak; iki S değerinin arasındaki büyüklük ilişkisinin olasılığını açıklamakta kullanılan değerdir. Karar verme yardımcı aracı tarafından hesaplanmış olan S değerleri TFN olduklarından $S_1 \geq S_2$ olasılık derecesini hesaplamak için hem $V(S_1 \geq S_2)$, hem de $V(S_2 \geq S_1)$ olasılık değerlerine ihtiyaç vardır. Karar verme yardımcı aracı her bir kriter için bu değerleri Bölüm 2.5.2’de açıklanmış olan Denklem 2.14. ve Denklem 2.15.’i kullanarak hesaplamıştır. 10 adet kriter için toplam 100 adet V değeri hesaplanmış olup; bu değerler Tablo 5.12’de sunulmuştur.

Tablo 5.12, 10 satır ve 10 sütundan meydana gelen bir tablodur; tablonun her bir hücreinde iki adet S değerinin birbirlerinden büyük olabılme ihtimallerini içeren bir V değeri mevcuttur. Örneğin $V(S_1 \geq S_4)$ ihtimali tablonun birinci satırı ile dördüncü sütunun kesişimindeki 0.982752 değeri, $V(S_4 \geq S_1)$ ihtimali ise tablonun dördüncü satırı ile birinci sütunun kesişimindeki 1 değeridir. Tablonun satırlarının içeriğini açıklamak için kullanılmış olan $V(S_1 \geq \dots)$ ibaresi ve diğer benzer ibareler $V(S_1 \geq S_2 \geq S_3 \geq S_4 \geq S_5 \geq S_6 \geq S_7 \geq S_8 \geq S_9 \geq S_{10})$ ibaresinin kısaltılmış halidir.

Tablo 5.12: Kriterlere ait V Değerleri.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
V(S1≥...)	X	0,94749	0,886704	0,983926	1	0,957721	0,994233	0,862022	0,835253	0,98853
V(S2≥...)	1	X	0,96662	1	1	1	1	0,95248	0,936702	1
V(S3≥...)	1	1	X	1	1	1	1	0,990597	0,979986	1
V(S4≥...)	1	0,970731	0,920898	X	1	0,979005	1	0,900304	0,877702	1
V(S5≥...)	0,946761	0,821108	0,698513	0,906071	X	0,843814	0,931934	0,654352	0,609935	0,917487
V(S6≥...)	1	0,993349	0,952856	1	1	X	1	0,935877	0,917059	1
V(S7≥...)	1	0,953206	0,892326	0,989683	1	0,963453	X	0,867598	0,840769	0,994292
V(S8≥...)	1	1	1	1	1	1	1	X	0,990582	1
V(S9≥...)	1	1	1	1	1	1	1	1	X	1
V(S10≥...)	1	0,965582	0,913715	0,996161	1	0,974216	1	0,892349	0,868953	X

Karar verme yardımcı aracı bu V değerlerini kullanarak her bir kriterin görece önem değerinin hesaplanması maksadıyla kullanılacak olan öncelik vektörünün (priority array) elemanlarını belirler. Bunun için V değerlerini içeren tablonun her bir satırının (her bir satır bir kriteri ait V değerlerini içerir) tüm elemanlarını okur, büyükten küçüğe doğru dizer (sort out) ve bu sıralamanın en küçük V değeri öncelik vektörünün bir elemanı haline gelir. Karar verme yardımcı aracı bu prosedürü V değerlerini içeren tablonun her bir satırı için yineliendikten sonra 10 elemanlı bir öncelik vektörü elde edilmiş olur, anılan vektör her bir elemanın vektördeki elemanların toplamına bölünmesi ile normalize edilir ve her bir kriterin görece ağırlık değeri elde edilmiş olur.

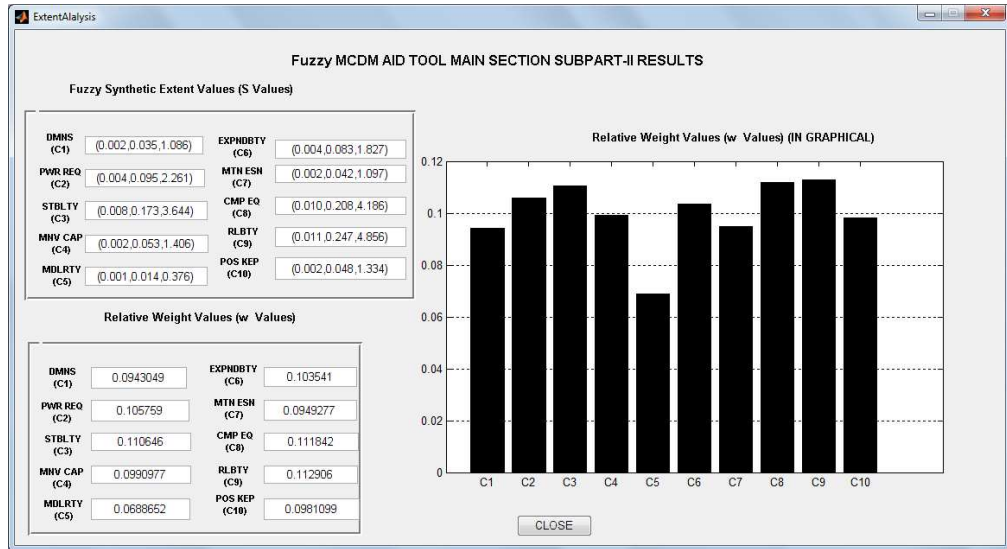
Aşağıda “Dimension” (Ebatlar) kriteri için bu işlemlerin sonuçları sergilenmiştir; karar verme yardımcı aracı tarafından “Dimension” (Ebatlar) kriteri için V değerlerini ihtiva eden tablonun ilk satırının tüm elemanları okunmuş ve bu değerler başka bir vektöre incelenmek üzere kayıt edilmiştir. Bu vektör Denklem 5.4’de sunulmuştur. Bu işlem tüm kriterler için tekrarlandıktan sonra elde edilen öncelik vektörü (priority array) ise Denklem 5.5’de sunulmuştur.

$$\begin{aligned} d'(C1) &= \min (0.9474, 0.8867, 0.9839, 1, 0.9577, 0.9942, 0.862, 0.8352, 0.988) \\ &= 0.8352 \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$w' = (0.8353, 0.9367, 0.9800, 0.8777, 0.6099, 0.9171, 0.8408, 0.9906, 1.0000, 0.8690) \quad (5.5)$$

Karar verme yardımcı aracının aşama-1’inde de olduğu gibi bu aşamada da elde edilen sonuçları bilgisayar ekranında göstermek maksadıyla bir sergileme arayüzü (Graphical use interface-GUI) kullanmaktadır. Bu ara yüz öncelik vektörünün (priority array) normalize edilmesi sonucunda elde edilen görece önem değerlerinin (Bknz. Denklem 5.6) grafiksel gösterimi ile S ve V değerlerinin rakamsal gösterimini ihtiva etmekte olup, Şekil 5.5’de sunulmuştur.

$$W = (0.0943, 0.1057, 0.1106, 0.0999, 0.0688, 0.1035, 0.0949, 0.1118, 0.1129, 0.0981) \quad (5.6.)$$



Şekil 5.5: Aşama-2 Sonuçlarına Ait Sergileme Objesi.

5.2.3. Karar Verici Grubu Üyelerinin Alternatif Tasarımları Değerlendirilmesi (Aşama-III)

Karar verme yardımcı aracının bu aşmasında, başlangıç (initiation) bölümünde milli ROV üretim firmasının çalışanları arasından belirlenmiş olan karar verici grubu üyelerine üç adet alternatif ROV tasarımı sunulmuş ve aşama-2’de görece önem değerleri bulunmuş olan kriterlere istinaden alternatifleri değerlendirmeleri (skorlamaları) istenilmiştir.

Bu aşamada karar verme yardımcı aracının diğer aşamalarında olduğu gibi karar verici grubu üyelerinin alternatiflere ilişkin vermiş oldukları skorların toplanılması maksadıyla sayısallaştırılmış anketler (skorlama anketi) kullanılmıştır. Skorlama anketi karar vericilere bilgisayar ortamında sunulmuş, verilen cevaplar bilgisayar ortamında depolanmıştır. Karar verici grubu üyeleri alternatiflere ilişkin skorlarını ifade edebilmek için Tablo 3.3’de sunulan dilsel değişkenleri kullanmıştır.

Karar verme yardımcı aracının son aşamasında MCDM tekniği olarak Bölüm 2.6’da detaylı olarak açıklanmış olan fuzzy AHP Chen’s TOPSIS (Chen, 2000) tekniğini kullanılmıştır. Bu MCDM tekniği de karar verme yardımcı aracının diğer aşamalarında olduğu gibi sayısallaştırılmış olduğundan karar vericilerin yargılarının

bilgisayar ortamında depolanmasından sonraki tüm işlemler otomatik olarak bilgisayar kontrolünde gerçekleşmiştir.

Takip eden paragraflarda alternatif ROV'lerin skorlaması ve bu skorları temel olarak uygun alternatifi seçimi çerçevesinde icra edilen faaliyetler Elektrik Mühendisinin yapmış olduğu değerlendirmeler kullanılarak açıklanmıştır.

Karar verici grubunun her bir üyesinin alternatiflere ilişkin skorları karar verme yardımcı aracının diğer aşamalarında da olduğu gibi sayısallaştırılmış bir anket kullanılarak toplanılmıştır. Şekil 5.6'da Elektrik Mühendisine uygulanmış olan skorlama anketi mevcuttur. Karar verme yardımcı aracı her bir skorlama anketinde işaretlenmiş olan seçenekleri okuyup, puanları karakter (char) formatında Excel dosyalara kayıt etmiştir. Tablo 5.13'de Elektrik Mühendisinin her bir alternatife ilişkin puanlaması örnek olarak sunulmuştur.

Karar verme yardımcı aracı Excel dosyalara kayıt edilen skorları karakter (char) formatından TFN formatına çevirmeye müteakip, bu skorları aşama-1'de elde etmiş olduğu karar vericilerin görece önem değerlerini kullanarak ağırlıklandırmıştır. Böylelikle karar verici grubun heterojenliğinden kaynaklanan etki karar verme sürecinin son aşamasına da ithal edilmiştir.

Tablo 5.13: Elektrik Mühendisinin Skorları (Char Formatında).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Altr #1	VL	VL	H	VH	L	VL	VL	VH	VH	VH
Altr #2	L	M	M	H	L	L	VL	M	H	H
Altr #3	H	H	H	H	H	H	VH	VL	M	M

anketTopsis

TOPSIS EVALUATION FORM

Q1- Rank each alternative with respect to criterion "Dimensions". ☒ COST ☐ BENEFIT

Alternative 1 ☒ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 2 ☐ VL ☒ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Q2- Rank each alternative with respect to criterion "Power Requirement". ☒ COST ☐ BENEFIT

Alternative 1 ☒ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 2 ☐ VL ☐ L ☒ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Q3- Rank each alternative with respect to criterion "Stability". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Alternative 2 ☐ VL ☐ L ☒ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Q4- Rank each alternative with respect to criterion "Manuevering Capability". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☐ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☒ VH

Alternative 2 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Q5- Rank each alternative with respect to criterion "Modularity". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☐ VL ☒ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 2 ☐ VL ☒ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Q6- Rank each alternative with respect to criterion "Expandability". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☒ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 2 ☐ VL ☒ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Q7- Rank each alternative with respect to criterion "Maintenance Easiness (after recovery from sea)". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☒ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 2 ☒ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☒ VH

Q8- Rank each alternative with respect to criterion "Compatibility with the Existing Equipment On Board". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☐ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☒ VH

Alternative 2 ☐ VL ☐ L ☒ M ☐ H ☐ VH

Alternative 3 ☒ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☐ VH

Q9- Rank each alternative with respect to criterion "Reliability". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☐ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☒ VH

Alternative 2 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☒ M ☐ H ☐ VH

Q10- Rank each alternative with respect to criterion "Position Keeping Capability". ☐ COST ☒ BENEFIT

Alternative 1 ☐ VL ☐ L ☐ M ☐ H ☒ VH

Alternative 2 ☐ VL ☐ L ☐ M ☒ H ☐ VH

Alternative 3 ☐ VL ☐ L ☒ M ☐ H ☐ VH

VL : VERY LOW
L : LOW
M : MEDUIM
H : HIGH
VH: VERY HIGH

Kaydet ve Kapat EE.xls

Şekil 5.6: Elektrik Mühendisine Ait Skorlama Anketi.

Elektrik Mühendisinin alternatiflere ilişkin yapmış olduğu puanlamaların TFN formatına dönüştürülmüş hali Tablo 5.14’de, ağırlıklandırılmış hali ise Tablo 5.15’de sunulmuştur.

Karar verici grubu üyelerinin alternatiflere ilişkin skorlarının toplanması, TFN formatına çevrilmesi ve ağırlıklandırılması işlemlerinin tamamlanması ile karar verme yardımcı aracının üçüncü aşamasının girdileri tamamlanmıştır. Karar verme yardımcı aracı bu girdileri kullanılarak Chen’in fuzzy TOPSIS (Chen, 2000) tekniğinin hesaplamaları için ihtiyaç duyduğu yığılanmış ve normalize edilmiş karar matrisini (normalized aggregated decision matrix) oluşturmuştur. Yığın matrisin oluşturulabilmesi için her bir karar vericiye ait ağırlıklandırılmış skorları içeren karar matrisleri bulanık toplama işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen yığılanmış karar matrisi Tablo 5.16’da sunulmuştur.

Yığın matrisini girdi olarak kullanan karar verme yardımcı aracı Bölüm 2.6’da detaylı olarak açıklanmış normalizasyon işlemini icra eder. Bu işlemde en kritik husus kriterin dâhil olduğu grubu bağlı olarak normalizasyon kapsamında yapılacak olan matematiksel işlemler değişiklik göstereceğinden normalizasyon işlemine tabi tutulacak kriterin fayda (benefit) ya da maliyet (cost) kriteri oluşunun belirlenmesidir. Bu bilgi karar verme yardımcı aracı tarafında skor anketinden okunur. Kriter eğer fayda kriteri ise Denklem 5.7’de, maliyet kriteri ise Denklem 5.8’de görülen matematiksel işlem yığılanmış karar matrisinin ilgili satırına uygulanır.

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{x_{1ij}}{x_{3j}^+}, \frac{x_{2ij}}{x_{3j}^+}, \frac{x_{3ij}}{x_{3j}^+} \right) \text{ ve } x_{3j}^+ = \max_i x_{3ij} \quad (5.7)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{x_{1j}^-}{x_{3ij}^-}, \frac{x_{1j}^-}{x_{2ij}^-}, \frac{x_{1j}^-}{x_{1ij}^-} \right) \text{ ve } x_{1j}^- = \min_i x_{1ij} \quad (5.8)$$

Tablo 5.14: Elektrik Mühendisinin Skorları (TFN Formatında).

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Altr #1	(1.00, 1.00, 3.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(9.00, 10.00, 10.00)
Altr #2	(1.00, 3.00, 5.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(1.00, 3.00, 5.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)
Altr #3	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(5.00, 7.00, 9.00)	(9.00, 10.00, 10.00)	(1.00, 1.00, 3.00)	(3.00, 5.00, 7.00)	(3.00, 5.00, 7.00)

Tablo 5.15: Elektrik Mühendisinin Skorlarının Ağırlıklandırılmış Hali.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Altr #1	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.21, 0.37, 1.77)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.90, 3.73, 5.90)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.21, 0.37, 1.77)	(1.90, 3.73, 5.90)	(1.90, 3.73, 5.90)	(1.90, 3.73, 5.90)
Altr #2	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.63, 1.86, 4.13)	(1.06, 2.61, 5.31)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.21, 1.12, 2.95)	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.63, 1.86, 4.13)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)
Altr #3	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.06, 2.61, 5.31)	(1.90, 3.73, 5.90)	(0.21, 0.37, 1.77)	(0.63, 1.86, 4.13)	(0.63, 1.86, 4.13)

Tablo 5.16: Yığınlanmış Karar Matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Alt#1	(0.11, 0.17, 0.76)	(0.11, 0.19, 0.79)	(0.85, 1.48, 2.43)	(0.90, 1.56, 2.47)	(0.11, 0.32, 0.99)	(0.11, 0.24, 0.87)	(0.11, 0.24, 0.85)	(0.99, 1.67, 2.53)	(0.84, 1.49, 2.43)	(0.94, 1.62, 2.51)
Alt#2	(0.17, 0.59, 1.41)	(0.21, 0.67, 1.53)	(0.36, 0.88, 1.84)	(0.48, 1.07, 2.13)	(0.11, 0.32, 0.99)	(0.11, 0.44, 1.18)	(0.11, 0.24, 0.85)	(0.22, 0.69, 1.57)	(0.40, 0.96, 1.97)	(0.51, 1.11, 2.20)
Alt#3	(0.67, 1.31, 2.35)	(0.45, 1.02, 2.05)	(0.50, 1.10, 2.19)	(0.62, 1.20, 2.19)	(0.65, 1.27, 2.33)	(0.55, 1.17, 2.27)	(0.88, 1.56, 2.48)	(0.11, 0.17, 0.76)	(0.27, 0.75, 1.64)	(0.52, 1.08, 2.04)

Özetle; karar verme yardımcı aracı eğer kriter fayda kriteri ise yığılanmış matrisin ilgili sütunundaki değerleri alıp, sütundaki en büyük değeri belirler, bu en büyük değerin, ki bu değer bir TFN değerdir, “u” bileşenini bölen olarak kullanıp sütundaki diğer tüm değerlerin her bir elemanını ise bölünen olarak kullanarak bölme işlemi tatbik eder. Kriter bir maliyet kriteri ise bu defa yığılanmış matrisin ilgili sütunundaki değerleri alıp, sütundaki en küçük değeri belirler, bu en küçük değerin ki bu değer de bir TFN değerdir, “l” bileşenini bölünen olarak kullanıp sütundaki diğer tüm değerlerin her bir elemanının ise bölen olarak kullanarak bölme işlemi tatbik eder. Tüm bu işlemlerin sonuçlarını Excel dosyalara kayıt eden karar verme yardımcı aracı sonuçta Chen’in fuzzy TOPSIS (Chen, 2000) tekniğinde $\tilde{R}$ matrisi olarak adlandırılan normalize edilmiş yığılanmış karar matrisini hesaplamış olur. Karar verici grubu üyelerinin vermiş olduğu skorların kullanılması sonucunda elde edilen $\tilde{R}$ matrisi Tablo 5.17’de sunulmuştur.

Karar verme yardımcı aracı $\tilde{R}$ matrisini ve ikinci aşamadan elde edilen her bir kriterin görece önem değerini kullanarak Chen’in fuzzy TOPSIS (Chen, 2000) tekniğinde $\tilde{V}$ matrisi olarak adlandırılan ağırlıklandırılmış normalize edilmiş karar matrisini hesaplarlar. Aşağıda bu hesaplardan bir örnek gösterilmiştir.

$$\tilde{V}(1,1) = \tilde{R}(1,1) \otimes w_1 = ((0.15, 0.66, 1) \otimes (0.0936)) = (0.014, 0.062, 0.0936) \quad (5.9)$$

Yukarıda görülen bulanık çarpma işlemi $\tilde{R}$ matrisinin her bir elemanı ile ilgili görece önem değeri arasında icra edildikten sonra elde edilen $\tilde{V}$ matrisi Tablo 5.18’de sunulmuştur.

Karar verme yardımcı aracının her bir alternatif çözümün pozitif ideal ve negatif ideal çözümden olan mesafesini hesaplayabilmesi için öncelikle pozitif ideal ve negatif ideal çözümleri ataması gerekir, bu kapsamda; negatif ideal çözüm olarak (0, 0, 0) ve pozitif ideal çözüm olarak ise (1, 1, 1) değerleri alınmıştır. Karar verme yardımcı aracı çözüm alternatiflerinin pozitif ve negatif ideal çözümden

olan mesafelerini hesaplama için Denklem 5.10 matematiksel formülasyonu verilmiş olan Chen tarafından geliştirilmiş vertex metodunu (Chen, 2000) kullanmıştır.

$$d(\tilde{M}_1 - \tilde{M}_2) = \sqrt{\frac{1}{3}[(m_{11} - m_{21})^2 + (m_{12} - m_{22})^2 + (m_{13} - m_{23})^2]} \quad (5.10)$$

Tablo 5.17: $\tilde{R}$ Matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Alt#1	(0.15, 0.66, 1.00)	(0.14, 0.58, 1.00)	(0.35, 0.61, 1.00)	(0.36, 0.63, 1.00)	(0.05, 0.14, 0.43)	(0.05, 0.11, 0.38)	(0.04, 0.10, 0.34)	(0.39, 0.66, 1.00)	(0.34, 0.61, 1.00)	(0.38, 0.65, 1.00)
Alt#2	(0.08, 0.19, 0.64)	(0.07, 0.16, 0.52)	(0.15, 0.36, 0.76)	(0.19, 0.43, 0.86)	(0.05, 0.14, 0.43)	(0.05, 0.19, 0.52)	(0.04, 0.10, 0.34)	(0.09, 0.27, 0.62)	(0.16, 0.39, 0.81)	(0.20, 0.44, 0.88)
Alt#3	(0.05, 0.08, 0.16)	(0.05, 0.11, 0.24)	(0.21, 0.45, 0.90)	(0.25, 0.49, 0.89)	(0.28, 0.55, 1.00)	(0.24, 0.51, 1.00)	(0.35, 0.63, 1.00)	(0.04, 0.07, 0.30)	(0.11, 0.31, 0.67)	(0.21, 0.43, 0.82)

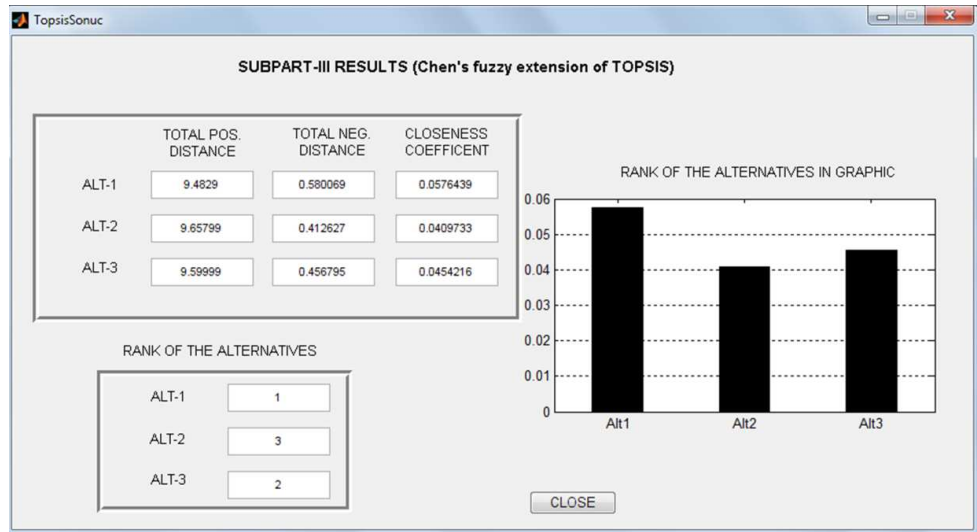
Tablo 5.18: $\tilde{V}$ Matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Alt #1	(0.014, 0.062, 0.094)	(0.015, 0.061, 0.106)	(0.039, 0.068, 0.112)	(0.036, 0.062, 0.099)	(0.003, 0.009, 0.028)	(0.005, 0.011, 0.040)	(0.004, 0.009, 0.032)	(0.044, 0.075, 0.113)	(0.039, 0.070, 0.114)	(0.037, 0.063, 0.098)
Alt #2	(0.007, 0.017, 0.060)	(0.008, 0.017, 0.055)	(0.017, 0.040, 0.085)	(0.019, 0.043, 0.085)	(0.003, 0.009, 0.028)	(0.005, 0.020, 0.054)	(0.004, 0.009, 0.032)	(0.010, 0.031, 0.070)	(0.019, 0.045, 0.092)	(0.020, 0.043, 0.086)
Alt #3	(0.004, 0.008, 0.015)	(0.006, 0.011, 0.026)	(0.023, 0.051, 0.101)	(0.025, 0.048, 0.088)	(0.018, 0.036, 0.066)	(0.025, 0.053, 0.104)	(0.033, 0.059, 0.094)	(0.005, 0.007, 0.034)	(0.012, 0.035, 0.077)	(0.020, 0.042, 0.080)

Karar verme yardımcı aracı müteakiben her bir alternatif için yakınlık katsayısını (closeness coefficient) hesaplayabilmek maksadıyla alternatif çözümlerin pozitif ve negatif çözümlerden olan mesafelerin toplamalarını hesaplar. Alternatif-1 için yakınlık katsayısı hesaplaması Denklem 5.11’de sunulmuştur. Denklemden de görülebileceği gibi alternatif-1 için karar verme yardımcı aracı tarafından hesaplanmış olan toplam pozitif mesafe 9.48, toplam negatif mesafe ise 0.58’dir.

$$CC_1 = 0.58/(9.48 + 0.58) = 0.057 \quad (5.11)$$

Karar verme yardımcı aracı ilk iki aşamada olduğu bu aşamada da elde edilen sonuçları bilgisayar ekranında göstermek maksadıyla bir sergileme objesi kullanmaktadır. Bu obje her bir alternatife ait toplam pozitif mesafeleri, negatif mesafeleri, yakınlık katsayılarını ve bu katsayılarla ilgili olarak alternatiflerin sıralamalarını rakamsal olarak ve ayrıca yakınlık katsayılarını grafiksel olarak sergiler. Sergileme objesi Şekil 5.7’de sunulmuştur.



Şekil 5.7: Aşama-3 Sonuçları Sergileme Objesi.

Aşama-3’ün sonuç sergileme ara yüzünden görüleceği gibi karar verici grupları tarafından yapılan değerlendirme ve puanlamalar neticesinde alternatif ROV tasarımları arasında seri üretim için en uygun alternatif “1” nu.lu alternatif olarak belirlenmiştir.

5.3. Duyarlılık Analizi

Literatür incelendiğinde; duyarlılık analiz kapsamında yapılan çalışmaların genellikle kriterler için hesaplanmış olan görece önem derecelerinin birbirleri arasında değiştirilerek nihai sonucun değişip değişmediğinin gözlemlenmesi şeklinde gerçekleştiği görülmektedir (Chamzini and Yakhchali, 2012; Önüt et al., 2009). Ancak yapılan bu çalışmada ise bulanık ortamda karar verme yardımcı aracının ortaya koyduğu sonuçların değerlendirme kriterlerine ve/veya karar verici grubu üyelerine bağlı olarak değişiklik gösterip göstermeyeceğinin belirlenmesine yönelik bir metodoloji kullanılarak duyarlılık analizi icra edilmiştir.

Duyarlılık analizinin ana amacı duyarlılığın mevcut olup olmadığının belirlenmesi olduğundan, karar verme yardımcı aracında kullanılan kriterler ve karar verici grubu üyelerinin bir kısmı aynı anda değiştirilerek yardımcı aracın bu yeni karar verici grubu ve yeni kriter grubuyla aynı alternatifleri değerlemede kullanılması ve nihai sonucun değişip değişmediği gözlemlenmesi metodolojisi duyarlılık analizi metodolojisi olarak kullanılmıştır. Ancak, MATLAB ortamında geliştirilmiş olan yazılımda çok fazla yapısal değişikliğe ihtiyaç duyulmaması maksadıyla kriter sayısı ve karar verici grubu üyelerinin sayısı orijinal çalışma ile aynı tutulmuştur.

Kriter grubundan hangi kriterlerin değiştirileceğine ve karar verici grubunda hangi üyelerin kalıp, hangi üyelerin yerlerine konulacağına ise yazar tarafından Yönetim kurulu üyelerinin ve orijinal karar verici grubu üyelerinin ikklendirme aşamasında yapmış oldukları grup çalışmasının sonuçları temel alarak karar verilmiştir. Değiştirilen kriterler ve karar verici grubu üyelerinin adları ile değiştirilme sebepleri Tablo 5.19'da açıklanmıştır.

Karar verici grubu üyelerinin değiştirilmesinde orijinal analiz esnasında firmanın su altı araçları üretim bölümünün yönetim kurulu üyelerince icra edilen grup çalışmasının sonuçları referans alınmış, orijinal karar verici grubundan en yüksek ve en düşük görece önem değerine sahip elektrik mühendisi (EE) ile işletme

mühendisi (BE) gruptan çıkartılıp, bu iki karar vericinin yerine üretim hattı lideri (MnfLL) ile proje yöneticisi (ProjMngr) gruba dâhil edilmiştir. Kriter setinde yapılan değişikliklerde ise orijinal kriter setindeki maliyet (cost) tabanlı kriterlerin sayısının arttırılması ve orijinal setteki kriterlerin temsil ettiği perspektiflerin tamamen ortadan kaldırılması ya da bakış açısının değiştirilmesi yöntemi tercih edilmiştir. Örneğin; “expandability” (genişleyebilirlik) kriteri temelde üretim perspektifini temsil eden bir kriterdir hakeza “total cost” (toplam maliyet) da üretim perspektifini temsil eden bir kriterdir, ancak bakış açısı olarak değerlendirildiğinde ilk kriter üretim esnasında sonradan genişlemeye açık bir tasarım gerektirirken, toplam maliyet ise üretim için girdilerin en aza indirilmesi için bir tasarımı gerektirir, sonuç olarak her bir kriter üretim perspektifinin farklı bakış açılarından yansımalarıdır.

Tablo 5.19’da sergilenmiş olan değişikliklerin karar verme yardımcı aracının ve karar verici grubu üyelerinin yargılarını toplamak maksadıyla kullanılan ikili karşılaştırma ve puanlama anketlerinin yazılımlarına ithal edilmesinden sonra karar verme yardımcı aracı duyarlılık analizi çerçevesinde yeniden çalıştırılmıştır.

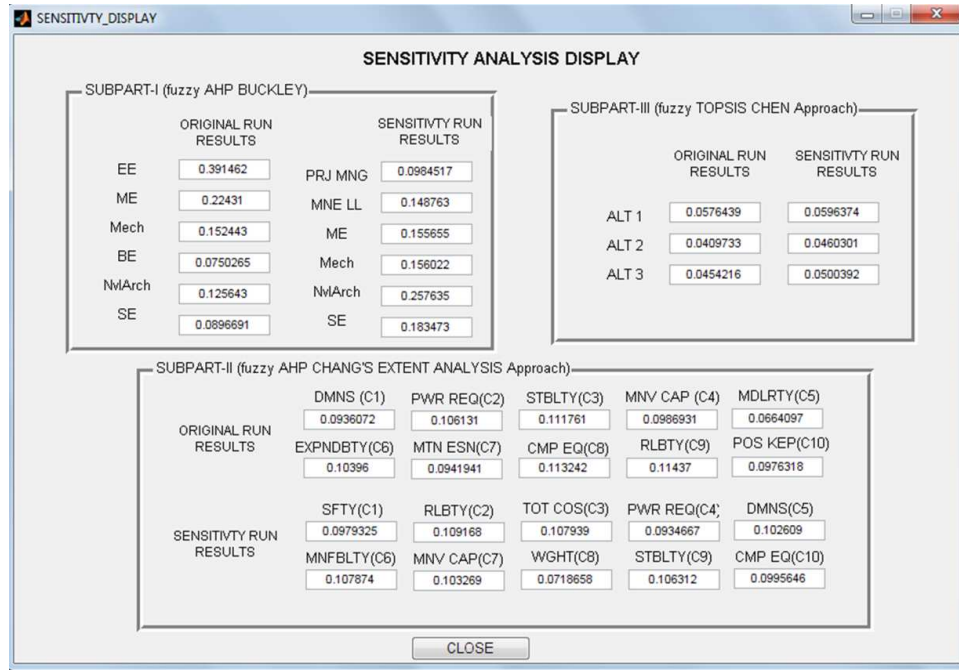
Duyarlılık analizinin ilk aşamasında orijinal analizde olduğu gibi firmanın su altı araçları üretim bölümünün yönetim kurulu üyelerince birincil karar verici grubu oluşturulmuş ve firma çalışanlarından meydana gelen ikincil karar verici grubu üyelerinin değerlendirmeleri ikili karşılaştırma anketleri kullanılarak yapılmış, bu grubun her bir üyesinin görece önem değeri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise ikincil karar verici grubu üyeleri yazar tarafından belirlenmiş olan yeni kriter setinin değerlendirmesini ilk aşamada olduğu gibi ikili karşılaştırma anketleri kullanarak yapmış, her bir kriterin görece önem değeri belirlenmiştir. Bu işlem esnasında her bir değerlendirme ilk aşamada elde edilmiş olan görece önem değerleri kullanılarak ağırlıklandırılmış, böylece karar verici grubun heterojen bir grup olmasından kaynaklanan etkinin karar verme sürecine dahil edilmesi sağlanmıştır. Üçüncü ve son aşamada ise yine ikincil karar verici grubu üyeleri tarafından mevcut alternatif ROV tasarımları ikinci aşamada görece önem dereceleri belirlenmiş olan kriter seti kullanılmak suretiyle puanlanmış, ikinci aşamada olduğu gibi bu aşamada da karar verici grubu üyelerinin birinci aşamada elde edilmiş olan görece önem değerleri

kullanılarak yapılan puanlamalar ağırlıklandırılmış, karar verme sürecinin tamamına karar verici grubunun heterojenliğinden kaynaklanan etkinin ithal edilmesi sağlanmıştır.

Diğer aşamalarda olduğu gibi bulanık ortamda karar verme yardımcı aracı tarafından duyarlılık analizini kapsamında elde edilen sonuçların bilgisayar ekranında gösterimi maksadıyla bir sergileme objesi kullanmıştır. Bu obje, üç farklı alanda her bir aşama için elde edilmiş olan duyarlılık analizi sonuçları ile orijinal sonuçları karşılaştırma yapılabilecek biçimde birlikte sergileyecek şekilde tasarlanmıştır. İcra edilen duyarlılık analizi neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.8’de sunulmuştur.

Tablo 5.19: Duyarlılık Analizi için Karar Verici Grubu ve Kriterlerde Yapılan Değişiklikler.

Değiştirilen Karar Verici Grubu			İlave Karar Verici Grubu		
Üyesi		Sebep	Üyesi		Sebep
EE		En yüksek görece önem değerine sahip üye	PRJMNG		Grup çalışmasında 7'inci sırayı alan karar verici
BE		En düşük görece önem değerine sahip üye	MNELL		Grup çalışmasında 8'inci sırayı alan karar verici
Değiştirilen Kriter	Kriter Tipi	Sebep	İlave Edilen Kriter	Kriter Tipi	Sebep
Modularity	Fayda Kriteri	"Maintenance" perspektifinin tamamen kaldırılması	Weight	Maliyet Kriteri	Maliyet kriteri oranını yükseltme
Maintenance Easiness	Fayda Kriteri	Fayda kriteri oranını düşürme ve "Maintenance" perspektifinin tamamen kaldırılması	Total Cost	Maliyet Kriteri	Maliyet kriteri oranını yükseltme
Expandability	Fayda Kriteri	Fayda kriteri oranını düşürme ve "Production" perspektifinin bakış açısını değiştirme	Safety	Fayda Kriteri	Yeni bir perspektif
Position Keeping Capability	Fayda Kriteri	Fayda kriteri oranını düşürme	Manufacturability	Fayda Kriteri	"Production" perspektifine yeni bir bakış açısı getirme



Şekil 5.8: Hassasiyet Analizi Sonuçları Sergileme Objesi.

6. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

6.1. Elde Edilen Sonuçlar

Yapılan çalışma neticesinde; Milli bir ROV üretici firmasının seri üretim maksadıyla alternatif ROV tasarımları arasından hangisini seçeceğine ilişkin çoklu kriter karar verme problemini çözmek için kullanılacak rasyonel bir karar verme algoritması yaratılmış, bu algoritmanın sayısallaştırılmasıyla bir karar verme yardımcı aracı geliştirilmiştir. Yaratılan 3 aşamalı karar verme algoritmasında;

- Karar verici grubu üyelerinin, insanların, kesin değerler (23 yaşında, 24 yaş) yerine genç, orta yaşlı, gibi kavramlar kullanma,
- Tam ve eksiksiz bilgiden yoksun olarak, geçmiş tecrübe, ön yargı, kişisel bilgi birikimi gibi daha yoruma açık, zaman zaman öznel, veriler ile fikir yürütme alışkanlıkları,
- Kalitatif ve kantitatif kriterleri bir arada kullanabilme ihtiyaçlarını karşılanabilmesi amacıyla,
 - o Linguistic variable (dilsel değişkenler),
 - o Fuzzy set theory (bulanık küme teorisi) ve
 - o MCDM teknikleri;
 - o Fuzzy AHP Buckley Approach (Buckley, 1985),
 - o Fuzzy AHP Chang's extent analysis method (Chang, 1996) ve
 - o Fuzzy Chen's TOPSIS (Chen, 2000) kullanılmıştır.

Geliştirilen algoritmayı literatürdeki benzerlerinden ayıran en temel farklılık ise karar verici grubu üyelerinin arasındaki tecrübe, bilgi birikimi, kendini geliştirme, eğitim gibi sebeplerden kaynaklanan heterojenliğin karar verme sürecine dâhil edilmiş olmasıdır.

Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğunda karar verici grubu üyelerinin homojen kabul edildiği belirtilmekte, bunun için temel sebep olarak ise

matematiksel işlemlerin sadeleştirilmesi ve azaltılması gösterilmektedir. Ancak, bu yaklaşım eleştiriye açık bir yaklaşımdır. Çünkü yapılan çalışmalarda ortaya konulan algoritmalar birer gerçek dünya (real-life) problemini çözme amacını gütmektedir. Oysaki karar verici grubunun üyesi olan kişilerin gerçek hayatta birbirlerinin tıpkı özelliklere sahip olması, dolayısıyla karar verme grubunun homojen kabul edilmesi olasılığı mevcut değildir. Bu durumda her bir karar verici grubu üyesinin karar sürecine katkısı da farklıdır, bu çerçevede değerlendirildiğinde yapılan çalışmalarda ortaya çıkan algoritmaların gerçek problem için çözüm ürettiği önermesi tam manasıyla doğru değildir.

Bu çalışmada ise; karar verici grubu üyelerinin birbirlerine göre farklılıkları bir MCDM tekniği kullanılarak matematiksel olarak modellenmiş ve toplanılan verilere dayalı olarak hesaplanmış, ardından karar verme sürecinin tüm aşamalarına dâhil edilmiştir. Bu işlev için algoritmaya ilave bir aşama eklenilmiş, bir kontrol grubu (firmanın ROV üretim bölümünün yöneticileri) tarafından karar verici grubu üyelerinin değerlendirilmesinin yapılması sağlanılmıştır. Yapılan değerlendirme neticesinde elde edilen görece önem değerleri her bir karar verici tarafından yapılan her türlü değerlendirmenin ağırlıklandırılmasında kullanıldığında algoritmanın sonucu bu kabiliyete sahip olmayan algoritmalar ile kıyaslandığında gerçeğe en yakın hale getirilmiştir.

Geliştirilen algoritmanın tüm MCDM teknikleri ve bu tekniklerin ihtiyaç duyduğu verilerin toplanmasını sağlayan tüm anketler (ikili karşılaştırma anketleri ve puanlama anketleri) MATLAB programlama dili ve MATLAB geliştirme ortamı kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Böylece yeniden kullanılabilir, kullanıcı sayısı (karar verici grubu üyesi sayısı), kriter sayısı ve alternatif sayısından bağımsız, matematiksel işlem yükü probleminden bağımsız, pratik bir karar verme yardımcı aracı yaratılmıştır. Yaratılan bu karar verme yardımcı aracı aynı zamanda algoritmanın uygulanması aşamasında da kullanılmıştır.

Milli ROV üretici firması üzerinde yapılan uygulamada 6 kişilik iki karar verme grubu kullanılmıştır. İlk karar verme grubu öncelikle ikinci karar verici grubu

üyelerinin firma çalışanları arasından seçimini icra etmiş, ardından bu grubun heterojenliğinin belirlenmesi aşamasında yargı bildirmiştir. İkinci karar verici grup ise önce kendilerine sunulan 21 kriterden meydana gelen havuzdan seçim yapmış, ardından seçilen kriterlerin görece önemlerinin belirlenmesi ve alternatif ROV tasarımlarının bu kriterlere istinaden puanlanması aşamalarında yargı belirtmiştir.

Algoritmanın gerçek hayat uygulamasında, arasından seçim yapılması gereken alternatif ROV tasarım sayısı firma tarafından 3 olarak belirlenmiştir. Karar verici grubu üyeleriyle yapılan ikili karşılaştırma anketleri ve puanlama anketleri neticesinde ortaya çıkan önemli sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir;

İlk aşama neticesinde;

- Karar verici grup dâhilindeki en önemli üye 0.39 ağırlık değeriyle, Elektrik mühendisi,
- Grubun görece en önemsiz üyesi ise 0.07 ağırlık değeriyle İşletme Mühendisi olarak ortaya çıkmış,
- Diğer 4 üye ise 0.22-0.09 aralığında önem değerlerine sahip olmuştur,

İkinci aşamada ise;

- 10 adet kriter, karar verici grubu tarafından değerlendirilmiş,
- Güvenilirlik (Relability) kriteri 0.112 değeri ile görece en yüksek öneme,
- Modülerlik (Modularity) kriteri ise 0.068 değeri ile görece en düşük önem derecesine sahip olmuştur.
- Kriterler arasındaki önem dereceleri dağılımında çok dramatik farklılıklar meydana gelmemiştir.
- Bu sonuç, karar verici grubu tarafından değerlendirilen 10 adet kriterin 21 adetlik kriter havuzundan grup çalışma tekniğiyle hali hazırda seçmiş olması, bu kapsamda da bahse konu kriterleri hali

hazırda önemli addetmiş olmalarından hareketle beklenen bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

Üçüncü ve son aşamada ise;

- Her bir alternatif karar verici grup üyeleri tarafından 10 kritere göre değerlendirilmiş/skorlanmış,
- Netice olarak bir numaralı alternatif en yüksek yakınlık değerini (closeness coefficient) almış,
- 3 numaralı alternatif ikinci sırayı, 2 numaralı alternatif ise üçüncü sırayı almıştır. Alternatifler arasındaki yakınlık değeri farkı karar vermeye yetecek kadar anlamlı olarak gerçekleşmiştir.

Çalışma kapsamında ayrıca bir duyarlılık analizi icra edilmiş, böylelikle algoritmanın sonucunun karar verici grup ve/veya kriterlere bağımlı olup olmadığı hususu da incelenmiştir.

Analizin icra edilebilmesi maksadıyla; karar verme yardımcı aracı yazılımı yeni karar verme grubu ve kriter setine göre güncellenmiş, müteakiben karar verici grup (hem Milli ROV üretici firması hem de firma çalışanlarından seçilen grup) yargıları bilgisayar ortamında anketler kullanılarak toplanmış ve MCDM teknikleri toplanan verilere istinaden hesaplama işlemlerini gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Aşama-1'de;

- Orijinal sonuçlarda karar verici grubunun en önemli ve en önemsiz üyeleri olarak tespit edilmiş olan Elektrik mühendisi ve İşletme Mühendisinin gruptan çıkartılmasından sonra, en önemli karar verici olarak Gemi inşa mühendisi, en önemsiz karar verici olarak ise Proje yöneticisi belirlenmiştir.
- Orijinal sonuçlarda Mekanik mühendisi Elektrik mühendisinin ardından ikinci en önemli karar verici olarak değerlendirildiğinden,

duyarlılık analizi esnasında en önemli karar verici haline gelmesi beklenilmekte iken Gemi inşa mühendisi ön plana çıkmıştır. Bu durum birinci karar verici grubu üyelerinin yaptıkları değerlendirmelerin her birinde birbirinden bağımsız düşündükleri, karar verici grubun geneline baktıkları şeklinde yorumlanabilir.

- En önemsiz karar verici olarak grubu sonradan dâhil olan Proje yöneticisinin belirlenmiş olması kendi içinde tutarlı bir sonuçtur. Firmanın dâhili süreçleri gereği Proje yöneticisi mevkisini dolduran çalışanlar projenin teknik detaylarından daha çok yönetsel faaliyetlerine odaklandıklarından grubun diğer üyelerinin teknik ağırlıklı olması sebebiyle görece daha önemsiz olarak değerlendirilmesi doğal bir sonuçtur.
- Burada en dikkat çekici sonuç ise orijinal sonuçlarda İşletme mühendisinden sonra ikinci en önemsiz karar verici olarak belirlenmiş olan Sistem mühendisinin ikinci en önemli karar verici haline gelmesidir.
- Esasında bu sonuç da normal olarak değerlendirilebilir; çünkü İşletme mühendisinin gruptan çıkması ile onun işlerinin de Sistem mühendisi tarafından icra edileceği algısı son derece baskın olduğundan (bilgi birikimleri ve tecrübeleri birbirlerini yedeklemeye uygun olduğundan) iki katı işten sorumlu olacağı değerlendirilmiş ve bu sonuç ortaya çıkmıştır.
- Diğer grup üyelerinin görece önem değerlerinde ise dramatik bir değişim meydana gelmemiştir.

Aşama-2’de;

- En düşük görece önem değerine sonradan kriter havuzuna dahil olan Ağırlık (Weight) kriteri (0.071) sahip olurken,
- En yüksek görece önem değerine ise yine sonradan kriter havuzuna dahil edilen Üretilbilirlik (Manufacturability) kriteri (0.107) sahip olmuştur.

- Genel olarak değerlendirildiğinde kriter havuzundaki kriterlerin arasında orijinal sonuçlarda da olduğu gibi dramatik farklılıklar mevcut değildir. Geriye kalan kriterlerin görece önem değerleri 0.097-0.106 aralığında gerçekleşmiştir.

Aşama-3'de;

- Sıralamada bir değişiklik meydana gelmemiş,
- Alternatif-1 yine en uygun alternatif olarak tespit edilmiştir,
- Alternatif-2 ve 3 orijinal sonuçlara kıyasla alternatif-1'e nazaran daha yüksek yakınlık değerine ulaşmıştır ancak aralarındaki fark orijinal sonuçlardaki farka çok yakın olarak gerçekleşmiştir.

İcra edilen duyarlılık analizi de göstermiştir ki; her ne kadar daha ileri seviyede analizler de icra edilebilir olsa da geliştirilen algoritmanın neticesinin kriter setinden ve karar verici grubunda bağımsız olduğu değerlendirilebilir.

6.2. Değerlendirmeler ve Sonraki Çalışmalar

Çalışma neticesinde elde edilen algoritma; özellikle kriter havuzu ve karar verici grubu çerçevesinde değerlendirildiğinde her ne kadar genel (generic) bir algoritma olarak geliştirilmiş olsa da problem çözümüne üretici bakış açısıyla çözüm yaratan bir karar verme algoritması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu durumda elde edilen sonucun da optimum olduğunu iddia etmek çok gerçekçi bir yaklaşım olmayacaktır. Mevcut çalışmayı geliştirmek/genelleştirmek kapsamında; takip eden çalışmalarda özellikle bu husus dikkate alınarak probleme hem üretici, hem de tüketici bakış açılarından bir çözüm üretmek maksadıyla kriter havuzu ve karar verici grubuna tüketici bakış açısının da ithal edilmesinin uygun olacağı değerlendirilebilir.

Yukarıdaki tartışmaya ilave olarak, hassasiyet analizi kapsamında kullanılan yaklaşımın iki aşamalı; ilk aşama parametrelerden birinin değiştirilip diğerinin sabit

tutulması, örneğin kriter havuzunun tamamının değiştirilmesi ve karar verici grubunun sabit tutulması ve ikinci aşamada ise birinci aşamanın tersinin yapılması, hale getirilmesi suretiyle daha detaylı sonuçlar elde edilmesi takip eden çalışmalarda göz önüne alınabilecek bir husustur.

Geliştirilen karar verici yardımcı aracıyla ilgili olarak ise; sonuçları sergilemek maksadıyla kullanılan sergileme objelerine ait yazılımların $\tilde{R}$, $\tilde{V}$ matris gibi önemli matrisleri de tablo formatında sergileyecek şekilde güncellenmesi, böylece karar verici yardımcı aracının sonuç sergileme özelliğinin daha da güçlendirilmesi işlevi icra edilebilir.

KAYNAKLAR

- Afshar, A., Marino, M. A., Saadatpour, M., Afshar, A., (2011), "Fuzzy TOPSIS multi-criteria decision analysis applied to Karun Reservoirs System", Water Resource Management, 25, 545-563.
- Allen, B., Stokey, R., Forrester, N., Gouldsborough, R., Purcell, M., von Alt, C., (1997), "REMUS: A small, low cost AUV; system description, field trials and performance results", Proceedings of IEEE/MTS Oceans's 1997, 2, 994-1000.
- Allmendiger, E. E., (1990), "Submersible Vehicle Systems Design", Jersey City, N.J.: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Amri, M. P. (2010), "Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS Methods", Expert Systems with Applications, 37, 6218-6224.
- Anagnostopoulos, K., Doukas, H., Psarras J., (2008), "A linguistic multicriteria analysis system combining fuzzy sets theory, ideal and anti-ideal points for location site selection," Expert Systems with Applications, 35, 2041-2048.
- Arslan, T., (2009),"A hybrid model of fuzzy and AHP for handling public assessments on transportation projects", Transportation, 36, 97-112.
- Aslani, A., Aslani, F., (2012), "Application of fuzzy AHP approach to selection of organizational structure with consideration to contextual dimensions", Organizacija, 45 (5), 246-254.
- Athanasopoulos, G., Riba, C. R., Athanasopoulos, C., (2009), "A decision support system for coating selection based on fuzzy logic and multi-criteria decision making", Expert Systems with Applications, 36, 10848-10853.
- Awasthi, A., Chauhan, S.S., (2012), "A hybrid approach integrating affinity diagram, AHP and fuzzy TOPSIS for sustainable city logistics planning", Applied Mathematical Modeling, 36, 573-584.

Aydoğar, E. K., (2011), "Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, 38, 3992-3998.

Badri, M. A. (2001), "A combined AHP-GP model for quality control systems", *International Journal of Production Economics*, 72, 27-40.

Barton, B., (1999), "AUV orders show industry commitment", *International Ocean Systems Design*, (3), 5-15.

Bellingham, J., Goudey, C., Consi, T., Bales, J., Atwood, D., Leonard, J., Chrysostomidis, C., (1994), "A second generation survey AUV", *Proceedings of 1994 IEEE Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology*, 148-155.

Bojadziev, G., Bojadziev, M., (2007), "Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management", 2nd Edition, Singapore: World Scientific Publishing Co.

Bozbura, F.T., Beskese A., Kahraman, C., (2007). "Prioritization of human capital measurement indicators using fuzzy AHP", *Expert Systems with Applications*, 32, 1100-1112.

Bozdağ, C. E., Kahraman, C., Ruan, D., (2003), "Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems," *Computers in Industry*, 51 (1), 13-29.

Buckley, J. J., (1985), "Fuzzy hierarchical analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, 17(1), 233-247.

Chamzini, A. Y., Yakhchali, S. H., (2012), "Tunnel boring machine (TBM) selection using fuzzy multicriteria decision making methods," *Tunneling and Underground Space Technology*, 30, 194-204.

Chan, F. T. S., Chan, M. H., Tang, N. K. H., (2000), "Evaluation methodologies for technology selection", *Journal of Materials Processing Technology*, 107, 330-337.

Chan, F. T. S., Kumar, N., (2007), "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended-AHP based approach", *OMEGA*, 35, 417-431.

Chang, D. Y. (1992), "Extent analysis and synthetic decision", *Optimization Techniques and Applications*, 1, 352-361.

Chang, D. Y.,(1996), "Theory and methodology applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, 95, 649-655.

Chang, Y.-H., Yeh, C.-H., (2002), "A survey analysis of service quality for domestic airlines", *European Journal of Operational Research*, 139 (1), 166-177.

Chen, C-T., (2000), "Extensions on the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1-9.

Chen, Y-C., Yu, T-H., Tsui, P-L., Lee, C-S., (2014), "A fuzzy AHP approach to construct international hotel spa atmosphere evaluation model", *Qual Quant*, 48, 645-657.

Chen, J-K., Chen, I-S., (2008), "A Method for promoting vision in secondary schools: A novel hybrid model based on fuzzy AHP and TOPSIS", *Journal of Global Business*, 2, 83-94.

Chen, S. J., Hwang, C. L., (1992), "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications", Berlin: SPRINGER-Verlag.

Cheng, C. H., Yang, K. L., Hwang, C. L., (1999), "evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight", *European Journal of Operational Research*, 116, 423-435.

Cheng, J. Z., Chen, P.-T., Yu, H.-C., (2005) "Establishing a MAN access strategy for future broadband service: a fuzzy MCDM analysis of SONETH/SDH and gigabit ethernet," *Technovation*, 25, 557-567.

Ching-Hsue, C., (1997), "Evaluating naval tactical missile systems by fuzzy AHP based on the grade value of membership function," *European Journal of Operational Research*, 96, 343-350.

Chou, S-Y., Chang, Y-H., Shen, C-Y. (2008), "A fuzzy simple additive weighting system under group decision making for facility location selection with objective/subjective attributes", *European Journal of Operational Research*, 189, 132-145.

Christ, R. D., Wernli, Sr, R. L., (2007), "The ROV Manual: A User Guide for Observation-Class Remotely Operated Vehciles", London: Butterworth-Heinemann.

Chu, T.-C., Lin, Y.-C., (2003), "A fuzzy topsis method for robot selection", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21, 284-290.

Csutora, R., Buckley, J. J., (2001), "Fuzzy hierarchical analysis: The lamda-max method," *Fuzzy Sets and Systems*, 120, 181-195.

Çelik, M., Kandakoglu, A., Er, I. D., (2009), "Structring fuzzy integrated multi-stages evaluation model on academic personnel recruitment in MET institutions," *Expert Systems with Applications*, 36, 6918-6927.

Dağdeviren, M., Yavuz, S., Kılınç, N. (2009), "Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment", *Experts Systems with Applications*, 36, 8143-8151.

Dağdeviren, M., Yüksel, I., (2008), "Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behaviour-based safety management", *Information Science*, 32 (2), 141-149.

Ebonzo, A. D. M., Liu, X., (2013), "The use of axiomatic fuzzy set theory in AHP and TOPSIS methodology to determine strategies priorities by SWOT analysis", *Qual Quant*, 47, 2671-2685.

Ekmekçioğlu, M., Kaya, T., Kahraman, C., (2010), "Fuzzy multi-criteria disposal method and site selection for municipal solid waste", *Waste Management*, 30, 1729-1736.

Ertugrul, I., Karkasoglu, N., (2009), "Performance evaluation of turkish cement firms with fuzzy analytic hierarchy process and TOPSIS methods," *Expert Systems with Applications*, 36, 702-715.

Gharehgozli, A. H., Rabbani, M., Zarepour, N., Razmi, J., (2008), "Comprehensive decision- making structure for acceptance/ rejection of incoming orders in make-to-order enviroments", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 39, 1016-1032.

Gregory, G., (1998), "Decision Analysis", New York: Plenum Press.

Gomes, R. M. F., Sousa, A., Fraga, S. L., Martins, A., Sousa, J. B., Periera, F. L., (2005), "A new ROV design: Issues on drag and mechanical symmtrey", Ocean's 2005, Europe, June 20-23, 69, 957-967.

Griffiths, G., Edwards, I., (2003), "AUVs: Designing and operating next generation vehicles", Elsevier Oceanography Series, 69, 229-236.

Gümüş, A. T., (2009), "Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology", Expert Systems with Applications, 36 (2), 4067-4074.

Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F., Herrera, E., (2009), "Computing with words in decision making: Foundations, trends and prospects", Fuzzy Optimistic Decision Making, 8, 337-364.

Hung, K. C., Julian, P., Chein, T., Jin, W., T., (2010), "A decision support system for engineering design based on an enhanced fuzzy MCDM approach", Expert Systems with Applications, 37, 202-213.

Hwang, C. L., Yoon, K. P., (1981), "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, State of the Art Survey", Berlin: SPRINGER-Verlag.

Kahraman, C., Ruan, D., Doğan, I., (2003), "Fuzzy group decision-making for facility location selection", Information Science, 157,135-153.

Kahraman, C., Cebeci, U., Ulukan, Z., (2003b), "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP", Logistics Information Management, 16,382-394.

Kahraman, C., Cebeci, U., Ruan, D., (2004), "Multi-attribute comparison of catering service companies using fuzzy AHP", *International Journal of Production Economics*, vol.87,171-184.

Kahraman, C., Ateş, N. Y., Çevik, S., Gülbay, M., Erdoğan, S. A., (2007), "Hierarchical fuzzy TOPSIS model for selection among logistics information technologies", *Journal of Enterprise Information Management*, 20 (2), 143-168.

Kahraman, C., (2008), "Fuzzy Multi Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments", London: SPRINGER Science+Business Media LLC.

Kang, H-Y., Lee, A. H. I., Yang, C-Y., (2012), "A fuzzy ANP model for supplier selection as applied to IC packing", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23, 5, 1477-1488.

Kaufmann, A., Gupta, M. M., (1985), "Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Application". New York: Van Nostrand Reinhold.

Kelemenis, A., Askounis, D., (2010), "A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection", *Expert Systems with Applications*, 37,4999-5008.

Kelemenis, A., Ergazakis, K., Askounis, D., (2011), "Support managers selection using an extension of fuzzy TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, 38, 2774-2782.

Kobayashi, K., (1995), "Principal characteristics of the up-to-date Japanese oceanographic research vessels", *Proceedings of IEEE/MTS Oceans's 1995*, 1, 472-477.

Konda, H., Ura, T., (2004), "Navigation of an AUV for investigation of underwater structures", *Control Engineering Practice*, 12, 1551-1559.

Liang, G. S., (1999), "Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts", *European Journal of Operational Research*, 112, 682-691.

Lygouras, J., Lalakos, K., Tsalides, P., (1998), "THETIS: An underwater remotely operated vehicle for water pollution measurements", *Microprocessors and Microsystems*, 22 (5), 227-237.

İç, Y.T., Yurdakul, M., (2009), "Development of a decision support system for machining center selection", *Expert Systems with Applications*, 36, 3505-3515.

Jahanshahloo, G. R., Zadeh, L. A., Izadikhah, M., (2006), "Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data", *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), 1544-1551.

Janackovic, G. L., Savic, S. M., Stankovic, M. S., (2013), "Selection and ranking of occupational safety indicators based on fuzzy AHP: A case study in road construction companies", *M. S. South African Journal of Industrial Engineering*, 24, 3, 175-189.

Jiang, B. C., Hsu, C.-H., (2003), "Development of a fuzzy decision method for manufacturability evaluation", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14, 169-181.

Jun, B.-H., Lee, P.-M., Kim, S., (2008), "Manipulability analysis of underwater robotic arms on ROV and Application to task-oriented joint configuration", *Journal of the Mechanical Science and Technology*, 12, 887-894.

Merigo, J. M., (2011) "Fuzzy multiperson decision making with fuzzy probabilistic aggregation operators", *International Journal of Fuzzy Systems*, 13 (3), 163-174.

Navneet, B., Kanwal, R., (2004), "Strategic Decision Making Applying the Analytic Hierarchy Process" America: Springer.

Önüt, T., Soner, S., (2008), "Site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment," *Waste Management*, 28, 1552-1559.

Önüt, S., Kara, S. S., Isık, E. (2009), "Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company", *Expert Systems with Applications*, 36, 3887-3895.

Paksoy, T., Pehlivan, N.Y., Kahraman, C., (2012), "Organizational strategy development in distribution channel management using fuzzy AHP and hierarchical fuzzy TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, 39, 2822-2841.

Perçin, S., (2008), "Fuzzy multi-criteria risk-benefit analysis of business process outsourcing (BPO)", *Information Management & Computer Security*, 16, 213-234.

Pomorel, J.C., Romero, S.B., (2000), "Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice", Kluwer Academic Publishers, Norwell.

Rife, J. and Rock, S. M., (2002), "Field experiment in control of a jellyfish tracking ROV," *MTS/IEEE Oceans'02*, 4, 2031-2038.

Rostamzadeh, R. and Sofian, S. (2011). "Prioritizing effective 7Ms to improve production systems performance using fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS (case study)", *Expert Systems with Applications*, 38, 5166-5177.

Saaty, T. L., (1980), "The Analytic Hierarchy Process", New York, NY.: McGraw-Hil.

Saaty, T. L., (1994), "highlights and critical points in the theory and application of the analytic hierarchy process", *European Journal of Operational Research*, 74, 426-447.

Saaty, T. L., (2005), "Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks", Pittsburgh, PA.: RWS-Publications.

Seçme, N. Y., Bayrakdaroğlu, A., Kahraman, C., (2009), "Fuzzy performance evaluation in Turkish banking sector using analytic hierarchy process and TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, 36, 11699-11709.

Shim, H. Jun, R. B.-F., Lee, P.-M., Baek, H., Lee, J., (2010), "Workspace control system of underwater tele-operated manipulators on an ROV", *Oceans Engineering*, 37, 1036-1047.

Soltanmohammadi, H., Osanloo, M., Bazzazi, A. A., (2010), "An analytical approach with a reliable logic and ranking policy for post-mining land-use determination", *Land Use Policy*, 27, 364-372.

Smallwood, D., Whitcomb, L., (2004), "Model-based dynamic positioning of underwater robotic vehicles: Theory and experiments", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 29 (1), 169-186.

Smith, S. M., Park, J., (1998), "Navigational data fusion in the ocean explorer autonomous underwater vehicles", *Proceedings of 1998 International Symposium on Underwater Technology*, 233-238.

Stein, D. L., Felly, J. D., Vecchione, M., (2005), "ROV observations on the benthic fishes in the Northwind and Canada basins, Arctic ocean," *Polar Biology*, 28(3), 232-237.

Sule, D. R., (2001), "Logistics of Facility Location and Allocation", New York: Marcel Dekker Inc.

Taha, Z., Rostam, S., (2012), "A hybrid fuzzy AHP-PROMETHEE decision support system for machine tool selection in flexible manufacturing cell", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23, 2137-2149.

Tolga, E., Demircan, M. L., Kahraman, C., (2005), "Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process", *International Journal of Production Economics*, 97, 89-117.

Torfi, F., Farahani, R. Z., Rezapour, S., (2010), "Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and fuzzy TOPSIS to rank the alternatives", *Applied Soft Computing*, 10, 520-528.

Vahdani, B., Hadipour, H., (2010), "Extension of the ELECTRE Method Based on Interval-Valued Fuzzy Sets", <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-010-0563-5>, (Erişim Tarihi: 23/10/2013).

van Laarhoven, Y. J. M., Pedrycz, W., (1983), "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," *Fuzzy Sets and Systems*, 11, 229-241.

Vencheh, A-H., Mokhtarian, M. N., (2011), "A new fuzzy MCDM approach based on centroid of fuzzy numbers", *Expert Systems with Applications*, 38, 5226-5230.

Wang, W. H., Chen, X. Q., Marburg, .A., Chase, J. G., Hann, C. E., (2009), "Design of low-cost unmanned underwater vehicle for shallow waters," *International Journal of Advanced Mechatronic Systems*, 1 (3), 194-202.

Wang, Y.-M, Elhag, T. M. S., Hua, Z. S., (2006) "A modified fuzzy logarithmic least squares method for fuzzy analytic hierarchy process," *Fuzzy Sets and Systems*, 157, 3055-3071.

Wang, T. C., Chang, T. H., (2007) "Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, 33, 870-880.

Wang, T. Y., Shaw, C.-F., Chen, Y.-L., (2000), "Machine selection in flexible manufacturing cell: A fuzzy multiple attribute decision making approach," *International Journal of Production Research*, 38 (9), 2079-2097.

Weck, M., Klocke, F., Schell, H., Ruenauver, E., (1997), "Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method," *European Journal of Operational Research*, 100 (2), 351-366.

Wernli, R., (2001), "Low cost UUV's for military applications: Is the technology ready?", *Pacific Congress of Marine Science and Technology*, San Francisco, Ca., July, 2001.

Whitcomb, L. L., (2000), "Underwater robotics: Out of the research laboratory and into the field", *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, San Francisco, Ca., 709-716.

Wolf, M., (2003), "The design of a pneumatic system for a small scale remotely operated vehicle", *Bachelor Thesis*, MIT, May 2003.

Xiao, Z., Chen, W., Li, L., (2012), "An integrated FCM and fuzzy soft set for supplier selection problem based on risk evaluation", *Applied Mathematical Modelling*, 36, 1444-1454.

Xi, F., Zhang, L., (2011), "A personnel selection model based on TOPSIS", *Management Science and Engineering*, 5, 107-110.

Yager, R., (1981), "A new methodology for ordinal multi objective decision based on fuzzy sets", *Decision Sciences*, 12, 589-600.

Yeh, C.-H., Deng, H., Wibowo, S., Xu, Y., (2010), "Fuzzy multi criteria decision support for information systems project selection", *International Journal of Fuzzy Systems*, 12, 2, 170-179.

Yong, D., (2006), "Plant location selection based on fuzzy TOPSIS", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 78, 839-844.

Yu, X., Guo, Sh., Guo, J., Huang, X., (2011), "Rank B2C e-commerce websites in e-alliance based on AHP and fuzzy TOPSIS", *Expert Systems with Applications*, 38, (4), 3550-3557.

Zadeh, L. A., (1965), "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8, 338-353.

Zadeh, L. A. (1975), "The concept of a linguistic variable and its application approximate reasoning", *Information Sciences*, 8, 199-249(I), 301-357(II).

Zadeh, L. A., (1996), "Fuzzy logic = Computing with words", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4 (2), 103-111.

ÖZGEÇMİŞ

Birol ÜLKER 1974 İstanbul doğumludur. 1996 yılında Deniz Harp Okulu Elektronik İletişim Bölümünden mezun olmuştur. 2002 yılında Naval Post Graduate School Monterey/Ca./ABD’de Elektrik Mühendisliği (Electrical Enginnering, Computer Track) Yüksek Lisans programını tamamlamıştır. Doktora öğretimine 2008 yılında başlamış ve 2014 yılında doktor ünvanını almaya hak kazanmıştır. Dz.K.K.lığı Araştırma Merkezi Komutanlığında Donanım Üretim Baş Mühendisi olarak görev yapmaktadır.