

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HARBE HAZIRLIĞIN YÖNETİMİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK
SİSTEMİ**

DOKTORA TEZİ

Ahmet KANDAKOĞLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Doktora Programı

ARALIK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HARBE HAZIRLIĞIN YÖNETİMİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK
SİSTEMİ**

DOKTORA TEZİ

**Ahmet KANDAKOĞLU
(507062103)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Doktora Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Y. İlker TOPÇU

ARALIK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507062103 numaralı Doktora Öğrencisi **Ahmet KANDAKOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**HARBE HAZIRLIĞIN YÖNETİMİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Y.İlker TOPÇU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Murat ERMİŞ
Hava Harp Okulu

Doç. Dr. Gülgün KAYAKUTLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Orhan FEYZİOĞLU
Galatasaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Ekim 2012**
Savunma Tarihi : **18 Aralık 2012**

Sevgili Eşim Makbule'ye,

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, dünyadaki tüm orduların birincil görevi olan harbe hazırlığın etkin ve çevik bir yapı ile yönetilebilmesi amacıyla çok ölçütlü karar verme yöntemlerine dayanan bir karar destek sistemi önerisi sunulmaktadır. Bu sisteme hem gerçek hem de periyodik olarak birlik harbe hazırlıklarının değerlendirilmesi için iki adet özgün model dahil edilmiştir.

Doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, çalışmalarım sırasında beni motive eden ve akademik hayatımda model olarak aldığım değerli hocam sayın Prof. Dr. Y.İlker TOPÇU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Düşünce ve önerileriyle tez çalışmama katkıda bulunan tez ilerleme komitesi üyeleri sayın hocalarım Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN'a ve Y.Doç. Dr. Murat ERMİŞ'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca ellerindeki maddi ve manevi tüm imkânları bana sunarak bu noktada bulunmamda büyük katkıları olan anneme, babama ve kardeşlerime candan teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, her zaman olduğu gibi bu zorlu süreçte de yanımda olan sevgili eşim Makbule'ye çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında ifade edilen fikirler tümüyle yazara ait olup TSK'yı ve adı geçen diğer kurum ve kuruluşları hiç bir surette bağlamaz. Geliştirilen model, algoritma ve yazılımlar tüm orduların ortak bir problemine yönelik olup, örneklerde kullanılan veriler ise tamamen jeneriktir. Yoğun emek ve özveriyle hazırladığım bu çalışmamın ülkeme maddi ve manevi açıdan faydalı olması dileğimle...

Aralık 2012

Ahmet Kandakoğlu
Bilgisayar Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem ve Motivasyon.....	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3 Metodoloji.....	3
1.4 Literatüre Katkıları.....	5
1.5 Tez Çalışmasının İçeriği.....	6
2. MEVCUT KAVRAMLAR VE SÜREÇLER.....	9
2.1 Temel Kavramlar.....	9
2.2 Harbe Hazırlığın Değerlendirilmesi.....	10
2.3 Mevcut Raporlaşma Süreci.....	11
2.4 Birliklere Harbe Hazırlık Durumu Tahsisi.....	12
2.5 Birliklerin Kategorilendirilmesi.....	13
3. TEORİK ÇERÇEVE	15
3.1 Mevcut Yöntem ve Algoritmalar.....	15
3.1.1 Analitik Hiyerarşi Süreç	15
3.1.2 Ağırlıklı Çarpım yöntemi.....	19
3.1.3 TOPSIS yöntemi	20
3.1.4 Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi.....	23
3.1.4.1 SMAA yönteminin kökenleri.....	24
3.1.4.2 Başlangıç notasyonu	25
3.1.4.3 Ağırlık uzayı.....	25
3.1.4.4 Fayda (değer) fonksiyonu	26
3.1.4.5 SMAA-2 yönteminin çıktıları	26
Sıralama kabul edilebilirlik indeksi.....	27
Merkezi ağırlık vektörü	27
Güvenilirlik faktörü.....	27
Tümleşik kabul edilebilirlik indeksi.....	28
K - en iyi sıralama indeksi	28
3.1.4.6 SMAA-2 simülasyonu	29
Ölçüt ağırlıklarının üretilmesi.....	30
Sıralama bilgisinden puanların üretilmesi	30
SMAA algoritması – safha 1.....	31
SMAA algoritması – safha 2.....	32
3.1.4.7 SMAA yöntemleri ve uygulamaları.....	33

3.1.5 Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları	35
3.1.5.1 Tercih bilgisinin olmadığı durum.....	37
3.1.5.2 Sıralama bilgisinin olduğu durum.....	39
3.1.5.3 Aralık bilgisinin olduğu durum.....	41
3.1.6 Aksiyomlarla Tasarım	46
3.1.6.1 Temel kavram ve prensipler.....	46
3.1.6.2 Bilgi aksiyomu	47
3.1.6.3 Üçgensel bulanık sayı.....	49
3.1.6.4 Bulanık bilgi aksiyomu.....	50
3.2 Yöntem ve Algoritmalarla Yapılan Katkılar	53
3.2.1 Çarpımlı Analitik Hiyerarşi Süreç	54
3.2.2 Sabit ideal çözümlü TOPSIS yöntemi.....	55
3.2.3 Sıralama problemlerine yönelik SMAA-H yöntemi	57
3.2.4 Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları	61
3.2.4.1 Sıralama bilgisinin olduğu durum.....	62
3.2.4.2 Karışık bilginin olduğu durum.....	64
3.2.5 Değerlendirme problemlerine yönelik Bulanık Bilgi Aksiyomu.....	65
4. KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ	69
4.1 Karar Destek Sistemi.....	69
4.2 Gerçek Zamanlı Harbe Hazırlık Değerlendirme Modeli.....	70
4.3 Periyodik Harbe Hazırlık Değerlendirme Modeli	75
4.4 Prototip Yazılım.....	77
4.4.1 Model oluşturma arayüzleri.....	78
4.4.2 Birlik bilgileri ve standartlarını görüntüleme arayüzleri.....	79
4.4.3 Model sonuçlarını görüntülenme arayüzleri.....	81
5. UYGULAMALAR.....	83
5.1 Gerçek Zamanlı Değerlendirme Modeli Uygulaması.....	83
5.2 Periyodik Değerlendirme Modeli Uygulaması.....	90
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	99
6.1 Sonuçlar	99
6.2 Öneriler.....	100
KAYNAKLAR.....	103
EKLER	109
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMALAR

AÇ	: Ağırlıklı Çarpım
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	: Analitik Ağ Süreci
AT	: Aksiyomlarla Tasarım
DEA	: Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis)
DEMATEL	: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
ELECTRE	: Elimination et Choix Traduisant la Realite
FCM	: Fuzzy Cognitive Maps
HHD	: Harbe Hazırlık Durumu
KDS	: Karar Destek Sistemi
SAW	: Basit Toplamlı Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting)
SMAA	: Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis
TFN	: Üçgensel Bulanık sayı (Triangular Fuzzy Number)
TOPSIS	: Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Harbe hazırlık durumları.	12
Çizelge 2.2 : Birlik hazırlık kategorileri.	13
Çizelge 3.1 : İkili karşılaştırmalar için kullanılan Saaty'nin 1-9 ölçeği.	17
Çizelge 3.2 : Kriter sayısına bağlı olarak rassal indeks değerleri.	18
Çizelge 3.3 : Mevcut SMAA yöntemleri.	35
Çizelge 3.4 : Algoritma 5 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.	38
Çizelge 3.5 : Algoritma 6 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.	41
Çizelge 3.6 : Algoritma 7 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.	44
Çizelge 3.7 : Algoritma 8 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.	46
Çizelge 3.8 : Tümüleşik ve sıralama sıralama kabul edilebilirlik indeksleri.	59
Çizelge 3.9 : SMAA-2 ile SMAA-H sıralamalarının farkı.	60
Çizelge 3.10 : Algoritma 9'un çizelge formatında işletimi.	63
Çizelge 3.11 : Algoritma 10'un çizelge formatında işletimi.	65
Çizelge 5.1 : Hava üslerine yönelik harbe hazırlık değerlendirme ölçütleri.	84
Çizelge 5.2 : Harbe hazırlık değerlendirme ölçütlerinin ağırlıkları.	87
Çizelge 5.3 : Hava üslerine ait bilgiler.	88
Çizelge 5.4 : Hava üslerine ait bilgilerin harbe hazırlığa katkısı.	88
Çizelge 5.5 : Hava üslerinin harbe hazırlık durumları.	89
Çizelge 5.6 : Hava üslerinin harbe hazırlık durumları ve kategorileri ekleri.	89
Çizelge 5.7 : Hava üslerine ait bilgiler (ortalama).	91
Çizelge 5.8 : Hava üslerine ait bilgiler (standart sapma).	92
Çizelge 5.9 : Tercih bilgileri (alt ve üst sınır).	92
Çizelge 5.10 : Kabul edilebilirlik indeksleri ve güvenilirlik faktörü.	93
Çizelge 5.11 : Merkezi ağırlık vektörleri.	94
Çizelge 5.12 : Hava üslerinin gruplara dağılımı.	96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Harbe hazırlığın yönetim süreci.	1
Şekil 1.2 : ÇÖKV problem tipleri.	3
Şekil 2.1 : Harbe hazırlık kavramının boyutları.	9
Şekil 2.2 : Seviyelere yönelik harbe hazırlık değerlendirme yaklaşımları.	10
Şekil 2.3 : Mevcut raporlaşma süreci.	11
Şekil 3.1 : 11 alternatif için sıralama bilgisini gerçek değere dönüştürme örneği.	31
Şekil 3.2 : 3 ölçütlü bir problem için muhtemel ağırlık uzayı.	37
Şekil 3.3 : Algoritma 5 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.	39
Şekil 3.4 : Sıralama bilgisinin olduğu 3 ölçütlü problem için muhtemel ağırlık uzayı.	39
Şekil 3.5 : Algoritma 6 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.	40
Şekil 3.6 : Aralık bilgisinin olduğu 3 ölçütlü problem için muhtemel ağırlık uzayı.	42
Şekil 3.7 : Algoritma 7 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.	45
Şekil 3.8 : Algoritma 8 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.	46
Şekil 3.9 : Tasarım aralığı, sistem aralığı, kesişim aralığı ve sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) (Çebi, 2010).	48
Şekil 3.10 : Üçgensel bulanık sayının grafiksel gösterimi.	49
Şekil 3.11 : Fonksiyonel gereksinim ile tasarım parametresinin ortak alanı.	50
Şekil 3.12 : İdeal FR.	52
Şekil 3.13 : SMAA-H yöntemi.	58
Şekil 3.14 : SMAA-2 ile elde edilen sıralama kabul edilebilirlik indeksleri.	59
Şekil 3.15 : Algoritma 6 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.	63
Şekil 3.16 : Algoritma 9 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.	64
Şekil 3.17 : Uçak faaliyet oranı örneği için muhtemel bilgi içeriği.	67
Şekil 3.18 : Uçak faaliyet oranının fayda fonksiyonu.	68
Şekil 4.1 : Geliştirilen karar destek sisteminin ana yapısı.	69
Şekil 4.2 : Gerçek zamanlı değerlendirme modeli geliştirme süreci.	71
Şekil 4.3 : Periyodik değerlendirme modeli geliştirme süreci.	76
Şekil 4.4 : Geliştirilen karar destek sisteminin ana ekran görüntüsü.	77
Şekil 4.5 : Değerlendirme ölçütleri hiyerarşisi.	78
Şekil 4.6 : Değerlendirme ölçütleri ağırlıklandırma ekranları.	79
Şekil 4.7 : Değerlendirilmek istenen birlik listesi.	79
Şekil 4.8 : Personel kadro/mevcut durumu grafiği.	80
Şekil 4.9 : Uçak faaliyet oranı grafiği.	80
Şekil 4.10 : Birliklerin harbe hazırlık durumu detayları.	81
Şekil 4.11 : Birliklerin harbe hazırlık durumları grafiği.	81
Şekil 4.12 : Bir birliğin harbe hazırlık durumu kokpiti.	82
Şekil 5.1 : Uçak için faaliyet oranı hesaplama algoritması.	86
Şekil 5.2 : Uçak faaliyet oranının fayda fonksiyonu.	86
Şekil 5.3 : Pilot/uçak oranı ve tatbikat puanı fayda fonksiyonları.	87
Şekil 5.4 : Harbe hazırlık değerlendirme ölçütleri.	91

Şekil 5.5 : Kabul edilebilirlik indekslerinin grafiksel gösterimi.....	93
Şekil 5.6 : Merkezi ağırlık vektörlerinin grafiksel gösterimi.	94

HARBE HAZIRLIĞIN YÖNETİMİNE YÖNELİK BİR KARAR DESTEK SİSTEMİ

ÖZET

Ulusal güvenlik tehditlerinin geçmişe nazaran çok daha fazla ve değişken olduğu günümüz koşulları, bu tehditlere her an müdahale edebilmek amacıyla birlik harbe hazırlıklarının en üst seviyede tutulmasını zorunlu kılar. Tüm dünya ordularının barış zamanında birincil görevi olan bu husus, kaynak planlaması ve yönetiminin de temelini oluşturur. Harbe hazırlığın kaynakların etkin bir şekilde kullanılarak yönetilmesi öncelikli olarak bilgi sistemlerinden gelen birçok verinin çevik bir yapı ile karar vericilere özet olarak sunulmasını ve böylelikle birliklerin mevcut harbe hazırlıklarının ortaya konulmasını gerektirir. Diğer bir ifade ile tüm planlama, programlama, bütçeleme ve icra faaliyetlerinin başlangıç noktası, harbe hazırlık durumunun değerlendirmesine dayanır. Fakat, harbe hazırlığın gerçek zamanlı olarak sayısal yöntemler ile değerlendirilmesi literatürde büyük bir eksikliktir.

Bu tez kapsamında, birlik harbe hazırlıklarının değerlendirilmesi bir Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) problemi olarak ele alınmış, değerlendirmenin hem gerçek hem de periyodik olarak gerçekleştirilmesine yönelik iki ayrı model geliştirilmiştir. Bu modellerin gerçek hayatta kullanılabilmesi için de bir karar destek sistemi önerilmiştir.

Öncelikli olarak, gerçek zamanlı değerlendirme modelinde Fayda Teorisi, Aksiyomlarla Tasarım (AT), Analitik Hiyerarşi Süreç (AHP), Ağırlıklı Çarpım Yöntemi (AÇ) ve TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) yöntemlerinin birlikte kullanımına dayanan birleşik bir yaklaşım kullanılmıştır. Yaklaşımda bu yöntemlerin seçilmesinin sebepleri şu şekildedir: (i) Karar ortamında eş zamanlı olarak ele alınması gereken hem nitel hem de nicel değerlendirme faktörleri yer alır, (ii) AHP, ÇÖKV problemini kolay anlaşılacak şekilde hiyerarşik olarak ifade eder, (iii) AHP, değerlendirme faktörlerin ağırlıklarını uzman görüşlerinden oluşan ikili karşılaştırmalar ile elde eder, (iv) Fayda teorisi ve AT, ölçüt değerlerinin birlik harbe hazırlığına katkısını belirlemede kuvvet standartlarını daha doğrucu yansıtır, (v) AÇ faktör puanları ile faktör ağırlıklarını çarpımlı bir fonksiyonla birleştirerek nihai birlik harbe hazırlığını belirler ve düşük puanlı faktörleri kolaylıkla ortaya çıkarır, (vi) TOPSIS birlik performans değerlerini kuvvet standartlarına göre karşılaştırarak birliklerin harbe hazırlık seviyelerine göre sıralandırır ve harbe en hazır birliği belirler.

İkinci olarak, periyodik değerlendirme modelinde Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi (Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis – SMAA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem karar vericilerin eksik tercih bilgileri ile istatistiksel dağılım olarak ifade edilebilen performans değerlerinin birlikte kullanımına olanak verir. SMAA yöntemi ile Macar (Hungarian) tekniği birleştirilerek sıralama problemlerine yönelik SMAA-H şeklinde yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca, ölçüt ağırlıklarına yönelik tercih bilgilerini sıralama veya

aralık olarak ele alabilen ve özgün olarak geliştirilmiş Rassal Ağırlık Atama Algoritması (RA3) da SMAA simülasyonu içerisinde kullanılmıştır.

Geliştirilen modellerin gerçek hayatta kullanılabilirliğini sağlamak üzere JAVA programlama dili ve XML ile bir prototip karar destek yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde birliklerin personel, pilot, uçak, hava savunma sistemi, mühimmat, malzeme, teçhizat, akaryakıt, eğitim vb. kritik bilgileri gerçek zamanlı olarak takip edilebilir, birliklerin bu bilgiler doğrultusunda anlık olarak harbe hazırlık durumları sayısal olarak hesaplanabilir. Böylelikle, önceden yıllık ve statik olarak raporlanan bilgiler karar vericilere anlık ve dinamik olarak sunulurken daha etkin ve daha kısa bir çevrim süresine sahip karar desteği sağlanır. Karar vericiler daha sağlıklı ve özet bilgiler doğrultusunda kaynakları yönetmeye yönelik hızlı karar verme olanağına kavuşurlar.

Bu çalışma, literatüre de teorik ve pratik açıdan çeşitli katkılar sağlamıştır. Öncelikle, harbe hazırlık durumunun gerçek zamanlı ve periyodik olarak çok ölçütlü değerlendirilmesi bu alanda özgün olma özelliğine sahiptir. Geliştirilen modelleri içeren ve özgün olarak geliştirilen karar destek sistemi yazılımı önerisi ise, gelecekte mevcut bilgi sistemlerine entegre bir şekilde uygulama yapabilme konusunda fikir verebilecek örnek bir uygulamadır. AHP, AT, AÇ ve TOPSIS yöntemlerinin birbirlerinin güçlü yönlerini kullanan ve eksikliklerini tamamlayan bir biçimde bütünleşik kullanımı bu tür ÇÖKV problemlerine yönelik uygun bir yaklaşım oluşturmuştur. Ayrıca, AHP yöntemi AÇ ile birleştirilerek çarpımlı hale getirilmesi, TOPSIS yönteminde ideal çözüm kümesinin karar vericinin belirlediği standart değerler olarak ele alınması ve AT yönteminin bilgi aksiyomu değerlendirme problemlerine yönelik fayda fonksiyonu mantığıyla genişletilmesi klasik yöntemlere çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda ufak farklılıklar ile bazı yenilikler getirmiştir. SMAA yönteminin sıralama problemlerini ele alabilmesi amacıyla geliştirilen SMAA-H sürümü ve eksik tercih bilgilerine yönelik geliştirilen RA3 pratik ve özgün yöntemlerdir.

Gelecek çalışmalarda; bu çalışmanın devamı olarak harbe hazırlık değerlendirme ölçütlerinin birbirleriyle bağımlılıkları ve ilişkileri ele alınabilir, akademisyenler ve uygulamacıların kolay kullanımı için rassal ağırlık atama algoritmalarının modüler bir yazılım haline getirilebilir, SMAA yöntemi diğer ÇÖKV yöntemleri ile birleştirilerek yeni yöntemler geliştirilebilir ve son olarak bulanık mantık dikkate alınarak harbe hazırlığın değerlendirilmesi daha sağlıklı bir hale getirilebilir.

A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR COMBAT READINESS MANAGEMENT

SUMMARY

Combat readiness can be shortly defined as “the ability of a unit to conduct its assigned missions” in a most common and simplest way. It is the primary mission of all military forces in the peacetime. Although, combat readiness is highly situational and subjective, it is a yardstick for programming and budgeting, and the readiness strategy of all militaries entails maximizing readiness within available resources to meet the demands of war plans. The more accurately the readiness is quantified, the better resource needs for the readiness sustainment and improvement processes can be articulated. Therefore, quantified combat readiness assessment plays an important role as it is a starting point for the most of the activities such as training, maintenance, acquisition, project development etc.

Combat readiness assessment can be defined as a systematic process of determining and evaluating the readiness of a unit. Combat readiness assessment for the units in the services is the initial and crucial step for combat readiness management process. However, it is still a major concern of today’s militaries because of the increasing number of influential factors especially in the last decade.

There have been not so many researches on this issue in the literature. Furthermore, quantifying the combat readiness by considering multiple qualitative and quantitative criteria has not been adequately addressed. It is important to point out that assessing combat readiness of a unit less an analytical process and more of a factual-based, tangible process in the current situation. There is no analytical tool to assess the combat readiness of a unit. Current combat readiness assessment process in most of the militaries is only a manual periodical reporting system that is out of date and fails to adequately assess the readiness. That’s why; the existing approaches and decision making models are not satisfying the solution of this problem in a consistent manner. Furthermore, the decision-makers require analytical tools based on quantitative methodologies for managing this process in an effective and timely manner.

Hence, this study asserts that combat readiness assessment for the units in the military services is a multiple criteria decision making (MCDM) problem. This problem requires a systematic approach for identifying the assessment criteria, weighting these criteria, defining the value of these criteria and finally calculating the combat readiness score of a unit. Despite the large number of MCDM methods that can be found in the literature, none of them is perfect and can be considered as appropriate for the whole decision process mentioned above. That's why, a combined MCDM method is required to support the decision makers during this critical and complex decision making process by designing a realistic combat readiness assessment model. In addition to this, the classical methods have to be extended for the problem requirements.

In this study, real-time and periodical combat readiness assessment models are developed based on MCDM methods. To utilize these models in the real life applications to provide practical solutions, a novel decision support systems is proposed.

First of all, the real-time model is a quantified MCDM approach based on Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Product (WP), Utility Theory (UT), Fuzzy Axiomatic Design (FAD) and TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution) methods for managing a more realistic, comprehensive and structured combat readiness assessment process. The reasons why these methods is selected for this purpose are due to six facts: (i) the combat readiness assessment of a unit is defined as a MCDM problem, (ii) there exists both qualitative and quantitative readiness assessment criteria which must be handled simultaneously, (iii) AHP method can structure the problem and determine the weights of the readiness assessment criteria from the subjective judgments of the experts, (iv) UT and FAD can enable to reflect the force standards to measure the unit performance data and derive the utility values to the overall unit readiness, (v) WP method provides a solution using a linear multiplicative function and finds out easily the poor performances of criteria by penalizing them and (vi) TOPSIS can select the best unit for an operation with respect to the force standards.

Secondly, Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA) method based framework is proposed for handling this periodic readiness assessment problem. The proposed framework enables to determine the readiness assessment criteria under the personnel, training and material aspects. Additionally, it allows the usage of incomplete, imprecise, and uncertain information by assigning probability distributions to the criteria scores and ranking or intervals to the criteria weights. Furthermore, SMAA analysis provides the sorting of units with respect to their readiness levels and helps to select a unit to send to a conflict. This study also represents SMAA-H method, the combination of SMAA-2 method and Hungarian algorithm, in order to handle the complex MCDM ranking problems including incomplete, imprecise, and uncertain information. The advantage of SMAA-H over the previous variants of the SMAA method is that the analysis results in absolute ranking of the alternatives. Furthermore, novel Random Weight Generation algorithms are developed for SMAA-H method to handle the mixed types of preference information.

To utilize these proposed models in the real life applications, a prototype decision support system software using JAVA programming language and XML is developed. This software presents the critical readiness information such as personnel, pilot, aircraft, air defense system, ammunitions, fuel, training etc. status in real-time and also calculates the combat readiness value of units using these information. By doing so, the current annual reporting system is shifted to a real-time and more effective decision process cycle. Furthermore, more information is presented as a summary to the decision makers.

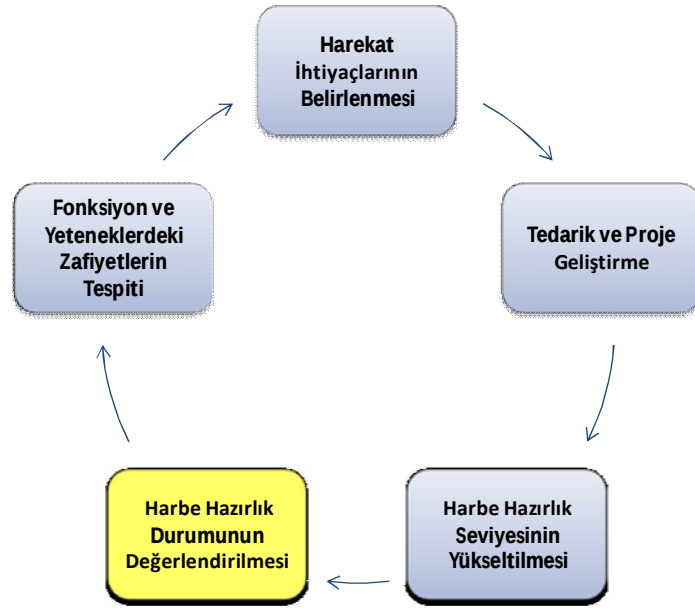
The main contribution of this study is combining MCDM methods together to show a useful and valid approach for handling such kind of MCDM problems. In addition to this, the combat readiness assessment process is revisited and comprehensively studied by identifying and considering up-to-date influential factors. Furthermore, the proposed MCDM approach is integrated to a decision support system (DSS) for assessing the real time combat readiness of units in the military services. Finally, this

study provides a relatively simple, structured, realistic and very well suited decision-making tool for this type of readiness problems and believed to be used by the military-like organizations with a few alteration. Moreover, this study contributes to the theoretical and practical literature by making the AHP method multiplicative, enabling the TOPSIS to handle ideal solutions as inputs, extending the axiomatic design for producing utility functions, combining the SMAA method with the Hungarian technique for ranking problems and finally developing alternate random weight generation algorithms.

The future work can be shift on the applying network based methods such as Analytic Network Process (ANP), Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Fuzzy Cognitive Maps (FCM) to handle the relationships between the readiness assessment criteria. By doing this, the criteria weights can be calculated more accurately. In addition to this, a user-friendly software implementing the proposed random weight generation algorithms can be developed so that it can be applied in everyday decision making problems by both the academic researchers and the managers at various organizations.

1. GİRİŞ

Ulusal güvenlik tehditlerinin geçmişe nazaran çok daha fazla ve değişken olduğu günümüz koşulları, bu tehditlere her an müdahale edebilmek amacıyla birlik harbe hazırlıklarının en üst seviyede tutulmasını zorunlu kılar. Tüm dünya ordularının barış zamanında birincil görevi olan harbe hazırlık, genellikle Şekil 1.1’de gösterilen döngüsel bir süreç ile yönetilir (Betts, 1995). Şekilde belirtildiği gibi bu süreç sıralı olarak gerçekleştirilebilecek basit bir süreç değildir. Birçok karar vericinin dâhil olduğu, her bir safhası bir sonrakinin ana girdisi olan bu uzun dönemli çalışma, aslında kaynak planlaması ve yönetiminin de temelini oluşturur.



Şekil 1.1 : Harbe hazırlığın yönetim süreci.

Harbe hazırlığın kaynakların etkin bir şekilde kullanılarak yönetilmesi öncelikli olarak bilgi sistemlerinden gelen birçok verinin çevik bir yapı ile karar vericilere özet olarak sunulmasını ve böylelikle birliklerin harbe hazırlıklarının değerlendirilmesini gerektirir (Şekil 1.1). Bu değerlendirme sonucunda birliklerin görev fonksiyonları ve yeteneklerindeki zafiyetler ortaya çıkarılır. Diğer bir ifade ile birliğin kendisine tahsis edilen görevini icra etmesine olumsuz etki yapan hususlar tespit edilir. Sonraki safhalarda kısaca bu zafiyetler ihtiyaçlara dönüştürülerek tedarik ve proje geliştirme

alışmaları başlatılır, bu çalışmalar sonucunda elde edilen ürün, sistem ve süreç uygulamaya konularak harbe hazırlık seviyesi yükseltilir. Özet olarak tüm planlama, programlama, bütçeleme ve icra faaliyetlerinin başlangıç noktası, harbe hazırlığın değerlendirilmesine dayanır ve bu değerlendirme mevcut gücün yapısına ait bilginin analizi açısından komutanlara karar desteği sağlayan önemli bir araçtır.

1.1 Problem ve Motivasyon

Günümüzde birçok ölkede harbe hazırlığın değerlendirilmesi periyodik raporlara dayanır. Raporların hem birliklerin gerçekte olduğundan daha yüksek seviyelerde harbe hazır gösterilmelerine yol açabilmesi, hem de günümüzün gerçek zamanlı değerlendirme ihtiyacını karşılayamaması bu süreçteki en büyük eksikliktir (Snyder, 1996; Raflensperger ve Schrage, 1997). Bununla birlikte, mevcut durumda harbe hazırlığı doğrudan etkileyen faktörlerin tam olarak ortaya konulamaması ve analitik bir model ile sayısal özet bilgiler üreterek karar vericilerin kısıtlı zamanına hitap edilememesi de sürecin diğer kritik sorunlarıdır. Bu olumsuzluklar harbe hazırlığı tam anlamıyla evik ve etkin bir şekilde yönetilmesini engeller.

Özetle, birlik harbe hazırlıklarının bilimsel yöntemler ile hem gerçek zamanlı hem de periyodik olarak sayısallaştırılıp mevcut sürecin iyileştirilerek karar vericilere daha sağlıklı bilgilerin sunulması gerekir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

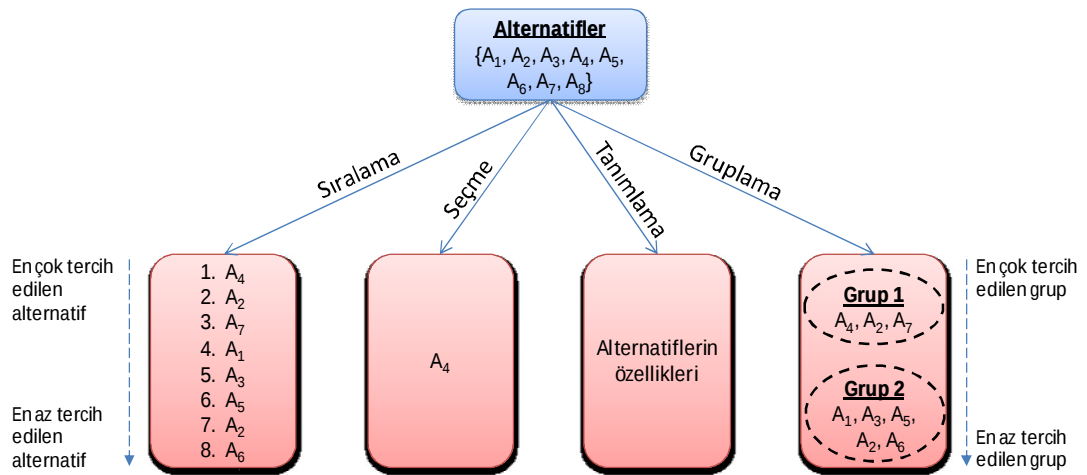
Bu tez çalışmasının öncelikli amacı, harbe hazırlık sürecini etkin bir şekilde yönetmeye yönelik çok Ölçütlü Karar Verme (*ing.*: Multiple attribute decision making; ÇÖKV) yöntemlerine dayanan modeller geliştirmek ve bu modelleri bir karar destek sistemi olarak sunmaktır. Bu karar destek sisteminin bilgi sistemlerine entegre çalışabilecek bir mantık ile geliştirilmesi planlanmıştır. Ayrıca, geliştirilecek bu sistem ile mevcut sürece eksiklikler ve yetersizlikler konusunda katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

Harbe hazırlık kavramı birçok boyutu içeren çok geniş bir kavramdır. Bu tez kapsamında, harbe hazırlığın yönetiminin başlangıç noktası olan birlik harbe hazırlıklarının değerlendirilmesi üzerine odaklanılmıştır.

1.3 Metodoloji

Bu tez kapsamında, birlik harbe hazırlıklarının değerlendirilmesi bir ÇÖKV problemi olarak ele alınmıştır. ÇÖKV; sonlu sayıda seçeneğin seçme, sıralama, sınıflandırma, değerlendirme veya eleme amacıyla genellikle ağırlıklandırılmış, birbirleri ile çelişen ve aynı ölçü birimini kullanmayan hatta bazıları nitel değerler alan çok sayıda ölçüt kullanılarak değerlendirilmesi işlemidir (Hwang ve Yoon, 1981). ÇÖKV problemleri tanımda ve Şekil 1.2’de görüldüğü üzere literatürde genellikle bir seçme, sıralama, gruptama (sınıflandırma) veya değerlendirme (tanımlama) şeklinde görülür (Zopouidis ve Doumpus, 2002). Harbe hazırlık aşağıda örneklendiği üzere tüm ÇÖKV problem tiplerini içeren çok geniş bir kavramdır:

- Seçim: Herhangi bir kriz veya operasyona müdahale için görevlendirilecek birliğin seçilmesi,
- Sıralama: Birliklerin standartları karşılama durumuna göre sıralanması,
- Gruptama: Birliklerin harbe hazır, kısmi harbe hazır, ciddi kısıtlamalarla harbe hazır ve harbe hazır değil (iyi, küçük iyileştirmeler gerekli, büyük iyileştirmeler gerekli) şeklinde sınıflandırılması ve kaynak atamasının bu sınıflandırmaya göre yapılması,
- Değerlendirme: Birlik harbe hazırlıklarının personel, eğitim, malzeme ve bunların birleşiminden elde edilen genel olarak puanlanması.



Şekil 1.2 : ÇÖKV problem tipleri.

Bu problemlerin çözümü için bazı klasik ÇÖKV yöntemlerinin seçilerek eksiklikler ve ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilmesine, sonra birbirlerinin güçlü yönlerini kullanan ve eksikliklerini tamamlayan bir biçimde bütünleşik kullanımına karar

verilmiştir. Bu mantıkla, yukarıdaki problemlere cevap verecek şekilde harbe hazırlığın hem gerçek hem de periyodik olarak değerlendirilmesine yönelik iki ayrı model geliştirilmiştir.

Öncelikli olarak, gerçek zamanlı değerlendirme modelinde Fayda Teorisi, Aksiyomlarla Tasarım (*ing.*: Axiomatic Design; AT), Analitik Hiyerarşi Süreç (*ing.*: Analytic Hierarchy Process; AHP), Ağırlıklı Çarpım (*ing.*: Weighted Product; AÇ) ve TOPSIS (İdeal Çözümlere Yakınlık Yoluyla Tercihlerin Sıralanması Tekniği) yöntemlerinin birlikte kullanımına dayanan birleşik bir yaklaşım kullanılmıştır. Yaklaşımda bu yöntemlerin seçilmesinin sebepleri şu şekildedir:

- Karar ortamında eş zamanlı olarak ele alınması gereken hem nitel hem de nicel değerlendirme ölçütleri yer alır,
- AHP, ÇÖKV problemini kolay anlaşılacak şekilde hiyerarşik olarak ifade eder,
- AHP, değerlendirme ölçütlerinin ağırlıklarını uzman görüşlerinden oluşan ikili karşılaştırmalar ile elde eder,
- Fayda teorisi ve AT ölçüt değerlerinin birlik harbe hazırlığına katkısını belirlemede birlik standartlarını daha doğru yansıtır,
- AÇ ölçüt puanları ile ölçüt ağırlıklarını çarpımlı bir fonksiyonla birleştirerek nihai birlik harbe hazırlığını belirler ve düşük puanlı ölçütleri kolaylıkla ortaya çıkarır,
- TOPSIS birlik performans değerlerini birlik standartlarına göre karşılaştırarak birliklerin harbe hazırlık seviyelerine göre sıralandırır ve harbe en hazır birliği belirler.

İkinci olarak, periyodik değerlendirme modelinde Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi (*ing.*: Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis; SMAA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem karar vericilerin eksik tercih bilgileri ile istatistiksel dağılım olarak ifade edilebilen performans değerlerinin birlikte kullanımına olanak verir (Lahdelma ve diğ., 1998; Lahdelma ve Salminen, 2001). SMAA yöntemi ile Macar (*ing.*: Hungarian) tekniği birleştirilerek sıralama problemlerine yönelik SMAA-H şeklinde yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca, ölçüt ağırlıklarına yönelik tercih bilgilerini sıralama, aralık veya karışık olarak ele alabilen ve özgün olarak geliştirilmiş Rassal Ağırlık Atama Algoritması (RA3) da SMAA simülasyonu içerisinde kullanılmıştır.

Geliştirilen modellerin gerçek hayatta kullanılabilirliğini sağlamak üzere JAVA programlama dili ve XML ile bir prototip karar destek yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde birliklerin personel, pilot, uçak, hava savunma sistemi, mühimmat, malzeme, teçhizat, akaryakıt, eğitim vb. kritik bilgileri gerçek zamanlı olarak takip edilebilir, birliklerin bu bilgiler doğrultusunda anlık olarak harbe hazırlık durumları sayısal olarak hesaplanabilir. Böylelikle, önceden yıllık ve statik olarak raporlanan bilgiler karar vericilere anlık ve dinamik olarak sunulurken daha etkin ve daha kısa bir çevrim süresine sahip karar desteği sağlanır. Karar vericiler daha sağlıklı ve özet bilgiler doğrultusunda kaynakları yönetmeye yönelik hızlı karar verme olanağına kavuşurlar. ÇÖKV yöntemleri temel alınarak geliştirilen modeller ve bu modellere dayanan bu prototip yazılımın stratejik bir yönetim aracı haline gelmesi muhtemeldir.

1.4 Literatüre Katkıları

Bu tez çalışması kapsamında literatüre teorik ve pratik açıdan çeşitli yenilik ve katkılar sağlanmıştır. Öncelikli olarak harbe hazırlık durumu değerlendirme probleminin bir ÇÖKV problemi olduğu ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, harbe hazırlık durumunun gerçek zamanlı ve periyodik olarak çok ölçütlü değerlendirilmesi için iki adet model geliştirilmiştir. Bu modellerin henüz literatürde üzerinde uygulama yapılmamış bir alanda olması nedeniyle, özgün olma özelliğine sahip olduğunu belirtmek önemli bir noktadır.

Çalışmanın ikinci katkısı; geliştirilen modelleri içeren bir karar destek sistemi önerilmesidir. Geliştirilen karar destek sistemi için, ileride mevcut bilgi sistemlerine entegre edilebilecek şekilde JAVA programlama dili ile bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım bilgi sistemlerinden alınan verilerin ÇÖKV teknikleri kullanılarak birleştirilmesi ve mevcut durumun sayısal ve özet olarak karar vericilere sunulması ile kaynakları yönetmeye yönelik hızlı karar verme olanağı sağlayabilir. Bununla birlikte, bu yazılım ile önceden manuel olan süreç otomatik bir hale getirilebilir. Ayrıca, büyük bilgi sistemlerinde ÇÖKV teknikleri ile birçok bilginin birleştirilip anlamlı hale getirilerek karar vericilere sunulması, sadece askeri alana değil, tüm sivil sektörün de ortak bir sorununa çözüm sunmuştur. Diğer bir söylemle, günümüzde tüm faaliyetlerini bilgi sistemleri üzerinden yürüten organizasyonlar için stratejik bir yönetim aracının nasıl olacağına dair fikir vermiştir.

Çalışma kapsamında sunulan üçüncü katkı ise; gerçek zamanlı değerlendirme için AHP, AÇ, AT ve TOPSIS yöntemlerinin birbirlerinin güçlü yönlerini kullanan ve eksikliklerini tamamlayan bir biçimde bütünleşik kullanımıdır. Ayrıca, yöntemler de çeşitli ihtiyaçlar doğrultusunda ufak farklılıklar ile bazı yenilikler getirilmiştir. AHP yöntemi AÇ ile birleştirilerek çarpımlı hale getirilmiş, TOPSIS yönteminde ideal çözüm kümesi karar vericinin belirlediği standart değerler olarak ele alınmış ve son olarak AT yönteminin bilgi aksiyomu değerlendirme problemlerine yönelik fayda fonksiyonu mantığıyla genişletilmiştir.

Çalışmanın dördüncü özgün yönü ise; periyodik değerlendirme modelinde kullanılan, SMAA yönteminin sıralama problemlerini ele alabilmesi amacıyla geliştirilen SMAA-H sürümüdür. Bu sürümde, SMAA yönteminin temel çıktısı olan sıralama kabul edilebilirlik indeksleri birleştirilmek yerine bu indeksler kullanılarak Macar tekniği ile bir atama problemi çözülmüştür. Böylelikle, herhangi bir sıraya o sıra için en yüksek sıralama kabul edilebilirlik indeksi değerine sahip alternatifin atanması sağlanmıştır.

Bu çalışmanın son katkısı; hem SMAA simülasyonunda eksik tercih bilgilerinin ele alınabilmesinde hem de çok boyutlu duyarlılık analizlerinde kullanılabilecek, mevcut algoritmalara alternatif olarak geliştirilen RA3 algoritmalarıdır. Bu algoritmada karar vericilerin ölçüt ağırlıklarına yönelik olarak ortaya koyduğu kesin değerler, ağırlık aralıkları ve sıralama bilgileri dikkate alınarak ağırlık üretilir. Bu karışık tercih bilgisi ilk defa bu çalışma ile SMAA algoritmasına dahil edilmiştir.

1.5 Tez Çalışmasının İçeriği

Tez çalışmasının içeriği şu şekilde belirlenmiştir;

İkinci bölüm, öncelikli olarak harbe hazırlık ile ilgili temel kavramları ve süreçleri içerir. Sonrasında ise, tez konusunun ve amacının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla mevcut harbe hazırlık değerlendirme yaklaşımları, bu yaklaşımların eksiklikleri, günümüzün değişen ihtiyaçları ve uluslararası dergilerde yayımlanan çalışmaları içeren bir yayın taraması sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, geliştirilen modellerin temelinde kullanılan yöntem ve algoritmalar tanıtılmıştır. Ayrıca, yöntemlerin genel eksiklikleri ile yeni gereksinimler doğrultusunda söz konusu yöntemlere yapılan katkılardan bahsedilmiştir.

Dördüncü bölüm, harbe hazırlık değerlendirme sürecine yönelik tez kapsamında geliştirilen model ve algoritmalar içeren bir karar destek sistemi önerisini içerir. Bu bölümde ayrıca, karar destek sistemi için geliştirilen prototip yazılımın yetenekleri tanıtılmış, önemli görülen arayüzleri tanıtılmıştır.

Beşinci bölümde ise geliştirilen modellerin birlik harbe hazırlık durumlarının gerçek zamanlı ve periyodik olarak değerlendirilmesine uygulanmasını içerir. Bu amaçla, hava kuvvetleri için ana muharip güç olan ana üsler dikkate alınmıştır.

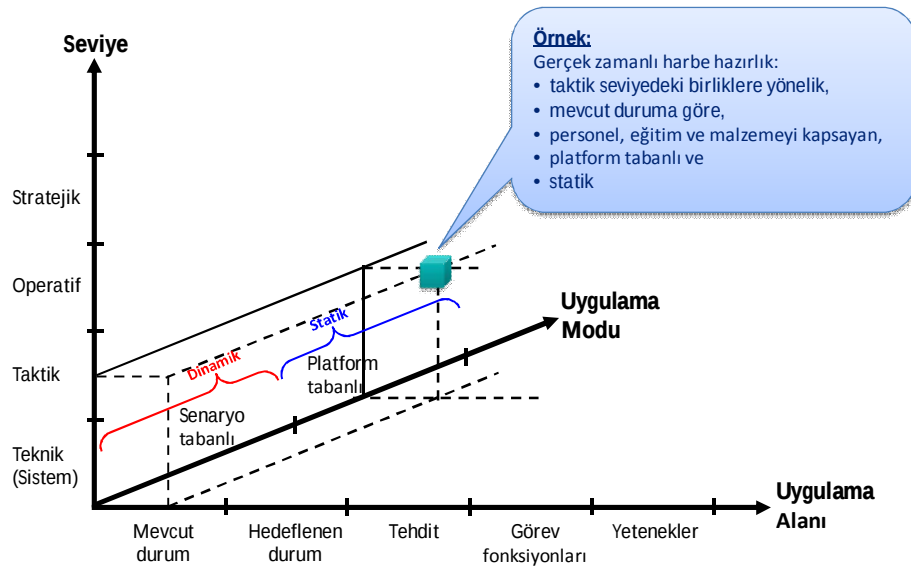
Son olarak altıncı bölüm, bu tez çalışmasının sonuçlarını, geliştirilen karar destek sistemini uygulamaya geçireceklere önerileri ve gelecekte yapılabilecek çalışma alanlarını içerir.

2. MEVCUT KAVRAMLAR VE SÜREÇLER

2.1 Temel Kavramlar

Harbe hazırlık; en genel ve basit şekliyle “bir birliğin vazifesini ifa etmesi amacıyla personel, eğitim ve malzeme/teçhizat açısından yeterli muharebe gücüne sahip olması” olarak tanımlanır (Rich ve Drezner, 1982; Betts, 1995). Birlik standartları ise “birliğin personel, eğitim ve malzeme açısından sayısal olarak arzu edilen performansı” olarak ifade edilir. Örneğin; uçak faaliyet oranı, personel kadro/mevcut durumu, pilot/uçak oranı, mühimmat sayısı, yer destek teçhizatı sayısı vb. hususlar için ulusal ve uluslar arası performans değerleri mevcuttur.

Harbe hazırlık kavramı seviye, uygulama modu ve uygulama alanı boyutlarını içeren çok geniş bir kavramdır (Şekil 2.1). Seviye boyutunun altında stratejik, operatif, taktik ve teknik (sistem) seviyeleri bulunur. Sivilde operasyonel olarak kullanılan seviye, askeri literatürde operatif olarak ifade edilir ve ayrıca farklı olarak taktik seviyenin üstünde yer alır. Uygulama alanında ise mevcut durum, kuvvet yapılanması faaliyetleri kapsamında hedeflenen durum, tehdit hava gücü, görev fonksiyonları ve yetenekler yer alır. Son olarak, uygulama modu senaryo (dinamik) ve platform (statik) tabanlı olarak ele alınır.



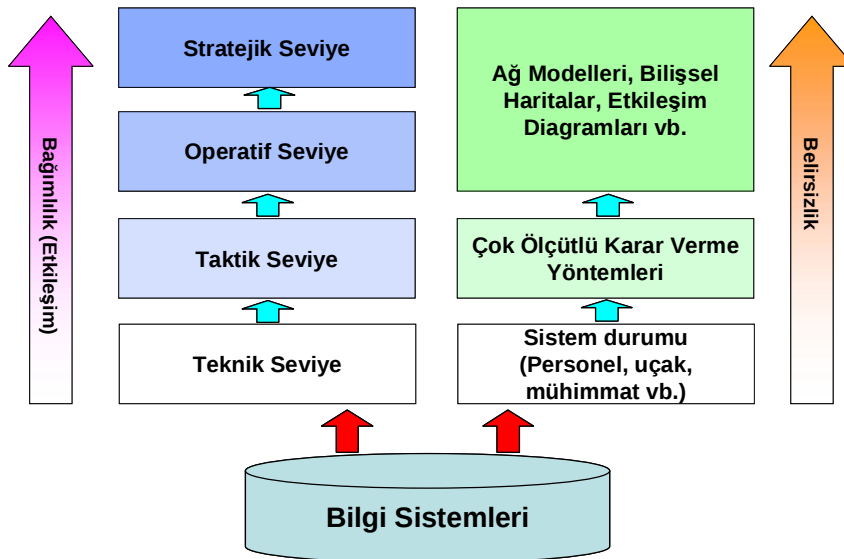
Şekil 2.1 : Harbe hazırlık kavramının boyutları.

2.2 Harbe Hazırlığın Değerlendirilmesi

Snyder (1996) ile Raf lensperger ve Schrage (1997) tarafından literatürde harbe hazırlık durumunun değ erlendirmesi ile ilgili çok fazla araştırmanın bulunmadığı, harbe hazırlığın belirli ölçüt lere göre sayısallaştırılmasının gözden kaçırılan bir husus olduğu vurgulanmıştır. Kocaman (2009) ise bu durumun, konunun gizlilik iç ermesi sebebiyle olabileceğini belirtmiştir. Bu çalışmalarda, harbe hazırlık değ erlendirmelerine yönelik herhangi analitik bir yaklaşım olmadığı için sürecin manuel bir raporlaş ma sistemi ile idame ettirildiği ifade edilmiştir.

Bu sebeple, bu tez kapsamında harbe hazırlık değ erlendirilmesine yönelik ÇÖKV yöntemleri kullanılarak sayısal bilgiler üreten analitik modeller geliştirilmesi ve sürecin bu şekilde etkinliğ inin artırılması hedeflenmiştir.

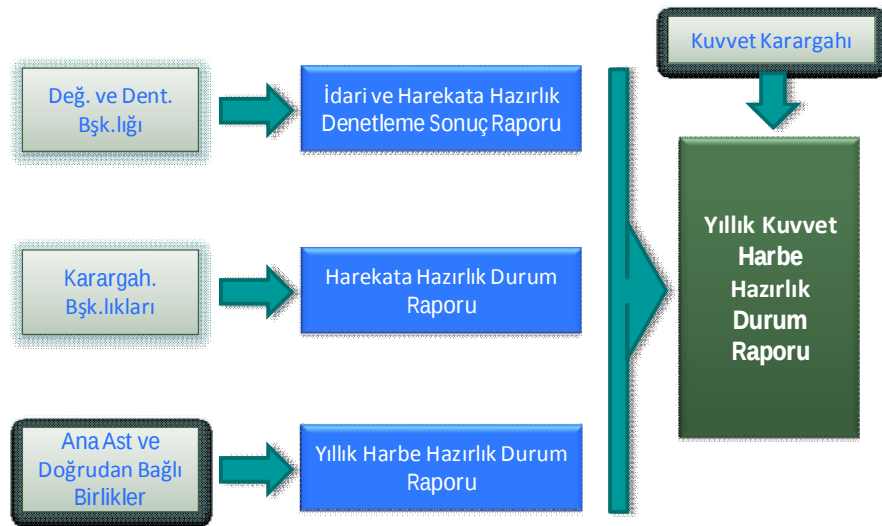
Harbe hazırlık durumunun değ erlendirmesine yönelik olarak geliştirilecek analitik modeller Ş ekil 2.1’de gösterilen bu üç boyutlu uzayda belirli bir konuma yerleştirilmelidir. Çünkü, bu modellerin temelini oluşturan matematiksel modeller birbirlerinden tamamen farklıdır. Ayrıca, modellerin hem amaçları hem de girdi ve çıktıları da farklılık gösterir. Örneğin; ÇÖKV teknikleri taktik seviyedeki birliklerin harbe hazırlıklarının değ erlendirilmesi için çok uygun olabilirken ağ modelleri, biliş sel haritalar ve etkileş im diyagramları operatif seviye değ erlendirmeler için mantıklı olabilir (Ş ekil 2.2).



Ş ekil 2.2 : Seviyelere yönelik harbe hazırlık değ erlendirme yaklaşımları.

2.3 Mevcut Raporlaşma Süreci

Daha önceden de ifade edildiği üzere, günümüzde birçok ülkede harbe hazırlığın değerlendirilmesi periyodik raporlara dayanır. Mayer (2005) tarafından literatürde kullanılan raporlaşma çeşitleri karşılaştırmalı olarak detaylı bir biçimde verilmiştir. Şekil 2.3’de gösterilen süreç şu şekilde özetlenebilir; kuvvetlerin değerlendirme ve denetleme başkanlıkları her yıl düzenli olarak birlikleri harekâta hazırlık yönüyle denetler ve bu denetleme sonuçlarını ise karargâhta harbe hazırlık ile ilgili birime bir rapor olarak gönderir. Karargâhta bulunan diğer başkanlıklar da harbe hazırlık durumu ile ilgili görüşlerini bir rapor şeklinde hazırlayıp gönderir. Son girdi olarak ana ast ve doğrudan bağlı birlikler harbe hazırlık durumları ile ilgili yıllık olarak rapor hazırlar ve gönderirler. Karargâhta bu raporlar değerlendirilip birleştirilerek kuvvetin yıllık harbe hazırlık raporu yayınlanır.



Şekil 2.3 : Mevcut raporlaşma süreci.

Harbe hazırlık durum raporunun yüzlerce sayfalık bir doküman olması, okunmasının çok zaman alması ve özet bilgi içermemesi, bu raporların karar verme sürecine verimli ve etkili bir katkı sağlayamamasına yol açar. Ayrıca, bu raporlar hem kuvvetin hem de birlikler harbe hazırlık seviyesinin belirlenmesinde yetersiz kalır.

Yukarıdaki eksikliklere ilave olarak; mevcut durumda harbe hazırlık durumu değerlendirmesine, harbe hazırlık durumunun atanmasına ve son olarak birliklerin kategorilendirilmesine yönelik olarak herhangi bir analitik çalışma mevcut değildir. Ayrıca, harbe hazırlık durumunun yılda bir defaya mahsus raporlar aracılığıyla

değerlendirilmesi yerine gerçek zamanlı olarak bilgi sistemlerinden alınacak anlık bilgilerle değerlendirilmesi günümüzün vazgeçilmez bir ihtiyacıdır.

2.4 Birliklere Harbe Hazırlık Durumu Tahsisi

Harbe hazırlık durumu (HHD), plan görevlerine bağlı olarak birliğin sahip olması gereken hedef standartlara göre birliğin muharebe görevlerini icra edebilme imkân ve kabiliyetindeki mevcut etkinliği ortaya koyar (Betts, 1995). Denetlemelerde birliklere, sahip oldukları kategori üzerinden değerlendirilerek genel vazife unsuru ve ana görev fonksiyonlarının yapılabirlik derecesini gösteren HHD tahsis edilir. Değişik kategorideki birlikler aynı standartta denetlemeye tabi tutulmaz. Değerlendirmede kullanılan HHD'ler Çizelge 2.1'de verilmiştir. Örneğin, bir birliğin harbe hazırlık durumunun %76 olarak hesaplandığını varsayalım. Bu birliğe durum derecesi olarak HHD-II tahsis edilir.

Birlik, standartların hepsini tam olarak karşılar ve uzun süreli harekât icra edilebilir ise HHD-I olarak değerlendirilir. HHD-II'de birliğin standartları genel olarak karşılaması söz konusudur. Birlik standartların genellikle altında ve kendine verilen görevlerini kısıtlı olarak yerine getirebilecek durumda ise bu birliğe HHD-III tahsis edilir. HHD-IV, birliğin görevlerini yerine getirmesini engelleyen noksanlıklardan dolayı harbe hazır değil ise tahsis edilir. Son olarak, büyük ölçüde silah, malzeme ve teçhizat değişikliğine tabi tutulan, yeni teşkil edilen, söndürülen, yeniden teşkilatlandırılan, çekirdek kadroda tutulan veya seferde teşkil edilecek ve plan görevi yapamayacak birliklere genellikle harbe hazırlık durumu olarak HHD-V atanır.

Çizelge 2.1 : Harbe hazırlık durumları.

Seviye	Sayısal değer	Açıklama
HHD-1	90-100	Harekata hazır
HHD-2	70-89	Bazı tahditlerde harekata hazır
HHD-3	50-69	Ciddi tahditlerde harekata hazır
HHD-4	25-49	Harekata hazır değil
HHD-5	00-24	Planlı faaliyetinden dolayı harekata hazır değil

2.5 Birliklerin Kategorilendirilmesi

Birliğe tahsis edilen kategori; plan görevlerine bağlı olarak birliğin sahip olması gereken hedef standartlarını belirler (Betts, 1995). Çevresel tehdit ve harekât planları dikkate alınarak tespit edilen birlik kategorileri; birliğin hazırlık durumu ile hazırlık tamamlama süresini birlikte gösterir ve K-1, K-2, K-3,, K-11 gibi harf-rakam grubu ile ifade edilir. Hazırlık durumu; birliğin barış şartlarında olması gereken personel, malzeme ve eğitim durumu ile bu birliğin muharebe görevlerini tam olarak icra edebilmesi için belirlenen yerde, hazır olabileceği süreyi ifade eder. Hazırlık durumu kategorileri ile ilgili standartlar aşağıdaki çizelgede özet olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Birlik hazırlık kategorileri.

Kategori adı	Hazırlık durumu		
	Personel	Eğitim	Malzeme
K-1	90	90	Tam
K-2	85	90	İlave eğitime ihtiyacı yok
K-2P	70	90	İlave eğitime ihtiyacı yok
K-3PT	70	90	İlave eğitime ihtiyacı var
K-4PT	Çekirdek kadrolu	Genellikle 70	İlave eğitime ihtiyacı var
K-4PMT	Çekirdek kadrolu	70'ın altında	Eğitime ihtiyacı var.
K-5PMMT	Seferde gelir.	50'ın altında	Eğitime ihtiyacı var.
...	...	...	...

Harbe hazırlığın değerlendirilmesi sonucunda birliklerin personel, eğitim ve malzeme hazırlıklarının eksikliklerini belirtmek amacıyla uluslararası bir gösterge niteliği taşıyan çeşitli harfler aşağıdaki mantıkla tahsis edilir:

- Birliğin personel durumu % 85'den az ise "P" harfi, % 70'dan az ise de "PP" harfi eklenir.
- Birliğin eğitim durumu % 90'dan az ise "T" harfi, % 70'dan az ise de "TT" harfi eklenir.
- Birliğin malzeme durumu % 90'dan az ise "M" harfi, % 70'dan az ise "MM" harfi, % 50'dan az ise de "MMM" harfi eklenir.

Örneğin, bir birliğin personel durumu %81, eğitim durumu % 93 ve malzeme durumu ise %68 olarak hesaplandığını varsayalım. Bu birliğe kategori harfleri olarak "PMM" verilmektedir. Bu kodlamalar ile karar vericilerin olası sorun sahalarını en

kısa sürede tespit edip, gerekli analizleri yaparak düzeltici işlemleri başlatabilmesi hedeflenir.

3. TEORİK ÇERÇEVE

Bu bölümde öncelikle tez kapsamında geliştirilen modellerin temelini oluşturan Analitik Hiyerarşi Süreç, Ağırlıklı Çarpım, TOPSIS, SMAA ve Aksiyomlarla Tasarım yöntemleri ile Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları'na yönelik teorik bilgiler verilecektir. Daha sonrasında, bu yöntemlerin harbe hazırlık değerlendirme problemi için genel eksiklikleri ile yeni gereksinimler doğrultusunda söz konusu yöntemlere yapılan katkılardan bahsedilecektir.

3.1 Mevcut Yöntem ve Algoritmalar

3.1.1 Analitik Hiyerarşi Süreç

Bir problem çözümünde sistemin tek bir parçasına odaklanmak, sistemin bütünü görmeyi engelleyeceği gibi, bir alt sistemi dikkate alıp onun içinde bulunduğu ana sistemi göz ardı etmeye de yol açabilir. Bu durum sistemi olduğundan daha kötü bir duruma düşürebilir. Sistem yaklaşımı bir sistemin çeşitli öğelerinin tüm sistem üzerindeki etkilerini değerlendirip onların göreceli önemlerini bulmaya yöneliktir. AHP süreçlerinin temelinde de bir sistem yaklaşımı vardır.

AHP, insan aklındaki doğal uygulama yöntemini yansıtır. İnsanoğlunun karmaşık bir problemi nasıl algılayıp, onu ne şekilde kafasında biçimlendirdiğini gösterir. İnsanın karşılaştırma yeteneğinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan AHP, karmaşık problemlerin ana hedef, ölçütler, alt ölçütler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir yapıda modellenebilmesine olanak veren bir ÇÖKV yöntemidir (Saaty, 1980).

Kolay anlaşılır olması, hiyerarşik yapısı ile insanın doğal düşünce sistematüğını yansıtmaması, ikili karşılaştırmaların karar vericilere anlamlı gelmesi, basit matematik hesaplamaları içermesi, hem objektif hem de sübjektif değerlendirme ölçütlerini dikkate alabilmesi ve kısa sürede sonuç üretebilmesi AHP yönteminin oldukça büyük bir ilgi görmesine ve gerçek hayatta birçok alanda başarılı bir şekilde kullanılmasına yol açmıştır. Yöntemin temel teorisi ve matematiksel hesaplamaları ile ilgili ayrıntılı bilgiler Saaty (1980, 1988, 1991, 1994) tarafından çeşitli kitap ve makalelerde

verilmiştir. Ayrıca, yöntemin uygulamaları ile ilgili ayrıntılı literatür araştırmaları Vaidya ve Kumar (2006), Ho (2008), Sipahi ve Timor (2010), Ishizaka ve Labib (2011), Subramaniana ve Ramanathanb (2012) tarafından sunulmuştur.

AHP yönteminin uygulanması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: Hiyerarşik yapının oluşturulması. Amaç, ölçütler ve alternatifler tespit edilerek problem tanımlanır. Sonra en üstte amaç, orta seviyede ölçütler ve en alt seviyede ise alternatifler olacak şekilde karar hiyerarşisi oluşturulur.

Adım 2: Ölçütlerin ikili olarak karşılaştırılması. Karar vericiler tarafından hiyerarşik yapı içerisindeki ölçütler bir üst ölçüte göre Çizelge 3.1'de sunulan Saaty'nin 1-9 ölçeği kullanılarak ikili olarak karşılaştırılır. Karşılaştırma esnasında “*bir üst ölçüte göre iki ölçütten hangisi daha fazla önemlidir ve ne kadar?*” sorusuna verilen cevaplarla aşağıdaki ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

burada; A ikili karşılaştırma matrisini, n ölçüt sayısını ve a_{ij} ise i .nci ölçütün j .nci ölçüte göreceli önem derecesini ifade eder.

Adım 3: Ölçüt ağırlıklarının elde edilmesi. AHP yöntemi ile yerel ağırlık vektörü, diğer bir ifade ile normalize edilmiş özvektör, her bir ikili karşılaştırma matrisi için öncelikle sütun normalizasyonu, ardından satır ortalaması alınarak aşağıda gösterildiği gibi elde edilir:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} \right)}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

burada; w_i i .nci ölçütün göreceli ağırlığı, n ölçüt sayısı, a_{ij} ise i .nci ölçütün j .nci ölçüte göreceli önem derecesini ifade eder ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Çizelge 3.1 : İkili karşılaştırmalar için kullanılan Saaty'nin 1-9 ölçeği.

Önem derecesi	Sözel ifade
1	Eşit Derecede Önemli
3	Biraz Daha Fazla Önemli
5	Kuvvetli Derecede Önemli
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli
9	Tamamıyla Önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Her bir ikili karşılaştırma matrisi için göreceli ağırlık vektörü elde edildikten sonra, bu değerler sentez edilerek hiyerarşik yapı içerisindeki tüm ölçütlerin genel ağırlıkları hesaplanır.

Adım 4: Tutarlılık oranlarının hesaplanması. Her bir ikili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır ve bu oran için üst limitin 0.10 olması istenir. Hesaplanan CR değerinin 0.10'dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.10'dan büyük olması karşılaştırmaların tutarsız olduğunu veya hesaplama hatası olduğunu ifade eder. Bu durumda, karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilmelidir. CR değeri; tutarlılık indeksinin (CI), rassal indeks (RI) değerine bölünmesi suretiyle elde edilir:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan CI tutarlılık indeksi şu şekilde hesaplanır:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3.4)$$

burada; $\lambda_{\max}$ A matrisinin en büyük özvektörünü, n ise ölçüt sayısını ifade eder. $\lambda_{\max}$ değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle A ikili karşılaştırma matrisi ile w ağırlık vektörü çarpılır. Bunun sonucunda elde edilen D sütun vektörünün elemanlarının, w_i değerlerine bölünerek elde edilmesiyle oluşan değerler toplanır ve bu toplam ölçüt sayısına bölünerek $\lambda_{\max}$ elde edilir.

$$D = [d_i]_{nx1} = A \times w = [a_i]_{nxn} \times [w_i]_{nx1}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{w_i} \right)}{n} \quad (3.5)$$

CR değerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan bir başka değer olan RI rassal indeks her n boyutundaki matris için rassal olarak oluşturulmuş matrislerin ortalama tutarlılık değerleri yoluyla hesaplanmıştır (Saaty, 1980). Sabit sayılardan meydana gelen ve n değerine göre belirlenen RI değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kriter sayısına bağlı olarak rassal indeks değerleri.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Bu adıma kadar yapılan işlemlerle, karar verme probleminin çözümüne etki eden ölçütlerin ağırlıkları belirlenir. Bu adım sonrasında yeniden karşılaştırma matrisleri kullanılarak alternatiflerin analizi yapılabileceği gibi, AHP dışındaki farklı karar verme yöntemlerine ölçüt ağırlıklarının girdi olması sağlanabilir.

Adım 5: Alternatiflerin her bir ölçüte göre değerlendirilmesi. Tüm ölçütler ayrı ayrı dikkate alınarak, karar alternatiflerinin bu ölçütler kapsamında ikili karşılaştırmaları yapılır. Bu işlem sonucunda n (ölçüt sayısı) adet ikili karşılaştırma matrisi elde edilir. Alternatif sayısı m ile gösterilirse, her bir karşılaştırma matrisin boyutu $m \times m$ olur. Bu karşılaştırma matrisleri ile Adım 3’teki işlemler takip edilerek her bir ölçüte göre alternatiflerin puanları elde edilir. Bu adım sonucunda elde edilen n tane $m \times 1$ boyutlu sütun vektörü ile $m \times n$ boyutlu karar matrisi oluşturur.

Adım 6: Alternatif ağırlıklarının elde edilmesi ve nihai olarak seçimin yapılması. Karar matrisi ölçüt karşılaştırmaları sonucu elde edilen w sütun vektörü ile çarpılarak, yeni bir sütun vektörü elde edilir. Bu vektörün her bir elemanı, karar alternatiflerinin puanlarını gösterir. Toplamı 1 olacak şekilde ortaya çıkan bu değerler içerisinde, en büyük puana (öneme) sahip alternatif en iyi alternatiftir.

3.1.2 Ağırlıklı Çarpım yöntemi

Literatürde Çarpımsal Üssel Ağırlık (*ing.*: Multiplicative Exponential Weightage; MEW) olarak da bilinen bu yöntem, her bir ölçütün ana amaca olan faydasının/katkısının bir fonksiyon ile birleştirilmesini öngören fayda temelli bir ÇÖKV yöntemidir. İlk olarak Bridgman (1922) tarafından ortaya atılmış, daha sonrasında Miller ve Starr (1969) ile Hwang ve Yoon (1981) tarafından gündeme getirilmiştir. Gayet mantıklı görünen ve basit bir hesaplama süreci içeren bu yöntem, henüz yaygın bir şekilde kullanılmamıştır.

ÇÖKV yöntemlerinde ölçütlerin farklı ölçüm birimlerine ait olması nedeniyle, ölçüt katkılarının birleştirilmesi (karar matrisindeki verilerin işlenebilmesi) için öncelikle normalizasyon gerekli olur. Buna karşın, bu yöntemde ölçüt katkıları birbirlerine çarpımla bağlı olduğu için karar matrisinin normalize edilmesine ihtiyaç duyulmaz. Ölçüt değerleri arasında çarpım yöntemi kullanıldığı zaman, ağırlıklar her ölçüt değerinin üssü olur. Ağırlıklar kâr ölçütleri için pozitif ve maliyet ölçütleri için negatif işaretli üs olarak kullanılır (Hwang ve Yoon, 1981).

Bu yöntemde her bir alternatifin değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V(A_i) = V_i = \prod_{j=1}^n (x_{ij})^{w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

burada, $V(A_i)$ A_i alternatifinin değer fonksiyonu, w_j C_j ölçütünün ağırlık değerini ve x_{ij} ise A_i alternatifinin C_j ölçütüne göre performans değerini ifade eder. Ayrıca, ölçütlerin toplam ağırlığı 1'e eşittir ($\sum_{j=1}^n w_j = 1$).

Üssel işlem özelliğinden dolayı, bu yöntem bütün performans değerlerin 1'den büyük olmasını gerektirir. Eğer herhangi bir ölçüt için 1'den küçük bir değer varsa, o ölçütün bütün değerleri bu ihtiyacı karşılayacak şekilde 10^m ile çarpılır. Bu durumda karar verici, bu değerler içinde doğru bir anlam bulamaz. Hem bu nedenle hem de diğer yöntemlerle karşılaştırabilme amacıyla, her alternatif değerinin ideal bir değer ile karşılaştırılması uygun olabilir. Karşılaştırmada eğer A^* ideal alternatif olarak kabul edilirse, alternatif ve ideal alternatif arasındaki değer oranı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_i = \frac{V(A_i)}{V(A^*)} = \frac{\prod_{j=1}^n (x_{ij})^{w_j}}{\prod_{j=1}^n (x_j^*)^{w_j}}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

R_i değeri 0 ile 1 arasındadır ve R_i 1'e yaklaştıkça A_i alternatifinin tercih edilme oranı artar. Bu yöntemin en büyük özelliği nicel değerlerden oluşan karar matrisi üzerinde normalizasyon işlemi gerektirmemesidir. Ayrıca, bu yöntem karar vericilerden ölçüt ağırlıkları haricinde bilgi istemeyen bir yöntemdir. Fakat alternatiflerin bu yöntem ile hesaplanan toplam puanları SAW yönteminde olduğu gibi ideal alternatife uzaklık hakkında bilgi vermez.

Yukarıda görüldüğü üzere, AÇ yönteminde alternatif değerlerinin elde edilmesine yönelik ölçüt ağırlıkları ile performans değerlerinin sentez edilmesi yönüyle AHP yöntemine oldukça benzerdir. Bu iki yöntem arasındaki tek fark ölçüt katkılarının birleştirilmesinde yatar. AÇ yönteminde, ölçüt katkıları (performans değerleri) ile ölçüt ağırlıklarının çarpımı yerine, performans değerlerinin ölçüt ağırlıkları kadar üssü alınır. Daha sonrasında, alternatiflerin toplam değerlerinin ölçüt katkıları toplanarak elde edilmesi yerine ise ölçüt katkıları çarpılarak elde edilir. AÇ yöntemi böylelikle zayıf performans değerlerini (ölçüt değerlerini) AHP yönteminde daha fazla cezalandırır.

3.1.3 TOPSIS yöntemi

TOPSIS, ELECTRE yöntemine alternatif olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan oldukça pratik ve kullanışlı bir ÇÖKV yöntemidir (Behzadian ve diğ., 2012). Bu yöntemde m sayıda alternatifi ve n sayıda ölçütü olan bir problem, n boyutlu uzayda m adet nokta ile gösterilir. Buradan hareketle, yöntemin temel mantığı, seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en yakın, negatif ideal çözümden ise en uzak mesafede olmasıdır. Pozitif ideal çözüm kümesi en iyi ölçüt değerlerinin bileşiminden, negatif ideal çözüm kümesi ise en kötü ölçüt değerlerinden oluşur.

TOPSIS yönteminde ideal çözüm için gerekli olan yakınlık bulunurken hem pozitif ideal çözüme uzaklık, hem de negatif ideal çözüme uzaklık birlikte değerlendirilir. Sonuçta yapılacak alternatiflerin tercih sıralaması, bu iki uzaklığın birleşiminden

hesaplanan ideal çözüme göreli yakınlık değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilir.

Bir ÇÖKV problemi kısaca aşağıdaki gibi bir karar matrisi formatında ifade edilir:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.8)$$

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n] \text{ ve } \sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

burada, $A_1, A_2, \dots, A_m$ karar vericiler tarafından değerlendirilen alternatifleri, $C_1, C_2, \dots, C_n$ alternatif performanslarının ölçüleceği ölçütleri, x_{ij} A_i alternatifinin C_j ölçütüne göre performans değerini ve w_j ise C_j ölçütünün ağırlığını ifade eder.

Bir ÇÖKV problemini çözmek için TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşan bir çözüm sürecini içerir. İlk iki adımı ELECTRE yöntemi ile ortak olan TOPSIS yöntemi aşağıdaki adımlar takip edilerek uygulanır (Yoon ve Hwang, 1995):

Adım 1: Normalize edilmiş karar matrisinin (N) oluşturulması. Normalize edilmiş r_{ij} değeri vektör normalizasyonu kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.9)$$

Bu şekilde, D matrisindeki her bir eleman bulunduğu sütunun tüm elemanlarının karelerinin toplamının kareköküne bölünerek normalize edilir ve $N = [r_{ij}]_{m \times n}$ matrisi oluşturulur.

Adım 2: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisinin (V) hesaplanması. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi, normalize edilmiş karar matrisinin her bir elemanı ile ilgili ölçütün ağırlığı çarpılarak oluşturulur. Ağırlıklı normalize edilmiş v_{ij} değeri

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.10)$$

şeklinde hesaplanır. Hesaplanan bu değerler ile $V = [v_{ij}]_{m \times n}$ matrisi elde edilir.

Adım 3: Pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi. Pozitif ideal çözüm kümesinin oluşturulabilmesi maksadıyla, V matrisinin her bir sütunu için ilgili sütunda yer alan değerlerden fayda ölçütü ise en büyüğü, maliyet ölçütü ise en küçüğü seçilir. Benzer bir şekilde, negatif ideal çözüm kümesinin oluşturulabilmesi amacıyla, V matrisinin her bir sütunu için ilgili sütunda yer alan değerlerden fayda ölçütü ise en küçüğü, maliyet ölçütü ise en büyüğü seçilir.

Yukarıdaki durum aşağıdaki formüller aracılığıyla ifade edilir:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} = \left\{ \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \\ A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left(\min_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \end{aligned} \quad (3.11)$$

burada; I' fayda ölçütleri kümesini, I'' ise maliyet ölçütleri kümesini temsil eder.

Bu adım sonucunda elde edilen pozitif ve negatif ideal çözüm kümeleri, değerlendirme ölçütlerinin sayısı (n) kadar eleman içerir.

Adım 4: Ayırım ölçülerinin hesaplanması. TOPSIS yönteminde her bir alternatife ilişkin değerlendirme ölçütü değerinin pozitif ideal ve negatif ideal çözümlere uzaklıklarının hesaplanabilmesi için *Euclidian Uzaklık Yaklaşımı* kullanılır. Her bir alternatifin pozitif ideal çözüme olan uzaklığı pozitif ideal ayırım (S_i^+) olarak ifade edilir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.12)$$

Benzer bir şekilde, her bir alternatifin negatif ideal çözüme olan uzaklığı negatif ideal ayırım (S_i^-) olarak ifade edilir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.13)$$

Adım 5: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması. Her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığının (C_i^*) hesaplanmasında pozitif ideal ve negatif ideal ayırım ölçülerinden yararlanılır. Burada kullanılan mantık, negatif ideal ayırım ölçüsünün toplam ayırım ölçüsü içindeki payıdır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması aşağıdaki formülde gösterilir:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.14)$$

burada; C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır. $C_i^* = 1$ ilgili alternatifin pozitif ideal çözüme, $C_i^* = 0$ ise ilgili alternatifin negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir. Diğer bir ifade ile; C_i^* değerinin 1'e yaklaşması, alternatifin ideal çözüme doğru yaklaştığı anlamına gelir.

Adım 6: Yakınlık katsayılarına göre alternatiflerin sıralanması. Bu son adımda alternatifler göreli yakınlık değerlerine göre azalan bir şekilde sıralanır veya en büyük C_i^* değerine sahip alternatif seçilir.

3.1.4 Stokastik Çok Kriterli Kabul Edilebilirlik Analizi

Literatürde karar modelleri genellikle karar vericilerden elde edilen tercih bilgisine dayanır. Fakat karar vericilerden ölçüt ağırlıklarına yönelik tercih bilgisini elde etmek oldukça zorlu ve kritik bir süreçtir. Hatta bazı durumlarda mümkün değildir veya kısıtlı bilgiler elde edilir. Tercih bilgilerinin elde edilmesi çeşitli sebeplerden dolayı zor olabilir (Lahdelma ve diğ., 2003):

- Karar vericilerin problemi çalışmak için yeterli zamanı yoktur,
- Analizcinin büyük bir karar verici grubunun tercih bilgilerini almak için zamanı veya kaynağı yoktur,
- Karar vericiler ölçütleri karşılaştırmada zorluklar ile karşılaşır,
- Karar vericiler tercih bilgilerinin ortaya çıkmasından korkar,
- Karar vericiler tercih bilgilerinin zaman içerisinde değişmesi nedeniyle bu bilgileri ifade etmek istemez.

Karar vericilerden tercih bilgileri elde edilse bile bu bilgilerin nasıl birleştirileceği belirsizlik içerir. Bununla birlikte, aynı tercih bilgilerini kullanan farklı yöntemler

farklı ölçüt ağırlıklarına yol açabilir. Diğer yandan, alternatifler ölçüt ölçümleri kesin olmayan veya belirsiz değerlere sahip olabilir. İşte bu sebeplerden dolayı, tersine bir yaklaşım olan SMAA yöntemi gerçek dünya problemlerinin çözümü için uygun bir araç olarak karşımıza çıkar.

SMAA ölçüt değerlerinin belirsiz ya da kesin olmadığı, tercih bilgisinin (ölçüt ağırlıklarının) ise eksik olduğu ÇÖKV problemleri için geliştirilmiş bir yöntemdir (Lahdelma ve diğ., 1998; Lahdelma ve Salminen, 2001). SMAA yöntemi her alternatif için en çok tercih edilen olmasını ya da bir alternatifin belirli bir sıralamada olmasını sağlayan ağırlık uzayının belirlenmesi üzerine kurulmuştur. Diğer bir ifade ile SMAA yöntemi ters ağırlık uzayı analizine dayanır. Bu yöntemde tercih bilgileri bir ağırlık vektörü, belirsiz veya kesin olmayan ölçüt değerleri ise stokastik değişkenler (istatistiksel dağılımlar) ile ifade edilir.

3.1.4.1 SMAA yönteminin kökenleri

SMAA yönteminden önce ters ağırlık uzayının analize dayanan başka ÇÖKV yöntemleri de geliştirilmiştir. SMAA yönteminin kökenleri olarak ifade edilen en önemli iki tanesi Karşılaştırmalı Yüksek Hacim Kriteri (*ing.*: Comparative Hypervolume Criterion) ve Genel Uzlaşma Kriteri (*ing.*: Overall Compromise Criterion) yaklaşımlarıdır.

Charnestki ve Soland (1978) tarafından geliştirilen Karşılaştırmalı Yüksek Hacim Kriteri, her bir alternatifi en çok tercih edilen alternatif yapan çok boyutlu ağırlık uzayı hacminin hesaplanmasına dayanır. Bu yaklaşımda ağırlıklar için tercih bilgisi doğrusal kısıtlar yardımıyla tanımlanır. Ancak, ölçüt ölçümleri deterministik olup toplamsal fayda yaklaşımı esas alınır.

Bana e Costa (1986) tarafından sunulan Genel Uzlaşma Kriteri ise ağırlık uzayının ortak bir olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlamak için farklı karar vericilerin tercihleri arasındaki çatışma miktarının hesaplanmasını esas alır. Sadece üç ölçütü ele alabilmesi teoride çok kullanışlı olan bu yaklaşımın pratikte kullanımını oldukça kısıtlar.

Bu alanda uzun yıllardır çalışılmasına rağmen hem tercih bilgisinin hem de ölçüt değerlerinin stokastik değişkenler olarak kullanabildiği ilk yöntem SMAA yöntemidir (Tervonen ve Lahdelma, 2007).

3.1.4.2 Başlangıç notasyonu

Tez kapsamında SMAA yönteminin anlatımı için aşağıdaki notasyon kullanılmıştır:

- $A = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$: Alternatif kümesi.
- $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$: Ölçüt kümesi.
- $g_j(x_i)$: x_i alternatifinin g_j ölçütüne göre değerlendirilmesi.
- $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$: Ağırlık vektörü. Karar vericilerin bilinmeyen veya kısmen bilinen tercihleri W muhtemel ağırlık uzayındaki $f_w(w)$ ortak yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilir.
- ξ_{ij} : Kesin olmayan ya da belirsiz ölçüt değerleri gösteren stokastik değişken. $X \subset R^{m \times n}$ uzayında $f_x(\xi)$ olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir. $\xi_i = [\xi_{i1}, \xi_{i2}, \dots, \xi_{in}]$ vektörü i alternatifinin stokastik ölçüt değerlerini ifade eder.
- $u(x_i, w)$: Karar vericinin tercih yapısını ifade eden ve gerçek bir değer alan fayda fonksiyonu. Bu fonksiyon w ağırlık vektörünü kullanarak alternatiflere fayda değerleri atar. Literatürde en sık kullanılan fayda fonksiyonu $\sum_{j=1}^n w_j g_j(x_i)$ şeklindedir.

3.1.4.3 Ağırlık uzayı

Ağırlık uzayı ihtiyaçlara göre tanımlanır, fakat genel olarak ağırlıkların pozitif ve normalize olduğu varsayılır. Böylelikle, muhtemel ağırlık uzayı n boyutlu uzayda $n-1$ boyutlu bir simplekstir:

$$W = \left\{ w \in R^n \mid w \geq 0 \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right\} \quad (3.15)$$

Ağırlıklara ilişkin tercih bilgilerinin toplam eksikliği, W üzerinde üniform ağırlık dağılımıyla aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$f_w(w) = 1/\text{vol}(W) \quad (3.16)$$

Bu durumda, $n-1$ boyutlu ağırlık simpleksinin hacmi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$vol(W) = n^{1/2} / (n-1)! \quad (3.17)$$

Burada dikkat edilmesi gereken husus, fayda fonksiyonunu esas alan yaklaşımlarda ağırlıkların ölçek faktörleri olarak tanımlandığıdır. Ağırlıklar fayda fonksiyonlarının değerlerini yeniden ölçeklendirir. Böylece, ölçeklendirilmiş fonksiyondaki toplam sapmanın ölçütlerin önemini göstermesine izin verir.

3.1.4.4 Fayda (değer) fonksiyonu

Fayda fonksiyonu stokastik ölçüt ve ağırlık dağılımlarını $u(\xi_i, w)$ alternatif değer dağılımlarına dönüştürmek amacıyla kullanılır. Bu dağılımlar doğrultusunda, her bir alternatifin sıralaması en iyiden ($=1$) en kötüye ($=m$) tamsayı olacak şekilde aşağıdaki sıralama fonksiyonu ile tanımlanır:

$$rank(i, \xi, w) = 1 + \sum_{k=1}^m \rho(u(\xi_k, w) > u(\xi_i, w)) \quad (3.18)$$

burada; $\rho(\text{true})=1$ ve $\rho(\text{false})=0$ şeklindedir.

Daha sonrasında, SMAA-2 yöntemi $W_i^r(\xi)$ muhtemel sıralama ağırlıkları kümesinin analizini temel alır.

$$W_i^r(\xi) = \{w \in W : rank(i, \xi, w) = r\} \quad (3.19)$$

$w \in W_i^r(\xi)$ olan herhangi bir ağırlık, alternatiflere öyle değerler tahsis eder ki, x_i alternatifi r sırasını alır.

3.1.4.5 SMAA-2 yönteminin çıktıları

SMAA-2 yönteminin temel çıktıları “*sıralama kabul edilebilirlik indeksi*”, “*merkezi ağırlık vektörü*” ve “*güvenilirlik faktörleri*” açıklayıcı bilgileridir. Bunlarla birlikte, SMAA-2 yöntemi karar vericilere alternatiflerin sıralanması amacıyla “*tümleşik kabul edilebilirlik indeksi*” ve “*k - en iyi sıralama indeksi*” şeklinde iki adet tümleşik bilgi sağlar.

Sıralama kabul edilebilirlik indeksi

Sıralama kabul edilebilirlik indeksi bir alternatifin belirli bir sırayı alma olasılığıdır. 0 ile 1 arasında değişmekte olup, en iyi alternatifler en iyi sıralar için en yüksek değerleri alırlar. SMAA yönteminin en önemli açıklayıcı çıktısıdır ve alternatifleri grupta ve sıralama için kullanılır. Bu indeks, ölçüt dağılımları ve uygun ağırlık uzayı üzerinde çok boyutlu integrallerle aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$b_i^r = \int_{\xi \in X} f_X(\xi) \int_{w \in W_i^r(\xi)} f_W(w) dw d\xi \quad (3.20)$$

burada, b_i^r x_i alternatifinin r sırasında olma olasılığını ifade eder. Sıfır değerine sahip kabul edilebilirlik indeksi, alternatifin varsayılan tercih modeliyle hiçbir zaman en iyi olarak dikkate alınamayacağını gösterir. Tam tersine bire yakın değer alternatifin en iyi olduğunu gösterir. Kabul edilebilirlik indeksi, alternatifleri etkin (b_i^r sıfırdan çok uzak, $\gg 0$) ya da etkin olmayan (b_i^r sıfıra çok yakın, < 0.05 gibi) şeklinde sınıflandırmak için de kullanılır.

Merkezi ağırlık vektörü

Merkezi ağırlık vektörü, bir alternatifin birinci sırada olmasını sağlayan muhtemel ölçüt ağırlıklarının ağırlık merkezi olarak ifade edilir. Bu vektör tersine yaklaşım için kullanılmakta olup ölçüt ve ağırlık dağılımları üzerinde çok boyutlu integrallerle aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_i^c = \frac{\int_{\xi \in X} f_X(\xi) \int_{w \in W_i^1(\xi)} f_W(w) dw d\xi}{a_i} \quad (3.21)$$

Karar vericiler merkezi ağırlık vektörünü tersine yaklaşımla kullanarak ağırlıklar açısından hangi tercihlerin kendilerini hangi alternatiflere götüreceğini öğrenebilirler.

Güvenilirlik faktörü

Güvenilirlik faktörü, merkezi ağırlık vektörünün seçilmesi durumunda bir alternatifin birinci sırayı alma ihtimali olarak tanımlanır. Diğer bir ifade ile güvenilirlik faktörü merkezi ağırlık vektörü kullanıldığında ölçüt değerlerinin alternatifleri ayırt edebilecek kadar sağlıklı olup olmadığını ölçer. Ölçüt dağılımları üzerinde çok boyutlu integrallerle aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$p_i^c = \int_{\xi \in X: \text{rank}(i, \xi, w_i^c)=1} f_X(\xi) d\xi \quad (3.22)$$

Tümleşik kabul edilebilirlik indeksi

Lahdelma ve Salminen (2001) SMAA yönteminde alternatiflerin sıralama kabul edilebilirlik indekslerine göre sıralanması problemini “ikinci sıra” ÇÖKV problemi olarak tanımlamıştır. Bu probleme çözüm olarak her alternatif için bu indeksleri birleştirilerek tümleşik kabul edilebilirlik indeksi adıyla yeni bir açıklama bilgisi geliştirmişlerdir. Tümleşik kabul edilebilirlik indeksi (a_i^h) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$a_i^h = \sum_{r=1}^m \alpha^r b_i^r \quad (3.23)$$

burada, α^r meta-ağırlıkları ifade eder. Meta-ağırlıkları elde etmek amacıyla literatürde çeşitli yöntemler bulunur (Lahdelma ve Salminen, 2001). SMAA-2 analizlerinde genellikle ağırlık merkezi (centroid) yöntemi kullanılır:

$$\alpha^r = \frac{\sum_{i=r}^m 1/i}{\sum_{i=1}^m 1/i} \quad (3.24)$$

K - en iyi sıralama indeksi

Sıralama kabul edilebilirlik indeksleri alternatiflerin performansının ölçülmesi için temel göstergelerdir. Alternatif sayısının fazla olduğu bazı durumlarda bunların karar verme sürecinin ilk aşamasında birleştirilmesi daha uygundur. Bu kapsamda alternatifin en iyi k sırada olması olasılığı şu şekilde tanımlanır (Lahdelma ve Salminen, 2001):

$$a_i^k = \sum_{r=1}^k b_i^r \quad (3.25)$$

SMAA simülasyonunun her iterasyonunda kbr indeksleri elde edilir. Zayıf alternatifler elenerek küçük bir alternatif kümesinin elde edilmesi amaçlanır ve bir ya da daha çok alternatifin ağırlıklarının yeterli çoğunluğuna ulaşmasına kadar analiz sürdürülür.

3.1.4.6 SMAA-2 simülasyonu

SMAA-2 yönteminde geçen çok boyutlu integraller (Denklem 4.20 - 4.22) pratikte uygulanamayacağı için analizin temel çıktıları Monte Carlo simülasyonu ile elde edilir. Simülasyon yaklaşımının hata içerebileceği, fakat bu hataların dikkate alınmayacak kadar küçük olduğu ifade edilmiştir (Lahdelma ve diğ., 2004). Tervonen ve Lahdelma (2007) tarafından söz konusu simülasyon için gerekli tüm algoritmalar detaylı olarak verilmiştir.

SMAA algoritması aşağıda 4 bölüm şeklinde verilmiştir. İlk olarak rassal ağırlık üretme teknikleri ve sıralama bilgisinden alternatif puanı elde etme yöntemi anlatılmıştır. Güvenilirlik faktörlerinin hesaplanması hem merkezi ağırlık vektörü hem de sıralama kabul edilebilirlik indeksi değerlerine dayanır. Dolayısıyla, SMAA yönteminin temel algoritması 2 safhada ele alınabilir. Safha 1’de sıralama kabul edilebilirlik indeksleri ve merkezi ağırlık vektörünün hesaplanması verilmiş, Safha 2’de ise güvenilirlik faktörlerinin elde edilişi gösterilmiştir.

Algoritmaların anlatımında kullanılan değişken ve fonksiyonlar aşağıdadır:

h_i^j : Safha 1’deki Monte Carlo iterasyonlarında i alternatifinin j sırasına isabet sayısı (i alternatifinin j sırasında olma sayısı).

I_w : Algoritma 3’teki iterasyon sayısı (sıralama kabul edilebilirlik indeksleri ve merkezi ağırlık vektörünün hesaplanması).

I_c : Algoritma 4’teki iterasyon sayısı (güvenilirlik faktörlerinin hesaplanması).

m_j : Sıralı j ölçütü için sıra seviyesi sayısı.

$RAND_{U[0,1]}()$: $[0, 1]$ aralığında uniform olarak rassal sayı üreten fonksiyon.

$RAND_w()$: f_w ağırlık dağılımından rassal ağırlık vektörü üreten fonksiyon.

$RAND_x()$: f_x ölçüt dağılımından rassal karar (performans) matrisi üreten fonksiyon.

$RANK(t)$: t alternatif değer vektörüne karşılık gelen sıralama vektörünü üreten fonksiyon

$RAND_{asc}(s)$: s vektörünün elemanlarını artan şekilde sıralayan fonksiyon.

$RAND_{desc}(s)$: s vektörünün elemanlarını azalan şekilde sıralayan fonksiyon.

Ölçüt ağırlıklarının üretilmesi

$RAND_w()$ verilen ağırlık dağılımından ölçüt ağırlıklarını üreten bir fonksiyondur.

Birçok uygulamada ağırlıklar, Denklem 3.15’de verilen bir muhtemel ağırlık uzayında normal dağılımla elde edilir. Toplamları 1 olacak şekilde n adet ağırlık şu şekilde elde edilir: Öncelikle, $[0, 1]$ aralığında üniform bir dağılımdan $n-1$ adet bağımsız rassal sayı üretilir ve bu sayılar artan bir şekilde sıralanır ($q_1 < q_2 < \dots < q_{n-1}$). Sonra, bu sayılara ilk sayı olarak 0, son sayı olarak 1 eklenir ($q_0=0, q_n=1$). Sıralı sayılar arası farklardan üniform dağılmış normalize ağırlıklar elde edilir ($w_n = q_n - q_{n-1}$). n adet üniform dağılmış normalize ağırlık elde etme yöntemi Algoritma 1’de gösterilmiştir. Bu algoritmanın karmaşıklığı sıralama fonksiyonu yüzünden $O(n \log(n))$ ’dir.

Algoritma 1. Toplamı 1 olan n adet ($w_1, w_2, \dots, w_n$) üniform dağılmış rassal ağırlığın $[0,1]$ aralığında üretilmesi

```
1: for  $i \leftarrow 1$  to  $n-1$  do
2:    $q_i \leftarrow RAND_{U[0,1]}()$ 
3: end for
4:  $SORT_{asc}(q)$ 
5:  $q_0 \leftarrow 0$ 
6:  $q_n \leftarrow 1$ 
7: for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
8:    $w_i \leftarrow q_i - q_{i-1}$ 
9: end for
```

Sıralama bilgisinden puanların üretilmesi

$RAND_x()$ verilen bir ölçüt dağılımından $m \times n$ boyutunda rassal bir karar (performans) matrisi üreten fonksiyondur. Matrisin her bir satırı belirli bir alternatifte ait ölçüt değerlerini içerir. Eğer bazı ölçütler için sıralama bilgisi mevcut ise, bu sıralama bilgisinin her yeni bir karar matrisi oluşturulduğunda, ölçütler için gerçek değerlere dönüştürülmesi gerekir.

Sıralama bilgisi gerçek değerlere şu şekilde simüle edilerek dönüştürülür: Öncelikle, $[0, 1]$ aralığında üniform bir dağılımdan m_j-2 adet bağımsız rassal sayı üretilir ve bu sayılar azalan bir şekilde sıralanır. Sonra, bu sayılara ilk sayı olarak 1, son sayı olarak 0 eklenir. j sıra seviyesi için simüle edilmiş ölçüt değeri bu sayıların j . sırasındakidir. Dolayısıyla, sıralamada en önce yer alan alternatif ölçüt değeri olarak

1, en sonunda olan ise ölçüt değeri olarak 0 alır. Sıralama bilgisinden simüle edilmiş ölçüt değerleri oluşturan yöntem Algoritma 2’de verilmiştir. Bu algoritmanın karmaşıklığı sıralama fonksiyonu yüzünden $O(n \log(n))$ ’dir. Şekil 3.1 11 alternatif için bu yöntem ile oluşturulan muhtemel ölçüt değerlerini gösterir.

Algoritma 2. m_j adet $(q_1, q_2, \dots, q_{m_j})$ rassal ölçüt değerini $[0,1]$ aralığında üretilmesi

```

1: for  $j \leftarrow 2$  to  $m_j-1$  do
2:    $q_j \leftarrow RAND_{U[0,1]}()$ 
3: end for
4:  $SORT_{desc}(q)$ 
5:  $q_1 \leftarrow 0$ 
6:  $q_{m_j} \leftarrow 1$ 

```



Şekil 3.1 : 11 alternatif için sıralama bilgisini gerçek değere dönüştürme örneği.

SMAA algoritması – sayfa 1

Her bir i alternatifi için sıralama kabul edilebilirlik indeksi (b_i^r) ile merkezi ağırlık vektörünü (w_i^c) hesaplamak için ölçüt ve ağırlık dağılımları üzerinde integral almak gerekir. Sıralama kabul edilebilirlik indeksinin doğrudan bulunması, her bir indeks için $m \times n$ defa Monte Carlo iterasyonu gerektirir. Benzer bir şekilde, her bir alternatif için merkezi ağırlık vektörünün hesaplanması m defa iterasyon gerekir. Tek bir simülasyonda hem tüm sıralama kabul edilebilirlik indekslerinin hem de merkezi

ağırlık vektörünün eşzamanlı olarak elde edilmesi hesaplama zamanını kayda değer oranda azaltır. Bunun için, her bir iterasyonda ilgili dağılımlardan rassal bir karar matrisi ve ağırlık vektörü üretilir. Sonra, bu değerlere göre bir ÇÖKV problemi çözülür ve bir sıralama yapılır. Sonra, alternatiflerin elde ettiği bu sıralamalarla ilgili istatistikler toplanır ve en çok tercih edilen (birinci sırayı alan) alternatifin merkezi ağırlık vektörü güncellenir. Safha 1 Algoritma 3'te verilmiştir. Dikkat edilirse, merkezi ağırlık vektörü alternatifler en az bir defa birinci sırayı aldığı anda tanımlanır.

Algoritma 3. Sıralama kabul edilebilirlik indeksi (b_i^r) ile merkezi ağırlık vektörünü (w_i^c) için Monte Carlo simülasyonu

```

1: for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
2:    $w_i^c \leftarrow 0$ 
3:   for  $j \leftarrow 1$  to  $m$  do
4:      $h_i^j \leftarrow 0$ 
5:   end for
6: end for
7: for  $k \leftarrow 1$  to  $I_w$  do
8:    $w \leftarrow RAND_w()$ 
9:    $x \leftarrow RAND_x()$ 
10:  for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
11:     $t_i \leftarrow u(x_i, w)$ 
12:  end for
13:   $r \leftarrow RANK(t)$ 
14:  for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
15:     $h_i^{ri} \leftarrow h_i^{ri} + 1$ 
16:    if  $r_i = 1$  then
17:       $w_i^c \leftarrow w_i^c + w$ 
18:    end if
19:  end for
20: end for
21: for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
22:   if  $h_i^1 > 0$  then
23:      $w_i^c \leftarrow w_i^c / h_i^1$ 
24:   end if
25:   for  $j \leftarrow 1$  to  $m$  do
26:      $b_i^j \leftarrow h_i^j / I_w$ 
27:   end for
28: end for

```

SMAA algoritması – safha 2

Her bir i alternatifinin güvenilirlik faktörünü (p_i^c) hesaplamak için çeşitli merkezi ağırlık vektörlerine göre ölçüt dağılımları üzerinde integral almak gerekir. Bu faktörün doğrudan bulunması, her bir alternatif için m defa Monte Carlo iterasyonu gerektirir. Aynı şekilde, tüm integrallerin eşzamanlı olarak hesaplanabilir. Bunun için, her bir iterasyonda ilgili dağılımlardan rassal bir karar matrisi üretilir. Sonra, her

bir alternatif için, bu alternatifin rassal üretilen bu karar matrisi ve merkezi ağırlık vektörü kullanılarak en iyi alternatif olup olmadığına bakılır. Safha 2 Algoritma 4'te verilmiştir.

Algoritma 4. Güvenilirlik faktörlerini (p_i^c) hesaplayan Monte Carlo simülasyonu

```

1: for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
2:    $p_i^c \leftarrow 0$ 
3: end for
4: for  $k \leftarrow 1$  to  $I_c$  do
5:    $x \leftarrow RAND_X()$ 
6:   for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
7:      $t \leftarrow u(x_i, w_i^c)$ 
8:     for all  $k \in \{1, 2, \dots, m\} \setminus \{i\}$  to  $m$  do
9:       if  $u(x_k, w_i^c) > t$  then
10:        goto worst
11:      end if
12:    end for
13:     $p_i^c \leftarrow p_i^c + 1$ 
14:    worst:
15:  end for
16: end for
17: for  $i \leftarrow 1$  to  $m$  do
18:    $p_i^c \leftarrow p_i^c / I_c$ 
19: end for

```

3.1.4.7 SMAA yöntemleri ve uygulamaları

SMAA yöntemi çeşitli nedenlerden dolayı birçok gerçek hayat problemine oldukça uygundur. İlk olarak, SMAA yönteminin temelindeki ters ağırlık uzayı yaklaşımı karar vericilerin tercih bilgisi sağlamak istemediği ya da sağlayamadığı, ya da tercihler üzerinde uzlaşmaya varılamadığı birçok grup karar verme problemi için uygundur. Bu gibi durumlarda tercih bilgisi bütün karar vericilerin tercihlerini kapsayan bir aralık, sıralama veya üzerinde uzlaşılan bir istatistiksel dağılım olarak ifade edilebilir. İkinci olarak, SMAA çeşitli türde belirsiz ya da eksik tercih bilgisini modelleyebilecek çok genel ve esnek yolları destekler. Üçüncü olarak SMAA hesaplamaları sayısal yöntemler üzerinden çok verimli olarak uygulanabilir (Tervonen ve Lahdelma, 2007). İşte bu sebeplerden dolayı, SMAA gerçek hayata ait çok çeşitli karar verme durumları için uygulanmıştır. Tervonen ve Figueira (2008) tarafından değişik problemlerin çözümü için geliştirilmiş farklı SMAA yöntemleri ile SMAA uygulamalarına yönelik bir literatür araştırması sunulmuştur.

Literatürde SMAA yönteminin geliştirilmesine yönelik çalışmalar şunlardır;

Lahdelma ve diğ. (1998) stokastik bir parametre uzayı üzerinde çok boyutlu integraller ile hesaplanan açıklayıcı bilgiler doğrultusunda karar desteği sağlamak amacıyla klasik SMAA yöntemini geliştirmişlerdir. SMAA, hem tercih bilgisinin hem de ölçüt değerlerinin stokastik değişkenler olarak kullanabildiği ilk yöntemdir. Bu yöntem ile karar vericilere kabul edilebilirlik indeksleri, merkezi ağırlık vektörü ve güvenilirlik faktörleri şeklinde üç adet açıklayıcı bilgi sunulmuştur.

Klasik SMAA yöntemindeki kabul edilebilirlik indeksi alternatifleri sıralandırmak için değil, sınıflandırmak için tasarlanmıştır. Lahdelma ve Salminen (2001), klasik SMAA yöntemine sıralama kabul edilebilirlik indeksi ve tümleşik kabul edilebilirlik indeksi şeklinde yeni açıklama bilgileri ekleyerek alternatif sıralamasına olanak veren SMAA-2 yöntemini tanıtmışlardır. SMAA-2 yöntemi ile ayrıca, kısıtlı tercih bilgilerini ele alabilmeyi göstermişlerdir.

Lahdelma ve Salminen (2002), fayda fonksiyonu yerine ELECTRE-III tipi yapay ölçüt kullanarak SMAA-3 adıyla yeni bir SMAA yöntemi geliştirmişler.

Lahdelma ve diğ. (2003), SMAA-2 yöntemini geliştirerek sıralama bilgilerini ele alabilen SMAA-O metodunu tanıtmışlar ve uygulamışlardır. Çalışmalarında karar vericilerden alınan her bir ölçüte göre alternatif sıralamasından alternatif puanları üretmeyi simüle etmişlerdir.

Lahdelma ve diğ. (2005) tercih bilgilerini, referans noktaları ve başarı ölçeklendirme fonksiyonları kullanarak Ref-SMAA (veya SMAA-A) yöntemini geliştirmişlerdir. Durbach (2006) ise başarı fonksiyonları kullanarak SMAA-A'nın yeni bir türevini ortaya koymuştur.

Lahdelma ve Salminen (2006), veri zarflama analiziyle SMAA-2 yöntemini birleştirerek SMAA-D adıyla yeni bir yöntem önermişlerdir. SMAA-D, stokastik etkinlik ölçüleri sağlamak adına belirsiz ve kesin olmayan bilgiyi ele alabilen DEA yaklaşımının gelişmiş bir hali olarak ifade edilebilir.

Yukarıda bahsi geçen SMAA yöntemleri seçme ve sıralama problemleri için geliştirilmiştir. Tervonen ve diğ. (2009), ELECTRE-TRI'nin ağırlıklar, lamda kesme seviyesi ve kesiti için belirsiz ve serbest dağılmış değerler kullanılmasına izin vererek sınıflandırma problemlerine yönelik SMAA-TRI türevini sunmuşlardır.

Lahdelma ve Salminen (2009), SMAA ile beklenti (*ing.*: prospect) teorisinin parçalı doğrusal farklılık fonksiyonunu birleştirerek SMAA-P yöntemini önermişlerdir. SMAA-P varsayılan davranışlarla farklı alternatiflerin kabul edilebilirliklerinin ne kadar geniş olduğunun ölçen indisleri hesaplar. Yöntem, karar vericilerin tercihlerini (ağırlık, referans noktaları, kazanç ve kayıp katsayılarını) değerlendirmenin zor olduğu karar problemlerinde kullanılabilir. Ayrıca, tercih bilgisine bağlı olarak karar probleminin ne kadar sağlam olduğunu ölçmek için de kullanılabilir.

Tervonen (Baskıda), SMAA yönteminin kolaylıkla uygulamaya geçirilmesi amacıyla SMAA-2, SMAA-O ve SMAA-TRI yöntemlerini içeren JSMAA yazılımını tanıtmıştır. Bu yazılım açık kaynak bir yazılım olup grafiksel kullanıcı arayüzü ve kütüphane bileşenleri olmak üzere iki parçadan oluşur.

Literatürde çeşitli problem tipleri için geliştirilmiş farklı SMAA yöntemleri özet olarak Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3 : Mevcut SMAA yöntemleri.

Yıl	Yöntem Adı	Açıklama
1998	SMAA	İlk çıkan SMAA yöntemi
2001	SMAA-2	Sıralama yapabilen ve çeşitli tercih bilgilerini ele alabilen bir SMAA yöntemi
2002	SMAA-3	Üstünlük ilişkilerine dayanan ELECTRE III tekniğine dayalı bir SMAA yöntemi
2003	SMAA-O	Sıralama bilgilerini ele alabilen SMAA-2 yönteminin türevi
2005	SMAA-A	Referans noktalarını ve başarı fonksiyonlarını modelleyebilen SMAA yöntemi
2006	SMAA-D	Veri zarflama analizi ile SMAA-2 yönteminin birleşimi
2009	SMAA-TRI	ELECTRE-TRI tekniğine dayanan bir SMAA yöntemi
2009	SMAA-P	Beklenti teorisini uygulayan bir SMAA yöntemi

3.1.5 Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları

Karar verme problemlerinde karar vericilerden ölçüt ağırlıklarına yönelik tercih bilgisini elde etmek oldukça zorlu ve kritik bir süreçtir. Hatta bazı durumlarda mümkün değildir veya kısıtlı bilgiler elde edilir. Tercih bilgileri elde edilse bile aynı tercih bilgilerini kullanan farklı yöntemler farklı ölçüt ağırlıklarına yol açabilir. Buna rağmen, yine de nihai bir kararın verilmesi gerekir. Dolayısıyla, karar modelleri subjektiflik ve belirsizlik durumlarına karşı oldukça duyarlıdır.

Bu problemten yola çıkarak geliştirilen ve ters ağırlık uzayı analizine dayanan SMAA yönteminde verilen bir ağırlık uzayından ölçüt ağırlıklarını üretmek karmaşık

bir süreçtir (Tervonen ve Lahdelma, 2007). Gutman ve Weir (2012) de çalışmalarında simülasyon tekniği kullanarak rassal ağırlık üretmenin zorluğunu vurgulamışlar. Bu karmaşıklığın elde edilen ölçüt ağırlıkları toplamının 1 ve üretilen ağırlık vektörlerinin üniform dağılmış olmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Belirli bir ağırlık uzayından üniform dağılmış ağırlık vektörleri üretmek literatürde çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır. Rubinstein (1982), Smith (1984), ve Rubinstein ve Kroese (2008)'in çalışmalarından bu konuda daha detaylı bilgi elde edilebilir. Belirli bir uzaydan rassal vektör üretme sadece tercih bilgilerinin eksik olduğu veya olmadığı problemlerin çözümünde değil, çok boyutlu duyarlılık analizleri, çok değişkenli istatistiksel analiz ve sezgisel optimizasyon tekniklerinde de kullanılır (Gutman ve Weir, 2012).

Duyarlılık analizi; karar modelinin ölçüt ağırlıkları ile performans değerlerindeki değişimlere duyarlılığını ortaya çıkarmak amacıyla kullanılan bir analizdir. Diğer bir ifade ile kararı etkileyen kritik faktörleri belirlemek amacıyla kullanılır. Duyarlılık analizi kararın değişen durumlara ne kadar dayanıklı olduğunu ölçmek için de kullanılır (Rios Insua ve French, 1991; Chen ve Kocaoglu, 2008).

Klasik duyarlılık analizi tekniklerinde bir ölçütün ağırlığı değişirken, diğerleri orijinal ağırlıklarına göre orantılı olarak değişir (Kirkwood, 1997; Kahraman ve diğ., 2011). Dolayısıyla, tüm ağırlıkların aynı anda değiştiği çok boyutlu duyarlılık analizine ihtiyaç duyulur. Simülasyon bu iş oldukça iyi bir araçtır (Butler, 1997).

Simülasyon haricinde doğrusal programlama ve istatistiksel yöntemler ile de duyarlılık analizleri icra edilmiştir (Antunes ve Climaco, 1992; Barron ve Schmidt, 1988; Insua ve French, 1991; Triantaphyllou ve Sanchez, 1997). Fakat bu çalışmalarda ağırlık uzayında köşe noktaları dikkate alınarak en kötü durum ele alınmıştır. Simülasyonda ise uzay içerisinde rastgele bir nokta seçilir.

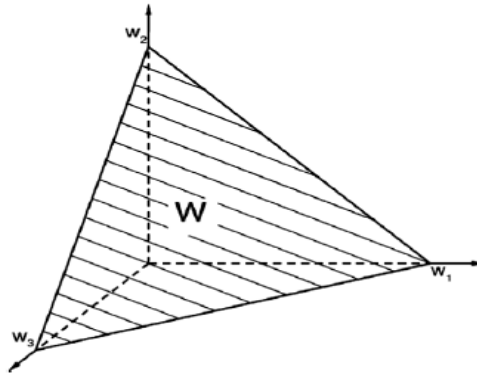
Literatürde genellikle 4 türlü tercih bilgisine göre rassal ağırlık üretme konusunda çalışılmıştır (Tervonen ve Lahdelma, 2007; Gutman ve Weir, 2012):

- Hiçbir tercih bilgisinin olmadığı durum
- Ölçüt ağırlıkları sıralama bilgisinin bulunduğu durum
- Ölçüt ağırlıklarına yönelik dağılım bilgisinin bulunduğu durum
- Ağırlıklar için aralık değerlerinin (alt ve üst sınır) verildiği durum

Aşağıda alt başlıklar halinde tercih bilgisine göre kullanılan yöntem ve algoritmalar verilmiştir.

3.1.5.1 Tercih bilgisinin olmadığı durum

Karar vericilerin hiçbir tercih bilgisinin bulunmadığı veya karar vericilerden ağırlık bilgisine dair hiçbir bir bilginin alınamadığı durumlardır. Uç bir nokta olan bu durumda ölçüt ağırlıkları bir ağırlık uzayından tamamen rassal olarak elde edilir. Şekil 3.2’de 3 ölçütlü bir problem için $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$, $(0, 0, 1)$ köşe noktalarına sahip taralı üçgen ile gösterilen muhtemel ağırlık uzayı verilmiştir.



Şekil 3.2 : 3 ölçütlü bir problem için muhtemel ağırlık uzayı.

Hiçbir tercih bilgisinin bulunmadığı durumlar için David (1970) ve Rubinstein (1982) tarafından önerilen yöntem geçerliliğini korur ve literatürde halen kullanılır. Bu yöntemle göre toplamları 1 olacak şekilde n adet ağırlık şu şekilde elde edilir: Öncelikle, $[0, 1]$ aralığında üniform bir dağılımdan $n-1$ adet bağımsız rassal sayı üretilir ve bu sayılar artan bir şekilde sıralanır ($q_1 < q_2 < \dots < q_{n-1}$). Sonra, bu sayılara ilk sayı olarak 0, son sayı olarak 1 eklenir ($q_0=0, q_n=1$). Sıralı sayılar arası farklardan üniform dağılmış normalize ağırlıklar elde edilir ($w_n = q_n - q_{n-1}$). n adet üniform dağılmış normalize ağırlık elde etme yöntemi Algoritma 5’de gösterilmiştir. Bu algoritmanın karmaşıklığı sıralama fonksiyonu yüzünden $O(n \log(n))$ ’dir. Algoritma 5 hem JAVA programlama dili hem de MATLAB ile kodlanmış olup söz konusu kodlamalar EK-B’de verilmiştir.

Algoritma 5 için 5 ($n=5$) ölçütlü bir probleme yönelik basit bir örnek verelim. İlk olarak $n-1=4$ adet rassal sayı üretelim. Sayıların $q_1=0.85, q_2=0.60, q_3=0.30, q_4=0.50$ olduğunu varsayalım. Bu sayılar artan bir şekilde $q_1=0.30, q_2=0.50, q_3=0.60, q_4=0.85$ olarak sıralayalım. Bu sayılara ilk sayı olarak 0, son sayı olarak 1 ekleyerek $q_0=0,$

$q_1=0.30$, $q_2=0.50$, $q_3=0.60$, $q_4=0.85$, $q_5=1$ sayı dizisini elde edelim. Sıralı bu sayılar arası farklardan ($w_1=q_1-q_0=0.30-0=0.30$; $w_2=q_2-q_1=0.50-0.30=0.20$; $w_3=q_3-q_2=0.60-0.50=0.10$; $w_4=q_4-q_3=0.85-0.60=0.25$; $w_5=q_5-q_4=1-0.85=0.15$) normalize ağırlıklar elde edilmiş. Sonuç olarak, bir defaya mahsus ölçütlere $w_1=0.30$, $w_2=0.20$, $w_3=0.10$, $w_4=0.25$, $w_5=0.15$ şeklinde ağırlıklar atanır.

Algoritma 5. Tercih bilgisinin olmadığı durumda n adet rassal ölçüt ağırlığının üretilmesi

```

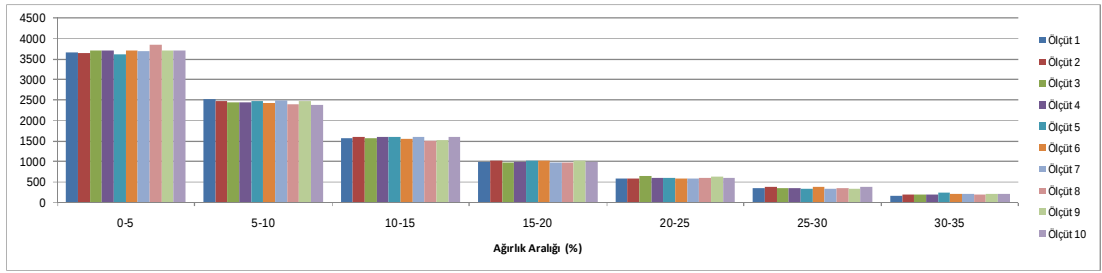
1: for  $i \leftarrow 1$  to  $n-1$  do
2:    $q_i \leftarrow RAND_{U[0,1]}()$ 
3: end for
4:  $SORT_{asc}(q)$ 
5:  $q_0 \leftarrow 0$ 
6:  $q_n \leftarrow 1$ 
7: for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
8:    $w_i \leftarrow q_i - q_{i-1}$ 
9: end for

```

Algoritma 5'in üniform dağılmış ağırlıklar ürettiğini göstermek amacıyla 10 ($n=10$) ölçüt için 10000 defa koşumu sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Her bir ölçüt için birinci satırda verilen aralığa düşen ağırlık sayısı birbirine çok yakındır. Bu durum şekilden de rahat gözlemlenebilir. Ayrıca, ölçütler için 10000 koşumda elde edilen en büyük, en küçük ve ortalama ağırlık değerleri de çok yaklaşıktır.

Çizelge 3.4 : Algoritma 5 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.

Ağırlık Aralığı	Ölçüt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00 - 0.05	3651	3631	3705	3689	3604	3697	3668	3826	3687	3696
0.05 - 0.10	2513	2448	2430	2429	2447	2422	2483	2379	2468	2373
0.10 - 0.15	1556	1594	1550	1573	1581	1532	1582	1488	1512	1588
0.15 - 0.20	990	1000	960	997	1000	1000	956	973	999	982
0.20 - 0.25	575	564	633	605	593	583	569	592	615	606
0.25 - 0.30	338	358	345	335	330	356	332	344	320	362
0.30 - 0.35	172	191	175	181	219	197	205	180	202	203
0.35 - 0.40	111	95	104	103	115	114	105	107	117	103
0.40 - 0.45	43	63	52	46	69	60	52	57	49	55
0.45 - 0.50	30	35	33	27	23	20	21	29	21	17
0.50 - 0.55	14	13	10	10	10	11	13	19	6	8
0.55 - 0.60	2	6	2	4	5	4	6	4	4	4
0.60 - 0.65	3	2	0	0	3	2	4	2	0	2
0.65 - 0.70	2	0	1	1	0	1	3	0	0	1
0.70 - 0.75	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
En büyük:	0.70	0.63	0.66	0.69	0.70	0.70	0.71	0.63	0.59	0.67
En küçük:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ortalama:	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10



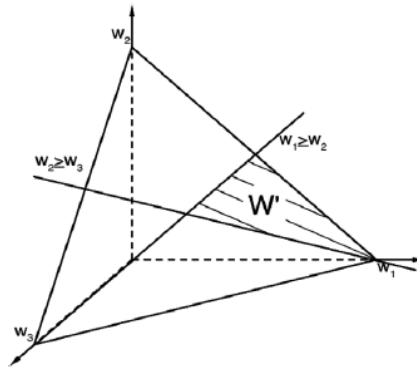
Şekil 3.3 : Algoritma 5 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.

3.1.5.2 Sıralama bilgisinin olduğu durum

Karar vericilerin tercih bilgilerinin önem derecesine göre bir ölçüt sıralaması şeklinde elde edildiği durumdur (Butler ve diğ., 1997; Jimenez ve diğ., 2003). Bu ölçüt sıralaması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$w_{j_1} \geq w_{j_2} \geq \dots \geq w_{j_n} \quad (3.26)$$

Böylesine bir sıralama bilgisi, karar vericilere en önemli ölçütü, ikinci en önemli ölçütü vb. ortaya çıkarmak amacıyla soru sorularak elde edilebilir. Bu durumda ölçüt ağırlıkları sınırlı bir ağırlık uzayından ölçüt sıralaması sağlanacak şekilde rassal olarak elde edilir. Şekil 3.4’de $w_1 > w_2 > w_3$ olan 3 ölçütlü bir problem için taralı üçgen ile gösterilen muhtemel ağırlık uzayı verilmiştir.



Şekil 3.4 : Sıralama bilgisinin olduğu 3 ölçütlü problem için muhtemel ağırlık uzayı.

Literatürde sıralama şeklindeki tercih bilgisinin bulunduğu durumlar için Butler ve diğ. (1997) ile Tervonen ve Lahdelma (2007) tarafından önerilen yöntem kullanılır. Bu yöntem ölçüt ağırlıkları Algoritma 5 sonucunda ortaya çıkan üniform dağılmış normalize ağırlıkların $SORT_{desc}(w)$ fonksiyonu kullanılarak azalan bir şekilde sıralanması ile elde edilir. Diğer bir ifade ile Algoritma 6 olarak aşağıda gösterilen

bu yöntem Algoritma 5'in $SORT_{desc}(w)$ fonksiyonunu içeren 10. satır eklenmiş halidir. Bu algoritmanın da karmaşıklığı sıralama fonksiyonu yüzünden $O(n \log(n))$ 'dir. Algoritma 6 hem JAVA programlama dili hem de MATLAB ile kodlanmış olup söz konusu kodlamalar EK-B'de verilmiştir.

Algoritma 6. Sıralama bilgisinin bulunduğu durumda n adet rassal ölçüt ağırlığının üretilmesi

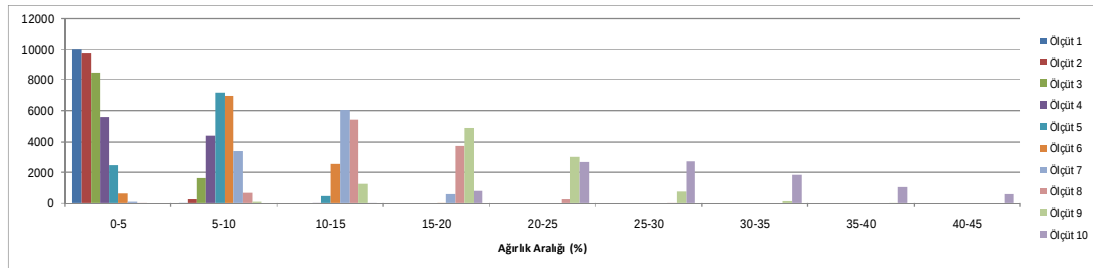
```

1: for  $i \leftarrow 1$  to  $n-1$  do
2:    $q_i \leftarrow RAND_{U[0,1]}()$ 
3: end for
4:  $SORT_{asc}(q)$ 
5:  $q_0 \leftarrow 0$ 
6:  $q_n \leftarrow 1$ 
7: for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
8:    $w_i \leftarrow q_i - q_{i-1}$ 
9: end for
10:  $SORT_{desc}(w)$ 

```

Algoritma 5 için verilen örnekte ölçütlere $w_1=0.30$, $w_2=0.20$, $w_3=0.10$, $w_4=0.25$, $w_5=0.15$ şeklinde ağırlıklar atanmıştı. Algoritma 6'nın son satırında bu ağırlıklar azalan bir şekilde sıralanır ve sonuç olarak ölçütlere $w_1=0.30$, $w_2=0.25$, $w_3=0.20$, $w_4=0.15$, $w_5=0.10$ şeklinde ağırlıklar atanır.

Algoritma 6'nın üniform dağılmış ağırlıklar ürettiğini göstermek amacıyla 10 ($n=10$) ölçüt için 10000 defa koşumu sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Her bir ölçüt için birinci sütunda verilen aralığına düşen ağırlık sayısının üniform dağılımı, hem çizelgeden hem de şekilden açık bir şekilde gözlemlenebilir. Ayrıca, ölçütler için 10000 koşumda elde edilen en büyük, en küçük ve ortalama değerler de verilmiştir.



Şekil 3.5 : Algoritma 6 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.

Çizelge 3.5 : Algoritma 6 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.

Ağırlık Aralığı	Ölçüt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00 - 0.05	9987	9727	8431	5590	2438	599	79	3	0	0
0.05 - 0.10	13	273	1569	4387	7160	6894	3361	690	45	0
0.10 - 0.15	0	0	0	23	402	2495	6024	5364	1238	10
0.15 - 0.20	0	0	0	0	0	12	536	3668	4866	775
0.20 - 0.25	0	0	0	0	0	0	0	267	3007	2661
0.25 - 0.30	0	0	0	0	0	0	0	8	728	2684
0.30 - 0.35	0	0	0	0	0	0	0	0	109	1816
0.35 - 0.40	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1067
0.40 - 0.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	546
0.45 - 0.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256
0.50 - 0.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114
0.55 - 0.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
0.60 - 0.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
0.65 - 0.70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
0.70 - 0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
En büyük:	0.06	0.08	0.10	0.11	0.14	0.17	0.20	0.27	0.40	0.71
En küçük:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.05	0.07	0.14
Ortalama:	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.11	0.14	0.19	0.29

3.1.5.3 Aralık bilgisinin olduğu durum

Karar vericilerden ölçüt ağırlıklarına yönelik olarak alt ve üst sınır bilgilerinin elde edildiği durumdur (Butler ve diğ., 1997; Tervonen ve Lahdelma, 2007). Ölçüt ağırlıkları için aralık kısıtlaması aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$0 \leq w_j^{\min} \leq w_j \leq w_j^{\max} \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3.27)$$

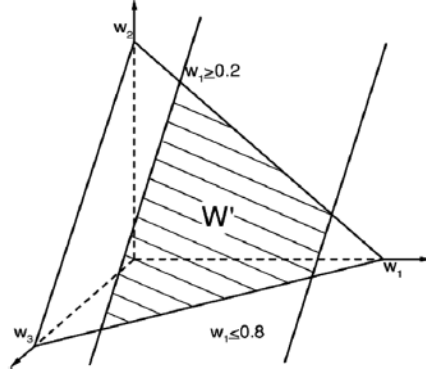
Karar vericilerden $[w_j^{\min}, w_j^{\max}]$ şeklinde bir aralık bilgisi almak, kesin bir değer almaktan çok daha kolaydır. Birden fazla karar verici olduğunda aralık bilgisi üzerinden gitmek bir uzlaşma yöntemi gibi de düşünülebilir (Gutman ve Weir, 2012). Bu durumda ölçüt ağırlıkları aşağıdaki sınırlı bir ağırlık uzayından rassal olarak elde edilir.

$$W' = \{w \in W \mid w_j^{\min} \leq w_j \leq w_j^{\max}, \quad j \in \{1, 2, \dots, n\}\} \quad (3.28)$$

Bu, üniform ağırlık dağılımı fonksiyonun, $f_w(w)$, aşağıdaki gibi yeniden tanımlanmasını gerektirir.

$$f_w(w) = \begin{cases} 1/\text{vol}(W'), & \text{eğer } w \in W' \\ 0, & \text{aksi takdirde.} \end{cases} \quad (3.29)$$

Şekil 3.6’da w_1 için alt ve üst sınırı belirtilmiş 3 ölçütlü bir problem için taralı üçgen ile gösterilen muhtemel ağırlık uzayı verilmiştir.



Şekil 3.6 : Aralık bilgisinin olduğu 3 ölçütlü problem için muhtemel ağırlık uzayı.

Steuer (1986), Haines (1998), ve Tervonen ve Lahdelma (2007) ÇÖKV problemleri için aralıklarla tanımlanan bir ağırlık uzayında simülasyon tekniği kullanarak rassal ağırlık vektörleri üretmenin zorluğunu vurgulamışlardır. Steuer (1986), 5 aralık ile tanımlanan bir ağırlık uzayından az sayıda bir vektör kümesi üretmek amacıyla LAMBDA adıyla bir program sunmuştur. Haines (1998) ise sadece 3 aralık ile tanımlanan bir ağırlık uzayında kabul-ret filtresi uygulayan bir algoritma önermiştir. Fakat bu algoritmanın kabul oranı çok düşüktür (%11.084). Butler ve diğ. (1997) aralıklar ile tanımlanmış muhtemel bir ağırlık uzayından rassal bir ağırlık vektörü üretmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Yöntemlerinde $[w_i^{\min}, w_i^{\max}]$ aralığında X_i üniform bir rassal sayıları üretmişler, daha sonra aşağıdaki gibi normalize ederek nihai ağırlık değerini elde etmişler:

$$w_i = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^n X_i}, \quad j \in [w_j^{\min}, w_j^{\max}] \quad (3.30)$$

Fakat, Butler ve diğ. (1997)’nin önerdiği bu yöntemde nihai ağırlıkların normalizasyondan sonra başlangıç aralıklarına uygunluğu garanti edilemez. Örneğin, 0.25, 0.45 ve 0.55 sayılarının sırasıyla $[0.1, 0.3]$, $[0.4, 0.5]$ ve $[0.45, 0.70]$ aralıklarından rassal olarak seçildiğini varsayalım. Bu sayıları normalize ederek 0.2,

0.36 ve 0.44 elde ederiz. Dikkat edilirse, sadece 0.2 ağırlık değeri başlangıç aralığı olan $[0.1, 0.3]$ arasındadır. Dolayısıyla, Butler ve diğ. (1997)'nin önerdiği yöntem de etkin bir yaklaşım değildir.

Tervonen ve Lahdelma (2007) biraz daha farklı bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda öncelikle, tercih bilgisinin olmadığı durumlardaki gibi Algoritma 5 kullanılarak üniform dağılmış normalize ağırlık vektörü elde edilir. Daha sonra bu ağırlıklar için alt ve üst sınır kontrolü yapılır. Bu kontrolden geçemeyen bir ağırlık olduğu takdirde, ağırlık vektörü reddedilir ve yeniden bir ağırlık vektörü üretilerek işleme bu şekilde devam edilir. Fakat kabul-ret filtresi mantığı çok sayıda ağırlık vektörünün ret olmasına, az sayıdakinin ise kabul edilmesine yol açmıştır. Tervonen ve Lahdelma (2007) bu durumun hem rassal ağırlıkların üniformluk kalitesini etkilediğini hem de işlem zamanını çok arttırdığını ifade etmiştir. Bu durumdan bir nebze kurtulmak amacıyla, ağırlıklar için verilen alt sınırların ağırlık uzayında aşağıdaki gösterildiği şekilde basit bir dönüşümle ele alınabileceğini önermişlerdir:

$$W' = \left\{ w \in R^n \mid w_j \geq w_j^{\min} \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right\} \quad (3.31)$$

Ağırlık uzayı $w'_j = w_j - w_j^{\min}$ değişimi ile aşağıdaki şekli alır:

$$W' = \left\{ w \in R^n \mid w'_j \geq 0 \text{ ve } \sum_{j=1}^n w'_j = 1 - C \right\}, \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j^{\min} = C \quad (3.32)$$

Ağırlıkların toplamı 1 yerine $1 - C$ olacak şekilde Algoritma 5'in güncellenmesi ile değişen w'_j ağırlıkları elde edilir. Daha sonrasında, bu değişen ağırlıklara alt sınırlar eklenerek nihai ağırlıklar hesaplanır ($w_j = w'_j + w_j^{\min}$). Daha sonra bu ağırlıklar için sadece üst sınır kontrolü yapılır. Dolayısıyla, Tervonen ve Lahdelma (2007)'nin önerdiği bu yöntem ile alt sınırların ağırlık üretme sürecinde karmaşıklığı arttırması engellenmiş olur. Bu yöntem Algoritma 7 olarak aşağıda gösterilmiştir. Kabul-ret filtresinden dolayı bu algoritmanın karmaşıklığından söz edilemez. Algoritma 7 hem JAVA programlama dili hem de MATLAB ile kodlanmış olup söz konusu kodlamalar EK-B'de verilmiştir.

Algoritma 7'nin üniform dağılmış ağırlıklar ürettiğini göstermek amacıyla 10 ($n=10$) ölçüt için $[0.05, 0.15]$ aralığı kısıtı altında 10000 defa koşum sonucu elde edilen

sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Her bir ölçüt için birinci sütunda verilen aralığına düşen ağırlık sayısı birbirine çok yakındır. Şekil 3.7’den de görüldüğü üzere ölçütler 0.10 civarında daha fazla ağırlık değerine sahiptir. Fakat bu ufak farklılıklar dikkate alınmayabilir.

Algoritma 7. Aralık bilgisinin bulunduğu durumda n adet rassal ölçüt ağırlığının üretilmesi (SMAA-2 yöntemi)

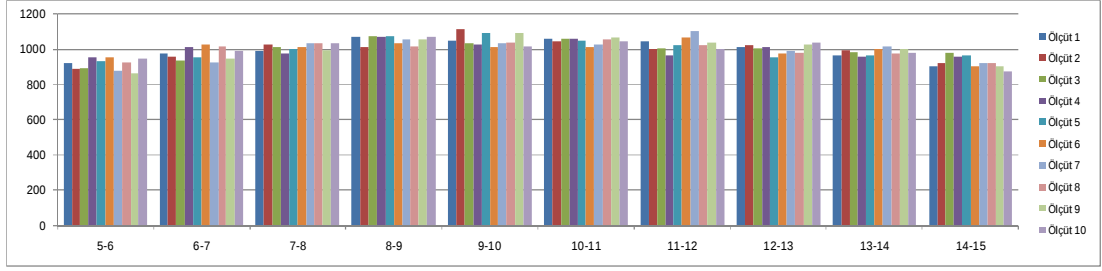
```

1:  $SumLowerBound \leftarrow SUM(w^{min}[1] \text{ to } w^{min}[n])$ 
2: if  $SumLowerBound > 1$  then
3:   display "Sum of lower bounds exceeds 1"
4:   return error
5: end if
6: for  $i \leftarrow 1$  to  $n-1$  do
7:    $q_i \leftarrow RAND_{U[0, 1-SumLowerBound]}()$ 
8: end for
9:  $SORT_{asc}(q)$ 
10:  $q_0 \leftarrow 0$ 
11:  $q_n \leftarrow 1 - SumLowerBound$ 
12: for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
13:    $w_i \leftarrow q_i - q_{i-1}$ 
14: end for
15: for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
16:    $w_i \leftarrow w_i + w^{min}[i]$ 
17:   if  $w_i > w^{max}[i]$  then
18:     display "Weight exceeds the upper bound"
19:     return error
20:   end if
21: end for

```

Çizelge 3.6 : Algoritma 7 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.

Ağırlık Aralığı	Ölçüt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.05 - 0.06	924	891	893	953	933	955	881	928	864	950
0.06 - 0.07	975	961	940	1011	952	1026	929	1020	949	989
0.07 - 0.08	991	1031	1011	975	1001	1010	1034	1032	998	1032
0.08 - 0.09	1073	1014	1076	1074	1075	1036	1058	1019	1053	1071
0.09 - 0.10	1050	1115	1034	1030	1093	1014	1036	1040	1093	1018
0.10 - 0.11	1059	1047	1061	1061	1048	1012	1028	1057	1067	1045
0.11 - 0.12	1047	1002	1009	966	1021	1068	1104	1025	1037	1002
0.12 - 0.13	1012	1022	1009	1010	951	973	993	980	1030	1037
0.13 - 0.14	963	996	986	960	962	1001	1018	975	1002	981
0.14 - 0.15	906	921	981	960	964	905	919	924	907	875
En büyük:	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
En küçük:	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Ortalama:	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10



Şekil 3.7 : Algoritma 7 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.

Gutman ve Weir (2012) aralık ile tanımlanan bir ağırlık uzayında kabul-ret filtresi uygulamanın etkin bir çözüm olmadığını ifade ederek, alt ve üst sınır kontrolüne gerek kalmayan VBR (*ing.*: Vectors in a Bounded Region) adıyla yeni bir algoritma sunmuşlardır. Öncelikle ağırlık uzayını aşağıdaki gibi tanımlamışlar:

$$W = \left\{ w \in R^n \mid w_j \in [a_j, b_j] \text{ ve } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right\} \quad (3.33)$$

$$\sum_{j=1}^n a_j \leq 1 \leq \sum_{j=1}^n b_j$$

Öncelikle sırası ile ölçüt ağırlıkları elde edilmiş, fakat ağırlıkların üniform olarak dağılmadığı gözlemlenmiştir. Sonrasında, $SHUFFLE(A)$ fonksiyonu ile ölçütler karıştırılarak ağırlık atanması yoluna gidilmiştir. Algoritmanın temelinde ağırlık ataması yapılacak ölçütün alt ve üst sınırlarının dinamik olarak değiştirilmesi yatar. Aşağıda gösterilen Algoritma 8'in karmaşıklığı karıştırma fonksiyonu yüzünden $O(n \log(n))$ 'dir. Algoritma 8'in JAVA programlama dili kodu EK-B'de verilmiştir.

Algoritma 8. Aralık bilgisinin bulunduğu durumda n adet rassal ölçüt ağırlığının üretilmesi (VBR karıştırma var)

```

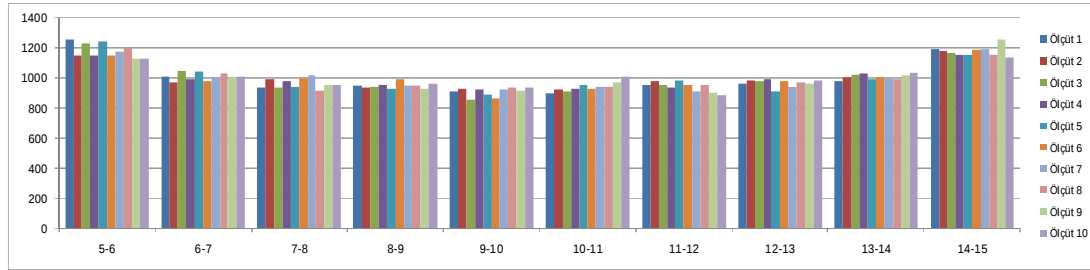
1:  $A \leftarrow \{1, 2, \dots, n\}$ 
2:  $S \leftarrow SHUFFLE(A)$ 
3:  $RandSum \leftarrow 0$ 
4: for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
5:   if  $i \leq n-1$  then
6:      $lb \leftarrow MAX\{a[S[i]], 1 - SUM(b[S[i+1]] \text{ to } b[S[n]]) - RandSum\}$ 
7:      $ub \leftarrow MIN\{b[S[i]], 1 - SUM(a[S[i+1]] \text{ to } a[S[n]]) - RandSum\}$ 
8:      $w[S[i]] \leftarrow RAND_{u[lb, ub]}()$ 
9:      $RandSum \leftarrow RandSum + w[S[i]]$ 
10:  else
11:     $w[S[i]] \leftarrow 1 - RandSum$ 
12:  end if
13: end for

```

Algoritma 8'in $n=10$ ve $[0.05, 0.15]$ aralığı kısıtı altında 10000 defa koşum sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Her bir ölçüt için birinci sütunda verilen aralığına düşen ağırlık sayısı birbirine çok yakındır. Şekil 3.8'den de görüldüğü üzere ölçütler 0.10 civarında daha az ağırlık değerine sahiptir. Fakat bu ufak farklılıklar dikkate alınmayabilir.

Çizelge 3.7 : Algoritma 8 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılımı.

Ağırlık Aralığı	Ölçüt									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.05 - 0.06	1249	1141	1225	1144	1240	1143	1166	1200	1128	1127
0.06 - 0.07	1006	967	1044	989	1035	976	1003	1025	998	1007
0.07 - 0.08	932	985	930	975	935	993	1011	912	949	952
0.08 - 0.09	946	931	938	953	925	989	941	946	926	957
0.09 - 0.10	909	925	847	917	889	865	920	931	914	930
0.10 - 0.11	891	919	908	924	951	925	937	939	970	1004
0.11 - 0.12	948	978	953	933	981	952	906	948	899	879
0.12 - 0.13	957	979	972	988	909	973	937	966	954	982
0.13 - 0.14	975	1000	1021	1026	988	1003	994	985	1014	1029
0.14 - 0.15	1187	1175	1162	1151	1147	1181	1185	1148	1248	1133
En büyük:	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
En küçük:	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Ortalama:	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10



Şekil 3.8 : Algoritma 8 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.

3.1.6 Aksiyomlarla Tasarım

3.1.6.1 Temel kavram ve prensipler

Aksiyomlarla tasarım yöntemi; ürün, sistem ve süreç tasarımları için Suh (1990) tarafından geliştirilmiş ve son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir tasarım aracıdır. Yöntemin temel amacı, tasarımlar için bilimsel bir temel oluşturmak ve tasarımcıyı mantıklı düşünce süreçleri ve araçları ile destekleyerek tasarım faaliyetlerini geliştirmektir. Suh (1990), tasarımı “*neyi gerçekleştirmek istiyoruz?*” ve “*nasıl gerçekleştirebiliriz?*” sorularının etkileşimiyle tanımlar. Dolayısıyla, yöntem

tasarımda istenilmeyen özellikleri mümkün olduğu kadar erken yok etmeyi, hedeflenen amaca odaklanmayı ve tasarım kararları verilirken faydalanılan ölçütleri belirlemeyi sağlar (Kulak, 2003).

AT yöntemi bağımsızlık ve bilgi olmak üzere iki aksiyomdan oluşur (Suh, 1990). Bağımsızlık aksiyomu, fonksiyonel gereksinimlerin (*ing.*: Functional Requirements; FRs) tasarım hedeflerini tanımlayan minimum bağımsız ihtiyaçlar kümesinden oluştuğunu ifade eder ve bunların bağımsızlığının her zaman sağlanılmasını önerir (Suh, 1990). Bilgi aksiyomu ise, bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlardan en düşük bilgi içeriğine sahip olanının en iyi tasarım olduğunu belirtir (Suh, 1990). Bilgi içeriği olasılık terimleriyle tanımlanır ve gerçekleşme olasılığı en yüksek olan tasarım en iyi tasarımdır (Suh, 2005).

3.1.6.2 Bilgi aksiyomu

AT yönteminin ikinci aksiyomu olan bilgi aksiyomu geliştirilen tasarımları değerlendiren sayısal bir yöntem sunarak bağımsızlık aksiyomunu sağlayan tasarımlar arasından en iyisinin seçilmesini sağlar. Diğer bir ifade ile bilgi aksiyomu fonksiyonel gereksinimler tarafından tanımlanan tasarım amacını sağlayan en iyi alternatifi seçen bir yöntemdir.

Bilgi aksiyomu, bilgi içeriğiyle (*ing.*: information content) temsil edilir. Bilgi içeriği (I_j) tanımlanan bir fonksiyonel gereksinimi (FR_j) sağlama olasılığı (p_j) ile ifade edilir. Bu durumda, bilgi içeriği aşağıdaki gibi ifade edilir (Suh 1990):

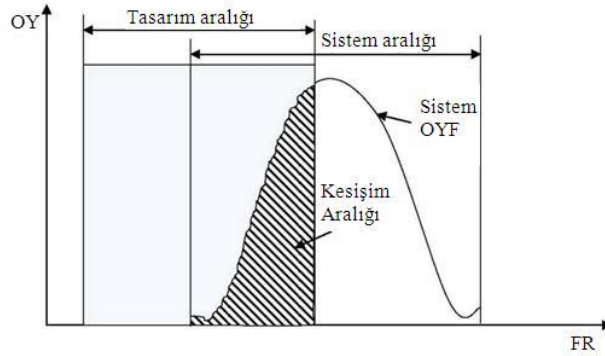
$$I_j = \log_2 \frac{1}{p_j} \quad (3.34)$$

Bilgi, iki tabanında logaritmik bir ifadeyle tanımlanır. Aynı zamanda çok sayıda fonksiyonel gereksinimin sağlanması gerektiğinde, bilgi içeriğine toplanabilirlik özelliği sunmak için logaritmik fonksiyon seçilmiştir. Toplam bilgi içeriği tüm olasılıkların toplamıdır. Tüm olasılıklar toplamı 1'e eşit olduğunda bilgi içeriği sıfırdır veya tam tersi bir ya da daha fazla olasılık sıfıra eşit olduğunda bilgi içeriği sonsuzdur. Bu olasılık düşük ise, fonksiyonel gereksinimleri karşılamak için daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulduğu anlamına gelir.

m adet fonksiyonel gereksinimin bulunan bir tasarımda tüm sistem için bilgi içeriği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} I_{system} &= -\log_2 p_{(m)} = -\log_2 \left(\prod_{j=1}^m p_j \right) \\ &= -\sum_{j=1}^m \log_2 p_j = \sum_{j=1}^m \log_2 (1/p_j) \end{aligned} \quad (3.35)$$

Başarı olasılığı (p_j) fonksiyonel gereksinimi sağlamak için tasarımcı tarafından tanımlanan tasarım aralığı ile sistem özelliğini tanımlayan sistem aralığının kesişimin sistem aralığına oranıyla elde edilir. Aralıklara ait grafiksel gösterim aşağıdaki şekilde verilmiştir. Grafiğin dikey eksenı olasılık yoğunluğunu (OY) ve yatay eksen FR'yi temsil eder.



Şekil 3.9 : Tasarım aralığı, sistem aralığı, kesişim aralığı ve sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) (Çebi, 2010).

Şekil 3.9'da sistemin olasılık yoğunluk fonksiyonu tanımlanan FR için sistem aralığı sınırlarını çizmiştir. Tasarım aralığı ile sistem aralığının (A_{sr}) ortak alanı ise kesişim alanını (A_{cr}) vermektedir. Bu alan FR'nin ne derecede sağlandığını gösteren kesişim alanıdır. Sonuç olarak, sistem aralığı ve kesişim aralığı tanımlanan amacın başarı olasılığını verir ve başarı olasılığı (p_j) aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$p_j = \frac{A_{cr}}{A_{sr}} \quad (3.36)$$

Denklem 3.36'ten hareketle bilgi içeriği şu şekilde hesaplanır:

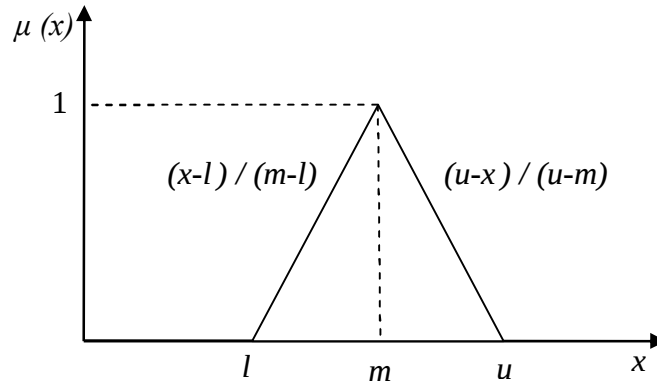
$$I_j = \log_2 \frac{A_{sr}}{A_{cr}} \quad (3.37)$$

Tasarım amacını gerçekleştirmek için bilgi aksiyomu bilgi içeriğinin minimum kılınmasını hedefler. Bu nedenle, en küçük I değerine sahip tasarım en iyi tasarım olarak tanımlar.

3.1.6.3 Üçgensel bulanık sayı

Bulanık mantık (*ing.*: fuzzy logic) kavramı ilk kez Zadeh (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Belirsizliklerin anlatımı ve belirsizlik altında değerlendirme yapabilmeyi mümkün bulanık mantık, bu tarihten itibaren birçok çalışmada ve uygulama alanında kullanılmıştır.

Bulanık mantıkta sayılar üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. Genellikle, bulanık sayı olarak hem gösteriminin hem de kullanımının kolaylığı nedeniyle üçgensel bulanık sayı (*ing.*: triangular fuzzy number; TFN) kullanılır. Bir TFN $(l \mid m, m \mid u)$ veya (l, m, u) şeklinde gösterilir. Bir bulanık olay için l, m ve u parametreleri, sırasıyla mümkün en küçük değeri, en çok beklenen değeri ve mümkün en büyük değeri temsil eder. Şekil 3.10'da örnek olarak $\tilde{M} = (l, m, u)$ için grafiksel gösterim verilmiştir.



Şekil 3.10 : Üçgensel bulanık sayının grafiksel gösterimi.

Her üçgen bulanık sayının lineer gösterimleri sol ve sağ taraf şeklinde aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir (Ross, 1995):

$$\mu_{\tilde{M}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l, \\ (x-l)/(m-l), & l \leq x \leq m, \\ (u-x)/(u-m), & m \leq x \leq u, \\ 0, & x > u. \end{cases} \quad (3.38)$$

Bulanık aritmetik işlemler üzerine detaylı bilgi Chen ve Hwang (1992) ile Kaufmann ve Gupta (1991) tarafından verilmiştir. Aşağıda $\tilde{M}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{M}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ üçgensel bulanık sayıları için temel aritmetik işlemler sunulmuştur:

Toplama : $\tilde{M}_1 \oplus \tilde{M}_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$

Çıkarma : $\tilde{M}_1 \ominus \tilde{M}_2 = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 + l_2)$

Çarpma : $\tilde{M}_1 \otimes \tilde{M}_2 = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2)$

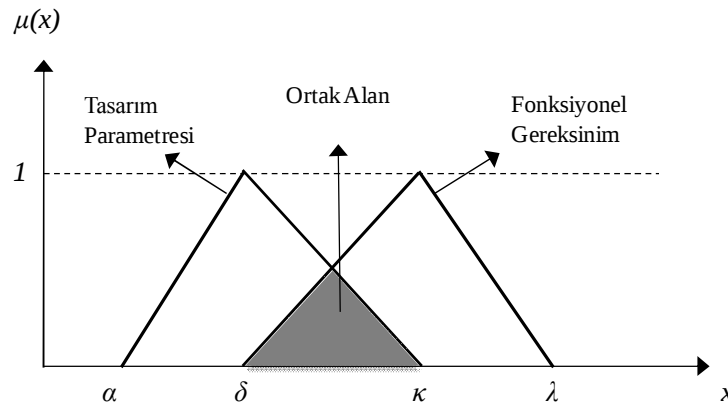
Bölme : $\tilde{M}_1 \oslash \tilde{M}_2 = (l_1 / u_2, m_1 / m_2, u_1 / l_2)$

Negatif : $-\tilde{M}_1 = (-l_1, -m_1, -u_1)$

Tersi : $1/\tilde{M}_1 = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$

3.1.6.4 Bulanık bilgi aksiyomu

Bilgi aksiyomu yöntemi ilk kez Kulak ve Kahraman (2005a; 2005b) tarafından bulanık ortamda kullanılmıştır. Çalışmalarında belirsizlik altında fonksiyonel gereksinimler (FRs) ve tasarım parametreleri (DPs) üçgensel bulanık sayılara ait üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanmıştır. Ortak alan, tasarım ile sistem bulanık üçgensel alanlarının kesişim alanıdır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 : Fonksiyonel gereksinim ile tasarım parametresinin ortak alanı.

Son olarak, bilgi içeriği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I = \log_2 \left(\frac{\text{Sistem için TFN alanı}}{\text{Ortak alan}} \right) \quad (3.39)$$

Yukarıda bilgi içerikleri hesaplanırken her ölçütün ağırlığı eşit olarak kabul edilmiştir. Ancak her bir ölçüt farklı bir ağırlık değerine (w_j) sahip olduğunda bilgi içeriklerini hesaplamak gerekebilir. Bu durum için Kulak ve diğ. (2005) ağırlıklandırılmış bulanık bilgi aksiyomu yöntemini geliştirmişlerdir. Bu durumda bilgi içeriği aşağıda verilen ifade kullanılır:

$$I_{ij} = \begin{cases} \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j}, & 0 \leq I_{ij} < 1 \\ w_j, & I_{ij} = 1 \\ \left[\log_2 \left(\frac{1}{p_{ij}} \right) \right]^{w_j}, & I_{ij} > 1 \end{cases} = \quad (3.40)$$

Kahraman ve Çebi (2009), karar verme problemlerini dört sınıfa (kesin değer, beklenen değer, sıralama, eşik değer) ayırarak bu tür problemlerin çözümü için bulanık bilgi aksiyomuna çeşitli açılımlar geliştirmişlerdir.

Kesin değer problemlerinde, alternatif değerinin kesin sınırlar kullanılarak belirlenen tasarım aralığında olması istenir. Sınırların dışında kalan alan tasarım açısından istenmeyen durumdur. Bu tür problemler için bilgi içeriği aşağıdaki gibi hesaplanır (Çebi, 2010; Çebi ve Kahraman, 2010a; Çebi ve Kahraman, 2010b):

$$I = \begin{cases} \infty, & \text{Eğer ortak alan mevcut değilse} \\ \log_2 \frac{A_{sr}}{A_{cr}}, & \text{Eğer ortak alan mevcut ise} \end{cases} \quad (3.41)$$

Beklenen değer problemlerinde de alternatif değerinin sınırlarla tanımlanan tasarım aralığında olması istenir. Fakat kesin değer problemlerinden farklı olarak tanımlanan sınırların dışında kalınması durumunda alternatifin kabulü veya reddi sınırların tanımına yani ölçütün fayda mı maliyet mi olarak tanımlandığına bağlıdır. Bu tür problemler için FR $\tilde{A} = (l, m, u)$ ve DP $\tilde{B} = (\alpha, \beta, \theta)$ olmak üzere bilgi içeriği aşağıdaki gibi elde edilir (Çebi, 2010; Çebi ve Kahraman, 2010a; Çebi ve Kahraman, 2010b):

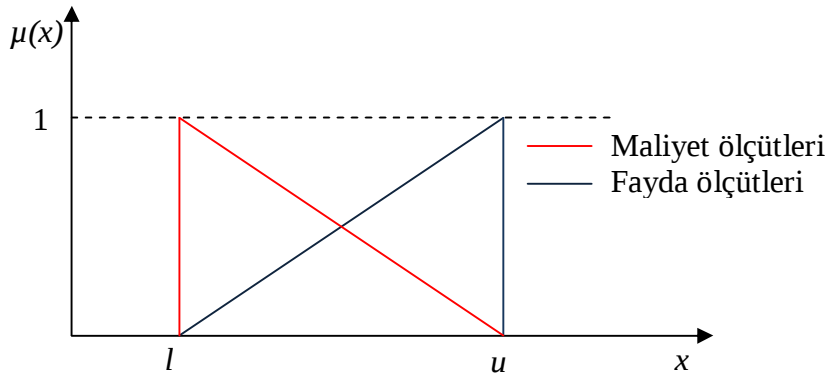
$$I = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} 0, \quad l \geq \alpha, m \geq \beta \\ \infty, \quad u \leq \alpha \end{array} \right\} & \text{fayda ölçütleri için} \\ \left\{ \begin{array}{l} 0, \quad u \leq \theta, m \leq \beta \\ \infty, \quad l \geq \theta \end{array} \right\} & \text{maliyet ölçütleri için} \\ \log_2 \frac{A_{sr}}{A_{cr}}, & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (3.42)$$

Sıralama problemleri için TFN kullanılarak ideal FR tanımı yapılmıştır (Kahraman ve Çebi, 2009). Şekil 3.12’de tanımı verilen ideal FR $\tilde{A} = (l, m, u)$ ile gösterilsin. Bu durumda, fayda ölçütleri için ideal FR Denklem (3.43) ile, maliyet ölçütleri için ideal FR Denklem (3.44) ile tanımlar:

$$FR = \left\{ \tilde{A} \mid A\left(\frac{0}{l = \delta_{\min}}, \frac{1}{m = \delta_{\max}}, \frac{0}{u = \delta_{\max}}\right) \right\} \quad (3.43)$$

$$FR = \left\{ \tilde{A} \mid A\left(\frac{0}{l = \delta_{\min}}, \frac{1}{m = \delta_{\max}}, \frac{0}{u = \delta_{\max}}\right) \right\} \quad (3.44)$$

burada, $\delta_{\min}$ ve $\delta_{\max}$ sırasıyla değerlendirme ölçeğinde yer alan en küçük ve en büyük sayıları veya ölçütten alınabilecek en küçük ve en büyük değerleri ifade eder (Kahraman ve Çebi, 2009, Çebi, 2010).



Şekil 3.12 : İdeal FR.

Eşik değer problemleri karar vericiler tarafından bir alt ya da üst limit tanımı yapılan problem türleridir. Diğer bir ifade ile tasarım aralığının “*en az x birim olsun*” ve “*en fazla y birim olsun*” şeklinde tanımladığı problem türüdür (Çebi, 2010). Eşik değer problemleri için ideal FR aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

$$FR = \left\{ \tilde{A} \mid A\left(\frac{0}{l=x}, \frac{1}{m=\delta_{maks}}, \frac{0}{u=\delta_{maks}}\right) \right\} \quad (3.45)$$

$$FR = \left\{ \tilde{A} \mid A\left(\frac{0}{l=\delta_{min}}, \frac{1}{m=\delta_{min}}, \frac{0}{u=y}\right) \right\} \quad (3.46)$$

Karma problemler içerisinde hem sayısal hem de dilsel değerlendirmelerin olduğu problem türüdür (Çebi, 2010). Bu tür problemlerde değeri kesin bir şekilde ifade edilebilen ölçüt mevcut olması durumunda, bilgi içeriği aşağıdaki gibi hesaplanır (Kahraman ve Çebi, 2009):

$$I = \log_2 \frac{1}{\mu(x_i)} \quad (3.47)$$

$\mu(x_i)$ ise aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\mu(x_i) = \begin{cases} \frac{x_i - l}{u - l}, & \text{olumlu ölçütler için} \\ \frac{u - x_i}{u - l}, & \text{olumsuz ölçütler için} \end{cases} \quad (3.48)$$

3.2 Yöntem ve Algoritmalara Yapılan Katkılar

Bu tez kapsamında geliştirilen harbe hazırlık durumu değerlendirme modellerinde, yukarıda sunulan mevcut yöntem ve algoritmalar;

- AHP yöntemi, birlik harbe hazırlık durumu değerlendirme ölçütlerinin ağırlıklandırılması,
- Bulanık Bilgi Aksiyomu, fayda fonksiyonu mantığında, birliklerin mevcut standartlara göre ölçütlerden aldığı puanların elde edilmesi,
- AÇ yöntemi, birliklerin harbe hazırlık durumunun değerlendirilmesine yönelik tespit edilen ölçütlerden Bulanık Bilgi Aksiyomu doğrultusunda aldığı puanlar ile ilgili ölçütlerin AHP ile elde edilen ağırlıkları kullanılarak birliğin nihai harbe hazırlık durumu puanının hesaplanması,
- TOPSIS yöntemi, birliklerin model sonucunda hesaplanan personel, eğitim ve malzeme ana ölçüt değerleri ile birliklerinin olması gereken standart

değerlerden sapmaların incelenmesi (Diğer bir ifade ile hem birliklerin harbe hazırlık seviyelerine göre sıralandırılması hem de birlik standartlarını karşılama oranının ortaya konulması),

- SMAA yöntemi, ölçüt ağırlıklarına gerek duymadan (sıralama veya aralık olarak verilen tercih bilgileri doğrultusunda), birliklerin ölçütlere göre ölçümlemlerini yıl içerisindeki değerlerden elde edilen istatistiksel dağılımlar ile modelleyerek birlikleri farklı harbe hazırlık kategorilerine gruplanması ve sıralanması (Diğer bir ifade ile SMAA yöntemi birliklerin periyodik harbe hazırlık durumunun değerlendirilmesi ve herhangi bir kriz veya operasyon için görevlendirilecek birliğin seçilmesi) ve
- Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları ise SMAA simülasyonu içerisinde tercih bilgilerine göre rassal ölçüt ağırlıklarının üretilmesi

amacıyla kullanılmıştır.

Fakat harbe hazırlığın değerlendirilmesi açısından hem bu yöntemlerin mevcut bazı eksikliklerini gidermek hem de bazı ilave gereksinimler doğrultusunda geliştirmeler yapmak gerekir. Bazı eksiklikler, yöntemlerin birbirlerinin güçlü yönlerini kullanan ve eksikliklerini tamamlayan bir biçimde bütünleşik kullanımı ile giderilmiştir. Diğer eksiklikler ve gereksinimler için yöntem ve algoritmalara yapılan yenilik ve katkılar aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

3.2.1 Çarpımlı Analitik Hiyerarşi Süreç

AHP yöntemde bir alternatifin toplam değeri, hiyerarşinin en altında yer alan ölçütlerin katkıları ile bu ölçütlerin ağırlıklarının çarpımları toplanarak elde edilir:

$$V(A_i) = V_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} w_j, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.49)$$

burada, $V(A_i)$ A_i alternatifinin değer fonksiyonu, w_j C_j ölçütünün ağırlık değerini ve x_{ij} ise A_i alternatifinin C_j ölçütüne göre performans değerini ifade eder. Ayrıca, hiyerarşik yapının en alt dalındaki ölçütlerin toplam ağırlığı 1'e eşittir ($\sum_{j=1}^n w_j = 1$).

Denklem (3.49)'dan görüldüğü üzere, herhangi bir ölçütten sıfır katkı alan bir alternatifin belirli bir değer almasını sağlayan bu durum, AHP yönteminin önemli bir

eksikliğidir (Lootsma, 1992). Örneğin; harbe hazırlığın değerlendirilmesi problemini düşünelim. Mühimmatı olmayan, faal bir uçağı bulunmayan, hiçbir personel atanmamış bir birliğin harbe hazırlığından söz edilemez. Dolayısıyla, ölçütlerden elde edilen katkılar çarpılarak birleştirilip birlik harbe hazırlığının bulunması gerekir. Diğer bir ifade ile herhangi bir ölçütten sıfır puan gelmesi birliğin harbe hazırlık puanını sıfır yapmalıdır. Bu tez kapsamında, AHP yönteminin sentez aşamasına AÇ yöntemi bütünleştirilerek ölçüt katkılarının Denklem (3.6)'te verilen çarpımlı bir mantıkla elde edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle, hem yukarıdaki problem çözülmüş hem de zayıf ölçüt değerleri daha fazla cezalandırılarak birliğin harbe hazırlık zafiyetlerini kolaylıkla ortaya çıkaran bir yapı geliştirilmiştir.

Aslında, bu şekilde bir çarpımlı AHP yeni bir yöntem değildir. Lootsma (1992) tarafından klasik AHP yöntemine alternatif olarak sunulan REMBRANDT (*ing.:* Ratio Estimations in Magnitudes or deci-Bells to Rate Alternatives which are Non-DominaTed) tekniği ölçüt katkılarının çarpımlı birleştirilmesi önerir. Bu yöntemde ayrıca Saaty'nin 1-9 ölçeği yerine geometrik bir ölçek, özvektör yerine ise geometrik ortalama yöntemi kullanılır. Çarpımlı AHP ile ilgili diğer gelişmeler Olson ve diğ. (1995), Ramanathan (1997), Lootsma (1999), ve van den Honert ve Lootsma (2000) tarafından sunulmuştur. Fakat bu çalışmada REMBRANDT tekniğinden farklı olarak sadece ölçüt katkılarının birleştirilmesi safhasında çarpımlı yöntem izlenmiştir.

3.2.2 Sabit ideal çözümlü TOPSIS yöntemi

TOPSIS yönteminin temel mantığı, seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en yakın, negatif ideal çözümden ise en uzak mesafede olmasıdır. Pozitif ideal çözüm kümesi en iyi ölçüt, negatif ideal çözüm kümesi ise en kötü ölçüt değerlerinin bileşiminden Denklem (3.11) ile oluşturulur. Fakat ideal çözümlerin bu şekilde elde edilişi sıralama değişim (*ing.:* rank reversal) problemini ortaya çıkarır (Wang ve Luo, 2009; García-Cascales ve Lamata, 2012). Sıralama değişimi, bir seçenek kümesinden bir alternatifin seçimi sürecinde, süreç başladıktan sonra yeni bir alternatifin sürece dâhil olduğu durumlarda ortaya çıkan problem olarak ifade edilebilir. Wang ve Luo (2009), sıralama değişim problemi ile AHP, SAW, TOPSIS, DEA gibi yöntemlerde karşılaşıldığını detaylı olarak örneklerle göstermişlerdir. García-Cascales ve Lamata (2012) ise çalışmalarında TOPSIS yöntemindeki sıralama değişim problemini ele

almışlardır. Bu problemin yönetime yeni giren veya çıkan alternatifin en iyi ölçüt veya en kötü ölçüt değerlerine sahip olduğu durumda ortaya çıktığını belirtmişlerdir.

Harbe hazırlık yönetim sürecinde her bir birlik için personel, malzeme ve eğitim standartları belirlenir ve birliklere kaynak ataması bu standartlara göre yapılır. Her bir birliğin ideal çözüm kümesi farklı olabilir ve bu tez kapsamında TOPSIS yöntemine bu kümeler girdi olarak verilir. Standartlar pozitif ideal çözüm kümesini ifade eder, negatif ideal çözüm kümesi ise 0 değerlerinden oluşur. Böylelikle, TOPSIS uygulamasında Denklem (3.11) kullanılarak ideal çözüm kümelerinin belirlenmesine gerek kalmaz. Sonuç olarak, ideal çözüm kümelerinin TOPSIS yöntemine bu şekilde girdi olarak verilmesi farklı standartlara sahip birliklerin harbe hazırlık seviyelerine göre sıralandırılmasına olanak verirken, diğer yandan yukarıda belirtilen sıralama değişim problemini de ortadan kaldırmış olur. Bu durumu ele alabilmenin bir başka çözüm yolu ise; A^s ve A^0 adıyla pozitif ve negatif ideal çözümleri içeren sanal birlikler oluşturularak klasik TOPSIS adımlarını uygulamaktır.

Yukarıdaki durum TOPSIS uygulamasının 3. ve 4. adımlarında ufak değişikliklere yol açar. Öncelikle pozitif ideal çözüm kümesi (A^+) i . birliğin j . ölçüte göre standardını temsil eden v_{ij}^s değerlerinden, negatif ideal çözüm kümesi (A^-) ise 0 değerlerinden oluşturulur.

Daha sonra pozitif ideal ayırım (S_i^+) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n d_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.50)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan d_{ij} değeri şu şekilde elde edilir:

$$d_{ij} = \begin{cases} (v_{ij}^s - v_{ij})^2 & , \quad 0 \leq v_{ij} < v_{ij}^s \\ 0 & , \quad v_{ij}^s \leq v_{ij} \end{cases} \quad (3.51)$$

Yukarıdan da anlaşıldığı üzere, eğer bir i . birlik j . ölçüt açısından standartların üzerinde ise o ölçüte yönelik pozitif ideal ayırım değeri sıfırdır. Örneğin bir birliğin standartlara göre personel durumunun %75 olması arzu edilsin. Eğer birlik % 75

üzerinde herhangi bir personel durumu değerine sahip ise, personele yönelik pozitif ayırım değeri sıfırdır. Aksi takdirde, yukarıdaki gibi uzaklık hesabı ile elde edilir.

Negatif ideal ayırım (S_i^-) ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij})^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.52)$$

Bu adımdan sonraki adımlar klasik TOPSIS adımlarının aynısıdır.

3.2.3 Sıralama problemlerine yönelik SMAA-H yöntemi

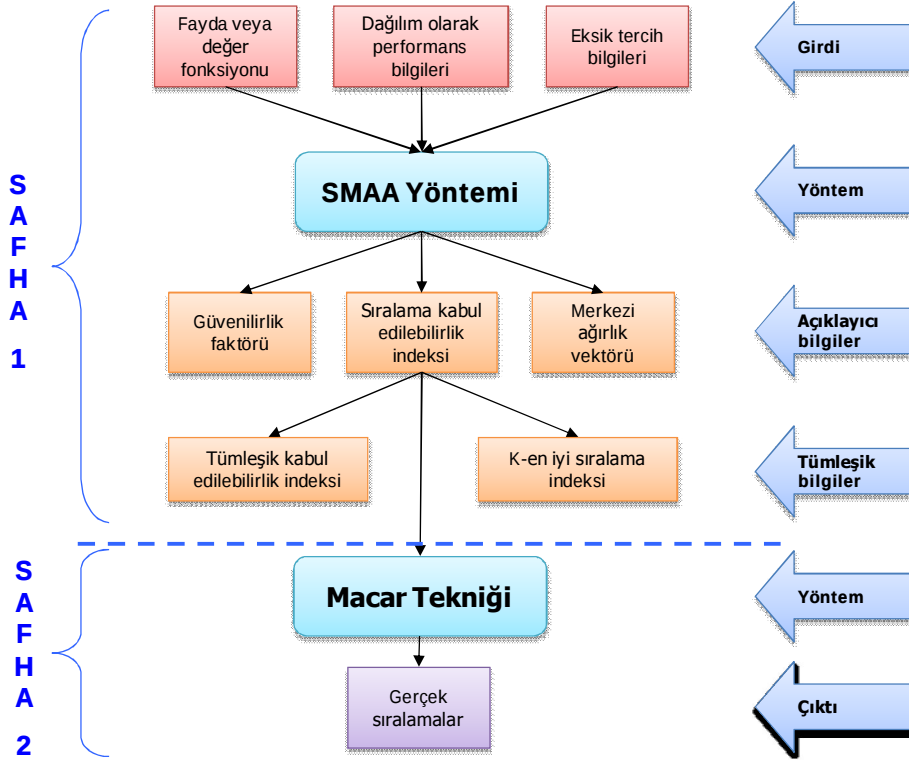
Tervonen ve Figueira (2008), SMAA yöntemi üzerine yaptıkları literatür araştırmalarında meta-ağırlıkların elde edilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerin farklı sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, tümleşik kabul edilebilirlik indekslerinin alternatif sıralamaları için kullanılamayacağını ve SMAA yönteminin sıralama problemleri için eksikliğini en önemli hususlardan biri olduğunu vurgulamışlardır. Tez kapsamında, bu probleme çözüm olarak SMAA yöntemi ile Macar tekniği (Kuhn, 1955; Munkres, 1957) birleştirilmiş ve SMAA-H adı altında yeni bir yöntem geliştirilmiştir (Şekil 3.13). SMAA-H yönteminde sıralama kabul edilebilirlik indeksleri birleştirilmek yerine bu indeksler kullanılarak aşağıdaki gösterilen atama problemi tanımlanmıştır:

$$\text{Max } \phi = \sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^m b_i^r s_{ir} \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to } \sum_{i=1}^m s_{ir} &= 1, \quad r = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{r=1}^m s_{ir} &= 1, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ s_{ir} &= 0 \text{ or } 1, \quad i, r = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

burada, $s_{ir} = 1$ r . sıranın i . alternatife atandığını veya tam tersi ($s_{ir} = 0$), b_i^r ise i . alternatifin r . sırada olma olasılığını (sıralama kabul edilebilirlik indeksini) ifade eder. Bir optimizasyon problemi tanımlamadaki temel mantık; atanan sıraların kabul edilebilirlik indekslerinin toplamını maksimize ederek her bir sıraya bir alternatif

atamaktır. SMAA-H, aşağıda görüldüğü üzere örnek bir probleme uygulanmış ve SMAA-2 yönteminden daha güzel sıralama sonuçları vermiştir.



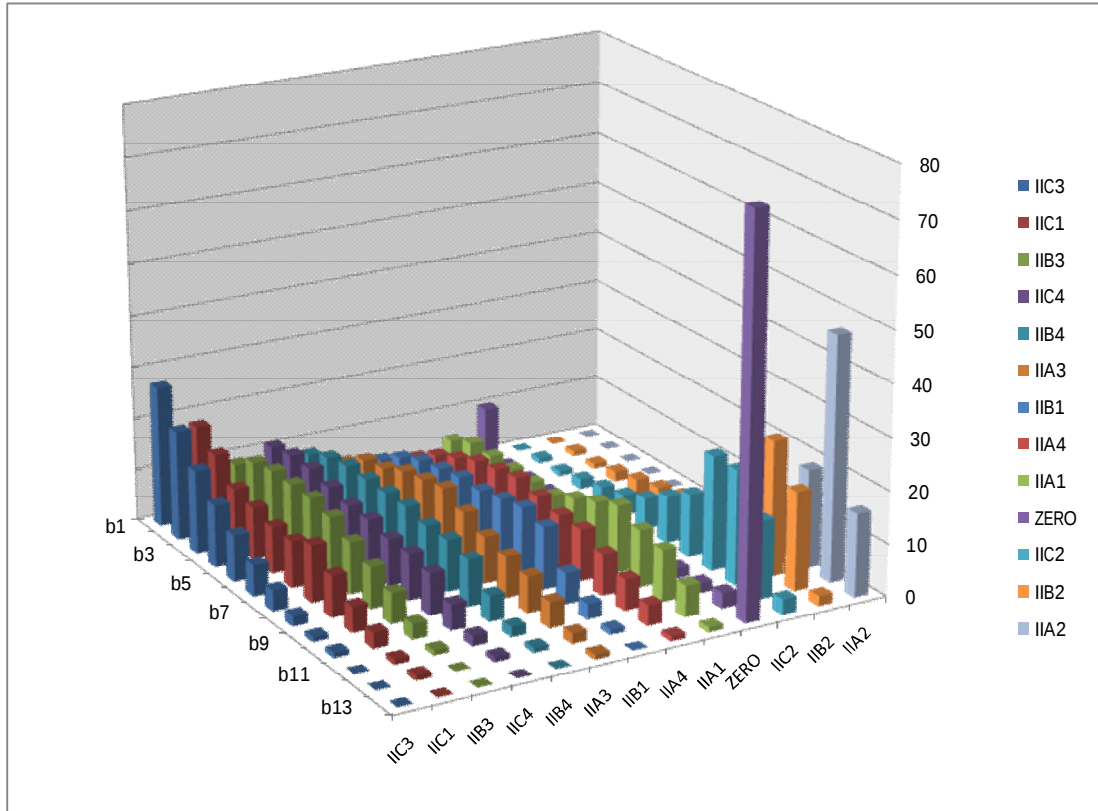
Şekil 3.13 : SMAA-H yöntemi.

Örnek olarak Helsinki/Finlandiya’da yeni bir kargo limanı inşa etmek için 13 seçeneğin 11 ölçüt dikkate alınarak değerlendirilmesi problemi incelenmiştir. Bu gerçek dünya problemi ilk olarak Hokkanen et al. (1999) tarafından SMAA ile, daha sonra Lahdelma ve Salminen (2001) tarafından yeni geliştirdikleri SMAA-2 ile çözülmüştür.

SMAA-2 yöntemi ile elde edilen sıralama kabul edilebilirlik indeksleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Çizelgede ilk sütun alternatif isimlerini, a^h sütunu tümleşik kabul edilebilirlik indekslerini, $b^1, b^2, \dots, b^{13}$ ise sıralama kabul edilebilirlik indekslerini gösterir. Şekil 3.14 ile SMAA-2 sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. Şekilde alternatifler tümleşik kabul edilebilirlik indekslerine göre sıralanmıştır ve her bir alternatif için farklı sıralamaların göreceli hacimleri gösterilmiştir. SMAA-2 yönteminin sıralamaya yönelik tümleşik açıklayıcı bilgisi olarak tümleşik kabul edilebilirlik indeksleri ve $k = (1, 2, 3)$ için k -en iyi sıralama indeksleri Çizelge 3.9’da sunulmuştur. Problemin SMAA-H ile çözümü sonucunda oluşan yeni sıralamalar da aynı çizelgede son sütun olarak verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Tümlleşik ve sıralama sıralama kabul edilebilirlik indeksleri.

	a^h	b^1	b^2	b^3	b^4	b^5	b^6	b^7	b^8	b^9	b^{10}	b^{11}	b^{12}	b^{13}
IIA1	28	5	7	7	7	7	7	9	11	13	11	10	6	1
IIA2	7	0	0	0	0	0	1	1	2	4	9	19	47	16
IIA3	34	5	8	9	11	12	13	11	9	8	7	5	2	1
IIA4	30	3	6	8	10	11	12	11	10	10	8	6	4	1
IIB1	33	4	7	9	10	11	11	12	13	12	6	3	1	0
IIB2	14	0	1	1	2	3	4	5	7	10	19	26	19	2
IIB3	42	9	12	13	13	13	12	10	8	6	3	1	0	0
IIB4	39	8	10	11	11	11	11	10	10	9	5	2	1	0
IIC1	49	18	15	11	10	9	9	11	8	5	3	1	1	0
IIC2	14	0	1	1	2	3	4	6	9	12	22	22	15	3
IIC3	61	27	21	16	12	9	6	4	2	1	1	0	0	0
IIC4	42	11	12	12	11	10	10	9	9	8	5	2	1	0
ZERO	15	10	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	76



Şekil 3.14 : SMAA-2 ile elde edilen sıralama kabul edilebilirlik indeksleri.

Çizelge 3.9’de görüldüğü üzere, 13 alternatiften 9 tanesi iki yönetime göre farklı sıralamalara sahiptir. IIC3 ve IIC1 her iki yönetime göre de açık bir şekilde ilk iki sırayı almıştır. IIB3, IIB4 ve IIC4 birbirine çok yakın sıralama kabul edilebilirlik indekslerine sahiptir. Bu alternatifler için her iki yönetime ait sıralamalar çok küçük farklılıklar göstermiştir ve bu durum dikkate alınmayabilir. Aynı durum IIA3, IIA4

ve IIB1 için de geçerlidir. ZERO alternatifinin 13. sıra için sıralama kabul edilebilirlik indeksi ($b_{ZERO}^{13} = 76$) diğerlerinden açık ara büyük olmasına rağmen, SMAA-2 ile 10. sırayı almıştır. Fakat SMAA-H yöntemine göre ZERO hiç şüphesiz en son alternatiftir. Benzer bir şekilde IIC1, IIB2 ve IIA2 daha yüksek kabul edilebilirlik indekslerine sahip olduğu sıralara (sırasıyla 10, 11 ve 12) atanmamasına rağmen, SMAA-H yöntemine göre bu alternatiflere daha iyi sıralar atanmıştır.

Çizelge 3.9 : SMAA-2 ile SMAA-H sıralamalarının farkı.

	SMAA-2 sıralaması				SMAA-H sıralaması
	a^1 -sıra	a^2 -sıra	a^3 -sıra	tümleşik sıra	
IIA1	8	7	8	9	9
IIA2	13	13	13	13	12
IIA3	7	6	6	6	6
IIA4	10	10	9	8	7
IIB1	9	8	7	7	8
IIB2	11	11	11	12	11
IIB3	5	4	4	3	5
IIB4	6	5	5	5	4
IIC1	2	2	2	2	2
IIC2	12	12	12	11	10
IIC3	1	1	1	1	1
IIC4	3	3	3	4	3
ZERO	4	9	10	10	13

Önerilen SMAA-H yönteminin etkinliğini göstermek amacıyla PM adıyla bir performans ölçütü tanımlanmıştır. Bir sırayı, o sıra için en yüksek sıralama kabul edilebilirlik indeksine sahip alternatife atama fikrinden yola çıkarak, PM aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$PM = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{r=1}^m b_i^r s_{ir}}{\sum_{r=1}^m \max_i(b_i^r)} \quad (3.54)$$

burada; m alternatif sayısını, $s_{ir} = 1$ r sırasının i alternatifine tahsis edildiğini, $s_{ir} = 0$ r sırasının i alternatifine tahsis edilmediğini, b_i^r i alternatifinin r sırasında olması için kabul edilebilirlik indeksini, $\max_i(b_i^r)$ ise r sırası için en yüksek kabul edilebilirlik indeksini ifade eder.

SMAA-2 ve SMAA-H sıralamalarına yönelik elde edilen PM aşağıdadır:

$$PM_{holistic} = \frac{27+15+13+11+11+13+12+10+13+2+22+19+16}{27+21+16+13+13+13+12+13+13+22+26+47+76} = 0.590$$

$$PM_{hungarian} = \frac{27+15+12+11+13+13+11+13+13+22+26+47+76}{27+21+16+13+13+13+12+13+13+22+26+47+76} = 0.958$$

PM değerlerine dikkate edilirse, alternatiflere sıralama ataması yaparken SMAA-H yönteminin SMAA-2 yöntemine göre çok daha etkin olduğu görülür. Sonuç olarak, SMAA-H yöntemi ile herhangi bir sıraya o sıra için en yüksek sıralama kabul edilebilirlik indeksi değerine sahip alternatifin atanması sağlanmıştır.

3.2.4 Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları

Literatürde daha önceden de bahsedildiği üzere, hem eksik veya değişik tipteki tercih bilgilerini ele alabilecek hem de çok boyutlu duyarlılık analizlerinde kullanılabilecek rassal ağırlık üretme algoritmaları geliştirilmiştir. Çalışmalarda genel olarak hiçbir tercih bilgisinin olmadığı, ölçüt ağırlıkları sıralama bilgisinin bulunduğu veya ölçüt ağırlıkları için aralık değerlerinin (alt ve üst sınır) verildiği durumlar ele alınmış, fakat bunların bir arada olabileceği durumlar dikkate alınmamıştır. Diğer bir ifade ile karar vericiler bazı durumlarda kısmi tercih bilgisi verebilir: bazı ölçüt ağırlıkları için kesin sayısal değerler, bazı ağırlık değerleri için sıralama bilgisi ve bazıları için ise aralık kısıtları. İşte bu karışık bilgileri ele alabilecek bir algoritma önerilmemiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, bu durum dikkate alınarak özgün bir rassal ağırlık atama algoritmaları (RA3) geliştirilmiştir. Kabul/ret filtresi içermeyen ve düşük bir hesaplama karmaşıklığına sahip bu algoritma çıktı olarak üniform ölçüt ağırlıkları üretir. RA3 aşağıdaki temel adımlardan oluşur:

Adım 1: Kesin değerler ile alt sınırları topla ve tutarlılık analizi yap.

Adım 2: Kriter kümesinden $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ C_i ölçütünü rassal olarak seç.

Adım 3: C_i ölçütünün yeni alt (w_i^{min}) ve üst (w_i^{max}) sınırlarını belirle.

Adım 4: 0-1 arasında üniform bir rassal sayı at (r).

Adım 5: r sayısı doğrultusunda C_i ölçütünün ağırlığını elde et

$$(w_i = w_i^{min} + r \cdot (w_i^{max} - w_i^{min})).$$

Adım 6: Ölçüt kümesinde yer alan diğer tüm ölçütlerin alt ve üst sınırlarını güncelle.

Adım 7: Adım 2'den Adım 6'ya kadar $n-1$ defa tekrar et.

Adım 8: Elde edilen tüm ağırlıkları 1'den çıkararak en son ölçütün ağırlığını bul.

3.2.4.1 Sıralama bilgisinin olduğu durum

RA3'ü basitten başlamak adına sadece sıralama şeklindeki tercih bilgisinin bulunduğu durumlar için biraz daha detaylandırılalım. Aslında karar ortamında iki farklı bilgi bulunur:

- Önem derecesine göre bir ölçüt sıralaması (açık bilgi) ve
- Ölçüt ağırlıklarının alt ve üst sınırları (kapalı bilgi)

Örneğin; 5 adet ölçütün ($n=5$) olduğunu varsayalım. k, l, m ve n real sayılar olsun.

$$0 \leq w_1 \leq w_2 \leq w_3 \leq w_4 \leq w_5 \leq 1 \quad \text{ve} \quad \sum_{i=1}^5 w_i = 1$$

$$w_2 = w_1 + k, \quad w_3 = w_1 + l, \quad w_4 = w_1 + m, \quad w_5 = w_1 + n$$

$$\sum_{i=1}^5 w_i = 1 = 5w_1 + k + l + m + n$$

$$w_1 = (1 - (k + l + m + n)) / 5 = 0.2 - ((k + l + m + n) / 5)$$

Dolayısıyla, w_1 fazla 0.2 ($w_1^{\max} = 0.2$) olmak zorundadır. Ölçüt ağırlıkları, alt ve üst sınırlar dinamik olarak değiştirilerek ölçüt önem sıralaması sağlanacak şekilde rassal olarak elde edilir. Algoritma 9'da sunulan bu durumun hesaplama karmaşıklığı sadece $O(n)$ 'dir. Dolayısıyla, çok sayıda ölçütün ve alternatifin yer aldığı problemlerde Algoritma 6'ya alternatif olarak etkin bir şekilde kullanılabilir. Algoritma 9'un JAVA programlama dili kodu EK-B'de verilmiştir.

Algoritma 9. Sıralama bilgisinin bulunduğu durumda n adet rassal ölçüt ağırlığının üretilmesi (RA3)

```
1: RandSum ← 0
2: lb ← 0
3: for i ← 1 to n do
4:   if i ≤ n-1 then
5:     ub ← (1-RandSum)/(n-i)
6:     w[i] ← RANDU[lb,ub]()
7:     lb ← w[i]
8:     RandSum ← RandSum + w[i]
9:   else
10:    w[i] ← 1 - RandSum
11:  end if
12: end for
```

Algoritma 9’u 5 ($n=5$) ölçütlü (A, B, C, D ve E) bir problem için örnekleyelim. $A < B < C < D < E$ olduğunu varsayalım. Algoritmanın detaylı olarak açıklanabilmesi için bir iterasyon Çizelge 3.10’da gösterilmiştir. Algoritmanın kolaylıkla anlaşılabilmesi için çizelge yukarıdan aşağı doğru ve soldan sağa okunmalıdır. Birinci sırayı ele alalım. A ölçütünden büyük 4 adet ölçüt bulunur. Dolayısıyla, A ölçütünün yeni alt sınırı 0, üst sınırı ise yukarıda gösterildiği gibi 0.2 olarak hesaplanır. 0.616 olarak rassal bir sayı atılsın. A ölçütüne atanan rassal ağırlık aşağıdaki gibi elde edilir:

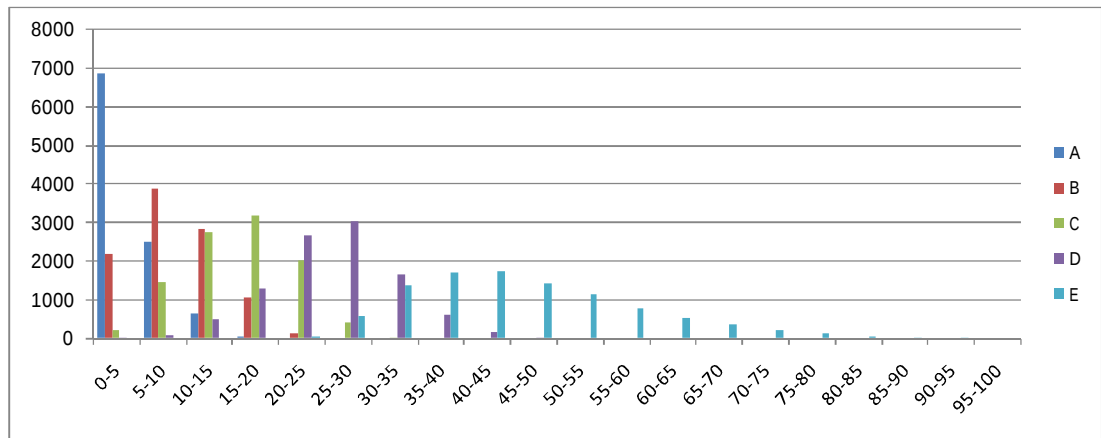
$$w_A = w_i^{\min} + r \cdot (w_i^{\max} - w_i^{\min}) = 0 + 0.616 \cdot (0.2 - 0) = 0.123$$

Sonra, B ölçütünün alt sınırı 0.123 olarak güncellenir. Atama yapılması gereken ağırlık $1 - 0.123 = 0.877$ ’dir. Kendisinden büyük 3 adet ölçüt kaldığı için B ölçütünün üst sınırı $0.877 / 4 = 0.219$ olarak elde edilir. Bu şekilde işleme devam edilerek tüm ölçütlerin ağırlıkları rassal olarak atanır.

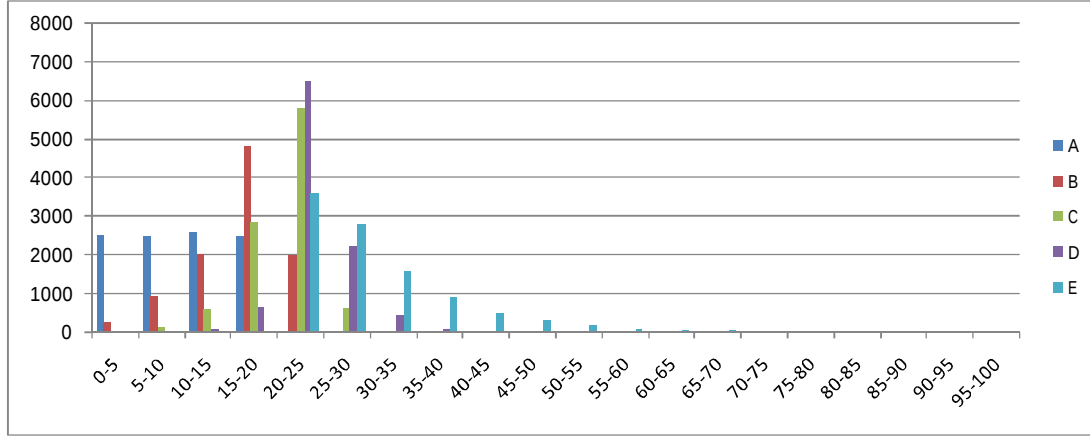
Çizelge 3.10 : Algoritma 9’un çizelge formatında işletimi.

Ölçüt	Alt Sınır	Üst Sınır	Büyük Sayısı	Rassal Sayı	Atanan Ağırlık	Toplam Atanan
A	0.000	0.200	4	0.616	0.123	0.123
B	0.123	0.219	3	0.151	0.138	0.261
C	0.138	0.246	2	0.708	0.215	0.475
D	0.215	0.262	1	0.229	0.226	0.701
E	0.226	0.299	0	---	0.299	1.000

Algoritma 6 ve 9 yukarıdaki örnek için 10000 defa koşumu sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Görüldüğü üzere Algoritma 6 uç noktaları biraz daha fazla dikkate alır ve ağırlıkları biraz daha fazla dağıtır. Fakat bu ufak farklılıklar çok ölçütün olduğu durumlarda biraz daha azalır ve dikkate alınmayabilir.



Şekil 3.15 : Algoritma 6 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.



Şekil 3.16 : Algoritma 9 sonucunda oluşan ölçüt ağırlıklarının dağılım grafiği.

3.2.4.2 Karışık bilginin olduğu durum

RA3'ün karışık tercih bilgilerinin bulunduğu durumlar için geliştirilmiş çok detaylı sürümünün (Algoritma 10) JAVA kodu EK-B'de verilmiştir. Algoritmanın temelinde ağırlık ataması yapılacak ölçütün rastgele seçimi ile alt ve üst sınırlarının dinamik olarak değiştirilmesi yatar. Hem aralıklara hem de kendisinden büyük ve küçük ölçütleri dikkate alarak alt ve üst sınırları güncellemesi nedeniyle Algoritma 9'dan daha karmaşık bir yapıdadır. Algoritmanın 10'un hesaplama karmaşıklığı sıralama fonksiyonu yüzünden $O(n \log(n))$ 'dir.

Örnek olarak; A, B, C, D, E ve F ölçütlerinden oluşan bir problem düşünelim. Karar vericilerden tercih bilgisi olarak sadece aşağıdaki bilgilerin alındığını varsayalım.

Gerçek değer: $D = 0.15$

Aralık değerleri: $0.2 < A < 0.3$; $0.1 < B < 0.3$; $0.0 < C < 0.2$

Sıralama: $B > C$; $E > F$

Yukarıdaki bilgiler sentez edilerek aşağıdaki aralık bilgileri elde edilir.

$0.2 < A < 0.3$; $0.1 < B < 0.3$; $0 < C < 0.2$; $0.15 < D < 0.15$; $0 < E < 1$ ve $0 < F < 1$.

Algoritmanın detaylı olarak açıklanabilmesi için bir iterasyon Çizelge 3.11'da gösterilmiştir. Algoritmanın kolaylıkla anlaşılabilmesi için çizelge yukarıdan aşağı doğru ve soldan sağa okunmalıdır. Birinci sütun ağırlığı bulunacak ölçütün adını ve arkasındaki iki sütun ise karar verici tarafından atanan başlangıç alt ve üst sınırları gösterir. Ardından gelen üç değer ise toplam ağırlığı atanan, geriye kalan ölçütlerin sırasıyla alt ve üst sınır toplamlarıdır. Sıralama bilgileri kullanılarak elde edilen

kendisinden küçük ve büyük ölçüt sayısı ise sonraki iki sütunda yer alır. Kendisinden önceki tüm sütunlardaki bilgiler doğrultusunda hesaplanan yeni alt ve üst sınırlar gösterilir, ardından rassal sayı üreticinden elde edilen rassal sayı verilir. Alt ve üst sınır ile rassal sayının kullanılmasıyla elde edilen ağırlık bir sonraki sütunda yer alır. En son olarak ağırlığı atanan ölçütün ilişkili olduğu (sıralama bilgisi ile) başka ölçütler var ise, bu ölçütlerin alt ve üst sınırlarının güncellendiğini gösteren iki sütun vardır.

Çizelge 3.11 : Algoritma 10'un çizelge formatında işletimi.

Ölçüt	Sınır		Toplam			Sayı		Yeni		Rassal sayı	Ağırlık	Güncellenen	
	Alt	Üst	Atanan	Alt Sınır	Üst Sınır	Küçük	Büyük	Alt Sınır	Üst Sınır			Alt sınır	Üst sınır
A	0.2	0.3	0.15	0.1	2.5	0	0	0.2	0.3	0.519	0.252	----	----
C	0	0.2	0.402	0.1	2.3	0	1	0	0	0.612	0.061	(B=0.061)	----
B	0.061	0.3	0.463	0	2	0	0	0.061	0.3	0.36	0.147	----	----
E	0	1	0.61	0	1	1	0	0.195	0.39	0.896	0.37	----	(F=0.370)
F	0	0.37	----	----	----	----	----	----	----	----	0.02	----	----

3.2.5 Değerlendirme problemlerine yönelik Bulanık Bilgi Aksiyomu

Kahraman ve Çebi (2009) tarafından kesin değer, beklenen değer, sıralama, eşik değer problemlerine çözüm amacıyla bulanık bilgi aksiyomuna çeşitli katkılar sağlanmıştır. Fakat Çebi ve diğ. (2010) bilgi içeriğinin $[0, \infty]$ aralığında bir değer aldığını ve tek bir tasarıma ait toplam bilgi içeriği hesaplandığında tasarımın ne derece başarılı olduğu sorusunun cevapsız kaldığını belirtmişlerdir. Bu soruna çözüm amacıyla, önerilen tasarımın ne kadar başarılı olduğunu nispeten ölçen bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda dilsel bir ölçek ve İdeal FR tanımını kullanarak kıyaslama oranı (I^*) olarak adlandırdıkları dilsel ölçekteki en kötü dilsel ifadenin bilgi içeriğini aşağıdaki gibi hesaplamışlardır:

$$I^* = \log_2 \frac{A_{DS}}{A_{DS} \cap A_{IFR}} \quad (3.55)$$

burada, A_{DS} dilsel ölçekteki en kötü dilsel ifadeye ait alan ve A_{IFR} ideal FR tarafından tanımlanan tasarım aralığıdır.

Daha sonrasında, I_{sistem} olarak hesaplanan bilgi içeriğine sahip tasarıma ait başarı performansını *tasarım memnuniyet oranı* (r_{ds}) olarak adlandırmışlar ve aşağıdaki formülle temsil etmişlerdir:

$$r_{ds} = \left(1 - \frac{I_{system}}{I^*}\right) * 100 \quad (3.56)$$

Yukarıda görüldüğü üzere, r_{ds} $[0, 100]$ aralığında değer alır. 0 tasarımın başarısız olduğunu, 100 ise tasarımın %100 başarılı olduğunu gösterir.

Aslında, Çebi ve diğ. (2010) bulanık bilgi aksiyomunun değerlendirme problemlerine cevap verebilmesi amacıyla dilsel bir ölçek ve İdeal FR tanımına bağlı bir yaklaşım sunmuşlardır. Fakat her problemde dilsel bir ölçek ve İdeal FR kullanılmayabilir. Bununla birlikte, herhangi bir FR'nin düşük derecede sağlanması alternatifin en iyi olmasını zorlaştırır. Diğer bir söylemle, $[0, \infty]$ aralığında değişen bilgi içeriği mantığı zayıf performans değerlerini (ölçüt değerlerini) çok fazla cezalandırır. Bu sebeplerden dolayı, bulanık bilgi aksiyomu mevcut haliyle değerlendirme problemlerinde kullanılamaz. Örneğin; birlik harbe hazırlığının değerlendirilmesi problemini ele alalım. Karar vericilere anlam ifade etmesi için bir birliğin harbe hazırlığının $[0, 100]$ aralığında bir değer alması gerekir. Dolayısıyla, bilgi içeriğinin $[0, 1]$ aralığına dönüştürülmesi gerekir ki, toplam bilgi içeriği hesaplanıp harbe hazırlık puanı 100 üzerinden elde edilsin.

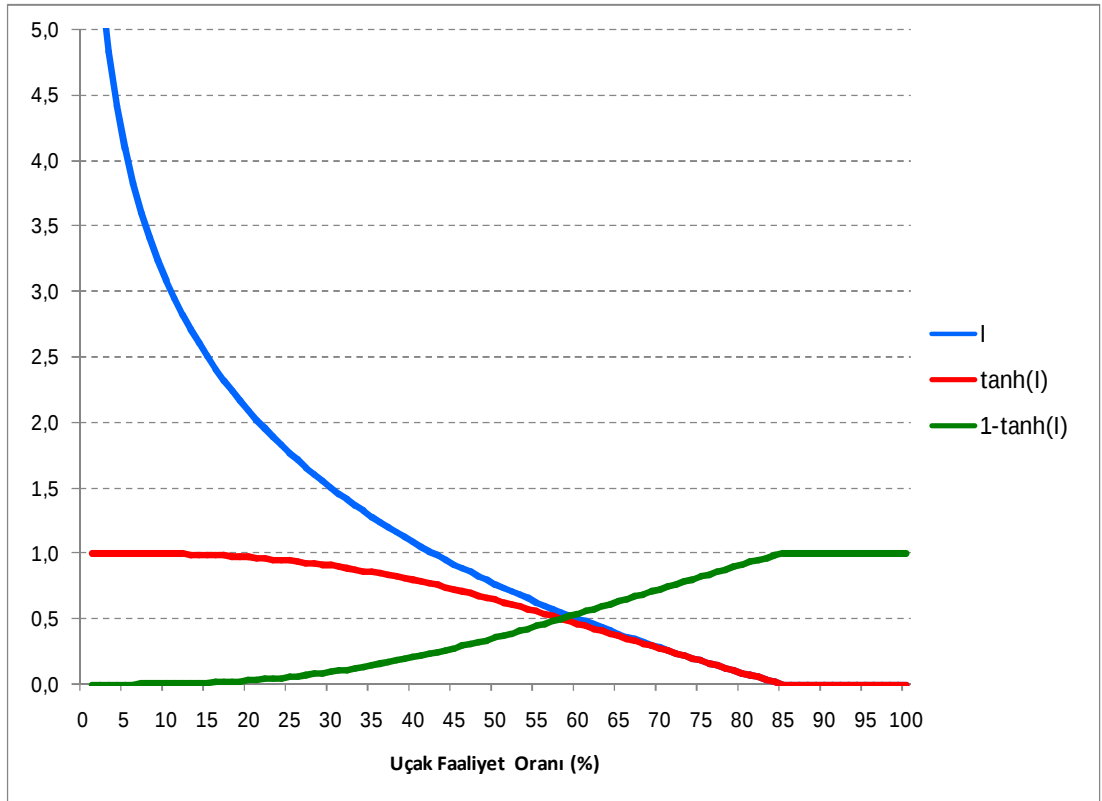
Bu tez kapsamında, bilgi içeriğinin değerlendirme problemlerine yönelik $[0, 1]$ aralığında elde edilmesi için hiperbolik tanjant (*ing.*: hyperbolic tangent) fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon özellikle Yapay Sinir Ağları (*ing.*: Artificial Neural Networks; ANN) ve Bulanık Bilişsel Haritalar (*ing.*: Fuzzy Cognitive Maps; FCM)'da aktivasyon (eşik) fonksiyonu olarak kullanılır (Kosko, 1986). ÇÖKV'de karar matrisinin bir elemanı olarak algılanabilecek ve $[0, 1]$ aralığında değişen yeni bilgi içeriği tasarım memnuniyet oranına benzer bir şekilde aşağıdaki gibi elde edilir:

$$I^d = 1 - \tanh(I) \quad (3.57)$$

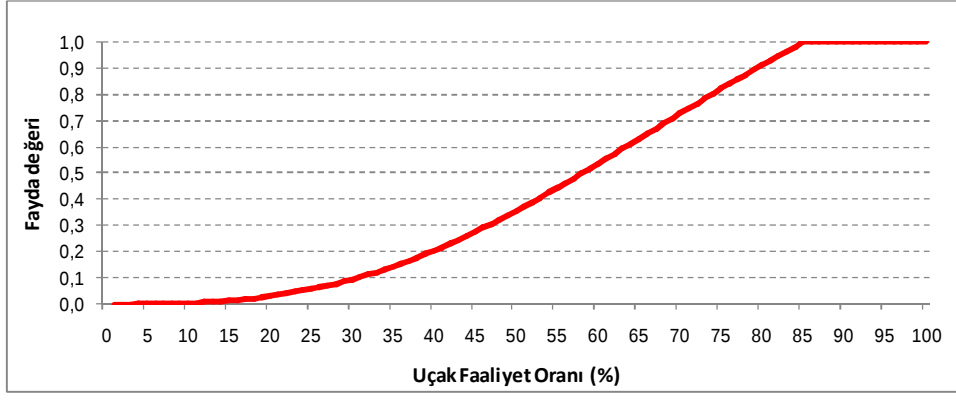
Örneğin, harbe hazırlığın yönetimi kapsamında hava üslerinde standart uçak faaliyet oranının %85 olduğunu düşünelim. Kahraman ve Çebi (2009) tarafından geliştirilen ideal FR tanımı kullanılarak bu standardı $\tilde{S} = (I, m, u) = (0, 85, 85)$ şeklinde bir TFN ile temsil edelim. Bu durumda x uçak faaliyet oranı değerine sahip bir üssün bilgi içeriği Denklem 3.47 ve 3.48'den yararlanarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$I = \begin{cases} \log_2 \frac{1}{\mu(x)} = \log_2 \frac{x-l}{u-l} = \log_2 \frac{x}{85}, & x < 85 \\ 0, & x \geq 85 \end{cases} \quad (3.58)$$

Uçak faaliyet oranı 85 ve üzeri ise bilgi içeriği sıfırdır, aksi takdirde bilgi içeriği $\log_2 \frac{x}{85}$ ile hesaplanır. $[0, 1]$ aralığında bir değer alabilen x için bilgi içerikleri Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere bilgi içeriği $[0, \infty]$ aralığında değişir. $\tanh$ fonksiyonu ile bilgi içeriği $[0, 1]$ aralığına normalize edilir. Fakat, bilgi aksiyomunun temel mantığında bilgi içeriğinin minimumu daha iyidir. Dolayısıyla, $1 - \tanh(I)$ dönüşümü ile x değerinin nihai fayda değeri elde edilir. Sonuç itibariyle, bilgi aksiyomu yukarıda gibi genişletilerek fayda fonksiyonu olarak kullanılabilir. Uçak faaliyet oranı örneğinde ortaya çıkan fayda fonksiyonu Şekil 3.16'da sunulmuştur.



Şekil 3.17 : Uçak faaliyet oranı örneği için muhtemel bilgi içeriği.



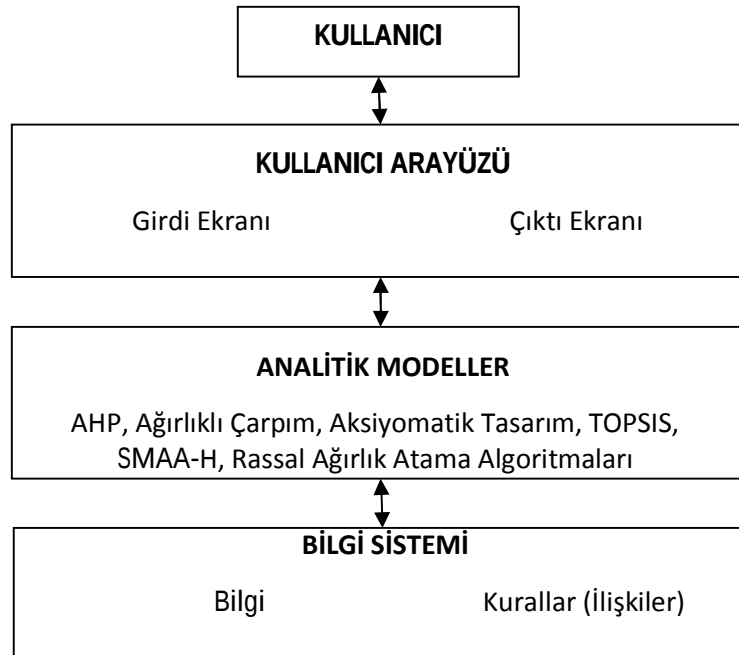
Şekil 3.18 : Uçak faaliyet oranının fayda fonksiyonu.

4. KARAR DESTEK SİSTEMİ ÖNERİSİ

Bu bölümde harbe hazırlığın yönetimine yönelik ÇÖKV yöntemlerine dayalı bir karar destek sistemi önerilecektir. Bu karar destek sistemi gerçek zamanlı ve periyodik olmak üzere iki adet birlik harbe hazırlık durumu değerlendirme modeli içerir. Bu modeller mevcut bilgi sistemlerine kolaylıkla entegre edilebilecek bir mantıkla geliştirilmiş olup, bir önceki bölümde anlatılan yöntem ve algoritmaları içeren bütünleşik yaklaşımlardır.

4.1 Karar Destek Sistemi

Tez kapsamında önerilen karar destek sisteminin ana yapısı Şekil 4.1’de verilmiştir. Bilgi sisteminden birlik harbe hazırlığına yönelik bilgiler ve bu bilgilere ait kurallar anlık ve/veya periyodik olarak elde edilir. Aşağıda detaylı adımları verilen analitik modellerde bu bilgiler ile karar vericiler tarafından girilen veriler sentez edilir. Elde edilen sonuçlar arayüzler vasıtasıyla karar vericilere hem tablosal hem de grafiksel olarak sunulur.



Şekil 4.1 : Geliştirilen karar destek sisteminin ana yapısı.

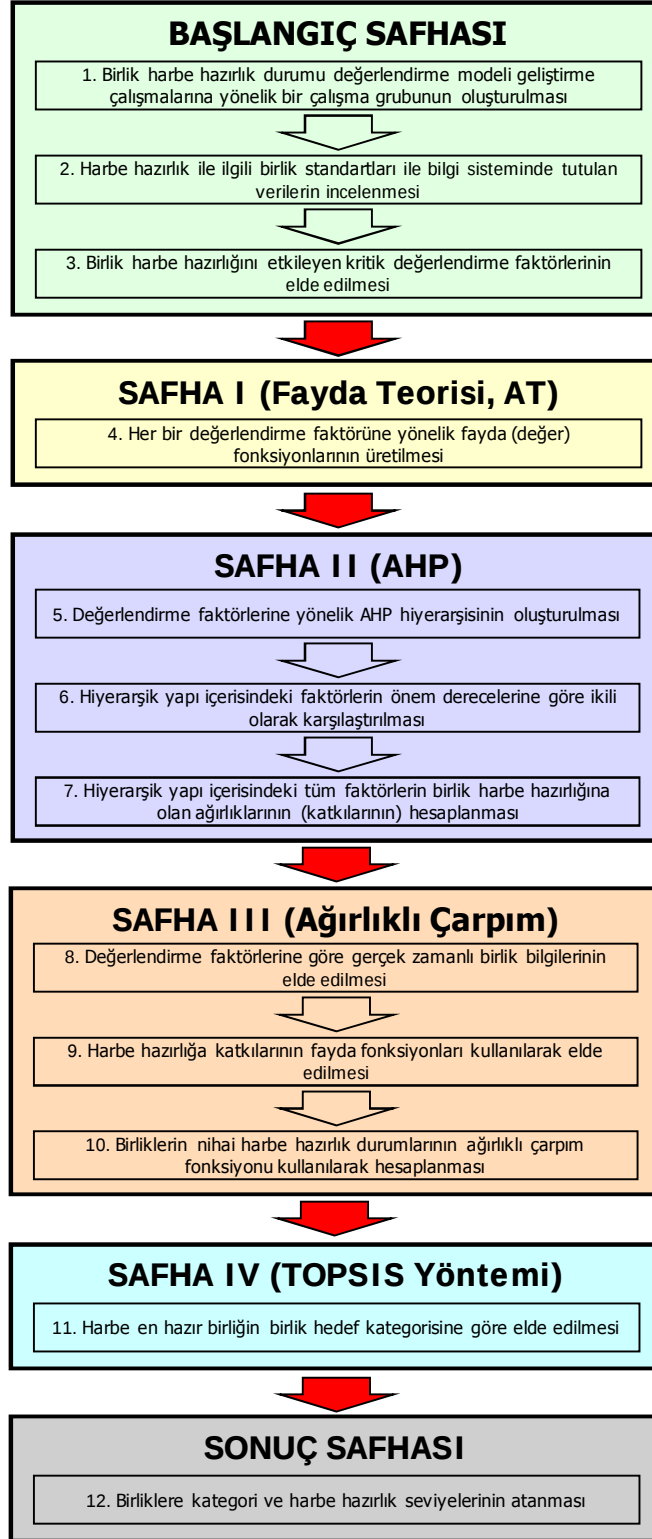
4.2 Gerçek Zamanlı Harbe Hazırlık Değerlendirme Modeli

Model geliştirme esnasında izlenen 6 temel safha Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Öncelikli olarak, başlangıç safhasında bir çalışma grubu oluşturulur. Detaylı bir literatür araştırmasının ardından birlik standartları ve bilgi sistemleri incelenir ve harbe hazırlık değerlendirme faktörleri ortaya çıkarılır. Safha 1’de her bir faktöre ait fayda fonksiyonları fayda teorisi ve bulanık bilgi aksiyomu mantığıyla ortaya konulur. Daha sonrasında Safha 2’de AHP yöntemi ile değerlendirme faktörleri ağırlıklandırılır. AÇ yöntemi ile Safha 3’de birliklerin harbe hazırlık durumları tespit edilir ve TOPSIS yöntemi ile de Safha 4’de harbe en hazır birlik belirlenir. Son olarak, sonuç safhasında birliklere harbe hazırlık seviyesi atanır ve kategori ekleri verilir. İlk 3 safha çalışma grubu tarafından bir defaya mahsus yapılır. 3, 4 ve sonuç safhası dinamik olup, bilgi sisteminden gelen veriler doğrultusunda gerçek zamanlı olarak sürekli olarak çalışır ve karar desteği sağlar.

İhtiyacın tanımlanması sonrasında modelin geliştirilmesi için izlenen süreç Şekil 4.2’de gösterilmiş olup aşağıdaki adımları içerir:

Adım 1. Çalışma grubunun oluşturulması. Gerçekçi ve uygulanabilir bir harbe hazırlık değerlendirme modelinin geliştirilebilmesi maksadıyla (farklı disiplinlerden ve alanında uzman kişilerden) personel, harekât, lojistik, bilgi sistemleri vb. çeşitli başkanlıkların personelinden oluşan bir çalışma grubu oluşturulur. Böylelikle, grup üyeleri arasındaki fikir ayrılıklarının da ele alınarak modelin sağlam bir temele oturtulması hedeflenir. Grup üyeleri modelin oluşturulması aşamasındaki tüm faaliyetlerden sorumlu olur. Bu çalışma kapsamında grup üyelerinin deneyim, bilgi ve sonuca etkilerinin birbirine eşit olduğu düşünülmüş ve uzlaşma yoluyla karar verildiği varsayılmıştır.

Adım 2. Birlik standartları ve bilgi sistemlerinin analizi. Modelin gerçek zamanlı olarak bir karar destek sisteminde kullanımı, modelde gerekli tüm bilgilerin mevcut bilgi sisteminde bulunmasını gerektirir. Diğer taraftan, kuvvetin “*personel, eğitim ve malzeme*” açısından sayısal olarak arzu edilen performansının belirlendiği birlik standartları, mevcut bilgilerin nasıl puanlandırılacağını ve modele nasıl dâhil edileceğini ifade etmelidir. Bu nedenle, model geliştirilmeden önce, modelde kullanılacak bilgilerin birlik standartları ve bilgi sistemlerinde var olup olmadığı, bu bilgi ile ilgili fonksiyonel süreç ve bilginin formatı analiz edilir.



Şekil 4.2 : Gerçek zamanlı değerlendirme modeli geliştirme süreci.

Adım 3. Harbe hazırlık değerlendirme ölçütlerinin tespit edilmesi. Çalışma grubu tarafından harbe hazırlığı etkileyen kritik değerlendirme ölçütleri personel, eğitim ve malzeme ana başlıkları altında belirlenir. Bu ölçütler nicel olabileceği gibi nitel de olabilir. Nicel ölçütler birlik standartları ve bilgi sistemlerindeki mevcut bilgiler

doğrultusunda değerlendirilirken, nitel veriler için gerekli değerlendirmeler çalışma grubu tarafından gerçekleştirilir.

$C_j, j = 1, 2, \dots, n$ birliklerin harbe hazırlığını etkileyen değerlendirme ölçütleri olsun.

Adım 4. Fayda (değer) fonksiyonlarının oluşturulması. Değerlendirme ölçütlerinin her biri için çalışma grubu tarafından birlik standartları kullanılarak fayda fonksiyonları tespit edilir. Bu adımda hem fayda teorisinden hem de bulanık bilgi aksiyomundaki ideal FR tanımından faydalanılır.

$v_j(x), j = 1, 2, \dots, n$ C_j ölçütünün fayda fonksiyonu olsun.

Adım 5. AHP hiyerarşisinin oluşturulması. Personel, eğitim ve malzeme ana değerlendirme ölçütleri doğrultusunda belirlenen alt ölçütlere yönelik AHP ikili karşılaştırmaları için hiyerarşik yapı oluşturulur.

Adım 6. İkili karşılaştırmaların yapılması. Çalışma grubu tarafından hiyerarşik yapı içerisindeki ölçütler bir üst ölçüte göre Çizelge 3.1'deki sözel ifadeler kullanılarak ikili olarak karşılaştırılır. Karşılaştırma esnasında “bir üst ölçüte göre iki ölçütten hangisi daha fazla önemlidir ve ne kadar?” sorusuna verilen cevaplarla aşağıdaki matris oluşturulur.

$$P = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & a_{2n} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

burada; P ikili karşılaştırma matrisi, n ölçüt sayısı ve a_{ij} ise i .nci ölçütün j .nci ölçüte göreceli önem derecesini ifade eder.

Adım 7. Ölçüt ağırlıklarının elde edilmesi. AHP yöntemi ile yerel ağırlık vektörü, her bir ikili karşılaştırma matrisi için öncelikle sütun normalizasyonu, ardından satır ortalaması alınarak aşağıda gösterildiği gibi elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ki}} \right)}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

burada; w_i i .nci ölçütün göreceli ağırlığı, n ölçüt sayısı, a_{ij} ise i .nci ölçütün j .nci ölçüte göreceli önem derecesini ifade eder ve $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Her bir ikili karşılaştırma matrisi için göreceli ağırlık vektörü elde edildikten sonra, bu değerler sentez edilerek hiyerarşik yapı içerisindeki tüm ölçütlerin genel ağırlıkları hesaplanır.

Adım 8. Birlik bilgilerinin elde edilmesi. Bilgi sistemlerinden değerlendirme sürecinde gerekli birlik bilgileri gerçek zamanlı olarak elde edilir. A_i birliğinin harbe hazırlık değerlendirme ölçütlerine göre performans bilgi vektörü aşağıdaki gibi olsun.

$$D_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}], \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

Adım 9. Harbe hazırlığa katkının hesaplanması. Gerçek zamanlı birlik bilgileri fayda fonksiyonuna aktarılır ve A_i birliğinin değerlendirme ölçütleri doğrultusunda bilgilerinin harbe hazırlığa katkısı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$r_{ij} = v_j(x_{ij}), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.4)$$

burada, r_{ij} , $j = 1, 2, \dots, n$ birlik harbe hazırlığına katkı değerini ifade eder.

Adım 10. Katkıların birleştirilerek birliğin nihai harbe hazırlığının elde edilmesi. A_i birliğinin harbe hazırlık değeri, $CR(A_i)$, ölçütlerden elde edilen katkı değerlerinin aşağıdaki çarpımlı fonksiyon kullanılarak birleştirilmesi ile hesaplanır:

$$CR(A_i) = \prod_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.5)$$

burada, $0 \leq CR(A_i) \leq 1$ şeklindedir. Birlik harbe hazırlığının yüzde olarak izlenebilmesi için bu değer daha sonrasında 100 ile çarpılır.

Adım 11. Birlik standartlarını karşılama durumunun hesaplanması. Bu adımda, her bir birliğin hedeflenen personel, eğitim ve malzeme standart değerleri ile mevcut değerleri kullanılarak TOPSIS yöntemi algoritması ile bir sıralama elde edilir. Her bir birliğin birlik standartlarına göre hedef kategorisi farklı olabileceği için birliğin nihai harbe hazırlık durum puanına göre sıralama yapılması mantıklı olmaz. Birliğin

sahip olması gereken hedef personel standardının P_i^S , eğitim standardının E_i^S ve malzeme standardının ise M_i^S olduğunu varsayalım. Aslında bu değerler, TOPSIS yönteminin uygulanmasının 3. adımında belirlenen pozitif ideal çözüm kümesidir. Negatif ideal kümesi ise 0 elemanını içerir. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{P_i^S, E_i^S, M_i^S\} \\ A^- &= \{0, 0, 0\} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Birliğin mevcut bilgileri doğrultusunda hesaplanan personel durumunun P_i^M , eğitim durumunun E_i^M , malzeme durumunun ise M_i^M olduğunu varsayalım.

TOPSIS yönteminin kullanılmasındaki temel mantık; bir birliğin algoritmalar sonucunda hesaplanan personel, eğitim ve malzeme durumlarının birlik standartları doğrultusunda hedeflenen değerlere göre vektör uzayında yakınlığının tespit edilmesi ve bu değere göre bir sıralama elde edilmesidir. Dolayısıyla, aslında tez kapsamında sadece pozitif ideal kümesi de kullanılabilir. Bu adımdan sonra birlik sıralamaları (veya harbe en hazır birliği) elde etmek amacıyla TOPSIS yönteminin 4, 5 ve 6'ncı adımları uygulanır.

Her bir birliğin pozitif ideal çözüme olan uzaklığı pozitif ideal ayırım (S_i^+) olarak ifade edilir ve aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$\begin{aligned} SP_i^+ &= \begin{cases} (P_i^S - P_i^M)^2 & , \quad 0 \leq P_i^M < P_i^S \\ 0 & , \quad P_i^S \leq P_i^M \end{cases} \\ SE_i^+ &= \begin{cases} (E_i^S - E_i^M)^2 & , \quad 0 \leq E_i^M < E_i^S \\ 0 & , \quad E_i^S \leq E_i^M \end{cases} \\ SM_i^+ &= \begin{cases} (M_i^S - M_i^M)^2 & , \quad 0 \leq M_i^M < M_i^S \\ 0 & , \quad M_i^S \leq M_i^M \end{cases} \\ S_i^+ &= \sqrt{(SP_i^+ \cdot w_P) + (SE_i^+ \cdot w_E) + (SM_i^+ \cdot w_M)}, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (4.7)$$

Benzer bir şekilde, her bir birliğin negatif ideal çözüme olan uzaklığı negatif ideal ayırım (S_i^-) olarak ifade edilir ve aşağıdaki formüller ile hesaplanır:

$$S_i^- = \sqrt{((P_i^M)^2 \cdot w_P) + ((E_i^M)^2 \cdot w_E) + ((M_i^M)^2 \cdot w_M)}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.8)$$

İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin (C_i^*) hesaplanması aşağıdaki formülde gösterilmektedir:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4.9)$$

Son olarak, birlikler göreli yakınlık değerlerine göre azalan bir şekilde sıralanır. En büyük C_i^* değerine sahip birlik harbe en hazır birlik olarak ifade edilebilir.

Adım 12. Birliklere kategori ve harbe hazırlık seviyelerinin atanması. Birliklerin personel, malzeme ve eğitim durumları algoritma neticesinde hesaplandıktan sonra Çizelge 2.1'deki aralık değerleri dikkate alınarak birliklere harbe hazırlık seviyeleri tahsis edilir.

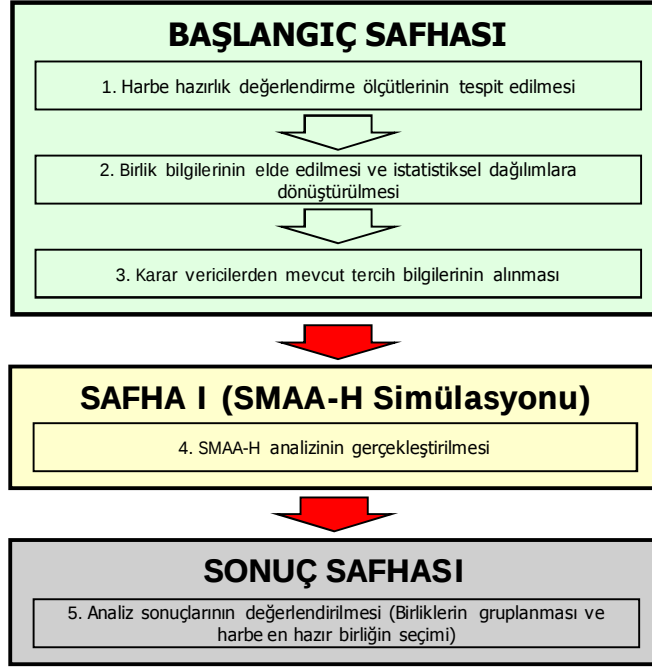
Daha sonrasında, birliklerin personel, malzeme ve eğitim eksikliklerini belirtmek amacıyla birliklere, uluslararası bir gösterge niteliği taşıyan çeşitli harfler (kategori ekleri) Bölüm 2'de yer alan mantıkla tahsis edilir. Bu harfler, karar vericilerin olası sorun sahalarını en kısa sürede tespit edebilmesi ve gerekli analizleri yaparak düzeltici işlemlere başlatabilmesini sağlar.

4.3 Periyodik Harbe Hazırlık Değerlendirme Modeli

Bu model SMAA yöntemi ile Macar tekniğinin özgün bir şekilde birleşik kullanımı ile oluşturulan SMAA-H yöntemine dayanır. Ayrıca, eksik tercih bilgilerini ele alabilmek üzere özgün olarak geliştirilmiş RA3, SMAA-H simülasyonu içerisinde kullanılabilir. Modelde izlenen süreç Şekil 4.3'de gösterilmiş olup aşağıdaki adımları içerir:

Adım 1. Harbe hazırlık değerlendirme ölçütlerinin tespit edilmesi. Karar vericiler tarafından harbe hazırlığı etkileyen kritik değerlendirme ölçütleri personel, eğitim ve malzeme ana başlıkları altında belirlenir. Bunun dışında, belirlenen bir amaç doğrultusunda bu ölçütlerin bir alt kümesi de ele alınabilir.

Adım 2. Birlik bilgilerinin elde edilmesi. Bilgi sisteminden değerlendirme sürecinde gerekli birlik bilgileri elde edilir. Birliklerin ölçütlerden aldığı değerler seçilen dönem içerisinde ortalama ve standart sapması hesaplanarak normal dağılım olarak modellenir.



Şekil 4.3 : Periyodik değerlendirme modeli geliştirme süreci.

Adım 3. Tercih bilgilerinin alınması. SMAA-H simülasyonu için 4 farklı tercih bilgisi dikkate alınabilir: Karar verici tercih bilgisi olarak;

- Herhangi bir bilgi,
- Ölçütlerin önem sırası bilgisi,
- Ölçüt ağırlık aralık değerleri (alt ve üst sınır bilgisi) veya
- Yukarıdakileri içeren karmaşık tercih bilgisi

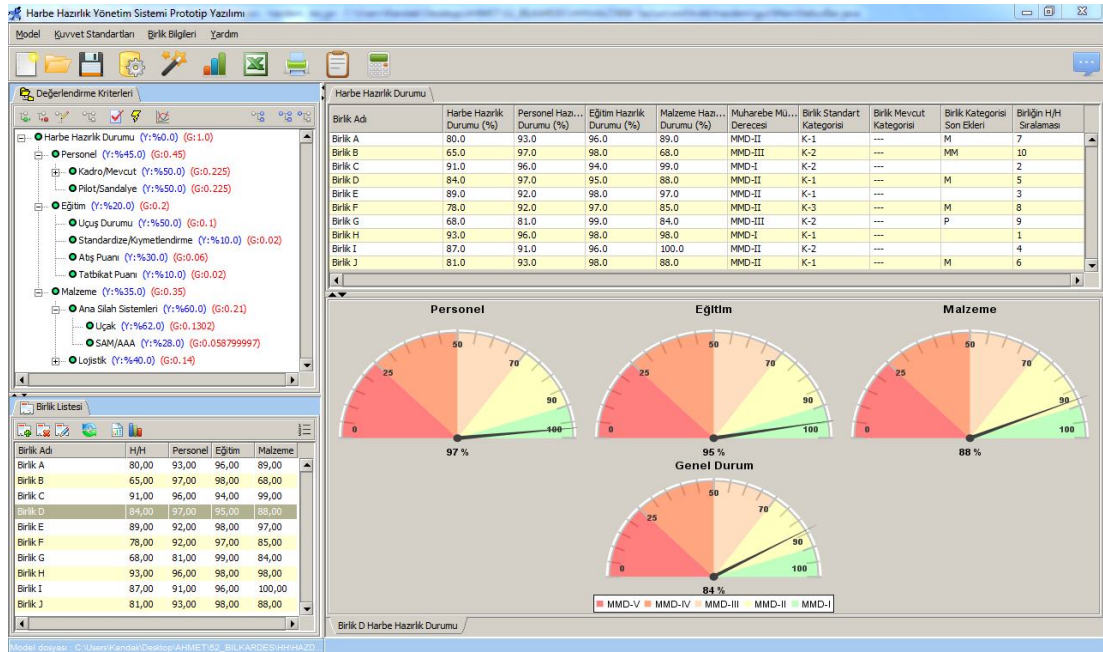
girebilir. Her bir tercih bilgisine yönelik olarak geliştirilmiş algoritmaların JAVA ve MATLAB kodları Ek-B’de verilmiştir.

Adım 4. SMAA-H analizinin gerçekleştirilmesi. SMAA-H analizi hesaplamaları için program kodları Ek-A’da verilen Monte Carlo simülasyonu ile 10000 adet iterasyon yapılır.

Adım 5. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi. SMAA-H yönteminin 3 temel çıktısı olan sıralama kabul edilebilirlik indeksleri, merkezi ağırlık vektörü ve güvenilirlik faktörleri yorumlanır. Ayrıca, birlikler kabul edilebilirlik indeksleri doğrultusunda hem çeşitli kategorilere ayrılır hem de belirli bir operasyon için harbe en hazır birlik seçilir. Son olarak, simülasyon sonuçları doğrultusunda karar vericilere kaynak planlamasına yönelik tavsiyelerde bulunulur.

4.4 Prototip Yazılım

Tez kapsamında harbe hazırlığın yönetimine yönelik önerilen karar destek sisteminin gerçek hayatta kullanılabilirliğini sağlamak üzere JAVA programlama dili ve XML (ing.: eXtensible Markup Language) ile özgün, modüler, esnek ve tekrar kullanılabilir bir prototip yazılım geliştirilmiştir. Şekil 4.4’de ana ekran görüntüsü sunulan bu yazılımda, birliklere ait uçak, mühimmat, personel, eğitim durumu vb. bilgiler ile birlik standartları Microsoft Excel dosyasında tutulur.



Şekil 4.4 : Geliştirilen karar destek sisteminin ana ekran görüntüsü.

Yazılım, harbe hazırlık yönetim sürecinde yukarıda bahsedilen modellerin işletilmesi ile karar vericilere sayısal değerler sunarak durumsal farkındalığı artırır. Ayrıca, büyük bir bilgi sisteminden verileri özet şeklinde gerçek zamanlı olarak karar vericilere sunarak stratejik bir yönetim aracı görevini üstlenir.

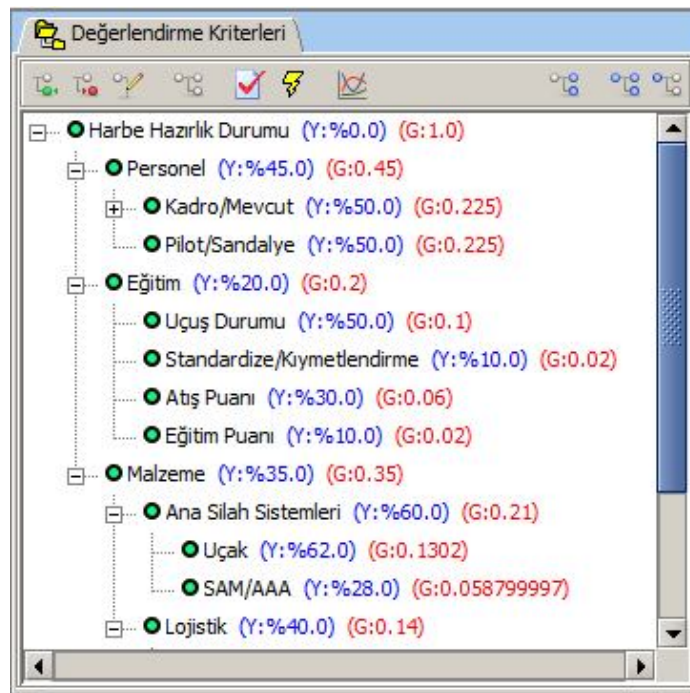
Geliştirilen bu yazılım aşağıdaki yeteneklere sahiptir:

- Değerlendirme ölçütleri anlık olarak değiştirilebilir.
- Modeller XML formatında saklanır, farklı modeller aynı anda çalıştırılabilir.
- Birlik bilgileri ve kuvvet standartları takip edilebilmektedir.
- Bilgiler hem tablosal hem de grafiksel olarak sunulabilir.
- Birliklerin anlık olarak hem personel, eğitim ve malzeme ana faktörleri hem de genel harbe hazırlığı elde edilebilir.

- Farklı standartlara sahip birliklerden hangisinin daha çok harbe hazır olduğu ortaya konulabilir.
- Birliklere harbe hazırlık seviyesi ve kategori ekleri ataması otomatik olarak gerçekleştirilebilir.
- Harbe hazırlık durumundaki yetersizlik ve aksaklıkları etkileyen zafiyetler kolaylıkla ortaya çıkarılabilir.
- Birlik harbe hazırlığının zaman boyutunda incelenmesi ile nispi değişimin eğilim analizi gerçekleştirilebilir.

4.4.1 Model oluşturma arayüzleri

Kullanıcı, ana ekranda “Model” menüsü altında yeni bir model oluşturma, modeli kaydetme ya da var olan bir modeli açma seçeneklerinden birini tercih eder. Daha sonra ana ekran görüntüsünün sol üst tarafında değerlendirme ölçütleri bölümünden (Şekil 4.5) ölçütler girilir. Bunun için, üst tarafta yer alan araç çubuğundaki ölçüt ekle, sil, düzelt ile ölçüt ağacını genişlet, daralt vb. fonksiyonları içeren düğmeler kullanılır. Ölçütler sisteme girildikten sonra, bu ölçütlerin ağırlıklandırılması için Şekil 4.6’da gösterilen ekrandan seçilen bir yöntem için tercih bilgileri girilir. Hesapla düğmesine basılarak ölçütleri ağırlıkları elde edilir. Değerlendirme ölçütleri hiyerarşisinde mavi renk ile yerel ağırlıklar, kırmızı ile ise genel ağırlıklar gösterilir.



Şekil 4.5 : Değerlendirme ölçütleri hiyerarşisi.

% Doğrudan Ağırlık Girişi Basit Ağırlıklı Toplam (SAW) Yöntemi İkili Karşılaştırma (AHP) Yöntemi Sıralama Yöntemi

İkili karşılaştırma matrisi

<< AHP >>	Uçuş Durumu	Standardize	Atış Puanı	Tatbikat Puanı	...	Ağırlık
Uçuş Durumu	1	1	1	1		
Standardize	1	1	1	1		
Atış Puanı	1	1	1	1		
Tatbikat Puanı	1	1	1	1		
Sütun Toplamı:						
Tutarlılık Oranı:						

Kaydet Hesapla

Şekil 4.6 : Değerlendirme ölçütleri ağırlıklandırma ekranları.

Ana ekran görüntüsünün sol alt tarafta ise harbe hazırlık durumları takip edilmek istenen birlik listesi yer alır (Şekil 4.7). Aynı şekilde, üst tarafta yer alan araç çubuğunda ise birlik ekle, sil, düzelt ile harbe hazırlık detaylarını göster, birlikleri sırala vb. fonksiyonları içeren düğmeler bulunur. Birlik listesinde ise birlik isminin yanında birliğin model sonucunda hesaplanan genel harbe hazırlık durumu ile personel, eğitim ve malzeme hazırlık durumları gösterilir.

Birlik Listesi

Birlik Adı	H/H	Personel	Eğitim	Malzeme
Birlik A	80,00	93,00	96,00	89,00
Birlik B	65,00	97,00	98,00	68,00
Birlik C	91,00	96,00	94,00	99,00
Birlik D	84,00	97,00	95,00	88,00
Birlik E	89,00	92,00	98,00	97,00
Birlik F	78,00	92,00	97,00	85,00
Birlik G	68,00	81,00	99,00	84,00
Birlik H	93,00	96,00	98,00	98,00
Birlik I	87,00	91,00	96,00	100,00
Birlik J	81,00	93,00	98,00	88,00

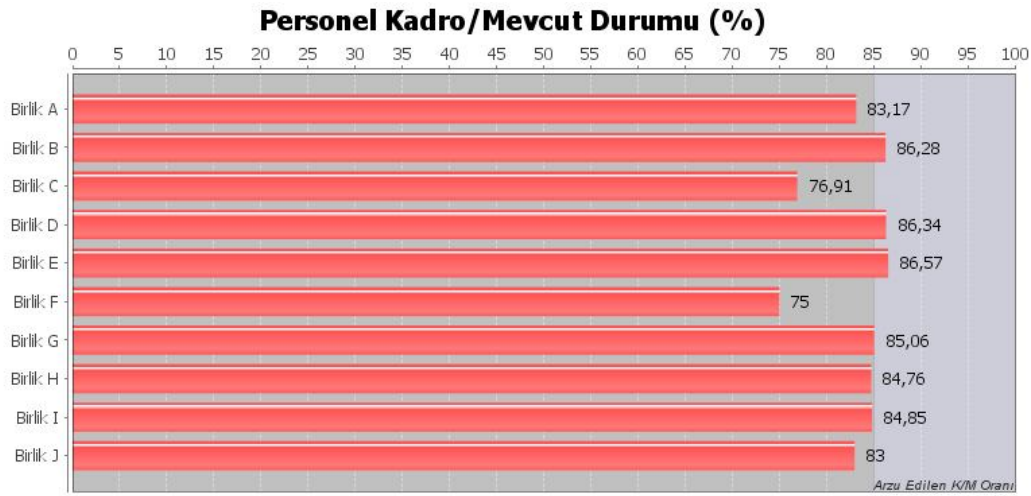
Şekil 4.7 : Değerlendirilmek istenen birlik listesi.

4.4.2 Birlik bilgileri ve standartlarını görüntüleme arayüzleri

Kullanıcı, ana ekranda “Birlik Bilgileri” ve “Birlik Standartları” menüsü altındaki alt menülerden erişim yoluyla birlikler ile ilgili tüm bilgileri takip edebilir. Ayrıca, hiyerarşik yapıdaki ölçütlere tıklanarak da bu bilgiler kolaylıkla takip edilebilir. Ölçütlere yönelik birliklerin standart ve mevcut bilgileri tablo olarak ana ekran

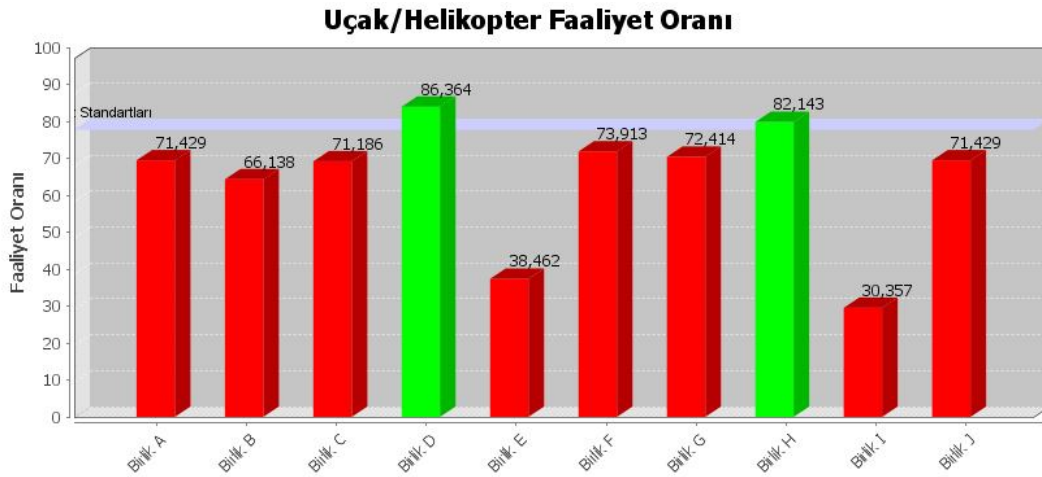
görüntüsünün sağ üst tarafındaki, grafiksel olarak ise ana ekran görüntüsünün sağ alt tarafındaki arayüzler ile gösterilir. Tablolarda detaylı bilgiler görüntülenirken, grafiklerde genellikle model hesaplamalarına girdi teşkil eden özet bilgiler görüntülenir. Bu tez kapsamında geliştirilen arayüzler ileride bilgi sistemlerine entegre geliştirilecek karar destek sistemleri için güzel bir örnek teşkil ederler.

Örnek olarak birliklerin kadro/mevcut durumu ile birlik standartlarında yer alan %85 eşik değeri aşağıdaki grafikte görüntülenmiştir. Bu grafik sayesinde birliklerin personel kadro/mevcut standartlarını karşılama durumu kolaylıkla gözlemlenebilir.



Şekil 4.8 : Personel kadro/mevcut durumu grafiği.

İkinci bir örnek olarak birliklerin uçak/helikopter faaliyet oranı grafiğini gösterelim (Şekil 4.9). Dikkat edilirse, uçak faaliyet oranı standartlarını (%80) karşılayamayan birlikler kırmızı renk ile, karşılayanlar ise yeşil renk ile gösterilmiştir. Bu görsel zenginlik karar vericilerin kısıtlı zamanına hitap edebilir.



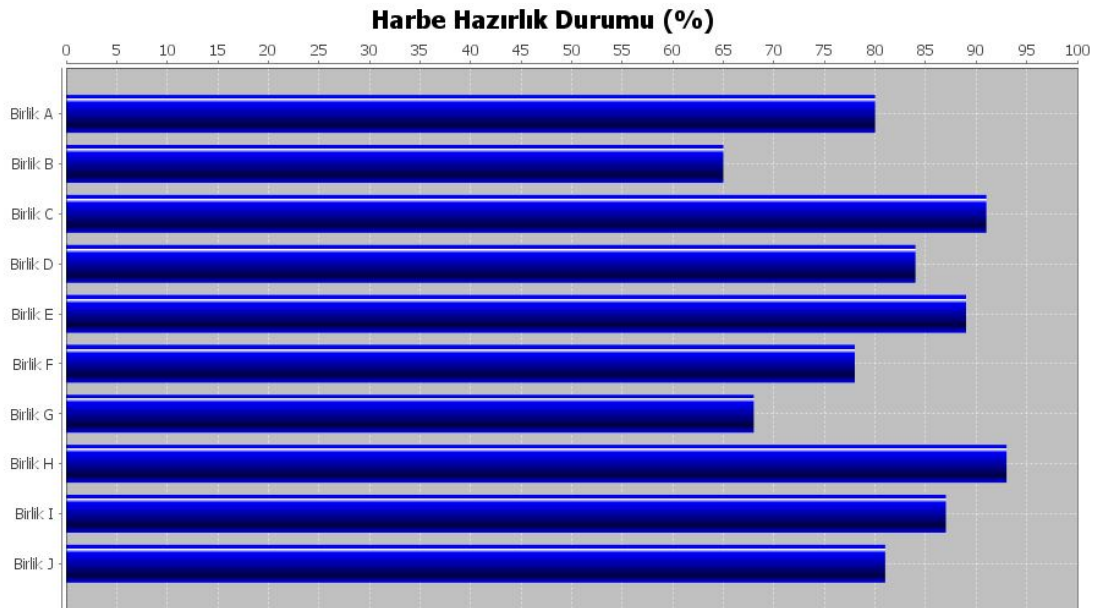
Şekil 4.9 : Uçak faaliyet oranı grafiği.

4.4.3 Model sonuçlarını görüntülenme arayüzleri

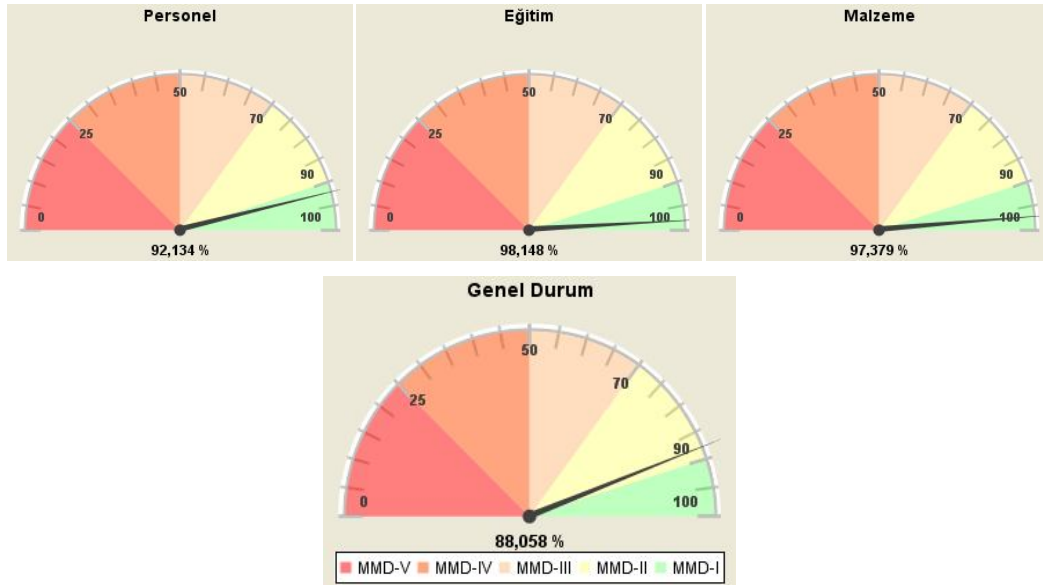
Yazılımda kodlanan değerlendirme modellerin işletilmesi sonucunda oluşan sonuçlar da hem tablosal hem de grafiksel olarak gösterilir. Şekil 4.10 örnek olarak tablo yapısındaki model sonuçlarını sunar. Öncelikli olarak birliklerin genel harbe hazırlığı ve personel, eğitim ve malzeme harbe hazırlık durumları, daha sonrasında ise sırasıyla birliğe otomatik olarak atanan muharebe müesseriye derecesi, birliğin standartlara göre kategorisi, mevcut kategori son eki, son olarak da birliğin harbe hazırlık durumuna göre sırası verilir. Şekil 4.11’de ise örnek olarak tüm birliklerin nihai harbe hazırlık durumlarının grafiksel gösterimi yer alır. Grafiksel gösterimde sadece birliklerin genel harbe hazırlık puanları gösterilir. Bir birliğe ait personel, eğitim, malzeme ve genel harbe hazırlık durumları kokpit mantığıyla Şekil 4.12’de gibi sunulur.

Harbe Hazırlık Durumu									
Birlik Adı	Harbe Hazırlık Durumu (%)	Personel Hazırlık Durumu (%)	Eğitim Hazırlık Durumu (%)	Malzeme Hazırlık Durumu (%)	Muharebe Müesseriye Derecesi	Birlik Standart Kategorisi	Birlik Mevcut Kategorisi	Birlik Kategorisi Son Eklere	Birliğin H/H Sıralaması
Birlik A	80.0	93.0	96.0	89.0	MMD-II	K-1	---	M	7
Birlik B	65.0	97.0	98.0	68.0	MMD-III	K-2	---	MM	10
Birlik C	91.0	96.0	94.0	99.0	MMD-I	K-2	---		2
Birlik D	84.0	97.0	95.0	88.0	MMD-II	K-1	---	M	5
Birlik E	89.0	92.0	98.0	97.0	MMD-II	K-1	---		3
Birlik F	78.0	92.0	97.0	85.0	MMD-II	K-3	---	M	8
Birlik G	68.0	81.0	99.0	84.0	MMD-III	K-2	---	P	9
Birlik H	93.0	96.0	98.0	98.0	MMD-I	K-1	---		1
Birlik I	87.0	91.0	96.0	100.0	MMD-II	K-2	---		4
Birlik J	81.0	93.0	98.0	88.0	MMD-II	K-1	---	M	6

Şekil 4.10 : Birliklerin harbe hazırlık durumu detayları.



Şekil 4.11 : Birliklerin harbe hazırlık durumları grafiği.



Şekil 4.12 : Bir birliğin harbe hazırlık durumu kokpiti.

5. UYGULAMALAR

Askeri hava üssü, kısaca askeri bir meydana konuşlu, askeri uçakların operasyonları için teşkil edilmiş birlik şeklinde ifade edilebilir. Sivil hava meydanlarına benzer bir şekilde hava kontrol kulesi, pist, yakıt deposu vb. tesislerin yanında uçak hangarları, mühimmat deposu gibi özel tesisleri içerir. Ayrıca, teşkilatında filo, bakım, arama kurtarma vb. çeşitli birlikleri barındırır. Hava kuvvetlerinin asıl vurucu gücü uçaklarının operasyonlarından sorumlu olan hava üsleridir. Tüm hava kuvvetlerinin harbe hazırlığının yönetiminde hava üsleri önemli bir yer tutar. Bu nedenle, bu bölümde çalışma kapsamında geliştirilen modeller ile üs harbe hazırlığının gerçek zamanlı ve periyodik değerlendirilmesi ele alınacaktır.

Son olarak, uygulamada kullanılan ölçütler ve sayısal veriler tamamen sanaldır, modellerin kolay anlaşılabilmesi için uygulamalar basit tutulmuştur.

5.1 Gerçek Zamanlı Değerlendirme Modeli Uygulaması

Bu uygulamanın amacı, askeri hava üslerinin gerçek zamanlı olarak harbe hazırlık durumu değerlendirmelerini önerilen model ile örneklemektir. Bu değerlendirme sonucunda üslerin sayısal harbe hazırlık puanları elde edilecek, bu puanlara göre otomatik olarak harbe hazırlık seviyeleri ve birlik kategorileri tahsis edilecektir. Günümüzde halen bu hususlar, üslerin yıllık olarak tatbikat ve denetleme sonuçlarına göre subjektif olarak icra edilmektedir. Bu uygulama, geliştirilen modelin bilgi sistemlerine entegre edilmesi halinde bu mevcut sürecin nasıl daha etkin ve otomatik hale getirilebileceği konusunda karar vericilere fikir vermesi açısından önemlidir.

Örnek uygulama bir önceki bölümde modelin anlatımında olduğu gibi adım adım verilecektir:

Adım 1. Personel, istihbarat, harekât ve lojistik başkanlıklarından katılan uzman personel ile bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Grup üyeleri modelin oluşturulması aşamasındaki tüm faaliyetlerden sorumlu olmuştur. Bu çalışmada grup üyelerinin

deneyim, bilgi ve sonuca etkilerinin birbirine eşit olduğu düşünölmüş ve uzlaşma yoluyla karar verildiği varsayılmıştır.

Adım 2. Kuvvet standartları ve bilgi sistemleri analiz edilerek model için gerekli bilgiler kontrol edilmiştir.

Mevcut birlik bilgilerinin birlik standartları dikkate alınarak nasıl puanlandırılacağı ve modele nasıl dâhil edileceği konusunda fikir edinilmiştir. Ayrıca, modelde kullanılacak bilgilerin bilgi sistemlerinden nasıl elde edileceği üzerinde durulmuştur.

Adım 3. Çalışma grubu tarafından harbe hazırlığı etkileyen kritik değerlendirme ölçütleri personel, eğitim ve malzeme ana başlıkları altında belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Personelin altında kadro/mevcut durumu ve pilot/uçak oranı, eğitimin altında tatbikat puanı, uçuş durumu ve atış puanı, malzemenin altında ise uçak faaliyet oranı, hava savunma sistemi etkinliği, mühimmat durumu, yedek parça ve akaryakıt dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.1 : Hava üslerine yönelik harbe hazırlık değerlendirme ölçütleri.

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler
Personel	Kadro/Mevcut
Eğitim	Pilot/Uçak
	Tatbikat
	Uçuş durumu
	Atış puanı
Malzeme	Uçak faaliyet oranı
	Hava savunma sistemi
	Mühimmat durumu
	Yedek parça
	Akaryakıt

Personel kadro/mevcut durumu ve pilot/uçak oranı personel durumunu belirlemede kullanılan en kritik iki ölçüttür. Kadro/mevcut durumu mevcut personel sayısının kadrodaki sayıya bölümü ile elde edilir ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Pilot/uçak oranı, olası bir harp esnasında yeterince uçuş sortisi üretilebilmek için önemli bir parametredir. Bu parametreyi yüksek seviyelerde tutabilmek için her üs önceden belirlenen miktarlarda pilot bulundurmak zorundadır. Pilot/uçak oranı, pilot sayısının mevcut uçak sayısına bölümü ile elde edilir.

Eğitimin altında yer alan tatbikat puanı, üslere yıllık olarak icra edilen harbe hazırlık değerlendirme tatbikatlarından sonra tahsis edilen puandır. Her bir pilotun harbe hazırlığını devam ettirmesi ve yeteneklerini yitirmemesi için her ay standartlarda

belirtilen saat kadar uçuşması gerekmektedir. Uçuş durumu bir pilotun gerçekleştirdiği uçuş saatinin planlanan saate bölümü ile elde edilir. Üssün uçuş durumu puanı ise tüm pilotların ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Atış puanı, bir pilotun gerçek veya eğitim mühimmatı kullanarak yaptığı atışların neticesinde aldığı bir değerdir. Atış puanı da aynı şekilde ortalama yöntemi kullanılarak birleştirilip, üssün genel puanı elde edilir.

Uçak faaliyet oranı da, olası bir harp esnasında yeterince uçuş sortisi üretilebilmek için kritik bir parametredir. Bu parametre bakım faaliyetleri, yedek parça gibi diğer ölçütler ile yakından ilişkilidir. Uçak faaliyet oranı, bir üsdeki faal uçak sayısının mevcut uçak sayısına bölümü olarak ifade edilir. Her üs kendi öz savunması için belirli miktarda hava savunma sistemi barındırmak zorundadır. Hava savunma sistemlerinin performansı, sistemin alt bileşenlerinin ayrı ayrı puanlanıp bu puanların birleştirilmesi ile elde edilir. Barış zamanında üslerin her an harbe hazır olması için yeterli miktarda mühimmat, yedek parça ve akaryakıt depolaması gerekmektedir. Bu ölçütlerin puanları, basit bir şekilde mevcudun depolanması gerekene oranı ile bulunur.

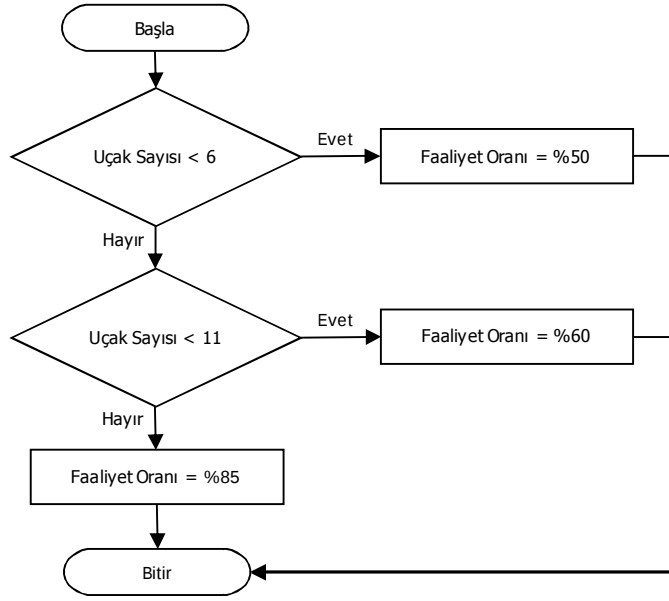
Adım 4. Değerlendirme ölçütlerinin her biri için çalışma grubu tarafından birlik standartları kullanılarak fayda fonksiyonları tespit edilmiştir. Bu adımda temel olarak bulanık bilgi aksiyomundaki ideal FR tanımından faydalanılmıştır.

Örnek olarak, uçak faaliyet oranı fayda fonksiyonunu inceleyelim. Birlik standartlarına göre, envanterinde 1-5 uçak bulunduran üslerde uçak faaliyet oranının %50, 6-10 uçak bulunduran üslerde ise uçak faaliyet oranının %60 olarak hedeflendiğini düşünelim. Envanterinde 10'dan fazla uçak bulunduran üslerde mevcut uçak tipine göre faaliyet oranının değiştiğini varsayalım. F-16 için bu standardı %85 kabul edelim. F-16 uçağı bulunduran bir üs için faaliyet oranının ne olması gerektiği Şekil 5.1'deki algoritma ile elde edilir.

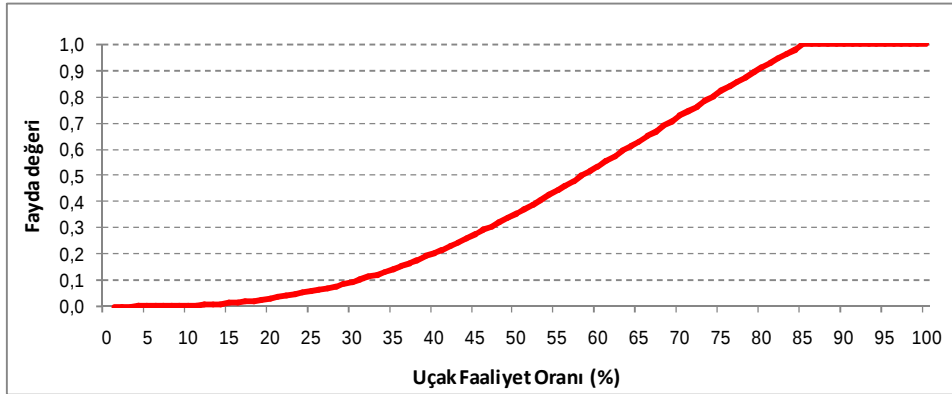
İncelenen üsde 10'dan daha fazla uçak olduğunu varsayalım. İdeal FR tanımı kullanılarak bu üs için faaliyet oranı standardı $\tilde{S} = (l, m, u) = (0, 85, 85)$ şeklinde bir TFN ile temsil edilir. Üssün mevcut uçak faaliyet oranı (x); 85 ve üzeri ise bilgi içeriği sıfırdır, aksi takdirde $[0, 1]$ aralığında değişen ve karar matrisindeki performans değeri gibi kullanılabilen bilgi içeriği Denklem 3.47, 3.48 ve 3.57'den yararlanarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$I = \begin{cases} 1 - \tanh\left(\log_2 \frac{x}{85}\right), & x < 85 \\ 1, & x \geq 85 \end{cases} \quad (5.1)$$

Bilgi aksiyomu kullanılarak oluşturulan uçak faaliyet oranının fayda fonksiyonu Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



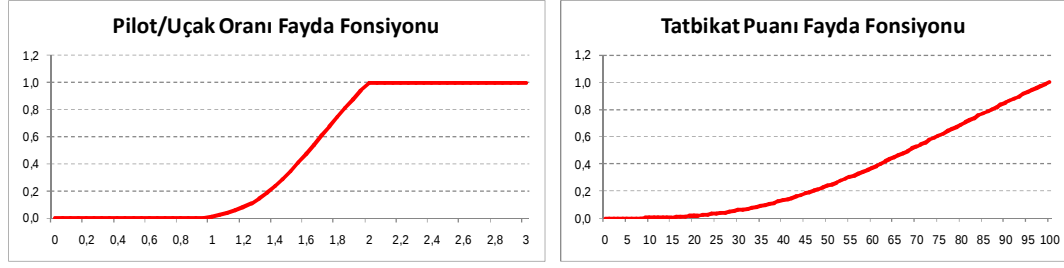
Şekil 5.1 : Uçak için faaliyet oranı hesaplama algoritması.



Şekil 5.2 : Uçak faaliyet oranının fayda fonksiyonu.

Benzer şekilde diğer ölçütler için de fayda fonksiyonları oluşturulmuştur. Pilot/uçak oranı ve tatbikat puanı fayda fonksiyonları Şekil 5.3’de sunulmuştur.

Adım 5. İkili karşılaştırmalar için personel, eğitim ve malzeme ana değerlendirme ölçütleri doğrultusunda belirlenen alt ölçütlere yönelik klasik AHP hiyerarşisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.3 : Pilot/uçak oranı ve tatbikat puanı fayda fonksiyonları.

Adım 6. Çalışma grubu tarafından hiyerarşik yapı içerisindeki ölçütler bir üst ölçüte göre Çizelge 3.1'deki sözel ifadeler kullanılarak ikililer olarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında, ikili karşılaştırmalarda grup üyelerinin uzlaşmaya vararak ortak bir değer atadığı varsayılmıştır.

Adım 7. Klasik AHP yöntemi ile kullanılarak elde edilen ölçüt ağırlıkları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : Harbe hazırlık değerlendirme ölçütlerinin ağırlıkları.

Ana Ölçütler	Alt Ölçütler	Ağırlık
Personel	Kadro/Mevcut	0.174
	Pilot/Uçak	0.087
Eğitim	Tatbikat	0.193
	Uçuş durumu	0.083
	Atış puanı	0.052
Malzeme	Uçak faaliyet oranı	0.196
	Hava savunma sistemi	0.091
	Mühimmat durumu	0.049
	Yedek parça	0.055
	Akaryakıt	0.020

Çizelge 5.2'ye göre en önemli üç harbe hazırlık değerlendirme ölçütü sırasıyla uçak faaliyet oranı, tatbikat puanı ve kadro/mevcut durumudur. Her üç ölçüt de birbirine yakın öneme sahiptir. Dikkat edilirse, bu üç ölçüt farklı gruplarda yer almakta ve kendi grubu içerisinde harbe hazırlığa katkısı diğerlerinden çok daha fazladır.

Adım 8. A, B, C, D ve E üslerinin değerlendirme için gerekli birlik bilgileri sistemden elde edilmiştir (Çizelge 5.3). Bu adım ve sonrakiler için karar vericilerden herhangi bir bilgi talep edilmemektedir. Diğer bir ifade ile, daha önceki adımlarda yapılan işlemler ana modelin kurulmasına yönelik bir defalık işlemlerdir. Bundan sonra ise, bu modelin mevcut bir bilgi sistemine entegre edilmesi halinde sürekli bir

faaliyettir. Bilgilerin sistemden düzenli olarak çekilerek güncellenmesi sonucunda model çıktıları da değişmektedir.

Adım 9. Birlik bilgileri fayda fonksiyonuna aktarılarak her bir değerlendirme ölçütü için bu bilgilerin katkısı elde edilmiş ve bu katkılar Çizelge 5.4’de sunulmuştur.

Çizelge 5.3 : Hava üslerine ait bilgiler.

Ölçütler	Hava üsleri				
	A	B	C	D	E
Kadro/Mevcut	78	89	82	75	92
Pilot/Uçak	1.8	1.87	1.92	1.96	2.16
Tatbikat	85	90	95	100	80
Uçuş durumu	96	94	97	98	88
Atış puanı	78	84	84	82	81
Uçak faaliyet oranı	82	72	75	79	80
Hava savunma sistemi	100	74	88	96	95
Mühimmat durumu	100	70	100	65	90
Yedek parça	98	60	73	90	97
Akaryakıt	100	75	96	100	80

Çizelge 5.4 : Hava üslerine ait bilgilerin harbe hazırlığa katkısı.

Ölçütler	Hava üsleri				
	A	B	C	D	E
Kadro/Mevcut	0.877	1.000	0.948	0.821	1.000
Pilot/Uçak	0.796	0.870	0.921	0.961	1.000
Tatbikat	0.770	0.849	0.926	1.000	0.689
Uçuş durumu	0.941	0.911	0.956	0.971	0.818
Atış puanı	0.656	0.754	0.754	0.721	0.705
Uçak faaliyet oranı	0.948	0.765	0.821	0.895	0.913
Hava savunma sistemi	1.000	0.725	0.968	1.000	1.000
Mühimmat durumu	1.000	0.653	1.000	0.562	1.000
Yedek parça	1.000	0.474	0.707	1.000	1.000
Akaryakıt	1.000	0.743	1.000	1.000	0.832

Adım 10. Katkılar birleştirilerek birliklerin nihai harbe hazırlıkları elde edilmiştir (Çizelge 5.5). Harbe hazırlığı en yüksek üs D olarak hesaplanmıştır. D üssünün malzeme hazırlığı diğerlerine göre düşük çıkmıştır. C birliği ise D birliğine çok yakın bir harbe hazırlık değerine sahiptir. A ve E üsleri de birbirlerine çok yakın değerlere sahiptir. Harbe hazırlığı en düşük ise B olmuştur. Bu durum B üssünün malzeme açısından çok düşük olmasından kaynaklanmıştır.

Adım 11. Her bir birliğin hedeflenen personel, eğitim ve malzeme standart değerleri ile model sonucunda elde edilen mevcut değerleri kullanılarak TOPSIS yöntemi ile

bir sıralama elde edilmiştir. Bu çalışmada standartlar tüm birlikler için personel, eğitim ve malzeme standart değerleri 100 olarak kabul edilmiştir. Bu adım sonucunda elde edilen bu sıralama birliklerin standartları karşılama durumunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.5 : Hava üslerinin harbe hazırlık durumları.

Hava üsleri	Harbe hazırlık			
	Genel	Personel	Eğitim	Malzeme
A	87.75	84.90	78.94	97.49
B	80.60	95.46	84.80	69.50
C	89.56	93.91	90.34	86.30
D	89.82	86.55	94.23	88.53
E	87.95	100.00	72.18	94.88

Kuvvet standartlarını karşılama durumuna göre en iyi üs D ($C_i^* = 0.8946$), en kötü üs ise B ($C_i^* = 0.7920$) olarak belirlenmiştir. D üssü hem en yüksek harbe hazırlık değerine hem de en yüksek standartları karşılama oranına sahiptir.

Adım 12. Yukarıda elde edilen birliklerin personel, malzeme ve eğitim durumları ile Çizelge 2.1'deki aralık değerleri dikkate alınarak birliklere harbe hazırlık seviyeleri ve kategori ekleri tahsis edilmiştir (Çizelge 5.6). Bu harfler, karar vericilerin olası sorun sahalarını en kısa sürede tespit edebilmesi ve gerekli analizleri yaparak düzeltici işlemlere başlatabilmesini sağlamıştır.

Çizelge 5.6 : Hava üslerinin harbe hazırlık durumları ve kategorileri ekleri.

Hava üsleri	Seviye	Kategori ekleri		
		Personel	Eğitim	Malzeme
A	HHD-II	P	T	-
B	HHD-II	-	T	MM
C	HHD-II	-	-	M
D	HHD-II	-	-	M
E	HHD-II	-	T	-

Sonuç itibarıyla, A üssünün personel ile takviye edilmesi gerekmektedir. A, B ve E üsleri için ilave eğitimler planlanmalı veya mevcut olanlar iyileştirilmelidir. B üssüne malzeme akışı hızlandırılmalı ve üs depolarının stok seviyeleri arttırılmalıdır. C ve D üsleri için de aynı durum söz konusudur. Ayrıca, bu iki üssün de uçak faaliyet oranını arttırıcı önlemler alınmalıdır.

5.2 Periyodik Değerlendirme Modeli Uygulaması

Bu uygulamanın amacı, askeri hava üslerinin yıllık harbe hazırlık durumu değerlendirmelerini önerilen model ile örneklemektir. Bu değerlendirme sonucunda üsler harbe hazırlık seviyelerine göre gruplanacaktır. Bu gruplama karar vericilere savunma kaynaklarını etkin bir şekilde tahsis etmelerine yardımcı olacaktır. Bununla birlikte, karar vericilere herhangi bir kriz veya operasyon zamanında harbe hazırlık açısında en uygun birliğin seçimini, diğer bir ifade ile “*hangi üs veya filo operasyon için görevlendirilmelidir?*” sorusuna cevap verilmesini sağlayacaktır. Tartışma bölümünde ise üs personeline ve karar vericilere harbe hazırlık seviyesinin nasıl yükseltileceğine dair çeşitli önerilerde bulunulacaktır.

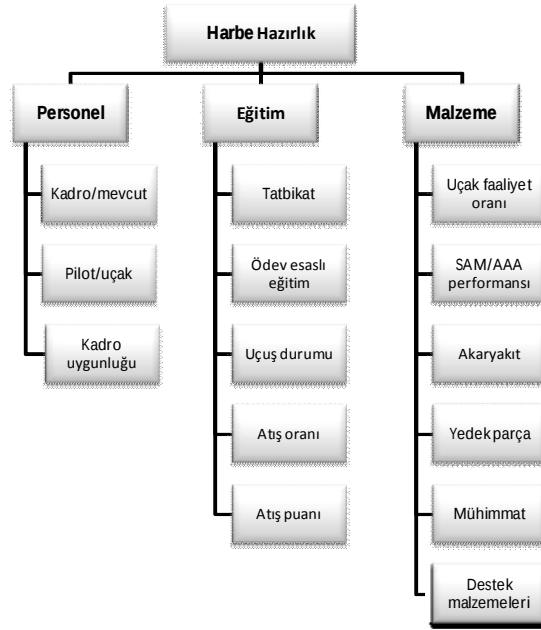
Bu uygulama, geliştirilen modelin bilgi sistemlerine entegre edilmesi halinde bu mevcut sürecin nasıl daha etkin ve otomatik hale getirilebileceği konusunda karar vericilere fikir vermesi açısından önemlidir. Ayrıca, böyle bir uygulamanın mevcut yıllık harbe hazırlık raporlarına girdi olduğunda sürece kazandıracağı değerler anlatılacaktır.

Diğer örnekte olduğu gibi, personel, istihbarat, harekât ve lojistik başkanlıklarından katılan uzman personel ile bir çalışma grubu oluşturulmuştur. Değerlendirme sürecinde örneğin lojistik personeli malzeme hazırlığı ile ilgilenirken, harekât başkanlığından katılan personel eğitim ve harekât faktörlerini dikkate almıştır. Bu çalışmada grup üyelerinin deneyim, bilgi ve sonuca etkilerinin birbirine eşit olduğu düşünülmüş ve uzlaşma yoluyla karar verildiği varsayılmıştır.

Örnek uygulama bir önceki bölümde modelin anlatımında olduğu gibi adım adım verilecektir:

Adım 1. Harbe hazırlık birçok faktörün birleşiminden ortaya çıkmakta, harbe hazırlığı etkileyen faktörlerin listesi çok uzun olmaktadır. Bir üsde yapılan tüm faaliyetler doğrudan veya dolaylı olarak harbe hazırlığı etkiler. Bu sebeple, çalışma grubu tarafından harbe hazırlığı doğrudan etkileyen, verileri hem bilgi sistemlerinden hem de birlik standartlarından alınabilen ölçütler dikkate alınmıştır. Personel, eğitim ve malzeme ana başlıkları altında belirlenen 14 değerlendirme ölçütü Şekil 5.4’de verilmiştir. Bu ölçütlerden çoğu Bölüm 5.1’de açıklandığı için burada tekrar edilmeyecektir.

Adım 2. Bilgi sisteminden değerlendirme sürecinde gerekli birlik bilgileri elde edilmiştir. Bu bilgiler dönem içerisinde ortalama ve standart sapması hesaplanarak normal dağılım olarak modellenmiştir. Birliklerin değerlendirme ölçütlerine göre performans değerleri normal dağılım olarak Çizelge 5.7 ve 5.8’de verilmiştir. Çizelgelerden de anlaşılacağı üzere bazı ölçütler için standart sapma değeri 0 olarak alınmıştır. Bu değerler birliğin ilgili ölçütlerden yılsonunda aldığı nihai değer olup, 0 standart sapma ile modele dâhil edilmiştir. Diğer veriler ise, birliklerin yıl içerisinde her gün aldığı performans değerlerinden oluşturulan normal dağılımlardır.



Şekil 5.4 : Harbe hazırlık değerlendirme ölçütleri.

Çizelge 5.7 : Hava üslerine ait bilgiler (ortalama).

Üs	Ölçütler													
	P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
AB1	78	1.80	91	100	85	96	100	78	82	100	100	98	100	90
AB2	89	1.87	86	90	83	94	100	84	72	85	100	87	98	90
AB3	82	1.92	83	95	72	97	83	84	75	88	96	73	100	100
AB4	75	1.96	87	100	90	98	75	82	79	96	100	90	65	90
AB5	92	2.16	93	100	91	88	100	81	80	95	100	97	100	100
AB6	88	1.96	74	100	86	87	96	86	73	100	92	75	93	100
AB7	86	2.03	85	95	84	89	82	83	65	71	100	59	86	80
AB8	85	1.81	79	95	100	99	100	89	78	100	100	91	100	100
AB9	94	2.12	82	100	88	91	100	94	80	86	100	92	91	100
AB10	72	1.75	86	85	90	83	93	91	63	78	86	48	100	85
AB11	91	2.13	90	100	94	87	98	96	74	94	100	78	100	100
AB12	82	2.01	69	100	100	88	100	84	81	92	100	100	95	80
AB13	86	1.94	78	90	69	81	85	89	71	91	83	89	100	70
AB14	81	1.87	91	100	93	84	89	90	68	96	100	72	73	65
AB15	74	1.83	84	95	73	83	88	79	70	84	100	66	72	80

Çizelge 5.8 : Hava üslerine ait bilgiler (standart sapma).

Üs	Ölçütler													
	P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
AB1	4	0.06	3	0	4	2	0	11	6	0	0	1	0	1
AB2	6	0.11	4	0	5	4	0	7	5	4	0	2	1	0
AB3	3	0.03	6	0	8	1	3	13	6	3	2	7	0	0
AB4	6	0.17	2	0	3	1	6	9	7	1	0	3	9	2
AB5	5	0.04	5	0	1	8	0	17	8	1	0	1	0	0
AB6	9	0.21	7	0	4	11	1	10	3	0	2	10	0	0
AB7	11	0.18	9	0	9	5	5	16	8	14	0	6	1	5
AB8	8	0.09	4	0	0	0	0	12	9	0	0	3	0	0
AB9	5	0.03	6	0	2	2	0	9	5	3	0	2	0	0
AB10	4	0.06	6	0	2	6	2	8	6	7	4	15	0	3
AB11	6	0.12	7	0	1	4	0	9	5	3	0	3	0	0
AB12	10	0.16	5	0	0	5	0	11	4	3	0	0	2	6
AB13	6	0.10	3	0	11	10	3	19	11	2	3	6	0	12
AB14	7	0.08	2	0	2	9	2	5	2	2	0	4	7	2
AB15	5	0.15	6	0	3	7	3	14	6	11	0	5	2	1

Adım 3. Tercih bilgilerinin alınmasına yönelik olarak çalışma grubu tarafından bir toplantı düzenlenmiştir. Grupta yer alan tüm üyeler tatbikat puanı, uçak faaliyet oranı ve SAM/AAA performansını en önemli üç ölçüt olduğu konusunda hemfikir olmuştur. Bunun yanında, ödev esaslı eğitimin de diğerlerinden biraz daha önemli olduğuna varılmıştır. Sonuç olarak, çalışma grubu tarafından ölçütler için belirlenen ağırlık aralık değerleri (alt ve üst sınır bilgisi) Çizelge 5.9’da sunulmaktadır.

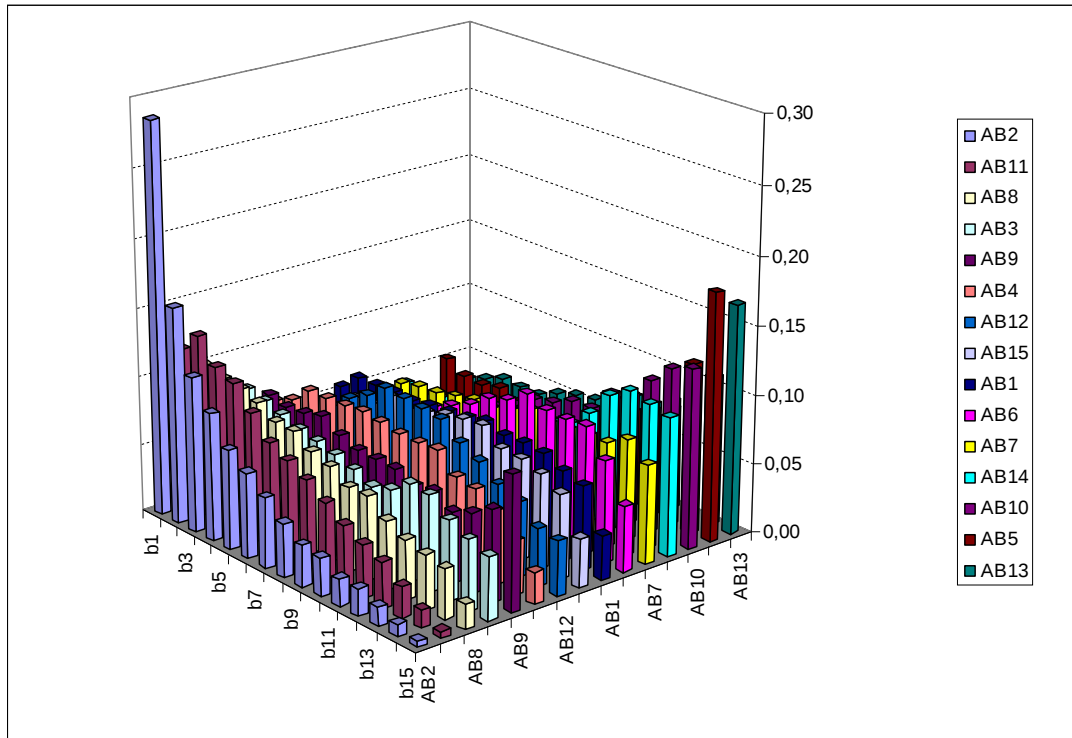
Çizelge 5.9 : Tercih bilgileri (alt ve üst sınır).

Ölçütler	Ağırlık bilgisi	
	W_{min}	W_{max}
Kadro/Mevcut	0.05	0.10
Pilot/Uçak	0.05	0.10
Kadroya uygunluk	0.05	0.10
Tatbikat	0.10	0.20
Ödev esaslı eğitim	0.05	0.15
Uçuş durumu	0.05	0.10
Atış oranı	0.05	0.10
Atış puanı	0.05	0.10
Uçak faaliyet oranı	0.10	0.25
Hava savunma sistemi	0.10	0.20
Akaryakıt	0.01	0.10
Yedek parça	0.01	0.10
Mühimmat durumu	0.01	0.10
Destek malzemeleri	0.01	0.10

Adım 4. SMAA-H analizi hesaplamaları için program kodları Ek-A'da verilen Monte-Carlo simülasyonu ile 10000 adet iterasyon yapılmıştır. Sıralama kabul edilebilirlik indeksleri ise Çizelge 5.10'da ve grafiksel olarak Şekil 5.5'de verilmiştir. Çizelgenin birinci sütunu hava üssünün ismini, p^c sütunu güvenilirlik faktörü, diğer sütunlar ise sıralama kabul edilebilirlik indekslerini göstermektedir. Çizelgede hava üsleri güvenilirlik faktörlerine göre sıralanmıştır. Her bir sıra için en yüksek sıralama kabul edilebilirlik indeksi koyu olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.10 : Kabul edilebilirlik indeksleri ve güvenilirlik faktörü.

Üs	p^c	Sıralama														
		b^1	b^2	b^3	b^4	b^5	b^6	b^7	b^8	b^9	b^{10}	b^{11}	b^{12}	b^{13}	b^{14}	b^{15}
AB5	48.77	48.14	20.15	12.22	8.12	5.66	3.57	1.46	0.50	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
AB8	21.20	18.56	20.80	16.86	15.70	13.08	8.96	4.13	1.23	0.43	0.17	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00
AB11	19.33	16.23	23.33	21.75	16.83	11.72	7.11	2.35	0.54	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB9	8.64	7.46	15.73	20.74	21.31	19.29	11.04	3.56	0.72	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB1	9.35	7.40	14.29	18.25	20.18	19.79	12.94	5.26	1.48	0.33	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
AB12	2.08	1.79	4.44	7.44	11.74	17.49	26.58	17.47	8.11	3.20	1.22	0.41	0.10	0.01	0.00	0.00
AB6	0.46	0.34	0.88	1.92	4.02	7.58	15.79	27.04	20.40	11.50	6.45	3.01	0.89	0.16	0.02	0.00
AB4	0.46	0.08	0.36	0.74	1.86	3.96	8.94	19.85	24.65	17.81	12.28	6.83	2.19	0.40	0.05	0.00
AB2	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.72	2.62	9.46	19.60	25.59	22.70	14.18	4.21	0.74	0.06	0.00
AB14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.19	0.82	4.20	10.78	20.92	26.46	26.01	8.99	1.46	0.11	0.02
AB3	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10	0.33	1.09	3.88	8.74	14.38	21.30	28.95	15.73	4.53	0.80	0.14
AB13	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10	0.34	0.97	2.20	3.46	5.73	11.06	29.59	22.73	14.61	9.18
AB7	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.09	0.19	0.34	0.88	1.57	2.55	5.75	18.13	24.90	22.11	23.47
AB15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.16	0.38	0.92	3.02	13.60	25.42	30.17	26.29
AB10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10	0.72	6.52	19.65	32.07	40.90

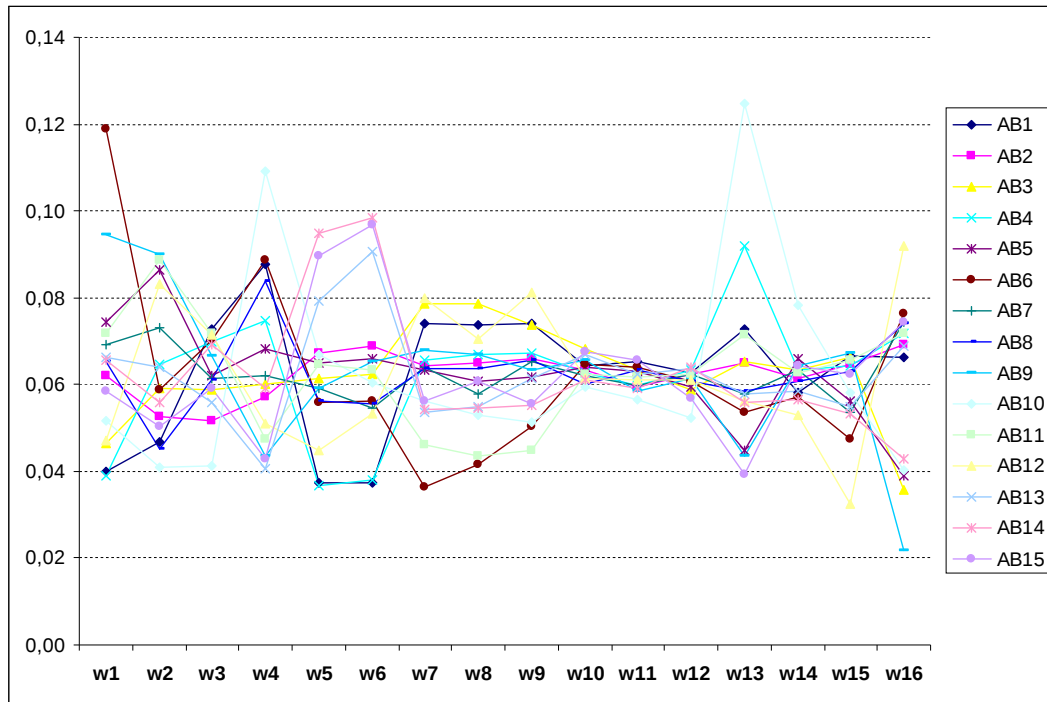


Şekil 5.5 : Kabul edilebilirlik indekslerinin grafiksel gösterimi.

Merkezi ağırlık vektörü yüzde olarak Çizelge 5.11 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.11 : Merkezi ağırlık vektörleri.

Üs	Ölçütler													
	P1	P2	P3	T1	T2	T3	T4	T5	M1	M2	M3	M4	M5	M6
AB1	6.55	6.54	6.92	12.60	7.03	7.00	6.78	6.72	13.23	12.78	3.43	3.91	3.51	3.01
AB2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB4	6.39	7.65	7.04	13.77	7.05	6.64	5.83	7.74	15.63	12.29	2.90	2.27	1.72	3.08
AB5	6.87	6.91	6.91	12.54	7.42	6.79	6.85	6.74	12.51	12.44	3.44	3.61	3.44	3.51
AB6	6.85	6.86	6.67	12.82	7.72	7.14	6.60	7.16	12.12	14.03	2.96	2.60	2.81	3.68
AB7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB8	6.76	6.67	6.68	12.40	7.82	6.90	6.82	6.81	12.66	12.72	3.44	3.36	3.45	3.50
AB9	7.03	7.01	6.82	12.60	7.22	6.84	6.83	6.94	12.95	12.10	3.50	3.46	3.08	3.60
AB10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB11	6.92	6.87	6.88	12.53	7.70	6.74	6.81	7.02	12.45	12.50	3.61	2.89	3.58	3.51
AB12	6.72	6.92	6.39	12.41	8.11	6.72	6.87	7.03	13.07	12.38	3.56	3.79	3.43	2.60
AB13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AB15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Şekil 5.6 : Merkezi ağırlık vektörlerinin grafiksel gösterimi.

Aralık olarak verilen ölçüt ağırlıklarının etkisi sıralama kabul edilebilirlik indekslerinde görülmektedir. İlk sıranın sıralama kabul edilebilirlik indeksi güvenilirlik faktörü ile yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte, kesin olmayan (stokastik) bilginin etkisi de sonuçlarda gözlemlenebilir: en yüksek güvenilirlik

faktörü (AB5 üssü için) sadece 48.77'dir. Bu durum ölçüt değerlerinin yüksek standart sapmalara sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Sıralama kabul edilebilirlik indeksleri Macar yöntemine girdi olarak alınmış ve algoritma işletilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yıllık veriler doğrultusunda en harbe hazır birlik AB5 olmuştur. AB10 ise en az harbe hazır birlik olarak tespit edilmiştir.

Adım 5. Analiz sonuçlarına dayanarak üsler “iyi”, “küçük iyileştirmeler gerekli” ve “büyük iyileştirmeler gerekli” şeklinde 3 gruba ayrılmıştır. Çizelge 5.10'a bakarak en iyi sıralar için yüksek sıralama kabul edilebilirlik indeksi, kötü sıralar için ise düşük sıralama kabul edilebilirlik indeksi alan üsleri ayırt edebiliriz. AB5, AB8, AB11, AB9 ve AB1 en iyi beş sıra için yüksek indeks değerlerine, en kötü beş sıra için ise düşük indeks değerlerine sahiptir. Ayrıca, bu üslerin güvenilirlik faktörleri de diğerleri göre yüksektir. Sonuç itibarıyla, analizden çıkarılabilecek birinci sonuç bu üslerin kuvvet standartlarını karşıladığı ve personel, eğitim ve malzeme açısından harbe hazır olduklarıdır. Karar verici herhangi bir operasyon için bu üslerden herhangi birini görevlendirebilir. AB5, bu grubun içerisinde %48.14'lük bir sıralama kabul edilebilirlik indeksi ile diğerlerine göre en iyi konumdadır. Sonuç olarak bu 5 üs “iyi” grubuna atanmıştır.

AB12, AB6, AB4, AB2, AB14 ve AB3 üsleri en iyi 5 sıra için düşük indekslere sahip, aynı zamanda göreceli olarak en kötü 4 sıra için de indeks değerleri düşüktür. Bu üsler “küçük iyileştirmeler gerekli” grubuna dâhil edilmiştir. AB12 üssü bu gruba en iyi sıra için $p^c = 2.08$ değerine sahip olduğu için alınmıştır. AB3 ise en kötü 3 sıra için nispeten düşük indeks değerine sahip olduğu için “büyük iyileştirmeler gerekli” grubuna alınmamıştır. Detaylı bilgiler Şekil 5.5'de görülmektedir.

Geriye kalan AB13, AB7, AB15 ve AB10 üsleri en kötü sıralar için oldukça yüksek indekslere sahiptir ve bu nedenler “büyük iyileştirmeler gerekli” grubuna dâhil edilmişlerdir. Aynı zamanda bu üslerin hem güvenilirlik faktörleri hem de merkezi ağırlık vektörleri sıfırdır. Bazı ölçütlerden yüksek değerler almalarına rağmen ağırlık vektörlerinin sıfır olması, ağırlıklar için tanımlanan aralık bilgilerinden kaynaklanmaktadır. Çizelge 5.12 yukarıda anlatılan grupları ve bu gruplara dâhil olan üsleri göstermektedir. Sonuç itibarıyla, SMAA-H analizi sonuçlarının karar vericilere faydalı bilgiler sağlayabildiği görülmektedir.

Çizelge 5.12 : Hava üslerinin gruplara dağılımı.

Grup	Üs
İyi	AB5 AB8 AB11 AB9 AB1
Küçük iyileştirmeler gerekli	AB12 AB6 AB4 AB2 AB14 AB3
Büyük iyileştirmeler gerekli	AB13 AB7 AB15 AB10

Karar vericilere önerilerde bulunabilmek için öncelikli olarak değerlendirilen bu üslerin eksikliklerini ortaya koymak gerekmektedir. Üslerin merkezi ağırlık vektörleri bu hususa yönelik önemli fikirler verebilir: eğer bir üssün merkezi ağırlığı yüksek ise o üs ilgili ölçütten yüksek performans değerine sahiptir, veya tam tersi söz konusudur. Daha önceden de bahsedildiği üzere, dar aralıklı bir ağırlık bilgisi verildiği için sadece en iyi alternatifleri karşılaştırabiliriz. %48.14 ile en yüksek sıralama kabul indeksine sahip AB5 üssünün merkezi ağırlıkları karşılaştırma için seçilmiştir. Sonrasında, “neden diğer üsler, AB5 üssünden daha kötüdür?” sorusuna cevap aranarak analiz detaylandırılmıştır.

Birinci olarak, AB8’in AB5 kadar ortalama değerlere sahip olduğu, dolayısıyla en az onun kadar harbe hazır olduğu gözlemlenmektedir. Çizelge 5.11’den AB11’in merkezi ağırlık vektörüne bakıldığında M1 ve M4 ölçütleri için düşük merkezi ağırlıklara sahip olduğu görülür. Çizelge 5.7’de görüldüğü üzere bu ölçütler için düşük ortalamalara sahiptir (M1 için 74, M2 için 78). Bu nedenle, öneri olarak bu üssün yedek parça stok seviyesini arttırması gerekmektedir. Bu işlem uçak faaliyet oranını da olumlu etkileyecektir. AB9 üssü P3, M2 ve M5 ölçütleri yönüyle kötü durumdadır. Hava kuvvetleri bu üsse kadroya uygunluk puanını arttırmak amacıyla uygun personel atama yapabilir. Ayrıca, bu üssün SAM/AAA performansının yıl boyunca yüksek tutulması ve mühimmat seviyesinin devamlı kontrol edilmesi de gerekmektedir. AB1 üssü için P1 ve P2 ölçüt değerlerinin düşük olması bu üssün personel ve pilot açısından takviye edilmesi gerektiğini gösterir.

“Küçük iyileştirmeler gerekli” gurubundaki AB12, AB6 ve AB4 üslerinin merkezi ağırlık vektöründen bu 3 üssün de personel ölçütleri açısından kötü olduğu gözlemlenir. Bu üssün karar vericilerine personel konusunda daha titiz olmaları gerektiği söylenebilir. Ayrıca, AB4 için mühimmat stok seviyesinin arttırılması, AB6 için yedek parça seviyesinin arttırılarak uçak faaliye oranının yükseltilmesi ve AB12 için kadroya uygunluk probleminin çözülmesi gerekmektedir. Bu gruptaki diğer üsler (AB2, AB14 ve AB3) ilk sıra için sıfır indekse sahiptir. Dolayısıyla, bu üslerin tüm ölçütlerde iyileştirmeler yapması gerekmektedir. Örneğin; hepsi de uçak faaliyet oranını yükseltmeli, AB2 ve AB3 ödevli esaslı eğitime daha fazla önem vermeli, AB14 ise en kısa zamanda destek malzemeleri tedarik etmelidir.

“Büyük iyileştirmeler gerekli” grubundaki AB13, AB7, AB15 ve AB10 üslerinin bütün merkezi ağırlıkları sıfıra eşittir ve çoğu ölçüt değerleri AB5’den kötüdür. Bu üslere en önemli tavsiye harbe hazırlığın nasıl yükseltileceğine dair ciddi çalışmalar yapmaları olacaktır. Örneğin, eğitime daha fazla zaman ayırabilirler, stok seviyelerini arttırabilirler veya boş kadroları doldurabilirler.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Birliklerin harbe hazırlığının etkin bir şekilde yönetilmesi halen dünyada tüm ordular için karmaşık bir süreçtir. Buna rağmen, harbe hazırlığın analitik modeller ve sayısal veriler doğrultusunda ele alınması literatürde önemli bir boşluktur. Bu nedenle, tez kapsamında harbe hazırlığın yönetiminin ilk ve en kritik safhası olan değerlendirme sürecinin ÇÖKV teknikleri ile desteklenebileceği öngörülmüştür.

Bu kapsamda, harbe hazırlığın etkin ve çevik bir yapı ile yönetilebilmesi amacıyla ÇÖKV yöntemlerine dayanan gerçek zamanlı ve periyodik olmak üzere iki özgün model ve bu modelleri içeren bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı model AHP, Fayda Teorisi, Aksiyomatik Tasarım, Ağırlıklı Çarpım ve TOPSIS yönteminin birleşik kullanımını içerirken, periyodik model ise SMAA-2 yöntemi, Macar tekniği ve Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları'ndan oluşur.

Bu tez çalışmasıyla literatüre yapılan katkılar şu şekilde özetlenebilir;

- Birlik harbe hazırlığın değerlendirilmesinin bir ÇÖKV problemi olduğu ortaya konularak gerçek zamanlı ve periyodik olmak üzere iki adet değerlendirme modeli geliştirilmiştir.
- Geliştirilen bu modelleri içeren bir karar destek sistemi ve prototip bir yazılım oluşturulmuştur.
- AHP, TOPSIS ve AT yöntemleri harbe hazırlık açısından eksiklikler ve yeni ihtiyaçlar doğrultusunda genişletilmiştir.
- SMAA-2 yönteminin sıralama problemlerine yönelik SMAA-H sürümü oluşturulmuştur.
- Hem tercih bilgilerinin eksik olduğu problemlerin çözümünde, hem de çok boyutlu duyarlılık analizlerinde kullanılabilecek rassal RA3 geliştirilmiştir.
- Geliştirilen yöntem ve algoritmalar örnek olarak hava üslerinin harbe hazırlığının gerçek zamanlı ve periyodik olarak değerlendirilmesi için uygulanmıştır.

Son olarak, geliştirilen model, yöntem ve algoritmaların bu tür ÇÖKV problemlerine yönelik uygun bir yaklaşım oluşturduğu ve yaygın olarak diğer problemlere de uygulanabileceği düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen gerçek zamanlı değerlendirme modeli, örnek olarak hava üslerinin harbe hazırlığının değerlendirilmesine uygulanmıştır. Bu uygulama çalışma kapsamında geliştirilen model ile özetle

- Geçmişte onlarca adam/ay işgücü gerektiren raporlaşma sürecinin otomatik ve gerçek zamanlı hale getirilebileceği,
- Birliklerin harbe hazırlıklarının daha sağlıklı bir şekilde sayısal olarak gerçek zamanlı elde edilebileceği,
- Birliklerin kuvvet standartlarını karşılama durumunun ortaya çıkarılabileceği ve
- Harbe hazırlık durumundaki yetersizlik ve aksaklıkları etkileyen önemli zafiyetlerin belirlenebileceği

gösterilmiştir.

6.2 Öneriler

Gelecek çalışmalarda öncelikli olarak birlik harbe hazırlık durumu değerlendirme ölçütlerinin birbirleriyle etkileşimlerinin ele alınabilmesi maksadıyla Analitik Ağ Süreci (*ing.*: Analytic Network Process; ANP), DEMATEL (*ing.*: Decision Making Trial and Evaluation Laboratory), Bulanık Bilişsel Harita (*ing.*: Fuzzy Cognitive Maps; FCM) vb. ağ tabanlı tekniklerin kullanılması yerinde olur (Saaty, 1996; Gabus ve Fontela, 1972; Gabus ve Fontela, 1973; Fontela ve Gabus, 1976; Kosko, 1986). Böylelikle, ölçütlerin birbirleriyle bağımlılıkları ve ilişkileri, buradan yola çıkarak harbe hazırlık durumunda zafiyetlerin ortaya çıkmasını tetikleyen kök ölçütler sayısal olarak analiz edilebilir. Örneğin, DEMATEL yönteminde ölçüt ağırlıklarının elde edilmesinin yanında, ölçütlerin etkileyen ve etkilenen (sebeup ve sonuç) olarak iki farklı gruba ayrılması söz konusudur. Bu durum, karar verme sürecine daha fazla katkı sağlayarak harbe hazırlığın yönetim sürecinde birliklere daha sağlıklı kaynak atanmasına ışık tutabilir.

Operatif ve stratejik seviyelerde harbe hazırlığın değerlendirilmesi literatürde çok az değinilen bir husus olmuş, bu alanda bilimsel tekniklere dayanan bir çalışma

yapılmamıştır. Bununla birlikte; tehdit ülke/ülkeler ve gelecekteki kuvvet yapısına göre harbe hazırlığın sayısal değerlendirilmesi hâlâ gözden kaçırılan bir konudur. Harbe hazırlığın yüksek seviyelere çıkarılmasına yönelik tedarik ve proje geliştirme faaliyetlerine yön verecek bu konuya odaklanılması yerinde olacaktır.

Diğer bir çalışma, hem tercih bilgilerinin eksik olduğu veya olmadığı problemlerin çözümünde, hem de çok boyutlu duyarlılık analizlerinde de kullanılabilen rassal ağırlık atama algoritmalarının modüler bir yazılım haline getirilmesi olabilir. Böyle bir yazılım ile akademisyenler ve uygulamacılar problem çözümünde örnek ölçüt ağırlıkları üretebilirler. Algoritmaların özellikle yazılım kodlaması bilmeyen insanlar tarafından kolaylıkla kullanımı önemli bir husustur.

Bu tez kapsamında, SMAA simülasyonunda kullanılan klasik toplamli fayda fonksiyonu yerine Ağırlıklı Çarpım yöntemi kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda bu fayda fonksiyonu yerine TOPSIS, AT vb. yöntemler kullanılarak SMAA ile bu yöntemler entegre edilmiş olur. Diğer bir ifade ile, diğer ÇÖKV yöntemlerinin girdisi olarak SMAA yönteminden elde edilen ölçüt ağırlıkları kullanılarak yeni birleşik yöntemler geliştirilebilir.

SMAA simülasyonu sonucunda oluşan sıralama kabul edilebilirlik indekslerine göre alternatifler çeşitli gruplara ayrılır. Bu gruplama işlemi sırasında hem grup sayısı hem de bu gruplara atanacak alternatifler şu an itibariyle karar vericiler tarafından subjektif olarak yapılır. Gelecek çalışmalarda bu işlem en iyi sıralar için yüksek, kötü sıralar için ise düşük sıralama kabul edilebilirlik indeksi alan alternatifleri dikkate alan sezgisel bir yaklaşım ile otomatik hale getirilebilir.

Harbe hazırlığı 0 ve 1 (evet ve hayır) ile ifade etmek bazen yeterli olmayabilir. Bu problemle ilgili bazı bilgiler sayısal olmayıp sözel değişkenler ile ifade edilebilir. İnsanın günlük yaşamına ve düşünce mantığına uygun sözel değişkenlerin kullanılması bu karmaşık problemin değerlendirme performansını arttırabilir. Dolayısıyla, gelecek çalışmalarda bulanık mantığın dikkate alınması yerinde olacaktır.

KAYNAKLAR

- Bana e Costa, C.A.** (1986). A multicriteria decision aid methodology to deal with conflicting situations on the weights. *European Journal of Operational Research*, 26, 22–34.
- Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., Ignatius, J.** (2012). A state-of the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39 (17), 13051–13069.
- Betts, R.K.** (1995). *Military Readiness: Concepts, Choices and Consequences*. Brookings Institution, DC.
- Bridgman, P.W.** (1922). *Dimensional Analysis*. Yale University Press. New Haven, CT, U.S.A.
- Charnetski, J. ve Soland, R.** (1978). Multiple-attribute decision making with partial information: The comparative hypervolume criterion. *Naval Research Logistics Quarterly*, 25, 279–288.
- Chen, S.J., ve Hwang, C.L.** (1992). *Fuzzy multiple attribute decision-making method and applications*. Berlin, Heidelberg and New York: Springer-Verlag.
- Çebi, S.** (2010). *Aksiyomlarla Tasarım Esaslı Bulanık Karar Destek Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama*, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- Çebi, S. ve Kahraman C.** (2010a). Developing a Group Decision Support System Based on Fuzzy Information Axiom. *Knowledge-Based Systems*, 23 (1), 3-16.
- Çebi, S. ve Kahraman, C.** (2010b). Extension of Axiomatic Design Principles Under Fuzzy Environment. *Expert Systems with Applications*, 37 (3), 2682–2689.
- Çebi, S., Çelik, M., Kahraman, C.** (2010). Structuring ship design project approval mechanism towards installation of operator system interfaces via fuzzy axiomatic design. *Information Sciences*, 180 (6), 886-895.
- Durbach, I.** (2006). A simulation-based test of stochastic multicriteria acceptability analysis using achievement functions. *European Journal of Operational Research*, 170 (3), 923–934.
- Fontela, E. ve Gabus, A.** (1976). *The DEMATEL observer, DEMATEL Report*. Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland.
- Gabus, A. ve Fontela, E.** (1972). *World problems an invitation to further thought within the framework of DEMATEL*. Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.

- Gabus, A. ve Fontela, E.** (1973). *Perceptions of the World problematique: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility (DEMATEL Report No. 1)*. Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
- García-Cascales, M.S. ve Lamata, M.T.** (2012). On rank reversal and TOPSIS method, *Mathematical and Computer Modelling*, 56 (5–6), 123–132.
- Gutman, A.J. ve Weir, J.D.** (2012). Randomly generating weight vectors in a bounded region for the sensitivity analysis of multi-criteria decision models. *The Industrial and Systems Engineering Research Conference (ISERC 2012)*, 19-23 Mayıs 2012, Orlando, FL.
- Ho, W.** (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research*, 169 (1), 221-228.
- Hokkanen, J., Lahdelma, R., Salminen, P.** (1999). A multiple criteria decision model for analyzing and choosing among different development patterns for the Helsinki cargo harbor. *Socio-Economic Planning Sciences*, 33, 1–23.
- Hwang, C.L. ve Yoon, K.P.** (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York.
- Ishizaka, A. ve Labib, A.** (2011). Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications*, 38 (11), 14336–14345.
- Kahraman, C. ve Çebi, S.** (2009). A new multi-attribute decision making method: Hierarchical fuzzy axiomatic design. *Expert Systems with Applications*, 36 (3), 1, 4848-4861.
- Kaufmann, A. ve Gupta, M.M.** (1991). *Introduction to fuzzy arithmetic-theory and applications*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Kocaman, V.** (2009). *Operation Readiness Level (ORL) Assessment Using Multi Criteria Decision Making (MCDM) Methods*, Yüksek Lisans Tezi, Pennsylvania State University, USA.
- Kosko, B.** (1986). Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24, 65-75.
- Krekel, B.** (2004) *Decision Model For Selecting the Best Air Start Unit For Naval Aviation*, Yüksek Lisans Tezi, George Washington University, USA.
- Kuhn, H.W.** (1955). The Hungarian method for the assignment problem. *Naval Research Logistics*, 2, 83–97.
- Kulak, O.** (2003). *Hücresel üretim sistemleri tasarımı için aksiyomlarla tasarım prensiplerine dayalı bütünsel bir yöntem*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kulak, O. ve Kahraman, C.** (2005a). Fuzzy multi-attribute selection among transportation companies using axiomatic design and analytic hierarchy process. *Information Sciences*, 170, 191-210.

- Kulak, O. ve Kahraman, C.** (2005b). Multi-attribute comparison of advanced manufacturing systems using fuzzy vs. crisp axiomatic design approach, *International Journal of Production Economics*, 95, 415-424.
- Kulak, O., Durmuşoğlu, M.B. ve Kahraman, C.** (2005). Fuzzy multi-attribute equipment selection based on information axiom, *Journal of Materials Processing Technology*, 169, 337-345.
- Lahdelma, R., Hokkanen, J. ve Salminen, P.** (1998). SMAA – stochastic multiobjective acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 106, 137–143.
- Lahdelma, R., Miettinen, K. ve Salminen, P.** (2003). Ordinal criteria in stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). *European Journal of Operational Research*, 147, 117–127.
- Lahdelma, R., Miettinen, K. ve Salminen, P.** (2005). Reference point approach for multiple decision makers. *European Journal of Operational Research*, 164 (3), 785–791.
- Lahdelma, R., Miettinen, K., Salminen, P. ve Tervonen, T.** (2004). Computational methods for stochastic multicriteria acceptability analysis. *European Congress on Computational Methods in Applied Science and Engineering (ECCOMAS 2004)*, 24-28 Haziran 2004, Jyväskylä, Finland.
- Lahdelma, R. ve Salminen, P.** (2001). SMAA-2: Stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. *Operations Research*, 49 (3), 444–454.
- Lahdelma, R. ve Salminen, P.** (2002). Pseudo-criteria versus linear utility function in stochastic multi-criteria acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 14, 454–469.
- Lahdelma, R. ve Salminen, P.** (2006). Stochastic multicriteria acceptability analysis using the data envelopment model. *European Journal of Operational Research*, 170 (1), 241–252.
- Lahdelma, R. ve Salminen, P.** (2009). Prospect theory and stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). *The International Journal of Management Science*, 37, 961–971.
- London, J.P.** (1967). *Operational Readiness Measurement: The Philosophy and Theoretical Formulation of a Value-Based Quantitative Approach*, Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, USA.
- Lootsma, F.A.** (1992). *The REMBRANDT system for multicriteria decision analysis via pairwise comparisons or direct rating*, Rep. No. 92-05, Faculty of Technical Mathematics and Informatics, Delft University of Technology, Delft.
- Lootsma, F.A.** (1999). *Multi-criteria decision analysis via ratio and difference judgment*. Kluwer Academic Publishers.
- Mayer, H.A.** (2005). *First Responder Readiness: A Systems Approach To Readiness Assessment Using Model Based Vulnerability Analysis Techniques*. Yüksek Lisans Tezi, Naval Postgraduate School, CA.

- Miller, D.W. ve Starr, M.K.** (1969). *Executive Decisions and Operations Research*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- Munkres, J.** (1957). Algorithms for the assignment and transportation problems. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 5 (1), 32–38.
- Olson, D.L., Flidner, G. ve Currie, K.** (1995). Comparison of the REMBRANDT system with analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 82, 522-539.
- Raflensperger, J.F. ve Schrage L.E.** (1997). A New Paradigm for Measuring Military Readiness. *Military Operations Research*, 3 (5), 21-34.
- Ramanathan, R.** (1997). Stochastic decision making using multiplicative AHP. *European Journal of Operational Research*, 97, 543-549.
- Rich, M.D. ve Drezner S.M.** (1982). *An integrated view on improving combat readiness*. N-1797-AF, Rand Publications, CA.
- Ross, T.** (1995). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L.** (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L.** (1988). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburg.
- Saaty, T.L.** (1991). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operations Research*, 48, 9-26.
- Saaty, T.L.** (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Saaty, T.L.** (1996). *Decision-making with dependence and feedback: The Analytic Network Process*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Sipahi, S. ve Timor, M.** (2010). The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. *Management Decision*, 48 (5), 775-808.
- Snyder, D.M., Dieryck, P.J., Long, W.W., Philipkosky, T.G. ve Reis, R.** (1996). *Joint Readiness Assessment and Planning Integrated Decision System (JRAPIDS): Combat Readiness and Joint Force Management for 2025*. US Air Force Publications.
- Subramaniana, N. ve Ramanathanb, R.** (2012). A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138 (2), 215-241.
- Suh, N.P.** (1990). *The Principles of Design*, Oxford University Press Inc., NY.
- Suh, N.P.** (2005). Complexity in Engineering. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 54 (2), 46-63.
- Tervonen, T.** (Baskıda). JSMAA: open source software for SMAA computations. *International Journal of System Science*.

- Tervonen, T. ve Figueira, J.R.** (2008). A survey on stochastic multicriteria acceptability analysis methods. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 15, 1-14.
- Tervonen, T., Figueira, J.R., Lahdelma, R., Dias, J.A. ve Salminen, P.** (2009). A stochastic method for robustness analysis in sorting problems. *European Journal of Operational Research*, 192, 236-242.
- Tervonen, T. ve Lahdelma, R.** (2007). Implementing stochastic multicriteria acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 178 (2), 500–513.
- Topçu, Y.İ.** (1999). Çok Ölçütlü Sorun Çözümüne Yönelik Bir Bütünleşik Karar Destek Modeli, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, Türkiye.
- Vaidya, O.S. ve Kumar, S.** (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169 (1), 1-29.
- Van den Honert, R.C. ve Lootsma, F.A.** (2000). Assessing the quality of negotiated proposals using the REMBRANDT system. *European Journal of Operational Research*, 120, 162-173.
- Wang, Y.M., Luo, Y.** (2009). On rank reversal in decision analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 49 (5–6), 1221–1229.
- Yoon, K.P. ve Hwang, C.L.** (1995). *Multiple Attribute Decision Making*. Sage Publication. Thousand Oaks, CA.
- Zadeh, L.** (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zopounidis, C., ve Doumpos, M.** (2002). Multicriteria classification and sorting methods: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 138, 229-246.

EKLER

EK A: SMAA-H Simülasyonuna Yönelik MATLAB Kodu

EK B: Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları

EK A: SMAA-H Simülasyonuna Yönelik MATLAB Kodu

```
%*****
% SMAA Simulation Algorithm
% Run the algorithm with the mean, standard deviation,
% polarity and weight interval matrices
%*****

function [rankaccept,central,confidence,match] = smaa(mean,
standard, polarity, interval)

[criteria, alternatives] = size(mean);
iterations = 10000;

% Initialization
rankaccept = zeros(alternatives);
central = zeros(alternatives,criteria);
confidence = zeros(1,alternatives);
measurements = zeros(alternatives,criteria);

% Compute rank acceptability indices + central weight vectors
for i = 1:iterations

    % Generate weights using interval data
    weights = rwg_interval(interval);
    %weights = rwg_order(order);
    %weights = rwg_absent();

    % Generate criteria measurements of each alternative
    for a = 1:alternatives
        for c = 1:criteria
            measurements(a,c) = mean(c,a) + standard(c,a)*randn;
        end
    end

    % Calculate the utilities using the Weighted Product method
    value = wpm(measurements, weights, polarity);
    value = saw(measurements, weights, polarity);

    % Ranking of the alternatives based on their utility scores
    [y,rank] = sort(value);
    rank = flipud(rank');
    rank = rank';

    % Update counters
    for a = 1:alternatives
        rankaccept(rank(a),a) = rankaccept(rank(a),a) + 1;
        if rank(1)== a
            for c = 1:criteria
                central(a,c) = central(a,c) + weights(c);
            end
        end
    end
end

% Compute SMAA descriptive measures
for a = 1:alternatives
    if rankaccept(a,1)>0
        for c = 1:criteria
```

```

        central(a,c) = central(a,c)/rankaccept(a,1);
    end
end
rankaccept = rankaccept/iterations;

% Compute confidence facors
for alt = 1:alternatives

    % Get central weight factor of alternative alt
    weights=central(alt,:);

    for i = 1:iterations
        % Generate criteria measuments of each alternative
        for a = 1:alternatives
            for c = 1:criteria
                measurements(a,c) = mean(c,a) + standard(c,a)*randn;
            end
        end

        % Calculate the utilities using the Weighted Product method
        value = wpm(measurements,weights, polarity);
        %value = saw(measurements,weights, polarity);

        % Ranking of the alternatives based on their utility scores
        [y,rank] = sort(value);
        rank = flipud(rank');
        rank = rank';

        % Update counter
        if rank(1)==alt
            confidence(alt) = confidence(alt) + 1;
        end
    end
end
confidence = confidence/iterations;

% Display SMAA descriptive measures
rankaccept
central
confidence

% Apply the Hungarian method for ranking the alternatives
costmatrix = zeros(alternatives,alternatives);

for i = 1:alternatives
    for j = 1:alternatives
        costmatrix(i,j) = 1 - rankaccept(i,j);
    end
end

[match,cost] = hungarian(costmatrix);
disp('Best assignment for the ranks (as row indices):')
disp(match)

%*****
% Random Weight Generator Algorithm
%*****

```

```

% Random weight generation using interval data
% (Upper and lower bounds information)
function weights = rwg_interval(interval)

[criteria, column] = size(interval);
weights = zeros(1, criteria);

% Check if the lower bounds exceeds 1.
columnSum = sum(interval);
sumLowerBounds = columnSum(1);

if (sumLowerBounds > 1.0)
    disp('Sum of lower bounds exceeds 1.0!..')
else
    numberOfTrials = 10000;
    for i = 1:numberOfTrials

        overUpperBound = 0;
        randNums = createRandomSumTo(criteria, 1 - sumLowerBounds);

        for j = 1:criteria
            weights(j) = randNums(j) + interval(j, 1);
            if (weights(j) > interval(j, 2))
                %disp('Weight exceeds the upper bound!..');
                overUpperBound = 1;
            end
        end
        if (overUpperBound == 0)
            break;
        end
    end
end

if (i > numberOfTrials)
    disp('Could not generate weights for 10000 iteration...');
end

% Creates random numbers that sum to a given amount
function randNumbers = createRandomSumTo(randCount, sumTo)
    randNum = rand(1, randCount - 1);
    randNum = randNum * sumTo;
    q = [0, sort(randNum), sumTo];

    for j = 2:randCount+1
        randNumbers(j-1) = q(j) - q(j-1);
    end
end

```


EK B: Rassal Ağırlık Atama Algoritmaları

Tercih Bilgisinin Bulunmadığı Durum

MATLAB Kodu:.....

```
% Random weight generation with missing value
% (No preference information)
function weights = rwg_absent()

    weights = zeros(1, criteria);

    randNum = rand(1,criteria-1);
    q = [0,sort(randNum),1];
    for j = 2:criteria+1
        weights(j-1) = q(j) - q(j-1);
    end
end
```

JAVA Kodu:

```
public static void createSumToRand(double[] weights, double sumTo)
{
    int len = weights.length;
    for (int i = 0; i < len - 1; i++) {
        weights[i] = createUnif01() * sumTo;
    }

    weights[len - 1] = sumTo;

    Arrays.sort(weights);

    double last = 0.0;
    for (int i = 0; i < len; i++) {
        double t = weights[i];
        weights[i] = t - last;
        last = t;
    }
}
```

Sıralama Bilgisinin Bulunduğu Durum

MATLAB Kodu:.....

```
% Random weight generation using ordinal data  
% (Rank preference information)
```

```
function weights = rwg_ordinal(order)  
  
    [criteria, column] = size(order);  
    weights = zeros(1, criteria);  
  
    randNum = rand(1,criteria-1);  
    q = [0, sort(randNum), 1];  
    for j = 2:criteria+1  
        weightsRand(j-1) = q(j) - q(j-1);  
    end  
  
    weightsSorted = sort(weightsRand);  
    for j = 1:criteria  
        k = criteria - order(j) + 1;  
        weights(j) = weightsSorted(k);  
    end  
end
```

JAVA Kodu:

```
public static void createSumToRand(double[] weights, double sumTo)  
{  
    int len = weights.length;  
    for (int i = 0; i < len - 1; i++) {  
        weights[i] = createUnif01() * sumTo;  
    }  
  
    weights[len - 1] = sumTo;  
    Arrays.sort(weights);  
  
    double last = 0.0;  
    for (int i = 0; i < len; i++) {  
        double t = weights[i];  
        weights[i] = t - last;  
        last = t;  
    }  
    Arrays.sort(weights);  
}
```

Sıralama Bilgisinin Bulunduğu Durum (RA3)

JAVA Kodu:

```
public double[] sampleWeightsWithOrderUsingRA3() {
    int numberOfCriteria = Preferences.instance().criteriaCount;
    double[] weights = new double[numberOfCriteria];

    double lowerBound = 0.0d;
    double upperBound = 0.0d;
    double randomNumber = 0.0d;
    double sumOfAssigned = 0.0d;
    double remaining = 1.0d;

    for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
        if (i < numberOfCriteria - 1) {
            upperBound = remaining / (numberOfCriteria - i);
            randomNumber = RandomUtil.createUnif01();
            weights[i] = lowerBound +
                (randomNumber * (upperBound - lowerBound));
            lowerBound = weights[i];
            sumOfAssigned = sumOfAssigned + weights[i];
            remaining = remaining - weights[i];
        } else {
            weights[i] = remaining;
        }
    }
    return weights;
}
```

Aralık Bilgisinin Bulunduğu Durum (SMAA - Kabul/Ret)

MATLAB Kodu:.....

```
% Random weight generation using interval data
% (Upper and lower bounds information)
function weights = rwg_interval(interval)

[criteria, column] = size(interval);
weights = zeros(1, criteria);

% Check if the lower bounds exceeds 1.
columnSum = sum(interval);
sumLowerBounds = columnSum(1);

if (sumLowerBounds > 1.0)
    disp('Sum of lower bounds exceeds 1.0!..')
else
    numberOfTrials = 10000;
    for i = 1:numberOfTrials

        overUpperBound = 0;
        randNums = createRandomSumTo(criteria, 1 - sumLowerBounds);

        for j = 1:criteria
            weights(j) = randNums(j) + interval(j, 1);
            if (weights(j) > interval(j, 2))
                %disp('Weight exceeds the upper bound!..');
                overUpperBound = 1;
            end
        end
        if (overUpperBound == 0)
            break;
        end
    end
end

if (i > numberOfTrials)
    disp('Could not generate weights for 10000 iteration...');
end

% Creates random numbers that sum to a given amount
function randNumbers = createRandomSumTo(randCount, sumTo)
    randNum = rand(1, randCount - 1);
    randNum = randNum * sumTo;
    q = [0, sort(randNum), sumTo];

    for j = 2:randCount+1
        randNumbers(j-1) = q(j) - q(j-1);
    end
end
```

JAVA Kodu:

```
public double[] sampleWeightsWithInterval() {
    int numberOfCriteria = Preferences.instance().criteriaCount;
    double[] weights = new double[Preferences.instance().criteriaCount];
    double[] min = Preferences.instance().min;
    double[] max = Preferences.instance().max;

    double sumOfLowerBounds = 0.0d;
    boolean overUpperBound = false;

    // calculate the sum of lower bounds
    for (int i = 0; i < min.length; i++) {
        sumOfLowerBounds = sumOfLowerBounds + min[i];
    }

    if (sumOfLowerBounds > 1) {
        System.out.println("Sum of lower bounds exceeds 1.0!..");
    } else {
        for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
            overUpperBound = false;
            RandomUtil.createSumToRand(weights, 1 - sumOfLowerBounds);

            sumOfWeights = 0.0d;
            for (int j = 0; j < numberOfCriteria; j++) {
                weights[j] = weights[j] + min[j];
                if (weights[j] > max[j]) {
                    overUpperBound = true;
                    //System.out.println("\nOver bounds error.\n");
                }
                sumOfWeights = sumOfWeights + weights[j];
            }

            if (!overUpperBound) {
                System.out.println((i + 1) + " iterasyonda buldu.");
                break;
            }
        }
    }

    return weights;
}
```

Aralık Bilgisinin Bulunduğu Durum (VBR)

JAVA Kodu:

```
public double[] sampleWeightsWithVBRAgorithmShuffle() {
    int numberOfCriteria = Preferences.instance().criteriaCount;
    double[] weights = new double[Preferences.instance().criteriaCount];
    double[] lower = Preferences.instance().min;
    double[] upper = Preferences.instance().max;
    double sumTo = 1;
    double sumOfLowerBounds = 0.0d;
    double sumOfUpperBounds = 0.0d;
    double sumOfRandomNumbers = 0.0d;
    double lowerBound = 0.0d;
    double upperBound = 0.0d;

    // Shuffle the criteria to ensure the uniformity
    int[] shuffle = new int[numberOfCriteria];
    for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
        shuffle[i] = i;
    }
    ShuffleArray.shuffleArray(shuffle);
    for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
        shuffle_index[i] = shuffle[i];
    }
    shuffle_index++;
    // Calculate the sum of lower bounds
    for (int i = 0; i < lower.length; i++) {
        sumOfLowerBounds = sumOfLowerBounds + lower[i];
    }
    if (sumOfLowerBounds > 1) {
        System.out.println("Sum of lower bounds exceeds 1.0!..");
    } else {
        for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
            sumOfLowerBounds = 0.0d;
            sumOfUpperBounds = 0.0d;
            if (i < numberOfCriteria - 1) {
                for (int k = i + 1; k < numberOfCriteria; k++) {
                    sumOfUpperBounds =
                        sumOfUpperBounds + upper[shuffle[i]];
                }
                lowerBound = Math.max(lower[shuffle[i]], sumTo -
sumOfUpperBounds - sumOfRandomNumbers);
                for (int k = i + 1; k < numberOfCriteria; k++) {
                    sumOfLowerBounds =
                        sumOfLowerBounds + lower[shuffle[i]];
                }
                upperBound = Math.min(upper[shuffle[i]], sumTo -
sumOfLowerBounds - sumOfRandomNumbers);
                weights[shuffle[i]] = lowerBound +
(RandomUtil.createUnif01() * (upperBound - lowerBound));
                sumOfRandomNumbers = sumOfRandomNumbers +
weights[shuffle[i]];
            } else {
                weights[shuffle[i]] = sumTo - sumOfRandomNumbers;
            }
        }
    }
    return weights;
}
```

Karışık Bilginin Bulunduğu Durum (RA3)

JAVA Kodu:

```
public double[] sampleWeightsWithProposedRA3() {
    // Determine the number of criteria having exact value
    for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
        if (exact[i] > 0) {
            numberOfExactValue++;
            weights[i] = exact[i];
        }
    }
    // if all the criteria have exact value, return them
    if (numberOfCriteria == numberOfExactValue) {
        System.out.println("Weights all have exact values...");
        return weights;
    }
    // Shuffle the criteria to ensure the uniformity
    int numberOfCriteriaToBeShuffled = numberOfCriteria -
    numberOfExactValue;
    int[] shuffle = new int[numberOfCriteriaToBeShuffled];
    for (int i = 0; i < numberOfCriteria; i++) {
        if (exact[i] == 0) {
            shuffle[numberOfCriteriaToBeShuffled - 1] = i;
            numberOfCriteriaToBeShuffled--;
        } else {
            sumOfExactValues = sumOfExactValues + exact[i];
        }
    }
    ShuffleArray.shuffleArray(shuffle);
    // Calculate the sum of exact values and lower bounds
    for (int i = 0; i < numberOfCriteriaToBeShuffled; i++) {
        sumOfLowerBounds = sumOfLowerBounds + lower[shuffle[i]];
    }
    sumOfAssignedWeights = sumOfExactValues;
    // Check if the exact and lower bounds is larger than 1
    if ((sumOfExactValues + sumOfLowerBounds) > 1) {
        System.out.println("Sum of exact value + lower bounds
exceeds 1.0!..");
    } else {
        for (int i = 0; i < numberOfCriteriaToBeShuffled; i++) {
            sumOfLowerBounds = 0.0d;
            sumOfUpperBounds = 0.0d;
            if (i < numberOfCriteriaToBeShuffled - 1) {
                // Calculate sum of upper bounds
                for (int k = i + 1; k <
numberOfCriteriaToBeShuffled; k++)
                    sumOfUpperBounds = sumOfUpperBounds +
upper[shuffle[k]];
                // Calculate sum of lower bounds
                for (int k = i + 1; k <
numberOfCriteriaToBeShuffled; k++)
                    sumOfLowerBounds = sumOfLowerBounds +
lower[shuffle[k]];
                // Determine the number of criteria having
larger weights
                int numberOfLarger = 0;
                for (int k = i + 1; k <
numberOfCriteriaToBeShuffled; k++)
```

```

        if (pairwise.get(shuffle[k], shuffle[i])
== 1)
            numberOfLarger++;
        // Determine the number of criteria having
smaller weights
        int numberOfSmaller = 0;
        for (int k = i + 1; k <
numberOfCriteriaToBeShuffled; k++)
            if (pairwise.get(shuffle[i], shuffle[k])
== 1)
                numberOfSmaller++;
        // Calculate new lower and upper bounds
        newLowerBound = Math.max(lower[shuffle[i]],
sumTo - sumOfUpperBounds - sumOfAssignedWeights);
        newUpperBound = Math.min(upper[shuffle[i]],
sumTo - sumOfLowerBounds - sumOfAssignedWeights);
        if (numberOfLarger > 0)
            newUpperBound = newUpperBound /
(numberOfLarger + 1);
        if (numberOfSmaller > 0 && (sumTo -
sumOfAssignedWeights > sumOfLowerBounds))
            newLowerBound =
                Math.max(newLowerBound, (sumTo -
sumOfLowerBounds - sumOfAssignedWeights) / (numberOfSmaller + 1));
        double randomNumber = RandomUtil.createUnif01();
        weights[shuffle[i]] = newLowerBound +
(randomNumber * (newUpperBound - newLowerBound));
        sumOfAssignedWeights = sumOfAssignedWeights
+ weights[shuffle[i]];
        // Update the lower bounds using the last
assigned weight
        boolean anyUpdated = false;
        for (int k = i + 1; k <
numberOfCriteriaToBeShuffled; k++)
            if (pairwise.get(shuffle[k], shuffle[i])
== 1) {
                lower[shuffle[k]] =
weights[shuffle[i]];
                anyUpdated = true;
            }
        // Update the upper bounds using the last
assigned weight
        anyUpdated = false;
        for (int k = i + 1; k <
numberOfCriteriaToBeShuffled; k++)
            if (pairwise.get(shuffle[i], shuffle[k])
== 1) {
                upper[shuffle[k]] =
weights[shuffle[i]];
                anyUpdated = true;
            }
        } else
            weights[shuffle[i]] = sumTo -
sumOfAssignedWeights;
        return weights;
    }
}

```

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ahmet Kandakoğlu
Doğum Yeri ve Tarihi: Çerkeş, 29.10.1978
Adres: Hava Kuvvetleri Komutanlığı Bilimsel Karar Destek Şube Müdürlüğü, 06100, Bakanlıklar/Ankara
E-Posta: kandakoglu@itu.edu.tr
Lisans: Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği, 1997-2001
Yüksek Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği, 2003-2006

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Mesleki Deneyim:

- Harp Akademileri Komutanlığı Harp Oyunu ve Simülasyon Merkezi Modelleme ve Simülasyon Subayı (2001-2009)
- Hava Kuvvetleri Komutanlığı Bilimsel Karar Destek Şube Müdürlüğü Analiz Subayı (2009-...)

Ödül ve Madalyalar:

- 1. Savunma Bilimleri Araştırmaları Teşvik Ödülü (2006)
- Üstün Hizmet Ödülü (2007)
- TÜBİTAK Bilimsel Yayın Teşvik Ödülü (2009, 2010)
- NATO Madalyası (2010)
- ABD Başarı Madalyası (2011)
- Yöneylem Araştırması Derneği Uygulama Büyük Ödülü (2012)
- TSK Bilimsel Başarı Ödülü (2012)

Yayın ve Patent Listesi:

A. Uluslararası İndeksli Makaleler:

- Celik M., **Kandakoglu A.**, 2012. Maritime policy development against ship flagging out dilemma using a fuzzy quantified SWOT analysis. *Maritime Policy and Management*, Volume 39, Issue 4, Pages 401-421.
- Akgun I., **Kandakoglu A.**, Ozok A.F., 2010. Fuzzy integrated vulnerability assessment model for critical facilities in combating the terrorism. *Expert Systems with Applications*, Volume 37, Issue 5, Pages 3561-3573.
- Celik M., **Kandakoglu A.**, Er I.D., 2009. Structuring fuzzy integrated multi-stages evaluation model on academic personnel recruitment in MET institutions. *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 3, Part 2, Pages 6918-6927.
- **Kandakoglu A.**, Celik M., Akgun I., 2009. A multi-methodological approach for shipping registry selection in maritime transportation industry. *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 49, Issues 3-4, Pages 586-597.

B. Ulusal Makaleler:

- Arslan O., Yücel E., **Kandakoğlu A.**, Alver Y., Özdemir H.İ., 2011. Hava Gücünün Bölgesel Mukayesesi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, Sayfa 33-42.
- **Kandakoğlu A.**, Akgün İ., 2007. Birlikte Çalışabilirlik için Muharebe Yönetim Dili. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 3, Sayı 2, Sayfa 49-58.
- Çanlı H., **Kandakoğlu A.**, 2007. Hava Gücü Mukayesesi için Bulanık AHP Modeli. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, Sayfa 71-82.

C. Uluslararası Bildiriler:

C1. Basılmış/sunulmuş tam metinli bildiriler:

- **Kandakoğlu, A.**, Kahraman C. and Topcu Y.I., 2012. Fuzzy Axiomatic Design Simulation for Evaluating the Conceptual Aircraft Designs. 10th International FLINS Conference on Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making (FLINS 2012), August 26-29, 2012, Istanbul, Turkey.
- Akgun I., **Kandakoglu A.**, Ozok A.F., 2009. A Fuzzy ANP Approach for Critical Facility Vulnerability Assessment. 2nd International Conference On Risk Analysis and Crisis Response (RACR 2009), October 19-21, 2009, Beijing, China.
- **Kandakoglu A.**, Akgun I., Topcu Y.I., 2007. Strategy Development & Evaluation in the Battlefield using Quantified SWOT Analytical Method. 9th International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (ISAHP 2007), August 03-06, 2007, Vina del Mar, Chile.
- **Kandakoglu A.**, Yaman D., Guneri A.F., 2005. Designing a Generic Supply Chain via Fuzzy Cognitive Map Approach. 3rd International Logistics and Supply Chain Congress, November 23-24, 2005, Istanbul, Turkey.

C2. Basılmış/sunulmuş öz (abstract) bildiriler:

- **Kandakoğlu, A.**, Yucel E., Topcu, Y.I., 2010. A Two Phased Multi Criteria Approach for Aviation Accident Analysis. 24th European Conference on Operational Research (EURO XXIV), July 11-14, 2010, Lisbon, Portugal.

- **Kandakoğlu, A.**, Topcu Y.I., 2009. A multi-criteria decision model framework for military force comparison. 23rd European Conference on Operational Research (EURO XXIII), July 5-8, 2009, Bonn, Germany.

D. Ulusal Bildiriler:

D1. Basılmış/sunulmuş tam metinli bildiriler:

- **Kandakoglu A.**, Yüksel M., Yücel E., 2010. Havacılık Kazalarının Analitik 5M Modeli Kullanılarak İncelenmesi. 5. Savunma Teknolojileri Kongresi (SAVTEK-2010), 23-25 Haziran 2010, Ankara, Türkiye.
- Akgün İ., **Kandakoglu A.**, Özok A.F., 2008. Bilgisayar Destekli Tatbikatların Değerlendirilmesi ve Alınan Dersler Yaklaşımı. 4. Savunma Teknolojileri Kongresi (SAVTEK-2008), 26-27 Haziran 2008, Ankara, Türkiye.
- **Kandakoglu A.**, Akgün İ., Ertuğrul E., 2007. C4I ile M&S Sistemlerinin Birlikte Çalışabilirliğine Muharebe Yönetim Dili Yaklaşımı. 2. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı (USMOS-2007), 18-19 Nisan 2007, Ankara, Türkiye.
- **Kandakoglu A.**, Çanlı H., Polat M., 2006. Simülasyona Entegre Dinamik Hava Gücü Mukayesesi. 3. Savunma Teknolojileri Kongresi (SAVTEK-2006), 29-30 Haziran 2006, Ankara, Türkiye.

D2. Basılmış/sunulmuş öz (abstract) bildiriler:

- **Kandakoğlu A.**, Akgün İ., 2006. Bilgi Sistemlerinin Birlikte Çalışabilirliği: Muharebe Yönetim Dili. 1. Ulusal Yazılım Mimarisi Konferansı (UYMK-2006), 20-21 Kasım 2006, İstanbul, Türkiye.
- **Kandakoğlu A.**, 2006. Harekat Alanında Durum Analizine Dayalı Strateji Geliştirme ve Değerlendirme Modeli. 1. Savunma Bilimleri Araştırmaları Teşvik Ödülü Yarışması Eser Özetleri Kitabı, 12-13 Mart 2006, Ankara, Türkiye.
- **Kandakoğlu, A.**, Yaman, D. and Güneri, A.F., 2005. Stratejik Hedef Önceliklendirme Aracı Olarak Bulanık A'WOT Yaklaşımı. Yöneylem Araştırması/Endüstri Mühendisliği 25. Ulusal Kongresi (YA/EM 2005), 4-6 Temmuz 2005, İstanbul, Türkiye.

