



## Intuitive fuzzy multi-expert & multi-criteria decision making methodology: An application in healthcare industry

İrem Otay\*<sup>ID</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, İstanbul Bilgi University, 34060, İstanbul, Turkey

### Highlights:

- Development of a multi expert multi-criteria intuitionistic fuzzy AHP & TOPSIS methodology
- Transformation of intuitionistic fuzzy sets into interval-valued fuzzy sets
- Application in a real life surgical robot selection problem, and comparison & sensitivity analyses

### Keywords:

- Intuitionistic fuzzy numbers
- Interval-valued fuzzy numbers
- AHP
- TOPSIS
- Fuzzy multi-criteria decision making

### Article Info:

Research Article  
Received: 30.11.2020  
Accepted: 07.09.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.833468

### Correspondence:

Author: İrem Otay  
e-mail:  
irem.otay@bilgi.edu.tr  
phone: +90 212 311 7986

### Graphical/Tabular Abstract

In recent years, the extensions of ordinary fuzzy sets have been studied by many researchers. Many extensions have been introduced over a 45 year period. The aim of the fuzzy set extensions is to let decision makers define membership, non-membership and hesitancy functions in a larger domain. In the literature, the relations between these extensions and transformations between fuzzy set extensions have not been discussed sufficiently. In Figure A, the structure of the proposed methodology is illustrated.

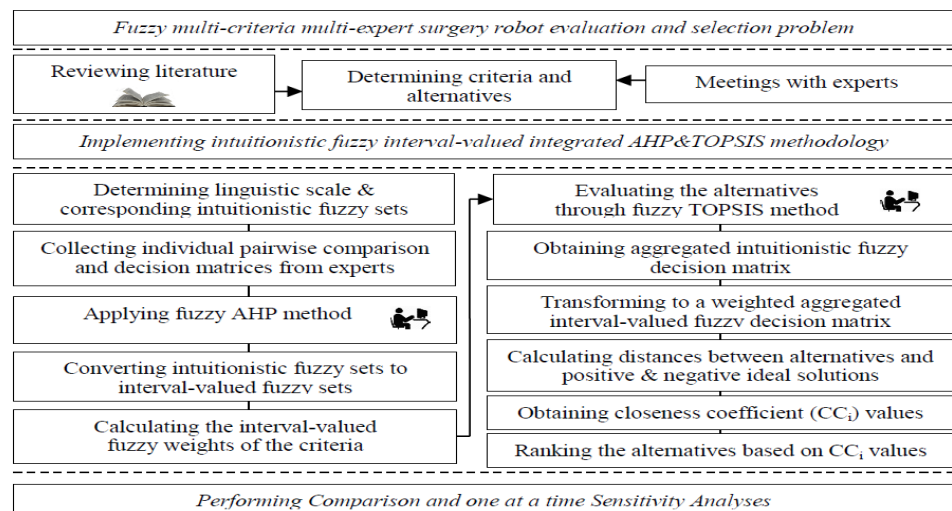


Figure A. Structure of the proposed methodology

**Purpose:** In this study, it is aimed to contribute to the literature by analyzing the relationships and transformation processes between intuitionistic fuzzy sets and interval-valued fuzzy sets. This transformation was carried out using an integrated fuzzy AHP and TOPSIS methodology. Besides these, the literature review has showed that there is no study analyzing surgical robot selection problem with fuzzy MCDM methods. Thus, in this respect the study aims to be first in the literature.

### Theory and Methods:

In the application section, the interval-valued intuitionistic fuzzy integrated AHP&TOPSIS methodology is applied to a real life surgery robot evaluation and selection problem. Herein, transformation operation between triangular intuitionistic fuzzy numbers and interval-valued triangular fuzzy numbers is presented.

### Results:

The proposed integrated fuzzy MCDM methodology solved the real life surgical robot evaluation problem successfully. The ranking of the robots planned to be used in robotic knee surgeries and the obtained criterion weights were shared with the hospital and the presented have been found to be consistent to their expectations. The results were also compared with the ones of classical AHP&TOPSIS, type-2 AHP&TOPSIS and intuitionistic fuzzy AHP&TOPSIS methodologies. A sensitivity analysis was also performed and the findings have demonstrated that the proposed methodology provides robust and reliable results.

### Conclusion:

The study introduced an integrated fuzzy AHP&TOPSIS methodology in which triangular intuitionistic fuzzy numbers were converted to interval-valued fuzzy sets without any data loss. The proposed fuzzy MCDM methodology was applied to a real life knee surgery robot selection problem. The observed results were found to be compatible with the hospital's expectations.



## Sezgisel bulanık çok uzmanlı & çok ölçütlü karar verme metodolojisi: Sağlık sektöründe bir uygulama

İrem Otay\*<sup>ID</sup>

İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34060, İstanbul, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Çok uzmanlı çok ölçütlü sezgisel bulanık AHY&TOPSIS metodolojisinin geliştirilmesi
- Sezgisel bulanık sayıların aralık değerli bulanık sayılara dönüştürülmesi
- Gerçek hayat ameliyat robotu seçimi probleminde uygulama, duyarlılık ve karşılaştırma analizleri

### Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.11.2020

Kabul: 07.09.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.833468

### Anahtar Kelimeler:

Sezgisel bulanık sayılar,  
aralık değerli bulanık sayılar,  
AHY,  
TOPSIS,  
bulanık çok ölçütlü karar  
verme

### ÖZ

Bulanık küme uzantıları son yıllarda çok sayıda araştırmada kullanılan, belirsizliği ele alma araçlarından biridir. 1990'lı yıllardan itibaren bulanık karar verme teorisi yazında en çok araştırılan konulardan biri olmuştur. Özellikle son yıllarda çok sayıda bulanık karar verme modeli yeni bulanık küme uzantıları kullanılarak önerilmiştir. Çok ölçütlü karar verme modelleri, bu uzantıların sıkça kullanıldığı bir araştırma alanı olmuştur. Bu çalışmada, üçgensel sezgisel bulanık kümeler kullanılarak tanımlanmış bir bütünleşik AHY-TOPSIS metodolojisi, aralık değerli üçgensel bulanık sayıların kullanılacağı bir metodolojiye dönüştürülmüştür. Uygulama alanı olarak, İstanbul'da faaliyet gösteren bir hastaneler grubunun yeni açacağı hastane için ameliyat robotu değerlendirme ve seçim problemi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, farklı bulanık küme uzantı tabanlı veri kümelerinin birbirlerine dönüştürülerek aynı metodolojide başarıyla kullanılabilmesini göstermiştir. Bu çalışmada ayrıca karşılaştırma ve duyarlılık analizleri yapılmış ve önerilen modelin sonuçlarının oldukça gürbüz ve tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

## Intuitive fuzzy multi-expert & multi-criteria decision making methodology: An application in healthcare industry

### H I G H L I G H T S

- Development of a multi expert multi-criteria intuitionistic fuzzy AHP&TOPSIS methodology
- Transformation of intuitionistic fuzzy sets into interval-valued fuzzy sets
- Application in a real life surgical robot selection problem, and comparison & sensitivity analyses

### Article Info

Research Article

Received: 30.11.2020

Accepted: 07.09.2021

### DOI:

10.17341/gazimmfd.833468

### Keywords:

Intuitionistic fuzzy numbers,  
interval-valued fuzzy  
numbers,  
AHP,  
TOPSIS,  
fuzzy multi-criteria decision  
making

### ABSTRACT

Fuzzy set extensions have been one of the uncertainty handling tools used in many studies in recent years. Since the 1990s, fuzzy decision making theory has been one of the most studied topics in the literature. Specifically in recent years, many fuzzy decision making models have been proposed by using new fuzzy set extensions. Multi-criteria decision making models have been a research area where these extensions are frequently used. In this study, an integrated AHP-TOPSIS methodology employing triangular intuitionistic fuzzy numbers has been transformed into a methodology in which interval-valued triangular fuzzy numbers can be used. As an application, a surgery robot evaluation and selection problem for a newly founded private hospital to be a part of a hospital chain in Istanbul, has been analyzed. The obtained results showed that different fuzzy set extension based datasets can be successfully used in the same methodology by converting them to each other. In this study, comparison and sensitivity analyses are also performed and it has been observed that the results of the proposed model are quite robust and consistent.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnsan düşünce ve yargılarındaki belirsizliği dikkate almak ve bunları modelleme problemlerinde kullanmak amacıyla geliştirilen bulanık küme teorisi Lotfi Zadeh [1] tarafından tanıtıldığı 1965 yılından bu yana araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiş ve daha önce klasik mantıkla ele alınan birçok modelleme yöntemi bulanık kümeler kullanılarak yeniden çalışılmıştır. Bulanık küme teorisinin tanıtıldığı ilk yıllarda önerilen sıradan bulanık kümeler, ilerleyen yıllarda yerini yeni bulanık küme uzantılarına bırakmaya başlamıştır. İlk bulanık küme uzantısı 1975 yılında yine Zadeh tarafından önerilen tip-2 bulanık kümelerdir [2]. Yeni bulanık küme uzantılarının genel olarak amacı, insan düşüncelerindeki belirsizliği ve gerçek hayat problemlerindeki karmaşıklığı üyelik fonksiyonlarını daha detaylı tanımlayarak ele almaktır. Bulanık küme uzantıları temel varsayımlarına bakılarak üç gruba ayrılabilir. İlk grupta sezgisel bulanık kümeler (intuitionistic fuzzy sets) ve türevleri, ikinci grupta resim bulanık kümeler (picture fuzzy sets) ve türevleri ve son grupta ise nötrosofik kümeler (neutrosophic sets) yer almaktadır.

Sezgisel bulanık kümelerin temel varsayımı üye olma ve üye olmama derecelerinin bağımsız şekilde tanımlanabilmesi ve toplam üst sınırın 1'i geçmemesidir. Bu şekilde karar vericinin kararsızlığı modele yansıtılmış olmaktadır. Sezgisel bulanık kümelerin türevleri; Pisagor bulanık kümeler (Pythagorean fuzzy sets), 3. derece sezgisel bulanık kümeler (Fermatean fuzzy sets), q. derece sezgisel bulanık kümeler (q-rung orthopair fuzzy sets) ve dairesel sezgisel bulanık kümeler (circular intuitionistic fuzzy sets)'dir. Sezgisel bulanık küme türevlerinin genel olarak amacı, karar vericinin üye olma değerlerine dair yapacağı atamaları daha büyük bir evrensel kümede yapabilmesini sağlamaktır. Sezgisel bulanık kümelerde, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı en fazla 1'e eşit olabilir. Bu durum Pisagor bulanık kümelerde 2. derece kuvvetler toplamı; 3. derece sezgisel bulanık kümelerde 3. derece kuvvetler toplamı ve q. derece sezgisel bulanık kümelerde q. derece kuvvetler toplamı için geçerlidir. Dairesel sezgisel bulanık kümelerde ise üye olma ve üye olmama dereceleri bir daire alanı şeklinde tanımlanmaktadır.

İkinci grupta yer alan resim bulanık kümelerin temel varsayımı, üye olma, üye olmama ve kararsızlık derecelerinin bağımsız olarak atanmasıdır. Bu derecelerinin toplamı 1'i geçemez. Resim bulanık kümelerin türevleri; küresel bulanık kümeler (Spherical fuzzy sets) ve t-küresel bulanık kümeler (t-Spherical fuzzy sets)'dir. Küresel bulanık kümelerde, bu üç parametrenin kareleri toplamı 1'i aşamazken t-küresel bulanık kümelerde bu parametrelerin küpleri toplamı 1'i geçemez. Üçüncü grupta yer alan nötrosofik kümelerde temel varsayım, üye olma (truthiness), üye olmama (falsity) ve kararsızlık (indeterminacy) derecelerinin bağımsız olarak tanımlanabileceği ve bunların toplamının 3'ü geçemeyeceğidir. Böylece, her bir parametre 0 ve 1 arasında değer alabilmektedir. Nötrosofik kümelerin

henüz önerilmiş türevi bulunmamaktadır. Yukarıda bahsi geçen bulanık küme uzantıları arasındaki ilişkilerin ne olduğu ve bir uzantıdan diğerine nasıl geçiş yapılabileceği yazında pek az tartışılmıştır. Oysa bulanık küme teorisinin bilim dünyasında daha iyi yer edinebilmesinin koşullarından biri budur. Bu çalışmada, yazında çok sayıda uygulama alanı bulan sezgisel bulanık kümeler ile aralık değerli bulanık kümeler kullanılmış, bunlar arasındaki dönüşümlerin nasıl yapılabileceği tartışılmıştır. Sezgisel bulanık sayılarda bölme ve çıkarma operasyonlarının net olarak tanımlanmamış olması ve karmaşıklığı, aralık değerli bulanık sayılara dönüşüm yapılarak ortadan kaldırılmıştır.

Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) problemlerinin modellenmesinde bulanık kümeler oldukça sık kullanılmaktadır. Bunun nedeni, karar matrislerinde dilsel değerlendirmelerin karar vericiler tarafından daha çok tercih edilmesidir. Dilsel değerlendirmelerin bulanık kümeler teorisi ile başarılı şekilde temsil edilebildiği yazında bilinmektedir. Bu çalışmada çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden olan ve araştırmacılar tarafından anlaşılması ve uygulama kolaylığı gibi nedenlerle sıkça tercih edilen AHY (Analitik Hiyerarşi Yöntemi) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions) yöntemleri bulanık karar ortamında ele alınmıştır. Önerilen bütünlüklü bulanık AHY&TOPSIS metodolojisinde başlangıçta üçgen sezgisel bulanık kümeler kullanılarak modelleme yapılmıştır. Bir sonraki aşamada aynı veri seti aralık değerli üçgen sezgisel bulanık kümelere başarıyla dönüştürülmüştür. Böylece iki farklı bulanık küme uzantısı arasında dönüşümün nasıl yapılabileceği de gösterilerek yazına katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

Uygulama alanı olarak sağlık sektöründe ameliyat robotu seçim problemi ele alınmıştır. Yazın taramasının yanında İstanbul'daki özel hastanelerden birinde bulunan uzmanların görüşleri de dikkate alınarak ölçüt ve alternatifler belirlenmiştir. Araştırmada değerlendirmeye alınan ameliyat robotları, diz ameliyatlarında kullanılan robotlardır. Alternatiflerin değerlendirilmesinde; maliyet, güvenilirlik ve kullanılabilirlik gibi ölçütler olmak üzere toplam altı ölçüt ele alınmıştır. Karşılaştırma ve duyarlılık analizleri de önerilen çok ölçütlü çok uzmanlı bulanık AHY&TOPSIS metodolojisinin geçerliliğinin gösterilmesi amacıyla yapılmıştır. Yazın taramasında, ameliyat robotu seçiminde bulanık çok ölçütlü karar verme üzerine yapılmış çalışmaya rastlanmamıştır. Bu bakımdan da, çalışma yazında bir ilk niteliği taşımaktadır.

Çalışma sırasıyla şu bölümlerden oluşmaktadır: İkinci bölümde bulanık ÇÖKV ve sağlık sektöründe bulanık ÇÖKV konularında kapsamlı bir yazın araştırması yapılmıştır. Üçüncü bölümde, bulanık küme uzantılarına kısaca değinilmiş ve sezgisel bulanık ve aralık değerli bulanık kümeler tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde metodolojinin gerektirdiği matematiksel altyapı sunulmuştur. Beşinci bölümde ise geliştirilen aralık değerli sezgisel bulanık AHY & TOPSIS metodolojisi tanıtılmış,

metodolojinin aşamaları özetlenmiştir. Altıncı bölümde, çalışmaya konu olan gerçek hayat problemi tanıtılmış ve araştırmanın bulguları paylaşılmıştır. Yine aynı bölümde, karşılaştırma ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar yorumlanmış ve gelecek çalışmalar için öneriler paylaşılmıştır.

## 2. YAZIN TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Bu bölümde; bulanık çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden bulanık AHY ve TOPSIS yöntemlerini, aralık değerli bulanık sayılar, tip-2 bulanık sayılar, sezgisel bulanık sayılar ve aralık değerli sezgisel bulanık tip-2 sayılar gibi bulanık küme uzantılarıyla ele alan yayınlar incelenmiştir. Aşağıda yazın taraması sonucu bulunan çalışmalar kronolojik olarak verilmiştir. Bu bölümde ayrıca sağlık sektöründe bulanık ÇÖKV çalışan yayınlar da araştırılmış ve ilgili yayınlar yine tarih sırasına göre sunulmuştur.

Yazındaki bir grup çalışma çeşitli karar verme problemlerinin çözümünde tek bir bulanık ÇÖKV yöntemi uygularken, diğer bir grup çalışma ise birden çok bulanık ÇÖKV yöntemini bütünleştirerek çözüme gitmektedir. Bu gruplardan ilkinde sezgisel bulanık sayılarla ilgili olarak farklı alanlarda yapılmış çok sayıda ÇÖKV yöntemi kullanan çalışma olup, mevcut çalışmalarda kullanılan yöntemlerin özellikle AHY, TOPSIS ve VIKOR (Vİsekriterijumska optimizacija i KOmpromisno Resenje) olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, Sadiq ve Tesfamariam [3] sondaj işlemi için çeşitli çevresel ölçütleri dikkate alan çalışmasında belirsizlik altında en iyi sondaj sıvısı (çamuru) seçimi konusunda sezgisel bulanık AHY yöntemini kullanmıştır. Kavita Yadav ve Kumar [4] tedarikçi seçimi probleminde çok ölçütlü aralık değerli sezgisel TOPSIS yöntemini kullanmış, dört ölçüt ve dört alternatifli nümerik bir örnek üzerinde önerilen yöntemi test etmiştir. Dammak vd. [5] yatırım fırsatlarının değerlendirilmesinde aralık değerli sezgisel bulanık sayılara dayanan bulanık TOPSIS yöntemini uygulamıştır. Araştırmacılar, ağırlık hesaplamasında kullanılmak üzere aralık değerli sezgisel sayılar için standart sapma ve tercih indeksini geliştirmiştir.

Birden çok sezgisel bulanık ÇÖKV yöntemini bütünleştirerek çeşitli karar verme problemlerine çözüm bulmayı amaçlayan ikinci grupta da çok değerli çalışmalar olup, aşağıda en güncel çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Karasan vd. [6] bir üretim tesisi için üretim stratejilerinin değerlendirilmesinde bütünleşik birden çok karar vericili sezgisel AHY-TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Yazarlar ayrıca önerdikleri yöntemin performansını duyarlılık analizi ile test etmiştir. Benzer şekilde, Tooranloo vd. [7] ise tedarikçi değerlendirme ve seçimi probleminde bütünleşik aralık değerli sezgisel bulanık AHY-TOPSIS yöntemini uygulamıştır.

Öte yandan, aralık değerli tip-2 bulanık sayılar araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmüş ve farklı alanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin, Mousakhani vd. [8] yeşil

tedarikçi seçiminde aralık değerli sayılar için bulanık TOPSIS yöntemini uygulamış, alternatiflerin sıralamasında Hamming mesafe ölçütünü kullanmıştır. Çalışmada ayrıca duyarlılık analizi uygulanarak parametrelerdeki değişimin sonucu nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Toklu [9]'da tedarikçi seçimi problemini incelemiş, aralık değerli tip-2 bulanık TOPSIS yöntemini tork anahtar kalibrasyonu için tedarikçi seçimi probleminin çözümüne uygulamıştır. Kahraman vd. [10] barajsız hidroelektrik güç santrallerinin değerlendirme ve seçim probleminde sezgisel bulanık tabanlı aralık değerli tip-2 bulanık sayıları kullanmış, problemin çözümünde aralık değerli tip-2 bulanık AHY yöntemini önermiştir. Mei ve Xie [11] acil bir durumda metro istasyonundan tahliyenin nasıl yapılacağına yönelik strateji seçiminde aralık değerli tip-2 bulanık sayı temelli TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Çalışmada ayrıca önerilen model sayısal bir örnek üzerinden test edilmiş ve sonuçlar farklı yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Prabhu vd. [12] Hindistan'ın Puducherry bölgesindeki üretim endüstrisinin bölümlendirilmesinde ve performansının ölçülmesi konusunda aralık değerli üçgenel bulanık TOPSIS yöntemini uygulamıştır. Çalışmada 350 üretim endüstrisi incelenmiş ve toplanan veriler Excel, SPSS and LISREL gibi yazılımlardan yararlanılarak analiz edilmiştir. Öztürk ve Paksoy [13] tedarikçi seçimi probleminin çözümüne yönelik aralık tip-2 bulanık kural tabanlı AHY yöntemini önermiş, ayrıca tip-2 bulanık kümeler için bir sıralama yöntemi tanıtmıştır. Yazarlar bir diğer çalışmalarında [14] bütünleşik Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL), Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ve tip-2 bulanık AHY yöntemi kullanmış, modelin kullanılabilirliği ve uygunluğunu yeşil tedarikçi seçimi konusunda bir vaka çalışması ile test etmiştir.

Yazında tip-2 bulanık sayıları kullanarak birden çok ÇÖKV yöntemini bütünleştiren çalışmalarda mevcuttur. Sahin ve Pehlivan [15], 28 Avrupa Birliği üyesi ve ek olarak İzlanda, Makedonya, Karadağ, Sırbistan, Türkiye ve Kosova olmak üzere toplam 34 ülkeyi yaşam kalitesi bakımından 30 subjektif ölçüte göre değerlendirmiştir. Yazarlar, ölçüt ağırlıklarını aralık değerli tip-2 bulanık AHY ile hesaplamış, ülkelerin değerlendirilmesinde ise aralık değerli tip-2 bulanık TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Wu vd. [16] rüzgar enerjisi ve hidrojen depolama projesiyle ilgili olan çalışmalarında, sürdürülebilirlik performans analizinde hibrit aralık değerli tip-2 bulanık AHY-TOPSIS yaklaşımını ele almıştır. Mathew vd. [17] ise belirsizlik altında optimal bakım stratejisinin belirlenmesi konusuna odaklanmış, problemin çözümünde aralık değerli tip-2 bulanık AHY-TOPSIS yöntemini önermiştir. Ayrıca, yazarlar sonuçları geleneksel AHY-TOPSIS ve tip-1 bulanık AHY-TOPSIS yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırmıştır. Araştırmacılar, önerilen bütünleşik bulanık yöntem ile karar vericilerin üyelik fonksiyonunu daha esnek olarak tanımlayabildiğini ve karar verme sürecindeki belirsizlikle daha iyi başa çıkılabildiğini vurgulamıştır.

Diğer taraftan, sağlık sektöründe medikal cihazlar ve medikal sağlık ürünleriyle ilgili ÇÖKV yazınında, bazı

çalışmalar yazın taramasına odaklanmakta, belirli bir zaman aralığı için mevcut yayınları incelemektedir. Örneğin, Mardani vd. [18] sağlık ve tıbbi sorunları değerlendirmek üzere kullanılan karar verme ve bulanık küme teorisinin uygulanmasıyla ilgili olarak son 30 yılda yapılan çalışmalarını araştırmış ve bu amaçla akademik saygınlığı olan 85 dergide basılan 202 yayını incelemiştir.

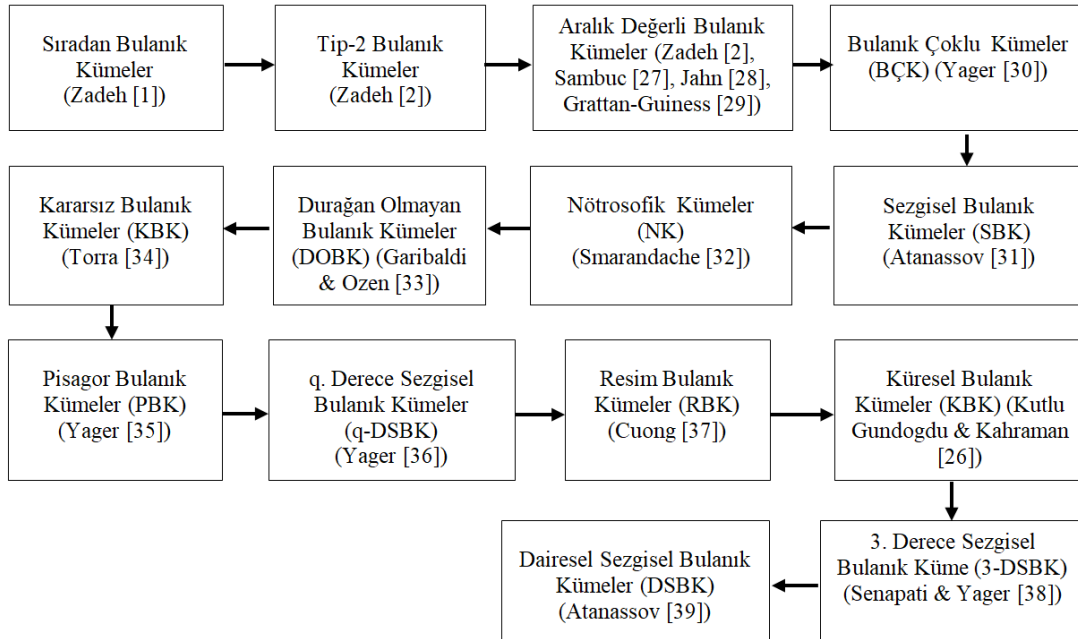
Aşağıda sağlık sektöründe bulanık ÇÖKV yazınındaki güncel yayınlardan örnekler sunulmuştur. Kulak vd. [19] sağlıkta etkin ve kaliteli görüntüleme konusunda çalışmış ve risk faktörlerini incelemiştir. Çalışmada, üniversite hastanesinde bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans görüntüleme ve ultrason cihazları gibi medikal görüntüleme sistemlerinin değerlendirilmesinde risk faktör tabanlı bulanık aksiyomatik tasarım yöntemi ilk defa kullanılmıştır. Afful-Dadzie vd. [20] çevrimiçi sağlık bilgilerinin kalitesinin değerlendirilmesi konusuna yönelmiş, problemin çözümünde bulanık VIKOR yöntemi ile çevrimiçi sağlık hizmeti sağlayıcılarını değerlendirmiştir. Zhou vd. [21] çalışmalarında sağlıkta nesnelerin interneti konusunu ele almış ve robotik otomasyon sisteminin kurulmasını teşvik etmek amacıyla bir hastane eczanesi için mobil robot seçim modeline yönelik bulanık VIKOR tabanlı bir yöntem önermiştir. Abdel-Basset vd. [22] akıllı tıbbi cihaz seçimi için grup karar verme tabanlı nütrosifik TOPSIS yöntemini kullanmıştır. Yazarlar, analiz sonuçlarını nütrosifik AHP ve MOORA (Multi-Objective Optimization By Ratio Analysis) yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Büyüközkan ve Göçer [23] akıllı tıbbi cihaz seçimi için sezgisel bulanık Choquet integraline dayalı bir yöntem geliştirmiş, yöntemin sonuçlarını sezgisel bulanık VIKOR, TOPSIS, COPRAS (The COMplex PROportional Assessment), MOORA ve MULTIMOORA (MOORA plus full multiplicative form)

yöntemlerinin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Büyüközkan ve Mukul [24] akıllı sağlık teknolojileri konusunda çalışmış, problemin çözümünde kararsız bulanık dilsel bütünleşik çok ölçütlü karar verme yöntemini geliştirmiştir. Çalışmada ele alınan ölçütlerin ağırlıkları kararsız bulanık dilsel AHY ile elde edilmiş, alternatifler ise kararsız bulanık dilsel CODAS (Combinative Distance-based Assessment) ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kararsız bulanık dilsel COPRAS ve TOPSIS yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

Sonraki bölümde son yıllarda geliştirilmiş olan bulanık küme uzantılarına kısaca değinilecek; bunlar içinde yer alan sezgisel bulanık ve aralık değerli bulanık kümeler ile ilgili daha detaylı bilgiler sunulacaktır.

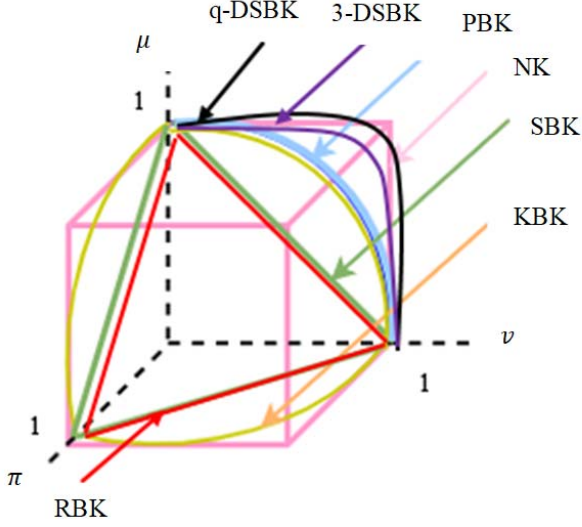
### 3. SEZGİSEL BULANIK VE ARALIK DEĞERLİ BULANIK KÜMELER (INTUITIONISTIC FUZZY AND INTERVAL-VALUED FUZZY SETS)

Bir ögenin bir küme üyeliğinin klasik mantıkta olduğu gibi her zaman sıfır veya bir ile temsil edilemeyeceğini; bu üyeliğin "0" ve "1" arasında herhangi bir değeri alabileceğini savunan Bulanık Küme Teorisi 1965 yılında Zadeh tarafından önerilmiştir. Birçok araştırmacının da belirttiği gibi, bulanık küme teorisi, bilgi eksikliği, belirsizlik ve subjektif dilsel değerlendirmelerin bulunduğu bir ortamda daha etkin kararlar alınmasına olanak sağlar ([1, 25]). Zadeh'in ilk önerdiği bulanık küme tipi, sıradan bulanık kümeler (ordinary fuzzy sets)'dir. Birçok çalışmada sıradan bulanık küme, tip-1 (1. tip) bulanık küme (type-1 fuzzy set) olarak da isimlendirilmektedir. Şekil 1'de bulanık küme uzantılarına ait tarihsel sıralama ve Şekil 2'de bu bulanık küme uzantılarının geometrik gösterimleri Kutlu Gündoğdu ve Kahraman [26]'ın çalışması güncellenerek verilmiştir.



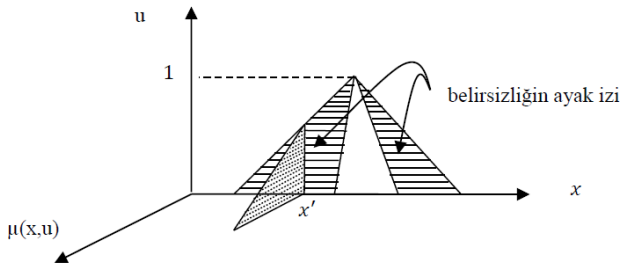
Şekil 1. Bulanık küme uzantılarının tarihsel sıralaması (Chronological order of fuzzy set extensions)





**Şekil 2.** Bulanık küme uzantılarının geometrik gösterimi  
(Geometric representation of fuzzy set extensions)

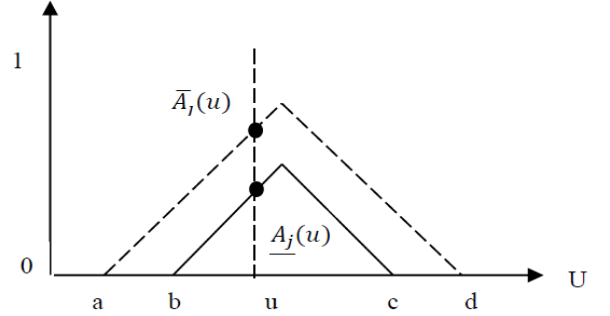
1975 yılında, tip-1 bulanık kümelerle yapılan eleştirilere karşılık tip-2 bulanık kümeler önerilmiştir. Bir öğenin tek bir üyelik derecesi ile temsil edilmesinin klasik kümelerdeki temsilden pek farklı olmadığı, tip-1 bulanık kümelerle yapılan en önemli eleştirilerden biridir. Buna karşılık, Zadeh [2] üyelik derecelerinin bir üyelik fonksiyonu ile tanımlandığı tip-2 bulanık kümeleri geliştirmiştir. Bu durumda üyelik fonksiyonları üç boyutlu olmaktadır. Şekil 3, aralık değerli tip-2 bulanık sayının üyelik fonksiyonunu göstermektedir [40].



**Şekil 3.** Aralık değerli tip-2 bulanık sayının üyelik fonksiyonu ( $\tilde{A}_i$ )  
(Membership function of an interval type-2 fuzzy number ( $\tilde{A}_i$ ))

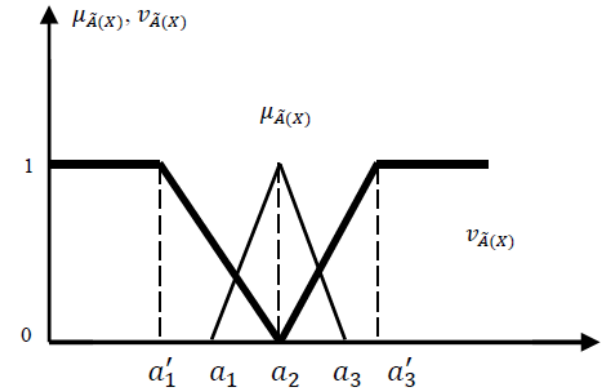
Şekil 3'teki 3.boyut ortadan kaldırıldığında ( $\mu(x,u)$  eksenindeki taralı bölge), aralık değerli bulanık sayılar elde edilir. Aralık değerli bulanık kümeler (Interval-valued fuzzy sets) Zadeh [2], Sambuc [27], Jahn [28] ve Grattan-Guinness [29] tarafından karar vericiyi tek bir değer atamaya zorlamak yerine üye olma ve üye olmama derecelerini bir aralık halinde kullanma fırsatını vermek amacıyla geliştirilmiştir. Birçok çalışmada aralık değerli tip-2 bulanık kümelerin basitleştirilmesi amacı ile aralık değerli

bulanık kümeler kullanılmaktadır. Şekil 4'te, 3. boyutu çıkartılmış aralık değerli üçgensel bulanık kümeye ait üyelik fonksiyonu gösterilmektedir [41].



**Şekil 4.** Aralık değerli üçgensel bulanık küme  
(Interval-valued triangular fuzzy set)

Sezgisel bulanık küme kavramı ise, Atanassov [31] tarafından geliştirilmiştir. Sezgisel bir bulanık kümede bir eleman; üye olma derecesi, üye olmama derecesi ve bunlara bağlı olarak elde edilen tereddüt derecesi ile temsil edilir [42]. Tereddüt derecesi, üyelik derecesi ve üye olmama derecelerinin toplamının 1'den çıkartılmasıyla bulunur. Şekil 5'te üçgensel bir sezgisel bulanık sayının üye olma ve üye olmama fonksiyonuna örnek verilmiştir [43]. Atanassov ve Gargov [44] aralık değerli sezgisel bulanık kümeleri yazına tanıtmıştır. Aralık değerli sezgisel bulanık kümelerin temel özelliği üye ve üye olmama değerlerinin tam sayı yerine aralıklı olarak ifade edilmesidir [46].



**Şekil 5.** Üçgensel sezgisel bulanık sayının üye olma ( $\mu_{\tilde{A}(x)}$ ) ve üye olmama ( $\nu_{\tilde{A}(x)}$ ) fonksiyonları  
(Membership ( $\mu_{\tilde{A}(x)}$ ) and non-membership ( $\nu_{\tilde{A}(x)}$ ) functions of triangular intuitionistic fuzzy number)

#### 4. METODOLOJİNİN TEMEL KAVRAMLARI (PRELIMINARIES OF THE METHODOLOGY)

Sezgisel bulanık kümeler ve aralık değerli bulanık kümelerle ilgili temel tanımlar, çeşitli cebirsel işlemler, bu kümelerle ilgili yığılma operatörleri ve bu kümeler arasında dönüşüm işlemleri aşağıdaki alt bölümlerde açıklanmaktadır.

4.1 Sezgisel Bulanık Kümeler (Intuitionistic Fuzzy Sets)

Tanım 1: “ $\tilde{A}$ ” sezgisel bulanık kümesi Eş. 1 ile ifade edilir [31]. Burada  $\mu_{\tilde{A}}, \tilde{A}$  kümesindeki  $x$  elemanın üye olma derecesi,  $\nu_{\tilde{A}}$  ise üye olmama derecesini göstermektedir.

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \{ \langle x, \mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x) \rangle \mid x \in X \} \\ \mu_{\tilde{A}}: X &\rightarrow [0, 1], \nu_{\tilde{A}}: X \rightarrow [0, 1] \text{ ve} \\ 0 &\leq \mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \leq 1, \forall x \in X. \end{aligned} \tag{1}$$

$X$ ’teki her bir sezgisel bulanık  $\tilde{A}$  kümesi için, kararsızlık düzeyi,  $\pi_{\tilde{A}}(x) = 1 - (\mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x))$  şeklinde ifade edilir [46].

Tanım 2. Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayı (ÜSBS): Bir  $\tilde{A}$  üçgensel sezgisel bulanık sayısı  $\tilde{A}_{\text{ÜSBS}} = (\mu_{\tilde{A}}(x), \nu_{\tilde{A}}(x)) = ((l, m, u), (\acute{l}, m, \acute{u}))$  şeklinde gösterilsin. Burada, üye olma ve üye olmama fonksiyonları Eş. 2’deki gibidir.

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A}}(x) &= \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ 1, & x = m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{Diğer} \end{cases} \\ \nu_{\tilde{A}}(x) &= \begin{cases} \frac{m-x}{m-\acute{l}}, & \acute{l} \leq x \leq m \\ 0, & x = m \\ \frac{x-m}{\acute{u}-m}, & m \leq x \leq \acute{u} \\ 1, & \text{Diğer} \end{cases} \end{aligned} \tag{2}$$

Burada  $l \leq m \leq u$ ,  $\acute{l} \leq m \leq \acute{u}$ ,  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) + \nu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$  koşulları sağlanmalıdır. Üçgensel sezgisel bulanık sayılara ait aritmetik işlemlere [45, 47] sayfa kısıtından ve yazında kolayca ulaşılabileceğinden dolayı burada yer verilmemiştir.

4.2. Aralık Değerli Bulanık Kümeler (Interval-valued Fuzzy Sets)

Yazında en çok aralık değerli üçgensel ve aralık değerli yamuksal bulanık kümeler kullanılmaktadır. Bu çalışmada aralık değerli üçgensel bulanık kümeler kullanılacaktır. Üçgenlerin yüksekliklerinin  $(w(\tilde{A}^L), w(\tilde{A}^U))$  farklı olması halinde  $\tilde{A}$  aralık değerli üçgensel bulanık sayısı (ADÜBS) Eş. 3’teki gibi gösterilir [48, 49].

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= [\tilde{A}^L, \tilde{A}^U] \\ \tilde{A} &= [(l, m, u; w(\tilde{A}^L)), (\acute{l}, m, \acute{u}; w(\tilde{A}^U))] \end{aligned} \tag{3}$$

Eğer üçgenlerin yükseklikleri eşit ise, Eş. 3, Eş. 4’e dönüşür.

$$\tilde{A} = ([\acute{l}, l], m, [u, \acute{u}]) ; w(\tilde{A}) \tag{4}$$

Aralık değerli üçgensel bulanık sayılara ilişkin aritmetik işlemlere [48, 49] makaledeki sayfa kısıtlarından ve yazında kolayca ulaşılabileceğinden dolayı burada yer verilmemiştir.

4.3. Üçgensel Sezgisel Bulanık Kümeler İçin Yığıştırma Operatörü

(Aggregation Operator for Triangular Intuitionistic Fuzzy Sets)

Çok karar vericili problemlerde aynı konuda yapılan değerlendirmelerin bir araya getirilmesi için yığıştırma operatörleri kullanılır. Yazında farklı operatörler olmakla birlikte en çok Aritmetik Ortalamalı ve Geometrik Ortalamalı Yığıştırma operatörleri kullanılmaktadır.

$\tilde{A}_{\text{ÜSBS},j}$  ( $\tilde{A}_{\text{ÜSBS},j} = ((l_j, m_j, u_j), (\acute{l}_j, m_j, \acute{u}_j))$ ) bir üçgensel sezgisel bulanık küme olsun. Bu durumda Üçgensel Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Geometrik Yığıştırma Operatörü (ÜSBAGYO),  $w$  ağırlık vektörü ( $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ ) olmak üzere  $w_j > 0$  ve  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$  için Eş. 5’teki gibidir.

$$\begin{aligned} \text{ÜSBAGYO}_w(\tilde{A}_{\text{ÜSBS},1}, \tilde{A}_{\text{ÜSBS},2}, \dots, \tilde{A}_{\text{ÜSBS},n}) \\ = (\tilde{A}_{\text{ÜSBS},1})^{w_1} \otimes \dots \otimes (\tilde{A}_{\text{ÜSBS},n})^{w_n} \end{aligned} \tag{5}$$

Yukarıdaki eşitlik düzenlendiğinde Eş. 6 elde edilir [10].

$$\begin{aligned} \text{ÜSBAGYO}_w(\tilde{A}_{\text{ÜSBS},1}, \tilde{A}_{\text{ÜSBS},2}, \dots, \tilde{A}_{\text{ÜSBS},n}) = \\ \left( \left( \prod_{j=1}^n (l_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (m_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (u_j)^{w_j} \right), \right. \\ \left. \left( \prod_{j=1}^n (\acute{l}_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (m_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (\acute{u}_j)^{w_j} \right) \right) \end{aligned} \tag{6}$$

4.4. Sezgisel Bulanık Kümelerden Aralık Değerli Bulanık Kümelere Dönüşüm

(Transformation from Intuitionistic Fuzzy Sets to Interval-valued Fuzzy Sets)

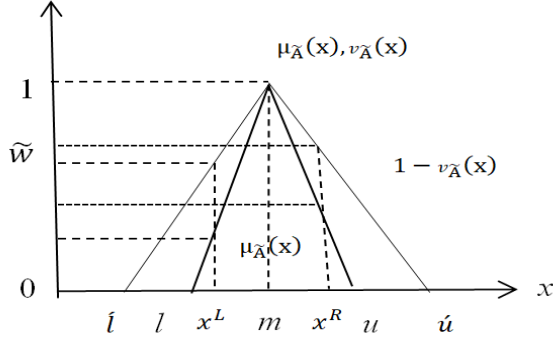
Şekil 5’te verilen üçgensel sezgisel bulanık sayı Şekil 6’daki gibi aralık değerli üçgensel bulanık sayıya dönüştürülebilmektedir. Şekil 5’teki üçgensel sezgisel bulanık sayının üye olmama fonksiyonunun tümleyeni sol taraf fonksiyonu için  $(1 - \nu_{\tilde{A}}^L)$  ve sağ taraf fonksiyonu için  $(1 - \nu_{\tilde{A}}^R)$  şeklinde bulunduğu Şekil 6 elde edilecektir. Buna göre;  $\tilde{A}_{\text{ÜSBS}} = ((l, m, u), (\acute{l}, m, \acute{u}))$  üçgensel sezgisel bulanık sayısı Şekil 6’daki gibi aralık değerli üçgensel bulanık sayıya dönüştürüldüğünde Eş. 7 ile ifade edilir.

$$\tilde{A}_{\text{ADÜBS}} = ([[\acute{l}, l], m, [(u, \acute{u})]]); 1 \tag{7}$$

Aralık değerli üçgensel bir bulanık sayıda herhangi bir noktanın karşılık geldiği üyelik aralıkları Eş. 8’deki gibi ifade edilebilir.

$$\tilde{w} = \left( \left[ \begin{array}{l} (1 - (x^L - \acute{l}) / (m - \acute{l})), \\ (1 - (x^R - \acute{u}) / (m - \acute{u})) \end{array} \right] \right) \tag{8}$$

Burada,  $x^L$  ve  $x^R$  noktaları üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının  $x$  eksenini sırasıyla sol ve sağ tarafta kestiği noktalar olup  $x^L = (m - l)(1 - v_A^L) + l$  ve  $x^R = (m - u)(1 - v_A^R) + u$  şeklinde hesaplanır.



**Şekil 6.** Aralık değerli üçgensel bulanık sayıya dönüşen ÜSBS (Interval-valued triangular fuzzy number transformed from TIFN) [10,50]

Şekil 6’da en olası değer için üyelik fonksiyonu ve üye olmama fonksiyonunun tümleyeni  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - v_{\bar{A}}(x) = 1$  noktasında üst üste gelmektedir. Ancak bu durum  $v_m \neq 0$  olduğunda  $\mu_{\bar{A}}(x) \neq 1 - v_{\bar{A}}(x)$  eşitsizliği ile gerçekleşebilir.

**5. ÇOK UZMANLI ÇOK ÖLÇÜTLÜ SEZGİSEL BULANIK AHY & TOPSIS METODOLOJİSİ (MULTI-EXPERT MULTI-CRITERIA INTUITIONISTIC FUZZY AHP & TOPSIS METHODOLOGY)**

Önerilen iki aşamalı aralık değerli sezgisel bulanık AHY&TOPSIS yönteminin adımları aşağıda kısaca açıklanmıştır [10, 51].

*Aşama 1: Kriterlerin değerlendirilmesi*

Yazın araştırması ve uygulama yapılacak sağlık işletmesiyle yapılan görüşmeler sonucu, ölçüt ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), alt-ölçütler ve alternatifler ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) belirlenir. Ölçüt ve alt-ölçütlerin ağırlıkları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

Ölçüt ve alt-ölçütlerin ikili karşılaştırma matrisleri uzmanlar tarafından dilsel terimler (Tablo 1) kullanılarak doldurulur. Bu adımda uzmanların görüş birliğine vardıkları uzlaşık ikili karşılaştırmalar matrisi veya ayrı ayrı görüş bildirdikleri ikili karşılaştırma matrisleri de kullanılabilir.

Analize başlamadan önce değerlendirmelerdeki maliyet ölçütleri tersleri alınarak fayda ölçütlerine dönüştürülür. Literatürde bulanık ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılığının ölçümü konusunda temel olarak iki farklı yaklaşım söz konusudur. Bunlardan biri, bulanık değerlendirmelerin durulaştırılarak Saaty [52]’nin önermiş olduğu klasik yöntem ile tutarlılığın ölçülmesi, diğeri ise durulaştırma yapılmadan bulanık bulanık sayılar kullanılarak tutarlılığın ölçülmesi şeklindedir.

İlk yaklaşıma örnek olarak, ikili karşılaştırma matrislerindeki üçgensel sezgisel bulanık sayılar Otay vd. [53] tarafından geliştirilmiş olan Eş. 9’deki yaklaşımla durulaştırılır ve matris tutarlılıkları Saaty [52]’in önermiş olduğu klasik yöntem ile ölçülür.  $\tilde{I} = (l, m, u), (\tilde{l}, m, \tilde{u})$  üçgensel sezgisel bulanık sayı olmak üzere,

$$d_f = \frac{(l+m+u)}{3} + \frac{(l+m+\tilde{u})}{\rho} \tag{9}$$

Burada  $\rho$  çok büyük bir sayı olup üye olmama fonksiyonunun durulaştırmadaki etkisini belirleyen faktördür.

Tutarlılık Oranı (TO) ölçümü için kullanılacak bir diğer yaklaşım ise, Abdullah ve Najib [54] tarafından önerilen Eş. 10’dur [55]. Burada TI, matris boyutuna göre belirlenen Tesadüfi İndeks değeridir.

$$TO = \frac{TI - \frac{\sum \pi_{ij}(x)}{n}}{n-1} \tag{10}$$

İkinci yaklaşıma örnek, Xu ve Liao [56] ve Efe vd. [57] tarafından kullanılan ve aşağıda adımları verilen algoritmadır. Bu yaklaşımda çarpımsal tutarlı sezgisel tercih ilişkisi incelenmiştir.

Algoritmada öncelikle ikili karşılaştırma matrisleri için  $\bar{r}_{ik} = (\bar{\mu}_{ik}, \bar{\nu}_{ik}), k > i + 1$  değeri (Eş. 11) hesaplanır.

$$\bar{r}_{ik} = \left( \frac{\frac{k-i-1 \sqrt{\prod_{t=i+1}^{k-1} \mu_{it} \mu_{tk}}}{k-i-1 \sqrt{\prod_{t=i+1}^{k-1} \mu_{it} \mu_{tk} + k-i-1 \sqrt{\prod_{t=i+1}^{k-1} (1-\mu_{it})(1-\mu_{tk})}}}, \frac{k-i-1 \sqrt{\prod_{t=i+1}^{k-1} \nu_{it} \nu_{tk}}}{k-i-1 \sqrt{\prod_{t=i+1}^{k-1} \nu_{it} \nu_{tk} + k-i-1 \sqrt{\prod_{t=i+1}^{k-1} (1-\nu_{it})(1-\nu_{tk})}} \right) \tag{11}$$

$k = i + 1$  için  $\bar{r}_{ik} = r_{ik}$   
 $k < i + 1$  için ise,  $\bar{r}_{ik} = (\bar{\nu}_{ki}, \bar{\mu}_{ki})$  olarak alınır.

**Tablo 1.** Dilsel terimler ve karşılık gelen üçgensel sezgisel bulanık sayılar (Linguistic terms and their corresponding triangular intuitionistic fuzzy numbers)

Dilsel terimler (Ölçüt ağırlıkları için)	Dilsel terimler (Karar matrisi için)	Üçgensel sezgisel bulanık sayı
Çok düşük derecede daha önemli (ÇDÖ)	Çok düşük seviye (ÇD)	((1,2,3), (1,2,4))
Düşük derecede daha önemli (DÖ)	Düşük seviye (D)	((2,3,4), (1,3,5))
Orta düşük derecede daha önemli (ODÖ)	Orta düşük seviye (OD)	((3,4,5), (2,4,6))
Orta derecede daha önemli (OÖ)	Orta seviye (O)	((4,5,6), (3,5,7))
Orta yüksek derecede daha önemli (OYÖ)	Orta yüksek seviye (OY)	((5,6,7), (4,6,8))
Yüksek derecede daha önemli (YÖ)	Yüksek seviye (Y)	((6,7,8), (5,7,9))
Çok yüksek derecede daha önemli (ÇYÖ)	Çok yüksek seviye (ÇY)	((7,8,9), (6,8,9))



R, kabul edilebilir çarpımsal tutarlı sezgisel tercih ilişkisi olmak üzere, Eş. 12 ile  $d(R^{(p)}, \bar{R})$  elde edilir.

$$d(R^{(p)}, \bar{R}) = \frac{1}{\binom{2(n-1)+}{(n-2)}} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \left( \begin{array}{l} |\bar{\mu}_{ik} - \mu_{ik}^{(p)}| + \\ |\bar{\nu}_{ik} - \nu_{ik}^{(p)}| + \\ |\bar{\pi}_{ik} - \pi_{ik}^{(p)}| \end{array} \right) \quad (12)$$

$$d(R^{(p)}, \bar{R}) < \tau$$

Burada,  $\tau$  tutarlılık eşliğini, p ise iterasyon sayısını göstermektedir.  $\tau > 0.1$  olduğu durum için  $\bar{\mu}_{ik}$  ve  $\bar{\nu}_{ik}$  değerleri yeniden elde edilip,  $d(R^{(p)}, \bar{R})$  yeniden hesaplanır [56, 57].

Bu çalışmada, tutarlılık analizi için Tablo 1’de verilen üçgenel sezgisel bulanık skalanın, tek değerli sezgisel bulanık skala karşılığı Tablo 2’deki gibi alınmıştır.

**Tablo 2.** Dilsel terimler ve karşılık gelen tek değerli sezgisel bulanık sayılar  
(Linguistic terms and their corresponding single-valued intuitionistic fuzzy numbers)

Dilsel terim	Tek değerli sezgisel bulanık sayı
ÇDÖ	(0.1,0.85,0.05)
DÖ	(0.20,0.75,0.05)
ODÖ	(0.30,0.65,0.05)
OÖ	(0.50,0.50,0)
OYÖ	(0.65, 0.30,0.05)
YÖ	(0.75, 0.20,0.05)
ÇYÖ	(0.85, 0.1,0.05)

Matrislerin tutarlılığı kontrol edildikten sonra, uzmanlardan elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri yığıştırma formülü kullanılarak (Eş. 6) tek bir ikili karşılaştırma matrisi haline getirilir.

Yığıştırılmış matriste üçgenel sezgisel bulanık sayılar, aralık değerli üçgenel bulanık sayılara Eş. 7 kullanılarak dönüştürülür. Buckley [58]’in geliştirmiş olduğu bulanık AHY yöntemi aralık değerli üçgenel bulanık sayılar üzerine uygulanır. Eş. 13 kullanılarak ikili karşılaştırma matrisindeki elemanlar  $\tilde{a}_j = (([l_j, l_j], m_j, [(u_j, u_j)]; 1)$  olmak üzere, her satırdaki değerlerin geometrik ortalaması alınır ve bulanık aralık değerli ağırlıklar Eş. 14 ile hesaplanır.

$$\tilde{r}_j = \left( \begin{array}{l} [(\bar{l}_1 \otimes \dots \otimes \bar{l}_n)^{1/n}], \\ [l_1 \otimes \dots \otimes l_n]^{1/n}, \\ [(m_1 \otimes \dots \otimes m_n)^{1/n}], \\ [(u_1 \otimes \dots \otimes u_n)^{1/n}], \\ [(\bar{u}_1 \otimes \dots \otimes \bar{u}_n)^{1/n}] \end{array} \right), \quad (13)$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{w}_j = \tilde{r}_j \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_n]^{-1}, j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

*Aşama 2: Alternatiflerin değerlendirilmesi*

Karar matrisleri uzmanlar tarafından ayrı ayrı Tablo 1’deki dilsel terimler kullanılarak doldurulur ve yığıştırma formülü kullanılarak Eş. 15’teki yığıştırılmış sezgisel bulanık karar

matrisi elde edilir. Burada  $\tilde{A}_{ij}$  üçgenel sezgisel bulanık sayıları temsil etmektedir.

$$\tilde{D}_{\text{ÜSBS}} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} & \dots & \tilde{A}_{1n} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} & & \tilde{A}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \dots & \tilde{A}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (15)$$

Eş. 15’teki üçgenel sezgisel bulanık karar matrisi, Eş. 16’daki aralık değerli üçgenel bulanık karar matrisine dönüştürülür. Burada  $\tilde{r}_{ij}$  aralık değerli üçgenel bulanık sayıları temsil etmektedir.

$$\tilde{D}_{\text{ADÜBS}} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \dots & \tilde{r}_{1n} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & & \tilde{r}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{r}_{m1} & \tilde{r}_{m2} & \dots & \tilde{r}_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (16)$$

Karar matrisi bulanık AHY yöntemiyle elde edilen bulanık ağırlıklarla çarpıldığında Eş. 17’deki bulanık ağırlıklı karar matrisi ( $\tilde{D}_w$ ) elde edilir.

$$\tilde{D}_w = [\tilde{s}_{ij}]_{n \times m} = \tilde{w}_j \otimes \tilde{D}_{\text{ADÜBS}} \quad (17)$$

$$\tilde{s}_{ij} = [(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}), (\bar{l}_{ij}, m_{ij}, \bar{u}_{ij})] \text{’dir.}$$

Ardından, Pozitif ideal çözüm ( $PI_j^+$ ) ve Negatif ideal çözüm ( $NI_j^-$ ) kümeleri Eş. 18 ve Eş. 19’daki gibi bulunur.

$$PI_j^+ = \begin{cases} \tilde{s}_j^+ = \max_i \tilde{s}_{ij} & \text{fayda ölçütü} \\ \tilde{s}_j^+ = \min_i \tilde{s}_{ij} & \text{maliyet ölçütü} \end{cases} \quad (18)$$

$$NI_j^- = \begin{cases} \tilde{s}_j^- = \min_i \tilde{s}_{ij} & \text{fayda ölçütü} \\ \tilde{s}_j^- = \max_i \tilde{s}_{ij} & \text{maliyet ölçütü} \end{cases} \quad (19)$$

$j = 1, 2, \dots, n$

Burada  $\tilde{s}_j^+ = (l_{ij}^+, m_{ij}^+, u_{ij}^+), (\bar{l}_{ij}^+, m_{ij}^+, \bar{u}_{ij}^+)$  ve  $\tilde{s}_j^- = (l_{ij}^-, m_{ij}^-, u_{ij}^-), (\bar{l}_{ij}^-, m_{ij}^-, \bar{u}_{ij}^-)$ ’dir.

$PI_j^+$  ve  $NI_j^-$  elde edildikten sonra, alternatiflerin ideal çözümlere olan uzaklıkları hesaplanır. Aşağıda verilen eşitliklerde, “1” indisi Şekil 6’daki dış üçgeni, “2” indisi ise yine aynı şekilde iç üçgeni temsil etmektedir. Eş. 20 ve Eş. 21’deki  $D_{i1}^+$  ve  $D_{i2}^+$  ifadeleri  $x_i$  alternatifinin pozitif ideal çözümden olan uzaklığını, Eş. 22 ve Eş. 23’teki  $D_{i1}^-$  ve  $D_{i2}^-$  ise  $x_i$  alternatifinin negatif ideal çözümden olan uzaklığını ifade etmektedir [51].

$$D_{i1}^+ = \sum_{j=1}^n \frac{1}{3} \sqrt{\left( (l_{ij} - l_{ij}^+)^2 + (m_{ij} - m_{ij}^+)^2 + (u_{ij} - u_{ij}^+)^2 \right)} \quad (20)$$

$$D_{i2}^+ = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} \left( \begin{array}{l} (l_{ij} - l_{ij}^+)^2 + \\ (m_{ij} - m_{ij}^+)^2 + \\ (u_{ij} - u_{ij}^+)^2 \end{array} \right)} \quad (21)$$

$$D_{i1}^- = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} \left( \begin{array}{l} (l_{ij} - l_{ij}^-)^2 + \\ (m_{ij} - m_{ij}^-)^2 + \\ (u_{ij} - u_{ij}^-)^2 \end{array} \right)} \quad (22)$$

$$D_{i2}^- = \sum_{j=1}^n \sqrt{\frac{1}{3} \left( \begin{array}{l} (l_{ij} - l_{ij}^-)^2 + \\ (m_{ij} - m_{ij}^-)^2 + \\ (u_{ij} - u_{ij}^-)^2 \end{array} \right)} \quad (23)$$

$\forall i, i = \{1, 2, \dots, m\}$

Burada  $D_{i1}^+, D_{i2}^+, D_{i1}^-$  ve  $D_{i2}^-$  pozitif ve negatif ideal çözümlerden olan uzaklıkları aralık olarak elde etmemizi sağlar.

Her bir alternatif için ideal çözüme benzerlik katsayısı ( $BK_i$ ) aralık değerli olarak  $[BK_{iL}, BK_{iU}]$  Eş. 24 ve Eş. 25 kullanılarak elde edilir [51].

$$BK_{iL} = \frac{D_{i2}^-}{D_{i2}^+ + D_{i2}^-}, BK_{iU} = \frac{D_{i1}^-}{D_{i1}^+ + D_{i1}^-} \quad (24)$$

$$BK_i = \frac{BK_{iL} + BK_{iU}}{2} \quad i = \{1, 2, \dots, m\} \quad (25)$$

Alternatifler ideal çözüme Benzerlik Katsayılarına ( $BK_i$ ) göre sıralanır ve en büyük değere sahip olan alternatif tercih edilir.

## 6. UYGULAMA (APPLICATION)

### 6.1. Problem Tanımı (Problem Definition)

İstanbul'da faaliyet gösteren bir hastaneler grubu, yeni kuracağı hastane için diz ameliyatlarında kullanılmak üzere bir ameliyat robotu satın almayı planlamaktadır. Doktorlar, hastane yöneticileri, satınalma departmanındaki uzmanlar ve teknoloji sağlayıcıları ile yapılan görüşmeler sonucunda aşağıdaki üç alternatif belirlenmiştir. Bunlar; *Mako by Stryker*, *NAVIO by Smith & Nephew* ve *Zimmer Biomet's Rosa robotları*. Dikkate alınan bu alternatifler, uzmanların gizlilik talebi doğrultusunda sırasız olarak A1, A2 ve A3 şeklinde kodlanacaktır. Değerlendirmeleri yapacak uzman grubu, yukarıda ifade edilen paydaşlar arasından doktor, hastane yöneticisi ve teknoloji sağlayıcısı olmak üzere üç kişiden (U1, U2 ve U3) oluşmaktadır. Uzmanlarla yapılan görüşmeler ve yazın taraması sonucunda oluşturulan üç seviyeli karar hiyerarşisinin ilk seviyesinde en iyi ameliyat robotunun seçilmesi amacı, ikinci seviyesinde karar probleminin çözümünde belirlenen altı ölçüt ve son seviyede alternatif ameliyat robotları bulunmaktadır.

Analizde ele alınan ölçütler ve bu ölçütlerin tanımları aşağıda kısaca verilmektedir.

C1: Maliyet: Bu ölçüt, robot satınalma maliyeti, operasyon maliyeti ve garanti maliyeti gibi çeşitli maliyet kalemlerini içerir [21].

C2: Güvenilirlik: Bu ölçüt bir öğenin belirli bir zaman aralığı için belirtilen koşullar altında amaçlanan görevini yerine getirebilmesini ifade eder [59].

C3: Adapte olabilme: Bu ölçüt yeni teknolojilere uyarlanabilme ve konfigürasyon kolaylığı gibi alt ölçütleri içerir.

C4: Hizmet verebilme: Bir ameliyat robotunun işlevini sürdürülebilir şekilde yerine getirmesiyle ilgili koşulları ifade eder.

C5: Kullanılabilirlik: Diğer bir ölçüt de, belirli kullanıcılar tarafından kararlaştırılmış hedeflere ulaşmadaki etkililik, etkinlik ve kullanıcı memnuniyeti gibi kavramları içerir [60].

C6: İnsan-makina arayüzü: Bu ölçütte ise kullanıcı ve makine arasındaki etkin etkileşim, bunun için gerekli üst düzey kontrol dili, yazılım tasarımı & kullanımı ve bir dizi etkileşim ekipmanı gibi alt ölçütler ele alınır [61].

### 6.2. Problem Çözümü (Problem Solution)

Çalışmada öncelikle uzmanlardan Tablo 1'deki dilsel terimleri kullanarak ölçütlerin ikili karşılaştırma değerlendirmelerini yapmaları istenmiştir. Her bir uzmandan elde edilen bu değerlendirmeler, Tablo 3'teki ikili karşılaştırma matrislerinde gösterilmektedir. Uzman ağırlıkları, uzmanların tecrübelerine göre sırasıyla 0,4, 0,3 ve 0,3 olarak belirlenmiştir.

Uzmanlardan ikili karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra, matrislerin tutarlılığı öncelikle Saaty [52]'nin yaklaşımı kullanılarak kontrol edilmiştir. Bunun için, Eş. 9 kullanılarak matrisler öncelikle durulaştırılmış, sonrasında klasik tutarlılık analizi uygulanmıştır. Buna göre matris tutarlılıkları sırasıyla 0,086, 0,099 ve 0,096 olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada ayrıca, Xu ve Liao [56] tarafından geliştirilen ve 5. Bölüm'de açıklanan yaklaşım kullanılarak her bir karar vericiden alınan ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık analizi sezgisel bulanık sayılar ile yapılmış, tutarlılık oranları ölçülmüştür. Tutarlılık Oranları 0,10'un altında bulunmuştur. Örneğin;  $i=1, t=4, k=5$  olduğu durum için Tutarlılık Oranı 0,049 olarak elde edilmiştir.

Matrislerin tutarlı olduğunun tespit edilmesiyle, karar vericilerden elde edilen ikili karşılaştırma matrisleri Eş. 6 kullanılarak yığıştırılmıştır. Yığıştırılmış sezgisel bulanık ikili karşılaştırma matrisi Tablo 4'te sunulmuştur. Metodolojideki adımlar sırasıyla takip edilerek üçgenel

**Tablo 3.** İkili karşılaştırmalar matrisleri (Pairwise comparison matrices)

Ölçüt	C1			C2			C3		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
C1	1	1	1	1/ODÖ	1/DÖ	1/DÖ	1	1/ÇDÖ	1/ÇDÖ
C2	ODÖ	DÖ	DÖ	1	1	1	ODÖ	ODÖ	ODÖ
C3	1	ÇDÖ	ÇDÖ	1/ODÖ	1/ODÖ	1/ODÖ	1	1	1
C4	OYÖ	OÖ	ODÖ	1/DÖ	1/DÖ	1/DÖ	OÖ	ODÖ	OÖ
C5	OÖ	OÖ	OÖ	1/DÖ	1/DÖ	1/DÖ	OÖ	OÖ	ODÖ
C6	DÖ	DÖ	DÖ	1/OÖ	1/ODÖ	1/ODÖ	DÖ	DÖ	DÖ
Ölçüt	C4			C5			C6		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
C1	1/OYÖ	1/OÖ	1/ODÖ	1/OÖ	1/OÖ	1/OÖ	1/DÖ	1/DÖ	1/DÖ
C2	DÖ	DÖ	DÖ	DÖ	DÖ	DÖ	OÖ	ODÖ	ODÖ
C3	1/OÖ	1/ODÖ	1/OÖ	1/OÖ	1/OÖ	1/ODÖ	1/DÖ	1/DÖ	1/DÖ
C4	1	1	1	DÖ	DÖ	DÖ	OÖ	ODÖ	ODÖ
C5	1/DÖ	1/DÖ	1/DÖ	1	1	1	DÖ	DÖ	DÖ
C6	1/OÖ	1/ODÖ	1/ODÖ	1/DÖ	1/DÖ	1/DÖ	1	1	1

**Tablo 4.** Yığıştırılmış sezgisel bulanık ikili karşılaştırmalar matrisi (Aggregated intuitionistic fuzzy pair-wise comparison matrix)

Ölçüt	C1	C2
C1	[(1,1,1);(1,1,1)]	[(0,23, 0,3, 0,43);(0,19, 0,3, 0,76)]
C2	[(2,35, 3,37, 4,37);(1,32, 3,37, 5,38)]	[(1,1,1);(1,1,1)]
C3	[(1, 1,52, 1,93);(1, 1,52, 2,3)]	[(0,2, 0,25, 0,33);(0,17, 0,25, 0,5)]
C4	[(4,01, 5,03, 6,04);(2,98, 5,03, 7,05)]	[(0,25, 0,33, 0,5);(0,2, 0,33, 1)]
C5	[(4,5,6);(3,5,7)]	[(0,25, 0,33, 0,5);(0,2, 0,33, 1)]
C6	[(2,3,4);(1,3,5)]	[(0,19, 0,23, 0,3);(0,16, 0,23, 0,43)]
Ölçüt	C3	C4
C1	[(0,52, 0,66, 1);(0,44, 0,66, 1)]	[(0,17, 0,2, 0,25);(0,14, 0,2, 0,34)]
C2	[(3,4,5);(2,4,6)]	[(2,3,4);(1,3,5)]
C3	[(1,1,1);(1,1,1)]	[(0,18, 0,21, 0,27);(0,15, 0,21, 0,38)]
C4	[(3,67, 4,68, 5,68);(2,66, 4,68, 6,68)]	[(1,1,1);(1,1,1)]
C5	[(3,67, 4,68, 5,68);(2,66, 4,68, 6,68)]	[(0,25, 0,33, 0,5);(0,2, 0,33, 1)]
C6	[(2,3,4);(1,3,5)]	[(0,19, 0,23, 0,3);(0,16, 0,23, 0,43)]
Ölçüt	C5	C6
C1	[(0,17, 0,2, 0,25);(0,14, 0,2, 0,33)]	[(0,25, 0,33, 0,5);(0,2, 0,33, 1)]
C2	[(2,3,4);(1,3,5)]	[(3,37, 4,37, 5,38);(2,35, 4,37, 6,38)]
C3	[(0,18, 0,21, 0,27);(0,15, 0,21, 0,38)]	[(0,25, 0,33, 0,5);(0,2, 0,33, 1)]
C4	[(2,3,4);(1,3,5)]	[(3,37, 4,37, 5,38);(2,35, 4,37, 6,38)]
C5	[(1,1,1);(1,1,1)]	[(2,3,4);(1,3,5)]
C6	[(0,25, 0,33, 0,5);(0,2, 0,33, 1)]	[(1,1,1);(1,1,1)]

sezgisel bulanık sayılar öncelikle aralık değerli üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüş, ardından bulanık AHY yöntemi aralık değerli üçgensel bulanık sayılar için uygulanmış ve ölçütlerin aralık değerli üçgensel bulanık ağırlıkları Tablo 5'teki gibi elde edilmiştir.

**Tablo 5.** Normalleştirilmiş aralık değerli bulanık ağırlıklar (Normalized interval-valued fuzzy weights)

Ölçüt	Aralık değerli üçgensel bulanık ağırlıklar
C1	[(0,02, 0,03];0,05;[0,08, 0,15])
C2	[(0,11, 0,21];0,36;[0,57, 0,94])
C3	[(0,02, 0,03];0,05;[0,09, 0,17])
C4	[(0,1, 0,17];0,27;[0,43, 0,77])
C5	[(0,07, 0,11];0,18;[0,29, 0,56])
C6	[(0,03, 0,06];0,09;[0,15, 0,29])

Ölçütlerin bulanık ağırlıkları elde edildikten sonra, alternatiflerin değerlendirilmesi ve sıralanmasında aralık değerli üçgensel sezgisel bulanık TOPSIS yöntemine geçilir. Karar vericilerle yapılan görüşmeler ışığında, Tablo 1 kullanılarak oluşturulan karar matrisleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Karar matrislerindeki dilsel değerlendirmeler üçgensel sezgisel bulanık sayılara dönüştürülüp, yığıştırma operatörü (Eş. 6) kullanılarak yığıştırılmıştır. Elde edilen yığıştırılmış matristeki değerler, aralık değerli üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek, Tablo 7 elde edilmiştir.

Yığıştırılmış karar matrisindeki değerler bulanık AHY ile bulunan ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklandırılmış karar matrisi (Eş. 17) Tablo 8'deki gibi elde edilmiştir.

Önerilen bütünleşik bulanık AHY&TOPSIS metodolojisi takip edilerek, bir sonraki adımda pozitif ideal çözüm ( $PI_j^+$ ) ve negatif ideal çözüm ( $NI_j^-$ ) kümeleri Eş. 18 ve Eş. 19 kullanılarak elde edilir. Ardından, alternatiflerin  $PI_j^+$  ve  $NI_j^-$  çözümlere olan uzaklıkları Eş. 20 - Eş. 23 kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 9’da alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlerden olan uzaklıkları ( $D_{i1}^+$ ,  $D_{i2}^+$ ,  $D_{i1}^-$  ve  $D_{i2}^-$ ) ile her bir alternatif için Eş. 24 ve Eş. 25 kullanılarak hesaplanan ideal çözüme benzerlik katsayıları ( $BK_i$ ) sunulmuştur. Alternatiflerin  $BK_i$  değerleri büyükten küçüğe sıralandığında en iyi alternatifin A2 olduğu belirlenmiştir. Sıralama en iyiden en kötüye doğru  $A2 > A3 > A1$  şeklinde elde edilmiştir.

6.3. Karşılaştırma ve Duyarlılık Analizleri  
(Comparison and Sensitivity Analyses)

6.3.1. Karşılaştırma analizi (Comparison analysis)

Çalışmada elde edilen sonuçlar, tip-2 bulanık AHY&TOPSIS, sezgisel bulanık AHY&TOPSIS ve klasik AHY&TOPSIS metodolojileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tip-2 bulanık AHY-TOPSIS metodolojisinde, hesaplamalar daha uzun ve karmaşık olmakla birlikte elde edilen sonuçlar önerilen metodolojinin sonuçlarıyla birebir aynı bulunmuştur. Bir diğer karşılaştırma yöntemi olarak; alternatiflerin pozitif ve

**Tablo 6.** Karar matrisleri (Decision matrices)

Ölçüt	Alternatifler								
	A1			A2			A3		
	U1	U2	U3	U1	U2	U3	U1	U2	U3
C1	1/DÖ	1/ODÖ	1/OÖ	1/ÇYÖ	1/YÖ	1/OYÖ	1/OÖ	1/OÖ	1/ODÖ
C2	ODÖ	DÖ	OÖ	YÖ	OYÖ	YÖ	OYÖ	OÖ	OÖ
C3	DÖ	DÖ	OÖ	YÖ	OYÖ	YÖ	OYÖ	ODÖ	ODÖ
C4	1/OYÖ	1/OÖ	1/OYÖ	1/ÇYÖ	1/YÖ	1/YÖ	1/ODÖ	1/DÖ	1/DÖ
C5	ODÖ	ODÖ	ODÖ	YÖ	OYÖ	YÖ	DÖ	DÖ	ODÖ
C6	OÖ	ODÖ	DÖ	OYÖ	YÖ	OYÖ	DÖ	DÖ	OÖ

**Tablo 7.** Yığıştirilmiş aralık değerli üçgensel bulanık karar matrisi (Aggregated interval-valued triangular fuzzy decision matrix)

Ölçüt	Alternatifler								
	A1			A2			A3		
C1	([0,17, 0,21];0,26;[0,36, 0,58])			([0,115, 0,124];0,14;[0,17, 0,2])			([0,15, 0,18];0,21;[0,27, 0,38])		
C2	([1,83, 2,9];3,92;[4,94, 5,95])			([4,68, 5,68];6,68;[7,69, 8,69])			([3,37, 4,37];5,38;[6,38, 7,38])		
C3	([1,39, 2,46];3,5;[4,52, 5,53])			([4,68, 5,68];6,68;[7,69, 8,69])			([2,64, 3,68];4,7;[5,72, 6,73])		
C4	([0,13, 0,15];0,18;[0,21, 0,27])			([0,11, 0,12];0,14;[0,16, 0,19])			([0,19, 0,23];0,3;[0,43, 0,76])		
C5	([2,3];4;[5,6])			([4,68, 5,68];6,68;[7,69, 8,69])			([1,23, 2,26];3,27;[4,28, 5,28])		
C6	([1,91, 2,98];4,01;[5,03, 6,04])			([4,28, 5,28];6,28;[7,29, 8,29])			([1,39, 2,46];3,5;[4,52, 5,53])		

**Tablo 8.** Ağırlıklandırılmış aralık değerli üçgensel bulanık karar matrisi (Aggregated interval-valued triangular fuzzy decision matrix)

Alternatifler	C1	C2
A1	([0,004, 0,006];0,012;[0,028, 0,088])	([0,196, 0,621];1,405;[2,814, 5,615])
A2	([0,002, 0,004];0,007;[0,013, 0,03])	([0,499, 1,218];2,393;[4,379, 8,198])
A3	([0,003, 0,005];0,01;[0,021, 0,057])	([0,359, 0,938];1,925;[3,636, 6,968])
Alternatifler	C3	C4
A1	([0,033, 0,084];0,186;[0,393, 0,928])	([0,013, 0,026];0,048;[0,093, 0,209])
A2	([0,111, 0,194];0,356;[0,669, 1,458])	([0,011, 0,02];0,037;[0,068, 0,143])
A3	([0,063, 0,126];0,251;[0,498, 1,13])	([0,018, 0,039];0,081;[0,185, 0,583])
Alternatifler	C5	C6
A1	([0,13, 0,333];0,709;[1,46, 3,382])	([0,062, 0,171];0,371;[0,77, 1,764])
A2	([0,304, 0,631];1,184;[2,244, 4,897])	([0,139, 0,303];0,581;[1,115, 2,42])
A3	([0,08, 0,251];0,58;[1,249, 2,977])	([0,045, 0,141];0,323;[0,691, 1,615])

**Tablo 9.** Alternatiflerin  $PI_j^+$  &  $NI_j^-$ ’ye olan uzaklıkları ile benzerlik katsayıları  
(Distances of alternatives to  $PI_j^+$  &  $NI_j^-$  and Closeness of coefficient values)

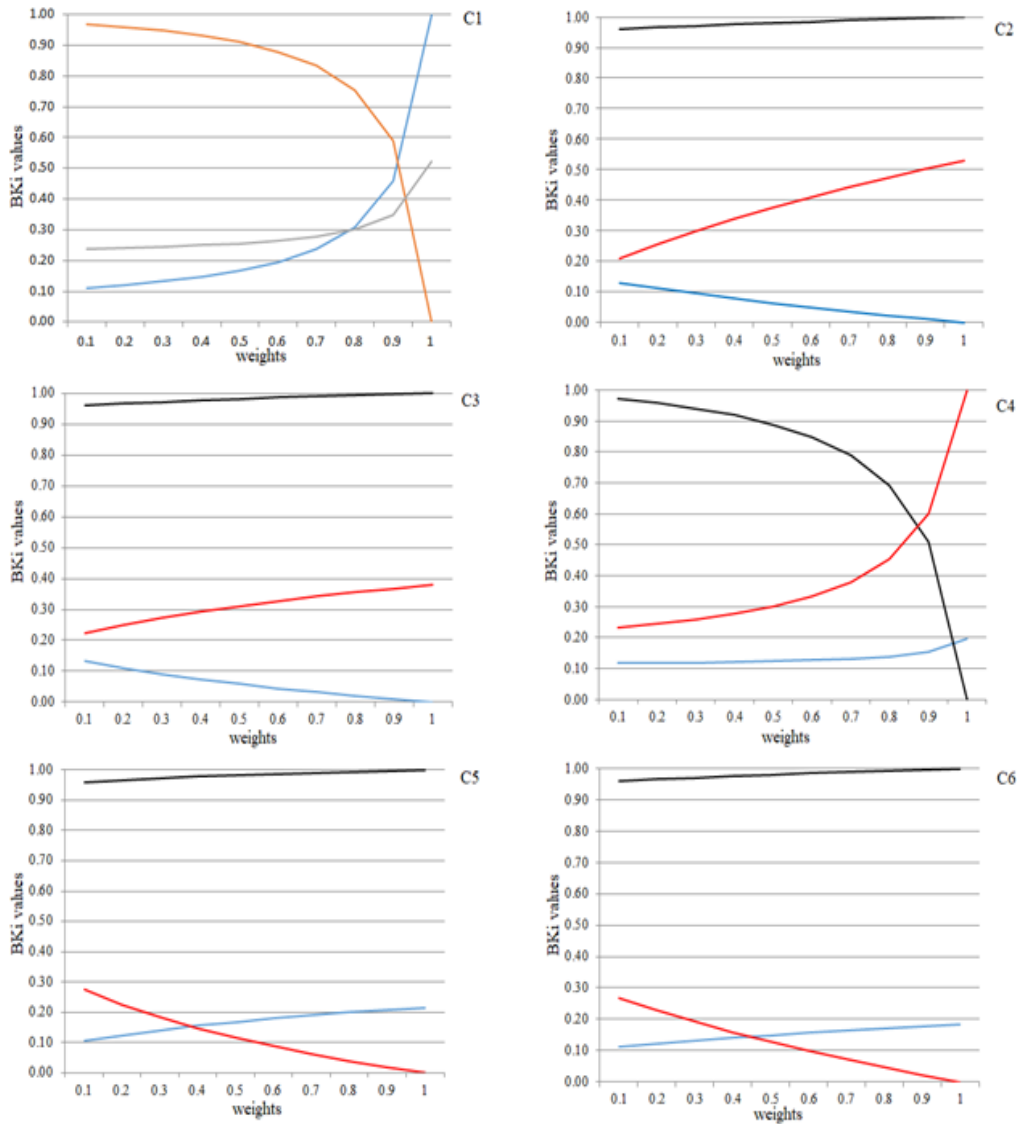
Alternatifler	$D_{i1}^+$	$D_{i2}^+$	$D_{i1}^-$	$D_{i2}^-$	$BK_{iL}$	$BK_{iU}$	$BK_i$	Sıra
A1	3,47	2,18	0,41	0,23	0,096	0,106	0,10	3
A2	0,29	0,08	3,59	2,33	0,966	0,926	0,95	1
A3	2,64	1,67	1,24	0,74	0,309	0,319	0,31	2

negatif ideal çözümlerden uzaklıklarının Hamming mesafe ölçütü ile hesaplandığı Stanujkic vd. [62] tarafından önerilen üçgenel sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmış; her bir alternatif için tek bir benzerlik katsayısı elde edilmiştir. Alternatiflerin sıralaması önerilen metodolojinin sonuçlarıyla aynı elde edilmiş olup; BK değerleri sırasıyla 0,10, 0,97 ve 0,31 olarak hesaplanmıştır. Son olarak, klasik AHY&TOPSIS metodolojisi kullanılarak aynı problem çözülmüştür. Analizde kullanılan dilsel skala, Eş. 9 kullanılarak durulaştırılmış, elde edilen klasik sayılarla işlemler yapılmıştır. Alternatiflerin sıralaması değişmemiş; benzerlik katsayıları ise sırasıyla 0,11, 0,97 ve 0,38 olarak elde edilmiştir. Karşılaştırma analizleri sonucunda, önerdiğimiz yöntemin diğer karşılaştırma yöntemleriyle aynı sonucu vermesi yöntemimizin geçerliliğinin ve doğru çalıştığının bir göstergesidir. Yazında çok sayıda bulanık küme uzantısı olmasına rağmen bunların birbirleriyle olan

ilişkileri yeterince tartışılmamaktadır. Örneğin, sezgisel bulanık çok ölçütlü bir karar verme yönteminin küresel bulanık bir veri kümesi ile nasıl kullanılabileceği henüz tartışılmamıştır. Önerdiğimiz yöntem bu açıdan da yazına katkıda bulunmaktadır. Sezgisel bulanık çok ölçütlü karar verme modelinde aralık değerli bulanık veri kümesi kullanılabilir hale getirilmiştir. Benzer dönüşümlerin yapılabilmesi bulanık küme teorisi için önemli katkılar sağlayacaktır.

### 6.3.2. Duyarlılık analizi (Sensitivity analysis)

Bu bölümde, her bir ölçütün ağırlığı  $[0,1, 1]$  aralığında her defasında 0,1 kadar artırılmış ve geriye kalan ağırlıklar toplamı diğer ölçütler arasında eşit olarak paylaştırılmıştır. Bu şekilde önerilen model, 60 (6x10) farklı senaryo için çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Şekil 7'de



Şekil 7. Duyarlılık analizi sonuçları (Results of sensitivity analysis)

gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, C1 ölçütünün artan ağırlık değerleri için A1 ve A3 alternatiflerinin benzerlik katsayılarında artış A2 de ise düşüş gözlemlenmiştir. C1 ölçütünün ağırlığı [0,1, 0,7] aralığında alternatiflerin sıralaması  $A2>A3>A1$  iken, ölçüt ağırlığı [0,8, 0,9] olduğu durumda sıralama  $A2>A1>A3$  şeklinde; ölçüt ağırlığının [0,9, 1,0] aralığında olduğunda ise sıralama  $A1>A3>A2$  olarak elde edilmiştir. Diğer taraftan C2 ve C3 ölçütlerinin farklı ağırlıkları için elde edilen grafiklerin aynı davranışı gösterdikleri görülmektedir. Bu ölçütlerin farklı ağırlıkları için elde edilen sıralamalarda değişiklik olmamış,  $A2>A3>A1$  sıralaması korunmuştur. C4 ölçütünün farklı ağırlık değerleri için çizilen grafikte, ağırlığın 0,8'e eşit veya küçük olduğu durumlarda sıralama  $A2>A3>A1$  olarak elde edilmektedir. Ölçüt ağırlığı [0,8, 0,9] aralığında iken sıralama  $A3>A2>A1$  olarak; ağırlığın [0,9, 1,0] aralığında olması halinde sıralama  $A3>A1>A2$  şeklinde elde edilmektedir. C5 ve C6 ölçütlerinin farklı ağırlık değerleri için elde edilen grafiklerde de benzerlik göze çarpmaktadır. Ölçütlerin artan ağırlık değerleri ile A1'in benzerlik katsayısı artarken, A3'ün benzerlik katsayısı düşmüş ve her iki ölçüt için belirli bir ağırlık değerinden sonra sıralama  $A2>A1>A3$  olarak değişmiştir.

## 7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bulanık küme uzantıları yazında yaklaşık 45 yıldır yaygın olarak çalışılmış ve bu süre içinde birçok yeni uzantı önerilmiştir. Çok sayıda araştırmacının çalıştığı bu alanda geliştirilen bulanık küme uzantılarında hedef, üye olma, üye olmama ve kararsızlık derecelerini daha geniş bir alanda atama imkanı vermektir. Ancak, yazında bu uzantılar arasındaki ilişkilerin yeterli derecede ele alınmadığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Pisagor bulanık kümeler ve resim bulanık kümeler arasındaki ilişkiler veya nütrosifik kümeler ile küresel bulanık kümeler arasındaki ilişkiler henüz ortaya konmamıştır. Bu çalışmada bulanık küme uzantılarından sezgisel bulanık küme ve aralık değerli bulanık kümeler arasındaki ilişkiler ve dönüşüm işlemleri araştırılarak yazına katkıda bulunulması amaçlanmıştır. Böylece, hiçbir veri kaybı olmadan iki bulanık küme uzantısı arasında dönüşüm yapılabilmiştir. Bu dönüşüm bulanık ÇÖKV yöntemlerinden bulanık AHY ve TOPSIS kullanılarak gerçekleştirilmiş ve sonuçların güvenilirliği diğer bulanık küme uzantılarının kullanıldığı AHY&TOPSIS metodolojileri ve klasik AHY&TOPSIS metodolojisi ile test edilmiştir. Sonuçlar önerilen metodolojinin güvenilirliğini ortaya koymuştur. Ayrıca duyarlılık analizi uygulanmış, modelin farklı ölçüt ağırlıkları için gürbüz sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Diğer taraftan, sağlık sektörü yazında araştırmacıların üzerinde çalıştığı popüler araştırma alanlarından biridir. Araştırmacılar sağlık kuruluşlarına tedarikçi seçimi, sağlık tesisleri için yer seçimi ve acil durum strateji seçimi gibi konuları sıkça ele almıştır. Bu çalışmada tipik bir ÇÖKV problemi olan ameliyat robotu değerlendirme ve seçim problemi ele alınmış ve incelenen gerçek hayat problemi önerilen bulanık bütünleşik AHY&TOPSIS metodolojisi ve yukarıda bahsedilen karşılaştırma yöntemleriyle başarıyla

çözülmüştür. Yazında ameliyat robotu seçimi problemini bulanık ÇÖKV yöntemleriyle inceleyen herhangi bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışma bu yönüyle yazında bir ilk olmuştur.

Çalışmada aralık değerli sezgisel bulanık sayıları kullanan bütünleşik AHY ve TOPSIS yöntemi önerilmiştir. Gelecek çalışmalarda, diğer çok ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak mevcut problem çözülüp, sonuçlar karşılaştırılabilir.

Ayrıca diğer bulanık küme uzantıları (küresel [26], Pisagor [35], resim bulanık kümeler [37] ve kararsız bulanık dilsel terim setleri [63] gibi) kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Diğer taraftan, ameliyat robotu seçim problemine uygulanan bu yöntemin, diğer gerçek hayat karar verme problemlerine uygulanarak çözüm bulunması mümkündür. Son olarak, önerilen yöntemde üye olma, üye olmama ve kararsızlık fonksiyonları doğrusal olarak ele alınmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, doğrusal olmayan üyelik fonksiyonlarının ele alınması bir diğer öneridir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Inf. Control, 8, 338-353, 1965.
2. Zadeh, L.A., The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Inf. Sci., 8, 199-249, 1975.
3. Sadiq, R., Tesfamariam, S., Environmental Decision-Making Under Uncertainty Using Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process (IF-AHP), Stochastic Environ. Res. Risk Assess., 23, 75-91, 2009.
4. Kavita Yadav, S.P. ve Kumar, S., A Multi-criteria Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Group Decision Making for Supplier Selection with TOPSIS Method, RSFDGrC 2009: Rough Sets, Fuzzy Sets, Data Mining and Granular Computing, 5908, Editör: Sakai, H., Chakraborty, M.K., Hassani, A.E., Ślęzak, D., Zhu, W., Springer, Berlin, Almanya, 2009.
5. Dammak, F., Baccour, L., Alimi, A.M., Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Weight Techniques for TOPSIS Method, 2016 IEEE/ACS 13th International Conference of Computer Systems and Applications (AICCSA), Agadir - Morocco, 29 Kasım - 2 Aralık, 2016.
6. Karasan, A., Erdogan, M., Ilbahar, E., Prioritization of Production Strategies of a Manufacturing Plant by Using an Integrated Intuitionistic Fuzzy AHP & TOPSIS Approach, J. Enterp. Inf. Manage., 31 (4), 510-528, 2018.
7. Tooranloo, H.S., Ayatollah, A.S., Iranpour, A., A Model for Supplier Evaluation and Selection Based on Integrated Interval-valued Intuitionistic Fuzzy AHP-TOPSIS Approach, Int. J. Math. Oper. Res., 13 (3), 401-417, 2018.
8. Mousakhani, S., Nazari-Shirkouhi, S., Bozorgi-Amiri, A., A Novel Interval Type-2 Fuzzy Evaluation Model Based Group Decision Analysis for Green Supplier Selection Problems: a Case Study of Battery Industry, J. Cleaner Prod., 168, 205-218, 2017.



9. Toklu, M.C. Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS Method for Calibration Supplier Selection Problem: a Case Study in an Automotive Company, *Arabian J. Geosci.*, 11, 341, 2018.
10. Kahraman, C., Öztayşi, B., Cevik Onar, S., Doğan, O., Intuitionistic Fuzzy Originated Interval Type-2 Fuzzy AHP: an Application to Damless Hydroelectric Power Plants, *Int. J. Anal. Hierarchy Process*, 10 (2), 226-292, 2018a.
11. Mei, Y., Xie, K., An Improved TOPSIS Method for Metro Station Evacuation Strategy Selection in Interval Type-2 Fuzzy Environment, *Cluster Comput.*, 22, 2781-2792, 2019.
12. Prabhu, M., Nawzad Abdullah, N., Rzgar Ahmed, R., Nambirajan, T., Pandiyan, S., Segmenting the Manufacturing Industries and Measuring the Performance: Using Interval-valued Triangular Fuzzy TOPSIS Method, *Complex Intell. Syst.*, 6, 591-606, 2020.
13. Öztürk M., Paksoy T., An New Interval Type-2 Hybrid Fuzzy Rule-Based AHP System for Supplier Selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (3), 1519-1535, 2020.
14. Öztürk M., Paksoy T., A Combined DEMATEL-QFD-AT2 BAHP Approach for Green Supplier Selection, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35 (4), 2023-2043, 2020.
15. Sahin, A., Pehlivan, N.Y., Evaluation of Life Quality by Integrated Method of AHP and TOPSIS Based On Interval Type-2 Fuzzy Sets, *Hacettepe J. Math. Stat.*, 46 (3), 511-523, 2017.
16. Wu, Y., Xu, C., Zhang, B., Tao, Y., Li, X., Chu, H., Liu, F., Sustainability Performance Assessment of Wind Power Coupling Hydrogen Storage Projects Using a Hybrid Evaluation Technique Based on Interval Type-2 Fuzzy Set, *Energy*, 179, 1176-1190, 2019.
17. Mathew, M., Chakraborty, R.K. and Ryan, M.J., Selection of an Optimal Maintenance Strategy Under Uncertain Conditions: An Interval Type-2 Fuzzy AHP-TOPSIS Method, *IEEE Trans. Eng. Manage.*, 1-14, 2020.
18. Mardani, A., Hooker, R.E., Ozkul, S., Yifan, S., Nilashi, M., Sabzi, H.Z., Fei, G.C., Application of Decision Making and Fuzzy Sets Theory to Evaluate the Healthcare and Medical Problems: a Review of Three Decades of Research with Recent Developments, *Expert Syst. Appl.*, 137, 202-231, 2019.
19. Kulak, O., Goren, H.G., Supciller, A.A., A New Multi Criteria Decision Making Approach for Medical Imaging Systems Considering Risk Factors, *Appl. Soft Comput.*, 35, 931-941, 2015.
20. Afful-Dadzie, E., Nabareseh, S., Komínková Oplatková, Z., Klímek, P., Model for Assessing Quality of Online Health Information: a Fuzzy VIKOR Based Method, *J. Multi-Criteria Decis. Anal.*, 23, 49-62, 2016.
21. Zhou, F., Wang, X., Goh, M., Fuzzy Extended VIKOR-based Mobile Robot Selection Model for Hospital Pharmacy, *Int. J. Adv. Rob. Syst.*, 1-11, 2018.
22. Abdel-Basset, M., Manogaran, G., Gamal, A., Smarandache, F., A Group Decision Making Framework Based on Neutrosophic TOPSIS Approach for Smart Medical Device Selection, *J. Med. Syst.*, 43, 38, 2019.
23. Büyüközkan, G., Göçer, F., Smart Medical Device Selection Based on Intuitionistic Fuzzy Choquet Integral, *Soft Comput.*, 23, 10085-10103, 2019.
24. Büyüközkan, G., Mukul, E., Evaluation of Smart Health Technologies with Hesitant Fuzzy Linguistic MCDM Methods, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 1-13, 2020.
25. Zadeh, L.A., Is There a Need for Fuzzy Logic?, *Inf. Sci.*, 178 (13), 2751-2779, 2008.
26. Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C., Spherical Fuzzy Sets and Spherical Fuzzy TOPSIS Method, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 36 (1), 337-352, 2019.
27. Sambuc, R., *Function  $\Phi$ -Flous. Application a l'aide au Diagnostic en Pathologie Thyroïdienne*, These de Doctorat en Medicine, University of Marseille, Fransa, 1975.
28. Jahn, K.U., Intervall-wertige Mengen, *Mathematische Nachrichten*, 68, 115-132, 1975.
29. Grattan-Guinness, I., Fuzzy Membership Mapped onto Interval and Many-Valued Quantities, *Zeitschrift für mathematische Logik und Grundlagentheorie der Mathematik*, 22 (1) 149-160, 1975.
30. Yager, R.R., On the Theory of Bags, *Int. J. Gen. Syst.*, 13 (1), 23-37, 1986.
31. Atanassov, K.T., Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets Syst.*, 20, 87-96, 1986.
32. Smarandache, F., Neutrosophic Set - a Generalization of the Intuitionistic Fuzzy Set, *Int. J. Pure Appl. Math.*, 24 (3), 287-297, 2005.
33. Garibaldi, J.M., Ozen, T., Uncertain Fuzzy Reasoning: a Case Study in Modelling Expert Decision Making. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 15 (1), 16-30, 2007.
34. Torra, V., Hesitant Fuzzy Sets, *Int. J. Intell. Syst.*, 25 (6), 529-539, 2010.
35. Yager, R.R., Pythagorean Fuzzy Subsets, 2013 Joint IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), Alberta, Canada, 57-61, 24-28 Haziran, 2013.
36. Yager, R.R., Generalized Orthopair Fuzzy Sets, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 99, 1-11, 2016.
37. Cuong, B.C., Picture Fuzzy Sets, *J. Comput. Sci. Cybern.*, 30 (4), 409-420, 2014.
38. Senapati, T., Yager, R.R., Fermatean Fuzzy Sets, *J. Ambient Intell. Hum. Comput.*, 11, 663-674, 2020.
39. Atanassov, K.T. Circular Intuitionistic Fuzzy Sets, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 1-6, 2020.
40. Chen, S.-M., Lee, L.-W., Fuzzy Multiple Attributes Group Decision-Making Based on The Ranking Values and the Arithmetic Operations of Interval Type-2 Fuzzy Sets, *Expert Syst. Appl.*, 37 (1), 824-833, 2010.
41. Sanz, J.A., Fernández, A., Bustince, H., Herrera, F., Improving the Performance of Fuzzy Rule-Based Classification Systems with Interval-valued Fuzzy Sets and Genetic Amplitude Tuning, *Inf. Sci.*, 180 (19), 3674-3685, 2010.
42. Ye, F., An Extended TOPSIS Method with Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Numbers for Virtual

- Enterprise Partner Selection, *Expert Syst. Appl.*, 37, 7050-7055, 2010.
43. Kahraman, C., Parchami, A., Cevik Onar, S., Oztaysi, B., Process Capability Analysis Using Intuitionistic Fuzzy Sets, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 32 (3), 1659-1671, 2017.
  44. Atanassov, K., Gargov, G., Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets Syst.*, 31, 343-349, 1989.
  45. Mahapatra, G.S., Roy, T.K., Reliability Evaluation Using Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers Arithmetic Operations, *World Acad. Sci., Eng. Technol.*, 26, 574-581, 2009.
  46. Ahn, J., Han, K., Oh, S., Lee, C., An Application of Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy Sets for Medical Diagnosis of Headache, *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, 2755-2762, 2011.
  47. Kumar, P.S., Hussain, R.J., Computationally Simple Approach for Solving Fully Intuitionistic Fuzzy Real Life Transportation Problems, *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manage.*, 7, 90-101, 2016.
  48. Kuo, M.-S., Liang, G.-S., A Soft Computing Method of Performance Evaluation with MCDM Based on Interval-valued Fuzzy Numbers, *Appl. Soft Comput.*, 12, 476-485, 2012.
  49. Stanujkic, D., Extension of the ARAS Method for Decision-Making Problems with Interval-valued Triangular Fuzzy Numbers, *Informatica*, 26 (2), 335-355, 2015.
  50. Garg, H., Singh, S., A Novel Triangular Interval Type-2 Intuitionistic Fuzzy Sets and Their Aggregation Operators, *Iran J Fuzzy Syst.*, 15 (5), 69-93, 2018.
  51. Ashtiani, B., Haghghirad, F., Makui, A., Ali Montazer, G., Extension of Fuzzy TOPSIS Method Based on Interval-valued Fuzzy Sets, *Appl. Soft Comput.*, 9, 457-461, 2009.
  52. Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, A.B.D., 1980.
  53. Otay, I., Oztaysi, B., Cevik Onar, S., Kahraman, C., Multi-expert Performance Evaluation of Healthcare Institutions Using an Integrated Intuitionistic Fuzzy AHP&DEA Methodology, *Knowl.-Based Syst.*, 133 (1), 90-106, 2017.
  54. Abdullah, L., Najib, L., A New Preference Scale of Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Multi-Criteria Decision Making Problems, *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 26, 1039-1049, 2014.
  55. Büyüközkan, G., Göçer, F., Application of a New Combined Intuitionistic Fuzzy MCDM Approach Based on Axiomatic Design Methodology for the Supplier Selection Problem, *Appl. Soft Comput.*, 52, 1222-1238, 2017.
  56. Xu, Z., Liao, H., Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 22 (4), 749-761, 2014.
  57. Efe, B., Kurt, M., Efe, Ö. F., An integrated intuitionistic Fuzzy Set And Mathematical Programming Approach for an Occupational Health and Safety Policy, *GU J Sci.*, 30 (2), 73-95, 2017.
  58. Buckley, J.J., *Fuzzy Hierarchical Analysis*, *Fuzzy Sets Syst.*, 17 (3), 233-247, 1985.
  59. Dhillon, B.S., *Robot Reliability and Safety*, Springer-Verlag, New York, A.B.D., 1991.
  60. Olde Keizer, R.A.C.M., van Velsen, L., Monchamont, M., Riche, B., Ammour, N., Del Signore, S., Zia, G., Hermens, H., N'Dja, A., Using Socially Assistive Robots for Monitoring and Preventing Frailty Among Older Adults: a Study on Usability and User Experience Challenges, *Health Technol.*, 9, 595-605, 2019.
  61. Heikkilä, T., Torvikoski, T., Halme, A., A Solution for the Man/Machine-Interface in Robotics: a High Level Control Language with Enhanced Interaction Equipment, *IFAC Proc.*, 21 (5), 221-225, 1988.
  62. Stanujkic, D., Kazimieras Zavadskas, E., Karabasevic, D., Urosevic, S., Maksimovic, M., An Approach for Evaluating Website Quality in Hotel Industry Based on Triangular Intuitionistic Fuzzy Numbers, *Informatica*, 28 (4), 725-748, 2017.
  63. Çalış Boyacı A., Solmaz M.B., Kabak M., A Model Proposal for Occupational Health and Safety Risk Assessment Based on Multi-Criteria Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets: an Application in Plastics Industry, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36 (2), 1041-1053, 2021.