



Mikrobiyolojik risk temelli hastane yeri seçimi: bulanık entropi ağırlıklı Tip-2 bulanık TOPSIS yaklaşımı

Hospital site selection based on microbiological risk: a fuzzy entropy weighted interval Type-2 fuzzy TOPSIS approach

Müslüm Öztürk^{1*}

¹Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, Türkiye.
mozturk@kilis.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 19.06.2025
Kabul Tarihi/Accepted: 26.09.2025

Düzeltilme Tarihi/Revision: 20.08.2025

doi: 10.5505/pajes.2025.80524
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışma, sağlık hizmetlerinin etkin sunumu açısından stratejik öneme sahip olan hastane yeri seçimi problemini, mikrobiyolojik risk temelli çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımıyla ele almaktadır. Araştırma alanı olarak Şanlıurfa'nın Halfeti ilçesi seçilmiş ve karar süreci; çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları dikkate alan altı farklı kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında değerlendirilen kriterler: mikrobiyolojik risk, nüfus yoğunluğu ve talep, arazi maliyeti, ulaşılabilirlik, altyapı yeterliliği ve çevresel/afet riski olarak belirlenmiştir. Kriter ağırlıkları nesnel olarak Bulanık Entropi yöntemiyle belirlenmiş; alternatifler yerlerin değerlendirilmesinde ise belirsizlik ve uzman görüşlerindeki çeşitliliği daha etkin şekilde modelleyebilmek adına Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS yöntemi uygulanmıştır. Analiz sonuçları, Halfeti ilçe merkezinin (A1) tüm kriterler bağlamında en uygun hastane yeri olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle mikrobiyolojik risk (ağırlık: 0.268) ve çevresel/afet riski (ağırlık: 0.415) kriterlerinin belirleyici rol oynadığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, nüfus yoğunluğu ve ulaşılabilirlik gibi sosyal kriterlerin görece düşük ağırlıklara sahip olması, bölgedeki demografik yapının ve altyapı dağılımının etkilerini yansıtmaktadır. Eldé edilen bulgular, benzer kırsal ve yarı-kırsal bölgelerde yapılacak sağlık yatırımlarına yönelik karar verme süreçlerinde belirsizlik altında güvenilir ve bütüncül bir değerlendirme yaklaşımı sunmaktadır. Araştırma, yalnızca hastane yeri seçimi özelinde değil, aynı zamanda afet yönetimi, çevre planlaması ve kamusal altyapı yatırımları gibi alanlarda da aralık tip-2 bulanık mantık temelli modellerin uygulanabilirliğini vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Aralık tip-2 bulanık TOPSIS, Bulanık Entropi yöntemi, Hastane yeri seçimi, Mikrobiyolojik risk değerlendirmesi, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV)

Abstract

This study addresses the hospital site selection problem -strategically vital for the effective delivery of healthcare services-through a microbiological risk-based multi-criteria decision-making (MCDM) approach. The research focuses on the Halfeti district of Şanlıurfa, Türkiye, evaluating five candidate locations based on six comprehensive criteria: microbiological risk, population density and demand, land cost, accessibility, infrastructure adequacy, and environmental/disaster risk. Criterion weights were objectively determined using the Fuzzy Entropy method, while the ranking of alternatives was conducted using the Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS method to better capture uncertainty and the variability of expert opinions. The analysis revealed that the Halfeti district center (A1) is the most suitable location for a hospital when all criteria are considered. Among the criteria, microbiological risk (weight: 0.268) and environmental/disaster risk (weight: 0.415) emerged as the most influential, indicating the critical role of health and safety concerns in site prioritization. In contrast, social criteria such as population density and accessibility received relatively lower weights, reflecting the specific demographic and infrastructural characteristics of the region. The findings offer a robust and comprehensive evaluation framework under uncertainty, which can be applied to similar healthcare investment decisions in rural or semi-urban settings. Moreover, the study highlights the broader applicability of Interval Type-2 fuzzy logic-based models in areas such as disaster management, environmental planning, and public infrastructure investments.

Keywords: Interval type-2 fuzzy TOPSIS, Fuzzy Entropy method, Hospital site selection, Microbiological risk assessment, Multi-Criteria Decision Making (MCDM)

1 Giriş

Sağlık hizmetlerinin etkinliği, sadece sunulan tedavi kalitesine değil, aynı zamanda bu hizmetlerin erişilebilirliğine ve coğrafi dağılımına da bağlıdır. Bu nedenle, yeni bir hastanenin nereye kurulacağı kararı, sağlık sistemleri açısından hayati öneme sahiptir. Bu karar, yalnızca sağlık politikaları ve toplumsal ihtiyaçlarla değil, aynı zamanda bölgenin sosyo-ekonomik, coğrafi ve çevresel yapısıyla da yakından ilişkilidir. Şanlıurfa iline bağlı Halfeti ilçesi gibi gelişmekte olan bölgelerde, özel hastane yatırımlarının planlanması bu bağlamda stratejik bir konu haline gelmiştir.

Günümüzde artan nüfus, değişen iklim koşulları ve şehirleşmeyle birlikte özellikle mikrobiyolojik riskler (nem, sıcaklık, hava kalitesi vb.) sağlık yatırımlarında önemli bir

kriter olarak değerlendirilmektedir. Bu tür çevresel faktörler, özellikle hastane gibi enfeksiyon kontrolünün kritik olduğu alanlarda büyük rol oynamaktadır. Dolayısıyla, kurulacak hastanenin mikroorganizma üreme potansiyelinin düşük olduğu bir bölgede konumlandırılması, hem halk sağlığı hem de hizmet kalitesi açısından öncelikli olmalıdır.

Hastane yeri seçimi, çok sayıda ve çoğu zaman birbiriyle çelişen kriterleri içerdiğinden, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri bu süreçte sıkça kullanılmaktadır [1]. Literatürde, hastane yerleşimiyle ilgili çalışmalar genellikle AHP, ANP, TOPSIS, VIKOR gibi klasik veya tip-1 bulanık yöntemlerle

*Yazışılan yazar/Corresponding author

gerçekleştirilmiştir [2] (bakınız bölüm 2). Ancak, karar vericilerin görüşlerindeki belirsizlik, dilsel ifadeler ve bulanıklık, klasik yöntemlerin sınırlarını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, bulanık mantık temelli modeller daha esnek ve gerçekçi çözümler sunmaktadır.

Son yıllarda geliştirilen tip-2 bulanık mantık, özellikle karar verici belirsizliğinin yüksek olduğu durumlarda daha başarılı sonuçlar vermektedir [3]. Tip-2 bulanık sayılar, klasik tip-1 bulanıklığın üstüne çıkarak, üyelik derecelerinin de bulanık olduğu bir yapı sunmaktadır. Böylece, insan yargılarındaki belirsizliği ikinci bir düzeyde modelleyebilmeye imkanı sağlamıştır [4]. Bu özellikte “yüksek” ya da “çok düşük” gibi belirsiz dilsel terimlerle değerlendirilen hastane yeri seçimi gibi sorunlara uygulanabilirliği artırmaktadır.

Bu çalışmada, Halfeti ilçesinde kurulması planlanan özel bir hastane için en uygun bölgenin (ilçe merkezi, Doğu bölgesi, Batı bölgesi, Kuzey bölgesi, Güney bölgesi) belirlenmesi amaçlanmaktadır. Karar sürecinde, öncelikle kriter ağırlıkları Bulanık Entropi yöntemi ile nesnel olarak hesaplanmakta, ardından alternatif bölgeler Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS (AT2 B-TOPSIS) yöntemiyle sıralanmaktadır. Bu hibrit yaklaşım sayesinde hem veri belirsizliği hem de karar verici yargılarındaki bulanıklık dikkate alınarak daha güvenilir bir karar mekanizması geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Bulanık Entropi ağırlıklı Aralık Tip-2 Bulanık TOPSIS yöntemi, özellikle belirsizliğin yüksek olduğu karar verme ortamlarında daha güvenilir, esnek ve gerçekçi sonuçlar üretme kapasitesiyle öne çıkmaktadır. Literatürde sıklıkla kullanılan geleneksel ÇKKV yaklaşımları, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizliği yeterince modelleyememektedir. Bu durum özellikle halk sağlığı, afet riski ve çevresel koşullar gibi karmaşık ve çok boyutlu karar süreçlerinde ciddi sınırlılıklar doğurmaktadır [5].

Bu araştırma kapsamında geliştirilen hibrit yaklaşım, belirsizliğin hem kriter ağırlıklandırma sürecinde (Bulanık Entropi) hem de alternatiflerin sıralanmasında (AT-2 B-TOPSIS) dikkate alınmasını sağlamaktadır. Böylece karar vericilerin subjektif yargıları daha güçlü bir matematiksel temele dayandırılmış ve çok daha doğaya uygun (gerçekçi) sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle tip-2 bulanık mantığın kullanımı, karar verici belirsizliğini ikinci düzeyde modelleyebilme imkânı sunarak literatürdeki tip-1 tabanlı yöntemlerin ötesine geçmiştir.

Bu çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde yapılandırılmıştır. Literatür incelemesi bölüm 2’de ele alınmıştır. Araştırmanın önemi bölüm 3’te tartışılmış, bölüm 4’te ise seçilen beş alternatifin değerlendirilmesi için önerilen yöntem/yöntemler sunulmuştur. Bölüm 5’te Şanlıurfa ili Halfeti ilçesinde kurulması planlanan özel hastane için belirlenen beş alternatif yerleşim yerinin belirlenen altı kriter altında önerilen yöntem/yöntemler uygulanmış ve alternatiflerin seçimi ve sıralaması yapılmıştır. Bölüm 6’da uygulama sonuçlarının analizine ve bölüm 7’de ise sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

2 Literatür Taraması

Bu bölümde, öncelikle hibrit ÇKKV yöntemlerinin kullanım alanı ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Sonrasında ise özellikle son yıllarda Tip-2 bulanık TOPSIS ve bulanık entropi kullanılarak sağlık tesislerinin yer seçimi üzerine yapılmış çalışmalara odaklanılmıştır. Özellikle COVID-19 pandemi dönemi ile beraber artan sağlık altyapısı ihtiyaçları, bulanık ÇKKV temelinde karar modellerinin önemini artırmıştır.

Başar ve Der [6] tarafından yapılan bir çalışmada, polietilen (PE) malzemenin CO₂ lazer kesimi sırasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğünü, kerf genişliğini, ısıdan etkilenen bölgeyi ve malzeme kaldırma oranını nasıl etkilediğini incelemiş ve bulanık analitik hiyerarşi süreci (AHP) ve ÇKKV yöntemlerini entegre ederek optimum kesme koşullarını belirlemişlerdir. Tekman ve Ordu [7] tarafından yapılan bir çalışmada, 2019–2022 yılları arasında Türkiye’nin 26 kalkınma bölgesinin makroekonomik performansını karşılaştırmak amacıyla hibrit bir ÇKKV yaklaşımı kullanmışlardır. Çalışmada, kriterlerin ağırlıkları, uzman görüşlerine dayalı olarak SWARA yöntemiyle belirlenmiş ve CoCoSo yöntemiyle alternatif bölgeler sıralanmıştır. Sonuçlar, İstanbul Bölgesi’nin dört yıl boyunca en iyi performansı gösterdiğini, Doğu Anadolu Bölgesi’nin ise sürekli olarak en düşük performansı sergilediğini ortaya koymuştur. Ilgin ve diğ. [8] tarafından yapılan bir çalışmada, çevre dostu üretim ve ürün geri kazanımı alanlarında ÇKKV tekniklerinin kullanımını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Yazarlar, 190’dan fazla ÇKKV çalışmasını sökmeli kararları (Disassembly), geri dönüşüm kararları (Recycling) ve yeniden üretim (remanufacturing) kararları şeklinde üç ana kategoriye ayırarak analiz etmişlerdir. Öztürk [9] tarafından yapılan bir çalışmada, elektrikli araçlar için batarya tedarikçilerinin seçiminde çevresel sürdürülebilirlik ve müşteri taleplerini bütünsel bir şekilde değerlendiren yenilikçi bir hibrit karar destek modeli (DEMATEL-QFD-IT2 F-VIKOR) önerilmiştir. Boyacı ve Şişman [10] tarafından yapılan bir çalışmada, Samsun-Atakum bölgesi için pandemi hastanesi yer tespiti amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temelli bir yaklaşım ve Pisagor Bulanık AHP + TOPSIS kombinasyonu kullanılmıştır. Bu çalışmada, toplu taşıma ağları ve altyapı kriterleri ağırlıklı değerlendirilmiş, alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Kahraman ve diğ. [11] tarafından yapılan bir çalışmada, yazarlar tarafından önerilen Spherical Bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak hastane yeri seçimi üzerine bir uygulama yapılmıştır. Bu yöntem, üç boyutlu bulanık kümelerle karar verici belirsizliğini daha güçlü şekilde modelleyerek, klasik bulanık küme yöntemlerine göre üstünlük sağlamıştır. Senvar ve diğ. [12] tarafından yapılan çalışmada, hastane yeri seçimi problemi kararsız bulanık mantık (Hesitant Fuzzy Sets) çerçevesinde ele alınmış ve karar verici belirsizliklerini daha esnek şekilde ifade edebilen kararsız bulanık TOPSIS yöntemini uygulanmıştır. Çalışmada, farklı bölgelere ait çeşitli sayısal ve nitel kriterler değerlendirilmiş; karar vericilerin her bir kritere dair birden fazla kararsız değer belirtmesine olanak tanınmıştır. Uygulama, karar vericilerin hastane kurulabilecek uygun yerleri daha güvenilir biçimde sıralamasını sağlamıştır. Sonuçlar, klasik bulanık yaklaşımlara göre belirsizlik altında daha doğru ve ayırtıcı sonuçlar elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Bu yönüyle çalışma, sağlık altyapısı planlamasında kararsız (bulanık) ifadeleri dikkate alan yöntemlerin etkinliğini vurgulamaktadır. Miç ve Antmen [13] tarafından yapılan bir çalışmada, bir bölge hastanesi için en uygun yerin belirlenmesi amacıyla bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada Adana iline bağlı dört alternatif ilçe (Seyhan, Yüreğir, Çukurova ve Sarıçam) değerlendirmeye alınmış, seçim sürecinde demografik yapı, yatırım maliyeti, ulaşım olanakları, çevresel etkiler ve altyapı yeterliliği gibi çok sayıda kriter dikkate alınmıştır. Belirsizliklerin modellenmesinde üçgen bulanık sayılar kullanılmış, karar vericilerin subjektif yargıları bu sayılar aracılığıyla sistematik hale getirilmiştir. Bulgulara göre Seyhan ilçesi, en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Çalışma, sağlık sektörü yatırımlarında bulanık mantık tabanlı ÇKKV yöntemlerinin etkinliğini göstermesi açısından literatüre

önemli katkılar sunmuştur. Meniz ve diğ. [14] tarafından yapılan bir çalışmada, hasta memnuniyetini artırmaya yönelik karar destek mekanizmalarının geliştirilmesini amaçlayan çalışmada, Kalite Fonksiyon Yayılımı (QFD) yaklaşımı ile tip-2 bulanık TOPSIS yöntemini bütünleştirerek çok kriterli bir karar verme modeli önermiştir. Çalışmada öncelikle hastaların ihtiyaç ve beklentileri sistematik olarak toplanmış ve bu bilgiler, QFD yöntemiyle teknik hizmet unsurlarına dönüştürülmüştür. Ardından, sağlık hizmeti sağlayıcı alternatifleri bu kriterlere göre tip-2 bulanık sayılar kullanılarak değerlendirilmiş ve bulanık TOPSIS yöntemi ile sıralanmıştır. Tip-2 bulanık mantığın tercih edilmesinin temel nedeni, hasta memnuniyetine ilişkin değerlendirmelerde belirsizliklerin ve dilsel değişkenlerin yüksek seviyede olmasıdır. Elde edilen sonuçlar, hasta odaklı kalite iyileştirme stratejilerinin belirlenmesinde bu bütünlük modelin etkili bir araç olabileceğini göstermiştir. Ayrıca modelin farklı sağlık kurumları için esnek bir biçimde uygulanabilir olduğu da vurgulanmıştır. Başdeğirmen ve Yalçın Çal [15] tarafından yapılan bu çalışmada, Türkiye'deki 18 şehir hastanesinin kapasite performansları değerlendirilmiştir. Çalışmada, kriter ağırlıklarının nesnel olarak belirlenebilmesi için Entropi yöntemi, alternatiflerin sıralanabilmesi için ise MAUT (Multiple Attribute Utility Theory [Çok Kriterli Fayda Teorisi]) yöntemi kullanılmıştır. Altı kriter üzerinden yapılan analiz sonucunda, hastanelerin toplam fayda puanları hesaplanarak sıralama elde edilmiştir. Bulgulara göre, Ankara Etlik Şehir Hastanesi en yüksek kapasite değerine sahip hastane olarak belirlenmiştir. Çalışma, kamu hastanelerinin performans ölçümünde ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanımına dayalı objektif bir yaklaşım sunmuştur. Organ ve Tekin [16] tarafından yapılan bir çalışmada, Denizli ilinde şehir hastanesi için en uygun yerin belirlenmesi amacıyla ÇKKV yöntemlerinden Entropi ve Gri İlişkisel Analiz (GİA) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle entropi yöntemiyle 12 kriterin (ulaşılabilirlik, merkezilik, altyapı, hedef kitle yoğunluğu vb.) ağırlıkları objektif biçimde hesaplanmış, ardından GİA yöntemi

ile beş alternatif bölge değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, Sarıabat (Denizli iline bağlı bir mahalle) bölgesi en uygun kuruluş yeri olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, şehir hastaneleri gibi büyük ölçekli sağlık yatırımlarında sayısal ve nesnel temellere dayalı yer seçim kararlarına katkı sunmaktadır. Akyüz ve Kılınç [17] tarafından yapılan bir çalışmada, sağlık sektöründe özel hastane kuruluş yeri seçimi üzerine odaklanılmıştır. Antalya ilinde üç farklı bölge (Lara, Kundu ve Konyaaltı) değerlendirilerek, hastane yöneticilerinin görüşleri doğrultusunda en uygun kuruluş yeri belirlenmiştir. Bulanık TOPSIS yöntemi, karar vericilerin subjektif değerlendirmelerini sayısal verilere dönüştürerek, alternatifler arasındaki en iyi seçimi objektif bir şekilde yapmayı amaçlamaktadır. Ayvaz ve Kuşakçı [18] tarafından yapılan bir çalışmada, tip-2 bulanık TOPSIS yöntemi tedarikçi seçimi temelinde başarılı bir uygulama ile sunulmuş; yöntemin hem doğruluk hem esneklik açısından güçlü olduğuna dair kanıtlar duyarlılık analizi eşliğinde elde edilmiştir. Tablo 1'de sunulan literatür taramasında, geçmişte pek çok araştırmacının uygun hastane yeri seçimi için Entropi, TOPSIS ve diğer yöntemleri tek başına veya entegre bir şekilde birlikte kullandıkları görülmüştür.

Yapılan literatür taraması sonucunda, tip-2 bulanık TOPSIS yönteminin özellikle Entropi tabanlı ağırlıklandırma ile birlikte uygulandığı çalışmalara oldukça nadir rastlandığı tespit edilmiştir. Bu durum, ilgili yöntemin ÇKKV problemlerinde potansiyelinin henüz yeterince keşfedilmediğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada geliştirilen hibrit yaklaşım, Entropi temelli nesnel ağırlıklandırma ile belirsizlik düzeyi yüksek karar ortamlarında güçlü bir alternatif sıralama yapabilen AT2 B-TOPSIS yöntemini birleştirerek, hem teorik hem de uygulamalı bir şekilde literatüre önemli bir katkı sunmaktadır. Böylece, karar verme süreçlerinde daha güvenilir ve hassas sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyan bu hibrit yöntem, başta sağlık sektörü olmak üzere birçok alandaki çok kriterli karar problemlerine yeni bir perspektif kazandıracaktır.

Tablo 1. Hastane yer seçimi üzerine önceki araştırmaların özeti
Table 1. Summary of Previous Research on Hospital Site Selection

Yazar/Yazarlar	Kullanılan Yöntem	Uygulama Alanı
[19]	Entropi + TOPSIS	Sağlık sektöründe finansal performans analizi
[20]	AHP	Hastane yeri seçimi uygulaması
[21]	Bulanık AHP + Bulanık TOPSIS	Hastane yer seçimi uygulaması
[22]	Bulanık TOPSIS	Sağlık tesisi yer seçimi uygulaması
[23]	Entropi + TOPSIS	Hastane acil servis yer seçimi uygulaması
[24]	VIKOR	Hastane yer seçimi ve lojistik uygulaması
[25]	DEMATEL + ANP	Hastane planlaması ve yer seçimi uygulaması
[26]	Tip-2 Bulanık TOPSIS	Bölgesel sağlık tesisi yer seçimi uygulaması
[27]	Bulanık AHP + Gri İlişkisel Analiz (GİA)	Hastane yerleşim yeri seçimi uygulaması
[28]	WASPAS	Sağlık altyapısı planlamasına yönelik uygulama
[29]	AHP + TOPSIS	Hastane yer seçimi ve kapasite planlamasına yönelik uygulama

3 Araştırmanın Önemi

Hastane yer seçimi, sağlık hizmetlerinin etkinliği, erişilebilirliği ve sürdürülebilirliği açısından kritik bir karar sürecidir. Özellikle kırsal ve yarı-kentsel alanlarda, doğru

hastane yerinin belirlenmesi bölgesel sağlık altyapısının güçlendirilmesi için hayati önem taşımaktadır. Halfeti ilçesi, coğrafi yapısı, nüfus yoğunluğu, ulaşım koşulları ve sosyoekonomik özellikleri itibarıyla sağlık hizmetlerinin yaygın ve adil dağılımı konusunda özel gereksinimlere sahiptir. Bu nedenle, ilçeye özgü parametrelerin ve çok boyutlu kriterlerin dikkate alınarak hastane yeri seçiminin yapılması büyük bir öncelik teşkil etmektedir.

Literatürde, hastane yer seçimi için ÇKKV yöntemleri yaygın olarak kullanılmakla birlikte, çoğunlukla klasik veya Tip-1 bulanık mantık tabanlı modeller tercih edilmektedir. Ancak bu yöntemler, karar sürecindeki belirsizliklerin ve karmaşıklığın tam olarak modellenmesinde yetersiz kalabilmektedir. Özellikle, kriterler arasındaki belirsizlik ve karar vericilerin farklı görüşleri aralık tip-2 bulanık mantık çerçevesinde daha kapsamlı ve gerçekçi bir şekilde ele alınabilmektedir.

Bu çalışmada, Halfeti ilçesi için hastane yer seçimi sürecinde Bulanık Entropi yöntemi ile kriter ağırlıklarının belirlenmesi ve AT2 B-TOPSIS yöntemi ile alternatiflerin değerlendirilmesi sağlanmıştır. Entropi yöntemi, karar verici ağırlıklarının objektif olarak hesaplanmasına imkân tanırken; AT2 B-TOPSIS yöntemi ise karar sürecindeki belirsizlik ve karmaşıklık etkin biçimde modelleyerek daha güvenilir ve esnek sonuçlar üretmektedir. Bu çalışmada kullanılan bulanık Entropi ağırlıklı aralık tip-2 bulanık TOPSIS yöntemi, mikrobiyolojik risk gibi ölçülmesi güç kriterlerin değerlendirilmesinde hassasiyetin artırılmasına olanak tanımıştır. Böylece yalnızca mekânsal uygunluk değil, aynı zamanda halk sağlığı açısından optimum hastane yeri seçimi sağlanmıştır. Ayrıca bu model, farklı disiplinlerde (kentsel planlama, çevre mühendisliği, sağlık yönetimi vb.) uygulanabilirliği olan genellenebilir bir karar destek aracı olarak önerilebilir. Önerilen bu hibrit yaklaşım, ÇKKV alanında özellikle risk-temelli yer seçimi problemleri için öncü bir model niteliği taşımakta ve hem metodolojik hem de uygulamalı olarak literatüre önemli katkılar sunmaktadır.

Araştırmanın özgünlüğü ve önemi, Halfeti gibi coğrafi ve sosyo-ekonomik olarak hassas bölgelerde sağlık altyapısının planlanmasında yeni ve gelişmiş bir ÇKKV yaklaşımının uygulanmasında yatmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımıyla, karar vericilere daha güvenilir, esnek ve gerçekçi karar destek modelleri sunulurken, sağlık hizmetlerinin adil ve etkin dağılımına katkı sağlanacaktır. Ayrıca, literatürde bu alanda aralık Tip-2 bulanık mantık ve Entropi tabanlı ÇKKV yöntemlerinin entegre edilerek kullanıldığı nitelikli çalışmaların eksikliği, bu araştırmanın alanına sağladığı katkıyı daha da anlamlı kılmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma sadece Halfeti ilçesine özgü değil, benzer sosyo-ekonomik ve coğrafi yapıya sahip diğer bölgeler için de model teşkil edebilecek, sağlık yerleşim planlamasında yenilikçi bir metodolojik yaklaşım sunacaktır.

4 Ön Hazırlıklar

Bu bölümde öncelikle üçgen tip-2 bulanık kümelerden bahsedilecektir. Sonrasında; aralık tip-2 bulanık kümelerde yapılan matematiksel işlemlere yer verilecektir. Daha sonra bulanık Entropi yöntemine ait işlem adımlarına ve

tanımlamalarına yer verilecektir. Sonrasında ise AT2 B-TOPSIS yöntemine ait işlem adımlarına ve tanımlamalarına yer verilecektir.

Tanım 1. Üçgen tip-2 bulanık kümeler: Üçgen tip-2 bulanık kümeler genellikle alt ve üst üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanır. Tip-1 bulanık kümeler gibi üçgen bir şekle sahip olmalarına rağmen, üst üyelik fonksiyonu (UMF) ve alt üyelik fonksiyonu (LMF) olmak üzere iki üyelik fonksiyonu içerirler. Bir üçgen tip-2 bulanık küme, aşağıdaki parametrelerle tanımlanır:

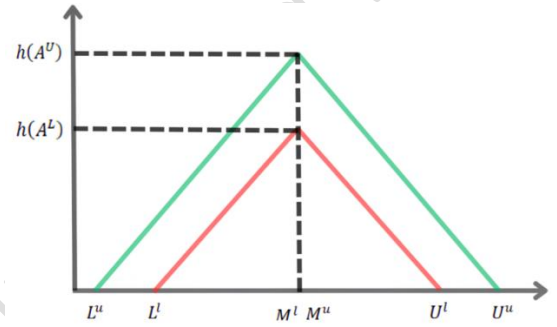
$$\tilde{A} = (l^L, m, l^U u^L)(l^U, m^U u^U) \quad (1)$$

Burada;

$(l^L, m, l^U u^L)$: Alt üyelik fonksiyonunu (LMF)

$(l^U, m^U u^U)$: Üst üyelik fonksiyonunu (UMF) ifade etmektedir.

Bir tip-2 üçgen bulanık kümesi şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bir üçgen tip-2 bulanık kümesi

Figure 1. A triangular type-2 fuzzy set

Tanım 2. Toplama İşlemi: Tip-2 bulanık kümelerde toplama işlemi, her bir alt üyelik fonksiyonu ve üst üyelik fonksiyonu arasında yapılır. Eğer $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$ ve $\tilde{B} = \{(x, \mu_{\tilde{B}}(x))\}$ Tip-2 bulanık kümeleri ile çalışıyorsak, $\tilde{C} = \tilde{A} + \tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) + \mu_{\tilde{B}}(x) = [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) + \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)] \quad (2)$$

Burada: $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ ve $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ $\tilde{A}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır. $\underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)$ ve $\bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)$ $\tilde{B}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır.

Tanım 3. Çıkarma İşlemi. Çıkarma işlemi, iki Tip-2 bulanık küme arasındaki farkı bulmayı sağlar. Çıkarma işlemi de, her iki kümenin alt ve üst üyelik fonksiyonları arasında yapılır. Eğer $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$ ve $\tilde{B} = \{(x, \mu_{\tilde{B}}(x))\}$ Tip-2 bulanık kümeleri ile çalışıyorsak, $\tilde{C} = \tilde{A} - \tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) - \mu_{\tilde{B}}(x) = [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) - \underline{\mu}_{\tilde{B}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) - \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)] \quad (3)$$

Burada: $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ ve $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ $\tilde{A}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır. $\underline{\mu}_{\tilde{B}}(x)$ ve $\bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)$ $\tilde{B}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır.

Tanım 4. Çarpma işlemi. Çarpma işlemi, Tip-2 bulanık kümelerinin alt ve üst üyelik fonksiyonları arasında yapılır. Bu işlem, iki Tip-2 bulanık kümenin üyelik derecelerini çarparak elde edilen sonucu verir. Eğer;

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\} \text{ ve } \tilde{B} = \{(x, \mu_{\tilde{B}}(x))\} \quad (4)$$

Tip-2 bulanık kümeleri ile çalışıyorsa, $\tilde{C} = \tilde{A} * \tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu şu şekilde hesaplanır:

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) * \mu_{\tilde{B}}(x) = [\mu_{\tilde{A}}(x) * \mu_{\tilde{B}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) * \bar{\mu}_{\tilde{B}}(x)] \quad (5)$$

Burada: $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ $\tilde{A}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır.

Tanım 5. Bölme işlemi. Bölme işlemi de, her iki Tip-2 bulanık kümenin üyelik fonksiyonları arasında yapılır ve bir kümenin üyelik fonksiyonunu diğerine böler.

Eğer $\tilde{A} = (l_A^L, m_A^L, u_A^L)(l_A^U, m_A^U, u_A^U)$ ve $\tilde{B} = (l_B^L, m_B^L, u_B^L)(l_B^U, m_B^U, u_B^U)$ Tip-2 bulanık kümeleri ile çalışıyorsa, $\tilde{C} = \tilde{A} / \tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu şu şekilde hesaplanır:

$$\tilde{C} = \frac{\tilde{A}}{\tilde{B}} = \left(\frac{l_A^L}{u_B^L}, \frac{m_A^L}{m_B^L}, \frac{u_A^L}{l_B^L} \right) \left(\frac{l_A^U}{u_B^U}, \frac{m_A^U}{m_B^U}, \frac{u_A^U}{l_B^U} \right) \quad (6)$$

Burada: (l_A^L, m_A^L, u_A^L) ve (l_A^U, m_A^U, u_A^U) $\tilde{A}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır. (l_B^L, m_B^L, u_B^L) ve (l_B^U, m_B^U, u_B^U) $\tilde{B}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır [30, 31].

Tanım 6. Bir tip-2 bulanık kümesini sabit bir k sayısı ile çarpmak. Tip-2 bulanık kümesinin sabit k sayısı ile çarpma işlemi şu şekilde yapılır:

$$\tilde{B} = k * \tilde{A} \quad (7)$$

Yine $\tilde{B}$ kümesinin üyelik fonksiyonu şöyle hesaplanır:

$$\mu_{\tilde{B}}(x) = [k * \mu_{\tilde{A}}(x), k * \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)] \quad (8)$$

Burada: k : sabit bir sayıdır (genellikle pozitif bir gerçekte sayıdır). $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ve $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ $\tilde{A}$ kümesinin alt ve üst üyelik fonksiyonlarıdır. $\tilde{B}$ ise k sayısı ile çarpılmış yeni tip-2 bulanık kümesidir.

4.1 Bulanık entropi yöntemi

Bulanık Entropi yöntemi, ÇKKV süreçlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılan etkili ve objektif bir yöntemdir. Geleneksel Entropi yönteminin bulanık mantıkla entegrasyonu sayesinde, karar verici değerlendirmelerindeki belirsizlik ve bulanıklık durumları daha gerçekçi şekilde modele yansıtılır. Bu yöntem, her kriter için bilgi çeşitliliğini (Entropi değerini) bulanık sayılar aracılığıyla hesaplar ve buna göre kriterlerin karar sürecindeki önemini belirler. Özellikle hastane yeri seçimi gibi karmaşık ve belirsizliklerin yoğun olduğu karar problemlerinde, bulanık Entropi yöntemi sayesinde kriter ağırlıkları daha tutarlı ve güvenilir bir biçimde elde edilir. Güncel literatürde bulanık entropi; [32] tarafından tedarikçi seçiminde, [33] tarafından sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde, [34] tarafından enerji yatırımları gibi farklı alanlarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Böylece bulanık entropi tabanlı kriter ağırlıklandırması, hem belirsizliğin modellenmesine olanak tanımakta hem de öznel etkileri azaltarak karar modellerinin güvenilirliğini artırmaktadır. Bu bölümde bulanık Entropi yönteminin işlem adımlarından bahsedilmiştir.

Adım 1: Bulanık karar matrisinin oluşturulması. Bulanık ikili karşılaştırma matrisini oluşturmak için uzman dilsel değişkenler kullanılır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen dilsel değişkenler ve bunların üçgen aralık tip-1 bulanık ölçekleri Tablo 2'de verilmiştir. Dilsel değişkenlerin kullanılması ile Eşitlik 8 ve Eşitlik 9'daki gibi bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Burada; alternatiflerimiz A_i ($i = 1, \dots, m$) ve kriterlerimiz C_j ($j = 1, \dots, n$) şeklinde temsil edilmektedir.

Tablo 2. Dilsel değişkenlerin aralık tip-1 bulanık ölçekleri

Table . Interval type-1 fuzzy scales of linguistic variables

Dilsel Terimler	Üçgen Tip-1 Bulanık Değerler
Çok Düşük	(0.02, 0.1, 0.20)
Düşük	(0.17, 0.3, 0.4)
Orta	(0.37, 0.5, 0.6)
Yüksek	(0.57, 0.7, 0.8)
Çok Yüksek	(0.77, 0.9, 1.0)

$$\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) \quad (9)$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Burada; üçgen tip-1 bulanık kümede, l_{ij} alt değeri, m_{ij} orta değeri ve u_{ij} ise üst değeri ifade etmektedir.

Adım 2: Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi. Bu adımda; normalizasyon işlemi kriter türüne göre iki şekilde yapılır:

$$a) \text{ Fayda kriterleri için: } \tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^*}, \frac{m_{ij}}{u_j^*}, \frac{u_{ij}}{u_j^*} \right) \quad (11)$$

$$b) \text{ Maliyet kriterleri için: } \tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \quad (12)$$

Bu adımda elde edilen $\tilde{r}_{ij}$, normalize bulanık değerleri temsil eder.

Burada;

$u_j^* = \max_i u_{ij}$ yani j 'nin en yüksek üst sınırını,

$l_j^- = \min_i l_{ij}$ yani j 'nin en düşük alt sınırını ifade etmektedir.

Adım 3: Normalize edilmiş bulanık matrisi elemanlarının keskinleştirilmesi. Bu adımda; bulanık sayılar işlem kolaylığı için kesin sayıya çevrilir. Yaygın kullanılan yöntemlerden biri olan Kademeli Ortalama Entegrasyon Gösterimi (Graded Mean Integration Representation) yöntemi kullanılır. Bu yöntem Eşitlik 13'te verilmiştir.

$$r'_{ij} = \frac{l_{ij} + 4m_{ij} + u_{ij}}{6} \quad (13)$$

Burada; r'_{ij} normalize edilmiş yani keskinleştirilmiş değeri ifade etmektedir [35].

Adım 4: Her kriter için Entropi değerlerinin hesaplanması. Bu adımda öncelikli olarak normalize edilmiş değerlerin göreceli ağırlıkları Eşitlik 14'teki gibi hesaplanır:

$$p_{ij} = \frac{r'_{ij}}{\sum_{i=1}^m r'_{ij}}, \forall i, j \quad (14)$$

Burada; p_{ij} her alternatif için kriter bazında normalize edilmiş olasılık (ağırlık) değeridir.

Daha sonra Eşitlik 15 kullanılarak Shannon Entropisi temel alınarak her kriterin entropi değeri hesaplanır.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} * \ln(p_{ij}), \quad k = \frac{1}{\ln m} \quad (15)$$

Burada; m alternatif sayısını ve E_j ise kriter j için entropi değeri ifade etmektedir. Burada eğer $p_{ij} = 0$ ise $p_{ij} \ln(p_{ij})$ terimi "0" olarak kabul edilir.

Adım 5: Kriterlerin çeşitlilik derecesinin hesaplanması. Bu adımda, Eşitlik 16 kullanılarak her kriterin çeşitlilik derecesi hesaplanır.

$$d_j = 1 - E_j \quad (16)$$

Burada; d_j kriterin bilgi çeşitliliğini ya da önemini ifade eder.

Adım 6: Kriter ağırlıklarının hesaplanması. Bu adımda Eşitlik 17 kullanılarak her kriterin Entropi ağırlığı hesaplanır.

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (17)$$

Burada; w_j kriter ağırlığıdır ve tüm ağırlıkların toplamı 1'e eşittir.

4.2 Aralık tip-2 bulanık TOPSIS yöntemi (AT2 B-TOPSIS)

AT2 B-TOPSIS yöntemi, belirsizliğin yüksek olduğu çok kriterli karar problemlerinde kullanılan gelişmiş bir değerlendirme tekniğidir. Klasik ve Tip-1 bulanık yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda, bu yöntem, karar vericilerin değerlendirmelerini alt ve üst üyelik fonksiyonlarıyla daha esnek bir şekilde modellemelerine olanak tanır. Bu bölümde, AT2 B-TOPSIS yönteminin temel kavramları ve işlem adımları detaylı olarak ele alınmıştır.

Adım 1: Problemin tanımı ve probleme uygun problemin amacı belirlenir. Probleme ait kriterler (varsa alt kriterler) ve alternatifler belirlenir.

Adım 2: Bulanık karar matrisinin oluşturulması. Bulanık ikili karşılaştırma matrisini oluşturmak için uzman dilsel değişkenler kullanılır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen dilsel değişkenler ve bunların üçgen aralık tip-2 bulanık ölçekleri Tablo 3'te verilmiştir. Dilsel değişkenlerin kullanılması ile Eşitlik 18 ve Eşitlik 19'daki gibi bulanık ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Burada; alternatiflerimiz $(A_1, A_2, \dots, A_n)$ ve kriterlerimiz $(C_1, C_2, \dots, C_m)$ şeklinde temsil edilmektedir.

Tablo 3. Dilsel değişkenlerin aralık tip-2 bulanık ölçekleri

Table 3. Interval type-2 fuzzy scales of linguistic variables

Dilsel Terimler	Üçgen Bulanık Değerler	
	Alt Üyelik Fonksiyonu	Üst Üyelik Fonksiyonu
Çok Düşük	(0.05, 0.1, 0.15)	(0.02, 0.1, 0.20)
Düşük	(0.25, 0.3, 0.35)	(0.22, 0.3, 0.4)
Orta	(0.45, 0.5, 0.55)	(0.42, 0.5, 0.6)
Yüksek	(0.65, 0.7, 0.75)	(0.62, 0.7, 0.8)
Çok Yüksek	(0.85, 0.9, 0.95)	(0.82, 0.9, 1.0)

$$\tilde{w}_j = \left[\left(\tilde{a}_{ij}^L, \tilde{a}_{ij}^M, \tilde{a}_{ij}^U \right) \left(\tilde{a}_{ij}^L, \tilde{a}_{ij}^M, \tilde{a}_{ij}^U \right) \right] \quad (18)$$

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Adım 3: Ağırlık vektörünün oluşturulması. Bu adımda; bölüm 5.1'de bulanık Entropi yöntemi kullanılarak hesaplanmış olan kriterlerin ağırlık değerleri kullanılacaktır.

Adım 4: Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi. Bu adımda; normalizasyon işlemi kriter türüne göre iki şekilde yapılır:

a) Fayda kriterleri için:

$$\tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{\tilde{a}_{ij}^L}{\tilde{a}_{ij}^{max}}, \frac{\tilde{a}_{ij}^M}{\tilde{a}_{ij}^{max}}, \frac{\tilde{a}_{ij}^U}{\tilde{a}_{ij}^{max}} \right) \left(\frac{\tilde{a}_{ij}^L}{\tilde{a}_{ij}^{max}}, \frac{\tilde{a}_{ij}^M}{\tilde{a}_{ij}^{max}}, \frac{\tilde{a}_{ij}^U}{\tilde{a}_{ij}^{max}} \right) \right] \quad (20)$$

b) Maliyet kriterleri için:

$$\tilde{r}_{ij} = \left[\left(\frac{\tilde{a}_{ij}^{min}}{\tilde{a}_{ij}^U}, \frac{\tilde{a}_{ij}^{min}}{\tilde{a}_{ij}^M}, \frac{\tilde{a}_{ij}^{min}}{\tilde{a}_{ij}^L} \right) \left(\frac{\tilde{a}_{ij}^{min}}{\tilde{a}_{ij}^U}, \frac{\tilde{a}_{ij}^{min}}{\tilde{a}_{ij}^M}, \frac{\tilde{a}_{ij}^{min}}{\tilde{a}_{ij}^L} \right) \right] \quad (21)$$

Bu adımda elde edilen $\tilde{r}_{ij}$, normalize bulanık değerleri temsil eder.

Burada $\tilde{a}_{ij}^{max}$ ifadesi, ilgili kriter için tüm alternatifler arasındaki en yüksek (maksimum) üst üyelik değerini temsil eder. $\tilde{a}_{ij}^{min}$ ise ilgili kriter için tüm alternatifler arasındaki en düşük (minimum) alt üyelik değerini temsil eder.

Adım 5: Ağırlıklı normalize değerlerin hesaplanması. Bu adımda; normalize edilen her değer, ilgili kriterin ağırlığı ile çarpılır. Burada:

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \text{ dir.} \quad (22)$$

Adım 6: Pozitif ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesi. Pozitif ve negatif ideal çözümler, her kriter için en iyi (maksimum) ve en kötü (minimum) değerlerin belirlenmesidir. Bu adım, alternatiflerin ideal çözümlere uzaklıklarının hesaplanabilmesi için referans noktalarının oluşturulmasını sağlar.

a) Pozitif İdeal Çözüm (FPIS): Her bir kriter için alternatifler arasında en yüksek (en iyi) değerlere sahip olan noktayı temsil eder. Bu, karar vericinin her kriterde en çok tercih edilen değeri esas alarak oluşturduğu ideal referans noktasıdır. FPIS için hesaplama formülü Eşitlik 23 verilmiştir.

$$\tilde{A}^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+\} \quad (23)$$

Burada her $\tilde{v}_j^+$ kriter j için ağırlıklı normalize matrisindeki maksimum aralık tip-2 bulanık kümesinin değeri alınarak belirlenir. Bu değerler, tüm alternatiflerin o kriterdeki en iyi performanslarını temsil eder. Burada amaç; her alternatifin, bu ideal noktaya ne kadar yakın olduğunu ölçerek en uygun seçeneği belirlemektir.

b) Negatif İdeal Çözüm (FNIS): Her bir kriter için alternatifler arasında en düşük (en kötü) değerlere sahip olan noktayı temsil eder. Bu değerler, karar vericinin hiç tercih etmeyeceği en zayıf performansı gösteren referans noktalarıdır. FNIS için hesaplama formülü Eşitlik 24 verilmiştir.

$$\tilde{A}^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-\} \quad (24)$$

Burada her $\tilde{v}_j^-$, kriter j için ağırlıklı normalize matrisindeki minimum aralık tip-2 bulanık kümesinin değeri alınarak belirlenir. Burada amaç; her alternatifin "en kötü olasılığa ne kadar uzak" olduğunu anlamamıza yardımcı olur. Yani, bir alternatif ideal çözüme ne kadar yakın ve en kötü çözüme ne kadar uzaksa, o alternatifin kalitesi ve tercih edilebilirliği o ölçüde yüksek olur.

Adım 7: Her alternatif için uzaklık mesafelerinin hesaplanması. Bu adımda; Her alternatifin bir önceki adımda hesaplanan FPIS ve FNIS'e olan uzaklıkları hesaplanır:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (25)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (26)$$

Burada; iki aralık tip-2 üçgen bulanık sayı arasındaki mesafe Eşitlik 27'de verildiği şekilde hesaplanır:

$$d(\tilde{A}, \tilde{B}) = \frac{1}{2} [d_{lower}(A, B) + d_{upper}(A, B)] \quad (27)$$

Burada d_{lower} ve d_{upper} ; ilgili üçgen bulanık sayıların (tip-1) uzaklık ölçümüdür ve genelde Euclidean (Öklidyen) veya vertex metodu kullanılarak hesaplanır.

Adım 8: Göreli yakınlık değerlerinin hesaplanması. Bu adımda; her alternatifin göreli yakınlık değeri Eşitlik 28 kullanılarak hesaplanır:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, C_i \in [0,1] \quad (28)$$

Adım 9: Alternatiflerin sıralanması ve en iyi seçimin yapılması. Bu adımda; Alternatifler, C_i değerlerine göre azalan sırada sıralanır. Burada; C_i değeri 1'e ne kadar yakınsa, alternatif o kadar tercih edilir.

5 Önerilen Yöntem/Yöntemlerin Uygulanması

Bu bölümde, yukarıda adımları açıklanan Bulanık Entropi ve AT2 B-TOPSIS yöntemleri, Şanlıurfa ili Halfeti ilçesinde kurulması planlanan özel bir hastane için en uygun yerin belirlenmesine yönelik olarak; beş alternatifin altı kriter temelinde değerlendirilmesi amacıyla uygulanmıştır. Uygulama süreci üç aşamadan oluşmaktadır: Birinci aşamada; çalışmanın uygulanabilirliğiyle alakalı bir uzman komitesi oluşturulmuştur. İkinci aşamada; literatür taraması ve uzman komitesinin görüş ve önerileri doğrultusunda yer seçimi probleme ait kriterler ve alternatifler belirlenmiştir. Bu aşamada; problemin amacına uygun olarak daha önce belirlenen altı kriter ve beş alternatif uzman komitesine değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada ise uzman komitesinin değerlendirmeleri doğrultusunda uygulanan yöntem/yöntemlerin sonucunda alternatif yerlerin seçimi ve sıralaması yapılmıştır.

5.1 Çalışma kapsamında oluşturulan uzman komitesine ait bilgiler

Bu çalışmada, Şanlıurfa ili Halfeti ilçesinde kurulması planlanan özel bir hastanenin yerinin belirlenmesi amacıyla, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı kapsamında yapılan değerlendirmelerin bilimsel geçerliliğini ve uygulama uygunluğunu artırmak için bir uzman komitesi oluşturulmuştur. Komite, ilgili alanlarda bilgi ve deneyime sahip kişilerden seçilmiş olup, kriter ve alternatiflerin belirlenmesi ile karar matrisinin oluşturulmasında kullanılan üçgen bulanık sayılarla yapılan derecelendirmeleri sağlamış ve kriterlerin ağırlıklandırılmasına yönelik değerlendirmelerde bulunmuştur.

Oluşturulan uzman komitesi şu disiplinlerde yer alan uzmanlardan oluşmaktadır:

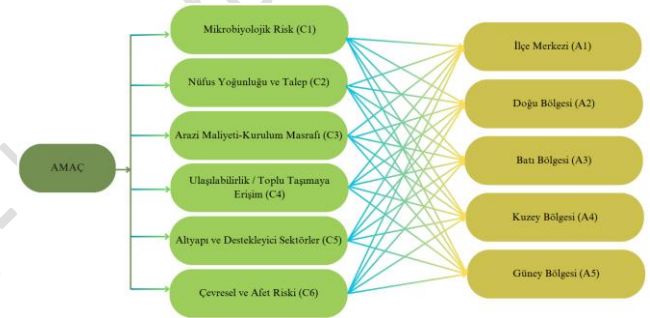
- Halk Sağlığı Uzmanı (1 kişi): Bölgedeki mikrobiyolojik risklerin değerlendirilmesi ve halk sağlığını tehdit eden unsurlar hakkında bilgi sağlamıştır.
- İnşaat Mühendisi ve Jeoloji Uzmanı (1 kişi): Arazi yapısı, eğim, yerleşime uygunluk ve afet riski gibi faktörlerin teknik değerlendirmesini yapmıştır.
- Şehir ve Bölge Planlayıcısı (1 kişi): Halfeti ilçesinin mevcut yerleşim durumu, ulaşılabilirlik ve gelişim projeleri üzerine bilgi sunmuştur.
- Sağlık Yönetimi Uzmanı (1 kişi): Sağlık hizmetleri talebi, nüfus yoğunluğu, hastane kurulumu ile ilgili ekonomik ve sosyal etkileri değerlendirmiştir.

- Yerel Yönetim Temsilcisi (1 kişi): Yerel altyapı, ulaşım imkânları ve toplu taşıma olanakları hakkında bilgi aktarmıştır.
- Alanında Uzman Akademisyen (1 kişi): ÇKKV, bulanık mantık, entropi ağırlıklandırma ve TOPSIS gibi karar destek yöntemleri üzerine akademik bilgi birikimiyle sürece metodolojik rehberlik yapmıştır. Ayrıca karar sürecinin bilimsel doğruluğunu sağlamak adına istatistiksel tutarlılık ve yöntemsel geçerlilik analizlerinde görev almıştır.

Böylece çalışma kapsamında oluşturulan uzman komitesi toplamda 6 kişiden oluşmaktadır. Üyelerin her biri, Halfeti ilçesinin sosyal, coğrafi ve çevresel özelliklerini dikkate alarak, kriterlerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve alternatiflerin puanlanması süreçlerinde etkin rol oynamıştır. Bu sayede, yapılan analizler daha gerçekçi, yerel koşullarla uyumlu ve bilimsel bir zemine oturtulmuştur.

5.2 Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan kriter ve alternatiflerin özellikleri

Çalışma kapsamında değerlendirmeye alınan kriter ve alternatiflerin özellikleri Tablo 4'te yer almaktadır. Şekil 2'de ise hiyerarşik yapısı verilen üç seviyeli karar problemi oluşturulmuştur.



Şekil 2. Karar probleminin hiyerarşik yapısı

Figure 2. Hierarchical structure of the decision problem.

5.3 Çalışma kapsamında verilerin toplanması

Çalışma kapsamında, Halfeti ilçesinde beş farklı bölge (ilçe merkezi, doğu, batı, kuzey ve güney) için hastane yer seçimine ilişkin karar verme sürecinde altı temel kriter belirlenmiş ve bu kriterlere yönelik veriler bölgesel analiz, resmi raporlar, uzman görüşleri ve yerel yönetimden elde edilen bilgiler doğrultusunda toplanmıştır. Her bir kriter için veri toplama süreci aşağıda detaylandırılmıştır:

- C1: Mikrobiyolojik Risk: Halfeti ilçesinde kurulması planlanan yeni özel hastane için mikrobiyolojik risk değerlendirmesinde dikkate alınan parametreler sıcaklık, nem oranı, atık yoğunluğu ve biyoaerosol (hava kalitesi) olarak dikkate alınmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan bölgelerin farklı yerlerinde ve aynı zaman dilimlerinde bir haftalık ölçümler yapılmıştır. Daha sonra ele alınan her bölge için yapılan bir haftalık ölçümlerin ortalaması alınarak nihai ortalama ölçümler hesaplanmıştır. Mikrobiyolojik risk için hesaplanan değerler Tablo 5'te verilmiştir.
- C2: Nüfus Yoğunluğu ve Talep: Bu aşamada veri toplama işlemi; uzman komitesi ile beraber resmi istatistik verileri ve ilçe halk sağlığı merkezi kayıtları analiz edilerek alternatif bölgelerin sağlık hizmeti ihtiyacı tespit edilmiştir.

- C3: Arazi Maliyeti / Kurulum Masrafı: Bu aşamada veri toplama işlemi; alan ziyaretleri, uzman mühendis görüşleri ve belediyeye ait planlama belgeleriyle belirlenmiştir.
- C4: Ulaşılabilirlik / Toplu Taşımaya Erişim: Bu aşamada veri toplama işlemi; uzman komitesi ile beraber google Maps üzerinden mesafe analizleri,

saha gözlemleri ve sürücülerle yapılan görüşmeler aracılığıyla değerlendirme yapılmıştır.

- C5: Altyapı ve Destekleyici Sektörler: Bu aşamada veri toplama işlemi; uzman komitesi ile beraber altyapı planları, belediye yetkilileri ile yapılan görüşmeler ve saha gezileri sonucu veriler oluşturulmuştur.

Tablo 4. Seçim probleminde kullanılan kriterler ve özellikleri
Table 4. Criteria and their characteristics used in the selection problem

Kriter Kodu	Kriterler	Tipi	Açıklama
C1	Mikrobiyolojik Risk	Maliyet	Bölgedeki hastalık yapıcı mikroorganizmaların varlığı ve yayılma potansiyeli; hastane yerinin mikrobiyolojik tehlikelere karşı güvenli olup olmadığını ifade eder. Enfeksiyon riskinin yüksek olduğu bölgeler tercih edilmez.
C2	Nüfus Yoğunluğu ve Talep	Fayda	Bölgedeki toplam nüfus sayısı ve sağlık hizmetlerine olan mevcut ve gelecekteki talebin yoğunluğunu ifade eder. Hastane, yüksek talep gören ve nüfusun yoğun olduğu alanlarda konumlandırılır.
C3	Arazi Maliyeti / Kurulum Masrafı	Maliyet	Hastane inşaatı için gerekli arsanın maliyeti, satın alma veya kiralama bedeli ve ilgili kurulum, altyapı geliştirme maliyetlerini kapsar. Bütçeye uygunluğu önemlidir.
C4	Ulaşılabilirlik / Toplu Taşımaya Erişim	Fayda	Hastaneye kara yolu, toplu taşıma ve acil ulaşım olanaklarının durumunu ifade eder. Kolay erişilebilir bölgeler, hasta ve personel için tercih sebebidir.
C5	Altyapı ve Destekleyici Sektörler	Fayda	Elektrik, su, kanalizasyon gibi temel altyapı hizmetlerinin durumu ve hastanenin ihtiyaç duyacağı medikal malzeme, ilaç, lojistik gibi destekleyici sektörlerin yakınlığını ifade eder.
C6	Çevresel ve Afet Riski	Maliyet	Deprem, sel, yangın gibi doğal afet risklerinin varlığı ve çevresel faktörlerin (örneğin hava kirliliği) hastane faaliyetlerine etkisini ifade eder.

Tablo 5. Halfeti için mikrobiyolojik risk değerlendirme tablosu
Table 5. Microbiological risk assessment table for Halfeti

Faktörler	A1: İlçe Merkezi	A2: Doğu Bölgesi	A3: Batı Bölgesi	A4: Kuzey Bölgesi	A5: Güney Bölgesi
Sıcaklık (°C)	36	35,5	35,22	34,21	36,3
Nem Oranı (%)	68	65	69	62	71
Atık Yoğunluğu	Yüksek	Orta	Düşük	orta	Düşük
Hava Kalitesi (AQI) (0-100)	82 (Orta)	68 (Yüksek)	59 (Çok Yüksek)	60 (Çok Yüksek)	72 (Yüksek)

- C6: Çevresel ve Afet Riski: Bu aşamada veri toplama işlemi; uzman komitesi ile beraber risk haritaları üzerinden CBS tabanlı analizler, afet geçmişine dair arşiv incelemeleri ve meteorolojik veri analizleriyle belirlenmiştir.

5.4 Çalışma alanı

Bu çalışma, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Şanlıurfa iline bağlı Halfeti ilçesinin yeni yerleşim bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Halfeti, geçmişte Fırat Nehri kıyısında yer almakta iken, Birecik Barajı'nın inşası sonrasında önemli bir

kısmı sular altında kalmış ve yerleşim üst kotlara taşınmıştır. Günümüzde "Yeni Halfeti" olarak adlandırılan bu yerleşim bölgesi, yükselti, eğim, altyapı olanakları, ulaşılabilirlik ve çevresel koşullar açısından farklı alt bölgelere ayrılabilir. Çalışmada incelenen beş alt bölge aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

A1: İlçe Merkezi: Halfeti'nin idari, sosyal ve ticari yapılarının yoğunlaştığı ana merkezdir. Kaymakamlık, hastane, eğitim kurumları ve resmi daireler burada yer almaktadır. Altyapı olanakları gelişmiş olup ulaşım imkânları yüksektir. Hava

kalitesi çevresel faktörler sebebiyle orta seviyededir. Topoğrafik olarak daha düz bir alanda yer alır.

A2: Doğu Bölgesi: Bu bölge, eğimli yapısıyla dikkat çeker. Bu bölge, yerleşim açısından henüz tam olarak gelişmemiştir. Altyapı çalışmaları devam etmektedir. Arazi yapısının dalgalı oluşu, kurulum maliyetlerini artırabilecek bir faktördür. Ancak çevresel etki açısından daha korunaklı ve düşük kirliletili bir bölgedir. Hava kalitesi yüksektir.

A3: Batı Bölgesi: Yerleşim yoğunluğu orta düzeyde olan bu bölge, çoğunluğu tarım arazileriyle çevrilidir. Eğimi az, düzlüğü fazladır ve ulaşım ağı ilçe merkezine yakınlığı sayesinde yeterince gelişmiştir. Mikrobiyolojik risk düzeyi düşük düzeyde değerlendirilmektedir. Sosyal kabul açısından gelişmeye açıktır.

A4: Kuzey Bölgesi: Tarım arazilerine yakınlığıyla bilinen bu bölge, düz ve ulaşımı kolay bir alanda yer alır. Ancak sulama sistemlerinden kaynaklı potansiyel mikrobiyolojik riskler göz ardı edilmemelidir. Yerleşim potansiyeli bulunmakla birlikte, çevresel etki açısından dikkatli planlama gerektirir.

A5: Güney Bölgesi: Bu alan, yeni yerleşim yerlerinin genişlemeye başladığı daha alt kotlardaki bölgeleri kapsamaktadır. Topoğrafik açıdan yüksek eğimlere sahip olup altyapı henüz tam olarak gelişmemiştir. Tarım arazisi yok denecek kadar az arsa maliyetleri düşüktür. Ortalama hava sıcaklığı diğer bölgelere nazaran yüksek olup mikrobiyolojik risk açısından dikkate alınması gereken bir bölge konumundadır.

Araştırmaya konu bölgeye ait uydu haritası ve ilçe merkezinin bölgelere ayrılmış haritası Şekil 3'te verilmiştir.

5.5 Bulanık entropi yöntemi ile kriter ağırlıklarının hesaplanması

Bu bölümde; bulanık Entropi yönteminin belirlenmiş olan beş alternatif yerin seçiminde kullanılacak altı kriterin

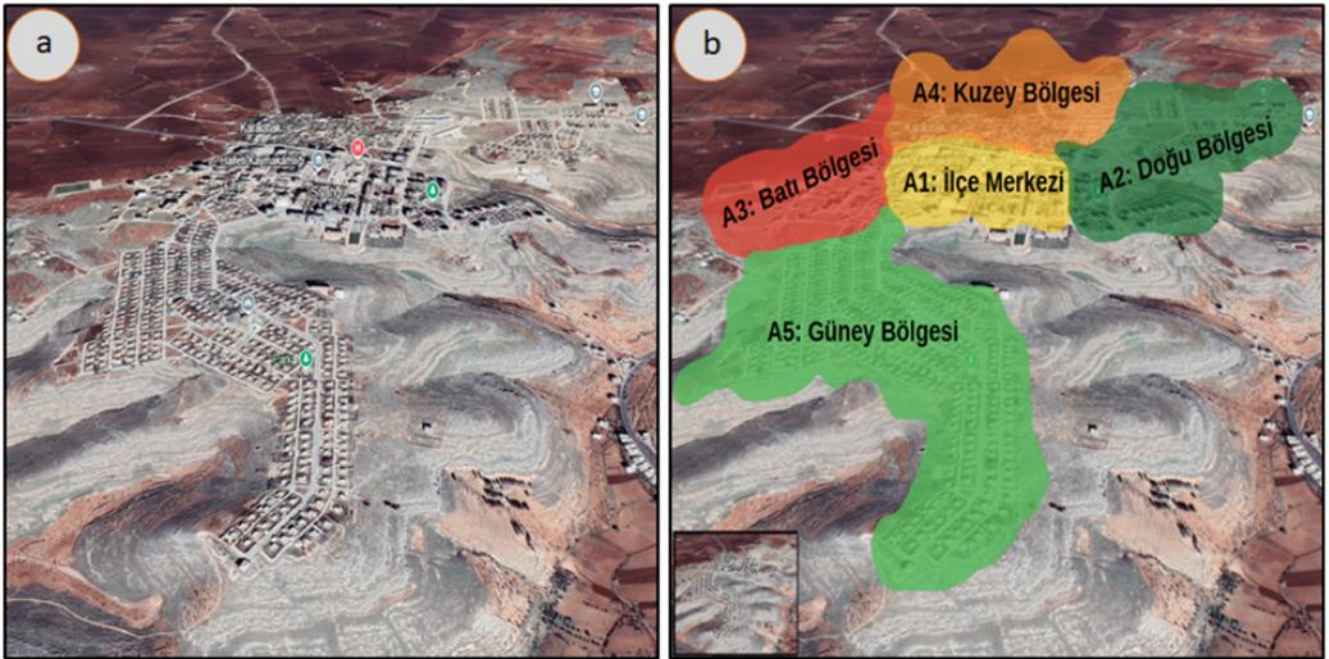
ağırlıklarının hesaplanmasına yönelik uygulanabilirliği adım adım gösterilecektir. Bu yöntemin uygulaması kapsamında üçgen tip-1 bulanık kümeler kullanılacak olup bu kapsamda kriterlerin (bazı kriterlerin nitel ve bazı kriterlerin nicel özellikte olmaları sebebiyle) önem seviyesini belirleyen üçgen tip-1 bulanık dilsel ifadeler Tablo 2'de verilmiştir (bakınız Tablo 2). Şimdi bulanık Entropi yöntemini, ele alınan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasına ait uygulanmasını adım adım açıklayalım:

Adım 1: Bulanık karar matrisinin oluşturulması. Bulanık ikili karşılaştırma matrisini oluşturmak için uzman dilsel değişkenler kullanılır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen dilsel değişkenler ve bunların üçgen aralık tip-1 bulanık ölçekleri Tablo 2'de verilmiştir (bakınız Tablo 2). Saha incelemeleri, arşiv araştırmaları ve uzman görüşleri doğrultusunda Halfeti ilçesinin çevresel, sosyo-ekonomik ve coğrafi özellikleri de dikkate alınarak çalışma kapsamında ele alınan bölgelere ait dilsel değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Adım 2: Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi. Bu adımda; öncelikli olarak Tablo 6'da verilmiş olan bulanık karar matrisini Tablo 2'den yararlanarak bulanık sayılara dönüştürme işlemini yapacağız. Tablo 2'den yararlanılarak yapılan dönüştürme işlemi Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7'den yararlanılarak fayda kriteri için Eşitlik 11 ve maliyet kriteri için Eşitlik 12 kullanılarak normalize edilmiş bulanık karar matrisi Tablo 8'de verilmiştir.

Adım 3: Normalize edilmiş bulanık matrisi elemanlarının keskinleştirilmesi. Bu adımda; bulanık sayılar işlem kolaylığı için kesin sayıya çevrilir. Tablo 8 üzerinden Eşitlik 13 kullanılarak hesaplanmış keskin değerler Tablo 9'da verilmiştir.



Şekil 3. (a) Halfeti ilçe merkezine ait uydu görüntüsü (b) Halfeti ilçe merkezinin belirlenen bölgelere ayrılmış haritası
Figure 3. (a) Satellite image of Halfeti district center (b) The map of Halfeti district center divided into designated regions.

Tablo 6. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait bulanık karar matrisi

Table 6. Fuzzy decision matrix for the evaluation of alternatives according to criteria

Alternatifler/Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1: İlçe Merkezi	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta
A2: Doğu Bölgesi	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
A3: Batı Bölgesi	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta
A4: Kuzey Bölgesi	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Çok Düşük
A5: Güney Bölgesi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

Tablo 7. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait bulanık karar matrisi

Table 7. Fuzzy decision matrix for the evaluation of alternatives according to criteria

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	(0.77,0.9,1.0)	(0.77,0.9,1.0)	(0.77,0.9,1.0)	(0.77,0.9,1.0)	(0.77,0.9,1.0)	(0.37,0.5,0.6)
A2	(0.37,0.5,0.6)	(0.57,0.7,0.8)	(0.17,0.3,0.4)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)
A3	(0.17,0.3,0.4)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.37,0.5,0.6)	(0.37,0.5,0.6)
A4	(0.17,0.3,0.4)	(0.37,0.5,0.6)	(0.37,0.5,0.6)	(0.57,0.7,0.8)	(0.37,0.5,0.6)	(0.02,0.1,0.2)
A5	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)	(0.57,0.7,0.8)

Tablo 8. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Table 8. Normalized fuzzy decision matrix for the evaluation of alternatives according to criteria

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	(0.170, 0.189, 0.221)	(0.770, 0.900, 1.000)	(0.170, 0.189, 0.221)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.370, 0.500, 0.600)
A2	(0.283, 0.340, 0.459)	(0.633, 0.778, 0.889)	(0.425, 0.567, 1.000)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.213, 0.243, 0.298)
A3	(0.425, 0.567, 1.000)	(0.633, 0.778, 0.889)	(0.283, 0.333, 0.400)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.463, 0.556, 0.667)	(0.370, 0.500, 0.600)
A4	(0.425, 0.567, 1.000)	(0.528, 0.639, 0.750)	(0.370, 0.500, 0.600)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.463, 0.556, 0.667)	(0.850, 1.000, 1.000)
A5	(0.213, 0.243, 0.298)	(0.633, 0.778, 0.889)	(0.283, 0.333, 0.400)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.713, 0.900, 1.000)	(0.213, 0.243, 0.298)

Tablo 9. Normalize edilmiş bulanık matrise ait keskinleştirilmiş değerler

Table 9. Defuzzified values of the normalized fuzzy matrix

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	0.192	0.895	0.192	0.885	0.885	0.495
A2	0.351	0.764	0.573	0.885	0.885	0.240
A3	0.567	0.764	0.331	0.885	0.550	0.495
A4	0.567	0.639	0.490	0.885	0.550	0.975
A5	0.240	0.764	0.331	0.885	0.885	0.240

Adım 4: Her kriter için Entropi değerlerinin hesaplanması. Bu adımda; öncelikli olarak normalize edilmiş değerlerin göreceli ağırlıkları Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanır. Daha sonra ise Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanan değerler üzerinden Eşitlik

15 kullanılarak her kriterin entropi değeri hesaplanır. Tablo 10'da hesaplanan her kriterin göreceli ağırlık değerleri ve Tablo 11'de ise her kriter için hesaplanan Entropi değerleri yer almaktadır.

Tablo 10. Göreceli ağırlık değerleri (p_{ij})

Table 10. Relative weight values (p_{ij})

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	0.1001	0.2340	0.1001	0.2000	0.2356	0.2024
A2	0.1831	0.1996	0.2990	0.2000	0.2356	0.0981
A3	0.2958	0.1996	0.1727	0.2000	0.1465	0.2024
A4	0.2958	0.1670	0.2557	0.2000	0.1465	0.3988
A5	0.1252	0.1996	0.1727	0.2000	0.2356	0.0981

Tablo 11. Her kriterin Entropi değeri (E_j)

Table 11. Entropy value of each criterion (E_j)

Kriterler	E_j Değeri
C1	0.945
C2	0.997
C3	0.956
C4	1.000
C5	0.982
C6	0.915

Adım 5: Kriterlerin çeşitlilik derecesinin hesaplanması. Bu adımda, Eşitlik 16 kullanılarak her kriterin çeşitlilik derecesi hesaplanmıştır. Ardından Eşitlik 17 kullanılarak her kriterin ağırlığı hesaplanmıştır. Eşitlik 16 ve Eşitlik 17 kullanılarak hesaplanan her kriterin çeşitlilik derecesi ve her kriterin ağırlık değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Her kriterlerin hesaplanan çeşitlilik derecesi (d_j) ve her kriterin ağırlık değerleri (w_j)

Table 12. Calculated diversity degree of each criterion (d_j) and weight values of each criterion (w_j)

Kriterler	d_j Değerleri	w_j Değerleri
C1	0.055	0.268
C2	0.003	0.015
C3	0.044	0.215
C4	0.000	0.000
C5	0.018	0.088
C6	0.085	0.415

5.6 AT2 B-TOPSIS yönteminin uygulanması ve alternatiflerin sıralanması

Bu bölümde; AT2 B-TOPSIS yöntemi, Halfeti ilçesinin çevresel, ve sosyo-ekonomik ve coğrafi özellikleri dikkate alınarak uzman komitesince belirlenmiş olan beş alternatif yerin seçimi problemine uygulanabilirliği adım adım gösterilecektir. Burada karar probleminin amacı, altı kriter altında beş tane alternatif yerin en iyisinin seçilmesi ve sıralama işleminin yapılmasıdır. Uygulama kapsamında üçgen tip-2 bulanık kümeler kullanılacak olup bu kapsamda kriterlerin önem seviyesini belirleyen üçgen tip-2 bulanık dilsel ifadeler Tablo 3'de verilmişti (bakınız Tablo 3). Şimdi AT2 B-TOPSIS yöntemini, ele alınan alternatif yerlerin seçim problemine uygulanmasını adım adım açıklayalım:

Adım 1: Bu adımda; literatür taraması, işbirliği yapılan kurum ve kuruluşlar ile bu çalışma kapsamında oluşturulan uzman komitesi rehberliğinde belirlenen beş alternatif yer ve altı kriter ele alınan problemin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere belirlenmiştir (bakınız Tablo 4).

Adım 2: Bulanık karar matrisi ve ağırlıkların belirlenmesi. Bu adımda; her bir alternatifin her bir kritere ilişkin performansı uzman komitesince dilsel etiketler (bakınız Tablo 3) kullanılarak karar matrisi Tablo 13'teki gibi oluşturulmuştur.

Uzman komitesinin değerlendirmeleri sonucu oluşturulan karar matrisinden (Tablo 13'ten) yararlanılarak dilsel etiketlere karşılık gelen bulanık karar matrisi (bakınız Tablo 3) Tablo 14'te verilmiştir.

Adım 3: Ağırlık vektörünün oluşturulması. Bu adımda; bölüm 5.4'te bulanık Entropi yöntemi kullanılarak hesaplanmış olan kriterlerin ağırlık değerleri kullanılacaktır. Entropi yöntemi kullanılarak hesaplanmış her bir kriter ağırlığı Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 13. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait bulanık karar matrisi dilsel değerlendirmesi

Table 13. Linguistic evaluation of the fuzzy decision matrix for the assessment of alternatives according to criteria

Alternatifler/Kriterler	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A1: İlçe Merkezi	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Çok Yüksek	Orta
A2: Doğu Bölgesi	Orta	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
A3: Batı Bölgesi	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Orta
A4: Kuzey Bölgesi	Düşük	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Çok Düşük
A5: Güney Bölgesi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

Tablo 14. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait bulanık karar matrisi üçgen tip-2 bulanık değerleri

Table 14. Fuzzy decision matrix of alternatives evaluated according to criteria with triangular type-2 fuzzy values

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	(0.85, 0.9, 0.95) (0.82, 0.9, 1.0)	(0.85, 0.9, 0.95) (0.82, 0.9, 1.0)	(0.85, 0.9, 0.95) (0.82, 0.9, 1.0)	(0.85, 0.9, 0.95) (0.82, 0.9, 1.0)	(0.85, 0.9, 0.95) (0.82, 0.9, 1.0)	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)
A2	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.25, 0.3, 0.35) (0.22, 0.3, 0.4)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)
A3	(0.25, 0.3, 0.35) (0.22, 0.3, 0.4)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)
A4	(0.25, 0.3, 0.35) (0.22, 0.3, 0.4)	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.45, 0.5, 0.55) (0.42, 0.5, 0.6)	(0.05, 0.1, 0.15) (0.02, 0.1, 0.20)
A5	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)	(0.65, 0.7, 0.75) (0.62, 0.7, 0.8)

Tablo 15. Çalışma kapsamında bulanık Entropi yöntemi kullanılarak hesaplanan kriterlere ait ağırlık değerleri

Table 15. Weight values of criteria calculated using the fuzzy entropy method within the scope of the study

Kriterler	Kriter Ağırlığı
C1	0.268
C2	0.015
C3	0.215
C4	0.000
C5	0.088
C6	0.415

Adım 4: Bulanık karar matrisinin normalize edilmesi. Bu adımda; maksimize (fayda) edilecek kriter değerleri için Eşitlik 20 ve minimize (maliyet) edilecek kriter değerleri için Eşitlik 21 kullanılarak her bir alternatif için normalize edilmiş

değerler hesaplanmış ve normalize edilmiş değerler Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Table 16. Normalized fuzzy decision matrix for the evaluation of alternatives according to criteria

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	(0.22, 0.2444, 0.2683) (0.5294, 0.5625, 0.6)	0.8947, 0.9474, 1.0 (0.8684, 1.0, 0.95)	(0.22, 0.2444, 0.2683) (0.5294, 0.5625, 0.6)	(0.8947, 0.9474, 1.0) (0.8684, 1.0, 0.95)	(0.82, 0.9, 1.0) (0.8947, 0.9474, 1.0)	(0.0909, 0.1, 0.1111) (0.1524, 0.1739, 0.2)
A2	(0.3667, 0.44, 0.5238) (1.0, 1.0, 1.0)	(0.4737, 0.5263, 0.5789) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.55, 0.7333, 1.0) (1.0, 1.0, 1.0)	(0.6842, 0.7368, 0.7895) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.62, 0.7, 0.8) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.0667, 0.0714, 0.0833) (0.1364, 0.1522, 0.1739)
A3	(0.55, 0.7333, 1.0) (1.8, 1.6667, 1.5)	(0.4737, 0.5263, 0.5789) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.275, 0.3143, 0.3529) (1.0, 1.0, 1.0)	(0.6842, 0.7368, 0.7895) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.42, 0.5, 0.6) (0.4737, 0.5263, 0.6)	(0.0909, 0.1, 0.1111) (0.1524, 0.1739, 0.2)
A4	(0.55, 0.7333, 1.0) (1.8, 1.6667, 1.5)	(0.4421, 0.5263, 0.6316) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.3667, 0.44, 0.5238) (0.6923, 0.75, 0.8)	(0.6842, 0.7368, 0.7895) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.42, 0.5, 0.6) (0.4737, 0.5263, 0.6)	(0.3333, 0.5, 1.0) (0.1, 0.2, 0.3333)
A5	(0.275, 0.3143, 0.3529) (0.7176, 0.75, 0.78)	(0.6842, 0.7368, 0.7895) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.275, 0.3143, 0.3529) (1.0, 1.0, 1.0)	(0.6842, 0.7368, 0.7895) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.62, 0.7, 0.8) (0.7368, 0.7778, 0.75)	(0.0667, 0.0714, 0.0833) (0.1364, 0.1522, 0.1739)

Adım 5: Ağırlıklı normalize değerlerin hesaplanması. Bu adımda; Tablo 16'den yararlanılarak normalize edilen her

değer, Eşitlik 22 kullanılarak ilgili kriterin ağırlığı ile çarpılır (bakınız tablo 15). Sonuç olarak hesaplanan ağırlıklı normalize değerler Tablo 17'de verilmiştir.

Tablo 17. Alternatiflerin kriterlere göre değerlendirilmesi ait ağırlıklı normalize edilmiş bulanık değerler

Tablo 17. Weighted normalized fuzzy values for the evaluation of alternatives according to criteria

Alternatifler/ Kriterler	C1 (Maliyet)	C2 (Fayda)	C3 (Maliyet)	C4 (Fayda)	C5 (Fayda)	C6 (Maliyet)
A1	(0.0590, 0.0655, 0.0719) (0.1418, 0.1508, 0.1608)	(0.0134, 0.0142, 0.0150) (0.0130, 0.0150, 0.0143)	(0.0473, 0.0525, 0.0577) (0.1139, 0.1210, 0.1290)	(0, 0, 0) (0, 0, 0)	(0.0722, 0.0792, 0.0880) (0.0787, 0.0833, 0.0880)	(0.0377, 0.0415, 0.0461) (0.0633, 0.0722, 0.0830)
A2	(0.0983, 0.1179, 0.1403) (0.2680, 0.2680, 0.2680)	(0.0071, 0.0079, 0.0087) (0.0111, 0.0117, 0.0113)	(0.1183, 0.1577, 0.2150) (0.2150, 0.2150, 0.2150)	(0, 0, 0) (0, 0, 0)	(0.0546, 0.0616, 0.0704) (0.0648, 0.0684, 0.0660)	(0.0277, 0.0296, 0.0346) (0.0566, 0.0632, 0.0722)
A3	(0.1474, 0.1964, 0.2680) (0.4824, 0.4467, 0.4020)	(0.0071, 0.0079, 0.0087) (0.0111, 0.0117, 0.0113)	(0.0591, 0.0675, 0.0759) (0.2150, 0.2150, 0.2150)	(0, 0, 0) (0, 0, 0)	(0.0370, 0.0440, 0.0528) (0.0417, 0.0463, 0.0528)	(0.0377, 0.0415, 0.0461) (0.0633, 0.0722, 0.0830)
A4	(0.1474, 0.1964, 0.2680) (0.4824, 0.4467, 0.4020)	(0.0066, 0.0079, 0.0095) (0.0111, 0.0117, 0.0113)	(0.0787, 0.0947, 0.1123) (0.1487, 0.1613, 0.1720)	(0, 0, 0) (0, 0, 0)	(0.0370, 0.0440, 0.0528) (0.0417, 0.0463, 0.0528)	(0.1383, 0.2075, 0.4150) (0.0415, 0.0830, 0.1383)
A5	(0.0737, 0.0842, 0.0945) (0.1923, 0.2010, 0.2090)	(0.0103, 0.0111, 0.0118) (0.0111, 0.0117, 0.0113)	(0.0591, 0.0675, 0.0759) (0.2150, 0.2150, 0.2150)	(0, 0, 0) (0, 0, 0)	(0.0546, 0.0616, 0.0704) (0.0648, 0.0684, 0.0660)	(0.0277, 0.0296, 0.0346) (0.0566, 0.0632, 0.0722)

Adım 6: Pozitif (FPIS) ve negatif (FNIS) ideal çözümlerin belirlenmesi. Bu adımda; Tablo 17'de hesaplanan ağırlıklı normalize edilmiş bulanık değerlerden yararlanılarak; Eşitlik 23 ve Eşitlik 24 kullanılarak FPIS ve FNIS değerleri hesaplanır.

Eşitlik 23 ve Eşitlik 24 kullanılarak hesaplanan FPIS ve FNIS değerleri Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18. Hesaplanan bulanık FPIS ve bulanık FNIS değerleri

Tablo 18. Calculated fuzzy FPIS and fuzzy FNIS values

Kriterler	Bulanık FPIS Değerleri	Bulanık FNIS Değerleri
C1 (Maliyet)	(0.0590, 0.0655, 0.0719) (0.1418, 0.1508, 0.1608)	(0.1474, 0.1964, 0.2680) (0.4824, 0.4467, 0.4020)
C2 (Fayda)	(0.7194, 0.7643, 0.8235) (0.8316, 0.8596, 0.9023)	(0.5294, 0.5625, 0.6000) (0.6182, 0.6286, 0.6680)
C3 (Maliyet)	(0.0833, 0.0870, 0.0909) (0.1818, 0.1905, 0.2000)	(0.4737, 0.5263, 0.5789) (0.7368, 0.7778, 0.7500)
C4 (Fayda)	C4'ün ağırlığı "0" olduğu için ihmal edilir	
C5 (Fayda)	(0.5500, 0.6000, 0.6333) (0.8056, 0.8235, 0.8571)	(0.2750, 0.3143, 0.3529) (0.4545, 0.4620, 0.4762)
C6 (Maliyet)	(0.0667, 0.0714, 0.0833) (0.1364, 0.1522, 0.1739)	(0.0909, 0.1000, 0.1111) (0.1524, 0.1739, 0.2000)

Adım 7: Her alternatif için uzaklık mesafelerinin hesaplanması. Bu adımda; Her alternatifin bir önceki adımda hesaplanan FPIS ve FNIS'e olan uzaklıkları hesaplanır. Tablo 18'de yer alan veriler üzerinden Eşitlik 25 ve Eşitlik 26 kullanılarak her

alternatifin FPIS ve FNIS'e olan uzaklık mesafeleri hesaplanır. Her alternatif için hesaplanan değerler Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 19. AT2 B-TOPSIS yöntemine göre her alternatif için hesaplanan uzaklık mesafeleri değerleri

Tablo 19. Calculated distance values for each alternative according to the AT2 B-TOPSIS method

Alternatifler	FPIS'e Uzaklık Değeri (d_i^+)	FNIS'e Uzaklık Değeri (d_i^-)
A1	0.0000	0.7054
A2	0.3984	0.2664
A3	0.4973	0.2953
A4	0.5465	0.2709
A5	0.3688	0.2186

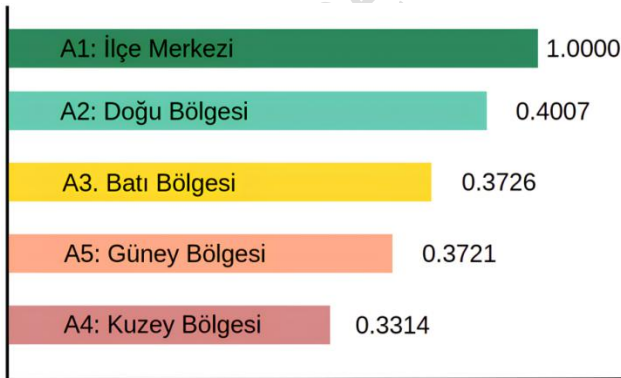
Adım 8: Göreli yakınlık (C_i) değerlerinin hesaplanması. Bu adımda her alternatifin göreli yakınlık değeri Eşitlik 28 kullanılarak hesaplanmış ve her alternatif için hesaplanan göreli yakınlık değerleri (C_i) değerleri Tablo 20'de verilmiştir.

Tablo 20. AT2 B-TOPSIS yöntemine göre her alternatif için hesaplanan göreli yakınlık (C_i) değerleri

Tablo 20. Calculated relative closeness (C_i) values for each alternative according to the AT2 B-TOPSIS method

Alternatifler	C_i Değerleri	Sıralama Performansı
A1	1.0000	1
A2	0.4007	2
A3	0.3726	3
A4	0.3314	5
A5	0.3721	4

Adım 9: Alternatiflerin sıralanması ve en iyi seçimin yapılması. Adım 8'de hesaplanan C_i değerlerine (bakınız Tablo 20) bakılarak alternatiflerimiz sıralanır. Burada; C_i değeri 1'e ne kadar yakınsa, alternatif o kadar tercih edilir. Buna göre hesaplanan C_i değerlerine göre ele alınan alternatiflerimizin sıralama performansları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Bulanık Entropi-AT2 B-TOPSIS hibrit yöntemine göre alternatiflerin sıralama performansları

Figure 4. Ranking performances of the alternatives according to the hybrid Fuzzy Entropy-Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS method

6 Sonuçların Analizi

Bu çalışmada, Halfeti ilçesinde özel bir hastane yeri seçimi problemi kapsamında karar verme süreci, nesnel kriter ağırlıklandırması için Bulanık Entropi yöntemi ve alternatiflerin sıralanması için AT2 B-TOPSIS yöntemi kullanılarak yürütülmüştür. Belirlenen altı kriter (C1: Mikrobiyolojik Risk, C2: Nüfus Yoğunluğu ve Talep, C3: Arazi Maliyeti / Kurulum Masrafı, C4: Ulaşılabilirlik / Toplu Taşımaya Erişim, C5: Altyapı ve Destekleyici Sektörler, C6: Çevresel ve Afet Riski), yer seçimi kararının bölgeye özgü çevresel, sosyo-ekonomik ve coğrafik bağlamda değerlendirilmesini yapmıştır.

Kriterlerin nesnel ağırlıkları Bulanık Entropi yöntemi ile hesaplanmış ve elde edilen sonuçlara göre en önemli kriterin C6: Çevresel ve Afet Riski (%41,5) olduğu görülmüştür. Bu durum, Halfeti gibi yerleşim alanının kırsal özellik taşıdığı ve afet riski (özellikle heyelan, sel ve deprem) gibi doğal tehlikelerin etkili olabileceği bölgelerde, çevresel güvenliğin yatırım kararlarında belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci en önemli kriter %26,8 ağırlıkla C1: Mikrobiyolojik Risk olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, bölgedeki hijyenik koşulların ve özellikle içme suyu ve kanalizasyon altyapısının sağlık yatırımlarında kritik rol oynadığını göstermektedir. Üçüncü sırada ise C3: Arazi Maliyeti / Kurulum Masrafı (%21,5) yer almakta olup, bu durum yatırımcı açısından ekonomik fizibilite unsurunun da dikkate alındığını göstermektedir. Buna karşın, C2: Nüfus Yoğunluğu ve Talep kriterinin ağırlığı yalnızca %1,5 olup, C4: Ulaşılabilirlik kriterinin ağırlığı sıfır olarak hesaplanmıştır. Bu durum, entropi yöntemiyle değerlendirildiğinde verilerin varyans düzeylerinin bu iki kriterde oldukça düşük olduğunu ve karar üzerinde anlamlı etkiler yaratmadığını göstermektedir. Bu sonuç, bazı bölgesel yer seçim çalışmalarında da benzer biçimde düşük ağırlıklarla raporlanmıştır [36].

Alternatiflerin değerlendirilmesinde AT2 B-TOPSIS yöntemiyle elde edilen göreli yakınlık (C_i) değerleri sırasıyla A1: Halfeti İlçe Merkezi (1.000), A2: Doğu Bölgesi (0.4007), A3: Batı Bölgesi (0.3726), A5: Güney Bölgesi (0.3721) ve A4: Kuzey Bölgesi (0.3314) olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre aşağıdaki analizler yapılabilir:

Halfeti İlçe Merkezi (A1): Tüm kriterler açısından ideal çözüme en yakın alternatif olup en uygun yer olarak öne çıkmıştır. İlçe merkezi, mevcut altyapı, ulaşım imkânları, kamu hizmetlerine erişim, görece düşük afet riski, daha güvenli çevre koşulları ve sosyal kabul gibi açılardan diğer bölgelere göre üstünlük göstermektedir. Özellikle mikrobiyolojik açıdan daha az risk taşıyan içme suyu ve atık sistemlerinin varlığı, ilçe merkezini diğer alanlara göre avantajlı kılmaktadır.

Halfeti Doğu Bölgesi (A2): İkinci sırada yer alan A2, göreli yakınlık değeri ($C_i = 0.4007$) bakımından A1'e göre belirgin şekilde düşük bir performans göstermiştir. Özellikle altyapı yeterliliği ve sosyo-ekonomik faaliyetlerin sınırlı olması bu alternatifini geri planda bırakmaktadır. Ancak mikrobiyolojik riskin kabul edilebilir seviyede olması ve gelişime açık bir alan olması, dikkat çekici bir potansiyel sunmaktadır.

Halfeti Batı Bölgesi (A3): Üçüncü sırada yer alan A3 ($C_i = 0.3726$), A2 ile benzer bir performans göstermektedir. Arazi maliyeti açısından avantajlı olmasına rağmen mikrobiyolojik risk düzeyinin daha yüksek olması ve mevcut ulaşım olanaklarının sınırlı olması bu bölgenin tercih edilebilirliğini azaltmıştır. Ancak ileriye dönük planlama ile geliştirilebilecek bölgeler arasında değerlendirilebilir.

Halfeti Güney Bölgesi (A5): A5 ($C_i = 0.3721$), A3 ile neredeyse eşit bir görelî yakınlık değerine sahiptir. Mikrobiyolojik risk ve altyapı zayıflıkları bu bölgenin sıralamada alt sıralarda yer almasına neden olmuştur. Arazi maliyetinin düşük olması olumlu bir unsur olsa da, sağlık yatırımı için bütüncül bir değerlendirmede yeterli olarak görülmemiştir.

Halfeti Kuzey Bölgesi (A4): A4 bölgesi, en düşük $C_i = 0.3314$ değeri ile sıralamada son sırada yer almakta; bu durum, bölgede altyapı eksiklikleri, erişim zorlukları ve nispeten daha yüksek çevresel risklerin varlığını işaret etmektedir. Benzer şekilde A2, A3 ve A5 bölgeleri de düşük nüfus yoğunluğu, sınırlı ulaşım ve destekleyici sektörlerin eksikliği nedeniyle düşük performans göstermiştir. Bu bulgular, ÇKKV modellerinin bölgesel planlama ve yatırımlar açısından yönlendirici etkisini bir kez daha kanıtlamaktadır [36].

Bu bulgu ve analizler neticesinde, Halfeti İlçe Merkezi (A1) tüm kriterler açısından en uygun yer olarak öne çıkmıştır. Diğer alternatiflerin ise çeşitli iyileştirmeler ve yatırımlar doğrultusunda uzun vadede değerlendirilebilir olduğu görülmektedir. Bulgular, karar vericilere bölgesel sağlık yatırımlarının yönlendirilmesinde anlamlı bir yol haritası sunacaktır.

Yöntemsel olarak, Aralık Tip-2 bulanık mantık yaklaşımı, karar vericilerin belirsizlikler altında daha esnek ve gerçekçi değerlendirmeler yapabilmesini sağlamış ve kriterlere ilişkin belirsizliğin üstesinden gelmede klasik yöntemlere kıyasla daha güçlü bir çözüm sunmuştur. Literatürde de ifade edildiği gibi, tip-2 bulanık sistemler, karar vericilerin algı, dilsel değişkenlik ve uzmanlık farklarını daha doğru yansıtarak karar kalitesini artırmaktadır [4], [37].

Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen hibrit çerçeve, yalnızca Halfeti özelinde değil, benzer nitelikteki kırsal bölgelerde de sağlık yatırımlarının planlanmasında etkili bir karar destek sistemi olarak uygulanabilir. Ayrıca karar sürecine yerel paydaşların katılımının artırılması ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile entegre edilmesi, gelecekteki araştırmalarda yöntemin daha da güçlendirilmesini sağlayacaktır.

6.1. Önerilen hibrit yöntemle ait duyarlılık analizi

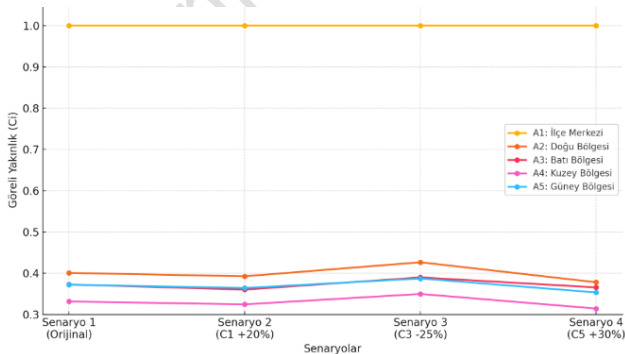
ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının değişimi, nihai alternatif sıralamalarında önemli farklılıklara neden olabilir. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında yapılan duyarlılık analizi, karar modelinin sağlamlığını test etmek ve önerilen yöntemin esnekliğini değerlendirmek açısından büyük önem taşımaktadır [38]. Böylece bu analiz sayesinde; hangi kriterin sonuçlar üzerinde ne ölçüde etkili olduğu, karar vericiye somut biçimde gösterilebilir. Bu çalışma kapsamında önerilen yöntemle ait duyarlılık analizini gerçekleştirmek için aşağıdaki senaryolar oluşturulmuştur:

- Senaryo 1 (Orijinal): Bulanık Entropi yöntemiyle elde edilen ağırlıkların kullanıldığı orijinal model.
- Senaryo 2: C1 (Mikrobiyolojik Risk) kriterinin ağırlığı %20 oranında artırılmıştır.
- Senaryo 3: C3 (Arazi Maliyeti) kriterinin ağırlığı %25 oranında azaltılmıştır.
- Senaryo 4: C5 (Altyapı ve Destekleyici Sektörler) kriterinin ağırlığı %30 oranında artırılmıştır.

Yukarıdaki senaryolara durumlarına göre alternatiflerin görelî yakınlık (C_i) değerlerini içeren bilgiler aşağıda Tablo 21 ve Şekil 5'te verilmiştir:

Tablo 21. Farklı senaryolar altında yapılan duyarlılık analizi sonuçları
Tablo 21. Results of the sensitivity analysis conducted under different scenarios

Alternatifler	Senaryo 1 (Orijinal)	Senaryo 2 (C1 +20%)	Senaryo 3 (C3 -25%)	Senaryo 4 (C5 +30%)
A1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
A2	0.4007	0.3925	0.4265	0.3780
A3	0.3726	0.3602	0.3898	0.3655
A4	0.3314	0.3244	0.3497	0.3142
A5	0.3721	0.3641	0.3872	0.3533



Şekil 5. Farklı senaryo durumlarına göre alternatiflerin duyarlılık analizi grafiği

Figure 5. Sensitivity analysis graph of the alternatives under different scenario conditions

Duyarlılık analizi kapsamında farklı kriter ağırlıkları altında elde edilen görelî yakınlık (C_i) değerleri incelendiğinde, aşağıdaki bulgular ön plana çıkmıştır:

- A1 (Halfeti İlçe Merkezi) tüm senaryolarda $C_i = 1.0000$ değeri ile kararlılığını koruyarak mutlak en iyi alternatif olduğunu bir kez daha kanıtlamıştır. Bu durum, A1'in kriter ağırlıklarındaki değişikliklerden etkilenmediğini ve karar probleminin baskın çözümü olduğunu göstermektedir.
- A2 (Doğu Bölgesi), C1'in (%20 artış) etkisinin vurgulandığı Senaryo 2'de düşüş göstermiş (0.4007→0.3925), buna karşılık C3'ün (%25 azalma)

önemsizleştirdiği Senaryo 3'te yükselerek 0.4265 değerine ulaşmıştır. Bu durum, A2'nin özellikle kurulum maliyetlerine duyarlı bir alternatif olduğunu göstermektedir.

- A3 (Batı Bölgesi) ve A5 (Güney Bölgesi) benzer şekilde davranış göstermiş, en yüksek performanslarını C3'ün azaltıldığı Senaryo 3'te göstermişlerdir (sırasıyla 0.3898 ve 0.3872). Bu durum, bu iki alternatifin de maliyet kriterlerindeki azalmadan olumlu etkilendiğini işaret etmektedir.
- A4 (Kuzey Bölgesi), tüm senaryolarda en düşük C_i değerine sahip olup, özellikle C5'in (%30 artış) ağırlık kazandığı Senaryo 4'te en düşük değeri (0.3142) almıştır. Bu, A4'ün hem düşük sosyal kabul/altyapı avantajına hem de genel zayıf performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Bu duyarlılık analizi, önerilen Bulanık Entropi AT2 B-TOPSIS yönteminin karar verme sürecindeki güvenilirliğini ve kararlılığını ortaya koymuştur. A1'in tüm senaryolarda en iyi sonucu vermesi, yöntemin istikrarlı sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Kriter ağırlıklarındaki değişiklikler, diğer alternatifler üzerinde sınırlı ancak gözle görülür etkilere yol açmıştır. Bu da yöntemin hem esnekliği hem de hassasiyeti seviyesi açısından tatmin edici olduğunu kanıtlamaktadır.

Ayrıca bu analiz, karar vericilere kritik kriterleri ve bunların etkilerini anlamaları konusunda güçlü bir destek sunmakta, olası politika değişikliklerine karşı sistemin nasıl yanıt vereceği hakkında önceden kestirim yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, özellikle sağlık tesisi yeri seçimi gibi yüksek etkili karar problemlerinde yöntemin pratik uygulanabilirliğini güçlendirmektedir.

7 Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, Halfeti ilçesinde özel hastane kurulması için en uygun yerin tespiti amacıyla Bulanık Entropi ve AT2 B-TOPSIS yöntemleri bütünsel olarak kullanılmıştır. Belirsizliklerin ve dilsel değerlendirmelerin yoğun olduğu çok kriterli karar problemlerinde bulanık mantık temelli yöntemler, karar vericilerin özel yargılarını daha gerçekçi bir biçimde matematiksel modellere entegre etme avantajını bizlere sunmaktadır [4], [39]. Bu bağlamda çalışmamız, özellikle belirsizliğin yüksek olduğu kırsal bir bölgede kurulacak hastane yerinin seçimine yönelik özgün bir yaklaşım ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgulara göre, Halfeti ilçe merkezi (A1), tüm alternatifler arasında en yüksek göreceli yakınlık değeri olan 1.000 ile en uygun yerleşim noktası olarak belirlenmiştir. Bu alternatifin öne çıkmasında en fazla etkili olan kriterler Çevresel ve Afet Riski (%41,5) ve Mikrobiyolojik Risk (%26,8) olarak öne çıkmıştır. Bu durum, özellikle sağlık yatırımlarında sadece ekonomik değil, çevresel güvenlik ve halk sağlığı koşullarının da karar sürecinde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Benzer şekilde Yavuz ve Ecer [40], kırsal bölgelerdeki sağlık hizmetlerinin yaygınlaştırılması amacıyla gerçekleştirdikleri ÇKKV tabanlı analizinde, çevresel ve altyapısal faktörlerin nüfus yoğunluğuna göre daha yüksek ağırlıkta olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca Awasthi ve diğ. [2] tarafından yapılan bir lojistik merkez yer seçimi çalışmasında da afet riski ve altyapı olanaklarının yüksek önem düzeyinde değerlendirilmesi, çalışmamızın bulgularıyla örtüşmektedir.

Bu çalışmada kullanılan Bulanık Entropi yöntemi, kriter ağırlıklarının karar vericilerin subjektif yargılarından bağımsız olarak, veri temelli nesnel bir şekilde belirlenmesini sağlamıştır. Özellikle belirsizliğin yüksek olduğu alanlarda karar matrisindeki bilgi çeşitliliğini dikkate alarak daha sağlam ağırlıklar üretmiştir [41], [42]. Entropi temelli kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin, farklı disiplinlerde güvenilir sonuçlar verdiği örneklerden biri de Bacanlı ve diğ. [43] tarafından yapılan bir çalışmada, kuraklık değerlendirmesinde paylaştırılmış entropi yöntemi başarıyla uygulanmış olup entropi yaklaşımımızın sağlık yer seçimine adaptasyonu metodolojik açıdan doğrudan referans olmuştur.

Bununla birlikte, AT2 B-TOPSIS yöntemi, geleneksel tip-1 ve klasik bulanık mantık yaklaşımlarına göre daha üstün bir performans sergilemiştir. Literatürde belirtildiği gibi [44], [45] tip-2 sistemler özellikle karar vericiler arasında belirsizlik düzeyi yüksek olduğunda daha doğru ve güvenilir sonuçlar üretebilmektedir. Geliştirilen yöntem, karar vericilerin sözel ifadelerini (örneğin 'Çok Yüksek', 'Orta') yalnızca basit üçgen üyelik fonksiyonlarıyla değil, daha detaylı ve belirsizliği daha iyi yansıtan aralık değerli bulanık kümelerle ifade edebilme imkânı sunmuştur.

Ayrıca yöntemin avantajlarından biri de, FPIS ve FNIS değerlerine olan uzaklıkların çift üyelik fonksiyonları üzerinden hesaplanabilmesi, böylece belirsizliğin hem alt hem üst sınırlarını dikkate almasıdır. Bu da daha hassas bir sıralama elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları ise aşağıda özetlenmiştir:

- Veri kaynaklarının yerel odaklı olması: Kullanılan veriler yalnızca Halfeti ilçesiyle sınırlı tutulmuştur. Bu durum sonuçların genellenebilirliğini kısıtlamaktadır.
- Kriter setinin sabitlenmiş olması: Çalışmada yalnızca altı kriter kullanılmıştır. Oysaki sağlık yeri seçimi daha geniş ölçekte, sosyoekonomik ve politik faktörleri de içerebilir.
- Uzman sayısı ve görüş sıklığı: Karar matrisinde kullanılan dilsel veriler, sınırlı sayıda yerel uzman görüşlerine dayanarak oluşturulmuştur. Farklı uzman gruplarının daha geniş katılımı sonuçları etkileyebilir.
- Bu çalışma, belirlenen altı kriter çerçevesinde değerlendirme yapmış olup, kriter seti genişletildiğinde farklı sonuçlar elde edilebilecektir. Ayrıca, uzman görüşleri ve kullanılan bulanık mantık temelli yöntemler karar sürecinde belirsizlikleri azaltmış olsa da, tüm çevresel, sosyo-ekonomik ve teknik değişkenleri kapsamak mümkün olmamıştır.

Bu araştırmadan elde edilen bulgular doğrultusunda gelecekte yapılacak çalışmalar için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

- CBS ve Uydusal Verilerle Entegrasyon: İlerideki çalışmalarda coğrafi katmanlar (eğim, yer altı suyu, ulaşım yolları) CBS araçlarıyla analiz edilerek daha kapsamlı mekânsal analiz yapılabilir.
- Stakeholder (paydaş) tabanlı karar süreçleri: Yerel halk, sağlık yöneticileri ve yatırımcıların ortak katılımıyla daha bütüncül kararlar geliştirilebilir.
- Diğer bulanık ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırılması: Aralık tip-2 bulanık AHP, DEMATEL, WASPAS gibi yöntemlerle karşılaştırmalı analizler yapılarak yöntemlerin göreceli avantajları test edilebilir.

- Sosyoekonomik etki analizi: Kurulacak sağlık tesisinin uzun vadeli etkileri (istihdam, göç, yerel ekonomi) analiz edilerek sürdürülebilirlik temelli ÇKKV çerçeveleri uygulanabilir.
- Bu çalışmada kriterler; mikrobiyolojik risk, nüfus yoğunluğu ve talep, arazi maliyeti, ulaşılabilirlik, altyapı uygunluğu ve çevresel/afet riski ile sınırlandırılmıştır. Ancak karar sürecinde halkın sosyal kabul düzeyi veya toplumsal beklentiler gibi sosyal faktörler dikkate alınmamıştır. Bu durum, önerilen modelin daha çok teknik ve ekonomik boyutlara odaklanmasına yol açmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, sosyal kabul, yerel halkın algısı ve paydaş katılımı gibi nitel kriterlerin de modele entegre edilmesi, karar verme sürecinin daha kapsayıcı ve sürdürülebilir sonuçlar üretmesine katkı sağlayacaktır.
- Gelecekteki çalışmalar, daha fazla kriter ve alternatifin dahil edilmesi, coğrafi bilgi sistemleri (GIS) destekli mekânsal analizlerin entegrasyonu ve farklı bulanık ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalı uygulanmasıyla geliştirilebilir. Ayrıca, karar verme sürecinde paydaş katılımının artırılması, sonuçların güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini güçlendirecektir.
- Önerilen hibrit modelin pratik uygulanabilirliğini artırmak amacıyla, gelecekte kullanıcı dostu bir yazılım arayüzü geliştirilebilir. Bu sayede sağlık kurumlarındaki karar vericiler, teknik detaylarla uğraşmadan kriter ağırlıkları ve alternatif değerlendirmelerini girerek sonuçları otomatik şekilde elde edebilirler.

7 Conclusion and Discussion

In this study, an integrated approach combining the Fuzzy Entropy and Interval Type-2 Fuzzy TOPSIS (IT2 F-TOPSIS) methods was employed to determine the most suitable location for establishing a private hospital in the Halfeti district. In multi-criteria decision-making (MCDM) problems characterized by uncertainty and linguistic evaluations, fuzzy logic-based methods offer the advantage of incorporating the subjective judgments of decision-makers into mathematical models in a more realistic manner [4], [39]. In this context, our study proposes a novel approach to hospital site selection in a rural region where uncertainty is significantly high.

According to the findings, the Halfeti district center (A1) was identified as the most suitable settlement location among all alternatives, with the highest relative closeness value of 1.000. The most influential criteria contributing to the prominence of this alternative were Environmental and Disaster Risk (41.5%) and Microbiological Risk (26.8%). This outcome highlights that in healthcare investment decisions, not only economic factors but also environmental safety and public health conditions play a decisive role in the decision-making process.

Similarly, Yavuz and Ecer [40], in their MCDM-based analysis aimed at improving healthcare accessibility in rural areas, revealed that environmental and infrastructural factors had higher weights compared to population density. Additionally, in a logistics center location selection study conducted by Awasthi et al. [2], the high prioritization of disaster risk and infrastructural facilities is consistent with the findings of our study.

The Fuzzy Entropy method utilized in this research enabled the determination of criterion weights objectively and data-driven, independent of the subjective judgments of decision-makers. Especially in contexts characterized by high uncertainty, it produced more robust weightings by considering the diversity of information within the decision matrix [41], [42]. One example demonstrating the reliability of entropy-based weighting methods in various disciplines is the study by Bacanlı et al. [43], where the Distributed Entropy approach was successfully applied in drought assessment. This served as a direct methodological reference for adapting the entropy approach to the healthcare location selection problem.

Moreover, the IT2 F-TOPSIS method exhibited superior performance compared to traditional Type-1 and classical fuzzy logic approaches. As emphasized in the literature [44], [45], Type-2 systems are capable of producing more accurate and reliable results particularly in cases where the uncertainty among decision-makers is high. The proposed method allowed for the representation of linguistic terms (e.g., "Very High", "Medium") not merely through simple triangular membership functions, but through interval-valued fuzzy sets that better capture imprecision and vagueness.

Another notable advantage of the proposed method is its ability to compute the distances to FPIS (Fuzzy Positive Ideal Solution) and FNIS (Fuzzy Negative Ideal Solution) using dual membership functions. This allows for the consideration of both lower and upper bounds of uncertainty, resulting in a more precise ranking of alternatives.

The limitations of this study are summarized below:

- Use of locally focused data sources: The data used in the study are limited to the Halfeti district. This restricts the generalizability of the findings.
- Fixed criterion set: Only six criteria were considered in this study. However, healthcare location selection may involve a broader set of criteria including socioeconomic and political factors.
- Limited number and frequency of expert opinions: The linguistic data in the decision matrix were based on the judgments of a limited number of local experts. Broader participation from diverse expert groups could influence the results.

Based on the findings of this study, the following recommendations are proposed for future research:

- Integration with GIS and Satellite Data: Future studies may incorporate geographic layers (e.g., slope, groundwater, transportation routes) through GIS tools to enable more comprehensive spatial analyses.
- Stakeholder-based decision-making processes: More holistic decisions could be achieved through the joint participation of local communities, healthcare administrators, and investors.
- Comparison with other fuzzy MCDM methods: Comparative analyses with methods such as Interval Type-2 Fuzzy AHP, DEMATEL, and WASPAS may be conducted to evaluate the relative advantages of different approaches.
- Socioeconomic impact analysis: The long-term impacts of the proposed healthcare facility (e.g., employment, migration, local economy) could be assessed through sustainability-oriented MCDM frameworks.

8 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen bu çalışmada, **Yazar 1**, fikrin oluşması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi ve diğer işlemlerin tümünde katkı sunmuştur.

9 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur".
"Ayrıca, hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır".

10 Kaynaklar

- [1] Govindan K., Khodaverdi R., Jafarian A. "A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach". *Journal of Cleaner Production*, 47, 345-354, 2013.
- [2] Awasthi A., Chauhan S. S., Goyal S. K. "A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers". *International Journal of Production Economics*, 126(2), 370-378, 2011.
- [3] Mendel J. M. *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*. New Jersey, ABD, Prentice-Hall, 2001.
- [4] Mendel J. M., John R. I. B. "Type-2 fuzzy sets made simple". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(2), 117-127, 2002.
- [5] Herrera-Viedma E., Cabrerizo F. J., Kacprzyk J., Pedrycz W. "A review of soft consensus models in a fuzzy environment". *Information Fusion*, 17, 4-13, 2014.
- [6] Başar G., Der O. "Multi-objective optimization of process parameters for laser cutting polyethylene using fuzzy AHP-based MCDM methods". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 09544089251319202, 2025. <https://doi.org/10.1177/09544089251319202>
- [7] Tekman N., Ordu M. "The Rise and Fall of Regions: A Hybrid Multi-Criteria Analysis of Türkiye's Regional Economies' Sustainable Performance". *Sustainability*, 17(11), 5222, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17115222>
- [8] Ilgin M. A., Gupta S. M., Battaia O. "Use of MCDM techniques in environmentally conscious manufacturing and product recovery: State of the art". *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 746-758, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.010>
- [9] Öztürk M. "A Hybrid Approach for Battery Selection Based on Green Criteria in Electric Vehicles: DEMATEL-QFD-Interval Type-2 Fuzzy VIKOR". *Sustainability*, 17(14), 6277, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17146277>
- [10] Boyacı, A. Ç., & Şişman, A. "Pandemic hospital site selection: a GIS-based MCDM approach employing Pythagorean fuzzy sets." *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 1985-1997.
- [11] Kahraman C., Gundogdu F. K., Onar S. Ç., Oztaysi B. "Hospital location selection using spherical fuzzy TOPSIS". *11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT)*, 77-82, Atlantis Press, 2019.
- [12] Senvar O., Otay I., Bolturk E. "Hospital site selection via hesitant fuzzy TOPSIS". *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1140-1145, 2016.
- [13] Miç P., Antmen Z. F. "A healthcare facility location selection problem with fuzzy TOPSIS method for a regional hospital". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 750-757, 2019.
- [14] Meniz B., Usun S. O., Bas S. A., Yafez E., Ozkok B. A. "Integration of Type-2 fuzzy TOPSIS and Quality Function Deployment to address patient satisfaction in healthcare". *Applied Soft Computing*, 113187, 2025.
- [15] Başdeğirmen A., Çal D. Y. "Şehir hastanelerinin entropi temelli maut yöntemi ile kapasite değerlendirmesi". *Oğuzhan Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1), 78-90, 2021.
- [16] Organ A., Tekin B. "Şehir Hastanesi Kuruluş Yeri Seçimi İçin Entropi ve Gri İlişkisel Analiz Yaklaşımı: Denizli İli Örneği". *Adnan Menderes Üniversitesi, sosyal Bilimler Dergisi*, 4(3), 256-278, 2017.
- [17] Akyüz G., Kılınc E. "Kuruluş yeri seçiminde bulanık TOPSIS yönteminin kullanımı: Sağlık sektöründe bir uygulama". *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(33), 590-608, 2016.
- [18] Ayvaz, B., Kuşakcı, A. O. Tedarikçi seçimi için TOPSIS tabanlı ikizkenar yamuk tip-2 bulanık çok kriterli karar verme metodu: Tekstil sektöründe bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (PAJES)*, 23(1), 70-80, 2017.
- [19] Malayoğlu A. Entropi tabanlı TOPSIS yöntemi ile sağlık sektöründe finansal performans analizi (Yüksek Lisans Tezi). *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Türkiye*, 2024.
- [20] Sütçü M. "Analitik Hiyerarşi Karar Verme Süreci ile Hastane Yeri Seçimi Problemi: Türkiye'de Bir Uygulama". *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (45), 144-150, 2022.
- [21] Kaya S., Kahraman C. "A fuzzy multicriteria approach to hospital location selection". *Expert Systems with Applications*, 38(8), 10346-10353, 2011.
- [22] Demir E., Demirel T., Kaplan M. "Fuzzy TOPSIS approach for health care facility location selection". *Applied Soft Computing*, 46, 187-198, 2016.
- [23] Wang J.-J., Chang C.-J. "Application of TOPSIS in hospital emergency department site selection". *Expert Systems with Applications*, 33(4), 870-880, 2007.
- [24] Zavadskas E. K., Turskis Z., Tamosaitiene J. "Multi-criteria decision-making methods for hospital site selection". *Technological and Economic Development of Economy*, 20(2), 345-361, 2014.
- [25] Liao T. W., Kao W. L. "DEMATEL and ANP-based approach for hospital planning and site selection". *Journal of Medical Systems*, 34(4), 601-611, 2010.
- [26] Chen Y., Li J., Wang Y. "Interval type-2 fuzzy TOPSIS approach for healthcare facility location planning". *Computers & Industrial Engineering*, 113, 517-528, 2017.

- [27] Gupta A., Barua M. K. "A hybrid fuzzy AHP-GRA method for hospital site selection". *Journal of Cleaner Production*, 258, 120655, 2020.
- [28] Kabir M. A., Farid M. "Application of WASPAS method in healthcare infrastructure planning". *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(3), 187-194, 2019.
- [29] Singh R., Singh A. K. "A combined AHP and TOPSIS approach for hospital location and capacity planning". *International Journal of Health Planning and Management*, 33(1), 114-125, 2018.
- [30] Zhai D., Mendel J. M. "Uncertainty measures for general type-2 fuzzy sets". *Information Sciences*, 181(3), 503-518, 2011.
- [31] 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 Systems with Applications*, 37(1), 824-833, 2010.
- [32] Wang T. C., Lee H. D. "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights". *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8980-8985, 2009.
- [33] Szmidt E., Kacprzyk J. "Group decision making under intuitionistic fuzzy preference relations". In *IPMU: Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (Paris, 6-10 July 1998)*, 172-178, 1998.
- [34] Gezen Ucar M. "Integrated entropy-based MCDM methods for investigating the effectiveness of Turkey's energy policies". *Energy Systems*, 1-30, 2024.
- [35] Chen SH, Wang ST, Chang SM. "Some properties of "graded mean integration representation of LR type fuzzy numbers". *Tamsui Oxford Journal of Mathematical Sciences*, 22(2), 185-208, 2006.
- [36] Büyüközkan G., Çifçi G. "Evaluation of the green supply chain management practices: A fuzzy ANP approach". *Production Planning & Control*, 23(6), 405-418, 2012.
- [37] Zeng S., Zhang H. "A new method for fuzzy multi-criteria decision making with interval type-2 fuzzy sets". *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 6(4), 337-352, 2007.
- [38] Triantaphyllou, E. *Multi-criteria decision making methods*. Springer US, 2000.
- [39] Zadeh L. A. "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I". *Information Sciences*, 8(3), 199-249, 1975.
- [40] Yavuz M., Ecer F. "A multi-criteria decision-making model for evaluating rural health service quality using integrated entropy and TOPSIS methods". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 26(3-4), 147-159, 2019.
- [41] Shannon C. E. "A mathematical theory of communication". *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423, 1948.
- [42] Deng H., Yeh C.-H., Willis R. J. "Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights". *Computers & Operations Research*, 27(10), 963-973, 2006.
- [43] Bacanlı, Ü. G., Baran, T., Dikbaş, F. Paylaşılmış entropi kavramının kuraklık ölçütü olarak kullanılabilirliği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi (PAJES)*, 23(3), 232-237, 2017.
- [44] Mendel J. M., Liu F. "Type-2 fuzzy logic systems". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(1), 1-19, 2007.
- [45] Tzeng G. H., Huang J. J. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Boca Raton, FL, ABD, CRC Press, 2011.