

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANA BİLİM DALI

SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
TEKNİKLERİ VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meltem Merve AKDERE

Mayıs, 2025

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANA BİLİM DALI

SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME
TEKNİKLERİ VE UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meltem Merve AKDERE

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nihan TIRMIKÇIOĞLU

Mayıs, 2025

ETİK BEYAN

“Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Dönem Projesi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde bizzat elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.”

Meltem Merve AKDERE

30/05/2025

İmza

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ ETİK BEYANI

Tezde Üretken Yapay Zeka araçlarını araştırma yöntemi, örneklem büyüklüğü tespiti/güç analizi yapılması, veri analizi, veri toplama, veri depolama ve paylaşımı (federatif veri paylaşım/kullanım sistemleri dahil), literatür taraması, kaynakların düzenlenmesi, dil bilgisi ve yazım kontrolü, çeviri gibi işlerde kullandığımı; bu süreçlerde yaptırılan işleri dikkat ve özenle gözden geçirerek maddi hataları ve taraflı ya da yazılımsal/algoritmik ya da olgusal/yorumsal hataları tespit ederek düzelttiğimi, bağlamsal tutarlılığı sağladığımı ve ortaya çıkan ürünün (metin, resim, ses, görüntü, kod, karar, sonuç) yasal ve etik açıdan doğabilecek tüm sorumluluğunu üstlendiğimi beyan ederim.

Meltem Merve AKDERE

30/05/2025

İmza

TEZ ONAYI

“Kırkireli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans öğrencisi Meltem Merve AKDERE tarafından, Dr. Öğr. Üyesi Nihan TIRMIKÇIOĞLU’nun danışmanlığında hazırlanan “Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve Uygulamaları” başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 30/05/2025 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavında oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.”

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Nihan TIRMIKÇIOĞLU
Kırkireli Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Yasin ÜNLÜTÜRK
Kırkireli Üniversitesi

Doç. Dr. Ülkü BABUŞCU YEŞİL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 30/05/2025

ÖN SÖZ

Çalışmamın her aşamasında bilgi, deneyim ve rehberliğiyle bana yol gösteren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nihan TIRMIKÇIOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte her zaman yanımda olan, sabrı ve desteğiyle bana güç veren sevgili eşim Alper AKDERE'ye ve her koşulda beni destekleyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını hayatıma anlam katan sevgili çocuklarım Karya ve Aksel'e ithaf etmekten mutluluk duyuyorum.

Meltem Merve AKDERE

Mayıs, 2025

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER.....	3
2.1. Bulanık Mantık.....	3
2.2. Bulanık Kümeler	6
2.2.1. Bulanık Küme Özellikleri	8
2.2.2. Üyelik Fonksiyonları.....	10
2.2.3. Bulanık Küme işlemleri	12
2.3. Dilsel Değişkenler:.....	13
2.4. Bulanık Sayılar	14
2.4.1. Üçgensel bulanık sayı ve cebirsel işlemler	15
2.5. Durulaştırma	16
2.6. Bulanık Küme Uzantıları	17
2.6.1. Sezgisel Bulanık Kümeler.....	19
3. KARAR VERME VE SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ	27
3.1. Karar Verme.....	27
3.2. Çok Kriterli Karar Verme	29
3.3. Sezgisel Bulanık Karar Verme Teknikleri.....	30
3.3.1. Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi	31
3.3.2. Sezgisel Bulanık VIKOR Yöntemi	35

4. SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE BİR UYGULAMA: TINY HOUSE SEÇİMİ.....	43
4.1. Problemin Tanımlanması, Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi	43
4.1.1.Tiny House Tanımı ve Tarihçesi.....	44
4.1.2.Tiny House Türleri.....	46
4.1.3.Tiny House Seçim problemi kriterleri	50
4.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi İle Alternatiflerin Sıralanması	57
4.3. Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemi ile alternatiflerin sıralanması.....	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKÇA	79

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Semboller Açıklamalar

\tilde{S}_i : i . alternatifin en iyi sezgisel bulanık değere olan toplam uzaklığı

\tilde{X}' : Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

\tilde{x}_j^- : j . kritere göre en kötü sezgisel bulanık değer

\tilde{x}_j^* : j . kritere göre en iyi sezgisel bulanık değer

A^- : Negatif sezgisel bulanık ideal çözüm

A^* : Pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm

\tilde{D} : Karar matrisi

\tilde{X} : Birleştirilmiş karar matrisi

$d_{IFS}(A, B)$: Hamming mesafesi

$v_{\tilde{E}}(x)$: Üye olmama fonksiyonu

$\mu_{\tilde{E}}(x)$: Üyelik fonksiyonu

$\pi_{\tilde{E}}(x)$: Tereddüt derecesi

$\chi_E(x)$: Klasik kümelerde karakteristik fonksiyon

Kısaltmalar Açıklamalar

VIKOR	: Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşmacı Çözüm
TOPSIS	: İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Sıralama Ve Seçim Tekniği
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
SBAO	: Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama Operatörü
SBAG	: Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Geometrik Ortalama Operatörü
IFS	: Sezgisel Bulanık Kümeler
IFN	: Sezgisel Bulanık Sayı
KV	: Karar Verici
A	: Alternatif Kümesi
C	: Kriter Kümesi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1. Tiny house seçiminde kullanılacak olan alternatifler	55
Tablo 4.2. Alternatif değerlendirmelerinde kullanılacak kriterler ve türleri.....	56
Tablo 4.3. Karar verici ve kriter değerlendirmeleri için dilsel terimler ve sezgisel bulanık sayı değerleri	56
Tablo 4.4. Alternatif değerlendirmeleri için dilsel terimler ve sezgisel bulanık sayı değerleri.....	56
Tablo 4.5. Karar vericilerin önem dereceleri	57
Tablo 4.6. Karar vericilerin ağırlıkları	58
Tablo 4.7. Karar vericilerin kriter değerlendirmeleri.....	58
Tablo 4.8. Kriter ağırlıklarının sezgisel bulanık değerleri	59
Tablo 4.9. Karar verici 1'in kriterler altında alternatif değerlendirmeleri	60
Tablo 4.10. Karar verici 2'nin kriterler altında alternatif değerlendirmeleri	60
Tablo 4.11. Karar verici 3'ün kriterler altında alternatif değerlendirmeleri	60
Tablo 4.12. Birleştirilmiş karar matrisi	61
Tablo 4.13. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi.....	62
Tablo 4.14. Alternatiflerin ideal çözümlere uzaklıkları	64
Tablo 4.15. Alternatiflerin yakınlık katsayıları (C_i *)	64
Tablo 4.16. Alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre sırası	65
Tablo 4.17. Durulaştırılmış kriter ağırlıkları.....	66
Tablo 4.18. Normalleştirilmiş kriter ağırlıkları.....	67
Tablo 4.19. Kriterlerin en iyi ve en kötü sezgisel bulanık değerleri.....	68
Tablo 4.20. Alternatiflere ait grup faydası (S_i) ve bireysel pişmanlık (R_i) değerleri.....	70
Tablo 4.21. Alternatiflere ait skor (Q_i) değerleri.....	71
Tablo 4.22. Alternatiflerin S_i , R_i ve Q_i değerlerine göre sıralanışı.....	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınırları	9
Şekil 2.2. Konveks ve konvekslik özelliği taşımayan bulanık küme örnekleri	10
Şekil 2.3. Üçgen bulanık sayı örneği	11
Şekil 2.4. Yamuk bulanık sayı örneği	12
Şekil 2.5. Sezgisel bulanık kümelerde atama bölgesi	20
Şekil 3.1. İdeal ve uzlaşık çözüm	37



ÖZET

Sezgisel Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ve Uygulamaları

Bu çalışmada, bulanık mantık ve bulanık kümelerle ilişkin temel kavramsal bilgiler sunulmuş; belirsizlik ve kararsızlığın daha bütüncül biçimde modellenmesine imkân tanıyan sezgisel bulanık kümelerin yapısı ve özellikleri açıklanmıştır. Bu bağlamda, çok kriterli karar verme problemlerine yönelik olarak sezgisel bulanık TOPSIS ve sezgisel bulanık VIKOR yöntemlerine yer verilmiştir.

Tiny House tipi konutların seçimi, çok sayıda ölçütün değerlendirilmesini gerekli kılan çok ölçütlü bir karar verme problemi olarak ele alınmıştır. Literatürdeki yaklaşımlar ve uzman görüşleri doğrultusunda, teknik altyapı, malzeme ve konstrüksiyon, sürdürülebilirlik, işlevsellik, estetik, emniyet, mahremiyet ve etkileşim ile maliyet olmak üzere sekiz kriter belirlenmiştir. Bu kriterler temelinde, beş farklı Tiny House alternatifi sezgisel bulanık sayılarla değerlendirilmiştir.

İlk olarak sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi uygulanarak alternatiflerin performans sıralaması elde edilmiş ve Kulübe/Kabin/Bungalov tipi yapının en uygun seçenek olduğu belirlenmiştir. Aynı veri seti sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile tekrar analiz edilmiş ve bu yöntemde de en iyi alternatifin yine Kulübe/Kabin/Bungalov olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Her iki yöntemin benzer sıralama sonuçları üretmiş olması, elde edilen sonuçların tutarlılığını ve yönteme dayalı karar verme sürecinin güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: sezgisel bulanık kümeler, bulanık mantık, karar verme, bulanık küme, tiny house

ABSTRACT

Intuitive Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Techniques and Applications

This study provides fundamental conceptual insights into fuzzy logic and fuzzy sets, elaborating on the structure and properties of intuitionistic fuzzy sets, which enable a more comprehensive modeling of uncertainty and hesitation. Within this framework, intuitionistic fuzzy TOPSIS and intuitionistic fuzzy VIKOR methods, tailored for multi-criteria decision-making problems, are discussed.

The selection of Tiny House types is formulated as a multi-criteria decision-making problem requiring the evaluation of numerous criteria. Based on a review of the relevant literature and expert opinions, eight criteria were identified: technical infrastructure, material and construction quality, sustainability, functionality, aesthetics, safety, privacy and interaction, and cost.

Using these criteria, five different Tiny House alternatives were evaluated through intuitionistic fuzzy numbers.

Initially, the intuitionistic fuzzy TOPSIS method was applied to derive the performance ranking of the alternatives, revealing that the Cabin/Cottage/Bungalow type emerged as the most preferable option. Subsequently, the same dataset was analyzed using the intuitionistic fuzzy VIKOR method, which also identified the Cabin/Cottage/Bungalow type as the most favorable alternative.

The consistency of the results obtained from both methods underscores the reliability of the applied approaches and validates the robustness of the decision-making process based on intuitionistic fuzzy evaluations.

Keywords: intuitionistic fuzzy sets, fuzzy logic, decision-making, fuzzy set theory, tiny house

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze insanlar, karşılaştıkları durumlar karşısında farklı seçenekler arasından karar vermek durumunda kalmışlardır. Günlük yaşamda alınan giyim tercihlerinden, iş ya da konut seçimine kadar her karar, bireylerin çeşitli ölçütleri dikkate alarak en uygun alternatifini belirleme çabasının bir sonucudur. Bu kararların birçoğu, yalnızca tek bir kritere değil; maliyet, güvenlik, estetik, sürdürülebilirlik ve kişisel öncelikler gibi çok sayıda faktöre dayanmaktadır. Bu nedenle, karar verme süreçlerinin çok kriterli bir yapıya sahip olduğu ve özellikle modern dünyada bu sürecin giderek daha karmaşık hale geldiği ifade edilmektedir.

Satın alma temelli karar problemlerinde ise maliyet gibi temel bir kriterin yalnız başına değerlendirilmesi yeterli değildir; maliyetin, diğer kriterlerle olan etkileşimi de göz önünde bulundurulması gerekir. Çünkü karar verici sadece fiyatı değil, aynı zamanda maliyet, güvenlik, estetik, sürdürülebilirlik ve kişisel öncelikler gibi çok sayıda faktörü birlikte ele almak durumundadır. Bu nedenle, bir karar probleminin doğru şekilde modellenebilmesi için, kriterler arası ilişkilerin ve bu ilişkilerin etki düzeylerinin de dikkate alınması gerekir (Çelikkalek & Özdemir, 2020). Böylece karar süreci, yalnızca yüzeysel tercihlere değil, kriterler arası bütünsel etkileşime dayalı daha sağlam temellere oturtulabilir.

Geleneksel konutlardan farklı olarak ortaya çıkan Tiny House yaşam biçimi, günümüzde hem ekonomik hem de sürdürülebilirlik açısından birçok kişi tarafından tercih edilmektedir. Ancak bu tercih, yalnızca fiziksel yapıların küçüklüğü ile ilgili değildir; aynı zamanda işlevsellik, maliyet, estetik tercihler, sürdürülebilirlik gibi birçok farklı kriteri içinde barındırmaktadır. Dolayısıyla, bu tür yaşam alanlarının seçimi de basit bir tercih olmaktan uzak olup, çok kriterli karar verme yaklaşımlarına ihtiyaç duymaktadır. Literatürde konut seçimi problemlerinde uygulanan çok kriterli karar verme yöntemleri, benzer şekilde Tiny House alternatiflerinin de çok kriterli karar problemi olarak ele alınabileceği düşünülmektedir. Nitekim farklı konut özelliklerinin birlikte ele alındığı çalışmalarda da görüldüğü üzere, bu tür kararlar çoğunlukla yalnızca sayısal verilere değil, bireylerin öznel değerlendirmelerine de

dayanmaktadır (Alkan & Durduran, 2020). Bu da karar süreçlerinde belirsizlik içeren ve kişisel yorumlara açık kriterlerin, geleneksel sayısal yöntemlerle eksiksiz temsil edilemediği durumları beraberinde getirmektedir. Özellikle öznel değerlendirmelerin sayısal olarak ifade edilmesinde güçlüklerle karşılaşıldığında, belirsizliği daha doğru şekilde modelleyebilmek amacıyla bulanık mantık yöntemleri tercih edilmektedir.

Belirsizliğin matematiksel olarak modellenmesine yönelik önemli gelişmelerden biri, 1986 yılında Atanassov tarafından sezgisel bulanık küme teorisinin (intuitionistic fuzzy sets) tanıtılmasıyla gerçekleşmiştir. Atanassov'un geliştirdiği sezgisel bulanık kümeler yaklaşımı, üyelik derecelerinin yanı sıra üye olmama ve kararsızlık derecelerini de dikkate alarak, karar vericilerin yaşadığı belirsizlikleri daha esnek biçimde modele yansıtmaktadır.

Tiny House seçimi, hem alternatiflerin belirsiz değerlendirmelere açık olması hem de kriterlerin birbiriyle etkileşimli olması sebebiyle sezgisel bulanık karar verme yöntemleriyle analiz edilmeye uygundur. Özellikle bu çalışmada karşılaştırmalı olarak ele alınan sezgisel bulanık TOPSIS ve sezgisel bulanık VIKOR yöntemleri, alternatiflerin ideal çözüme olan yakınlıkları üzerinden sıralanmasını sağlamakta, ancak yöntemlerin karar mantıkları farklılık göstermektedir. Dolayısıyla her iki yöntemin Tiny House seçimi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması, yöntemlerin karar yapılarıyla ilişkisini ortaya koymak açısından önem arz etmektedir.

Bu çalışmanın ilk bölümünde bulanık mantık, bulanık kümeler ve bunların bir uzantısı sayılan sezgisel bulanık kümelere ilişkin temel kavramlar ele alınmıştır. Sonraki bölümde ise karar verme ve çok ölçütlü karar verme süreçleri incelenmiştir. Süreçlerde kullanılan sezgisel bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin adımları ise detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Uygulama bölümünde ise bu iki yöntem, 3 karar vericinin değerlendirmelerine dayanarak 8 kriter çerçevesinde 5 Tiny House alternatifi üzerinde uygulanmış ve her bir alternatif için sıralama sonuçları elde edilmiştir. Son bölümde, sezgisel bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin çıktıları karşılaştırılarak sıralama benzerlikleri analiz edilmiştir. Böylece belirsizlik içeren karar ortamlarında sezgisel bulanık yöntemlerin katkısı ortaya konmuş; özellikle öznel yargılara dayalı seçimlerde bu yöntemlerin güvenilirliği ve tutarlılığı değerlendirilmiştir.

2. BULANIK MANTIK VE BULANIK KÜMELER

2.1. Bulanık Mantık

Modern bilim, yüzyıllar boyunca mutlak doğrular ve kesinlik üzerine inşa edilmiştir. Ancak kainattaki pek çok olgu, siyah veya beyaz gibi net sınıflamalarla açıklanmayacak şekilde gri alanlar içermektedir. Gerçekte birçok kavram, uç değerler arasında farklı derecelerde yer almakta ve bu nedenle mutlak tanımlarla ifade edilmesi çoğu zaman yetersiz kalmaktadır (İşbilen Yücel, 2018).

Aristo'nun öncülüğünü yaptığı iki değerli klasik mantık, bir önermenin yalnızca doğru ya da yanlış olabileceğini kabul eder. Örneğin çim ya yeşildir ya da yeşil değildir, hem yeşil olup hem de olmaması aynı anda mümkün değildir. 19. Yüzyılda George Boole ise doğruyu 1, yanlış ise 0 ile eşleştirerek iki değerli mantığı matematiksel açıdan ele alacak şekilde bir cebir ve küme teorisi sistemi oluşturmuştur.

Klasik mantık, içinde bulunduğumuz dünyadaki olgular hakkında kesin ve net değerlendirmeler yapmayı amaçlar. Halbuki evren bu kadar kesin ve net açıklanmayacak pek çok belirsiz durumu içermektedir. Örneğin, domates kırmızıdır önermesine ne doğru ne yanlış denilebilir. Çünkü domates başlangıçta yeşilken, zamanla renk değiştirir ve olgunlaştığında kırmızı rengini alır. Bu tür geçişken durumlar klasik mantığın sınırlarını zorlamaktadır.

Platon ise doğru ve yanlış gibi iki karşıt değerın karşılaştığı üçüncü bir bölge olduğunu öne sürmüştür. Bu bağlamda klasik mantık bilim insanlarının ürettikleri paradoksları açıklama konusunda yetersiz kalmıştır. Böylece ikili mantık sistemi yerine çok değerli mantık önerilmiştir.

Üç değerli mantık, çok değerli mantığın öncül yaklaşımlarından biri olarak, önermelerin sadece "doğru" (1) ve "yanlış" (0) değil, aynı zamanda "olası" (0.5) gibi üçüncü bir değeri de alabileceğini ortaya koymaktadır. Bu anlayışla değer kümesi $\{0, 0.5, 1\}$ şeklinde belirlenmiştir. 1930'ların başında, mantık bilimci Jan Lukasiewicz, üç değerli mantık yaklaşımını temel alarak çok değerli mantık sistemlerini geliştirmiş ve

bu doğrultuda sonsuz değerli mantık kavramını ortaya koymuştur. Lukasiewicz, bir önermenin değer kümesini klasik mantıktaki gibi $\{0,1\}$ ikili sistem ile göstermek yerine, $\{0,u,1\}$ ile göstermiştir. Burada “u” önermenin belirsizliğini ifade eder ve sonsuz sayıda değer alabilmektedir (İşbilen Yücel, 2018; Kahraman vd., 2024; Yalçın, 2020).

1965 yılında Zadeh, o döneme kadar geliştirilen tüm mantık kuramlarını sistematik bir biçimde değerlendirerek bunları yeniden yorumlamış ve bu süreç sonunda “Bulanık Mantık” kavramını ortaya koymuştur. Günümüzde bulanık mantık denildiğinde Zadeh'in adıyla özdeşleşmiş bir teori söz konusudur.

Zadeh, “Bulanık Kümeler” başlıklı çalışmasında, klasik küme teorisinin sınırlarını sorgulamış ve bir ögenin bir kümeye ya tamamen ait ya da tamamen ait olmaması fikrini yetersiz bulmuştur. Bir ögenin bir kümeye belirli derecelerle ait olabileceği yeni bir küme anlayışı geliştirmiştir. Bu anlayışa göre, bir öge, bir kümeye %100 değil, örneğin %40 oranında ait olabilir. Böylece üyelik kavramı, sadece siyah-beyaz değil, gri tonlar üzerinden tanımlanır hale gelmiştir.

Tarihsel süreçte ortaya çıkan farklı mantık sistemleri arasında, insan zekâsının işleyişini en kapsamlı şekilde modelleyebilen yaklaşım bulanık mantıktır. Bu sistem, tıpkı insan beyni gibi kesin olmayan durumları değerlendirebilme ve yaklaşık çıkarımlarda bulunabilme yeteneğine sahiptir. Özellikle sonsuz sayıda değer alabilme özelliği sayesinde, insan yargılarına benzer biçimde değerlendirme yaparak daha esnek ve gerçekçi analizler yapılmasına olanak tanır.

Bulanık mantığın en önemli avantajlarından biri, belirsizlikleri ve sözel ifadeleri klasik mantığa göre daha esnek biçimde değerlendirebilmesidir. Bu yönüyle, doğal dilin yapısına daha yakın bir düşünme biçimi sunar. “Az”, “çok”, “yaklaşık”, “nispeten” gibi net sınırlarla tanımlanamayan kavramlar, bulanık mantık çerçevesinde etkin biçimde işlenebilir.

Gerçek dünyada nesnelere veya olayların sınıflandırılması çoğu zaman keskin ve kesin üyelik kriterlerine dayanmaz. Bir sınıfın üyeleri açıkça tanımlanabilirken, bazı nesnelere bu sınıfa dahil edilip edilmemesi konusunda belirsizliğe neden olur. Örneğin,

hayvanlar sınıfı köpek, kuş ve at gibi açıkça belirlenen üyeleri içerirken, bakteriler ve virüsler gibi nesnelere bu sınıfa dahil olup olmadığı muğlak kalabilir. Benzer şekilde, matematikte sayılar üzerinde de bu belirsizlik gözlemlenebilir; 10 sayısının 1'den çok daha büyük sayılar sınıfına ait olup olmadığı tartışma yaratabilir.

Böyle durumlarda, geleneksel mantık sisteminin kesin sınırları, gerçek dünyanın karmaşıklığını açıklamakta yetersiz kalır. Bulanık küme kavramı, bu sınıfları süreklilik arz eden üyelik dereceleri ile ele alarak daha esnek bir model sunar. Örneğin, "güzel insanlar" ya da "uzun erkekler" gibi kavramlar kesin sınırlara sahip olmamasına rağmen insan düşüncesinde önemli bir yere sahiptir. Bulanık küme, bu belirsiz ve sınırsız tanımların matematiksel olarak ifade edilmesine olanak tanır.

Bu yüzden bulanık mantık, karmaşık nesnelere veya olayların dereceli üyelik anlayışıyla tanımlanmasını sağlar. Keskin sınırlar yerine esnek ve kademeli bir yapı sunarak geleneksel mantığın yetersiz kaldığı durumlara etkin çözümler getirir. (Zadeh,1965)

Bulanık mantığın en önemli avantajlarından biri, dilsel ifadelerdeki belirsizlikleri daha etkili bir şekilde temsil edebilmesi ve insan zihninin düşünme biçimini daha gerçekçi şekilde modelleyebilmesidir. Örneğin, insanlar çoğu zaman "az", "çok", "yaklaşık", "neredeyse", "uzun", "kısa" gibi net olmayan ifadelerle düşünür ve karar verir. bir kişinin boyunun 180 cm'den uzun olup olmadığını düşünelim. Klasik mantık bu soruya yalnızca "evet" ya da "hayır" şeklinde net bir yanıt verir. Ancak "neredeyse 180 cm boyunda mı?" şeklindeki bir soruya kesin bir cevap vermek daha zordur.

Bir kişi 179 cm boyundayken, "neredeyse uzun" olarak tanımlanabilir. Bu noktada "neredeyse" gibi ifadeler, muğlaklığa yol açar ve belirsizliği dereceli biçimde ifade etmeyi gerektirir. Ayrıca, boy gibi fiziksel özellikler toplumdaki farklı algılanabilir. Örneğin, bazı ülkelerde 180 cm ortalamasının üzerinde kabul edilirken, Türkiye'de de bu boy genellikle "uzun" olarak tanımlanır. Ancak aynı boy, başka bir toplumda daha farklı bir anlam taşıyabilir.

Bulanık mantık, bu tür göreceli durumları üyelik dereceleri aracılığıyla ele alarak üçüncü bir yaklaşım sunar. Bu sistemde bir nesne, belirli bir sınıfa tamamen ait olmak

yerine, o sınıfa belirli bir oranda ait olabilir. Böylece doğruluk ve yanlışlık arasındaki gri alanlar da modellenilebilir; bu da belirsizliklerin daha gerçekçi biçimde açıklanmasına olanak tanır (Ross, 2004).

Bulanık mantığın temel özellikleri şu şekilde özetlenebilir:

- Doğruluk dereceleri, “doğru”, “çok doğru” veya “az çok doğru” gibi sözel ve dilsel ifadelerle yani dilsel değişkenlerle temsil edilebilir.
- Kullandığı çıkarım kuralları kesinlikten ziyade yaklaşık doğruluğa dayalıdır.
- Kavramlar ikili yapı yerine dereceli bir yapıda olup her kavram belirli bir doğruluk derecesi ile ifade edilir.
- Herhangi bir mantık sistemi, bulanıklaştırma yoluyla yeniden yapılandırılabilir.
- Bulanık mantıkta bilgiler, kısıtlı değişkenlerin esnekliği ya da eşdeğerliği temel alınarak değerlendirilir (Karaşan, 2016).

2.2. Bulanık Kümeler

Bir elemanın klasik kümelerde herhangi bir kümeye ait olup olmadığı durumu, kesinlik arz eder. Bu durum, karakteristik fonksiyon adını taşıyan bir fonksiyon kullanılarak matematiksel biçimde ifade edilebilir. Evrensel küme X ve onun bir alt kümesi E ($E \subseteq X$) olmak üzere, E kümesinin karakteristik fonksiyonu χ_E şu şekilde tanımlanır:

$$\chi_E(x) = \begin{cases} 1, & x \in E \\ 0, & x \notin E \end{cases} \quad (2.1)$$

Her $x \in X$ için, $\chi_E(x) = 1$ ise x , E kümesinin elemanıdır; $\chi_E(x) = 0$ ise x , E 'nin elemanı değildir (Klir & Yuan, 1995).

Kümeler arasındaki işlemleri karakteristik fonksiyonlarla ifade etmek mümkündür. E ve F , X evrensel kümesinin alt kümeleri olmak üzere ($E, F \subseteq X$), birleşim işlemi karakteristik fonksiyonla aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

$$E \cup F \rightarrow \chi_{E \cup F}(x) = \chi_E(x) \vee \chi_F(x) = \max\{\chi_E(x), \chi_F(x)\} \quad (2.2)$$

Benzer biçimde kesişim işlemi;

$$E \cap F \rightarrow \chi_{E \cap F}(x) = \chi_E(x) \wedge \chi_F(x) = \min\{\chi_E(x), \chi_F(x)\} \quad (2.3)$$

Evrensel küme X , ona ait bir alt küme \bar{E} ($E \subset X$) için , E nin tümleyeni olmak üzere tümleme işleminin karakteristik fonksiyonu gösterimi :

$$\bar{E} \rightarrow \chi_{\bar{E}}(x) = 1 - \chi_E(x) \quad (2.4)$$

biçimindedir. Yani klasik kümelerde bir eleman bir kümenin ya üyesidir ya da değildir. Bulanık kümelerde ise bir elemanın kümeye üye olma ve olmama durumu arasında yumuşak bir geçiş vardır. Bu geçiş üyelik dereceleriyle sağlanır. $E(x)$, x in üyelik derecesi olmak üzere E bulanık kümesi aşağıdaki biçimde tanımlanabilir:

$$E: X \rightarrow [0,1] \quad (2.5)$$

Aslında bulanık kümeler, karakteristik fonksiyonu ($\chi_E(x): X \rightarrow \{0,1\}$) biçiminde gösterilen klasik kümelerin genelleştirilmiş versiyonudur. $E(x) = 1$, E kümesine tam üyelik halini, $E(x) = 0$ üye olmama durumunu gösterir. Bulanık kümelerde ise x , bu iki değer arasında başka değerler de alabilir. $E(x)$ değeri 1 e yaklaştıkça x in üyelik derecesi artmaktadır.

Klasik kümelerin gösteriminde karakteristik fonksiyonlardan yararlanıldığı gibi, bulanık kümelerin gösteriminde de üyelik fonksiyonundan yararlanır. bir bulanık küme üyelik fonksiyonu yardımıyla aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\mu_E: X \rightarrow [0,1] \quad (2.6)$$

$$x \rightarrow \mu_E(x) = E(x) \quad (2.7)$$

Genel anlamda, üyelik değerlerinin değişimini gösteren eğriye üyelik fonksiyonu (önem eğrisi) adı verilir. Bu fonksiyonun grafiğinde, x ekseni kümeye ait elemanları, y ekseni ise onların üyelik derecelerini temsil eder.

E bulanık kümesi, küme elemanı ve üyelik derecesi çifti ile beraber aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E = \{(\mu_E(x), x)\} \quad (2.8)$$

X sonlu evrensel kümesindeki E bulanık kümesi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$E = \left\{ \frac{\mu_E(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_E(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_E(x_i)}{x_i} \right\} \quad (2.9)$$

X in sonsuz olması durumunda E bulanık kümesi:

$$E = \left\{ \int \frac{\mu_E(x)}{x} \right\} \quad (2.10)$$

biçiminde ifade edilir.

Buradaki çizgi, bölme işlemi değil; üstteki üyelik derecesinin, alttaki küme elemanına karşılık geldiğini belirtir. Toplam ve integral sembolleri de, cebirsel bir işlemden ziyade elemanların bir araya getirilmesini ifade eder (Ross, 2004).

2.2.1. Bulanık Küme Özellikleri

Aşağıda bulanık küme özelliklerinden bazı tanımlar verilmiştir.

Yükseklik: Bir bulanık kümenin yüksekliği, üyelik fonksiyonunun maksimum değerine denir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$hgt(E) = \max_{x \in X} \{\mu_E(x)\} \quad (2.11)$$

Normallik: Bir bulanık kümede en az bir x elemanı için üyelik fonksiyonu $\mu_E(x) = 1$ olacak şekilde bir değer bulunuyorsa, bu kümeye normal bulanık küme denir.

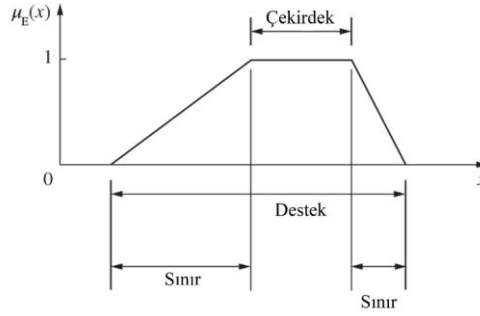
$hgt(E) = 1$ ise E bulanık kümesi normal, $hgt(E) < 1$ ise normal olmayan kümedir.

Çekirdek, Destek, Sınır: Bir bulanık kümenin üyelik derecesi 1'e eşit elemanlarının oluşturduğu kümeye E bulanık kümesinin çekirdeği denir. Yani, çekirdek, evrenin $\mu_E(x) = 1$ koşulunu sağlayan elemanlarından oluşur.

Bir bulanık kümenin üyelik derecesi pozitif olan elemanlarının oluşturduğu kümeye E kümesinin desteği denir ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\text{supp}E = \{x \in X | \mu_E(x) > 0\} \quad (2.12)$$

E bulanık kümesinin sınırları ise, üyelik derecesi 0 ile 1 arasında kalan elemanlardan oluşan kümedir. Yani sınır, evrenin $0 < \mu_E(x) < 1$ koşulunu sağlayan elemanlarından oluşur.



Şekil 2.1. Bir bulanık kümenin çekirdek, destek ve sınırları

α -kesim: Bir bulanık kümenin E_α ile gösterilen α -kesimi, evrenin, üyelik derecesi α ($\alpha \in [0,1]$) seviyesine eşit veya daha büyük elemanlarından oluşan bir kümedir:

$$E_\alpha = \{x \in X | \mu_E(x) \geq \alpha\} \quad (2.13)$$

Üyelik derecesi α değerinden büyük olduğu elemanlardan oluşan kümeye güçlü α -kesim denir. Buna karşılık, üyelik derecesi α 'ya eşit veya daha büyük olduğu elemanlardan meydana gelen küme ise zayıf α -kesim olarak ifade edilir.

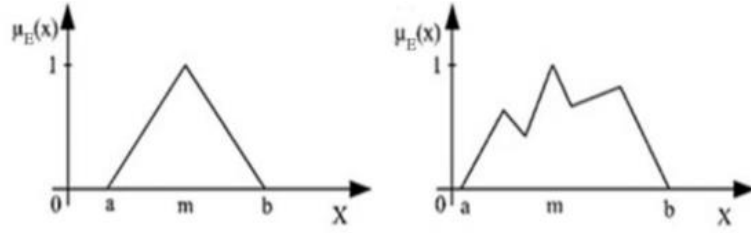
$\alpha = 1$ olduğunda α -kesim, bulanık kümenin çekirdeğini; $\alpha = 0$ olduğunda ise α -kesim bulanık kümenin desteğini oluşturur.

Konvekslik: Bir bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun aşağıdaki koşulu sağlaması durumunda, bu bulanık kümenin konveks olduğu söylenir:

$x_1, x_2 \in X$ ve $\lambda \in [0,1]$ için,

$$\mu_E(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min[\mu_E(x_1), \mu_E(x_2)] \quad (2.14)$$

Bu ilişki, E bulanık kümesinden rastgele alınan x_1 ve x_2 noktaları arasındaki tüm noktaların üyelik derecelerinin, $\mu_E(x_1)$ ve $\mu_E(x_2)$ değerlerinin en küçüğüne eşit veya ondan büyük olması durumunu gösterir. Şekil 2.2’de konveks ve konveks olmayan bulanık küme örnekleri verilmiştir (Canpolat, 2019; Ross, 2004).



Şekil 2.2. Konveks ve konvekslik özelliği taşımayan bulanık küme örnekleri

2.2.2. Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme teorisinde, üyelik fonksiyonlarının aldığı değerler $[0,1]$ aralığındadır. Bu aralıktaki her bir değeri bir küme elemanına bağlayan fonksiyon, “üyelik fonksiyonu” olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle, 0 ile 1 arasında yer alan değerler, elemanların üyelik derecelerini ifade ederken, bu derecelerin bir alt kümede gösterdiği değişim üyelik fonksiyonu olarak tanımlanır.

Üyelik fonksiyonları farklı şekillerde tanımlanabilmektedir. Ancak uygulamalarda en sık tercih edilenler; üçgen, yamuk, çan eğrisi, Gaussian, sigmoidal, S ve II şeklindeki üyelik fonksiyonlarıdır (Yılmaz & Yakut, 2021, s. 30; Pedrycz vd., 2011, s. 26).

Bu bölümde üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarından bahsedilecektir.

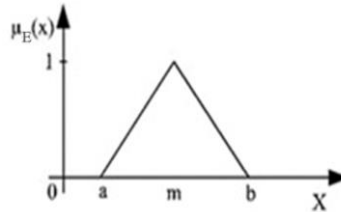
Üçgen üyelik fonksiyonu:

Bir üçgen üyelik fonksiyonu a , m ve b gibi parametreleri yardımıyla aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$E(x; a, m, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x - a}{m - a}, & x \in [a, m] \\ \frac{b - x}{b - m}, & x \in [m, b] \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (2.14)$$

Üçgen üyelik fonksiyonları, üç değişkenle tanımlanır. m parametresi, $E(x)$ 'in en yüksek üyelik derecesini verir, yani $E(x) = 1$ dir ve bu, değerlendirilen verilerin en olası değeridir. a ve b , değerlendirilen verilerin desteğin alt ve üst sınırlarıdır. Bunlar, değerlendirme verilerinin bulanıklığını yansıtmak için kullanılır. $[a, b]$ aralığı ne kadar dar olursa, değerlendirilen verilerin bulanıklığı o kadar düşük olur (Chou vd., 2008, s. 296).

Aşağıda Şekil 2.3'te gösterilen üçgen üyelik fonksiyonu, (2.15)'teki lineer denklemle tanımlanan bir bulanık küme örneğidir:



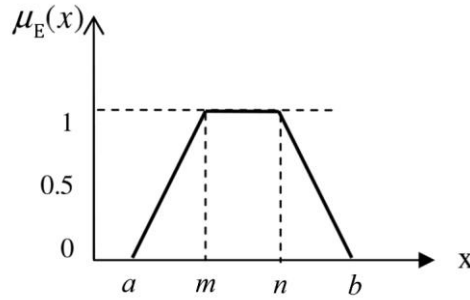
Şekil 2.3. Üçgen bulanık sayı örneği

Yamuk üyelik fonksiyonu:

Yamuk üyelik fonksiyonu, " a ", " m ", " n " ve " b " gibi dört parametre ile aşağıdaki gibi tanımlanır (Pedrycz vd., 2011):

$$E(x; a, m, n, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & x \in [a, m] \\ 1, & x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & x \in [n, b] \\ 0, & x > b \end{cases} \quad (2.16)$$

Aşağıdaki şekil yamuk üyelik fonksiyonunun parametrelerini göstermektedir (Karakaşoğlu, 2008).



Şekil 2.4. Yamuk bulanık sayı örneği

2.2.3. Bulanık Küme işlemleri

E , F bulanık kümeleri X evreninin alt kümeleri olsun. Bu durumda $\forall x \in X$ için aşağıda gösterilen birleşim, kesişim, tümleyen, cebirsel çarpım, cebirsel toplam, sınırlı-toplam, sınırlı-fark ve sınırlı-çarpım gibi temel işlemler geçerlidir. Denklemlerde \wedge sembolü minimumu, \vee maksimum işlemi temsil etmektedir (Mizumoto & Tanaka, 1981).

Birleşim: İki üyelik fonksiyonunun maksimumu biçiminde tanımlanır:

$$E \cup F \Leftrightarrow \mu_{E \cup F} = \mu_E \vee \mu_F \quad (2.17)$$

Kesişim: İki üyelik fonksiyonunun minimumu biçiminde tanımlanır:

$$E \cap F \Leftrightarrow \mu_{E \cap F} = \mu_E \wedge \mu_F \quad (2.18)$$

Tümleyen işlemi: Bir kümenin üyelik fonksiyonunun tersini ifade eder:

$$\bar{E} \Leftrightarrow \mu_{\bar{E}}(x) = 1 - \mu_E(x) \quad (2.19)$$

Cebirsel çarpım: Bulanık üyelik fonksiyonlarının çarpılmasıyla elde edilir:

$$E \cdot F \Leftrightarrow \mu_{E \cdot F}(x) = \mu_E(x) \cdot \mu_F(x) \quad (2.20)$$

Cebirsel Toplam: Bulanık üyelik fonksiyonlarıyla aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$E + F \Leftrightarrow \mu_{E+F}(x) = \mu_E(x) + \mu_F(x) - \mu_E(x)\mu_F(x) \quad (2.21)$$

Sınırlı toplam: İki bulanık üyelik fonksiyonunun toplamı ile 1 arasındaki minimum değeri verir, yani,

$$E \oplus F \Leftrightarrow \mu_{E \oplus F}(x) = 1 \wedge (\mu_E(x) + \mu_F(x)) \quad (2.22)$$

Sınırlı fark: İki bulanık üyelik fonksiyonunun farkı ile 0 değeri arasındaki maksimum değeri verir.

$$E \ominus F \Leftrightarrow \mu_{E \ominus F}(x) = 0 \vee (\mu_E(x) - \mu_F(x)) \quad (2.23)$$

Sınırlı çarpım: iki bulanık üyelik fonksiyonu ile aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$E \odot F \Leftrightarrow \mu_{E \odot F}(x) = 0 \vee (\mu_E(x) + \mu_F(x) - 1) \quad (2.24)$$

2.3. Dilsel Değişkenler

Aşırı karmaşıklık karşısında kesinlikten uzaklaşmak gerektiğinde, "dilsel değişkenler" olarak adlandırılabilir bir kavramın kullanımı doğal bir seçenek haline gelir. Bu değişkenlerin değerleri, sayılar yerine doğal veya yapay bir dilde ifade edilen kelimeler ya da cümlelerdir. Bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni, dilsel tanımlamaların genelde sayısal ifadelere göre daha az belirgin olmasıdır, ancak bu belirsizlik, karmaşık sistemlerin daha etkili bir şekilde tanımlanmasını sağlayabilir (Zadeh, 1973, s. 3).

Bir dilsel değişken $\langle x, T(x), X, G, M \rangle$ beşlisiyle aşağıdaki biçimde karakterize edilir (Pedrycz, 2011) :

- x : Değişkenin adı
- $T(x)$: Değişkenlerin kümesi
- X : Evrensel küme
- G : $T(x)$ terimlerinin sözdizimsel kuralları
- M : Her x değişkenini, X üzerinde bir bulanık alt küme olarak ifade eden ve bu anlamı $M(x)$ şeklinde tanımlayan semantik kuraldır.

Örneğin, “Yaş” dilsel değişkenini ele alalım (Zadeh,1973, s.77). Burada, x değişkeni yaşı ve $[0,100]$ aralığı ise X evrenini temsil etmek üzere,

$T(x)$: Yaş değişkeninin dilsel değerlerinden oluşan küme aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Burada “+” sembolü toplama işlemini değil, birleşim işlemini ifade eder.

$$T(\text{Yaş}) = \text{yaşlı} + \text{çok yaşlı} + \text{yaşlı değil} + \text{ne yaşlı ne genç} + \dots \\ + \text{çok genç değil} + \text{genç değil} + \text{kısmen genç} + \text{genç} \quad (2.25) \\ + \text{oldukça genç} + \dots$$

- G : $T(x)$ değerlerini niteleyen; “çok”, “az”, “kısmen” gibi sözdizimsel kurallardır.
- $M(x)$: $T(x)$ dilsel değişkenlerini bir üyelik fonksiyonuna atayarak bulanık küme temsilini yapan semantik kuraldır.

$$M(\text{yaşlı}) = \left\{ (x, \mu_{\text{yaşlı}}(x)) \mid x \in [0,100] \right\} \quad (2.26)$$

- $\mu_{\text{yaşlı}}(x)$ burada belirli bir x yaş değerinin “yaşlı” terimine olan uyumluluğunu $[0,1]$ aralığında gösteren üyelik fonksiyonudur.

2.4. Bulanık Sayılar

R üzerinde tanımlı gerçek sayıların bir alt kümesi olan \tilde{E} bulanık kümesi, aşağıdaki özellikleri sağlıyorsa, bulanık sayı olarak nitelendirilir (Mondal & Mandal, 2017):

- \tilde{E} dışbükeydir,
- \tilde{E} normaldir ($\exists x \in R$ için $\mu_{\tilde{E}}(x) = 1$),

- $\mu_{\tilde{E}}$ parçalı sürekli bir fonksiyondur,
- E_{α} , her $\alpha \in [0,1]$ aralığı için kapalı aralıktır,
- Destek ($suppE$) sınırlıdır.

Bulanık sayıların birçok çeşidi vardır. Uygulamada en fazla kullanılanlar; üçgen, yamuk ve Gaussian' dır. Bunlar arasında en sık kullanılan ise üçgen bulanık sayılar olup, bu bölümde üçgen bulanık sayılardan bahsedilecektir.

2.4.1. Üçgensel bulanık sayı ve cebirsel işlemler

Zadeh'in (1965) genişletme ilkesi, iki üçgen bulanık sayının toplamının yine bir üçgen bulanık sayı olacağını ifade eder. Ancak, iki üçgen bulanık sayının çarpımı ancak yaklaşık bir üçgen bulanık sayı olarak tanımlanabilir. Buna göre $E = (e_1, e_2, e_3)$, $F = (f_1, f_2, f_3)$ pozitif üçgensel bulanık sayılar olmak üzere, aşağıdaki cebirsel işlemler geçerlidir (Chou vd., 2008, s. 296; Yılmaz & Yakut, 2021, s.41) :

- Toplama işlemi:

$$E \oplus F = (e_1, e_2, e_3) \oplus (f_1, f_2, f_3) = (e_1 + f_1, e_2 + f_2, e_3 + f_3) \quad (2.27)$$

- Çıkarma işlemi:

$$E \ominus F = (e_1, e_2, e_3) \ominus (f_1, f_2, f_3) = (e_1 - f_3, e_2 - f_2, e_3 - f_1) \quad (2.28)$$

- Çarpma işlemi:

$$E \otimes F \cong (e_1 f_1, e_2 f_2, e_3 f_3) \quad (2.29)$$

- Sabit sayıyla çarpma işlemi:

$$E \otimes k = (e_1, e_2, e_3) \otimes k = (e_1 \cdot k, e_2 \cdot k, e_3 \cdot k), k \in \mathbb{R} \quad (2.30)$$

- Bölme işlemi:

$$\frac{E}{F} \cong (e_1/f_3, e_2/f_2, e_3/f_1) \quad (2.31)$$

- Ters işlem:

$$E^{-1} = (e_1, e_2, e_3)^{-1} = (1/e_3, 1/e_2, 1/e_1) \quad (2.32)$$

Üçgensel bulanık sayılarda aritmetik işlemlerin özellikleri aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir (Yılmaz & Yakut, 2021):

- İki üçgensel bulanık sayının toplamı veya farkı yine bir üçgensel bulanık sayı verir.
- Üçgensel bulanık sayılarda çarpma, bölme ve ters alma işlemleri her zaman bir üçgensel bulanık sayı olmayabilir.
- Üçgensel bulanık sayılarda maksimum ve minimum alma işlemleri sonucu da her zaman bir üçgensel bulanık sayı vermeyebilir.

Ancak bu işlemlerin sonucu yaklaşık olarak bir üçgensel bulanık sayı kabul edilir.

Örnek 2.1 $E = (3, 6, 9)$ ve $F = (1, 2, 3)$ iki üçgensel bulanık sayı olsun. Buna göre toplama, çıkarma, çarpma ve bölme işlemleri aşağıdaki gibi yapılır:

$$E \oplus F = (3 + 1, 6 + 2, 9 + 3) = (4, 8, 12)$$

$$E \ominus F = (3 - 1, 6 - 2, 9 - 3) = (2, 4, 6)$$

$$E \otimes F \cong (3 * 1, 6 * 2, 9 * 3) = (3, 12, 27)$$

$$\frac{E}{F} \cong (3/3, 6/2, 9/1) = (1, 3, 9)$$

2.5. Durulaştırma

Bulanık yöntemlerin uygulamalarında bir bulanık sürecin çıktısının bir bulanık küme yerine tek bir skaler nicelik olması gerekebilir. Durulaştırma, bir bulanık niceliğin kesin bir niceliğe dönüştürülmesi işlemidir. Bu, kesin bir niceliğin bulanık bir niceliğe dönüştürülmesi işlemi olan bulanıklaştırmanın tersidir (Ross, 2004, s. 99).

Durulaştırma için önerilen yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

Maksimum Üyelik Prensi: Literatürde yükseklik metodu olarak da geçen bu yaklaşım, maksimum değer içeren fonksiyonların değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mu_c(z^*) \geq \mu_c(z) \quad (2.33)$$

Ağırlık Merkezi Yöntemi: Bu yöntem tüm durulaştırma yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olup aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_c(z) \, dz} \quad (2.34)$$

Ağırlıklı Ortalama Yöntemi: Bulanık uygulamalarda en sık kullanılan yöntemlerdendir, çünkü hesaplama açısından zahmetsizdir. Ancak, genellikle simetrik çıktı üyelik fonksiyonlarıyla sınırlıdır. Her bir simetrik üyelik fonksiyonunun ağırlık merkezi değeri \bar{z} olmak üzere, aşağıdaki cebirsel ifade ile tanımlanır:

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_c(\bar{z})} \quad (2.35)$$

2.6. Bulanık Küme Uzantıları

Zadeh (1965) tarafından ilk kez tanımlandığından bu yana, bulanık küme belirsizlik ve bulanıklıkla başa çıkma yeteneği sağlayan en etkili karar destek tekniklerinden biri haline gelmiştir. Zadeh (1965), klasik küme teorisindeki kesinlik yaklaşımına alternatif olarak, elemanların kümeye aitlik durumlarını daha esnek bir şekilde ifade etmek üzere $[0,1]$ aralığındaki reel sayılarla temsil edilmesini önermiştir. Bu önerme, yalnızca karar destek sistemlerine değil, başta matematik olmak üzere tüm bir bilim metodolojisine katkı sağlamıştır. Bu yaklaşım, belirsizliğin modellenmesine olanak tanıyan ve klasik mantığın genişletilmiş bir versiyonu olarak görülebilecek olan bulanık mantık kavramının temelini oluşturmuştur (Bustince vd., 2015).

Zamanla, klasik bulanık küme yaklaşımının bazı belirsizlik durumlarını ifade etmede yetersiz kaldığı görülmüş ve bu durum yöntemin kapsamının genişletilmesini gerekli kılmıştır.

Liao ve Xu (2017) 'ya göre, bulanık kümelerde, üyelik dereceleri $[0,1]$ aralığından kesin değerler olarak ifade edilir. Ancak bu yaklaşım, insanların bir kümenin üyelik derecelerini belirsiz ve kesin olmayan bir şekilde ifade etme yeteneğini tam olarak yansıtamaz. Gerçek hayattaki karar verme süreçlerinde belirsizlik; ölçülemeyen, eksik, ulaşılamayan bilgiler ya da kısmi bilgi yetersizliği gibi durumlar nedeniyle ortaya çıkabilir. Birden fazla belirsizlik kaynağının aynı anda mevcut olduğu durumlarda ise geleneksel bulanık küme yöntemleri yetersiz kalabilir. Klasik bulanık küme yaklaşımında, bir elemanın bir kümeye olan üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında kesin bir sayı olarak ifade edilir; ancak çoğu zaman karar vericilerin (veya uzmanların) böyle bir kesin değer belirlemesi oldukça zordur.

Buna ek olarak, bir grup karar vericinin veya uzmanın, belirli alternatifleri değerlendirmesi istendiğinde genellikle aralarında görüş ayrılıkları ortaya çıkar. Karar vericiler veya uzmanlar, alternatifler hakkında farklı fikirlerde olabilir ve birbirlerini kolaylıkla ikna edemezler. Böyle bir durumda, bir uzlaşma sonucu elde etmek zorlaşır ve genellikle bir dizi olası değerlendirme ortaya çıkar. Ancak geleneksel bulanık küme yöntemleri, bu tür grup görüşlerini yeterince temsil etmede eksik kalmaktadır.

Bu sınırlamaları aşmak amacıyla, klasik bulanık küme yöntemleri zamanla genişletilmiş ve farklı biçimler geliştirilmiştir. Bu uzantılardan bazıları şunlardır:

- Sezgisel Bulanık Kümeler (IFS) (Atanassov, 1986),
- Aralık-Değerli Sezgisel Bulanık Kümeler (Atanassov ve Gargov, 1989),
- Tip- 2 Fuzzy Kümeler (Mizumoto ve Tanaka, 1976),
- Tip- n Fuzzy Kümeler (Dubois ve Prade, 1980),
- Fuzzy Çoklu Kümeler (Yager, 1986).

Bu uzantıların ortak amacı, bir elemanın bir kümeye olan üyelik derecesini belirli bir değere kesin bir şekilde atamanın mümkün olmadığı durumları ele alabilmektir(s.2-3). Bu bölümden sonra, bulanık küme uzantılarından biri olan Sezgisel Bulanık Kümeler ele alınacaktır.

2.6.1. Sezgisel Bulanık Kümeler

Zadeh (1965), verilerin belirsiz veya muğlak olduğu durumları tanımlamak için bulanık kümeleri önermiştir. Bulanık küme teorisi, bir nesnenin bir kümeye ait olma derecesini atayarak bu tür durumları ele almak için yararlı bir araç olarak gösterilmiştir. Gerçek hayatta, bir kişi bir nesnenin bir kümeye belirli bir dereceye kadar ait olduğunu varsayabilir, ancak bu konuda tamamen emin olmayabilir. Başka bir deyişle nesnenin kümeye aitlik derecesi hakkında tereddüt edebilir. Ancak bulanık küme teorisinde tereddütleri üyelik derecesine dahil etme yöntemi yoktur (Shu vd., 2006, s. 2140). Bu nedenle, bulanık kümelerin bir genellemesi olarak, Atanassov (1986) sezgisel bulanık kümeler kavramını tanıtmıştır. Sezgisel bulanık kümeler, üyelik derecesine dair belirsizliği üye olmama derecesiyle ifade etmektedir (Davarzani & Khorheh, 2013).

Bir bulanık kümede, elemanlarının üyelik derecesi, $[0, 1]$ aralığında bir gerçekte sayıdır. Her elemanın üyelik ve üye olmama dereceleri toplamı 1'e eşittir. Sezgisel bulanık kümelerde ise, üyelik derecesi ve üye olmama derecesi $[0, 1]$ aralığında gerçekte sayılar olup, bu değerlerin toplamı 1'den küçüktür. 1 ile bu toplam arasındaki fark, sezgisel bulanık kümenin başka bir parametresi olan tereddüt derecesi olarak tanımlanır (Ke vd., 2018).

X evrensel kümesinde, \tilde{E} bir sezgisel bulanık küme aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\tilde{E} = \{\langle x, \mu_{\tilde{E}}(x), \nu_{\tilde{E}}(x) \rangle | x \in X\} \quad (2.36)$$

$$\mu_{\tilde{E}}: X \rightarrow [0,1] \quad (2.37)$$

$$\nu_{\tilde{E}}: X \rightarrow [0,1] \quad (2.38)$$

Burada $\mu_{\tilde{E}}$, x elemanının üyelik fonksiyonu, $v_{\tilde{E}}$ ise üye olmama fonksiyonu olarak tanımlanır. $\forall x \in X$ için, aşağıdaki koşul sağlanır:

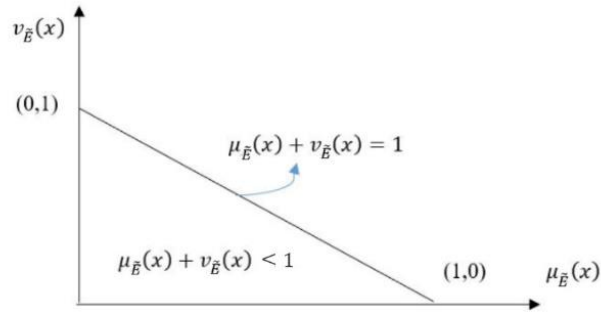
$$0 \leq \mu_{\tilde{E}}(x) + v_{\tilde{E}}(x) \leq 1 \quad (2.39)$$

\tilde{E} kümesinde $x \in X$ elemanının tereddüt derecesi:

$$\pi_{\tilde{E}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{E}}(x) - v_{\tilde{E}}(x) \quad (2.40)$$

biçiminde tanımlanır (Atanassov, 1999).

Sezgisel bulanık bir kümede üyelik ve üye olmama derecelerinin atama bölgesi Şekil 2.5' teki gibi temsil edilmektedir (Kahraman vd., 2024, s.102):



Şekil 2.5. Sezgisel bulanık kümelerde atama bölgesi

Sezgisel Bulanık Küme İşlemleri

X evrensel kümesinde $\tilde{E} = \{x, \mu_{\tilde{E}}(x), v_{\tilde{E}}(x) | x \in X\}$ ve $\tilde{F} = \{x, \mu_{\tilde{F}}(x), v_{\tilde{F}}(x) | x \in X\}$ iki sezgisel bulanık küme olmak üzere, bu iki küme üzerinde aritmetik işlemler aşağıdaki gibi tanımlanır (Atanassov, 1999; De vd., 2000):

Alt küme:

$$\tilde{E} \subset \tilde{F} \Leftrightarrow (\forall x \in X) (\mu_{\tilde{E}}(x) \leq \mu_{\tilde{F}}(x) \& v_{\tilde{E}}(x) \geq v_{\tilde{F}}(x)) \quad (2.41)$$

Kapsama:

$$\tilde{E} \supset \tilde{F} \Leftrightarrow \tilde{F} \subset \tilde{E} \quad (2.42)$$

Eşitlik:

$$\tilde{E} = \tilde{F} \Leftrightarrow (\forall x \in X)(\mu_{\tilde{E}}(x) = \mu_{\tilde{F}}(x) \& v_{\tilde{E}}(x) = v_{\tilde{F}}(x)) \quad (2.43)$$

Birleşim:

$$\tilde{E} \cup \tilde{F} = \{ \langle x, \max(\mu_{\tilde{E}}(x), \mu_{\tilde{F}}(x)), \min(v_{\tilde{E}}(x), v_{\tilde{F}}(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (2.44)$$

Kesişim:

$$\tilde{E} \cap \tilde{F} = \{ \langle x, \min(\mu_{\tilde{E}}(x), \mu_{\tilde{F}}(x)), \max(v_{\tilde{E}}(x), v_{\tilde{F}}(x)) \rangle \mid x \in X \} \quad (2.45)$$

Tümleme:

$$\bar{\tilde{E}} = \{ \langle x, v_{\tilde{E}}(x), \mu_{\tilde{E}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (2.46)$$

Toplama:

$$\tilde{E} \oplus \tilde{F} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{E}}(x) + \mu_{\tilde{F}}(x) - \mu_{\tilde{E}}(x) \cdot \mu_{\tilde{F}}(x), v_{\tilde{E}}(x) \cdot v_{\tilde{F}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (2.47)$$

Çarpma:

$$\tilde{E} \otimes \tilde{F} = \{ \langle x, \mu_{\tilde{E}}(x) \cdot \mu_{\tilde{F}}(x), v_{\tilde{E}}(x) + v_{\tilde{F}}(x) - v_{\tilde{E}}(x) \cdot v_{\tilde{F}}(x) \rangle \mid x \in X \} \quad (2.48)$$

Skalerle çarpma:

$$n\tilde{E} = \left\{ \langle x, 1 - (1 - \mu_{\tilde{E}}(x))^n, (v_{\tilde{E}}(x))^n \rangle \mid x \in X \right\}, n > 0 \quad (2.49)$$

Üs alma:

$$\tilde{E}^n = \left\{ \langle x, (\mu_{\tilde{E}}(x))^n, 1 - (1 - v_{\tilde{E}}(x))^n \rangle \mid x \in X \right\} \quad (2.50)$$

Örnek 2.2 $X = \{a, b, c\}$ olmak üzere A ve B sezgisel bulanık kümeleri aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$A = \{ \langle a; 0,3; 0,4 \rangle, \langle b; 0,5; 0,2 \rangle, \langle c; 0,4; 0,3 \rangle \},$$

$$B = \{ \langle a; 0,7; 0,2 \rangle, \langle b; 0,3; 0,5 \rangle, \langle c; 0,5; 0,4 \rangle \}$$

Bu durumda yukarıda tanımlanmış olan birleşim, kesişim, tümeleme, toplama ve çıkarma işlemleri aşağıdaki gibi gerçekleştirilir:

$$A \cup B$$

$$= \langle a, \max(0,3; 0,7), \min(0,4; 0,2) \rangle, \langle b, \max(0,5; 0,3), \min(0,2; 0,5) \rangle, \langle c, \max(0,4; 0,5), \min(0,3; 0,4) \rangle$$

$$= \langle a; 0,7; 0,2 \rangle, \langle b; 0,5; 0,2 \rangle, \langle c; 0,5; 0,3 \rangle,$$

$$A \cap B$$

$$= \langle a, \min(0,3; 0,7), \max(0,4; 0,2) \rangle, \langle b, \min(0,5; 0,3), \max(0,2; 0,5) \rangle, \langle c, \min(0,4; 0,5), \max(0,3; 0,4) \rangle$$

$$= \{ \langle a; 0,3; 0,4 \rangle, \langle b; 0,3; 0,5 \rangle, \langle c; 0,4; 0,4 \rangle \},$$

$$\bar{A} = \{ \langle a; 0,4; 0,3 \rangle, \langle b; 0,2; 0,5 \rangle, \langle c; 0,3; 0,4 \rangle \},$$

$$A \oplus B = \{ \langle a; 0,3 + 0,7 - 0,3 * 0,7; 0,4 * 0,2 \rangle, \langle b; 0,5 + 0,3 - 0,5 * 0,3; 0,2 * 0,5 \rangle, \langle c; 0,4 + 0,5 - 0,4 * 0,5; 0,3 * 0,4 \rangle \} = \{ \langle a; 0,73; 0,08 \rangle, \langle b; 0,65; 0,1 \rangle, \langle c; 0,7; 0,12 \rangle \},$$

$$A \otimes B = \{ \langle a; 0,3 * 0,7; 0,4 + 0,2 - 0,4 * 0,2 \rangle, \langle b; 0,5 * 0,3; 0,2 + 0,5 - 0,2 * 0,5 \rangle, \langle c; 0,4 * 0,5; 0,3 + 0,4 - 0,3 * 0,4 \rangle \} = \{ \langle a; 0,21; 0,72 \rangle, \langle b; 0,15; 0,6 \rangle, \langle c; 0,2; 0,58 \rangle \}.$$

Sezgisel Bulanık Kümelerde Birleştirme Operatörleri

Sezgisel Bulanık kümelerde çeşitli birleştirme operatörleri kullanılmakta olup aşağıda bu operatörlerden en sık kullanılan sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama operatörü (SBAO) ve sezgisel bulanık ağırlıklı geometrik ortalama operatörü (SBGO) operatörleri verilmiştir.

- *Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama Operatörü (SBAO)*

$A_j = (\mu_j, v_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) bir sezgisel bulanık değer koleksiyonu ve $w_j \in [0,1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, A_j değerlerinin ağırlık vektörü olsun. Bu durumda Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Ortalama Operatörü (SBAO),

$$SBAO_w(A_1, A_2, \dots, A_n) = w_1 A_1 \oplus w_2 A_2 \oplus \dots \oplus w_n A_n$$

$$= [1 - \prod_{j=1}^n (1 - \mu_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^n (v_j)^{w_j}] \quad (2.51)$$

eşitliği ile hesaplanır (Xu, 2007).

Örnek 2.3 $A_1 = (0,2; 0,6)$, $A_2 = (0,5; 0,3)$ ve $A_3 = (0,6; 0,2)$ verilsin. Ağırlık vektörü ise $w = (0,30; 0,25; 0,45)^T$ olarak verilsin. Bu durumda SBAO değeri,

$$SBAO_w(A_1, A_2, A_3) = \left[1 - \prod_{j=1}^3 (1 - \mu_j)^{w_j}, \prod_{j=1}^3 (v_j)^{w_j} \right]$$

$$\begin{aligned}
&= [1 - (1 - \mu_1)^{w_1} * (1 - \mu_2)^{w_2} * (1 - \mu_3)^{w_3}, (v_1)^{w_1} * (v_2)^{w_2} * (v_3)^{w_3}] \\
&= [1 - (1 - 0,2)^{0,30} * (1 - 0,5)^{0,25} * (1 - 0,6)^{0,45}, (0,6)^{0,30} * (0,3)^{0,25} * (0,2)^{0,45}] \\
SBAG_w(A_1, A_2, A_3) &= (0,479; 0,308)
\end{aligned}$$

şeklinde hesaplanır.

- Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Geometrik Ortalama Operatörü (SBAG)

$A_j = (\mu_j, v_j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) bir sezgisel bulanık değer koleksiyonu ve $w_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ olmak üzere $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$, A_j değerlerinin ağırlık vektörü olsun. Bu durumda Sezgisel Bulanık Ağırlıklı Geometrik Ortalama Operatörü (SBAG),

$$SBAG_w(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{j=1}^n A_j^{w_j} = \left[\prod_{j=1}^n (\mu_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^n (1 - v_j)^{w_j} \right] \quad (2.52)$$

eşitliği ile verilmektedir (Kahraman vd., 2024).

Örnek 2.4 $A_1 = (0,2; 0,6)$, $A_2 = (0,5; 0,3)$ ve $A_3 = (0,6; 0,2)$ verilsin. Ağırlık vektörü ise $w = (0,30; 0,25; 0,45)^T$ olarak verilsin. Bu durumda SBAG değeri,

$$\begin{aligned}
SBAG_w(A_1, A_2, A_3) &= \left[\prod_{j=1}^3 (\mu_j)^{w_j}, 1 - \prod_{j=1}^3 (1 - v_j)^{w_j} \right] \\
&= [(\mu_1)^{w_1} * (\mu_2)^{w_2} * (\mu_3)^{w_3}, 1 - (1 - v_1)^{w_1} * (1 - v_2)^{w_2} * (1 - v_3)^{w_3}] \\
&= [(0,2)^{0,30} * (0,5)^{0,25} * (0,6)^{0,45}, 1 - (1 - 0,6)^{0,30} * (1 - 0,3)^{0,25} * (1 - 0,2)^{0,45}] \\
SBAG_w(A_1, A_2, A_3) &= (0,412; 0,372)
\end{aligned}$$

biçiminde hesaplanır.

Sezgisel Bulanık Kümelerde Uzaklık

İki sezgisel bulanık küme arasındaki farkı belirlemek için birden fazla uzaklık ölçütü bulunmaktadır.

$A = \{(x, \mu_A(x), v_A(x), \pi_A(x)) | x \in X\}$ ve $B = \{(x, \mu_B(x), v_B(x), \pi_B(x)) | x \in X\}$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ kümesi üzerinde tanımlı iki sezgisel bulanık küme olmak üzere

bu kümeler arasında bazı uzaklık kavramları aşağıda verilmiştir (Szmidt & Kacprzyk, 2010).

A ve B sezgisel bulanık kümeleri arasındaki

Hamming mesafesi;

$$d_{IFS}(A, B) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| + |v_A(x_i) - v_B(x_i)| + |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|) \quad (2.53)$$

Öklid mesafesi;

$$e_{IFS}(A, B) = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2 + (v_A(x_i) - v_B(x_i))^2 + (\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2} \quad (2.54)$$

Normalleştirilmiş Hamming mesafesi;

$$l_{IFS}(A, B) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| + |v_A(x_i) - v_B(x_i)| + |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|) \quad (2.55)$$

Normalleştirilmiş Öklid mesafesi;

$$q_{IFS}(A, B) = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2 + (v_A(x_i) - v_B(x_i))^2 + (\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2} \quad (2.56)$$

eşitlikleri ile tanımlanır.

Örnek 2.5 $X = \{a, b, c\}$ olmak üzere, A ve B sezgisel bulanık kümeleri aşağıdaki gibi tanımlansın.

$$A = \{\langle a; 0,3; 0,4 \rangle, \langle b; 0,5; 0,2 \rangle, \langle c; 0,4; 0,3 \rangle\},$$

$$B = \{\langle a; 0,7; 0,2 \rangle, \langle b; 0,3; 0,5 \rangle, \langle c; 0,5; 0,4 \rangle\}$$

Bu durumda aralarındaki Hamming ve Öklid mesafeleri;

$$\begin{aligned} d_{IFS}(A, B) &= \frac{1}{2} (|0,3 - 0,7| + |0,4 - 0,2| + |0,3 - 0,1| + |0,5 - 0,3| + |0,2 - 0,5| \\ &\quad + |0,3 - 0,2| + |0,4 - 0,5| + |0,3 - 0,4| + |0,3 - 0,1|) \\ &= \frac{1}{2} (0,4 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,3 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,2) = 0,9, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e_{IFS}(A, B) &= 0,5^{0,5}((0,3 - 0,7)^2 + (0,4 - 0,2)^2 + (0,3 - 0,1)^2 + (0,5 - 0,3)^2 \\
&\quad + (0,2 - 0,5)^2 + (0,3 - 0,2)^2 + (0,4 - 0,5)^2 + (0,3 - 0,4)^2 \\
&\quad + (0,3 - 0,1)^2)^{0,5} = 0,469
\end{aligned}$$

biçiminde hesaplanır. Buna bağlı olarak Normalleştirilmiş Hamming ve Öklid mesafeleri;

$$\begin{aligned}
l_{IFS}(A, B) &= \frac{1}{6} (|0,3 - 0,7| + |0,4 - 0,2| + |0,3 - 0,1| + |0,5 - 0,3| + |0,2 - 0,5| \\
&\quad + |0,3 - 0,2| + |0,4 - 0,5| + |0,3 - 0,4| + |0,3 - 0,1|) = 0,15,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
q_{IFS}(A, B) &= \left(\frac{1}{6}\right)^{0,5} ((0,3 - 0,7)^2 + (0,4 - 0,2)^2 + (0,3 - 0,1)^2 + (0,5 - 0,3)^2 \\
&\quad + (0,2 - 0,5)^2 + (0,3 - 0,2)^2 + (0,4 - 0,5)^2 + (0,3 - 0,4)^2 \\
&\quad + (0,3 - 0,1)^2)^{0,5} = 0,271
\end{aligned}$$

olarak bulunur.

Skor ve Kesinlik Fonksiyonları

Karar verme süreçlerinde elde edilen bulanık çıktılar arasında bir karşılaştırma yapılması zorunludur. Sezgisel bulanık değerlerin değerlendirilmesinde ise skor ve kesinlik ölçütlerinden yararlanılmaktadır. Liu ve Wang (2007), $A = (\mu_A, \nu_A)$ ve $B = (\mu_B, \nu_B)$ gibi iki sezgisel bulanık sayı için skor (S) ve kesinlik (H) fonksiyonlarını şu şekilde tanımlamıştır:

$$S(A) = \mu_A + \mu_A(1 - \mu_A - \nu_A), \quad (2.57)$$

$$S(B) = \mu_B + \mu_B(1 - \mu_B - \nu_B), \quad (2.58)$$

$$H(A) = \mu_A + \nu_A, \quad (2.59)$$

$$H(B) = \mu_B + \nu_B \quad (2.60)$$

Tanımlanan skor ve kesinlik fonksiyonlarına göre bu iki sayının birbiriyle karşılaştırılması,

$$S(A) < S(B) \text{ ise } A < B,$$

$$S(A) > S(B) \text{ ise } A > B,$$

$$S(A) = S(B) \text{ durumunda, } H(A) < H(B) \text{ ise } A < B,$$

$$H(A) > H(B) \text{ ise } A > B,$$

$$H(A) = H(B) \text{ ise } A = B$$

biçiminde gerçekleştirilir (Xu & Yager, 2006).

Örnek 2.6. $A = (0,7; 0,2)$ ve $B = (0,3; 0,5)$ sezgisel bulanık sayıları için skor ve kesinlik fonksiyonlarının hesaplanılarak bu sayıların karşılaştırılması:

$$S(A) = 0,7 + 0,7 * (1 - 0,7 - 0,2) = 0,77 ,$$

$$S(B) = 0,3 + 0,3 * (1 - 0,3 - 0,5) = 0,36 ,$$

$$H(A) = 0,7 + 0,2 = 0,9 ,$$

$$H(B) = 0,3 + 0,5 = 0,8 ; S(A) > S(B) \text{ olduğundan } A > B \text{ dir.}$$

3. KARAR VERME VE SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME TEKNİKLERİ

3.1. Karar Verme

Karar verme terimi, onu kullanan kişiye bağılı olarak çok farklı anlamlara gelebilir. Bir avukat, bir iş insanı, bir general, bir psikolog veya bir istatistikçi tarafından kullanıldığında farklı anlamlar taşıyabilir. Bir durumda yasal bir yapı olabilirken, başka bir durumda matematiksel bir model olabilir; aynı zamanda davranışsal bir eylem ya da belirli bir tür bilgi işleme süreci olarak da düşünülebilir (Zimmermann, 2001).

Karar, bireylerin veya grupların ulaşmak istedikleri hedef doğrultusunda, mevcut alternatifler arasından en elverişli olanı seçmeleri sürecinde ortaya çıkan durumdur. Bu süreç, karar verme olarak ifade edilmektedir (Atan & Yılmaz, 2020).

Her gün yaşamımızın her alanında çok sayıda karar vermek durumunda kalırız veya belli bir grubun üyesi olarak kararlar almamız gerekir. Grupça veya bireysel aldığımız tüm kararlar farklı ölçülerde hayatımızı şekillendirir. Alınan kararların doğruluğuyla başarıya ulaşır, yanlış verilen kararlar neticesinde zarara uğrayabilir, hayal kırıklığına uğrayabiliriz. Karar vermenin insan hayatını şekillendirdiği düşünüldüğünde kararlarımızı doğru almanın önemi ortaya çıkmaktadır. Karar verme pratik yaptıkça gelişebilen bir beceri işidir (Esen, 2023). Ancak karar vermeyi bir bilim olarak uygulayan insanların daha iyi kararlar vereceği bir gerçektir (Saaty, 2000).

Karar verme süreci, günlük yaşamın ayrılmaz bir parçasıdır ve basit ya da karmaşık her türlü problem karşısında bu süreçten geçilir. Bir problem çözme yöntemi olarak kabul edilen karar verme, özellikle eksik ya da belirsiz bilgilerin olduğu, duygusal ve sözel belirsizliklerin etkili olduğu durumlarda daha da karmaşık hale gelir. Bu tür belirsizlikler, karar verme sürecinin bulanık bir ortamda yürütülmesini zorunlu kılmaktadır (Özbek, 2021).

Karar verme süreci belirli aşamalardan oluşmaktadır. Karar problemi tanımlanır ve ulaşılması gereken hedefler ve amaçlar belirlenir. Daha sonra, çözüm için gerekli veriler toplanarak olası çözüm alternatifleri oluşturulur. Bu alternatifler belirlenen kriterlere göre değerlendirilir ve en uygun seçenek seçilerek karar verilmiş olur. Bu aşamalar, hem bireysel hem de grup halinde gerçekleştirilen karar verme süreçlerinde geçerlidir (Boyras, 2021).

Bir karar süreci, çeşitli unsurları içeren karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu unsurlar şu şekilde sıralanabilir:

- Karar verici: Belirli bir konuda seçim yapma sorumluluğuna sahip birey veya gruplardır.
- Amaç: Karar vericinin ulaşmayı hedeflediği durum ya da sonuçtur.
- Karar kriteri (ölçütü): Seçim yapılırken dikkate alınan ölçütler veya değer yargılarıdır.
- Alternatifler (seçenekler): Karar vericinin amacına ulaşabilmek için değerlendirdiği farklı eylem planları veya stratejilerdir.
- Olaylar (karar ortamı): Karar vericinin doğrudan kontrol edemediği, ancak seçim sürecini etkileyen dış faktörlerdir. Diğer bir ifadeyle, kararın gerçekleştiği ortamdır.
- Sonuçlar (ödemeler): Seçilen alternatiflerin ve karşılaşılan olayların birleşimi sonucunda ortaya çıkan çıktılar veya değerlerdir (Karakaşoğlu, 2008).

Karar verme çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlardan bazıları,

- Karar veren kişi sayısına göre: Bireysel kararlar ve grup kararları.
- Bilgi düzeyine göre: Belirlilik, risk ve belirsizlik altında alınan kararlar.
- Amaç sayısına göre: Tek amaçlı ve çok amaçlı karar verme.
- Kriter sayısına göre: Tek kriterli ve çok kriterli karar verme

olarak sayılabilir (Atan & Yılmaz, 2020).

3.2. Çok Kriterli Karar Verme

Günümüzde, karar verme süreçleri giderek daha karmaşık hale gelmekte ve tek bir değişkene bağlı olarak karar vermek zorlaşmaktadır. Artan belirsizlik ve değişken koşullar nedeniyle, karar vericiler artık birden fazla kriteri dikkate alarak daha kapsamlı analizler yapmak zorundadır. Bu noktada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), birden fazla değişkenin aynı anda değerlendirilmesini sağlayan sistematik bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem; matematik, yönetim, enformatik, psikoloji, sosyal bilimler ve ekonomi gibi farklı disiplinlerin bir araya gelerek karar vericilere çok boyutlu değerlendirme yapma imkânı sunan bir karar verme modelidir. ÇKKV'nin temel amacı, karar vericinin çeşitli alternatifler arasından en uygun seçeneği belirleyebilmesini sağlamaktır (Atan & Yılmaz, 2020).

Tipik bir ÇKKV problemi matematiksel olarak aşağıdaki gibi modellenebilir (Lu vd., 2007).

$$(\text{ÇKKV}) = \begin{cases} \text{Seç: } A_1, A_2, \dots, A_m \\ \text{Kriterler: } C_1, C_2, \dots, C_n \end{cases} \quad (3.1)$$

Burada $A = (A_1, A_2, \dots, A_m)$ kümesi karar vericiler tarafından belirlenmiş olan m adet alternatifi, $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ kümesi ise alternatifleri farklı açılardan ele alan n adet kriteri temsil etmektedir. Alternatiflerin seçimi, problemin paydaşları tarafından belirlenen kriterler kümesine göre en iyi sonucu sağlayan alternatifin belirlenmesi sürecidir. Bu modelde yer alan bilgiler bir karar matrisi yardımıyla aşağıdaki gibi temsil edilebilir:

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & \dots & C_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (3.2)$$
$$W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$$

Burada x_{ij} ; i . alternatifin j . kriter altındaki değeridir. w_j değeri j . kriterin ağırlığını ifade etmektedir.

Çok kriterli karar verme sürecinde genel olarak aşağıdaki adımlar takip edilir:

- Değerlendirme kriterleri belirlenir.
- Alternatif çözümler belirlenir.
- Oluşturulan alternatif çözümler seçilen kriterler bakımından değerlendirilir.
- Bir ÇKKV analiz yöntemi uygulanır.
- Bir alternatif en uygun seçenek olarak belirlenir.
- Çözümün kabul edilmemesi durumunda sisteme yeni bilgiler eklenerek süreç yeniden başlatılır (Opricovic & Tzeng, 2004).

3.3. Sezgisel Bulanık Karar Verme Teknikleri

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinde, belirsiz ve karmaşık süreçlerin yönetilmesi amacıyla farklı türde bulanık küme yaklaşımlarından yararlanılmaktadır. Son yıllarda, klasik bulanık kümelerin bazı durumlarda yetersiz kalması nedeniyle sezgisel bulanık kümeler, tereddütlü bulanık kümeler ve bipolar bulanık kümeler gibi alternatif bulanık küme modelleri geliştirilmiştir (Es & Hatipoğlu, 2022).

Sezgisel bulanık kümeler, üyelik ve üye olmama fonksiyonlarına ek olarak tereddütlik derecesi tanımladığından karar verme sürecinde karar vericilerin kararsızlıklarını daha esnek bir biçimde ifade etmesine olanak tanımaktadır (Efe vd.,2015). Bu doğrultuda, sezgisel bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımları, özellikle belirsizliklerin yoğun olduğu ve bilgilerin yetersiz kaldığı durumlarda, karar vericilerin dilsel ifadelerindeki kararsızlıkları daha doğru biçimde yansıtabilmek için tercih edilmektedir.

Bu bölümde, sezgisel bulanık çok kriterli karar verme yaklaşımlarına odaklanılacak; sezgisel bulanık TOPSIS ve sezgisel bulanık VIKOR teknikleri detaylı olarak ele alınacaktır.

3.3.1. Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity Ideal Solution), ideal çözüme yakınlığa göre alternatiflerin sıralanmasını esas alan bir yöntem olup, ilk olarak Hwang ve Yoon (1981) tarafından ortaya konmuş, daha sonra Chen ve Hwang (1992) tarafından literatüre kazandırılmıştır. Bu yöntemde, en uygun alternatifin ideal çözüme en kısa ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede yer alması gerektiği kabul edilmektedir (Opricovic & Tzeng 2004, s. 448).

TOPSIS yönteminde Pozitif ideal çözümde fayda kriterleri maksimize, maliyet kriterleri minimize edilirken negatif ideal çözümde ise tersine maliyet kriterleri maksimize ve fayda kriterleri minimize edilir (Ecer, 2020).

Birçok durumda kesin veriler gerçek dünya koşullarını modellemek için yeterli değildir. Bunun temel sebebi insan yargılarının belirsizlik içermesi ve sayısal değerlerle ifadesinin zor olmasıdır. Sayısal değerler yerine dilsel değerlendirmelerin kullanılması daha gerçekçi bir yaklaşımdır. TOPSIS yöntemi bulanık verilerde işlem yapılabilecek şekilde geliştirilmiştir (Chen, 2000).

Sezgisel bulanık küme teorisi belirsizlik altındaki karmaşık karar problemlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemi, sezgisel bulanık ortamda alternatiflerin performanslarını değerlendirir (Özarslan, 2023).

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ alternatiflerin kümesi ve $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ kriterlerin kümesi olarak tanımlansın. Karar verme grubu l adet karar vericiden oluşmaktadır. Karar vericilerin bilgi ve deneyimlerinin farklı olması sebebiyle önem dereceleri birbirinden farklı olacaktır. $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$ karar vericilerin ağırlık vektörü olmak üzere, $\lambda_k \geq 0, \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1, k = 1, 2, \dots, l$ dir.

$\tilde{D}^{(k)} = (\tilde{d}_{ij}^k)_{m \times n}$; k . karar vericinin sezgisel bulanık değerlendirmelerinin oluşturduğu karar matrisi olup bu matrisin bir elemanı olan $\tilde{d}_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^k, v_{ij}^k, \pi_{ij}^k)$, karar verici tarafından belirlenen ve i . alternatifin j . kriteri karşılama derecesini, karşılama derecesini ve tereddüt derecesini belirtmektedir. $\tilde{D} = (\tilde{d}_{ij})_{mn}$ ise karar vericiler tarafından yapılan tüm değerlendirmelerin birleştirildiği karar matrisidir.

Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminin adımları aşağıdaki gibidir.

Adım 1. Karar verici değerlendirmeleri için kullanılacak dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelecek olan sezgisel bulanık sayılar belirlenir.

Adım 2. Karar vericilerin önem dereceleri değerlendirilir ve sezgisel bulanık sayılar ile ifade edilen dilsel ifadeler baz alınarak karar vericilerin ağırlıkları belirlenir.

$I_k = (\mu_k, v_k, \pi_k)$ sezgisel bulanık sayısı k . karar vericinin önem derecesi olmak üzere k . Karar vericinin ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)}, \quad \lambda_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (3.3)$$

Adım 3. Alternatif değerlendirmelerinde kullanılacak olan kriterler, karar vericiler tarafından Adım 1’de belirlenen sezgisel bulanık dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilir.

	C_1	C_2	. . .	C_n
--	-------	-------	-------	-------

$$\tilde{D} = \begin{matrix} KV_1 \\ KV_2 \\ \vdots \\ KV_l \end{matrix} \begin{bmatrix} (\mu_{11}, v_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, v_{12}, \pi_{12}) & \dots & (\mu_{1n}, v_{1n}, \pi_{1n}) \\ (\mu_{21}, v_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, v_{22}, \pi_{22}) & \dots & (\mu_{2n}, v_{2n}, \pi_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (\mu_{l1}, v_{l1}, \pi_{l1}) & (\mu_{l2}, v_{l2}, \pi_{l2}) & \dots & (\mu_{ln}, v_{ln}, \pi_{ln}) \end{bmatrix}$$

Adım 4. Karar vericilerin kriter değerlendirmeleri, karar vericilerin ağırlıkları dikkate alınarak SBAO (Sezgisel bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama) operatörü yardımıyla birleştirilir ve kriterlerin sezgisel bulanık ağırlık değerleri belirlenir.

$$w_j = SBAO_{\lambda} (w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) = \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)}$$

$$= \left[\begin{array}{c} 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \quad \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \\ \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \end{array} \right] \quad (3.4)$$

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}$ kriterlerin ağırlıkları olmak üzere $w_j = (\mu_j, v_j, \pi_j)$, ($j = 1, 2, \dots, n$) dir.

Adım 5. Bu adımda tüm karar vericilerin her bir kriter altındaki alternatif değerlendirmeleri SBAO operatörü yardımıyla birleştirilir ve birleştirilmiş karar matrisi \tilde{X} elde edilir.

$\tilde{x}_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, v_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$ ($k = 1, 2, \dots, l$) ; i. alternatifin j. kriter altında k. karar verici tarafından yapılan sezgisel bulanık değerlendirmesini ifade eder.

$$\tilde{X}^{(k)} = (\tilde{x}_{ij}^{(k)})_{m \times n} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11}^{(k)} & \tilde{x}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{x}_{21}^{(k)} & \tilde{x}_{22}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{2n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1}^{(k)} & \tilde{x}_{m2}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{mn}^{(k)} \end{pmatrix}, \quad (3.5)$$

$C_1 \quad C_2 \quad \dots \quad C_n$

$$\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} A_1 \\ A_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix}, \quad (3.6)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k}, \quad \prod_{k=1}^l (v_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} \\ \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} \end{pmatrix}. \quad (3.7)$$

Adım 6. Kriter ağırlıkları ve birleştirilmiş karar matrisi belirlendikten sonra ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\begin{aligned}\tilde{X}' &= W \otimes \tilde{X} = (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) \\ &= \{ \langle x, \mu_{ij} \cdot \mu_j, v_{ij} + v_j - v_{ij} \cdot v_j, 1 - \mu_{ij} \cdot \mu_j - v_{ij} - v_j + v_{ij} \cdot v_j \rangle | x \in X \} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi,

$$\tilde{X}' = \begin{pmatrix} \tilde{x}'_{11} & \tilde{x}'_{12} & \dots & \tilde{x}'_{1n} \\ \tilde{x}'_{21} & \tilde{x}'_{22} & \dots & \tilde{x}'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}'_{m1} & \tilde{x}'_{m2} & \dots & \tilde{x}'_{mn} \end{pmatrix}$$

olup $\tilde{x}'_{ij} = (\tilde{\mu}'_{ij}, \tilde{v}'_{ij}, \tilde{\pi}'_{ij})$, ($i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$) bu matrisin elemanıdır.

Adım 7. J_1 fayda yönlü kriterlerin, J_2 negatif yönlü kriterlerin kümesi olmak üzere pozitif sezgisel bulanık ideal çözüm A^* ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüm A^- aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A^* = (\tilde{x}'_1, \tilde{x}'_2, \dots, \tilde{x}'_n), \quad \tilde{x}'_j = (\tilde{\mu}'_j, \tilde{v}'_j, \tilde{\pi}'_j), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.9)$$

$$A^- = (\tilde{x}'_1, \tilde{x}'_2, \dots, \tilde{x}'_n), \quad \tilde{x}'_j = (\tilde{\mu}'_j, \tilde{v}'_j, \tilde{\pi}'_j), \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.10)$$

$$\tilde{\mu}'_j = \begin{cases} \max_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \}, j \in J_1 \\ \min_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \}, j \in J_2 \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\tilde{v}'_j = \begin{cases} \min_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_1 \\ \max_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_2 \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\tilde{\pi}'_j = \begin{cases} 1 - \max_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \} - \min_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_1 \\ 1 - \min_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \} - \max_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_2 \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\tilde{\mu}'_j = \begin{cases} \min_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \}, j \in J_1 \\ \max_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \}, j \in J_2 \end{cases} \quad (3.14)$$

$$\tilde{v}_j'^- = \begin{cases} \max_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_1 \\ \min_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_2 \end{cases} \quad (3.15)$$

$$\tilde{\pi}_j'^- = \begin{cases} 1 - \min_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \} - \max_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_1 \\ 1 - \max_i \{ \tilde{\mu}'_{ij} \} - \min_i \{ \tilde{v}'_{ij} \}, j \in J_2 \end{cases} \quad (3.16)$$

Adım 8. Bu adımda alternatiflerin pozitif ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanır. Uzaklık için çeşitli ölçümler kullanılmaktadır. bu çalışmada Hamming uzaklığı kullanılmış olup alternatiflerin pozitif ve negatif sezgisel bulanık ideal çözüme olan uzaklıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_i^* = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\tilde{\mu}'_{ij} - \tilde{\mu}_j'^*| + |\tilde{v}'_{ij} - \tilde{v}_j'^*| + |\tilde{\pi}'_{ij} - \tilde{\pi}_j'^*|], i = 1, 2, \dots, m \quad (3.17)$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\tilde{\mu}'_{ij} - \tilde{\mu}_j'^-| + |\tilde{v}'_{ij} - \tilde{v}_j'^-| + |\tilde{\pi}'_{ij} - \tilde{\pi}_j'^-|], i = 1, 2, \dots, m \quad (3.18)$$

Adım 9. Her bir alternatif için yakınlık katsayısı aşağıdaki gibi belirlenir:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}, i = 1, 2, \dots, m, 0 \leq C_i^* \leq 1 \quad (3.19)$$

Adım 10. Alternatifler hesaplanan yakınlık katsayılarına göre sıralanır. En yüksek yakınlık katsayısına sahip olan alternatif en uygun alternatif olarak kabul edilir (Tırmıkçioğlu Çınar, 2021; Efe vd., 2015).

3.3.2. Sezgisel Bulanık VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, Sırpça “Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje” İngilizce karşılığıyla ise “Multiple Criteria Optimization and Compromise Solution”- Çok Ölçütlü Optimizasyon ve Uzlaşmacı Çözüm kelimelerinin baş harflerinden oluşturulmuştur. Opricovic (1998) tarafından literatüre kazandırılmış olan uzaklık temelli bir ÇKKV yöntemidir (Ecer, 2020, s. 222).

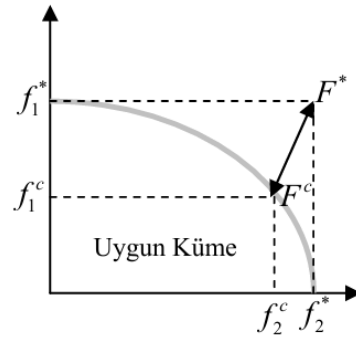
Bu yöntem, alternatifler arasından sıralama ve seçim yapmaya odaklanır ve çelişen kriterlere sahip bir problem için uzlaşma çözümleri belirler; bu, karar vericilerin nihai bir karara ulaşmasına yardımcı olabilir. Burada, uzlaşma çözümü, ideale en yakın uygulanabilir çözüm olup, uzlaşma, karşılıklı tavizlerle oluşturulan bir anlaşma anlamına gelmektedir (Opricovic & Tzeng, 2007, s. 515).

Bu yöntemde sadece azınlık görüşünü savunanlar değil çoğunluktakiler de belirli miktarlarda tavizler vermektedir. Yöntem bireysel pişmanlığı minimize, çoğunluğun grup faydasını maksimize etmeyi amaç edinen uzlaşmacı bir çözümü benimser (Ecer, 2020, s. 222).

Her alternatifin her bir ölçüt fonksiyonu dikkate alınarak değerlendirildiği durumlarda uzlaşma sıralaması; her alternatifin ideal çözüme olan yakınlığının karşılaştırılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu sıralama süreci, çok kriterli ölçüm temeline dayandırılmış olup, uzlaşmalı programlamada kullanılan ve toplama fonksiyonuna karşılık gelen L_p kriteri üzerinden geliştirilmiştir. i tane alternatif a_1, a_2, \dots, a_i olarak gösterilir. a_i alternatifine ilişkin j . kriterin değeri f_{ij} ile gösterilir; yani f_{ij} , a_i alternatifi için j . kriter fonksiyonunun değeridir. VIKOR yönteminin gelişimi L_p kriter formu ile başlamıştır (Opricovic & Tzeng 2004).

$$L_{pi} = \left\{ \sum_{j=1}^n [w_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)]^p \right\}^{1/p}, 1 \leq p \leq \infty; i = 1, 2, \dots, i \quad (3.20)$$

Bu formülde tanımlanan L_{pi} değeri, a_i alternatifinin ideal çözüme olan mesafesini ifade etmektedir ve VIKOR yönteminde uzlaşma sıralamasının hesaplanmasında temel rol oynamaktadır. L_{ij} (Eşitlik 3.12'deki S_i) ve $L_{\infty i}$ (Eşitlik 3.13'deki R_i) sıralama kriterini formüle etmek için kullanılır. $\min_i S_i$ ile elde edilen çözüm, maksimum grup faydasını ("çoğunluk" kuralı), $\min_i R_i$ ile elde edilen çözüm ise "karşıt" için minimum bireysel pişmanlığı temsil eder. Uzlaşık çözüm F^c , F^* ise ideal çözümü gösterir. Uzlaşma, karşılıklı tavizlerle oluşturulmuş bir anlaşma anlamına gelir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi $\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c$ ve $\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c$ ile ifade edilmektedir (Opricovic & Tzeng 2004).



Şekil 3.1. İdeal ve uzlaşık çözüm

$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ alternatiflerin kümesi, $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ kriterlerin kümesi ve bilgi ve deneyimlerine göre önem düzeyleri farklılık gösterebilen l adet karar verici için, $\lambda_k \geq 0$, $k = 1, 2, \dots, l$ olmak üzere $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l\}$ karar vericilerin ağırlık vektörü olarak tanımlanmakta ve karar vericilerin ağırlıkları toplamı 1'e eşittir, yani $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$ dir.

$\tilde{D}^{(k)} = (\tilde{d}_{ij}^k)_{m \times n}$; k. karar vericinin sezgisel bulanık değerlendirmelerinin oluşturduğu matristir ve bu matrisin bir elemanı olan $\tilde{d}_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^k, \nu_{ij}^k, \pi_{ij}^k)$, karar verici tarafından belirlenen ve i . alternatifin j . kriteri karşılama derecesini, karşılama derecesini ve tereddüt derecesini temsil etmektedir. Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmeler uygun operatörler kullanılarak biraraya getirilerek $\tilde{X} = (\tilde{X}_{ij})_{m \times n}$ birleştirilmiş karar matrisi oluşturulur. Sezgisel bulanık kümeler ile VIKOR yönteminin uygulama adımları aşağıdaki gibidir:

Adım 1. Karar verici değerlendirmeleri için kullanılacak dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelecek olan sezgisel bulanık sayılar belirlenir.

Adım 2. Karar vericilerin önem dereceleri değerlendirilir ve sezgisel bulanık sayılar ile ifade edilen dilsel ifadeler baz alınarak karar vericilerin ağırlıkları belirlenir.

$I_k = (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$ sezgisel bulanık sayısı k. karar vericinin önem derecesi olmak üzere k. karar vericinin ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\lambda_k = \frac{\left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)}{\sum_{k=1}^l \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + v_k} \right) \right)}, \quad \lambda_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (3.21)$$

Adım 3. Alternatif değerlendirmelerinde kullanılacak olan kriterler, karar vericiler tarafından Adım 1’de belirlenen sezgisel bulanık dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilerek karar matrisi oluşturulur.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdot & \cdot & \cdot & C_n \\ KV_1 & (\mu_{11}, v_{11}, \pi_{11}) & (\mu_{12}, v_{12}, \pi_{12}) & \cdot & \cdot & \cdot & (\mu_{1n}, v_{1n}, \pi_{1n}) \\ KV_2 & (\mu_{21}, v_{21}, \pi_{21}) & (\mu_{22}, v_{22}, \pi_{22}) & \cdot & \cdot & \cdot & (\mu_{2n}, v_{2n}, \pi_{2n}) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ KV_l & (\mu_{l1}, v_{l1}, \pi_{l1}) & (\mu_{l2}, v_{l2}, \pi_{l2}) & \cdot & \cdot & \cdot & (\mu_{ln}, v_{ln}, \pi_{ln}) \end{matrix}$$

Adım 4. Karar vericilerin kriter değerlendirmeleri, karar vericilerin ağırlıkları dikkate alınarak SBAO (Sezgisel bulanık ağırlıklı aritmetik ortalama) operatörü yardımıyla birleştirilir ve kriterlerin sezgisel bulanık ağırlık değerleri belirlenir.

$$\begin{aligned} SBAO_\lambda(w_j^{(1)}, w_j^{(2)}, \dots, w_j^{(l)}) &= \lambda_1 w_j^{(1)} \oplus \lambda_2 w_j^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_l w_j^{(l)} \\ &= \left[\begin{array}{l} 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \\ \prod_{k=1}^l (1 - \mu_j^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_j^{(k)})^{\lambda_k} \end{array} \right] \quad (3.22) \end{aligned}$$

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}$ kriterlerin ağırlıkları olmak üzere $w_j = (\mu_j, v_j, \pi_j)$, ($j = 1, 2, \dots, n$) dir.

Adım 5. Sezgisel bulanık sayı olan kriter ağırlıkları durulaştırılarak kriter ağırlıklarının skor fonksiyonu özelliği kullanılarak kesin sayı değerleri elde edilir.

$$w_j = \mu_j + \mu_j(1 - \mu_j - v_j) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.23)$$

Adım 6. Elde edilen kriter skor değerleri normalize edilerek kriter ağırlıkları hesaplanır.

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.24)$$

$$0 < \bar{w}_j < 1, \quad \sum_{j=1}^n \bar{w}_j = 1$$

Adım 7. Bu aşamada, alternatifler sezgisel bulanık dilsel değişkenler kullanılarak karar vericiler tarafından değerlendirilir. Yapılan tüm değerlendirmeler SBAO operatörü yardımıyla birleştirilir ve \tilde{X} birleştirilmiş karar matrisi oluşturulur.

$\tilde{x}_{ij}^{(k)} = (\mu_{ij}^{(k)}, v_{ij}^{(k)}, \pi_{ij}^{(k)})$ ($k = 1, 2, \dots, l$) ; i. alternatifin j. kriter altında k. karar verici tarafından yapılan sezgisel bulanık değerlendirmesini ifade eder.

$$\tilde{X}^{(k)} = (\tilde{x}_{ij}^{(k)})_{m \times n} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11}^{(k)} & \tilde{x}_{12}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{1n}^{(k)} \\ \tilde{x}_{21}^{(k)} & \tilde{x}_{22}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{2n}^{(k)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1}^{(k)} & \tilde{x}_{m2}^{(k)} & \dots & \tilde{x}_{mn}^{(k)} \end{pmatrix}, \quad (3.25)$$

$$\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \begin{pmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix} \\ A_1 & & & & \\ \dots & & & & \\ \dots & & & & \\ A_m & & & & \end{matrix}, \quad (3.26)$$

$$\tilde{x}_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} \\ \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} \end{pmatrix}, \quad (3.27)$$

Adım 8. Değerlendirilen her kriter için alternatiflerin en iyi \tilde{x}_j^* ve en kötü \tilde{x}_j^- değerleri belirlenir. En iyi ve en kötü değerlerin belirlenmesinde kriterin özelliği göz önünde bulundurularak hesaplama yapılır. F fayda yönlü ve M maliyet yönlü kriterlerin kümesi olmak üzere:

$$\tilde{x}_j^* = \begin{cases} \max_j \tilde{x}_{ij}, & j \in F \\ \min_j \tilde{x}_{ij}, & j \in M \end{cases} \quad (3.28)$$

$$\tilde{x}_j^- = \begin{cases} \min_j \tilde{x}_{ij}, & j \in F \\ \max_j \tilde{x}_{ij}, & j \in M \end{cases} \quad (3.29)$$

Adım 9. i . alternatifin en iyi sezgisel bulanık değere olan toplam uzaklığı \tilde{S}_i grup faydasını ve en kötü sezgisel bulanık değere olan maksimum uzaklığı \tilde{R}_i değeri ise bireysel pişmanlığı ifade etmek üzere, bu değerler aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \left[\tilde{w}_j * \left(\frac{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_{ij})}{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_j^-)} \right) \right] \quad (3.30)$$

$$\tilde{R}_i = \max_j \left[\tilde{w}_j * \left(\frac{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_{ij})}{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_j^-)} \right) \right] \quad (3.31)$$

Adım 10. Bu aşamada her alternatif için S^* , S^- , R^* , R^- , \tilde{Q}_i değerleri hesaplanır. Burada

S^* , maksimum grup faydasını,

S^- ise minimum grup faydasını,

R^* minimum bireysel pişmanlığı,

R^- , ise maksimum bireysel pişmanlığı belirtmektedir.

Bu değerlerin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilen \tilde{Q}_i değeri alternatiflerin toplam skor değeridir. Bu değerler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i, \tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i \quad (3.32)$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i, \tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i \quad (3.33)$$

$$\tilde{Q}_i = v * \frac{(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*)} + (1 - v) * \frac{(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{(\tilde{R}^- - \tilde{R}^*)} \quad (3.34)$$

v katsayısı maksimum grup faydasının ağırlığını ifade ederken, $(1 - v)$ ise bireysel pişmanlığın ağırlığını gösterir. v değerinin 1'e yakın olması durumunda uzlaşmacı çözüm maksimum grup faydası ağırlıklı, 0'a yakın olması durumunda ise pişmanlık ağırlıklı bulunur. Yaygın olarak kullanılan uzlaşma durumunda ise $v = 0.5$ alınır.

Adım 11. Her alternatif için bulunan S, R, Q değerleri kendi aralarında küçükten büyüğe sıralanır. En iyi alternatif, en küçük Q değerine sahip olan alternatif olarak belirlenir.

Adım 12. Uzlaşık çözümün belirlenmesi: Aşağıdaki iki koşul sağlandığında, en düşük Q_i değerine sahip olan alternatif (A') uzlaşık çözüm olarak kabul edilir:

- *Koşul 1: Kabul edilebilir avantaj*

En iyi alternatif (A') ve en iyi ikinci alternatif (A'') arasında belirgin bir fark olduğu kanıtlanır. m alternatif sayısı olmak üzere:

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ \quad (3.35)$$

$$DQ = \frac{1}{1 - m}$$

- *Koşul 2: Kabul edilebilir istikrar*

En iyi alternatif (A'), S ve R değerlerine göre yapılan sıralamaların en az birinde de en iyi alternatif olmalıdır.

Koşul 2 sağlanmıyorsa; A' ve A'' alternatifleri birlikte uzlaşık çözüm olarak kabul edilir.

Koşul 1 sağlanmıyorsa; uzlaşık çözüm kümesi $A', A'', \dots, A^{(M)}$ alternatiflerini içerir. Burada

$Q(A^{(M)}) - Q(A') < DQ$ eşitsizliğini sağlayan maksimum M değeri ile belirlenir. Bu alternatifler, sıralamada birbirine yakın konumda yer almaktadır.

Bu aşamada alternatifler \tilde{Q}_i değerlerine göre, en düşük \tilde{Q}_i değerine sahip olan en iyi alternatif kabul edilerek artan sırayla sıralanır.

4. SEZGİSEL BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE BİR UYGULAMA: TINY HOUSE SEÇİMİ

Bu bölümde, tiny house türlerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir uygulamaya yer verilmiştir. Öncelikle, literatürden hareketle alanında uzman karar vericilerle yapılan görüşmeler sonucunda kriter ve alternatifler belirlenmiştir.

Uygulamanın devamında, karar vericilerin değerlendirmeleri sezgisel bulanık kümeler ile ifade edilerek Sezgisel Bulanık TOPSIS ve Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemleri uygulanmış, elde edilen alternatif sıralamaları karşılaştırılmıştır.

4.1. Problemin Tanımlanması, Alternatif ve Kriterlerin Belirlenmesi

Tiny house seçimi, maliyet, teknik altyapı, sürdürülebilirlik, işlevsellik ve estetik gibi birbirinden farklı ve birbiriyle çelişebilen kriterler doğrultusunda değerlendirme yapılmasını gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir. Her bir tiny house alternatifi, bu kriterler açısından farklı avantaj ve sınırlılıklar taşımaktadır. Bu sebeple karar vericiler açısından kapsamlı bir değerlendirme sürecini zorunlu kılmaktadır. Örneğin estetik değer, kullanım işlevselliği ya da sürdürülebilirlik düzeyi gibi sayısal olarak doğrudan ölçülemeyen kriterlerde, karar vericilerin subjektif değerlendirmeleri belirleyici olmaktadır. Bu nedenle gerçekte değerlendirmelerin büyük bir kısmı dilsel ifadelerle yapılmakta, bu da belirsizlik ve yorum farklarını beraberinde getirmektedir. Bu değerlendirmeleri doğrudan sayılarla ifade etmek güç olduğundan, bu çalışmada dilsel ifadeleri sayısal olarak temsil edebilen sezgisel bulanık sayılar tercih edilmiştir.

Bu doğrultuda, literatürde yer alan kriter ve tiny house türleri incelenmiş; ardından üç uzman karar vericiyle yapılan görüşmeler neticesinde uygun görülen kriterler ve alternatifler belirlenmiştir.

Bu bölümün devamında, çalışmada ele alınan tiny house kavramı, alternatif olarak değerlendirilen tiny house türleri ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenen değerlendirme kriterleri aşağıda ayrıntılı biçimde sunulmaktadır.

4.1.1. Tiny House Tanımı ve Tarihçesi

Tiny House ismi ilk olarak Sarah Susanka (1998)'nin ‘‘The Not So Big House’’ (O Kadar Da Büyük Olmayan Ev) adlı kitabında kullanılmıştır. Bu kavram, genellikle hareketin çıkış noktası olarak kabul edilmektedir. Tiny House akımına katılım için kesin bir metrekare sınırı olmasa da, çeşitli kaynaklarda bu tür yapılar çoğunlukla 9 ile 37 metrekare arasında değişen yaşam alanlarına sahip konutlar olarak tanımlanmaktadır (Akdere, 2024, s. 28). Bağımsız olarak tasarlanan bu evlerde yemek, çalışma, uyuma ve hijyen gibi temel ihtiyaçlar karşılanır. Bu evler sabit temeller üzerine kurulabileceği gibi tekerlekli veya su üzerinde hareket edebilen platformlar üzerine de inşa edilebilir. Şekil ve tasarımları farklılaşsa da ortak özellikleri sade, işlevsel ve minimal bir yaşam alanı sunmalarıdır.

Türkçeye ‘‘Küçük Ev’’ olarak çevrilebilecek ‘‘Tiny House’’ ifadesi, yalnızca bu harekete özgü taşınabilir ve kompakt konutları değil, aynı zamanda genel anlamda küçük yapılarla da ilişkilendirilebilir. Ancak bu durum kavramsal bir karışıklığa yol açabileceğinden, bu tez çalışmasında ‘‘Tiny House’’ terimi özgün haliyle, yani çeviri yapılmadan kullanılacaktır.

Her ne kadar Tiny House kavramı yakın zamanda popüler hale gelse de, küçük boyutlu konutların tarihi çok eskiye uzanır. Tarih öncesi dönemde avcı-toplayıcı insanların barındığı basit kulübelerin ilk örneklerine Terra Amata (Nice/Fransa) sahilinde MÖ 380.000'e ait buluntularda rastlanmıştır. Kulübelerin orta kısmında, hem ısı kaynağı hem de mutfak işlevi gören bir şömine yer almaktadır. Tiny House'ların kökeni, Neolitik Çağ'da sabit yerleşimlerin başlamasıyla oluşan küçük, basit konutlara dayanır. Bu evler, merkezinde ocak bulunan dairesel yapılardır ve temel kanalizasyon sistemlerine sahiptir. Moğolların kullandığı hareketli yurtlar ve Kuzey Amerika yerlilerinin tipi çadırları, taşınabilir Tiny House örneklerindedir. Tiny house'lar 17. yüzyılda da Avrupa'da dolaşan Roman topluluklarının kullandığı tekerlekli ahşap çingene arabaları veya II. Dünya Savaşı sonrasında yapılan ekonomik ve taşınabilir prefabrik evler gibi benzer form ve işlevlerde tarih boyunca var olmuşlardır. 19. yüzyılda bazı yazarlar ve sanatçılar, küçük alanlarda yaşamayı tercih etmiş ve bu yaşam biçimini övgüyle benimsemiştir. Bu durum, zamanla küçük evlerde yaşamayı

bir yaşam tarzı haline getirmiş ve Tiny house anlayışının bir akım olarak benimsenmesine zemin hazırlamıştır. (Akdere, 2024)

“Tiny House Hareketi”, 2008-2012 Küresel Ekonomik Krizi sırasında batı ülkelerinde gelişmeye başlayan, daha küçük evlerde, daha ekonomik ve çevreye daha az zarar vererek yaşamak için fikir, mimari çözümler, ürün, ve dayanışma grupları geliştirme yönünde oluşan toplumsal harekettir (Akdere, 2024, s. 35).

Tiny house hareketi, yalnızca dar bir yaşam alanında barınmayı değil, aynı zamanda sade, bilinçli ve ölçülü bir yaşam tarzını benimsemeyi de içermektedir. İnsanların yaşam alanlarını küçültme, hayatlarını sadeleştirme ve daha az kaynakla yetinme yönündeki tercihleri, bu anlayışı zamanla toplumsal bir harekete dönüştürmüştür. Bu yaşam biçiminin arkasında yatan düşünce sistemi birçok değeri barındırmaktadır. Hareketin benimsenmesinde çeşitli etkenler rol oynamaktadır; ancak en popüler nedenler arasında mali kaygılar, daha fazla zaman ve özgürlük arzusu, çevresel kaygılar ve minimalizmin etkisi yer alır. (Akdere,2024 s:38)

Hareketin yaygınlaşmasındaki temel faktörlerden biri ekonomik kaygılardır. Özellikle ABD’de, ortalama büyüklükte bir ev almak insanların gelirlerinin büyük bir kısmını tüketmekte, yıllarca borç ödemelerine neden olmaktadır. 2008 mortgage krizi sonrası bu durum daha da netleşmiştir. Tiny House’lar ise yapım ve bakım maliyetleri açısından daha ekonomiktir. Ortalama maliyetleri 23.000 ila 100.000 dolar arasında değişmekle birlikte, bireylerin kendi evlerini yaratıcı çözümlerle çok daha düşük maliyetlerle inşa ettiği görülmektedir.

Tiny House felsefesinin temelinde yer alan özgürlük kavramının temelleri Henry David Thoreau’ya dayanır. Thoreau (2020), insanların hayatlarının en değerli zamanlarını büyük evler ve gereksiz eşyalar için çalışarak harcamalarını eleştirir. Ona göre küçük, basit bir yaşam, insanlara daha fazla boş zaman, özgürlük ve huzur sağlar. Tiny House hareketi, bireylerin maddi bağımlılıklarından kurtulup hayatlarını deneyimler ve ilişkiler üzerine kurmalarına imkân verir (Thoreau, 2020).

Hareketin önemli yönlerinden biri de çevresel sürdürülebilirliktir. Büyük evlerde enerji tüketimi ve karbon salınımı fazladır. Tiny House’larda kullanılan enerji çok

daha az olduğu için çevreye verilen zarar azalır. Ayrıca güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımıyla çevresel sürdürülebilirlik daha ileri seviyelere taşınabilir.

Tiny House hareketinin minimalizm ile bağlantısı güçlüdür. Minimalizm, gereksiz eşyalardan kurtularak hayatı basitleştirme ve önemli olanlara odaklanma felsefesidir. Bu felsefe, bireyin finansal yükünü azaltır, doğaya saygıyı teşvik eder ve hayatı daha anlamlı kılar. Tiny House yaşam tarzı, minimalizmi destekleyerek bireylerin özgürleşmesine ve bilinçli tercihler yapmasına olanak tanır.

4.1.2. Tiny House Türleri

Tez çalışmasında ele alınan tiny house türlerinin ortak noktası, mobil yani hareket edebilir nitelikte olmalarıdır. "Mobil" terimi, Türkçeye İngilizce "mobile" kelimesinden geçmiştir ve taşıma, yer değiştirme gibi anlamlara gelmektedir. "Mobilite" ise bu taşınabilirlik durumunu ifade eder; genel anlamıyla hareket edebilme, devinim içinde olma ve akışkanlık anlamlarını taşır. Mobilite kavramı, bireylerin fiziksel bir yerden başka bir yere ya da sosyal bir konumdan farklı bir duruma geçişini tanımlamak için kullanılmaktadır (Akgül, 2006, s. 3). Bir hacmin mobil mekan olarak nitelendirilebilmesi için, hareket etme yeteneğine sahip olması ve gerektiğinde konumunu değiştirebilmesi gerekir. Bu tür mobil yapılar, genellikle bir araç ile taşınabilen ya da doğrudan taşıt işlevi gören hareketli birimlerdir. Genel anlamda mobil mekanların kullanım amaçları; toplumun geleneksel yaşam şekline güvenliğe, coğrafi nedenlerden gezi ve tatil amaçlarına kadar geniş bir yelpazeye sahiptir (Tokol, 2016). Mobil olma özelliği ve boyutları ile Tiny house sınıfına sokabileceğimiz türlerden; kulube- kabin- bungalov, modüler ev ve konteynerler yapı ruhsatına tabi iken; karavanlar, yüzen ev ve tekerlekli tiny house'lar araç ruhsatı ile kullanılabilir. (Akdere, 2024)

Tekerlekli Tiny House (THOW)

"Tiny House on Wheels" (THOW), tekerlekli şasi üzerine kurulu olup, motorlu araçlar tarafından çekilebilen yapılardır. Genellikle karavanlardan daha geniş yaşam alanları sunan THOW'lar, kalıcı yaşam alanı olarak kullanılmak üzere tasarlanırlar. Bu yapılar,

karayollarında seyahat edebilmek için belirli yasal ölçütlere uygun olarak imal edilir ve ruhsatlandırılırlar. Karayolları yönetmeliklerine göre THOW'ların genişliği 2,50 metreyi, yüksekliği ise 4,20 metreyi geçemez.

THOW'lar, özellikle şehir yaşamından uzaklaşmayı tercih eden bireyler arasında popülerdir. İmarsız alanlarda veya karavan parklarında kolayca konumlandırılabilmeleri nedeniyle kullanıcılarına özgürlük, ekonomik yaşam ve çevre dostu bir hayat sunmaktadırlar (Şengül, 2019).

Modüler Tiny House

Modüler tiny house'lar, fabrika ortamında üretilen bağımsız modüllerin, istenilen yerlerde birleştirilmesi ile oluşturulan yapılardır. Tarihsel olarak modüler kavramı, mimarlıkta oranları ifade etmek için kullanılmış olsa da günümüzde bu terim, yapı bileşenlerinin hızlı, esnek ve ekonomik biçimde bir araya getirildiği sistemleri tanımlamaktadır (Koleri, 2020).

Modüler yapıların en önemli avantajı, montaj sürecindeki hız, düşük maliyet, tasarımda esneklik ve çevresel sürdürülebilirliktir. Ayrıca, bu tür yapıların fabrikasyon üretimi, geleneksel yöntemlere kıyasla atık üretimini önemli ölçüde azaltarak çevresel sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır. Modüler tiny house'lar, tasarımda kullanıcı taleplerine göre kişiselleştirilme olanağı sunar ve farklı kullanım senaryolarına uygun biçimde şekillenebilirler.

Kulübe, Kabin ve Bungalov

Kulübe, kabin ve bungalovlar, genellikle kırsal alanlarda, doğayla bütünleşmiş yaşam tarzını tercih eden bireyler için tasarlanan küçük ölçekli yapılardır. Kabin ve kulübe kavramları, başlangıçta basit yaşam koşullarına uygun, ahşap ağırlıklı malzemelerle yapılmış küçük yapıları ifade ederken, günümüzde modern tasarım ilkeleri ile birleşerek konforlu yaşam alanlarına dönüşmüşlerdir (Kurnalı & Koca, 2018).

Bu yapılar, geleneksel olarak yerel malzemeler kullanılarak zanaat teknikleriyle inşa edilmiş olsa da, günümüzde prefabrik ve modüler tekniklerle üretilmeleri yaygınlaşmıştır. Özellikle prefabrik üretim yöntemleri, hızlı kurulum, maliyet avantajı

ve yüksek enerji verimliliği gibi özellikleriyle modern tiny house yapılarında tercih sebebi olmaktadır. Prefabrik kulübe ve kabinler, yerinde kolayca monte edilip, gerektiğinde demonte edilerek taşınabilmektedirler (Yılmaz, 2017).

Akdere (2024, s. 53) ideal bir kulübenin özelliklerini şöyle tanımlamaktadır: Konumu gereği bireyin iş yaşamından ve toplumsal çevreden uzaklaşmasına olanak tanınmalı; dinlenmeye ve doğayla bütünleşmeye elverişli bir ortam sunmalıdır. Çeşitli işlevleri birleştirmek üzere açık, dönüştürülebilir ve esnek bir iç mekana sahip olmalıdır. Ergonomik tasarıma sahip mutfak, banyo ve tuvalet alanlarıyla donatılmış olmalıdır. Büyük pencere, kapı, teras ve veranda gibi mimari öğelerle iç ve dış mekan arasındaki sınırlar yumuşatılarak, doğanın iç mekana bütünleşik algılanması sağlanmalıdır. İç mekandaki konfor ve işlevsellik ile uyumlu bir dış tasarımı olmalı; bu dış kabuk hem yapının bütünlüğünü korumalı hem de çevresiyle estetik bir uyum içinde olmalıdır. Kullanıcının doğayla bağlantı kurabileceği, sade, özgürce zaman geçirebileceği ve rahatlık sunan bir yaşam alanı oluşturmalıdır. Bütün bu niteliklerin yanı sıra maliyet açısından da erişilebilir olmalıdır.

Karavanlar

Karavanlar, tarih boyunca göçebe kültürlerden modern mobil yaşam biçimlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Günümüzde karavanlar, geleneksel çekme karavanlar ve motorlu karavanlar (RV) olarak iki ana türde sınıflandırılır. Çekme karavanlar, araçlara bağlanarak taşınırken; motorlu karavanlar ise entegre motor sistemlerine sahiptir (Arı, 2019).

A Sınıfı karavanlar, otobüs tarzında yapılar tasarlanmış, geniş yaşam alanları ve lüks donanımlarıyla öne çıkan en büyük ve en konforlu karavan tipidir. Bu tür araçlarda, park halindeyken iç mekanı genişletmeye yarayan çok sayıda açılabilir bölüm bulunmaktadır. Van tipi olarak da bilinen B Sınıfı karavanlar ise daha küçük boyutlara sahip olup, dar alanlarda kolayca hareket edebilme özelliği sayesinde tek başına seyahat eden bireyler ya da küçük aileler için idealdir. C Sınıfı karavanlar ise A ve B sınıfının özelliklerini bir araya getirerek, orta büyüklükte bir yapı sunar ve konfor ile maliyet arasında dengeli bir alternatif sağlar (Akdere, 2024, s. 65).

Karavan yaşamı, ekonomik, sosyal ve çevresel avantajlarının yanı sıra hareket özgürlüğü ve minimalist yaşam tarzını teşvik eden bir kültürü de beraberinde getirmektedir. Özellikle pandemi sonrası dönemde, doğayla daha yakın bir yaşam talebi karavan kültürünü daha cazip hale getirmiştir.

Konteyner Tiny House

Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlüğü (Türk Dil Kurumu, 2025)'ne göre; konteyner ‘‘taşımalık’’, konteyner ev ise ‘‘taşınır ev’’ demektir. Hasol’a göre (2020, s. 276) , malların taşınmasında kullanılan, karayolu, demiryolu ya da suyolunda taşınmak üzere standartlaştırılmış büyüklükte metal sandık; bir diğer anlamı da hazır şantiye barakasıdır.

Konteyner evler, uluslararası yük taşımacılığında kullanılan konteynerlerin yaşam alanına dönüştürülmesiyle elde edilen yapılardır. Başlangıçta geçici yapılar olarak kullanılan konteynerler, dayanıklı yapıları ve modüler özellikleri sayesinde kalıcı yaşam alanları olarak tercih edilmeye başlanmıştır. Çelik konstrüksiyon yapıya sahip konteyner evler, sağlam, yangına dayanıklı ve sürdürülebilir olmaları ile öne çıkar.

Konteyner tiny house’lar, hızlı inşa edilme avantajının yanı sıra, istenildiğinde genişletilebilme veya farklı mekân kurgularına dönüştürülebilme gibi özellikler taşırlar. Ancak, izolasyon sorunları ve boyut sınırlılıkları nedeniyle bu evlerin tasarımı sırasında ek yalıtım sistemleri ve yaratıcı iç mekân çözümleri uygulanması gerekebilir.

Yüzen evler; altyapı kurulumu için yüksek maliyetler gerektirmesi, düzenli bakım ihtiyaçları ve güvenlik konusunda oluşturduğu endişeler ile birlikte, ülkemizde bu yapılara ilişkin yasal çerçevenin net olmaması sebebiyle çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

Sadece dinlenme amacıyla kullanılan uyku kapsülleri ya da yalnızca çalışma amacı güden konteyner ofisler gibi tek fonksiyonlu yapılar ile içerisinde banyo, tuvalet ve mutfak gibi temel yaşamsal birimleri barındırmayan geçici barakalar, konut niteliği taşımadığı için kapsam dışı bırakılmıştır.

Çok katlı binalarda yer alan stüdyo daireler, loft yapılar veya bir artı bir daireler gibi küçük metrekarelere sahip, genellikle taş ya da tuğla gibi kalıcı malzemelerle yerinde inşa edilen konutlar ise mobilite özelliği bulunmadığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Ayrıca, çadırlar, motokaravanlar ya da 750 kilogram altı olduğu için ruhsat gerektirmeyen çekme karavanlar da daha çok kamp hayatına, gezgin yaşama ve sürekli hareket etmeye yönelik kullanıldıkları için inceleme dışı tutulmuştur.

Özetle, bu tür yapılar; tiny house hareketinin temelini oluşturan özgürlük, çevresel duyarlılık ve minimalist yaşam anlayışıyla örtüşmediğinden bu tez kapsamında ele alınmamıştır.

4.1.3. Tiny House Seçim problemi kriterleri

Tiny house için belirlenen kriterler aşağıda açıklanmıştır:

Teknik altyapı (Tesisat, Aydınlatma, Isısal konfor, Havalandırma ve Akustik)

Tiny house'ların kompakt yapısı, tesisat sistemlerinin işlevsel, yerden tasarruf sağlayan ve çevre dostu olacak şekilde planlanmasını zorunlu kılmaktadır.

Su tesisatı, hem temiz su temini hem de atık suyun uzaklaştırılması açısından iki temel bileşene ayrılır. Basınçlı sistemler genellikle taşınabilir tiny house'larda tercih edilirken, sabit yapılar şehir şebekesine bağlanabilmektedir. Atık su sistemleri, gri ve siyah su ayrımı ile sürdürülebilir kullanım hedeflenmektedir. Tiny house'larda su kaynakları olarak su depoları ve kuyular kullanılmaktadır. Su depoları özellikle yağmur suyu toplama açısından avantaj sağlarken, su kuyuları sürekli kaynak sağlayarak şehir şebekesinden bağımsız bir yaşam sunar. Atık su bertarafında sızdırmalı ve sızdırmaz fosseptik sistemler, kasetli sistemler ve çevreci bir çözüm olan kompost tuvaletler gibi farklı alternatifler mevcuttur.

Elektrik tesisatı ise tiny house'larda hem güvenlik hem de enerji verimliliği açısından özel önem taşımaktadır. Enerji tasarruflu cihazlar, LED aydınlatmalar ve akıllı yönetim sistemleri, enerji tüketimini optimize ederek uzun vadede maliyetleri

düşürmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle güneş ve rüzgar enerjisi, tiny house'larda sürdürülebilir enerji ihtiyacının karşılanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Gaz tesisatı genellikle pişirme, ısınma ve sıcak su sağlama amaçlı kullanılır. LPG veya propan ile çalışan ocaklar, ısıtıcılar ve su ısıtma sistemleri yaygındır. Ancak gaz kullanımını yüksek güvenlik önlemleri gerektirir; sızıntı dedektörleri, havalandırma sistemleri ve düzenli bakım bu sistemlerin ayrılmaz parçalarıdır.

Aydınlatma, tiny house yaşam kalitesi üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılan aydınlatma sistemlerinde, doğal ışığın maksimum düzeyde kullanılması hem enerji tasarrufu sağlar hem de yaşam alanlarını daha ferah gösterir. Geniş cam yüzeyler, açık plan düzenlemeler ve çatı pencereleri doğal ışık kullanımını artırırken, yapay aydınlatmada LED lambalar tercih edilerek hem estetik hem de fonksiyonellik sağlanmaktadır.

Tiny house'larda havalandırma, küçük hacimli mekanlarda temiz hava sirkülasyonu sağlayarak nem, kötü koku ve hava kirliliğini önler. Pencereler, tavan fanları, menfezler ve klima sistemleri havalandırmanın temel elemanlarını oluşturur.

Isısal konfor için yalıtım hayati önemdedir. Isı kaybını önlemek ve iç mekanda stabil sıcaklık sağlamak amacıyla cam yünü, taş yünü, EPS ve XPS gibi malzemeler tercih edilir. Ayrıca doğal yalıtım malzemeleri de çevreci çözümler sunar. Isıtma-soğutma sistemleri arasında split klima, mini sobalar, yerden ısıtma, taşınabilir klima cihazları gibi seçenekler bulunmaktadır. Enerji verimli sistemler tercih edilerek hem çevreye duyarlı bir yapı sağlanır hem de maliyetler düşürülür.

Akustik konfor, küçük yaşam alanlarında daha da önemli hale gelir. Yankı ve gürültü kontrolü için akustik paneller, yalıtım levhaları, kalın perdeler ve halılar gibi ses emici malzemeler kullanılır. Mobilya seçimi ve yerleşimi de akustik düzenlemeye katkı sağlar. Dış seslerin azaltılması ve iç mekandaki sesin kalitesinin artırılması, yaşam konforunu büyük ölçüde iyileştirir.

Emniyet

Konut güvenliği, bireylerin huzurlu ve emniyetli bir yaşam sürebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Hırsızlık, yangın, doğal afetler ve dijital tehditler gibi riskler, konut güvenliğini tehlikeye atan unsurlar arasında yer almaktadır. Bu tehlikeleri önlemek adına yangın alarmı, güvenlik kameraları, sağlam kilit sistemleri ve elektronik güvenlik çözümleri gibi çeşitli önlemler alınmalıdır. Ayrıca, bireylerin kendi sorumluluklarını yerine getirmesi kadar toplumun ve yerel yönetimlerin de iş birliği içinde hareket etmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda yapılan bilinçlendirme çalışmaları, güvenli yaşam alanlarının oluşmasına katkı sunmaktadır.

Malzeme ve konstrüksiyon

Tiny house yapımında malzeme seçimi, çevresel etki, enerji verimliliği, dayanıklılık ve maliyet gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak dikkatle yapılmalıdır. Ahşap, estetik ve yalıtım özellikleri sayesinde sıkça tercih edilirken, kütük, kereste, kontrplak, MDF ve sunta gibi türevleri de yaygın biçimde kullanılmaktadır. Thermowood gibi işlemlerle dayanıklılığı artırılan ahşaplar, dış mekanlarda da tercih edilir. Çelik ise hafifliği, mukavemeti ve yangına dayanıklılığı ile mobil yapılar için uygun bir seçenektir. Beton, sağlamlık ve yangına karşı dayanım sağlasa da, ağırlığı nedeniyle taşınabilirlik açısından sınırlıdır. İzolasyon malzemeleri arasında taş yünü, polistiren köpükler ve doğal lifler (kenevir, pamuk gibi) yer almaktadır. Geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı da sürdürülebilirlik açısından önem kazanmıştır. Tiny house'ların iskeleti genellikle ahşap veya çelik konstrüksiyonla oluşturulur; prefabrik paneller veya geleneksel marangozluk teknikleri bu süreçte kullanılabilir. Ayrıca, alüminyum ve karbon fiber gibi hafif ve güçlü modern malzemeler de yapımda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu çeşitlilik, tiny house yapımında hem işlevselliği hem de çevresel duyarlılığı mümkün kılar.

Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik; çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları bir arada ele alan, doğal kaynakların bilinçli ve dengeli kullanımını esas alan bir ilkeler bütünüdür. Bu ilkeler; enerji verimliliği, sosyal adalet, kaynak yönetimi ve ekonomik denge gibi alanlarda

rehberlik etmektedir. Tiny House hareketi, bu ilkeleri destekleyen, sade yaşamı ve çevre dostu çözümleri teşvik eden bir yaklaşımdır. Küçük yaşam alanları; daha az enerji ve su tüketimi, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, alternatif enerji sistemleri ve doğayla uyumlu tasarımlar gibi unsurları temel alan bir yaşam anlayışını yansıtmaktadır. Ayrıca, sosyal bağları güçlendiren yapısıyla da toplumsal sürdürülebilirliğe katkı sunmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi, banyo ve lavabo suyu gibi az kirli evsel atık suların bahçe sulama, tuvalet sifonu şeklinde yeniden kullanılmasını sağlayan Gri su sistemleri gibi çözümlerle, çevresel etkiler azaltılmakta ve uzun vadeli ekonomik tasarruf sağlanmaktadır. Tiny House'lar bu yönleriyle sürdürülebilir geleceğe yönelik önemli bir alternatif konut modeli sunmaktadır.

İşlevsellik

Tiny house tasarımlarında insanın fiziksel sınırlarına uygun, konforlu ve işlevsel yaşam alanları oluşturmak temel hedefler arasında yer almaktadır. Bu tür yaşam alanlarında ergonomi, mekânsal verimlilik ve esneklik ön planda tutulmaktadır. Ergonomi, kullanıcıların en az eforla ve sağlıklı biçimde günlük eylemlerini gerçekleştirebileceği biçimde iç mekân düzeninin oluşturulmasını amaçlar. İnsan boyutlarına göre belirlenen standartlar, konut içinde yapılacak tüm eylemler için minimum alan gereksinimlerini tanımlar.

Tiny house'larda yaşam alanının sınırlı olması, iç mekânın çok işlevli kullanımını zorunlu kılar. Bu bağlamda katlanabilir mobilyalar, modüler sistemler ve yerden tasarruf sağlayan depolama çözümleri öne çıkmaktadır. Yatak altı saklama alanları, duvara monte edilen raflar ya da açılır kapanır masa-sandalyeler gibi öğeler, alanı daha işlevsel hale getirir. Ayrıca, hareketli, yarı hareketli ve sabit mobilyaların birlikte kullanımını ile hem esnek hem de düzenli mekânlar oluşturulabilir.

Mekân biçimlenişi tasarım sürecinde kullanıcı gereksinimlerinin, etkinliklerin sıklığının ve mahremiyet ihtiyacının dikkate alınması gerekmektedir. Uyku, yeme, çalışma gibi temel işlevler için ayrılmış alanlar; kullanım yoğunluğuna göre planlanmalı ve gerektiğinde bir arada kullanılabilir hale getirilmelidir. Esnek planlama, aynı mekânda birden fazla işlevin karşılanmasını sağlar. Açık plan tasarımı,

hareketli bölmeler ve akıllı sistemler bu esnekliği destekleyen yöntemler arasında yer almaktadır.

Modern iç mimarlık anlayışı, işlevselliği ön planda tutmakta; en azda yaşam ilkesiyle, mekânların sade ama kullanışlı biçimde düzenlenmesini teşvik etmektedir. Bu doğrultuda tiny house'lar, sınırlı alanda kaliteli ve sürdürülebilir bir yaşam sunma potansiyeline sahiptir.

Estetik

Estetik, Yunanca kökenli bir terim olup insanın duyuvar aracılığıyla edindiği algılara dayalı deneyimleri ifade etmektedir. Güzellik olgusuyla bağlantılı olan bu kavram; sanat, doğa ve yaratıcılık gibi alanlarda ortaya çıkan deneyimlerin değerlendirilmesini konu edinir. Estetik, bireylerin güzelliği nasıl algıladığını, buna dair ölçütleri ve duygusal tepkileri araştırır. Felsefi açıdan da önemli olan kavram, 18. yüzyılda sistematik biçimde ele alınarak düşünsel bir gelenek haline gelmiştir (De Bolla, 2006).

Tiny house tasarımlarının estetik açıdan nitelikli olması, kullanıcıların yaşam kalitesini artırmayı ve ruh sağlığı üzerinde olumlu etkiler oluşturmayı amaçlamaktadır. Estetik değer taşıyan yapıların, yalnızca bireysel düzeyde değil, aynı zamanda çevresel bağlamda da pozitif etkiler yaratabileceği; bunun yanı sıra taşınmazın piyasa değerini yükseltebileceği düşünülmektedir. Yapının dış cephesi, görsel algı açısından ilk izlenimi belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Mimari açıdan estetik bir dış tasarıma sahip olan tiny house'un, benzer ölçülerdeki ve benzer donanıma sahip yapılarla karşılaştırıldığında daha yüksek düzeyde kullanıcı ilgisi uyandıracığı ve tercih edilme olasılığının artacağı öngörülmektedir.

Mahremiyet ve Etkileşim

Mahremiyet, bireylerin hem fiziksel hem de duygusal sınırlarını koruma ihtiyacını ifade eder ve mimaride çeşitli tasarım stratejileriyle sağlanmaktadır. Tiny house tasarımlarında sınırlı alanlar nedeniyle açık plan çözümler öne çıksa da mahremiyet ihtiyacı bölücülerle desteklenir. Tam veya kısmi bölücüler, asma katlar ve işlevsel mobilyalar bu ihtiyacı karşılamak için kullanılmaktadır. Tiny house toplulukları ise sürdürülebilirlik, minimalizm ve dayanışma gibi ortak değerlerle şekillenir. Ortak

kullanım alanları ve kaynak paylaşımı sayesinde hem sosyal etkileşim artar hem de ekonomik ve çevresel avantajlar elde edilir.

Maliyet

Maliyet, bir ürünün tasarımından üretimine ve kullanıcıya ulaşmasına kadar geçen süreçteki tüm harcamaların toplamıdır. Bu harcamalar; malzeme, işçilik ve genel giderler olmak üzere üç ana başlıkta toplanmaktadır. Malzeme, ham, yarı mamul ve mamul öğeleri içerirken; işçilik doğrudan ve dolaylı çalışanların ücretlerini kapsar. Genel giderler ise kira, enerji, vergi, nakliye, bakım ve reklam gibi işletme masraflarını içerir. Ayrıca üretim sırasında ortaya çıkan fireler de maliyet analizinde dikkate alınmalı, bu kayıplar titizlikle hesaplanarak üretim sürecinin verimliliği değerlendirilmelidir (Akdere, 2024).

Yukarıda Tiny house kavramı, türleri ve değerlendirme kriterleri açıklanmıştır. Bu aşamada belirlenen alternatif seti, ilgili kriterler doğrultusunda sezgisel bulanık TOPSIS ve sezgisel bulanık VIKOR yöntemleriyle değerlendirilecek ve sıralanacaktır.

Uygulamada kullanılacak alternatifler ve kriterler Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 'de sunulmuştur. Kriterlerin fayda ya da maliyet türünde olup olmadığı da tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Tiny house seçiminde kullanılacak olan alternatifler

A₁	Tekerlekli Tiny House (THOW)
A₂	Modüler Tiny house
A₃	Kulübe - Kabin - Bungalov
A₄	Karavan
A₅	Konteyner Tiny house

Tablo 4.2. Alternatif değerlendirmelerinde kullanılacak kriterler ve turleri

K₁	Teknik Altyapı	fayda
K₂	Emniyet	fayda
K₃	Malzeme ve Konstrüksiyon	fayda
K₄	Sürdürülebilirlik	fayda
K₅	İşlevsellik	fayda
K₆	Estetik	fayda
K₇	Mahremiyet ve Etkileşim	fayda
K₈	Maliyet	maliyet

Yöntemlerin uygulamasına geçilmeden önce ilgili yöntemlerde kullanılacak değerlendirme ölçeklerine yer verilmiştir. Bu ölçekler Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te sunulmuştur (Yıldırım, 2019).

Tablo 4.3. Karar verici ve kriter değerlendirmeleri için dilsel terimler ve sezgisel bulanık sayı değerleri

Dilsel Terimler	IFN($\mu; \nu; \pi$)
Oldukça Önemli (OÖ+)	(0,90; 0,10; 0,00)
Önemli (Ö+)	(0,75; 0,20; 0,05)
Orta(O)	(0,50; 0,45; 0,05)
Önemsiz(Ö-)	(0,35; 0,60; 0,05)
Oldukça Önemsiz(OÖ-)	(0,10; 0,90; 0,00)

Tablo 4.4. Alternatif değerlendirmeleri için dilsel terimler ve sezgisel bulanık sayı değerleri

Dilsel Terimler	IFN($\mu; \nu; \pi$)
Çok İyi (Çİ)	(0,75; 0,10; 0,15)
İyi (İ)	(0,60; 0,25; 0,15)
Orta (O)	(0,50; 0,50; 0,00)
Kötü (K)	(0,25; 0,60; 0,15)
Çok Kötü (ÇK)	(0,10; 0,75; 0,15)

Bu bölümün devamında, Tiny house seçimine ilişkin belirlenen alternatifler, belirlenen kriterler doğrultusunda önce sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilecek olup alternatif sıralamaları elde edilecek ve ardından sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile alternatifler sıralanacaktır. Kullanılacak olan iki yöntemin çözümleri belirli bir adıma kadar aynıdır, seyreden adımlarda çözümler farklılaşmaktadır. Her iki yöntemde karar probleminde değerlendirme aşamasında kullanılacak olan dilsel değişkenler ve bunlara karşılık gelen sezgisel bulanık sayılar belirlenir. İkinci adım olarak karar vericilerin önem dereceleri belirlenir. Kriterler karar vericiler tarafından

sezgisel bulanık dilsel değişkenler yardımıyla değerlendirilerek SBAO operatörü yardımıyla birleştirilir ve kriter ağırlıkları elde edilir. Bu noktadan sonraki adımlar yöntemler arasında farklılık göstermektedir.

4.2. Sezgisel Bulanık TOPSIS Yöntemi İle Alternatiflerin Sıralanması

Adım 1. Karar verici değerlendirmeleri için kullanılacak olan dilsel terimler ve bunlara karşılık gelen sezgisel bulanık sayı değerleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 ile belirlenmiştir.

Adım 2. Karar vericilerin ağırlıkları belirlenir.

Karar vericilerin önem dereceleri Tablo 4.5 'teki gibi belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Karar vericilerin önem dereceleri

Karar vericiler	Önem dereceleri	IFN($\mu; \nu; \pi$)
KV ₁	OÖ+	(0,90; 0,10; 0,00)
KV ₂	OÖ+	(0,90; 0,10; 0,00)
KV ₃	Ö+	(0,75; 0,20; 0,05)

$j = 1,2, \dots, 8 \rightarrow$ kriter sayısı,

$i = 1,2, \dots, 5 \rightarrow$ alternatif sayısı,

$l = 1,2,3 \rightarrow$ karar verici sayısı olmak üzere Eşitlik 3.3 kullanılarak karar verici ağırlıkları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\lambda_1 = \frac{\mu_1 + \pi_1 \left(\frac{\mu_1}{\mu_1 + \nu_1} \right)}{\sum_{k=1}^3 \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}$$

$$= \frac{0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10} \right)}{0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10} \right) + 0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10} \right) + 0,75 + 0,05 \cdot \left(\frac{0,75}{0,75+0,20} \right)}$$

$$= 0,3476 ,$$

$$\lambda_2 = \frac{\mu_3 + \pi_3 \left(\frac{\mu_3}{\mu_3 + \nu_3} \right)}{\sum_{k=1}^3 \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right) \right)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10}\right)}{0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10}\right) + 0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10}\right) + 0,75 + 0,05 \cdot \left(\frac{0,75}{0,75+0,20}\right)} \\
&= 0,3476 , \\
\lambda_3 &= \frac{\mu_2 + \pi_2 \left(\frac{\mu_2}{\mu_2+v_2}\right)}{\sum_{k=1}^3 \left(\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k+v_k}\right)\right)} \\
&= \frac{0,75 + 0,05 \cdot \left(\frac{0,75}{0,75+0,20}\right)}{0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10}\right) + 0,90 + 0 \cdot \left(\frac{0,90}{0,90+0,10}\right) + 0,75 + 0,05 \cdot \left(\frac{0,75}{0,75+0,20}\right)} \\
&= 0,3049 .
\end{aligned}$$

Karar vericilerin önem derecelerine bağlı olarak hesaplanan ağırlıkları aşağıda Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Karar vericilerin ağırlıkları

Karar vericiler	Önem dereceleri	Hesaplanan Ağırlıklar
KV ₁	(0,90; 0,10; 0,00)	0,348
KV ₂	(0,90; 0,10; 0,00)	0,348
KV ₃	(0,75; 0,20; 0,05)	0,305

Adım 3. Karar vericilerin, Tablo 4.3’teki sözel değişkenleri kullanarak kriterlerin önem derecelerine ilişkin yaptıkları değerlendirmeler, Tablo 4.7’de sunulmuştur

Tablo 4.7. Karar vericilerin kriter değerlendirmeleri

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
KV ₁	Ö+	Ö+	ÖÖ+	Ö+	ÖÖ+	O	O	Ö+
KV ₂	Ö+	Ö+	Ö+	O	Ö+	Ö+	Ö+	ÖÖ+
KV ₃	Ö+	ÖÖ+	O	ÖÖ+	ÖÖ+	Ö+	Ö+	ÖÖ+

Adım 4. Karar vericilerin ağırlıkları ile kriterlere ilişkin değerlendirmeler, Eşitlik 2.51’de verilen SBAO operatörü aracılığıyla birleştirilmiş, böylece kriter ağırlıkları sezgisel bulanık sayı olarak elde edilmiştir. Aşağıda, örnek olarak Emniyet

(K₂) ile Mahremiyet ve Etkileşim (K₇) kriterlerine ilişkin ağırlık hesaplamaları sunulmuştur.

$$w_2 = SBAO_\lambda(w_2^{(1)}, w_2^{(2)}, w_2^{(3)}),$$

$$w_2 = \left[\begin{array}{c} 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - \mu_2^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^3 (v_2^{(k)})^{\lambda_k} \\ \prod_{k=1}^3 (1 - \mu_2^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^3 (v_2^{(k)})^{\lambda_k} \end{array} \right],$$

$$w_2 = \left[\begin{array}{c} 1 - (1 - \mu_2^{(1)})^{\lambda_1} \cdot (1 - \mu_2^{(2)})^{\lambda_2} \cdot (1 - \mu_2^{(3)})^{\lambda_3}, \\ (v_2^{(1)})^{\lambda_1} \cdot (v_2^{(2)})^{\lambda_2} \cdot (v_2^{(3)})^{\lambda_3}, \\ (1 - \mu_2^{(1)})^{\lambda_1} \cdot (1 - \mu_2^{(2)})^{\lambda_2} \cdot (1 - \mu_2^{(3)})^{\lambda_3} - (v_2^{(1)})^{\lambda_1} \cdot (v_2^{(2)})^{\lambda_2} \cdot (v_2^{(3)})^{\lambda_3} \end{array} \right],$$

$$= \left[\begin{array}{c} 1 - (1 - 0,75)^{0,348} \cdot (1 - 0,75)^{0,348} \cdot (1 - 0,9)^{0,305}, \\ (0,2)^{0,348} \cdot (0,2)^{0,348} \cdot (0,1)^{0,305}, \\ (1 - 0,75)^{0,348} \cdot (1 - 0,75)^{0,348} \cdot (1 - 0,9)^{0,305} - (0,2)^{0,348} \cdot (0,2)^{0,348} \cdot (0,1)^{0,305} \end{array} \right],$$

$$w_2 = (0,811; 0,162; 0,027).$$

$$w_7 = \left[\begin{array}{c} 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - \mu_7^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^3 (v_7^{(k)})^{\lambda_k} \\ \prod_{k=1}^3 (1 - \mu_7^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^3 (v_7^{(k)})^{\lambda_k} \end{array} \right],$$

$$= \left[\begin{array}{c} 1 - (1 - 0,5)^{0,348} \cdot (1 - 0,75)^{0,348} \cdot (1 - 0,75)^{0,305}, \\ (0,45)^{0,348} \cdot (0,2)^{0,348} \cdot (0,2)^{0,305}, \\ (1 - 0,5)^{0,348} \cdot (1 - 0,75)^{0,348} \cdot (1 - 0,75)^{0,305} - (0,45)^{0,348} \cdot (0,2)^{0,348} \cdot (0,2)^{0,305} \end{array} \right],$$

$$w_7 = (0,682; 0,265; 0,053).$$

Elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Kriter ağırlıklarının sezgisel bulanık değerleri

	Sezgisel bulanık ağırlık değerleri
w₁	(0,750; 0,200; 0,050)
w₂	(0,811; 0,162; 0,027)
w₃	(0,775; 0,201; 0,023)
w₄	(0,759; 0,215; 0,026)
w₅	(0,862; 0,127; 0,010)
w₆	(0,682; 0,265; 0,053)
w₇	(0,682; 0,265; 0,053)
w₈	(0,862; 0,127; 0,010)

Adım 5. Karar verici değerlendirmeleri, Tablo 4.4'te verilen dilsel terimler kullanılarak alınmış ve elde edilen alternatif değerlendirmeleri Tablo 4.9-4.11 ile sunulmuştur. Karar vericilerin her bir kriter altındaki alternatiflere yönelik değerlendirmeleri karar vericilerin önem dereceleri dikkate alınarak SBAO operatörü yardımıyla birleştirilerek birleştirilmiş karar matrisi elde edilmiştir. Bu matrise ilişkin veriler Tablo 4.12'de yer almaktadır.

Tablo 4.9. Karar verici 1'in kriterler altında alternatif değerlendirmeleri

		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
KV_1	A_1	Çİ	İ	O	İ	İ	Çİ	İ	Çİ
	A_2	İ	O	O	İ	İ	O	İ	İ
	A_3	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ	Çİ	O	İ
	A_4	K	Çİ	O	K	K	İ	O	O
	A_5	O	İ	İ	İ	O	K	K	İ

Tablo 4.10. Karar verici 2'nin kriterler altında alternatif değerlendirmeleri

		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
KV_2	A_1	İ	Çİ	İ	O	İ	İ	İ	Çİ
	A_2	İ	İ	İ	İ	O	İ	İ	O
	A_3	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	O
	A_4	K	K	O	O	O	İ	O	O
	A_5	K	O	O	O	K	O	K	O

Tablo 4.11. Karar verici 3'ün kriterler altında alternatif değerlendirmeleri

		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
KV_3	A_1	İ	Çİ	İ	Çİ	İ	İ	Çİ	İ
	A_2	İ	İ	Çİ	İ	O	İ	İ	İ
	A_3	Çİ	İ	Çİ	Çİ	O	İ	O	İ
	A_4	Çİ	K	Çİ	O	O	İ	Çİ	O
	A_5	K	O	İ	K	O	K	O	O

Tablo 4.12. Birleştirilmiş karar matrisi

	K₁	K₂	K₃	K₄
A₁	(0,66; 0,18; 0,16)	(0,71; 0,14; 0,16)	(0,57; 0,32; 0,11)	(0,63; 0,24; 0,13)
A₂	(0,60; 0,25; 0,15)	(0,57; 0,32; 0,11)	(0,63; 0,24; 0,13)	(0,60; 0,25; 0,15)
A₃	(0,71; 0,14; 0,16)	(0,66; 0,18; 0,16)	(0,71; 0,14; 0,16)	(0,71; 0,14; 0,16)
A₄	(0,46; 0,35; 0,19)	(0,49; 0,32; 0,19)	(0,60; 0,31; 0,10)	(0,42; 0,53; 0,04)
A₅	(0,35; 0,56; 0,09)	(0,54; 0,39; 0,07)	(0,57; 0,32; 0,11)	(0,48; 0,42; 0,11)
	K₅	K₆	K₇	K₈
A₁	(0,60; 0,25; 0,15)	(0,66; 0,18; 0,16)	(0,65; 0,19; 0,16)	(0,71; 0,13; 0,16)
A₂	(0,54; 0,39; 0,07)	(0,57; 0,32; 0,11)	(0,60; 0,25; 0,15)	(0,57; 0,32; 0,11)
A₃	(0,64; 0,22; 0,14)	(0,71; 0,13; 0,16)	(0,54; 0,39; 0,07)	(0,57; 0,32; 0,11)
A₄	(0,42; 0,53; 0,04)	(0,60; 0,25; 0,15)	(0,60; 0,31; 0,10)	(0,50; 0,50; 0,00)
A₅	(0,42; 0,53; 0,04)	(0,35; 0,56; 0,09)	(0,34; 0,57; 0,10)	(0,54; 0,39; 0,07)

$$\tilde{x}_{ij} = \begin{pmatrix} 1 - \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^l (v_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k}, \\ \prod_{k=1}^l (1 - \mu_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^l (v_{\tilde{x}_{ij}^{(k)}})^{\lambda_k} \end{pmatrix}$$

eşitliği kullanılarak birleştirilmiş karar matrisinin elemanları elde edilir.

Örnek olarak, Karavan (A₄) alternatifinin Estetik (K₆) kriteri açısından değerlendirilmesine ilişkin hesaplamalar aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{46} &= \begin{pmatrix} 1 - \prod_{k=1}^3 (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(k)}})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^3 (v_{\tilde{x}_{46}^{(k)}})^{\lambda_k}, \\ \prod_{k=1}^3 (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(k)}})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^3 (v_{\tilde{x}_{46}^{(k)}})^{\lambda_k} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 1 - (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(1)}})^{\lambda_1} \cdot (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(2)}})^{\lambda_2} \cdot (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(3)}})^{\lambda_3}, \\ (v_{\tilde{x}_{46}^{(1)}})^{\lambda_1} \cdot (v_{\tilde{x}_{46}^{(2)}})^{\lambda_2} \cdot (v_{\tilde{x}_{46}^{(3)}})^{\lambda_3}, \\ (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(1)}})^{\lambda_1} \cdot (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(2)}})^{\lambda_2} \cdot (1 - \mu_{\tilde{x}_{46}^{(3)}})^{\lambda_3} - (v_{\tilde{x}_{46}^{(1)}})^{\lambda_1} \cdot (v_{\tilde{x}_{46}^{(2)}})^{\lambda_2} \cdot (v_{\tilde{x}_{46}^{(3)}})^{\lambda_3} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 1 - (1 - 0,6)^{0,348} \cdot (1 - 0,6)^{0,348} \cdot (1 - 0,6)^{0,305}, \\ (0,25)^{0,348} \cdot (0,25)^{0,348} \cdot (0,25)^{0,305}, \\ 1 - (1 - 0,6)^{0,348} \cdot (1 - 0,6)^{0,348} \cdot (1 - 0,6)^{0,305} - (0,25)^{0,348} \cdot (0,25)^{0,348} \cdot (0,25)^{0,305} \end{pmatrix} \\ &= (0,6, 0,25, 0,15). \end{aligned}$$

Adım 6. Kriter ağırlıkları, birleştirilmiş karar matrisi ile Eşitlik 3.8 aracılığıyla çarpılarak ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi \tilde{X}' elde edilmiş ve Tablo 4.13'te sunulmuştur.

Tablo 4.13. Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisi

	K₁	K₂	K₃	K₄
A₁	(0,50; 0,35; 0,16)	(0,57; 0,28; 0,15)	(0,44; 0,46; 0,10)	(0,47; 0,40; 0,12)
A₂	(0,45; 0,40; 0,15)	(0,46; 0,43; 0,11)	(0,48; 0,39; 0,12)	(0,46; 0,41; 0,13)
A₃	(0,53; 0,31; 0,16)	(0,54; 0,31; 0,15)	(0,55; 0,31; 0,14)	(0,54; 0,32; 0,14)
A₄	(0,35; 0,48; 0,17)	(0,40; 0,43; 0,17)	(0,46; 0,45; 0,09)	(0,32; 0,63; 0,04)
A₅	(0,26; 0,65; 0,09)	(0,49; 0,40; 0,07)	(0,44; 0,46; 0,10)	(0,36; 0,54; 0,10)
	K₅	K₆	K₇	K₈
A₁	(0,52; 0,35; 0,14)	(0,45; 0,40; 0,15)	(0,45; 0,40; 0,15)	(0,61; 0,24; 0,14)
A₂	(0,46; 0,47; 0,07)	(0,39; 0,50; 0,11)	(0,41; 0,45; 0,14)	(0,49; 0,40; 0,11)
A₃	(0,55; 0,32; 0,13)	(0,49; 0,36; 0,15)	(0,37; 0,55; 0,08)	(0,49; 0,40; 0,11)
A₄	(0,37; 0,59; 0,04)	(0,41; 0,45; 0,14)	(0,41; 0,49; 0,10)	(0,43; 0,56; 0,01)
A₅	(0,37; 0,59; 0,04)	(0,24; 0,68; 0,08)	(0,23; 0,68; 0,09)	(0,46; 0,47; 0,07)

Ağırlıklı birleştirilmiş karar matrisinin elemanları aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\begin{aligned}\tilde{X}' &= W \otimes \tilde{X} \\ &= (\mu'_{ij}, v'_{ij}, \pi'_{ij}) \\ &= \{(x, \mu_{ij} \cdot \mu_j, v_{ij} + v_j - v_{ij} \cdot v_j, 1 - \mu_{ij} \cdot \mu_j - v_{ij} - v_j + v_{ij} \cdot v_j) | x \in X\}.\end{aligned}$$

Örneğin $\tilde{x}'_{23} = (\tilde{\mu}'_{23}, \tilde{v}'_{23}, \tilde{\pi}'_{23})$ için hesaplama aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}\tilde{x}'_{23} &= (\tilde{\mu}'_{23}, \tilde{v}'_{23}, \tilde{\pi}'_{23}) \\ &= (\mu_{23} \cdot \mu_3, v_{23} + v_3 - v_{23} \cdot v_3, 1 - \mu_{23} \cdot \mu_3 - v_{23} - v_3 + v_{23} \cdot v_3), \\ \tilde{x}'_{23} &= (0,63 \cdot 0,775; 0,24 + 0,201 - 0,24 \cdot 0,201; 1 - 0,63 \cdot 0,775 - 0,24 - \\ &\quad 0,201 + 0,24 \cdot 0,201), \\ \tilde{x}'_{23} &= (0,48; 0,39; 0,12).\end{aligned}$$

Adım 7. Eşitlik 3.9 – 3.16 kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler belirlenmiştir. K_8 ile gösterilen Maliyet kriteri dışındaki tüm kriterler fayda yönlü olarak

değerlendirilmiştir. Her kriter sütununda yer alan sezgisel bulanık sayılar arasından, kümeye ait olma derecesini ifade eden μ bileşeni en yüksek olan değer (maliyet kriteri için ise en düşük μ değeri) seçilerek pozitif ideal çözüm aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$A^* = [(0,53; 0,31; 0,16), (0,57; 0,28; 0,15), (0,55; 0,31; 0,14), (0,54; 0,32; 0,14), \\ (0,55; 0,32; 0,13), (0,49; 0,36; 0,15), (0,45; 0,40; 0,15), (0,43; 0,56; 0,01)].$$

Her kriter sütununda yer alan sezgisel bulanık sayılar arasından, kümeye ait olma derecesini ifade eden μ bileşeni en küçük olan değer (maliyet kriteri için ise en büyük μ değeri) seçilerek negatif ideal çözüm aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

$$A^- = [(0,26; 0,65; 0,09), (0,40; 0,49; 0,11), (0,44; 0,46; 0,10), (0,32; 0,63; 0,04), \\ (0,37; 0,59; 0,04), (0,24; 0,68; 0,08), (0,23; 0,68; 0,09), (0,61; 0,24; 0,14)].$$

Adım 8. Bu adımda, her bir alternatifin pozitif ve negatif sezgisel bulanık ideal çözümlere olan uzaklıkları, Hamming mesafesi esas alınarak hesaplanmıştır. Bu doğrultuda, Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18 ile verilen formüller kullanılarak S_i^* ve S_i^- değerleri elde edilmiştir.

Örnek olarak, ikinci alternatifin pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ilgili eşitlikler kullanılarak aşağıda hesaplanmıştır:

$$S_i^* = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\tilde{\mu}'_{ij} - \tilde{\mu}_j^*| + |\tilde{\nu}'_{ij} - \tilde{\nu}_j^*| + |\tilde{\pi}'_{ij} - \tilde{\pi}_j^*|], \\ S_2^* = \frac{1}{2} [|0,45 - 0,53| + |0,40 - 0,31| + |0,15 - 0,16| + |0,46 - 0,57| \\ + |0,43 - 0,28| + |0,11 - 0,15| + |0,48 - 0,55| + |0,39 - 0,31| \\ + |0,12 - 0,14| + |0,46 - 0,54| + |0,41 - 0,32| + |0,13 - 0,14| \\ + |0,46 - 0,55| + |0,47 - 0,32| + |0,07 - 0,13| + |0,39 - 0,49| \\ + |0,50 - 0,36| + |0,11 - 0,15| + |0,41 - 0,45| + |0,45 - 0,40| \\ + |0,14 - 0,15| + |0,49 - 0,43| + |0,40 - 0,56| + |0,11 - 0,01|] \\ = 0,899,$$

$$S_i^- = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [|\tilde{\mu}'_{ij} - \tilde{\mu}_j^-| + |\tilde{\nu}'_{ij} - \tilde{\nu}_j^-| + |\tilde{\pi}'_{ij} - \tilde{\pi}_j^-|],$$

$$\begin{aligned}
S_2^- &= \frac{1}{2} [|0,45 - 0,26| + |0,40 - 0,65| + |0,15 - 0,09| + |0,46 - 0,40| \\
&\quad + |0,43 - 0,49| + |0,11 - 0,11| + |0,48 - 0,44| + |0,39 - 0,46| \\
&\quad + |0,12 - 0,10| + |0,46 - 0,32| + |0,41 - 0,63| + |0,13 - 0,04| \\
&\quad + |0,46 - 0,37| + |0,47 - 0,59| + |0,07 - 0,04| + |0,39 - 0,24| \\
&\quad + |0,50 - 0,68| + |0,11 - 0,08| + |0,41 - 0,23| + |0,45 - 0,68| \\
&\quad + |0,14 - 0,09| + |0,49 - 0,61| + |0,40 - 0,24| + |0,11 - 0,14|] \\
&= 1,297.
\end{aligned}$$

Tüm alternatiflerin pozitif ve negatif ideal çözümlere uzaklıkları Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14. Alternatiflerin ideal çözümlere uzaklıkları

Alternatifler	S_i^*	S_i^-
A ₁	0,649	1,554
A ₂	0,899	1,297
A ₃	0,346	1,856
A ₄	1,245	0,997
A ₅	1,874	0,360

Adım 9. Her bir alternatif için yakınlık katsayısı C_i^* , Eşitlik 3.19 yardımıyla hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.15'te sunulmuştur.

Tablo 4.15. Alternatiflerin yakınlık katsayıları (C_i^*)

Alternatifler	C_i^*
A ₁	0,705
A ₂	0,591
A ₃	0,843
A ₄	0,445
A ₅	0,161

Aşağıda, 3. alternatifte ait yakınsama katsayısının hesaplanmasına ilişkin örnek verilmiştir:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-}$$

$$C_3^* = \frac{S_3^-}{S_3^* + S_3^-} = \frac{1,856}{0,346 + 1,856} = 0,843.$$

Adım 10. Alternatiflerin yakınlık katsayısına göre sıralama sonuçları Tablo 4.16 ile verilmiştir.

Tablo 4.16. Alternatiflerin yakınlık katsayılarına göre sırası

Alternatifler	C_i^*	Sıralama
A_1	0,705	2
A_2	0,591	3
A_3	0,843	1
A_4	0,445	4
A_5	0,161	5

Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi sonucunda elde edilen yakınlık katsayılarına göre, en yüksek değere sahip alternatif en iyi seçenek olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, A_3 olarak ifade edilen Kulübe-Kabin-Bungalov alternatifi en yüksek C_i^* değerine sahip olduğundan en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla A_1 , A_2 , A_4 ve A_5 alternatifleri takip etmektedir. Sonuç olarak alternatiflerin sıralaması:

$$A_3 > A_1 > A_2 > A_4 > A_5$$

şeklinde elde edilmiştir.

4.3. Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemi ile alternatiflerin sıralanması

Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile elde edilen sonuçların, literatürde yer alan bir diğer yöntem olan sezgisel bulanık VIKOR ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırmanın sağlıklı bir biçimde yapılabilmesi için, TOPSIS uygulamasında kullanılan karar verici ağırlıkları ile kriter ve alternatiflere ilişkin değerlendirmeler aynen korunmuş ve VIKOR yöntemi için de aynı şekilde uygulanmıştır. Bu doğrultuda, sezgisel bulanık VIKOR yöntemine ait çözüm adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1. Karar verici değerlendirmeleri için kullanılacak olan ölçekler daha önce Sezgisel Bulanık TOPSIS yönteminde verilen Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 ile belirtilmiştir.

Adım 2. Karar vericilerin ağırlıkları belirlenir.

Karar vericilerin ağırlıkları önceki bölümde belirlenmiş, Tablo 4.6 ile verilmiştir.

Adım 3. Karar vericilerin kriter önem derecelerine ilişkin değerlendirmeleri, daha önce Tablo 4.7’de sunulduğu üzere, sezgisel bulanık sözel değişkenler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Adım 4. Karar vericilerin ağırlıkları ile kriter değerlendirmeleri, daha önce açıklandığı üzere Eşitlik 2.51 ile verilen SBAO operatörü ile birleştirilmiş ve kriter ağırlıkları sezgisel bulanık sayılar olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu kriter ağırlıkları Tablo 4.8 ile verilmiştir.

Adım 5. Sezgisel bulanık sayı biçiminde elde edilen kriter ağırlıkları durulaştırılarak, bunların kesin değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem, Eşitlik 3.23 kullanılarak gerçekleştirilmiş olup, aşağıda K_5 ile gösterilen işlevsellik kriterine ait durulaştırılmış ağırlığın hesaplanma örneği verilmiştir.

$$w_j = \mu_j + \mu_j(1 - \mu_j - v_j)$$

$$w_5 = 0,862 + 0,862(1 - 0,862 - 0,127) = 0,871$$

Benzer hesaplamalar tüm kriterler için uygulanmış olup, elde edilen durulaştırılmış ağırlık değerleri Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17. Durulaştırılmış kriter ağırlıkları

Kriterler	Durulaştırılmış Kriter Ağırlıkları
K_1	0,788
K_2	0,833
K_3	0,793
K_4	0,779
K_5	0,871
K_6	0,718
K_7	0,718
K_8	0,871
Toplam	6,372

Adım 6. Durulaştırılmış kriter ağırlıklarının toplamı 1'e eşit olmadığı için, bu ağırlıklar Eşitlik 3.24 yardımıyla normalize edilmiştir. Aşağıda, K_3 ile gösterilen malzeme ve konstrüksiyon kriterine ait normalleştirilmiş ağırlık değeri örnek olarak hesaplanmıştır.

$$\bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j},$$

$$\bar{w}_3 = \frac{w_3}{\sum_{j=1}^8 w_3},$$

$$= \frac{0,793}{0,788 + 0,833 + 0,793 + 0,779 + 0,871 + 0,718 + 0,718 + 0,871}$$

$$= 0,125.$$

Tüm kriterlerin normalleştirilmiş ağırlık değerleri Tablo 4.18'de verilmiştir:

Tablo 4.18. Normalleştirilmiş kriter ağırlıkları

Kriterler	Normalleştirilmiş Kriter Ağırlıkları
K_1	0,124
K_2	0,131
K_3	0,125
K_4	0,122
K_5	0,137
K_6	0,113
K_7	0,113
K_8	0,137
Toplam	1,000

Adım 7. Bu adımda, her bir alternatifin kriterler altındaki sezgisel bulanık değerlendirmeleri, karar vericiler tarafından dilsel terimlerle yapılmış ve SBAO operatörü yardımıyla birleştirilmiştir. Bu süreç, sezgisel bulanık TOPSIS yönteminde uygulanan adımla aynıdır. Karar vericilerin değerlendirme sonuçları Tablo 4.9-4.11'de, oluşturulan birleştirilmiş karar matrisi ise Tablo 4.12'de sunulmuştur.

Adım 8. Bu adımda, her bir kriter için alternatiflerin aldığı en iyi \tilde{x}_j^* ve en kötü \tilde{x}_j^- değerleri Eşitlik 3.28 ve Eşitlik 3.29 yardımıyla belirlenmiştir. K_8 ile gösterilen

maliyet kriteri maliyet yönlü olup, diğer tüm kriterler fayda yönlüdür. Fayda kriterlerinde μ bileşeni en yüksek olan, maliyet kriterinde ise en düşük μ bileşenine sahip sezgisel bulanık değer, en iyi sezgisel bulanık kriter değeri olarak belirlenmiştir. En kötü değer ise fayda kriterlerinde μ değeri en düşük, maliyet kriterinde ise en yüksek olan değer seçilerek belirlenmiştir. Tüm kriterler için elde edilen en iyi ve en kötü değerler Tablo 4.19’da gösterilmiştir.

Tablo 4.19. Kriterlerin en iyi ve en kötü sezgisel bulanık değerleri

Kriterler	En İyi Sezgisel bulanık Değer	En Kötü Sezgisel Bulanık Değer
K_1	(0,706; 0,138; 0,157)	(0,349; 0,563; 0,088)
K_2	(0,706; 0,138; 0,157)	(0,488; 0,393; 0,119)
K_3	(0,706; 0,138; 0,157)	(0,568; 0,318; 0,114)
K_4	(0,706; 0,138; 0,157)	(0,424; 0,533; 0,043)
K_5	(0,636; 0,225; 0,139)	(0,424; 0,533; 0,043)
K_6	(0,711; 0,132; 0,156)	(0,349; 0,563; 0,088)
K_7	(0,653; 0,189; 0,158)	(0,337; 0,568; 0,095)
K_8	(0,500; 0,500; 0,000)	(0,711; 0,132; 0,156)

Adım 9: Bu adımda, her bir alternatifin en iyi sezgisel bulanık değere olan toplam uzaklığı \tilde{S}_i ve en kötü sezgisel bulanık değere olan maksimum uzaklığı \tilde{R}_i hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar, Eşitlik 3.30 ve Eşitlik 3.31 kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Örnek olarak A_1 alternatifine ait \tilde{S}_1 ve \tilde{R}_1 değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \left[\tilde{w}_j * \left(\frac{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_{ij})}{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_j^-)} \right) \right],$$

$$\tilde{S}_1 = \sum_{j=1}^8 \left[\tilde{w}_j * \left(\frac{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_{1j})}{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_j^-)} \right) \right],$$

$$\tilde{S}_1 = \tilde{w}_1 * \left(\frac{d(\tilde{x}_1^*, \tilde{x}_{11})}{d(\tilde{x}_1^*, \tilde{x}_1^-)} \right) + \tilde{w}_2 * \left(\frac{d(\tilde{x}_2^*, \tilde{x}_{12})}{d(\tilde{x}_2^*, \tilde{x}_2^-)} \right) + \tilde{w}_3 * \left(\frac{d(\tilde{x}_3^*, \tilde{x}_{13})}{d(\tilde{x}_3^*, \tilde{x}_3^-)} \right) + \tilde{w}_4 * \left(\frac{d(\tilde{x}_4^*, \tilde{x}_{14})}{d(\tilde{x}_4^*, \tilde{x}_4^-)} \right)$$

$$\begin{aligned}
& + \tilde{w}_5 * \left(\frac{d(\tilde{x}_5^*, \tilde{x}_{15})}{d(\tilde{x}_5^*, \tilde{x}_5^-)} \right) + \tilde{w}_6 * \left(\frac{d(\tilde{x}_6^*, \tilde{x}_{16})}{d(\tilde{x}_6^*, \tilde{x}_6^-)} \right) + \tilde{w}_7 * \left(\frac{d(\tilde{x}_7^*, \tilde{x}_{17})}{d(\tilde{x}_7^*, \tilde{x}_7^-)} \right) + \tilde{w}_8 * \left(\frac{d(\tilde{x}_8^*, \tilde{x}_{18})}{d(\tilde{x}_8^*, \tilde{x}_8^-)} \right), \\
\tilde{S}_1 = & 0,124 * \left(\frac{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,660; 0,182; 0,158))}{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,349; 0,563; 0,088))} \right) + \\
& 0,131 * \left(\frac{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,706; 0,138; 0,157))}{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,488; 0,393; 0,119))} \right) + \\
& 0,125 * \left(\frac{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,568; 0,318; 0,114))}{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,568; 0,318; 0,114))} \right) + \\
& 0,122 * \left(\frac{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,625; 0,241; 0,134))}{d((0,706; 0,138; 0,157), (0,424; 0,533; 0,043))} \right) + \\
& 0,137 * \left(\frac{d((0,636; 0,225; 0,139), (0,600; 0,250; 0,150))}{d((0,636; 0,225; 0,139), (0,424; 0,533; 0,043))} \right) + \\
& 0,113 * \left(\frac{d((0,711; 0,132; 0,156), (0,660; 0,182; 0,158))}{d((0,711; 0,132; 0,156), (0,349; 0,563; 0,088))} \right) + \\
& 0,113 * \left(\frac{d((0,653; 0,189; 0,158), (0,653; 0,189; 0,158))}{d((0,653; 0,189; 0,158), (0,337; 0,568; 0,095))} \right) + \\
& 0,137 * \left(\frac{d((0,500; 0,500; 0,000), (0,711; 0,132; 0,156))}{d((0,500; 0,500; 0,000), (0,711; 0,132; 0,156))} \right), \\
\tilde{S}_1 = & 0,124 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,660| + |0,138 - 0,182| + |0,157 - 0,158|)}{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,349| + |0,138 - 0,563| + |0,157 - 0,088|)} \right) + \\
& 0,131 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,706| + |0,138 - 0,138| + |0,157 - 0,157|)}{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,488| + |0,138 - 0,393| + |0,157 - 0,119|)} \right) + \\
& 0,125 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,568| + |0,138 - 0,318| + |0,157 - 0,114|)}{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,568| + |0,138 - 0,318| + |0,157 - 0,114|)} \right) + \\
& 0,122 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,625| + |0,138 - 0,241| + |0,157 - 0,134|)}{\frac{1}{2}(|0,706 - 0,424| + |0,138 - 0,533| + |0,157 - 0,043|)} \right) + \\
& 0,137 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,636 - 0,600| + |0,225 - 0,250| + |0,139 - 0,150|)}{\frac{1}{2}(|0,636 - 0,424| + |0,225 - 0,533| + |0,139 - 0,043|)} \right) + \\
& 0,113 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,711 - 0,660| + |0,132 - 0,182| + |0,156 - 0,158|)}{\frac{1}{2}(|0,711 - 0,349| + |0,132 - 0,563| + |0,156 - 0,088|)} \right) +
\end{aligned}$$

$$0,113 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,653 - 0,653| + |0,189 - 0,189| + |0,158 - 0,158|)}{\frac{1}{2}(|0,653 - 0,337| + |0,189 - 0,568| + |0,158 - 0,095|)} \right) +$$

$$0,137 * \left(\frac{\frac{1}{2}(|0,500 - 0,711| + |0,500 - 0,132| + |0,000 - 0,156|)}{\frac{1}{2}(|0,500 - 0,711| + |0,500 - 0,132| + |0,000 - 0,156|)} \right),$$

$$\tilde{S}_1 = 0,013 + 0,000 + 0,125 + 0,032 + 0,016 + 0,013 + 0,000 + 0,137 = 0,037.$$

$$\tilde{R}_i = \max_j \left[\tilde{w}_j * \left(\frac{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_{ij})}{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_j^-)} \right) \right],$$

$$\tilde{R}_1 = \max_j \left[\tilde{w}_j * \left(\frac{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_{1j})}{d(\tilde{x}_j^*, \tilde{x}_j^-)} \right) \right],$$

$$\tilde{R}_1 = \max_j \left[\tilde{w}_1 * \left(\frac{d(\tilde{x}_1^*, \tilde{x}_{11})}{d(\tilde{x}_1^*, \tilde{x}_1^-)} \right), \tilde{w}_2 * \left(\frac{d(\tilde{x}_2^*, \tilde{x}_{12})}{d(\tilde{x}_2^*, \tilde{x}_2^-)} \right), \tilde{w}_3 * \left(\frac{d(\tilde{x}_3^*, \tilde{x}_{13})}{d(\tilde{x}_3^*, \tilde{x}_3^-)} \right), \tilde{w}_4 * \left(\frac{d(\tilde{x}_4^*, \tilde{x}_{14})}{d(\tilde{x}_4^*, \tilde{x}_4^-)} \right), \right.$$

$$\left. \tilde{w}_5 * \left(\frac{d(\tilde{x}_5^*, \tilde{x}_{15})}{d(\tilde{x}_5^*, \tilde{x}_5^-)} \right), \tilde{w}_6 * \left(\frac{d(\tilde{x}_6^*, \tilde{x}_{16})}{d(\tilde{x}_6^*, \tilde{x}_6^-)} \right), \tilde{w}_7 * \left(\frac{d(\tilde{x}_7^*, \tilde{x}_{17})}{d(\tilde{x}_7^*, \tilde{x}_7^-)} \right), \tilde{w}_8 * \left(\frac{d(\tilde{x}_8^*, \tilde{x}_{18})}{d(\tilde{x}_8^*, \tilde{x}_8^-)} \right) \right],$$

$$\tilde{R}_1 = \max_j [0,013; 0,000; 0,125; 0,032; 0,016; 0,013; 0,000; 0,137] = 0,137.$$

Tüm alternatiflere ait \tilde{S}_i ve \tilde{R}_i değerleri ise Tablo 4.20’de sunulmuştur.

Tablo 4.20. Alternatiflere ait grup faydası (\tilde{S}_i) ve bireysel pişmanlık (\tilde{R}_i) değerleri

Alternatifler	\tilde{S}_i	\tilde{R}_i
A_1	0,336	0,137
A_2	0,440	0,092
A_3	0,152	0,068
A_4	0,623	0,137
A_5	0,867	0,137

Adım 10: Bu adımda, her alternatif için maksimum grup faydası \tilde{S}_i^* , minimum grup faydası \tilde{S}_i^- , minimum bireysel pişmanlık \tilde{R}_i^* ve maksimum bireysel pişmanlık değeri \tilde{R}_i^- Eşitlik 3.32 ve Eşitlik 3.33 kullanılarak hesaplanmış; bu değerler yardımıyla her alternatifin toplam skor değeri olan \tilde{Q}_i değerleri, Eşitlik 3.34 aracılığıyla elde edilmiştir. Tüm alternatiflere ait skor değerlerine Tablo 4.21’de yer verilmiştir.

Skor değerlerinin hesaplanmasında kullanılacak olan \tilde{S}^* , \tilde{S}^- , \tilde{R}^* , \tilde{R}^- değerleri aşağıda belirtilmiştir:

$$\tilde{S}^* = \min_i \tilde{S}_i = 0,152,$$

$$\tilde{S}^- = \max_i \tilde{S}_i = 0,867,$$

$$\tilde{R}^* = \min_i \tilde{R}_i = 0,068,$$

$$\tilde{R}^- = \max_i \tilde{R}_i = 0,137.$$

\tilde{Q}_i değerinin hesaplamasında kullanılan v katsayısı, maksimum grup faydasının ağırlığını, $1 - v$ ise bireysel pişmanlık değerinin ağırlığını göstermektedir. Bu çalışmada grup faydası ve bireysel pişmanlığın eşit öneme sahip olduğu kabul edilerek v katsayısı 0,5 olarak belirlenmiştir.

Örnek olarak Modüler Tiny House (A_2) alternatifine ait skor değeri aşağıda hesaplanmıştır:

$$\tilde{Q}_i = v * \frac{(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*)}{(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*)} + (1 - v) * \frac{(\tilde{R}_i - \tilde{R}^*)}{(\tilde{R}^- - \tilde{R}^*)},$$

$$\tilde{Q}_2 = v * \frac{(\tilde{S}_2 - \tilde{S}^*)}{(\tilde{S}^- - \tilde{S}^*)} + (1 - v) * \frac{(\tilde{R}_2 - \tilde{R}^*)}{(\tilde{R}^- - \tilde{R}^*)},$$

$$= 0,5x \frac{(0,440 - 0,152)}{(0,867 - 0,152)} + 0,5x \frac{(0,092 - 0,068)}{(0,137 - 0,068)} = 0,381.$$

Tablo 4.21. Alternatiflere ait skor (\tilde{Q}_i) değerleri

Alternatifler	\tilde{Q}_i
A₁	0,629
A₂	0,381
A₃	0
A₄	0,829
A₅	1

Adım 11. Bu adımda, her alternatifine ait \tilde{S}_i , \tilde{R}_i ve \tilde{Q}_i değerleri kendi içinde küçükten büyüğe sıralanmış ve elde edilen sıralamalar Tablo 4.22’de gösterilmiştir.

Tablo 4.22. Alternatiflerin \tilde{S}_i , \tilde{R}_i ve \tilde{Q}_i değerlerine göre sıralanışı

Alternatifler	\tilde{S}_i	\tilde{R}_i	\tilde{Q}_i
A_1	2	3	3
A_2	3	2	2
A_3	1	1	1
A_4	4	4	4
A_5	5	5	5

Adım 12. Bu adımda, önceki hesaplamalarla elde edilen \tilde{Q}_i değerleri artan sıraya göre sıralanmış, en düşük değere sahip alternatifin uygun seçenek olarak kabul edilip edilemeyeceği iki temel koşul doğrultusunda değerlendirilmiştir.

- *Koşul 1: Kabul edilebilir avantaj*

En iyi \tilde{Q}_i değerine sahip alternatifin, ikinci en iyi alternatife göre anlamlı bir farkla önde olması gerekir. Bu farkın belirlenen eşik değeri aşıp aşmadığı Eşitlik 3.35 yardımıyla kontrol edilmiştir.

$$m = 5 \text{ ve } DQ = \frac{1}{1-m} = 0.25 \text{ olmak üzere,}$$

$$Q(A'') - Q(A') \geq DQ,$$

$$0,381 - 0.000 \geq 0.25.$$

En iyi alternatif, ikinci en iyi alternatife göre belirgin bir şekilde avantajlıdır.

- *Koşul 2: Kabul edilebilir istikrar*

Bu koşulda, en düşük \tilde{Q}_i değerine sahip alternatifin aynı zamanda \tilde{S}_i (grup faydası),

\tilde{R}_i (bireysel pişmanlık) sıralamalarından en az birinde ilk sırada yer alması beklenir.

Yapılan değerlendirmede:

- \tilde{S}_i sıralamasında: A_3 en düşük değere sahiptir.
- \tilde{R}_i sıralamasında: A_3 yine en düşük değere sahiptir.

Dolayısıyla, her iki koşulun sağlanmasıyla birlikte A_3 alternatifi, Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemine göre de en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

\tilde{Q}_i değerlerine ait nihai sıralama ise şu şekildedir:

$$A_3 > A_2 > A_1 > A_4 > A_5$$



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanlar, yaşamlarının çeşitli aşamalarında farklı seçenekler arasından tercih yapma ihtiyacıyla karşı karşıya kalmaktadır. Konut seçimi de bu kapsamda, yalnızca barınma ihtiyacını karşılamanın ötesinde; bireylerin yaşam kalitesini doğrudan etkileyen, çok yönlü ve çok kriterli bir karar verme problemidir. Teknik altyapının yeterliliği, estetik, maliyet ve sürdürülebilirlik gibi pek çok kriterin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gereklidir. Bu nedenle konut seçimi, farklı kriterlerin birlikte ele alındığı çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerinin tipik örneklerinden biridir. Alternatiflerin artması ve kullanıcı ihtiyaçlarının çeşitlenmesiyle birlikte Tiny House formundaki yapılar, son yıllarda dikkat çeken konut çözümleri arasında yer almakta; bu da alternatifler arasında kapsamlı bir değerlendirme sürecini zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada Tiny House türleri arasından en uygun alternatifin belirlenmesi amacıyla, 8 kriter altında 5 farklı alternatif değerlendirilmiştir. Teknik altyapı, emniyet, malzeme ve konstrüksiyon, sürdürülebilirlik, işlevsellik, estetik, mahremiyet ve etkileşim ile maliyet kriterleri doğrultusunda; Tekerlekli Tiny House (THOW), Modüler Tiny House, Kulübe-Kabin-Bungalov, Karavan ve Konteyner Tiny House alternatifleri karşılaştırılmıştır.

Karar ortamındaki belirsizliklerin daha sağlıklı bir şekilde modellenebilmesi için sezgisel bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, karar vericilerin değerlendirmelerindeki belirsizlik ve kararsızlık düzeylerini daha gerçekçi biçimde yansıtma imkânı sunarak, karar sürecinin güvenilirliğini ve esnekliğini artırmaktadır. Bu doğrultuda, çok kriterli karar verme problemlerine yönelik literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiş olsa da, bu çalışmada Sezgisel Bulanık TOPSIS ve Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemlerinin tercih edilmesinin temel nedeni, her iki yöntemin de alternatifleri ideal çözüme olan uzaklıklarına göre sıralamaya dayalı yapıya sahip olmasıdır. Araştırmada amaç, birden fazla kriter altında en uygun alternatifin belirlenmesi olduğundan, bu iki yöntemin sunduğu mesafeye dayalı sıralama yaklaşımı, problem yapısıyla örtüşmektedir. Bunun yanında, kriter

ağırlıklarını hesaplayarak karar sürecine dâhil edebilmesi, yöntemin daha işlevsel olmasını ve daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlamaktadır.

Yapılan değerlendirmelerde Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemine göre en yüksek ağırlık değerine sahip kriterlerin K_5 (işlevsellik) ve K_8 (maliyet) olduğu görülmüştür. Bu iki kriter, eşit ağırlık değeriyle karar vericiler tarafından en öncelikli ölçütler olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu kriterleri sırasıyla K_2 (emniyet) , K_3 (malzeme ve konstrüksiyon), K_4 (sürdürülebilirlik) ve K_1 (teknik altyapı) takip etmektedir. K_6 (Estetik) ile K_7 (mahremiyet ve etkileşim) kriterleri ise en düşük ağırlıklara sahip olup, karar vericiler nezdinde görece daha az önemsenen ölçütler arasında yer almıştır. Benzer şekilde, Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemine göre elde edilen kriter ağırlıkları da büyük ölçüde aynı sıralamayı ortaya koymuştur. K_5 (işlevsellik) ve K_8 (maliyet) bu yöntemde de eşit ağırlıklarla en önemli kriterler olarak öne çıkmıştır. Bu kriterleri yine K_2 (emniyet) , K_3 (malzeme ve konstrüksiyon), K_1 (teknik altyapı) ve K_4 (sürdürülebilirlik) izlemiştir. K_6 (estetik) ile K_7 (mahremiyet ve etkileşim) kriterleri her iki yöntemde de son sırada yer alarak, karar sürecinde daha düşük öneme sahip olarak değerlendirilmiştir.

Sezgisel Bulanık TOPSIS yöntemine göre en iyi alternatif Kulübe-Kabin-Bungalov olarak bulunmuştur. Bu alternatifi sırasıyla Tekerlekli Tiny House (THOW) , Modüler Tiny House, Karavan, Konteyner alternatifleri takip etmektedir.

Sezgisel Bulanık VIKOR yöntemine göre ise sıralama Kulübe-Kabin-Bungalov, Modüler Tiny House, Tekerlekli Tiny House (THOW), Karavan, Konteyner Tiny House şeklindedir. Her iki yöntemde de Kulübe-Kabin-Bungalov alternatifi en iyi, Konteyner Tiny House ise en düşük performansa sahip alternatif olarak değerlendirilmiştir.

Sıralamadaki fark, Modüler Tiny House ve Tekerlekli Tiny House alternatifleri arasında görülmektedir. Bu farkın temelinde, TOPSIS'in yalnızca ideal çözüme olan mesafeyi göz önünde bulundurmasına karşılık, VIKOR'un uzlaşmacı bir yaklaşım benimsemesi ve hem grup faydasını hem de bireysel pişmanlığı dikkate alması yatmaktadır.

Uygulama sonuçlarına göre Kulübe-Kabin-Bungalov, özellikle teknik altyapı, malzeme ve konstrüksiyon, sürdürülebilirlik, işlevsellik ve estetik kriterlerinde yüksek performans sergilemiştir. Buna karşılık, emniyet, mahremiyet ve etkileşim ile maliyet kriterlerinde diğer alternatiflere göre daha düşük performans göstermiştir. Bu durum, bazı sınırlılıklarına rağmen bu alternatifin genel performans açısından dengeli ve güçlü bir çözüm sunduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, aynı veri seti ile uygulanan her iki yöntemin benzer sonuçlar vermesi, Sezgisel Bulanık TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini desteklemektedir. Tiny House seçim problemi özelinde bu iki yöntemin birlikte uygulanarak karşılaştırılması, literatürde bu açıdan yapılan ilk uygulama niteliğindedir. Gelecek çalışmalarda, karar verici sayısı artırılarak sezgisel bulanık TOPSIS ve VIKOR gibi çok kriterli karar verme yöntemlerinin yanı sıra, sezgisel bulanık EDAS, WASPAS, AHP gibi çok kriterli karar verme yöntemleri de Tiny House seçim problemine uygulanabilir; böylece alternatiflerin değerlendirilmesinde daha kapsayıcı ve güvenilir sonuçlara ulaşılması mümkün olabilir.

KAYNAKÇA

- Akdere, A. (2024). *Tiny house kavramı üzerine kullanım sonrası değerlendirme: Esnek hacimli bir model önerisi* [Sanatta Yeterlik Tezi, Marmara Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Akgül, A. (2006). *Mimarlıkta mobilite kavramı: Göçebe Çingeneler ve sirk yaşamı üzerine bir inceleme* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://polen.itu.edu.tr/items/190b98d5-e785-48a1-bdf8-4f0b849e1f38>
- Alkan, T., & Durduran, S. S. (2020). Konut seçimi sürecinin AHP temelli TOPSIS yöntemi ile analizi. *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(2), 12–21. <https://dx.doi.org/10.47112/neufmbd.2020.2>
- Arı, E. (2019). *Mobil mekân kavramı kapsamında taşınabilir mekân organizasyonu* [Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. Necmettin Erbakan Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://acikerisim.erbakan.edu.tr/items/3506dee5-f6cf-4417-b7df-8a269279f749>
- Atan, M., & Yılmaz, E. (2020). Karar verme ve karar teorisi. M. Atan & Ş. Altan (Ed.), *Örnek uygulamalarla çok kriterli karar verme yöntemleri* içinde (s. 3-18). Gazi Kitabevi.
- Atanassov, K. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20(1), 87-96. doi:10.1016/S0165-0114(86)80034-3
- Atanassov, K., Gargov G. (1999). *Intuitionistic fuzzy sets: Theory and applications*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1870-3>
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363–11368. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.03.039>
- Boyraz, E. (2021). Nitel Karar Verme. A. Tüzemen, & E. Aslan (Ed.), *Karar vericinin el kitabı* içinde (s. 27–75). Seçkin Yayıncılık.
- Bustince, H., Barrenechea, E., Pagola, M., Fernandez, J., Xu, Z., Bedregal, B., Montero, J., Hagraş, H., Herrera, F., & De Baets, B. (2015). A historical account of types of fuzzy sets and their relationships. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 24(1), 179-194. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2015.2451692>
- Canpolat, M. (2019). *Yazılım seçiminde küresel bulanık TOPSIS yöntemi ile çok kriterli karar verme* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yök Açık Bilim. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/632906>
- Chen, S.-J. (2000). Extension of the TOPSIS for group decision making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- Chou, T.-Y., Hsu, C.-L., & Chen, M.-C. (2008). A fuzzy multi-criteria decision model for international tourist hotels location selection. *International Journal of Hospitality Management*, 27(2), 293–301. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2007.07.029>
- Çelikkilek, Y., & Özdemir, M. (2020). *Çok kriterli karar verme yöntemleri: Açıklamalı ve karşılaştırmalı sağlık bilimleri uygulamaları ile*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Davarzani, H., & Khorheh, M. A. (2013). A novel application of intuitionistic fuzzy sets theory in medical science: Bacillus colonies recognition. *Artificial Intelligence Research*, 2(2), 1–17. <https://doi.org/10.5430/air.v2n2p1>
- De Bolla, P. (2006). *Sanat ve estetik* (K. Koş, Çev.). Ayrıntı Yayınları.
- De, S. K., Biswas, R., & Roy, A. R. (2000). Some operations on intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(3), 477–484. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00191-2)
- Ecer, F. (2020). *Çok Kriterli Karar Verme*. Seçkin Yayıncılık.
- Efe, B., Boran, F. E., & Kurt, M. (2015). Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak ergonomik ürün konsept seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 433–440.
- Es, H. A., & Hatipoğlu, M. (2022). Çok kriterli grup karar verme problemleri için sezgisel bulanık SAW yönteminin genişletilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 142–153. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.892962>

- Esen, U. (2023). *Sezgisel bulanık tabanlı karar verme yöntemiyle personel seçimi üzerine bir uygulama* [Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Hasol, D. (2020). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü* (18. bs.). Yem Yayıncılık.
- İşbilen Yücel, L. (2018). *Bulanık Teorinin Ekonometrik Uygulamaları: Kayıt Dışı Ekonominin Bulanık Regresyon Analizi İle Tahmini Örneği*. Der Yayınları.
- Kahraman, C., Öztayşi, B., & Çevik Onar, S. (2024). *Bulanık Kümeler ve Uzantıları*. İTÜ Yayınevi.
- Karakaşoğlu, N. (2008). *Bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ve uygulama* [Yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi]. Pamukkale Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://gcris.pau.edu.tr/bitstream/11499/2963/1/Nilsen%20Karaka%C5%9Fo%C4%9Flu%20.pdf>
- Karaşan, A. (2016). *Lojistik köy yer seçiminde sezgisel bulanık bütünlük bir çok ölçütlü yöntem önerisi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://polen.itu.edu.tr/items/7d6b98bb-0812-40f5-b68e-b217ada3dec8>
- Ke, D., Song, Y., & Quan, W. (2018). New distance measure for Atanassov's intuitionistic fuzzy sets and its application in decision making. *Symmetry*, 10(10), 429. <https://doi.org/10.3390/sym10100429>
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice Hall PTR.
- Koleri, Ş. (2020). *Modüler sistem kullanılarak geliştirilen üretken tasarım yaklaşımı: Geçici afet konutlarının biçim grameri yöntemi ile türetilmesi* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. Gazi Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://avesis.gazi.edu.tr/yonetilen-tez/1550531e-5871-41d2-9855-9dcfa8ebb3ec/moduler-sistem-kullanilarak-gelistirilen-uretken-tasarim-yaklasimi-gecici-afet-konutlarinin-bicim-grameri-yontemi-ile-turetimi>
- Kurnalı, M., & Koca, D. (2018). Mimarlıkta bir mekan üretim aracı olarak kabin. *Ulakbilge Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(22), 297-319. <https://doi.org/10.7816/ulakbilge-06-22-04>
- Liao, H., & Xu, Z. (2017). *Hesitant fuzzy decision making methodologies and applications*. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Liu, H. W., & Wang, G. J. (2007). Multi-criteria decision making methods based on intuitionistic fuzzy sets. *European Journal of Operational Research*, 179(1), 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.009>
- Lu, J., Zhang, G., Ruan, D., & Wu, F. (2007). *Multi-objective group decision making: Methods, software and applications with fuzzy set techniques* (Vol. 6). Imperial College Press.
- Mizumoto, M., & Tanaka, K. (1981). Fuzzy sets and their operations. *Information and Control*, 48(1), 30–48. [https://doi.org/10.1016/s0019-9958\(81\)90578-7](https://doi.org/10.1016/s0019-9958(81)90578-7)
- Mondal, S. P., & Mandal, M. (2017). Pentagonal fuzzy number, its properties and application in fuzzy equation. *Future Computing and Informatics Journal*, 2(2), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.fcij.2017.09.001>
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00020-1)
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020>
- Özarslan, E. (2023). *Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle kurumsal kaynak planlama sistemlerinin karşılaştırılması* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi]. İstanbul Gelişim Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://acikerisim.gelisim.edu.tr/items/6ece3fa2-96f1-44fa-a590-c0d2477cf8eb>
- Özbek, A. (2021). *Çok kriterli karar verme yöntemleri ve Excel ile problem çözümü: Kavram - teori - uygulama* (3. bs.). Seçkin Yayıncılık.
- Pedrycz, W., Ekel, P., & Parreiras, R. (2011). *Models and algorithms of fuzzy multicriteria decision-making and their applications*. John Wiley & Sons.
- Ross, T. J. (2004). *Fuzzy logic with engineering applications* (2. bs.). John Wiley & Sons.
- Saaty, T. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytical hierarchy process*. RWS Publications.

- Susanka, S. (1998). *The Not So Big House*. The Taunton Press
- Shu, M.-H., Cheng, C.-H., & Chang, J.-R. (2006). Using intuitionistic fuzzy sets for fault-tree analysis on printed circuit board assembly. *Microelectronics Reliability*, 46(12), 2139–2148. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2006.01.007>
- Şengül, G. (2019). *Zamanın değişen ihtiyaçlarına karşı mekansal arayışlar: Tiny house örneği* [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. Marmara Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://avesis.marmara.edu.tr/yonetilen-tez/7e5f4982-d5d8-43a8-af27-d8175ff67360/mobil>
- Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(3), 505–518. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(98\)00244-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(98)00244-9)
- Thoreau, H. D. (2020). *Doğal Yaşam ve Başkaldırı: Sivil İtaatsizlik Makalesi ve Walden Gölü* (S. Çiftçi, Çev.). Kaknüs Yayınları.
- Tırmıkçıoğlu Çınar, N. (2021). Sezgisel bulanık TOPSIS kullanılarak solunum cihazı seçimi. E. Aydemir (Ed.), *Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar - 1* içinde (s. 157-170). Eğitim Yayınevi.
- Tokol, T. (2016). *Motokaravan örneğinde mobil mekân ve insan ilişkisi*. 2. Sanat ve Tasarım Kongresi içinde (s.122-123). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi.
- Url-1 < <https://sozluk.gov.tr/> >, erişim tarihi 14.04.2025.
- Xu, Z. S. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1179–1187. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2006.890678>
- Xu, Z. S., & Yager, R. R. (2006). Some geometric aggregation operators based on intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of General Systems*, 35(4), 417–433. <https://doi.org/10.1080/03081070600574353>
- Yalçın, S. (2020). *Sezgisel bulanık TOPSIS yöntemiyle portföy seçimi: BIST’de bir uygulama* [Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Açık Bilim. <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/57519>
- Yıldırım, B. F. (2019). Kredi kartı platformlarının sezgisel bulanık TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi. *BDDK Bankacılık ve Finansal Piyasalar Dergisi*, 13(1), 37–58.
- Yılmaz, B. (2017). *Tasarım evresinin hafif çelik modüler kutu sistemli yapıların yaşam döngüsü sürecine etkilerinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Açık Erişim Sistemi. <https://acikerisim.msgsu.edu.tr/xmlui/handle/20.500.14124/1383?show=full>
- Yılmaz, Ö., & Yakut, E. (2021). *Bulanık ve Klasik Uygulamalar ile Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri: Bankacılık Sektöründe Finansal Performans Araştırması*. Gazi Kitabevi.
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1973). *The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning* (Rapor No. ERL-M411). Electronics Research Laboratory, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Zimmermann, H. J. (2001). *Fuzzy set theory and its applications* (4. bs.). Springer Science. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0646-0>