

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM SONRASI YANGIN RİSKLERİNİN BULANIK
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE
ANALİZİ VE İNSANSIZ HAVA ARACI MÜDAHALESİ İÇİN
KENDİNİ ÖRGÜTLEYEN HARİTALAR İLE KÜMELEME
YAKLAŞIMI**

Pelin GÜLÜM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

Haziran, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM SONRASI YANGIN RİSKLERİNİN BULANIK
ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE
ANALİZİ VE İNSANSIZ HAVA ARACI MÜDAHALESİ İÇİN
KENDİNİ ÖRGÜTLEYEN HARİTALAR İLE KÜMELEME
YAKLAŞIMI**

Pelin GÜLÜM tarafından hazırlanan tez çalışması 08.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Endüstri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şükran ŞEKER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih YİĞİT, Üye

İstanbul AREL Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Deprem Sonrası Yangın Risklerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analizi ve İnsansız Hava Aracı Müdahalesi için Kendini Örgütleyen Haritalar ile Kümeleme Yaklaşımı başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Pelin GÜLÜM

İmza

Aileme
ve
hayat arkadaşına



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca vaktini ve sabrını benden esirgemeyen, değerli yorumları ve yönlendirmeleri ile her anlamda destek ve anlayışını hissettiğim danışmanım sayın Prof.Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında sonsuz ilgi ve sevgilerini hissettiren aileme, çalışma boyunca gösterdiği sabır ve destek için hayat arkadaşıma ve bu çalışmanın daha nitelikli olmasında emeği büyük olan Araş. Gör. Ertuğrul AYYILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Pelin GÜLÜM

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ	iiix
TABLO LİSTESİ	xi
HARİTA LİSTESİ	xiii
ÖZET	xivv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	2
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Orijinal Katkı.....	4
2 DEPREM SONRASI YANGINLAR	6
2.1 Dünyada Deprem Sonrası Yangınlar.....	8
2.2 Türkiye’de Deprem Sonrası Yangınlar	13
2.3 İstanbul ve Deprem Sonrası Yangınlar.....	16
2.4 Deprem Sonrası Yangın Riskleri Literatür Araştırması.....	18
2.5 ÇKKV Yöntemleri ve Afet Riskleri	21
3 İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE AFETLERDE KULLANIMI	28
3.1 İHA Türleri ve Özellikleri	33
3.2 Deprem ve Yangınlarda İHA Kullanımı.....	36
4 DEPREM SONRASI YANGIN RİSKLERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK YÖNTEMLER	41
4.1 Bulanık Sayı Kümeleri	41
4.1.1 Pisagor Bulanık Kümeler	43
4.1.2 Aralık Değerli Nötrosifik Kümeler.....	46
4.2 ÇKKV Yöntemleri.....	51
4.2.1 Pisagor Bulanık AHP Yöntemi	51
4.2.2 Aralık Değerli Nötrosifik AHP Yöntemi.....	52
4.2.3 Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi	53
4.2.4 Aralık Değerli Nötrosifik TOPSIS Yöntemi.....	55
4.2.5 Modifiye Delfi Yöntemi	56

4.3 KÖH İle Kümeleme Yaklaşımı.....	57
4.3.1 Yapay Sinir Ağları	59
4.3.2 KÖH Özellikleri ve Çalışma Prensipleri.....	68
5 İSTANBUL İLİ UYGULAMASI	74
5.1 Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS İle Risk Değerlendirmesi	79
5.2 Aralık Değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS İle Risk Değerlendirmesi.....	90
5.3 Önerilen Risk Değerlendirme Yöntemlerine İlişkin Duyarlılık Analizleri..	98
5.3.1 Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS Duyarlılık Analizi	99
5.3.2 Aralık Değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS Duyarlılık Analizi.....	101
5.4 Risk Analizi Yöntemleri Uygulama Sonuçları ve Karşılaştırması	102
5.5 Deprem Sonrası Yangınlar İçin KÖH ile Kümeleme Uygulaması	103
5.5.1 Kümeleme İçin Belirlenen Değişkenler ve Verisetleri.....	104
5.5.2 Kartal İçin KÖH Kümeleme Uygulaması ve Sonuçları.....	110
5.5.3 Pendik İçin KÖH Kümeleme Uygulaması ve Sonuçları.....	116
5.5.4 Tuzla İçin KÖH Kümeleme Uygulaması ve Sonuçları.....	120
5.6 KÖH İle Kümeleme Uygulaması Sonuçları.....	125
6 SONUÇLAR	126
KAYNAKÇA	128
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	140

SİMGE LİSTESİ

$\tilde{P}$	Pisagor Bulanık Küme
μ_p	Pisagor Bulanık Küme Üye Olma Derecesi
ν_p	Pisagor Bulanık Küme Üye Olmama Derecesi
E	Evrensel Küme
$\tilde{A}$	Aralık Değerli Nötrosofik Küme
T_A	Nötrosofik Küme Doğruluk Üyelik Fonksiyonu
I_A	Nötrosofik Küme Belirsizlik Üyelik Fonksiyonu
F_A	Nötrosofik Küme Yanlışlık Üyelik Fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
BAF	Batı Anadolu Fay Hattı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DAF	Doğu Anadolu Fay Hattı
EBD	En Çok Benzeşen Düğüm
İHA	İnsansız Hava Aracı
KAF	Kuzey Anadolu Fay Hattı
KÖH	Kendini Örgütleyen Haritalar
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to An Ideal Solution

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Deprem sonrası tutuşma kaynakları.....	7
Şekil 3.1	Dört aşamalı afet döngüsü.....	29
Şekil 3.2	Sabit kanatlı, döner kanatlı ve multikopter İHA örnekleri.....	33
Şekil 4.1	Klasik ve bulanık küme temsili	42
Şekil 4.2	Bulanık kümelerin kronolojik uzantıları	43
Şekil 4.3	Sezgisel ve Pisagor üyelik alanlarının karşılaştırılması.....	44
Şekil 4.4	Modifiye Delfi metodu uygulama döngüsü	57
Şekil 4.5	Biyolojik sinir hücresi	60
Şekil 4.6	Nörotransmitter maddeler ile sinir hücresinde bilgi akışı.....	61
Şekil 4.7	Yapay sinir hücresi.....	62
Şekil 4.8	Yapay sinir ağlarının genel yapısı	65
Şekil 4.9	Tek katmanlı algılayıcı modeli.....	67
Şekil 4.10	Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli.....	68
Şekil 4.11	Örnek bir KÖH ağı.....	69
Şekil 4.12	Komşuluk bölgesinin zamana bağlı değişimi.....	71
Şekil 4.13	KÖH’de nöronlar ve ağırlıklarının gösterimi	72
Şekil 4.14	KÖH eğitiminin başlaması	72
Şekil 4.15	KÖH eğitim aşamasında ağırlıkların güncellenmesi.....	73
Şekil 5.1	Deprem sonrası yangın riskleri için problem hiyerarşisi.....	79
Şekil 5.2	Nötrosofik AHP-TOPSIS risk değerlendirme yöntemi akış şeması	91
Şekil 5.3	Pisagor bulanık AHP-TOPSIS yöntemi duyarlılık analizi grafiği	99
Şekil 5.4	Hamming ve Öklid mesafelerine göre ilçelerin risk sıralaması	101
Şekil 5.5	Kartal, Pendik ve Tuzla ilçeleri konumları	105
Şekil 5.6	Kartal ilçesi için kurulan KÖH ağ yapısı	111
Şekil 5.7	Kartal ilçesi için topoloji ve komşuluk bağlantıları görselleri.....	111
Şekil 5.8	Kartal ilçesi için örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiği	112
Şekil 5.9	Kartal ilçesi için oluşan kümelerin gösterimi.....	113
Şekil 5.10	Kartal ilçesi için girdi düzlemleri grafiği	114
Şekil 5.11	Pendik ilçesi için kurulan KÖH ağ yapısı.....	117
Şekil 5.12	Pendik ilçesi için topoloji ve komşuluk bağlantıları görselleri.....	117
Şekil 5.13	Pendik ilçesi için örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiği	118

Şekil 5.14	Pendik ilçesi için girdi düzlemleri grafiği.....	120
Şekil 5.15	Tuzla ilçesi için kurulan KÖH ağ yapısı	120
Şekil 5.16	Tuzla ilçesi için topoloji ve komşuluk bağlantıları görselleri	122
Şekil 5.17	Tuzla ilçesi için örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiği	122
Şekil 5.18	Tuzla ilçesi için girdi düzlemleri grafiği.....	124



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Dünyadaki bazı büyük depremler	8
Tablo 2.2	Tarihten deprem sonrası yangınlar ve zararları	12
Tablo 2.3	1900-2011 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş depremler	14
Tablo 2.4	Marmara Denizi ve çevresinin etkileyen bazı depremler	16
Tablo 2.5	1961-2020 arasındaki deprem sonrası yangın çalışmaları	19
Tablo 2.6	Doğal afet riskleri ve ÇKKV yaklaşımları	22
Tablo 3.1	Afet yönetimi aşamalarında İHA kullanımına yönelik çalışmalar ...	31
Tablo 3.2	İHA türleri ve özellikleri	34
Tablo 3.3	Özelliklerine göre bazı İHA modelleri	35
Tablo 4.1	Biyolojik ve yapay sinir sistemi bölümleri	61
Tablo 4.2	Aktivasyon fonksiyonları örnekleri	63
Tablo 5.1	Deprem sonrası yangın riskleri için kriter hiyerarşisi	75
Tablo 5.2	Pisagor bulanık değerlendirme ölçeği	80
Tablo 5.3	Ana kriterler için uzlaşılmış Pisagor değerlendirme matrisi	80
Tablo 5.4	Alt kriterler için uzlaşılmış dilsel değerlendirme matrisleri	81
Tablo 5.5	Pisagor AHP yöntemi uygulama matrisleri	82
Tablo 5.6	Pisagor bulanık-AHP ile hesaplanan önem ağırlıkları	85
Tablo 5.7	Pisagor Bulanık TOPSIS dilsel değerlendirme ölçeği	87
Tablo 5.8	Pisagor TOPSIS alternatif değerlendirme matrisi	87
Tablo 5.9	Alternatiflerin görece yakınlık değerleri	88
Tablo 5.10	İlçelerin Pisagor AHP-TOPSIS yöntemine göre risk sıralaması	89
Tablo 5.11	Dil değişkenlerinin tanımı ve aralık değerli nütrosifik ölçek	90
Tablo 5.12	Ana kriterler için ikili nütrosifik karşılaştırma matrisi	92
Tablo 5.13	Ana ve alt kriterlere ait nütrosifik ağırlık matrisi	92
Tablo 5.14	Durulaştırılmış nütrosifik lokal ve global kriter ağırlıkları	93
Tablo 5.15	Nütrosifik değerlendirme matrisi puanlama ölçeği	94
Tablo 5.16	Alt kriterler için nütrosifik dilsel değerlendirme matrisi	95
Tablo 5.17	Nütrosifik pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar	96
Tablo 5.18	İlçelerin nihai Nütrosifik TOPSIS skorları	96
Tablo 5.19	Pisagor bulanık AHP-TOPSIS yöntemi duyarlılık hesapları	98
Tablo 5.20	Hamming uzaklığına göre ideal çözümlere uzaklıklar	100

Tablo 5.21	Duyarlılık analizine göre ilçelerin skorları ve sıralamaları	100
Tablo 5.22	Kartal ilçesi mahalleleri için veri seti tablosu.....	106
Tablo 5.23	Pendik ilçesi mahalleleri için veri seti tablosu	107
Tablo 5.24	Tuzla ilçesi mahalleleri için veri seti tablosu	108
Tablo 5.25	Kartal için KÖH mimarisi denemeleri	109
Tablo 5.26	Kartal ilçesi için oluşan mahalle kümeleri	113
Tablo 5.27	Pendik için KÖH mimarisi denemeleri.....	116
Tablo 5.28	Pendik ilçesi için oluşan mahalle kümeleri	119
Tablo 5.29	Tuzla için KÖH mimarisi denemeleri.....	121
Tablo 5.30	Tuzla ilçesi için oluşan mahalle kümeleri	123



HARİTA LİSTESİ

Harita 5.1 İstanbul ili Anadolu Yakası haritası	74
Harita 5.2 Anadolu yakası deprem sonrası yangın riski haritası	97
Harita 5.3 Kartal ilçesi mahale haritası	105
Harita 5.4 Pendik ilçesi mahalle haritası	106
Harita 5.5 Tuzla ilçesi mahalle haritası	108



Deprem Sonrası Yangın Risklerinin Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Analizi ve İnsansız Hava Aracı Müdahalesi için Kendini Örgütleyen Haritalar ile Kümeleme Yaklaşımı

Pelin GÜLÜM

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

Depremler insan hayatını olumsuz şekilde etkileyen doğal afetlerin başında gelmelerinin yanı sıra verdikleri zararlara ek olarak ikinci bir felaketi de tetikleme özelliğine sahiptirler. Bu açıdan bakıldığında, deprem sonrası yangınlar depremden sonraki ikincil felaketlerden en tehlikelisi olarak tanımlanmaktadırlar. Bu nedenle yetkili kişi ve kurumlar deprem sonrası yangın risklerini doğru bir şekilde tanımlayıp analiz ederek gerekli önlemleri almalıdırlar. Bu çalışmada, deprem sonrası yangın risklerine yönelik iki aşamalı bir araştırma ortaya koyulmuştur. İlk olarak deprem sonrası yangın risklerini belirleme ve değerlendirme sorunu çok kriterli bir karar verme problemi olarak ele alınmış ve risk değerlendirmesi için Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS ve Aralık Değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS olmak üzere iki farklı yöntem önerilmiştir. Bunun yanında son yıllarda afet sonrası müdahale operasyonlarında oldukça kullanışlı

olan insansız hava araçları için yapay sinir ağlarına dayalı bir kümeleme yaklaşımı önerilmiştir. Deprem sonrası yangın riskleri açısından benzerlik gösteren bölgelerin belirlenerek gruplanması amaçlanmıştır. İstanbul ili için gerçekleştirilen uygulamada ilk olarak detaylı bir literatür taramasının ardından ana ve alt kriterler belirlenmiş ve uzman görüşlerinin elde edilmesi ve pekiştirilmesi için Modifiye Delfi yöntemi uygulanmıştır. Tanımlanan kriterlerin önem ağırlıkları AHP ile hesaplanmış daha sonra iki farklı bulanık küme türünde TOPSIS yöntemi kullanılarak İstanbul ili Anadolu yakasındaki ilçeler deprem sonrası yangın risklerine göre sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında en yüksek riske sahip olan üç ilçe sonraki uygulama için seçilmiş ve bu ilçelerin mahalleleri Kendini Örgütleyen Haritalar (KÖH) yöntemi ile kümeleme işlemine tabi tutulmuştur. Çalışma deprem sonrası yangın risklerini ÇKKV problemi olarak inceleyen ilk çalışma olmasının yanı sıra İstanbul uygulaması ile gerçek hayat problemine katkı sunmaktadır.

Bu çalışma 6 ana bölümden oluşacak şekilde organize edilmiştir. Giriş bölümünde konunun önemi ve sunacağı katkılar belirtilmiş ardından 2. bölümde deprem sonrası yangınlar konusu detaylı olarak irdelenmiştir. 3. bölümde İHA ve afetlerde kullanımlarına ayrılmış olup 4. bölümde çalışmada kullanılan tüm metot ve yöntemler verilmiştir. 5. bölümde İstanbul ili uygulaması ve elde edilen bulgular yer alırken 6. bölümde sonuçlar tartışılmış ve ardından kaynaklar verilerek çalışma sonlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem sonrası yangınlar, Nötrosifik setler, Pisagor Bulanık setler, AHP, TOPSIS, İHA, KÖH, kümeleme

Analysis of Post-Earthquake Fire Risks with Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Methods and Clustering Approach with Self-Organizing Maps for Unmanned Aerial Vehicles Intervention

Pelin GÜLÜM

Department of Industrial Engineering

Master's Thesis

Advisor: Prof. Dr. Alev TAŞKIN GÜMÜŞ

Earthquakes are not only one of the natural disasters that negatively affect human life, but they also have the feature of triggering a second disaster in addition to the damage they cause. From this point of view, post-earthquake fires are defined as the most dangerous of the secondary disasters after the earthquake. For this reason, authorized persons and institutions should correctly identify and analyze the post-earthquake fire risks and take the necessary precautions. In this study, a two-level research on post-earthquake fire risks is presented. First of all, the problem of determining and evaluating the fire risks after the earthquake was handled as a multi-criteria decision problem and two different methods were proposed for risk assessment, namely Pythagorean Fuzzy AHP-TOPSIS and Interval Value Neutrosophic AHP-TOPSIS. In addition, a clustering approach based on artificial neural networks has been proposed for unmanned aerial vehicles, which is very useful in post-disaster response operations in recent years.

It is aimed to determine and group the regions that are similar in terms of fire risks after the earthquake. In the application carried out for the province of Istanbul, firstly, after a detailed literature review, main and sub-criteria were determined and the Modified Delphi method was applied to obtain and consolidate expert opinions. The importance weights of the defined criteria were calculated, and then the districts on the Anatolian side of Istanbul were ranked according to their post-earthquake fire risks by using the TOPSIS method in two different fuzzy cluster types. In the light of the results obtained, the three districts with the highest risk were selected for the next application and the neighborhoods of these districts were clustered with the Self-Organizing Maps (SOM) method. In addition to being the first study to examine post-earthquake fire risks as a MCDM problem, it also contributes to the real-life problem with its Istanbul application.

This study is organized in a way to consist of 6 main chapters. In the introduction chapter, the importance of the subject and its contributions are stated, and then in the second one, the subject of fires after the earthquake is discussed in detail. In the 3rd Chapter, UAVs and their use in disasters are mentioned, and in the 4th Chapter, all the methods and formulas used in the study are given. While in the 5th Chapter, the implementation of the province of Istanbul and the findings obtained, the results were discussed in the 6th Chapter, and then the study was concluded by giving the sources.

Keywords: Post-earthquake fires, Neutrosophic sets, Pythagorean Fuzzy sets, AHP, TOPSIS, UAV, SOM, clustering

Deprem, yer kabuğunda meydana gelen kırılmaların veya yer değişikliklerinin neden olduğu yer sarsıntısı veya hareket olarak tanımlanır (Özşahin, 2013). İnsanlık tarihi boyunca ciddi boyutlarda can ve mal kayıplarına neden olan birçok büyük deprem felaketi yaşanmıştır. Depremler neden oldukları hasar ve kayıpların yanı sıra tsunami ve yangın gibi ikincil felaketleri de tetikleme özelliğine sahip doğal afetlerdir. Tarihteki büyük depremlere bakıldığında depremin ardından bir tsunami felaketinin yaşandığı veya sarsıntıya bağlı ortaya çıkan tehlikelerin yol açtığı büyük yangın felaketlerinin meydana geldiği birçok örnek vardır. Bu bağlamda bakıldığında deprem sonrası yangınlar depremten sonraki en tehlikeli ikincil faaliyetler olarak nitelendirilmektedirler (Zhao vd., 2005).

Özellikle sismik açıdan oldukça aktif olan Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya gibi ülkelerin tarihinde yaşanan büyük depremlerin tetiklediği birçok deprem sonrası yangın felaketi bulunmaktadır. Bu yangınların neden olduğu can ve mal kayıplarının zaman zaman asıl felaket olan depremten bile daha ciddi boyutlara ulaştığı olmuştur. Her ne kadar ülkemizde bu denli ciddi bir deprem sonrası yangın felaketi henüz yaşanmamış olsa da Türkiye de bir deprem ülkesidir ve bir depremin ardından yangın felaketinin başlaması olasıdır. Son yıllarda gelişen sanayi ve artan şehirleşme de göz önüne alındığında yaşanacak bir depremten sonra meydana gelebilecek tutuşmalar hızla büyüyerek oldukça ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilir.

Deprem sonrası yangın riski, doğası gereği belirsiz olan farklı boyutlarda birçok faktörün bir arada bulunduğu ve bu faktörlerin birbirlerini nasıl ve ne yönde etkilediğinin tam anlamıyla belirlenmesinin mümkün olmadığı bir risk türüdür. Teknolojik gelişmeler yapılan tahminlerin gücünü arttırsa da hala depremlerin öngörülmesi ve yaratacağı etkilerin tahmin edilmesi ciddi bir problem iken deprem sonrası yangın riskleri için bu durum daha da zordur.

1.1 Literatür Özeti

Deprem sonrası yangın konusunda yapılmış çalışmalar incelendiğinde araştırmaların büyük bir kısmının bu belirsiz durumlarla başa çıkmak için sınırlı sayıda parametreyi dikkate aldığı ve genellikle olasılıksal teknikler yardımıyla küçük bir alan için muhtemel tutuşmaların yeri ve sayısını tahmin etmeye yönelik araştırmaların ön plana çıktığı görülmektedir. Bu yaklaşımlar yapılan tahminlerin daha güvenilir olmasını sağlamasına rağmen çok sayıda risk faktörünün bir arada incelenerek analiz edilmesini ve geniş alanlar için risk değerlendirmesi yapılmasını zorlaştırmaktadır.

Deprem sonrası yangın riskleri konusunda yaygın olan bir diğer yaklaşım da benzetimdir. Geçmişte yaşanan deprem ve deprem sonrası yangın olaylarının tanımlayıcı istatistiklerinin modellenerek belirli senaryolar altında simüle edilmesi yolu ile meydana gelebilecek deprem sonrası tutuşmalara yönelik tahminler ortaya koyulmaktadır. Yapılan araştırmalarda coğrafi bilgi sistemlerinden (CBS) de faydalanılmakta ve gün geçtikçe daha gerçekçi sonuçlara ulaşılmaktadır.

Mevcut risk belirleme yöntemleri her ne kadar iyi sonuçlar verseler de genellikle kesin olarak bilinen veya varsayım yapılabilecek özellikte olan, kısıtlı sayıdaki bir grup değişkeni dikkate almakta ve daha sınırlı alanlar için risk analizi yapabilmektedirler. Fakat her zaman kesin sayılar belirlemek veya değişkenlerin birbiri üzerindeki etkisini ortaya koymak mümkün olmayabilir. Bunun yanında problemin doğası gereği birçok belirsizlik söz konusu olmakla birlikte tam olarak bilinmeyen fakat risk değerlendirmesinde önemli olabilecek bilgilerin de sürece dâhil edilmesi daha kapsamlı bir değerlendirme yapılmasını sağlayabilir. Bu nedenle de deprem sonrası yangın riski belirleme problemini birden çok kriterin karar (risk düzeyi) üzerinde etkili olduğu çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemi olarak ele almanın kapsamlı bir değerlendirmeyi mümkün kılacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte tam olarak bilinmeyen veya uzman yargısına bağlı değerlendirmelerin de risk belirlemede kullanılabilmesi ve bu noktadaki belirsizliğin yönetilebilmesi için bulanık ÇKKV yöntemleri daha uygun olacaktır.

Literatürde karar vericinin sözel değerlendirmelerinin belirsiz koşullar altında ele alınmasına yönelik birçok bulanık ÇKKV yöntemi yer almakta ve bunlar farklı

bulanık küme uzantıları olarak karşımıza çıkmaktadır (Ervural vd., 2018). Bu çalışmada doğruluk ve yanlışlık üyelik işlevleri ile temsil edilen sezgisel bulanık kümelerin genişletilmesi ile ortaya çıkan Nötrosifik Bulanık Kümeler ve Yager (Yager, 2014) tarafından literatüre kazandırılan Pisagor Bulanık Kümeler tercih edilmiştir. Farklı bulanık küme yaklaşımları içinden bu yöntemlerin tercih edilmesinin nedeni Nötrosifik setlerin diğer bulanık kümelerden farklı olarak üç parametre ile temsil edilmesi ve dolayısı ile belirsizliği daha iyi ifade etme yeteneği iken Pisagor setlerin de özellikle son yıllarda oldukça sık tercih edilerek ÇKKV problemlerinde iyi sonuçlar ortaya koyma yetenekleridir.

Deprem sonrası yangın riski problemi için bir değerlendirme yaklaşımı sunmak amacıyla ÇKKV yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve TOPSIS metotları yukarıda sözü edilen bulanık kümeler ile birlikte kullanılarak iki yeni yaklaşım ortaya koyulmuştur. Bu iki yaklaşımda da ilk olarak kriterlerin önem ağırlıkları tespit edilerek deprem sonrası yangınlar için bir değerlendirme gerçekleştirilmiş ardından gerçek hayat verileri kullanılarak İstanbul ili Anadolu Yakası için ilçelerin risk sıralaması yapılmıştır. Her iki yaklaşımla uygulama yapıldıktan sonra Aralık Değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS uygulaması sonuçlarına göre bir deprem sonrası yangın riski haritası oluşturulmuş ve bulgular değerlendirilmiştir.

Çalışmanın devamında son yıllarda hayatın birçok alanında olduğu gibi afetlerde ve afet sonrası operasyonlarda oldukça fayda sağlayan İnsansız Hava Araçları (İHA) araştırılmıştır. Birçok farklı noktada avantaj sağlayan İHA'ların deprem sonrası yangınlarda kullanımı detaylı olarak ele alınmıştır. İlk bölümde yüksek risk grubunda yer alan üç ilçe için özel bir yapay sinir ağı türü olan Kendini Örgütleyen Haritalar (KÖH) ile mahalle bazlı bir kümeleme yaklaşımı önerilmiştir. Belirlenen birtakım tanımlayıcı özelliklere göre mahalleler kümelere ayrılmış böylece oluşan kümelerin deprem sonrası yangın riskleri açısından benzer özellikte olduğu ve olası bir İHA faaliyetinde birlikte değerlendirilebileceği gösterilmiştir. Bu sayede hem özel bir yapay sinir ağı türü olan KÖH'ün afet sonrası kümeleme yaklaşımındaki performansı incelenmiş hem de karar vericilere elde edilen kümeler ile yapılacak çalışmalar için bir ön bilgi sunulmuştur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının temel amacı deprem sonrası yangın risklerini ve etkilerini detaylı olarak irdeleyerek ortaya koymak ve karar vericilere bulanık mantık ve ÇKKV yaklaşımlarına dayalı hızlı ve pratik bir değerlendirme metodolojisi sunmaktır. Bunun yanında önerilen iki farklı yaklaşımın geçerlilik ve güvenilirliğini ispatlayarak literatürdeki olasılık ve benzetim temelli yaklaşımlara bir alternatif geliştirmektir. Bu ana amaca ek olarak afetlerde İHA kullanımının araştırılması ve olası bir deprem sonrası yangında İHA kullanımı için yapay sinir ağlarına dayalı kümeleme yaklaşımı ile zemin hazırlanması da amaçlanmaktadır. Ayrıca gerçek hayat verileri ile yapılan uygulama sonuçlarının İstanbul ili Anadolu Yakası ilçelerinin deprem sonrası yangın konusundaki önlem ve çalışmalarını desteklenmesi de diğer bir amaçtır.

1.3 Orijinal Katkı

Detaylı bir şekilde gerçekleştirilen literatür araştırması bu alandaki neredeyse tüm çalışmaların olasılık modelleri ve benzetim modelleri olduğunu ortaya koymuştur. Bu yaklaşımlar iyi sonuçlar vermesine rağmen uygulama zorluğu ve veri ihtiyacı bakımından bazı sınırlamalara sahiptirler. Öncelikle bu modeller doğru ve tutarlı veri setleri gerektirmekle birlikte aynı anda az sayıda parametrenin dikkate alınabilmesine imkân sunmaktadır. Bununla birlikte afetlerin doğaları gereği birçok belirsizlik barındırdığı düşünüldüğünde eksik bilgiler ve uzmanların tecrübeleri var olan modeller ile dikkate alınamamakta ve sürekli olarak geçmiş depremlerin verileri ile uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Bu eksiklikleri gidermek amacıyla deprem sonrası yangın risklerini belirlemeye yönelik mevcut yöntemlere göre daha hızlı ve uygulanması kolay, birçok kriteri barındıran ve belirsiz faktörlerin de risk belirleme sürecine dâhil edilmesine imkân sunan Pisagor AHP-TOPSIS ve Aralık Değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS yöntemi önerilmektedir. Söz konusu çalışmanın literatüre katkıları aşağıda sıralanmıştır:

- Bu çalışma deprem sonrası yangın risklerini nötrosifik kümeler ile birlikte bir ÇKKV problemi olarak ele alan ilk çalışmadır.
- Kapsamlı bir literatür taraması ve alandaki uzman araştırmacılar ile yapılan görüşmeler sonucunda detaylı bir risk hiyerarşisi sunmaktadır.

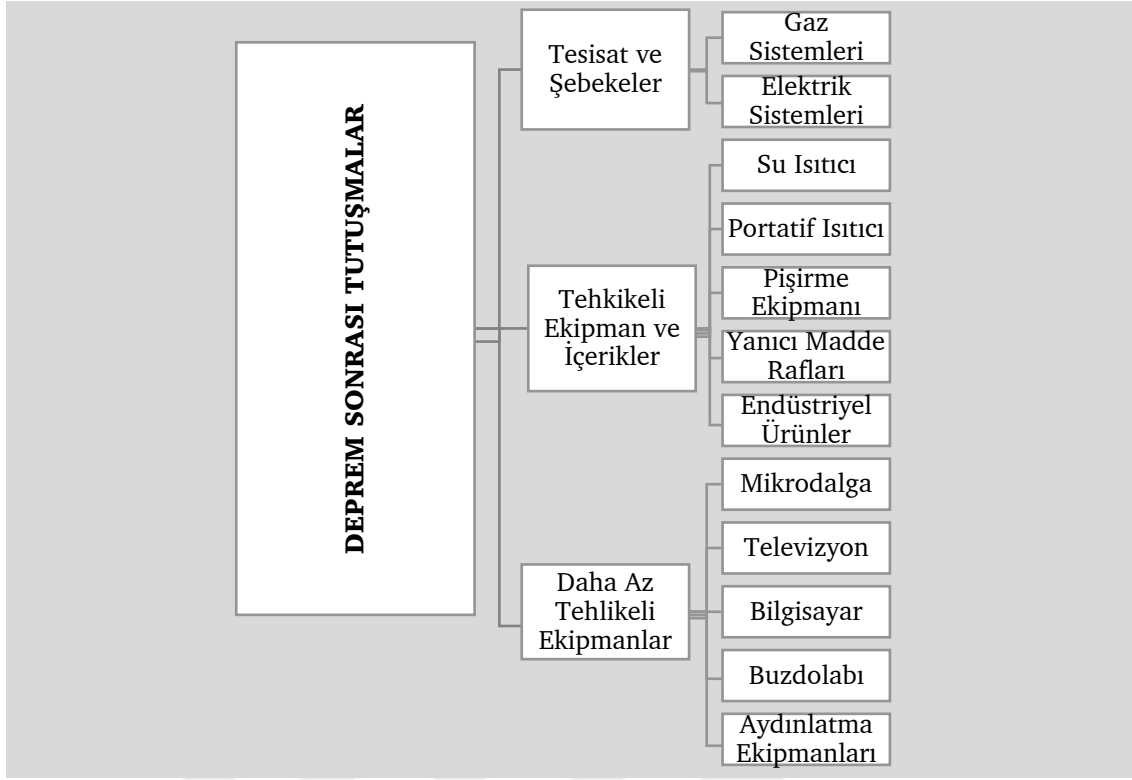
- Nötrosifik kümelerin yanı sıra Pisagor AHP-TOPSIS yaklaşımı da aynı örnek problem için uygulanarak farklı yaklaşımların performansı kıyaslanmaktadır.
- Önerilen modelin uygulaması büyük bir deprem felaketi beklenen İstanbul ili için gerçekleştirilmiştir. Anadolu Yakası'ndaki 14 ilçe bu modelle risk analizine tabi tutulmuş ve en önemli riskler belirlendikten sonra deprem sonrası yangın riski bakımından ilçeler sıralanmıştır. Bu anlamda da yetkili birimlere ve karar vericilere alınacak önlemler ve önem sıralamaları bakımından bir bilgilendirme niteliğindedir.
- İkinci kısımda gerçekleştirilen KÖH ile kümeleme yaklaşımı karar vericilere deprem sonrası yangınlarda İHA kullanımı için rehber olma niteliğindedir.
- Benzer özellikte mahallelerin kümeler halinde analizi deprem sonrası yangın riskleri konusunda bir ilktir ve gelecek çalışmaları destekleyecek niteliktedir.

Depremeler yıkıcı ve tehlikeli felaketler olmalarının yanı sıra yangın ve tsunami gibi ikincil doğal afetleri de başlatma özelliğine sahiptirler. Tarihte yaşanan bir deprem felaketinin ardından başlayan ve çok yıkıcı etkilere neden olan birçok deprem sonrası yangın vakası vardır. Bu bağlamda en az deprem kadar depremin neden olduğu ikincil felaketlerin de incelenmesi oldukça önemlidir.

Deprem anındaki şiddetli yer hareketleri yangıcı ve kimyasal maddelerin depolama alanlarında veya boru hatlarında sismik hasarlara, elektrik şebekelerinde kısa devre ve kaçaklara, mum, ocak, ısıtıcı gibi bina içi açık alev kaynaklarında devrilmelere neden olarak bir yangın başlatabilirler. Olası tutuşturma kaynakları özellikle ahşap binalar, kimyasal faaliyetlerin yoğun olarak gerçekleştiği fabrikalar, yangıcı sıvı ihtiva eden rafineriler veya akaryakıt depoları için daha büyük bir risk oluşturmaktadır. (Koraltürk, 2000). Deprem sonrası yangın nedenlerini dört ana grupta toplamak mümkündür (Mohammadi vd., 1991) :

- Dağıtım boruları ve cihazlardan oluşabilecek gaz sızıntıları
- Elektrik dağıtım sistemlerinden kaynaklı problemler
- Yangıcı veya kimyasal maddelerin etrafa saçılması
- Açık alev kaynaklarının (mum, ocak vs.) devrilmesi

Deprem sonrası yangın risklerinin bir sınıflandırmasını gösteren Şekil 2.1'den görülebileceği gibi etki alanı bakımından ciddi risk oluşturabilecek gaz ve elektrik sistemleri aynı grupta yer almaktadır. Devrilmesi halinde tehlike yaratma potansiyeli yüksek olan ve pişirme ekipmanı, ısıtıcı gibi açık alev kaynağı içeren malzemeler tehlikeli donanım ve içerikler grubuna dâhil edilmiştir. Bu gruba kıyasla nispeten daha az tehlike yaratan elektronik ev aletleri de üçüncü bir grupta ele alınmıştır.



Şekil 2.1 Deprem sonrası tutuşma kaynakları (Yıldız ve Karaman, 2013)

Bu nedenlerden bir veya birkaçının depremden sonra ortaya çıkması ve bir tutuşma başlatarak yangına neden olması muhtemeldir. Bir depremden sonra başlayan yangın felaketlerine ilişkin döngü aşamalar şeklinde açıklanabilir (Scawthorn vd., 1981). Dört adımdan oluşan süreç depremin meydana gelmesi ile başlar. Şiddetli sarsıntılar veya fay hattındaki kırılmalar potansiyel tutuşma kaynaklarını harekete geçirerek bir yangının başlamasına neden olur. Burada tutuşma kaynağı sarsıntı anında zarar gören bir petrol boru hattı, sızıntı yapan bir doğalgaz borusu veya sarsıntı nedeniyle devrilen bir mum gibi farklı türdeki kaynaklardan birisi olabilir. Sonuç olarak tutuşma gerçekleşir ve hava durumu, tutuşmanın gerçekleştiği alanın fiziksel özellikleri, bina sıklığı gibi birçok parametreye bağlı olarak yangın büyümeye başlar. Yıkılan binaların yolları kapatması, su tedarik sistemlerindeki arızalar ve haberleşme sistemlerindeki tahribatlar yangın müdahale ekiplerinin müdahalesini geciktirebilir hatta imkânsız kılabilir. Buna bağlı olarak da yangın ya mümkün olan en kısa sürede kontrol altına alınır ya da kontrolsüz bir şekilde büyüyerek bir felakete neden olur.

2.1 Dünyada Deprem Sonrası Yangınlar

Dünyanın farklı yerlerindeki birçok ülkede tarihin farklı zamanlarında büyük deprem felaketleri meydana gelmiş hatta bazı şehirler defalarca yerle bir olmuştur. Bu depremlerden bazıları beraberinde büyük yangın felaketleri getirmiştir. Tablo 2.1’de tarihteki bazı büyük depremler ve bu depremlere ait bazı tanımlayıcı özellikler verilmiştir. Ardından bu depremlerden bazıları deprem sonrası yangın nedenlerine göre daha detaylı incelenmiştir.

Tablo 2.1 Dünyadaki bazı büyük depremler

Vaka	Ülke	Tarih	Büyüklik (Mw)
San Francisco	ABD	18 Nisan 1906	7.8-8.3
Tokyo(Kanto)	Japonya	1 Eylül 1923	7.9
Napier (Hawkes Bay)	Yeni Zelanda	2 Şubat 1931	7.8
Niigata	Japonya	16 Haziran 1964	7.5
Whitter Narrows	ABD	1 Ekim 1987	5.7
San Fernando	ABD	9 Şubat 1971	6.6
Maxico City	Meksika	19 Eylül 1985	8.1
Loma Prieta	ABD	17 Kasım 1989	7.1
Northridge	ABD	17 Ocak 1994	7.1
Kobe(Hanshin)	Japonya	17 Ocak 1995	6.9
Marmara	Türkiye	17 Ağustos 1999	7.4
Great-East-Japan	Japonya	11 Mart 2011	9

San Francisco Depremi: 18 Nisan 1906 yılında meydana gelen San Francisco Depremi tarihteki en yıkıcı felaketlerden biridir. Bu depremden sonra başlayan yangınlardan kaynaklanan kaybın, doğrudan depremden kaynaklanan kayıptan on kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Davidson ve Asce, 2009; Ren ve Xie, 2004). Depremden sonra meydana gelen yangınların kaydedilmiş en önemli nedenleri şu şekilde sıralanabilir (Botting, 1998):

- Açık alev kaynağı içeren binaların çökmesi, konutlarda ve işyerlerinde yanıcı madde kaynakları ile gaz lambaları arasındaki temas
- Fabrikalarda çıkan kazan yangınları

- Binalarda yapısal hasarın bir sonucu olarak dâhili elektrik kablolarının kopması (elektrik servis akımı ilk şoktan birkaç dakika sonra kapatılmadığı için)
- 550 voltluk tramvay tellerinin diğer tellerle kesişmesi ve bunun sonucunda binalarda çalışan elektrikli cihazların ve devrelerdeki kıvılcımlar

Tokyo(Kanto) Depremi: Tarihteki deprem sonrası yangınlardan en büyüğü olarak bilinen 1 Eylül 1923 tarihli Büyük Kanto (Tokyo) Depremi de benzer bir senaryoya sahne olmuş ve depremden sonra 277 adet tutuşma gerçekleşmiş, 99 tanesi genel ve kimyasal nedenlerden kaynaklanan toplam 129 adet yangın meydana gelmiştir (Kobayashi, 1985) . Bu yangınların en önemli sebepleri şöyle sıralanmaktadır (Botting, 1998):

- Öğle yemekleri için kullanılan çok sayıda ısıtma ünitesi ve pişirme ocağı
- Kimya ve tıp fakültelerinde, eğitim kurumlarında, eczanelerde, diş kliniklerinde ve sabun fabrikalarında meydana gelen kimyasal yangınlar

Napier (Hawkes Bay) Depremi: Yeni Zelanda'nın Kuzey Adası'nda 2 Şubat 1931'de meydana gelen 7.8 büyüklüğündeki bu deprem Napier ve Hasting kasabalarını doğrudan etkilemiştir. Yeni Zelanda tarihinde en çok zarara yol açan deprem olarak bilinirken birçok yangına ve çok sayıda can kaybına da neden olmuştur(Dowrick, 1998). Depremin tetiklediği yangınların sebepleri şöyle sırlanabilir (Botting, 1998):

- Yangınlar üç eczanede aynı anda başlamıştır. Kırılmış kaplardan sıvıların ve buharların salınması ile ateşlemelerin başladığı düşünülmektedir.
- Rafların şiddetli bir şekilde boşalması, kapların kırılarak içeriklerinin etrafa yayılması ve birbirine karışması yangın yüküne eklenmiş ve bitişik yakıtları tutuşturan ekzotermik kimyasal reaksiyonlara neden olmuş olabilir.
- Ateşleme kaynakları da kırık ışıklar ve ısıtma üniteleri olarak ve yanıcı maddelerle temas halindeki iç elektrik kablolarının kırılması olarak rapor edilmiştir.

Niigata Depremi: 16 Haziran 1964'te meydana gelen depremde sonra 9 tane yangın çıkmış bunların 4 tanesi vatandaşlar tarafından söndürülmüştür. Konutlarda yangın çıkmamasına rağmen yağ fabrikalarında çıkan 4 yangının yayılıp ciddi boyutlara ulaşmıştır Yangın nedenleri şöyle sıralanmıştır (Botting, 1998; Kobayashi, 1985):

- Sıcak yüzeyler tarafından tutuşan pişirme yağı dökülmeleri
- Çalışan bir fırın tarafından tutuşturulan LPG kaçağı
- Ekzotermik reaksiyonlara ve akabinde tutuşmalara neden olan dökülmüş kimyasallar
- Yanıcı ve patlayıcı maddeler
- Okullarda, metal işletmelerinde ve laboratuvarlarda meydana gelen kimyasal reaksiyonlar

San Fernando Depremi: 9 Şubat 1971'de sabahın erken saatlerinde meydana gelen San Fernando Depremi kamu hizmetleri ve toplum hayatını ciddi derecede etkilemiştir. Bu depremde sonra gaz, elektrik, telefon, ulaşım ve sağlık hizmetlerinde ciddi aksamalar yaşanmıştır. Depremi ardından farklı yerlerde 116 adet tutuşma vakası kayda geçmiştir. Bu tutuşmaların ana nedenleri şu şekilde sıralanmıştır (Botting, 1998):

- Kesilen kabloların neden olduğu elektrik kaynaklı ateşlemelerin neden olduğu ev yangınları
- Patlamış gaz hatlarından sızan gazın tutuşması ile bazı mobil evlerde yangına neden olması
- Bazı gömülü gaz dağıtım şebekelerinden sızan gazın belirsiz nedenlerle tutuşması

Northridge Depremi: 17 Ocak 1994'te meydana gelen 7.1 büyüklüğündeki bu deprem ABD'nin Kaliforniya Eyaletinde yer alan Los Angeles şehrini etkilemiştir. Bu depremin ardından 110 tane tutuşmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu tutuşmalar genel olarak aşağıdaki nedenlerden kaynaklanmıştır (Botting, 1998) :

- Hatlardaki doğalgaz kaçaklarının tutuşması ve devrilen su ısıtıcıları birçok konutta yangınlara neden olmuştur.

- Tehlikeli kimyasal tutuşmaları az sayıda tutuşmanın kaynağı olarak belirlenmiştir.
- Kısa devrelerin sonucu olarak elektrik arkları birçok tutuşmaya sebebiyet vermiştir.
- Bir banliyö caddesindeki 10" çaplı bir petrol boru hattı parçalanarak tutuşmaya neden olmuştur.

Kobe (Hanshin) Depremi: 17 Ocak 1995'te Japonya'nın Kobe şehrinde yaşanan bu büyük deprem binlerce insanın ölümüne yol açmıştır. 6.9 büyüklüğü ile Japonya tarihinde gerçekleşmiş en şiddetli depremler arasında sayılmaktadır. Depremden bir süre sonra birkaç yangın çıkmış, toplamda 108 adet tutuşma kaydedilmiştir. Bu tutuşmaların ana nedenleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir (Botting, 1998):

- Yangın algılama sistemleri ile ilgili kayıtlarda bir hasar olmasa da yangının hafifletilmesine yönelik bir etkisi olmadığı bildirilmiştir.
- Söndürme sistemlerinin çoğu kırılmış, besleme boruları susuz kaldığından işe yaramaz duruma gelmiştir.
- Birçok dikey boru bağlantısının (kuru boru hattının) bina sisteminden bağımsız olarak koptuğu belirlenmiştir.

Tablo 2.2, yukarıda detaylı olarak ele alınan ve deprem sonrası yangın nedenleri sıralanan büyük deprem felaketlerinin neden olduğu zararları göstermekte ve kayıtlara geçen tutuşma sayılarını özetlemektedir. Özellikle San Francisco, Tokyo, Northridge ve Kobe gibi dünya tarihinde ciddi felaketlere neden olmuş deprem vakalarında çok ciddi sayıda binanın tahrip olması ve can kayıplarının yüksekliği dikkat çekmektedir.

Tablo 2. 2 Tarihten deprem sonrası yangınlar ve zararları

Vaka	Tutuşma Sayısı	Zarar/Etki	Kaynak
San Francisco	52	28.000 tahrip olmuş bina 12.2 km ² yanmış alan 3000 ölüm vakası	(Khorasani ve Garlock, 2017; Scawthorn, 2002)
Tokyo	277	447.000 tahrip olmuş ev 38.3 km ² yanmış alan 140.000 ölüm vakası	(Khorasani ve Garlock, 2017; Scawthorn, 2002)
Niigata	9	Petrol rafinerileri ve fabrikalarda büyük hasar. 3000'den fazla yıkılan ev.	(Botting, 1998; Khorasani ve Garlock, 2017)
San Fernando	116	Su kaynakları ciddi şekilde zarar gördü. İtfaiyeciler havuz suyu ile müdahale yaptı. Ana gaz hattında tutuşmalar oldu ve birkaç saat devam etti. Yangınlar esas olarak başlangıç binasıyla sınırlıydı.	(Botting, 1998; Khorasani ve Garlock, 2017)
Maxico City	200	Oteldeki yangın yakındaki büyük mağazaya ve ofis binasına yayıldı.	(Butcher vd., 1988; Khorasani ve Garlock, 2017)
Loma Prieta	26	Dört katlı bir binada şiddetli yangın. Sadece yedek su sisteminin çalışması.	(Khorasani ve Garlock, 2017; Scawthorn, 2002)
Northridge	110	Yangınların% 86'sı yapısal yangınlardı. Yangınların çoğu başlangıç binasıyla sınırlıydı.	(Khorasani ve Garlock, 2017; Scawthorn, 2002)
Kobe(Hanshin)	108	Depremden 1 ila 2 saat sonra birkaç yangın gerçekleşti. Yangınların% 97'si yapısalıdı. 5000 bina tahrip oldu.	(Khorasani ve Garlock, 2017; Scawthorn, 2002)
Great-East-Japan	293	Arka arkaya depremler veya tsunami nedeniyle yangın. İç kesimlerde tsunamiden etkilenmeyen ve yarısı apartman ve konutlarda gerçekleşen 106 yangın.	(Khorasani vd., 2017; Sekizawa ve Sasaki, 2014)

2.2 Türkiye’de Deprem Sonrası Yangınlar

Türkiye, Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF), Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) ve içerisinde birçok fay hattını barındıran Batı Anadolu Fay Hattı (BAF) olmak üzere üç tane fay hattının üzerinde, Alp-Himalaya (Akdeniz) deprem kuşağında yer almaktadır (Şahin ve Sipahioğlu, 2003). Ülke topraklarının yaklaşık yarısı birinci derece deprem bölgesidir ve nüfusun %44’lük kısmı bu bölgelerde yaşadığından ülkedeki en tehlikeli doğal afet depremdir (Avcı, 2010; Özşahin, 2013). Özellikle İstanbul’un da üzerinde olduğu KAF, dünyanın en aktif ve en hızlı fay hatlarından birisidir ve Marmara Bölgesinde özellikle de İstanbul ilinde oldukça büyük bir deprem beklenmektedir. Bunun yanı sıra BAF üzerinde bulunan şehirlerin de sismik açıdan oldukça tehlikeli olduğunu söylemek mümkündür. İlk çağlardan beri Türkiye’de birçok deprem felaketi meydana gelmiş, önemli ölçüde can ve mal kaybı yaşanmıştır. Yalnızca 1900-1999 yılları arasında kaydedilmiş 79 büyük deprem felaketi vardır. Bu depremlerde 82.595 kişi hayatını kaybetmiş, 122.000 kişi yaralanmış ve 514.917 bina ağır hasar almıştır (Ceylan, 2004).

Tablo 2.3’te 1900-2011 yılları arasında Türkiye’de yaşanmış bazı şiddetli depremler ve bu depremler sonucu kayıtlara geçmiş olan can ve mal kayıplarına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Görüleceği üzere ortalama her üç-beş yılda bir yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. 1900’den sonraki dönem için en büyük deprem 26 Aralık 1939’da yaşanan 7.9 büyüklüğündeki Erzincan Depremi’dir. Yakın tarihte yaşanmış en yıkıcı deprem felaketi ise 17 Eylül 1999 Marmara (Gölcük) Depremi’dir. 7.6 büyüklüğündeki bu depremde çok sayıda ev ve işyeri zarar görmüş ve açıklanan resmi rakamlara göre 18.373 kişi hayatını kaybetmiştir (Kılıç ve Koraltürk, 2000). Türkiye’deki depremlere deprem sonrası yangın açısından baktığımızda ise ön plana çıkan iki tane deprem felaketi vardır. Bunlar 28 Mart 1970 Gediz Depremi ve 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremi’dir.

Tablo 2.3 1900-2011 yılları arasında Türkiye’de meydana gelmiş depremler(Sür, 1993)

Deprem	Tarih	Şiddet	Magnitüd	Can Kaybı Sayısı	Yıkık veya Hasarlı Bina Sayısı
Muş	28.04.1903	IX	6.7	600	450
Tekirdağ	9.08.1912	X	7.3	216	5540
Burdur	3.10.1914	IX	6.9	300	6000
Erzurum	13.09.1924	IX	6.8	60	380
Kars	22.10.1926	VIII	6.0	355	-
İzmir	31.03.1928	IX	6.5	50	2500
Hakkâri	6.05.1930	X	7.2	2514	-
Kırşehir	19.04.1938	IX	6.6	160	4066
Erzincan	26.12.1939	X-XI	7.9	32968	11.6720
Van	10.09.1941	VIII	5.9	192	600
Tokat	20.12.1942	IX	7.0	3000	32.000
Samsun	26.11.1943	IX-X	7.2	4000	40.000
Bolu	1.02.1944	IX-X	7.2	3959	20.865
Muş	31.05.1946	VIII	5.9	839	3000
Bingöl	17.08.1949	IX	6.7	450	3500
Muş	19.08.1966	IX	6.9	2396	20.007
Kütahya	28.03.1970	IX	6.2	1086	19.291
Bingöl	22.05.1971	VIII	6.8	878	9111
Diyarbakır	6.09.1973	VIII	6.6	2385	8149
Van	24.11.1976	IX	7.5	3840	9232
Erzurum -Kars	30.10.1983	VIII	6.9	1155	3241
Erzincan	13.03.1992	-	6.6	653	6702
Marmara	17.09.1999	-	7.6	18373	327.703
Düzce	12.11.1999	-	7.1	710	12.939
Bingöl	1.05.2003	-	6.4	176	625
Van	23.10.2011	-	7.1	604	-

28 Mart 1970 Gediz Depremi: Bu deprem, deprem sonrası yangınlar konusunda bilinen en iyi örnektir. Yaklaşık olarak 3000 kilometrekare genişliğindeki sarsıntı alanında 3500 ev tamamen yıkılmış, 7000 tanesi ağır olmakla birlikte 10.600’den fazla binanın ciddi ölçüde hasara uğradığı bildirilmiştir. Depremin meydana geldiği mevsimin ısınma mevsimi olması sebebiyle sobalardan birçok yangın başlamış ve çevre köylere de yayılmıştır. Yangının “hımış” adı verilen yöresel bina türlerinin yoğunluğundan kaynaklı olarak hızlı yayıldığı ve çok etkili olduğu belirlenmiştir (Kılıç ve Koraltürk, 2000).

17 Ağustos 1999 Gölcük(Kocaeli) Depremi: 17 Ağustos 1999 meydana gelen 7.6 büyüklüğündeki Gölcük Depremi 18.373 kişinin hayatını kaybetmesine, 327.703 binanın da yıkılmasına veya ciddi zarar görmesine neden olarak son yüzyılın en büyük felaketlerinden birisi olmuştur. Deprem, bu zararların yanı sıra İzmit'te yer alan Tüpraş Rafineri 'sinde endüstriyel bir yangının başlamasına da neden olmuştur. Rafineride meydana gelen yangınlara sebep olarak Ham Petrol Ünitesi'ndeki bir betonarme bacanın sarsıntıdan dolayı ünitelerin ortasına düşmesi ve yangını başlatması ve bundan ayrı olarak nafta tanklarında meydana gelen kıvılcımların tutuşmaya neden olmaları gösterilmiştir. Yangınlar ancak üç günde kontrol altına alınabilmiştir (Kılıç ve Koraltürk, 2000).

Bu depremden sonra kentsel alanlarda da tutuşmalar meydana gelmiş fakat bunlar betonarme ağırlıklı binalarda olduğundan ciddi bir yayılım göstermeden kontrol altına alınabilmiştir. Bu olay, yapı malzemesi türünün, deprem sonrası yangın riskindeki önemini görmek açısından önemli bir örnek oluşturmaktadır.

Türkiye'de yaşanan deprem sonrası yangın felaketlerinin daha önce ele alınan diğer örneklerle göre daha küçük çapta ve daha az sayıda olduğu düşünülebilir. Bu düşünce deprem sonrası yangın bakımından ülkemizin daha az riskli olduğu yanılgısına yol açmamalıdır. Büyük deprem felaketlerinin yaşandığı tarihler dikkate alındığında sanayinin çok az gelişmiş olduğu yıllara denk geldiği görülecektir. Bu da özellikle deprem sonrası yangınlarda başlıca risk faktörlerinden biri olan kimyasal ve yanıcı maddelerin tutuşması bakımından önemli bir farktır. Bir diğer konu, deprem bölgelerindeki yapı türlerinin genelde yanıcı olmayan malzemelerden oluşması ve deprem anında başlayan yangınların müdahale edilerek çok ciddi felaketlere yol açmasının önlenmiş olmasıdır. Günümüzde sanayinin gelişmesine bağlı olarak şehirlerdeki nüfus artmış bu da beraberinde çarpık kentleşme gibi sorunları getirmiştir. Elektrik ve doğalgaz kullanımının artması da deprem sonrası yangın riski açısından kritiktir. Özellikle İstanbul gibi ciddi bir deprem yaşaması öngörülen büyük ve kalabalık şehirlerde deprem sonrası yangınlar açısından risk oluşturabilecek birçok parametre söz konusudur. Bu çalışmanın konusu olduğundan bir sonraki bölümde İstanbul ili deprem ve deprem sonrası yangın riski bakımından detaylı olarak incelenmiştir.

2.3 İstanbul ve Deprem Sonrası Yangınlar

İstanbul, İzmit Körfezi'nden Marmara Denizi'ne bağlanan KAF'ın çok yakınında yer alır ve ikinci derece deprem bölgesindedir (Hamiet, 1996). Yapılan araştırmalar Marmara Denizi ve çevresindeki sismik aktivitenin ve kırık zonların yoğunluğunu ortaya koymuş, Marmara Bölgesi'nin deprem açısından oldukça riskli olduğunu ve olası bir depremde yaşanacak hasarın ciddiyetini ortaya çıkarmıştır (Smith, 1995; Taymaz vd., 1991). İstanbul 1509,1799 ve 1894 yıllarında olduğu gibi tarihi boyunca farklı zamanlarda birçok deprem felaketiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu ciddi depremlerden yirminci yüzyılda gerçekleşen Marmara Denizi ve çevresini etkileyenlerden bazıları Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Marmara Denizi ve çevresinin etkileyen bazı depremler

Deprem	Tarih	Büyüklik (Ms)
Saros-Marmara	9 Ağustos 1912	7.4
Marmara	4 Ocak 1935	6.4
Yenice-Gönen	18 Mart 1953	7.2
Yalova	18 Eylül 1963	6.4
Manyas	6 Ekim 1964	6.9
Mudurnu-Adapazarı	22 Temmuz 1967	7.1
Gölcük	17 Ağustos 1999	7.6

(Parsons, 2004) yaptığı çalışmada İstanbul'un güneyinde Marmara Denizi'nin altında bir kırılma tahminiyle, Ana Marmara fayından gelecek 30 yıl içinde 7 büyüklüğünde bir deprem olasılığının yaklaşık %35-70 olduğunu beyan etmiştir (Yıldız ve Karaman, 2013). KAF'ın Marmara Denizi içindeki Kuzey kolunun batı kısmı 1912 Şarköy-Mürefte depreminde, doğu kısmı ise 1999 Kocaeli depreminde kırılmıştır. Bu nedenle İstanbul'u etkileyecek Marmara Denizi depreminin bu kolun henüz kırılmamış orta segmentlerinin bir veya birkaç tanesi üzerinde meydana geleceği öngörülmektedir. İstanbul ve çevresindeki sismik hareketlilik dikkate alındığında beklenen depremden sonra meydana gelebilecek tsunami ve yangın gibi diğer olası tehlikelerin öngörülmesine yönelik araştırmalar önem kazanmıştır. Öngörülen büyüklükte bir depremin sanayi ve nüfus yoğunluğu oldukça yüksek olan İstanbul için deprem sonrası yangın bakımından da ciddi riskler yaratması muhtemeldir.

İstanbul tarihinde bilinen deprem sonrası yangınlardan en önemlisi 10 Temmuz 1894'te meydana gelen depremden sonra ahşap binalarda günlerce süren yangınlardır (Kılıç ve Koraltürk, 2000). Osmanlı döneminde İstanbul'daki yapı karakteristiğine bakıldığında depreme dayanıklı olması, kullanışlı ve düşük maliyetli olması nedeniyle ahşap binaların sık tercih edildiği fark edilmektedir. Bu da yangınların İstanbul binalarını mütemadiyen yok etmesindeki ana nedenlerdendir (Ürekli, 2010).

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen ve 7.5 büyüklüğündeki bir senaryo depremi üzerinden benzetim yoluyla analiz edilen hasar tahmin projesi, olası bir İstanbul depreminin muhtemel bina hasar, can kaybı ve yaralı sayısı tahminlerini kapsamaktadır. Bu çalışmanın deprem sonrası yangın riski açısından dikkat çekici noktaları aşağıda sıralanmıştır. Bu kısımda yalnızca deprem sonrası yangın riski açısından önemli olduğu düşünülen bazı istatistiklere ve bilgilere yer verilmiş olup daha detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde uygulama kısmında verilmiştir.

Söz konusu raporlarda bildirildiği üzere 13431 adet binanın çok ağır hasar alması beklenmektedir. Bununla birlikte 1169433 binadan 7724 tanesinin yapı malzemesi ahşaptır. Yani tüm binalar içindeki ahşap binaların payı %37,8'dir. Bu oran deprem sonrası yangın riski açısından dikkate değerdir. Tüm binalar içinde 9-19 katlı yüksek binaların sayısı 26.716 tanedir ve bu oran toplam binaların %2,28'ini oluşturur. Deprem sonrası yangın açısından bakıldığında yüksek katlı binaların doğrudan daha riskli olduğu söylenemezken daha fazla sayıda nüfusu barındırdığı dolayısıyla bina içi devrilmeler açısından fark yaratabileceği veya elektrik, doğalgaz gibi sistemler açısından riskli olduğu söylenebilir. Depremden sonra doğalgaz boru hattında toplamda 355 tane arızanın meydana geleceği tahmin edilmektedir. Dünyadaki deprem sonrası yangın felaketlerinin ana kaynaklarının doğalgaz ve elektrik sistemlerindeki aksaklıklar olduğu göz önüne alındığında bu hususun dikkatle ele alınmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. 1263638 tane binanın 1980 ve öncesinde yapıldığı yani ortalama 40 yaşında olduğu bildirilmiştir. Bu da İstanbul'daki toplam binaların %22,5'lik kısmının en az 40 yaşında olduğunu göstermektedir. Şiddetli sarsıntılarda eski binaların daha fazla hasar görme ihtimalleri olduğu göz önüne alındığında bu durum deprem

sonrası yangın riskini arttırmaktadır. Olası bir depremde su tedarik sistemlerinin tahrip olması yangınlara müdahaleyi zorlaştıran bir faktördür. Özellikle yıkılan binalara bağlı kapanan yollar göz önüne alındığında müdahale için gereksinim duyulan su bazı durumlarda tedarik edilemeyebilir. Söz konusu raporda olası bir İstanbul depreminden sonra su şebekesinde 463 noktada hasar olacağı tahmin edilmektedir. Bu durumun yangına müdahale performansını nasıl etkileyeceği doğrudan tahmin edilemezken hazırlıklı olmak ve önlem almak açısından faydalı bir bilgi olduğu söylenebilir.

2.4 Deprem Sonrası Yangın Riskleri Literatür Araştırması

Araştırmacılar zaman içerisinde deprem sonrası yangın riskleri konusuna farklı perspektiflerden bakarak birçok farklı model ve yaklaşım geliştirmişlerdir. Tablo 2.5'te 1961 ile 2020 yılları arasında deprem sonrası yangın konusunda gerçekleştirilen bazı çalışmalar, bu çalışmalarda kullanılan model ve yöntemler ile çalışmaların amacı kronolojik olarak gösterilmektedir.

Tablo 2.5'ten de görülebileceği gibi deprem sonrası yangın riskleri farklı boyutları ile pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Kawasumi ve Mizuno gibi araştırmacıların ortaya koyduğu temel modeller zamanla dönüşerek gelişim göstermiştir. Özellikle teknolojideki gelişmelere paralel olarak CBS sistemlerinin gelişmesi ve bazı risk analizi yazılımlarının ortaya çıkmasıyla son yıllarda yapılan çalışmalarda daha detaylı bir hal almıştır. Bu paket programlar kullanıcıya eski modellerin aksine daha geniş bir veri seti ve daha fazla risk parametresi ile çalışma imkânı sunarken zaman etkinliği yönünden de avantajlar sunmuştur.

Literatürde deprem sonrası yangın risklerini ÇKKV problemi şeklinde ele alan iki adet çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalar gerçekleştirilen araştırmaya temel oluşturduğundan için daha detaylı ele alınarak ilerleyen bölümde açıklanmıştır.

Tablo 2.5 1961-2020 arasındaki deprem sonrası yangın çalışmaları

Yazar/Model	Kullanılan Yöntem	Konu/Amaç
(Kawasumi, 1961) Kawasumi Modeli	Korelasyon Analizi	Kanto Depremi verilerini kullanarak bina hasarlarıyla yangın patlamaları arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.
(Mizuno, 1981) Mizuno Modeli	Regresyon Analizine Dayalı Tahmin Modelleri	Deprem sonrası yangın verilerinden hareketle tam ev hasar oranı-yangın çıkış oranı arasında ilişki kurmak ve istatistiksel verilerden yangın çıkış sayısını tahmin eden bir model geliştirmek
(Scawthorn vd., 1981) Kentsel Deprem Sonrası Yangın Modeli	Olasılık Modeli	Kentsel bölgelerdeki deprem sonrası yangın riski için bina yoğunluğu ve özellikleri, yangın söndürme kapasitesi ve yangının yayılma hızına bağlı bir model geliştirilmiştir.
(Kobayashi, 1985) Kobayashi Modeli	İstatistiksel Tahmin Modeli ve Trend Analizi	Japonya’da gerçekleşmiş 6 büyük deprem felaketi gelecek depremlerde ortaya çıkabilecek tutuşmaları öngörmek üzere analiz edilmiş ve tutuşma nedenleri için trendler belirlenmiştir.
(Mohammadi ve Alysian, 1992) Olasılık Yaklaşımı	Nedensellik/Korelasyon Analizi Olay Ağacı Analizi	Belli yoğunluklardaki depremler ile yangın riskleri arasındaki korelasyona bağlı bir olasılık modeli önerilmiştir. Olay ağacı yöntemi ile bir yangının başlaması ve yayılması tanımlanmıştır.
(Cheng vd., 1996) Simülasyon ve Olasılık Yaklaşımı	Olasılık ve Simülasyon Modeli	Deprem sonrası yangın kayıplarının tahmin edilmesine yönelik yeni bir metodoloji önerilmiştir.
(Botting, 1998)	Literatür Taraması	Geçmişte yaşanmış 14 deprem sonrası kentsel yangını detaylı bir şekilde analiz ederek yangınların nedenlerini, tetikledikleri olayları ve alınabilecek olan önlemleri ortaya koymuştur.

Tablo 2.5 1961-2020 arasındaki deprem sonrası yangın çalışmaları(devamı)

(Li vd., 2001) Deprem Sonrası Yangınlar İçin Risk Analizi ve Tahmin Modeli	Poisson Dağılımı ve Bayese Dayalı Olasılık- Benzetim Modeli	Deprem sonrası yangınların önerilen olasılıksal modeller ile tahmin edilmesinin ardından coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla deprem sonrası yangınlar için risk analizi tahmini çalışması gerçekleştirilmiştir.
(Ren ve Xie, 2004) Huygens Prensibine Dayalı Geliştirilen Benzetim Modeli	Benzetim Modeli	Amerika, Japonya ve Çin'deki depremlerin ardından meydana gelen tarihi yangınların istatistiksel verilerine dayanarak yangının meydana gelebileceği yerler tahmin edilmiş ve Huygens Prensibi kullanan dinamik bir yangın yayma sürecini simüle edilmiştir. Yangınların meydana gelebileceği yerleri belirlemek için bir tahmin modeli sunmaktadır.
(Davidson, 2009) Genelleştirilmiş Lineer (Karma) Model	İstatistiksel Analiz ve Modelleme	Deprem sonrası tutuşmalar için lineer modeller geliştirilmiş ve örnek vakalar üzerinde önerilen modelin uygulamaları gösterilmiştir.
(Zolfaghari vd., 2009) Bina İç Tutuşma Modeli	Olasılık ve HAZUS Modeli	Güçlü yer hareketi, bina savunmasızlığı, bina içeriklerinin devrilmesi gibi deprem sonrası yangın riskini kontrol eden faktörler, bir bina içindeki genel tutuşma olasılığını tahmin etmek için olasılıksal olarak modellenir.
(Scawthorn, 2011)	Benzetim Modeli	San Andreas 'ta Mw=7.8 deprem senaryosu için deprem sonrası yangın riskleri ve diğer parametreler incelenmiştir.
(Yıldız ve Karaman, 2012) Yapı İç Ateşleme Modeli	Fizik Temelli Ateşleme Tahmin Modeli	Kentsel alandaki tutuşmaların sayısını ve yerini tahmin etmek için fizik temelli bir deprem sonrası yangın ateşleme modeli önerilmiştir.

Tablo 2.5 1961-2020 arasındaki deprem sonrası yangın çalışmaları(devamı)

(Farshadmanesh vd., 2016) Deprem Sonrası Tutuşma Tahmin Modeli	İstatistiksel Model	Deprem sonrası tutuşma olaylarını tahmin etmek için normal koşullu tutuşma riski, en yüksek yer ivmesi ve deprem sonrası yangın riski arasındaki korelasyon incelenmiştir. Deprem sonrası yangın riski tehlikesini tahmin etmek için bu tür bir korelasyonun sismik bir alanda nasıl kullanılabileceğini göstermek için örnek sunulmuştur.
(Khorasani vd., 2017) Veriye Dayalı Olasılıklı Deprem Sonrası Yangın Tutuşma Modeli	Olasılık Modeli	Hazus ve MAEViz/Ergo yazılım modülleri kullanılarak deprem sonrası tutuşma modellenmesi yapılmıştır. CBS ve geçmişteki verilerden de faydalanılarak söz konusu model geliştirilmiştir.
(Himoto, 2019) Deprem Sonrası Yangın Vakalarının Nedenlerinin Analizi	Anket Yöntemi ve İstatistiksel Analiz	Yangın, tutuşma, kentsel alanlarda yangının yayılması, yangınla mücadele faaliyeti, ölümler ve yangın güvenlik ekipman sistemlerindeki hasarlar açısından 1995-2007 yılları arasında Japonya’da yaşanan vakaların detaylı incelemesi yapılmıştır.

2.5 ÇKKV Yöntemleri ve Afet Riskleri

ÇKKV problemleri basitçe nihai karar üzerinde birçok faktörün etkili olduğu problem türü olarak tanımlanabilir. Birçok farklı alanda çeşitli karar verme yöntemlerinin kullanılması oldukça popülerdir. Ayrıca bulanık mantık uygulamalarının da yaygınlaşması birçok bulanık ÇKKV yaklaşımının ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Literatürde doğal afetler ve riskleri konusunda da çeşitli ÇKKV uygulamaları mevcuttur. Tablo 2.6 bu çalışmalardan bazılarını ele aldıkları afet riskleri ve kullanılan yöntemler bakımından özetlemektedir.

Tablo 2.6 Doğal afet riskleri ve ÇKKV yaklaşımları

Yazar/Yıl	Doğal Afet Türü	Yöntemler	ÇKKV Yöntemi
(Jena vd., 2020)	Deprem	Kırılganlık Tahmini	AHP-VIKOR
(Yariyan vd., 2020)	Deprem	Bulanık AHP ve CBS Tabanlı Yapay Sinir Ağı	Bulanık AHP
(Nyimbili vd., 2018)	Deprem	Risk Analizi Modeli	AHP-TOPSIS
(Jena vd., 2020)	Deprem	Hibrit Deprem Risk Modeli	AHP-TOPSIS
(Kittipongvises vd., 2020)	Sel	AHP-CBS Modeli ile Sel Tehlikelerinin Analizi	AHP
(Orencio ve Fujii, 2013)	Sel	Delphi-AHP ile Afete Hazırlık Analizi	AHP
(Das, 2020)	Sel	CBS ve AHP ile Sel Riski Duyarlılığı	AHP
(Sun vd., 2020)	Sel	Entropi ile Ağırlıklandırılan Risk Parametreleri ve ÇKKV Modelleri	WSM, TOPSIS, ELECTRE
(Luu vd., 2019)	Sel	İstatistiksel Verilere Dayalı TOPSIS Yaklaşımı	TOPSIS
(Li vd., 2019)	Sel	Kentsel Sel Dayanıklılık Modeli	VIKOR
(Moghadas vd., 2019)	Sel	Hibrit Afet Dayanıklılık Modeli	AHP-TOPSIS

Tablo 2.6 Doğal afet riskleri ve ÇKKV yaklaşımları (devamı)

(Sari, 2021)	Orman Yangını	Orman Yangını Duyarlılık Modeli	AHP-TOPSIS- VIKOR
(Çoban ve Erdin, 2020)	Orman Yangını	Orman Yangını Risk Analizi	AHP
(Sharma vd., 2012)	Orman Yangını	Orman Yangını Risk Analizi	Bulanık AHP
(Zhao vd., 2005)	Deprem Sonrası Yangın	Risk Analizi Yaklaşımı	AHP
(Lin vd., 2017)	Deprem Sonrası Yangın	Bina İçi Risk Değerlendirme Yaklaşımı	AHP

(Jena vd., 2020) yaptıkları çalışmada deprem riskinin tahmin edilmesinin ön koşulu olarak nitelendirdikleri kırılabilirlik değerlendirme için bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. AHP ve VIKOR yöntemlerini birlikte kullanarak deprem hassasiyeti değerlendirme yapmışlardır. Önerilen yaklaşım Banda Aceh şehri için uygulanmış ve hassasiyet haritaları elde edilmiştir.

(Yariyan vd., 2020) depremden etkilenebilirliğin kapsamını demografik, fiziksel ve çevresel faktörlere göre belirleyebilmek amacıyla bulanık AHP ve CBS'ye dayanan ve beş güvenlik açığı sınıfı oluşturan bir yapay sinir ağı modeli önermişlerdir. Bu yaklaşımla deprem risk değerlendirme haritası oluşturmuş ve modeli İran'ın Sanandaj şehri için uygulamışlardır.

(Nyimbili vd., 2018) çalışmalarında CBS tabanlı AHP-TOPSIS yöntemini afet izleme ve analizine yönelik risk haritalarının elde edilmesinde kullanmışlardır. Uygulama İstanbul ili Küçükçekmece ilçesinde gerçekleştirilmiş olup elde edilen risk haritaları yüksek korelasyon ve uyum göstermişlerdir.

(Jena vd., 2020) yapay sinir ağlarına dayanan hibrit bir yaklaşım ile AHP- TOPSIS teknikleri entegre edilerek deprem risklerini analiz etmeye ve risk değerlendirmesi yapmaya yönelik yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Banda Aceh, Endonezya için

uygulanan yöntem uzun vadeli risk değerlendirmesi ve popölasyon için risk altında olma durumunu ortaya koymuştur.

(Kittipongvises vd., 2020) Tayland'ın bir adasında yaşayan topluluklar için sel tehlikesini değerlendirmeye yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. AHP-CBS temelli yaklaşım ile bölgeler tehlike durumlarına göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca regresyon analizi ile de yerel halkın sel felaketine hazır olma durumları analiz edilmiştir.

(Orencio ve Fujii, 2013) Filipinler'de özellikle kıyı kesimlerinde yaşayan yerel toplulukların sel felaketine hazır olması problemini afet riskleri çerçevesinde Delfi-AHP yöntemi ile ele almıştır. Afetlere dirençli bir kıyı topluluğu olabilmek için önemli kriterleri ve bu kriterlerin ağırlıklarını belirlemişlerdir. Sonuçlar yerel yönetimler için afet riski azaltma noktasında bir araç olarak kullanılmaya uygundur.

(Das, 2020) alışmasında sel felaketi için çok sayıda risk parametresini bir arada değerlendirerek Batı Gath, Hindistan için sel duyarlılığı haritalarının hazırlamıştır bunu yaparken de belirlenen riskleri AHP yöntemi ile ağırlıklandırmıştır. Uygulanan metodoloji basit olmasına rağmen tutarlı sonuçlar vermiş ve duyarlılık haritası verimlilik değeri oldukça yüksek çıkmıştır. Çalışma bölgedeki sel felaketlerini yönetmek ve yüksek riskli bölgelerde önlemler almak açısından karar vericilere faydalı bilgiler sunmaktadır.

(Sun vd., 2020) Çin'in Yangtze Nehri Deltası için su taşkını afet risk analizi modelini geliştirmişlerdir. Belirlenen risk parametreleri Entropi yöntemi ile ağırlıklandırıldıktan sonra bölgeleri riskleri bakımından karşılaştırmak amacıyla WSM, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar söz konusu bölgelerin sel riskleri ve öncelikleri açısından faydalı bilgiler vermektedir.

(Luu vd., 2019) alışmalarında Vietnam için 1989-2015 yılları arasındaki sel felaketlerine ilişkin verileri kullanarak çoklu regresyon ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak risk analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışma karar verici ve planlamacılara bölgelerin riskleri hakkında analitik bir değerlendirme sunmaktadır.

(Li vd., 2019) çalışmalarında yerel yöneticilere fayda sağlayabilecek sel dayanıklılığı değerlendirme modelini geliştirmişlerdir. Uzmanlardan alınan belirsiz ve eksik bilgileri sürece dâhil etmek amacıyla VIKOR yöntemi tercih edilmiş ve Çin'in beş kenti için önerilen model uygulanarak buralarda sel direncini arttırmak için öneriler sunulmuştur.

(Moghadas vd., 2019) kentsel afet direnci açısından ani su baskınlarına yönelik bir dayanıklılık değerlendirmesi önermişlerdir. AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplandıktan sonra Tahran'ın kentsel bölgeleri dayanıklılık seviyelerine göre TOPSIS yöntemi ile sıralanmışlardır. Sonuçlar şehrin afete dayanıklılığının planlanması açısından karar vericilere önemli bilgiler sunmaktadır.

(Sari, 2021) Türkiye'de sık görülen doğal afetlerden orman yangınlarının bölgesel risk duyarlılığını ortaya koymak amacıyla orman yangın risklerini belirleyip AHP yöntemi ile önem ağırlıklarını hesapladıktan sonra TOPSIS ve VIKOR metotları ile Muğla ili için duyarlılık haritası oluşturmuşlardır. Önerilen metot çeşitli duyarlılık analizleri ile doğrulanmıştır.

(Çoban ve Erdin, 2020) çalışmalarında orman yangını riskine yönelik dört ana kriter ve bunlara bağlı toplam ön üç alt kriter tanımlayarak AHP ile önem ağırlığı hesaplamışlardır. Önerilen yöntem CBS ile entegre edilerek Bucak Ormanı için en orman yangını riski yüksek olan bölgeler belirlenmiştir.

(Sharma vd., 2012) bulanık AHP yöntemi kullanılarak belirlenen orman yangını risk parametrelerinin önem ağırlıkları hesaplanmış ardından uygulamanın gerçekleştirildiği bölge için risk düzeyi yüksek olan kritik alanlar tespit edilmiştir. Çalışmanın özellikle uygulama bölgesindeki yerel yönetimlere riskler ve alınabilecek önlemler açısından önemli bir kaynak olma niteliği vardır.

Literatürde deprem sonrası yangın risklerini ÇKKV problemi şeklinde ele alan iki adet çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalar gerçekleştirilen araştırmaya temel olduğu için daha detaylı açıklanmıştır.

(Zhao vd., 2005) yaptıkları çalışmada CBS'ye dayanan deprem sonrası kentsel yangın riski değerlendirme metodunu geliştirmişlerdir. Belirledikleri deprem sonrası yangın riski parametrelerini AHP metodu ile ağırlıklandırdıktan sonra belirli büyüklükte alanlara böldükleri örnek yerleşim yerinin her bir parçasının

riskini hesaplamış ardından da tüm parçaları bir araya getirerek toplam riske ulaşmışlardır. Araştırmacılar deprem sonrası yangın riskini tutuşma ve yangının yayılması olmak üzere iki başlık altında incelemişlerdir. Tutuşma riski için potansiyel tutuşma kaynakları, sismik hasar ve sallanma süresi olmak üzere üç parametre üzerinde yoğunlaşmışlardır. Potansiyel tutuşma kaynakları olarak pişirme ekipmanları, kimyasal ürünler, yanıcı gaz depolama alanları ve doğalgaz sistemleri gibi risk faktörleri ön plana çıkmıştır.

Yangının yayılma riski için yangın destekleyici faktörler ve yangın durdurucu faktörler olmak üzere iki alt faktör tespit etmişlerdir. Destekleyici faktörler, depremden sonra yaşanan bir tutuşmanın büyük bir yangına dönüşmesine yol açabilecek bina malzemesi türü (ahşap, betonarme vb.) ve hava koşulları gibi parametreleri içermektedir. Yangın durdurucu faktörler ise başlayan bir tutuşmanın yayılmasının önlenmesine yardımcı olan faktörler olarak tanımlanmakta ve itfaiye, yangın söndürme ve binalar arasındaki geniş alanlar gibi parametreleri kapsamaktadır. Tespit edilen her bir risk faktörü AHP değerlendirmesine tabi tutulmuş ve metoda entegre edilen matematiksel modelin de yardımıyla riskler ağırlıklandırılmıştır.

Bu ağırlıklar referans alınarak her bir değerlendirme alanına ait deprem sonrası yangın riski belirlenmiştir. Bu çalışma aşağıda sıralanmış olan nedenlerden ötürü önemlidir:

- Literatürdeki istatistiksel metotlardan farklı olarak çok sayıda risk parametresini dikkate almaktadır.
- Hem tutuşma hem de yayılma risklerini göz önüne alarak daha geniş bir değerlendirme yöntemi sunmaktadır.
- Deprem sonrası kentsel yangın riskleri için AHP yöntemini kullanan rastlanılan tek çalışmadır.

(Lin vd., 2017) çalışmalarında AHP yöntemini kullanmalarına rağmen biraz daha farklı bir yaklaşım uygulayarak binalar için deprem sonrası yangın risklerini araştırmışlardır. Yangınla mücadele ekipmanları, yangın önlemleri için cihazlar, bina içi akış ve yönetim olmak üzere belirledikleri dört ana kriter için toplamda on üç alt kriter tanımlamışlardır. Dört ana kriter içinden en önemlisi 0,333 ile

yangınla mücadele ekipmanları olarak belirlenmiş hemen ardından da 0,319 önem ağırlığı ile yangın önlemleri gelmiştir. Çalışma bir binanın deprem sonrası yangın riskini azaltabilmek için felaketlere hazırlıklı olunması gerektiğini ve uygun ekipman ve önlemlerin riskleri azaltabileceğini göstermiştir.

Literatür araştırması deprem ve sel gibi doğal afetlerin aksine ikincil doğal afetler olan deprem sonrası yangın risklerinin ÇKKV yöntemleri ile ele alınması konusunda çok kısıtlı çalışmalar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bununla birlikte bulanık ÇKKV yöntemleri ile gerçekleştirilen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özellikle su baskını riskleri için gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları bulanık ÇKKV metotlarının ikincil afetler risk atamaları için iyi sonuçlar verdiğini ortaya koyduğundan deprem sonrası yangın riskleri için de bu yaklaşımın uygun olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda önerilen yöntemin hem literatürdeki bu boşluğu dolduracağı hem de örnek uygulama açısından İstanbul ili Anadolu Yakası ilçelerinde söz konusu riskler açısından bir ön değerlendirme aracı olabileceği düşünülmektedir. Önerilen Aralık Değerli Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS ve Aralık Değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS metodolojilerinin genel bir risk değerlendirmesi yapmaya ve daha detaylı müdahale edilmesi gereken noktaların tespit edilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca önerilen yaklaşımlar uzman yargısı ve belirsiz durumları da risk analizi sürecine dâhil ettiği için literatürde yaygın olarak kullanılan istatistik ve benzetim modellerine bir alternatif olabilir.

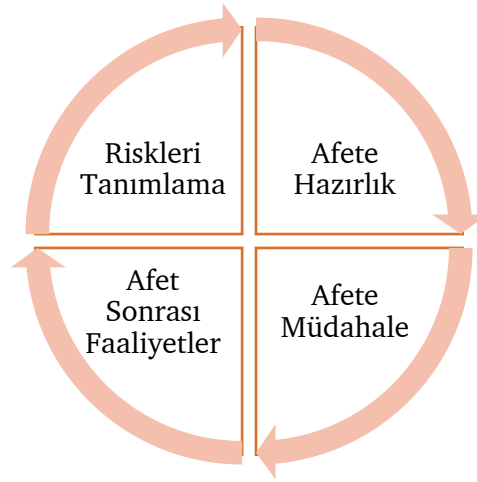
Çalışmanın devamında afetlerde İHA kullanımı konusuna yer verilmiş ve özellikle tez konusu kapsamında deprem sonrası yangın operasyonlarında İHA müdahalesinin olası etkileri ele alınmıştır. Günlük faaliyetlerde birçok alanda oldukça sık kullanılan İHA'ların doğru planlama ve yönetim ile afetlerde ve afet sonrası süreçlerde fayda sağlayacağı ve müdahale performansını iyileştireceği düşünülmektedir. Bu bağlamda ÇKKV yöntemleri uygulaması sonucu riskli çıkan bölgeler için İHA müdahalesi için yapay sinir ağı temelli kümeleme yaklaşımı öngörülmektedir. Söz konusu yöntemler ilerleyen bölümlerde sırası ile ele alınmıştır.

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI VE AFETLERDE KULLANIMI

Teknolojik gelişmelere paralel olarak dronlar da yıllar içerisinde birçok farklı açıdan gelişmiş ve günümüzde farklı alanlarda kullanımları yaygınlaşmıştır. Bu alanlardan bir tanesi de afet sonrası operasyonlardır. Özellikle ilk kırk sekiz saatin hayati önem taşıdığı afet sonrası arama kurtarma çalışmalarında dronlardan sıkça faydalanılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda deprem sonrası başlayacak bir yangına müdahalenin zorluğu düşünüldüğünde İHA kullanımının bu alanda oldukça faydalı olacağı açıktır. Depremlerin ulaşım yollarını kapatacak kadar yıkıcı olduğu durumlarda dronlar ile afet alanlarında yapılacak keşifler birçok faydalı bilgi sağlarken o alandaki afetzedelerin de kurtarılmasını hızlandıracak bilgiler toplayabilirler. Bu noktada önemli olan hangi bölgelerin riskli olduğunu belirleyerek uygun noktalarda komuta merkezleri oluşturmak ve olası bir afet durumunda mümkün olan en hızlı şekilde afet bölgesine ulaşmaktır.

İnsansız hava aracı en basit tanımıyla içerisinde sürücüsü olmayan, otonom veya uzaktan kontrol ile çalışan hava aracıdır. İHA'ların en büyük avantajı ulaşılması zor alanlarda uzaktan komuta edilerek kullanılabilmesidir (Değirmen vd., 2018). Geçmiş yıllarda daha çok askeri operasyonlarda tercih edilen İHA'ların günlük yaşamda kullanımları da zamanla yaygınlaşmış ve eğlence, lojistik teslimat, güvenlik gibi farklı alanlarda çeşitli amaçlar için kullanılmaya başlanmışlardır. Afet sonrası durum tespiti ve kaynak planlaması da İHA'ların kullanıldığı alanlardan bir tanesidir. Kaynakların sınırlı, zaman planlamasının kritik olduğu afet sonrası operasyonlarda erişimi zor olan bölgelere İHA ile ulaşılması birçok açıdan avantaj sağlarken insani yardım için gerekli malzeme, bilgi ve hizmetlerin kısa sürede ve etkin bir şekilde ulaştırılmasında oldukça faydalı bir seçenek olmaktadır (Yılmaz, 2019).

Afet yönetimi riskleri tanımlama, afete hazırlık, müdahale ve afet sonrası iyileştirme olmak üzere dört aşamadan oluşan bir süreçtir ve Şekil 3.1'de afet faaliyetlerine ait döngüyü temsil etmektedir. (Erdelj vd., 2017).



Şekil 3.1 Dört aşamalı afet döngüsü

İHA'ların afet döngüsünün dört aşamasında da kullanıldığı farklı araştırmalar bulunmaktadır. Afet risklerini tanımlama ve hazırlık fazında İHA yardımıyla keşif uçuşları gerçekleştirilip risk faktörlerinin önceden belirlenmesine ve afet meydana gelmeden önlem alınmasına yönelik uygulamalar mevcuttur. Okyanuslar üzerinde yapılan keşif uçuşları ile suyun hareketleri izlenerek tsunami veya su baskını riskini belirleme (Gonçalves ve Henriques, 2015; Nikolakopoulos vd., 2017; Turner vd., 2016) veya ormanlardaki kontrol uçuşları ile yangınları erken tespit etme (Martínez-de-Dios vd., 2007; Sudhakar vd., 2020; Yuan vd., 2015) gibi afet öncesi operasyonlarda İHA kullanımı oldukça yaygındır. Afete müdahalede İHA kullanımı bazı sınırlamalardan dolayı diğer alanlar kadar yaygın olmasa da teknolojik gelişmelere bağlı olarak gelişim göstermektedir. Yangına müdahale için Ehang adlı Çin menşeli bir şirket tarafından geliştirilen İHA, yüksek binalardaki yangınları uzaktan kontrol mekanizması ile kısa sürede söndürmek amacıyla üretilmiş ve yapılan ilk denemelerde oldukça başarılı olmuştur. Benzer bir uygulama Alshbatat (Alshbatat, 2018) tarafından yüksek binalarda başlayan yangınlara müdahale edebilmek için dört pervaneli İHA tasarımı ile yangın söndürme toplarının birleştirilmesi ve yangın anında binalara yaklaşan İHA'dan söndürme topunun atılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem söndürme toplarının yanan binaya atılması noktasında belli sınırlamalara sahip olsa da önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Afet sonrası faaliyetler için İHA kullanımı konusu özellikle depremlerden veya su baskınlarından sonra ulaşılması zor, hasar görmüş bölgelerin tespit edilmesi için sık tercih edilmektedir. Uzaktan komuta edilen İHA'ların hasarlı bölgelerden topladıkları görüntüler yetkililere alınacak aksiyonlar için önemli bilgiler sunarken daha hızlı karar verilmesine de yardımcı olmaktadır(Bendea vd., 2008). Ayrıca bir doğal afetten sonra afetten etkilenen bölgedeki arama kurtarma çalışmaları için de oldukça sık tercih edilmektedirler. Mishra ve arkadaşları(Mishra vd., 2020) İHA ve görüntü işleme metotları ile afet sonrası görüntülerden mağdur insanları veya yardım isteyen kişileri tespit etmek üzere bir yaklaşım ortaya koymuşlardır. Böylece görüntüdeki insanların çeşitli vücut hareketlerinden acil yardıma ihtiyaçları olup olmadığını tespit ederek kurtarma çalışmalarını yönlendirebilmektedirler. Literatürde afetin farklı evreleri için çeşitli araştırmalar mevcuttur. Tablo 3.1 İHA'ların afet yönetiminin farklı fazlarındaki kullanım amaçlarına yönelik bazı çalışmaları göstermektedir.

Tablo 3.1'den de görülebileceği gibi afetlerde İHA'lar daha çok hasar değerlendirmesi ve arama kurtarma faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte özellikle kablosuz haberleşme sistemlerindeki teknolojik gelişmeler bazı İHA'ların afetlerde haberleşme ve anlık bilgi akışı gibi amaçlarla da kullanılmasına imkân vermektedir. İHA'ların afetlerde sıklıkla kullanıldığı alanlar aşağıda sıralanmıştır(Erdelj vd., 2017):

- **Görüntüleme, tahmin ve erken ikaz:** Yapısal ve çevresel izleme kullanılarak elde edilen veriler analiz edilir ve çeşitli yöntemlerle tahminler yapılarak İHA'ların erken uyarı sistemleri olarak hareket etmesi sağlanabilir.
- **Afet bilgi akışı ve paylaşımı:** İHA'lar farklı bilgi teknolojileri arasında bir köprü görevi görerek mevcut bilgi kaynaklarını destekleyebilir.

Tablo 3.1 Afet yönetimi aşamalarında İHA kullanımına yönelik çalışmalar(Erdelj ve Natalizio, 2016)

Yazar	Yıl	Afet Hazırlık	Afet Değerlendirmesi	Afet Sonrası	Kullanım Amacı
(Ueyama vd., 2014)	2014	√		√	Görsel Tahminleme
(Erman vd., 2008)	2008	√	√		Görsel Tahminleme, Anlık Durum Tespiti
(Kumar vd., 2004)	2004		√		Anlık Bilgi Akışı, Hasar Tespiti
(Mosterman vd., 2014)	2014		√		Bilgi Akışı ve Arama Kurtarma
(Grocholsky vd., 2006)	2006		√		Anlık Durum Tespiti
(Murphy ve Stover, 2008)	2008		√	√	Anlık Durum Tespiti
(Wada vd., 2013)	2013		√		Hasar Tespiti
(Ezequiel vd., 2014)	2014		√		Hasar Tespiti
(Kruijff vd., 2012)	2012		√		Hasar Tespiti ve Arama Kurtarma
(Nelson vd., 2011)	2012			√	Hasar Tespiti
(Tuna vd., 2014)	2014			√	Arama Kurtarma
(Felice vd., 2014)	2014			√	Arama Kurtarma
(Robinson ve Lauf, 2013)	2013			√	Arama Kurtarma

- **Durum tespiti ve tahliye desteği:** İHA'lar afet sırasında mağdur olan kişilerin bölgeden çıkarılması için konuşlandırılmış kurtarma ekiplerine destek olmak üzere kullanılabilir.
- **Bağımsız iletişim sistemi:** İHA'lar, afet sırasında hasar görmüş veya tahrip olmuş iletişim altyapısını yeniden kurabilir veya iletişime destek amaçlı baz istasyonu görevinde kullanılabilir.
- **Arama kurtarma görevleri:** İHA'lar kayıp, yaralı veya enkaz altında kalmış insanların arama kurtarma çalışmalarında destek olabilir.
- **Hasar değerlendirmesi:** İHA'lar, yapısal izleme veya video analizi gibi farklı yöntemlerle afet sonrası hasar değerlendirmeye yardımcı olabilir.
- **Medya desteği:** İHA'lar afet sonrasında topluma doğru ve zamanında bilgi verilmesine yardımcı olabilir.
- **Tıbbi destek:** Özel olarak tasarlanan ve ağırlık taşıma kapasitesi normal İHA'lara göre daha yüksek olan İHA'lar ulaşımın kesildiği noktalarda insanları hayatta tutacak ilkyardım desteğinin verilmesi için destek olabilir.
- **Altyapı inşaa desteği:** İHA ağının kullanılması hasar tespitini kolaylaştırarak yeniden inşaa sürecinin daha hızlı ve efektif olarak yürütülmesine destek olabilir.

Yukarıda sıralanmış olan İHA kullanım alanları bilgi teknolojileri ve haberleşmedeki gelişmeler ile gün geçtikçe çeşitlenmekte ve yaygınlaşmaktadır. Bu gelişmeler de afetlerle ilgili süreçlerin yönetimini kolaylaştırmaktadır. İHA'ların geleneksel yöntemlerin aksine sundukları bazı avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür (Giordan vd., 2017; Yılmaz, 2019):

- İHA'lar alçak irtifalarda uçuş kabiliyetine sahiptirler.
- Uzak noktalara ulaşarak yüksek çözünürlüklü görüntüler yakalayabilirler.
- Kamera, lazer tarayıcı, navigasyon ve çeşitli sensörleri barındırdıkları için birçok farklı türde veri toplayabilirler.
- Uçuş ve hareket esneklikleri olduğu için farklı açılardan görüntüler elde edebilirler.
- Geleneksel yöntemlerin aksine çok daha düşük maliyetlerle çok daha fazla miktarda veri toplayarak arama kurtarma faaliyetlerine destek olurlar.

- Uydu görüntüleri ile kıyaslandığında çok daha yakından detaylı görüntüler elde etme yeteneğine sahiptirler.
- Elde edilen görüntüleri kullanmak için beklemeye gerek olmaksızın anlık olarak toplanan görseller kullanılabilir.
- Afet türüne bağlı olarak uydu görüntülerinin net olmadığı veya kolayca yorumlanamadığı durumlar için İHA görüntüleri idealdir.

Bu bölüme kadar İHA'ların doğal afetlerde kullanım şekillerine ve sağladıkları avantajlara değinilmiştir. Çalışmanın devamında İHA türleri daha detaylı incelendikten sonra deprem ve deprem sonrası yangınlardaki kullanımlarından bahsedilmiştir.

3.1 İHA Türleri ve Özellikleri

Teknolojik özelliklerine, görevlerine, ağırlıklarına, kullandıkları güç tipine veya hareket kabiliyetlerine göre İHA'lar farklı şekillerde gruplandırılabilir. Temel düzeyde, İHA'ları sabit kanatlı, döner kanatlı ve hibrit olmak üzere üç grupta sınıflandırmak mümkündür. Sabit kanatlı İHA'ların kanatları kaldırma kuvveti oluşturmak için ileri hava hızına gereksinim duyduğundan fırlatılmak için fazla alana ihtiyaç duyarlar. Döner kanatlı(helikopter) İHA'lar ise bunu döner kanatları ile yaptıklarından ve genellikle dikey kalkış-iniş gerçekleştirdiklerinden fırlatılmak için fazla alana ihtiyaç duymazlar. Bunun yanında sınırlı menzil, uçuş süresi ve yük kapasitesine sahiptirler.



Şekil 3.2 Sabit kanatlı, döner kanatlı ve multikopter İHA örnekleri

Hibrit(multikopter) İHA'lar hem sabit kanatlı hem de çoklu motorun özelliklerini kapsar ve dikey kalkış-iniş gerçekleştirmek ve aynı zamanda daha uzun gezinmek gibi farklı özellikleri barındırırlar (Radu vd., 2019).

Şekil 3.2 sırası ile sabit kanatlı, döner kanatlı (helikopter) ve multikopter İHA örneklerini göstermektedir. En çok kullanılan İHA türlerine ait karşılaştırma Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Tablo, avantaj ve dezavantajlar üzerinde dururken her bir İHA türünün hangi amaçlar için daha uygun olduğunu ve ortalama fiyat aralığını da göstermektedir.

Tablo 3.2 İHA türleri ve özellikleri (Erdelj vd., 2017)

İHA Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar	Uygulamalar	Ortalama Fiyat(\$)
Sabit Kanat	Geniş kapsama alanı	Uygunsuz kalkış ve iniş Fiyat	Alan araştırması Yapısal inceleme	20.000-150.000
Döner Kanat (Helikopter)	Stabil uçuş Artan yük kapasitesi	Fiyat	Havadan inceleme Tedarik teslimat	20.000-150.000
Döner Kanat (Multikopter)	Ulaşılabilirlik (fiyat) Stabil uçuş	Düşük taşıma kapasitesi Kısa uçuş süresi	Havadan inceleme Filmografi Fotoğrafçılık	3.000-50.000

Tablo 3.2 genel olarak üç ana sınıfı göstermekle birlikte son yıllarda birçok farklı amaca yönelik gelişmiş İHA’lar piyasaya sürülmüştür. Afet sonrası operasyonlarda da bu gelişmeler doğrultusunda farklı İHA türlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Depremler ve yangınlar özelinde bir araştırma yapıldığında özellikle kamera ve sensörlerle donatılmış İHA’lar gün geçtikçe daha iyi performans gösterecek hale gelmiş ve birçok farklı noktada afet yöntem sürecini iyileştirmiştir. Tablo 3.3 farklı amaçlar için sıklıkla kullanılan piyasadaki bazı İHA modellerini sahip oldukları teknik özellikler açısından göstermektedir. Çok fazla sayıda ve çeşitte İHA olduğu için burada temel bazı modellere yer verilmiştir.

Tablo 3.3 Özelliklerine göre bazı İHA modelleri (Vergouw vd., 2016)

Karakteristik	Delfly Explorer	Hubsan x4 Drone	Parrot A.R. Drone	DJI Phantom	Raven	ScanEagle
İHA Tipine Göre						
Sabit Kanat	X	X	X	X	√	√
Çok Kanatlı	X	√	√	√	X	X
Diğer	√	X	X	X	X	X
Otonomluk						
İnsan tarafından kontrol edilme	X	√	√	√	√	√
İnsan yetkilendirilmiş sistem	X	X	√	√	√	√
İnsan denetimli sistem	√	X	X	X	X	X
Tamamen otonom sistem	X	X	X	X	X	X
Boyut/Ağırlık						
Geniş İHA(25-150 kg)	X	X	X	X	X	X
Küçük İHA(2-25 kg)	X	X	X	X	√	√
Mini İHA(2 kg'a kadar)	√	√	√	√	X	X
Enerji Kaynağı						
Uçak Yakıtı	X	X	X	X	X	√
Akü Hücreleri	√	√	√	√	√	X
Yakıt Hücreleri	X	X	X	X	X	X
Güneş Hücreleri	X	X	X	X	√	X

3.2 Deprem ve Yangınlarda İHA Kullanımı

Deprem ve yangın özelindeki İHA uygulamalarına bakıldığında literatürde birçok farklı araştırmaya rastlanmaktadır. Deprem konusundaki çalışmalar genellikle bir depremden sonra hasar tespiti ve arama kurtarma konularında yoğunlaşırken yangın konusundakiler daha çok sensör ve kameralar yardımıyla yangın tespiti ve erken uyarı sistemleri şeklinde yoğunlaşmaktadır.

Ollero ve arkadaşları (Ollero vd., 2006) orman yangınlarında İHA kullanımını yangın öncesi, yangın esnası ve yangın sonrası şeklinde sınıflandırarak araştırmışlardır. Yangın öncesinde bitki örtüsü özelliklerini gözlemleme yoluyla risk tahmini yapmak mümkün olurken yangın esnasında afet yerinin tespit edilmesi ve lokasyon doğrulaması için İHA kullanımının uygun bir yöntem olduğu vurgulanmaktadır. Yangın sonrası için yanan alanların belirlenmesinde faydalı olabileceği belirtilirken İHA'ların yangınla mücadelede nasıl işbirliği yapabileceği açıklanmıştır. Merino ve arkadaşları (Merino vd., 2005) heterojen İHA'lardan oluşan bir filo aracılığı ile yangın tespitine yönelik bir araştırma sunmaktadırlar. Önerilen yöntemle kızılötesi görüntülerden ve İHA'lar üzerindeki kamera ve sensör verilerinden yola çıkarak yangınları tespit etmek ve bilgisayar uygulamaları ile lokasyonu belirlemek amaçlanır. Bu çalışmada farklı İHA'lardan alınan bilgilerin belirsizliği azaltarak yer tespitindeki doğruluk payını arttırdığı belirlenmiştir. Yuan ve arkadaşları (Yuan vd., 2015) İHA tabanlı bir orman yangını algılama ve izleme yöntemi geliştirmişlerdir. Medyan, filtreleme, renk alanı dönüşümü ve otsu eşik segmentasyonu gibi bir dizi orman yangını algılama algoritması geliştirmiş ve bunları İHA ile entegre ederek yangının özelliklerine bağlı olarak algılama yapmayı mümkün kılmışlardır. Yöntem çok sayıda deneysel doğrulamadan geçirilerek metodolojinin yangın bölgesini etkili şekilde belirleyebileceği ortaya koyulmuştur. Daha sonraki yıllarda gerçekleştirilen benzer bir çalışmada Yuan ve arkadaşları (Yuan vd., 2017) orman yangınlarını otomatik tespit etmek üzere İHA tabanlı bilgisayar izleme sistemi ve kızılötesi ışıklardan faydalananarak konuyu görüntü işleme yaklaşımları temelinde incelemişlerdir. Önceki metotlardan farklı olarak kızılötesi piksellerin tanımlayıcı olarak kullanıldığı ve görüntüdeki farklılıklardan yola çıkılarak yangın yeri tespitinin yapıldığı bu araştırmanın etkili bir tespit aracı olduğu deneylerle ispatlanmıştır.

İHA ve yangın konusundaki literatürde yangın söndürme toplarının kullanımı dikkat çekicidir. Yangına müdahalede pratik bir yöntem olan bu topların içerdikleri kimyasal maddeler, topun ateşle temas etmesi halinde patlamakta ve alevleri boğarak başlamakta olan bir yangını söndürebilmektedir. Özellikle yangına ilk müdahale anlamında kullanışlı olduğu belirlenen bu yangın söndürme toplarının İHA ile kullanımına yönelik çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Aydın ve arkadaşları (Aydın vd., 2019) uzaktan algılama ve İHA teknolojilerine ek olarak yangın söndürme toplarını önermekte ve buna yönelik bir çerçeve sunmaktadırlar. Bu bağlamda önerilen sistem ilk olarak İHA ile bir alandaki yangının tespit edilmesi ve sinyaller yardımı ile lokasyonun tanımlanması adımıyla başlar. Birden çok İHA'nın dâhil olduğu sistemde İHA'lar arası haberleşme bağlantıları kurulur ve yangın söndürme topu taşıyan otonom İHA olay yerine giderek topu en uygun noktaya bırakmak sureti ile yangına müdahale eder. Çalışma önerilen yeni yaklaşıma ek olarak yangın söndürme toplarının kullanılabilirliğini de deneyler yolu ile araştırarak özellikle bina yangınlarında eğer açık bir pencere bulunmuyor ise etkili olmayabileceğini tespit etmiştir. Böylece önerilen yaklaşımın şehir ve bina yangınlarından ziyade orman yangınlarında kullanışlı olacağı belirtilmiştir. Alshbatat (Alshbatat, 2018) şehirlerdeki yüksek binalar veya dağlık bölgelerdeki yangınlar için İHA entegreli altı üniteli bir sistem yapılandırmıştır. Bu sistemde Quadrorotor İHA, serbest bırakma mekanizmalı robot, otomatik elektrikli yaylı silah, yangın söndürme topu, çarpışma önleme sistemi ve kamera bulunmaktadır. Böylece İHA belirli bir yük taşıyarak operatör tarafından belirlenecek bir alana yangın söndürme toplarını fırlatma kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmış ve önerilen sistem gerçek senaryolar ile uygulanmıştır. Geliştirilen İHA'nın yangının başlangıç aşamalarında söndürme ve keşifte iyi performans gösterirken topu belirtilen alana düşürmek ve yeni top almak üzere geri dönmek şeklindeki görevleri efektif şekilde gerçekleştirdiğini göstermiştir. İHA ve yangına müdahale topları konusundaki başka bir çalışma Soliman ve arkadaşları (Soliman vd., 2019) tarafından faydalı yük düşürme mekanizması tasarımı ile ortaya koyulmuştur. Bu çalışmada özellikle insanların ulaşamadığı alanlardaki yangınlara müdahale etmek için metal alaşımlardan yapılmış uzaktan kumandalı döner kanatlı bir İHA, yangın söndürme toplarını taşımak ve uygun yerlere bırakmak üzere

tasarlanmıştır. Önerilen faydalı yük düşürme mekanizmasının İHA kullanarak yangına müdahalede oldukça faydalı olabileceği yapılan uygulamalar ile gösterilmiştir. Nesnelerin interneti birçok alanda olduğu gibi İHA'lar konusunda da dönüştürücü olmuş ve haberleşerek veri akışı sağlayan İHA'lar gelişim göstermiştir. Kalatzis ve arkadaşları (Kalatzis vd., 2018) iki farklı veri akış modelinin hesaplama ilkelerini hiyerarşik bir mimari aracılığı ile İHA tabanlı orman yangını algılama ve uygulama yaklaşımı için bir araya getirmişlerdir. Bu yaklaşım bulut bilişim kaynakları, sis hesaplama yöntemleri ve İHA'ların algılama yeteneği gibi üç parametreyi birleştirerek yangın algılamanın temel zorluklarını ortadan kaldırmayı amaçlayarak ortaya koyulmuştur. Çalışma kritik kaynakların verimli yönetilmesine imkân veren birçok avantaj sunmuştur. Laszlo ve arkadaşları (Laszlo vd., 2018) konuya farklı bir açıdan yaklaşarak orman yangınlarında İHA kullanmanın geleneksel keşif yöntemlerine kıyasla sunduğu faydanın profesyonel ve ekonomik etkililiğini incelemişlerdir. Bu amaçla karşılaştırmalı analiz, dolaylı yol analizi ve taktik düzeyde İHA uygulamaları olmak üzere üç farklı yaklaşım ile araştırmayı gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak pazarlamadaki klasik etkililik kavramının afetlerde İHA kullanımı konusunda geçerli olmayacağını ve İHA'nın yangın alanlarında devriye uçuşu, müdahale yeteneği gibi değişken tüm koşulları birlikte hesaba katmak zor olsa da etkililiği ortaya koymanın alternatif bir yolu olabileceğini belirlemişlerdir. Bu çalışma yangınlarda İHA kullanmanın ekonomiklik boyutunu ele almasından dolayı dikkate değerdir. Restas (Restas, 2015) yaptığı araştırmada afet sürecinde operasyonel ve taktik İHA kullanımını nükleer kazalar, deprem, sel, orman yangını ve tehlikeli madde salınımı olmak üzere beş doğal afet üzerinde değerlendirmektedir. Ulaştığı sonuçlarda depremin hızlı bir hasar tespitini gerekli kıldığını ve İHA ile müdahalenin kurbanların hayatta kalma şansını arttıracaklarını ifade etmektedir. Seller yavaş başlayan afetler olmalarına rağmen yönetim ve kontrol açısından karmaşık süreçler olduğundan İHA'ların bölgenin kontrol altında tutularak izlenmesinde faydalı olduğunu belirlemiştir. Orman yangınları, insansız hava aracının taktik uygulamasının hâlihazırda kullanıldığı felaketler olarak tanımlanırken İHA'nın, yangın algılama, müdahale izleme ve ayrıca yangın sonrası izleme için kullanılabileceği ifade edilmiştir. Nükleer kaza veya tehlikeli

madde sızıntısı durumunda İHA'nın çok etkili olabileceği hatta afet yönetimini destekleyen tek araç olabileceği belirlenmiştir. İHA'ların depremler ve deprem sonrası operasyonlarda kullanımı da en az yangınlar kadar yaygındır. Özellikle deprem sonrası çekilen yüksek çözünürlüklü fotoğraf ve videolar müdahale etkinliği için oldukça önemlidir. Yamazaki ve arkadaşları (Yamazaki vd., 2017) yaptıkları çalışmada 2016 yılında Japonya'da yaşanan Kumamoto Depremi'nin neden olduğu yüzeysel faylar, devrilmiş taşlar, heyelanlar, çökmüş binalar ve hasarlı köprüler gibi afet alanlarında İHA uçuşları gerçekleştirerek yüksek çözünürlüklü fotoğraf ve videolar kaydetmişlerdir. Ardından bu kayıtları kullanarak “hareketten yapı” denilen bir teknikle üç boyutlu modeller geliştirmişlerdir. Böylece keşif uçuşu yapılan afet alanlarının hasar durumlarını canlı bir şekilde belirlemiş ve daha sonra somut inceleme sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Benzer bir araştırma Wenchuan Depremi için Lei ve arkadaşları (Lei vd., 2018) tarafından uzaktan algılama sistemi ile yüksek çözünürlükte görüntü elde ederek hasar tespiti için bilgi toplamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sichuan Eyaleti'nin bulutlu ve yağışlı hava koşullarına rağmen uzaktan algılama sistemi içeren İHA'lar deprem sonrası hasarlı binaların tespit edilmesinde oldukça etkili olmuş ve yapılan haritalama faaliyetlerinde katkı sağlamıştır. Çalışma uzaktan algılama ve İHA sistemlerinin afet sonrası haritalama operasyonları için performans artırıcı etkilerini ortaya koymuştur. Bina hasar tespiti ve haritalama için daha gelişmiş “büyük veri” yaklaşımı Hong ve arkadaşları (Hong vd., 2015) tarafından ortaya koyulmuştur. İHA'ların elde ettiği yüzlerce afet görüntüsünün hızlı ve etkili işlenmesi ve hasar haritasına ulaşılabilmesi için prizmatik bir dijital topografik harita ve postsismik İHA görüntülerini kullanan otomatik üç boyutlu paralel bir işleme yaklaşımı önermişlerdir. Önerilen yaklaşım Çin'de meydana gelen Ya'an depremi için uygulanmış ve sonuçlar hem haritalama hem de maliyet boyutları için tatmin edici çıkmıştır. Zhang ve arkadaşları (Zhang vd., 2020) binaların yapısal hasarlarını ve çatlakları otomatik tespit etmek için kızılötesi termal görüntüleme teknolojisi ile İHA uzaktan algılama yöntemlerini entegre etmişlerdir. Dört ana adımdan oluşan bu yaklaşımda görüntülere dayalı canlı modellemeler yapıp analiz edildikten sonra binaların hasar bilgilerinin çıkarılması ve daha sonra kızılötesi termal görüntülemeye dayalı olarak çatlakların

tespit edilmesi gerçekleşmektedir. Son adımda hasarlı bina bilgileri ve özellikleri mevcut durumda değerlendirilir. Yöntemin binaların içyapısında ve dış duvarlarda hasar dağılımını %78 hassasiyetle elde ettiği ispatlanmıştır. Hasar tespiti için görüntü elde etmenin yanı sıra İHA'lar afetzedelerin yerini tespit etme noktasında da oldukça iyi performans göstermektedirler. Qi ve arkadaşları (Qi vd., 2016) arama kurtarma çalışmalarına destek olmak amacıyla ekiplerin ilgili alanları hızlı bir şekilde bulmalarına yardımcı olmak için, çökmüş binaları zamanında tespit ederek hayatta kalma oranlarını artırabilen çökmüş bina algılama yaklaşımını önermişlerdir. Yöntem gerçek hayat uygulamaları ile öğrenmeye dayalı olarak geliştirilmiş ve önemli ölçüde ilerleme kaydetmiş ve arama kurtarma çalışmalarında destekleyici bir yöntem olarak nitelendirilmiştir. İHA'lara entegre edilecek detektörler arama kurtarmada oldukça fayda sağlayabilir. Deng ve arkadaşları (Deng vd., 2018) radar can detektörü ile donatılmış İHA ile mahsur kalan insanların aranması çalışmalarında süreyi kısaltarak arama yolunu optimize etmek amacıyla Dijikstra ile Benzetilmiş Tavlama algoritmalarını birleştirmişlerdir. Önerilen yöntemi Çin'in Jiuzhaigou bölgesinde yaşanan gerçek bir deprem felaketinde denemiş ve yöntemin engellerden kaçınarak arama kurtarma faaliyetlerinde süreci hızlandıracak katkılar sunduğunu ortaya koymuşlardır.

Literatür araştırması doğal afetlerde İHA kullanımının hem süreçleri yönetmede hem de kısa sürede müdahale sağlama yeteneği geliştirmede ciddi katkılar sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın konusu olan deprem ve deprem sonrası yangınlar özelinde bakıldığında her iki doğal afet türü için erken uyarı, hasar tespit ve arama kurtarma aşamalarında sıkça İHA'ların sürece dâhil edildiği belirlenmiştir. İlçeler için deprem sonrası yangın özelinde yapılacak mahalle bazlı kümeleme yaklaşımının olası bir afette sürece entegre edilecek İHA'lar için bir ön araştırma sunacağı ve hangi mahallelerin birlikte incelenebileceği veya İHA merkezinin hangi bölgelere atanmasının daha efektif olacağı konusunda faydalı bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

DEPREM SONRASI YANGIN RİSKLERİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK YÖNTEMLER

Bu bölümde deprem sonrası yangın riskleri için önerilen yöntemler teker teker açıklanmıştır. İlk olarak bulanık ve nötrosofik sayı setlerine yer verilmiş ardından kullanılan ÇKKV yöntemleri sırası ile incelenmiştir. Daha sonra riski yüksek çıkan ilçeler için kullanılması önerilen KÖH ile kümeleme yöntemi detaylı bir şekilde irdelenmiş ve yapay sinir ağları temelinde söz konusu yöntemin probleme uygunluğu ve çalışma prensipleri açıklanmıştır.

4.1 Bulanık Sayı Kümeleri

Bulanık mantık kavramı (Zadeh, 1965)'in ifadesiyle “sınırlayıcı bir yaklaşım olarak görülen kesin akıl yürütme ile yaklaşık akıl yürütmenin biçimsel ilkeleri ile ilgilenen” bir yaklaşımdır. Diğer bir ifadeyle bulanık mantık, insanların tecrübe ve verilerden elde ettikleri değerleri belirli algoritmalar yardımıyla işleyerek oluşturacakları kurallara bağlı olarak bazı matematiksel fonksiyonların da yardımıyla sonuç değerlerinin çıkarılması yaklaşımıdır (Keskenler ve Keskenler, 2017). Bulanık mantığın temelinde insan düşüncesinin kesin değerler ve ifadeler ile belirtilmesinin sınırlandırıcı etkisinden kurtulma düşüncesi de vardır. Zadeh tarafından bulanık mantık aşağıdaki ilkeler üzerinden tanımlanmıştır (Keskenler ve Keskenler, 2017; Zadeh, 1965) :

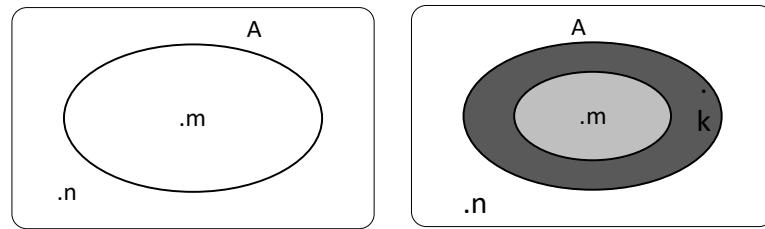
- Kesin ve net değerler yerine bulanık mantıkta yaklaşık değerler kullanılır.
- Bilgi, bulanık mantıkta az, çok, yeterli, küçük gibi dilsel ifadelerle tanımlanır.
- Bulanık mantıkta tüm değerler $[0-1]$ aralığında değer alan ve “üyelik derecesi” olarak ifade edilen değerler alırlar.
- Her mantıksal ifade bulanık bir ifadeye dönüştürülebilir.
- Bulanık mantık matematiksel olarak oldukça karmaşık olan sistemlerin modellenmesine imkân veren oldukça kullanışlı bir yaklaşımdır.

Klasik kümelerden farklı olarak bulanık kümeler; matematiksel olarak söylem evreninde yer alan herhangi bir varlığa bulanık kümeye ait olma derecesini gösteren bir değer atanması şeklinde tanımlanabilir(Zadeh, 1975). Kümeye ait olma durumu “üyelik derecesi” kavramı ile temsil edilir ve söz konusu varlığın küme için tanımlanmış olan özellikleri taşıma derecesini gösterir. Klasik kümelerde bir elemanın kümeye ait olma veya olmama durumu 0 ve 1 gibi kesin değerlerle ifade edilirken bulanık kümelerde böyle bir ayrım yoktur ve üyelik derecesi özelliklerin taşınmasını durumuna göre $[0,1]$ aralığında bir değer alır. Diğer bir ifadeyle klasik kümelerde kümeye ait olmayan elemanların üyelik değeri 0 iken tam üye olanların üyelik değeri 1’dir ve belirsiz bir durum söz konusu değildir. Klasik ve bulanık kümeler için üyelik fonksiyonları sırasıyla Eşitlik (4.1) ve (4.2)’deki gibidir:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\mu_A(x) = [0,1] \quad (4.2)$$

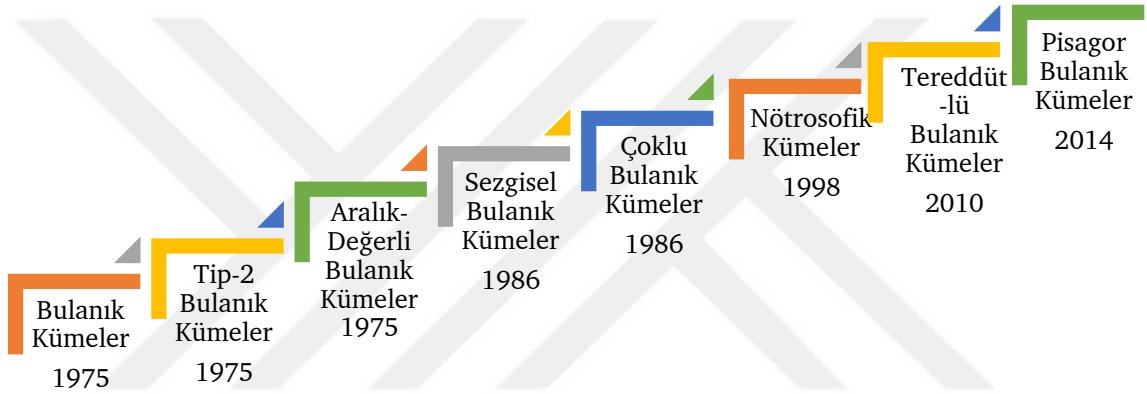
Örnek olarak Şekil 4.1’de klasik ve bulanık küme kavramlarını sembolize eden iki adet küme gösterilmiştir. Tanımlamalarda da belirtildiği üzere klasik kümelerde üye olma veya olmama gibi iki kesin durum söz konusu iken bulanık kümelerde üyeliğin derecesi vardır ve belirsizlik mevcuttur.



Şekil 4.1 Klasik ve bulanık küme temsili

Zadeh’in bulanık küme kavramı zamanla genişlemiş ve farklı araştırmacılar tarafından farklı bulanık küme kavramları ortaya atılmıştır. İlk olarak 1975’te Zadeh bulanık küme teorisinin bir uzantısı olarak Tip-2 bulanık kümeleri tanıtmıştır. Bu kümeler, üyelik derecelerinin kendisi de Tip-1 bulanık küme olan kümelerdi. Ardından tip-2 bulanık kümeler, 1975 yılında aralık-değerli bulanık kümelerle genişletilmiştir. 1986 yılında sezgisel bulanık kümeler (Atanassov,

1986) ve yine 1986'da bulanık çoklu kümeler (Yager, 1986) ortaya atılmıştır. 1998 yılına gelindiğinde belirsizliği daha iyi ifade edebilmek üzere üç değişkenle ifade edilen nütrosifik setler (Smarandache, 1998) tanıtılmıştır. Bulanık küme kavramı git gide gelişerek ve dönüşerek eksik ve yetersiz bilgilerle daha iyi baş edecek yaklaşımlar ortaya çıkarmıştır. Tereddütlü bulanık kümeler (Torra, 2010) ve üyelik fonksiyonlarının yanında tereddüt derecelerini de içeren Pisagor bulanık kümeleri (Yager, 2014) tanıtılmıştır. Bulanık kümelerin ortaya çıkışından bu yana genişletilmesiyle ortaya çıkan yaklaşımlar kronolojik gelişim sıralarına göre Şekil 4.2'de verilmiştir.

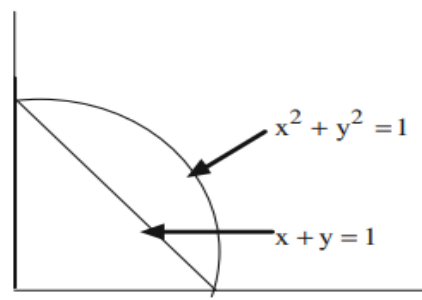


Şekil 4.2 Bulanık kümelerin kronolojik uzantıları

4.1.1 Pisagor Bulanık Kümeler

Bulanık kümelerin ortaya çıkışından itibaren belirsizliğin daha iyi ifade edilmesi amaçlanmış ve bu amaç farklı bulanık küme türlerinin doğmasına neden olmuştur. Zadeh'in ortaya koyduğu yaklaşımın ardından sezgisel bulanık kümeler geliştirilmiş ve zamanla bu yaklaşımın belirsiz durumları Zadeh'in ortaya koyduğu bulanık küme yaklaşımından daha iyi temsil ettiği görülmüştür (Garg, 2018). Fakat gün geçtikçe gerçek dünya kararlarında belirsizliğin artması ile birlikte bu belirsizliği karar vermeye daha iyi yansıtacak yaklaşımlara olan gereksinim de artmış böylece Yager (Yager, 2014) Pisagor bulanık kümeler yaklaşımı öne sürmüştür. Pisagor bulanık kümeler tüm bu belirsiz durumları modellemek için sezgisel kümelerden daha güçlü bir yeteneğe sahiptir (Zhang ve Xu, 2014).

Pisagor bulanık kümeler, bir kümeye üyelik derecesi ile üye olmama derecesinin kareleri toplamının 1'e eşit veya 1'den küçük olması koşulunu karşılayan μ_p üyelik derecesi ve ν_p üye olmama derecesi parametreleri ile temsil edilirler. Sezgisel bulanık kümelerin genişletilmiş hali olan bu kümelerin ortaya çıkış motivasyonu, gerçek hayattaki karar süreçlerinde karar verici tarafından sunulan bir kriteri karşılayan alternatifin destek (üyelik) derecesi ile aleyhine (üye olmama) derecesinin toplamının 1'den büyük olabilmesi düşüncesidir. Bu nedenle de Pisagor bulanık kümeler bu iki parametrenin kareleri toplamının 1 veya 1 'den küçük olması gerektiği fikri üzerine geliştirilmiştir (Zhang ve Xu, 2014). Pisagor üyelik dereceleri sezgisel üyelik derecelerine göre daha büyüktür ve bu durum Şekil 4.3'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada $x + y \leq 1$ eğrisinin altındaki tüm noktalar sezgisel üyelik noktalarını, $x^2 + y^2 \leq 1$ eğrisinin altında yer alan tüm noktalar ise Pisagor üyelik noktalarını temsil etmektedir (Yager, 2014).



Şekil 4.3 Sezgisel ve Pisagor üyelik alanlarının karşılaştırılması (Yager, 2016)

Pisagor bulanık kümeleri 3 teorem üzerine temellendirilmiştir (Yager, 2014).

Teorem 4.1 (a,b) , $a \in [0,1]$, $b \in [0,1]$ ve $a^2 + b^2 \leq 1$ koşullarını sağlarlar.

Teorem 4.2 (r, θ) polar koordinatlar olmak üzere $r \in [0,1]$ ve $\theta \in [0, \pi/2]$ koşullarını sağlarlar.

Teorem 4.3 (r,d) , Teorem 2'ye yakın olacak şekilde $r \in [0,1]$, $\theta \in [0, \pi/2]$ ve $d = 1 - 2\theta/\pi$ koşullarını sağlamalıdır.

Bunlar arasındaki ilişki Eşitlik (4.3) ve (4.4)'teki gibi gösterilir:

$$a^2 + b^2 = r^2 \quad (4.3)$$

$$a = r \cdot \cos(\theta) \text{ ve } b = r \cdot \sin(\theta) \quad (4.4)$$

Bölümün devamında Pisagor bulanık kümelerle ait genel bilgiler teoremler üzerinden açıklanarak verilmiş ve çalışma için önemli olan özelliklere değinilmiştir.

Tanım 4.1 Bir $\tilde{P}$ Pisagor bulanık kümesi Eşitlik (4.5)'teki gibi gösterilir (Şenol vd., 2019):

$$\tilde{P} = \{x, P(\mu_p(x), v_p(x)) \mid x \in X\} \quad (4.5)$$

$\mu_p \rightarrow [0,1]$ ve $v_p \rightarrow [0,1]$ sırası ile $x \in X$ 'in $\tilde{P}$ kümesine sırası ile üye olma ve üye olmama derecelerini ifade eder.

$$0 \leq \mu_p(x)^2 + v_p(x)^2 \leq 1, x \in X \quad (4.6)$$

Herhangi bir $\tilde{P}$ pisagor bulanık sayısı için tereddüt derecesi Eşitlik (4.7) yardımı ile bulunur.

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - \mu_p(x)^2 - v_p(x)^2} \quad (4.7)$$

Tanım 4.2 $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$ ve $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ iki Pisagor bulanık sayı olmak üzere temel aritmetik işlemler Eşitlik (4.8) - (4.13)'teki gibidir.

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = P\left(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1}^2 \mu_{\beta_2}^2}, v_{\beta_1} v_{\beta_2}\right) \quad (4.8)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = P\left(\mu_{\beta_1} \mu_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1}^2 v_{\beta_2}^2}\right) \quad (4.9)$$

$$\beta_1 \ominus \beta_2 = P\left(\sqrt{\frac{\mu_{\beta_1}^2 - \mu_{\beta_2}^2}{1 - \mu_{\beta_2}^2}}, \frac{v_{\beta_1}}{v_{\beta_2}}\right), \text{ eğer } \mu_{\beta_1} \geq \mu_{\beta_2}, v_{\beta_1} \leq \min\left\{v_{\beta_2}, \frac{v_{\beta_2} \pi_{\beta_1}}{\pi_{\beta_2}}\right\} \quad (4.10)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = P \left(\frac{\mu_{\beta_1}}{\mu_{\beta_2}} \sqrt{\frac{v_{\beta_1}^2 - v_{\beta_2}^2}{1 - v_{\beta_2}^2}} \right), \text{ eğer } \mu_{\beta_1} \leq \min \left\{ \mu_{\beta_2}, \frac{\mu_{\beta_2} \pi_{\beta_1}}{\pi_{\beta_2}} \right\}, v_{\beta_1} \geq v_{\beta_2} \quad (4.11)$$

$$\lambda \beta = P \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{\beta}^2)^{\lambda}}, (v_{\beta})^{\lambda} \right), \lambda > 0 \quad (4.12)$$

$$\beta^{\lambda} = P \left((\mu_{\beta})^{\lambda}, \sqrt{1 - (1 - v_{\beta}^2)^{\lambda}} \right), \lambda > 0 \quad (4.13)$$

Tanım 4.3 $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$, $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$ ve $\beta = P(\mu_{\beta}, v_{\beta})$ için aşağıdaki kurallar geçerlidir.

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = \beta_2 \oplus \beta_1 \quad (4.14)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = \beta_2 \otimes \beta_1 \quad (4.15)$$

$$\lambda (\beta_1 + \beta_2) = \lambda \beta_1 \oplus \lambda \beta_2, \lambda > 0 \quad (4.16)$$

$$\lambda_1 \beta \oplus \lambda_2 \beta = (\lambda_1 + \lambda_2) \beta, \lambda_1, \lambda_2 > 0 \quad (4.17)$$

$$(\beta_1 \otimes \beta_2)^{\lambda} = \beta_1^{\lambda} \otimes \beta_2^{\lambda}, \lambda > 0 \quad (4.18)$$

$$\beta^{\lambda_1} \otimes \beta^{\lambda_2} = \beta^{(\lambda_1 + \lambda_2)}, \lambda_1, \lambda_2 > 0 \quad (4.19)$$

4.1.2 Aralık Değerli Nötrosofik Kümeler

Bulanık teoremin (Zadeh, 1965) tarafından literatüre kazandırılmasından bu yana kesin olmayan, eksik ve belirsiz bilgiler ile başa çıkmak için birçok farklı yaklaşım ortaya atılmış ve araştırmacılar farklı bulanık kümeler önermişlerdir. Geleneksel bulanık kümeler, belirli bir olay için üye olma ve üye olmama derecelerini ve tereddüt derecelerini ifade etmek için farklı türdeki bulanık kümelere genişletilmiştir. Bu geleneksel bulanık kümelerin yeni uzantıları, Tip-2 bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler, tereddütlü bulanık kümeler, Pisagor bulanık kümeler ve Nötrosofik kümelerdir ve tüm bunlar arasında en yaygın olanı sezgisel bulanık kümelerdir. Daha sonra Pisagor bulanık kümelere ve nötrosofik kümelere genişletme yapılmıştır (Bolturk ve Kahraman, 2018).

Doğruluk ve yanlışlık üyeliklerinin dikkate alan sezgisel bulanık kümeler (Atanassov, 1986) tarafından tanıtılmıştır. Sezgisel bir bulanık küme T doğruluk üyelik işlevi ve F yanlışlık üyelik işlevi parametreleri ile temsil edilir. Bu yaklaşımın daha gelişmiş bir versiyonu olarak (Smarandache, 1998) nörtrosofik mantığı ortaya atmış ve önceki yaklaşımları da kapsayan, belirsizlikle daha iyi mücadele eden yeni bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bulanık mantık, belirsizliği 0 ile 1 arasındaki üyelik değişkenlerine atarken nörtrosofik mantık "belirsizlik" adı verilen yeni bir bileşen sunar ve bulanık mantıktan daha fazla bilgi taşıyarak belirsizliği daha iyi temsil eder (Kahraman vd., 2020). Nörtrosofik kümelerdeki doğruluk, yanlışlık ve belirsizlik üyelik dereceleri birbirlerinden bağımsız olarak belirlenebilirler. Bu da her birinin 0 ile 1 arasında bir değer alabileceği ve dolayısıyla toplamlarının 0 ile 3 arasında olabileceği anlamına gelmektedir. Bu yaklaşım karar vericiyi üyelik işlevleri toplamını 1'e eşitleme gerekliliğinden kurtarır. Son yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından birçok farklı nörtrosofik küme tipi önerilmiştir. Sezgisel nörtrosofik kümeler, tek-değerli nörtrosofik kümeler aralık-değerli nörtrosofik kümeler, çok-değerli nörtrosofik kümeler ve üçgensel nörtrosofik kümeler bazı nörtrosofik küme türlerine örnektir.

Nörtrosofik kümelerin belirsizliği diğer bulanık kümelere kıyasla daha iyi temsil etmesi birçok ÇKKV yöntemiyle birlikte kullanılmalarına neden olmuştur. Karar vericilerin fikir ve değerlendirmelerinin karar verme sürecine dâhil edilmesinin gerekliliği ve yeterli bilginin bulunmadığı problemler düşünüldüğünde nörtrosofik kümeler iyi bir seçenek olmaktadır. Bu bölümde nörtrosofik kümeler ile ilgili genel bir çerçeve sunulmuş ve Aralık Değerli Nörtrosofik Kümeler için aritmetik işlemler ve kurallara değinilmiştir. Nörtrosofik bir kümeyi temsil edecek notasyona ilişkin genel bir kural olmadığından (Bolturk ve Kahraman, 2018) tarafından önerilen $\tilde{A}$ kullanılmıştır. Burada $\tilde{A}$; E evrensel kümesinde tanımlı olan ve doğruluk (T), belirsizlik (I), yanlışlık (F) üyelik değerleri ile temsil edilen nörtrosofik bir kümeyi göstermektedir.

Tanım 4.4 $\tilde{A}$; E evrensel kümesinde tanımlı olan, T_A doğruluk üyeliği fonksiyonu, I_A belirsizlik üyelik fonksiyonu ve F_A yanlışlık üyelik fonksiyonu ile temsil edilen nörtrosofik bir kümedir (Smarandache, 1998).

$T_A(x)$, $I_A(x)$ ve $F_A(x)$ $]^{-0,1} [^{+}$ 'in gerçekte standart öğeleri olmak üzere $\check{A}$ nütrosifik seti (4.20) eşitliği ile temsil edilir.

$$\check{A} = \{x, (T_A(x), I_A(x), F_A(x)) >: x \in E, (T_A(x), I_A(x), F_A(x)) \in]^{-0,1} [^{+}\} \quad (4.20)$$

Burada $T_A(x)$, $I_A(x)$ ve $F_A(x)$ 'in toplamının alacağı değeri konusunda bir kısıtlama olmadığından $0^- \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3^+$ olur.

Tanım 4.5 E evrensel kümesinde $\check{N}$ ile temsil edilen ve $T_N(x)$ doğruluk üyeliği, $I_N(x)$ belirsizlik üyeliği ve $F_N(x)$ yanlışlık üyeliğine sahip aralık değerli nütrosifik bir kümedir.

$$T_N(x) = [T_N^L(x), T_N^U(x)] \subseteq [0,1] \quad (4.21)$$

$$I_N(x) = [I_N^L(x), I_N^U(x)] \subseteq [0,1] \quad (4.22)$$

$$F_N(x) = [F_N^L(x), F_N^U(x)] \subseteq [0,1] \quad (4.23)$$

Böylece $\check{N}$ aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\check{N} = \{ \langle x, [T_N^L(x), T_N^U(x)], [I_N^L(x), I_N^U(x)], [F_N^L(x), F_N^U(x)] \rangle : x \in E \} \quad (4.24)$$

Tanım 4.6 Aralık değerli nütrosifik bir sayıyı durulaştırmak için (Bolturk ve Kahraman, 2018) tarafından önerilen ve (4.25)'te yer alan formül kullanılır.

$$\odot(x) = \left(\frac{(T_N^L(x) + T_N^U(x))}{2} + (I_N^U(x)) \left(1 - \frac{(I_N^L(x) + I_N^U(x))}{2} \right) - (1 - F_N^U(x)) \left(\frac{(F_N^L(x) + F_N^U(x))}{2} \right) \right) \quad (4.25)$$

Burada $\check{x}_j = \langle [T_x^L, T_x^U], [I_x^L, I_x^U], [F_x^L, F_x^U] \rangle$ 'dir.

Tanım 4.7 $\check{N}_1 = [T_{N_1}^L, T_{N_1}^U], [I_{N_1}^L, I_{N_1}^U], [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U]$, $\check{N}_2 = [T_{N_2}^L, T_{N_2}^U], [I_{N_2}^L, I_{N_2}^U], [F_{N_2}^L, F_{N_2}^U]$ iki tane aralık değerli nütrosifik sayı olmak üzere bu sayıların ilişkileri ve aritmetik işlemleri (3.7) ile (3.13) arasında gösterildiği gibidir (Bolturk ve Kahraman, 2018; Karaşan vd., 2020):

$$\lambda(\check{N}_1) = \langle [1 - (1 - T_{N_1}^L)^\lambda, 1 - (1 - T_{N_1}^U)^\lambda], [(I_{N_1}^L)^\lambda, (I_{N_1}^U)^\lambda], [(F_{N_1}^L)^\lambda, (F_{N_1}^U)^\lambda] \rangle, \lambda > 0 \quad (4.26)$$

$$(\widetilde{N}_1)^\lambda = \langle [(T_{N_1}^L)^\lambda, (T_{N_1}^U)^\lambda], [(I_{N_1}^L)^\lambda, (I_{N_1}^U)^\lambda], [1 - (1 - F_{N_1}^L)^\lambda, 1 - (1 - F_{N_1}^U)^\lambda] \rangle, \lambda > 0 \quad (4.27)$$

$$\widetilde{N}_1 \subseteq \widetilde{N}_2 \text{ ancak ve ancak } T_{N_1}^L \leq T_{N_2}^L, T_{N_1}^U \leq T_{N_2}^U, I_{N_1}^L \geq I_{N_2}^L, I_{N_1}^U \geq I_{N_2}^U, F_{N_1}^L \geq F_{N_2}^L, F_{N_1}^U \geq F_{N_2}^U$$

$$\widetilde{N}_1 \subseteq \widetilde{N}_2 \text{ ancak ve ancak } T_{N_1}^L \leq T_{N_2}^L, T_{N_1}^U \leq T_{N_2}^U, I_{N_1}^L \geq I_{N_2}^L, I_{N_1}^U \geq I_{N_2}^U, F_{N_1}^L \geq F_{N_2}^L, \quad (4.28) \\ F_{N_1}^U \geq F_{N_2}^U$$

$$\widetilde{N}_1 = \widetilde{N}_2 \text{ ancak ve ancak } \widetilde{N}_1 \subseteq \widetilde{N}_2 \text{ ve } \widetilde{N}_2 \subseteq \widetilde{N}_1 \quad (4.29)$$

$$\widetilde{N}_1 \oplus \widetilde{N}_2 = \langle [T_{N_1}^L + T_{N_2}^L - T_{N_1}^L T_{N_2}^L, T_{N_1}^U + T_{N_2}^U - T_{N_1}^U T_{N_2}^U], [I_{N_1}^L + I_{N_2}^L - I_{N_1}^L I_{N_2}^L, I_{N_1}^U + I_{N_2}^U - I_{N_1}^U I_{N_2}^U], [F_{N_1}^L + F_{N_2}^L - F_{N_1}^L F_{N_2}^L, F_{N_1}^U + F_{N_2}^U - F_{N_1}^U F_{N_2}^U] \rangle \quad (4.30)$$

$$\widetilde{N}_1 \otimes \widetilde{N}_2 = \langle [T_{N_1}^L T_{N_2}^L, T_{N_1}^U T_{N_2}^U], [I_{N_1}^L + I_{N_2}^L - I_{N_1}^L T_{N_2}^L, I_{N_1}^U + I_{N_2}^U - I_{N_1}^U T_{N_2}^U], [F_{N_1}^L + F_{N_2}^L - F_{N_1}^L F_{N_2}^L, F_{N_1}^U + F_{N_2}^U - F_{N_1}^U F_{N_2}^U] \rangle \quad (4.31)$$

$$\widetilde{N}_1 \ominus \widetilde{N}_2 = \langle [T_{N_1}^L - F_{N_2}^U, T_{N_1}^U - F_{N_2}^L], [\max(I_{N_1}^L, I_{N_2}^L), \max(I_{N_1}^U, I_{N_2}^U)], [F_{N_1}^L - T_{N_2}^U, F_{N_1}^U - T_{N_2}^L] \rangle \quad (4.32)$$

Tanım 4.8 $\widetilde{N}_1 = [T_{N_1}^L, T_{N_1}^U], [I_{N_1}^L, I_{N_1}^U], [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U]$ aralık değerli bir nütrosifik sayı olsun. $\widetilde{N}_1$ 'in skor fonksiyonu (4.33)'deki gibi hesaplanır (Xu vd., 2017):

$$S(\widetilde{N}_1) = \frac{(2 + T_{N_1}^L - I_{N_1}^L - F_{N_1}^L) + (2 + T_{N_1}^U - I_{N_1}^U - F_{N_1}^U)}{6} \quad (4.33)$$

Burada $S(\widetilde{N}_1) \in [0,1]$ 'dir.

Tanım 4.9 $\widetilde{N}_1 = [T_{N_1}^L, T_{N_1}^U], [I_{N_1}^L, I_{N_1}^U], [F_{N_1}^L, F_{N_1}^U]$ aralık değerli bir nütrosifik sayı olmak üzere doğruluk değeri (3.15)'daki gibi hesaplanır (Xu vd., 2017).

$$H(\widetilde{N}_1) = \frac{(T_{N_1}^L + T_{N_1}^U) - (F_{N_1}^L + F_{N_1}^U)}{2} \quad (4.34)$$

Burada $H(\widetilde{N}_1) \in [-1,1]$ 'dir.

Bu iki fonksiyona dayalı olarak $\widetilde{N}_1$ ve $\widetilde{N}_2$ gibi herhangi iki nütrosofik sayı için karşılaştırma kuralları şöyle tanımlanır:

Tanım 4.10 $\widetilde{N}_1$ ve $\widetilde{N}_2$ herhangi iki aralık değerli nütrosofik sayı olmak üzere (Liu ve Tang, 2016):

$$\text{Eğer } S(\widetilde{N}_1) < S(\widetilde{N}_2), \widetilde{N}_1 < \widetilde{N}_2 \text{ 'dir.} \quad (4.35)$$

$$\text{Eğer } S(\widetilde{N}_1) > S(\widetilde{N}_2), \widetilde{N}_1 > \widetilde{N}_2 \text{ 'dir.} \quad (4.36)$$

$$\text{Eğer } S(\widetilde{N}_1) = S(\widetilde{N}_2) \text{ ise;} \quad (4.37)$$

$$\bullet \text{ Eğer } H(\widetilde{N}_1) < H(\widetilde{N}_2), \widetilde{N}_1 < \widetilde{N}_2 \text{ 'dir.} \quad (4.38)$$

$$\bullet \text{ Eğer } H(\widetilde{N}_1) > H(\widetilde{N}_2), \widetilde{N}_1 > \widetilde{N}_2 \text{ 'dir.} \quad (4.39)$$

$$\bullet \text{ Eğer } H(\widetilde{N}_1) = H(\widetilde{N}_2), \widetilde{N}_1 = \widetilde{N}_2 \text{ 'dir.} \quad (4.40)$$

Tanım 4.11 $\widetilde{N}_1$ ve $\widetilde{N}_2$ gibi iki aralık değerli nütrosofik sayı arasındaki Hamming uzaklığı şöyle hesaplanır(Ye ve Du, 2019):

$$d(\widetilde{N}_1, \widetilde{N}_2) = \frac{(|T_{N_1}^L - T_{N_2}^L| + |T_{N_1}^U - T_{N_2}^U| + |I_{N_1}^L - I_{N_2}^L| + |I_{N_1}^U - I_{N_2}^U| + |F_{N_1}^L - F_{N_2}^L| + |F_{N_1}^U - F_{N_2}^U|)}{6} \quad (4.41)$$

Tanım 4.12 $\widetilde{N}_1$ ve $\widetilde{N}_2$ gibi iki aralık değerli nütrosofik sayı arasındaki Öklid uzaklığı şöyle hesaplanır(Ye ve Du, 2019):

$$d(\widetilde{N}_1, \widetilde{N}_2) = \sqrt{\frac{(T_{N_1}^L - T_{N_2}^L)^2 + (T_{N_1}^U - T_{N_2}^U)^2 + (I_{N_1}^L - I_{N_2}^L)^2 + (I_{N_1}^U - I_{N_2}^U)^2 + (F_{N_1}^L - F_{N_2}^L)^2 + (F_{N_1}^U - F_{N_2}^U)^2}{6}} \quad (4.42)$$

4.2 ÇKKV Yöntemleri

Bu bölümde ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemlerinin sırası ile Pisagor bulanık kümeler ve Aralık Değerli Nötrosifik kümeler ile kullanımlarına değinilmiş ardından Modifiye Delfi Yöntemine değinilmiştir.

4.2.1 Pisagor Bulanık AHP Yöntemi

AHP yöntemi; karar vericilerin değerlendirmelerini yansıtmalarına elverişli olmasına rağmen birçok karar verme sürecinde var olan belirsizlik karar vericilerin kesin olmayan yargılarını güçlendirerek sonucu etkileyebilir (Kahraman vd., 2003). Bulanık AHP yöntemi geleneksel AHP mantığından yola çıkılarak ortaya atılan ve klasik AHP'ye göre belirsizlikle daha iyi başa çıkan analitik bir yaklaşımdır. Belirsizliği ortadan kaldırmak amacıyla diğer bulanık kümeler gibi Pisagor bulanık kümeler de AHP yöntemi birlikte kullanılabilir. Pisagor bulanık AHP yönteminin adımları Eşitlik (4.43)-(4.49) arasında sunulmuştur (Gul ve Ak, 2018; Şenol vd., 2019; Yıldız vd., 2019) :

Adım 1: Uzlaşılmış ikili karşılaştırma matrisi $A = (a_{ik})_{m \times m}$ uzmanların dilsel değerlendirmelerine bağlı olarak oluşturulur.

Adım 2: Üye olma ve olmama fonksiyonlarının alt ve üst değerleri arasındaki fark matrisleri $D = d_{ik}{}_{m \times m}$ Eşitlik (4.43) ve (4.44) yardımı ile hesaplanır.

$$d_{ikL} = \mu_{ikL}^2 - v_{ikU}^2 \quad (4.43)$$

$$d_{ikU} = \mu_{ikU}^2 - v_{ikL}^2 \quad (4.44)$$

Adım 3: Çarpımsal matris $S = (s_{ik})_{m \times m}$ Eşitlik (4.45) ve (4.46) ile hesaplanır.

$$s_{ikL} = \sqrt{1000^{d_{ikL}}} \quad (4.45)$$

$$s_{ikU} = \sqrt{1000^{d_{ikU}}} \quad (4.46)$$

Adım 4: Tereddüt dereceleri $H = (h_{ik})_{m \times m}$ Eşitlik (4.47) ile hesaplanır.

$$(h_{ik}) = 1 - (\mu_{ikU}^2 - \mu_{ikL}^2) - (v_{ikU}^2 - v_{ikL}^2) \quad (4.47)$$

Adım 5: Eşitlik (4.48) kullanılarak normalize ağırlıklar hesaplanır.

$$t_{ik} = \left(\frac{s_{ikL} + s_{ikU}}{2} \right) h_{ik} \quad (4.48)$$

Adım 6: w_i kriter ağırlıkları Eşitlik (4.49) ile hesaplanır.

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^m t_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik}} \quad (4.49)$$

4.2.2 Aralık Değerli Nötrosofik AHP Yöntemi

Hesaplama adımları bakımından klasik AHP yöntemine benzerlik gösteren aralık değerli nötrosofik AHP yönteminin adımları (Bolturk ve Kahraman, 2018) 'ın önerdiği şekilde sunulmuştur.

Adım 1: Problem hedef, kriterler ve alt kriterler olacak şekilde hiyerarşik yapıda ifade edilir.

Adım 2: İkili karşılaştırma matrisi $(\tilde{P})$, aralık değerli nötrosofik sayılar kullanılarak oluşturulur. İkili karşılaştırma matrisinin tutarlılığı Eşitlik (4.25)'de verilmiş olan durulaştırma denklemi kullanılarak ölçülür.

Eğer durulaştırılmış ikili karşılaştırma matrisi tutarlı ise; nötrosofik ikili karşılaştırma matrisinin de tutarlı olduğu söylenebilir (Bolturk ve Kahraman, 2018).

$$\tilde{P} = \begin{bmatrix} \langle [T_{11}^L, T_{11}^U], [I_{11}^L, I_{11}^U], [F_{11}^L, F_{11}^U] \rangle & \langle [T_{12}^L, T_{12}^U], [I_{12}^L, I_{12}^U], [F_{12}^L, F_{12}^U] \rangle & \dots & \langle [T_{1n}^L, T_{1n}^U], [I_{1n}^L, I_{1n}^U], [F_{1n}^L, F_{1n}^U] \rangle \\ \langle [T_{21}^L, T_{21}^U], [I_{21}^L, I_{21}^U], [F_{21}^L, F_{21}^U] \rangle & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \langle [T_{n1}^L, T_{n1}^U], [I_{n1}^L, I_{n1}^U], [F_{n1}^L, F_{n1}^U] \rangle & \dots & \dots & \langle [T_{nn}^L, T_{nn}^U], [I_{nn}^L, I_{nn}^U], [F_{nn}^L, F_{nn}^U] \rangle \end{bmatrix} \quad (4.50)$$

Adım 3: Kriterlerin önem ağırlıkları, karşılaştırılabilir veriler haline getirmek ve böylece kriterleri derecelendirmek ve sıralamak için normalleştirilir (Vafaei vd., 2016):

$$\tilde{N}_{ij} = \left\langle \left[\frac{T_{kj}^L}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^U}, \frac{T_{kj}^U}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^U} \right], \left[\frac{I_{kj}^L}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^U}, \frac{I_{kj}^U}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^U} \right], \left[\frac{F_{kj}^L}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^U}, \frac{F_{kj}^U}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^U} \right] \right\rangle; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.51)$$

Adım 4: Her satırın aritmetik ortalaması, kriterlerin nütrosifik önem ağırlık vektörünü elde etmek üzere Eşitlik (4.52) ile hesaplanır.

$$\tilde{W}_j = \left\langle \left[\frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_{1j}^L}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^U}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^n \frac{T_{1j}^U}{\sum_{k=1}^n T_{kj}^U}}{n} \right], \left[\frac{\sum_{k=1}^n \frac{I_{1j}^L}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^U}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^n \frac{I_{1j}^U}{\sum_{k=1}^n I_{kj}^U}}{n} \right], \left[\frac{\sum_{k=1}^n \frac{F_{1j}^L}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^U}}{n}, \frac{\sum_{k=1}^n \frac{F_{1j}^U}{\sum_{k=1}^n F_{kj}^U}}{n} \right] \right\rangle \quad (4.52)$$

Adım 5: Yukarıdaki tüm adımlar her bir alt kriter için tekrarlanır ve kriterlerin nütrosifik ağırlıkları elde edilir.

Adım 6: Kriterlerin net ağırlıklarını elde etmek için denütrosifikasyon formülü uygulanır.

4.2.3 Pisagor Bulanık TOPSIS Yöntemi

TOPSIS yönteminin de diğer çok kriterli karar verme yöntemleri gibi farklı bulanık sayılarla birlikte kullanılması literatürde yaygındır. Pisagor bulanık sayılar, uzmanların insanlar tarafından daha iyi yorumlanabilen ve doğası gereği belirsiz olan yargıları dilsel terimler aracılığıyla karar verme sürecine aktarması konusunda olanaklar sunar. Bunun yanında Pisagor bulanık TOPSIS yaklaşımının belirsizlikleri idare etme, pozitif ve negatif noktaları eş zamanlı değerlendirme, hesaplama kolaylığı ve mantıksal kavram konularında avantajlı olduğu söylenebilir (Yucesan ve Gul, 2020).

Pisagor bulanık TOPSIS yönteminin uygulama adımları sırası ile şu şekildedir (Oz vd., 2019; Yucesan ve Gul, 2020):

Adım 1: İlk olarak Pisagor bulanık karar matrisi $R = (C_j(x_i))_{m \times n}$ oluşturulur. Burada $C_j(j = 1, 2, \dots, n)$ ve $x_i(i = 1, 2, \dots, m)$ kriter ve alternatiflerin değerlerini temsil etmektedir. Matris formu Eşitlik (4.53)'te olduğu gibi gösterilir.

$$R = (C_j(x_i))_{m \times n} = \begin{pmatrix} P(u_{11}, v_{11}) & P(u_{12}, v_{12}) & \dots & P(u_{1n}, v_{1n}) \\ P(u_{21}, v_{21}) & P(u_{22}, v_{22}) & \dots & P(u_{2n}, v_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P(u_{m1}, v_{m1}) & P(u_{m2}, v_{m2}) & \dots & P(u_{mn}, v_{mn}) \end{pmatrix} \quad (4.53)$$

Adım 2: Pisagor bulanık pozitif ideal çözüm ve Pisagor bulanık negatif ideal çözüm sırasıyla Eşitlik(4.54) ve (4.55) ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} x^+ &= \{C_j, \max_i \langle s(C_j(x_i)) \rangle \mid j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{\langle C_1, P(u_1^+, v_1^+) \rangle, \langle C_2, P(u_2^+, v_2^+) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^+, v_n^+) \rangle\} \end{aligned} \quad (4.54)$$

$$\begin{aligned} x^- &= \{C_j, \min_i \langle s(C_j(x_i)) \rangle \mid j = 1, 2, \dots, n\} \\ &= \{\langle C_1, P(u_1^-, v_1^-) \rangle, \langle C_2, P(u_2^-, v_2^-) \rangle, \dots, \langle C_n, P(u_n^-, v_n^-) \rangle\} \end{aligned} \quad (4.55)$$

Adım 3: Pisagor pozitif ideal ve Pisagor negatif ideal çözümünden uzaklıklar sırasıyla Eşitlik (4.56) ve (4.57) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} D(x_i, x^+) &= \sum_{j=1}^n w_j d(C_{j(x_i)}, C_j(x^+)) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|(u_{ij})^2 - (u_j^+)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^+)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^+)^2| \right) \end{aligned} \quad (4.56)$$

$$\begin{aligned} D(x_i, x^-) &= \sum_{j=1}^n w_j d(C_{j(x_i)}, C_j(x^-)) \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n w_j \left(|(u_{ij})^2 - (u_j^-)^2| + |(v_{ij})^2 - (v_j^-)^2| + |(\pi_{ij})^2 - (\pi_j^-)^2| \right) \end{aligned} \quad (4.57)$$

Genellikle x_i alternatifinin pozitif ideal çözüm $D(x_i, x^+)$ yakın ve negatif ideal çözüm $D(x_i, x^-)$ 'den uzak mesafede olması istenir. Böylece;

$$D_{\min}(x_i, x^+) = \min_{1 \leq i \leq m} (x_i, x^+) \text{ ve } D_{\max}(x_i, x^-) = \min_{1 \leq i \leq m} (x_i, x^-) \text{ olur.}$$

Adım 4: Göreceli yakınlıklar $\mathfrak{J}(x_i)$ Eşitlik (4.58) yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\mathfrak{J}(x_i) = \frac{D(x_i, x^-)}{D_{\max}(x_i, x^-)} - \frac{D(x_i, x^+)}{D_{\min}(x_i, x^+)} \quad (4.58)$$

Adım 5: Son olarak alternatifler hesaplanan puanlarına göre sıralanır. En iyi alternatif katsayısı en yüksek olan alternatif olarak değerlendirilir.

4.2.4 Aralık Değerli Nötrosofik TOPSIS Yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemlerinden bir diğeri (Hwang ve Yoon, 1981) tarafından literatüre kazandırılmış olan TOPSIS yöntemidir. Bu yöntem en iyi alternatifin pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak noktada olduğu varsayımına dayanır (Sharma vd., 2019). Klasik TOPSIS yöntemi de diğer ÇKKV yöntemleri gibi belirsizlikle baş edebilmek için farklı türdeki birçok bulanık sayı setiyle birlikte kullanılmıştır. Burada TOPSIS yönteminin aralık değerli nötrosofik kümelerle kullanılmasına dair (Karaşan vd., 2020), (Broumi ve Smarandache, 2014) ve (Biswas vd., 2014) tarafından önerilen yöntemlerin entegre edilmesi ile ortaya çıkan versiyonuna değinilecektir.

Adım 1: Süreçte yer alan her karar verici için nötrosofik karar matrisi ($\tilde{X}_i$) oluşturulur.

Adım 2: Uzlaşılmış nötrosofik karar matrisi hesaplanır ($\tilde{X}$).

Burada $\tilde{x}_{ij} = \langle [T_{ij}^L, T_{ij}^U], [I_{ij}^L, I_{ij}^U], [F_{ij}^L, F_{ij}^U] \rangle$; i. alternatifin j. kriterine göre skorunu temsil etmektedir.

Adım 3: Her karar vericiden her bir kriter için nötrosofik ağırlık değeri ($\tilde{w}_j$) alınır.

Adım 4: Birleştirilmiş nötrosofik karar matrisi ($\tilde{W}$) hesaplanır.

Adım 5: Nötrosofik ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi ($\tilde{R}$) hesaplanır.

Adım 6: Aralık değerli nötrosofik pozitif ideal çözüm $\tilde{S}^+$ ve aralık değerli nötrosofik negatif ideal çözüm $\tilde{S}^-$ sırasıyla Eşitlik (4.59) ve (4.60) yardımıyla hesaplanır.

$$\tilde{S}^+ = [\max_i(T_i^L), \max_i(T_i^U)], [\min_i(I_i^L), \min_i(I_i^U)], [\min_i(F_i^L), \min_i(F_i^U)] \quad (4.59)$$

$$\tilde{S}^- = [\min_i(T_i^L), \min_i(T_i^U)], [\max_i(I_i^L), \max_i(I_i^U)], [\max_i(F_i^L), \max_i(F_i^U)] \quad (4.60)$$

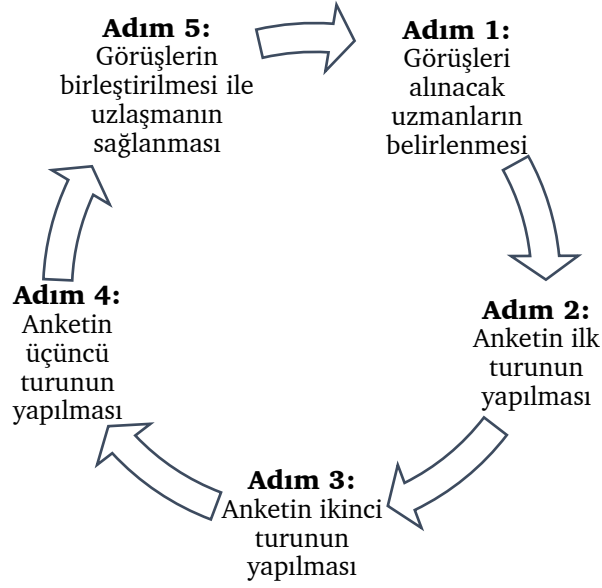
Adım 7: Alternatiflerin belirlenmiş olan pozitif ve negatif ideal çözümlere göre uzaklıkları hesaplanır. Literatürde iki nütrosofik sayının birbirine göre uzaklığını hesaplamak için Öklid, Hamming, Manhattan gibi uzaklık hesaplama yöntemleri bulunmaktadır. Bu çalışmada Eşitlik (4.42)'de verilen nütrosofik Öklid uzaklık hesaplama formülü kullanılmıştır.

Adım 8: Adayların pozitif ideal çözüme uzaklıkları ($U_{PIÇ}$) ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları ($U_{NİÇ}$) ayrı ayrı hesaplandıktan sonra final skor Eşitlik (4.61) kullanılarak bulunur. Buradaki yaklaşım değeri büyük olan daha iyidir şeklindedir (Karaşan vd., 2020).

$$\text{Skor} = \frac{D_{NIS}}{(D_{NIS} + D_{PIS})} \quad (4.61)$$

4.2.5 Modifiye Delfi Yöntemi

Delphi yöntemi, belirli bir konu hakkında yazılı, tartışma ve geri bildirim formatlarında iletişim kurulması yoluyla bir grup anonim uzman tarafından elde edilen görüşleri toplar ve analiz eder (Gumus, 2009; Lin vd., 2008) Gruptaki uzmanlar arasında fikir birliği sağlanıncaya kadar bilgi, beceri ve fikir paylaşımına devam edilen bir yöntemdir (Murry ve Hammons, 1995; Yıldız vd., 2019). Şekil 4.4, Modifiye Delphi yönteminin beş ana adımını göstermektedir. Adım 3 ve Adım 4, belirli bir konuda fikir birliğine varılınca kadar tekrar edilir (Sung, 2001). Son adımda uzlaşılmış görüşler bir araya getirilir ve değerlendirme sonlandırılır.



Şekil 4.4 Modifiye Delfi metodu uygulama döngüsü

ÇKKV yöntemleri ile birlikte kullanıldığında, kriterlerin belirlenmesinin ardından uzmanların görüşleri Modifiye Delfi yöntemi ile yapılan ikili kıyaslama matrisleri ile elde edildikten sonra konsolide edilerek tek bir matrise indirgenir ve daha sonra yöntemin diğer adımları sırasıyla uygulanır. Grup kararları için oldukça kullanışlı bir yöntemdir.

4.3 KÖH ile Kümeleme Yaklaşımı

Çalışmada mahallelerin kümelemesini yapmak üzere özel bir yapay sinir ağı türü olan Kendini Örgütleyen Haritalar (KÖH) tercih edilmiştir. 1982 yılında Teuvo Kohenen tarafından geliştirilen bu ağlar Kohenen KÖH ağları olarak da bilinmektedir.

Bir kümeleme çalışmasında veri setini kümelere bölmek, kümeleme sonuçlarını doğrulamak ve ortaya çıkan kümeleri yorumlamak şeklinde üç temel görev vardır. Veri setinin kümelere bölünmesi noktasında pek çok farklı yöntem mevcuttur. K-ortalamlar, hiyerarşik kümeleme, bulanık mantık ve KÖH bunlardan bazılarıdır(Şahin, 2016). Bu yöntemlerin hepsindeki ortak amaç aynı kümede yer alan elemanların maksimum, farklı kümede yer alan elemanların minimum benzerlik göstermesidir. Ortaya konulan farklı yaklaşımlar ile sağlanmaya çalışılan mümkün olduğunca homojen kümeler oluşturmaktır.

Kümeleme yöntemleri arasında en sık tercih edilen k-ortalamlar yaklaşımıdır. Bu yaklaşım küme merkezleri ve kümelemeye tabi tutulacak elemanlar arasındaki

uzaklıklar göz önüne alınarak verileri k adet kümeye ayırma prensibine dayanmaktadır. Bu yaklaşım basit olmasına rağmen bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunlardan en önemlisi küme sayısının önceden belirlenmesinin gerekliliğidir. Kümeleme işlemini yapacak kişinin en baştan kaç adet küme olması gerektiğini bilmesi gereklidir. Bu da veri setinin ve özelliklerinin iyi bilinmesini gerektirir. Öte yandan kümeleme performansı en başta seçilen örneklerden de etkilenmekte bu da dolaylı olarak sonuçlara yansımaktadır (Özçalıcı, 2017). Bu dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla sinir ağlarının da gelişmesi ile KÖH gibi farklı kümeleme yaklaşımları ortaya çıkmıştır. KÖH, istatistikteki klasik kümeleme yaklaşımlarından farklı olarak hem k -ortalama yönteminin hem de çok boyutlu örnekleme yönteminin işlevlerini birlikte yerine getirebilmektedir. Yani veri setinde yer alan elemanları kümelere ayırmanın yanı sıra görsel haritalamalarını da gerçekleştiren bir yaklaşımdır. KÖH yönteminin diğer yöntemlere göre daha avantajlı olmasının diğer bir nedeni yüksek boyutlu verileri de etkin bir şekilde kümeleyebilmesidir. İstatistiksel yöntemlere bakıldığında aralarındaki ilişki bilinmeyen veya az bilinen verilerin kümelenmesindeki zorluk KÖH ile ortadan kaldırılmakta ve aralarında lineer bir ilişki olmayan veri setleri de kümelenmektedir (Şahin, 2016). Ayrıca KÖH yaklaşımında diğer yöntemlerden farklı olarak küme sayısının önceden belirlenmesine gerek yoktur. Ağ verilen elemanları benzerliklerine göre gruplayarak en uygun küme sayısını belirler ve sonuç olarak görselleştirilmiş şekilde kullanıcıya sunar. Sağladığı tüm bu avantajlardan dolayı bu çalışmada mahallelerin kümelenmesi için KÖH tercih edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında deprem sonrası yangın riskleri bulanık ÇKKV metotları ile tespit edilen bazı ilçelerin olası bir felakette İHA ile izlenmesine yönelik kümeleme yaklaşımı önerilmektedir. Bu bağlamda sonraki alt bölüm yapay sinir ağlarına ve özelliklerine ayrılmış ardından KÖH ve çalışma prensipleri daha detaylı şekilde incelenmiştir.

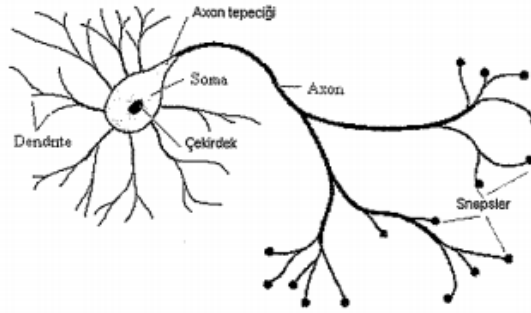
4.3.1 Yapay Sinir Ağları

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak insanların karar verme ve problem çözme becerilerinden ilham alınarak geliştirilen birçok yapay zekâ uygulaması ortaya çıkmıştır. Günümüzde farklı alanlardaki farklı ihtiyaçlara yönelik geliştirilmiş alımdan fazla yapay zekâ teknolojilerinden söz edilmektedir (Öztemel, 2006). Bu teknolojileri uzman sistemler, bulanık mantık, dil işleme, sinir ağları ve genetik programlama gibi başlıklar altında toplamak mümkündür. Tez çalışması kapsamında yapay sinir ağlarının özel bir türü kullanıldığından kısaca yapay zekânın tarihsel gelişimine değinilmiş ardından yapay sinir ağlarının detaylarına yer verilmiştir.

Literatüre (McCulloch ve Pitts, 1943) tarafından kazandırılan ve “Beynin Boolean Devre Modeli” olarak adlandırılan yaklaşım yapay zekânın başlangıcı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu model basitçe insan beyninin çalışma prensiplerini matematiksel olarak açıklayarak yapay zekânın ilk kilometre taşını oluşturmuş ve sonraki çalışmaları hızlandırmıştır (Arslan, 2020). 1950’li yıllara gelindiğinde Alan Turing’in makine zekâsıyla ilgili oluşturduğu testler ve 1955’te John McCarthy tarafından “yapay zekâ” teriminin ilk kez kullanılması konuya olan ilginin artmasına neden olurken ve 1957’de Frank Rosenblatt (Rosenblatt, 1957) ilk kez sinir ağlarının temeli olan perseptronları tanımlamıştır. 1975’te genetik algoritmalar, 1976’da geri yayılım algoritması geliştirilirken 1978 yılında takviyeli öğrenme modeli ortaya koyulmuş ve yapay zekâ alanındaki büyük gelişmeler böylece başlamıştır (Şahin, 2016). Zaman içerisinde konuya duyulan ilgi artmış ve teknolojideki gelişmelerle insan ihtiyaçlarının değişip çeşitlenmesi sayesinde de günümüzdeki en popüler konu olmayı başarmıştır.

Yapay zekâ araştırmaları ile insan beyninin çalışma prensibi ve özellikleri temel alınarak makinelerin geliştirilmesi ve bu makinelerin tıpkı insan beyninin yaptığı gibi geçmiş deneyimleri hatırlama, kalıpları öğrenme, tanımlama, fark etme, tahmin etme ve algılama gibi görevleri yerine getirmesi amaçlanmaktadır. Yapay sinir ağları da bu amaçla gerçekleştirilen bir dizi çalışma alanından önemli bir tanesidir.

Biyolojik sinir hücrelerinin öğrenme mekanizmasını simüle eden yapay sinir ağıları popüler makine öğrenmesi tekniklerinden bir tanesidir. İnsan sinir sistemi milyonlarca sinir hücresinden meydana gelir ve bu hücreler “nöron” olarak adlandırılır. Nöronlar birbirlerine akson ve dentritler yardımıyla bağlanırken akson ve dentritler arasında “sinaps” denilen bölgeler bulunur. Sinaptik bağlantıların gücü dışarıdan gelen uyarılara yanıt olarak değişirken bu durum aslında öğrenmenin nasıl gerçekleştiğinin göstergesidir (Aggarwal, 2018). Şekil 4.5 biyolojik bir sinir hücresini ve bölümlerini göstermektedir.



Şekil 4.5 Biyolojik sinir hücresi (Öztemel, 2006)

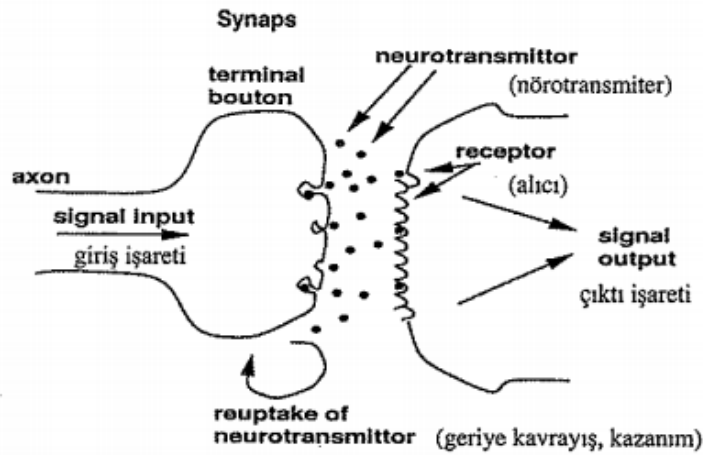
Şekil 4.5’ten de görülebileceği üzere sinapslar sinir hücresinin uç kısmıdır ve bir sinir hücresinden diğerine elektrik sinyalleri yoluyla iletim yapılmasını sağlayan yapılardır. Sinir hücresine iletilmiş olan bir sinyal somaya gider ve burada işleme tabi tutularak sinir hücresinin kendi elektrik sinyali oluşturulur. Oluşan sinyaller akson ile dentritlere oradan da sinapslara iletilerek diğer hücrelere yollanır. Akson uçlarının her birisi farklı bir sinir hücresine bağlanmakta böylece milyarlarca sinir hücresi bir araya gelip sinir sistemini oluşturmaktadır (Öztemel, 2006).

Tablo 4.1 biyolojik sinir sisteminin elemanlarının yapay sinir sistemindeki karşılığını göstermektedir. Farklı görevlere sahip olan bu sistem elemanları benzer görevleri yapmak üzere simüle edildiği ve insan sinir sisteminin öğrenme mekanizmalarını taklit ettiği için her birinin yapay sinir ağlarında bir karşılığı mevcuttur.

Tablo 4.1 Biyolojik ve yapay sinir sistemi bölümleri (Öztürk ve Şahin, 2018)

Biyolojik Sinir Sitemi	Yapay Sinir Sistemi
Nöron	İşlemci elemanı
Dentrit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Yapay nöron çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

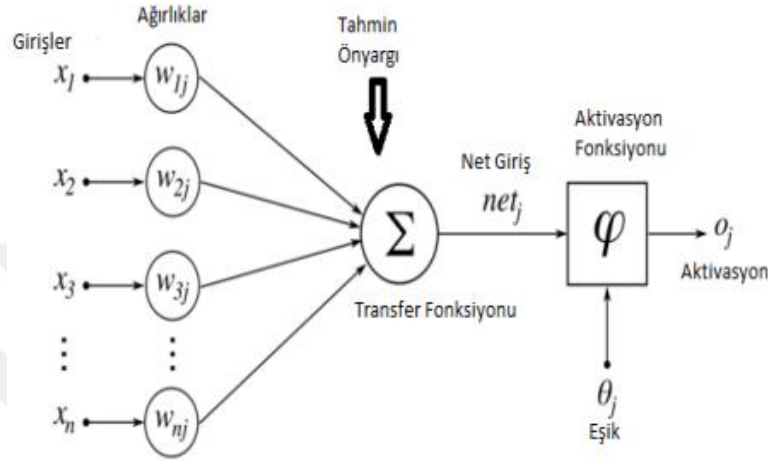
İki sinir hücresi arasındaki bilgi alışverişinde sinaptik bağlantılar ve nörotransmitter maddeler görevlidir. Nörotransmitter maddeler nöronlar arasındaki iletişimi sağlayan serotonin, dopamin, asetilkolin gibi uyarıcı kimyasal maddelerdir. Sinir sistemi boyunca tüm iletimler bu kimyasal maddeler sayesinde hızlı bir şekilde gerçekleşir. Şekil 4.6’da sinir hücresinin nörotransmitter maddeler yoluyla gerçekleşen bilgi alışverişi gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Nörotransmitter maddeler ile sinir hücresinde bilgi akışı(Öztemel, 2006)

Şekil 4.5’te gösterilen biyolojik sinir hücresinin ve Şekil 4.6’daki işleyiş mekanizmasının simüle edilmesiyle yapay sinir hücreleri ve bu sinir hücrelerinin

bir araya gelmesi ile oluşan yapay sinir ağı elde edilmiştir. Farklı görevleri bulunan her bir eleman yapay sinir hücresinde benzer bir eleman ile temsil edilmektedir. Şekil 4.7 yapay bir sinir hücresini ve bölümlerini göstermektedir. Benzer şekilde çok sayıda hücre bir araya gelerek yapay sinir ağı denilen yapıları oluşturmaktadır.



Şekil 4.7 Yapay sinir hücresi(Öztürk ve Şahin, 2018)

Yapay bir sinir hücresi girdi, ağırlık, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılarından meydana gelir. Her bir elemanın sinir hücresindeki rolü aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Girdiler: Bir yapay sinir hücresine dış dünyadan gelen bilgiler girdi olarak adlandırılır. Bu bilgiler ağı öğrenmesi istenilen bilgilerden oluşur ve dış dünyadan gelebileceği gibi hücreye başka bir nörondan veya kendisinden de bilgi gelebilir (Öztemel, 2006).

Ağırlıklar: Ağırlıklar hücreye gelen bilginin önem düzeyi ve etkisini temsil ederler. Ağırlık değerinin büyüklüğü o girdinin çok önemli olduğunu göstermediği gibi küçük olması da önemsiz olduğu anlamına gelmez. Ağırlık değerinin eksi veya artı olması etkinin negatif veya pozitif olduğunu değer sıfır olması ise herhangi bir etkinin olmadığını ifade eder (Öztemel, 2006).

Toplama Fonksiyonu: Bir hücreye gelen net girdiyi hesaplamak üzere kullanılır. En sık tercih edilen yöntem ağırlıklı toplamı bulmaktır. Her bir girdi değerini ağırlığı ile çarparak elde edilen tüm değerleri toplamak şeklinde

gerçekleştirilir ve bu işlem sonucunda net girdi hesaplanmış olur. Bu yöntem sık tercih edilmekle birlikte zorunlu değildir ve başka fonksiyonlar da tercih edilebilir (Aggarwal, 2018)

$$NET = \sum_i^n G_i A_i \quad (4.62)$$

Eşitlik (4.62) bir hücreye gelen net girdiyi hesaplamak üzere kullanılan toplama fonksiyonunu göstermektedir. G girdileri, A ağırlıkları n de hesaplanan hücreye gelen girdi sayısını göstermektedir. Toplama fonksiyonu deneme yanılma yoluyla belirlenir ve proses elemanlarının tümü için tek bir tip fonksiyon olması gerekli değildir her bir hücrede uygun olan farklı fonksiyonlar tercih edilebilir. Bu seçim ağa ve ağ tasarımını yapan kullanıcıya bağlıdır (Öztemel, 2006).

Aktivasyon Fonksiyonu: Hücreye gelen net girdi hesaplandıktan sonra işlenerek bir çıktı değeri elde edilir. Bu noktada net girdiyi işleyen fonksiyon aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. Farklı türlerde birçok aktivasyon fonksiyonu çeşidi bulunmakla birlikte toplama fonksiyonunda olduğu gibi farklı proses elemanları için farklı türde aktivasyon fonksiyonu tercih edilebilir. Tablo 4.2’de bazı örnek aktivasyon fonksiyonları, denklemleri ve grafikleri gösterilmektedir.

Tablo 4.2 Aktivasyon fonksiyonları örnekleri

Lineer Fonksiyon	$f(x) = x$
Sigmoid Fonksiyon	$f(x) = 1/(1 + e^{-x})$
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	$F(NET) = (e^{NET} + e^{-NET})/(e^{NET} - e^{-NET})$

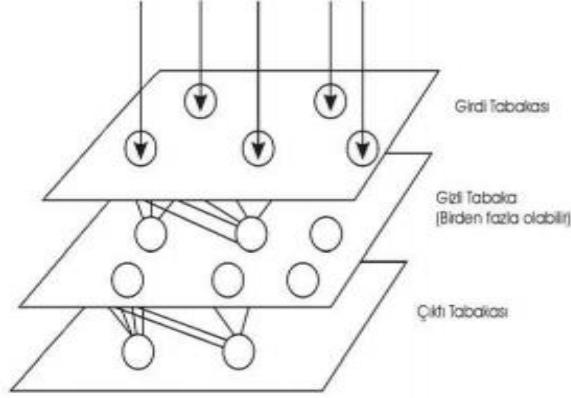
Tablo 4.2 Aktivasyon fonksiyonları örnekleri (devamı)

Sinüs Fonksiyonu	$F(NEt) = \sin(NEt)$
ReLU Fonksiyonu	$F(x) = \max(0, x)$
ELu Fonksiyonu	$f(\alpha, x) = \begin{cases} \alpha(e^x - 1) & , x < 0 \\ x & , x \geq 0 \end{cases}$
Eşik Değer Fonksiyonu	$F(NEt) = \begin{cases} 0 & , NEt \leq 0 \\ NEt & , 0 < NEt < 1 \\ 1 & , NEt \geq 1 \end{cases}$

Çıktı Değeri: Net girdi değerinin aktivasyon fonksiyonu tarafından işlenmesi sonucu elde edilen sonuç değeridir. Hücrenin çıktı değeri dış dünyaya yollanabileceği gibi başka bir hücreye de girdi olmak üzere yollanabilir. Bir nörona gelen her bir girdi o birimdeki hesaplama işlevlerini etkileyen bir ağırlık katsayısıyla çarpılır ve tüm girdiler için elde edilen değerler toplanarak bir değer elde edilir. Net yargı olarak adlandırılan bu değer daha sonra aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir çıktı elde edilir. Yapay sinir ağı hesaplanan bu değerleri giriş nöronlarından çıkış nöronlarına yaymak sureti ile çalışır ve öğrenme işlemi nöronları birbirine bağlayan ağırlıkların değiştirilmesiyle gerçekleşir. Biyolojik organizmalarda öğrenme için dış uyaranlara ihtiyaç duyulduğu gibi, yapay sinir ağlarındaki dış uyaran, öğrenilecek fonksiyonun girdi-çıkış çiftlerinin örneklerini içeren eğitim verileriyle sağlanır. Yapay sinir ağını eğitmek üzere ağa gösterilen girdiler, belli bir çıktı değerini tahmin etmek üzere sunulur ve işlemin sonucunda eşleşmenin ne kadar iyi olduğuna bakılarak ağı ağırlık değerleri güncellenir. Bu işlem ağı eğitilmesi olarak adlandırılır ve ağa sunulan girdi değerleri ile ağı verdiği çıktılar arasındaki fark istenilen seviyeye gelene bir diğer deyişle ağ öğrenmeyi gerçekleştirene dek sürer. Ağ ne kadar farklı girdi değeri ile eğitilir ve ne kadar çok veriyle beslenirse o kadar iyi öğrenecek ve çıktılar ile beklenen değerler arasındaki farklar da o kadar az olacaktır (Aggarwal, 2018).

Yapay sinir ağlarında nöronlar bir araya getirilerek kümelendirilir ve bu işlem tabakalar halinde gerçekleştirilerek oluşan tabakalar birbiri ile ilişkilendirilebilir. Bu yapıdaki giriş ve çıkış katmanları veri almak veya sonuçları iletmek amacıyla

dış dünya ile bağlantılıyken geri kalan nöronlar kendi içlerinde katmanlar arasında bağlantı halindedir (Ataseven, 2013; Yurtoğlu, 2005). Genel olarak tüm sinir ağlarında benzer olan bu yapı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 Yapay sinir ağlarının genel yapısı (Yurtoğlu, 2005)

Şekil 4.8’den görülebileceği gibi bir sinir ağı girdi katmanını, gizli katman ve çıktı katmanından meydana gelmektedir. Burada gizli katman kurulan ağı özelliklerine göre bir veya birden fazla olabilir. Girdi tabakası dışarıdan gelen girdileri alarak bir sonraki katmana iletmekle görevlidir ve bunu yaparken aldığı girdilere bir işlem uygulamaz. Ara katman veya katmanlar çok sayıda nöron içerir ve birbirleri ile bağlantı halindedirler. Çıktı katmanının görevi ise ağı içerisinde gerçekleşen tüm işlemler sonucunda elde edilen değerleri dışarıya aktarmaktır(Yurtoğlu, 2005).

Bir yapay sinir ağındaki en uygun katman ve her katmandaki nöron sayısı için kabul görmüş bir kural bulunmamakla birlikte en uygun sayılar daha çok deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir. Burada özellikle gizli katman sayısının doğru belirlenmesi ağı performansı açısından oldukça önemlidir. Gizli katman sayısı olması gerekenden daha az ise yapay sinir ağı karmaşık fonksiyonların çözümünde yeterli olmayacaktır. Benzer şekilde olması gerekenden daha fazla gizli katmana sahip ağlarda ise ağı kararsızlıklarla karşılaşması olasıdır. Katman sayısının yanı sıra her katmanda yer alacak nöron sayılarının belirlenmesi de önemlidir. Girdi ve çıktı katmanları için nöron sayısı belirlemek problem olmazken gizli katmanların nöron sayılarını doğru belirlemek önemli bir sorundur.

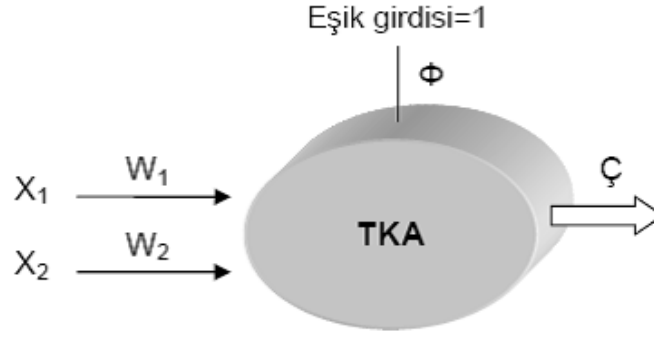
Yine burada da belirli bir kural veya algoritma bulunmamakta ve en uygun sayılar katman sayısına benzer olacak şekilde deneme yanılma yoluyla belirlenmektedir (Ataseven, 2013).

Yukarıda kısaca tanıtılan yapay sinir ağları farklı amaçlara yönelik çeşitlendirilerek kullanılmalarına rağmen genel olarak sahip oldukları birtakım ortak özellikler vardır. Yapay sinir ağlarının temel özellikleri şöyle sıralanabilir (Ataseven, 2013):

- Doğrusal olmama
- Paralel çalışma
- Öğrenme
- Genelleme
- Hata Toleransı ve esneklik
- Eksik verilerle çalışma
- Çok sayıda değişken ve parametre kullanımı
- Uyarlanabilirlik

Yapay sinir ağlarını tek katmanlı algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar, ileri beslemeli ve geri beslemeli yapay sinir ağları olarak dört farklı model grubunda ele almak mümkündür. En basit yapay sinir ağı model yapısı tek katmanlı algılayıcı olmakla birlikte diğer modeller de sırası ile kısaca açıklanmıştır.

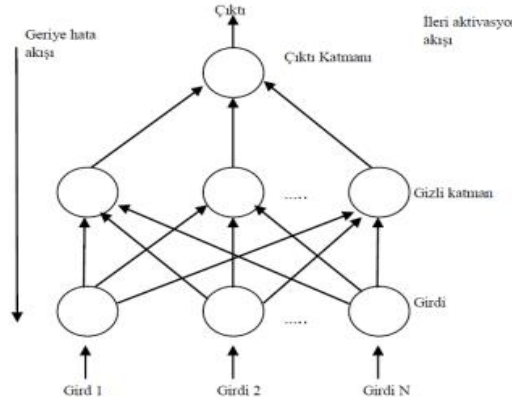
Tek Katmanlı Algılayıcılar: Yalnızca girdi ve çıktı katmanlarından oluşan en basit yapay sinir ağı modeli tek katmanlı algılayıcılardır. Doğrusal olan çıktı fonksiyonu -1 veya 1 değerini alır. En basit şekilde eğer çıktının değeri 1 ise ilk sınıfa -1 ise ikinci sınıfa dâhil edilir (Öztemel, 2006; Öztürk ve Şahin, 2018). Şekil 4.9 tek katmanlı algılayıcı modelini temsil etmektedir.



Şekil 4. 9 Tek katmanlı algılayıcı modeli (Öztemel, 2006)

Çok Katmanlı Algılayıcılar: Tek katmanlı algılayıcılara göre oldukça gelişmiş yapıda olan çok katmanlı algılayıcılar doğrusal olmayan ilişkilerin öğrenilmesi ihtiyacından ortaya çıkmıştır. Tek katmanlı modellerden farklı olarak bir veya birden fazla gizli katman içerebilir ve bu katmanların sayısı ve bağlantıları probleme göre değişiklik gösterir. Katmanlar birbirlerine bağlıdır ve her bir katmanın çıktı değeri bir sonraki katmanın girdi değerini oluşturur. Çok katmanlı algılayıcılar delta öğrenme kuralı denilen bir yöntemle öğrenir ve “hatayı geriye yayma” mekanizmasını kullanırlar. Burada temel mantık ağın elde ettiği sonuç değerleri ile beklenen sonuç değerleri arasındaki farkın çıktıdan girdiye olacak şekilde geriye yayılması ve ağırlık değerlerinin güncellenmesidir. Her adımda yeniden gerçekleştirilen bu metot sayesinde ağırlık değerleri sürekli olarak güncellenir ve hata oranı gittikçe düşer. Şekil 4.10 örnek bir çok katmanlı algılayıcı yapısını göstermektedir.

İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: İleri beslemeli ağlarda proses elemanları arasındaki bağlantılar giriş biriminden çıkış birimine doğrudur ve bir döngü oluşturmaları söz konusu değildir (Yurtoğlu, 2005). Yapay sinir ağına gelen bilgiler girdi katmanı tarafından bir işlem uygulanmaksızın sonraki katmana iletilir ve iletilen gizli katmanda işleme tabi tutulur. Daha sonra bağlı bulunan bir sonraki gizli katmana iletilir ve işlem gerçekleşir. Bu sırlama çıkış katmanında son bulur ve elde edilen çıkış değeri dış dünyaya aktarılır (Öztürk ve Şahin, 2018). Bu safhada amaç girdi değerlerinden ağın çıktısını hesaplamaktır.



Şekil 4.10 Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli(Karaatlı vd., 2012)

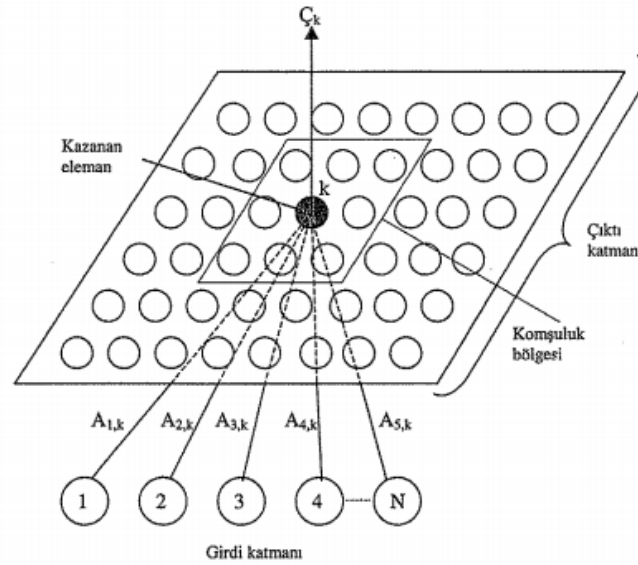
Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları: İleri beslemeli yapay sinir ağlarından farklı olarak geri beslemeli ağlarda elde edilen nöron çıktısı yalnızca bir sonraki nörona girdi olarak verilmez. Bu çıktı değeri bir önceki katmanda veya kendi katmanında yer alan nöronlardan birine de bağlanabilir. Doğrusal olmayan bu davranışa ve ağın oluşum şekline göre farklı ağ yapıları elde etmek mümkündür (Öztürk ve Şahin, 2018). Geri beslemeli ağlar elde edilen çıktı değeri ile beklenen değer arasındaki farkı geriye dönük olarak ağı yayabilir ve sonraki iterasyon için öğrenmeyi geliştirerek ağın gelişmesine destek olabilirler.

4.3.2 KÖH Özellikleri ve Çalışma Prensipleri

Yapay sinir ağlarının özel bir türü olan KÖH ağlarının girdi vektörlerini sınıflama ve dağılımlarını ön görme yetenekleri çok güçlü olduğundan genel olarak sınıflandırma problemlerinde kullanılmaları yaygındır (Öztemel, 2006). KÖH öğrenme gerçekleştirebilmek için ağı verilecek bir çıktı değerine ihtiyaç duymaz. Böylece özellikle çıkacak sonuçların bilinmediği veya öngörülemediği problemlerde kullanılmaları oldukça yaygındır.

KÖH algoritması ileri beslemeli tek katmanlı YSA ile özdeşleşmiştir ve bir denetimsiz öğrenme (unsupervised learning) algoritmasıdır. Bu ağların eğitimi için kullanılacak verilerin bağımlı değişken içermemesi özellikle kümeleme ile ilgili problemlerin çözümünde tercih edilmelerine neden olur. Kümelemede avantajlı olmalarına rağmen ortaya çıkan kümelerin uzman yargısı ile değerlendirilmesi doğruluğun denetlenmesi için gereklidir (Bircan vd., 2006).

KÖH gizli katman içermeyen, giriş ve çıkış katmanlarından oluşan tek katmanlı ağlardır. Giriş katmanının içereceği nöronların sayısını ele alınan problemin değişken sayısı belirler. Yani giriş katmanında veri setindeki değişken sayısı kadar nöron bulunur. Her bir giriş nöronu çıkış katmanındaki nöronlara bağlıdır. Çıkış katmanı iki boyutlu bir düzlemdir ve buradaki nöronların dizilimi oldukça önemlidir. Nöronlar doğrusal, dörtgensel veya altıgen olarak dizilebilirler ve bu dizilim şekilleri topolojik komşuluklar açısından önemlidir (Bircan vd., 2006). Genellikle altıgen dizilim tercih edilmesine rağmen tıpkı çıkış katmanındaki nöron sayılarında olduğu gibi dizilimler için de kesin kurallar bulunmamaktadır. Deneme-yanılma yolu ile en uygun nöron sayısını ve dizilimini belirlemek gereklidir. KÖH ağları kazanma prensibine göre çalışmakta ve sonuçta kazanan nöron 1 kaybeden nöron 0 değerini almaktadır. Ağa bir girdi değeri sunulması çıktı katmanındaki kazanan nöronu ve etrafındaki komşuluk bölgesini değiştireceğinden ağ sürekli güncellenmektedir (Öztemel, 2006). Şekil 4.11’de örnek bir KÖH ağı ve kısaca anlatılan öğrenme mekanizmasına bağlı bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 4.11 Örnek bir KÖH ağı (Öztemel, 2006)

KÖH ağlarında öğrenme “rekabetçi öğrenme” olarak adlandırılan ve bitişik nöronların yakın ağırlık değerlerine sahip olduğu bir prensip ile gerçekleşir. Ağa sunulan girdi değerlerine göre kazanan nöron ve bu nöronun komşulukları belirlenir ve bunlar girdi değerine göre konumlanırlar (Özçalıcı, 2017).

Sonraki adımda ağı yeni bir girdi verilmesi ile aynı süreç tekrarlanır ve yeni bir kazanan nöron tespit edilir. Şekil 4.11’de merkezde yer alan nöron kazanan nöronu göstermektedir. Bu nöronun bitişik olduğu nöronlar ise komşuluk bölgesini oluşturmakta ve öğrenme esnasında bu grubun ağırlık değerleri güncellenerek bir sonraki adıma geçilmektedir.

KÖH ağlarının öğrenme prensibi adımlar halinde aşağıda verilmiştir(Oral ve Genç, 2008; Şahin, 2016):

Adım 1: Çıkış katmanındaki her bir düğüme ait A ağırlık vektörü [0-1] aralığında rastgele sayılarla oluşturulur.

Adım 2: Eğitim veri setinden rastgele seçilecek bir G giriş vektörü KÖH kafes yapısının girişine uygulanır.

Adım 3: Çıkış katmanındaki her bir düğümün A ağırlık vektörünün G giriş vektörüne ne kadar benzediği yani A ve G vektörleri arasındaki Öklid uzaklığı Eşitlik (4.63) ile hesaplanır.

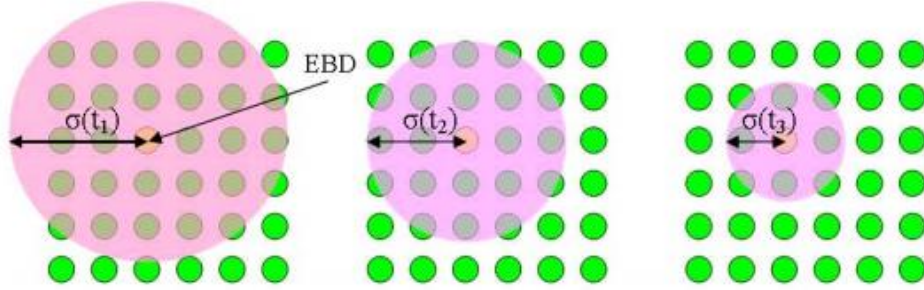
$$\text{Uzaklık} = \sqrt{\sum_{i=0}^n (G - A_i)^2} \quad (4.63)$$

Hesaplama sonunda minimum uzaklığa sahip olan düğüm en çok benzeşen (EBD) düğüm olarak işaretlenir.

Adım 4: Bir önceki adımda tespit edilen EBD’nin $\sigma(t)$ çaplı komşuluk alanında bulunan tüm düğümlerin A ağırlık vektörlerinin G giriş vektörüne benzetilmesi gerekir. Bunun için de EBD’e ait komşuluk alanının hesaplanması gerekir. Komşuluk bölgesi Şekil 4.12’den de görülebileceği üzere zamanla değişkenlik gösterir. Sarı ile boyalı düğümde G giriş vektörü ile en çok benzeşen düğüm EBD iken komşuluk alanı daire içine alınmıştır. $\sigma(t)$ komşuluk çapı, zamana bağlı bir değişken olup üssel olarak küçülür. Zamana bağlı değişime ait denklem Eşitlik (4.64) ile gösterilmiştir.

$$\sigma(t) = \sigma_0 e^{\frac{-t}{\lambda}} \quad (4.64)$$

Burada σ_0 sabit bir değer olup haritanın en uzun kenarının yarısı olarak kabul edilebilir. λ ise zaman sabitidir.



Şekil 4.12 Komşuluk bölgesinin zamana bağlı değişimi (Oral ve Genç, 2008)

Adım 5: EBD'nin komşuluk alanında yer alan tüm düğümlerin A ağırlık vektörleri, Eşitlik (4.65) yardımıyla G giriş vektörüne benzeştirilir.

$$A(t+1) = A(t) + E(t)\ddot{O}(t)(G(t) - A(t)) \quad (4.65)$$

Bu eşitlikte $\ddot{O}(t)$ öğrenme katsayısı olup zamana bağlı üssel olarak küçülür ve Eşitlik (4.66) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\ddot{O}(t) = \ddot{O}_0 e^{-\frac{t}{\lambda}} \quad t=1,2,\dots,3 \quad (4.66)$$

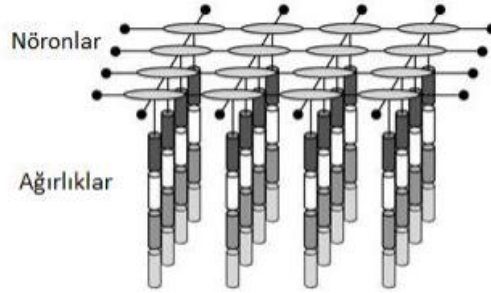
Eşitlik (4.65)'te yer alan $E(t)$ ise düğümün EBD'ye olan uzaklığına bağlı olarak değişen etkileme katsayısıdır ve Eşitlik (4.67) ile aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E(t) = e^{-\frac{\text{Uzaklık}^2}{2\sigma^2(t)}} \quad t=1,2,\dots,3 \quad (4.67)$$

Verilen eşitliklerden de anlaşılabileceği gibi her bir düğümün A ağırlık vektörü üzerindeki değişimi düğümün EBD'den uzaklığına ve zamana bağlı olarak değişkenlik gösterir. Değişim EBD'ye yakın olan düğümlerde büyük olurken uzak olan düğümlerde daha küçük gerçekleşir. Bu durum da $E(t)$ etkileme katsayısına bağlı olarak belirlenir. Ayrıca başlangıçta $\ddot{O}(t)$ öğrenme katsayısı yüksek iken zamanla azalış gösterir. Bu çalışma prensibi ile birbiri ile ilintili vektörler iki boyutlu harita üzerinde ilk adımlardan itibaren bir araya gelmekte ve zamanla daha detaylı ayarlamalar ile harita tamamlanmaktadır.

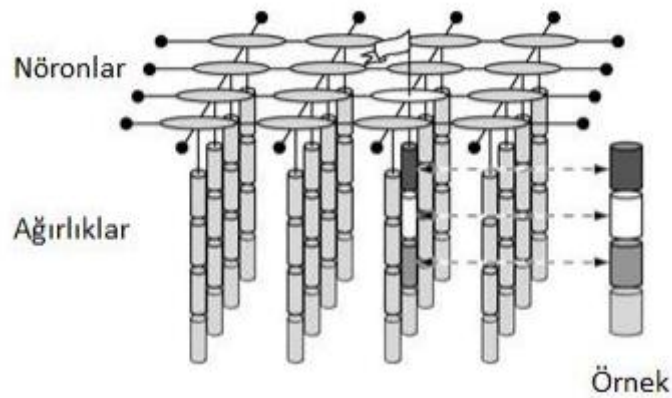
Adım 6: İkinci adıma dönülerek tüm işlemler N defa tekrar edilir.

Yukarıda altı adım ile açıklanan KÖH eğitim mekanizması Özçalıcı (Özçalıcı, 2011) tarafından görselleştirilmiş ve üç adet şekilde aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Buna göre Şekil 4.13 nöronlar ve ağırlıklarını gösterirken çubuklardaki her bir renk koyuluğu farklı örnekteki bir ağırlığı temsil etmektedir. Şekilde dört değişken söz konusu olduğundan her nöron dört farklı ağırlık barındırmaktadır. Harita kare şeklinde nöron dizilimine sahiptir.



Şekil 4.13 KÖH'de nöronlar ve ağırlıklarının gösterimi

KÖH öğrenme algoritmasında başlangıçta her bir nöronun her bir değişkene ağırlığı rastgele atanmaktadır. Eğitimin başlaması ile örnekler ağıya sunuldukça bu ağırlık değerleri de güncellenmektedir. Şekil 4.14 KÖH'e örnek sunulmasını ve eğitimini göstermektedir.

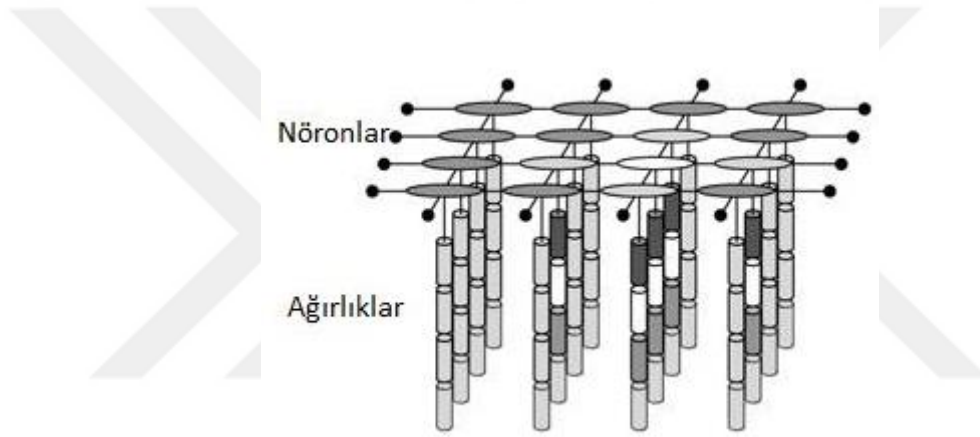


Şekil 4.14 KÖH eğitimin başlaması(Özçalıcı, 2011)

Ağı ilk örneğin sunulması ile nöronlardan bir tanesinin ağırlığı örneğin ağırlığı ile oldukça yakın olur.

Eğitimin bu ilk aşamasında birbirine benzeyen çok fazla nöron bulunmasa da bir tane nöronun ağırlığı örneğe benzer çıkar ve o “kazanan nöron” olarak adlandırılır. Şekil 4.14’te bayrak ile işaretlenen nöron kazanan nöronu göstermektedir.

Son adımda kazanan nöronun komşuları ağırlıklarını kazanan nörona benzetmek sureti ile güncelleyeceklerdir. Güncellemeye ait görsel Şekil 4.15’te yer almaktadır. Bu güncelleme de kazanan nöronun ağırlığını birebir alma şeklinde değil oldukça yakın bir değere güncelleme şeklinde gerçekleşir. Bu noktadan sonra harita bir sonraki örneği kabul etmeye hazırdır ve eğitim sürdükçe komşu ağırlık değerleri git gide örneklerle daha çok benzerlik göstermeye başlar.

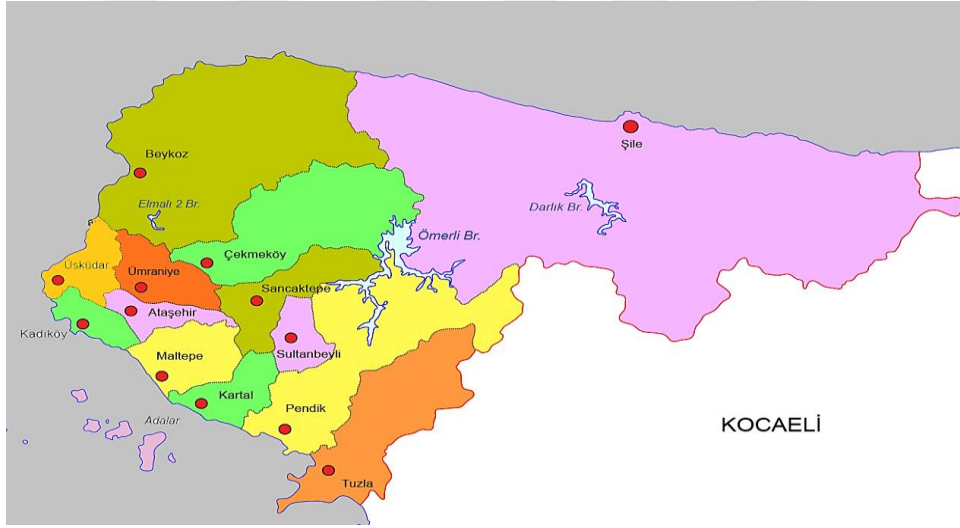


Şekil 4.15 KÖH eğitim aşamasında ağırlıkların güncellenmesi(Özçalıcı, 2011)

Tüm bu eğitim adımlarının sonucunda veriler çıkış katmanında iki boyutlu olarak kümelenir ve görsel olarak sunulur. Çıkış haritalarında oldukça yakın konumlarda bulunan verileri ve oluşan kümeleri renklendirerek yorumlamak mümkündür(Şahin, 2016).

KÖH’ün öğrenme algoritmasının adımları yukarıda açıklandığı şekilde eğitimi durdurma ölçütü sağlanıncaya dek devam eder. Durdurma anına dek bu adımlar tekrarlanır ve komşuluk ağırlıkları güncellenerek devam edilir. Sonuçta iki boyutlu harita düzlemine yerleşmiş elemanlar ve bunların yerlerine bağlı olarak ortaya çıkmış kümeler elde edilir.

Bu çalışmada deprem sonrası yangın riskleri bakımından değerlendirilmek üzere İstanbul ili Anadolu Yakası seçilmiştir. Harita 5.1 uygulamanın yapıldığı 14 ilçeyi göstermektedir. İlk olarak çok detaylı bir literatür taraması ve uzman değerlendirmesi ile deprem sonrası yangın riskleri belirlenerek ana ve alt kriterler şeklinde organize edilmiştir. Ardından sırası ile Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS ve Aralık Değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS yöntemleri uygulanarak risk kriterleri önemlerine göre ağırlıklandırılmış ve 14 ilçe riskleri bakımından sıralanmıştır. ÇKKV uygulamasının ardından olası bir deprem sonrası yangında müdahale yeteneğini güçlendirmek üzere İHA ile müdahale için KÖH yöntemi ile kümeleme önerilmiş ve söz konusu yöntem deprem sonrası yangınlar bakımından riskli çıkan üç ilçe için uygulanarak sonuçlar tartışılmıştır.



Harita 5.1 İstanbul ili Anadolu Yakası haritası

Detaylı bir literatür araştırmasının ardından aday kriterler özellikle deprem ve deprem sonrası yangınlar konusunda araştırmaları olan, ilgili alana ve literatüre hâkim bir grup uzmana da danışılarak problemi en iyi şekilde temsil edecek şekilde değerlendirilmiş ve Tablo 5.1'deki kriter hiyerarşisi belirlenmiştir.

Tablo 5.1 Deprem sonrası yangın riskleri için kriter hiyerarşisi

Ana Kriter	Alt Kriter	Referans Çalışmalar
Doğalgaz ve Diğer Gaz Kaynaklarındaki Sızıntılar (K1)	Doğalgaz Sistemi İçeren Yıkılmış veya Ağır Hasarlı Binalar (K11)	(Botting, 1998; Davidson ve Asce, 2009; Li vd., 2001; Vitorino vd., 2020; Yıldız ve Karaman, 2012; Zhao vd., 2005)
	Doğalgaz Boru Hattında Meydana Gelen Arıza ve Sızıntılar (K12)	
	Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Diğer Gazlardaki Sızıntılar (K13)	
Elektrik Kaynakları ve Elektrikli Cihazlar (K2)	Tamamen Yıkılan Binalarda Meydana Gelen Kısa Devre ve Kaçaklar (K21)	(Botting, 1998; Davidson, 2009; Kobayashi, 1985; Li vd., 2001; Vitorino vd., 2020; Yıldız ve Karaman, 2012; Zhao vd., 2005; Zolfaghari vd., 2009)
	Bölge Trafolarında ve Santrallerde Oluşan Arızalar (K22)	
	Bölgede Elektrikle Isınan Ağır Hasar Görmüş Binalar (K23)	
Sarsıntıya Bağlı Bina İçi Devrilmeler ve Açık Alev Kaynakları (K3)	Binalar Arası Ortalama Mesafe (K31)	(Davidson, 2009; Elhami Khorasani vd., 2017; Farshadmanesh ve Mohammadi, 2019; Himoto, 2019; Kobayashi, 1985; Nishino vd., 2012; Ren ve Xie, 2004; Zhao vd., 2005)
	Bina Yüksekliği (K32)	
	Bina Malzemesi Türü (K33)	
	Binalardaki Pişirme Ekipmanı Sayısı (K34)	
	Nüfus Yoğunluğu (K35)	

Tablo 5.1 Deprem sonrası yangın riskleri için kriter hiyerarşisi(devamı)

Kimyasal ve Yanıcı Madde Kaynakları (K4)	Bölgede Bulunan Kimya Faaliyeti Yürüten İşletmelerin Yoğunluğu (K41)	(Botting, 1998; Kobayashi, 1985; Vitorino vd., 2020; Zhao vd., 2005)
	Bölgede Bulunan Üniversite veya Yüksekokullar (K42)	
	Bölgede Bulunan Eczaneler (K43)	
	Yanıcı Sıvı İhtiva Eden Alanlar (K44)	
Müdahalenin Gecikmesine Bağlı Gelişen Riskler (K5)	Bölgede Görevli İtfaiye Personeli Sayısı (K51)	(Himoto, 2019; Li vd., 2001; Nishino vd., 2012; Zhao vd., 2005)
	Su Tedarik Sistemlerindeki Arızalar ve Kaynaklara Erişim (K52)	
	Tamamen Yıkılan Binalara Bağlı Kapanan Yollar(K53)	
	İtfaiye Merkezinin Erişim Alanı (K54)	

Burada Tablo 5.1 depremden sonra tutuşmaya neden olabilecek, yangının büyümesini tetikleyebilecek ve aynı zamanda yangına müdahale yeteneği ile ilgili birçok farklı kriter dikkate alınarak oluşturulmuştur. Kriterler risk analizi yapılacak bölge hakkında genel bir fikir verip karar vericilere ön bilgi sunacak şekilde seçilmiştir. Problemi temsil etmek üzere 5 ana kriter ve bu ana kriterlere ait toplamda 19 tane alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterlerin detayları ve temsil ettikleri durumlar aşağıda detaylı şekilde açıklanmıştır.

Doğalgaz ve Diğer Gaz Kaynaklarındaki Sızıntılar (K1): Gaz kaçaqları bir depremden sonra yaşanabilecek yangınların ana nedenlerinden biridir (Zhao vd., 2005). Sızıntılar nedeniyle boru hatlarında meydana gelen deformasyonlar, yangının tutuşma ve yayılma riskini de beraberinde getirir(Davidson,

2009).Sadece doğalgaz kaynakları değil, endüstriyel gaz kaynakları da deprem sonrası yangınlar için ciddi birer risk faktörüdür. Bu riskleri temsil etmek üzere 3 alt kriter tanımlanmıştır. Yıkılmış veya Ağır Hasarlı Doğal Gaz Sistemi İçeren Binalar (K11) binaların tahrip olması veya yıkılması durumunda meydana gelebilecek gaz kaçaqlarını ifade etmektedir. Doğal Gaz Boru Hattındaki Arıza ve Sızıntılar (K12) sarsıntının boru hatlarında meydana getirebileceği hasardan kaynaklanabilecek sızıntıları, Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Diğer Gazlardaki Sızıntılar (K13) da çeşitli gazların yoğun olarak kullanıldığı sanayi bölgelerindeki riskleri temsil etmek üzere seçilmiştir.

Elektrik Kaynakları ve Elektrikli Cihazlar (K2): Gaz kaçaqları gibi, elektrik kaynakları da önemli risk faktörleridir. Bu risk, binalardaki hasarların yanı sıra bölgesel trafolarla ve diğer elektrik kaynaklarına verilen hasarlar nedeniyle de ortaya çıkabilir(Vitorino vd., 2020).Bu kapsamda elektrik riski için üç alt kriter tanımlanmıştır. Tamamen Yıkılan Binalarda Meydana Gelen Kısa Devre ve Kaçaqlar(K21) alt kriteri doğalgaza benzer şekilde bir binanın yıkılmasına veya çok ağır hasar görmesine bağlı olarak elektrik devrelerinde meydana gelebilecek kısa devreleri temsil etmektedir. Bölge Trafolarında ve Santrallerde Oluşan Arızalar (K22) ise daha geniş bir risk faktörü olup depreme bağlı olarak bölge trafoları ve elektrik santrallerinde yaşanabilecek tutuşmaların yangına dönüşme riskini ifade etmektedir. Bölgede Elektrikle Isınan Ağır Hasar Görmüş Binalar(K23) ise bölgede yaşayan insanların ısınma amacıyla elektrikli bir araç tercih etme durumunda binanın yıkılması veya ağır hasar alması ihtimalini değerlendirmek üzere seçilmiştir.

Sarsıntıya Bağlı Bina İçi Devrilmeler ve Açık Alev Kaynakları(K3): Depremler, binalar içinde çok sayıda devrilmeye neden olurlar. Özellikle soba, mum veya ısıtıcı gibi açık alev kaynaklarının devrilmesi deprem sonrası yangınlar için büyük bir risk faktörüdür (Zhao vd., 2005). Bununla birlikte, başlayan yangının büyümesi ve yayılması için kritik olan Yapı Malzemesinin Türü(K33) ve Binalar Arasındaki Ortalama Mesafeler(K31) de dikkate alınmalıdır (Ren ve Xie, 2004). Burada Nüfus Yoğunluğu(K35), devrilme riskini ve Pişirme Cihazlarının Sayısını(K34) dolaylı olarak etkileyen bir başka alt kriter olduğu için seçilmiştir (Khorasani ve Garlock, 2017). Eski ve yüksek binalar sarsıntı nedeniyle devrilme

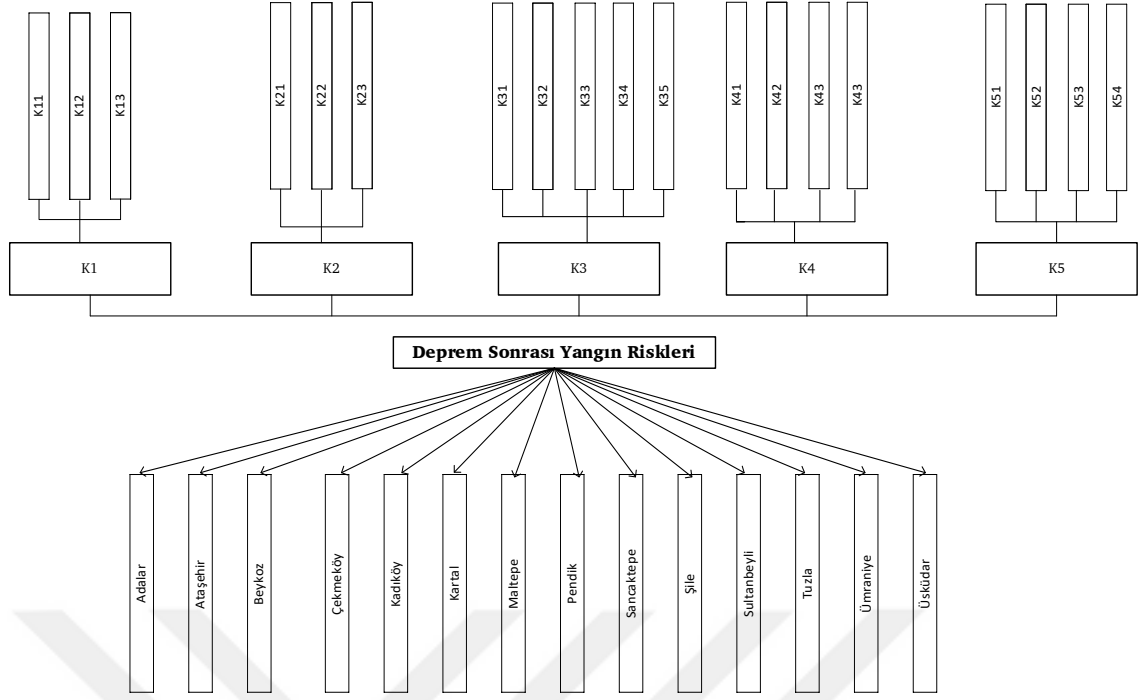
bakımından diğerlerine göre dezavantajlı olduğundan Bina Yüksekliği(K32) de bir diğer önemli bir kriterdir (Farshadmanesh vd., 2016)

Kimyasal ve Yanıcı Madde Kaynakları (K4): Kimyasallar, olası bir tutuşma olayında etkileyebilecekleri alanların genişliği açısından en tehlikeli grupta değerlendirilebilir. Deprem sonrası tutuşmaların, kimyasal kaynaklara sıçraması durumunda çok ciddi tehlikeler ortaya çıkar. Deprem sonrası yangın istatistikleri, kimyasalların yanıcı olma, kolay tutuşma ve hızlı yayılma özelliklerinden dolayı ciddi bir risk grubu olduğunu göstermektedir (Kobayashi, 1985). Bu nedenle kimyasallar ve yanıcı kaynaklarla ilgili dört alt kriter tanımlanmıştır: Bölgedeki Kimyasal Tesislerin Yoğunluğu (K41) incelenen alanda olası bir tutuşmanın beslenebileceği kaynakları göz önüne almak üzere seçilmiştir.

Bölgedeki Üniversite veya Kolejler (K42), Bölgedeki Eczaneler (K43) ve Yanıcı Sıvı İçeren Alanlar (K44) yanma ve tutuşma bakımından birçok riskli maddeyi büyük miktarlarda bir arada bulundurabileceklerinden ve geçmiş olaylarda bu üç mekanda çok fazla tutuşma istatistiklere yansıdığından birer alt kriter olarak belirlenmişlerdir.

Müdahalenin Gecikmesine Bağlı Gelişen Riskler (K5): Yangına zamanında ve doğru şekilde müdahale, tutuşmanın bir felakete dönüşmesini önleyebilir (Zhao vd., 2005). Bu nedenle bu ana kriter, özellikle deprem sonrası ulaşımın sınırlı olduğu düşünüldüğünde, yayılmanın önlenmesi açısından oldukça önemlidir (Li vd., 2001). Bölgede Görevli İtfaiye Personeli Sayısı (K51) ve Su Tedarik Sistemlerindeki Arızalar ve Kaynaklara Erişim (K52) olası bir yangın durumunda yeterli sayıda personel olup olmadığı ve bu personelin müdahale edebilmesi için su kaynaklarının erişilebilir olması durumlarını temsil etmektedir. Tamamen Yıkılan Binalara Bağlı Kapanan Yollar(K53) ve İtfaiye Merkezinin Erişim Alanı (K54) alt kriterleri yıkılan binalardan dolayı itfaiye ekiplerinin ihbar yerine ulaşma ve o bölgenin genişliği için itfaiye ekiplerinin yeterli olup olmadığının göstergesi olarak seçilmiştir.

Belirlenen kriterler ve aday ilçeler için oluşturulan problem hiyerarşisi Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Bu hiyerarşi bölümün devamında uygulanacak olan iki farklı metot için kullanılacaktır.



Şekil 5.1 Deprem sonrası yangın riskleri için problem hiyerarşisi

Şekil 5.2’de deprem sonrası yangın riski problemini temsil eden bir hiyerarşi sunulmuştur. Gelecek bölümlerde sırası ile bu hiyerarşi ve kriterler kullanılarak ilk olarak Pisagor bulanık AHP-TOPSIS ardından Aralık Değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS yöntemleri ile risk değerlendirmesi gerçekleştirilecektir.

5.1 Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS İle Risk Değerlendirmesi

Deprem sonrası yangın risk değerlendirmesi için Tablo 5.1’de yer alan kriterler kullanılmış ve ilk olarak her bir kriterin önem ağırlığı Pisagor Bulanık AHP ile elde edilmiştir. İstanbul Anadolu yakasında yer alan 14 ilçenin deprem sonrası yangın riskini hesaplamak için altı uzmandan görüş alınmıştır. Bu uzmanlar, deprem ve deprem sonrası yangın riskleri konusunda akademik araştırmalar yapan deneyimli kişilerden seçilmiştir. Ayrıca İstanbul şehrinin sismik yapısı ve deprem riskleri konusunda uzmanların büyük çoğunluğu yetkinliğe sahipken özellikle yangın ve yangın riskleri konusunda yetkin iki kişi bulunmaktadır. Uzmanlarla yüz yüze görüşmeler yapılmış ayrıca Modifiye Delfi yöntemi uygulanmıştır. Uzman değerlendirmelerini almak üzere yapılan Modifiye Delphi uygulamasında Tablo 5.2’de yer alan dilsel değerlendirme ölçeğinden faydalanılmıştır.

Tablo 5.2 Pisagor bulanık değerlendirme ölçeği

Dilsel Değişken	Aralıklı Pisagor Bulanık Sayı			
	μ_L	μ_V	ν_L	ν_U
Kesinlikle Düşük Önemli (KD)	0,0	0,0	0,9	1
Çok Düşük Önemli (ÇD)	0,1	0,2	0,8	0,9
Düşük Önemli (D)	0,2	0,35	0,65	0,8
Ortalamanın Altında Önemli (OA)	0,35	0,45	0,55	0,65
Ortalama Önemli (O)	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalamanın Üstünde Önemli (OÜ)	0,55	0,65	0,35	0,45
Yüksek Önemli (Y)	0,65	0,8	0,2	0,35
Çok Yüksek Önemli (ÇY)	0,8	0,9	0,1	0,2
Kesinlikle Yüksek Önemli (KY)	0,9	1	0	0
Eşit (E)	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965

Adım 1: Uzlaşılmış ikili karşılaştırma matrisi $A = (a_{ik})_{m \times m}$ uzmanların dilsel değerlendirmelerine beş ana kritere bağlı tüm alt kriterler için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Tablo 5.3'te ana kriterlerin uzlaşılmış dilsel değerlendirme matrisleri gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Ana kriterler için uzlaşılmış Pisagor değerlendirme matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	E	OÜ	OÜ	OA	Y
K2	O	E	Y	O	OÜ
K3	OA	OA	E	D	OÜ
K4	OÜ	OÜ	Y	E	Y
K5	O	O	OA	OA	E

Alt kriterler için de aynı adımlar uygulanmış ve Tablo 5.4'teki matrisler elde edilmiştir. İşlem adımları ana ve alt kriterler için aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 5.4 Alt kriterler için uzlaşmış dilsel değerlendirme matrisleri

K1'in Alt Kriterleri İçin Değerlendirme Matrisi					
	K11	K12	K13		
K11	E	O	OÜ		
K12	Y	E	OÜ		
K13	O	OA	E		
K2'nin Alt Kriterleri İçin Değerlendirme Matrisi					
	K21	K22	K23		
K21	E	OA	O		
K22	OÜ	E	OÜ		
K23	O	OA	E		
K3'ün Alt Kriterleri İçin Değerlendirme Matrisi					
	K31	K32	K33	K34	K35
K31	E	O	OA	O	OÜ
K32	OA	E	OA	O	OÜ
K33	O	Y	E	OÜ	ÇY
K34	OÜ	OÜ	O	E	Y
K35	OA	OA	ÇD	D	E

Tablo 5.4 Alt kriterler için uzlaşmış dilsel değerlendirme matrisleri(devamı)

K4'ün Alt Kriterleri İçin Değerlendirme Matrisi					
	K41	K42	K43	K44	
K41	E	Y	OÜ	OÜ	
K42	OA	E	OA	O	
K43	O	O	E	OA	
K44	OA	OÜ	O	E	
K5'in Alt Kriterleri İçin Değerlendirme Matrisi					
	K51	K52	K53	K54	
K51	E	OA	D	OA	
K52	OÜ	E	OA	OÜ	
K53	Y	OÜ	E	OÜ	
K54	OÜ	OA	D	E	

Adım 2: Üye olma ve olmama fonksiyonlarının alt ve üst değerleri arasındaki fark matrisleri $D = d_{ik_{mxm}}$ hesaplanmış ve Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tablo 5.5 Pisagor AHP yöntemi uygulama matrisleri

d	K1		K2		K3		K4		K5	
	0	0	0,1	0,3	0,1	0,3	-0,3	-0,1	0,3	0,6
	-0,1	0,1	0	0	0,3	0,6	-0,1	0,1	0,1	0,3
	-0,3	-0,1	-0,3	-0,1	0	0	-0,6	-0,3	0,1	0,3
	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,6	0	0	0,3	0,6

Tablo 5.5 Pisagor AHP yöntemi uygulama matrisleri(devamı)

	-0,1	0,1	-0,1	0	-0,3	-0,1	-0,3	-0,1	0	0
Adım 3: Çarpımsal matrisin hesaplanması										
s	K1		K2		K3		K4		K5	
	1	1	1,412 5	2,818 3	1,412 5	2,818 3	0,354 8	0,707 9	2,818 3	7,943 2
	0,707 9	1,412 5	1	1	2,818 3	7,943 2	0,707 9	1,412 5	1,412 5	2,818 3
	0,354 8	0,707 9	0,354 8	0,707 9	1	1	0,125 9	0,354 8	1,412 5	2,818 3
	1,412 5	2,818 3	1,412 5	2,818 3	2,818 3	7,943 2	1	1	2,818 3	7,943 2
	0,707 9	1,412 5	0,707 9	1,412 5	0,354 8	0,707 9	0,354 8	0,707 9	1	1
Adım 4: Tereddüt derecelerinin hesaplanması										
h	K1		K2		K3		K4		K5	
	1		0,8		0,8		0,7204		0,7	
	0,8		1		0,7		0,6886		0,8	
	0,8		0,8		1		0,6680		0,8	
	0,8		0,8		0,7		0,9689		0,7	
	0,8		0,8		0,8		0,7203		1	

Tablo 5.5 Pisagor AHP yöntemi uygulama matrisleri(devamı)

Adım 5: Normalize ağırlıkların hesaplanması					
t:	K1	K2	K3	K4	K5
	1	1,6924	0,6924	0,3828	3,7664
	0,8482	1	3,7664	0,7301	1,6924
	0,4251	0,4251	1	0,1605	1,6924
	0,1692	0,6924	3,7664	0,9689	3,7664
	0,8482	0,8482	0,4251	0,3828	1

Hesaplamaların sonunda ana kriterlerin önem ağırlıkları Tablo 5.6'daki gibi hesaplanmış tır. Alt kriterler için de aynı adımlar aynı sıra ile uygulanarak yerel ve global ağırlıklar elde edilerek gösterilmiştir.

Tablo 5.6'dan görülebileceği üzere deprem sonrası yangın riskleri içerisinde en yüksek önem ağırlığına sahip olan ana kriter 0.3333 ile Kimyasal ve Yanıcı Madde Kaynakları(K4) olarak bulunmuştur. Geçmiş araştırmalara bakıldığında da bir depremten sonra kayda geçmiş yangınların büyük bir kısmı kimyasal kaynaklıdır (Botting, 1998). Bölgede Bulunan Kimya Faaliyeti Yürüten İşletmelerin Yoğunluğu (K41) en önemli alt kriter olarak bulunmuştur. Bu açıdan bakıldığında kimyasal hammadde kullanılan ve sanayi bakımından gelişmiş bölgelerin daha riskli olduğu ortaya çıkmaktadır. Kimyasal nedenleri ikinci sırada 0,2392 önem ağırlığı ile Doğalgaz ve Diğer Gaz Kaynaklarındaki Sızıntılar (K1) ve 0,2253 ile Elektrik Kaynakları ve Elektrikli Cihazlar (K2) izlemektedir. Bu ana kriterlerin önem ağırlıkları oldukça yakın hesaplanmıştır. Bir depremten sonra gaz veya elektrik kaynaklı yangın risklerinin neredeyse eşit derecede tehlikeli olduğu söylenebilir. İlgili alt kriterlerden en önemli olanlar sırasıyla Doğalgaz Boru Hattında Meydana Gelen Arıza ve Sızıntılar (K12) ve Bölge Trafolarında ve Santrallerde Oluşan Arızalar (K22) olarak belirlenmiştir. Her ikisi için ortak olan nokta buralarda bir tutuşma meydana gelmesi halinde tehlikenin diğer alt kriterlerden çok daha fazla ciddi sonuçları olabileceğidir.

Tablo 5.6 Pisagor bulanık-AHP ile hesaplanan önem ağırlıkları

Ana Kriterler	Ana Kriter Ağırlıkları	Alt Kriterler	Alt Kriter Ağırlıkları (Lokal)	Global Ağırlıklar
K1	0,2392	K11	0,1964	0,047
		K12	0,6774	0,1621
		K13	0,1261	0,0302
K2	0,2253	K21	0,2397	0,054
		K22	0,4981	0,1122
		K23	0,2611	0,059
K3	0,1038	K31	0,4544	0,1515
		K32	0,1504	0,0501
		K33	0,1740	0,0580
		K34	0,2211	0,0736
		K35	0,065	0,0068
K4	0,3333	K41	0,4545	0,1515
		K42	0,1504	0,0501
		K43	0,1740	0,0580
		K44	0,2211	0,0737
K5	0,0982	K51	0,1105	0,0108
		K52	0,2633	0,0258
		K53	0,4463	0,044
		K54	0,1799	0,0176

Sarsıntıya Bağlı Bina İçi Devrilmeler ve Açık Alev Kaynakları (K3) için önem ağırlığı 0,1038 iken en önemli alt kriter Binalar Arası Ortalama Mesafe(K31) olmuştur. Bir yangının yayılması açısından binaların birbirine çok yakın olması oldukça risklidir. Müdahalenin Gecikmesine Bağlı Gelişen Riskler (K5) 0,0982 ile ana kriterler arasında en az öneme sahip kriter olmuştur. Bu ana kriterin en önemli alt kriteri ise Tamamen Yıkılan Binalara Bağlı Kapanan Yollar (K53) kriteri olurken depremden sonra yolların kapanmasının müdahaleyi en çok etkileyen kriter olduğu anlaşılmıştır. Ana kriterlerin önem ağırlıklarına bakıldığında daha geniş alanları etkileyebilecek ve yangının büyümesini tetikleyecek faktörler doğal olarak daha yüksek öneme sahiptir. Müdahale faktörü en az önemli çıkan faktördür. Yangına müdahale önemli olmasına rağmen kimyasal bir yangının başlama riski ile kıyaslandığında müdahale performansının daha az önemli çıkması mantıklıdır.

Kriterlerin önem ağırlıklarının tespit edilmesinin ardından Pisagor Bulanık TOPSIS metodu ile 14 ilçe risklerine göre sıralanmıştır. Bu noktada İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından yayımlanmış olan ilçe bazlı deprem hasar kitapçıklarından faydalanılmıştır. Yapılan sıralama söz konusu raporlarda yer alan İstanbul ili için Mw=7.5 büyüklüğünde gündüz vakti bir deprem yaşanması senaryosu üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma için ihtiyaç duyulan tüm veriler yayımlanmış raporlardan ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin diğer istatistik raporlarından elde edilmiştir. İlk aşamada dilsel değerlendirmeler için Tablo 5.7'de yer alan dilsel değerlendirme ölçeğinden faydalanılmış ve her bir ilçe risk kriterlerine göre değerlendirilmiştir.

Tablo 5.7 Pisagor Bulanık TOPSIS dilsel değerlendirme ölçeği

Dilsel İfade	Pisagor Bulanık Sayı	
	μ	ν
Son Derece Düşük(SD)	0.1	0.99
Çok Az(ÇA)	0.1	0.91
Az(A)	0.25	0.92
Ortalamadan Az(OA)	0.4	0.87
Ortalama(O)	0.5	0.8
Orta Yüksek(OY)	0.6	0.71
Yüksek(Y)	0.7	0.6
Çok Yüksek(ÇY)	0.8	0.44
Muazzam Derecede Yüksek(MY)	0.1	0.0

Uzmanlar tarafından Tablo 5.7 kullanılarak her bir ilçenin kriterlere göre değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Tablo 5.8’de gösterilen alternatif dilsel değerlendirme matrisi elde edilmiş ardından Pisagor Bulanık TOPSIS metodunun adımları sırası ile uygulanmıştır.

Tablo 5.8 Pisagor TOPSIS alternatif değerlendirme matrisi

İlçeler	K11	K12	K13	K21	K22	K23	K31	K32	K33	K34	K35
Adalar	OY	O	SD	MY	OA	Y	Y	ÇA	MY	O	A
Ataşehir	OY	OA	O	OA	ÇA	OA	MY	Y	A	OA	O
Beykoz	A	OA	O	OA	ÇY	OA	OA	ÇA	Y	MY	OA
Çekmeköy	ÇA	ÇA	O	SD	OY	SD	A	O	A	A	OA
Kadıköy	ÇY	OA	OA	OY	ÇA	O	MY	MY	OA	A	OY
Kartal	Y	O	OY	OY	A	O	Y	ÇY	OA	O	OY
Maltepe	MY	OY	O	OY	A	OY	Y	ÇY	SD	A	Y
Pendik	MY	ÇY	Y	Y	Y	Y	OY	Y	Y	MY	ÇY
Sancaktepe	OA	OA	O	A	OA	A	Y	O	SD	O	OY
Şile	SD	ÇA	SD	SD	MY	SD	SD	SD	MY	A	ÇA
Sultanbeyli	OA	OA	O	OA	ÇA	O	MY	A	SD	O	OA
Tuzla	MY	ÇY	MY	MY	O	MY	OA	OA	O	OA	OA
Ümraniye	O	O	ÇY	OA	ÇA	OA	MY	OY	SD	MY	ÇY
Üsküdar	O	OA	O	OA	ÇA	OA	MY	OY	Y	Y	Y

Tablo 5.8 Pisagor TOPSIS alternatif değerlendirme matrisi(devamı)

İlçeler	K41	K42	K43	K44	K51	K52	K53	K54
Adalar	SD	SD	SD	SD	O	O	MY	Y
Ataşehir	O	OY	OY	O	ÇY	OA	O	Y
Beykoz	SD	OY	A	A	ÇA	OA	OA	Y
Çekmeköy	SD	A	A	O	ÇY	ÇA	SD	MY
Kadıköy	OA	Y	MY	OY	OY	O	O	OA
Kartal	O	MY	OY	O	OY	O	O	OA
Maltepe	OY	OY	Y	O	OY	Y	ÇY	ÇY
Pendik	OA	A	Y	MY	O	ÇY	ÇY	ÇY
Sancaktepe	Y	SD	OA	ÇY	ÇY	O	A	ÇY
Şile	SD	A	SD	ÇA	SD	A	SD	ÇY
Sultanbeyli	A	SD	A	O	ÇY	Y	OA	OY
Tuzla	MY	OY	A	ÇY	OA	MY	MY	OY
Ümraniye	Y	A	Y	Y	OY	Y	OA	O
Üsküdar	SD	MY	Y	OY	OA	OA	Y	A

İlk olarak, Tablo 5.8'deki alternatif değerlendirme matrisi Pisagor bulanık sayılara dönüştürülür. Daha sonra ağırlıklı normalleştirilmiş matris, hem Tablo 5.6'da gösterilen global kriter ağırlıkları hem de alternatif değerlendirme matrisi kullanılarak oluşturulur ve her kriter için pozitif ideal çözüme olan uzaklık ($U_{PiÇ}$) ve negatif ideal çözüme olan uzaklık($U_{NiÇ}$) Tablo 5.9'daki gibi elde edilir.

Tablo 5. 9 Alternatiflerin görece yakınlık değerleri

İlçeler	$U_{PiÇ}$	$U_{NiÇ}$	Göreceli Yakınlık Değerleri	İlçeler	$U_{PiÇ}$	$U_{NiÇ}$	Göreceli Yakınlık Değerleri
Adalar	0,7742	0,3007	0,2798	Pendik	0,4548	0,6016	0,5538
Ataşehir	0,7254	0,2686	0,2702	Sancaktepe	0,7117	0,2868	0,2872
Beykoz	0,7235	0,2885	0,2850	Şile	0,9048	0,1908	0,1741
Çekmeköy	0,8589	0,1376	0,1381	Sultanbeyli	0,7765	0,2170	0,2184
Kadıköy	0,6812	0,3494	0,3390	Tuzla	0,5245	0,6969	0,5706
Kartal	0,6488	0,3757	0,3667	Ümraniye	0,6307	0,3746	0,3726
Maltepe	0,6036	0,4254	0,4134	Üsküdar	0,7065	0,3120	0,3063

Tablo 5.9’da hesaplanan nihai ağırlık puanlarına göre Anadolu yakasındaki 14 ilçe deprem sonrası yangın risklerine göre Tablo 5.10’daki gibi sıralanır.

Tablo 5.10 İlçelerin Pisagor AHP-TOPSIS yöntemine göre risk sıralaması

Sıra	İlçe	Skor	Sıra	İlçe	Skor
1	Tuzla	0,5706	8	Sancaktepe	0,2872
2	Pendik	0,5538	9	Beykoz	0,2850
3	Maltepe	0,4134	10	Adalar	0,2798
4	Ümraniye	0,3726	11	Ataşehir	0,2702
5	Kartal	0,3667	12	Sultanbeyli	0,2184
6	Kadıköy	0,3390	13	Şile	0,1741
7	Üsküdar	0,3726	14	Çekmeköy	0,1381

Tablo 5.10’dan görüleceği üzere deprem sonrası yangın riski en yüksek olan ilçe Tuzla en düşük olan ise Çekmeköy olarak bulunmuştur. Kriter ağırlıklarından en yüksek öneme sahip olanın kimyasal maddeler olduğu düşünüldüğünde sanayi açısından oldukça aktif bir bölge olan Tuzla’nın en riskli bölge olarak belirlenmesi doğaldır. Bölge birçok bağımsız firmanın yanı sıra organize sanayi bölgelerine de ev sahipliği yapmaktadır. Yangın riskine paralel olarak KAF’a yakın olması nedeniyle deprem riski en yüksek olan bölgelerden de bir tanesidir. İkinci sırada Pendik yer almaktadır ve bu bölge de şehrin üretim ve sanayi yoğunluğu yüksek olan bölgelerinden birisidir. Ayrıca nüfus açısından en kalabalık dördüncü ilçedir ve binalar arası mesafe kriterinin yüksek öneme sahip olduğu düşünülürse sonuç olağan görünmektedir.

En düşük riske sahip ilçeler Şile ve Çekmeköy ’dür. Şile kalıcı bir yerleşim yeri olmaması ve en az nüfusa sahip ilçelerden birisi olması nedeniyle en düşük risk grubundadır. Şile’ye komşu ilçe olan Çekmeköy de sanayi, nüfus ve yüzölçümü avantajları sayesinde en az riskli ilçe olmuştur.

5.2 Aralık Değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS İle Risk Değerlendirmesi

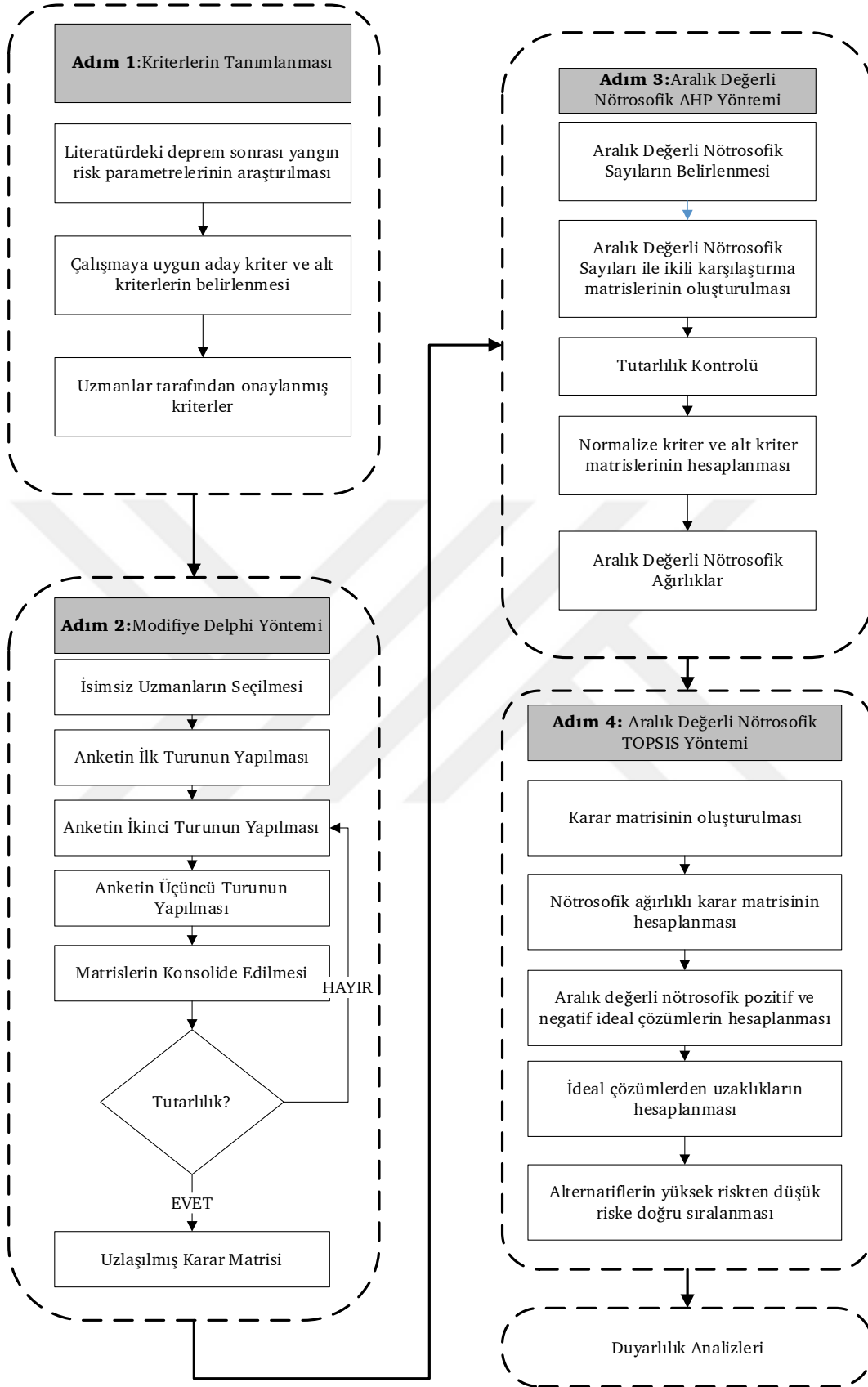
Belirlenen kriterler uzmanlar tarafından Modifiye Delfi tekniği ile değerlendirildikten sonra Aralık Değerli Nötrosofik AHP uygulanmış ve kriterlerin önem ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından İstanbul ili Anadolu Yakası'ndaki 14 ilçe Aralık Değerli Nötrosofik TOPSIS yöntemi ile risklerine göre sıralanmıştır. Önerilen iki aşamalı risk değerlendirme yönteminin akış şeması Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

İlk adımda uzmanların kriterleri değerlendirmesi için Tablo 5.11'de gösterilen dilsel değerlendirme ölçeği kullanılmıştır. Ölçek orijinal dilinden Türkçeye çevrilmiştir.

Tablo 5.11 Dil değişkenlerinin tanımı ve aralık değerli nötrosofik ölçek

Dilsel İfadeler	T^L	T^U	I^L	I^U	F^L	F^U
Eşit Önem (E)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Zayıf Derecede Daha Önemli (ZÖ)	0,5	0,6	0,35	0,45	0,4	0,5
Ortalama Önemli (O)	0,55	0,65	0,3	0,4	0,35	0,45
Ortalamanın Üzerinde Önemli	0,6	0,7	0,25	0,35	0,3	0,4
Güçlü Derecede Önemli (G)	0,65	0,75	0,2	0,3	0,25	0,35
Daha Güçlü Derecede Önemli	0,7	0,8	0,15	0,25	0,2	0,3
Çok Güçlü Önemli (ÇG)	0,75	0,85	0,1	0,2	0,15	0,25
Çok Güçlü Daha Önemli (ÇD)	0,8	0,9	0,05	0,1	0,1	0,2
Ekstrem Derecede Önemli (ED)	0,9	0,95	0	0,05	0,05	0,15
Ekstrem Derecede Yüksek Önemli	0,95	1	0	0	0	0,1
Kesinlikle Daha Önemli (KÖ)	1	1	0	0	0	0

Tüm ana ve alt kriterlerin önemleri için uzman değerlendirmeleri Modifiye Delfi yöntemi ile elde edilmiş ve son olarak matrisler konsolide edilerek uzlaşılmış matrisler oluşturulmuştur. Karar vericiler arasında uzlaşma sağlanana dek değerlendirme devam ettirilmiştir. Ana kriterler için uzlaşılmış değerlendirme matrisi Tablo 5.12'de yer almaktadır.



Şekil 5.2 Nötrosofik AHP-TOPSIS risk değerlendirme yöntemi akış şeması

Tablo 5.12 Ana kriterler için ikili n trosofik karşılaştırma matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	E	O	O�	G ^c	G
K2	O ^c	E	O�	G ^c	G
K3	O� ^c	O� ^c	E	E	O�
K4	G	G	ÇD	E	EY
K5	G ^c	G ^c	O� ^c	EY ^c	E

Tablo 5.12'deki ana kriterler ve bu ana kriterlere bağlı tüm alt kriterler için dilsel ifadelerin n trosofik karşılıkları yazılarak sırasıyla Aralık Değerli N trosofik AHP metodunun adımları uygulanmış ve Tablo 5.13'te yer alan n trosofik ağırlık matrisleri elde edilmiştir.

Tablo 5.13 Ana ve alt kriterlere ait n trosofik ağırlık matrisi

Ana Kriterler	T^L	T^U	I^L	I^U	F^L	F^U
K1	0,18829	0,22083	0,14115	0,17691	0,14937	0,18263
K2	0,17227	0,20543	0,16225	0,19729	0,16367	0,19643
K3	0,12415	0,15859	0,21760	0,24769	0,20609	0,23703
K4	0,27013	0,29479	0,05723	0,07594	0,06986	0,10477
K5	0,08505	0,12034	0,27857	0,30216	0,25342	0,27913
Alt Kriterler	T^L	T^U	I^L	I^U	F^L	F^U
K11	0,26546	0,31243	0,38081	0,35353	0,31158	0,35516
K12	0,40396	0,44024	0,15050	0,20303	0,17658	0,22658
K13	0,19741	0,24732	0,40601	0,44343	0,38016	0,41825
K21	0,24484	0,28974	0,37048	0,40908	0,34558	0,38510
K22	0,35870	0,39645	0,19479	0,24407	0,21871	0,26585
K23	0,21157	0,31381	0,30197	0,34684	0,30538	0,34903
K31	0,15855	0,19135	0,18222	0,21533	0,18276	0,21424
K32	0,13225	0,16572	0,21453	0,24618	0,20561	0,23605
K33	0,25672	0,28159	0,06593	0,09557	0,08437	0,11836
K34	0,19879	0,22991	0,12345	0,15815	0,13459	0,16747
K35	0,09723	0,13141	0,25882	0,28475	0,23802	0,26387
K41	0,29615	0,32847	0,11330	0,15508	0,13364	0,17357
K42	0,13896	0,17887	0,31108	0,34348	0,28913	0,32185

Tablo 5.13 Ana ve alt kriterlere ait n trosofik ağırlık matrisi (devamı)

K43	0,18221	0,22079	0,24817	0,28492	0,24411	0,27980
K44	0,23569	0,27187	0,17666	0,21651	0,18656	0,22477
K51	0,14775	0,18694	0,30485	0,33716	0,28343	0,31613
K52	0,22470	0,26096	0,19195	0,23063	0,20072	0,23794
K53	0,28928	0,32160	0,12178	0,16271	0,14129	0,18052
K54	0,19291	0,23049	0,23277	0,2695	0,22958	0,26540

N trosofik durulaştırma formülü kullanılarak önem ağırlıkları durulaştırılır ve ana kriterler ile alt kriterler için lokal ve global önem ağırlıkları Tablo 5.14'teki gibi hesaplanır.

Tablo 5.14 Durulaştırılmış n trosofik lokal ve global kriter ağırlıkları

Ana Kriter	Ağırlık	Alt Kriter	Lokal	Global
Doğalgaz ve Diğ�r	0,2207	K11	0,314	0,0693
Gaz Kaynaklarındaki		K12	0,4381	0,0967
Sızıntılar (K1)		K13	0,248	0,0547
Elektrik Kaynakları	0,2089	K21	0,2933	0,0612
ve Elektrikli Cihazlar		K22	0,3916	0,0817
(K2)		K23	0,3151	0,0658
Sarsıntıya Bağlı Bina	0,1646	K31	0,1934	0,0318
��i Devrilmeler ve		K32	0,1714	0,0282
A�ık Alev Kaynakları		K33	0,2702	0,0445
(K3)		K34	0,2268	0,0373
		K35	0,1382	0,0227
Kimyasal ve Yanıcı	0,2790	K41	0,3221	0,0898
Madde		K42	0,1842	0,0514
Kaynakları(K4)		K43	0,2235	0,0623
		K44	0,2702	0,0754
M�dahalenin	0,1268	K51	0,1925	0,0244
Gecikmesine Bağlı		K52	0,2592	0,033
Geliş�n Riskler (K5)		K53	0,3151	0,0399
		K54	0,2332	0,0295

Tablo 5.14'ten görülebileceği gibi, beş ana kriterin ağırlıkları, Doğal Gaz ve Diğer Gaz Kaynaklarındaki Sızıntılar (K1), Elektrik Kaynakları ve Elektrikli Cihazlar (K2), Sarsıntıya Bağlı Bina İçeri Devrilmeler ve Açık Alev Kaynakları (K3), Kimyasal ve Yanıcı Madde Kaynakları (K4) ve Müdahalenin Gecikmesine Bağlı Gelişen Riskler (C5) sırasıyla 0.2207, 0,2089, 0,1646, 0,2790 ve 0,1268 olarak elde edilmiştir. Deprem sonrası yangınlar için en önemli risk faktörü %27,9 ile Kimyasal ve Yanıcı Madde Kaynakları (K4) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Doğal Gaz ve Diğer Gaz Kaynaklarındaki Sızıntılar (K1) ve Elektrik Kaynakları ve Elektrikli Cihazlar (K2) 0.2207 ve 0.2089 kriter ağırlıkları ile birbirine çok yakındır. Alt kriterlere odaklanıldığında, Doğal Gaz Boru Hattındaki Arıza ve Sızıntıların (K12) % 9.968 oranı ile en önemli risk faktörü olduğu söylenebilir. Diğer riskli alt kriterler sırasıyla % 8.986 ve % 8.176 oranlarıyla Bölgedeki Kimyasal Tesis Yoğunluğu (K41) ve Bölgesel Trafo ve Santral Arızaları (K22) 'dır. Geniş bir alanı ve popülasyonu etkileme potansiyeline sahip olan kriterlerin doğal olarak daha yüksek bir öneme sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Hesaplanan bu kriter ağırlıkları kullanılarak İstanbul ili Anadolu Yakasındaki 14 ilçe risklerine göre Aralık Değerli Nötrosifik TOPSIS yöntemi adımları sırası ile uygulanır ve deprem sonrası risk haritası elde edilir.

İlk olarak Tablo 5.15'deki dil değişkenleri kullanılarak anket aracılığıyla uzmanlardan ilçeleri önceden belirlenmiş kriterleri dikkate alarak değerlendirmeleri istenir. Bu değerlendirmeler daha sonra aynı ölçek yardımıyla nötrosifik sayılara dönüştürülmüştür.

Tablo 5.15 Nötrosifik değerlendirme matrisi puanlama ölçeği

Dilsel Değişkenler	T^L	T^U	I^L	I^U	F^L	F^U
Kesinlikle Düşük (KD)	0,05	0,2	0,4	0,6	0,85	1
Çok Düşük (ÇD)	0,15	0,3	0,3	0,5	0,75	0,9
Düşük (D)	0,25	0,4	0,2	0,4	0,65	0,8
Ortalamanın Altında (OA)	0,35	0,5	0,1	0,3	0,55	0,7
Ortalama (O)	0,45	0,6	0	0,2	0,45	0,6
Ortalamanın Üzerinde	0,55	0,7	0,1	0,3	0,35	0,5
Yüksek (Y)	0,65	0,8	0,2	0,4	0,25	0,4
Çok Yüksek (ÇY)	0,75	0,9	0,3	0,5	0,15	0,3
Kesinlikle Yüksek (KY)	0,85	1	0,4	0,6	0,05	0,2

Uzmanların ilçeleri belirlenen kriterlere göre dilsel ifadelerle değerlendirmeleri sonucunda Tablo 5.16 'daki alternatif değerlendirme matrisi elde edilmiştir.

Tablo 5.16 Alt kriterler için nütrosifik dilsel değerlendirme matrisi

İlçeler	K11	K12	K13	K21	K22	K23	K31	K32	K33	K34	K35
Adalar	OÜ	O	KD	KY	OA	Y	Y	ÇD	KY	O	D
Ataşehir	OÜ	OA	O	OA	ÇD	OA	OA	Y	D	OA	O
Beykoz	D	OA	O	OA	ÇY	OA	OA	ÇD	Y	KY	OA
Çekmeköy	ÇD	ÇD	O	KD	OÜ	KD	KD	O	D	D	OA
Kadıköy	ÇY	OA	OA	OÜ	ÇD	O	O	KY	OA	D	OÜ
Kartal	Y	O	OÜ	OÜ	D	O	O	ÇY	OA	O	OÜ
Maltepe	KY	OÜ	O	OÜ	D	OÜ	OÜ	ÇY	KD	D	Y
Pendik	KY	ÇY	U	Y	Y	Y	Y	Y	Y	KY	ÇY
Sancaktepe	OA	OA	O	D	OA	D	D	O	KD	O	OÜ
Şile	KD	ÇD	KD	KD	KY	KD	KD	KD	KY	D	ÇD
Sultanbeyli	OA	OA	O	OA	ÇD	O	O	D	KD	O	OA
Tuzla	KY	ÇY	KY	KY	O	KY	KY	OA	O	OA	OA
Ümraniye	O	O	ÇY	OA	ÇD	OA	OA	OÜ	KD	KY	ÇY
Üsküdar	O	OA	O	OA	ÇD	OA	OA	OÜ	Y	Y	Y
İlçeler	K41	K42	K43	K44	K51	K52	K53	K54			
Adalar	KD	KD	KD	KD	O	O	KY	Y			
Ataşehir	O	OÜ	OÜ	O	ÇY	OA	O	Y			
Beykoz	KD	O	D	D	ÇD	OA	OA	Y			
Çekmeköy	KD	D	D	O	ÇY	ÇD	KD	KY			
Kadıköy	OA	Y	KY	OÜ	OÜ	O	O	OA			
Kartal	O	KY	OÜ	O	OÜ	O	O	OA			
Maltepe	OÜ	OÜ	Y	O	OÜ	Y	ÇY	ÇY			
Pendik	OÜ	D	Y	KY	O	ÇY	ÇY	ÇY			
Sancaktepe	Y	KD	OA	ÇY	ÇY	O	D	ÇY			
Şile	KD	D	KD	ÇD	KD	D	KD	ÇY			
Sultanbeyli	O	KD	D	O	ÇY	Y	OA	OÜ			
Tuzla	KY	OÜ	D	ÇY	OA	KY	KY	OÜ			
Ümraniye	Y	D	Y	Y	OÜ	Y	OA	O			
Üsküdar	KD	KY	Y	OÜ	OA	OA	Y	D			

İlk olarak, alternatif değerlendirme matrisi nütrosifik sayılara dönüştürülür. Daha sonra, ağırlıklı normalleştirilmiş matris, hem kriter ağırlıkları hem de alternatif değerlendirme matrisi kullanılarak oluşturulur. Her kriter için pozitif ideal ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar tespit edilir. Öklid uzaklık formülü ile hesaplanan bu ideal çözüm uzaklıkları Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

Tablo 5.17 Nötrosofik pozitif ve negatif ideal çözümlere olan uzaklıklar

İlçeler	$U_{PİÇ}$	$U_{NİÇ}$
Adalar	0.2167	0.1280
Ataşehir	0.1642	0.1809
Beykoz	0.1810	0.1577
Çekmeköy	0.2216	0.1159
Kadıköy	0.1646	0.1881
Kartal	0.1438	0.2039
Maltepe	0.1589	0.1807
Pendik	0.1593	0.2013
Sancaktepe	0.1860	0.1558
Şile	0.2455	0.0878
Sultanbeyli	0.1929	0.1516
Tuzla	0.1737	0.2082
Ümraniye	0.1776	0.1702
Üsküdar	0.1641	0.1830

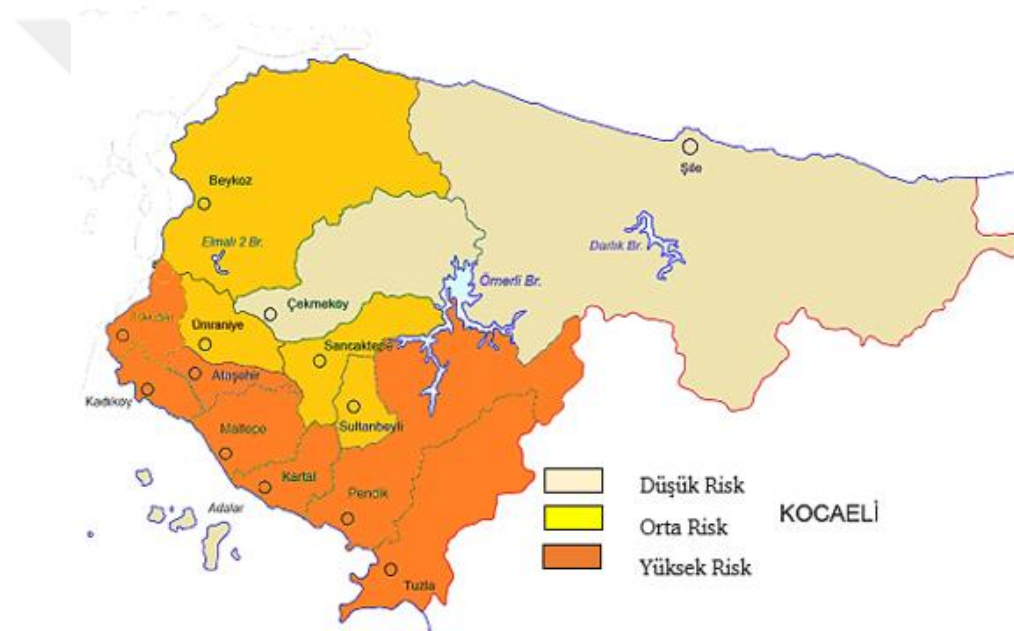
İlçelerin nihai sıralama puanlarını Eşitlik (4.61) yardımıyla elde edilir. Tablo 5.18 değerlendirilen 14 ilçenin deprem sonrası yangın risk skorlarını göstermektedir.

Tablo 5.18 İlçelerin nihai Nötrosofik TOPSIS skorları

Sıra	İlçe	Skor	Sıra	İlçe	Skor
1	Kartal	0.58636	8	Ümraniye	0.48945
2	Pendik	0.55826	9	Beykoz	0.46556
3	Tuzla	0.54513	10	Sancaktepe	0.45579
4	Kadıköy	0.53318	11	Sultanbeyli	0.44016
5	Maltepe	0.53208	12	Adalar	0.37126
6	Üsküdar	0.5272	13	Çekmeköy	0.34339
7	Ataşehir	0.52415	14	Şile	0.26339

Tablo 5.18'den görülebileceği üzere deprem sonrası yangın riskinin en yüksek olduğu ilçe Kartal olarak belirlenmiştir. Kartal'ı birbirlerine yakın skorlarla Pendik, Tuzla ve Kadıköy ilçeleri izlemiştir. Kartal, Pendik ve Tuzla ilçelerinin haritada da yan yana olduğu düşünülürse hesaplanan deprem sonrası yangın risklerinin birbirine yakın olması normal olarak görünebilir. En az risk taşıyan ilçe 0.26339 skoru ile Şile olarak bulunmuştur. Çok geniş bir alana sahip olmanın yanı sıra düşük nüfus ve kimyasal faaliyetlerde bulunan işletmelerin çok sınırlı sayıda

olması bu sonucu desteklemektedir. Adalar ilçesi burada özellikle incelenmelidir. Sıralamada listenin altlarında yer almaktadır. Bu durumda en yüksek öneme sahip olan Kimyasallar ve Yanıcı Kaynaklar kriterinin etkisi açıktır. Adada kimyasal aktivite kaynaklarının bulunmaması ve yanıcı sıvılar içeren çok sınırlı alanların bulunmasının deprem sonrası yangın riskini önemli ölçüde azalttığı düşünülmektedir. Harita 5.2 hesaplanan risk puanlarına göre ilçelerin deprem sonrası yangın riski haritasını temsil etmektedir. 0.50 ve üzeri skor değerine sahip olan en yüksek riske sahip ilçeler turuncu ile renklendirilmiştir. 0.40 ile 0.50 arasında skor alanlar orta riskli gruba dahil edilmiş ve sarı ile gösterilmiştir. En düşük riske sahip ve açık bej ile boyanan ilçeler 0.40 ve altında puan alanlardır.



Harita 5.2 Anadolu yakası deprem sonrası yangın riski haritası

Görüldüğü gibi, önerilen iki seviyeli deprem sonrası yangın riski değerlendirme yöntemi, karar vericilere veya yetkili kişilere hızlı bir değerlendirme fırsatı sunmaktadır. Yüksek önem kriterlerini ortaya koyarak alınması gereken tedbirler hakkında da fikir verir. İlçeleri risklerine göre değerlendirerek, örnek vaka olarak seçilen ve deprem riski yüksek olan İstanbul için risk haritası sağlar. Böylelikle risk düzeyi yüksek ilçelerde ikamet eden kişilere deprem sonrası yangın riskleri konusunda fikir verir ve önlem almaları için rehberlik eder.

5.3 Önerilen Risk Değerlendirme Yöntemlerine İlişkin Duyarlılık Analizleri

Bu çalışmada önerilen risk değerlendirme yöntemlerinin güvenilirlik ve geçerliliğini ölçmek üzere duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Pisagor bulanık AHP-TOPSIS metodu için kriter ağırlıklarının değiştirilmesi ile yürütülen analiz Aralık değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS yönteminde kullanılan uzaklık formülünün değiştirilmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir.

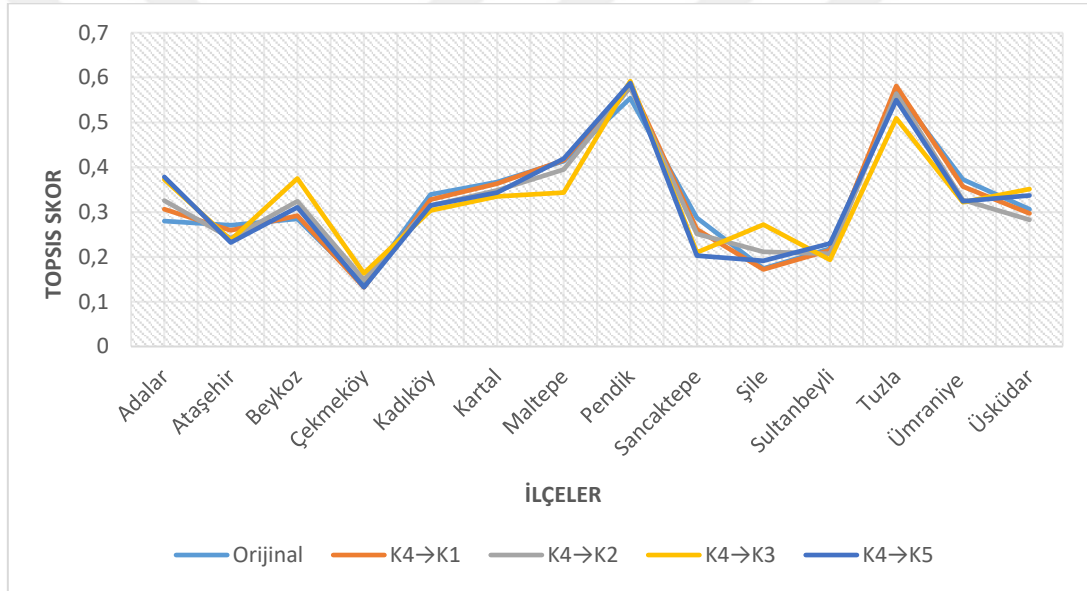
5.3.1 Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS Duyarlılık Analizi

İlk olarak ana kriterlerden en yüksek öneme sahip olan K4, diğer kriter ağırlıkları aynı kalmak koşuluyla K1 kriteri ile yer değiştirilerek yeniden hesaplama yapılmıştır. Ardından benzer şekilde K4 ile K2, K4 ile K3 ve son olarak K4 ile K5 yer değiştirerek toplamda 5 adet sıralama elde edilmiştir. Tablo 5.19 bu değişiklikler sonucu hesaplanan yeni skorları göstermektedir.

Tablo 5.19 Pisagor bulanık AHP-TOPSIS yöntemi duyarlılık hesapları

İlçeler	Orijinal	K4→K1	K4→K2	K4→K3	K4→K5
Adalar	0.2798	0.3065	0.3258	0.3726	0.3785
Ataşehir	0.2702	0.2592	0.2411	0.2375	0.2317
Beykoz	0.2850	0.2922	0.3241	0.3745	0.3103
Çekmeköy	0.1381	0.1319	0.1490	0.1634	0.1321
Kadıköy	0.3390	0.3273	0.3143	0.3032	0.3147
Kartal	0.3667	0.3632	0.3478	0.3347	0.3431
Maltepe	0.4134	0.4153	0.3948	0.3436	0.4188
Pendik	0.5538	0.5846	0.5783	0.5918	0.5876
Sancaktepe	0.2872	0.2613	0.2515	0.2095	0.2029
Şile	0.1741	0.1719	0.2113	0.2719	0.1911
Sultanbeyli	0.2184	0.2150	0.2068	0.1936	0.2295
Tuzla	0.5706	0.5809	0.5641	0.5091	0.5494
Ümraniye	0.3726	0.3569	0.3265	0.3218	0.3238
Üsküdar	0.3063	0.2972	0.2825	0.3514	0.3371

Ana kriter ağırlıkları karşılıklı olarak değişirken aday ilçelerin puanları da değişmektedir. Örneğin K4 ile K1'in yer değiştirdiği uygulamada Adalar ilçesinin skoru 0.2798'den 0.3065'e yükselmektedir. Yani en önemli kriterin kimyasal maddeler değil de gaz kaynakları olduğu bir uygulamada ilçe sıralamalarının buna göre güncelleneceği görülmektedir. Orijinal uygulamada en riskli ilçe Tuzla iken, K4 ile K3 yer değiştirdiğinde yani en önemli kriter kimyasallar değil bina içi devrilmeler olduğunda skorlar değişmiş ve en yüksek riske sahip ilçe 0.5918 ile Pendik olmuştur. Şekil 5.3 orijinal hesaplamaların ve yapılan her bir deneme sonucunda değişen skorların grafiğini göstermektedir. İlçelerin her bir uygulamaya verdiği tepkiler ve değişen skorlar net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.3 Pisagor bulanık AHP-TOPSIS yöntemi duyarlılık analizi grafiği

Tüm durumlarda deprem sonrası yangın riski en yüksek olan ilçeler Tuzla ve Pendik olarak bulunmuştur. Bu iki ilçe karar vericilere riskler açısından önemli ipuçları vermektedir. Benzer şekilde Çekmeköy deprem sonrası yangın açısından her zaman en avantajlı ilçe olarak bulunmuştur. Adalar orijinal değerlendirmede 10. Sırada yer alırken K4 ile K3 yer değiştirdiğinde 4.sıraya yükselmiştir. Burada Adalar'da kimya faaliyetlerinin olmaması bu değişimde önemli bir faktördür. Ayrıca binaların çoğunluğu ahşap olduğundan açık alev kaynaklarının öneminin artması doğal olarak riski de arttırmıştır. Duyarlılık analizi önerilen yöntemin geçerliliğini ve sonuçların tutarlılığını göstermektedir.

5.3.2 Aralık Değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS Duyarlılık Analizi

Aralık değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS risk değerlendirme yönteminin duyarlılık analizi için farklı bir yöntem ile kullanılan mesafe ölçüleri Öklid mesafesinden Hamming mesafesine değiştirilmiştir. Pozitif ve negatif ideal çözümlerden alternatiflerin Hamming mesafeleri hesaplanmıştır. Tablo 5.20 her bölge için pozitif ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları göstermektedir.

Tablo 5.20 Hamming uzaklığına göre ideal çözümlere uzaklıklar

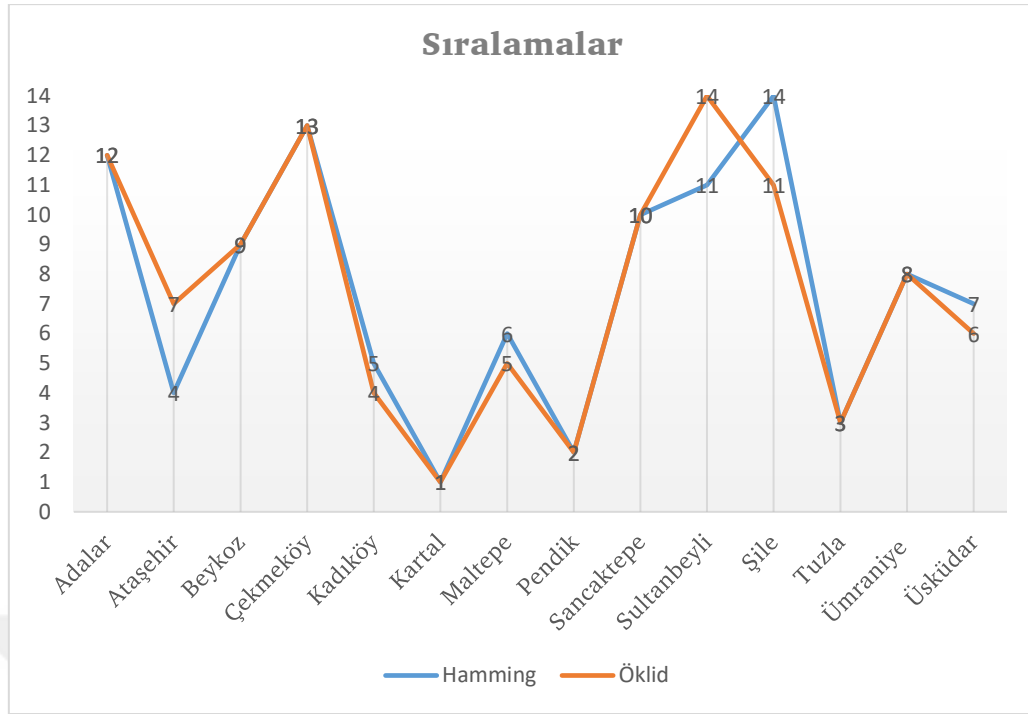
İlçe	$U_{PİÇ}$	$U_{NİÇ}$	İlçe	$U_{PİÇ}$	$U_{NİÇ}$
Adalar	0,4106	0,2303	Pendik	0,2806	0,3603
Ataşehir	0,2894	0,3516	Sancaktepe	0,3403	0,3006
Beykoz	0,3392	0,3017	Şile	0,4859	0,1550
Çekmeköy	0,4266	0,2143	Sultanbeyli	0,3488	0,2921
Kadıköy	0,2923	0,3486	Tuzla	0,2852	0,3557
Kartal	0,2474	0,3935	Ümraniye	0,3212	0,3197
Maltepe	0,2955	0,3454	Üsküdar	0,2958	0,3451

Daha sonra her ilçenin nihai puanı Hamming mesafeleri kullanılarak hesaplanır ve ilçeler nihai puanlara göre sıralanır. Tablo 5.21 her ilçenin nihai puanını göstermektedir.

Tablo 5.21 Duyarlılık analizine göre ilçelerin skorları ve sıralamaları

Sıra	İlçe	Skor	Sıra	İlçe	Skor
1	Kartal	0,6140	8	Ümraniye	0,4988
2	Pendik	0,5621	9	Beykoz	0,4707
3	Tuzla	0,5550	10	Sancaktepe	0,4691
4	Ataşehir	0,5485	11	Sultanbeyli	0,4557
5	Kadıköy	0,5440	12	Adalar	0,3593
6	Maltepe	0,5389	13	Çekmeköy	0,3344
7	Üsküdar	0,5385	14	Şile	0,2419

Tablo 5.21'e göre en riskli üç ilçe aynıdır. Dolayısıyla on dört ilçe arasında en riskli ilçeler olarak Kartal, Pendik ve Tuzla'nın belirlendiği söylenebilir. Farklı mesafe ölçülerine göre ilçelerin sıralama karşılaştırması Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Hamming ve Öklid mesafelerine göre ilçelerin risk sıralaması

Şekil 5.4'e bakıldığında farklı mesafe ölçülerinin sonuçları değiştirebileceği görülmektedir. Örneğin Ataşehir ilçesi Öklid uzaklığının kullanıldığı uygulamada 7. sırada yer alırken Hamming mesafesi kullanıldığında 4. sıraya ilerlemiştir. Benzer bir durum Maltepe ilçesinde de olmuştur. Öklid uzaklığı tercih edildiğinde 5. sırada olan ilçe Hamming tercih edildiğinde 6. sırada yer almıştır. Bu nedenle daha tutarlı sonuçlar elde etmek için mesafe ölçüsünü seçmek önemlidir. Ayrıca önerilen yöntemin yapılan değişikliklere uyumlu davrandığı ve herhangi bir değişikliğin risk sıralamalarını değiştirebileceği görülmüştür.

5.4 Risk Analizi Yöntemleri Uygulama Sonuçları ve Karşılaştırması

Bu bölümde deprem sonrası yangın risk değerlendirme problemi dikkate alınmıştır. Deprem sonrası yangınlar için en önemli risk parametrelerini belirlemek için bir grup uzmanla görüşülmüş ve uzmanların görüşlerini pekiştirmek için Modifiye Delfi Yöntemi uygulanmıştır. Daha sonra iki yeni yaklaşım önerilmiş ve problem bu yaklaşımlarla teker teker ele alınmıştır. İlk olarak Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS yöntemi problem için yapılandırılmış ve uygulanmıştır. Ardından farklı bir yaklaşımla Aralık Değerli Nötrosofik AHP-TOPSIS yaklaşımı ortaya koyulmuştur. Her iki yöntem aynı problem üzerinde

denenerek İstanbul ili Anadolu Yakası'nda bulunan 14 ilçe deprem sonrası yangın risklerine göre sıralanmıştır.

Önerilen her iki yaklaşımda da en önemli ana kriter Kimyasal ve Yanıcı Madde Kaynakları (K4) çıkmıştır. Bununla birlikte ağırlık değerleri değişse de ana kriterlerin önem sıralaması her iki uygulamada da aynı kalmıştır. Alt kriterler açısından bakıldığında da benzer bir durum söz konusudur. Her iki yaklaşımda da en yüksek öneme sahip olan alt kriter grubu aynıdır. İlçelerin risk sıralamaları açısından bakıldığında bazı farklılıklar mevcuttur. İlk yaklaşımda en riskli beş ilçe sırası ile Tuzla, Pendik, Maltepe, Ümraniye, Kartal çıkmıştır. İkinci yaklaşımda ise Kartal, Pendik, Tuzla, Kadıköy, Maltepe şeklindedir. En riskli ilçe değişiklik göstermiş olsa da ilk beş ilçeden dört tanesi her iki yöntemde aynı bulunmuştur. En düşük riske sahip ilçeler de benzer şekilde Şile ve Çekmeköy'dür.

İki farklı yaklaşımla gerçekleştirilen duyarlılık analizleri önerilen yaklaşımların değişikliklere duyarlı olduğunu göstermiştir. İlk yöntem değişen kriter ağırlıklarına göre risk sıralamalarını değiştirirken ikinci yöntemde kullanılan uzaklık ölçüsünün değiştirilmesi ilçelerin risk sıralamalarına da yansımıştır. Söz konusu analizler önerilen yöntemlerin ilçeler için uygun bir deprem sonrası yangın riski belirleme aracı olabileceğini göstermektedir.

5.5 Deprem Sonrası Yangınlar İçin KÖH ile Kümeleme Uygulaması

Aralık değerli nütrosifik AHP-TOPSIS yöntemi ile gerçekleştirilen uygulama sonucunda deprem sonrası yangın riski bakımından Anadolu Yakası'ndaki en riskli ilçe Kartal olarak tespit edilmişti. Kartal ilçesini ise yakın risk skorları ile Pendik ve Tuzla ilçeleri izlemektedir. Çalışmanın bu bölümünde depremlerden veya diğer doğal afetlerden sonra özellikle arama kurtarma çalışmalarında sıkça kullanılan İHA'ların kullanımı için bir kümeleme yaklaşımı sunulmaktadır. Bu bağlamda deprem sonrası yangın riski yüksek çıkan üç ilçenin mahalleleri ilerleyen bölümde açıklanacak bazı özelliklerine göre KÖH ile kümelemeye tabi tutulmuş ve karar vericilere afet durumunda İHA ile araştırılacak benzer özellikteki alanların kümelenerek ön bilgi verecek şekilde sunulması amaçlanmıştır. Bu araştırma bir yer belirleme veya rotalama amacı taşımaktan ziyade deprem sonrası yangın riski

açısından benzer karakterlere sahip mahallelerin tespiti ile gelecekte kurulacak olası bir İHA koordinasyon merkezi veya rotalama çalışması için ön bilgi niteliğindedir. Belirlenen amaca yönelik olarak ilçelerin mahallelerini kümelemek üzere yedi adet değişken tespit edilmiştir. Daha sonra MATLAB programında Neural Network Toolbox'a uygun formatta modifiye edilen kümeleme kodu ile farklı denemeler gerçekleştirilmiştir. Probleme en uygun mimariler deneme yanılma yolu ile tespit edilmiş ve en uygun özelliklere sahip olan çalıştırılarak kümeler elde edilmiştir. Burada kritik nokta KÖH ile belirlenen kümelerin uzman değerlendirilmesine tabi tutulmasıdır. Daha önce de açıklandığı üzere kümeleme işleminin en önemli adımlarından bir tanesi sonuçların doğruluğunun test edilmesidir. Bu çalışmada da elde edilen sonuçlar uzmanlara danışılmış ve alınan yorumlar doğrultusunda düzenlemeler yapılarak deprem sonrası yangın risklerine göre mahalle kümeleri oluşturulmuştur. İlerleyen bölümde kullanılan değişkenler kısaca açıklanmış ve mahallelere ait veri setleri istatistiksel özellikleri ile açıklanmıştır. Ardından Matlab'da gerçekleştirilen uygulamanın sonuçları ve uzman değerlendirmesi sonucu oluşturulan kümeler gösterilmiş ve bulgular tartışılarak uygulama kısmı sonlandırılmıştır.

5.5.1 Kümeleme İçin Belirlenen Değişkenler ve Veri Setleri

Mahallelerin kümelenmesi işlemi için yedi adet değişken belirlenmiştir. Bu değişkenler mahalle bazlı deprem sonrası yangın riskini etkilemesi muhtemel değişkenler olacak şekilde seçilmiştir. İHA kullanılmasını gerektirecek bir deprem sonrası yangın felaketinde bu parametrelerin önemli olabileceği düşünülmektedir. Seçilen parametrelerin tanımlamaları ve kullanım amaçlarına yönelik açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

Enlem (D1): Mahallelerin özelliklerinin yanı sıra lokasyon olarak da kümeleme işlemine dâhil edilmesi amacıyla enlem bilgileri bir değişken olarak seçilmiştir.

Boylam (D2): Enlem değişkenine benzer bir sebepten mahallenin lokasyon olarak denk geldiği alanı temsil etmek üzere enlem ile birlikte boylam da seçilmiştir.

Çok Ağır ve Ağır Hasarlı Bina Sayısı(D3): Her mahallede beklenen çok ağır ve ağır hasarlı bina sayıları deprem sonrası yangın riskinde etkili olacağından bir

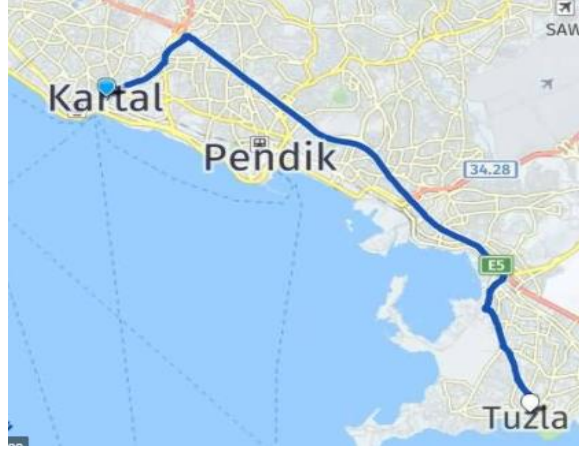
değişken olarak kümelemeye dâhil edilmiştir. Ağır hasarlı binalarda elektrik, doğal gaz veya devrilmelere bağlı olarak ortaya çıkabilecek birçok yangın riskinin olduğu daha önceki bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

Beklenen Can Kaybı ve Ağır Yaralı Sayısı(D4): Mahallelerde beklenen can kaybı veya ağır yaralı insan sayısı depreme karşı hassasiyetin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir ve bir değişken olarak seçilmiştir. Deprem sonrası yangınlar deprem bakımından riskli bölgelerde daha fazla ortaya çıkacağından bu parametrenin de dolaylı olarak etkili olduğu söylenebilir. İHA ile yapılacak arama kurtarma veya keşif uçuşlarının öncelikli olarak yüksek ölüm oranı beklenen bölgelerde gerçekleştirilmesi etkin bir afet yönetimine yardımcı olacaktır.

Yol Kapanma Durumu(D5): İHA'ların özellikle ulaşılması zor alanlarda kullanılmasının sağladığı avantajlara daha önceki bölümlerde değinilmişti. Kapalı yol sayısı fazla olan mahallelerin belirlenmesi de bu açıdan önemlidir. Çalışmada yol kapanma durumu İBB'nin yayımladığı Olası Deprem Kayıp Tahminleri kitapçıklarında yer alan yol kapanma haritalarındaki yoğunluk durumuna bağlı olacak şekilde 0,1,2 ve 3 olarak dört derece ile gösterilmiştir.

Doğalgaz Sisteminde Beklenen Hasar Sayıları (D6): Doğalgaz kaynaklarının neden olduğu yangın riskleri en önemli ikinci ana kriter olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle de her mahallede beklenen doğalgaz arıza sayılarının bir değişken olarak seçilmesinin önemli olacağı düşünüldükçe daha önce adı geçen raporda belirtilen olası kayıplar bir değişken olarak çalışmaya dâhil edilmiştir.

Barınma İhtiyacı Olan Hane Sayıları(D7): Bir felaketten sonra ortaya çıkabilecek en önemli ihtiyaçlardan bir tanesi barınma ihtiyacıdır. Afet bakımından risklerin dikkate alındığı bir bölgede de barınma ihtiyacı duyması beklenen hane sayıları o bölgenin afetten etkilenme durumunun dolaylı bir göstergesi olmaktadır. Bu çalışmada da her mahallede barınma ihtiyacı duyması beklenen hane sayıları, o mahallenin afetten etkilenme durumunu doğal olarak da İHA ile müdahalede önem düzeyini anlamak adına bir değişken olarak seçilmiştir. Şekil 5.5'ten görüleceği üzere Kartal, Pendik ve Tuzla ilçeleri birbirlerine komşu olan üç ilçedir. Pendik ilçesi Kartal ve Tuzla ilçelerinin ortasında yer almaktadır.



Şekil 5.5 Kartal, Pendik ve Tuzla ilçeleri konumları

Bölümün devamında sırası ile Kartal, Pendik ve Tuzla ilçelerine ait tanımlayıcı bilgiler ve kümeleme işleminde kullanılacak verilere yer verilmiştir.

Kartal ilçesi İstanbul ilinin Anadolu Yakası'nda yer alır ve Maltepe, Sancaktepe, Sultanbeyli ve Pendik ilçeleri ile komşudur. 38,54 kilometrekare yüzölçümüne sahip olan Kartal'ın 21 tane mahallesi bulunmaktadır. İlçenin mahalleleri Harita 5.3'te gösterilmiştir.



Harita 5.3 Kartal ilçesi mahale haritası

Tablo 5.22 Kartal ilçesinin 21 mahallesi için tespit edilen yedi değişkene ait değerlerini göstermektedir.

Tablo 5.22 Kartal ilçesi mahalleleri için veri seti tablosu

Mahalleler	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Atalar	40,9037	29,1722	27	17	1	1	985
Aydos Devlet Ormanı	40,933	29,2208	0	0	0	0	0
Cevizli	40,9133	29,1733	30	14	2	0	914
Cumhuriyet	40,9053	29,2219	26	2	1	0	653
Çavuşoğlu	40,891	29,2001	44	10	2	0	678
Esentepe	40,9094	29,1943	41	7	2	1	853
Gümüşpınar	40,9209	29,2074	28	10	2	0	914
Hürriyet	40,9048	29,2337	91	20	2	1	2088
Karlıktepe	40,8997	29,1936	43	17	2	1	1217
Kordonboyu	40,8934	29,1725	34	15	2	0	560
Orhantepe	40,9083	29,1478	83	26	2	1	1752
Orta	40,9108	29,2059	13	4	1	0	425
Petrol İş	40,8964	29,1783	24	16	2	1	905
Soğanlık Yeni	40,9164	29,1899	27	8	1	0	839
Topselvi	40,8982	29,2131	39	12	2	0	702
Uğur Mumcu	40,9325	29,2138	13	24	1	0	965
Yakacık Çarşı	40,9182	29,2309	57	8	1	1	774
Yakacık Yeni	40,9245	29,2234	41	11	1	0	920
Yalı	40,8945	29,219	44	18	3	0	775
Yukarı	40,891	29,1834	21	9	2	0	363
Yunus	40,8907	29,2117	62	15	2	0	907

Pendik ilçesi, Kartal ile Tuzla arasında yer alan, Gebze, Şile, Çekmeköy, Kartal, Sancaktepe ve Sultanbeyli ilçeleri ile komşuluğu olan ve 36 mahalleden oluşan bir ilçedir ve bu ilçeler Harita 5.4’te gösterilmiştir.



Harita 5.4 Pendik ilçesi mahalle haritası

Pendik ilçesi mahalleleri ve belirlenen yedi kümeleme değişkeni için sahip oldukları değerler Tablo 5.23'te gösterilmektedir.

Tablo 5. 23 Pendik ilçesi mahalleleri için veri seti tablosu

Mahalleler	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Ahmet Yesevi	40,869492	29,3091	45	8	1	1	1282
Behçelievler	40,884998	29,2364	30	9	2	0	609
Balıca	40,99071	29,3994	8	0	1	0	28
Batı	40,878239	29,2258	31	12	1	0	737
Çamçeşme	40,872211	29,2742	30	12	2	0	1046
Çamlık	40,926365	29,2792	22	1	1	0	616
Çınardere	40,896465	29,243	49	14	2	0	958
Doğu	40,877338	29,2375	35	15	2	1	813
Dumlupınar	40,887928	29,251	75	19	3	1	1398
Emirli	40,98675	29,3458	2	0	1	0	14
Ertuğrul Gazi	40,866207	29,2934	136	16	3	0	720
Esenler	40,886925	29,2713	18	3	1	0	782
Esenyalı	40,861137	29,294	19	10	1	0	357
Fatih	40,9274	29,3425	31	9	2	0	905
Fevzi Çakmak	40,88238	29,2657	33	9	1	1	1133
Göçbeyli	40,98219	29,4591	7	0	1	0	50
Güllübağlar	40,886623	29,2574	25	1	2	0	552
Güzelyalı	40,856945	29,2797	35	13	1	1	988
Harmandere	40,930332	29,3236	21	6	2	0	441
Kavakpınar	40,886803	29,2845	114	27	2	1	2841
Kaynarca	40,879326	29,2581	49	20	1	1	1681
Kurna	40,95873	29,3395	11	0	1	0	65
Kurtdoğan	40,013401	29,3595	1	0	1	0	10
Kurtköy	40,91486	29,298	18	0	1	0	743
Orhangazi	40,868332	29,2891	41	13	2	1	1239
Orman	40,879326	29,2581	0	0	1	0	0
Orta	40,8882	29,241	32	9	2	0	415
Ramazanoğlu	40,89911	29,2862	58	1	2	1	220
Sanayi	40,90516	29,305	34	5	1	1	215
Sapan Bağları	40,88521	29,2232	37	13	3	0	688
Süluntepe	40,9153	29,2777	49	6	2	0	976
Şeyhli	40,90511	29,2865	34	6	2	1	832
Velibaba	40,90366	29,2547	58	8	2	1	1391
Yayalar	40,90335	29,2707	26	1	2	0	496
Yeni	40,88427	29,2276	60	22	3	0	1129
Yenişehir	40,929893	29,296	21	2	1	1	1526
Yeşilbağlar	40,89302	29,2282	23	6	3	0	385

Tuzla İstanbul'un Anadolu Yakası için sınır ilçesidir. Kuzeyinde ve batısında Pendik ilçesi bulunurken doğusunda Kocaeli(Gebze) yer alır. Marmara denizine sınırı olan ilçe 18 mahalleden oluşmaktadır. Mahallelerin birbirlerine göre konumları Harita 5.5'te gösterilmektedir.



Harita 5.5 Tuzla ilçesi mahalle haritası

Tablo 5.24'te belirlenen yedi değişkene göre Tuzla ilçesi mahallelerinin verileri gösterilmektedir.

Tablo 5. 24 Tuzla ilçesi mahalleleri için veri seti tablosu

Mahalleler	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Akfırat	40,9276	29,4164	12	0	1	0	142
Anadolu	40,9066	29,3671	4	0	1	0	43
Askeri Bölge	40,8536	29,3222	0	0	1	0	0
Aydınli	40,8741	29,3334	217	34	2	2	3467
Aydıntepe	40,8536	29,2983	49	18	2	1	1119
Cami	40,8174	29,3138	99	17	2	1	729
Evliyaçelebi	40,8383	29,2995	84	12	2	1	931
Fatih	40,9274	29,3425	6	0	1	0	43
İçmeler	40,8492	29,3049	57	13	2	0	725
İstasyon	40,8292	29,3222	144	48	2	1	1930
Mescit	40,8983	29,3454	33	2	1	1	371
Mimar Sinan	40,841	29,3629	276	100	3	1	3143
Orhanlı	40,897	29,3608	84	2	1	0	157
Orta	40,9002	29,3799	27	0	1	0	429
Postane	40,8176	29,2861	239	27	2	2	1878
Şifa	40,8324	29,3573	341	131	3	2	4163
Tepeören	40,9096	29,3896	57	0	1	1	332
Yayla	40,8361	29,3092	88	31	2	1	1815

Bu aşamaya dek KÖH kümeleme uygulamasında kullanılacak değişkenler ve üç ilçe için bu değişkenlerin veri setleri belirlenmiştir. Sonraki bölümde Matlab programı üzerinde yazılan kod ile gerçekleştirilen kümeleme uygulamasının detaylarına yer verilmiştir. Uygulama her bir ilçe için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve en uygun ağ yapısını tespit etmek amacıyla her bir uygulamaya yönelik farklı

denemeler yapılmıştır. Bu denemelerden en iyi sonuç verenler seçilmiş ve nihai sonuçlar uzman yargılarına da başvurularak son halinde sunulmuştur. Ayrıca KÖH yönteminin görselleştirme avantajlarından da faydalanılarak elde edilen iki boyutlu haritalara ve bu haritaların verdiği bilgiler doğrultusunda yorumlamalara da yer verilmiştir.

5.5.2 Kartal İçin KÖH Kümeleme Uygulaması ve Sonuçları

Kartal ilçesine ait 21 mahallenin KÖH ile kümelenmesine yönelik farklı denemeler gerçekleştirilmiş ve problem için en uygun mimari belirlenmeye çalışılmıştır. Topoloji, uzaklık fonksiyonu, ağ yapısının boyutları, başlangıç komşuluk genişliği ve iterasyon sayısı değişkenleri farklı değerlerde denenmiş ve en belirgin kümeler oluşana dek denemeler gerçekleştirilmiştir. Verilerin nöronlara oldukça düzgün dağılması amaçlandığından bu amaca en uygun olan mimari seçilmiştir. Tablo 5.25, farklı şekillerde gerçekleştirilen denemeleri göstermektedir.

Tablo 5.25 Kartal için KÖH mimarisi denemeleri

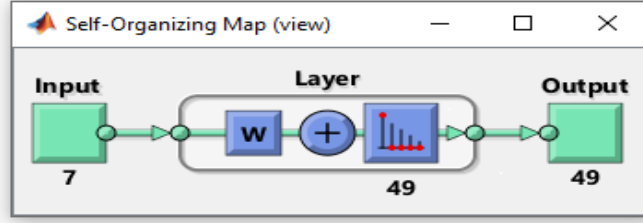
# model	Eğitim Fonksiyonu	Topoloji	Uzaklık Fonksiyonu	Ağırlıklı Öğrenme Fonksiyonu	Boyut 1	Boyut 2	İterasyon Sayısı	Başlangıç Komşuluğu
1	trainbu	hextop	dist	learnsomb	5	5	500	2
2	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	5	5	500	2
3	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	5	5	1000	2
4	trainbu	gridtop	dist	learnsomb	5	5	1000	2
5	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	6	6	500	3

Tablo 5.25 Kartal için KÖH mimarisi denemeleri (devamı)

# model	Eğitim Fonksiyonu	Topoloji	Uzaklık Fonksiyonu	Ağırlıklı Öğrenme Fonksiyonu	Boyut 1	Boyut 2	İterasyon Sayısı	Başlangıç Komşuluğu
6	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	6	6	200	2
7	trainbu	hextop	dist	learnsomb	6	6	200	2
8	trainbu	hextop	dist	learnsomb	5	5	200	2
9	trainbu	hextop	dist	learnsomb	7	7	500	3
10	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	7	7	500	3

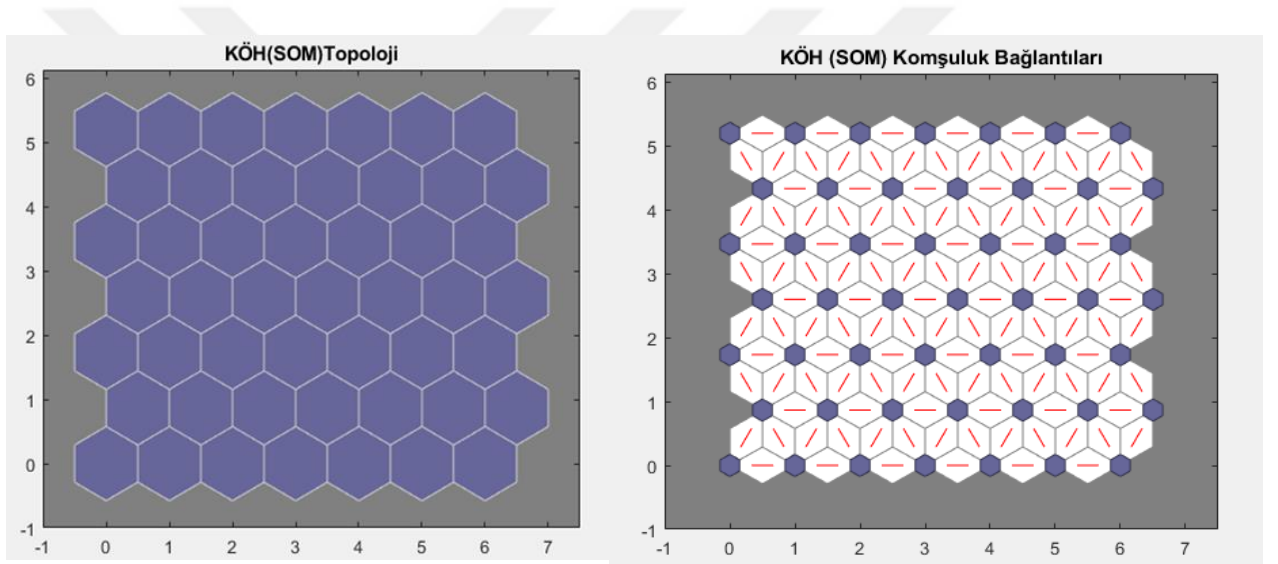
En belirgin kümeler #10 numaralı mimaride gözlemlendiğinden ağ mimarisi 7x7 nörondan oluşacak şekilde seçilmiştir. Hextop topolojisine sahip bu yapı 500 iterasyon sonunda diğer yapılara göre daha belirgin kümeler oluşturmuştur. Eğitim fonksiyonu olarak KÖH ile en uyumlu çalışan “trainbu” tercih edilirken üç farklı uzaklık fonksiyonundan en iyi sonucu veren “boxdist” uzaklığı kullanılmıştır. Daha önce açıklandığı üzere KÖH yapıları komşuluk değerlerinin güncellenmesi prensibine göre öğrenme gerçekleştirmektedir. Bu yüzden de başlangıç komşuluk değeri önemli bir parametredir. 2 veya 3 olarak denenen komşuluk değeri parametresi tercih edilen ağ yapısında 3 nöron olacak şekilde seçilmiştir

Şekil 5.6, kurulan ağ yapısını göstermektedir. Belirlenen 7 adet değişken girdi değerlerini oluşturmaktadır. 7x7’lik bir ağ tercih edildiğinden katmanda 49 adet nöron bulunmaktadır.



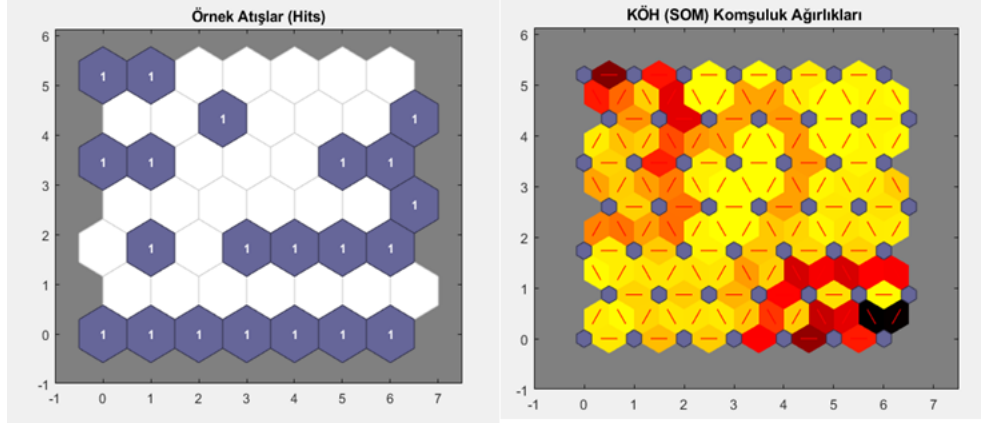
Şekil 5.6 Kartal ilçesi için kurulan KÖH ağ yapısı

Kurulan ağ yapısı 500 iterasyonun ardından girdi verilerinin nöronlara dağılımını gerçekleştirmiş ve kümeleme sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5.7’de KÖH’ün hextop olarak seçilen topolojik yapısı ve nöronların komşuluk bağlantıları gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Kartal ilçesi için topoloji ve komşuluk bağlantıları görselleri

Verilerin nöronlarla ilişkisini Örnek Atışlar Grafiği (Sample Hits) göstermektedir. Her nöronun üzerindeki sayı o nöronla çakışan veri sayısını temsil ederken mümkün olabildiğince düzgün dağılım amaçlanır. Komşuluk Ağırlıkları (Neighbour Distance) grafiğinde ise kümeleme sonuçları renklere göre yer alır. Mavi renkteki noktalar nöronları temsil eder ve nöronlar arasındaki mesafe çoksa renk giderek koyulaşır. Açık renk yakın yani komşu nöronları temsil etmektedir. Şekil 5.8, Kartal ilçesi için Örnek Atışlar ve Komşuluk Ağırlıkları grafiklerini göstermektedir.



Şekil 5.8 Kartal ilçesi için örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiği

Şekil 5.8'deki grafiklere bakıldığında verilerin düzgün dağıldığı görülmektedir. Verilerin sağ ortada ve altta yer alan nöronlarla daha ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Komşuluk ağırlıkları grafiğinde de bazı nöronların koyu renkli olduğu görülmektedir. Bu da bazılarının birbirine oldukça uzak olduğunu ifade eder. Net olarak iki tane küme oluştuğunu söylemek mümkündür. Bununla birlikte 4 mahalle ikişerli kümelenmiş ve 2 mahalle de hiçbir kümeye dahil olmadan bağımsız kalmıştır. Tablo 5.26'da oluşan kümelerdeki mahalle isimleri yer almaktadır. Mahallelerin oluşturduğu kümelerin lokasyon olarak da genelde birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Topselvi ve Yunus mahalleri hiçbir nöronla bağlantı halinde değildir diğer bir deyişle hiçbir kümeye dâhil değildirler. Oluşan kümeler harita üzerinden incelendiğinde bazılarının birbirlerine uzak çıktığı ve diğer küme elemanlarının aksine yakın gruplar halinde toplanmadığı görülmüştür. Bu noktada KÖH sonucu oluşan kümelerin uzman yargısı ile değerlendirilmesi gerekliliği ön plana çıkmaktadır. Daha önce de açıklandığı gibi kümeleme yaklaşımının en önemli aşaması sonuçların uzmanlar tarafından doğrulanmasıdır. Bu problem için de İHA kullanımı planlanan noktalarda kümelerin revize edilmesi ve boşta kalan mahallerin uygun bir kümeye dâhil edilmesi söz konusu olabilir.

Tablo 5. 26 Kartal ilçesi için oluşan mahalle kümeleri

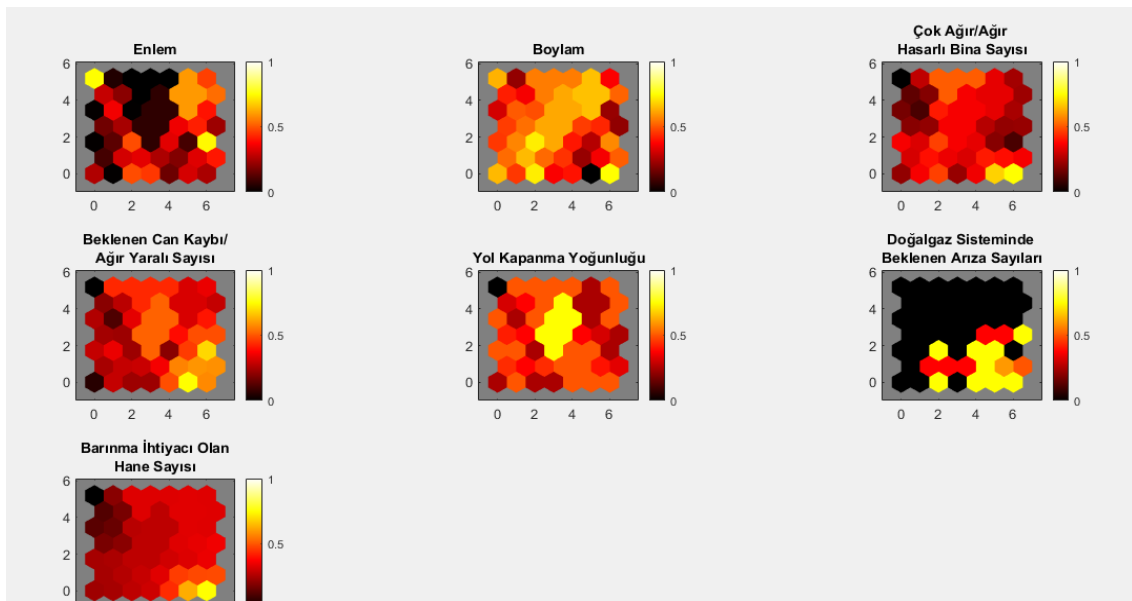
Küme 1	Küme 2	Küme 3	Küme 4	Bağımsızlar
Cumhuriyet	Yalı	Aydos Ormanı	Yukarı	Topselvi
Çavuşoğlu	Esentepe	Kordonboyu	Orta	Yunus
Yakacık Çarşısı	Petrol İş			
Soğanlık Yeni	Uğur Mumcu			
Karlıktepe	Atalar			
Orhantepe	Yakacık Yeni			
Hürriyet	Cevizli			
	Gümüşpınar			

Oluşan kümeleri görsel olarak ifade etmek amacıyla Şekil 5.9'da yer alan küme haritası oluşturulmuştur. Daha homojen bir gruplama olması amacıyla hiçbir kümeye dahil olmayan mahalleler en yakın ve en uygun kümeye dahil edilmiştir. Benzer şekilde ait olduğu kümeye çok uzak veya bağımsız kalan mahalleler de uzman değerlendirmelerine göre başka kümelere dahil edilerek 3 büyük küme elde edilmiş ve haritada gösterilmiştir.



Şekil 5.9 Kartal ilçesi için oluşan kümelerin gösterimi

Şekil 5.10'da girdi düzlemleri haritaları yer almaktadır. Bu haritalar genel sonuçların yanı sıra her bir değişkenin diğerleri ile ilişkisini görebilmek ve yorum yapabilmek için bazı bilgiler sunarlar. Çok ağır hasarlı bina sayısı değişkeni ile barınma ihtiyacı olan hane sayısı değişkenine ait haritalar birbirine oldukça benzer çıkmıştır. Özellikle sağ alt ve sol üst kısımları neredeyse birebir aynıdır. Çok ağır hasarlı bina sayısının fazla olması doğal olarak barınma ihtiyacı olan hane sayısı ile ilişkilidir ve birisinin gösterdiği kalıp diğerine benzer olacaktır. Benzer bir durum beklenen can kaybı/ağır yaralı sayısı değişkeni için de geçerlidir. Bu değişken de ağır hasarlı bina değişkeni ile benzer renk dağılımı göstermiştir. Yani çok ağır hasarlı binalar hem yaralanma/can kaybı hem de barınma ihtiyacı ile ilişki halindedir. Enlem ve boylam lokasyon için dahil edilen değişkenler olduklarından diğerleri ile bir ilişki göstermemişlerdir. Yol kapanmalarına ait değişken diğerlerinden farklı görünse de can kaybı ile ortak olan bölgeleri bulunmaktadır. Yolların kapanması afetzedelerin kurtarılmasını güçleştireceğinden ölü ve yaralı sayısını etkileyecektir. Grafikler içerisinde en farklı olan doğalgaz sisteminde beklenen arıza sayıları değişkenidir. Bu değişken diğerlerinden oldukça farklı bir dağılıma sahiptir. Binalardaki hasar doğalgaz sızıntılarını etkilemesine rağmen burada genel şebeke hasarlarından söz edildiği için bu iki değişken arasında güçlü bir ilişki çıkmamıştır.



Şekil 5.10 Kartal ilçesi için girdi düzlemleri grafiği

Kartal ilçesinde olası bir depremten sonra yangın çıkma riski açısından benzerlik gösteren mahalleler kümelenmiş ve İHA uygulaması için gruplama şeklinde ön bilgiler sunulmuştur. Kümeleme kodunun çalıştırılması sonucu iki tanesi kalabalık olmak üzere toplamda dört tane küme elde edilmiştir. Bu kümelerde yer alan mahallelerin depremten sonra yangın riski açısından benzer özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Bazı mahalleler hiçbir kümeye ait değildir. Bunlar belirlenen yedi değişken açısından diğerleri ile az sayıda ortak noktaya sahiptirler ve uygun koşullar altında en yakınlarındaki bir kümeye dahil edilebilirler. Burada karar vericinin ve uzman değerlendirmesinin belirleyici rolü ön plana çıkmaktadır.

Birinci ve ikinci kümeler sırası ile yedi ve sekiz mahalleden oluşmaktadırlar. İHA'ların enerji kısıtı göz önüne alındığında hepsinin birlikte değerlendirilmesi mümkün olmayabilir. Bu iki kümenin kendi içlerinde daha küçük kümelere bölünmesi söz konusu olabilir. Küme dışında kalan mahallelerin de oluşacak bu yeni alt kümelerle dahil edilmesi de diğer bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

5.5.3 Pendik İçin KÖH Kümeleme Uygulaması ve Sonuçları

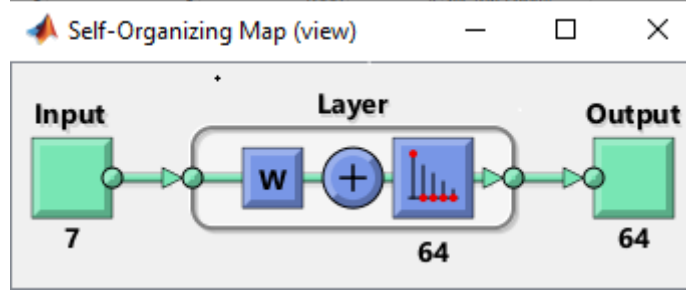
Pendik ilçesine ait 36 mahallenin KÖH ile kümelenmesine yönelik farklı denemeler gerçekleştirilmiş ve problem için en uygun mimari belirlenmeye çalışılmıştır. Topoloji, uzaklık fonksiyonu, ağ yapısının boyutları, başlangıç komşuluk genişliği ve iterasyon sayısı değişkenleri farklı değerlerde denenmiş ve en belirgin kümeler oluşana dek denemeler gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.27, farklı şekillerde gerçekleştirilen denemeleri göstermektedir.

En belirgin kümeler #9 numaralı mimaride gözlemlendiğinden ağ mimarisi 8x8 nörondan oluşacak şekilde seçilmiştir. Hextop topolojisine sahip bu yapı 500 iterasyon sonunda diğer yapılara göre daha belirgin kümeler oluşturmuştur. Eğitim fonksiyonu olarak KÖH ile en uyumlu çalışan “trainbu” tercih edilirken üç farklı uzaklık fonksiyonundan en iyi sonucu veren “boxdist” uzaklığı kullanılmıştır. Farklı değerlerde başlangıç komşuluğu denenmiş ve 8x8'lik bir düzlemde en iyi başlangıç komşuluk değeri 4 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.27 Pendik için KÖH mimarisi denemeleri

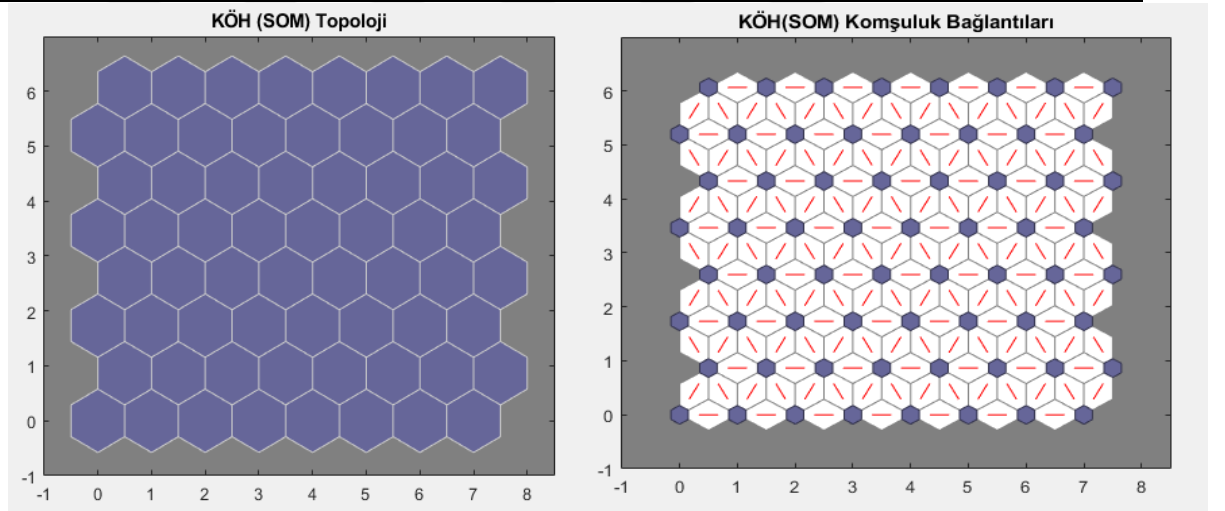
# model	Eğitim Fonksiyonu	Topoloji	Uzaklık Fonksiyonu	Ağırlıklı Öğrenme Fonksiyonu	Boyut 1	Boyut 2	İterasyon Sayısı	Başlangıç Komşuluğu
1	trainbu	hextop	dist	learnsomb	7	7	200	3
2	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	7	7	200	3
3	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	7	7	200	3
4	trainbu	gridtop	dist	learnsomb	7	7	200	3
5	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	6	6	200	3
6	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	6	6	500	3
7	trainbu	hextop	dist	learnsomb	6	6	500	3
8	trainbu	gridtop	linkdist	learnsomb	6	6	500	3
9	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	8	8	500	4
10	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	8	8	1000	4
11	trainbu	hextop	dist	learnsomb	7	7	1000	4
12	trainbu	hextop	dist	learnsomb	5	5	1000	3
13	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	5	5	1000	3
14	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	8	8	1000	3
15	trainbu	hextop	dist	learnsomb	8	8	500	3

Şekil 5.11, kurulan ağ yapısını göstermektedir. Belirlenen 7 adet değişken girdi değerlerini oluşturmaktadır. 8x8'lik bir ağ tercih edildiğinden katmanda 64 adet nöron bulunmaktadır.



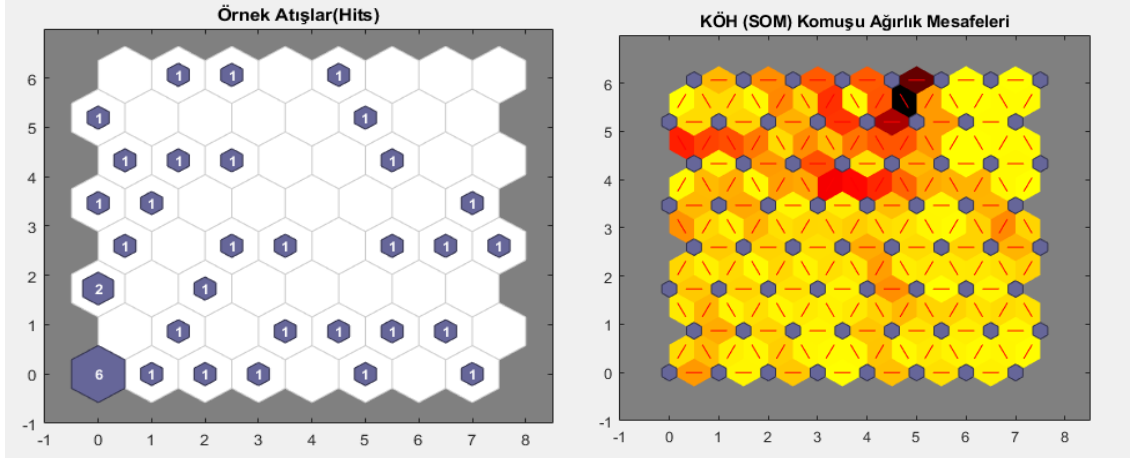
Şekil 5. 11 Pendik ilçesi için kurulan KÖH ağ yapısı

Kurulan ağ yapısı 500 iterasyonun ardından girdi verilerinin nöronlara dağılımını gerçekleştirmiş ve kümeleme sonuçları elde edilmiştir. Şekil 5.12’de KÖH’ün hextop olarak seçilen topolojik yapısı ve nöronların komşuluk bağlantıları gösterilmektedir.



Şekil 5.12 Pendik ilçesi için topoloji ve komşuluk bağlantıları görselleri

Kartal ilçesine benzer şekilde Pendik ilçesi uygulamasında da altıgen topoloji tercih edilmiştir. KÖH için en popüler topoloji hextop (altıgen) topolojidir. Verilerin nöronlarla olan ilişkisini gösteren Örnek Atışlar ve Komşuluk Ağırlıkları grafikleri Şekil 5.13’de verilmiştir. 36 mahallenin 64 adet nörona dağılım şekli ve oluşan kümeler açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.13 Pendik ilçesi için örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiği

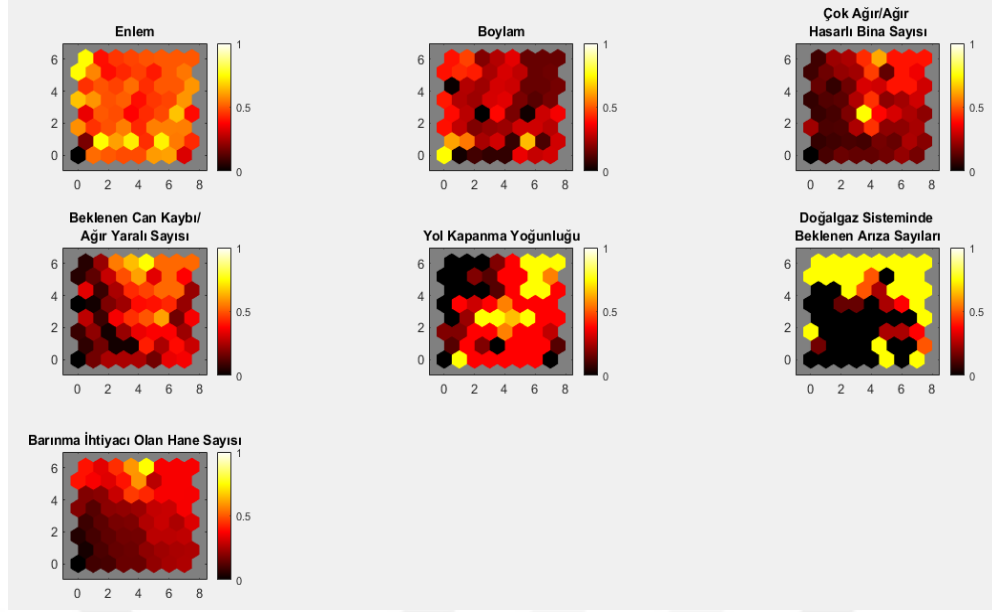
Şekil 5.13'deki grafiklere bakıldığında verilerin nispeten düzgün dağıldığı görülmektedir. Verilerin sol alta yer alan nöronla daha çok ilişkili olduğu ve sol üstte birikme yarattığı söylenebilir. Komşuluk ağırlıkları grafiğinde bazıları net olmasa da kümelerin oluştuğu görülmektedir. Birbirine oldukça uzak olan ve koyu kırmızı, siyah ile temsil edilen bir grup bulunmaktadır. Bir tanesi diğerlerine kıyasla daha büyük 5 tane küme oluştuğu ve iki tane mahallenin diğerlerinden bağımsız bir konumda ilişkili olduğu söylenebilir. Tablo 5.28 oluşan kümeleri ve her kümeye ait mahalleleri göstermektedir.

Tablo 5.28'den görüleceği üzere 2 tanesi daha büyük olan toplam 5 küme oluşmuş Ahmet Yesevi ve Kaynarca mahalleleri diğer kümelere dahil olmadan ayrı bir ikili olarak kalmışlardır. Oluşan kümelerin lokasyon olarak yakın mahallelerden oluştuğu söylenebilir. Özellikle birinci ve ikinci kümeler diğerlerine göre daha kalabalık olduklarından konum olarak birbirine komşu mahallelerden oluşmuşlardır. Kartal örneğinde olduğu gibi burada da bazı mahalleler kendilerine oldukça uzak bir konumda yer alan mahalleler ile küme oluşturmuşlardır. Bu özel durumlar için uzman yargısına başvurularak mahallelerin yerlerinin değiştirilmesi veya büyük kümelerin bölünerek ele alınması gibi alternatif çözüm yolları uygulanabilir. Burada elde edilen sonuçlarla amaçlanan aynı kümedeki mahallelerin benzer özelliklere ve eğilimlere sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.28 Pendik ilçesi için oluşan mahalle kümeleri

Küme 1	Küme 2	Küme 3	Küme 4	Küme 5	Bağımsızlar
Balıca	Ramazanoğlu	Harmandere	Yeni	Dumlupınar	Ahmet Yesevi
Emirli	Sanayi	Güllübağlar	Süluntepe	Çamçeşme	Kaynarca
Göçbeyli	Esenyalı	Sapan Bağları	Orhangazi	Kavakpınar	
Kurna	Kurtköy	Ertuğrul Gazi	Velibaba		
Kurtdoğmuş	Yayalar				
Orman	Esenler				
	Fevzi				
	Çakmak				
	Batı				
	Yenişehir				

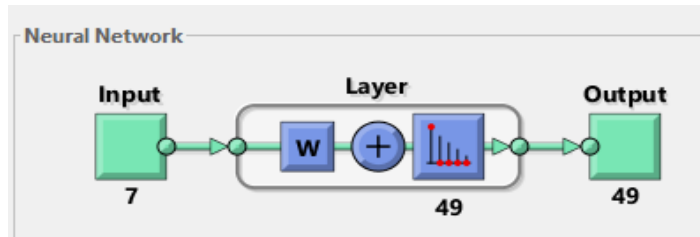
Şekil 5.14'ten görülebileceği üzere girdi düzlemleri haritaları özellik olarak Kartal'a oldukça benzer çıkmıştır. Burada da bina hasarları değişkeni ile beklenen can kaybının yakın olduğu söylenebilir. Diğer değişkenler için dikkat çekici bir benzerlik bulunmamaktadır. Bu da Pendik ilçesi için değişkenlerin çok fazla ilişkili olmadığını ve her birinin farklı etkilere sahip olduğunu göstermektedir. Karar vericilere ön bilgi niteliğinde olan uygulama sonucunda Pendik ilçesinin 5 kümeye ayrılabilceği gösterilmiştir. Bu kümeler kendi içlerinde benzer ve nispeten homojen bir dağılım gösteren verilerden oluşmaktadırlar. Olası bir durumda benzer özelliklere sahip olacakları ve bir araştırmada birlikte değerlendirilmelerinin uygun olacağı belirlenmiştir.



Şekil 5. 14 Pendik ilçesi için girdi düzlemleri grafiği

5.5.4 Tuzla İçin KÖH Kümeleme Uygulaması ve Sonuçları

Tuzla ilçesinin 18 mahallesinin KÖH ile kümelenmesine yönelik farklı denemeler gerçekleştirilmiş ve problem için en uygun mimari belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 5.29’da farklı değişkenler ile oluşturulan mimariler gösterilmektedir. En belirgin kümeler #12 numaralı mimaride gözlemlendiği için ağ mimarisi 7x7 nörondan oluşacak şekilde seçilmiştir. Hextop topolojisine sahip bu yapı 1000 iterasyon sonunda diğer yapılara göre daha belirgin kümeler oluşturmuştur. Eğitim fonksiyonu olarak KÖH ile en uyumlu çalışan “trainbu” tercih edilirken üç farklı uzaklık fonksiyonundan en iyi sonucu veren “boxdist” uzaklığı kullanılmıştır. Bu kurallara göre oluşturulan ağ yapısı Şekil 5.15’de gösterilmektedir.



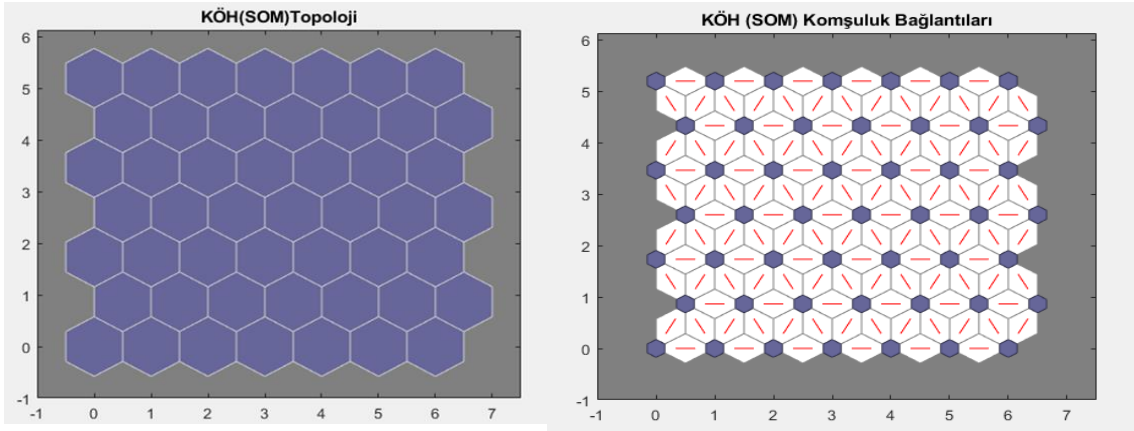
Şekil 5.15 Tuzla ilçesi için kurulan KÖH ağ yapısı

Tablo 5.29 Tuzla için KÖH mimarisi denemeleri

# model	Eğitim Fonksiyonu	Topoloji	Uzaklık Fonksiyonu	Ağırlıklı Öğrenme Fonksiyonu	Boyut 1	Boyut 2	İterasyon Sayısı	Başlangıç Komşuluğu
1	trainbu	hextop	dist	learnsomb	5	5	200	3
2	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	5	5	200	3
3	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	5	5	200	3
4	trainbu	gridtop	dist	learnsomb	7	7	500	4
5	trainbu	gridtop	linkdist	learnsomb	7	7	200	3
6	trainbu	gridtop	boxdist	learnsomb	5	5	200	3
7	trainbu	hextop	dist	learnsomb	6	6	500	3
8	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	6	6	500	3
9	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	6	6	500	3
10	trainbu	hextop	dist	learnsomb	7	7	200	3
11	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	7	7	500	4
12	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	7	7	1000	4
13	trainbu	hextop	dist	learnsomb	6	6	1000	4
14	trainbu	hextop	linkdist	learnsomb	7	7	1000	4
15	trainbu	hextop	boxdist	learnsomb	7	7	1000	4

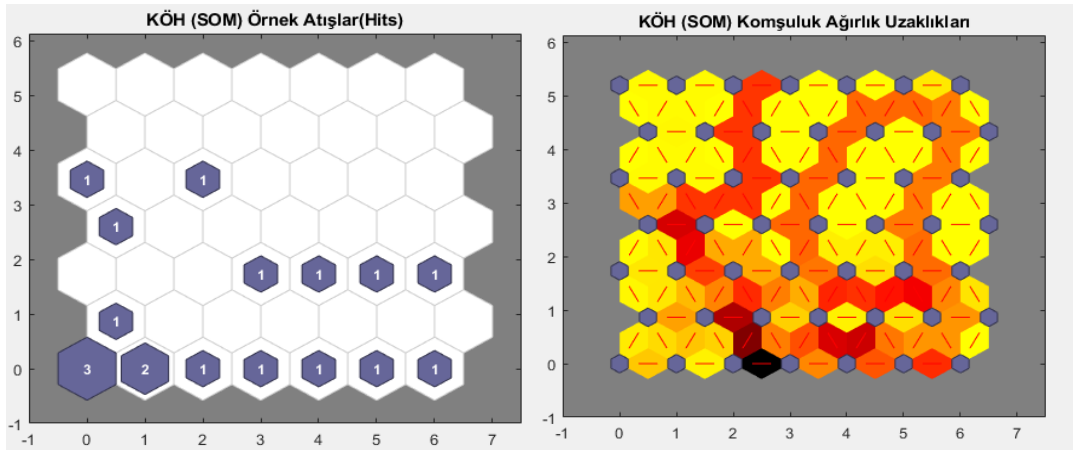
Bu ağ yapısının 1000 iterasyon çalıştırılmasının ardından 18 mahalle nöronlara dağılarak kümeler oluşturmuştur. Diğer iki ilçede olduğu gibi Tuzla ilçesi için de

uygun topolojik yapı altıgen olarak belirlenmiştir. Topoloji ve komşuluk bağlantıları Şekil 5.16'da gösterildiği gibidir.



Şekil 5.16 Tuzla ilçesi için topoloji ve komşuluk bağlantıları görselleri

İterasyonların tamamlanmasının ardından 18 ilçenin 49 nörona dağılımı gerçekleşmiş ve böylelikle kümeler elde edilmiştir. Bu dağılım oldukça homojen şekilde gerçekleşmiş ve sonuç olarak 3 adet küme ortaya çıkmıştır. Bu kümeler Şekil 5.17'de yer alan örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiklerinden rahatça görülmektedir.



Şekil 5.17 Tuzla ilçesi için örnek atışlar ve komşuluk ağırlıkları grafiği

Görsel olarak da fark edilebileceği üzere net olarak 2 adet küme meydana gelirken 2 mahalle ayrı bir yerde kümelenmiş ve bir mahalle bağımsız kalmıştır. Örnek atışlar grafiğinin sol altında bir yığılma söz konusudur. Bu bağlamda aynı hücrede kümelenen mahalleler bir arada tutularak 3 ana küme oluşturmak mümkündür. Komşuluk ağırlıkları grafiğinde de kırmızı sınırlar ile ayrılan 3 bölge dikkat

çekmektedir. Tablo 5.30 kümeleme işlemi sonunda elde edilen kümeleri ve her birine ait olan mahalleleri göstermektedir. Birinci küme altı, ikinci küme beş, üçüncü küme dört elemandan oluşurken Cami ve Orhanlı bir ikili oluşturmuş İçmeler ise bu gruplardan hiçbirine dâhil olmamıştır.

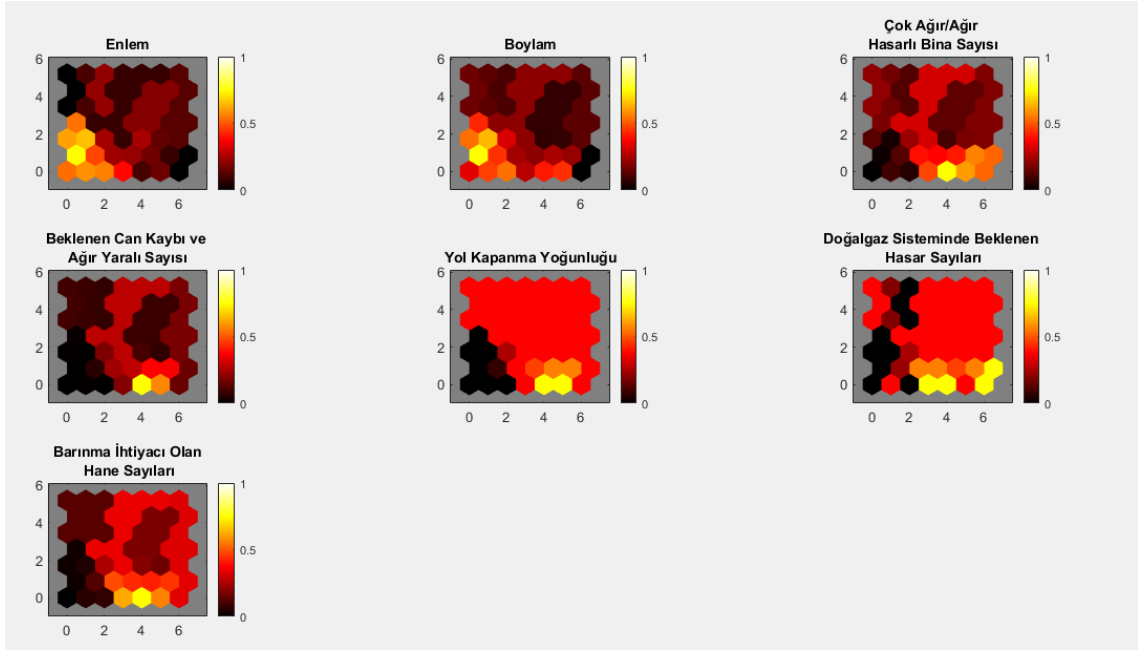
Tablo 5. 30 Tuzla ilçesi için oluşan mahalle kümeleri

Küme 1	Küme 2	Küme 3	Diğer
Anadolu	Orta	İstasyon	Cami
Askeri Bölge	Aydınlı	Aydıntepe	Orhanlı
Fatih	Şifa	Evliya Çelebi	İçmeler
Mescit	Mimar Sinan	Yayla	
Tepeören	Postane		
Akfırat			

Oluşan kümeler lokasyon olarak değerlendirildiğinde bazı mahallelerin kümelerini değiştirmek suretiyle oldukça yakın ve efektif gruplar elde etmek mümkündür. Diğer örneklerde olduğu gibi uzman değerlendirmesi doğrultusunda ufak değişiklikler ile oluşan üç küme güncellenebilir ve açıkta kalan mahalleleri de kapsayacak şekilde bir organizasyon gerçekleştirilebilir. Burada dikkat çeken nokta sayı olarak üç kümenin de birbirine yakın elemanlar içermesi de dengeli bir dağılımın söz konusu olmasıdır.

Şekil 5.18'deki girdi düzlemleri grafiğine bakıldığında çok ağır hasarlı bina sayıları ile barınma ihtiyacı olan hane sayısı değişkenlerinin benzerliği dikkat çekmektedir. Diğer iki ilçede de olduğu gibi bu ilişki oldukça doğaldır. Hasarlı binalar orada ikamet edecek afetzedelerin barınma yerine ihtiyaç duymalarına neden olacağından bu iki değişkenin benzer olması olağan bir durumdur. Benzer durum hasarlı binalarla can kayıpları arasında da söz konusudur. Hasara uğrayan binaların sayısı ne kadar fazlaysa içeride kalan insanların ölüm ve yaralanma oranları o derece yüksek olacağından bu iki girdi grafiğinin ortak noktaları

mevcuttur. Yol kapanma grafiğinin sol alt kısmı ile beklenen ağır yaralı/can kaybı grafiğinin sol kısmı aynı renk dağılımına sahiptir. Tuzla ilçesi için de kapanan yollara bağlı olarak afet yerlerine ulaşılabilmesi can kayıplarını ve ağır yaralı sayılarını etkileyen bir değişken olarak karşımıza çıkmıştır. Yol kapanma yoğunluğu ile doğalgaz hasarları grafiğindeki benzerlik depremin neden olacağı hasarların her iki değişken etkilemesinden kaynaklı olabilir.



Şekil 5.18 Tuzla ilçesi için girdi düzlemleri grafiği

Sonuç olarak Tuzla ilçesinin 18 mahallesi için 3 tane küme olabileceği ve bu kümelerin kendi içlerinde kısmen homojen diğer kümelerle de mümkün olduğunca farklı olduğu gösterilmiştir. Tuzla ilçesinde İHA ile bir araştırma gerçekleştirilmesi durumunda mahalleler önerilen gruplar halinde ele alınırsa bir homojenlik sağlanacağı düşünülmektedir.

5.6 KÖH İle Kümeleme Uygulaması Sonuçları

Çalışmanın önceki bölümlerinde iki farklı yöntem ile deprem sonrası yangın riskleri belirlenen ilçelerden en yüksek risk skoruna sahip olan Kartal, Pendik ve Tuzla ilçeleri ikinci bölümde kümeleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu işlem ilçelerin mahallelerinin deprem sonrası yangın açısından belirleyici yedi değişkenine göre bir yapay sinir ağı türü olan KÖH ile kümelendiği ile gerçekleştirilmiştir. Kümeleme işlemi için KÖH tercih edilmesinin nedeni bu

ağların işlem sonunda oluşacak küme sayısını belirleme gerekliliğinin olmamasıdır. Ağ eğitimini tamamladıktan sonra kümeleri kendisi oluşturmaktadır. Bir diğer avantajı ise eksik ve yapılandırılmamış verilerle de çalışabilmesidir. Konu özelliği itibarıyla KÖH yönteminin uygun olacağı düşünüldüğünden tercih edilmiştir. Ayrıca görsel olarak da oluşan kümelerin analiz edilebilmesi de bu türdeki ağların sunduğu bir diğer avantajdır. Her bir ilçe için ayrı ayrı gerçekleştirilen kümeleme analizinde farklı öğrenme fonksiyonları, ağ topolojileri ve iterasyon sayıları denenmiştir. Ortaya çıkan kümelerden en iyi kümelene gösteren denemeye ait mimari tercih edilmiştir. Bu deneme işlemlerinin ardından Kartal ilçesinin 21 mahallesi hextop(altıgen) topoloji türü, boxdist uzaklık ölçüsü, 7x7'lik çıktı katmanı ve 500 iterasyon ile çalıştırılmış ve sonuç olarak 2 tanesi daha kalabalık olmak üzere toplamda 4 adet küme elde edilmiştir. Pendik ilçesi için de altıgen topoloji ve boxdist uzaklığı en uygun olarak öne çıkarken kurulan ağ mimarisi 8x8 'lik çıktı katmanı ile 500 iterasyon çalıştırılmış ve sonuç olarak 3 tanesi daha büyük olan toplam 5 küme elde edilmiştir. Burada Pendik'in 36 ilçesi olmasından dolayı çıktı katmanı daha büyük seçilmiştir. Tuzla için oluşturulan 7x7'lik ağ yapısı 1000 iterasyon çalıştırıldıktan sonra ortaya birbirine yakın eleman sayılarına sahip 3 küme çıkmıştır. Bu yapılarda en dikkat çekici noktalar altıgen topolojinin en iyi sonucu vermesi ve en iyi kümelenemenin boxdist uzaklık fonksiyonu tercih edildiği zaman olmasıdır. Geçmiş çalışmalar da KÖH için en uygun topolojik yapının altıgen yapı olduğunu doğrulamaktadır. Uzaklık fonksiyonu için üç alternatif de denenmesine rağmen bu problem özelinde en iyi sonuçları boxdist verdiğinden diğerlerine tercih edilmiştir. Uygulamalar sonucunda her ilçe için mahalle kümeleri oluşturulmuştur. Bu kümelerin afet sonrası İHA konusunda özellikle de deprem sonrası yangın için yapılacak bir çalışmada ön çalışma niteliğinde olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar oluşan kümelerde bazı mahalleler konum olarak uzak olsa da genellikle tutarlı ve yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bir uzman değerlendirmesinin ardından kümeler revize edilerek ve boyut olarak büyük olanlar parçalanarak uygun gruplar elde edilebilir. Bu çalışma karar vericiye deprem sonrası benzer özelliklerde olacak ve risk olarak yakın mahallelerin kümeleri ve bu kümelerin özellikleri açısından bir rapor niteliğindedir.

Bu tez çalışması kapsamında ikincil felaketler olan deprem sonrası yangınlar araştırılmış ve olası bir depremde sonra yangına neden olabilecek risk faktörleri detaylı bir literatür araştırması ve uzman değerlendirmesi sonucu hiyerarşik bir yapı şeklinde organize edilmiştir. Bu bağlamda tespit edilen beş ana kriter ve bu ana kriterleri bağlı toplamda on dokuz alt kriterin önerilen Pisagor AHP-TOPSIS ve Aralık Değerli Nötrosifik AHP-TOPSIS şeklinde iki farklı yaklaşım ile uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ana ve alt kriterlerin önem ağırlıkları tespit edilmiş ardından gerçek hayat verileri ile İstanbul ili Anadolu Yakasında bulunan 14 ilçe deprem sonrası yangın risklerine göre sıralanmıştır. Araştırma sonuçları bir depremde sonra en yüksek öneme sahip olan kriterin kimyasal risk faktörleri olduğunu göstermiştir. Literatürde yer alan diğer araştırmalara bakıldığında da bir depremde sonra başlayan yangınlarda kimyasal madde ihtiva eden alanların etkisinin büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlarda önem ağırlığı bakımından kimyasal faktörleri gaz ve elektrik kaynakları izlemiştir. Bu sonuçlar yetkili kurum ve kuruluşların deprem riski yüksek olan bölgelerde özellikle kimyasal alanlar için ciddi önlemler almasının gerekli olduğunu, gaz ve elektrik tesisatlarının yangına dirençli olacak şekilde daha güvenli hale getirilmesi gerektiğini ve olası bir felakette hızlı bir şekilde ana dağıtım hatlarının devre dışı kalmasının önemini göstermektedir. Anadolu Yakası için yapılan risk sırlamasında en riskli ilçe Kartal olarak belirlenmiştir. Kartal büyük bir metropol olan İstanbul'un hem sanayi açısından aktif olan hem de nüfus bakımından yüksek potansiyele sahip bir ilçesidir. Aynı zamanda deprem risk haritasında da en riskli ilçelerden bir tanesidir. Bu nedenle Kartal ilçesi için deprem sonrası yangınlar bakımından ek önlemler alınmasının büyük felaketleri önlemede önemli olabileceği ortaya koyulmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde en yüksek riske sahip üç ilçe için KÖH yapay sinir ağı yaklaşımı ile kümeleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde amaç doğal afetlerde sıkça kullanılmaya başlanan ve afet döngüsünün farklı aşamalarında önemli avantajlar sağlayan İHA'lar için

bir ön araştırma sunmaktır. Çalışmada spesifik bir nokta veya İHA rotası belirlemekten ziyade deprem sonrası yangın riski açısından benzer özelliklere sahip mahalleri kümeleyerek yapılacak bir arama kurtarma çalışması veya hasar tespit araştırması için ön bilgi sağlamak amaçlanmıştır. Tespit edilen yedi değişkene göre her bir ilçenin mahalleleri kümelenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımın gelecek çalışmalar için zemin olacağı düşünülmektedir. Çalışmanın literatüre sunduğu katkılar açısından bakıldığında bu araştırma deprem sonrası yangın risklerini ÇKKV problemi olarak ele alan ilk çalışma olma özelliğindedir. Bununla birlikte deprem sonrası yangın risklerini detaylı bir araştırma ve uzman değerlendirmesi sürecinden sonra hiyerarşik olarak yapılandırarak literatüre kazandırmıştır. Uygulama çalışması İstanbul ili için gerçek veriler ile yapıldığından karar verici merciler için bir rapor niteliğinde olup deprem sonrası yangın riski haritasını da sunmaktadır. Yöntemin özgünlüğünün yanı sıra karşılaştırmalı bir değerlendirme sunmak açısından iki farklı bulanık mantık yaklaşımı kullanılmıştır. Bu açıdan da çalışmanın bir eşi bulunmamaktadır. Elde edilen sonuçlar ikinci bir uygulamada kullanılarak bir üst seviyeye taşınmış ve İHA'ların afetlerde kullanılma avantajları da dikkate alınarak ikinci bir gerçek hayat uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalara kaynak olması açısından ulaşılan KÖH kümeleme sonuçları dikkat çekicidir.

Çalışmada kullanılan verilerin tahmine bağlı deprem analizlerine dayanması çalışmanın bir limitidir. Bununla birlikte literatürdeki diğer metotların aksine küçük bir bölgede yüksek doğruluk payı ile risk analizi yapmaktan ziyade bu çalışmada genel bir değerlendirme söz konusudur. Gelecek çalışmalarda deprem sonrası yangın risklerine yönelik belirlenen kriterler arttırılarak çalışmanın detay düzeyi genişletilebilir. Bunun yanında gün geçtikçe gelişen ve belirsizlik ile daha iyi baş eden nütrosifik mantık yaklaşımlarından son zamanlarda sıkça söz edilen Rafine Nütrosifik Setler deprem sonrası yangın riskleri için alternatif olarak denenebilir. Gerçekleştirilen kümeleme yaklaşımı sonuçları geliştirilerek deprem sonrası yangınlarda İHA kullanımı için bir rotalama çalışması ile entegre edilebilir. Önerilen yöntemi Türkiye'nin başka bir ili için uygulamak sureti ile araştırma alanı genişletilebilir. Gelecekte sıralanan alternatiflerden bir veya birkaçı ile araştırmanın geliştirilmesi mümkündür.

- Aggarwal, C. C. (2018). Neural Networks and Deep Learning. Neural Networks and Deep Learning. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94463-0>
- Alshbatat, A. I. N. (2018). Fire Extinguishing System for High-Rise Buildings and Rugged Mountainous Terrains Utilizing Quadrotor Unmanned Aerial Vehicle. International Journal of Image, Graphics and Signal Processing. <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2018.01.03>
- Atanassov, K. T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets and Systems. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(86\)80034-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(86)80034-3)
- Ataseven, B. (2013). Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi. Öneri Dergisi, C.10.S.39, 101–115. <https://doi.org/10.14783/od.v10i39.1012000311>
- Avcı, S. (2010). Türkiye’de Nüfusun Deprem Bölgelerine Göre Dağılışı (1935–2010).Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistematik ve Bölgesel,Türk Coğrafya Kurumu Yayınları,(6),301-326.
- Aydin, B., Selvi, E., Tao, J., & Starek, M. J. (2019). Use of fire-extinguishing balls for a conceptual system of drone-assisted wildfire fighting. Drones. <https://doi.org/10.3390/drones3010017>
- Bendea, H., Boccardo, P., Dequal, S., Tonolo, F. G., Marenchino, D., & Piras, M. (2008). Low cost UAV for post-disaster assessment. Proceedings of The XXI Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Beijing China 311 July 2008.
- Bircan, H., Zontul, M., & Yüksek, A. G. (2006). SOM Tipinde Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Türkiye’nin İhracat Yağdığı Ülkelerin Kümelenmesi Üzerine Bir Çalışma.Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi. <https://doi.org/10.16951/iibd.90906>
- Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. C. (2014). A new methodology for neutrosophic multi-attribute decision making with unknown weight information. Neutrosophic Sets and Systems,3,42-52.
- Bolturk, E., & Kahraman, C. (2018). A novel interval-valued neutrosophic AHP with cosine similarity measure. Soft Computing, 22(15), 4941–4958. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3140-y>
- Botting, R. (1998). The Impact of Post-Earthquake Fire on the Urban Environment [University of Canterbury.]. <https://canterbury.libguides.com/rights/theses>
- Broumi, S., & Smarandache, F. (2014). Cosine similarity measure of interval-valued neutrosophic sets. Neutrosophic Set Syst.
- Butcher, G., Hopkins, D., Jury, R., Massey, W., McKay, G., & McVerry, G. (1988). The September 1985 Mexico earthquakes. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.21.1.3-96>

- Cayir Ervural, B., Evren, R., & Delen, D. (2018). A multi-objective decision-making approach for sustainable energy investment planning. *Renewable Energy*, 126, 387-402. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.051>
- Ceylan, M. A. (2004). Türkiye’de Depremler ve Deprem Sigortasına Genel Bir Bakış. *Türk Dünya Araştırmaları*, 148, 87–106.
- Cheng, H., Dong, W., Zaghaw, A. (1996). A Simplified Estimation of Fire Loss Following Earthquakes. *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, 342.
- Çoban, H. O., & Erdin, C. (2020). Forest fire risk assessment using gis and ahp integration in bucak forest enterprise, Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1), 1567-1583. <https://doi.org/10.15666/aeer/1801-15671583>.
- Das, S. (2020). Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100379>
- Davidson, R. A. (2009). Modeling postearthquake fire ignitions using generalized linear (mixed) models. *Journal of Infrastructure Systems*, 15(4), 351-360.
- Değirmen, S., Çavdur, F., & Sebatli, A. (2018). Afet Operasyonlari Yönetiminde İnsansız Hava Araçlarının Kullanımı: Gözetleme Operasyonlari İçin Rota Planlama. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. <https://doi.org/10.17482/uumfd.455146>
- Deng, L., Yuan, H., Huang, L., Yan, S., & Lai, Y. (2018). Post-earthquake search via an autonomous UAV: Hybrid algorithm and 3D path planning. *ICNC-FSKD 2018 - 14th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2018.8687272>
- Di Felice, M., Trotta, A., Bedogni, L., Chowdhury, K. R., & Bononi, L. (2014). Self-organizing aerial mesh networks for emergency communication. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2014.7136429>
- Dowrick, D. J. (1998). Damage and intensities in the magnitude 7.8 1931 Hawke’s Bay, New Zealand, earthquake. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.31.3.139-163>
- Elhami Khorasani, N., & Garlock, M. E. M. (2017). Overview of fire following earthquake: historical events and community responses. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-02-2015-0005>
- Elhami Khorasani, N., Gernay, T., & Garlock, M. (2017). Data-driven probabilistic post-earthquake fire ignition model for a community. *Fire Safety Journal*, 94(September), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.09.005>

- Erdelj, M., & Natalizio, E. (2016). UAV-assisted disaster management: Applications and open issues. 2016 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2016. <https://doi.org/10.1109/ICCNC.2016.7440563>
- Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K. R., & Akyildiz, I. F. (2017). Help from the Sky: Leveraging UAVs for Disaster Management. *IEEE Pervasive Computing*. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2017.11>
- Erman, A. T., Hoesel, L. Van, Havinga, P., & Wu, J. (2008). Enabling mobility in heterogeneous wireless sensor networks cooperating with UAVs for mission-critical management. *IEEE Wireless Communications*. <https://doi.org/10.1109/MWC.2008.4749746>
- Ezequiel, C. A. F., Cua, M., Libatique, N. C., Tangonan, G. L., Alampay, R., Labuguen, R. T., Favila, C. M., Honrado, J. L. E., Canos, V., Devaney, C., Loreto, A. B., Bacusmo, J., & Palma, B. (2014). UAV aerial imaging applications for post-disaster assessment, environmental management and infrastructure development. 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2014 - Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2014.6842266>
- Farshadmanesh, P., & Mohammadi, J. (2019). A Probabilistic Methodology for Assessing Post-Earthquake Fire Ignition Vulnerability in Residential Buildings. *Fire Technology*, 55(4), 1295–1318. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0811-2>
- Farshadmanesh, P., Mohammadi, J., & Modares, M. (2016). Further Development in Predicting Post-Earthquake Fire Ignition Hazard. 10(6), 681–685.
- Garg, H. (2018). Linguistic Pythagorean fuzzy sets and its applications in multiattribute decision-making process. *International Journal of Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1002/int.21979>
- Giordan, D., Manconi, A., Remondino, F., & Nex, F. (2017). Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1315619>
- Gonçalves, J. A., & Henriques, R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>
- Grocholsky, B., Keller, J., Kumar, V., & Pappas, G. (2006). Cooperative air and ground surveillance. *IEEE Robotics and Automation Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MRA.2006.1678135>
- Gul, M., & Ak, M. F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.106>
- Gumus, A. T. (2009). Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy-AHP and TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.03.013>

- Hamiyet, S. (1996). 1894 İstanbul Depremi Hakkında Bir Rapor Üzerine İnceleme. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Tarih Bölümü Tarih Araştırmaları Dergisi. https://doi.org/10.1501/tarar_0000000097
- Himoto, K. (2019). Comparative Analysis of Post-Earthquake Fires in Japan from 1995 to 2017. *Fire Technology*, 55(3), 935–961. <https://doi.org/10.1007/s10694-018-00813-5>
- Hong, Z., Tong, X., Cao, W., Jiang, S., Chen, P., & Liu, S. (2015). Rapid three-dimensional detection approach for building damage due to earthquakes by the use of parallel processing of unmanned aerial vehicle imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.9.097292>
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü (2019), İstanbul Olası Deprem Kayıp Tahminleri Kitapçığı, <https://depremezmin.ibb.istanbul/calismalarimiz/tamamlanmis-calismalar/istanbul-ili-olasi-deprem-kayip-tahminlerinin-guncellenmesi-projesi/>
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: a state of the art survey. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186(1).
- Jena, R., Pradhan, B., & Beydoun, G. (2020). Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101518>
- Kahraman, C., Cebeci, U., & Ulukan, Z. (2003). Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management*. <https://doi.org/10.1108/09576050310503367>
- Kahraman, C., Oztaysi, B., & Cevik Onar, S. (2020). Single interval-valued neutrosophic AHP methods: Performance analysis of outsourcing law firms. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 38(1), 749–759. <https://doi.org/10.3233/JIFS-179446>
- Kalatzis, N., Avgeris, M., Dechouniotis, D., Papadakis-Vlachopapadopoulos, K., Roussaki, I., & Papavassiliou, S. (2018). Edge computing in iot ecosystems for uav-enabled early fire detection. *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2018*. <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP.2018.00080>
- Karaatlı, M., Helvacıoğlu, Ö. C., Ömürbek, N., & Tokgöz, G. (2012). Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Otomobil Satış Tahmini. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 8(17), 87-100. <https://doi.org/10.11122/ijmeb.2012.8.17.290>
- Karaşan, A., Bolturk, E., & Kahraman, C. (2020). An integrated interval-valued neutrosophic AHP and TOPSIS methodology for sustainable cities' challenges. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1029(Mcdm), 653–661. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23756-1_79

- Kawasumi, H. (1961). Examination of Earthquake-Fire Damage in Tokyo Metropolis. Tokyo Fire Department.
- Keskenler, M. F., & Keskenler, E. F. (2017). Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi. *Takvim-i Vekayi*, 5(1),1-10.
- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Rattanapun, P., Brundiers, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101612>
- Kılıç, A., & Koraltürk, G. (2000). *Deprem Sonrası Yangınlar ve Modellemesi* [İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul]. <http://hdl.handle.net/11527/11613>
- Kobayashi, M. (1985). Urban post-earthquake fires in Japan. In *Proceedings, the Eight World Conference on Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kruijff, G. J. M., Pirri, F., Gianni, M., Papadakis, P., Pizzoli, M., Sinha, A., Tretyakov, V., Linder, T., Pianese, E., Corrao, S., Priori, F., Febrini, S., & Angeletti, S. (2012). Rescue robots at earthquake-hit Mirandola, Italy: A field report. *2012 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics, SSRR 2012*. <https://doi.org/10.1109/SSRR.2012.6523866>
- Kumar, V., Rus, D., & Singh, S. (2004). Robot and sensor networks for first responders. *IEEE Pervasive Computing*, 3(4), 24-33. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2004.17>
- Laszlo, B., Agoston, R., & Xu, Q. (2018). Conceptual Approach of Measuring the Professional and Economic Effectiveness of Drone Applications Supporting Forest fire Management. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.132>
- Lei, T., Zhang, Y., Lu, J., Pang, Z., Fu, J., Kan, G., Qu, W., & Wang, Y. (2018). *The application of UAV remote sensing in mapping of damaged buildings after earthquakes*. <https://doi.org/10.1117/12.2503163>
- Li, J., Jiang, J., & Li, M. (2001). Hazard analysis system of urban post-earthquake fire based on GIS. *Acta Seismologica Sinica*, 23(4), 426.
- Li, Z., Zhang, X., Ma, Y., Feng, C., & Hajiyevev, A. (2019). A multi-criteria decision making method for urban flood resilience evaluation with hybrid uncertainties. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101140>
- LIN, H., LIN, C., KO, J., & WU, Y. (2017). *Risk Factors of Post-earthquake Fire for Constructions Using the Analytic Hierarchy Process Approach*. <https://doi.org/10.2991/aece-16.2017.1>
- Lin, M. C., Wang, C. C., Chen, M. S., & Chang, C. A. (2008). Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process. *Computers in Industry*. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.05.013>

- Liu, P., & Tang, G. (2016). Multi-criteria Group Decision-Making Based on Interval Neutrosophic Uncertain Linguistic Variables and Choquet Integral. *Cognitive Computation*. <https://doi.org/10.1007/s12559-016-9428-2>
- Luu, C., von Meding, J., & Mojtahedi, M. (2019). Analyzing Vietnam's national disaster loss database for flood risk assessment using multiple linear regression-TOPSIS. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101153>
- Martínez-de-Dios, J. R., Merino, L., Ollero, A., Ribeiro, L. M., & Viegas, X. (2007). Multi-UAV experiments: Application to forest fires. *Springer Tracts in Advanced Robotics*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73958-6_8
- McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- Merino, L., Caballero, F., Martínez-de Dios, J. R., & Ollero, A. (2005). Cooperative fire detection using unmanned aerial vehicles. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570388>
- Mishra, B., Garg, D., Narang, P., & Mishra, V. (2020). Drone-surveillance for search and rescue in natural disaster. *Computer Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.03.012>
- Mizuno, H. and H. S. (1981). *The Relationship Between The Rate of Fire Outbreak and The Rate of Complete House Destruction Following An Earthquake* (s. 18).
- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101069>
- Mohammadi J, & Alysian. S. (1992). Analysis of post-earthquake fire hazard. *İçinde Earthquake Engineering , Tenth World Conference*.
- Mosterman, P. J., Sanabria, D. E., Bilgin, E., Zhang, K., & Zander, J. (2014). A heterogeneous fleet of vehicles for automated humanitarian missions. *Computing in Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2014.58>
- Murphy, R. R., & Stover, S. (2008). Rescue robots for mudslides: A descriptive study of the 2005 La Conchita mudslide response. *Journal of Field Robotics*. <https://doi.org/10.1002/rob.20207>
- Murry, J. W., & Hammons, J. O. (1995). Delphi: A Versatile Methodology for Conducting Qualitative Research. *The Review of Higher Education*. <https://doi.org/10.1353/rhe.1995.0008>
- Nelson, C. B., Steckler, B. D., & Stamberger, J. A. (2011). The evolution of hastily formed networks for disaster response: Technologies, case studies, and future trends. *Proceedings - 2011 IEEE Global Humanitarian Technology Conference, GHTC 2011*. <https://doi.org/10.1109/GHTC.2011.98>

- Nikolakopoulos, K. G., Kozarski, D., & Kogkas, S. (2017). *Coastal areas mapping using UAV photogrammetry*. <https://doi.org/10.1117/12.2278121>
- Nishino, T., Tanaka, T., & Hokugo, A. (2012). An evaluation method for the urban post-earthquake fire risk considering multiple scenarios of fire spread and evacuation. *Fire Safety Journal*, 54, 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.06.002>
- Nyimbili, P. H., Erden, T., & Karaman, H. (2018). Integration of GIS, AHP and TOPSIS for earthquake hazard analysis. *Natural Hazards*. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3262-7>
- Ollero, A., Martínez-de-Dios, J. R., & Merino, L. (2006). Unmanned aerial vehicles as tools for forest-fire fighting. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.292>
- Oral, M., & Genç, E. (2008). İskenderun Körfezi'nde yaşayan orfoz balığı (*Ephinephelus marginatus* Lowe 1834)'ndaki parazitlenmenin öz örgütlenmeli haritalarla yeniden değerlendirilmesi. *Journal of Fisheries Sciences*, 2(3), 293–300. <https://doi.org/10.3153/jfscom.mug.200716>
- Orencio, P. M., & Fujii, M. (2013). A localized disaster-resilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (AHP). *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2012.11.006>
- Oz, N. E., Mete, S., Serin, F., & Gul, M. (2019). Risk assessment for clearing and grading process of a natural gas pipeline project: An extended TOPSIS model with Pythagorean fuzzy sets for prioritizing hazards. *Human and Ecological Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1495057>
- Özçalıcı, M. (2011). Özdüzenleyici Haritalar Yöntemi Banka Müşterilerinin Bölümlendirilmesi. Gaziantep Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Özçalıcı, M. (2017). Özdüzenleyici Haritalar Yardımıyla Piyasa Bölümlendirmesi: Türkiye İkinci El Otomobil Piyasası Örneği. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. <https://doi.org/10.17153/oguiibf.315452>
- Özşahin, E. (2013). Türkiye'de Yaşanmış (1970-2012) Doğal Afetler Üzerine Bir Değerlendirme. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 1–8.
- Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2. baskı). PapatyaYayıncılık Eğitim, İstanbul.
- Öztürk, K., & Şahin, M. E. (2018). Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6(2)(2148–0087), 25–36.
- Parsons, T. (2004). Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. <https://doi.org/10.1029/2003JB002667>
- Qi, J., Song, D., Shang, H., Wang, N., Hua, C., Wu, C., Qi, X., & Han, J. (2016). Search and Rescue Rotary-Wing UAV and Its Application to the Lushan Ms 7.0 Earthquake. *Journal of Field Robotics*. <https://doi.org/10.1002/rob.21615>

- Radu, V. T., Schmidt, A., & Mehmood, K. S. (2019). Use of drones for firefighting operations Title: Use of drones for firefighting. *Projekter.Aau.Dk*. https://projekter.aau.dk/projekter/files/294663864/Master_Thesis__Vlad_Tiberiu_Radu__RISK4_11.pdf
- Ren, A. Z., & Xie, X. Y. (2004). The simulation of post-earthquake fire-prone area based on GIS. *Journal of Fire Sciences*. <https://doi.org/10.1177/0734904104042440>
- Restas, A. (2015). Drone Applications for Supporting Disaster Management. *World Journal of Engineering and Technology*. <https://doi.org/10.4236/wjet.2015.33c047>
- Robinson, W. H., & Lauf, A. P. (2013). Resilient and efficient MANET aerial communications for search and rescue applications. *2013 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2013*. <https://doi.org/10.1109/ICCNC.2013.6504199>
- Şahin, C., & Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal Afetler ve Türkiye*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Şahin, F. (2016). *Ayaklardaki Yüzeysel Mantar Enfeksiyonlarının Potansiyel RİSK Faktörlerinin Kendini Örgütleyen Haritalar (SOM) ile Analiz*. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Sari, F. (2021). Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118644>
- Scawthorn, C. R. (2011). Fire following earthquake aspects of the Southern San Andreas Fault M w 7.8 earthquake Scenario. *Earthquake Spectra*. <https://doi.org/10.1193/1.3574013>
- Scawthorn, C., Yamada, Y., & Iemura, H. (1981). A model for urban post-earthquake fire hazard. *Disasters*, 5(2), 125–132. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.1981.tb01095.x>
- Scawthorn, Charles. (2002). Fire following earthquakes. *Earthquake Engineering Handbook*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36154-8_6
- Sekizawa, A., & Sasaki, K. (2014). Study on fires following the 2011 great East-Japan earthquake based on the questionnaire survey to fire departments in affected areas. *Fire Safety Science*. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-691>
- Şenol, M. B., Adem, A., & Dağdeviren, M. (2019). A Fuzzy MCDM Approach to Determine the Most Influential Logistic Factors. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.586041>
- Sharma, H., Tandon, A., Kapur, P. K., & Aggarwal, A. G. (2019). Ranking hotels using aspect ratings based sentiment classification and interval-valued neutrosophic TOPSIS. *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management*. <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00827-4>

- Sharma, L. K., Kanga, S., Nathawat, M. S., Sinha, S., & Pandey, P. C. (2012). Fuzzy AHP for forest fire risk modeling. *Disaster Prevention and Management*. <https://doi.org/10.1108/09653561211219964>
- Smarandache, F. (1998). Neutrosophy: neutrosophic probability, set, and logic: analytic synthesis & synthetic analysis. *Rehoboth: American Research Press*.
- Smith, A. D. (1995). High-resolution seismic profiling in the Sea of Marmara (northwest Turkey): late Quaternary sedimentation and sea-level changes. *Geological Society of America Bulletin*. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1995\)107<0923:HRSPIT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1995)107<0923:HRSPIT>2.3.CO;2)
- Soliman, A. M. S., Cagan, S. C., & Buldum, B. B. (2019). The design of a rotary-wing unmanned aerial vehicles–payload drop mechanism for fire-fighting services using fire-extinguishing balls. *SN Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1322-6>
- Sudhakar, S., Vijayakumar, V., Sathiya Kumar, C., Priya, V., Ravi, L., & Subramaniaswamy, V. (2020). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based Forest Fire Detection and monitoring for reducing false alarms in forest-fires. *Computer Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.10.007>
- Sun, R., Gong, Z., Gao, G., & Shah, A. A. (2020). Comparative analysis of Multi-Criteria Decision-Making methods for flood disaster risk in the Yangtze River Delta. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101768>
- Sung, W. . (2001). Application of Delphi method, a qualitative and quantitative analysis, to the healthcare management. *Journal of Healthcare Management*, 2(2), 11–19.
- Sür, Ö. (1993). Türkiye'nin Deprem Bölgeleri. *Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi*, 2, 53–68.
- Taymaz, T., Eyidoğlan, H., & Jackson, J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06328.x>
- Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1002/int.20418>
- Tuna, G., Gungor, V. C., & Gulez, K. (2014). An autonomous wireless sensor network deployment system using mobile robots for human existence detection in case of disasters. *Ad Hoc Networks*. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.06.006>
- Turner, I. L., Harley, M. D., & Drummond, C. D. (2016). UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.03.011>
- Ueyama, J., Freitas, H., Faıçal, B. S., Filho, G. P. R., Fini, P., Pessin, G., Gomes, P. H., & Villas, L. A. (2014). Exploiting the use of unmanned aerial vehicles to provide resilience in wireless sensor networks. *IEEE Communications Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6979956>

- Ürekli, F. (2010). Osmanlı Döneminde İstanbul'da Meydana Gelen Âfetlere İlişkin Literatür. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*.
- Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. (2016). Normalization techniques for multi-criteria decision making: Analytical hierarchy process case study. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4_26
- Vergouw, B., Nagel, H., Bondt, G., & Custers, B. (2016). *Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments*. https://doi.org/10.1007/978-94-6265-132-6_2
- Vitorino, H., Rodrigues, H., & Couto, C. (2020). Evaluation of post-earthquake fire capacity of reinforced concrete elements. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 128(October 2019), 105900. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105900>
- Wada, A., Yamashita, T., Maruyama, M., Arai, T., Adachi, H., & Tsuji, H. (2013). A surveillance system using small unmanned aerial vehicle (UAV) related technologies. *NEC Technical Journal*.
- Xu, D. S., Wei, C., & Wei, G. W. (2017). TODIM method for single-valued neutrosophic multiple attribute decision making. *Information (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/info8040125>
- Yager, R. R. (1986). On the theory of bags. *International Journal of General Systems*. <https://doi.org/10.1080/03081078608934952>
- Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2013.2278989>
- Yager, R. R. (2016). Properties and applications of pythagorean fuzzy sets. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26302-1_9
- Yamazaki, F., Kubo, K., Tanabe, R., & Liu, W. (2017). Damage assessment and 3d modeling by UAV flights after the 2016 Kumamoto, Japan earthquake. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2017.8127673>
- Yariyan, P., Zabihi, H., Wolf, I. D., Karami, M., & Amiriyan, S. (2020). Earthquake risk assessment using an integrated Fuzzy Analytic Hierarchy Process with Artificial Neural Networks based on GIS: A case study of Sanandaj in Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101705>
- Ye, J., & Du, S. (2019). Some distances, similarity and entropy measures for interval-valued neutrosophic sets and their relationship. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. <https://doi.org/10.1007/s13042-017-0719-z>

- Yıldız, A., Ayyıldız, E., Taşkin Gümüş, A., & Özkan, C. (2019). Ülkelerin Yaşam Kalitelerine Göre Değerlendirilmesi İçin Hibrit Pisagor Bulanık Ahp-Topsis Metodolojisi: Avrupa Birliği Örneği. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.658021>
- Yıldız, S. S., & Karaman, H. (2013). Post-earthquake ignition vulnerability assessment of Küçükçekmece district. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(12), 3357–3368. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-3357-2013>
- Yıldız, Selim Serhan, & Karaman, H. (2012). Developing a physics-based model for post-earthquake ignitions. *ISCRAM 2012 Conference Proceedings - 9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.
- Yılmaz, Ü. (2019). İnsani Yardım Lojistiği Faaliyetlerinde İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları. *Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi*. <https://doi.org/10.46236/jovosst.623075>
- Yuan, C., Liu, Z., & Zhang, Y. (2015). UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques. *2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2015*. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2015.7152345>
- Yuan, C., Liu, Z., & Zhang, Y. (2017). Fire detection using infrared images for UAV-based forest fire surveillance. *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2017*. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991306>
- Yucesan, M., & Gul, M. (2020). Hospital service quality evaluation: an integrated model based on Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS. *Soft Computing*. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04084-2>
- Yurtoğlu, H. (2005). *Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Önörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler için Türkiye Örneği*.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
- Zhang, R., Li, H., Duan, K., You, S., Liu, K., Wang, F., & Hu, Y. (2020). Automatic detection of earthquake-damaged buildings by integrating UAV oblique photography and infrared thermal imaging. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/RS12162621>
- Zhang, X., & Xu, Z. (2014). Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*. <https://doi.org/10.1002/int.21676>
- Zhao, S., Xiong, L., & Aizhu, R. (2005). Risk Assessment of Potential Urban Post-Earthquake Fire Based on UGIS Grid Abstract: *Fifth Annual IIASA-DPRI Meeting*, 1–14.

Zolfaghari, M. R., Peyghaleh, E., & Nasirzadeh, G. (2009). Fire following earthquake, intra-structure ignition modeling. *Journal of Fire Sciences*.
<https://doi.org/10.1177/0734904108094516>



TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1 Gülüm, P. & Taşkın Gümüş A., (2021).Deprem Sonrası Yangın Riskinin Tahminine Yönelik Bir Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımı; 4.Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi (ICAR) ISBN: 978-625-7813-42-6, 278-293.

Makaleler

1 Gülüm, P., Ayyıldız, E., & Gümüş, A. T. (2021). A Two Level Interval Valued Neutrosophic AHP Integrated Neutrosophic TOPSIS Methodology for Post-Earthquake Fire Risk Assessment: An Application for Istanbul. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 102330
<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102330>