



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Orman yangınına sebep olan kriterlerin bulanık ortamda değerlendirilmesi

## *Evaluation of criteria that cause forest fires in fuzzy environment*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Burcu TEZCAN<sup>1</sup>, Tamer EREN<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0002-0997-7761

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0001-5282-3138

**To cite to this article:** Tezcan B. ve Eren T., “Orman yangınlarına sebep olan kriterlerin bulanık ortamda değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, 27(2): 545-558, (2024).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Tezcan B. ve Eren T., “Orman yangınlarına sebep olan kriterlerin bulanık ortamda değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 27(2): 545-558, (2024).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1138806

# Orman Yangınına Sebep Olan Kriterlerin Bulanık Ortamda Değerlendirilmesi

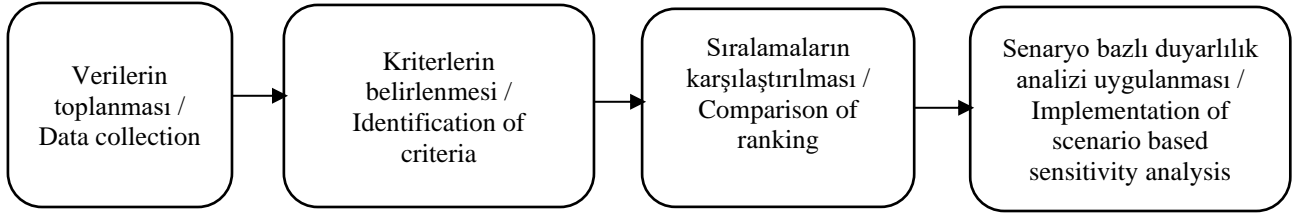
## Evaluation of Criteria That Cause Forest Fires In Fuzzy Environment

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Orman Yangınları / Forest fires
- ❖ Pisagor Bulanık AHP / PBAHP
- ❖ Analitik Ağ Prosesi / ANP
- ❖ Analitik Hiyerarşi Prosesi / AHP
- ❖ Duyarlılık Analizi / Sensitivity analysis

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Orman yangınına sebep olan kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler üç farklı yöntem ile değerlendirilmiştir. Sonuçları test etmek için duyarlılık analizi kullanılmıştır. / The criteria that cause forest fire have been determined. These criteria were evaluated by three different methods. Sensitivity analysis was used to test the results.



Şekil. Uygulama Şeması /Figure. Application Chart

### Amaç (Aim)

Bu çalışmada orman yangınları meydana gelmeden önce en riskli kriterin belirlenmiştir. / In this study, the most risky criterion was determined before forest fires occur.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Problemin çözülmesinde PBAHP, AAP ve AHP yöntemleri ile kriterlerin sıralaması hesaplanmıştır. / In solving the problem, the ranking of the criteria was calculated with the PBAHP, ANP and AHP methods.

### Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada gerçek hayat problemi üzerinde çalışılmıştır. / In this study, real life problem has been studied.

### Bulgular (Findings)

Orman yangınına sebep olan 13 kriterle çalışma yürütülmüştür. En riskli kriterler nem, rüzgâr ve sıcaklık olduğu tespit edilmiştir. / The study was carried out with 13 criteria that caused forest fire. It has been determined that the most risky criteria are humidity, wind and temperature.

### Sonuç (Conclusion)

Orman yangını meydana gelmeden önce dikkat edilmesi gereken kriterlerin belirlenmiştir. / The criteria to be considered before a forest fire occurs have been determined.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Orman Yangınına Sebep Olan Kriterlerin Bulanık Ortamda Değerlendirilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Burcu TEZCAN<sup>1</sup>, Tamer EREN<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Kapadokya Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 01.07.2022 ; Kabul/Accepted : 28.09.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 27.11.2022)

## ÖZ

Orman yangınları, çeşitli sebeplerle meydana gelebilir ve hızlı bir şekilde yayılabilir. Bu yüzden büyük çevre problemidir. Türkiye’de özellikle Ege ve Akdeniz bölgeleri olmak üzere 12 milyon hektarlık alan orman yangını konusunda risk taşımaktadır. Orman yangınında riskli bölgeler, yangının kolayca başlayıp, diğer bölgelere hızlı bir şekilde yayılabileceği yerlerdir. Doğayı kontrol altına almak zordur. Bu bağlamda bu çalışmada orman yangınına sebep olan kriterlerin değerlendirilmesi ele alınmıştır. Bu kriterler 4 ana kriter olan topografya, bitki örtüsü, iklim ve sosyoekonomiktir. Bu kriterlerin alt kriterleri ise yükseklik, eğim, ceph, rakım, kuru bitki örtüsü, biyokütle yoğunluğu, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, yerleşim yerine uzaklık, arazi kullanımı, nüfus yoğunluğu ve elektrik hatlarına uzaklıktır. Bu yüzden orman yangını yüksek olması sebebiyle, çok kriterli karar verme (ÇKKV) modelinin önerilmesi, ikna edici sonuçlar elde etmek için çok değerlidir. Dolayısıyla karar vericiye geniş değerlendirme ölçeği sunan Pisagor Bulanık (PB) kümeleri, literatürdeki çalışmalarda birçok uygulamada kullanılmış PBAHP, Analitik Ağ Prosesi (AAP) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemleri uygulanmıştır. Orman yangını üzerinde etkisi olan kriterler bu üç yöntem kullanılarak önceliklendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalı analiz yapılmış ve sonucun ne kadar önemli olduğu gösterilmiştir. Daha sonra senaryo bazlı duyarlılık analizi yapılarak farklı koşullardaki durumlar gözlemlenmiştir. Böylece yapılan çalışma ile ormanlık alanların yangın riski oluşturma durumları belirlenmiştir. Dolayısıyla eldeki kaynakların etkin bir şekilde tahsis edilmesine katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Orman yangını, PBAHP, AAP, AHP, duyarlılık analizi.

## Evaluation Of Criteria That Cause Forest Fires In Fuzzy Environment

### ABSTRACT

Forest fires can occur for a variety of reasons and can spread quickly. So it is a big environmental problem. 12 million hectares of land in Turkey, especially in the Aegean and Mediterranean regions, carries a risk of forest fire. Risky areas in forest fire are places where the fire can start easily and spread quickly to other areas. It is difficult to control nature. In this context, the evaluation of the criteria that cause forest fire is discussed in this study. These criteria are topography, vegetation, climate and socioeconomic, which are 4 main criteria. The sub-criteria of these criteria are height, slope, front, dry vegetation, biomass density, temperature, humidity, wind speed, precipitation, distance to settlement, land use, population density and distance to power lines. Therefore, proposing a multi-criteria decision-making (MCDM) model is invaluable to obtain convincing results, due to the high rate of forest fire. Therefore, Pythagorean Fuzzy (PF) clusters, which offer a wide evaluation scale to the decision maker, PBAHP, Analytical Network Process (AAP) and Analytical Hierarchy Process (AHP) methods, which are used in many applications in the studies in the literature, were applied. The criteria that have an impact on forest fire were prioritized using these two methods. Comparative analysis was made with the results obtained and it was shown how important the result was. Then, scenario-based sensitivity analysis was performed and situations in different conditions were observed. Thus, the fire risk status of forested areas was determined by the study. Therefore, it will contribute to the efficient allocation of available resources.

**Keywords:** Forest fires, PFAHP, ANP, AHP, sensitivity analysis.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya nüfusu arttıkça ormanlık bölgelerin azalmasına sebep olmaktadır. Nüfustaki artış insanların sanayileşme, turizm, yerleşme gibi farklı ihtiyaçları olmasının yanında kentleşme ile ormanlar yok olmaktadır. Bununla birlikte ormanlara yangınlar da zarar vermektedir. Dünya çapında 2019 yılında 12 milyon hektar alanın orman yangınından dolayı yok olduğu tespit edilmiştir [1].

Türkiye’de Kahramanmaraş’tan Akdeniz ve Ege bölgelerinin sahil kıyılarında yaklaşık 12 milyon hektarlık orman alanı vardır. Bu sebepten dolayı bölge yangın konusunda riskli ve hassastır. Özellikle yaz aylarında kurak iklim sebebiyle Akdeniz ve Ege bölgelerinde olası bir yangında geniş bölgeler hasar almaktadır [2].

Türkiye’de orman yangınlarının büyük bir çoğunluğunun sebebi insan faaliyetleridir. Tarım ve yerleşim yerleri yapabilmek için çıkarılan yangınlarla birlikte ihmalkâr davranmakta yangına sebep olmaktadır. Türkiye’de

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : tamereren@gmail.com

2015-2020 yılları arasında 16.003 adet orman yangınında 62.225 hektarlık alanın zarar gördüğü raporlanmıştır [3]. Orman Genel Müdürlüğü'nün 2020 yılında yayınladığı illere göre orman yangınlarının durumu incelendiğinde Türkiye'de toplam 3399 tane orman yangını meydana gelmiştir. Bu bağlamda Türkiye'de orman yangınlarının meydana geldiği göz önüne alınmalıdır. Orman yangınlarının kapsamlı olarak araştırıldığı bu çalışmada, Türkiye'deki orman yangını riskinin fazla olduğu kriterler değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme orman yangınının meydana gelmesinde neyin etkili olduğunu tespit etmektir. Bu problem kapsamlı olarak ele alındığında, birden fazla kriterin uzman görüşü doğrultusunda değerlendirilmesi bulanık çok kriterli karar verme teknikleri uygundur. Mevcut problemin karar verme aşamasında sadece niceliksel kriterler değil aynı zamanda niteliksel kriterleri de içermektedir. Bu sebepten dolayı, geleneksel ÇKKV tekniklerine ilaveten, insan yargısı ile deneyiminin modellenmesine yardımcı olan bulanık küme teorisi, ÇKKV teknikleri ile kullanılarak en uygun çözümün bulunması sağlamıştır [4]. Bu bağlamda bu çalışmada, tavsiye edilen modelde Pisagor bulanık kümelerden (PFS) yararlanılmıştır. Karar vericilere kapsamlı bir ölçüm skalası sunarak, tutarsız ve muğlak bilgilerin belirlenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, PFS'ler sadece bulanık kümelerden elde edilebilecek belirsiz ve kesin olmayan bilgileri göstermenin yanında pratik bir durumda karmaşık belirsizliği de modelleyebilir [5]. Bunların hepsi dikkate alındığında, bu çalışma benzer değerlendirmelerin ve sıradan bulanık kümelerin kısıtlamalarına uymasını sağlamaktan ziyade PFS'leri uygulanmıştır. Bu durum gerçek hayata uyumlu sonuç tespit edilmiştir.

Buna göre, uzman kişiler tarafından değerlendirme 4 ana kriter (topoğrafya, bitki örtüsü, iklim ve sosyoekonomik) ve 13 tane alt kriter belirlenmiştir. Bu belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (PBAHP), Analitik Ağ Prosesi (AAP) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) teknikleri kullanılmıştır. Bu üç yöntemin ilk kez birlikte kullanılması çalışmanın yenilikçi yönünü göstermektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, orman yangınları ile ilgili detaylı bir anlatım ve güncel veriler verilmiştir. Üçüncü bölüm, problemin ÇKKV uygunluğundan dolayı literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü bölüm, PBAHP, AAP ve AHP yöntemlerinin uygulama adımlarını içermektedir. Beşinci bölüm, önerilen modelin uygulaması yapılmıştır. Altıncı bölümde ise sonuçların doğruluğu, modelin geçerliliği, karşılaştırmalar ve duyarlılık analizi sunulmuştur. Son olarak, genel çıkarımlar, katkılar ve gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler yedinci bölümde verilmiştir.

## 2. ORMAN YANGINLARI (FOREST FIRES)

Ormanlar hem biyoçeşitliliğin gerçekleşmesi hem de çevresel dengenin sağlanması konusunda önemlidir. Tarım ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü'nün 2020 yılında yayınladığı verilere göre Türkiye'de 22933000 hektar ormanlık alan vardır [3].

Orman yangınları ise; serbest bir şekilde yayılan ve canlı, cansız bütün varlıkların yok olması olarak tanımlanır [7]. Oksijen, yanıcı madde ve ısıнын birleşmesi sonucu kimyasal reaksiyon oluşmasıyla orman yangınları meydana gelmektedir[8]. Bu üç maddenin aynı ortamda ve uygun koşullarda olmasını, topoğrafya, rüzgâr, yanıcı madde, nispi nem, hava ve sıcaklık gibi unsurlar etkilidir [8].

Orman yangınları, yanan maddenin niteliği ve yangın bölgesinin özelliklerine göre aşağıda sınıflandırılmaktadır;

**Toprak:** Türkiye'de fazla görülmez. Bataklık ve sazlık yangınlarıdır. Orman bölgesinde bulunan turbalık yerler ile toprağın humus tabakasının yanmasıdır [8].

**Örtü:** Orman toprağının üzerindeki örtü (çayır, kuru yaprak, fidan, fide, funda vb.) yanabilir [8].

**Tepe:** Öncelikle örtü yangını olarak başlar ve ağaçların tepelerini yakarak devam eden yangındır. Bu yangında ağaç gövdeleri ve tepeleri kısımları yanıp kurduğu için canlılığı kaybolur, bu yüzden tehlikelidir [8].

Orman yangınları dünyada meydana geldiği gibi Türkiye'de de ormanları tehdit eden bir doğal afettir. Türkiye'nin gerek coğrafi konumu gerekse iklim koşullarından dolayı yaz aylarında orman yangını sayısı artmaktadır. Her yıl farklı sebeplerden ortaya çıkan orman yangınlarında büyük ölçüde orman bölgelerimiz hasar görmektedir. Orman yangınları hem orman ürünlerine hem de kütle çölleşme, heyelan, çığ, erozyon gibi afetlere sebep olabilir [8].

## 3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE RESEARCH)

Bu çalışma ile literatüre geniş bir bakış açısı sağlamaktadır. Bulguların kıyaslanabilirliği için son 10 yılda orman yangınlarının ÇKKV tekniklerini kullanan çalışmalar dikkate alınmıştır. Bu araştırma sayesinde aşağıdaki değerlendirme yapısı elde edilmiştir.

**Amaç ve problem tanımı:** Orman yangınlarının sebep olan kriterler belirlenir.

**Bulanık Pisagor ÇKKV tekniği:** Hem kriterlerin önceliklendirilmesinde kullanılır.

**Kriterleri:** Uygulama amacı doğrultusunda kriter ve alt kriterlerin açıklamasını içerir.

**Sonuçların yorumlanması:** Orman yangını üzerinde etkili olan kriterlerin sıralanması ve duyarlılık analizini içerir.

Bu maddelerden yola çıkarak literatür araştırmasında 21 çalışma detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ÇKKV tekniklerinin afet alanında genel olarak kullanıldığına

**Çizelge 1.** Orman yangını risk değerlendirmesi literatür özeti (Forest fire risk assessment literature summary)

No.	Yazar	Uygulamanın amacı	Yöntem*
1	[12]	İran'ın kuzeyinde orman yangını risk haritalarının oluşturulmuştur.	CBS-AHP-FAHP
2	[13]	Kuzey İran'da orman yangını riskinin yüksek olduğu alanların tahminini yapan Dong modelinin verimliliği değerlendirilmiştir.	CBS
3	[14]	Hindistan'ın Dehradun'un orman yangını tehlikesi değerlendirilmiştir.	AHP-GIS
4	[15]	İran'ın Mazandaran ili için orman yangını risk haritası bulanık ortamda analiz edilmiştir.	FAHP-MCS-GSA
5	[16]	Akdeniz bölgesinde yangına açık noktaların belirlenmiştir.	GIS-FES (Bulanık Uzman Sistem)
6	[17]	İran'ın Minudasht orman yangınları risk haritası karşılaştırılması yapılmıştır.	GIS-MAHP-MFL
7	[18]	Brezilya'da orman yangını başladığında tespit etmek için bulanık mantık önerisi yapılmıştır.	Bulanık Mantık
8	[19]	İran'da Hyrcanian ormanlarının yangın riski değerlendirilmiştir.	AHP-CBS
9	[20]	Vietnam'da kurak mevsimden dolayı orman yangınına duyarlı alanlar belirlenmiştir.	AHP
10	[21]	Sırbistan'nın batı bölgesinde orman yangını duyarlılık haritaları elde edilmiştir.	AHP-IR`AHP-FAHP-CBS
11	[22]	Orman yangını üç gruba istatistiksel veri analizi, makine öğrenmesi, çok kriterli karar verme modelleri olarak ayrılmıştır.	Literatür İncelemesi
12	[23]	Orman yangınlarında çam iğnelerinin enerji üretimi sınıflandırılmıştır.	Fuzzy AHP
13	[24]	Gana'da orman yangını risk değerlendirme haritaları oluşturulmuştur.	AHP-CBS
14	[25]	Türkiye'nin Bucak ilçesinin orman yangını risk değerlendirmesi yapılmıştır.	AHP-CBS
15	[26]	İran'ın Noshahr ilçesinin ormanlık alanı için yangın risk haritaları oluşturulmuştur.	ANP-CBS
16	[27]	Kuzeybatı Vietnam'ın orman yangını risk değerlendirmesi yapılmıştır	AHP-GIS
17	[28]	Mekong Deltası'nda yangın tehlike modelleri geliştirilmiştir.	AHP
18	[29]	Türkiye'nin yedi coğrafya bölgesinin yangın riskini değerlendirmiştir.	GIS-AHP-FAHP
19	[30]	Türkiye'nin Muğla ilçesinin orman yangını duyarlılık haritaları oluşturmuştur.	AHP-VIKOR-TOPSIS
20	[31]	Hindistan'ın Sirmaur bölgesinde risk haritaları oluşturulmuştur.	AHP-Simülasyon
21	[32]	Türkiye'nin Akdeniz bölgesinin orman yangınları risk modellemesi yapıldıktan sonra istatistiksel analiz kullanılmıştır.	AHP-CBS

\*Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP), Geographical Information Systems (GIS), Monte Carlo Simulation (MSC), Global Sensitivity Analysis (GSA), Fuzzy Expert System (FES), Modified Analytical Hierarcchy Process (MAHP), Mamdani Fuzzy Logic (MFL), Analytic Hierarchy Process (IR`AHP), Analytic Network Process (ANP), VlseKriterijumsa Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

rastlanmaktadır [9]. Sonuçta, ülkelerin çeşitli alanlardaki amaçları ve gelişmelerini içeren gerçek hayat ile tutarlı ve analitik kararlar içerisinde yer almaktadır [10;11]. Orman yangınları ile ilgili çalışmalar özet olarak Çizelge 1'de sunulmuştur. Literatürden taraması sonucunda orman yangınlarında riskli bölgelerin oluşturulması

adına risk haritalarının kullanıldığı birçok çalışma olduğu tespit edilmiştir [12; 15; 24; 25; 27]. Bu çalışmalar incelendiğinde, İran bölgesinin güneşlenme payının ve coğrafi özelliği nedeniyle küresel ısınmanın olumsuz etkilerinden dolayı orman yangınlarına sebep olmaktadır. Çalışmaların ortak bir yönü ise bu makaleye de ışık tutan

bulanık ortamda incelenmesi olmuştur. Literatürde çalışmalar arasında Türkiye'nin orman yangına riskli bölgelerin değerlendirilmiştir [16; 26; 29; 30; 31; 32]. Bu çalışmalar incelendiğinde Türkiye'nin hem farklı illeri hem de coğrafya bölgeleri orman yangını açısından risk haritaları oluşturulmuştur. Vietnam'da orman yangınına duyarlı alanlar belirlenmiştir [20; 28]. Bu çalışmalarda Vietnam'ın iklim değişikliğinden dolayı kuraklıkta artış ve orman yangınlarına neden olmaktadır. Orman yangını tehlikesi değerlendirilmiştir [14]. Bu çalışmalar incelendiğinde Hindistan bölgesinde geçmişten günümüze orman yangınları görülmektedir. Bunun sebebi bitki örtüsü ve bölgenin hava sıcaklığıdır. Bunlar göz önüne alındığında orman yangınlarında sınıflandırma yapılmıştır [22; 23]. Öncelikle ilk çalışma orman yangınlarının risk değerlendirmesini istatistiksel veri analizi, makine öğrenmesi, çok kriterli karar verme modelleri olarak çalışmalar ayrılmıştır. Diğer çalışma orman yangınlarına sebep olan çam iğnelerinin enerji üretimini sınıflandırmıştır. Orman yangınları bulanık ortamda değerlendirilmiştir [18; 21; 26]. Sırbistan'ın batı bölgesi, Mekong deltası ve Brezilya Amazon ormanlarında nerede yangın çıkabileceğini belirlemek için bulanık mantık yaklaşımı önerilmiştir. Orman yangını sebep olan kriterler göz önüne alınmıştır. [13; 17; 19]. İran'ın coğrafi konumu ve hava sıcaklığından dolayı orman yangını çok fazla görülmektedir.

Tüm bunlar ışığında literatürden bilindiği kadarıyla orman yangınlarına sebep olan kriterlerin bulanık ortamda incelenmesi literatüre önemli bir projeksiyon sunacaktır.

Bu çalışmanın literatüre sağladığı katkılar şu şekilde özetlenebilir:

- Uygulama alanı: Türkiye'de son yıllarda orman yangınlarının artışıdaki yüksek pay, ormanlık alanların azalmasına sebep olmaktadır. Türkiye hem turizm hem de tarım açısından önemli konuma sahiptir. Bu yüzden orman yangınına sebep olan kriterlerin önceliklendirmesi yapılarak gereken önlemler alınmalıdır. Önceki çalışmalar incelendiğinde Türkiye'nin orman yangınlarına sebep olan kriterlerin bulanık ortamda değerlendirmesi üzerinde çalışılmamıştır.
- Metodoloji ve uygulanabilirlik: Orman yangınlarında birçok kriter söz konusudur. Türkiye orman yangını üzerine etkisi olan kriterlerin önceliklendirilmesi çelişkiler ve belirsizlikler yer almaktadır. Bu sebeple, ileriye yönelik bir karar problemi dikkate alındığında nicel ve nitel veriler karar verme aşamasına birlikte dâhil edilmelidir. Bu nedenle aralık değeri Pisagor Bulanık dil ölçeği, karar verme modellerinde yaygın olarak kullanılan AHP tekniği ile bir araya getirilmiştir.

Bu amaçla olası bir yangın durumunda yararlı ve yararlı kriterlerle birlikte karmaşık oransal değerlendirilmesinden yararlanarak AAP tekniği uygulanmıştır. Ayrıca özel verileri nesnel verilere dönüştürebilen AHP yöntemi de uygulanmıştır.

Böylece tavsiye edilen modelin çok yönlülüğü ile literatürdeki boşluklar doldurulmuştur.

- Değerlendirme: Orman yangınlarının doğal afetlerdeki yeri, toplum açısından değerlendirildiğinde problemin çözümüne bakış açısı kazandıracaktır. Bu sebeple akademik araştırmalar dikkate alınarak orman yangınlarının meydana gelme sebebi tespit edilmesi konusunda önemlidir. Dolayısıyla uygulamada doğrudan yer alan etkenler ile dolaylı olarak uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Bu bağlamda, tavsiye edilen yaklaşımın doğrudan ve dolaylı faktörlerinin desteklenebilmesi için Pisagor bulanık kümeler kullanılmıştır.

#### 4. YÖNTEMLER (METHODS)

1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [4]. İnsan düşüncesinin karmaşıklığı ve belirsizliği arttığından bulanık kümeler ÇKKV problemleri için önemlidir. Atanassoy (1988), çoğu alanda Zadeh'in bulanık kümelerini [4], genişletebilmek için 1986'da üyelik derecesi ve üyelik olmama derecesi belirleyip sezgisel bulanık kümeler (IFS) teorisini ileri sürdü. Üyelik derecesi ve üyelik olmama derecesinin toplamı 1.0 olmak zorunda değildir. Bu yüzden toplamın sonucu 1.0 ile arasındaki mesafe, karar vericinin kararsızlık derecesidir [33]. IFS, gerçek dünya uygulamalarını yapabilmek için görüntü tanıma, karar verme ve tıbbi analiz gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [34]. Fakat karar alma aşamasında üye olmama ve üyelik derecelerinin toplamı 1.0'dan fazla olma ihtimali vardır. Bu durumda yöntemin yetersiz kaldığı görülmektedir. IFS sorunlarını önleyebilmek için [34], IFS'lerin genişletilmiş hali olan Pisagor bulanık kümeleri (PFS) açıkladı. Diğer bulanık kümeler, üyelik ve üye olmama derecelerinin toplamını en fazla 1.0 sonucu elde edilirken, PFS'ler ise kareler toplamının üyelik ve üye olmama dereceleri maksimum 1.0'a eşittir. Bu durumda, bu teori ile diğer bulanık kümelerin eksikliklerini ortadan kaldırır. Pisagor bulanık kümelerin farklı tanımları aşağıda açıklanmıştır.

##### 4.1. Pisagor Bulanık Kümeler

###### Tanım 1

X sonlu bir kümedir. Bir pisagor bulanık kümesi P (1) eşitliği ile gösterilir [34], [35].

$$P = \{(x, P(\mu_p(x), v_p(x))) \mid x \in X\} \quad (1)$$

$\mu_p: X \rightarrow [1,0]$  üyelik derecesidir.  $v_p: X \rightarrow [0,1]$  üye olmama derecesidir.  $x \in X$  için eşitlik (2)'de P kümesinin gösterir.

$$0 \leq (\mu_p(x))^2 + (v_p(x))^2 \leq 1 \quad (2)$$

Eşitlik 3'te x ile P arasındaki belirsizlik derecesi hesaplanır.

$$\pi_p(x) = \sqrt{1 - \mu_p^2(x) - v_p^2(x)} \quad (3)$$

Sadelik için, [35]  $P(\mu_p(x), v_p(x))$  ile Pisagor bulanık sayılar  $p=(\mu_p, v_p)$  ile gösterilir.

**Çizelge 2.** PBAHP dilbilimsel değerlendirme ölçeği (PBAHP linguistic assessment scale)

Dilsel Terim	Pisagor Bulanık Sayılar			
	$\mu_L$	$\mu_U$	$v_L$	$v_U$
Kesinlikle Düşük Önem	0	0	0.9	1
Çok Düşük Önem	0	0	0.8	0.9
Düşük Önem	0.2	0.35	0.65	0.8
Ortalama Önem Altında	0.35	0.45	0.55	0.65
Ortalama Önem	0.45	0.55	0.45	0.55
Ortalama Önem Üstünde	0.55	0.65	0.35	0.45
Yüksek Önem	0.65	0.8	0.2	0.35
Çok Yüksek Önem	0.8	0.9	0.1	0.2
Kesinlikle Yüksek Önem	0.9	1	0	0
Tam Eşit	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965

**Tanım 2**

$\beta = P(\mu_\beta, v_\beta)$ ,  $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$  ve  $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$  Üç adet Pisagor bulanık kümeler eşitlik 4'ten 7'ye bazı işlemler uygulanır [35].

$$\beta_1 \oplus \beta_2 = P(\sqrt{\mu_{\beta_1}^2 + \mu_{\beta_2}^2 - \mu_{\beta_1} \cdot \mu_{\beta_2}}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1} \cdot v_{\beta_2}}) \quad (4)$$

$$\beta_1 \otimes \beta_2 = P(\mu_{\beta_1} \cdot \mu_{\beta_2}, \sqrt{v_{\beta_1}^2 + v_{\beta_2}^2 - v_{\beta_1} \cdot v_{\beta_2}}) \quad (5)$$

$$\lambda \beta = P(1 - (1 - \mu_\beta^\lambda) \cdot (v_\beta)^\lambda, (v_\beta)^\lambda) \quad (6)$$

$$\beta^\lambda = P((\mu_\beta)^\lambda, 1 - (1 - v_\beta^\lambda) \cdot \lambda) \quad (7)$$

Eşitlik (8) ve (9) Pisagor bulanık kümeler karşılaştırmak için tanımlanmıştır [35].

**Tanım 3**

$\beta = P(\mu_\beta, v_\beta)$  bir Pisagor bulanık kümesidir. Eşitlik (8)'de  $\beta$  skor fonksiyonunu temsil eder [36].

$$s(\beta) = (\mu_\beta)2 - (v_\beta)2 \quad (8)$$

$\beta_1 = (\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$  ve  $\beta_2 = (\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$  iki adet Pisagor bulanık kümeleridir. Eğer  $s(\beta_1) > s(\beta_2)$ , sonra  $\beta_1 > \beta_2$ ; eğer  $s(\beta_1) = s(\beta_2)$ , sonra  $\beta_1 = \beta_2$ .

**Tanım 4**

Eşitlik (9)'da Pisagor bulanık kümeleri  $\beta_1 = P(\mu_{\beta_1}, v_{\beta_1})$  ve  $\beta_2 = P(\mu_{\beta_2}, v_{\beta_2})$  ise, aralarındaki bulanık Pisagor mesafesi (PFD)  $\beta_1$  ve  $\beta_2$  hesaplanır [35].

$$d_{PFD}(\beta_1, \beta_2) = \frac{1}{2} (|(\mu_{\beta_1})2 - (\mu_{\beta_2})2| + |(v_{\beta_1})2 - (v_{\beta_2})2| + |(\pi_{\beta_1})2 - (\pi_{\beta_2})2|) \quad (9)$$

**4.2. Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (PBAHP)**

PBAHP'nin aşamaları, bir önceki bölümde yer alan "Pisagor Bulanık kümeler ve notasyonları" ile ilgili tanımlar aşağıda açıklanmıştır.

**Aşama 1:** Güvenirliği ihlal edilmiş ikili karşılaştırma matrisi  $A = (a_{ik})_{m \times m}$  dilbilimsel değerlendirme ölçeği Çizelge 2'de sunulmuştur [36].

**Aşama 2:** Kriterlerin değerini bulanık sayıya indirgeyebilmek için iç çarpımsal matris oluşturulmalıdır. Öncelikle iç çarpımsal matrisi hesaplayabilmek için fark matrisi (D) kurulmalıdır. Fark matrisini  $D = (d_{ik})_{m \times m}$  eşitlik (10) ve (11) kullanılarak üyelik ve üyelik dışı fonksiyonlarının üst ve alt değerleri hesaplanır.

$$d_{ik_L} = \mu_{ik_U}^2 - v_{ik_U}^2 \quad (10)$$

$$d_{ik_U} = \mu_{ik_U}^2 - v_{ik_L}^2 \quad (11)$$

**Aşama 3:** Eşitlik (12) ve (13) kullanılarak  $S = (s_{ik})_{m \times m}$  aralık çarpım matrisi hesaplanır.

$$s_{ik_L} = \sqrt{1000^{d_L}} \quad (12)$$

$$s_{ik_U} = \sqrt{1000^{d_U}} \quad (13)$$

**Aşama 4:** Eşitlik (14) belirlilik değerinin matrisi oluşturulur.

$$\tau_{jk} = 1 - (\mu_{ik_U}^2 - \mu_{ik_L}^2) - (v_{ik_U}^2 - v_{ik_L}^2) \quad (14)$$

**Aşama 5:** Eşitlik (15) normalizasyondan önce ağırlık matrisi  $T = (t_{ik})_{m \times m}$  elde edilir ve belirlilik dereceleri  $S = (s_{ik})_{m \times m}$  ile çarpılır.

$$t_{ik} = \left( \frac{s_{ik_L} + s_{ik_U}}{2} \right) \tau_{ik} \quad (15)$$

**Aşama 6:** Eşitlik (16) normalleştirilmiş öncelik ağırlığı  $\omega_i$  hesaplanır.

$$\omega_i = \frac{\sum_{k=1}^m t_{ik}}{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m t_{ik}} \quad (16)$$

**4.3. Analitik Ağ Prosesi (AAP)**

AAP tekniğinin adımları aşağıda anlatılmıştır [37].

**Adım 1:** Karar problemi tanımlanır ve model oluşturulması

Karar problemi tanımlandıktan sonra amaç belirlenir. Ana ve alt kriterlerle birlikte alternatifler ne olarak ifade edilir.

**Adım 2:** Etkileşimlerin belirlenmesi

Kriterler arası ilişkilerin tespit edilir. İç ve dış bağılıklar varsa kriterlerin arasındaki geri bildirim ile ilişkilendirilir.

**Adım 3:** ikili karşılaştırma matrisi oluşturulması ve öncelik vektörünün hesaplanması

Karar vericiler tarafından skala değerleri kullanılarak karşılaştırmalar yapılır. Bir matris altında ikili karşılaştırmalar yapılır. Lokal öncelik vektörü,  $A.w = \lambda_{max} \cdot w$  çözülür. Bu çözümden öz vektör elde edilir. Dolayısıyla ikili karşılaştırma matrisi A, öz vektör w,  $\lambda_{max}$  ise A karşılaştırma matrisinin maksimum öz değerini ifade etmektedir. W yani öz vektörün yaklaşık çözümünü elde etmek için normalleştirme algoritması önerilmiştir.

**Adım 4:** tutarlılık analizi yapılması için karşılaştırma matrislerinin kullanılması

Karşılaştırmaların tutarlılığını belirlemek için, karşılaştırma matrisleri yapılır ve her matrisin tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. CR=CI/RI ile elde edilir. CR

değeri, 0.10'dan küçük ise ikili karşılaştırmalar tutarlıdır. Ancak değer 0.10'dan büyük ise ikili karşılaştırmalar tutarsızdır. Bu sonuçta karar vericiler karşılaştırmaları tekrar yapmalıdır [38].

#### Adım 5: Süper matrisin kurulması

Birbirleriyle bağımlı etkileşimlerin olduğu sistemde global önceliklerin bulunabilmesi için, lokal öncelik vektörleri süper matrisin kolonlarına yazılmalıdır. Süper matris, parçalıdır. Burada bulunan her matris bölümü bir sistemin içindeki iki faktör arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Süper Matris

$$w = \begin{matrix} \text{Hedef (H)} \\ \text{Kriterler (K)} \\ \text{Alternatifler} \end{matrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ W_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & W_{ij} & 0 \end{bmatrix}$$

Kriterlerin birbirleriyle etkileşimleri süper matrisin kuvveti alınarak hesaplanmaktadır. Önem ağırlıklarını bir noktada eşitleyebilmek için süper matrisin  $(2n+1)$  kuvveti alınmaktadır. Burada  $n$  rastgele seçilir ve büyük sayıdır. Bulunan yeni matris limit süper matris olarak adlandırılmaktadır.

#### Adım 6: Alternatif seçimi

Limit matris, alternatiflerin veya karşılaştırılması yapılan kriterlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir. Seçim probleminde maksimum ağırlığa sahip alternatif en iyidir, ağırlık probleminde ise maksimum ağırlığa sahip kriter en önemlidir [39; 40].

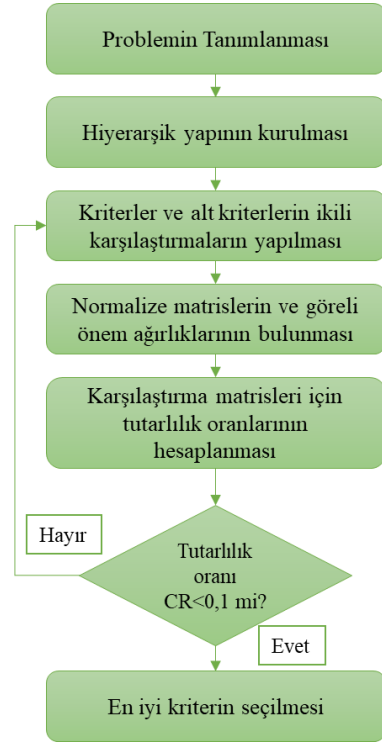
#### 4.4. Analitik Hiyerarşi Prosesi

AHP tekniği ÇKKV teknikleri arasında yer alır. Bu teknikte en başta bir amaç bulunmaktadır [41]. Amacın altında kriterler-alt kriterler-alternatiflerin bulunduğu hiyerarşik model vardır. Bu teknikle kriterlerin amaca katkısı hesaplanır [42]. Kriter-önem ağırlıkları, ikili karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları hesaplandıktan sonra tutarlılık oranı  $<0,1$  olmalıdır. Sonuç olarak, alternatifler arasında en iyi olanı seçilir. AHP tekniğinin adımları özet olarak Şekil 1'de sunulmuştur [43].

#### 5. UYGULAMA (THE CASE STUDY)

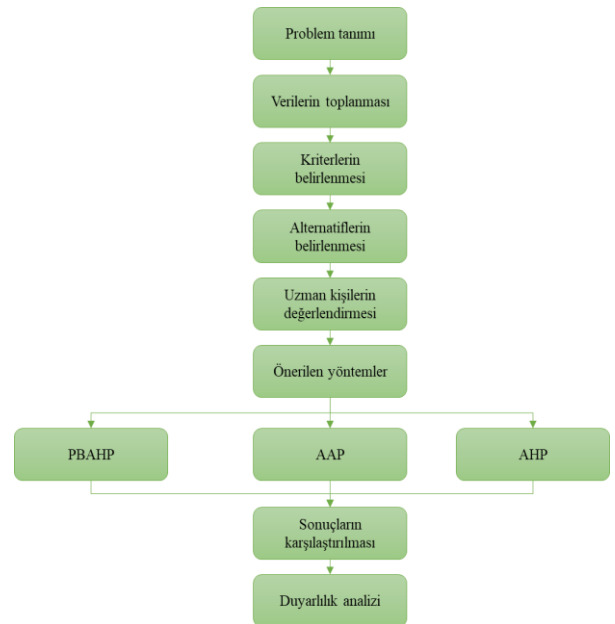
Bu çalışmada, belirsizlik altında orman yangınları açısından kriterlerin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amacı yapabilmek için çalışmanın uygulama aşamaları Şekil 2'de verilmiştir. Araştırma yapıldıktan sonra planlama ilk aşamada yer alır. Bu aşamanın önemi, orman yangınları dikkate alınarak belirlenmesidir.

Aşama 2'de, ÇKKV yaklaşımlarından PBAHP ve AAP yöntemlerini özetlemektedir. PBAHP yönteminin seçilme sebebi, uzman görüşündeki farklılıklar ve nitel görüşleri rasyonelleştirebilmektir. Ayrıca alt kriterler olmasından dolayı yerel ağırlıklar dikkate alınarak hesaplanmaktadır. ANP yöntemi, ana kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri ve yönleri belirleyerek ağ biçiminde çözümlenebilmektedir. AHP ise, nicel ve nitel değişkenleri birlikte inceleyen matematiksel yöntemdir.



Şekil 1. AHP tekniğinin adımları [44]. (Steps of the AHP technique)

Literatürdeki çalışmalar doğrultusunda orman yangınına duyarlı alanların belirlenmesi için AHP ve FAHP teknikleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır [45; 46]. Bu nedenle çalışma bilimsel açıdan anlam taşımaktadır. Aşama 3'te elde edilen sonuçların kararlılığını gözlemleyebilmek için duyarlılık analizi yer almaktadır. Aşağıda aşamaları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

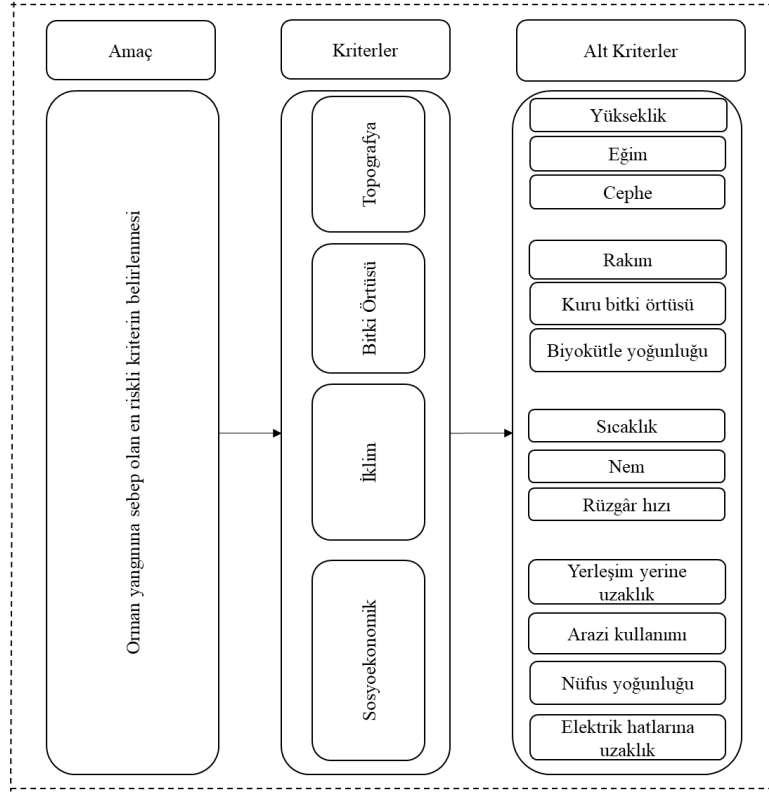


Şekil 2. Uygulama aşamaları (Application steps)



**Cizelge 4.** Kriterlerin açıklanması [47-51] (Explanation of criteria)

Kriterler	Kriterler	Açıklaması
Topografya K1	Yükseklik K11	Orman yangınları açısından önemli fizyolojik faktörlerden biridir. Örtü yanıcı maddeleri ile tepe yanıcı maddeleri arasındaki mesafe, tepe yangının başlamasında önemlidir. Tepe altı yüksekliği, bir ağaçtaki canlı dalın en alta bulunduğu nokta ile örtü yüzeyine olan uzaklığıdır. Ölü dallarla birlikte liken ve asılı yanıcı maddeleri de dikkate almıştır. Tüm bunların ışığında yangın yukarı eğimden başlayıp aşağıya hızla ilerler.
	Eğim K12	Yangınlar yüksekten aşağıya doğru daha hızlı yayılır. Bu nedenle eğimin orman yangını riskinde doğrusal bir ilişkisi vardır. Eğim arttıkça orman yangını riski de artmaktadır. Bu yüzden yangınlar da eğim iki konuda etkilidir. Bunlar yangının yönü ve yayılma oranıdır.
	Cephe K13	Hem doğu cephesi batı cephesinden hem de kuzey cephesi güney cephesinden daha fazla güneş ışığı alır. Bu yüzden doğu cephesi ve güney cephesi doğrudan ısınır. Güneş hem bitki örtüsünü hem de toprağı kurutur. Bu nedenle yangın olma olasılığı yüksektir.
Bitki örtüsü K2	Rakım K21	Sıfır metreden en uç rakıma kadar insanoğlu her yere yerleşmiş olsa da insan yaşamına daha uygun olarak 0-1.500 m aralığında bulunmaktadır. Bu yüzden rakıma göre bitki örtüsü yoğunluk ve çeşitlilik göstermektedir.
	Kuru bitki örtüsü K22	Bitki örtüsü orman yangınına sebep olabilir. Bitki örtüsünün, yoğunluğu, çeşidi, kapalılığı, karışımı ve gelişim çağları orman yangını riskini etkileyen parametreler arasında yer alır. Dolayısıyla ağaç türü, orman yangınlarının başlangıcını ve yangın davranışını belirleyen önemli bir etkidir. Özellikle kızılçam gibi iğne yapraklı ve kuru karakterdeki türler yangın için uygun koşulu oluşturmaktadır.
	Biyokütle yoğunluğu K23	Biyokütle kök, gövde, yaprak, kabuk ve dallardan oluşan bir ağacın oluşturduğu meşcerenin toplam ağırlığıdır. Dikili servet ise ormanın ölçüldüğü anda yaşayan ve üretim yapan belirli bir çapın üstündeki gövdelerin hacimlerinin toplamıdır. Bu iki açıklamadan yola çıkıldığında çalışma alanında biyokütle miktarı ne kadar fazla ise yangın olasılığı o kadar fazladır.
İklim K3	Sıcaklık K31	40 °C'nin üzerindeki hava sıcaklığı ile nispi nemin %20'nin altına düştüğü hava koşullarında orman yangını olasılığı yüksektir. Bu şartlarda ortaya çıkan orman yangınları rüzgârın da etkisiyle çok hızlı yayılabilir ve kontrol altına alınması güçleşir. Tüm bunların ışığında hava sıcaklığı dikkat edilmesi gereken önemli bir parametredir.
	Nem K32	Yanıcı madde içerisindeki nem, yangının başlamasına sebep olabilir. Tutuşma esnasında ısıyı azaltarak yanıcı madde daha fazla ısıya ihtiyaç duymaktadır. Tepe tabakasındaki yanıcı maddelerin nem içeriği, konvektif ısı transferini ve alevin gelişimini azaltmaktadır. Bu nedenle iğne yapraklı ağaç ibreleri üzerinde yapılan çalışmanın sonuçlarında ibrelerin sahip olduğu faklı nem içeriğinden dolayı enerji veya ısıya ihtiyaç duyulduğu gözlemlenmiştir. Yaprığın nem içeriği tepe yangının başlamasında tepe altı yüksekliğinden daha az etkiye sahiptir. Ancak teorik açıdan tepe yangını yayılma oranının üzerinde yaprak nem içeriğinin güçlü bir etkisi vardır.
	Rüzgâr hızı K33	Orman yangının büyümesine neden olan rüzgârın hızı ve yönüdür. 3.0 m/sn ve 8.8 m/sn aralığında esen rüzgâr genellikle büyük orman yangınına sebep olmaktadır.
Sosyoekonomik K4	Yerleşim Yerine Uzaklık K41	Yerleşim yerlerindeki insanların faaliyeti orman yangını riskini arttırmaktadır. Orman yangınına en riskli 0-50 m aralığı olduğu görülmektedir. 50-200 m arası ikinci derece riskli yerler olarak belirlenmiştir.
	Arazi kullanımı K42	Orman yangınına sebep olan faaliyetler tarım bölgelerinde yapılan kazalar ve dikkatsizliktir. Her yıl ormanlık bölgeye geçmeden söndürülebilen ziraat yangınları bulunmaktadır. Bahçe temizlenmesi, anız yakılması gibi durumlar tarımsal nedenli orman yangınlarıdır.
	Nüfus yoğunluğu K43	Ormana yakın bölgede nüfus yoğunluğu ne kadar yüksek olursa yağın çıkma olasılığı o kadar yüksek olur.
	Elektrik hatlarına uzaklık K44	Türkiye'de köylerin birçoğu orman içerisinde yer almaktadır. Bunun yanı sıra il ve ilçe arasında elektrik hatları Türkiye'de mülkiyet problemleri sebebiyle ormanlık alanlardan geçirilmektedir. Bu elektrik hatlarının bakımından enerji dağıtım şirketleri mükelleftir. Ancak hatların geçtiği güzergâhların bakımsızlığından dolayı orman yangını ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. Hiyerarşik yapı (Hierarchical structure)

Çizelge 3. Uzman ekibin bilgileri (Expert team information)

Uzman No	Menfaat Sahibi	Müdürlükler
U1	Ağaçlandırma Daire Başkanlığı	Ağaçlandırma Etüt ve Proje Müdürlüğü
U2		Ağaçlandırma Şube Müdürlüğü
U3		Planlama ve Değerlendirme Şube Müdürlüğü
U4		Özel Ağaçlandırma Şube Müdürlüğü
U5	Ekosistem Hizmetleri Daire Başkanlığı	Bitkisel Ürünler Şube Müdürlüğü
U6		Ekosistem Hizmetleri Şube Müdürlüğü
U7		Orman Biyolojik Çeşitliliği Şube Müdürlüğü
U8		Mesire Yerleri Şube Müdürlüğü
U9	Orman İdaresi ve Planlama Dairesi	Orman İdaresi Şube Müdürlüğü
U10		Takip ve Kontrol Şube Müdürlüğü

### 5.1. Verilerin Toplanması

Orman yangını meydana gelmeden önce önemli kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yüzden uzman görüşlerindeki farklılıklar ve nitel görüşlerin rasyonelleştirilmesi ortaya çıkıyor. Bu sebeple bu çalışmada orman yangınları konusunda 10 uzman karar verici ve literatür ile yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3'te uzman ekip hakkında bilgiler sunulmuş, gizlilik sebebiyle kimlikleri açıklanmamış ve U1, U2, U3,...,U10 olarak verilmiştir. Görüşmeler sonucunda orman yangınlarına etkili olabilecek kriterler dört grup olan topografya, bitki örtüsü, iklim ve sosyoekonomik olarak tespit edilmiştir. Bu aşamada literatürdeki çalışmalar ile orman yangınına sebep olacak kriter tanımları Çizelge 4'te sunulmuştur.

### 5.2. Önerilen Yöntem

Tavsiye edilen modelde, dört ana kriter (Topografya (K1), Bitki Örtüsü (K2), İklim (K3) Ve Sosyoekonomik (K4)) Ve On Üç Alt Kriter (Yükseklik (K11), Eğim (K12), Cephe (K13), Rakım (K21), Kuru Bitki Örtüsü (K22), Biyokütle Yoğunluğu (K23), Sıcaklık (K31), Nem (K32), Rüzgar Hızı (K33), Yerleşim Yerlerine Uzaklık (K41), Arazi Kullanımı (K42), Nüfus Yoğunluğu (K43), Elektrik Hatlarına Uzaklık (K44)) yer almaktadır. Bu yüzden orman yangınlarına dolaylı ya da doğrudan etkili olabilecek 10 uzman kişi ve literatür de yer alan kriterler incelenerek tavsiye edilen modelin hiyerarşik karar yapısı Şekil 3'te sunulmuştur.

### 5.3. PBAHP Yönteminden Elde Edilen Sıralama

Orman yangınlarına sebep olabilecek kriterlerin değerlendirilmesinde 10 uzman kişinin görüşleri dikkate alınmıştır. Uzman gruptan her bir kriterin önem

**Çizelge 5.** Uzman görüşü ile oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi (Pairwise comparison matrix created with expert opinion)

Kriter No	Pisagor bulanık sayılar: {[üyelik derecesi],[üye olmama derecesi]} {[ $\mu_L, \mu_U$ ],[ $v_L, v_L$ ]}			
	K1	K2	K3	K4
K1	{[0.197,0.197], [0.197,0.197]}	{[0.620,0.740], [0.260,0.380]}	{[0.605,0.740], [0.260,0.395]}	{[0.460,0.575], [0.425,0.540]}
K2	{[0.495,0.610], [0.390,0.505]}	{[0.197,0.197], [0.197,0.197]}	{[0.595,0.710], [0.290,0.405]}	{[0.680,0.795], [0.205,0.320]}
K3	{[0.667,0.794], [0.206,0.333]}	{[0.530,0.645], [0.355,0.470]}	{[0.197,0.197], [0.197,0.197]}	{[0.620,0.735], [0.265,0.380]}
K4	{[0.470,0.590], [0.410,0.530]}	{[0.485,0.600], [0.400,0.515]}	{[0.460,0.575], [0.425,0.540]}	{[0.197,0.197], [0.197,0.197]}

Kriter	Yerel ağırlık	Sıralama	Küresel ağırlık	Sıralama
<b>K1</b>	<b>0,2508</b>			
K11	0,2915	2	0,0731	7
K12	0,2206	3	0,0553	8
K13	0,4879	1	0,1224	2
<b>K2</b>	<b>0,2977</b>			
K21	0,2823	3	0,0840	6
K22	0,3971	1	0,1182	3
K23	0,3206	2	0,0955	5
<b>K3</b>	<b>0,3148</b>			
K31	0,1458	3	0,0459	9
K32	0,5120	1	0,1612	1
K33	0,3423	2	0,1077	4
<b>K4</b>	<b>0,1366</b>			
K41	0,2163	4	0,0295	13
K42	0,2537	2	0,0347	11
K43	0,2390	3	0,0327	12
K44	0,2910	1	0,0398	10

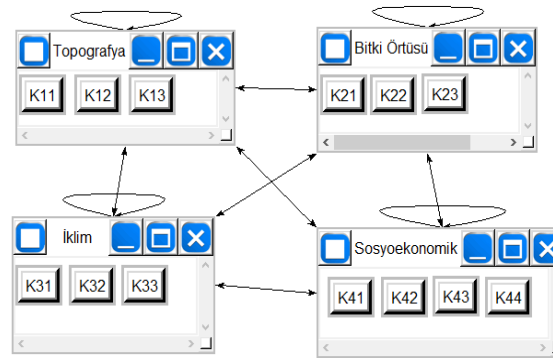
**Çizelge 6.** Kriterlerin PBAHP yöntemi ile ağırlıklarının hesaplanması (Calculating the weights of the criteria with the PBAHP method)

dereceleri göre ikili karşılaştırma matrisi oluşturmaları istenmiştir. Bu değerlendirmeler Çizelge 2’de sunulan dil terimleri aracılığıyla yapılmıştır. Bununla birlikte, Çizelge 2’de sunulan dil terimlerine denk gelen aralık değerleri Pisagor bulanık sayıları ile ifade edilmiştir. Bu değerlendirmenin puanlama aşamasındaki öznel ayırım, bölüm 4.2. içerisinde bulunan 1. aşamada açıklandığı gibi, ikili karşılaştırma matrisine dönüştürülmüştür. Ana kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5’te sunulmuştur. Uzman kişilerden elde edilen görüşler ve fark matrisi (D), PBAHP yönteminin aşamalarındaki aralık çarpım matrisi (S), belirleyici değer matrisi (T) ve normalleştirilmemiş ağırlık matrisi (t) sırası ile hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bölüm 4.2.’de eşitlik (16)’da kriterlerin normalleştirilmiş öncelik ağırlık hesaplaması verilmiştir. Çizelge 6’da PBAHP ile kriter ağırlıkları ve sıralaması verilmiştir.

#### 5.4. AAP Yönteminden Elde Edilen Sıralama

Literatürdeki çalışmalar ve 10 uzman kişinin görüşleri göz önüne alınmıştır. Bununla birlikte orman yangınına sebep olan kriterlerin önceliğinin belirlenmesi ve Çizelge 4’te detaylı olarak kriterlerin ilişkileri, etkileşimleri ve bağımlılıkları Şekil 5’te ağ yapısı sunulmuştur.

Kriterlerin ağırlıklarının (önem dereceleri) tespit edilmesi için Şekil 5’te ağ yapısı verilen kriterlerin birbirleri ile etkileşimleri dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrisi kurulmuştur. Hesaplanan kriterler ağırlıkları Çizelge 7’de verilmiştir.

**Şekil 5.** Ağ yapısı (Network structure)

Kriter	Yerel ağırlık	Sıralama	Küresel ağırlık	Sıralama
<b>K1</b>	<b>0,2671</b>			
K11	0,2749	3	0,07342579	7
K12	0,2931	2	0,07828701	6
K13	0,432	1	0,1153872	2
<b>K2</b>	<b>0,2886</b>			
K21	0,2521	3	0,07275606	8
K22	0,3956	1	0,11417016	3
K23	0,3117	2	0,08995662	5
<b>K3</b>	<b>0,3042</b>			
K31	0,1688	3	0,05134896	9
K32	0,4762	1	0,14486004	1
K33	0,355	2	0,107991	4
<b>K4</b>	<b>0,1401</b>			
K41	0,2568	3	0,03597768	12
K42	0,2647	2	0,03708447	11
K43	0,1973	4	0,02764173	13
K44	0,2812	1	0,03939612	10

**Çizelge 7.** Kriterlerin AAP yöntemi ile ağırlıklarının hesaplanması (Calculating the weights of the criteria with the AAP method)

#### 5.5 AHP Yönteminden Elde Edilen Sıralama

Uzman kişilerin görüşleri ile orman yangınına sebep olan kriterler değerlendirilmiştir. Her uzman kişi ikili karşılaştırma matrisi oluşturmuştur. Bu değerlendirmeler AHP tekniğinin tercih ölçeği aracılığıyla yapılmıştır. Çizelge 8’de AHP tekniği ile kriter ağırlıkları ve sıralaması sunulmuştur.

#### 5.6 Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi sayesinde modelin iyi olmasını sağlamanın yanında önerilen yaklaşımın geçerliliği ve doğruluğunu sorgulayabilir [52]. Bundan dolayı orman yangınlarından gereken tedbirleri alabilmek ve riskli

Kriter	Yerel ağırlık	Sıralama	Üresel ağırlık	Sıralama
<b>K1</b>	<b>0,1653</b>			
K11	0,2721	2	0,0450	8
K12	0,1199	3	0,0198	11
K13	0,6080	1	0,1005	4
<b>K2</b>	<b>0,2550</b>			
K21	0,0869	3	0,0222	10
K22	0,6393	1	0,1630	2
K23	0,2737	2	0,0698	5
<b>K3</b>	<b>0,4715</b>			
K31	0,0964	3	0,0455	7
K32	0,6194	1	0,2920	1
K33	0,2842	2	0,1340	3
<b>K4</b>	<b>0,1083</b>			
K41	0,0535	4	0,0058	13
K42	0,2593	2	0,0281	9
K43	0,1194	3	0,0129	12
K44	0,5678	1	0,0615	6

**Çizelge 8.** Kriterlerin AHP yöntemi ile ağırlıklarının hesaplanması (Calculating the weights of the criteria with the AHP method)

kriterleri belirleyebilmek için duyarlılık analizinden yararlanılmıştır. Buradaki amaç, göreceli kriter ağırlıklarından istikrarlı bir sıralama elde etmektir. Bu amaç doğrultusunda bu çalışmada, orman yangınında riskli kriterlerin değerlendirilmesinde elde edilen yaklaşıma duyarlılık analizi uygulanmıştır. PBAHP yönteminden elde edilen kriterlerin sıralaması K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41 şeklinde ve sıralama ikili olarak değiştirilmektedir. Bu durum Çizelge 6’da sunulmuştur. Bu nedenle 13 kriterin ikili kombinasyonundan 78 senaryo elde edilmiştir. Bu senaryoların özeti Çizelge 9’da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde genel olarak kriterlerin sıralamasına bakılmaksızın, nem, cephe ve kuru bitki örtüsü yer almaktadır. Bu durum orman yangınına riskli etkenler olarak ifade edilmektedir. Böylece yerleşim yerine uzaklık ve nüfus yoğunluğu kriterleri orman yangını açısından düşük olasılığa sahiptir. Kalan 8 kriter ise mevcut kriter sıralamasından farklı sıralamaya sahiptir. Ancak rüzgâr hızı 78 senaryodan 50’inde

**Çizelge 9.** Duyarlılık analizi sonucunda kriterlerin sıralaması (Ranking of criteria as a result of Sensitivity analysis)

Senaryolar No.	Kriterlerin sıralaması	Çözüm
1	K11-K12	K32
2	K11-K13	K32
3	K11-K21	K32
4	K11-K22	K32
5	K11-K23	K32
6	K11-K31	K32
7	K11-K32	K11
8	K11-K33	K32
9	K11-K41	K32
10	K11-K42	K32
11	K11-K43	K32
12	K11-K44	K32
13	K12-K13	K32
14	K12-K21	K32
15	K12-K22	K32
16	K12-K23	K32
17	K12-K31	K32
18	K12-K32	K12
19	K12-K33	K32
20	K12-K41	K32
21	K12-K42	K32
22	K12-K43	K32
23	K12-K44	K32
24	K13-K21	K32
25	K13-K22	K32
26	K13-K23	K32
27	K13-K31	K32
28	K13-K32	K32
29	K13-K33	K32
30	K13-K41	K32
31	K13-K42	K32
32	K13-K43	K32
33	K13-K44	K32
34	K21-K22	K32
35	K21-K23	K32
36	K21-K31	K32
37	K21-K32	K21
38	K21-K33	K32

**Çizelge 9.** (Devamı)

Senaryolar No.	Kriterlerin sıralaması	Çözüm
39	K21-K41	K32-K13-K22-K33-K23-K11-K21-K12-K31-K44-K41-K42-K43
40	K21-K42	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
41	K21-K43	K32-K13-K22-K33-K23-K11-K21-K12-K31-K44-K43-K42-K41
42	K21-K44	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
43	K22-K23	K32-K13-K23-K33-K22-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
44	K22-K31	K32-K31-K13-K33-K23-K21-K11-K12-K22-K44-K42-K43-K41
45	K22-K32	K21-K32-K13-K22-K33-K23-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
46	K22-K33	K32-K33-K13-K22-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
47	K22-K41	K32-K13-K33-K23-K21-K11-K22-K12-K41-K31-K44-K42-K43
48	K22-K42	K32-K13-K33-K23-K21-K22-K11-K12-K42-K31-K44-K43-K41
49	K22-K43	K32-K13-K33-K23-K21-K11-K22-K12-K43-K31-K44-K42-K41
50	K22-K44	K32-K13-K33-K23-K22-K21-K11-K12-K44-K31-K42-K43-K41
51	K23-K31	K32-K13-K22-K33-K31-K21-K11-K12-K23-K44-K42-K43-K41
52	K23-K32	K23-K13-K22-K33-K32-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
53	K23-K33	K32-K13-K22-K23-K33-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
54	K23-K41	K32-K13-K22-K33-K21-K11-K23-K12-K31-K41-K44-K42-K43
55	K23-K42	K32-K13-K22-K33-K21-K23-K11-K12-K31-K42-K44-K43-K41
56	K23-K43	K32-K13-K22-K33-K21-K11-K23-K12-K31-K43-K44-K42-K41
57	K23-K44	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
58	K31-K32	K31-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K32-K44-K42-K43-K41
59	K31-K33	K32-K13-K22-K31-K23-K21-K11-K12-K33-K44-K42-K43-K41
60	K31-K41	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K31-K12-K44-K42-K43-K41
61	K31-K42	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K31-K11-K12-K44-K43-K41-K42
62	K31-K43	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K31-K11-K12-K44-K42-K41-K43
63	K31-K44	K32-K13-K22-K33-K23-K31-K21-K11-K12-K42-K43-K41-K44
64	K32-K33	K33-K13-K22-K32-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K43-K41
65	K32-K41	K13-K22-K33-K23-K21-K11-K41-K32-K12-K31-K44-K42-K43
66	K32-K42	K13-K22-K33-K23-K21-K32-K11-K42-K12-K31-K44-K43-K41
67	K32-K43	K13-K22-K33-K23-K21-K32-K11-K43-K12-K31-K44-K42-K41
68	K32-K44	K13-K22-K33-K23-K32-K21-K11-K44-K12-K31-K42-K43-K41
69	K33-K41	K32-K13-K22-K23-K21-K11-K33-K12-K41-K31-K44-K42-K43
70	K33-K42	K32-K13-K22-K23-K21-K33-K11-K12-K42-K31-K44-K43-K41
71	K33-K43	K32-K13-K22-K23-K21-K33-K11-K12-K43-K31-K44-K42-K41
72	K33-K44	K32-K13-K22-K23-K33-K21-K11-K12-K44-K31-K42-K43-K41
73	K41-K42	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K41-K43-K42
74	K41-K43	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K42-K41-K43
75	K41-K44	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K41-K42-K43-K44
76	K42-K43	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K44-K43-K42-K41
77	K42-K44	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K42-K44-K43-K41
78	K43-K44	K32-K13-K22-K33-K23-K21-K11-K12-K31-K43-K42-K44-K41

orman yangını açısından riskli dördüncü sırada yer almaktadır.

Kriter ağırlığı en yüksek olan nem ve kriter ağırlığı en düşük olan yerleşim yerine uzaklık yer değiştirdiğinde tüm kriterlerin yerinde değişiklik olmaktadır. Kriter ağırlıkları birbirine yakın olan yükseklik ve yerleşim yerine uzaklık yer değiştirdiğinde yerleşim yerine uzaklık, arazi kullanımı, nüfus yoğunluğu ve elektrik hatlarına uzaklık kriterlerin yerlerinde değişiklik olmuştur.

Bu çalışma birbirine yakın kriterlerin seçildiğinden dolayı önerilen yaklaşım güvenilirdir. Böylece elde edilen sonuçlar güvenilir olduğu görülmektedir.

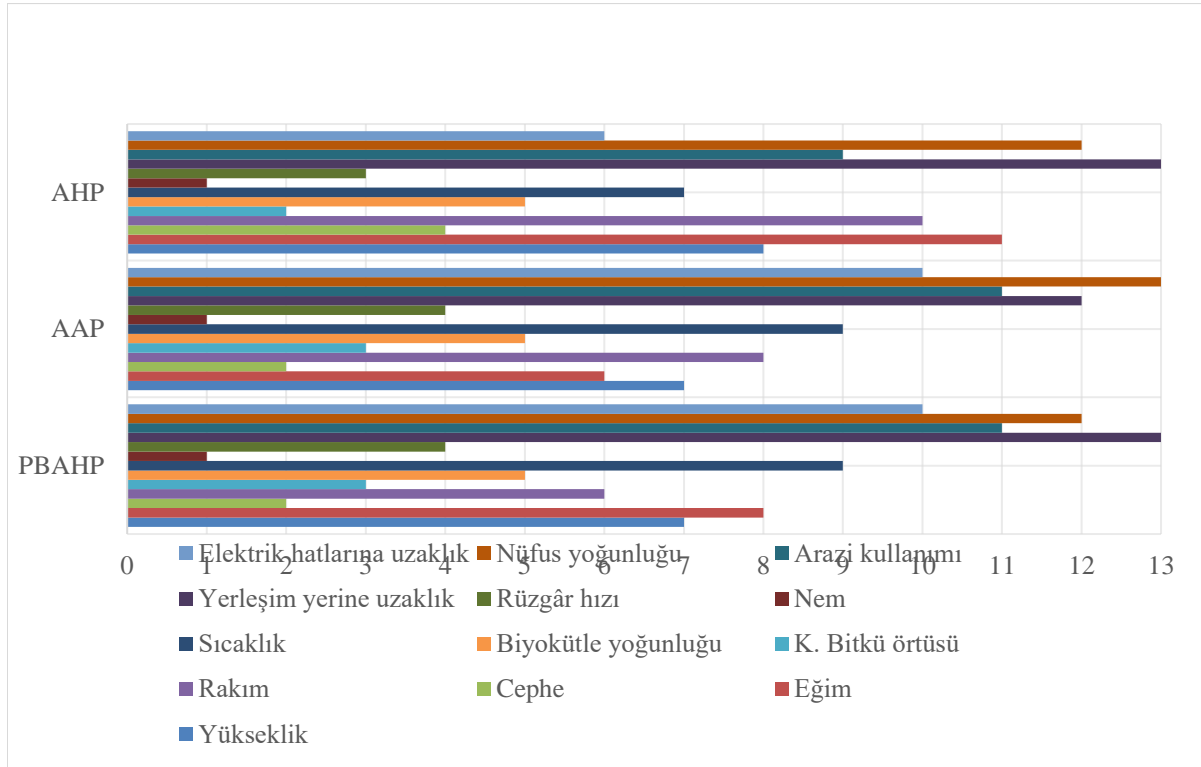
## 6. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Bu çalışmada önerilen hibrit model PBAHP, AAP ve AHP yöntemlerinden üç farklı sıralama elde edilip karşılaştırması yapılmıştır. Orman yangınına sebep olan kriterlerin değerlendirmesi dil ölçeği ve tercih ölçeği ile

yapılmıştır. Bu dil ölçeği ve tercih ölçeği hesaplaması ile karar vericiye geniş bir alan sunulmuştur. Uzman ekip kriterleri değerlendirirken, bu dil ve tercih ölçeğinden yararlanılması istenmiştir. İkinci çalışma AAP yöntemi ile kriterlerin sıralamasının elde edilmesidir. Üçüncü çalışma ise AHP yöntemi ile sıralama bulunmuştur. Bu üç yöntemin tercih edilmesinin sebebi, ana kriterleri kendi arasında kriter ağırlıkları elde edildikten sonra alt kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasıdır.

Elde edilen karşılaştırma Şekil 8'de gösterilmiştir.

Karşılaştırma; nem, cephe, kuru bitki örtüsü ve rüzgâr hızı orman yangınına etkili kriter olarak görülmektedir. AHP tekniğinde kuru bitki örtüsünün ve rüzgâr hızının sıralamadaki değişik tercih ölçeğinden dolayıdır. Aynı zamanda, belirlenen kriterlerin zaten orman yangınlarına en fazla etki edenler arasından seçilmiş olmasıyla açıklanmaktadır. Ayrıca topografyanın alt kriteri olan eğim ve rakım, sosyoekonomiğin alt kriteri olan yerleşim yerine uzaklık ve nüfus yoğunluğunun sıralamasındaki



Şekil 8. Sonuçların karşılaştırılması (Comparison of results)

değişiklik kabul edilebilirdir. Çünkü orman yangınına sebep olan en önemli kriterler dikkate alınmıştır.

## 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Ormanların büyük bir bölümünü yangınlar yok etmektedir. Orman yangını verilerine göre 1937 ile 2003 yılları arasında Türkiye’de yaklaşık olarak 1,6 milyar hektar yanmış, 2020 yılından beri bu sayısı yaklaşık 1,8 milyar hektar olarak artmıştır. Bütün bu veriler dikkate alınarak orman yangınına sebep olan kriterlerin belirlenmesi önemlidir [2]. Bu nedenle orman yangınlarına sebep olan kriterlerin değerlendirilmesi, karmaşık ve belirsizlik içeren karar problemidir. Orman yangınları meydana gelmeden önce gereken önlemleri alabilmek için bu problem çok boyutlu olarak değerlendirilip çözümlenmelidir. Bundan dolayı bu çalışmada önerilen model orman yangınlarının değerlendirmesi 3 boyutta incelenmiştir: orman yangınına dolaylı ve doğrudan etkili olan uzmanların görüşünün alınması (1), yangın risk durumu, çelişkili ve belirsizlik içeren kriterler, iklim koşulları ve topografya özellikleri dikkate alınarak bulanık ortamda değerlendirilmesi (2), elde edilen sonuçlar kıyaslanarak incelenip güçlü ve tutarlı bir durum oluşturmak (3).

Bu çalışmada orman yangınına çıkmasına en riskli nem olduğu bulunmuştur. Nem azlığından dolayı orman yangını çıkma olasılığı yüksektir ve buna rüzgâr hızının eklenmesi yangının büyümesine sebep olabilir. Dolayısıyla olası bir yangın büyük felaketlere yol alabilir. Bununla birlikte önerilen modeli içeren diğer yöntemlerle yapılan kıyaslamalar, duyarlılık analizi

sonucu ve uzman kişilerin görüşlerine göre nem ilk sırada bulunmaktadır (Şekil 8). Bu kriteri takip eden cephe, kuru bitki örtüsü ve rüzgâr hızıdır. Orman yangını olasılığı nem kriterinin ağırlığının daha fazla olduğu için bu kriterlerin onu takip etmektedir. Bu durum, önerilen modelde bu şekilde yer alması gerçek hayatla tutarlı olduğunu ifade etmektedir. Devamında biyokütle yoğunluğu, eğim, yükseklik, rakım, sıcaklık, elektrik hatlarına uzaklık, arazi kullanımı, yerleşim yerine uzaklık ve nüfus yoğunluğu yer almaktadır (Şekil 8).

Uzman kişilerin deneyimleri ve değerlendirmeleri sonucunda, önerilen modelin kıyaslama ve duyarlılık analizi ile sıradan bulanık kümeler yerine karar vermede daha etkili olan Pisagor bulanık kümelerin orman yangını riskinin değerlendirilmesinde kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir. Önerilen model orman yangını sebep olan kriterlerin sıralaması elde edilmesinin yanında karşılaştırmada yapılabileceğini göstermiş ve gerçek hayatla tutarlı sonuçlar bulunduğunu ispatlamıştır.

Çalışmanın katkısı orman yangınına en fazla nem etkili olduğu görülmektedir. Bu durumda herhangi bir bölgede nem oranı azaldığında orada orman yangını çıkabileceğinden dolayı gerekli önlemler alınmalıdır. Buna rağmen kavramsal açıdan bazı güçlükler ortaya çıkmıştır. Bunlar özellikle insanların ihmalkarlığından dolayı yangına sebep olmaktadır. Bu nedenle, gereken önlemlerin alınmasının yanında insanların bilinçlendirilmesi önemlidir.

Akademik olarak bütün soru işaretlerini ortadan kaldırıp gelecekte yapılacak çalışmalara kritik tavsiyeler yapılmıştır. İlk olarak karar verme çalışmaları uzman görüşü ile desteklenmelidir. Bu durum dikkate

alındığında, bulanık çerçevede göz ardı edilemeyecek olan Küresel, Nötrozofik ve Kararsız bulanık kümelerin kullanılması kaçınılmazdır. Buna ilaveten, dünya çapındaki orman yangını verileri gözlemlenir. Bunun sonucunda fizibilite ve mühendislik kaygıları ortadan kaldırılabılır. Ayrıca bir ilin ya da bölgenin orman yangını risk değerlendirmesi üzerinde çalışılabilir. Bunun yanında mevcut kaynakların etkin bir şekilde kullanılması için optimizasyon çalışması yapılabilir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Burcu TEZCAN:** Bilimsel yayın araştırması, verilerin toplanması ve düzenlenmesi, yöntemin uygulanması ve makalenin oluşturulması

**Tamer EREN:** Kullanılan yöntemin belirlenmesi, bilimsel araştırma yeterliliği, yöntemlerin uygunluğu, uygulama süreç incelemesi ve makalenin genel incelemesi

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] <https://www.wri.org/>, "WRI, Dünya Kaynakları Enstitüsü", (2022).
- [2] Alkayış, M. H., Karşoğlu, A., ve Onur, M. İ. "Muğla ili Menteşe yöresi orman yangını risk potansiyeli haritasının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi.", *Geomatik*, 7(1): 10-16, (2022).
- [3] <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler>, "Tarım ve Orman Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü", (2020).
- [4] Zadeh, L. A. "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility.", *Fuzzy sets and systems*, 100, 9-34, (1999).
- [5] Yager, R. R. "Pythagorean membership grades in multicriteria decision making.", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(4): 958-965, (2013).
- [6] Şahin K., "Orman Yangınlarının İnternet Ortamında İnteraktif Olarak Sunumu.", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 74, (2006).
- [7] Yıldızlı E., S., "Orman Yangınlarında Organizasyon ve Karar Destek Sistemleri.", *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 103, (2013).
- [8] Hacısalihoğlu M., "Çok Kriterli Karar Analizi ile Orman Yangını Risk Haritalarının Oluşturulması: Karabük örneği." *Yüksek lisans tezi*, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, (2018).
- [9] Tezcan, B., Alakaş, H. M., Özcan, E. ve Eren, T., "Afet Sonrası Geçici Depo Yeri Seçimi Ve Çok Araçlı Araç

- Rotalama Uygulaması: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama.", *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021), basımda.
- [10] Nursena, O., Yapıcı, S., Yumuşak, R., Eren, T., "Pandemi Sürecinde Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi için İlaç Deposu ve Aşı Dağıtım Merkezi Yeri Seçimi.", *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021), basımda.
- [11] Akıncı, B. N., Danişan, T., Eren, T., "Obezite Hastaları İçin Giyilebilir Teknolojilerin Çkqv Yöntemleri ile Seçimi", *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021), basımda.
- [12] Hashjin, S. S., Milaghardan, A. H., Esmaily, A., Mojaradi, B. and Naseri, F. "Forest fire hazard modeling using hybrid AHP and fuzzy AHP methods using MODIS sensor.", *In 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 931-934. IEEE, (2012).
- [13] Eskandari, S., Ghadikolaei, J. O., Jalilvand, H. and Saradjian, M. R. "Detection of fire high-risk areas in northern forests of Iran using Dong model.", *World Applied Sciences Journal*, 27(6): 770-773, (2013).
- [14] Thakur, A. K. and Singh, D. "Forest Fire Risk Zonation Using Geospatial Techniques and Analytic Hierarchy Process in Dehradun District, Uttarakhand, India.", *Universal Journal of Environmental Research & Technology*, 4(2): 82-89, (2014).
- [15] Feizizadeh, B., Omrani, K. and Aghdam, F. B. "Fuzzy analytical hierarchical process and spatially explicit uncertainty analysis approach for multiple forest fire risk mapping.", *Giforum*, 1: 72-80, (2015).
- [16] Semeraro, T., Mastroleo, G., Aretano, R., Facchinetti, G., Zurlini, G. and Petrosillo, I. "GIS Fuzzy Expert System for the assessment of ecosystems vulnerability to fire in managing Mediterranean natural protected areas.", *Journal of Environmental Management*, 168: 94-103, (2016).
- [17] Pourghasemi, H. R., Beheshtirad, M. and Pradhan, B. "A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping.", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(2): 861-885, (2016).
- [18] Leal, B. E., Hirakawa, A. R. and Pereira, T. D. "Onboard fuzzy logic approach to active fire detection in Brazilian amazon forest.", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 52(2): 883-890, (2016).
- [19] Eskandari, S. "A new approach for forest fire risk modeling using fuzzy AHP and GIS in Hyrcanian forests of Iran.", *Arabian Journal of Geosciences*, 10(8): 1-13, (2017).
- [20] Van, T. T., Tien, T. V., Toi, N. D. L. and Bao, H. D. X. "Risk of Climate Change Impacts on Drought and Forest Fire Based on Spatial Analysis and Satellite Data.", *In Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, 2(5): 189, (2018).
- [21] Ljubomir, G., Pamučar, D., Drobnjak, S. and Pourghasemi, H. R. "Modeling the spatial variability of forest fire susceptibility using geographical information systems and the analytical hierarchy process.", *In Spatial modeling in GIS and R for earth and environmental sciences*, 337-369, (2019).
- [22] Naderpour, M., Rizeei, H. M., Khakzad, N. and Pradhan, B. "Forest fire induced Natech risk assessment: A survey of geospatial technologies.", *Reliability Engineering & System Safety*, 191: 106558, (2019).
- [23] Sengar, A., Sharma, V., Agrawal, R., Dwivedi, A., Dwivedi, P., Joshi, K. and Barthwal, M. "Prioritization of barriers to energy generation using pine needles to

- mitigate climate change: Evidence from India.”, *Journal of Cleaner Production*, 275: 123840, (2020).
- [24] Asori, M., Emmanuel, D. and Dumedah, G. “Wildfire hazard and Risk modelling in the Northern regions of Ghana using GIS-based Multi-Criteria Decision Making Analysis.”, *Burns*, 10(11): 5-11, (2020).
- [25] Coban, H. and Erdin, C. “Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak forest enterprise, Turkey.”, *Applied Ecology and Environmental Research*, 18(1): 1567-1583, (2020).
- [26] Abedi Gheshlaghi, H., Feizizadeh, B. and Blaschke, T. “GIS-based forest fire risk mapping using the analytical network process and fuzzy logic.”, *Journal of Environmental Planning and Management*, 63(3): 481-499, (2020).
- [27] Van Hoang, T., Chou, T. Y., Fang, Y. M., Nguyen, N. T., Nguyen, Q. H., Xuan Canh, P. and Meadows, M. E. “Mapping forest fire risk and development of early warning system for NW Vietnam using AHP and MCA/GIS methods.”, *Applied Sciences*, 10(12): 4348, (2020).
- [28] Dang, A. T., Kumar, L., Reid, M. and Mutanga, O. “Fire danger assessment using geospatial modelling in Mekong delta, Vietnam: Effects on wetland resources.”, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 21: 100456, (2021).
- [29] Erdin, C. and Çağlar, M. “Rural Fire Risk Assessment in GIS Environment Using Fuzzy Logic and the AHP Approaches.”, *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(6): 1-14, (2021).
- [30] Sari, F. “Forest fire susceptibility mapping via multi-criteria decision analysis techniques for Mugla, Turkey: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS.”, *Forest Ecology and Management*, 480: 118644, (2021).
- [31] Tomar, J. S., Kranjčić, N., Đurin, B., Kanga, S. and Singh, S. K. “Forest fire hazards vulnerability and risk assessment in Sirmaur district forest of Himachal Pradesh (India): A geospatial approach.”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(7): 447, (2021).
- [32] Sivrikaya, F. and Küçük, Ö. “Modeling forest fire risk based on GIS-based analytical hierarchy process and statistical analysis in Mediterranean region.”, *Ecological Informatics*, 68: 101537, (2022).
- [33] Atanassov, K., “Review and new results on intuitionistic fuzzy sets.”, *preprint Im-MFAIS-1-88, Sofia*, 5(1): 7-16, (1988).
- [34] Rani, P., Mishra, A. R., Pardasani, K. R., Mardani, A., Liao, H. and Streimikiene, D. “A novel VIKOR approach based on entropy and divergence measures of Pythagorean fuzzy sets to evaluate renewable energy technologies in India.”, *Journal of Cleaner Production*, 238: 117936, (2019).
- [35] Yager, R. R. and Abbasov, A. M. “Pythagorean membership grades, complex numbers, and decision making.”, *International Journal of Intelligent Systems*, 28(5): 436-452, (2013).
- [36] Zhang, X. and Xu, Z. “Extension of TOPSIS to multiple criteria decision making with Pythagorean fuzzy sets.”, *International Journal of Intelligent Systems*, 29(12): 1061-1078, (2014).
- [37] Yaşar, S., Poyraz, Z., Yumuşak, R., Eren, T., ANP ve PROMETHEE Yöntemleri ile Akıllı Şehir Analizi: Ankara’da Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1): 15-28, (2022).
- [38] İlbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S., & Kahraman, C. “A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system.”, *Safety science*, 103: 124-136, (2018).
- [39] Taşkın, E., Gezik, N., Yumuşak, R., Eren, T., “Depo Yönetiminde Endüstri 4.0 Uygulaması: Bir İşletme için RFID Teknoloji Seçimi”, *Endüstri Mühendisliği*, 33(1): 194-211, (2022).
- [40] Saçan, B., Eren, T., “Dijital Pazarlama Strateji Seçimi: SWOT Analizi ve Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri”, *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021).
- [41] Budak S. N., “PROMETHEE ve ANP Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri: Anakara Sağlık Bakanlığı Hastanelerinde Uygulama”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2014.
- [42] Oral, N., Yumuşak, R., Eren, T., “AHP ve ANP Yöntemleri Kullanılarak Tehlikeli Madde Depo Yeri Seçimi: Kırıkkale İlinde Bir Uygulama”, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1): 115-124, (2021).
- [43] Yapıcı, S., Oral, N., Yumuşak, R., Eren, T., “Blokzincir Teknolojisi ile Merkezi ve Dağıtık Veri Tabanının Karşılaştırılması”, *Endüstri Mühendisliği*, 32(3): 457-472, (2021).
- [44] Deringöz, A., Danışan, T., Eren, T., “Covid-19 Takibinde Giyilebilir Sağlık Teknolojilerinin Çkqv Yöntemleri ile Değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021).
- [45] Kara, M., Ercan, Y., Yumuşak, R., Cürebal, A., Eren, T., “Yenilenebilir Hibrit Enerji Santrali Uygulamasında Tesis Yer Seçimi”, *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1): 208-227, (2022).
- [46] Ljubomir, G., Pamučar, D., Drobnjak, S., Pourghasemi, H. R. “Modeling The Spatial Variability of Forest Fire Susceptibility using Geographical Information Systems and The Analytical Hierarchy Process”, *In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, 337-369, Elsevier, (2019).
- [47] Hashjin, S. S., Milaghardan, A. H., Esmaeily, A., Mojaradi, B., Naseri, F. “Forest fire hazard modeling using hybrid AHP and fuzzy AHP methods using MODIS sensor.”, *In 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 931-934, IEEE, (2012).
- [48] Hwang, C. L. and Yoon, “Methods for multiple attribute decision making.”, *In Multiple attribute decision making*, 58-191, Springer, Berlin, Heidelberg, (1981).
- [49] Rothermel, R. C. “How to predict the spread and intensity of forest and range fires”, 143, US Department of Agriculture, Forest Service, *Intermountain Forest and Range Experiment Station*, (1983).
- [50] Tezcan, B., Eren, T., Özcan, E., Gür, Ş. “Bir tekstil işletmesinde çok ölçütlü karar verme yöntemleri ile personellerin değerlendirilmesi”, *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2): 1-20, (2019).
- [51] Tezcan, B., Özcan, N. A., Özcan, E., Eren, T. “Deprem Sonrası Mobil Hizmet Tesisi Seçim Problemi için Çok Kriterli Bir Karar Modeli Önerisi”. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(2): 753-763, (2020).
- [52] Shete, P. C., Ansari, Z. N. and Kant, R. “A Pythagorean fuzzy AHP approach and its application to evaluate the enablers of sustainable supply chain innovation.”, *Sustainable Production and Consumption*, 23: 77-93, (2020)