



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

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

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



# Hasar tespit çalışmalarında görevlendirilebilecek dronların Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile değerlendirilmesi

## *Evaluation of drones that can be assigned in damage assessment tasks by the Fuzzy Decision-Making Methods*

Yazar(lar) (Author(s)): Mert KARA<sup>1</sup>, Tamer EREN<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-9863-0067

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

**To cite to this article:** Kara M. ve Eren T., “Hasar tespit çalışmalarında görevlendirilebilecek dronların Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, \*(\*) : \*, (\*).

**Bu makaleye su şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Kara M. ve Eren T., “Hasar tespit çalışmalarında görevlendirilebilecek dronların Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, \*(\*) : \*, (\*).

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

**DOI:** 10.2339/politeknik.1238267

# Hasar Tespit Çalışmalarında Görevlendirilebilecek Dronların Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi

## Evaluation of Drones That Can Be Assigned in Damage Assessment Tasks by the Fuzzy Decision-Making Methods

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Drone sistemi ile afet sonrası hasar tespiti sürecinin etkinliğinin artırılması. / Increasing the effectiveness of the damage assessment process after the disaster with drone system.
- ❖ Dronun uzun sinyal menzili sayesinde güvenli bölgeden tüm alanın görüntülenmesi. / Viewing the entire area from the safe zone thanks to the long signal range of the drone.
- ❖ Kriter ağırlıkları belirlenirken Pisagor Bulanık AHP (PBAHP) yönteminin kullanılması. / Use of Pythagorean Fuzzy AHP (PBAHP) method while determining criterion weights.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Belirlenen benzer özelliklere sahip 5 drone sisteminin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yöntemlerin çözümü sonucunda elde edilen karşılaştırma Çizelge A'da sunulmuştur. / Identified 5 drone systems with similar features were evaluated. The comparison obtained as a result of the solution of the methods is presented in Table A.

Çizelge A. Çözüm sonuçları / Table A. Solution results

Sıralama	PBAHP- TOPSIS sonucu	PBAHP- PROMETHEE sonucu
1	A2 dronu	A2 dronu
2	A1 dronu	A1 dronu
3	A3 dronu	A3 dronu
4	A4 dronu	A4 dronu
5	A5 dronu	A5 dronu

### Amaç (Aim)

Görevli birimler tarafından hasar tespit çalışmalarında kullanılacak drone sistemlerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi. / Evaluation and selection of drone systems that can be used in damage assessment studies by the assigned units.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çözüm safhasında Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinden yararlanılmıştır. / Pythagorean Fuzzy AHP, TOPSIS and PROMETHEE methods were used in the solution phase.

### Özgünlük (Originality)

Yapılan literatür taramasına dayanılarak bu çalışma, hasar tespit uçuşları için literatürde ilk defa drone sistemlerinin seçimi ÇKKV yöntemleri ile yapılmış, hasar tespiti için uygun dronun seçimi sağlanmıştır. / Based on the literature review, in this study, drone systems were selected for the first time in the literature for damage assessment flights by MCDM methods, and the appropriate drone was selected for damage assessment.

### Bulgular (Findings)

Hasar tespit çalışmaları için drone sistemlerinin değerlendirilmesinde kamera çözünürlüğü, kamera görüş açısı, video kare hızı, ağırlık, uçuş süresi, uçuş mesafesi ve birim fiyat kriterleri drone seçiminde etkin kriterlerdir. / In the evaluation of drone systems for damage assessment studies, camera resolution, camera view angle, video frame rate, weight, flight time, flight distance and unit price criteria are effective criterias for drone selection.

### Sonuç (Conclusion)

Yapılan çözüm sonucunda hasar tespiti için drone sistemi seçiminde A2 dronu öne çıkmıştır. / As a result of the solution, the A2 drone stood out in the selection of the drone system for damage detection.

### 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

# Hasar Tespit Çalışmalarında Görevlendirilebilecek Dronların Bulanık Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Mert KARA<sup>1</sup>, Tamer EREN<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Lisansüstü Eğitim Enst., Endüstri Müh. Bölümü, İzmir Ekonomi Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Endüstri Müh. Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 20.01.2023 ; Kabul/Accepted : 30.03.2023; Erken Görünüm/Early View : 12.05.2023)

## ÖZ

Hayatın her anında gerçekleşebilecek doğal afetlerin, gerçekleşmesi sonucunda büyük can ve mal kayıpları yaşanabilmektedir. Afet bölgelerindeki afetzedelerin tahliyesinin ardından yetkililer tarafından bölgedeki etkilenenlerin maddi açıdan hasarlarının ve tahrip boyutunun belirlenmesi amacıyla bir hasar tespit çalışması yapılması gerekmektedir. Hasar tespitinde yüksek çözünürlüklü görüntü ve tüm afet bölgesini görüntüleme ihtiyacının doğması yüksek teknoloji ürünü drone seçimi problemini ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmada, hasar tespit çalışmalarında kullanılmak üzere yüksek çözünürlüğe sahip, uzun süre havada kalabilen, hafif, her kurum tarafından kullanılabilir ve görüntü alma amacıyla üretilmiş, benzer özelliklere sahip beş drone arasından optimum seçimin yapılması hedeflenmiştir. Bu değerlendirme yapılırken kamera çözünürlüğü, kamera görüş açısı, video kare hızı, ağırlık, uçuş süresi, uçuş mesafesi ve birim fiyat olmak üzere yedi kriter belirlenmiştir. Problemin çözüm aşamasında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılarak, Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (PBAHP) ile kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmış, elde edilen kriter ağırlıkları Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) ve The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) yöntemlerinde kullanılarak, alternatifler değerlendirilmiştir. Çalışma, ÇKKV ile afet sonrası hasar tespiti ve görüntülenmesi için drone seçimine yönelik olarak yapılan ilk uygulama özelliğine sahiptir. Ayrıca çözüm yaklaşımı sunulan problem için PBAHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinin kullanılması, uygulanan metot açısından katkı sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Drone seçimi, afet yönetimi, Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS, PROMETHEE.

## Evaluation of Drones That Can Be Assigned in Damage Assessment Tasks by the Fuzzy Decision-Making Methods

### ABSTRACT

As a result of natural disasters that can occur at any time of life, great loss of life and property can be experienced. After the evacuation of the survivors in the disaster areas, a damage assessment study should be carried out by the authorities in order to determine the material damage and the extent of the destruction of the affected people. The need for high-resolution imagery and imaging of the entire disaster area in damage assessment raises the problem of choosing a high-tech drone. In this study, it is aimed to make the optimum selection among five drones with similar characteristics, which have high resolution, can stay in the air for a long time, are light, can be used by any institution and are produced for image taking purposes. While making this evaluation, the camera resolution, Seven criteria, including camera viewing angle, video frame rate, weight, flight time, flight distance and unit price, were discussed. In the solution of the problem, criteria were weighted with the Pythagorean Fuzzy Analytical Hierarchy Process (PBAHP) using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, and the criteria weights obtained were Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) and The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Alternatives were evaluated by using the Solution (TOPSIS) methods. The study is the first application on the subject of drone selection for post-disaster damage detection and monitoring with MCDM. In addition, the use of PBAHP, TOPSIS and PROMETHEE methods for the problem whose solution approach is presented contributes to the applied method.

**Keywords:** Drone selection, disaster management, Pythagoras Fuzzy AHP, TOPSIS, PROMETHEE.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya'nın oluşması ile geçmişten günümüze kadar var olan, günümüzde de yaşanmaya devam eden doğal afetlerin, 6 Şubat 2023 tarihli Kahramanmaraş merkezli depremde olduğu gibi şiddetli bir şekilde yerleşim alanlarında gerçekleşmesi sonucunda yüksek miktarlarda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Bu durumdan etkilenen afetzedeler, bahsi geçen afetlerin yaşanması ile

mal varlıklarını kaybetmelerinden dolayı desteğe ihtiyaç duymaktadırlar. Afetin gerçekleştiği ilgili ülke, halkına maddi ve yeni ev inşa ederek, tahsisi gibi yardımlarda bulunabilmesi için öncelikli olarak kayıp boyutunun anlaşılabilmesi amacı ile bir hasar tespit çalışmasına ihtiyaç duymaktadır. Afet bölgesinden uzak güvenli bir alandan kontrol edilebilen, yüksek çözünürlüklü görüntü alarak, eş zamanlı aktarabilen drone gibi yüksek teknoloji ürünü araçların kullanılabilirliği bir drone seçimi problemini ortaya çıkarmaktadır.

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta : tamereren@gmail.com

Drone seçimi problemi, gerçekleştirilmesi hedeflenen bir görevin amaçlandığı şekilde ifa edebilmesi açısından oldukça kritik bir önem arz etmektedir. Kullanıcak kurumun veya bireyin hem performans beklentilerini karşılayacak hem de yenisini alması gerektiği durumlarda maddi açıdan sıkıntı yaşamayacağı en iyi drone seçiminin yapılması gerekmektedir. Tüm bu nedenler göz önünde bulundurulduğunda drone seçimi problemi, tüketicilerin doğru kararı verebilmesi için son derece önemli bir konudur.

Hasar tespit çalışmalarında görevlendirilecek en uygun dronun seçimi için kamera çözünürlüğü, kamera görüş açısı, video kare hızı, ağırlık, uçuş süresi, uçuş mesafesi ve birim fiyat olarak yedi kriter belirlenmiştir. Ayrıca hedef amaca yönelik beş drone değerlendirmeye alınmış, birden fazla kriter ve alternatif bulunmasından dolayı ÇKKV yöntemlerinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Problemin çözüm safhasında ÇKKV yöntemlerinden olan Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS ve PROMETHEE'den yararlanılmıştır.

Bu çalışmada hasar tespit çalışmaları gerçekleştiren birimlerinin kullanımı için yüksek görüntü alma kabiliyetine sahip bir drone seçimi yapılması hedefi ile drone seçimi problemi ele alınmıştır. Afet yaşanan bölgede gerekli insani amaçlara yönelik olarak yapılan çalışmalarının tamamlanmasının ardından, devletin ilgili birimlerinin bölgedeki afetzedelere maddi yardım ve yeniden inşa gibi destek sağlayabilmesi için öncelikli olarak hasar tespit çalışmaları yapılmalıdır. Bu amaç doğrultusunda seçilecek dronların belirli özellikleri karşılaması gerekmektedir. En uygun dronun seçiminde birden fazla kriter ve alternatif bulunduğu için ÇKKV yöntemleri ile bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Pisagor Bulanık AHP ile belirlenen kriter ağırlıkları, PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılarak, seçilen beş alternatif değerlendirilmiştir. Çalışmada, kriterlere göre alternatiflerin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçların, farklı yöntemlerle sınanarak, karşılaştırılabilmesi için birbirinden farklı yönleri bulunan yöntemlerden yararlanılmıştır.

Çalışma beş ana bölümden meydana gelmektedir. İkinci kısımda çözüm yaklaşımı sunulan problemle ilgili literatürde önceden yayımlanmış çalışmalar verilmiştir. Ardından gelen üçüncü bölümde problemin çözüm aşamasında kullanılan ÇKKV yöntemleri kapsamlı bir şekilde anlatılmıştır. Dördüncü bölümde uygulama kısmı detaylıca sunulmuş, son kısımda ise sonuçlar vurgulanarak, öneride bulunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

Literatürde drone seçimi problemlerinin çözümünde ÇKKV yöntemlerinden faydalanılan çalışmalar bulunmaktadır. İlgili çalışmaların bazıları aşağıda sunulmuştur.

Arslan ve Delice [1] yaptıkları çalışmada kişisel kullanıcılar için ÇKKV yöntemlerinden Kemeny Median

Indicator Rank Accordance Modified (KEMIRA-M) yöntemini kullanarak bir drone seçiminde bulunmuşlardır. Belirledikleri 7 iç ve dış kriterler ile, ele aldıkları 6 farklı alternatifi değerlendirmişlerdir. Hamurcu ve Eren [2] çalışmasında askeri keşif ve gözetleme amacı ile bir insansız hava aracı (İHA) seçiminde bulunmuşlardır. AHP yönteminden elde ettikleri kriter ağırlıklarını TOPSIS'te kullanarak, belirlemiş oldukları alternatifleri değerlendirmişlerdir. Göktekin ve Şimşek [3] yaptıkları çalışmada afet yönetiminde bulunan birimlerin eğitiminde kullanılacak alternatif dronları belirleyerek değerlendirmişlerdir. ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR) yönteminden yararlanarak, her koşulda görev icra edebilecek dronlar arasında seçimde bulunmuşlardır. Aktaş ve Kabak [4] çalışmasında son mil teslimatı yapan kuruluşlar için Aralık Değerli Pisagor Bulanık WASPAS yönteminden yararlanarak, çeşitli kapasite ve işleve sahip dört farklı dronu, belirledikleri beş kriter altında değerlendirmişlerdir. Radovanović vd. [5] yaptıkları çalışmada askeri taktik birimlerin ihtiyacına yönelik olarak belirledikleri önemli kriterlerin ağırlıklarını AHP yöntemi ile elde ederek, VIKOR yönteminde kullanmış ve en uygun dronun seçimini gerçekleştirmişlerdir. Tas vd. [6] çalışmasında iki seviyeli aralık değerli Pisagor Bulanık AHP ve entegre Pisagor Bulanık VIKOR metodolojisini kullanarak afet sonrası tıbbi malzeme dağıtımı için bir İHA seçimi yapmışlardır. Zhang vd. [7] yaptıkları çalışmada hem yüksek binalarda yangınla mücadele için hem de lojistikte destek amaçlı kullanılacak dronların en önemli üç faydasını belirlemek için özelleştirilmiş hibrit bir çok kriterli model oluşturmayı amaçlamışlardır. Bahsi geçen hibrit modelde Bulanık AHP, Bulanık analitik ağ süreci (AHP) ve Bulanık Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı'nı (DEMATEL) kullanmışlardır. Kara vd. [8] çalışmasında anız yangınlarına müdahale amacı ile belirli özellikler altında en uygun itfaiye dronun seçimi için bir çözüm önerisinde bulunmuşlardır. AHP yöntemi ile elde ettikleri kriter ağırlıklarını, Complex Proportional Assessment (COPRAS) yönteminde kullanarak, alternatifleri sıralamışlardır. Kwon ve Kim [9] Kore'de yaptıkları çalışmada, 39 drone uzmanının da görüşünü alarak medya, tarım, iş izleme gibi çeşitli sektörlerde görev alan dronlar arasında, yurt içinde çalışan ticari dronlar için öldürülebilecek sektörü bulmayı hedeflemişlerdir. Pazar ve politika faktöründen oluşan bir AHP modeli önererek, medya dronu, iş izleme dronu ve eğlence dronu üzerinde uygulamışlardır. Kocakaya vd. [10] çalışmasında bölgesel havacılık operasyonları için edebilecek, turbo jet motora sahip uçak seçimi özellikler yönelik 10 adet alt kriter kararlaştırılmış, belirlenen 9 alternatif küresel bulanık AHP ve küresel bulanık TOPSIS yöntemleri ile değerlendirilerek, en iyi alternatifi seçmişlerdir. Keleş [11] yaptığı çalışmada Türkiye'de üretilmekte olan İHA sistemlerinin arasında AHP ve PROMETHEE yöntemlerini kullanarak, birçok

amaca yönelik olarak kullanılabilir sistem seçimini gerçekleştirmiştir. Çelikyay [12] çalışmasında Türkiye Cumhuriyeti'nin hava kuvvetlerinin kullanımına yönelik olarak bir muharip uçak seçiminde bulunmuştur. Seçim sürecinde ÇKKV yöntemlerinden olan AHP ve TOPSIS'ten yararlanmıştır. Yiğit vd. [13] yaptıkları çalışmada öncelikli olarak İHA'nın tanımını yaparak, Dünya'da İHA üzerine mevcut sınıflandırma çalışmalarını incelemiş, daha sonrasında kendileri bir İHA sınıflandırma çalışması gerçekleştirmişlerdir. Uçar vd. [14] çalışmasında 750 ila 800-gram arasında değişen İHA'lar için maksimum stabilizasyon ve hız amaçlarını gözeterek, piyasada bulunan alternatif motor sistemlerini mekanik ve fiziksel açıdan değerlendirmiş, AHP ile ideal motor modelini belirlemişlerdir. İlic vd. [15] yaptıkları çalışmada Belgra'da akıllı şehir dönüşümü için İHA uygulamalarına yönelik stratejilerin önceliklendirilmesi için SWOT ve Bulanık AHP yöntemleri ile oluşturulan bir model önermişlerdir. Çalışmada İHA'nın olası tüm uygulama alanları dikkate alınarak bir değerlendirmede bulunmuşlardır. Merkepçi vd. [16] çalışmalarında karar vericiye yardımcı olmak hedefiyle ÇKKV yöntemlerinden MULTIMOORA yöntemini kullanarak, Dünya'da en çok tanınan 10 İHA'yı değerlendirerek, bir model önerisinde bulunmuşlardır. Pikner vd. [17] yaptıkları çalışmada Bulanık AHP ve TOPSIS

yöntemlerini kullanarak, lidar kamera sensör setine sahip ve kendi kendine sürüş yapabilen otomatik araçlar için bir risk analizi modelini geliştirmişlerdir. Costa vd. [18] yaptıkları çalışmada Brezilya Donanması için elektronik harpte görev alacak İHA seçiminde bulunmuşlardır. Seçim aşamasında ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bir hibrit modelinden yararlanmışlardır. Adem vd. [19] çalışmasında havacılık 4.0 ile ilgili lojistik faaliyetlerinde, İHA'lara yönelik olarak 10 farklı performans kriterleri sırasıyla ile kararsız bulanık sayılar ve Pisagor bulanık sayılar ile değerlendirilerek, nihai olarak AHP yöntemi ile değerlendirmeye alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda İHA'lar için en önemli iki kriterin gizlilik ve ekonomik ömür olduğunu bulmuşlardır. Yılmaz vd. [20] 16 uzmanın katılımı ile yaptıkları çalışmada Türkiye'de bulunan bir uçuş okuluna AHP ve TOPSIS yöntemlerini kullanarak uçak seçimi yapmışlardır. Uçuş okulu için uçak seçimi analizinin sonucunda Cessna 172S Cessna/Reims-Cessna 172/F172 serisinin en uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Tamamlanan literatür taraması sonucunda, literatürde drone seçimi problemi üzerine halihazırda yayımlanmış çalışmalar incelendiğinde problemlerin çözüm aşamalarında çok kriterli yapı göz önünde bulundurularak, ÇKKV yöntemlerinin kullanımına yönelik bir ilgi yoğunluğu olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 1.** Drone seçimi problem literatürü (Drone selection problem literature)

Yazarlar	Uygulama Alanı	Kullanılan Yöntemler
Arslan ve Delice [1]	Drone seçimi	KEMIRA-M
Hamurcu ve Eren [2]	İHA seçimi	AHP ve TOPSIS
Göktekin ve Şimşek [3]	Drone seçimi	VIKOR
Aktaş ve Kabak [4]	Drone seçimi	Aralık Değerli Pisagor Bulanık WASPAS
Radovanović vd. [5]	Drone seçimi	Bulanık AHP ve VIKOR
Tas vd. [6]	İHA seçimi	Pisagor Bulanık AHP ve Pisagor Bulanık VIKOR
Zhang vd. [7]	Drone sistem değerlendirmesi	Bulanık AHP, Bulanık AHP, Bulanık DEMATEL
Kara vd. [8]	Drone seçimi	AHP ve COPRAS
Kwon ve Kim [9]	Ticari drone pazar seçimi	AHP
Kocakaya vd. [10]	Uçak seçimi	Küresel Bulanık AHP-TOPSIS
Keleş [11]	İHA seçimi	AHP ve PROMETHEE
Çelikyay [12]	Uçak seçimi	AHP ve TOPSIS
Yiğit vd. [13]	İHA sistem araştırması	Sistem analizi
Uçar vd. [14]	İHA motor seçimi	AHP
İlic vd. [15]	İHA strateji seçimi	Bulanık AHP ve SWOT
Merkepçi vd. [16]	İHA seçimi	MULTIMOORA
Pikner vd. [17]	Sistem değerlendirmesi	Bulanık AHP ve TOPSIS
Costa vd. [18]	İHA seçimi	AHP ve TOPSIS
Adem vd. [19]	İHA kriter seçimi	Kararsız Bulanık Sayılar ve Pisagor Bulanık AHP
Yılmaz vd. [20]	Uçak seçimi	AHP ve TOPSIS

Çizelge 1’de görülebileceği gibi, ele alınan ÇKKV tipi problemlerde AHP ve bulanık karar verme durumlarında kullanılmak üzere geliştirilen versiyonu Pisagor Bulanık AHP yöntemlerinin sıklıkla kullanılmak üzere tercih edildiği görülmektedir. Literatürde mevcut olarak bulunan çalışmalar üzerinden bir değerlendirme yapıldığında, ele alınan problemin amacına yönelik olarak belirlenen alternatif ve kriterler doğrultusunda, İHA, drone vb. hava araçları üzerine yapılan seçim problemlerine son yıllarda sıklıkla rastlanıldığı tespit edilmiştir. Çalışmanın literature olan katkıları aşağıda verilmiştir.

- Literatürde ilk defa afet sonrası hasar tespiti ve görüntülenmesi için drone seçimi konusu üzerine yapılmış ilk uygulama özelliği taşımakta olup, ele alınan alternatifler yenilik taşımaktadır.
- Çalışmada alternatifleri değerlendirmek için belirlenen kamera görüş açısı ve video kare hızı kriterleri literatürde ilk kez bu çalışma ile önerilmiştir.
- Literatürde ilk kez bir drone seçimi problemine Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile bir model önerisinde bulunulmuştur.

### 3. YÖNTEMLER (METHODS)

Çeşitli amaçlara yönelik olarak ele alınan problemlerde, birden fazla kriterin ve alternatifin bulunduğu karar verme durumlarında ÇKKV yöntemlerinin etkin sonuç vermesinden dolayı, bu yöntemlerin kullanıldığı çalışmalara literatürde sıklıkla karşılaşılmaktadır. ÇKKV yöntemlerini kullanarak birden fazla kriterin birlikte değerlendirilmesi ile en uygun çözümün alınabileceği alternatifleri elde etmek mümkündür [21].

#### 3.1. Pisagor Bulanık AHP (Pythagorean Fuzzy AHP)

Thomas L. Saaty’nin [22] ortaya çıkardığı AHP yöntemi, bünyesinde birçok alternatif ve kriter bulduran karmaşık problemlerin çözümüne yönelik geliştirilmiş ve ikili kıyaslama temeline dayanan bir ÇKKV yöntemidir. AHP yöntemi karar verme sürecinde, karar vericinin subjektif görüşlerini de dikkate alan sayısal olan/olmayan değişkenleri eş zamanlı olarak değerlendirme kabiliyetine sahip olan [23], en üst düzeyden en alttaki düzeye kadar sırası ile bir amaç, kriterler, alt-kriterler ve alternatiflerin oluşturduğu hiyerarşik yapı kullanılan bir yöntemdir. Fakat AHP metodu, belirsizlik durumlarında değerlendirme yaparken etkili olmadığı için eleştirildiğinden [24], AHP yöntemi bulanık mantık ile entegre edilerek belirsizlik ve karmaşıklık altında amaca en uygun olan alternatifin seçilmesini sağlayacak Bulanık AHP yaklaşımı kullanılmaya başlanmıştır [25, 26]. Uzun yılların ardından bahsi geçen yaklaşımın üyelik dereceleri ( $\mu P(x)$ ) toplamı 1’den büyük olduğu

Çizelge 2. Pisagor bulanık sayılar (Pythagorean fuzzy uzantısı olan Pisagor Bulanık AHP (PBAHP) literatüre girmiştir. Bu yöntemin literatüre girmesi ile birlikte Çizelge 2’deki ağırlık skalası oluşturularak, kullanılmaya başlanmıştır [27]. Pisagor Bulanık AHP’nin sezgisel bulanık kümelerle göre en büyük avantajı, üyelik ( $\mu P(x)$ ) ve üyeliksizlik ( $\nu P(x)$ ) derecelerinin toplamından farklı olarak, karelerinin toplamının 1’i geçmemesidir [28]. Pisagor Bulanık AHP 7 adımdan oluşmaktadır [29].

Bahsedilen Pisagor Bulanık AHP yönteminin özetlenen aşamaları Şekil 1’de verilmiştir.

#### Adım 1. Karar hiyerarşisinin oluşturulması

- Karar verme probleminin tanımlanmasının ardından yukarıdan aşağıya sıralanacak şekilde bir amaç, amacın altında alternatifler ve kriterlerden oluşan bir hiyerarşik yapı oluşturulur.

#### Adım 2. Dilsel değişkenlere dayalı ikili karşılaştırma matrisinin $A = (a_{ij})_{m \times m}$ oluşturulması

- Çizelge 2’deki verilmiş olan dilsel değişkenler ölçeği ile, kriterlerin birbirleri arasındaki baskınlıkları belirlenerek  $m \times m$  boyutunda bir matris oluşturulur.

#### Adım 3. Farklar matrisinin $D = (d_{ij})_{m \times m}$ oluşturulması

- $d_{ijL} = \mu_{ijL}^2 - \nu_{ijL}^2$
- $d_{ijU} = \mu_{ijU}^2 - \nu_{ijU}^2$

#### Adım 4. Aralıklı çarpımsal matrisin $S = (s_{ij})_{m \times m}$ oluşturulması

- D matrisinin oluşturulması ile, matristeki her bir hücre değeri, 1000’in üssü şeklinde yazılarak, karekökü alınmaktadır.

- $s_{ijL} = \sqrt{1000^{d_{ijL}}}$
- $s_{ijU} = \sqrt{1000^{d_{ijU}}}$

#### Adım 5. Determinasyon değerinin (T) hesaplanması

- A matrisindeki hücre değerleri ele alınarak, aşağıdaki formül kullanılır ve T matrisi elde edilir.

$$h_{ij} = 1 - (\mu_{ijU}^2 - \mu_{ijL}^2) - (\nu_{ijU}^2 - \nu_{ijL}^2)$$

#### Adım 6. Normalize edilmemiş ağırlık matrisinin (t) hesaplanması

- Her kriterin için t değeri hesaplanırken, ( $s_{ij}$ ) değerleri toplanarak ikiye bölünür. Bu sayı, T matrisindeki karşılık gelen değer ile çarpılarak t matrisi oluşturulur.

$$t_{ij} = \left( \frac{s_{ijL} + s_{ijU}}{2} \right) * h_{ij}$$

#### Adım 7. Kriter ağırlıklarının $w_i$ hesaplanması

- Her bir kriter için t matrisinde satırlar toplam yapılarak elde edilen değer, tüm tablonun toplam değerine bölünmektedir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m t_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}}$$

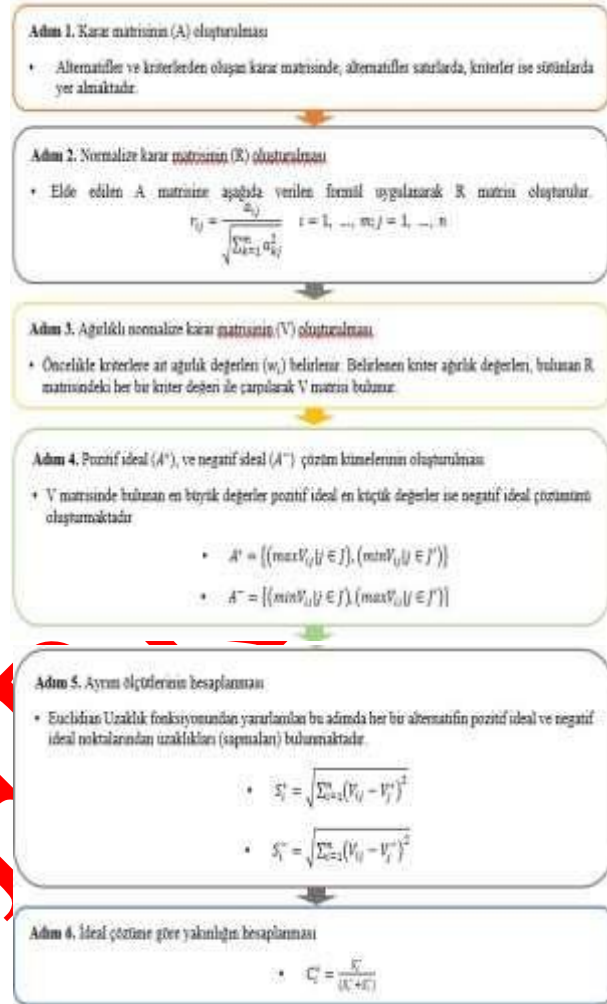
Şekil 1. Pisagor Bulanık AHP yöntemi akış şeması (Pythagorean Fuzzy AHP method flowchart) [27]

**Çizelge 2.** Pisagor bulanık sayılar (Pythagorean fuzzy)

Düzel Değişken	Aralıklı Pisagor Bulanık Sayılar			
	$\mu_n$	$\mu_p$	$\nu_n$	$\nu_p$
Keskin Düşük Önemli (KD)	0	0	0,9	1
Çok Düşük Önemli (CD)	0	0	0,8	0,9
Düşük Önemli (D)	0,2	0,35	0,65	0,8
Ortalama Altında Önemli (OA)	0,35	0,45	0,55	0,65
Eşit (E)	0,1965	0,1965	0,1965	0,1965
Ortalama Üstünde Önemli (OU)	0,45	0,55	0,45	0,55
Ortalama Üstünde Önemli (OU)	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
Keskinlikle Yüksek Önemli (KY)	0,9	1	0	0

### 3.2. TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)

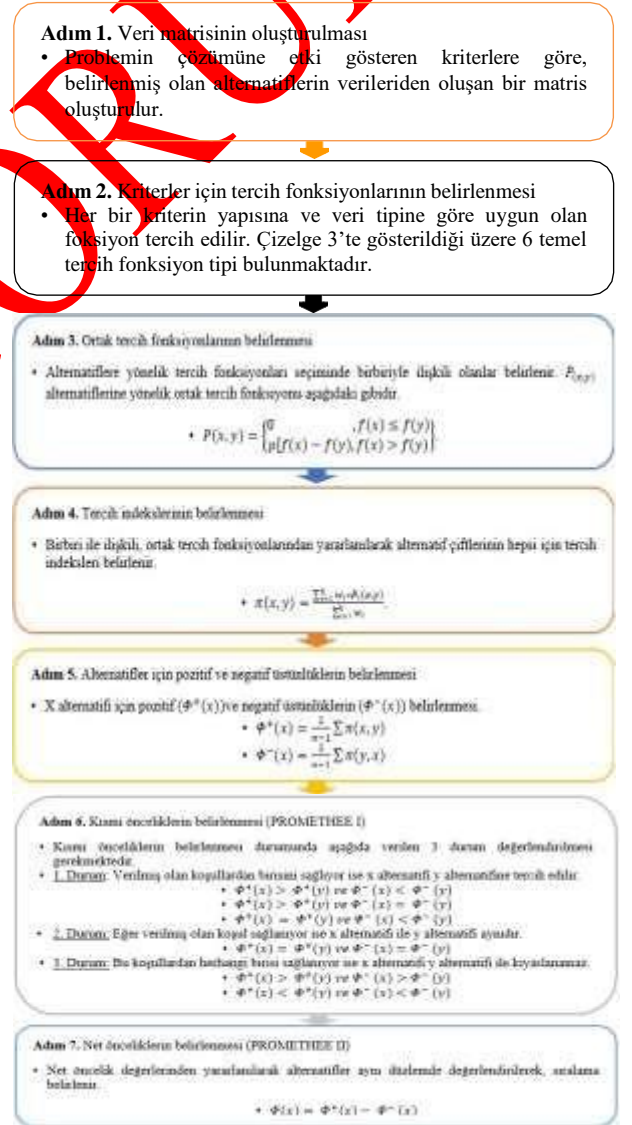
Hwang ve Yoon'un [30] geliştirmiş olduğu TOPSIS yöntemi, karar noktalarının ideal çözüme yakınlığı ana prensibine dayanarak, tercihlerin sıralamasını yapabilmek amacı ile ortaya çıkarılmıştır [31]. Problemlere ait niteliksel bilgileri kullanarak, alternatiflerin sıralanmasını kolay ve etkili bir şekilde gerçekleştirmesi [32], ayrıca literatürde sıklıkla kapsamlı sıralama problemlerinde kullanılması [33, 34, 35] nedeniyle TOPSIS yöntemi tercih edilmiştir. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır [35]. TOPSIS yönteminin adımlarının özetlenmiş hali Şekil 2'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** TOPSIS yöntemi akış şeması (TOPSIS method flowchart) [30]

### 3.3. PROMETHEE Yöntemi (PROMETHEE Method)

Brans'in [36] geliştirdiği PROMETHEE yöntemi, belirli bir sonu olan sayıda alternatiflerine yönelik kısmi sıralama (PROMETHEE I) ve tam sıralama (PROMETHEE II) yapmayı mümkün kılar ve kriterler ile alternatifler tarafından oluşturulan karar matrisi kullanılarak karar verme aşamasına başlanır. Bahsi geçen metod karar matrisinin oluşturulmasının ardından karar vericiye, 5 adımı izlemesinin sonucunda PROMETHEE tam ve kısmi sıralama sonuçlarını vermektedir [37]. Kriterlerin kendi aralarında orantılı olma zorunluluğu ile ilgili bir varsayıma bağlı olmadan, kolay bir şekilde kullanılabilirliğinden [38], uzun yıllardır üretimden [39], telekomünikasyona [40], enerjiden [41], akıllı şehirlere [42] farklı alanlarda uygulanan, geçen süre zarfında çeşitli varyasyonları geliştirilerek, etkili sonuçlar ortaya koyan yöntem öne çıkan avantajları nedeniyle seçilmesine karar verilmiştir. PROMETHEE yöntemi 7 adımdan oluşmaktadır [43]. PROMETHEE yönteminin uygulanmasında kullanılan aşamaların özeti Şekil 3'te verilmiştir.



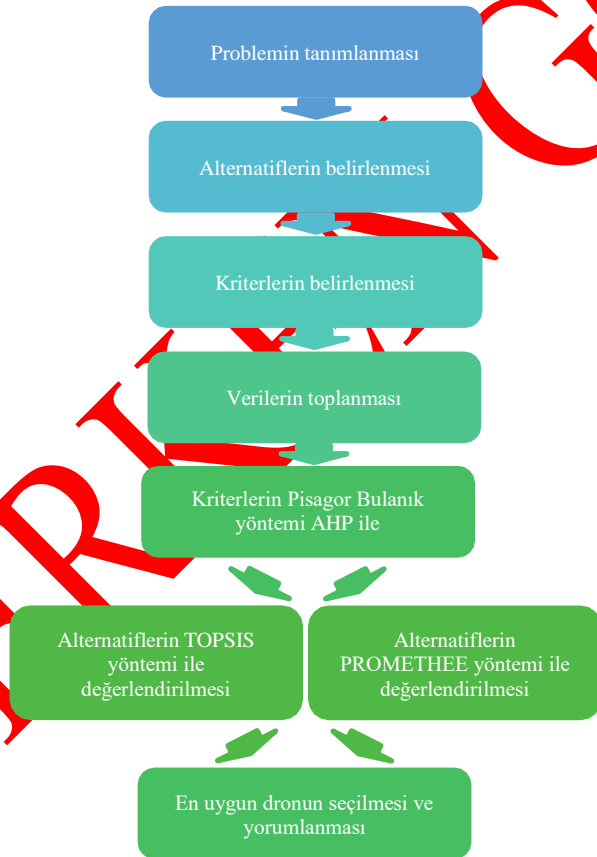
**Şekil 3.** PROMETHEE yöntemi akış şeması (PROMETHEE)

Çizelge 3. Tercih fonksiyonları (Preference functions)

Parametre	Fonksiyon
Birinci Tip (Olgan)	$p(x) = \begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x \geq 0 \end{cases}$
İkinci Tip (U Tipi)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \\ 1, & x \geq 1 \end{cases}$
Üçüncü Tip (V Tipi)	$p(x) = \begin{cases} x/m, & x \leq m \\ 1, & x \geq m \end{cases}$
Dördüncü Tip (Seviyeli)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1/2, & q < x \leq q+p \\ 1, & x > q+p \end{cases}$
Beşinci Tip (Linear)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq s \\ (x-s)/r, & s < x \leq s+r \\ 1, & x > s+r \end{cases}$
Altıncı Tip (Gaussian)	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-x^2}, & x \geq 0 \end{cases}$

#### 4. UYGULAMA (CASE STUDY)

Ele alınan problemde yüksek çözünürlükte görüntü alma amacı ile üretilmiş, birbirine benzer performanslara sahip beş dronun, afet sonrası hasar tespit çalışmalarında görevli ekiplerin kullanacağı bir drone seçimi problemine çözüm yaklaşımı sunulmuştur. Problemin çözüm safhasında Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle kriter ağırlıkları hesaplanmış, bulunan kriter ağırlıkları TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleri ile alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılarak, nihai sonuca ulaşılmıştır. Son olarak her iki yöntemin de sonuçları karşılaştırılarak, drone seçim probleminde en uygun dronun seçimi gerçekleştirilmiştir. Drone seçimi problemine ait akış şeması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Problem akış şeması (Problem flowchart)

#### 4.1. Problemin Tanımlanması (Definition of the Problem)

Hayatın her anında birlikte yaşamaya alışılmış olunan doğal afetlerin meydana gelmesi sonucunda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Mal kayıplarının yaşandığı felaketlerde, olayın yaşandığı afet bölgesindeki felaketin boyutunun tespit edilerek, maddi destek sağlanması ve onarım çalışmaları için afet sonrası bir hasar tespit çalışması yapılması gerekmektedir. Bu hasar tespit çalışmalarında kullanılacak yüksek çözünürlüklü kameralara sahip yeni ve yüksek teknoloji ürünü dronların kullanılması bir drone seçim problemini ortaya çıkarmaktadır. Çalışmada, afet sonrası hasar tespit çalışmalarında afet bölgesinin yüksek çözünürlüklü görüntüsünü ilgili birimlere ulaştıracak bir hasar tespit dronu seçimi ele alınmıştır.

#### 4.2. Alternatiflerin Belirlenmesi (Determination of Alternatives)

Hasar tespit drone seçiminde alternatifler belirlenirken gelişmiş kamera özelliklerine sahip, benzer performans gösteren dronlardan seçilmiştir. Alternatifler; A1 dronu, A2 dronu, A3 dronu, A4 dronu ve A5 dronu olarak belirlenmiştir.

#### 4.3. Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of Criteria)

Kriterlerin belirlenmesi aşamasında literatürde yer alan drone ve hava aracı seçimi çalışmaları incelenmiş, her türlü hava şartlarında havalanarak, görevini gerçekleştirebilecek dronların seçilmesine önem verilmiş ve canlı görüntü aktarımında bulunacak bir drondan beklenilecek teknik ve görüntü performansı düşüncesi alanında uzman kişiler tarafından değerlendirilerek, bu görevin icrasına uygun, teknik ve görüntü performansında en öncelikli ele alınması gereken kriterler belirlenmiştir. Ağırlık [13, 44, 45], uçuş süresi [1, 13, 45], uçuş mesafesi [13, 46, 47], birim fiyat [1, 48], kamera çözünürlüğü [1], kamera görüş açısı ve video kare hızı uzman görüşlerine danışılarak kararlaştırılmıştır. Ayrıca kamera görüş açısı ve video kare hızı kriterleri ilk defa bu çalışma ile birlikte önerilmiştir. Çalışmada; kamera çözünürlüğü (K1), kamera görüş açısı (K2), video kare hızı (K3), ağırlık (K4), uçuş süresi (K5), uçuş mesafesi (K6) ve birim fiyat (K7) olmak üzere yedi kriter ele alınarak, uzman görüşleri doğrultusunda kararlaştırılmıştır. Bahsi geçen kriterlerin detaylı açıklamaları Çizelge 4'te verilmiştir.

#### 4.4. Problemin Çözümü (Solution of the Problem)

Problemin tanımlanmasının ardından problem tipine yönelik olarak alternatif ve kriterler belirlenmiş, ilgili veriler toplanmış, afet sonrası hasar tespit çalışmaları için en uygun drone seçiminin yapılabilmesi hedefiyle Pisagor Bulanık AHP ile kriter ağırlıkları bulunmuş, hesaplanan kriter ağırlıkları PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılarak, karar verme sürecinde faydalanılmıştır.

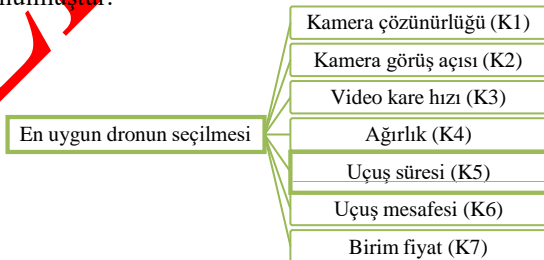


**Çizelge 4.** Kriterler ve açıklamaları (Criteria and their explanations)

Kriter Kodu	Kriterler	Açıklamalar
K1	Kamera çözünürlüğü	Görüntü alma amacı ile dronun altına yerleştirilen çeşitli fonksiyonlara sahip kameraların kaliteleri, günlük yaşamda kullanılan kameralarda olduğu gibi Megapiksel (MP) değeri ile ölçülmektedir. Bir kameranın MP değerinin yüksekliği ile görüntü kalitesi ve netliği doğru orantılıdır. Görevdeki bir dronun bölgeden aktardığı görüntülerin net ve kaliteli olması kritik derecede öneme sahiptir. Kamera çözünürlüğü verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.
K2	Kamera görüş açısı	Dronun altında takılı olan kameranın geniş görüş açısına sahip olması, üzerinde uçulan arazinin eş zamanlı olarak geniş bir panoramik görüntüsünü elde ederek, alandaki herhangi bir noktanın görüntüsünün kaçırılmasına olanak tanımayacağı için oldukça kritik bir öneme sahiptir. Kamera görüş açısı verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.
K3	Video kare hızı	Günümüzde gerçekleşen canlı yayınlarda yüksek çözünürlükte, akıcı görüntü almak oldukça önemlidir. Dronun görev bölgesinden pilota canlı olarak aktardığı görüntülerin akıcı (Frames Per Second (FPS)) bir şekilde ulaşması son derece önemli bir husustur. Video kare hızı verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.
K4	Ağırlık	Bir hava aracının hafif olması hem kullanılacak bölgeye kadar taşıyan operatöre taşıma kolaylığı sağlayacağı hem de hava aracının ağırlığı ile havada kalma süresi doğrusal bir ilişkiye sahip olduğundan, havada kalma süresini etkileyeceği için dikkate alınması gereken bir kriterdir. Ağırlık verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.
K5	Uçuş süresi	Bir dronun uzun uçuş süresine sahip olması kalkış anından itibaren görüntülemek istediği alanın her noktasına ulaşarak, tek sortide (uçuşta) tüm görüntüleri elde etme avantajı sağlayacağından kritik bir değere sahiptir. Uçuş süresi verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.
K6	Uçuş mesafesi	Dronların uzun menzil sinyal kontrol alanına sahip olması kullanılan pilotun tehlike arz eden bölgeye yaklaşmadan, güvenli bir alandan kontrol etmesini sağlar. Ayrıca tehlikesinde uzun menzile sahip drone ve İHA bulunduran kurumlar, gözlem yapmak istediği geniş arazinin tümünü sabit tek bir merkezden yöneterek, görüntüleyebileceğinden oldukça kritik bir öneme sahiptir. Uçuş mesafesi verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.
K7	Birim fiyat	Alıcı kurum veya birey tarafından tercih edilecek bir dronun düşük maliyet ile yüksek performanslı olması beklenmektedir. Kullanıcının dronu yıldırım düşmesi, ağaca takılma vb. gibi nedenlerden kullanılamaz hale geldiğinde, yenisi alınarak, görevine devam edilebilecek seviyede uygun maliyete sahip olması oldukça önemli bir husustur. Birim fiyat verileri üretici firmaların resmi sitelerinden alınmıştır.

#### 4.4.1. Kriterlerin Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmesi (Evaluation of criteria with Pythagorean Fuzzy AHP method)

Kriterlerin değerlendirilmesinde Pisagor Bulanık AHP yönteminin kullanılması belirlenirken, öncelikle problemin yapısı göz önünde bulundurulmuş, ardından Pisagor bulanık kümelerin daha geniş bir tanımlama kümesi sunması, Pisagor bulanık setlerin belirsizlik içeren problemlerin çözümünde daha güçlü ve daha esnek bir araç olması, karar vericiler için karmaşık karar verme durumlarında sezgisel bulanık setlere göre daha uygun olması [49] ve Pisagor bulanık setlerin üyelik derecelendirmeleri, sezgisel bulanık setlerinkine göre daha geniş kapsamlı olması [50] gibi imkanlar sunması Pisagor Bulanık AHP'nin seçilmesinde etkili olmuştur. Problemin çözüm aşamasında öncelikli olarak bir hiyerarşik yapı oluşturulmasının ardından, afet sonrası hasar tespit çalışmaları için en uygun dronun seçilmesi amacıyla yönelik olarak oluşturulmuş olan, kriterler ve alternatifleri içeren hiyerarşik yapı Şekil 5'te sunulmuştur.



**Şekil 5.** AHP karar hiyerarşisi (AHP decision hierarchy)

Hiyerarşik yapısının oluşturulmasının ardından drone seçiminde etkili olan kriterlerin dilsel ifadelerle ikili karşılaştırmaları Çizelge 5'te gösterilmiş, literatürde Pisagor Bulanık AHP yöntemi kullanılan çalışmalarda önerilmiş olarak pisagor bulanık sayıları ile hesaplanmıştır.

**Çizelge 5.** Kriterlerin dilsel ifadeler ile karşılaştırılması (Comparison of criteria with linguistic expressions)

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	E	Y	OÜ	ÇY	O	OÜ	ÇY
K2	D	E	OA	OÜ	ÇD	D	O
K3	OA	OÜ	E	Y	D	E	OÜ
K4	ÇD	OA	D	E	ÇD	D	E
K5	O	ÇY	Y	ÇY	E	O	OÜ
K6	OA	Y	E	Y	O	E	Y
K7	ÇD	O	OA	E	OA	D	E

Çizelge 5'te verilmiş olan dilsel ifadelerin karşılıkları olan pisagor bulanık sayıları belirlenmiş ve sayısal karşılıkları yazılarak, bir dönüştürme işlemi yapılmıştır. Dilsel ifadelerin sayısal değerler ile gösteriminin olduğu, ikili karşılaştırmayı içeren matris Çizelge 6'da sunulmuştur.

**Çizelge 6.** Kriterlerin Pisagor bulanık sayılar ile karşılaştırma matrisi (Pythagorean fuzzy numbers pairwise comparison matrix)

A= İkili Karşılaştırma Matrisi	K1				K2			
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$
K1	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965	0.65	0.8	0.2	0.35
K2	0.2	0.35	0.65	0.8	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
K3	0.35	0.45	0.55	0.65	0.55	0.65	0.35	0.45
K4	0	0	0.8	0.9	0.35	0.45	0.55	0.65
K5	0.45	0.55	0.45	0.55	0.8	0.9	0.1	0.2
K6	0.35	0.45	0.55	0.65	0.65	0.8	0.2	0.35
K7	0	0	0.8	0.9	0.45	0.55	0.45	0.55
	K3				K4			
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$
K1	0.55	0.65	0.35	0.45	0.8	0.9	0.1	0.2
K2	0.35	0.45	0.55	0.65	0.55	0.65	0.35	0.45
K3	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965	0.65	0.8	0.2	0.35
K4	0.2	0.35	0.65	0.8	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
K5	0.65	0.8	0.2	0.35	0.8	0.9	0.1	0.2
K6	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965	0.65	0.8	0.2	0.35
K7	0.35	0.45	0.55	0.65	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
	K5				K6			
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$
K1	0.45	0.55	0.45	0.55	0.55	0.65	0.35	0.45
K2	0	0	0.8	0.9	0.2	0.35	0.65	0.8
K3	0.2	0.35	0.65	0.8	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
K4	0	0	0.8	0.9	0.2	0.35	0.65	0.8
K5	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965	0.45	0.55	0.45	0.55
K6	0.45	0.55	0.45	0.55	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965
K7	0.35	0.45	0.55	0.65	0.2	0.35	0.65	0.8
	K7							
	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$	$\mu_1$	$\mu_2$	$\nu_1$	$\nu_2$
K1	0.8	0.9	0.1	0.2				
K2	0.45	0.55	0.45	0.55				
K3	0.55	0.65	0.35	0.45				
K4	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965				
K5	0.55	0.65	0.35	0.45				
K6	0.65	0.8	0.2	0.35				
K7	0.1965	0.1965	0.1965	0.1965				

Şekil 1’de verilen Pisagor Bulanık AHP yöntem adımları sırası ile uygulanarak, Çizelge 7’de verilmiş olan Pisagor Bulanık AHP sonuçları elde edilmiştir.

**Çizelge 7.** Pisagor Bulanık AHP sonucu (Pythagorean Fuzzy AHP result)

Kriterler	$w_i$	Sıralama
K1 Kamera çözünürlüğü	0.3088	1
K2 Kamera görüş açısı	0.0482	5
K3 Video kare hızı	0.1074	4
K4 Ağırlık	0.0321	7
K5 Uçuş stresi	0.2995	2
K6 Uçuş mesafesi	0.1605	3
K7 Birim fiyat	0.0434	6

Elde edilen kriter ağırlıklarının toplamı 1 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.4.2. Alternatiflerin TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmesi (Evaluation of alternatives with the TOPSIS method)

Pisagor Bulanık AHP yöntemiyle değerlendirilerek, hesaplanan kriter ağırlıkları, TOPSIS yönteminin çözüm aşamasında kullanılarak, alternatiflerin

sıralandırılmasında kullanılmıştır. Öncelikle olarak problemin tanımlanmasının ardından, Çizelge 8’de gösterildiği gibi satırların karar noktalarını, sütunların ise faktörleri temsil ettiği  $m \times p$  boyutlu bir karar matrisi oluşturulmuştur.

**Çizelge 8.** Dönüştürülmemiş TOPSIS karar matrisi (Untransformed TOPSIS decision matrix)

Kriterler/ Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1 dronu	48	84	60	570	34	18500	22000
A2 dronu	48	82.1	60	249	34	18000	21900
A3 dronu	48	85	30	249	28	16800	21165
A4 dronu	12	170	60	860	30	5950	20670
A5 dronu	12	150	60	795	20	16800	28250

Çizelge 8 içerisinde bulunan K4 ve K7 kriterlerinin minimum değerler alması, drone seçiminin amacına fayda sağlayacağı için ilgili kriterlerin en düşük değerlerine 100 puan verilerek, bir dönüştürme işlemi yapılmıştır. Yeni değerlerin bulunduğu ve A1 dronu, A2 dronu, A3 dronu, A4 dronu ve A5 dronu alternatifleri aynı sıra ile A1, A2, A3, A4 ve A5 şeklinde kodlanarak, gösterilmiş olan yeni TOPSIS karar matrisi Çizelge 9’da verilmiştir.

**Çizelge 9.** Dönüştürülmüş TOPSIS karar matrisi (Transformed TOPSIS decision matrix)

Kriterler/ Alternatifler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	48	84	60	44	34	18500	93.95
A2	48	82.1	60	100	34	18000	94.38
A3	48	85	30	100	28	16800	97.66
A4	12	170	60	29	30	5950	100
A5	12	150	60	31	20	16800	73.17

Karar matrisinde verilen kriterlerin birimlerinde farklılıklar olduğundan dolayı Çizelge 9’deki verilerden yararlanılarak Çizelge 10’da sunulan standart karar matrisi elde edilmiştir. Karar matrisindeki kriterlerin birimleri aynı sırayı takip etmek üzere megapiksel (MP), derece (°), frame per second (fps), gram (g), dakika (dk), metre (m) ve Türk Lirası (₺)’dir.

**Çizelge 10.** TOPSIS standart karar matrisi (TOPSIS standard decision matrix)

A/K	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	0.566	0.312	0.485	0.286	0.513	0.520	0.455
A2	0.566	0.305	0.485	0.649	0.513	0.506	0.457
A3	0.566	0.316	0.243	0.649	0.422	0.472	0.473
A4	0.141	0.632	0.485	0.188	0.452	0.167	0.484
A5	0.141	0.557	0.485	0.201	0.302	0.472	0.354

Standart karar matrisinin oluşturulmasının ardından Pisagor Bulanık AHP’den elde edilen, toplamı 1 olarak hesaplanan kriter ağırlıkları kullanılmış, her kriterin ağırlığı Çizelge 10’da verilen standart karar

matrisindeki sütun hücreleri ile çarpılarak Çizelge 11’de sunulan ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmuştur.

**Çizelge 11.** Ağırlıklı standart karar matrisi (Weighted standard decision matrix)

W	0.309	0.048	0.107	0.032	0.300	0.161	0.043
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
A1	0.175	0.015	0.052	0.009	0.154	0.083	0.020
A2	0.175	0.015	0.052	0.021	0.154	0.081	0.020
A3	0.175	0.015	0.026	0.021	0.126	0.076	0.021
A4	0.044	0.030	0.052	0.006	0.136	0.027	0.021
A5	0.044	0.027	0.052	0.006	0.090	0.076	0.015

Çizelge 11’den yola çıkılarak sütünsal şekilde en iyi (Pozitif İdeal) ve en kötü (Negatif İdeal) olan değerler tespit edilmiştir. Tespit edilen Pozitif İdeal ve Negatif İdeal değerlerinden yola çıkılarak  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerleri

hesaplanmıştır. Nihai olarak her bir alternatifin kendi  $S_i^+$  ve  $S_i^-$  değerlerinin toplamı,  $S_i^-$  değerine bölünmesi ile  $C_i$  değerlerine ulaşılmıştır.  $C_i$  değerlerinin büyükten küçüğe sıralanması ile Çizelge 12’deki TOPSIS sonuçlarına ulaşılmıştır.

**Çizelge 12.** TOPSIS sonucu (TOPSIS result)

Alternatifler	$S_i^+$	$S_i^-$	$C_i$	Sıralama
A2	0.016	0.094	0.8551	1
A1	0.019	0.094	0.8298	2
A3	0.041	0.070	0.6302	3
A4	0.052	0.055	0.5107	4
A5	0.058	0.057	0.4966	5

Problemin TOPSIS yöntemi ile çözümüne göre afet sonrası hasar tespit çalışmaları için en uygun drone seçimi A2 dronu olmuştur.

#### 4.4.3. Alternatiflerin PROMETHEE yöntemi ile değerlendirilmesi (Evaluation of alternatives with the PROMETHEE method)

Alternatiflerin PROMETHEE yöntemiyle değerlendirilmesi aşamasında Visual PROMETHEE programından yararlanılmıştır. Visual PROMETHEE programında öncelikle kriter ve alternatif sayıları girilmiştir. Sayıların girilmesinin ardından kriter ve alternatiflerin isimleri verilmiş, kriterlere göre tercih fonksiyonları seçilmiştir. Fonksiyonların seçilmesi ile Pisagor Bulanık AHP yönteminden elde edilen kriter ağırlıkları, kriterlere göre alternatif değerleri ile birlikte girilmiştir. Bahsedilen tüm değerler Şekil 6’da gösterilmiştir. Visual PROMETHEE programında problem çözümü için gerekli olan tüm verilerin girilmesi ile programın içerisinde mevcut olan ‘PROMETHEE Table’ sekmesine basılarak, Şekil 7’deki PROMETHEE sonuçlarına ulaşılmıştır.

**Şekil 6.** PROMETHEE çözümü (PROMETHEE solution)

Problemin PROMETHEE yöntemi ile çözümüne göre afet sonrası hasar tespit çalışmaları için en uygun drone seçimi A2 dronu olmuştur.

**Şekil 7.** PROMETHEE sonucu (PROMETHEE result)

#### 4.4.4. Çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması (Comparison of solution methods)

Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile hesaplanan kriter ağırlıkları, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleriyle alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılması sonucunda her iki yöntemde de A2 dronu birinci sırada yer almıştır. Buna ek olarak her iki yöntemde değerlendirilen alternatifler Çizelge 13’te görüldüğü üzere aynı sırayı takip etmiştir. Her iki yöntem ile değerlendirilen alternatiflerin aynı sıralamayı takip etmesi, elde edilen kriter ağırlıklarının mantıklı olduğunu, değerlendirilen alternatif sonuçlarının ise tutarlılığını göstermektedir.

**Çizelge 13.** Pisagor Bulanık AHP-TOPSIS ve Pisagor Bulanık AHP-PROMETHEE sonuçlarının karşılaştırılması (Comparison of Pythagorean Fuzzy AHP-TOPSIS and Pythagorean Fuzzy AHP-PROMETHEE results)

Sıralama	PBAHP-TOPSIS sonucu	PBAHP-PROMETHEE sonucu
1	A2 dronu	A2 dronu
2	A1 dronu	A1 dronu
3	A3 dronu	A3 dronu
4	A4 dronu	A4 dronu
5	A5 dronu	A5 dronu

#### 4.5. Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis)

Önerilen yaklaşımın geçerliliğini ve doğruluğunu sorgulamaya yarayan duyarlılık analizi [51, 52, 53], bu çalışmada, görüntü alma görevleri için seçilen dronun, seçim aşamasında elde edilen alternatif sıralamasının istikrarlı olması amacı ile önerilen yaklaşıma uygulanmıştır. Pisagor Bulanık AHP'den elde edilen kriter ağırlıklarının alternatiflerin sıralanmasındaki etkisi çeşitli senaryolar ile analiz edilmiş, bahsi geçen senaryolar ikili şekilde kriter ağırlıkları değiştirilerek oluşturulmuştur. Dolayısıyla kullanılan 7 kriterin ikili kombinasyonundan 21 farklı senaryo ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan senaryolar TOPSIS ve COPRAS yöntemleri ile önerilen modellerde uygulanmıştır. Çizelge 14'te görüldüğü üzere AHP-TOPSIS modelinin duyarlılık analizi sonuçları sunulmaktadır. Sunulan analiz sonuçlarında 21 senaryodan yalnızca bir tanesi AHP-TOPSIS modelinden farklı bir sonuç üretmiştir. Bunun nedeni analiz edildiğinde ise ilgili senaryoda K2 (kamera görüş açısı) kriteri için en iyi alternatifin A4 alternatifi olmasıdır.

**Çizelge 14.** AHP-TOPSIS duyarlılık analizi sonuçları (AHP-TOPSIS susceptibility analysis results)

Senaryolar	Kriter Ağırlıkları							Sıralama Sonucu	Sonuç
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7		
AHP-TOPSIS	0.309	0.048	0.107	0.032	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S1	0.048	0.309	0.107	0.032	0.300	0.161	0.043	A4-A1-A1-A2-A5	A4
S2	0.107	0.048	0.309	0.032	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A4-A3-A5	A2
S3	0.032	0.048	0.107	0.309	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S4	0.300	0.048	0.107	0.032	0.309	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S5	0.161	0.048	0.107	0.032	0.300	0.309	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S6	0.043	0.048	0.107	0.032	0.300	0.161	0.309	A2-A1-A4-A3-A5	A2
S7	0.309	0.107	0.048	0.032	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S8	0.309	0.032	0.107	0.048	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S9	0.309	0.300	0.107	0.032	0.048	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S10	0.309	0.161	0.107	0.032	0.300	0.048	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S11	0.309	0.043	0.107	0.032	0.300	0.161	0.048	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S12	0.309	0.048	0.032	0.107	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S13	0.309	0.048	0.300	0.032	0.107	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S14	0.309	0.048	0.161	0.032	0.300	0.107	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S15	0.309	0.048	0.043	0.032	0.300	0.161	0.107	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S16	0.309	0.048	0.107	0.300	0.032	0.161	0.043	A2-A3-A1-A5-A4	A2
S17	0.309	0.048	0.107	0.161	0.300	0.032	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S18	0.309	0.048	0.107	0.043	0.300	0.161	0.032	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S19	0.309	0.048	0.107	0.032	0.161	0.300	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S20	0.309	0.048	0.107	0.032	0.043	0.161	0.300	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S21	0.309	0.048	0.107	0.032	0.300	0.043	0.161	A2-A1-A3-A4-A5	A2

Çizelge 15'te sunulan AHP-PROMETHEE modeli duyarlılık analizi sonuçları incelendiğinde, AHP-TOPSIS duyarlılık analizi sonuçları ile benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Çizelge 14'te olduğu gibi Çizelge 15'te de aynı nedene bağlı olarak, 21 senaryodan yalnızca 1 tanesi önerilen AHP-PROMETHEE modelinden farklı bir sonuç üretmiştir.

**Çizelge 15.** AHP-PROMETHEE duyarlılık analizi sonuçları (AHP-TOPSIS susceptibility analysis results)

Senaryolar	Kriter Ağırlıkları							Sıralama Sonucu	Sonuç
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7		
AHP-PROMETHEE	0.309	0.048	0.107	0.032	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S1	0.048	0.309	0.107	0.032	0.300	0.161	0.043	A4-A2-A1-A3-A5	A4
S2	0.107	0.048	0.309	0.032	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S3	0.032	0.048	0.107	0.309	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S4	0.300	0.048	0.107	0.032	0.309	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S5	0.161	0.048	0.107	0.032	0.300	0.309	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S6	0.043	0.048	0.107	0.032	0.300	0.161	0.309	A2-A1-A4-A3-A5	A2
S7	0.309	0.107	0.048	0.032	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S8	0.309	0.032	0.107	0.048	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S9	0.309	0.300	0.107	0.032	0.048	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S10	0.309	0.161	0.107	0.032	0.300	0.048	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S11	0.309	0.043	0.107	0.032	0.300	0.161	0.048	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S12	0.309	0.048	0.032	0.107	0.300	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S13	0.309	0.048	0.300	0.032	0.107	0.161	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S14	0.309	0.048	0.161	0.032	0.300	0.107	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S15	0.309	0.048	0.043	0.032	0.300	0.161	0.107	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S16	0.309	0.048	0.107	0.300	0.032	0.161	0.043	A2-A3-A1-A5-A4	A2
S17	0.309	0.048	0.107	0.161	0.300	0.032	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S18	0.309	0.048	0.107	0.043	0.300	0.161	0.032	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S19	0.309	0.048	0.107	0.032	0.161	0.300	0.043	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S20	0.309	0.048	0.107	0.032	0.043	0.161	0.300	A2-A1-A3-A4-A5	A2
S21	0.309	0.048	0.107	0.032	0.300	0.043	0.161	A2-A1-A3-A4-A5	A2

#### 5. SONUÇ (CONCLUSIONS)

Afet bölgelerinde kurtarma operasyonlarının tamamlanmasının ardından bölgedeki afetzedelere hasar tespit çalışmaları ile sağlanması gereken yardım miktarının belirlenmesi için yeni ve yüksek teknoloji ürünü olan dronlardan yararlanılarak, felaketin yaşandığı tüm bölge yüksek çözünürlüğe ve anlık görüntü aktarımına sahip kameralarla görüntülenebilir. Bu amaca yönelik olarak drone seçiminde kamera çözünürlüğü, kamera görüş açısı, video kare hızı, ağırlık, uçuş süresi, uçuş mesafesi ve birim fiyat olarak belirlenen yedi kriter, seçilen beş alternatif değerlendirilmek için kullanılmıştır. Ele alınan problem çözümü aşamasında ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP'nin bulanık durumlarda karar vermek için kullanılan versiyonu olan Pisagor Bulanık AHP; kriter ağırlıklandırma aşamasında kullanılmış, bahsi geçen yöntemle hesaplanan kriter ağırlıkları TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinde değerlendirilmeye alınarak, seçilmiş olan beş alternatif değerlendirilmiş ve sıralandırılmıştır. Pisagor Bulanık AHP yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıklarından en önemli üçü sırası ile 0.309, 0.3 ve 0.161 ağırlıkları ile kamera çözünürlüğü, uçuş süresi ve uçuş mesafesi olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriter ağırlıklarının TOPSIS ve PROMETHEE yöntemlerinde kullanılarak alternatiflerin değerlendirilmesinin ardından, her iki yöntemde de en iyi alternatif olarak A2 dronu, en son tercih edilmesi gereken ise A5 dronu seçilmiştir. Birinci ve sonuncu dronların aralarında bulunanlar ise her iki yönetime göre de A1, A3 ve A4 olarak aynı sırada gerçekleşmiştir.

Çalışma, literatürde ÇKKV ile kamera drone seçimi ve hasar tespit çalışması için drone seçimi problemine yönelik olarak öneri sunulmuş ilk uygulama özelliği taşımaktadır. Ayrıca çözüm önerisinde bulunan problem için Pisagor Bulanık AHP, TOPSIS ve

PROMETHEE yöntemlerinin kullanılması, ilgili probleme uygulanan yöntemler açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

İleride yapılabilecek çalışmalarda güvenlik birimlerinin düşman hedef tespiti, gözetleme ve keşif faaliyetleri gibi çeşitli amaçlara yönelik olarak gece görüşü, kızıl ötesi gibi farklı kamera özelliklere sahip drone ve İHA seçimi gerçekleştirilebilir. Diğer taraftan bahsi geçen hava araçları ele alınarak üzerinde değiştirilmek üzere parça seçimi veya kullanan personelin seçimi gibi daha kompleks problemler belirlenerek, çalışmalar gerçekleştirilebilir. Ayrıca görüntü alma amaçlı drone seçimi çalışmalarında alternatifleri değerlendirmek üzere kamera hafıza kapasitesi gibi teknik ve marka bilinirliği gibi subjektif kriterler değerlendirmeye alınarak, çalışmaların kapsamı genişletilebilir.

#### 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.

#### YAZAR KATKILARININ BEYANI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Mert KARA:** Bilimsel yayın araştırması, yöntem uygunluk araştırması, verilerin toplanması ve düzenlenmesi, yöntemlerin uygulanması ve sonuçların yorumlanması ve makalenin oluşturulması.

**Tamer EREN:** Bilimsel yayın araştırması yeterliliğinin incelenmesi, yöntem uygunluk incelemesi, uygulama süreç incelemesi, sonuçların incelenmesi ve genel makale incelemesi.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASININ BEYANI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] Arslan N. and Delice E. K., "KEMIRA-M yöntemi ile kişisel kullanıcılar için dron seçimi: bir uygulama", *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 31(2): 159-179, (2020).
- [2] Hamurcu M. and Eren T., "Selection of unmanned aerial vehicles by using multicriteria decision-making for defence", *Journal of Mathematics*, 2020: 1-11, (2020).
- [3] Gökçekin Z. and Şimşek A. B., "Drone evaluation and selection for training in disaster preparedness phases with Interval MCDA Techniques", *Multi-Criteria Decision Analysis*, 155-167, (2022).
- [4] Aktas A. and Kabak M., "An application of Interval Valued Pythagorean Fuzzy WASPAS Method for drone selection to last mile delivery operations", *Multiple Criteria Decision Making with Fuzzy Sets*, 179-191, (2022).
- [5] Radovanović M., Petrovski A., Žindrašič V. and Randelović A., "Application of the Fuzzy AHP-VIKOR hybrid model in the selection of an unmanned aircraft for the needs of tactical units of the armed forces", *Scientific Technical Review*, 71(2): 26-35, (2021).

- [6] Gulum Tas P., Yalcin Kavus B., Ayyıldız E. and Taşkın A., "UAV selection for post-disaster medical supply distribution using a Two-Level Interval-Valued Pythagorean Fuzzy AHP Integrated Interval-Valued Pythagorean Fuzzy VIKOR methodology, and an Application", *Multi-Criteria Decision Analysis Case Studies in Disaster Management*, CRC New York, Florida, (2022).
- [7] Zhang J. Z., Srivastava P. R. and Eachempati P., "Evaluating the effectiveness of drones in emergency situations: a hybrid multi-criteria approach", *Industrial Management & Data Systems*, (2021).
- [8] Kara M., Yumuşak R. and Eren T., "Anız yangınlarına müdahale için itfaiye drone seçimi: Giresun örneği", *Journal of Aviation Research*, 5(1): 1-15, (2023).
- [9] Kwon H. and Kim S., "Exploring killer business domains for drones in Korea", (2018).
- [10] K., Engin T., Tektaş M. and Aydın U., "Türkiye'de bölgesel havayolları için uçak tipi seçimi: Küresel Bulanık AHP-TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu akıllı", *Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 4(1): 27-58, (2021).
- [11] Keleş N., "Armed unmanned aerial vehicle selection", Available at SSRN 4113879, (2022).
- [12] Çelikkay S., "Çok amaçlı savaş uçağı seçiminde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin uygulanması", Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).
- [13] Yiğit E., Yazar İ. and Karakoç T. H., "İnsansız hava araçları (İHA)'nın kapsamlı sınıflandırması ve gelecek perspektifi", *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 3(1): 10-19, (2018).
- [14] Uçar U. U., Adem A. and Tanyeri B., "A Multi-Criteria Solution Approach for UAV engine selection in terms of technical specification", *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4): 1000-1013, (2022).
- [15] Ilić D., Milošević I., and Ilić-Kosanović T., "Application of unmanned aircraft systems for smart city transformation: case study Belgrade", *Technological Forecasting and Social Change*, 176: 121487, (2022).
- [16] Merkepçi H., Merkepçi M. and Baransel C., "A Multi-Criteria Decision-Making framework based on neutrosophic evamix with critic approach for drone selection problem", *International Journal of Neutrosophic Science (IJNS)*, 2(2): 234-239, (2021).
- [17] Pikner H., Sell R., Majak J. and Karjust K., "Safety system assessment case study of automated vehicle shuttle", *Electronics*, 11(7): 1162, (2022).
- [18] Costa A., Corriça J., Braz E., Costa I., Maêda S., Gomes, C., and Santos M., "Study for choosing unmanned aircraft in electronic warfare for the Brazilian Navy: a multicriteria based approach", *XXIII Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa*, São José dos, 17: 19, (2021).
- [19] Adem A., Yılmaz K. B. and Dağdeviren M., "Technology analysis for logistics 4.0 applications: criteria affecting UAV performances", *Intelligent and Fuzzy Techniques in Aviation 4.0*, 372: 497-520, (2022).
- [20] Yılmaz A., Nikitakos N., Jaward M. and Malagas K., "Aircraft selection process with Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) and AHP Integration", *International Journal of Sustainable Aviation*, 1(1): 1, (2020).

- [21] Özkan Ö., “Personel seçiminde karar verme yöntemlerinin incelenmesi: AHP, ELECTRE ve TOPSIS örneği”, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, (2007).
- [22] Saaty T. L., “The Analytic Hierarchy Process”, McGraw-Hill, USA, (1980).
- [23] Dağdeviren M., Diyar A. and Kurt M., “İş değerlendirme sürecinde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve uygulaması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2): 131-138, (2004).
- [24] Deng H., “Multicriteria Analysis with Fuzzy Pairwise Comparison”, *International Journal of Approximate Reasoning*, 21(3): 215-231, (1999).
- [25] Usta N. K. and Tosun N., “Bulanık AHP ve Bulanık WASPAS yöntemleri ile yeni ürün seçimi”, *Pazarlama İçgörüsü Üzerine Çalışmalar*, 3(2): 25-34, (2019).
- [26] Toksarı M. and Toksarı M. D., “Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yaklaşımı kullanılarak hedef pazarın belirlenmesi”, *METU Studies in Development*, 38(1): 51-70, (2011).
- [27] Yager R. R., “Pythagorean membership grades in multicriteria decision making”, *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, 22: 958-965, (2014).
- [28] Gül M. and Ak M. F., “A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment”, *J. Clean. Prod.*, 196: 653-664, (2018).
- [29] Yıldız A., Ayyıldız E., Gümüş A. T. and Özkan C., “Ülkelerin yaşam kalitelerine göre değerlendirilmesi için Hibrit Pisagor Bulanık Ahp-Topsis Metodolojisi: Avrupa Birliği örneği”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17: 1383-1391, (2019).
- [30] Hwang C. and Kwangsun Y., “Methods for Multiple Attribute Decision Making”, *Multiple attribute decision making*, Springer, Berlin, 58-191, (1981).
- [31] Akçay M., “Optimal site election for a solar power plant in Turkey using a Hybrid AHP-TOPSIS Method”, *Celal Bayar University Journal Of Science*, 14(4): 413- 420, (2018).
- [32] Özcan E. C., Danişan T., Yumuşak R. and Eren T., “An artificial neural network model supported with multi criteria decision making approaches for maintenance planning in hydroelectric power plants”, *Eksploatacja I Niezawodność- Maintenance and Reliability*, 21(3), 400-418, (2020).
- [33] İçigen Tarcan E. and İpekçi Çetin E., “AHP temelli TOPSIS yöntemi ile konaklama işletmelerinde personel seçimi”, *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 7(13): 179-187, (2017).
- [34] Görçün Ö. F., “Uluslararası taşımacılık işletmelerinin çekici araç seçimlerinin Entegre AHP, Entropi ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak analizi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 21(3): 899-922, (2019).
- [35] Özcan E., Danişan T. and Eren T., “Hidroelektrik santrallerin en kritik elektriksel ekipman gruplarının bakım stratejilerinin optimizasyonu için matematiksel bir model önerisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4): 498-506, (2019).
- [36] Brans J. P., “L'ingenierie de la decision: Elaboration d'instruments d'aide a la decision. La methode PROMETHEE”, *Universite Laval, Colloque d'aide a la Decision*, Quebec, Canada, 183- 213, (1982).
- [37] Dinçer S. E., Ekin E. and Karakaş K. S., “PROMETHEE yöntemiyle uçak komponentlerinin önceliklendirilmesi problemlerine çözüm yaklaşımı”, *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(3): 106-125, (2017).
- [38] Danişan T., Özcan E. and Eren T., “Personnel selection with Multi-Criteria Decision-Making methods in the ready-to-wear sector”, *Tehnički vjesnik*, 29(4): 1339-1347, (2022).
- [39] Özdağoğlu A., “Üretim işletmelerinde lazer kesme makinelerinin PROMETHEE yöntemi ile karşılaştırılması”, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 9(19): 305-318, (2013).
- [40] Çelik P. and Ustasüleyman T., “ELECTRE I ve PROMETHEE yöntemleri ile GSM operatörlerinin hizmet kalitesinin değerlendirilmesi”, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 12: 137-160, (2015).
- [41] Özdemir D., “PROMETHEE yöntemi ile Türkiye’de yenilenebilir enerji alternatiflerinin sıralanması”, (2019).
- [42] Yaşar S., Poyraz Z., Yumuşak R. and Eren T., “ANP ve PROMETHEE yöntemleri ile akıllı şehir analizi: Ankara’da bir uygulama”, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1): 15-28, (2022).
- [43] Akıncı B. N., Danişan T. and Eren T., “Obezite hastaları için giyilebilir teknolojilerin ÇKKV yöntemleri ile seçimi”, *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021).
- [44] Yetiş H., Güngör Z. and Karaköse M., “Araç-İHA iş birliği ile kargo teslimatları için ortak rota optimizasyonu”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 33(2): 135-144, (2021).
- [45] Tekinay O. N. and Batı G. B., “Askeri alanlarda kullanılmak üzere insansız hava aracı (İHA) sistemleri seçiminde TOPSIS ve Bulanık TOPSIS yönteminin kullanılması”, *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 44(1): 78-103, (2022).
- [46] Uçar U. Ü. and İşleyen S. K., “Hareketli hedefli-heterojen filolu İHA rotalama problemi için yeni bir çözüm yaklaşımı”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 999-1016, (2019).
- [47] Göde E., Kuşhan M. C. and Teoman A., “Kamikaze insansız hava araçları”, *XI. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı*, Eskişehir, (2021).
- [48] Cesur A., Yiğenoğlu K., Aydın İ. and Çelik Z., “A Bibliometric Analysis of empirical studies on drone delivery”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (58), 118-133, (2022).
- [49] Mohd R. and Abdullah L., “Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to Multi-Criteria Decision Making”, *AIP Conference Proceeding 1905*, 040020: 1-6, (2017).
- [50] Ak M. F. and Gul M., “AHP-TOPSIS integration extended with Pythagorean fuzzy sets for information security risk analysis”, *Complex & Intelligent Systems*, 5(2): 113–126, (2019).
- [51] Bulut M. and Özcan E., “A Novel Approach Towards Evaluation of Joint Technology Performances of Battery Energy Storage System in A Fuzzy Environment”, *Journal of Energy Storage*, 36, 102361, (2021).
- [52] Tezcan B. and Eren T., “Orman yangınına sebep olan kriterlerin bulanık ortamda

değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.1138806, (2023).

[53] Dönmezçelik O., Koçak E. and Örkü H. H., “Net emisyon hedefine doğru Türkiye kara yolu ve demir yolu taşımacılığının enerji modeli (2025-2050)”, *Politeknik Dergisi*, DOI: 10.2339/politeknik.1212520, (2023).

ERKEN GÖRÜNÜM