

Gökkuşığı alabalığı tesislerinden kaynaklanan tat ve koku sorununun çok kriterli karar verme metotları ile değerlendirilmesi

Evaluation of taste and odor problems caused by rainbow trout facilities with multi-criteria decision-making methods

Cihan ÖZGÜR^{1*} , Emrah ÖZTÜRK² 

¹Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

cihanozgur@isparta.edu.tr

²Aksu Mehmet Süreyya Demiraslan Meslek Yüksekokulu, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

emrahozturk@isparta.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 07.06.2021

Düzeltilme Tarihi/Revision: 12.12.2021

doi: 10.5505/pajes.2022.26098

Kabul Tarihi/Accepted: 13.01.2022

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

2-Methylisoborneol (2-MIB) ve geosminden kaynaklanan tat ve koku sorunu, su kaynaklarında görülen en yaygın problemlerden biridir. Doğal ve antropojenik kirlik kaynakları neticesinde su kaynakları kirlenmekte ve sularında toprak-sülfürlü tat ve koku oluşmaktadır. Su kaynaklarında tat ve koku oluşumuna neden olan antropojenik kaynakların başında kültür balıkçılığı üretim tesisleri yer almaktadır. Bu çalışmada, ülkemizde faaliyet gösteren ve özellikle gökkuşığı alabalığı üretimi gerçekleştirilen tesislerde 2-MIB ve geosmin oluşumundan kaynaklanan tat ve koku sorununun giderimine yönelik kullanılabilecek en iyi arıtma prosesini çok ölçütlü karar verme metotları (ÇÖKVM) kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; ozon tabanlı prosesler, ultraviyole (UV) tabanlı prosesler, aktif karbon adsorpsiyonu, alüminyum koagülasyonu, kum filtrasyonu, klor, klor dioksit, potasyum permanganat, fenton tabanlı prosesler ve foto-fenton prosesleri alternatif prosesler olarak değerlendirilmiştir. En iyi arıtma prosesinin belirlenmesinde analitik hiyerarşi süreci (AHS) kullanılmıştır. Alt kriterler olarak ise giderim performansı, güvenilirlik ve dayanıklılık, karmaşıklık, planlı bakım kolaylığı, inşaa kolaylığı, çeşitli kimyasal kullanımı, ön arıtma gereksinimi, yan ürün oluşumu ve uygunluk belirlenmiştir. Alt kriterlerin sıralamasında TOPSIS ve VIKOR karar verme modelleri kullanılmıştır. TOPSIS ve VIKOR metodları kullanılarak elde edilen sonuçlara göre, beton havuzlarda gökkuşığı alabalığı üretiminden kaynaklanan 2-MIB ve geosmin gibi tat ve koku bileşenlerinin gideriminde kullanılabilecek en iyi arıtma yönteminin ozon tabanlı prosesler olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: 2-MIB ve geosmin, Analitik hiyerarşi süreci, Çok ölçütlü karar verme, Gökkuşığı alabalığı, İleri oksidasyon prosesleri.

Abstract

Taste and odor problem caused by 2-MIB and geosmin is one of the most common problems seen in water resources. As a result of natural and anthropogenic pollution sources, water resources are polluted, and an earthy-moldy taste and odor occurs in the water. Aquaculture production facilities are the leading anthropogenic sources that cause taste and odor formation in water resources. In this study, it is aimed to determine the best treatment methods that can be used to eliminate the taste and odor problems caused by the formation of 2-MIB and geosmin by using multi-criteria decision making (MCDM) methods in facilities operating in Turkey and where especially rainbow trout is produced. In the study, ozone-based processes, UV-based processes, activated carbon adsorption, aluminum coagulation, sand filtration, chlorination, chlorine dioxide, potassium permanganate, fenton-based processes and photo-fenton processes were used as alternative processes. The criteria chosen for the study were removal performance, reliability and durability, complexity, ease of planned maintenance, ease of construction, use of various chemicals, pre-treatment requirement, by-product formation, and suitability. Analytical hierarchy process (AHP) was used in weighting the criteria in the study, TOPSIS and VIKOR methods were used in ordering the alternatives. According to the results obtained using TOPSIS and VIKOR methods, ozone-based processes were found to be the best treatment method that can be used for the removal of taste and odor components such as 2-MIB and geosmin resulting from rainbow trout production in concrete ponds.

Keywords: 2-MIB and geosmin, Advanced oxidation processes, Analytical hierarchy process, Multi-criteria decision making, Rainbow trout.

1 Giriş

Türkiye sadece üç tarafı denizlerle çevrili olan bir ülke değil, aynı zamanda iç sular bakımından da oldukça zengin bir ülkedir. Bu iç sularında gerçekleştirilen en yoğun faaliyetlerden biri de yüksek protein içeriğine sahip alabalık yetiştiriciliğidir [1]. Alabalık yetiştiriciliği ülkemizde ve dünya genelinde kaynak sularında, dere-ırmak sularında, göl-gölet sularında ve yeraltı sularında gerçekleştirilmektedir [2]. Alabalık yetiştiriciliğinin sürdürülebilir olmasının temel şartı kullanılan su kaynağının yüksek oksijen konsantrasyonuna sahip olmasıdır. Alabalık yetiştiriciliğinin gerçekleştirileceği su kaynağının oksijen konsantrasyonunun 7 mg/L'den fazla,

kimyasal oksijen ihtiyacının 40 mg/L'den düşük, biyolojik oksijen ihtiyacının da 15 mg/L'den düşük olması arzu edilmektedir [3]. Ayrıca oksijen konsantrasyonunu sürekli yüksek tutmak gerekmektedir ve işletme masrafları göz önüne alındığında bu ihtiyacın mekanik havalandırma yerine havuzlara sürekli ve en az 8 l/sn.'lik (1000 m² yüzey alanına sahip havuzlar için) su debisinin dahil olması ile sağlanmaktadır [3]. Ayrıca alabalık havuzlarındaki su günde 5-6 kez değiştirilmeli ve böylece alabalıklar için gerekli yüksek kaliteli su sağlanabilmektedir [3]. Bunun için de alabalık tesisinin debisi en az 20-25 l/sn. olan su kaynaklarının yanına kurulması gerekmektedir [3]. Alabalık üretimi toprak, beton veya fiber havuzlarda gerçekleştirilebilmektedir [4]. Ancak,

*Yazışılan yazar/Corresponding author

beton havuzlar yatırım maliyeti fazla olmasına rağmen sürdürülebilirlik ve dezenfeksiyon ile bakımı daha kolay olduğu için tercih edilmektedir [5]. Alabalık tesislerinin dezenfekte edilmesi temel olarak ölü balıklar, balık kalıntıları, balık yemleri ve havuzlarda oluşan alg kaynaklı siyanobakter ve aktinomisetlerden kaynaklanan tat ve koku kontrolü için önemlidir [6],[7]. Alabalık tesislerinden alıcı ortama verilen atıksuyun oksijen konsantrasyonu 6 mg/L'nin üzerinde olmalıdır [3]. Ancak, bu değer doğal oksijen transferi yoluyla sağlanması zor olduğundan dolayı bir oksidan ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu aşamada da yine bir dezenfektan kullanımı gerekmektedir.

Balıkçılık faaliyetleri neticesinde balık üretimi gibi olumlu faaliyetlerin aksine, su kaynaklarının kirlenmesi gibi olumsuzluklar da ortaya çıkabilmektedir. Balıkçılık faaliyetleri ile su kaynaklarında çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azaldığı, kullanılan balık yemlerinin içeriğinden dolayı nitrit ve nitrat azotu ve amonyak azotu konsantrasyonunun arttığı ve organik madde muhtevasının arttığı da görülmektedir [2]. Bu gibi olumsuzluklar su kaynaklarının bağlandığı içme suyu arıtma tesislerine gelen kirlilik yükünü arttırmakta ve dolayısıyla tesislerde kullanılan kimyasal madde miktarı ve dezenfektan konsantrasyonu da artmaktadır [8]. Özellikle balık yemlerinin içeriğinde bulunan azotlu yapılardan dolayı içme suyu arıtma tesislerinde oluşacak sitotoksik ve genotoksik azotlu dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumu da artacaktır [9]. Ayrıca, su kalitesinde son kullanıcının dikkat ettiği en temel parametrelerden biri de tat ve kokudur [10]. Alabalık tesislerinde gerçekleştirilen dezenfeksiyon prosesinin temel amacı atıksuda bulunan kalıntı organik maddelerin oksidasyonudur [11]. İçme suyu arıtma tesisinde uygulanan dezenfeksiyon prosesinin temel amacı ise su dağıtım şebekesinin en uç noktasına kadar bakiye dezenfektanın sağlanmasıdır [9].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde su kaynaklarından tat ve koku giderimi üzerine yapılan çalışmalarda farklı ileri oksidasyon proseslerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalarda uygulanan ileri oksidasyon prosesleri UV/H₂O₂ [12]-[14], UV/Klor [14], fenton [12], foto-fenton [12], UV/Persülfat [15], UV/TiO₂ [16],[17],[19], ozonlama [20],[21], elektro-perokson [21], elektrokimyasal oksidasyon-persülfatır [22]. Balık havuzlarında gerçekleştirilen tat ve koku giderimi üzerine çalışmalarda ise UV ve ozon tabanlı ileri oksidasyon proseslerin yaygın kullanımı görülmektedir. Alabalık tesislerinin çıkışında hem alıcı ortama verilen suyun kalitesini yükseltmek hem de içme suyu arıtma tesislerine gelen kirlilik yükünün azaltılması adına kabul görmüş ileri oksidasyon prosesleri kullanılmalıdır. Alabalık tesislerinde kullanılabilecek arıtma prosesinin seçiminde çok ölçütlü karar verme metotları (ÇÖKVM) kullanılabilir [23]. ÇÖKVM, farklı alt kriterler göz önüne alınarak en iyi alternatifin seçilmesi için kullanılan subjektif bir seçim yöntemidir [24],[25].

Bu çalışmada Türkiye'de faaliyet gösteren gökkuşağı alabalığı tesislerinden kaynaklanan tat ve koku sorununun giderilmesinde kullanılabilecek uygun arıtma prosesinin seçiminde ÇÖKVM kullanılması araştırılmıştır. Çalışma kapsamında ülkemizde faaliyet gösteren alabalık tesislerinin tamamı bölgelere ve şehirlere göre haritalandırılmış ve tesislerin üretim kapasiteleri tespit edilmiştir. Literatürde kabul görmüş UV ve ozon tabanlı ileri oksidasyon proseslerinin yanı sıra tat ve koku gideriminde kabul görmüş birçok proses ile alabalık tesislerinin işletme parametreleri göz önüne

alınarak ÇÖKVM için alt kriterler belirlenmiştir. ÇÖKVM'de kullanılacak alternatifler ozon tabanlı prosesler, UV tabanlı prosesler, aktif karbon adsorpsiyonu, alüminyum koagülasyonu, kum filtrasyonu, klor, klor dioksit, potasyum permanganat, fenton tabanlı prosesler ve foto fenton prosesleridir. Çalışmada kullanılabilecek alt kriterler ise (1) giderim performansı (2) güvenilirlik ve dayanıklılık (3) karmaşıklık (4) planlı bakım kolaylığı (5) inşaa kolaylığı (6) çeşitli kimyasal kullanımı (7) ön arıtma gereksinimi (8) yan ürün oluşumu (9) uygunluktur. Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki temel amaç su kütlelerinde meydana gelen tat ve koku sorununa dikkat çekmektir. Ülkemizde beton havuzlarda gökkuşağı alabalığı üretimi gerçekleştirilmektedir ve tat ve koku problemlerine bir kaynak oluşturmaktadır. Bu çalışma su kütlelerinde ticari faaliyet gösteren gökkuşağı alabalığı tesislerinden kaynaklanan tat ve koku sorunu üzerine gerçekleştirilmiş ilk çalışmadır. Ayrıca ülkemiz açısından da akuakültür tesislerinde ÇÖKVM'nin kullanıldığı ilk çalışmadır. Bu çalışma ile karar vericilere, uygulayıcılara ve operatörlere bir yol haritası sunmak için sadece giderim verimine odaklanmak yerine aynı zamanda diğer faktörlerin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Ayrıca TOPSIS ve VIKOR gibi iki farklı ÇÖKVM test edilmiş ve bu metotların kıyaslanmasına da olanak sağlanmıştır.

2 Metodoloji

2.1 Veri toplama basamakları ve kriter ağırlıkları

Türkiye iç sularında 2000'e yakın balık yetiştirme tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerden yaklaşık 1000 tanesi gökkuşağı alabalığı üretimine odaklanmaktadır ve neredeyse tamamı beton havuzlarda gerçekleştirilmektedir [26]. Bu çalışmada gökkuşağı alabalığı üretim tesislerinde meydana gelen tat ve koku sorununun çözümüne yönelik çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Gökkuşağı alabalığı üretimi yapan tesislerinin sayısı ve üretim kapasiteleri 2021 yılına ait Tarım ve Orman Bakanlığı verilerinden temin edilmiştir [26].

Bu çalışma genel olarak dört temel adımdan oluşmaktadır. İlk aşamada kullanılan değerlendirme kriterleri alabalık tesislerinde çalışan uzman kişilerle yapılan görüşmelere göre belirlenmiştir. Seçilen değerlendirme kriterleri, bir balık üretim tesisinde dikkate alınan operasyonel, teknik, ekonomik ve çevresel etkilerin kayda değer bir bölümünü kapsadığı için tercih edilmiştir. İkinci aşamada, ayrıntılı literatür araştırması yapılmış ve gökkuşağı alabalığı üretim tesislerinde oluşan tat ve koku kaynaklarının uzaklaştırılması için alternatif arıtma prosesleri belirlenmiştir. Ayrıca alternatifler, değerlendirme kriterlerine göre ağırlıklandırılmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında alternatifler, ÇÖKVM'lerinden olan TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılarak sıralanmıştır. Çalışmanın son aşaması olan arıtma proseslerinin öncelik sıralaması, iki farklı yöntemden elde edilen sonuçlara göre yapılmıştır. Bu çalışmadaki tüm analizler ve hesaplamalar Microsoft Office Excel Programı ile gerçekleştirilmiştir.

ÇÖKVM, birden çok alternatifin diğer kriterlerle ilişkili ve/veya birbirinden bağımsız değerlendirme kriterlerine göre analiz edilmesini sağlar. Böylece en iyi alternatife karar verilebilir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de alternatiflerin seçimi ve değerlendirme kriterleri ile kriterlerin ağırlıklandırılmasıdır. Kriter ağırlıkları, AHS gibi ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak hesaplanabilir.

2.2 Analitik hiyerarşi süreci

Windy ve Saaty [27] tarafından önerilen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), her bir kriterin önceliklerini dikkate alan karmaşık bir karar verme aracıdır. Bu amaçla AHS 1'den 9'a kadar bir önem ölçüğü oluşturur (1 = Eşit Öneme Sahip, 3 = Biraz Önemli, 5 = Fazla Önemli, 7 = Çok Fazla Önemli, 9 = Son Derece Önemli). Bu ölçek, kullanıcıların bir hiyerarşi içindeki farklı birimleri karşılaştırabilmesini sağlar. Tercih değerleri, AHS'nin bu değerleri birlikte değerlendirilebilecek sayısal ölçeğe dönüştürdüğü bir ölçü veya görüş olabilir. AHS, kullanıcıların herhangi bir kriterin önemini ikili karşılaştırma matrisiyle diğeriyle karşılaştırmasına ve belirlemesine olanak tanır. AHS, verilen tercih değerleri ve ikili karşılaştırmalar yoluyla her bir kriter w_i , ($i = 1.2.3.N$) için bir önem değeri (ağırlık) atar. Dahası, AHS, genel ağırlıkların ve önceliklerin tutarlılığına karar vermek için bir tutarlılık oranı kavramı sağlar. Tutarlılığın, ağırlıkların ve önceliklerin tutarlı olduğunu kanıtlamak için, 0.1'den az olması gerekir; aksi takdirde tercih değerleri kontrol edilmelidir. AHS uygulaması yazarların daha önce gerçekleştirmiş oldukları çalışmalardan ayrıntılandırılabilir [28],[29].

2.3 TOPSIS metodu

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon [30] tarafından geliştirilmiş ÇÖKVM'dir. Yöntem ideal çözümün pozitif ideal çözüme en kısa mesafeye ve negatif ideal çözüme en uzun mesafeye sahip olması gereken bir mesafe hesaplaması varsaymaktadır. Bu mesafeler, en iyi çözümleri bulmak için sıralanacak bir benzerlik indeksi kavramına dahil edilmiştir. Pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözüme en uzak mesafede olan seçenek en iyi karar seçeneği olarak kabul edilmektedir [31]. TOPSIS işlem adımları Özbek'e [31] göre oluşturulmuştur. (1) No.lu aşamada m tane satır ve n tane sütundan olan bir D matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisinin satırları seçenekleri, sütunları ise kriterleri göstermektedir. Matris oluşturulduktan sonra (2) No.lu aşamada standart karar matrisi oluşturulmaktadır. D matrisinin her bir kriterine ait değerlerin kareleri toplamının karekökü alınarak, sütunda karşılık gelen elemana bölünerek standart karar matrisi oluşturulur. Bu işleme normalize işlemi denilmektedir ve bu işlem sonucunda R matrisi oluşturulmuş olur. Yöntemin (3) No.lu aşamasında ise ağırlıklı standart karar matrisi oluşturulmaktadır. Bu aşamada R matrisindeki her bir eleman AHS yönteminde elde edilen kriter ağırlıkları (w_j) ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi (V) elde edilmektedir. (4) No.lu aşamada ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözümleri oluşturulmaktadır. V matrisinin en iyi değerlerinden (fayda cinsinden ise) pozitif ideal çözüm kümesi (A^*), en kötü değerlerinden ise negatif ideal çözüm kümesi (A^-) oluşturulmaktadır. Eğer değerler fayda değil de maliyet cinsinden ise işlemin tersi kabul edilmektedir. Yöntemin (5) No.lu aşamasında ayırım ölçütleri hesaplanmaktadır. Yöntem matrisinde i . seçenek ideal ayırım S_i^* ve negatif ideal ayırım S_i^- olarak iki ayırım kümesi oluşturulmaktadır. j . seçeneğin pozitif ideal çözüm kümesine uzaklığı (S_i^*), negatif ideal çözüm kümesine uzaklığı (S_i^-) öklid uzaklık yaklaşımına göre hesaplanmaktadır. Yöntemin (6) No.lu son aşamasında ise ideal çözüme göre yakınlık hesaplanmaktadır. S_i^* ve S_i^- ölçüleri kullanılarak her bir seçenek için pozitif ideal çözüm kümesine olan yakınlık hesaplanmaktadır ve C_i^* olarak ifade edilmektedir. C_i^* 0-1 aralığında değer almaktadır ve 1'e en yakın değer en uygun karar seçeneği olarak belirlenmektedir.

2.4 VIKOR metodu

VIKOR yöntemi Opricovic ve Tzeng [32] tarafından çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için önerilmiştir. Her alternatif, ideal yakınlık değerleri ideal alternatiflerle karşılaştırılarak, ağırlıkları dikkate alınarak her bir kriter için değerlendirilir [31],[32]. VIKOR yönteminin (1) No.lu aşamasında TOPSIS yöntemine benzer şekilde karar seçeneklerinden satırların, değerlendirme faktörlerinin sütunları oluşturduğu bir matris oluşturulmaktadır. Bu matriste m tane karar seçeneği, n tane kriter bulunabilmektedir. Yöntemin (2) No.lu aşamasında her bir kriter için en iyi (f_j^*) ve en kötü (f_j^-) değerler belirlenmektedir. Burada en iyi ve en kötü değerler kriterin maliyet ya da fayda yönlü olmasına göre değişmektedir. Yöntemin (3) No.lu aşamasında her bir alternatif için ortalama ve en kötü grup skorları S_i ve R_i değerleri ile hesaplanmaktadır. (4) No.lu aşamada ise Q_i değerleri hesaplanmaktadır. (5) No.lu aşamada S_i , R_i ve Q_i parametreleri sıralanarak, karar seçenekleri arasında üç adet sıralama listesi oluşturulmaktadır. Son aşamada (6) ise uzlaşık çözüm kümesi bulunmaktadır. Bu işlem sonucunda kabul edilebilir avantaj ve karar vermede kabul edilebilir istikrar koşulları sağlanabilir ise, Q değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralamada en iyi sırayı alan değer uzlaşık çözüm olarak kabul edilmektedir.

3 Araştırma bulguları ve tartışma

3.1 Çalışma alanı ve kapsamı

Bu çalışma Türkiye'de bulunan ve gökkuşağı alabalığı üretimi yapan tüm tesisleri kapsamaktadır. Ülkemizde toplamda 984 adet gökkuşağı alabalığı üretim tesisi bulunmaktadır. En fazla üretim tesisi 281 adet tesis ile Karadeniz Bölgesi'nde, en az üretim ise 12 tesis ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Ülkede üretimi gerçekleştiren toplam gökkuşağı alabalığı üretim kapasitesinin neredeyse yarısı ise Ege Bölgesi'nde gerçekleştirilmektedir. Türkiye'de bölgelere göre gökkuşağı alabalığı üretimi yapan tesislerin toplam kapasiteleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Türkiye'de coğrafi bölgelere göre beton havuz alabalık tesisi sayıları ve kapasiteleri.

Table 1. Number and capacities of concrete pool trout facilities in Turkey by geographical regions.

Coğrafi Bölgeler	Tesis Sayısı	Toplam Kapasite (Kg)
Marmara Bölgesi	63	3.105.250
Ege Bölgesi	213	20.321.200
Akdeniz Bölgesi	202	4.334.500
İç Anadolu Bölgesi	95	4.375.500
Karadeniz Bölgesi	281	5.022.500
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	12	530.000
Doğu Anadolu Bölgesi	118	4.962.100
Toplam	984	42.651.050

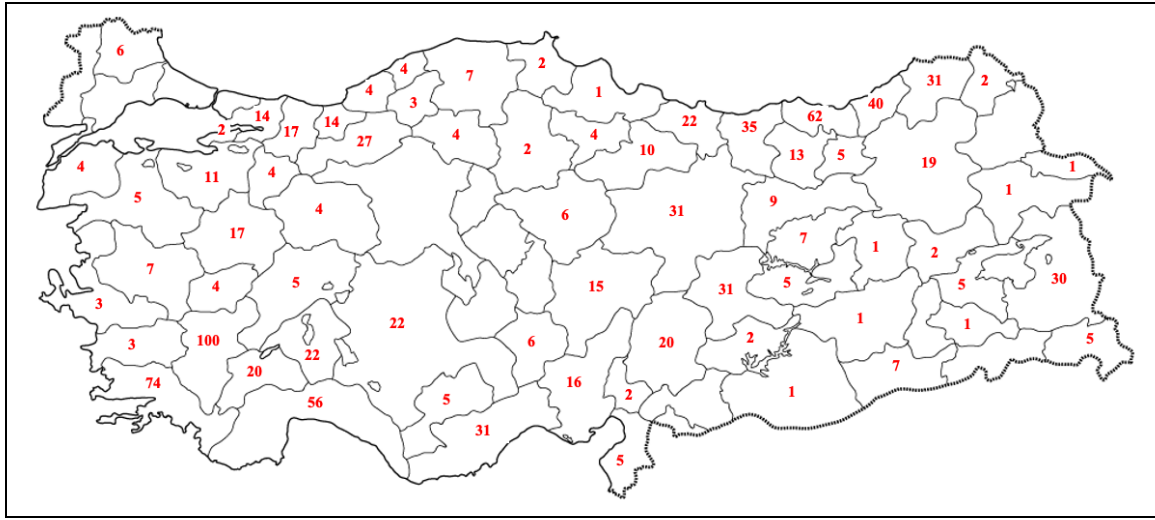
Gökkuşağı alabalığı üretimi ülkemizde genellikle beton havuzlar içinde gerçekleştirilmektedir. Gökkuşağı alabalığının üretiminin özellikle Karadeniz Bölgesi, Akdeniz Bölgesi ve Ege Bölgesi'nde yoğunlaşmasının temel sebebi bölgelerdeki su kalitesinin oldukça yüksek olmasıdır. Gökkuşağı alabalığı üretiminde kullanılan suyun sıcaklık aralığı 5-20 °C, çözünmüş oksijen konsantrasyonu 9 mg/L'nin üzerinde, CO₂ konsantrasyonu en yüksek 25-30 mg/L, pH aralığı 6.4-8.4

olmalı ve su bulanık olmamalıdır [3]. Su kaynaklarında çözülmüş oksijen tüketimine sebep olan organik maddelerin ülkemizde en az güneybatı bölgelerinde bulunduğu tespit edilmiştir [33]. Bu bölgelerde su kaynaklarının fazla olması ve çok farklı kollarından beslenmesi hem debilerini arttırmakta hem de su kalitesinin sürekli yüksek kalmasını sağlamaktadır. Şekil 1'de ülkemizde beton havuzlarda faaliyet gösteren gökkuşuğu alabalığı tesislerinin sayıları gösterilmektedir.

3.2 Çok ölçütlü karar verme metodolojisi

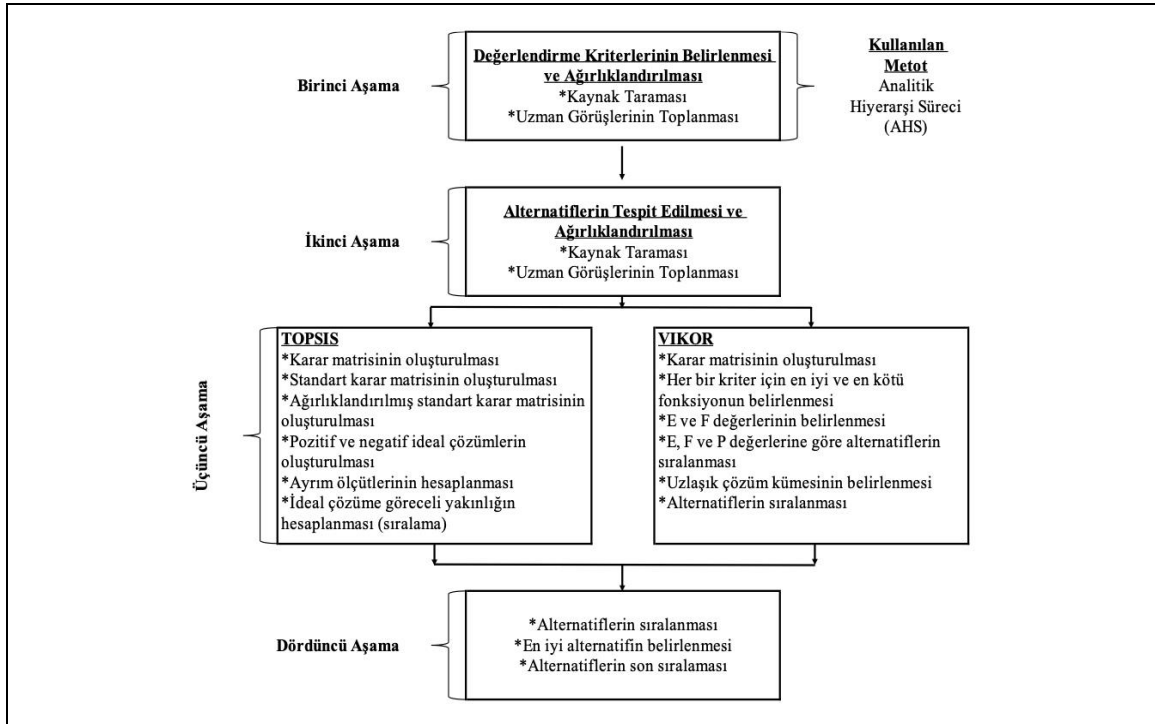
Beton havuzlarda gerçekleştirilen gökkuşuğu alabalığı üretim tesislerinden kaynaklanan tat ve koku probleminin giderimi için AHS, TOPSIS ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan

analizler gökkuşuğu alabalığı tesisleri çıkış suyunda tespit edilen tat ve koku sorunu çözümüne yönelik olsa bile, çalışma sonuçları tat ve koku sorununun oluşabildiği tüm su kaynakları için de geçerli olabilir. Karar verme sürecinde AHS yöntemi kullanılarak değerlendirme kriterleri ve kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Karar matrisleri oluşturulduktan sonra, tat ve koku giderim prosesi alternatifleri TOPSIS ve VIKOR yöntemlerine göre analiz edilmiştir. Sonuç olarak, her bir giderim prosesi alternatifleri önceliklerine göre sıralanmıştır. Analiz adımları, sonuçları ve değerlendirmeler aşağıda alt başlıklarda detaylı olarak sunulmuştur. Şekil 2'de çalışmada kullanılan ÇÖKVM'nin ana çerçevesi gösterilmektedir.



Şekil 1. Beton havuzlu gökkuşuğu alabalığı tesislerinin illere göre sayısal verileri.

Figure 1. Numerical data of rainbow trout facilities with concrete pools by provinces.



Şekil 2. ÇÖKVM'nin ana çerçevesi

Figure 2. Main framework of MCDM.

3.2.1 Analitik hiyerarşi süreci bulguları

Literatürdeki bilgiler ile uzman görüşleri değerlendirmeleri kullanılarak farklı değerlendirme kriterleri belirlenmiştir. Değerlendirme kriterlerinin ağırlıklandırılması, üç aşamada karar hiyerarşisini belirlemek için kullanılmıştır. AHS yönteminin ilk aşamasında, tat ve koku problemini su kaynaklarından giderebilecek farklı proseslerin belirlenmesini amaçlamıştır. AHS yönteminin ikinci aşaması, değerlendirme kriterlerinin belirlenmesidir. Son aşama bu çalışma özelinde giderim proseslerinin sıralanmasından oluşmaktadır. Karar hiyerarşisi oluşturulduktan sonra alternatifler ikili olarak değerlendirilmiştir. Kriterlerin önem düzeyi de AHS yöntemine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kriterleri ve ağırlıklar TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinde karar matrislerinin formülasyonunda kullanılmıştır. Karar verme sürecinde değerlendirme kriterleri, karar sürecini etkileyecek bir önem ağırlığına sahip olmalıdır.

Çalışma kapsamında tat ve koku giderimine yönelik uygulanabilecek proseslerden on tanesi uzman görüşlerine ve literatür bilgisine göre değerlendirilmiştir. Bu prosesler ozon tabanlı prosesler, UV tabanlı prosesler (UV/H₂O₂-UV/Cl₂-UV-PDS-UV absorpsiyonu), aktif karbon adsorpsiyonu, alüminyum koagülasyonu, kum filtrasyonu, klorla dezenfeksiyon, klor dioksitle dezenfeksiyon, permanganat, fenton tabanlı prosesler, foto-fentondur. Anlaşılır bir şekilde yorumlamak adına kullanılan prosesler gruplandırılarak yorumlanması yoluna gidilmiştir. Bu bağlamda benzer işletim şartlarından ve gereksinimlerinden dolayı aktif karbon adsorpsiyonu ve kum filtrasyonu bir grup altında değerlendirilmiştir. Yüksek kimyasal sarfiyatından dolayı klorla dezenfeksiyon, klor dioksitle dezenfeksiyon, potasyum permanganat prosesleri aynı grup altında yorumlanmıştır. Son olarak da foto-fenton prosesi fenton prosesine dahil edilmiştir.

Uygun konsantrasyonda aktif karbon adsorpsiyonu hem geosmin hem de 2-MIB giderimi için yaygın olarak kullanılabilir gözükse de sulara bulunan doğal organik madde

konsantrasyonu gereken aktif karbon miktarını oldukça yüksek seviyelere çıkarabilmektedir. Jung ve diğ. [34] çalışmalarında maksimum 30 mg/L toz aktif karbon kullanarak geosmini (başlangıç konsantrasyonu 44-220 ng/L) yaklaşık %80 giderirken 50 mg/L toz aktif karbon kullanarak da 2-MIB'i (başlangıç konsantrasyonu 115-147 ng/L) yaklaşık %70 giderebilmiştir. Cook ve diğ. [35] çalışmalarında geosmin ve 2-MIB giderimi için toz aktif karbon kullanılmaktadırlar. Geosmin ve 2-MIB'nin %95 giderim verimi için sırasıyla 10 mg/L ve 25 mg/L toz aktif karbon kullanımı yeterlidir. Ancak gökkuşağı alabalığı üretiminin yapıldığı tesislerde ölü balıklar, balık kalıntıları, balık yemleri gibi etkenlerden dolayı suların organik madde konsantrasyonu yükselmekte ve adsorban talebi, koagülant talebi artmakta, kum filtresi kullanan tesislerin de geri yıkama süreleri kısalmaktadır. Gökkuşağı alabalığı üretimi yapan tesislerin çıkış suları analiz edildiğinde organik madde konsantrasyonunda artış oldukça net bir şekilde tespit edilebilmektedir. Bulut ve diğ. [36] gökkuşağı alabalığı tesis çıkış suyunda (10-20 mg/L organik madde) bulunan organik madde konsantrasyonunun, tesis giriş suyunda bulunan organik madde konsantrasyonundan (6-10 mg/L organik madde) neredeyse iki kat daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu olumsuzluklardan dolayı aktif karbon adsorpsiyonu, alum koagülasyonu ve kum filtresi kullanımı uygunluk kriterinde (K9) yüksek puanlarla değerlendirilememektedir. Ayrıca benzer sebeplerden ötürü ön arıtma gereksinimi kriteri (K7), inşa kolaylığı kriteri (K5), planlı bakım kolaylığı kriteri (K4) de düşük puanlamaya maruz kalmaktadır.

Yüksek oksidasyon etkinliklerinden dolayı klor, klor dioksit ve potasyum permanganat gibi kimyasallar da gökkuşağı alabalığı tesislerinin çıkışında su kalitesini yükseltmek amacıyla kullanılabilir. Ancak geosmin ve 2-MIB tersiyer alkoller olduklarından oksidasyona karşı direnç göstermektedirler [37]. Tablo 2'de çok ölçütlü karar verme değerlendirme kriterleri ve ağırlık puanları gösterilmektedir.

Tablo2. Çok ölçütlü karar verme değerlendirme kriterleri ve ağırlık puanları.

Table 2. Multicriteria decision making evaluation criteria and weight scores.

Değerlendirme Kriterleri	Kriter Tanımları ve Ağırlık Puanları		
	1-2-3*	4-5-6**	7-8-9***
K1 - Giderim Performansı (%)	50-70	70-90	>90
K2 - Güvenilirlik ve Dayanıklılık	Uygulamaya Özgü	Orta Derecede Güvenilirlik ve Sağlamlık	Çok güvenilirlik ve sağlamlık
K3 - Karmaşıklık	Çok karmaşık	Orta derecede kompleks	Basit
K4 - Planlı Bakım Kolaylığı	Yüksek bakım gereksinimi	Orta derecede bakım gereksinimi	Düşük bakım gereksinimi
K5 - İnşa Gerekliliği	Yüksek seviyede inşaat ve ekipman gereksinimi	Orta seviyede inşaat ve ekipman gereksinimi	Düşük seviyede inşaat ve ekipman gereksinimi
K6 - Çeşitli Kimyasal Kullanımı	5'ten fazla kimyasal gereksinimi	3-5 arası farklı kimyasal gereksinimi	3'ten az kimyasal gereksinimi
K7 - Ön Arıtma Gereksinimi	Yüksek seviyede ön arıtma gereksinimi	Orta seviyede ön arıtma gereksinimi	Düşük seviyede ön arıtma gereksinimi
K8 - Yan Ürün Oluşumu	Yan ürün ya da metabolit oluşumu söz konusu	Yan ürün/metabolit oluşumu söz konusu olabilir	Yan ürün/metabolit oluşumu söz konusu değil
K9 - Uygunluk	En az 1 yıllık yerel deneyim ve sınırlı kullanım	Kısıtlama yok, ancak sınırlı yerel deneyim	Sınırlama yok ve yerel deneyim bulunmakta

1-2-3*; Prosesin özelliklerinin olumsuz veya istenmeyen durumlar olduğu koşullarda verilmektedir. 4-5-6**; Kriter özelliklerinin orta olduğu koşullarda verilmektedir. 7-8-9***; Prosesin özellikleri olumlu veya istenen durumların olduğu koşullarda verilmektedir.

Klor dioksit oldukça seçici bir oksidandır ve genellikle aktif aromatik bileşiklerle ve protonuz aminlerle tepkime vermektedir [38]. Potasyum permanganat da olefin ve fenoller ile reaksiyona girme eğilimindedir [39]. Yapılan çalışmalarda 2-MIB ve geosmin giderim verimleri sırasıyla $ClO_2 > Cl_2 > KMnO_4$ şeklinde tespit edilmiştir [40]. Literatürde sadece klor, sadece klor dioksit ya da sadece potasyum permanganat kullanımı ile 2-MIB ve Geosmin giderimini amaçlayan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu şartlar göz önüne alındığında bu alternatifler için uygunluk kriteri (K9), özellikle klor ve klor dioksitten kaynaklı kanserojen dezenfeksiyon yan ürünü oluşumu kriteri (K8), çeşitli kimyasal kullanımı kriteri (K6), klor dioksinin patlama ihtimali ve klorun zehirleyici özelliğinde dolayı da güvenilirlik ve dayanıklılık kriteri (K2) negatif puanlanmaktadır.

İleri oksidasyon prosesi olarak ozonlama ve ozon tabanlı prosesler, UV tabanlı prosesler ve fenton prosesleri ile farklı hidroksi radikal türleri oluşumuna neden olmakta ve 2-MIB ve geosmin giderimi için uygun ortam hazırlamaktadır. İleri oksidasyon prosesleri sonucu oluşan hidroksi radikaller oldukça reaktiftirler ve özellikle biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerin degradasyonunda oldukça etkilidir [41]. Ozonlama ve ozon tabanlı prosesler (O_3/H_2O_2 , UV/ O_3 , UV/ O_3/H_2O_2), fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) ve foto-fenton prosesi (UV/ Fe^{2+}/H_2O_2 , UVA/ Fe^{2+}/H_2O_2) ve çeşitli katalizörlerin kullanıldığı heterojen fotokataliz prosesleri (UV/Katalizör) ile gerçekleştirilen çalışmalarda umut verici sonuçlar elde edilmiştir [42]. Beton havuzlarda gerçekleştirilen balık üretim tesislerinin çıkış suyunun ekosistem üzerindeki olumsuz etkisini minimuma indirmek için çıkış suyuuna bir son işlem uygulanması gerekmektedir. Kapalı devre kültür balıkçılığı sistemlerinde bu sorun ozonlama ve UV dezenfeksiyonu ile kontrol altına alınmaktadır [43]. Literatür incelendiğinde tat ve koku sorununa neden olan Geosmin ve 2-MIB bileşenlerinin gideriminde UV tabanlı prosesler [12],[14], fenton ve foto-fenton prosesler [12] ve ozon tabanlı proseslerin [21],[44] oldukça fazla çalışıldığı tespit edilmiştir. Ozon ve ozon tabanlı prosesler, UV tabanlı prosesler ve fenton ve foto-fenton prosesleri yapılan çalışmalarında oldukça fazla olmasından

dolayı uygunluk kriterinden (K9) olumlu değerlendirmeler almıştır. Ayrıca bahsedilen ileri oksidasyon proseslerine çok yönlü bakış açısının oluşturulması karmaşıklık kriterinin de (K3) pozitif anlamda düşük puanlanmasına neden olmuştur. Ozon kullanımında sularda bulunan doğal organik maddelerden dolayı kanserojen yan ürün oluşumu (K8) (örneğin trihalometan) bir dezavantajdır [45]. Ancak UV tabanlı sistemlerin ön arıtma gereksinimi (K7) ve katalizör kullanımına bağlı çeşitli kimyasal kullanımı (K6) oldukça düşündürücüdür. Fenton ve foto-fenton prosesleri için de hem çeşitli kimyasal kullanımı (K6) hem de kimyasal hazırlamada kullanılacak inşa gereksinimi (K5) ekstra maliyet gibi dezavantajlar sunmaktadır.

3.2.2 TOPSIS metodu bulguları

TOPSIS yönteminde, karar alternatifleri pozitif ideal çözüm en yakın sonuç, negatif ideal çözüm ise en uzak çözüm olarak belirlenir. 2-MIB giderimi için kullanılan TOPSIS yöntemi Tablo 3'te gösterilmektedir. Tablo 3'ün ilk aşamasında kullanılan karar matrisi gösterilmektedir. İkinci kısımda her bir veri normalize edilmiş ve standart karar matrisi olarak gösterilmektedir. Üçüncü aşamada ağırlıklı standart karar matrisleri belirlendikten sonra pozitif ideal ve negatif ideal çözümler belirlenmiştir. TOPSIS metodolojisi sonucuna göre 2-MIB giderimi için uygulanabilecek yöntemler en uygun olandan en az uygun olana doğru sırasıyla ozon tabanlı prosesler> UV tabanlı prosesler> aktif karbon adsorbsiyonu veya kum filtrasyonu> fenton tabanlı prosesler (foto-fenton dahil)> klor veya klor dioksit veya potasyum permanganat> alüminyum koagülasyonu şeklindedir. Geosmin giderimi için kullanılan TOPSIS yöntemi Tablo 4'te gösterilmektedir. TOPSIS metodolojisi sonucuna göre geosmin giderimi için uygulanabilecek yöntemler en uygun olandan en az uygun olana doğru sırasıyla ozon tabanlı prosesler> UV tabanlı prosesler> aktif karbon adsorbsiyonu veya kum filtrasyonu> fenton tabanlı prosesler (foto-fenton dahil)> klor veya klor dioksit veya potasyum permanganat> alüminyum koagülasyonu şeklindedir.

Tablo 3. 2-MIB giderimi için kullanılan TOPSIS metodolojisi.

Table 3. TOPSIS methodology used for 2-MIB removal.

	Değerlendirme Kriterleri								
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Kriter Ağırlıkları (w_i)	0.20	0.11	0.04	0.09	0.07	0.13	0.18	0.16	0.02
Ozon Tabanlı Prosesler	5	8	8	8	8	8	7	5	6
UV Tabanlı Prosesler	8	5	6	4	3	4	3	8	6
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1	5	7	5	2	7	7	1	2
Alüminyum Koagülasyonu	1	5	7	5	2	3	6	1	2
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1	3	5	4	4	3	7	1	2
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1	5	5	5	2	2	7	1	4
KAREŞİ	93	173	248	171	101	151	241	93	100
KAREKÖK	9.64	13.15	15.75	13.08	10.05	12.29	15.52	9.64	10.00
Standart (normalize edilmiş) Karar Matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.518	0.608	0.508	0.612	0.796	0.651	0.451	0.518	0.600
UV Tabanlı Prosesler	0.830	0.380	0.381	0.306	0.299	0.326	0.193	0.830	0.600
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.104	0.380	0.445	0.382	0.199	0.570	0.451	0.104	0.200
Alüminyum Koagülasyonu	0.104	0.380	0.445	0.382	0.199	0.244	0.386	0.104	0.200
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.104	0.228	0.318	0.306	0.398	0.244	0.451	0.104	0.200

Tablo 3. Devamı.

Table 3. Continued.

Ağırlıklı Standart Karar Matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.104	0.068	0.023	0.054	0.053	0.087	0.080	0.081	0.013
UV Tabanlı Prosesler	0.166	0.042	0.017	0.027	0.020	0.043	0.034	0.129	0.013
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.021	0.042	0.020	0.034	0.013	0.076	0.080	0.016	0.004
Alüminyum Koagülasyonu	0.021	0.042	0.020	0.034	0.013	0.033	0.069	0.016	0.004
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.021	0.025	0.014	0.027	0.027	0.033	0.080	0.016	0.004
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.021	0.042	0.014	0.034	0.013	0.022	0.080	0.016	0.009
A^*	0.166	0.068	0.023	0.054	0.053	0.087	0.080	0.129	0.013
A^-	0.021	0.025	0.014	0.027	0.013	0.022	0.034	0.016	0.004
Pozitif ideal Ayrım Ölçüleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.387	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.234	0.000
UV Tabanlı Prosesler	0.000	0.064	0.003	0.074	0.110	0.188	0.210	0.000	0.000
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	2.108	0.064	0.001	0.042	0.158	0.012	0.000	1.275	0.008
Alüminyum Koagülasyonu	2.108	0.064	0.001	0.042	0.158	0.294	0.013	1.275	0.008
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	2.108	0.178	0.007	0.074	0.070	0.294	0.000	1.275	0.008
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	2.108	0.064	0.007	0.042	0.158	0.424	0.000	1.275	0.002
Negatif İdeal Ayrım Ölçüleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.688	0.178	0.007	0.074	0.158	0.424	0.210	0.416	0.008
UV Tabanlı Prosesler	2.108	0.029	0.001	0.000	0.004	0.047	0.000	1.275	0.008
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.000	0.029	0.003	0.005	0.000	0.294	0.210	0.000	0.000
Alüminyum Koagülasyonu	0.000	0.029	0.003	0.005	0.000	0.012	0.118	0.000	0.000
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.012	0.210	0.000	0.000
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.000	0.029	0.000	0.005	0.000	0.000	0.210	0.000	0.002
Ayrım ölçütleri ve Sıralama									
	S_i^+	S_i^-	C_i^+	C_i^-	Sıralama				
Ozon Tabanlı Prosesler	S^+	0.788	S^-	1.471	C^+	0.651	2		
UV Tabanlı Prosesler	S^+	0.806	S^-	1.863	C^+	0.698	1		
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	S^+	1.915	S^-	0.735	C^+	0.277	3		
Alüminyum Koagülasyonu	S^+	1.991	S^-	0.408	C^+	0.170	6		
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	S^+	2.004	S^-	0.489	C^+	0.196	5		
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	S^+	2.020	S^-	0.495	C^+	0.197	4		

Tablo 4. Geosmin giderimi için kullanılan TOPSIS metodolojisi.

Table 4. TOPSIS methodology used for geosmin removal.

Değerlendirme Kriterleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Kriter Ağırlıkları (w_j)	0.20	0.11	0.04	0.09	0.07	0.13	0.18	0.16	0.02
Ozon Tabanlı Prosesler	6	8	8	8	8	8	7	5	6
UV Tabanlı Prosesler	8	5	6	4	3	4	3	8	6
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1	5	7	5	2	7	7	1	2
Alüminyum Koagülasyonu	1	5	7	5	2	3	6	1	2
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1	3	5	4	4	3	7	1	2
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1	5	5	5	2	2	7	1	4
Karesi	104	173	248	171	101	151	241	93	100
Karekök	10.20	13.15	15.75	13.08	10.05	12.29	15.52	9.64	10.00

Tablo 4. Devamı.

Table 4. Continued.

Standart (normalize edilmiş) karar matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.588	0.608	0.508	0.612	0.796	0.651	0.451	0.518	0.600
UV Tabanlı Prosesler	0.784	0.380	0.381	0.306	0.299	0.326	0.193	0.830	0.600
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.098	0.380	0.445	0.382	0.199	0.570	0.451	0.104	0.200
Alüminyum Koagülasyonu	0.098	0.380	0.445	0.382	0.199	0.244	0.386	0.104	0.200
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.098	0.228	0.318	0.306	0.398	0.244	0.451	0.104	0.200
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.098	0.380	0.318	0.382	0.199	0.163	0.451	0.104	0.400
Ağırlıklı Standart Karar Matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.118	0.068	0.023	0.054	0.053	0.087	0.080	0.081	0.013
UV Tabanlı Prosesler	0.157	0.042	0.017	0.027	0.020	0.043	0.034	0.129	0.013
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.020	0.042	0.020	0.034	0.013	0.076	0.080	0.016	0.004
Alüminyum Koagülasyonu	0.020	0.042	0.020	0.034	0.013	0.033	0.069	0.016	0.004
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.020	0.025	0.014	0.027	0.027	0.033	0.080	0.016	0.004
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.020	0.042	0.014	0.034	0.013	0.022	0.080	0.016	0.009
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
A*	0.157	0.068	0.023	0.054	0.053	0.087	0.080	0.129	0.013
A-	0.020	0.025	0.014	0.027	0.013	0.022	0.034	0.016	0.004
Pozitif ideal ayırım ölçüleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.154	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.234	0.000
UV Tabanlı Prosesler	0.000	0.064	0.003	0.074	0.110	0.188	0.210	0.000	0.000
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1.885	0.064	0.001	0.042	0.158	0.012	0.000	1.275	0.008
Alüminyum Koagülasyonu	1.885	0.064	0.001	0.042	0.158	0.294	0.013	1.275	0.008
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1.885	0.178	0.007	0.074	0.070	0.294	0.000	1.275	0.008
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1.885	0.064	0.007	0.042	0.158	0.424	0.000	1.275	0.002
Negatif ideal ayırım ölçüleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.962	0.178	0.007	0.074	0.158	0.424	0.210	0.416	0.008
UV Tabanlı Prosesler	1.885	0.029	0.001	0.000	0.004	0.047	0.000	1.275	0.008
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.000	0.029	0.003	0.005	0.000	0.294	0.210	0.000	0.000
Alüminyum Koagülasyonu	0.000	0.029	0.003	0.005	0.000	0.012	0.118	0.000	0.000
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.012	0.210	0.000	0.000
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.000	0.029	0.000	0.005	0.000	0.000	0.210	0.000	0.002
Ayırım ölçütleri ve sıralama									
	S_i^+		S_i^-		C_i^+		C_i^-		Sıralama
Ozon Tabanlı Prosesler	S^+	0.623	S^-	1.561	C^+	0.714			1
UV Tabanlı Prosesler	S^+	0.806	S^-	1.802	C^+	0.691			2
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	S^+	1.856	S^-	0.735	C^+	0.283			3
Alüminyum Koagülasyonu	S^+	1.934	S^-	0.408	C^+	0.174			6
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	S^+	1.947	S^-	0.489	C^+	0.200			5
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	S^+	1.964	S^-	0.495	C^+	0.201			4

3.2.3 VIKOR metodu bulguları

2-MIB giderimi için kullanılan VIKOR yöntemi Tablo 5'te gösterilmektedir. VIKOR metodolojisi sonucuna göre 2-MIB giderimi için uygulanabilecek yöntemler en uygun olandan en az uygun olana doğru sırasıyla ozon tabanlı prosesler>UV tabanlı prosesler> aktif karbon adsorbsiyonu veya kum filtrasyonu> alüminyum koagülasyonu> klor veya klor dioksit

veya potasyum permanganat> fenton tabanlı prosesler (foto-fenton dahil) şeklindedir. Geosmin giderimi için kullanılan VIKOR yöntemi Tablo 6'da gösterilmektedir. VIKOR metodolojisi sonucuna göre geosmin giderimi için uygulanabilecek yöntemler en uygun olandan en az uygun olana doğru sırasıyla ozon tabanlı prosesler>UV tabanlı prosesler> aktif karbon adsorbsiyonu veya kum filtrasyonu> alüminyum koagülasyonu> klor veya klor dioksit veya

potasyum permanganat> fenton tabanlı prosesler (foto-fenton dahil) şeklindedir. Bir ileri oksidasyon prosesi olarak ozon ve ozon tabanlı proseslerin organik madde parçalamasında seçici olmaması tat ve koku bileşenlerinin gideriminde en önemli tercih sebeplerinden biridir. Hem içme suyu arıtımında hem de atıksu arıtımında doğru doz kullanılması halinde oldukça başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Ozon prosesinin UV/O₃/TiO₂, O₃/H₂O₂, O₃/Toz Aktif Karbon (PAC) uygulamaları da ozonun çok geniş alanlarda yayılmasına imkan tanımaktadır. Ozon ve ozon tabanlı proseslerin diğer arıtma tekniklerine kıyasla nispeten daha az yer kaplaması da tercih

edilme sebebidir. Ozon üretimi bir jeneratör yardımıyla saf oksijenden veya havadan üretilebilmektedir. Diğer proseslerde gerek duyulan kimyasal havuzları ozonlama çalışmasında bir gereklilik değildir. Su kaynaklarından tat ve koku giderimi çalışmalarında da ozon ve ozon tabanlı prosesler (ozonlama, katalitik ozonlama, elektro-perokson prosesi) oldukça ilgi gören proseslerdendir. Özellikle elektro-perokson prosesi hidroksi radikalleri arttırdığından dolayı oldukça revaçta olan bir ileri oksidasyon prosesisidir [46]. Sadece ozon kullanımı veya ozon tabanlı proseslerin kullanımı ile tat ve koku bileşenlerinin giderimi %27-90 aralığında gerçekleştirilmektedir [42].

Tablo 5. 2-MIB giderimi için kullanılan VIKOR metodolojisi.

Table 5. VIKOR methodology used for 2-MIB removal.

	Değerlendirme Kriterleri								
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Kriter Ağırlıkları (w_j)	0.20	0.11	0.04	0.09	0.07	0.13	0.18	0.16	0.02
Ozon Tabanlı Prosesler	5	8	8	8	8	8	7	5	6
UV Tabanlı Prosesler	8	5	6	4	3	4	3	8	6
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1	5	7	5	2	7	7	1	2
Alüminyum Koagülasyonu	1	5	7	5	2	3	6	1	2
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1	3	5	4	4	3	7	1	2
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1	5	5	5	2	2	7	1	4
En iyi f_j^+ ve en kötü f_j^- değerleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
f_j^+	8	8	8	8	8	8	7	8	6
f_j^-	1	3	5	4	2	2	3	1	2
Normalize edilmiş karar matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.229	0.200	0.333	0.250	0.167	0.167	0.250	0.229	0.250
UV Tabanlı Prosesler	0.143	0.320	0.444	0.500	0.444	0.333	0.583	0.143	0.250
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1.143	0.320	0.381	0.400	0.667	0.190	0.250	1.143	0.750
Alüminyum Koagülasyonu	1.143	0.320	0.381	0.400	0.667	0.444	0.292	1.143	0.750
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1.143	0.533	0.533	0.500	0.333	0.444	0.250	1.143	0.750
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1.143	0.320	0.533	0.400	0.667	0.667	0.250	1.143	0.375
Ağırlıklı standart karar matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.046	0.022	0.015	0.022	0.011	0.022	0.044	0.036	0.006
UV Tabanlı Prosesler	0.029	0.036	0.020	0.044	0.030	0.044	0.104	0.022	0.006
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.229	0.036	0.017	0.036	0.044	0.025	0.044	0.178	0.017
Alüminyum Koagülasyonu	0.229	0.036	0.017	0.036	0.044	0.059	0.052	0.178	0.017
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.229	0.059	0.024	0.044	0.022	0.059	0.044	0.178	0.017
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.229	0.036	0.024	0.036	0.044	0.089	0.044	0.178	0.008
S R ve Q değerleri									
S_i	R_i				$Q_i v=0.1$	$Q_i v=0.5$	$Q_i v=1$		
0.224	0.046			0.224	0.000	0.000	0.000		
0.334	0.104	S^+		0.687	0.309	0.277	0.237		
0.625	0.229	R^+		0.046	0.987	0.933	0.933		
0.667	0.229	R^-		0.229	0.996	0.978	0.978		
0.676	0.229	v		0.1	0.998	0.988	0.988		
0.687	0.229	v		0.5	1.000	1.000	1.000		
		v		1					
Sıralama Q_i									
Ozon Tabanlı Prosesler	1								
UV Tabanlı Prosesler	2								
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	3								
Alüminyum Koagülasyonu	4								
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	5								
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	6								

Tablo 6. Geosmin giderimi için kullanılan VIKOR metodolojisi.

Table 6. VIKOR methodology used for geosmin removal.

	Değerlendirme Kriterleri								
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Kriter Ağırlığı (w_j)	0.20	0.11	0.04	0.09	0.07	0.13	0.18	0.16	0.02
Ozon Tabanlı Prosesler	6	8	8	8	8	8	7	5	6
UV Tabanlı Prosesler	8	5	6	4	3	4	3	8	6
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1	5	7	5	2	7	7	1	2
Alüminyum Koagülasyonu	1	5	7	5	2	3	6	1	2
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1	3	5	4	4	3	7	1	2
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1	5	5	5	2	2	7	1	4
En iyi f_j^+ ve en kötü f_j^- değerleri									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
f_j^+	8	8	8	8	8	8	7	8	6
f_j^-	1	3	5	4	2	2	3	1	2
Normalize edilmiş karar matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.190	0.200	0.333	0.250	0.167	0.167	0.250	0.229	0.250
UV Tabanlı Prosesler	0.143	0.320	0.444	0.500	0.444	0.333	0.583	0.143	0.250
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	1.143	0.320	0.381	0.400	0.667	0.190	0.250	1.143	0.750
Alüminyum Koagülasyonu	1.143	0.320	0.381	0.400	0.667	0.444	0.292	1.143	0.750
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	1.143	0.533	0.533	0.500	0.333	0.444	0.250	1.143	0.750
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	1.143	0.320	0.533	0.400	0.667	0.667	0.250	1.143	0.375
Ağırlıklı standart karar matrisi									
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
Ozon Tabanlı Prosesler	0.038	0.022	0.015	0.022	0.011	0.022	0.044	0.036	0.006
UV Tabanlı Prosesler	0.029	0.036	0.020	0.044	0.030	0.044	0.104	0.022	0.006
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	0.229	0.036	0.017	0.036	0.044	0.025	0.044	0.178	0.017
Alüminyum Koagülasyonu	0.229	0.036	0.017	0.036	0.044	0.059	0.052	0.178	0.017
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	0.229	0.059	0.024	0.044	0.022	0.059	0.044	0.178	0.017
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	0.229	0.036	0.024	0.036	0.044	0.089	0.044	0.178	0.008
S R ve Q değerleri									
S_i	R_i				$Q_i v=0.1$	$Q_i v=0.5$	$Q_i v=1$		
0.216	0.044	S^+		0.216	0.000	0.000	0.000		
0.334	0.104	S^-		0.334	1.000	1.000	1.000		
0.625	0.229	R^+		0.044	3.144	3.292	3.478		
0.667	0.229	R^-		0.104	3.179	3.468	3.828		
0.676	0.229	v		0.1	3.188	3.509	3.911		
0.687	0.229	v		0.5	3.197	3.556	4.004		
		v		1					
Sıralama Q_i									
Ozon Tabanlı Prosesler	1								
UV Tabanlı Prosesler	2								
Aktif Karbon Adsorbsiyonu veya Kum Filtrasyonu	3								
Alüminyum Koagülasyonu	4								
Klor veya Klor Dioksit veya Potasyum Permanganat	5								
Fenton Tabanlı Prosesler (Foto-Fenton Dahil)	6								

Tat ve koku gideriminde en etkili yöntemlerden biri de UV tabanlı proseslerdir. UV ışığı TiO_2 veya ZnO gibi katalizörlerle birlikte kullanılabilir. Ayrıca UV ışığı H_2O_2/TiO_2 veya O_3/TiO_2 veya O_3/H_2O_2 veya fenton prosesi ile kullanılabilir. UV ışığının yaygın kullanımından dolayı farklı türlerde hidroksi radikaller oluşturulabilir ve bu durum da organik maddelerin yanı sıra tat ve koku bileşenlerinin giderimine de olanak sağlayabilir. Ayrıca dezenfektan olarak UV ışığının kullanımı ile dezenfeksiyon yan ürünleri arasındaki şimdye kadar herhangi bir ilişki tespit edilememiştir. UV ışığının çeşitli kimyasallarla ya da katalizörle

birlikte heterojen fotokatalitik proses oluşturması ile tat ve koku bileşenlerinin %60-100 aralığında giderilebildiği tespit edilmiştir [42].

Çalışma kapsamında beton tesislerde üretimi gerçekleştirilen gökkuşağı alabalığı tesislerinden kaynaklanan 2-MIB ve geosmin bileşenlerinden kaynaklı tat ve koku sorunu için arıtma alternatifleri TOPSIS ve VIKOR gibi ÇÖKVM ile sıralanmıştır. Çalışma sonucuna göre hem 2-MIB hem de geosmin için sıralama metodu olarak TOPSIS ya da VIKOR kullanılsın, ozon tabanlı prosesler en uygun arıtma yöntemi

olarak tespit edilmiştir. Hem VIKOR metodu ile elde edilen sonuçlar hem de TOPSIS metodu ile elde edilen literatürde oldukça sık karşılaşılan sonuçlardır.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada su kaynaklarından istenmeyen tat ve koku sorununa neden olan 2-MIB ve geosminin, beton havuzlarda üretimi gerçekleştirilen gökkuşağı alabalığı tesisleri çıkış suyundan giderilmesi için en iyi arıtma alternatifinin belirlenmesinde TOPSIS ve VIKOR gibi analitik karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Arıtma alternatiflerinin analizinde, değerlendirme kriterleri belirlenmiş ve AHS yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Sonuç olarak, her yöntemle arıtma alternatiflerinin bir öncelik sıralaması yapılmıştır. Buna göre, en iyi arıtma alternatifi TOPSIS metodunda 2-MIB ve geosmin için ozon tabanlı proseslerdir. En iyi ve en kötü iki alternatifin de tüm karar yöntemlerinde aynı öncelik sıralamalarına sahip olduğu görülmüştür. Bu yaklaşıma göre, nihai öncelik sıralaması TOPSIS yönteminde hem 2-MIB hem de geosmin için ozon tabanlı prosesler> UV tabanlı prosesler> aktif karbon adsorpsiyonu veya kum filtrasyonu> fenton tabanlı prosesler (foto-fenton dahil)> klor veya klor dioksit veya potasyum permanganat> alüminyum koagülasyonu> olarak hesaplanmıştır. VIKOR yöntemine göre de hem 2-MIB hem de geosmin için sıralama ozon tabanlı prosesler>UV tabanlı prosesler> aktif karbon adsorpsiyonu veya kum filtrasyonu> alüminyum koagülasyonu> klor veya klor dioksit veya potasyum permanganat> fenton tabanlı prosesler (foto-fenton dahil) şeklinde hesaplanmıştır. TOPSIS ve VIKOR metodlarının en iyi alternatifi olan ozon tabanlı proseslerin avantajları, yüksek giderim verimliliği, güvenilir ve dayanıklı olması, düşük inşaa gereksinimi, az kimyasal kullanımı, ön arıtma gereksinimi olmaması ve çok fazla çalışma yapılarak uygunluğunun tespit edilmesidir. Katalitik ozonlama ve elektro-perokson süreçleri ile daha etkili sonuçlar elde etmek mümkün olabilir. Bu çalışmada, en iyi arıtma alternatifinin belirlenmesinde analitik karar verme yöntemlerini uygulamak üzere örnek olarak su kaynaklarında tat ve koku oluşumuna neden olan 2-MIB ve geosmin gibi yarı uçucu organik bileşikler seçilmiştir. Bununla birlikte, bu analitik karar verme yöntemi, yalnızca gökkuşağı alabalığı üretiminin gerçekleştirildiği tesislere değil tüm su kaynaklarına da uygulanabilir. TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin aynı tesisler için aynı veya farklı sonuçlar vermesi beklenen bir durumdur. Bunun sebebi ise TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin kullandığı algoritmaların farklılığından kaynaklanmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalarda hem ozon tabanlı prosesler hem de UV tabanlı prosesler diğer alternatiflere kıyasla çok daha ön plandadır. Burada verilmek istenen sonuç işletmeler için en iyi kararın yine işletmeciler tarafından verilecek olmasıdır. Sonuç olarak, bu yaklaşımla elde edilen en iyi arıtma alternatiflerinin belirlenmesi, proje hazırlıkları ve tesis operasyonları sırasında karar vericiler, proje mühendisleri ve tesis operatörlerine yardımcı olabilir. Bu anlamda 2-MIB ve geosmin gibi organik bileşiklerin insan sağlığına ve çevreye verdikleri risklerin önlenmesine kritik katkılar yapılabilir. Ayrıca bu yaklaşımın geleneksel arıtma tesislerinin modernizasyon sürecinde kullanılması çevresel, teknik ve ekonomik sürdürülebilirlik sağlayabilir. Ayrıca, ülkemizde sayıları oldukça fazla olan kültür balıkçılığı tesislerinin hem iç sularda hem de deniz sularında meydana getirdikleri kirlilik hakkında bir dizi yeni araştırmaya (özellikle tam ölçekli ve pilot ölçekli) ihtiyaç vardır.

5 Conclusions

In this study, analytical decision-making methods such as TOPSIS and VIKOR were used to determine the best treatment alternative for the removal of 2-MIB and geosmin, which cause unpleasant taste and odor problems from water sources, from the effluent of rainbow trout plants produced in concrete ponds. In the analysis of treatment alternatives, evaluation criteria were determined and weighted using the AHP method. As a result, a priority ranking of treatment alternatives was made by each method. Accordingly, the best treatment alternative is the ozone-based processes for 2-MIB and geosmin in the TOPSIS method. It has been seen that the two best and worst alternatives have the same priority order in all decision methods. According to this approach, the final order of priority is ozone-based processes> UV based processes> activated carbon adsorption or sand filtration> fenton based processes (including photo-fenton)> chlorine or chlorine dioxide or potassium permanganate> aluminum coagulation>. According to the VIKOR method, for both 2-MIB and geosmin was calculated as the ranking is ozone-based processes>UV-based processes> activated carbon adsorption or sand filtration> aluminum coagulation> chlorine or chlorine dioxide or potassium permanganate> fenton-based processes (including photo-fenton). The advantages of ozone-based processes, which are the best alternatives to TOPSIS and VIKOR methods, are high removal efficiency, reliable and durable, low construction requirement, less chemical use, no pre-treatment requirement, and determination of suitability by doing a lot of work. It may be possible to achieve more effective results with catalytic ozonation and electro-peroxone processes. In this study, semi-volatile organic compounds such as 2-MIB and geosmin, which cause taste and odor formation in water resources, were chosen as an example to apply analytical decision-making methods in determining the best treatment alternative. However, this analytical decision-making method can be applied to all water sources, not just rainbow trout production facilities. It is expected that TOPSIS and VIKOR methods will give the same or different results for the same facilities. The reason for this is due to the difference of algorithms used by TOPSIS and VIKOR methods. In studies conducted in this field, both ozone-based processes and UV-based processes are much more prominent than other alternatives. The desired result here is that the best decision for businesses will be made by the operators. As a result, identifying the best treatment alternatives achieved with this approach can assist decision makers, project engineers and plant operators during project preparation and plant operations. In this sense, critical contributions can be made to prevent the risks posed by organic compounds such as 2-MIB and geosmin to human health and the environment. In addition, the use of this approach in the modernization process of traditional treatment plants can provide environmental, technical, and economic sustainability. In addition, there is a need for a series of new studies (especially full-scale and pilot-scale) on the pollution caused by aquaculture facilities, which are quite numerous in our country, both in inland and marine waters.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Cihan ÖZGÜR fikrin oluşması, tasarımın yapılması ve literatür taraması başlıklarında; Emrah ÖZTÜRK elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan yöntemin oluşturulması ve sonuçların incelenmesi,

yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

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

8 Kaynaklar

- [1] Arslan G, Yağanoğlu E. "Toprak ve beton havuzlarda yapılan alabalık yetiştiriciliğinin su ve topraktaki bazı fiziko-kimyasal parametrelere etkisi". *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 6(1), 1-5, 2020.
- [2] Tokgöz Yayan D. Durgun Sularda Balık Yetiştiriciliğinin Besin Elementleri Açısından Etkilerinin Azaltılması. Uzmanlık Tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2015.
- [3] Aydın F. "Alabalık Biyolojisi ve Yetiştirme Teknikleri". Kayseri İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2020.
- [4] Kiriş GA, Dikel S. "Fiber tank ve beton havuza yerleştirilmiş ağ kafeslerdeki gökkuşuğu alabalıklarının (*oncorhynchus mykiss walbaum*. 1792) besi performansları ve karkas kompozisyonları". *Ege University Journal of Fisheries & Aquatic Sciences*, 19, (3-4), 371-380, 2002.
- [5] Atamanalp M, Kocaman EM, Dağdemir V. "Farklı tip havuzların yavru alabalık yetiştiriciliğinde karlılık üzerine etkisinin ekonomik analizi". *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 1-4, 2007.
- [6] Robin J, Cravedi JP, Hillenweck A, Deshayes C, Vallod D. "Off flavor characterization and origin in French trout farming". *Aquaculture*, 260, 128-138, 2006.
- [7] Gonçalves AA, Gagnon GA. "Ozone application in recirculating aquaculture system: An overview". *Ozone: Science & Engineering*, 33, 345-367, 2011.
- [8] Barrett SE, Krasner SW, Amy GL. "Natural Organic Matter and Disinfection By-Products: Characterization and Control in Drinking Water-An Overview. Editors: Barrett SE, Krasner SW, Amy GL. Natural Organic Matter and Disinfection By-Products. 2-14, Washington DC, USA, American Chemical Society, 2000.
- [9] Özgür C. Farklı Su Kaynaklarında ve Şebekelerde Karbonlu ve Azotlu Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2019.
- [10] Fakioglu M, Karpuzcu ME, Öztürk İ. "İçme sularında alg kaynaklı tat ve koku sorununun değerlendirilmesi". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 24(6), 1141-1156, 2018.
- [11] Reilly A. "Discussion Paper on The Use of Chlorinated Water. Codex Committee on Fish and Fishery Products". Food and Agriculture Organization of the United Nations. Norway, CX-722, 2019.
- [12] Park JA, Nam HL, Choi JW, Ha J, Lee SH. "Oxidation of geosmin and 2-methylisoborneol by the photo-Fenton process: Kinetics, degradation intermediates, and the removal of microcystin-LR and trihalomethane from Nak-Dong River water". *Chemical Engineering Journal*, 13, 345-354, 2017.
- [13] Tan F, Chen H, Wu D, Wang N, Gao Z, Wang L. "Optimization of geosmin removal from drinking water using UV/H₂O₂". *Journal of Residuals Science and Technology*, 13(1), 23-30, 2016.
- [14] Wang D, Bolton JR, Andrews SA, Hofmann R. "UV/chlorine control of drinking water taste and odour at pilot and full-scale". *Chemosphere*, 136, 239, 244, 2015.
- [15] Xie P, Ma J, Liu W, Zou J, Yue S, Li X, Wiesner MR, Fang J. "Removal of 2-MIB and geosmin using UV/persulfate: contributions of hydroxyl and sulphate radicals". *Water Research*, 69, 223-232, 2015.
- [16] Fotiou T, Triantis TM, Kaloudis T, Papaconstantinou E, Hiskia A. "Photocatalytic degradation of water taste and odour compounds in the presence of polyoxometalates and TiO₂: intermediates and degradation pathways". *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 286, 1-9, 2014.
- [17] Wee LH, Janssens N, Vercammen J, Tamaraschi L, Thomassen LCJ, Martens JA. "Stable TiO₂ USY zeolite composite coatings for efficient adsorptive and photocatalytic elimination of geosmin from water". *Journal of Materials Chemistry A*, 3, 2258-2264, 2015.
- [18] Pestana CJ, Robertson PKJ, Edwards C, Wilhelm W, Mckenzie C, Lawton LA. "A continuous flow packed bed photocatalytic reactor for the destruction of 2-methylisoborneol and geosmin utilizing pelletised TiO₂". *Chemical Engineering Journal*, 235, 293-298, 2014.
- [19] Pettit S, Rodriguez-Gonzalez L, Michaels J, Alcantar N, Ergas S, Kuhn J. "Parameters influencing the photocatalytic degradation of geosmin and 2-methylisoborneol utilizing immobilized TiO₂". *Catalysis Letters*, 144, 1460-1465, 2014.
- [20] Xu B, Qi F. "Reaction mechanism of 2-methylisoborneol and 2,4,6-trichloroanisole in catalytic ozonation by γ-AIOOH: role of adsorption". *Clean Soil Air Water*, 44(9), 1099-1105, 2016.
- [21] Yao W, Qu Q, von Gunten U, Chen C, Yu G, Wang Y. "Comparison of methylisoborneol and geosmin abatement in surface water by conventional ozonation and an electro-peroxone process". *Water Research*, 108, 373-382, 2017.
- [22] Bu L, Zhou S, Shi Z, Deng L, Gao N. "Removal of 2-MIB and geosmin by electrogenerated persulfate: performance, mechanism and pathways". *Chemosphere*, 168, 1309-1316, 2017.
- [23] Almansa-Ortegon M, Machuca-Martinez F, Manyoma PC. "Multi-criteria analysis for the selection of advanced oxidation technologies in the treatment of emerging pollutants". *Respuestas*, 25(2), 16-25, 2020.
- [24] Yılmaz N, Şenol MB. "A model and application of occupational health and safety risk assessment". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(1), 77-87, 2017.
- [25] İç YT, Yurdakul M. "Analysis of the effect of the number of criteria and alternatives on the ranking results in applications of the multi criteria decision making approaches in machining center selection problems". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(2), 991-1001, 2020.
- [26] T.C. Tarım Orman Bakanlığı. "Su Ürünleri Yetiştiricilik Tesisleri". www.tarimorman.gov.tr. <https://www.tarimorman.gov.tr/BSGM/Belgeler/Icerikler/Su%20%C3%9C%3%BCnleri%20Yeti%C5%9Ftiricili%C4%9Fi/Su-Urunleri-Tesisleri-2019.pdf>. (14.02.2021)
- [27] Wind Y, Saaty TL. "Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process". *Management Science*, 26, 641-658, 1980.

- [28] Ozturk E. "Applying analytical decision methods for determination of the best treatment alternative to remove emerging micropollutants from drinking water and wastewater: triclosan example". *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 30517-30546, 2018.
- [29] Özgür C. "Düşük bromür ve organik madde içeren su kaynakları için ön dezenfektan seçiminde çok ölçütlü karar verme metodlarının uygulanması". *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(2), 1039-1058, 2020.
- [30] Hwang CL, Yoon K. *Methods for Multiple Attribute Decision Making*. Editors: Beckman M, Kunzi HP. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 58-191, Berlin, Germany, Springer Berlin, Heidelberg 1981.
- [31] Özbek A. *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü*. 3. baskı. Ankara, Türkiye, Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, 2017.
- [32] Opricovic S, Tzeng GH. "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS". *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445-455, 2004.
- [33] Ates N, Kaplan SS, Sahinkaya E, Kitis M, Dilek FB, Yetis Ü. "Occurrence of disinfection by-products in low DOC surface waters in Turkey". *Journal of Hazardous Materials*. 142, 526-534, 2007.
- [34] Jung SW, Baek KH, Yu MJ. "Treatment of taste and odor material by oxidation and adsorption". *Water Science and Technology*, 49(9), 289-295, 2004.
- [35] Cook D, Newcombe G, Sztajn bok P. "The application of powdered activated carbon for mib and geosmin removal: predicting pac doses in four raw waters". *Water Research*, 35(5), 1325-1333, 2001.
- [36] Bulut C, Akçimen U, Uysal K, Çınar Ş, Küçük kara R, Savaşer S, Tokatlı C, Öztürk GN, Köse E. "Kestel deresi (Burdur) su kalitesinin belirlenmesi ve alabalık yetiştiriciliği açısından değerlendirilmesi". *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28, 1302-3055, 2012.
- [37] Antonopoulou M, Evgenidou E, Lambropoulou D, Konstantinou I. "A review on advanced oxidation processes for the removal of taste and odor compounds from aqueous media". *Water Research*, 53, 215-234, 2014.
- [38] Huber MM, Korhonen S, Ternes TA, von Gunten U. "Oxidation of pharmaceuticals during water treatment with chlorine dioxide". *Water Research*, 39, 3607-3617, 2005.
- [39] Jiang. J, Pang SY, Ma J, Liu H. "Oxidation of phenolic endocrine disrupting chemicals by potassium permanganate in synthetic and real waters". *Environmental Science and Technology*, 46, 1774-1781, 2012.
- [40] Rosenfeldt EJ, Melcher B, Linden KG. "UV and UV/H2O2 treatment of methylisoborneol (MIB) and geosmin in water". *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 54 (7), 423-434, 2005.
- [41] Riberio AR, Nunes OC, Pereira MFR, Silva MT. "An overview on the advanced oxidation processes applied for the treatment of water pollutants defined in the recently launched Directive 2013/39/EU". *Environment International*, 75, 33-51, 2015.
- [42] Antonopoulou M, Konstantinou I. *AOPs Methods for the Removal of Taste and Odor Compounds*. Editors: Gil A, Galeano LA, Vicente MA. Applications of Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Drinking Water Treatment, 179-210, Cham, Switzerland, Springer Cham Press, 2019.
- [43] Klausen MM, Gronborg O. "Pilot scale testing of advanced oxidation processes for degradation of geosmin and MIB in recirculated aquaculture". *Water Science & Technology: Water Supply-WSTWS*, 10(2), 217-225, 2010.
- [44] Mizuno T, Ohara S, Nishimura F, Tsuno H. "O3/H2O2 process for both removal of odorous algal-derived compounds and control of bromate ion formation". *Ozone: Science & Engineering*, 33, 121-135, 2011.
- [45] Alver A, Altınışık Tağaç A, Kılıç A. "Removal of natural organic matters from aquatic environment by catalytic ozonation processes with silver nanoparticles: Determination of ozonation products". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 35(3), 1285-1295, 2020.
- [46] Dinç Ö. "Tannic acid oxidation by electroperoxone". *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 35(1), 51-60, 2020.