

DÜŞÜK BROMÜR VE ORGANİK MADDE İÇEREN SU KAYNAKLARI İÇİN ÖN DEZENFEKTAN SEÇİMİNDE ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME METOTLARININ UYGULANMASI

Cihan ÖZGÜR *

Alınma: 30.05.2020; düzeltme: 11.07.2020; kabul: 06.08.2020

Öz: Birçok iyi ya da birçok kötü seçenek arasından karar verme, yöneticilerin ve idarecilerin en fazla zorlandıkları durumların başında gelmektedir. İçme suyu kaynaklarında kullanılmak üzere seçilecek ön dezenfektan türleri de oldukça fazladır ve bu durum seçimi güçleştirmektedir. Bu çalışmada ülkemizin su kaynaklarının genel durumu göz önüne alınarak düşük organik madde ve düşük bromür konsantrasyonuna sahip su kaynakları için ön dezenfektan seçiminde karar almayı kolaylaştırmak adına “Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri” Kullanılmıştır. Çalışma kapsamında “Analitik Hiyerarşi Süreci” (AHS) ve “Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution” (TOPSIS) tekniklerinin kombinasyonundan oluşan bir analiz metodu kullanılmıştır. Bu kapsamda 6 kriter (Bakiye Dayanıklılık-Mikroorganizma Giderimi-Teçhizat Gereksinimi-Güvenlik Endişeleri-pH Bağımlılığı-Sağlık Etkileri) ve 6 alt kriter (Klor (Gaz)-Klor (Sıvı)-Ozon-Klor Dioksit-Kloramin-UV) belirlenerek, uzman görüşleri ve literatür bilgisinden yararlanılarak sistematik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bakiye dayanıklılığın yüksek olması, teçhizat gereksiniminin yüksek olmaması, pH bağımlılığının yüksek olmaması ve nispeten düşük sağlık endişeleri gibi avantajlarından dolayı klor gazı en iyi ön dezenfektan olarak tespit edilirken UV ise en son tercih edilmesi gereken dezenfektan olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AHS, Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları, Dezenfeksiyon, İçme Suyu Arıtımı, TOPSIS

Implementation of Multi-Criteria Decision Making Methods for Pre-Disinfectant Selection for Water Resources Containing Low Bromide and Organic Matter

Abstract: Deciding among many good or bad options is one of the most difficult situations for managers and administrators. The types of pre-disinfectants to be selected for use in drinking water resources are also quite high and this makes the choice difficult. In this study, “Multi Criteria Decision Making Methods” were used in order to facilitate decision making for the selection of pre-disinfectants for water sources with low organic matter and low bromide concentration considering the general condition of our country's water resources. An analysis method consisting of the combination of “Analytic Hierarchy Process” (AHP) and “Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution” (TOPSIS) techniques was used in the study. In this context, a systematic study was carried out by determining 6 criteria (Residual Disinfectant-Microorganism Removal-Equipment Requirement-Security Concerns-pH Dependence-Health Effects) and 6 sub-criteria (Chlorine (Gases)-Chlorine (liquid)-Ozone-Chlorine Dioxide-Chloramine-UV) and making use of expert opinions and literature knowledge. Due to the advantages such as high residual resistance, low equipment requirement, low pH dependency and relatively low health concerns, chlorine gas is determined as the best pre-disinfectant, while UV is the last disinfectant to be preferred.

Keywords: AHP, Disinfection, Drinking Water Treatment, Multi-Criteria Decision Making, TOPSIS

* Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sütçüler Prof. Dr. Hasan Gürbüz Meslek Yüksekokulu, 32950, Isparta, Türkiye

1. GİRİŞ

Gelişen bilim ve teknoloji birçok yeni fikrin türetilmesine ve uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Yeni fikirlerin ortaya çıkışı ile birlikte doğal süreç içerisinde eski ve yeni fikirlerin kıyaslanması da kaçınılmazdır. Bu konuda kişiler karar verme bilinmezi ile karşı karşıya kalmaktadır. Karar verme bir amacı gerçekleştirmek için eldeki imkanları göz önüne alarak en uygun durumu belirlemektir. Karar verme aşamasında deneyim, sezgi ve akıl çok önemli olsa da her zaman en iyi alternatifin belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Çok Ölçütlü Karar Verme metotları bu zorlu sürecin hafifletilmesinde karar vericilere kolaylıklar tanımaktadır.

Çok Ölçütlü Karar Verme metotları aynı amaca yönelik hedeflerin, karar vericilerin karşılaştığı belirsiz, karmaşık ve çelişkili durumları gözler önüne sererek daha iyi karar verilmesini sağlayan süreçler bütünüdür (Ömürbek ve diğ., 2014). Karar verme, problemlerin çözümünde matematiksel modeller, sayısal ifadeler ve istatistiksel teknikler kullanılarak en iyi alternatifin belirlenmesinde kullanılan bir yöntem olarak uygulanmaktadır (Atıcı ve Ulucan, 2009). Genellikle işletmeciler tarafından kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri (Elimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE), Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Soluiton (TOPSIS), Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR), Multi Attribute Utility Theory (MAUT), Complex Proportional Assessment (COPRAS), Utilités Additives (UTA), Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (MACBETH), Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (PROMETHEE), Multi-Objective Optimization on Basis of Ratio Analysis (MOORA) vd.) günümüzde yaygınlaşarak birçok alanda da kullanılmaya başlanılmıştır (Özcan ve Ömürbek, 2020). Çevre Mühendisliği alanında da Çok Ölçütlü Karar Verme uygulamaları son yıllarda artan bir trend göstermektedir (Simonovic ve Verma, 2008; Chung ve Lee, 2009; Okeola ve Sule, 2012; Tobiszewski ve Orłowski, 2015; Yan ve diğ., 2016; Chowdhury, 2017; Karahalios, 2017; Öztürk, 2017; Butchart-Kuhlmann ve diğ., 2018; Öztürk, 2018; Jones ve diğ., 2019).

Morais ve Almeida (2006) çalışmalarında su temin edilen şehirlerin öncelik sırasını belirlemek için ELECTRE metodunu uygulamışlardır. Negi ve Jain (2008) gerçekleştirdikleri çalışmada Analitik Hiyerarşi Sürecini (AHS) kullanarak yeraltı sularının yoğun olduğu bölgelerde hangi endüstriyel faaliyetlerin uygulanmaması gerektiğini tespit ederek, ağır metal sektörünün uygun olmadığını belirlemişlerdir. Bouchard ve diğ., (2010) küçük su arıtma tesisleri için uygun arıtma sürecinin belirlenmesinde halk sağlığı, maliyet, sistem gereksinimleri ve uygulama zorluğu kriterlerini kullanarak ELECTRE II metodunu uygulamışlardır. Sudhakaran ve diğ., (2013) çalışmalarında su kaynaklarından organik mikrokirleticilerin gideriminde en uygun arıtma yönteminin belirlenmesinde Çok Ölçütlü Karar Verme metotlarını kullanmışlardır. Esquivel ve diğ., (2015) Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinden biri olan AHS'yi kullanarak yeraltı sularının izlemesini gerçekleştirmişlerdir. Santos ve diğ., (2016) güneş ışığı dezenfeksiyonu, suyun kaynatılması, klorlama, kimyasal arıtma + dezenfeksiyon, filtrasyon ve biyo-kum filtrasyonu tekniklerini kıyaslamak için AHS ve TOPSIS metotlarını kullanmışlardır. Öztürk (2018) triclosanı su ve atıksudan uzaklaştırmak için en iyi yöntemi belirlerken AHS metodunun akabinde TOPSIS, VIKOR ve PROMETHEE yöntemlerini kullanmıştır.

Türkiye su kaynakları bakımından coğrafi olarak oldukça zengin gözükse de nüfus açısından bakıldığında, kişi başına düşen su miktarı 2020 yılı itibari ile 1346 m³/yıl olduğu için su azlığı yaşayan bir ülkedir ve 2030 yılında kişi başına düşen su miktarının 1120 m³/yıl olacağı tahmin edilmektedir (DSİ, 2020). Ancak su kaynaklarının ülke genelinde düşük organik madde (toplam organik karbon (TOK)) ve düşük bromür içeriğinden dolayı yüksek kaliteli su sınıfında olduğu söylenebilir (Ateş ve diğ., 2007). “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” kapsamında TOK sadece gösterge parametre olarak yer almaktadır. Ancak günümüzde bazı ülkelerde (örn. Amerika) TOK parametresinin 2 mg/L'nin altında olması istenmektedir (Wallace ve diğ., 2002). Ayrıca su kaynaklarındaki bromür konsantrasyonu 0,1 mg/L'nin üzerinde ise yüksek konsantrasyon olarak kabul edilir (USEPA, 1999). Su kaynaklarının TOK içeriği,

dezenfeksiyon ünitelerinde kullanılan dezenfektanlar ile tepkime sonucu oluşabilecek sitotoksik ve karsinojenik dezenfeksiyon yan ürünlerinin (DYÜ) oluşumunda oldukça önemlidir (Rook, 1974). DYÜ oluşumunu kontrol etmenin ve azaltmanın temel mekanizmaları ya sulardaki organik madde konsantrasyonunu azaltmak ya da kullanılan dezenfektan konsantrasyonunu azaltmaktır. Organik madde konsantrasyonunu azaltmak için uygulanacak prosesler işletme maliyetlerini arttıracığından dolayı işletmeciler tarafından kullanılan dezenfektan miktarını azaltma yoluna gidilmektedir. Bu amaçla ön dezenfektan kullanımı oldukça önemlidir. Ön dezenfektan prosesi içme suyu arıtma tesislerinin girişinde uygulanarak hem tesis için bir yük oluşturan organik madde konsantrasyonunun azalmasına hem de son dezenfektan olarak kullanılacak klorun daha düşük konsantrasyonda kullanılmasına zemin hazırlayacaktır. Su arıtma tesislerinde kolay kullanım, bakiye bırakma ve maliyet gibi avantajlarından dolayı en yaygın kullanılan son dezenfektan klordur (Kumari ve Gupta, 2015). Ancak klor kullanımına bağlı olarak sularda trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) gibi karbonlu DYÜ türlerinin artması; kloramin, ozon, klor dioksit, UV gibi alternatif dezenfektanların kullanımına yönelme neden olmuştur (Voukkali ve Zorpas, 2015). Sularda dezenfektan olarak kloramin kullanımı karbonlu DYÜ türlerine kıyasla çok daha sitotoksik ve genotoksik olduğu bilinen azotlu DYÜ türlerinin oluşumuna neden olmaktadır (Gan ve diğ., 2013). Ozon kullanımı ise sularda bromür varlığında genotoksik kanserojen yan ürün olan bromat oluşumunu desteklediğinden ve bakiye bırakmama özelliği gibi dezavantajlar sunmaktadır (Cortes ve Marcos, 2018). Klordioksit kullanımı da Amerika'da mevzuatlar tarafından üst limitler getirilen klorit ve klorat oluşumuna neden olmaktadır (Ersan ve diğ., 2019). UV hem bakiye bırakmama özelliği hem de teçhizat gereksinimi ihtiyacından dolayı ilk tercih edilen dezenfektan olmamaktadır (Song ve diğ., 2016). Tüm dezenfektanların olumlu yönleri olduğu gibi özellikle halk sağlığı açısından, maliyet bakımından ve güvenlik endişeleri bakımından birçok olumsuz senaryo söz konusudur ve karar vermek oldukça zordur.

Bu çalışmanın amacı özellikle ülkemizde bulunan su kaynaklarının düşük TOK ve düşük bromür konsantrasyonları göz önüne alınarak, Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerini kullanarak içme suyu arıtma tesisleri için en uygun ön dezenfektan türünü belirlemektir. Ülkemizde mevzuatlar gereği son dezenfektan olarak bakiye bırakma özelliği olan klor kullanımı zorunludur. Ancak ön dezenfektan tercihi bir zorunluluk söz konusu değildir. İçme suyu arıtma tesislerinde ön dezenfektan olarak farklı oksidanlar kullanılabilir. Bu yüzden çalışma kapsamında düşük TOK ve düşük bromür içeren su kaynakları için en ideal ön dezenfektan belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında ilk olarak kriterlere göre alternatiflerin aldıkları ağırlık puanları AHS tekniği ile belirlenmiştir. AHS tekniğinde kriterler “Bakiye Dayanıklılık”, “Mikroorganizma Giderimi”, “Teçhizat Gereksinimi”, “Güvenlik Endişeleri”, “pH Bağımlılığı” ve “Sağlık Etkileri” olarak belirlenmiştir. Alt kriterler (alternatifler) ise “Klor (gaz)”, “Klor (sıvı)”, “Ozon”, “Klor Dioksit”, “Kloramin” ve “UV”dir. AHS ile elde edilen kriterlere göre alternatiflerin aldıkları ağırlıklı puanlar TOPSIS tekniği ile değerlendirilerek düşük organik madde ve düşük bromür konsantrasyonuna sahip su kaynakları için en iyi ön dezenfektan türünün belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın ülkemizde ve ülkemize benzer şekilde düşük TOK ve düşük bromür içeren su kaynakları ile çalışan karar vericilere, mühendislere, operatörlere aynı zamanda Çok Ölçütlü Karar Verme teknikleri üzerine araştırmalar yapmak isteyen akademisyenlere katkı sağlayacağı ön görülmektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci

Düşük TOK ve düşük bromür içeren su kaynakları için en iyi ön dezenfektan türünün belirlenmesini amaçlayan bu çalışmada sistematik bir süreç yürütülmüştür. Bu süreçte 6 farklı kriter ve 6 farklı alt kriter belirlenmiştir. Alt kriterlerin ya da bir başka deyişle alternatiflerin

kriterlere göre ağırlıklarının belirlenmesinde AHS tekniği kullanılmıştır. AHS 1970’li yıllarda Thomas L. Saaty tarafından literatüre kazandırılmış bir yöntemdir (Bertolini ve Bevilacqua, 2006). AHS’de temel olarak (i) hiyerarşi kurulur (ii) alternatiflerin birbirlerine göre üstünlükleri belirlenir ve (iii) sayısal olarak puanlanarak üç aşamada gerçekleştirilir (Ömürbek ve diğ., 2014). Hiyerarşi kurulurken en üstte amaç olmalıdır. Çalışmanın amacı “Ön Dezenfektan Seçimi” olarak belirlenmiştir. Bir alt kademede karar verme kalitesinin belirlenmesinde görev alan kriterler yer almalıdır. En alt seviyede ise alternatifler yer almalıdır. Hiyerarşi oluşturulduktan sonra, Tablo 1’de gösterilen ikili karşılaştırmada kullanılan önem dereceleri tablosu oluşturulmalıdır. Wind ve Saaty (1980) tarafından öne sürülen bu tabloda her bir kriter için alternatifler ikili eşleşmeler halinde puanlandırılmalıdır. Örneğin bu çalışmada bakiye dayanıklılık kriteri değerlendirildiğinde ilk olarak klor (gaz) ve klor (sıvı) kıyaslanmış ve daha sonra tüm alternatiflerin kıyaslanması kendi aralarında tekrarlanmıştır. Karar matrisinde “1” önem derecesi alternatifin kendisi ile kıyaslanmasında kullanılmalıdır. Her iki alternatif kıyaslanırken birbirleri üzerindeki önem derecesi oldukça önemlidir. AHS yönteminin uygulama aşamaları ve kullanılan formüller Özbek (2017) ve Yıldırım ve Önder (2018)’e göre oluşturulmuştur.

Tablo 1. İkili karşılaştırmada kullanılan önem dereceleri tablosu (Wind ve Saaty, 1980)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit Derecede Önemli	Her iki faktör aynı öneme sahiptir.
3	Orta Derecede Önemli	Tecrübe ve yargılara göre bir faktör diğerine göre biraz daha önemlidir.
5	Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerinden kuvvetle daha önemlidir.
7	Çok Kuvvetli Derecede Önemli	Bir faktör diğerine göre yüksek derecede kuvvetle daha önemlidir.
9	Mutlak Derecede Önemli	Faktörlerden biri diğerine göre çok yüksek derecede önemlidir.
2, 4, 6, 8	Ara Değerler	İki faktör arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalarda bulunan derecelerin ara değerleridir.

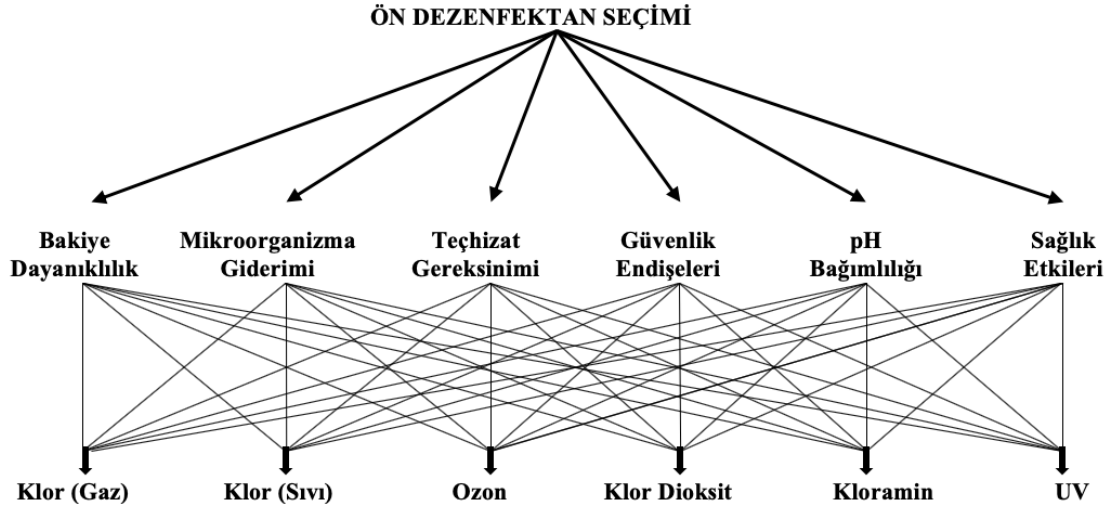
2.2. TOPSIS

Çalışma kapsamında TOPSIS tekniği alternatiflerin bir dizi işlem sonrası kazandıkları ağırlık puanlarının sıralanması amacıyla kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi ilk kez Hwang ve Yoon (1981) tarafından öne sürülmüş bir teknik olup Chen ve Hwang (1992) tarafından geliştirilmiştir (Demireli, 2010). Basit, kolay anlaşılır olması ve sınırlı sayıda girdi gereksinimi olmasından dolayı TOPSIS yöntemi karar vericiler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır (Yeh, 2002). Yöntem temel olarak basit matematiksel denklemler üzerinden her bir alternatifin performansını değerlendirmektedir (Ömürbek ve diğ., 2014). Yapılan çalışmada kriterlerin ağırlık puanları TOPSIS yönteminde kullanılmak üzere AHS metodu ile oluşturulmuştur. TOPSIS metodunun uygulama aşamaları Özbek (2017) ve Yıldırım ve Önder (2018)’e göre şekillendirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada düşük TOK ve düşük bromür konsantrasyonuna sahip su kaynaklarında en uygun ön dezenfektan türünü belirlemek üzere sırasıyla AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmanın amacına uygun hiyerarşik yapı, Şekil 1’de gösterilmektedir. Çalışmanın ana amacı ön dezenfektan seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme yöntemlerinin uygulanabilirliğidir. Kriterler uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Ayrıca alternatifler olarak belirlenen dezenfektanlar da seçme eleme kriterleri neticesinde belirlenmiştir. Su kaynaklarına filtrasyon işlemi sonrası uygun ön dezenfektan seçiminde uzmanlar tarafından sorulan ilk soru TOK

konsantrasyonun değeridir. Akabinde sorulan bir diğer soru ise bromür konsantrasyonudur. Eğer hem yüksek TOK hem de yüksek bromür konsantrasyonuna sahip bir su kaynağı ise uygulanması gereken ön dezenfektan klor dioksit veya UV'dir (Richardson ve diğ., 2003; Ignatev ve Tuhkanen, 2019). Eğer yüksek TOK ancak düşük bromür konsantrasyonuna sahip bir su kaynağı ise yüksek DYÜ oluşum potansiyelinin oluşacağı da göz önüne alınarak ozon, klor dioksit veya UV kullanılabilir (Neale ve Leusch, 2019). Eğer su kaynağı düşük TOK ancak yüksek bromür konsantrasyonuna sahip ise klor dioksit, klor veya UV kullanılabilir (Neale ve Leusch, 2019). Eğer bu çalışma kapsamında olduğu gibi su kaynağı düşük TOK ve düşük bromür konsantrasyonuna sahip ise klor dioksit, klor, ozon, UV ya da bu dezenfektanların kombinasyonları kullanılabilir (Toröz, 2015). Tüm bu sebeplerden dolayı alternatifler gaz ve sıvı klor, kloramin, klor dioksit ve UV olarak seçilmiştir. Ancak hangi dezenfektan ön dezenfektan olarak seçilirse seçilsin "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" uyarınca dağıtım şebekesinde en uzak noktada 0,5 mg/L serbest bakiye klor konsantrasyonu sağlamak zorunlu olduğundan az da olsa klor son dezenfektan olarak kullanılmalıdır (İTASHY, 2005). Uzman görüşlerinin alınması ve literatür kaynaklarının incelenmesi neticesinde seçilen kriterler ile ilgili aşağıdaki bilgiler tespit edilmiştir.



Bakiye Dayanıklılık: Alternatifler değerlendirildiğinde ozon ve UV'nin bakiye bırakma özelliğinin olmadığı görülmektedir (Summerfelt, 2003). Kloramin, gaz ve sıvı klor formları ile kıyaslandığında daha düşük bakiye bırakma özelliğine sahiptir (Lin ve diğ., 2018). Klor dioksitin tüm alternatifler arasında en yüksek bakiye bırakma özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir (Aieta ve Berg, 1986).

Mikroorganizma Giderimi: Gaz ve sıvı klor uygulamalarında bakteride solunum, taşınım ve nükleik asit aktivitelerinin tamamı olumsuz etkilenir (Ridgway ve Olson, 1982). Klor dioksit protein sentezinin yok edilmesinde önemli etkenlere sahiptir (Huang ve diğ., 1996). UV ise 200-300 nm arasında ışığı absorblar ve nükleik asitlerde spesifik zarara neden olur (Chang ve diğ., 1985). Ozonun bakteriler üzerindeki inaktivasyon mekanizması UV'e benzer şekildedir.

Teçhizat Gereksinimi: Alternatifler arasında en yüksek teçhizat gereksinimine ozon ihtiyaç duymaktadır. Ozon yerinde üretilmelidir ve çok hızlı bir şekilde kararsız yapıya ulaştığı için ivedilikle tatbik edilmelidir (Oğuzhan Yıldız ve Yangılar, 2014). Ozon üretimi için yüksek elektrik talebi vardır. Klor (gaz), klor dioksit, kloramin ve UV sistemleri için de benzer zorlukta ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Klor (gaz) için bir kaçak önleme sistemine ihtiyaç vardır.

Kloramin üretiminde kullanılan amonyak için ilave makine-teçhizat gereksinimi duyulmaktadır. Tüm alternatifler arasında klor (sıvı) en az teçhizat gereksinimi olan dezenfektandır.

Güvenlik Endişeleri: Klor (gaz) uygun şartlarda depolanmadığında ya da kullanılmadığında oldukça patlayıcı bir dezenfektandır (Emetere ve Akinyemi, 2017). Aynı şekilde saf klor dioksit patlayıcıdır (Dong ve diğ., 2017). Ozon %23'ten büyük konsantrasyonlarda patlayıcı özellik göstermektedir (Brodowska ve diğ., 2018). Kloramin hazırlanmasında kullanılan amonyak nedeniyle sızıntılardan dolayı tehlikeli hale gelmektedir. UV dezenfeksiyonunda kullanılan lambalardan dolayı operatörler için tehlikelidir.

pH Bağımlılığı: Gaz ve sıvı klor ayrıca kloramin, farklı pH değerindeki su kaynaklarında oldukça değişken özellik gösterir. Klor suya eklendiğinde pH 7.8 ve üstünde hipoklorit iyonları baskınken, pH 4.0-6.0 arasında hipokloröz asit hakimiyeti söz konusudur. Kloramin oluşumu için de yüksek pH seviyeleri gerekmektedir (Özgür, 2019).

Sağlık Etkileri: Klor, doğal organik maddeler (DOM) ile tepkime vererek başta THM ve HAA olmak üzere karbonlu DYÜ türlerinin oluşumundan sorumludur (Rook, 1974). Kloraminler de DOM'lar ile tepkime vererek azotlu DYÜ türlerinin oluşmasına sebep olurlar (Bond ve diğ., 2015). Azotlu DYÜ'ler karbonlu DYÜ'lere kıyasla çok daha düşük konsantrasyonda olmasına rağmen çok daha sitotoksik, genotoksik ve karsinojeniktir (Xue ve diğ., 2014). Klor dioksit su arıtma koşulları altında klorite dönüşür (Ersan ve diğ., 2019). Sularda bromür olması durumunda ise ozon bromür ile tepkime vererek bromlu DYÜ türlerini oluşturur (Hao ve diğ., 2017). UV ile DYÜ türleri arasında ise herhangi bir oluşum henüz tespit edilememiştir (Ao ve diğ., 2020).

3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci Bulguları

Çalışmanın ilk aşaması AHS'dir. AHS uygulanırken her bir kriter için alternatifler ikili olarak gruplanıp, Tablo 1'deki sisteme göre puanlanmaktadır. Burada alternatiflerin puanlamasında uzman görüşleri dikkate alınmış ve alınan geri dönüşler sayısallaştırıldıktan sonra aritmetik ortalamaya göre puanlar belirlenmiştir. AHS hesaplamaları Microsoft Excel hesap programı ile gerçekleştirilmiştir.

AHS tekniği uygulanırken ilk olarak bir A matrisi oluşturulmalıdır. A matrisinde i matrisin satırını, j ise matrisin sütununu göstermektedir. A matrisi, Denklem 1'de gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, a_{ij} = 1/a_{ij} \quad (1)$$

Burada $a_{ij} \neq 0$ olmalı. Bu matris elde edildikten sonra bir B matrisi oluşturulmalıdır. Bu B matrisinin amacı tüm değerleri aynı aralık içine alarak normalize edilmiş değerlerin oluşturulmasıdır. Normalize etmek için kullanılan formül, Denklem 2'de ve normalize edilmiş B matrisi, Denklem 3'te gösterilmektedir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=j}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Daha sonra normalize edilmiş tüm kriterlerin ağırlıklarının toplamının kriter sayısına bölünmesi ile her bir kritere göre alternatiflerin puanları hesaplanmaktadır ve Denklem 4'te formül, Denklem 5'de oluşan son matris gösterilmektedir.

$$w_i = \frac{\sum_{i=j}^n b_{ij}}{n} \quad (4)$$

$$W = [w_i]_{nx1} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Kriterlerin ağırlık vektörü C , alternatiflerin kriter puanları matrisi S ile gösterilirse C vektörü ile S matrisinin transpozunun çarpımı ile alternatiflerin genel puanı hesaplanmış olur (Denklem 6).

$$P = C * S = [w_i]_{nx1} * [w_{ij}]_{nxn} \quad (6)$$

$$P = [P_i]_{1xn} \quad (7)$$

Alternatiflerin genel puanını gösteren P vektöründe, alternatiflerin sıralaması genel puanı en büyük olandan başlamak üzere yapılır. Son olarak AHS tekniğinde subjektif olan algıların tutarlılığını ve göreceli ağırlıkların doğruluğunu sağlamak amacıyla Tutarlılık Oranı (CR) ve Tutarlılık İndeksi (CI) katsayıları kullanılmaktadır. Tutarlılık indeksi

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad (8)$$

formülü ile hesaplanmaktadır. Burada λ_{maks} , vektörün en büyük özdeğeridir ve n ise toplam kriter sayısıdır. Sonuçların daha güvenilir olabilmesi için tutarlılık indeksi 0,1'den büyük olmamalıdır. Tutarlılık oranı için ise;

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

eşitliği kullanılır. Burada RI "Rastgele Değer İndeksi"ni göstermektedir. Tutarlılık göstergeleri 1-10 boyutlu matrisler için, Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. Rastgele Değer İndeksleri

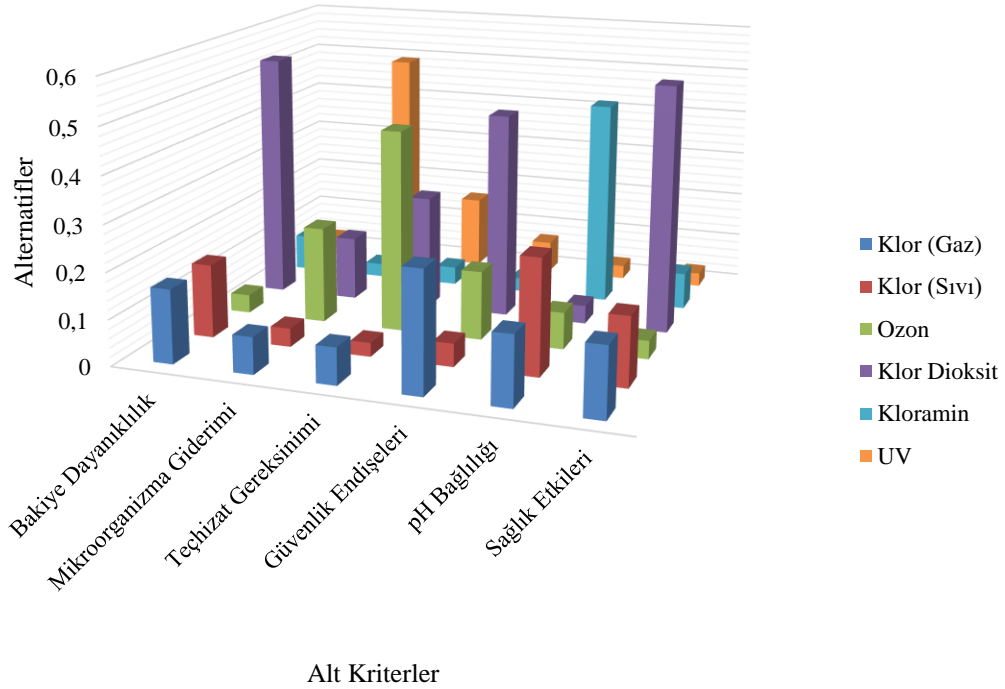
Kriter Sayısı (N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele Değer İndeksi (RI)	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Çalışma sonuçlarına göre "Bakiye Dayanıklılık" için $CI=0,08$, "Mikroorganizma Giderimi" için $CI=0,09$, "Teçhizat Gereksinimi" için $CI=0,08$, "Güvenlik Endişeleri" için $CI=0,06$, "pH Bağlımlılığı" için $CI=0,08$, "Sağlık Etkileri" için $CI=0,07$ olarak belirlenmiştir. AHS yöntemi ile

kriterlerin alternatiflere göre ağırlıkları, Tablo 3'te ve kriterler ve alternatifler arasındaki ilişki ise, Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Kriterlere Göre Alternatiflerin Ağırlıkları

	Klor (Gaz)	Klor (Sıvı)	Ozon	Klor Dioksit	Kloramin	UV
Bakiye Dayanıklılık	0,16	0,16	0,04	0,54	0,08	0,03
Mikroorganizma Giderimi	0,08	0,04	0,21	0,14	0,03	0,49
Teçhizat Gereksinimi	0,08	0,03	0,44	0,25	0,04	0,16
Güvenlik Endişeleri	0,26	0,05	0,15	0,45	0,03	0,07
pH Bağlılığı	0,15	0,25	0,08	0,04	0,45	0,03
Sağlık Etkileri	0,15	0,15	0,04	0,54	0,08	0,03



Şekil 2:

Alt Kriterler ve Alternatifler Arasındaki İlişki

Şekil 2 Çok Kriterli Karar Verme Metodu için seçilen alternatiflerin ve alt kriterlerin birbirine göre durumlarını göstermektedir. Grafiğin dikey ekseninde alternatifler, yatay ekseninde ise alt kriterler gösterilmektedir. Alt kriterlerden bakiye dayanıklılık incelendiğinde klor dioksitin diğer alternatiflere göre daha yüksek puan aldığı görülmektedir. Benzer şekilde mikroorganizma gideriminde UV, teçhizat gereksiniminde ozon, güvenlik endişeleri incelendiğinde klor dioksit, pH bağlılığına bakıldığında kloramin ve sağlık etkileri açısından da klor dioksit ön plana çıkmaktadır.

İncelenen kriterler ve uzman görüşleri neticesinde en yüksek bakiye dayanıklılığa sahip dezenfektan AHS tekniğine göre klor dioksit (0,54) olarak tespit edilmiştir. Klor dioksit, kloro kıyasla çok daha etkili bir dezenfektandır ancak maliyet, patlama tehlikesi ve özellikle oluşturduğu yan ürünlerin diyaliz hastaları üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı daha az tercih edilmesi söz konusudur (Lenntech, 2020). AHS tekniği ile elde edilen sonuçlara göre en yüksek mikroorganizma giderimi UV (0,49) ile sağlanmaktadır. İçme suyu arıtımında kullanılan dezenfektanlar virüs, mikroorganizma ya da bakteriyi gideriminde seçici özellik gösterirken, UV su kaynaklarında bulunan tüm istenmeyen patojenler üzerinde öldürücü etkisi olduğu bilinmektedir (Hijnen ve diğ., 2006). AHS yöntemine göre en fazla teçhizat gereksinimi ozon (0,44) kullanıldığında ortaya çıkmaktadır. Ozon çalışmalarında karşılaşılan olumsuz yönlerin başında yüksek uçuculuğa sahip olması, tehlikeli bir dezenfektan olması ve teçhizat gereksiniminin fazla olmasıdır (Gomes ve diğ., 2019). Güvenlik endişeleri göz önüne alındığında en fazla risk klor dioksit (0,45) kullanımında ortaya çıkmaktadır. Klor dioksitin yanıcı ve patlayıcı özellikleri daha önce rapor edilmiştir (Dong ve diğ., 2017). Bu durum klor dioksitin bakiye dayanıklılık ile sağladığı avantaja olumsuz bir yaklaşım oluşturmaktadır. Klor dioksit kullanımına bağlı yan ürün oluşumu ve halk sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri birçok çalışmada vurgulanmıştır. Klor dioksit kullanımına bağlı olarak oluşan yan ürünlerin su arıtma tesislerinde, rezervuarlarda ve dağıtım sistemlerinde olduğu bilinmektedir (Al-Otoum ve diğ., 2016). Uygulanan AHS tekniğine göre alternatifler arasında en fazla pH bağıllığına sahip dezenfektan kloramin (0,45) olmuştur.

3.2. TOPSIS Bulguları

Çalışmanın ikinci aşaması olan TOPSIS yöntemi genel olarak sekiz aşamadan oluşmaktadır. İlk yapılması gereken kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında TOPSIS, AHS'nin devamı niteliğinde olduğu için kriterler ve alternatifler aynıdır. Bu çalışmada kriter ağırlıkları 1-9 arası puanlama yöntemine göre değerlendirilmiştir. Burada (1) en kötü durumu (9) ise en iyi durumu temsil etmektedir. TOPSIS yöntemi için kriter ağırlıklarını belirlemeye yönelik kesin bir yöntem söz konusu değildir. 1-9 arası puanlama yöntemi yerine AHS, Step-wise Weight Assesment Ratio Analysis (SWARA), ENTROPI ya da farklı puanlama ölçekleri de tercih edilebilir (Özbek, 2018). Çalışmada uygulanan 1-9 arası puanlama yöntemi için uzman görüşleri değerlendirilmiştir. TOPSIS yönteminde kullanılan kriter ağırlıkları, Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Kriter Ağırlıkları

	Kriter Ağırlıkları					
	Bakiye Dayanıklılık	Mikroorganizma Giderimi	Teçhizat Gereksinimi	Güvenlik Endişeleri	pH Bağımlılığı	Sağlık Etkileri
Puan	5	7	6	5	6	5
Wj	0,14	0,20	0,17	0,14	0,17	0,14

TOPSIS yönteminin 2. aşaması karar matrisinin oluşturulmasıdır. Burada karar matrisi AHS tekniği ile elde edilen verilerden oluşmakta ve satırlarında alternatiflerin, sütunlarında ise kriterlerin bulunduğu $m * n$ boyutlu bir matristir. Karar matrisinin işlem görüntüsü Denklem 10'da gösterilmektedir. TOPSIS yönteminde kullanılan başlangıç karar matrisi ise, Tablo 5'te gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Tablo 5. Başlangıç Karar Matrisi

	Başlangıç Karar Matrisi					
	Bakiye Dayanıklılık	Mikroorganizma Giderimi	Teçhizat Gereksinimi	Güvenlik Endişeleri	pH Bağımlılığı	Sağlık Etkileri
Klor (Gaz)	0,16	0,08	0,08	0,26	0,15	0,15
Klor (Sıvı)	0,16	0,04	0,03	0,05	0,25	0,15
Ozon	0,04	0,21	0,44	0,15	0,08	0,04
Klor Dioksit	0,54	0,14	0,25	0,45	0,04	0,54
Kloramin	0,08	0,03	0,04	0,03	0,45	0,08
UV	0,03	0,49	0,16	0,07	0,03	0,03
KARESİ	0,35	0,32	0,29	0,30	0,30	0,35
KAREKÖK	0,59	0,56	0,54	0,55	0,54	0,59

Yöntemin 3. aşaması karar matrisinde oluşan verilerin normalizasyon işlemidir. Normalizasyon işlemine ait işlem, Denklem 11’de, normalizasyon matrisinin görüntüsü, Denklem 12’de, Normalize edilmiş matris ise, Tablo 6’da gösterilmektedir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n} \quad (11)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Tablo 6. Ağırlıklandırılmış Normalize Edilmiş Matris

	Normalleştirilmiş Matris					
	Bakiye Dayanıklılık	Mikroorganizma Giderimi	Teçhizat Gereksinimi	Güvenlik Endişeleri	pH Bağımlılığı	Sağlık Etkileri
Klor (Gaz)	0,268	0,144	0,147	0,473	0,268	0,262
Klor (Sıvı)	0,268	0,075	0,047	0,087	0,467	0,252
Ozon	0,060	0,380	0,820	0,272	0,149	0,072
Klor Dioksit	0,912	0,242	0,463	0,822	0,082	0,917
Kloramin	0,137	0,056	0,080	0,049	0,824	0,138
UV	0,058	0,876	0,288	0,130	0,047	0,051

Yöntemin 4. aşamasında ağırlıklı karar matrisi oluşturulmalıdır. Bu aşamada her bir kriter için tespit edilmiş ağırlıkları (w_j) ile normalize edilmiş karar matrisindeki kriter değerleri

çarpılmaktadır. Burada önemli olan bir diğer husus ağırlıkların toplamının 1 olması gerektiğidir. İşleme dair hesap matrisi, Denklem 13'te, işlem sonucu elde edilen ağırlıklı karar matrisi ise, Tablo 7'de gösterilmektedir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & \cdots & w_n r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & \cdots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Tablo 7. Ağırlıklı Karar Matrisi

	Ağırlıklı Karar Matrisi					
	Bakiye Dayanıklılık	Mikroorganizma Giderimi	Teçhizat Gereksinimi	Güvenlik Endişeleri	pH Bağımlılığı	Sağlık Etkileri
Klor (Gaz)	0,039	0,030	0,026	0,070	0,047	0,039
Klor (Sıvı)	0,039	0,015	0,008	0,013	0,082	0,037
Ozon	0,009	0,078	0,145	0,040	0,026	0,011
Klor Dioksit	0,134	0,050	0,082	0,121	0,014	0,135
Kloramin	0,020	0,011	0,014	0,007	0,145	0,020
UV	0,009	0,180	0,051	0,019	0,008	0,007

TOPSIS yönteminin 5. aşamasında ideal ve negatif çözümler hesaplanmalıdır. Burada Pozitif İdeal Çözüm (PİÇ) ve Negatif İdeal Çözüm (NİÇ) hesaplanmalıdır. Her bir kriter için en yüksek ve en düşük değerler bu aşamada hesaplanmaktadır. İşleme ait eşitlikler, Denklem 14 ve Denklem 15'te gösterilirken, İdeal ve Negatif Çözüm Değerleri Kümesi, Tablo 8'de gösterilmektedir.

$$A^* = \left\{ \left(\frac{\max v_{ij}}{j} \in J \right), \left(\frac{\min v_{ij}}{j} \in J' \right) \right\}, (A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}) \quad (14)$$

$$A^- = \left\{ \left(\frac{\min v_{ij}}{j} \in J \right), \left(\frac{\max v_{ij}}{j} \in J' \right) \right\}, (A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}) \quad (15)$$

Tablo 8. İdeal ve Negatif Çözüm Değerler

	İdeal ve Negatif Çözüm Kümesi					
PİÇ	0,0086	0,0114	0,1447	0,1209	0,0084	0,1349
NİÇ	0,1341	0,1803	0,1447	0,1209	0,1454	0,1349

TOPSIS yönteminin 6. aşamasında ideal çözüme en yakın uzaklık ile en uzak uzaklık tespit edilmektedir. Bu aşamada kriterlerin en geniş aralığı gözler önüne serilmektedir. Bu aşamaya ait formüller, Denklem 16 ve Denklem 17'de gösterilmektedir. En yakın uzaklık, Tablo 9'da, en uzak uzaklık ise, Tablo 10'da gösterilmektedir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (17)$$

Tablo 9. Pozitif İdeal Uzaklıkların Hesaplanması

	Pozitif Ayırım Ölçütleri					
	Bakiye Dayanıklılık	Mikroorganizma Giderimi	Teçhizat Gereksinimi	Güvenlik Endişeleri	pH Bağımlılığı	Sağlık Etkileri
S_i^{+1}	0,0947	0,0333	1,4127	0,2640	0,1521	0,9271
S_i^{+2}	0,0947	0,0016	1,8599	1,1698	0,5485	0,9569
S_i^{+3}	0,0000	0,4476	0,0000	0,6538	0,0320	1,5423
S_i^{+4}	1,5747	0,1472	0,3978	0,0000	0,0037	0,0000
S_i^{+5}	0,0135	0,0000	1,7078	1,2938	1,8766	1,3113
S_i^{+6}	0,0000	2,8527	0,8812	1,0360	0,0000	1,6221

Tablo 10. Negatif İdeal Uzaklıkların Hesaplanması

	Negatif Karar Matrisi					
	Bakiye Dayanıklılık	Mikroorganizma Giderimi	Teçhizat Gereksinimi	Güvenlik Endişeleri	pH Bağımlılığı	Sağlık Etkileri
S_i^{-1}	0,8969	2,2700	1,4127	0,2640	0,9603	0,9271
S_i^{-2}	0,8969	2,7195	1,8599	1,1698	0,3960	0,9569
S_i^{-3}	1,5694	1,0404	0,0000	0,6538	1,4183	1,5423
S_i^{-4}	0,0000	1,7038	0,3978	0,0000	1,7130	0,0000
S_i^{-5}	1,2969	2,8527	1,7078	1,2938	0,0000	1,3113
S_i^{-6}	1,5747	0,0000	0,8812	1,0360	1,8766	1,6221

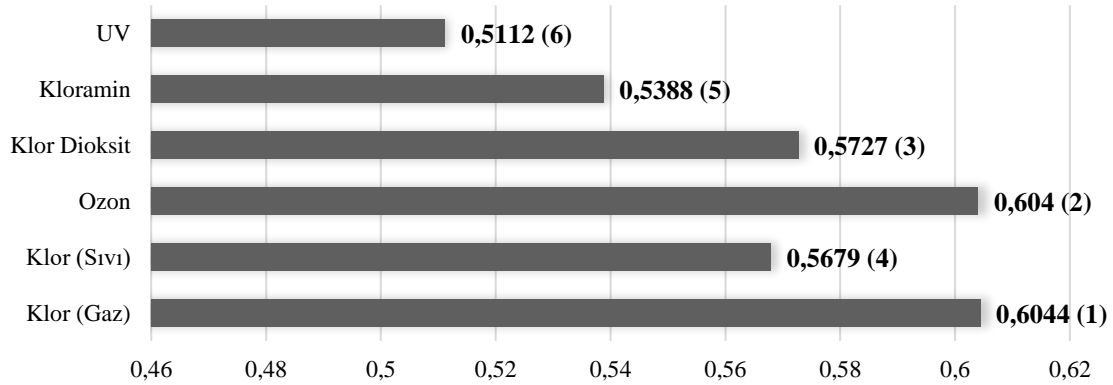
Yöntemin 7. aşamasında her bir kriterin ideal çözüme görelî yakınlığı hesaplanmaktadır. Görelî yakınlık hesaplanırken 6. aşamada elde edilen bulgular kullanılmaktadır. Görelî yakınlık C_i^* ile gösterilmektedir. C_i^* 0-1 aralığında değer almaktadır. 1'e yakın değer alması pozitif ideal çözüme yakın olduğunu, 0'a yakın değer alması ise negatif ideal çözüme yakın olduğunu göstermektedir. İdeal çözüme göre yakınlık, Denklem 18'deki işleme göre gerçekleştirilmektedir.

$$C_i^* = \frac{S_i^*}{S_i^- + S_i^*} \quad (18)$$

Tekniğin son aşamasında ise C_i^* 'a göre alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilir. Tablo 11'de TOPSIS yöntemine göre alternatiflerin sıralaması, Şekil 3'te ise TOPSIS yöntemine göre alternatiflerin tercih sıralaması gösterilmektedir.

Tablo 11. Sonuç Tablosu

Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması							
S_i^*		S_i^-		C_i^*		Sıralama	
S_i^{+1}	1,6982	S_i^{-1}	2,5944	C_i^1	0,6044	Klor (Gaz)	1
S_i^{+2}	2,1521	S_i^{-2}	2,8283	C_i^2	0,5679	Klor (Sıvı)	4
S_i^{+3}	1,6357	S_i^{-3}	2,4948	C_i^3	0,6040	Ozon	2
S_i^{+4}	1,4572	S_i^{-4}	1,9531	C_i^4	0,5727	Klor Dioksit	3
S_i^{+5}	2,4906	S_i^{-5}	2,9090	C_i^5	0,5388	Kloramin	5
S_i^{+6}	2,5283	S_i^{-6}	2,6440	C_i^6	0,5112	UV	6



Şekil 3:
Alternatiflerin Tercih Sıralaması

TOPSIS hesaplamaları sonucunda düşük TOK ve düşük bromür içeren su kaynaklarında ön dezenfektan olarak kullanılabilir dezenfektanlar arasında en iyi alternatif olarak klor (gaz) ortaya çıkmaktadır. Diğer alternatifler ise sırasıyla ozon, klor dioksit, klor (sıvı), kloramin ve UV olarak belirlenmiştir. İdeal çözüme göre yapılan sıralamada dezenfektanlar 0,51-0,60 aralığında değerler almıştır. Bu değerler farklı uzman görüşleri ile farklı sonuçlanabilir. İşletmeler açısından gaz klor kullanımı en yaygın dezenfektan türüdür (Kumari ve Gupta, 2015). Sıvı klor ile karşılaştırıldığında gaz klor çok daha ucuzdur (Moghadam ve Dore, 2019). Ancak sıvı klorun tehlike yaratma potansiyelinin düşük olması ve çok daha az ekipmanla tatbik edilmesi önemli bir tercih sebebidir. İkinci alternatif olarak belirlenen ozon da oldukça patlayıcı ve yüksek bromür konsantrasyonuna sahip sularda bromlu DYÜ türlerinin oluşmasına sebep olmaktadır ancak düşük bromür konsantrasyonuna sahip sularda en etkili dezenfektanlardan biridir (Neale ve Leusch, 2019). Klor dioksitin oksitleme özelliği gaz klorla kıyaslandığında 2,5 kat daha fazladır (Ben ve diğ., 2017). Ancak klor dioksitin depolanamaması, ortam şartlarından etkilenmesi ve patlayıcı özelliği klor dioksiti ilk tercih edilen dezenfektanlar arasına almamaktadır. Kloramin hazırlanırken amonyak kullanılması tehlikeli durumların ortaya çıkmasına neden olurken aynı zamanda pH'a bağlı olarak hazırlanması da ilave maliyet gerektirmektedir. Ayrıca kloramin,

diğer dezenfektanlara kıyasla dezenfeksiyon etkinliği çok yüksek olmayan bir kimyasaldır (Yan ve diğ., 2018).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre düşük organik madde ve düşük bromür konsantrasyonuna sahip su kaynakları için ön dezenfektan seçiminde işletme parametreleri çok önemlidir. Uzman görüşlerine göre değerlendirilen AHS ve TOPSIS tekniklerine göre her bir alternatifin kendine özgü avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Seçim noktasında en önemli kriterler işletme açısından teçhizat gereksinimi ve güvenlik endişeleri olmalıdır. Toplum sağlığı açısından bakıldığında ise bakiye dayanıklılık ve sağlık etkileri ön plana çıkarılmalıdır.

4. SONUÇLAR

Yürütülen bu çalışmada toplum sağlığı için büyük önem taşıyan içme suyu arıtma tesislerinde uygulanabilecek “en uygun ön dezenfektan seçiminde”, Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri kullanılmıştır. En uygun ön dezenfektanı belirlemek adına AHS ve TOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları bilgi birikiminin ve deneyimin yeterli olduğu tüm sektörlerde kolaylıkla ve güvenilir bir şekilde kullanılabilir. İçme suyu arıtma tesislerinde uygulanan proseslerin birçoğu da yıllar içerisinde kabul görmüş metotlardır. Ancak yine de yeni bir tesis tasarlanırken pilot ölçekte testler gerçekleştirilmektedir. Bu testler, işletmeler açısından hem maddi kayıplara hem de zaman kaybına yol açmaktadır. Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları kullanılarak işletmelerde meydana gelebilecek kayıpların önüne geçilebilir. Bu bağlamda, bu çalışmanın Çevre Mühendisliği alanında çalışmalar yapan araştırmacılara yeni fikirler sunması hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle ülkemizin su kaynakları hakkında bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Uzman görüşleri alınarak su kaynaklarında ön dezenfektanların seçilmesine neden olabilecek kriterlerin neler olabileceği belirlenmiştir. Daha sonra ülkemizin sularının geneline uygulanabilecek dezenfektanlar, alternatifler olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında AHS metodu ile elde edilen sonuçlara göre bakiye dayanıklılığı en yüksek çıkan dezenfektan klor dioksit, mikroorganizma giderimi en yüksek olan dezenfektan UV, teçhizat gereksinimi en fazla olan dezenfektan ozon, güvenlik endişeleri en yüksek olan dezenfektan klor dioksit, pH bağıllığı en fazla olan dezenfektan kloramin ve sağlık etkileri en fazla çıkan dezenfektan ise klor dioksit olarak tespit edilmiştir. AHS tekniği ile elde edilen alternatif ağırlıkları TOPSIS tekniğinde kullanılmıştır. TOPSIS tekniği ile elde edilen sonuçlara göre ise, klor (gaz) ve ozonun tercih edilme durumları %18, klor dioksitin tercih edilme durumu %17, klor (sıvı) ve kloraminin tercih edilme durumu %16, UV'nin tercih edilme durumu ise %15 olarak belirlenmiştir. Sonuçta elde edilen verilere göre her bir alternatif ön dezenfektan olarak seçilebilir şekilde birbirine yakın sonuçlar vermiştir. UV kullanımının mikroorganizma giderimi oldukça yüksektir ancak bakiye bırakma özelliği de aynı derecede çok düşüktür. Ön dezenfektan kullanımının temel amaçlarından biri de son dezenfektan kullanımını azaltmak olduğu için UV son tercih olmaktadır. Kloraminin pH bağıllığı tercih sebebi olmasını düşürmektedir. Klor dioksitin en yüksek bakiye dayanıklılığa sahip olması çok iyi bir avantajdır ancak aynı şekilde güvenlik endişelerinin ve sağlık etkilerinin olumsuz bir şekilde yüksek olması, tercih edilmemesine neden olmaktadır. Ozon düşük TOK ve düşük bromürlü su kaynaklarında çok etkin kullanılabilir bir dezenfektandır. Ancak gaz klorun teçhizat gereksinimi, güvenlik endişeleri, pH bağıllığı ve sağlık etkileri gibi olumsuz kriterlerde yüksek puan almaması ve bakiye dayanıklılığın yüksek olması, klor gazının en iyi ön dezenfektan olarak seçilmesine neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Aieta, E. M., ve Berg, J. D. (1986) A Review of Chlorine Dioxide in Drinking Water Treatment, *Journal-American Water Works Association*, 78(6), 62–72. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1986.tb05766.x>.
2. Al-Otoum, F., Al-Ghouti, M. A., Ahmed, T. A., Abu-Dieyeh, M. ve Ali, M. (2016) Disinfection by-products of chlorine dioxide (chlorite, chlorate, and trihalomethanes): Occurrence in drinking water in Qatar, *Chemosphere*, 164, 649-656. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.008>
3. Ao, X., Chen, Z., Li, S., Li, C., Lu, Z. ve Sun, W. (2020) The impact of UV treatment on microbial control and DBPs formation in full-scale drinking water systems in northern China, *Journal of Environmental Sciences*, 87, 398 – 410. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.08.003>
4. Ates, N., Kaplan, S. S., Sahinkaya, E., Kitis, M., Dilek, F. B. ve Yetis, U. (2007) Occurrence of disinfection by-products in low DOC surface waters in Turkey, *Journal of Hazardous Materials*, 142, 526–534. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.08.076.
5. Atıcı, K. B. ve Ulucan, A. (2009) Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları ve Türkiye Uygulamaları, *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 27(1), 161-186.
6. Ben, W., Shi, Y., Li, W., Zhang, Y. ve Qiang, Z. (2017) Oxidation of sulfonamide antibiotics by chlorine dioxide in water: Kinetics and reaction pathways, *Chemical Engineering Journal*, 327, 743-750. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.157>
7. Bertolini, M. ve Bevilacqua, M. (2006) A Combined Goal Programming-AHP Approach to Maintenance Selection Problem, *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 839-848. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2005.08.006>
8. Bond, T., Templeton, M. R., Kamal, N. H. M., Graham, N. ve Kanda R. (2015) Nitrogenous Disinfection Byproducts in English Drinking Water Supply Systems: Occurrence, Bromine Substitution and Correlation Analysis, *Water Research*, 85, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.08.015>
9. Bouchard, C., Abi-Zeid, I., Beauchamp, N., Lamontagne, L., Desrosiers, J. ve Rodriguez, M. (2010) Multicriteria decision analysis for the selection of a small drinking water treatment system, *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA* | 59.4. <https://doi.org/10.2166/aqua.2010.071>
10. Brodowska, A.J., Nowak, A. ve Smigielski, K. (2018) Ozone in the food industry: Principles of ozone treatment, mechanisms of action, and applications: An overview, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2176–2201. DOI: 10.1080/10408398.2017.1308313
11. Butchart-Kuhlmann, D., Kralisch, S., Fleischer M. ve Meinghardt, M. (2018) Multicriteria decision analysis framework for hydrological decision support using environmental flow components, *Ecological Indicators* 93, 470–480. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.057>
12. Chang, J. C. H., Ossoff, S. F., Lobe, D. C., Dorfman, M. H., Dumais, C. M., Qualls, R. G. ve Johnson, J. D. (1985) UV Inactivation of Pathogenic and Indicator Microorganisms, *Applied And Environmental Microbiology*, 1361-1365.
13. Chowdhury, S. (2017) Selection of Municipal Drinking Water Treatment Approach using Multiple Criteria, *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, Volume 4 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10527-5>

14. Chung, E. S. ve Lee, K. S. (2009) Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques, *Journal of Environmental Management*, 90, 1502–1511. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.008>
15. Cortes, C. ve Marcos, R. (2018) Genotoxicity of disinfection byproducts and disinfected waters: A review of recent literature, *Mutat Res Gen Tox En*, 831, 1–12. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2018.04.005
16. Demireli, E. (2010) TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama, *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi* (5:1).
17. Dong, J., Zhu, L., Gu, D., Sheng, H., Yan, Ch. ve Wang B. (2017) Theoretical and experimental study on the safety chemistry of separation of oil/water transition layer by oxidation of chlorine dioxide, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 49, Special Edition K1, (pp. 24 – 28).
18. Emeter, M. E. ve Akinyemi, M. L. (2017) Atmospheric Dynamics of Air Pollution Dispersion and Sustainable Environment in Jos-Nigeria, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.11, n.1, p.51-57. DOI: 10.4090/juee.2017.v11n1.051057
19. Ersan, M. S., Liu, C., Amy, G. ve Karanfil, T. (2019) The interplay between natural organic matter and bromide on bromine substitution, *Science of the Total Environment* 646, 1172–1181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.384>
20. Esquivel, J. M., Morales, G. P. ve Esteller, M. V. (2015), Groundwater Monitoring Network Design Using GIS and Multicriteria Analysis, *Water Resour Manage* 29:3175–3194. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0989-8>
21. Gan, X., Karanfil, T., Kaplan Bekaroğlu, S. S. ve Shan, J. (2013) The control of N-DBP and C-DBP precursors with MIEX®, *Water Research*, 47, 1344-1352. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.049>
22. Gomes, J., Matos, A., Gmurek, M., Quinta-Ferreira, R. M. ve Martins, R. C. (2019), Ozone and Photocatalytic Processes for Pathogens Removal from Water: A Review, *Catalysts*, 9, 46. doi:10.3390/catal9010046.
23. Hao, R., Zhang, Y., Du, T., Yang, L., Adeleye, A. S. ve Li Y. (2017) Effect of water chemistry on disinfection by-product formation in the complex surface water system, *Chemosphere*, 172, 384-391. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.034>
24. Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F. ve Medema, G. J. (2006) Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review, *Water Research*, 40, 3 – 22. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030>
25. Huang, J., Wang, L., Ren, N., Ma, F. ve Juli, T. (1996), Disinfection Effect of Chlorine Dioxide on Bacteria in Water, *Wat. Res. Vol. 31, No. 3, pp. 607-613.* [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(96\)00275-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(96)00275-8)
26. <https://www.lenntech.com/processes/disinfection/chemical/disinfectants-chlorine-dioxide.htm>, Erişim Tarihi: 10.07.2020, Konu: Dezenfektan-Klor Dioksit.
27. <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>, Erişim Tarihi: 10.07.2020, Konu: Toprak ve Su Kaynakları
28. Ignatev, A. ve Tuhkanen, T. (2019), Step-by-step analysis of drinking water treatment trains using size-exclusion chromatography to fingerprint and track protein-like and humic/ fulvic-like fractions of dissolved organic matter, *Environ. Sci.: Water Res. Technol*, 5, 1568. DOI: 10.1039/C9EW00340A

29. İTASHY, (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sağlık Bakanlığı, Ankara.
30. Jones, C. H., Meyer, J., Cornejo, P. K., Hogrewe, W., Seidel, C. J. ve Cook, S. M. (2019) A new framework for small drinking water plant sustainability support and decision-making, *Science of the Total Environment*, 695, 133899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133899>
31. Karahalios, H. (2017) The application of the AHP-TOPSIS for evaluating ballast water treatment systems by ship operators, *Transportation Research Part D* 52, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.03.001>
32. Kumari, M. ve Gupta, S. K. (2015) Modeling of trihalomethanes (THMs) in drinking water supplies: a case study of eastern part of India, *Environ Sci Pollut Res*, 22, 12615–12623. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4553-0>
33. Lin, J., Chen, X., Zhu, A., Hong, H., Liang, Y., Sun, H., Lin, H. ve Chen, J. (2018) Regression models evaluating THMs, HAAs and HANs formation upon chloramination of source water collected from Yangtze River Delta Region, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 160, 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.05.038>
34. Moghadam, A. K. ve Dore, M. H. I. (2019) The Comparative Disinfection Costs of Municipal Drinking Water Plants in Canada, *International Review of Business and Applied Sciences*, Volume 1, No. 1.
35. Morais, D. C. ve Almeida, A. T. (2006) Water supply system decision making using multicriteria analysis, *Water SA* Vol. 32 No:2. DOI: 10.4314/wsa.v32i2.5247
36. Neale, P. A. ve Leusch, F. D. L. (2019) Assessing the role of different dissolved organic carbon and bromide concentrations for disinfection by-product formation using chemical analysis and bioanalysis, *Environmental Science and Pollution Research*, 26,17100–17109. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05017-0>
37. Negi, P. ve Jain, K. (2008) Spatial Multicriteria Analysis for Siting Groundwater Polluting Industries, *Journal of Environmental Informatics*, 12(1), 54-63. DOI: 10.3808/jei.200800124
38. Oğuzhan Yıldız, P. ve Yangılar, F. (2014) Ozon ve Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları, *BEÜ, Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 94-101.
39. Okeola, O. G. ve Sule, B. F. (2012) Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis, *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 24, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2011.07.004>
40. Öztürk, E. (2017) İçme Sularından Pentaklorofenol (PCP) Giderimi İçin En İyi Arıtma Alternatiflerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları (MCDM) Kullanılarak Belirlenmesi, *Karaelmas Fen ve Müh. Derg.*, 8(1), 373-382. <http://dx.doi.org/10.7212%2Fzkufbd.v8i1.1196>
41. Ozturk, E. (2018) 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*, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3036-5>.
42. Ömürbek, N., Karaatlı, M. ve Yetim, T. (2014) Analitik Hiyerarşi Sürecine Dayalı TOPSIS ve VIKOR Yöntemleri ile ADIM Üniversitelerinin Değerlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Dr. Mehmet YILDIZ Özel Sayısı, ss. 189-207.
43. Özbek, A. (2017) Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü, *Seçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar*, Ankara. ISBN: 978-975-02-5513-7.

44. Özcan, A. ve Ömürbek, N. (2020) Bir Demir Çelik İşletmesinin Performansının Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Değerlendirilmesi, IBAD Sosyal Bilimler Dergisi Sayı: 8 Sayfa: 77-98.
45. Özgür, C. (2019) Farklı Su Kaynaklarında ve Şebekelerde Karbonlu ve Azotlu Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Oluşumu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
46. Richardson, S. D., Thruston, A. D., Rav-Acha, C., Groisman, L., Popilevsky, I., Juraev, O., Glezer, V., Mckague, A. B., Plewa, M. J. ve Wagner, E. D. (2003) Tribromopyrrole, Brominated Acids, and Other Disinfection Byproducts Produced by Disinfection of Drinking Water Rich in Bromide, Environ. Sci. Technol., 37, 3782-3793. <https://doi.org/10.1021/es030339w>
47. Ridgway, H. F. ve Olson B. H. (1982) Chlorine Resistance Patterns of Bacteria from Two Drinking Water Distribution Systems, Applied and Environmental Microbiology, p. 972-987.
48. Rook, J. J. (1974) Formation of haloforms during chlorination of natural water, Water Treat. Exam, 23, 234-243.
49. Santos, J., Pagsuyoin, S. A., Latayan, J., (2016) A multi-criteria decision analysis framework for evaluating point-of-use water treatment alternatives, Clean Techn Environ Policy, 18, 1263-1279. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1066-y>
50. Simonovic, S. P. ve Verma, R. (2008) A new methodology for water resources multicriteria decision making under uncertainty, Physics and Chemistry of the Earth, 33, 322-329. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.006>
51. Song, K., Mohseni, M. ve Taghipour, F. (2016) Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: A review, Water Research, 94, 341-349. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.003>
52. Sudhakaran, S., Lattemann, S. ve Amy, G. L. (2013) Appropriate drinking water treatment processes for organic micropollutants removal based on experimental and model studies — A multi-criteria analysis study, Science of The Total Environment Volume, 442, 478-488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.076>
53. Summerfelt, S. T. (2003) Ozonation and UV irradiation-an introduction and examples of current applications, Aquacultural Engineering, 28, 21-36. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00069-9)
54. Tobiszewski, M. ve Orłowski, A. (2015) Multicriteria decision analysis in ranking of analytical procedures for aldrin determination in water, Journal of Chromatography A, 1387, 116-122. DOI: 10.1016/j.chroma.2015.02.009
55. Toröz, İ. (2015) Su ve Atıksu Mühendisliği-Tasarım Esasları ve Uygulamaları, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. LTD. ŞTİ. Ankara.
56. U.S. EPA (1999) Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, U.S. Environmental Protection Agency Publications EPA 815-R-99-014, Washington, D.C.
57. Voukkali, I. ve Zorpas A. A. (2015) Disinfection methods and by-products formation. Desalination and Water Treatment, 56, 1150-1161. DOI: 10.1080/19443994.2014.941010
58. Wallace, B., Purcell, M. ve Furlong, J., (2002) Total organic carbon analysis as a precursor to disinfection byproducts in potable water: Oxidation technique considerations, J. Environ. Monit., 4, 35-42. DOI: 10.1039/b106049j

59. Wind, Y. ve Saaty, T. L. (1980) Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process, Management Science, 26, 641-658.
60. Xue, C., Wang, Q., Chu, W. ve Templeton, M. R. (2014) The impact of changes in source water quality on trihalomethane and haloacetonitrile formation in chlorinated drinking water, Chemosphere, 117, 251–255. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.083>
61. Yan, W., Li, J. ve Bai, X. (2016) Comprehensive Assessment and Visualized Monitoring of Urban Drinking Water Quality, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, doi: 10.1016/j.chemolab.2016.03.026
62. Yan, M., Roccaro, P., Fabbicino, M. ve Korshin, G. (2018) Comparison of the effects of chloramine and chlorine on the aromaticity of dissolved organic matter and yields of disinfection byproducts, Chemosphere, 191, 477-484. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.063>
63. Yeh, C. H. (2002) A problem-based selection of multi-attribute decision-making methods, Intl. Trans. in Op. Res., 9, 169±181.
64. Yıldırım, B. F. ve Önder, E. (2018) Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayıncılık, Bursa. ISBN: 978-605-247-004-6.

