

İdari Kayıp Yönetiminde Karar Verme Süreçlerinin ve Etki Düzeylerinin Analitik Hiyerarşi Süreç (AHP) ve Bulanık AHP ile Değerlendirilmesi

Furkan Acar¹, Cansu Bozkurt^{2,*}, Mahmut Fırat³

¹İnönü Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Malatya.

²Ardahan Üniversitesi, Teknik Bilimleri Meslek Yüksek Okulu, Ardahan.

³İnönü Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Malatya.

Özet

Son yıllarda etkisi daha fazla hissedilen küresel iklim krizi su kaynakları üzerinde daha da fazla stres oluşturmaktadır. Kentsel su temin ve dağıtım sistemlerinde mevcut su kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanımı zorunlu hale gelmektedir. Su hırsızlığı, faturalama hataları ve eksik veri kaydı gibi sebeplerden kaynaklanan idari su kayıpları, su ve enerji kaybının yanı sıra, gelir kaybı da oluşturmaktadır. Aynı zamanda su kayıpları su üretimi ile de ilişkili olduğu için su alma, arıtma, tedarik işlemleri ve gerekli altyapının kurulması aşamalarında çevresel etkilere de neden olmaktadır. Bu kayıpların yönetilebilmesi için etkili faktörler, azaltılmasına yönelik stratejiler, kayıp yönetiminde kullanılan mevcut bilgi ve uygulamalar kapsamlı bir biçimde incelenmelidir. Bu çalışmada idari kayıp yönetiminde karar verme süreçlerinin ve etki düzeylerinin analitik hiyerarşi süreç (AHP) ve BAHP yöntemleri ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için veri ölçüm ve yönetimi, sayaç yönetimi, faturalandırılmamış yasal kullanımlar ve kaçak kullanım başlıkları altında toplam 22 yönetim bileşeni belirlenmiştir. AHP ve BAHP yöntemleri ile elde edilen idari kayıp yönetimi bileşenlerinin ağırlık katsayıları incelendiğinde AHP’de 0.5048 ve BAHP’de 0.3489 katsayıları ile veri ölçüm ve yönetim ana başlığının ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Alt bileşen ağırlıkları incelendiğinde ise AHP ve BAHP yöntemleri ile elde edilen ağırlık katsayılarına göre oluşturulan sıralamada ilk 11 bileşenden 9 tanesinin aynı olduğu, AHP yönteminde net yargıların dikkate alınması BAHP’de ise bulanık küme teorisinin kullanılması gibi yöntemlerin hesaplama tekniklerinden kaynaklı olarak diğer sıralamalarda iki yöntem arasında farklılık olduğu gözlemlenmiştir. Karar probleminde Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) teknikleri kullanılarak ağırlık katsayıları, kullanılan yöntemin hesaplama tekniği, karar bileşenlerinin birbiri ile etkileşim durumu, problemin içerdiği belirsizlikler ve kararlılıklara bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle çalışmada karar probleminin yapısına uygun tekniğin seçilmesiyle idari kayıp yönetimi bileşenlerinin önceliklendirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın su idarelerinin strateji belirleme, planlanma ve bütçeleme gibi çalışmalarda karşılaştıkları zorluklara fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler

Su Yönetimi, Su Kayıpları, İdari Kayıplar, ÇKKV, Bulanık AHP

Evaluation of Decision-Making Processes and Impact Levels in Apparent Loss Management Using Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy AHP

Abstract

The global climate crisis, which has become more evident in recent years, is creating even more stress on water resources. Sustainable and efficient use of existing water resources in urban water supply and distribution systems is becoming necessary. Apparent losses including the water theft, illegal usages, losses due to the inaccuracies in water meters, billing errors and incomplete data recording cause loss of income as well as water and energy loss. Water losses also cause environmental impacts during water production, treatment, supply processes and the establishment of necessary infrastructure. In order to manage these losses, effective factors, strategies for reduction, and current knowledge and practices used in loss management should be examined comprehensively. This study aims to evaluate the decision-making processes and impact levels in administrative loss management using analytical hierarchy process (AHP) and fuzzy AHP (FAHP) methods. A total of 22 management components have been determined under the headings of data measurement and management, meter management, unbilled authorized uses and illegal use. The main heading of data measurement and management has the highest weight (0.5048 with the AHP method and 0.3489 with the BAHP method). When the sub-component weights are examined, 9 of the first 11 components in the ranking created according to the weight coefficients obtained with the AHP and FAHP methods are the same. In the decision problem, when using Multi Criteria Decision Making (MCDM) techniques, the weight coefficients can change depending on the calculation technique of the method used, the interaction of the decision components with each other, the uncertainties and determinations contained in the problem. Therefore, the aim of the study is to prioritize apparent loss management components by selecting the appropriate technique for the structure of the decision problem. It is thought that this study will benefit the utilities in the difficulties they face in strategy determination, planning and budgeting.

Keywords

Water Management, Water Losses, Apparent Losses, MCDM, Fuzzy AHP

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (478) 2117575 Faks: +90 (478) 2117575

E-posta: 44furkanacar44@gmail.com (Acar F.), cansubozkurt@ardahan.edu.tr (Bozkurt C.)
mahmut.firat@inonu.edu.tr (Fırat M.)

Gönderim Tarihi / Received : 26/11/2024

Kabul Tarihi / Accepted : 04/03/2025

1. Giriş

İnsanlığın yaşam kaynağı olan su aşırı tüketim, hızlı kalkınma, kirlilik, küresel ısınma nedenleriyle hızla tükenmektedir. Birleşmiş Milletler Dünya Su Kalkınma Raporuna göre küresel olarak su kullanımı yılda yaklaşık %1 oranında artmaktadır. Nüfus artışı, sosyo ekonomik gelişmeler ve değişen tüketim profilleri incelendiğinde bu artışın 2050 yılına kadar sürmesi beklenmektedir (Connor & Miletto, 2023; Öztürk vd., 2024). Artan taleple birlikte suyun kötü yönetilmesi, kayıpların tespit edilememesi, uygun stratejilerin belirlenememesi gibi sebeplerle su kaynakları azalmaktadır. Su temin ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen kayıplar, fiziki ve idari kayıplar olmak üzere iki başlıkta incelenir (Farley vd., 2008; Koşucu vd., 2021). Dağıtım sistemlerinde meydana gelen sızıntılardan oluşan fiziki su kayıplarının bileşenleri: belirsiz sızıntılar (arka plan sızıntıları), rapor edilen ve rapor edilemeyen sızıntılardır (Hamilton vd., 2006; Kızıllöz, 2021). İdari kayıplar yasa dışı bağlantılar, yanlış ölçüm ve eksik okumalardan kaynaklanır (Rimeika & Albrektienė, 2014). Fiziki kayıplar daha büyük kayıp hacmi oluştururken, idari kayıpların finansal etkisinin daha yüksek olduğu bilinmektedir (Akdeniz & Muhammetoğlu 2023; Kızıllöz & Şişman, 2021). İdari kayıplar hizmet sunulduğu halde ücreti alınamayan suyu ifade etmekte ve fatura bedeli üzerinden kayıp oluşturmaktadır (Arregui vd., 2018). Genel olarak idari kayıpların, abone sayaç hataları, izinsiz tüketim (su hırsızlığı, yasa dışı bağlantılar, yangın musluklarının yanlış kullanımı, yanlış sayaç tipi kullanımı ve sayaçlara dışarıdan müdahale vb.), sayaç okuma hataları ve faturalandırma hataları ana bileşenlerinden kaynaklandığı kabul edilmektedir; (Farley vd., 2008; Liemberger vd., 2007; Rizzo & Cilia, 2005). İdari kayıplar idarelerin gelir kaybını yanı sıra eksik ve hatalı ölçümler nedeniyle temel verilerin yanlış hesaplanmasına yol açmakta bu durum da su yönetimi çalışmalarını iyice zorlaştırmaktadır (Mutikanga vd., 2011). İdari kayıplar toplam kayıpların %30-40'ını oluşturmaktadır (Lambert, 2002). Bu kayıplar ekonomi, çevre ve enerji sürdürülebilirliğini etkilediği için su idareleri açısından endişe oluşturmaktadır. Suyun sürdürülebilir kullanımı için mevcut su kaynaklarının iyi bir şekilde yönetilmesi ve korunması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada su idaresi yöneticilerine büyük görevler düşmektedir. Su temin ve dağıtım hizmetleri ekonomik, çevresel, teknik, sosyal, sağlık ve politik boyutlar taşıması nedeniyle karmaşıktır. Su idarelerinin su temin ve dağıtımındaki hizmetlerinin yetersiz olmasının çevre ve yaşam kalitesi üzerinde etkileri bulunmaktadır (European Union, 2023). Literatürden de görüleceği üzere su kayıpları su temin ve dağıtım sistemlerinde kaynakların verimsiz kullanılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu kayıpların en aza indirilmesi oldukça önemlidir. Bunun için kayıp yönetim bileşenlerinin tanımlanması, bu bileşenlerin kayıplar üzerindeki etki düzeylerinin ortaya konulması ve buna göre önleme stratejilerinin belirlenmesi gerekir.

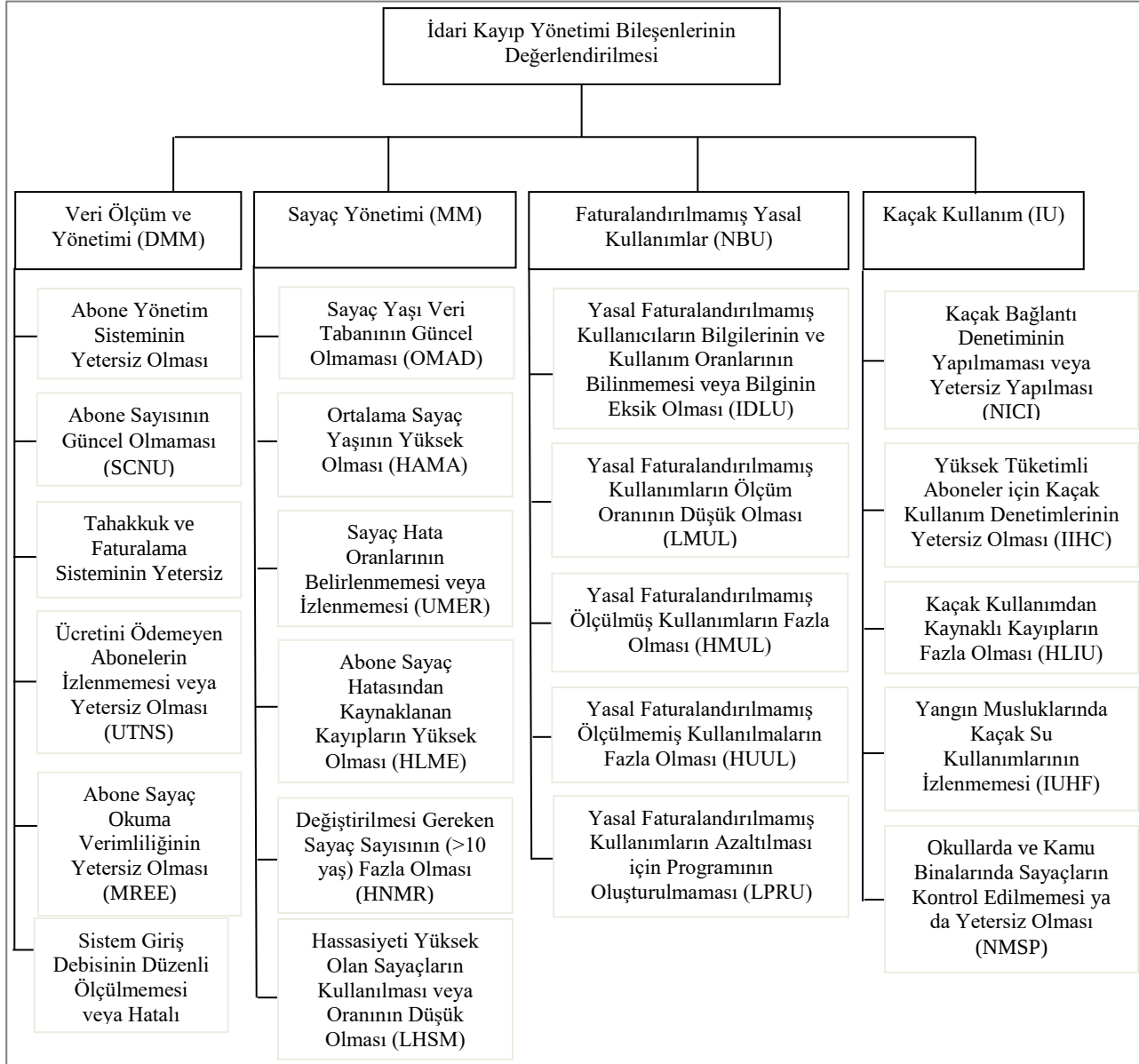
Su iletim ve dağıtım sistemlerinin daha etkin yönetimi ve stratejilerin önceliklendirilmesine yönelik çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanabilmektedir. (Kadenge vd., 2019) tarafından ortaya konmuş olan çalışmada su idarelerinin su dağıtım sistemlerinde uygulanan su kayıp yönetimi stratejilerini optimize ederek en iyi karar seçeneğini seçmesine yardımcı olmak amacıyla ÇKKV teknikleri uygulanmıştır. Su kaynak yönetiminin karmaşık yapısı ve içerdiği belirsizlikler karar vermeyi zorlaştırmaktadır. (Golfam vd., 2019) çalışmada iklim değişikliğinde en iyi senaryoyu belirleyebilmek amacıyla ÇKKV tekniklerinden AHP'yi uygulamıştır. (Ebad Ardestani vd., 2020) tarafından yürütülen çalışmada drenaj havzasındaki su kaynaklarının yönetimi ve planlamasında etkili 21 bileşen teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel ana başlıklar altında sınıflandırılmış ve ÇKKV teknikleri ile değerlendirilmiştir. (Tabesh vd., 2020) Diğer bir çalışmada gelir getirmeyen su bileşenlerinden fiziksel ve idari kayıpların azaltılması için uygulanan politikaların etkinliğini araştırmıştır. Bu amaçla çalışmada ÇKKV tekniklerinden ideal çözüme benzerliğe göre tercih sıralaması tekniği uygulanmış olup aynı çalışmada su dağıtım şebekelerinde su kayıplarını azaltabilmek için bir karar destek çerçevesi geliştirilmiş, kayıp bileşenlerini değerlendirmek için de ÇKKV tekniklerinden BAHF yöntemi kullanılmıştır (Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2020). Su temin sistemlerindeki yüksek kayıplar, kesintili tedarik, yüksek su ve enerji tüketiminin beraberinde getirdiği yetersiz hizmetler Su İdareleri için önemli bir endişe haline gelmiştir. Birçok alanda etkisi olan bu karmaşık problemin çözümünde ise ÇKKV teknikleri etkilidir.

Bu çalışmada idari kayıp yönetimine etki eden bileşenlerin analitik hiyerarşi süreç (AHP) ve bulanık AHP yöntemleri ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için veri ölçüm ve yönetimi, sayaç yönetimi, faturalandırılmamış yasal kullanımlar ile kaçak kullanım başlıkları altında toplam 22 yönetim bileşeni belirlenmiştir. Çalışma kapsamında su kayıplarını en etkili biçimde yönetmek için su kayıp bileşenlerini önceliklendirme çerçevesi AHP ve kararlardaki belirsizlikleri karşılaştırmak için BAHF yöntemleri ile test edilmiştir. BAHF ve AHP yöntem çıktıları arasında karşılaştırmalı bir analiz sunulmuştur. Makalenin geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır. 2. Bölümde idari su kaybı bileşenleri tanımlanmış, 3. Bölüm çalışmada uygulanacak AHP, BAHF ve Bulanık sayıların sıralama tekniklerine ayrılmıştır. 4. Bölümde vaka çalışması açıklanmış, bölüm sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Son olarak 5. Bölümde sonuçlar özetlenmiştir.

2. İdari Kayıp Bileşenleri

Çalışmada su temin ve dağıtım sistemlerinde doğrudan idari su kayıplarına neden olan veri ölçüm ve yönetimi, sayaç yönetimi, faturalandırılmamış yasal kullanımlar ve kaçak kullanımlar olmak üzere 4 ana başlık belirlenmiş ve idari kayıp yönetiminde öncelikli iyileştirilmesi gereken 22 bileşen ise bu ana başlıklar altında sınıflandırılmıştır. *Veri ölçüm ve yönetimi* ana başlığı verilerin işlenmesi ve faturalandırma aşamalarında yapılan hatalar, okumaların düzenli yapılmaması, tahmin ile değerlendirme yapılmasından kaynaklanan kayıplar ve bu kayıpların tespit edilerek yönetilmesinde gerekli

olan bileşenlerden oluşmaktadır. *Sayaç yönetimi*, abone sayaç verilerinin yetersiz olması, sayaçların doğru ölçüm yapmaması veya hassas olmaması, doğru sayaç tipinin kullanılmaması, sayaçların eski olması, hata oranlarının ölçülmemesi nedenleriyle doğru ölçülemeyen kayıpların önlenmesi ana başlığıdır. *Faturalandırılmamış yasal kullanımlar* ise halka açık alanlardaki tüketimler, iletim ve dağıtım sistemlerinde bakım ve onarım için tahliye edilen sular gibi izinli ancak gelir getirmeyen kullanımları oluşturmaktadır. Kullanıcı bilgilerinin eksik olması, ölçüm oranlarının düşük olması, kullanımın fazla olması, azaltılması ve kontrol altına alınması için program oluşturulmaması bileşenlerinden oluşmaktadır. *Kaçak kullanımlar* ana başlığı yasa dışı bağlantılar, sayacın by-pass edilmesi, yangın hidrantlarından izinsiz su kullanımı nedenleriyle oluşan kayıpların belirlenmesi ve önenebilmesi amacıyla uygulanacak kontrol ve denetimleri kapsamaktadır (Bozkurt, 2022; Kılıç, 2023; Fırat vd., 2021; Fırat vd., 2023; Muhammetoğlu & Muhammetoğlu, 2017). Şekil 1’de ana başlık ve alt bileşenler detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 1: İdari kayıp bileşenleri

3. Yöntem

3.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Karmaşık karar verme problemleriyle başa çıkmada yaygın olarak kullanılan AHP yöntemi Thomas Saaty tarafından 1970 yılında geliştirilmiştir (Saaty, 2002). Bu yöntem, karar vericiler için birden fazla kriter ve alt kriterin bulunduğu durumlarda en iyi alternatifin seçilmesinde kolaylık tanımaktadır.

Ayrıca alınan kararların tutarlılığı analiz edilerek karara karşı önyargıyı azaltmaktadır (Yang & Chen, 2004). AHP yaklaşımı üç önemli adıma dayanmaktadır (Zyoud vd., 2016). AHP’de ilk adım, karar probleminin belirlenmesi ve hiyerarşik yapının oluşturulmasıdır. Bu yapı birinci düzeyde amaç, ikinci düzeyde kriterler, üçüncü düzeyde ise alt kriterler veya alternatiflerden oluşmaktadır. Bir sonraki adım, karar yapısında bulunan bir kriterin diğer kriterlere göre önemini belirlemektir. Karşılaştırmalı yargılar, bir kriterin sabit tutularak diğer tüm kriterlerle kıyaslama yapılması ile belirlenmektedir. Karşılaştırmada önem düzeyi Saaty tarafından önerilen ölçek kullanılarak yapılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1: AHP ve Bulanık AHP ölçekleri (Saaty, 1990; Chang, 1992; Chang, 1996)

AHP			Bulanık AHP	
Saaty Ölçeği	Karşılık Ölçek	Tanım	Bulanık Ölçek	Karşılık Ölçek
1	1	Eşit Önem	(1,1,1)	(1,1,1)
3	1/3	Orta Derece Önem	(1,3,5)	(1/5,1/3,1/1)
5	1/5	Kuvvetli Düzey Önem	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)
7	1/7	Çok Kuvvetli Düzey Önem	(5,7,9)	(1/9,1/7,1/5)
9	1/9	Kesin Önem	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)

Son adımda ise tutarlılık oranının belirlenmesi için ilk olarak öncelik vektörü hesaplanır, bileşenlerin ağırlıkları belirlenir ve kararların tutarlılığı değerlendirilir. Tutarlılık indisinin (CI) rassal indise (RI) bölünmesiyle tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. CR değeri pozitif ve 1’den küçük ise karar kabul edilir değilse kararların yeniden incelenmesi talep edilir. Tablo 2’de karar yapısında bulunan kriter sayısına göre alınması gereken RI değerleri sunulmuştur.

Tablo 2: AHP yönteminde tutarlılık indeksi için RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56	1,57	1,59

AHP yönteminin işlem adımları Tablo 3’te özetlenmiştir. 1. Adımda köşegenleri 1 olan karar matrisi kurularak bileşenlerin ikili karşılaştırması yapılmakta, 2. Adımda verilen formül ile karar matrisi normalize edilmekte, 3. Adımda normalize karar matrisi satır ortalamaları alınarak bileşen ağırlıkları elde edilmekte, 4. ve 5. İşlem adımlarında ise başlangıçta uzman görüşleri alınarak değerlendirilen ikili karşılaştırmaların tutarlılık oranları analiz edilmektedir.

Tablo 3: AHP işlem adımları ve formüller

Adım 1: Hiyerarşik modelin ve karar matrisinin kurulması $A = [a_{ij}]$	Adım 2: Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması $\bar{A} = [\bar{a}_{ij}]$	Adım 3: Normalleştirilmiş Eigen vektörünün değerlendirilmesi $W = [w_1, w_2, w_3]^T$	Adım 4: Öz değerin belirlenmesi λ_{max}	Adım 5: Tutarlılık oranı hesabı CR
$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & 1 & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & 1 \end{bmatrix}$	$\bar{A} = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{a_{31}} & \frac{a_{12}}{a_{32}} & \frac{a_{13}}{a_{33}} \\ \frac{a_{21}}{a_{31}} & \frac{a_{22}}{a_{32}} & \frac{a_{23}}{a_{33}} \\ \frac{a_{31}}{a_{31}} & \frac{a_{32}}{a_{32}} & \frac{a_{33}}{a_{33}} \end{bmatrix}$ $\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^3 a_{kj}}$	$w_i = \frac{\sum_{k=1}^3 \bar{a}_{ik}}{3}$	$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^3 (\sum_{i=1}^3 \bar{a}_{ij}) w_j$	$CR = \frac{CI}{RI}$ $CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$ $CR = \frac{\lambda_{max} - m}{RI * (m - 1)}$

3.2. Bulanık AHP

Klasik AHP mantığı karar vericilerin kesin yargılarını dikkate almaktadır. Buna göre bir nesne bir kümeye ait veya değildir. Gerçek dünyada ise nesneler belirli bir sınırı olmayan uzaya aittir. Bilginin belirsiz olması, insan duyguları ve kararlarının kesin sayısal değerlerle ifade edilememesi nedeniyle çok kriterli karar verme problemlerinde değerlendirme yapmak zorlaşır ve kesin yargılar hata payını yükseltir. Kesin yargılar yerine ara yargıların da tercih edilebilmesine imkan sunan Bulanık AHP yönteminin ilk çalışması Yager tarafından 1978 yılında yapılmıştır (Yager, 1978). İkili karşılaştırmalarda üçgensel bulanık sayıların kullanıldığı bu yöntemde nesneler [0,1] aralığındaki üyelik değerlerine sahip olabilir (Krawczak & Szkatuła, 2020). Böylece karşılaştırma süreci daha esnek hale gelmektedir. Literatürde AHP’nin bulanıklaştırılmasında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Chang (1996), bulanık AHP’nin ikili karşılaştırma ölçeği için üçgensel bulanık sayıların kullanımı ve ikili karşılaştırmaların sentetik mertebe değerleri için mertebe analizi yönteminin kullanılmasıyla yeni bir yaklaşım ortaya koymuştur.

Bu yaklaşımda, bir bileşenin diğerine göre tercih üstünlüğü için üçgensel bulanık sayılar kullanılır ve daha sonra mertebe analiz tekniği ile ikili karşılaştırmalar için sentetik mertebe değerleri hesaplanır. Bu değerler ile ise normalleştirilmiş ağırlık katsayıları hesaplanmaktadır (Huang vd., 2008). Tablo 1’de ikili karşılaştırmalarda kullanılan puan ölçeği verilmiştir.

$X = x_1, x_2, \dots, x_n$ bir nesne kümesi ve $U = g_1, g_2, \dots, g_n$ hedef kümesi olsun. Chang’ın mertebe analizi yöntemine göre her nesne alınır ve her hedef için mertebe analizi sırasıyla gerçekleştirilir. $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, \dots, M_{g_i}^m$ ve $i=1,2,\dots,n$. Burada $M_{g_i}^j$ ($j=1,2,\dots,m$) parametreleri üçgensel bulanık sayılardır (l, m, u) şeklinde gösterilir.

$A_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $A_2 = (l_2, m_2, u_2)$ olmak üzere (Cheng & Mon, 1994):

Bulanık sayılarda toplama işlemi

$$A_1 \oplus A_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (1)$$

Bulanık sayılarda çarpma işlemi

$$A_1 \otimes A_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 * l_2, m_1 * m_2, u_1 * u_2) \quad (2)$$

$l_1, l_2 > 0, m_1, m_2 > 0, u_1, u_2 > 0$

Bulanık sayılarda çıkarma işlemi

$$A_1 \ominus A_2 = (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (3)$$

Bulanık sayılarda bölme işlemi

$$A_1 \odot A_2 = (l_1, m_1, u_1) \odot (l_2, m_2, u_2) = (l_1/u_2, m_1/m_2, u_1/l_2) \quad (4)$$

$l_1, l_2 > 0, m_1, m_2 > 0, u_1, u_2 > 0$

Bulanık sayıların tersini alma işlemi

$$A_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} = (\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1}) \quad (5)$$

$l_1, l_2 > 0, m_1, m_2 > 0, u_1, u_2 > 0$

Chang’ın mertebe analizi yöntemi işlem adımları Tablo 4’te verilmiştir. 1. Adımda ikili karşılaştırma matrisindeki bulanık sayılar sentezlenerek tek bir (l, m, u) sütunu elde edilmektedir. 2. Adımda verilen koşullar incelenerek olasılık dereceleri tanımlanmakta, 3. Adımda dış bükey (konveks) küme matrisinde her satırın minimum değerleri alınmakta 4. Adımda bu değerler normalize edilerek ağırlık katsayıları hesaplanmaktadır.

Tablo 4. BAHF İşlem adımları (Tornyeviadzi vd., 2021)

Adım 1: İ’inci nesneye göre bulanık sentetik mertebe değerinin tanımlanması S_i	Adım 2: $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ Olasılık derecelerinin tanımlanması $V = (M_2 \geq M_1)$	Adım 3: Bir dış bükey bulanık sayının k’dan büyük olma olasılığının belirlenmesi W'	Adım 4: Normalleştirilmiş ağırlık vektörlerinin elde edilmesi W
S_i $= \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ $\otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$	$V((M_2 \geq M_1) = hgt(M_1 \cap M_2)$ $= \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_2 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{diğer} \end{cases}$	$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ kabulü yapıldığında $k = 1, 2, 3, \dots, n; k \neq i$ için: $W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$	$W = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T$ $i=(1,2,3,\dots,n)$

S_i 'nin elde edilmesi için öncelikle $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j)$ işlemi gerçekleştirilir daha sonra $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1}$ değerinin hesaplanabilmesi için $M_{g_i}^j$ ($j=1,2,\dots,m$) değerleri bulanık toplanır ve eşitliğin tersi alınarak bulanık sentetik mertbe değeri elde edilir.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = (\sum_{j=1}^m 1_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (6)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (7)$$

3.3. Bulanık Sayıların Sıralanması

BAHP yöntemi çalışma prensibi olarak sistemi en çok etkileyen bileşenin tespit edilebilmesi için etkili bileşenin ağırlığını artırırken etkisi az olan bileşenin etkisini düşürmekte ve en etkili bileşeni kesin bir düzeyde ifade etmektedir. Bu da BAHP yönteminin dezavantajını oluşturmaktadır. Olabilirlik derecelerinin tespitinde üçgensel bulanık sayılardan $l_2 \geq u_2$ olması durumunda 0 derecesinin atanması ve dış bükey bulanık sayının k 'dan büyük olması durumunda satırların minimum değerinin alınarak ağırlıkların hesaplanması ve bileşenlerin 0 ağırlığı taşımasıdır. Chang'ın önerdiği algoritma, üçgen sayıları genişleterek ve L 'nin kesişme olasılığını artırarak L 'nin azalması ve U değerlerinin artması problemini kısmen çözen normalleştirmeyi içerir.

Çok sayıda bileşenden oluşan değerlendirme sistemlerinde birden fazla bileşenin 0 ağırlığını taşıması durumunda bu bileşenler içerisinde de önceliklendirme yapabilmek amacıyla çeşitli sıralama teknikleri önerilmiştir. Literatürde genellikle Chang'ın sıralama tekniği, Lio-Wang yöntemi, Kareli ortalama, Abdel-Kader, Dugdale ve Kwong-Bai yöntemleri uygulanmıştır (Cheng, 1998; Liou & Wang, 1992; Şengül vd., 2012). Çalışma kapsamında işlem kolaylığı ve elde edilen sıralamanın karşılaştırılmasına olanak tanınması bakımından bu yöntemlerden Kareli Ortalama ve Kwong-Bai seçilerek uygulanmıştır. Tablo 5'te verilen formüller kullanılarak elde edilen reel sayıların büyükten küçüğe doğru sıralanması ile sistem için en etkili bileşenler belirlenmektedir.

Tablo 5. Kareli Ortalama ve Kwong-Bai formülleri (Kiavarz vd., 2014)

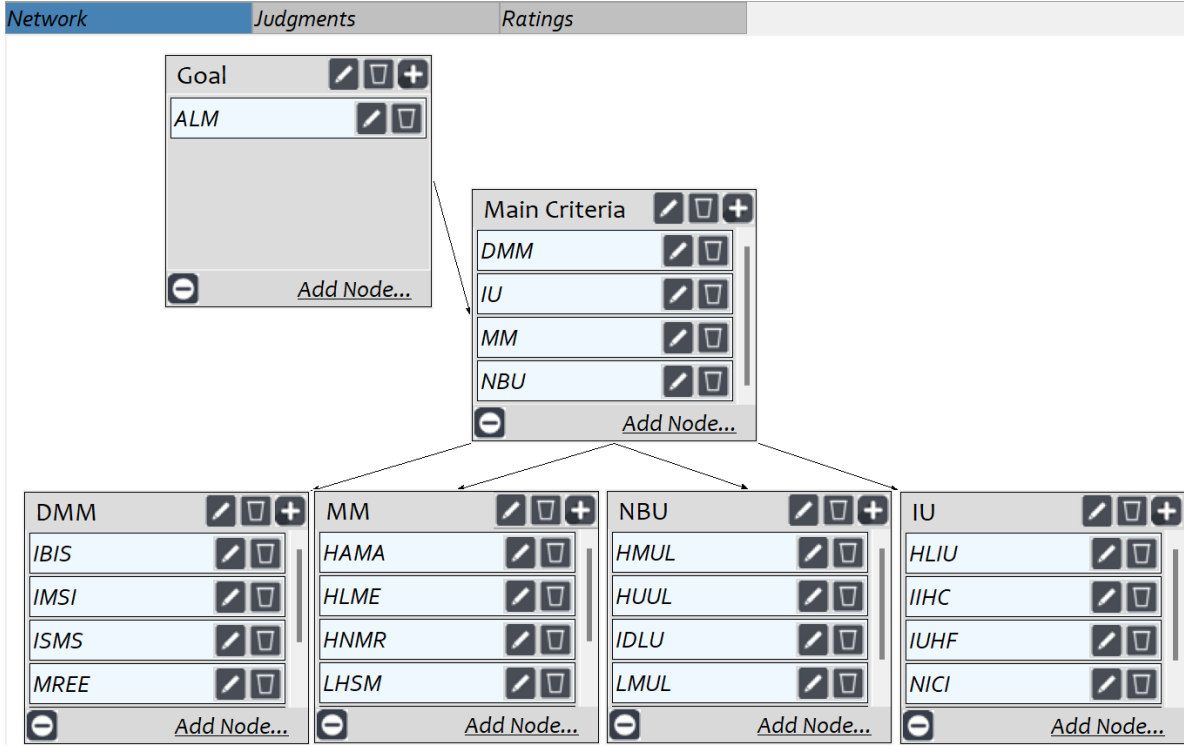
Kareli Ortalama Yöntemi	Kwong-Bai Yöntemi
$W_i \leq 0$ olması durumunda kullanılır (Göksu, 2008).	Bulanık sayıların reel sayılara dönüştürülmesi, sıralanması ve tutarlılığının analizi için uygulanır (Kwong & Bai, 2003)
$(A_k)=(l,m,u)$	$M=(l, m, u)$
$K(A_k) = \sqrt{\frac{l^2 + m^2 + u^2}{3}}$	$M_k = \frac{l + 4m + u}{6}$

4. Analiz ve Bulgular

İdari kayıp yönetimi bileşenleri için tasarlanmış karar verme modelinde kullanılan AHP ve BAHP karşılaştırma matrisleri tamamı Su İdarelerinde görev yapmakta olan mühendis ekip tarafından puanlandırılmıştır. AHP puanlandırmalarında Saaty ölçeği BAHP puanlandırmalarında Chang'ın bulanık üçgen sayılar ölçeği kullanılmıştır. Karar matrisi ise puan matrislerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir.

4.1. AHP Kullanarak Ağırlıkların Belirlenmesi

Çalışmada AHP işlemleri "SuperDecisions" paket yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım bir karar problemindeki bileşenlerin ağırlıklandırılması ve önceliklendirilmesinde ÇKKV tekniklerinden AHP ve Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemlerini etkili bir şekilde uygulayabilmek amacıyla geliştirilmiştir. AHP ve ANP modellerini oluşturmak ve yönetmek, kararları değerlendirmek, ağırlıkları elde etmek ve sonuçlar üzerinde duyarlılık analizi yapmak için araçlar sağlamaktadır. Karar probleminin hiyerarşik yapısı Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Buna göre İdari kayıp yönetimi bileşenleri DMM, IU, MM ve NBU ana başlıkları altında incelenmiştir



Şekil 2. AHP hiyerarşik yapısı

AHP yönteminde öncelikle ana başlıklar kendi içerisinde ikili karşılaştırılmakta ve ana başlık ağırlıkları elde edilmektedir. Daha sonra ise her bir ana başlık altında bulunan bileşenler için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmakta ve ağırlık katsayıları toplamaları 1 olacak şekilde elde edilmektedir. Son olarak farklı ana başlıklar altında bulunan bileşenlerin de kıyaslanması ve önceliklendirilmesine olanak tanınması amacıyla her bileşenin küme ağırlığı ana başlık ağırlığı ile çarpılarak genel ağırlıklar elde edilmektedir. Şekil 3'te ana başlıklar için kurulan ikili karşılaştırma puan tablosu örneği ve elde edilen ağırlıklar sunulmuştur.

Network	Judgments	Ratings
1. Choose	2. Node comparisons with respect to ALM	3. Results
Node Cluster	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct	Normal Hybrid
Choose Node	Comparisons wrt "ALM" node in "Main Criteria" cluster	Inconsistency: 0.07418
ALM	DMM is moderately more important than IU	DMM 0.50483
Cluster: Goal	1. DMM >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. IU	IU 0.14308
Choose Cluster	2. DMM >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. MM	MM 0.28763
Main Criteria	3. DMM >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NBU	NBU 0.06447
	4. IU >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. MM	
	5. IU >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NBU	
	6. MM >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. NBU	

Şekil 3. AHP ikili karşılaştırma örneği

DMM bileşeni IU'dan 3 kat üstündür. Bu puan DMM'in IU'dan orta derecede üstün olduğunu göstermektedir. MM ile NBU bileşenlerinin ikili karşılaştırması incelendiğinde MM'in NBU'dan 5 kat üstün yani MM'in oldukça önemli olduğunu ifade etmektedir. Bu karşılaştırmalara göre DMM 0.50483 ağırlık katsayısı ile en önemli ana başlık seçilmiştir. Ardından 0.28763 ile MM, 0.14308 ile IU ve 0.06447 ile NBU başlıkları gelmektedir. Bu karşılaştırma için CR tutarlılık indisi 0.07418 bulunmuştur. CR değerinin 1'den küçük ve 0'dan büyük olması karşılaştırmanın tutarlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde ana başlıklar için de ikili karşılaştırma matrisleri kurulmuş, küme ağırlıkları elde edilmiş, tutarlılık analizi gerçekleştirilmiş ve son olarak genel ağırlıklar elde edilmiştir. Tablo 6'da AHP yöntemi ile elde edilen ağırlık katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 6. AHP ile elde edilen ağırlıklar

Ana Bileşenler	Ağırlık Katsayısı	CR	Alt Bileşenler	Küme Ağırlık	Genel Ağırlık	CR
DMM	0.50483	0.07418	ISMS	0.25628	0.12938	0.09374
			SCNU	0.17562	0.08866	
			IBIS	0.07721	0.03898	
			UTNS	0.07166	0.03618	
			MREE	0.37719	0.19042	
IU	0.14308		IMSI	0.04204	0.02122	0.08992
			NICI	0.27629	0.03953	
			IIHC	0.38188	0.05464	
			HLIU	0.07038	0.01007	
			IUHF	0.16816	0.02406	
MM	0.28763		NMSP	0.10329	0.01478	0.08221
			OMAD	0.39294	0.11302	
			HAMA	0.20959	0.06028	
			UMER	0.05701	0.01640	
			HLME	0.16775	0.04825	
NBU	0.06447		HNMR	0.09593	0.02759	0.07482
			LHSM	0.07678	0.02208	
			IDLU	0.15944	0.01028	
			LMUL	0.20384	0.01314	
			HMUL	0.48047	0.03098	
			HUUL	0.09791	0.00631	
			LPRU	0.05833	0.00376	

Tablo 6 incelendiğinde ana başlıklar içerisinde en yüksek ağırlık katsayısının Su idarelerinde verilerin düzenli ölçülmesi, güncellenmesi, izlenmesi ve yönetilmesini ifade eden DMM bileşeninin aldığı görülmektedir. Su kayıplarının yönetiminde en önemli parametre verilerin güncel olmasıdır. Örneğin sisteme verilen su hacmi doğru bilinmezse ölçülen veya tahmin edilen kayıp hacimlerinde de hata olabilmektedir. Özellikle su kayıplarının doğrudan ölçülemediği durumlarda sistem giriş hacmi üzerinden oranlamalar ile tahmin yöntemine gidilmektedir. Bu nedenle verilerin güncel olması oldukça önem taşımaktadır.

Ana başlık bileşenleri incelendiğinde Veri Ölçüm ve Yönetimi (DMM)'de 0.37719 ile Abone Sayaç Okuma Verimliliğinin Yetersiz Olması (MREE) ve 0.25628 ile Abone Yönetim Sisteminin Yetersiz Olması (ISMS) bileşenleri almıştır. Kaçak Kullanım (IU) ana başlığında 0.38188 ile Yüksek Tüketimli Aboneler için Kaçak Kullanım Denetimlerinin Yetersiz Olması (IIHC) ve 0.27629 Kaçak Bağlantı Denetiminin Yapılmaması veya Yetersiz Yapılması (NICI). Sayaç Yönetimi (MM) ana başlığında 0.39294 ile Sayaç Yaşı Veritabanının Güncel Olmaması (OMAD) ve 0.20959 ile Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA) ve Faturalandırılmamış Yasal Kullanımlar (NBU) ana başlığında ise 0.48047 Yasal Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanımların Fazla Olması (HMUL) ve 0.20384 Yasal Faturalandırılmamış Kullanımların Ölçüm Oranının Düşük Olması (LMUL) bileşenlerinin en yüksek ağırlık katsayılarına sahip olduğu görülmektedir. Ana bileşen puanları da dikkate alınarak elde edilen genel ağırlıklara göre ise sıralamada ilk 5 bileşen 0.19042 ile Abone Sayaç Okuma Verimliliğinin Yetersiz Olması (MREE), 0.12938 ile Abone Yönetim Sisteminin Yetersiz Olması (ISMS), 0.11302 ile Sayaç Yaşı Veritabanının Güncel Olmaması (OMAD), 0.08866 ile Abone Sayısının Güncel Olmaması (SCNU) ve 0.06028 ile Ortalama Sayaç Yaşının Yüksek Olması (HAMA) şeklinde yer almaktadır.

4.2. Bulanık AHP Kullanarak Ağırlıkların Belirlenmesi

AHP sonuçlarını kıyaslamak ve üçgensel bulanık sayılarla yapılan ikili karşılaştırmaların bileşen sıralamasındaki etkisini gözlemlemek amacıyla BAHF yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında da AHP'ye benzer olarak öncelikle ana başlıkların ikili karşılaştırması yapılmış, etki düzeyleri belirlenmiş daha sonra her bir ana başlık için ikili karşılaştırma matrisleri kurulmuş ve bileşenlerin ağırlıkları elde edilmiştir. Puanlamada üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Tablo 7'de ana başlıkların ikili karşılaştırma örneğine yer verilmiştir.

Tablo 7: Ana kriterlerin bulanık ikili karşılaştırma matrisi

İKM	DMM			MM			NBU			IU		
DMM	1	1	1	1	3	5	3	5	7	1	3	5
MM	1/5	1/3	1	1	1	1	1/7	1/5	1/3	1	3	5
NBU	1/7	1/5	1/3	3	5	7	1	1	1	1/5	1/3	1
IU	1/5	1/3	1	1/5	1/3	1	1	3	5	1	1	1

İkili karşılaştırma matrisinde bulunan üçgensel bulanık sayılar reel sayılara dönüştürülerek AHP yönteminde olduğu gibi tutarlılık analizi gerçekleştirilir. Daha sonra bulanık sentetik mertebe değerleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$S_{DMM} = (6, 12, 18) \times (6/42.67, 12/27.73, 18/15.09) = (0.141, 0.433, 1.193)$$

$$S_{MM} = (2.34, 4.53, 7.33) \times (2.34/42.67, 4.53/27.73, 7.33/15.09) = (0.055, 0.163, 0.486)$$

$$S_{NBU} = (4.34, 6.53, 9.33) \times (4.34/42.67, 6.53/27.73, 9.33/15.09) = (0.102, 0.236, 0.619)$$

$$S_{IU} = (2.4, 4.67, 8) \times (2.4/42.67, 4.67/27.73, 8/15.09) = (0.056, 0.168, 0.530)$$

Olabilirlik dereceleri ise bulanık sentetik mertebe değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Tablo 8’de ana başlıklar için yapılan hesaplamalar verilmiştir.

Tablo 8: Olabilirlik derecelerinin hesaplanması

Kural 1			Kural 2			Kural 3		
m1								
$m_2 \geq m_1$	$0,16 \geq 0,43$	Kural 2	$l_1 \geq u_2$	$0,14 \geq 0,49$	Kural 3	$(l_1 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_1 - l_1))$	0.56203	0.56203
$m_3 \geq m_1$	$0,24 \geq 0,43$	Kural 2	$l_1 \geq u_3$	$0,14 \geq 0,62$	Kural 3	$(l_1 - u_3) / ((m_3 - u_3) - (m_1 - l_1))$	0.70805	0.70805
$m_4 \geq m_1$	$0,17 \geq 0,43$	Kural 2	$l_1 \geq u_4$	$0,14 \geq 0,53$	Kural 3	$(l_1 - u_4) / ((m_4 - u_4) - (m_1 - l_1))$	0.59575	0.59575
$m_1 \geq m_2$	$0,43 \geq 0,16$	1						1
m2								
$m_3 \geq m_2$	$0,24 \geq 0,16$	1						1
$m_4 \geq m_2$	$0,17 \geq 0,16$	1						1
$m_1 \geq m_3$	$0,43 \geq 0,24$	1						1
$m_2 \geq m_3$	$0,16 \geq 0,24$	Kural 2	$l_3 \geq u_2$	$0,1 \geq 0,49$	Kural 3	$(l_3 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_3 - l_3))$	0.84201	0.84201
m3								
$m_4 \geq m_3$	$0,17 \geq 0,24$	Kural 2	$l_3 \geq u_4$	$0,1 \geq 0,53$	Kural 3	$(l_3 - u_4) / ((m_4 - u_4) - (m_3 - l_3))$	0.86425	0.86425
$m_1 \geq m_4$	$0,43 \geq 0,17$	1						1
$m_2 \geq m_4$	$0,16 \geq 0,17$	Kural 2	$l_4 \geq u_2$	$0,06 \geq 0,49$	Kural 3	$(l_4 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_4 - l_4))$	0.98894	0.98894
$m_3 \geq m_4$	$0,24 \geq 0,17$	1						1
m4								

Tablo 8 incelendiğinde $V(M_i \geq M_v) = V(M_2 \geq M_1)$ karşılaştırmasında, $m_2 \geq m_1$ şartı $0.16 \geq 0.43$ sağlanamadığı için olabilirlik derecesi 1 değildir. 2. Kurala geçilir. $l_1 \geq u_2$ şartı $0.14 \geq 0.49$ sağlanamadığı için olabilirlik derecesi 0 değildir. 3.kurala geçilir. $(l_1 - u_2) / ((m_2 - u_2) - (m_1 - l_1))$ şartı $(0.14 - 0.49) / ((0.16 - 0.49) - (0.43 - 0.14)) = 0.562025$ elde edilir. Tablo 8’e göre ana başlıklar için olabilirlik dereceleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Ana başlıkların olabilirlik dereceleri

	DMM	MM	NBU	IU
DMM		1	1	1
MM	0.562025		0.842005	0.988939
NBU	0.708054	1		1
IU	0.595746	1	0.864251	

Bileşenlerin konveks olabilirlik durumları elde edilen matrislerde satırların minimum değerleri alınarak elde edilmektedir. Bu durumda ana başlıklar için $W'(1, 0.562025, 0.708054, 0.595746)$ bulunmuştur. Konveks olabilirlik değerlerine normalizasyon işlemi uygulanarak ağırlık katsayıları elde edilmektedir.

$$WDMM=(1/(1+ 0.562025+ 0.708054+ 0.595746))=0.348940$$

$$WMM=(0.562025/(1+ 0.562025+ 0.708054+ 0.595746))=0.196113$$

$$WNBU=(0.708054/(1+ 0.562025+ 0.708054+ 0.595746))=0.247068$$

$$WIU=(0.595746/(1+ 0.562025+ 0.708054+ 0.595746))=0.207879$$

Sonuçlar incelendiğinde ana bileşenler içerisinde en etkili olan 0,348940 ağırlık katsayısı ile DMM olmuştur. Sıralama NBU, IU ve MM şeklinde devam etmektedir. Ana başlıkların ağırlıkları elde edildikten sonra alt bileşenlerin ağırlık katsayılarını hesaplayabilmek amacıyla her ana başlık için bir karşılaştırma matrisi kurularak işlemler tekrar edilmektedir. BAHF ile elde edilen bileşen ağırlıkları ve sıralamaları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. AHP ve BAHF ile İKY bileşenlerinin önceliklendirilmesi sonuçları

AHP	Sıralama	BAHF	Sıralama	Kareli Ortalama	Sıralama	Kwong-Bai	Sıralama
0.1904	MREE	0.4445	HMUL	0.7039	HMUL	0.4923	HMUL
0.1294	ISMS	0.3305	LMUL	0.7028	IIHC	0.4354	IIHC
0.1130	OMAD	0.2957	MREE	0.6528	OMAD	0.4255	OMAD
0.0887	SCNU	0.2674	ISMS	0.5684	NICI	0.3827	MREE
0.0603	HAMA	0.2638	IIHC	0.5186	MREE	0.3505	NICI
0.0546	IIHC	0.2531	OMAD	0.4513	HAMA	0.3173	ISMS
0.0482	HLME	0.2451	NICI	0.4443	ISMS	0.2782	LMUL
0.0395	NICI	0.2161	IUHF	0.4333	IUHF	0.2756	HAMA
0.0390	IBIS	0.2102	HAMA	0.4248	LMUL	0.2621	IUHF
0.0362	UTNS	0.1991	SCNU	0.3876	HLME	0.2392	HLME
0.0310	HMUL	0.1958	HLME	0.3611	IDLU	0.2389	IDLU
0.0276	HNMR	0.1848	HUUL	0.3008	SCNU	0.1974	SCNU
0.0241	IUHF	0.1696	NMSP	0.2832	NMSP	0.1706	NMSP
0.0221	LHSM	0.1515	HNMR	0.2643	HNMR	0.1584	HNMR
0.0212	IMSI	0.1449	IBIS	0.2194	HUUL	0.1418	IBIS
0.0164	UMER	0.1208	LHSM	0.2125	IBIS	0.1360	HUUL
0.0148	NMSP	0.1053	HLIU	0.2005	LHSM	0.1220	LHSM
0.0131	LMUL	0.0928	IMSI	0.1648	HLIU	0.0998	IMSI
0.0103	IDLU	0.0686	UMER	0.1554	IMSI	0.0914	HLIU
0.0101	HLIU	0.0402	LPRU	0.1272	UMER	0.0711	LPRU
0.0063	HUUL	0.0000	UTNS	0.1069	LPRU	0.0698	UMER
0.0038	LPRU	0.0000	IDLU	0.0754	UTNS	0.0475	UTNS

Tablo 10 incelendiğinde BAHF ağırlıklarında Ücretini Ödemeyen Abonelerin İzlenmemesi veya Yetersiz Olması (UTNS) ve Yasal Faturalandırılmamış Kullanıcıların Bilgilerinin ve Kullanım Oranlarının Bilinmemesi veya Bilginin Eksik Olması (IDLU) bileşenlerinin 0 ağırlık katsayısına sahip olduğu bu nedenle kendi aralarında önceliklendirilemediği,

Bulanık sayıların sıralama teknikleri kullanıldığında ise bu iki bileşenin önceliklendirildiği, IDLU bileşeninin UTNS'den daha etkili olduğu görülmektedir. Bulanık sayıların sıralanması için uygulanan Kwong-Bai ve Kareli Ortalama tekniklerinin birbiri ile yakın sıralamalar oluşturduğu, ilk 10'da Tüm bileşenlerin aynı, sadece sıralamalarında farklılık olduğu görülmektedir. BAHF sıralamasında da benzer şekilde ilk 10'da 9 bileşenin aynı, sıralamalarının farklılık gösterdiği görülmektedir. Bulanık sayılarla elde edilen sıralamalar AHP sonuçları ile kıyaslandığında sıralamalarda büyük oranda farklılık olduğu görülmektedir. Örneğin abone sayısı bilgisinin güncel olmama durumunu ifade eden SCNU bileşeni AHP'de 4.sırada öncelikli olarak görünürken, BAHF'de 10. sırada, Kareli ortalama ve Kwong-Bai'de ise 12. sırada gelmektedir. Benzer şekilde bulanık yöntem sonuçlarına göre 1. Sırada yer alan İdarelerde abone kaydı ve sayaç bağlantısı olan, su tüketimleri ölçülmüş ancak Su İdaresinin bilgisi dahilinde izinli şekilde faturalandırma yapılmayan abonelerin (cami, vs.) kullandığı su miktarını ifade eden HMUL bileşeni AHP yönteminde 11. sırada yer almaktadır. En iyi alternatifi seçmek ve doğru kararı vermek için ÇKKV yöntemlerinin kullanımında modellerinin ve sonuçların kararlılığı kullanılan yöntemlere ve problemin unsurlarına bağlıdır. Bu nedenle, ÇKKV yöntemleri ile çözülen her bir spesifik problem için bileşen ağırlıkları, karar probleminin yapısı, bileşenler arasındaki ilişki şekilleri, problemdeki belirsizlikler ve kararlılıklar göz önünde bulundurularak en uygun yöntem ile belirlenmelidir (Vinogradova-Zinkevič vd., 2021).

5. Sonuçlar

Su kayıplarını tamamen önlemek teknik ve ekonomik olarak mümkün değildir ancak su kayıp bileşenleri doğru bir şekilde değerlendirilip, su kayıplarını azaltmak, kontrol altına almak ve yönetmek önemlidir ve bu amaçla bileşenler önceliklendirilmelidir. Bu çalışmada dağıtım sistemlerinde kayıt hataları, sayaç ve okuma hataları, izinsiz ve su idarelerinin bilgisi dahilinde bedelsiz olarak verilen suları kapsayan idari su kayıpları tüm yönleriyle incelenmiş ve bu kayıpların bileşenleri belirlenmiştir. İdari su kayıplarını doğrudan etkileyen bu bileşenlerin etkinliğini değerlendirebilmek, Su idarelerinin idari kayıp yönetiminde karar verme süreçlerini kolaylaştırmak, ekonomik verimi artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak amaçlarıyla ÇKKV tekniklerinden faydalanılmıştır. Çalışmada AHP ve üçgensel bulanık küme teorisi kullanılarak geliştirilmiş BAHF yöntemleri uygulanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde her iki yöntemde de ana kriterler içerisinde en etkili bileşenin veri ölçüm ve yönetimini ifade eden DMM olduğu görülmektedir. AHP yönteminde bu sıralama sayaç yönetimi, kaçak kullanımlar ve faturalandırılmamış yasal kullanımlar şeklinde devam ederken BAHF'de faturalandırılmamış yasal kullanımlar, kaçak kullanım ve sayaç yönetimi şeklindedir. Alt bileşenler için elde edilen öncelik sıralamaları incelendiğinde AHP'de sayaç okuma yetersizliği ve abone yönetim sistemi ile ilgili bileşenlerin daha öncelikli olduğu, BAHF'de ise yasal faturalandırılmamış ölçülmüş kullanımların fazla olması ve yüksek tüketimli aboneler için kaçak kullanım denetimlerinin yetersiz olması bileşenleri ön plana çıkmıştır. Sonuçlar ve problemin hiyerarşisi incelendiğinde AHP yönteminin bu model için daha doğru ve hassas kararlar verdiği, kararlılığının yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre öncelikle idari su kayıp yönetiminde coğrafi bilgi sistemleri teknolojileri, veri tabanlı kontrol ve izleme sistemi ve abone bilgi sistemi entegre olarak düşünülmeli, veri ölçüm ve yönetimi desteklenmelidir. Sayaç okuma ve faturalama sistemleri izlenmeli, denetleme ve yenileme politikaları uygulanmalı, izinsiz tüketimler için etkin bir müdahale gerçekleştirilmelidir. Gerçekleştirilen analiz sonuçlarının su temin ve dağıtım sistemlerindeki idari kayıpların azaltılması faaliyetlerini önceliklendirerek içme suyunun kullanılabilirliğinin artırılmasına ve su kaynaklarının uygun şekilde yönetilmesine de katkıda bulunması hedeflenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (İÜ-BAP FYL-2024-3596) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Akdeniz, T., & Muhammetoğlu, H. (2023), Türkiye'de Kentsel Su Dağıtım Şebekelerinde İdari Su Kayıplarının Değerlendirilmesi. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 24(1) 1–6.
- Arregui, F. J., Gavara, F. J., Soriano, J., & Pastor-Jabaloyes, L. (2018). Performance analysis of ageing single-jet water meters for measuring residential water consumption. *Water (Switzerland)*, 10(5), Article 612. <https://doi.org/10.3390/w10050612>
- Bozkurt, C. (2022). *Su kayıp yönetimi ve kontrolü için optimizasyon tabanlı en uygun strateji modelinin geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Chang, D. Y. (1992). Extent analysis and synthetic decision. *Optimization techniques and applications*, 1(1), 352–355.
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European journal of operational research*, 95(3), 649–655.
- Cheng, C. H. (1998). A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method. *Fuzzy Sets and Systems*, 95(3), 307–317. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(96\)00272-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00272-2)
- Cheng, C. H., & Mon, D. L. (1994). Evaluating weapon system by Analytical Hierarchy Process based on fuzzy scales. *Fuzzy Sets and Systems*, 63(1), 1–10. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(94\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0165-0114(94)90140-6)
- Connor, R., & Miletto, M. (2023). *The United Nations world water development report 2023: Partnerships and cooperation for water; Executive summary*. UNESCO. 25 Kasım 2024'te <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657> adresinden alındı.

- Ebad Ardestani, M., Sharifi Teshnizi, E., Babakhani, P., Mahdad, M., & Golian, M. (2020). An optimal management approach for agricultural water supply in accordance with sustainable development criteria using MCDM (TOPSIS) (Case study of Poldasht catchment in West Azerbaijan Province-Iran). *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 8(2), 88–107. <https://doi.org/10.1080/23249676.2020.1761896>
- European Union. (2023). *Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on Energy Efficiency and Amending Regulation (EU) 2023/955 (Recast)*. 25 Kasım 2024'te <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023L1791> adresinden alındı.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z. B. M., Istandar, A., & Sigh, S. (2008). *The manager's non-revenue water handbook: A guide to understanding water losses*. Ranthill Utilities Berhad and USAID.
- Fırat, M., Bozkurt, C., Ateş, A., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö. (2023). Development and implementation of a novel assessment system for water utilities in strategic water loss management. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 14(1), Article 04022065. <https://doi.org/10.1061/JPSEA2.PSENG-1323>
- Fırat, M., Orhan, C., Yılmaz, S., & Özdemir, Ö. (2021). Su idarelerinin su kayıp yönetim performansının analizi ve temel performans gösterge hesaplama aracının geliştirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 75–88. <https://doi.org/10.21324/dacd.784488>
- Göksu, A. (2008). *Bulanık Analitik Hiyerarşik Proses ve üniversite tercih sıralamasında uygulanması* [Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Golfam, P., Ashofteh, P. S., Rajaei, T., & Chu, X. (2019). Prioritization of water allocation for adaptation to climate change using multi-criteria decision making (MCDM). *Water Resources Management*, 33(10), 3401–3416. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02307-7>
- Hamilton, S., McKenzie, R., & Seago, C. (2006). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Voda i Sanitarna Tehnika*, 36(6), 15–24.
- Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(6), 1038–1052. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.05.003>
- Kadenge, M. J., Grace Masanja, V., & Mkandawile, M. (2019). A comparative analysis of multi-criteria decision making methods in optimizing water loss management strategies used in water distribution system: A case of Moshi Urban Water Supply and Sanitation Authority, Tanzania. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 16(1), 260–274.
- Kılıç, S. (2023). *Sürdürülebilir su ve atık su yönetimi için en uygun strateji modelinin ve performans değerlendirme sisteminin geliştirilmesi* [Yüksek lisans tezi, İnönü Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kiavarz, M., Samadzadegan, F., & Noorollahi, Y. (2014). Spatial analysis and multi-criteria decision making for regional-scale geothermal favorability map. *Geothermics*, 50, 189–201. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2013.09.004>
- Kızıllöz, B. (2021). İçme suyu dağıtım sistemlerinde su kayıplarının azaltılması: Kocaeli örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 213–225. <https://doi.org/10.21324/dacd.793762>
- Kızıllöz, B., & Şişman, E. (2021). Gelir getirmeyen su oranı tahmin modelleri. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 276–283. <https://doi.org/10.28948/ngmuh.789694>
- Koşucu, M. M., Sarı, Ö., Demirel, M. C., Kıran, S., Yılmaz, A., Aybakan, A., Albay, E., & Kırca, V. Ş. Ö. (2021). Gerçek zamanlı basınç yönetimiyle su dağıtım şebekesinde su kaybının azaltılması. *Teknik Dergi*, 32(1), 10541–10564. <https://doi.org/10.18400/tekderg.658870>
- Krawczak, M., & Szkatuła, G. (2020). On matching of intuitionistic fuzzy sets. *Information Sciences*, 517, 254–274. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.11.050>
- Kwong, C. K., & Bai, H. (2003). Determining the importance weights for the customer requirements in QFD using a fuzzy AHP with an extent analysis approach. *IIE Transactions*, 35(7), 619–626. <https://doi.org/10.1080/074081703004355>
- Lambert, A. O. (2002). International report: Water losses management and techniques. *Water Supply*, 2(4), 1–20. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115>
- Liemberger, R., Brothers, K., Lambert, A., McKenzie, R., Rizzo, A., & Waldron, T. (2007). Water loss performance indicators. *Water*, 21, 148–160.
- Liou, T. S., & Wang, M. J. J. (1992). Ranking fuzzy numbers with integral value. *Fuzzy Sets and Systems*, 50(3), 247–255. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(92\)90223-Q](https://doi.org/10.1016/0165-0114(92)90223-Q)
- Muhammetoğlu, H., & Muhammetoğlu, A. (2017). *İçme suyu temin ve dağıtım sistemlerindeki su kayıplarının kontrolü el kitabı*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Mutikanga, H. E., Sharma, S. K., & Vairavamoorthy, K. (2011). Assessment of apparent losses in urban water systems. *Water and Environment Journal*, 25(3), 327–335. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00225.x>
- Öztürk, İ., Koşucu, M. M. ve Deneri, E. Z. (2024). Su Kayıp ve İsrafının Boyutları: İklim Kaynaklı Potansiyel Risk ve Tehditler. In K. Şahin, & İ. Erol (Eds.), *Gıda, Su Kaybı ve İsrafı* (ss.39-72). Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.
- Rimeika, M., & Albrektienė, R. (2014, May 22–24). *Analysis of apparent water losses: Case study* [Conference presentation]. 9th International Conference on Environmental Engineering (ICEE 2014), Vilnius, Lithuania.
- Rizzo, A., & Cilia, J. (2005, September 12–14). *Quantifying meter under-registration caused by the ball valves of roof tanks (for indirect plumbing systems)* [Conference presentation]. Leakage 2005 International Conference, Halifax, Canada.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. L. (2002). Decision making with the analytic hierarchy process. *Scientia Iranica*, 9(3), 215–229. <https://doi.org/10.1504/ijssci.2008.017590>
- Şengül, Ü., Eren, M., & Shiraz, S. E. (2012). Bulanık AHP ile belediyelerin toplu taşıma araç seçimi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 40, 143–165.
- Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Salehi, S., Rasi Faghihi, N., & Heydarzadeh, R. (2020). Prioritization of non-revenue water reduction scenarios using a risk-based group decision-making approach. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34(11), 1713–1724. <https://doi.org/10.1007/s00477-020-01858-1>

- Tornyeviadzi, H. M., Neba, F. A., Mohammed, H., & Seidu, R. (2021). Nodal vulnerability assessment of water distribution networks: An integrated fuzzy AHP-TOPSIS approach. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 34, Article 100434. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100434>
- Vinogradova-Zinkevič, I., Podvezko, V., & Zavadskas, E. K. (2021). Comparative assessment of the stability of AHP and FAHP methods. *Symmetry*, 13(3), Article 479. <https://doi.org/10.3390/sym13030479>
- Yager, R. R. (1978). Fuzzy decision making including unequal objectives. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 87–95.
- Yang, C. C., & Chen, B. S. (2004). Key quality performance evaluation using fuzzy AHP. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 21(6), 543–550. <https://doi.org/10.1080/10170660409509433>
- Zyoud, S. H., Fuchs-Hanusch, D., Shaheen, H., Samhan, S., Rabi, A., & Al-Wadi, F. (2016). Utilizing analytic hierarchy process (AHP) for decision making in water loss management of intermittent water supply systems. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 6(4), 534–546. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.123>
- Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2020). An Integrated Decision-Making Framework to Appraise Water Losses in Municipal Water Systems. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 19(5), 1293–1326. <https://doi.org/10.1142/S0219622020500297>