T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ VE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike DEMİRCİ DOĞAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

OCAK 2026

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ VE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike DEMİRCİ DOĞAN
36233621002

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut FIRAT
Eş Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Cansu BOZKURT

OCAK 2026

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ VE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

Tezi Hazırlayan: Melike DEMİRCİ DOĞAN

Yüksek Lisans Tezi

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Yüksek lisans sürecim boyunca değerli bilgi birikimi ve yol gösterici rehberliği ile çalışmama yön veren kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mahmut FIRAT'a ve her daim bilgi ve desteklerini esirgemeyen ikinci danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cansu BOZKURT'a teşekkür ederim. Bu süreçte beni yalnız bırakmayan değerli eşim ve aileme ayrıca teşekkür ederim.

Ülkemin bilimine hizmet etme yolunda attığım bu küçük adımın bile beni ne denli mutlu hissettirdiğini belirtmek isterim. Ayrıca bu çalışmanın kendinden sonraki araştırmacılara ilham ve ışık olmasını canı gönülden dilerim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi İçin Çoklu Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri ile Alternatif Su Kaynaklarının Belirlenmesi ve Önceliklendirilmesi başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Melike DEMİRCİ DOĞAN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ ..... **i**
ONUR SÖZÜ ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **iv**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **v**
SEMBOLLER VE KISALTMALAR ..... **vi**
ÖZET ..... **vii**
ABSTRACT ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
2. KAYNAK ÖZETLERİ **3**
3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ **11**
3.1 Su Kaynağı Alternatifleri 11
3.2 Karar Verme Kriterleri ve Veri 31
4. YÖNTEMLER **40**
4.1 En İyi En Kötü Yöntemi (BWM) 40
4.2 VIKOR Yöntemi 43
4.3 MOORA Yöntemi 45
4.4 ENTROPİ Yöntemi 48
5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME **51**
5.1 Değerlendirme Kriterlerinin Entropi Yöntemi ile Ağırlıklandırılması 51
5.2 Entropi Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması 55
5.3 Entropi Tabanlı MOORA Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması 59
5.4 Entropi Tabanlı VIKOR-MOORA Sıralama Sonuçlarının Karşılaştırılması 62
5.5 Değerlendirme Kriterlerinin BWM Yöntemi ile Ağırlıklandırılması 63
5.6 BWM Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması 66
5.7 BWM Tabanlı MOORA Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması 71
5.8 BWM Tabanlı VIKOR-MOORA Sıralama Sonuçlarının Karşılaştırılması 73
5.9 Entropi ve BWM Ağırlıklandırma Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Yöntem Farklılığının Alternatif Sıralamada Etkinliğinin Gösterilmesi 75
6. SONUÇLAR **84**
KAYNAKLAR **88**
ÖZGEÇMİŞ **92**

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1: Malatya ili alternatif su kaynakları karakteristik bilgileri. 12
Çizelge 4.1: BWM kullanılan ikili karşılaştırma ölçeği..... 41
Çizelge 4.2: BWM için kullanılan tutarlılık indeksi 42
Çizelge 5.1: Su kaynağı alternatifleri ve kriterlere göre oluşturulan entropi karar matrisi. 52
Çizelge 5.2: Normalize karar matrisi. 53
Çizelge 5.3: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 56
Çizelge 5.4: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 56
Çizelge 5.5: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 57
Çizelge 5.6: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 58
Çizelge 5.7: MOORA normalize karar matrisi. 60
Çizelge 5.8: MOORA ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi. 60
Çizelge 5.9: MOORA yöntemi ile alternatiflerin sıralanması. 61
Çizelge 5.10: Alternatiflerin entropi tabanlı VIKOR v=0.50 grup faydası değerine göre elde edilen ağırlıklar ile MOORA yöntemleri ile karşılaştırılması. 62
Çizelge 5.11: Uzmanlara göre en iyi ve en kötü kriterler. 63
Çizelge 5.12: Kriterlerin puanlandırılması (Diğerlerine göre en iyi). 63
Çizelge 5.13: Kriterlerin puanlandırılması (En kötüye göre diğerleri). 64
Çizelge 5.14: BWM yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları ve sıralaması..... 64
Çizelge 5.15: BWM yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları..... 65
Çizelge 5.16: BWM yöntemi için kullanılan karar matrisi. 66
Çizelge 5.17: BWM yönteminde kriterlerin ortalama ağırlık değerleri. 67
Çizelge 5.18: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 68
Çizelge 5.19: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 68
Çizelge 5.20: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 69
Çizelge 5.21: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları 69
Çizelge 5.22: MOORA yöntemi ile elde edilen normalize matrisi. 71
Çizelge 5.23: Ağırlıklandırılmış normalize matrisi. 72
Çizelge 5.24: MOORA yöntemi ile alternatiflerin sıralanması. 72
Çizelge 5.25: VIKOR ağırlıkları ve sıralaması. 74
Çizelge 5.26: MOORA ağırlıkları ve sıralaması. 74
Çizelge 5.27: Entropi ve BWM tabanlı MOORA ve VIKOR yöntemlerine göre alternatiflerin sıralaması. 75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1: Malatya ili alternatif su kaynakları çalışma alanı. 11
Şekil 3.2: Melet suyu deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 14
Şekil 3.3: Tohma çayı alternatif su kaynağı lokasyonu. 15
Şekil 3.4: Ayvalı deresi ve Ayvalı tohması alternatif su kaynağı lokasyonu..... 16
Şekil 3.5: Kuru çay alternatif su kaynağı lokasyonu..... 17
Şekil 3.6: İnekpınarı deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 17
Şekil 3.7: Elemendik deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 18
Şekil 3.8: Çat barajı alternatif su kaynağı lokasyonu..... 19
Şekil 3.9: Beyler deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 20
Şekil 3.10: Söğüt deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 21
Şekil 3.11: Derme deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 22
Şekil 3.12: Horata deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 23
Şekil 3.13: Sürgü çayı alternatif su kaynağı lokasyonu. 24
Şekil 3.14: Kozluk çayı alternatif su kaynağı lokasyonu. 25
Şekil 3.15: Şiro çayı alternatif su kaynağı lokasyonu. 26
Şekil 3.16: Ahmetçe deresi alternatif su kaynağı lokasyonu. 27
Şekil 3.17: Takaz kaynakları alternatif su kaynağı lokasyonu. 27
Şekil 3.18: Derme YAS işletme sahası su kaynağı lokasyonu. 28
Şekil 3.19: Çapo su kaynağı alternatif su kaynağı lokasyonu. 29
Şekil 3.20: Karakaya barajı alternatif su kaynağı lokasyonu. 30
Şekil 3.21: Kapıkaya barajı alternatif su kaynağı lokasyonu. 30
Şekil 3.22: Kaynarca barajı alternatif su kaynağı lokasyonu. 31
Şekil 4.1: İdeal ve uzlaşık çözümler 44
Şekil 4.2: Çalışmada izlenen yol. 50
Şekil 5.1: Entropi değerleri ve kriter ağırlıkları. 54
Şekil 5.2: Farklı v değerlerine göre Sj değişimi. 59
Şekil 5.3: Farklı v değerlerine göre Rj değişimi. 59
Şekil 5.4: Farklı v değerlerine göre Qj değişimi. 59
Şekil 5.5: BWM değerleri ve kriter ağırlıkları. 66
Şekil 5.6: Farklı v değerlerine göre Sj değişimi. 70
Şekil 5.7: Farklı v değerlerine göre Rj değişimi. 70
Şekil 5.8: Farklı v değerlerine göre Qj değişimi. 71

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

1-*v* **:** Minimum Pişmanlığın Ağırlık Değeri
BWM **:** Best Worst Method
C_B **:** En Önemli
CI **:** Tutarlılık İndeksi
ÇKKV **:** Çok Kriterli Karar Verme
CR **:** Tutarlılık Oranı
C_W **:** En Önemsiz
F^- **:** Negatif İdeal Çözüm
F^* **:** İdeal Çözüm
F^c **:** Uzlaşık Çözüm
MOORA **:** Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis
Q_j **:** Uzlaşık Sıralama İndeksi
R_j **:** Bireysel Pişmanlık
Rmak **:** Maksimum Rj Değeri
Rmin **:** Minimum Rj Değeri
S_j **:** Grup Yararı
Smak **:** Maksimum Sj Değeri
Smin **:** Minimum Sj Değeri
v **:** Maksimum Grup Faydası
VIKOR **:** Vlsekriterijumsko Kompromisno Rangiranje
W_j **:** Ağırlık Değeri
ξ **:** Tutarlılık Oranı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL SU YÖNETİMİ İÇİN ÇOKLU ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE ALTERNATİF SU KAYNAKLARININ BELİRLENMESİ VE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ

MELİKE DEMİRCİ DOĞAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

92+ X sayfa

2026

Danışman: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

Günümüzde giderek değişen iklim, küresel ısınma, artan nüfus ve kentleşme ile birlikte su talebine olan ihtiyaç artmaktadır. Bunların yanı sıra su kaynaklarının aşırı ve bilinçsiz tüketimi, su kaynaklarında artan kirlilik oranları da suyun sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Su yönetiminin yalnızca miktar açısından değil kalite ve ekosistem dengesi açısından da planlanması oldukça önemlidir. Bu nedenle, sürdürülebilir kentsel su yönetimi için su tüm risklerin dikkate alınması ve buna göre su kaynaklarının planlanması gerekir. Bu kapsamda, alternatif su kaynaklarının belirlenmesi ve önceliklendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada sürdürülebilir kentsel su yönetimi için su kaynağı alternatiflerinin çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için Malatya ili merkez su temin ve dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada toplam 22 adet su kaynağı alternatifi ve 14 adet değerlendirme kriteri tanımlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında kriterlerin ağırlıkları En İyi En Kötü (BWM) ve ENTROPI yöntemleri ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar esas alınarak alternatiflerin öncelik sıralamasının ortaya konulması ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan (ÇKKV) VIKOR ve MOORA yöntemleri kullanılmıştır. Entropi Yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre, 0.248 eşit ağırlık değerleriyle Kaynağın Debisi, Mevcut İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı ve Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı kriterleri en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. BWM Yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre, 0.1379 ağırlık katsayısıyla Kaynağın Debisi en önemli kriter olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, 0.1242 değeriyle Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı ve ikinci sırada ve 0.0973 değeriyle Kaynak Sürekliliği üçüncü sırada yer almaktadır. Entropi yönteminde elde edilen en önemli kriterler ile BWM Yöntemiyle elde edilen sonuçlar büyük ölçüde benzerdir. Elde edilen sonuçlarda kaynağın debisi, mevcut ve gelecekteki ihtiyaç debisini karşılama oranları ve ilk yatırım maliyeti kriterlerinin etkisi en yüksek kriterlerden olduğu ortaya çıkmıştır.

Entropi tabanlı VIKOR Yöntemi ile yapılan analizde öncelikli su kaynağı alternatifinin, Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolu olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, en kötü performans gösteren alternatif ise Şiro Çayı üzerinde Şilan Barajıdır. Entropi tabanlı

MOORA Yöntemi sonuçlarını ifade edecek olursak, öncelikli alternatifin yine Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolu olduğu, en son sırada yer alan alternatif ise Şiro Çayı üzerinde Şilan Barajıdır. En iyi ve en kötü alternatif arasında kalan alternatiflerinde her iki yöntemde de benzer şekilde sıralamaya sahip olması da oldukça önemlidir. BWM tabanlı VIKOR ve BWM tabanlı MOORA analizinde, öncelikli su kaynağı alternatifinin yine Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolu olduğu tespit edilmiştir. BWM tabanlı VIKOR ve MOORA analizinde en son sırada yer alan alternatif ise yine Şiro Çayı üzerinde Şilan Barajıdır. Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolu alternatifinin debisi 900 m^3/s ve kaynak olarak sürekliliğe sahip bir kaynaktır. Dolayısıyla bu yirmi dört kriter içerisinde en iyi performansı sergileyerek ilk sırada yerini almıştır. Yine bu kaynak üzerinde baraj bulunması sebebiyle ekstra biriktirme yapısı ihtiyacının bulunmaması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bu çalışma su yönetiminde kapsamlı bir şekilde stratejik karar alma sürecini desteklemektedir. Ayrıca gelecekteki çalışmalar için sürdürülebilirlik odaklı analizlerin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Ölçütlü Karar Verme Yöntemi, Alternatif Su Kaynakları, Sürdürülebilirlik, Entropi, Vikor, Moora, Bwm Yöntemi

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION AND PRIORITIZATION OF ALTERNATIVE WATER RESOURCES WİTH MULTIPLE CRITERIA DECISION ANALYSIS METHODS FOR SUSTAINABLE URBAN WATER MANAGEMENT

MELİKE DEMİRCİ DOĞAN

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Inonu University

92+ X pages

2026

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut FIRAT

The need for water demand is increasing with the changing climate, global warming, increasing population and urbanization. In addition, excessive consumption of water resources and increasing pollution rates in water resources threaten the sustainability of water. It is very important to plan water management not only in terms of quantity but also in terms of quality and ecosystem balance. Therefore, all risks should be considered and water resources should be planned accordingly for sustainable urban water management. In this context, identifying and prioritizing alternative water resources is of great importance.

This study aims to evaluate and prioritize water resource alternatives for sustainable urban water management using multi-criteria decision-making methods. Malatya province central water supply and distribution system was selected as the application area. A total of 22 water source alternatives and 14 evaluation criteria were defined. In the first step of the study, the weights of the criteria were determined separately by the Best Worst (BWM) and ENTROPI methods. The VIKOR and MOORA methods, which are multi-criteria decision-making methods (MCDM), were used to determine the priority order of the alternatives based on the weights. The Water Resource Flow Rate, the Current Need Flow Meeting Rate and the Future Need Flow Meeting Rate were determined as the most important criteria with equal weight values of 0.248. According to the results obtained with the BWM Method, the Water Resource Flow Rate was defined as the most important criterion with a weight coefficient of 0.1379. Additionally, the Future Needs Flow Meeting Rate ranks second with a value of 0.1242, and Water Resource Continuity ranks third with a value of 0.0973. The most important criteria obtained from the ENTROPY method are largely similar to the results obtained from the BWM Method. The results revealed that the flow rate of the resource, the rate of meeting current and future needs and the initial investment cost criteria were the most effective criteria.

The primary water source alternative was determined to be the Euphrates Branch feeding the Karakaya Dam according to the analysis made with the entropy-based VIKOR Method. On the other hand, the worst performing alternative is the Şilan Dam on the Şiro Stream. The priority alternative is the Euphrates Branch, which feeds the Karakaya Dam, and the last

alternative is the Şilan Dam on the Şiro Stream according to the results of the Entropy-based MOORA Method. It is also very important that the alternatives between the best and the worst alternative have a similar ranking in both methods. In the BWM-based VIKOR and BWM-based MOORA analysis, the primary water source alternative was determined to be the Euphrates Branch, which feeds the Karakaya Dam. The last alternative in the BWM-based VIKOR and MOORA analysis is the Şilan Dam on the Şiro Stream. The Euphrates Branch alternative feeding the Karakaya Dam has a flow rate of 900 m^3/s and is a continuous source. Therefore, it took first place by showing the best performance among these twenty-four criteria. Since there is a dam on this source, there is no need for an extra reservoir structure, which provides a significant advantage. This study supports comprehensive strategic decision-making in water management. It also paves the way for the development of sustainability-focused analyses for future studies.

Keywords: Multi-Criteria Decision-Making Method, Alternative Water Resources, Sustainability, Entropy, VIKOR, MOORA, BWM Method

1. GİRİŞ

Son yıllardaki hızlı nüfus artışına paralel olarak su talebi artmaktadır. Ayrıca, mevcut su kaynaklarına erişimini zorlaşmakta ve gün geçtikçe gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak aşırı kullanım artmaktadır. Bu faktörlerden dolayı, su kaynakları yönetiminin önemi bir kat daha artmıştır. Fakat su kaynakları yönetimi sadece sorunlu olan bölgelerde kullanılması gereken bir yöntem olarak düşülmemeli; temel hedef, mevcut potansiyelinin artırılamayacağı insan ve doğal hayatın devamı için alternatifi olmayan ve kaynağın en iyi şekilde korunarak, kaynak potansiyeli tehlikeye atılmadan etkin kullanımının sağlanması olmalıdır (Teonıan Meriç, 2004).

Kentsel su yönetiminde abonelere sürekli ve kaliteli suyun iletilmesi oldukça önemlidir. Bunun için mevcut su kaynaklarının verimli kullanılması oldukça kritiktir. Bunun yanı sıra yerleşim yerinin gelişim durumu ve nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan su talebinin karşılanması için ilerleyen dönemlerde sisteme dahil edilecek su kaynaklarının planlanması gerekmektedir. Özellikle deprem, kuraklık ve/veya taşkın gibi afetlerin etkileri de dikkate alındığında güvenilir su kaynaklarına sahip olmak daha da önem kazanmaktadır. Alternatif su kaynağı öncelikle yeterli kaliteye ve mevcut su talebini karşılayacak kapasiteye sahip olmalıdır. Ayrıca gelecek nüfus projeksiyonları ile ortaya konulan talep debisini de karşılama kapasitesine sahip olması gerekir.

Bu çalışmada sürdürülebilir kentsel su yönetimi için su kaynağı alternatiflerinin çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi ve önceliklendirilmesi amaçlanmaktadır. Bunun için Malatya ili merkez su temin ve dağıtım sistemi uygulama alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada toplam 22 adet su kaynağı alternatifi ve 14 adet değerlendirme kriteri tanımlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında kriterlerin ağırlıkları En İyi En Kötü (BWM) ve ENTROPI yöntemleri ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar esas alınarak alternatiflerin öncelik sıralamasının ortaya konulması ise çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan (ÇKKV) VIKOR ve MOORA yöntemleri kullanılmıştır.

Çalışma dikkate alınan kriterler şu şekilde belirlenmiştir; Kaynağın Debisi, Mevcut İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı, Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı, Merkeze Olan Uzaklığı, Arıtma Gereklilik Durumu, Kaynak Türüne Göre Kaynağın Elde Edilebilirliği, İletim Hattı Türü, Kaynak Sürekliliği, İlk Yatırım Maliyeti, İşletme ve Bakım Maliyeti,

Biriktirme Yapısı İhtiyacı, Afetten Etkilenme Riski, Kuraklığa Karşı Dirençlilik Durumu, Proje Uygulanabilirlik (Finansal Uygulama ve Proje Süresi) Durumu.

Çalışma kapsamında farklı karakteristik özelliklere sahip toplam 22 su kaynağı alternatifi dikkate alınmıştır. Bu alternatifler şu şekilde sıralanabilir; Melet Deresi, Tohma Suyu-Yazıköy, Tohma Suyu-Çatalbahçe, Ayvalı Tohma, Kuruçay, İnekpınarı, Elemendik, Çat Barajı-Abdülharap, Beylerderesi, Söğütlü Deresi, Derme Çayı, Horata Çayı, Sürgü Çayı, Kozluk Çayı, Şilan Barajı planlama, Ahmetçe, Takaz Kaynakları YAS -1, Malatya-Derme YAS -2, Çapo Su Kaynağı YAS -3, Fırat Kolu (Karakaya Baraj), Kapıkaya Barajı ve Kaynarca Barajı (planlama).

Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

- Giriş bölümünde, çalışmanın amacı ve kapsamı yer almaktadır.
- Kaynak özetleri bölümünde çoklu ölçütü karar verme yöntemleri, VIKOR, MOORA, ENTROPI ve BWM yöntemleri konularındaki önceki çalışmalar özetlenmiştir.
- Çalışma alanı ve veri bölümünde çalışmada yer alan alternatiflerin coğrafi bilgileri ve çalışmada belirlenen kriterlerin detaylı açıklamaları bulunmaktadır.
- Yöntemler bölümünde çalışmada kullanılan BWM, ENTROPİ, VIKOR ve MOORA gibi çoklu ölçütlü karar verme yöntemlerinin ayrıntılı açıklamaları yer almaktadır.
- Analiz ve değerlendirme bölümünde BWM ve ENTROPI yöntemleri ile kriterleri ağırlıklandırılması yapılarak belirlenen alternatif su kaynaklarının VIKOR ve MOORA Yöntemleri ile önceliklendirilmesi ve elde edilen sonuçlar yer almaktadır.
- Sonuçlar bölümünde ise çalışma sonucunda elde edilen verilerden bahsedilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde çoklu ölçütlü karar verme yöntemleri kullanılarak, havza yönetimi, kentsel su yönetimi, su kayıp yönetimi ve sızıntı yönetimi kapsamında çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde özellikle su kaynakları yönetimi kapsamında detaylı bir literatür taraması yapılmış ve değerlendirmeler sunulmuştur.

Chang ve Hsu (2009) yaptıkları çalışmada Tseng-Wen Barajı havzasındaki arazi kullanım kısıtlama stratejilerinin önceliklendirilmesi için VIKOR yöntemini kullanmıştır. Çalışmada bir havzadaki alt bölümlerin potansiyel çevresel etkisini değerlendirmek için, yağış, eğim, eğri sayısı, bir alt bölüm merkezi ile çıkış arasındaki mesafe, kapsamlı kirletici yükler gibi faktörleri dikkate almıştır. VIKOR yöntemi ile elde edilen sonuçlar, çıkış veya rezervuar alanına yakın alt bölümlerin arazi kullanım kısıtlamalarında öncelik sahibi olması gerektiğini göstermektedir. Alt havza 17, en yüksek Q_i' indeks değerini alarak diğer alt havzalara göre daha büyük bir potansiyel olumsuz etkiye sahip oldukları için arazi kısıtlamalarını önce uygulamaları gerektiği sonucu ortaya çıkmıştır. Çalışmada VIKOR yönteminin ÇKKV analiz için etkili bir teknik olduğu ve çevresel analizde uygulanan az sayıda çalışmadan olduğu ifade edilmiştir.

Okeola ve Sule (2012) Nijerya'da kentsel su temin sistemi için yönetim alternatiflerini değerlendirmek amacıyla AHP tekniğini kullanmıştır. Çalışma, karar vericilerin deneyimlerini dikkate alarak çoklu hedefler ve paydaş tercihleri açısından en iyi uzlaşmacı çözümü sunmayı amaçlamıştır. Üç yönetim seçeneği, kamusal sahiplik ve işletme, kamusal sahiplik ve özel işletme, özel sahiplik ve işletme, incelenmiştir. Çalışmada paydaşlar, çevresel, ekonomik, teknik, kurumsal ve sosyo-kültürel kriterler arasında *kamusal sahiplik ve işletme* seçeneğini en uygun olarak belirlemiştir. AHP çerçevesinin soruna keşifsel bir bakış açısı sağlamada değerli ve etkili olduğu ifade edilmiştir. Çalışmanın sadece pilot uygulama alanına ait kentsel su tedarik sistemi üzerine odaklanması, bulguların diğer bölgelere veya benzer sistemlere genellenebilirliğini sınırlayabilir.

Udias vd. (2012) çok kriterli optimizasyon tekniklerinin metodolojik bir incelemesini sunmakta ve özellikle su kaynakları alanındaki uygulamaları ele almaktadır. Çalışmanın amacı, karar verme süreçlerinde karşılaşılan karmaşık sorunlara çözüm bulmak için

kullanılan çeşitli optimizasyon algoritmalarını ve tercih belirleme yöntemlerini değerlendirmektir. Yöntem olarak ELECTRE gibi uzlaşma tabanlı yaklaşımlar ve Pareto optimal çözümler üreten teknikler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Parkinson vd. (2017) entegre su-enerji sistemlerinin dönüşüm yollarını değerlendirmek için çok kriterli bir model analiz çerçevesi sunmuştur. Yöntem olarak, su ve enerji altyapılarının planlanması için çok kriterli bir çerçeve geliştirilmiş ve dönüşüm yollarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Belirli bir vaka çalışmasının detaylı olarak ele alınmaması ve sunulan çerçevenin potansiyel kısıtlamaları veya genişletilebilirlik alanları yeterince vurgulanmamıştır.

Nnaji ve Banigo (2018) yaptığı çalışmada Nijerya'daki kentsel su temini için su kaynaklarını değerlendirmek amacıyla iki ÇKKV yöntemini (AHP ve TOPSIS) kullanmıştır. Çalışma altı farklı su kaynağını (sondaj kuyusu, su idaresi, su tankeri, yağmur suyu hasadı, sığ kuyu ve akarsu) değerlendirmiştir. Su kaynaklarının sıralamasını etkileyen en önemli kriterlerin kalite ve kontaminasyon riski olduğu, sondaj kuyusu ve su idaresinin en iyi seçenekler olduğunu göstermiştir. Mevsimsellik ise en az kriter olarak kabul edilmiştir. Çalışmada, tutarlılık algoritmalarının sonuçlara etkisinin yeterince açıklanmaması ve çalışmanın genellenebilirliği sınırlıdır.

Alamanos vd. (2018) su kaynakları yönetimi stratejilerini değerlendirmek ve en uygun alternatifi seçmek için tasarlanmış entegre bir ÇKKV yöntemi uygulanmıştır. Çalışma özellikle su kıtlığı çeken bölgelerde karmaşık su projelerinde karar almayı desteklemeyi, çeşitli kriterleri ve potansiyel sonuçları dikkate almayı amaçlamaktadır. Metodoloji dört yöntemi (Çok Kriterli Fayda Teorisi (MAUT), AHP, TOPSIS ve PROMETHEE) birleştirmiştir. Sonuç olarak, çalışma MAUT yönteminin su kaynakları yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesi için en uygun yöntem olduğunu ve diğer yöntemlerin de benzer sonuçlar verdiğini göstermektedir. Su kıtlığı gibi karmaşık sorunlarla karşı karşıya kalan bölgelerde su kaynakları yönetimi stratejilerinin değerlendirilmesi ve en uygun olanın seçilmesi için kapsamlı bir karar destek aracı sağlamayı amaçlamıştır.

Cambrainha ve Fontana (2018) yarı kurak bölgelerdeki su kıtlığı problemini ele alarak su arzı-talep stratejilerini dengelemek amacıyla karar vericilere yardımcı olacak çok kriterli bir karar verme modeli önermiştir. Çalışma Brezilya'nın kuzeydoğusundaki yarı kurak bir bölgede bulunan bir Su Şirketi'nde yaşanan su sıkıntısı problemine uygulanmıştır. Araştırma metodolojisi bir problem yapılandırma yöntemi olan problem yapılandırma yöntemi ve çok

kriterli karar verme yöntemi olan PROMETHEE V yönteminin birleşimine dayanmaktadır. Önerilen modelin toplum ve hükümetin etkileri nedeniyle sağlam ve iyi yapılandırılmış bir karar alma süreci yürütmek için uygun olduğu gösterilmiştir.

Amorocho-Daza vd. (2019) yeni su temini alt yapısı seçimi için ekonomik ve ekonomik olmayan kriterleri ayrı ayrı elen alan yeni bir ÇKKV metodolojisi geliştirmiştir. Bu metodoloji, bir hiyerarşik yapı ve beklenen maliyetleri küresel bir endekste birleştiren AHP yöntemini kullanmaktadır. Çalışma, %60 içme suyu sıkıntısı yaşayan Kolombiya'nın Santa Marta şehrinde bir vaka çalışmasıyla uygulanmıştır. Sonuçlar, önerilen metodolojinin paydaşların tercihlerini dikkate alarak Santa Marta'nın su temini sorununu ele alacak en iyi alternatifi seçme sürecini desteklediğini göstermektedir.

Tu vd. (2020) bölgesel su kaynakları güvenliği değerlendirmesi için hibrit bir bulanık BWM-TOPSIS yöntemi oluşturmak üzere bulanık BWM ve TOPSIS yöntemlerini birleştirmeye odaklanmaktadır. Farklı göstergelerin önemini ayırt etmek için BWM Yöntemi kullanılmıştır. Bulanık BWM ile elde edilen gösterge ağırlıklarına dayanarak bölgelerin su kaynakları güvenliği seviyelerini sıralamak için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin etkinliğini doğrulamak için TOPSIS ve bulanık BWM-AHP yöntemi ile karşılaştırma analizi ve gösterge ağırlıkları için hassasiyet analizi yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına dayalı olarak Kuzey Çin'deki su kaynaklarının etkili ve rasyonel kullanımı için bazı önerilerde bulunulmuştur.

Zhu vd. (2020) yaptığı çalışmada Entropi Yönteminin karar vermedeki rasyonelliğini sorgulamaktadır. Makalede ölçülen değerin dağılım derecesi ne kadar yüksek olursa, indeksin farklılaşma değeri o kadar yüksek olur. Böylece daha fazla bilgi elde edilebilir. Monte Carlo Simülasyonu ile üretilen veriler üzerinden su kaynağı yer seçimi örneği verilmiştir. Bu örnekle Entropi Yönteminin iki ana kusuru olarak: çok fazlı sıfır değerinin standardizasyon sonucunun bozulmaya eğilimli olmasına neden olması ve sınıflandırma içeren çoklu endeksli karar vermede sınıflandırma endeksin bilgi miktarını daha doğru yansıtan sıra ayrımcılığını göz ardı etmesidir.

Alves vd. (2021) yaptıkları çalışmada Brezilya'nın yarı kurak bölgelerinde daha iyi çok kaynaklı su yönetimi için potansiyel olarak mevcut tüm yerel su kaynaklarını olası alternatifler olarak değerlendiren CBS-ÇKKV yaklaşımı sunmaktadır. Çalışmada CBS-ÇKKV çerçevesini, AHP ve Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon yöntemleri kullanılmıştır. Tüm su kaynaklarını dikkate alan Çok Kaynaklı Su Yönetimi (MWRM) yaklaşımı çalışma

alanında sulanacak uygun alanların kapsamını sırasıyla yüzey suyu, yeraltı suyu ve atık suyum bağımsız olarak dikkate alınmasına kıyasla %2.2i %20.4 ve %225'ten fazla artırmıştır.

Savun-Hekimoğlu vd. (2021) yaptığı çalışmada İstanbul gibi büyük şehirlerde su yönetimini ele alarak, iklim değişikliği ve su kirliliği gibi faktörler nedeniyle artan baskı altındaki su kaynaklarıyla artan su talebini dengeleme ihtiyacını vurgulamıştır. Çalışmanın temel amacı, İstanbul için sürdürülebilir su temini stratejileri geliştirmeye yardımcı olacak kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Bu makalede temel yöntem, talep tahmini ile ÇKKV tekniklerinin birleşimidir. ÇKKV yöntemleri (AHP, VIKOR, TOPSIS) esas alınarak en uygun su temini seçeneklerinin sıralaması sunulmuştur. Potansiyel eksiklik olarak kullanılan modellerin ve veri setlerinin gelecekteki çevresel veya sosyoekonomik değişimleri ne kadar doğru tahmin edilebileceği ya da seçilen kriterlerin ve ağırlıklandırmaların sübjektifliği görülebilir.

Gebre vd. (2021) su tahsis oranlarına yönelik ÇKKV yöntemlerini sistematik bir şekilde incelemiştir. Araştırma, su kıtlığı ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar ışığında su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için ÇKKV yöntemlerinin önemini vurgulamaktadır. Farklı ÇKKV tekniklerinin güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirerek, su tahsisi problemlerini ele almada doğru ÇKKV yöntemini seçmeleri için kapsamlı bir rehber sunmaktadır. Sonuç olarak, ÇKKV yöntemlerinin karmaşık su tahsisi problemlerine bütünsel ve katılımcı çözümler sunma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Nam, (2020) iklim değişikliği ve bölgesel su çatışmaları nedeniyle Güney Kore'de alternatif su kaynaklarının geliştirilmesini teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Atık suyun yeniden kullanımı veya deniz suyunun tuzdan arındırılması gibi önceki araştırmalardan farklı olarak, alternatif su kaynakları alanlarındaki kalkınma önlemlerini entegre etmeyi ve su kıtlığını sürdürülebilir bir şekilde aşmak için uzun vadeli, bütünsel yollar önermeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, deniz suyunun tuzdan arındırılmasının mevcut durumunu, düzenlemelerdeki sorunları ve Busan şehrinin vaka çalışmasını analiz ederek iyi yönetişimin önemi vurgulamaktadır.

Noori vd. (2021) yaptığı çalışmada belirsizlik içeren su temini projelerinde karar verme sürecini iyileştirmek amacıyla ELECTRE III yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem, uzman görüşlerini üçgen bulanık sayılara dönüştürerek hem nitel hem de nicel kriterleri dikkate almaktadır. İran'daki Gamasiab Havzası'nda yapılan uygulamada, önerilen yöntem Bulanık

TOPSIS ve Bulanık AHP yöntemlerine göre daha tutarlı sonuçlar vermiştir. Su yönetimi gibi karmaşık sorunlarda güvenilir ve uygulanabilir bir karar destek modeli sunmaktadır. Ancak fazla hesaplama ve uzman görüşü gerektirmesi ile birlikte yöntemin uygulanabilirliği başka alanlarda henüz test edilmemiştir.

Pagono vd. (2021) içme suyu temin sistemlerindeki acil durumları yönetmek için en uygun önlemleri belirlemek ve sıralamak amacıyla karar vericilere yönelik bir Karar Destek Sitemi (KDS) oluşturmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, acil durum karar alma süreçlerinde bilimsel bilgi ve uzman bilgisini entegre etmek için AHP kullanılmıştır. Makalede, kuraklık ve deprem gibi farklı acil durum senaryoları için ölçütlerin ve alternatiflerin göreceli ağırlıkları ve sıralamaları sunulmuştur. Sonuçlar, kriter ağırlıklarının ve önlem sıralamasının tehlike türüne göre değiştiğini göstermiştir.

de Castro-Pardo vd. (2021) tatlı su ekosistem hizmetlerinin yönetimiyle ilgili su çalışmalarını ele almak için ÇKKV yaklaşımlarının kapsamlı incelemesini sunmaktadır. Çalışmanın amacı, literatürdeki mevcut ÇKKV yöntemlerini değerlendirmek ve bu yöntemlerin su yönetimi sorunlarına uygulanabilirliğini analiz etmektir. Makale, farklı ÇKKV yaklaşımlarının güçlü ve zayıf yönlerini tartışmakla birlikte bazı yöntemlerin karmaşıklığı ve veri gereksinimlerinin pratik uygulamalarını sınırlayabileceği gibi eksikliklere de değinmektedir. Ayrıca, entegre ve katılımcı yaklaşımların önemini vurgulayarak gelecekteki araştırmalar için yol göstermektedir.

Naghizadeh Vardin vd. (2021) yaptığı çalışmada inşaat projelerinde yapım projeleri için yüklenici seçimi konusunda BWM ve Bulanık-VIKOR yöntemlerini kullanarak yeni bir model önermektedir. Makalede nispeten yeni yöntem olan BWM yönteminin basitliği ve sonuçların tutarlılığı açısından kriterler ağırlıklandırılmıştır. Bulanık-VIKOR yöntemi ile de alternatifler sıralanmıştır. Önerilen modelin uygulanabilirliği bir su kanalı inşaat projesi örneği ile pratikte doğrulanmıştır. Yasal kısıtlamaların İran'da kaldırılması şartıyla entegre modelin İran'daki ihale süreçlerine dahil edilme potansiyeli bulunmaktadır.

Ma vd. (2023) yaptığı çalışmada atık geri dönüşüm uygulamalarının değerlendirilmesi için ÇKKV yöntemlerinden BWM-Entropi ile ağırlıklandırma yaparak MULTIMOORA yöntemi ile sıralama yapmıştır. Yöntemin geçerliliğini göstermek için Pekin'deki dört geri dönüşüm uygulamasını üzerinde değerlendirme yapmıştır. Uzmanlar ile kullanıcılardan anket yoluyla veri toplamıştır. Araştırmada her uzmanın ağırlığının aynı olduğunu, ancak uzmanlar farklı bilgi, deneyim ve geçmişe sahip olduğundan daha az dikkate değer olduğu

belirtilmiştir. Gelecekte uzmanlara uzmanlıklarına göre farklı ağırlıklar atanması gerektiği ifade edilmiştir. Araştırmanın sonuçları çevrimiçi geri dönüşüm sürdürülebilir gelişimine dair öneriler sunmaktadır.

Zamani vd. (2022) yaptığı çalışmada sel felaketleri sırasında içme suyu sağlamak için alternatif su kaynaklarının seçimi üzerine odaklanmıştır. Bu çalışmada ÇKKV tekniklerini (DANP ve VIKOR) kullanarak alternatif su kaynaklarını değerlendirmeyi ve sıralamayı amaçlamıştır. İran'da ki Busshehr şehri için bir vaka çalışması sunmakta ve uzman görüşleri ile literatür taramasına dayalı dokuz kriter belirlemektedir. Sonuç olarak yeraltı suyu, şişelenmiş su ve deniz suyu arıtma en uygun alternatif su kaynakları olarak belirlenmiştir. Çalışmada, bu tür felaket durumlarında su temini için kapsamlı bir karar verme çerçevesi hedeflemiştir. Genel olarak çalışma kapsamlı görünse de belirtilen kriterlerin ağırlıklandırılması veya bu ağırlıkların nasıl belirlendiği konusunda daha fazla detay sunulmamıştır.

Macchiaroli vd. (2023) su alt yapısı yatırımlarının sürdürülebilir bir şekilde sıralanması için çok kriterli bir karar verme modeli sunmaktadır. Makale, su hizmeti şirketlerinin sınırlı kaynaklara en iyi yatırım kararlarını almasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla AHP metodolojisini kullanarak ekonomik, çevresel, sosyal ve teknik boyutları içeren sürdürebilirlik kriterlerini bir araya getiren bir çerçeve geliştirilmiştir. Çalışma sadece AHP yöntemine odaklanmış olup TOPSIS, VIKOR gibi diğer yaygın ÇKKV yöntemleriyle bir karşılaştırma yapılmamıştır. Çalışmanın sonucunda AHP yönteminin su altyapı yatırımlarının önceliklendirilmesi için güçlü ve esnek bir araç olduğu gösterilmiştir.

Hamidifar vd. (2023) İran'ın kırsal kesimlerindeki su temini projeleri için etkili kriterleri değerlendirmek amacıyla çok boyutlu bir yaklaşım önermekte ve en uygun su temini sistemlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada, kriterleri, alt kriterleri ve alternatifleri önceliklendirmek için AHP, Bulanık AHP ve TOPSIS olmak üzere üç ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada nehirlerden su çekme ve geçici depolama barajları inşa etmenin en uygun seçenekler olduğu sonucuna varmaktadır.

Lim vd. (2023) küresel değişimler göz önüne alındığında uzun vadeli su kaynakları yönetim ve iyileştirme planlaması için çok kriterli bir değerlendirme yaklaşımı geliştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmada, Su Kaynakları Endeksi (WRI) ve ÇKKV yaklaşımları birlikte kullanılmıştır. Model simülasyonları için MIKE HYDROBasin (MHB) yazılımı dikkate alınmıştır. Araştırma, mevcut su kaynakları planlarının orta vadede yetersiz kalacağını

göstermektedir. Sonuç olarak, Klang Nehri havzasının uzun vadeli sürdürebilirlik için su kaynağı kendi kendine yeterliliğine acil bir ihtiyacı olduğu belirlenmiştir.

Saravanan vd. (2023) ÇKKV yöntemlerinden biri olan MOORA yöntemini kullanarak su kaynakları planlaması için bir değerlendirme yapmaktadır. Çalışmada özellikle su kaynakları yönetimi sistemlerinin sağladığı hizmetlerin çeşitliliğini ve bu sistemlerin birçok bölgede temel temizlik ve içme suyu ihtiyaçlarını karşılayamama sorununu ele almaktadır. Sonuç olarak MOORA yöntemi ile elde edilen analizle Ala Wai'nin en üst sırada yer aldığı ve La Nehri'nin ise en düşük sırada yer aldığı tespit edilmiştir.

Srivastava vd. (2023) Hindistan'daki kentsel su temini şebekelerinin performanslarını sıralamak için ÇKKV yöntemlerinden MOORA ve MAIRCA metotlarını karşılaştırmıştır. Hindistan'daki 20 kentsel su temin kuruluşunun 13 göstergeye göre sıralanması için örneklendirilmiştir. Her iki yöntemin sonuçları karşılaştırıldığında, en iyi ve en kötü performans gösteren şebekelerin sıralaması tutarlık göstermiştir. Makalede, su idarelerini bu iki yöntemle kullanarak sıralayan literatürdeki ilk çalışma olduğu belirtilmiştir.

Armas Vargas (2023) Meksika'daki su ve çevre kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için bütünleşik yaklaşımları çok kriterli bir değerlendirme ile ele almıştır. Çalışma, havza yönetiminin çevresel, sosyal, ekonomik ve kurumsal boyutlarını inceleyerek bu karmaşık kaynakların yönetiminde karşılaşılan zorlukları ve potansiyel çözümleri belirlemeyi hedeflemiştir. Kullanılan metodoloji, literatür taraması ve faktör analizi gibi istatiksel teknikleri içeren çok kriterli bir değerlendirme çerçevesidir. Sonuç olarak, sürdürülebilir su ve çevre kaynakları yönetimi için entegre ve katılımcı yaklaşımların önemini vurgulamaktadır. Eksiklikler arasında; veri güncelliği, bölgesel odaklanmanın genellenebilirliği üzerindeki etkisi ve önerilen yaklaşımların uygulanabilirlik engellerinin daha derinlemesine incelenmemesi yer almaktadır.

Chavoshian vd. (2024) afet durumlarında güvenli içme suyu teminini sağlamanın karmaşık zorluklarını ele almıştır. Bu zorluklar, çeşitli ve çelişen faktörlerin yanı sıra belirsiz ve eksik verilerle daha da artmaktadır. Araştırmacılar bu sorunları çözmek için bulanık çok kriterli grup karar verme (FMCGDM) modeli geliştirmişlerdir. Model, uzlaşma çözümlerinden ve göreceli tercih ilişkilerinden yararlanarak alternatifler ve ideal/ideal olmayan çözümler arasındaki uzaklık değerlerini hesaplar ve karar vermeye yardımcı olur. Sonuç olarak İran'da bir vaka çalışmasıyla uygulanmış ve mobil su arıtma ünitelerinin ve paketlenmiş suyun en

uygun seçenekler olduğunu, mevcut dağıtım sistemlerinin ise en uygunsuz olduğunu göstermiştir.

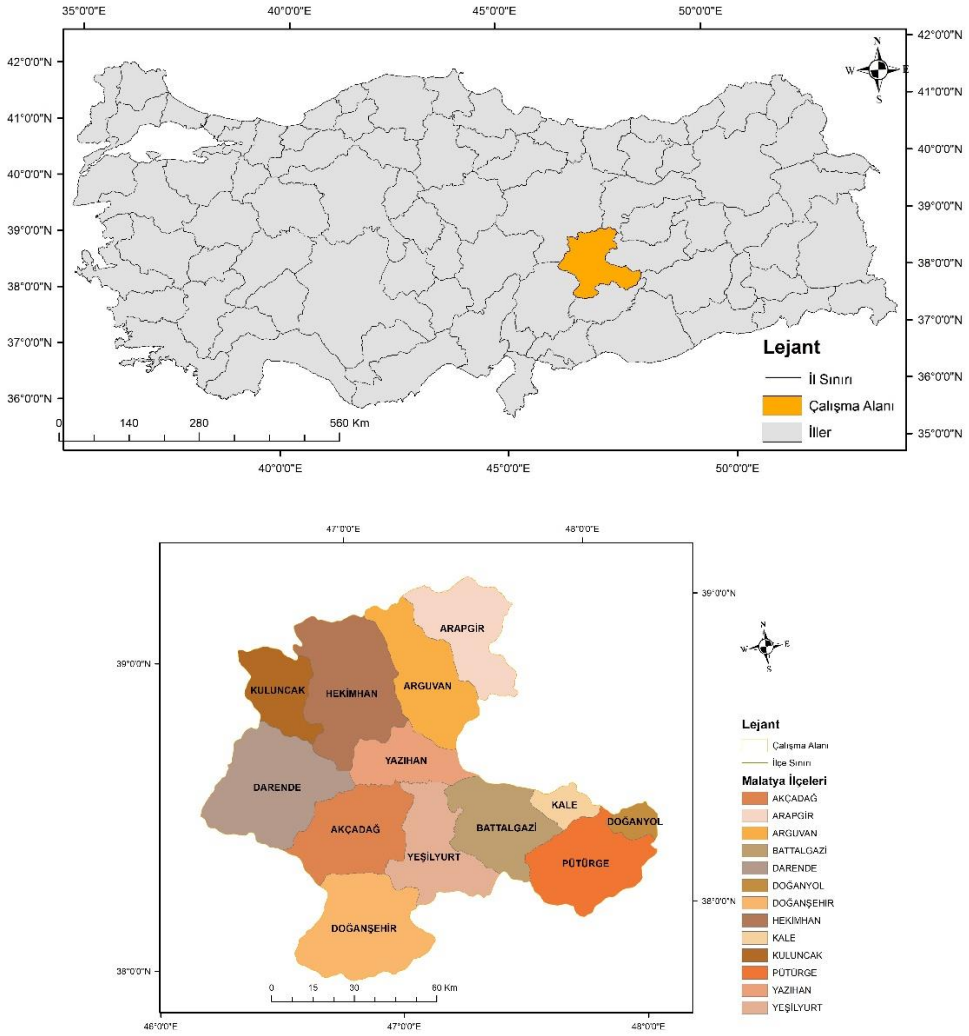
Singh vd. (2024) MOORA ve farklı uygulamalar için bulanık uzantıları üzerine tarihsel inceleme ve analiz yapmıştır. Yaptıkları inceleme, uygulayıcıların ve karar vericilerin MOORA yöntemi, gelişimi, bulanık hibridizasyonu, farklı uygulama alanları ve gelecekteki çalışmalar hakkındadır. Çalışmada MOORA yöntemi üzerine kapsamlı ve sistematik literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırmanın sonucunda, MOORA tekniğinin TOPSIS yaklaşımıyla ağırlıklı olarak kullanıldığını, ardından AHP ve COPRAS yöntemlerinin kullanıldığını ortaya koymuştur. Ayrıca, tüm MOORA çalışmaları arasında %76,28'i tek ve hibridizasyon yaklaşımlarını kullanırken, %23,72'si bulanık ortamda MOORA'yı kullandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Wanguba vd. (2024) Coğrafi Bilgi Sistemler (CBS) teknikleri ve ÇKKV yöntemini kullanarak Kenya'da artan su talebini yönetmek için bir karar destek modeli geliştirmiştir. Kentleşme ve nüfus artışının neden olduğu su kıtlığı küresel bir sorun olduğundan, çalışma su kaynaklarının uygun yönetiminin önemini vurgulamaktadır. Kullanılan yöntem, karar verme sürecini geliştirmek için uzaktan algılanan verileri, nüfus yoğunluğunu ve mekânsal planlama faktörlerini birleştiren CBS tabanlı bir ÇKKV modeli geliştirmeyi içermektedir. Sonuç olarak, çalışmada su talebi yönetimini iyileştirmek için potansiyel olarak karar destek modeli önerilmektedir. Bu model artan su talebini karşılamak için su kaynaklarının daha iyi tahsis edilmesine ve yönetilmesine yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

3. ÇALIŞMA ALANI VE VERİ

3.1 Su Kaynağı Alternatifleri

Bu çalışmada Malatya ili uygulama alanı olarak seçilmiştir. Malatya merkez dağıtım sistemi için alternatif su kaynağı seçenekleri belirlenmiştir (Şekil 3.1). Bu su kaynakları farklı lokasyonlarda, farklı debi değerlerine sahip olmakta ve yatırım ve işletme maliyetleri farklılık göstermektedir (Çizelge 3.1). Bu kaynakların sürekli olması ve yeterli kaliteye sahip olması en temel koşullardan biridir. Bu bölümde belirlenen alternatif su kaynağı seçenekleri hakkında detaylı bilgi sunulmuştur.



Şekil 3.1: Malatya ili alternatif su kaynakları çalışma alanı.

Çizelge 3.1: Malatya ili alternatif su kaynakları karakteristik bilgileri.

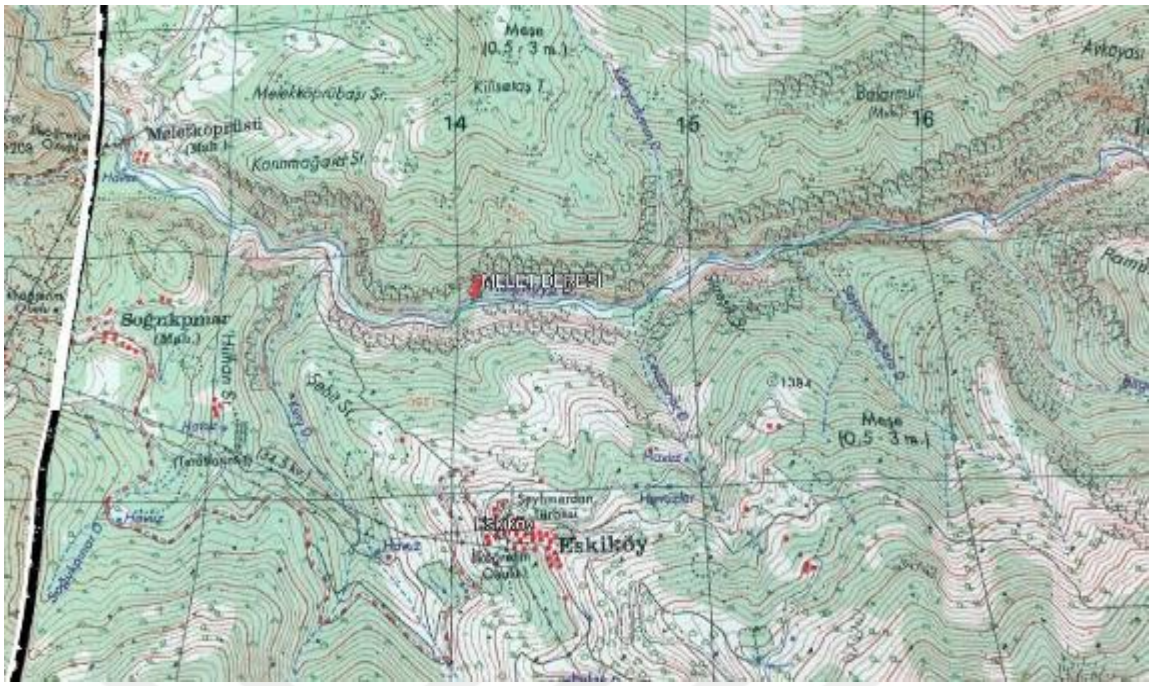
Kriter (C)	Alternatifler (A)					
	Melet Deresi (A1)	Tohma Suyu-Yazıköy (A2)	Tohma Suyu-Çatalbahçe (A3)	Ayvalı Tohma (A4)	Kuruçay (A5)	İnekpınarı (A6)
Kaynağın Debisi (m3/s) (C1)	0.45	7.093	22.154	8.502	3.811	16.69
Mevcut İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı (%) (C2)	14,52	228,81	714,65	274,26	122,94	538,39
Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı (%) (C3)	10,00	157,62	492,31	188,93	84,69	370,89
Merkeze Olan Uzaklığı (km) (C4)	41	110	110	120	50	25.4
Arıtma Gereklilik Durumu (C5)	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
Kaynak Türüne Göre Kaynağın Elde Edilebilirliği (C6)	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel
İletim Hattı Türü (C7)	Cazibeli	Cazibeli	Cazibeli	Cazibeli	Terfili	Cazibeli
Kaynak Sürekliliği (C8)	Kısmen	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Kısmen	Kısmen
İlk Yatırım Maliyeti (EK Bileşenler) (Yüksek, Orta, Düşük) (C9)	Arıtma + Biriktirme Yapısı	Arıtma	Arıtma	Arıtma	Arıtma + Terfi+ Biriktirme Yapısı	Arıtma + Biriktirme Yapısı
İşletme ve Bakım Maliyeti (EK Maliyet Bileşenleri) (Yüksek, Orta, Düşük) (C10)	Arıtma	Arıtma	Arıtma	Arıtma	Arıtma + Terfi	Arıtma
Biriktirme Yapısı İhtiyacı (C11)	Var	Yok	Yok	Yok	Var	Var
Afetten Etkilenme Riski (Deprem) (Yüksek, Orta, Düşük) (C12)	Yüksek	Orta	Orta	Orta	Orta	Yüksek
Kuraklığa Karşı Dirençlilik Durumu (Yüksek, Orta, Düşük) (C13)	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Orta	Orta
Proje Uygulanabilirlik (Finansal Uygulama ve Proje Süresi) Durumu (Zor, Orta, Kolay) (C14)	Orta	Kolay	Kolay	Kolay	Zor	Orta
C1	15.07	13.78	1.572	0.902	2.6	0.01555
C2	486,13	444,52	50,71	29,10	83,87	0,50
C3	334,89	306,22	34,93	20,04	57,78	0,35
C4	12	46	8	70	12	12
C5	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli	Gerekli
C6	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel
C7	Terfili	Cazibeli	Terfili	Cazibeli	Cazibeli	Cazibeli
C8	Kısmen	Kısmen	Sürekli	Kısmen	Sürekli	Kısmen
C9	Arıtma + Biriktirme Yapısı	Arıtma + Biriktirme Yapısı	Arıtma + Biriktirme Yapısı	Arıtma + Biriktirme Yapısı	Arıtma	Arıtma + Biriktirme Yapısı
C10	Arıtma	Arıtma	Arıtma + Terfi	Arıtma	Arıtma	Arıtma
C11	Var	Var	Var	Var	Yok	Var
C12	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
C13	Orta	Orta	Yüksek	Orta	Düşük	Orta
C14	Orta	Orta	Orta	Orta	Kolay	Orta

Çizelge 3.1 (devam): Malatya ili alternatif su kaynakları karakteristik bilgileri.

Kriter (C)	Alternatifler (A)							
	Şilan Barajı planlama (A15)	Ahmetçe (A16)	Takaz Kaynakları YAS -1 (A17)	Malatya-Derme YAS -2 (A18)	Çapo Su Kaynağı YAS -3 (A19)	Fırat Kolu (Karakaya Baraj) (A20)	Kapıkaya Barajı (A21)	Kaynarca Barajı (planlama) (A22)
C1	7.506	0.815	35.882	0.126	0.3	900	0.46	10.45
C2	242,13	26,29	1157,48	4,06	9,68	29032,26	14,84	337,10
C3	166,80	18,11	797,38	2,80	6,67	20000,0	10,22	232,22
C4	64	19	65	10	35	94	40	120
C5	Gerekli	Gerekli	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli değil	Gerekli	Gerekli	Gerekli
C6	Yüzeysel	Yüzeysel	Yeraltı	Yeraltı	Yeraltı	Yüzeysel	Yüzeysel	Yüzeysel
C7	Terfili	Cazibeli	Terfili	Terfili	Terfili	Terfili	Terfili	Terfili
C8	Kısmen	Kısmen	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli
C9	Arıtma + Terfi+ Biriktirme	Arıtma+ Biriktirme	Terfi	Terfi	Terfi	Arıtma + Biriktirme	Arıtma + Biriktirme	Arıtma + Biriktirme
C10	Arıtma + Terfi	Arıtma	Terfi	Terfi	Terfi	Arıtma + Terfi	Arıtma + Terfi	Arıtma + Terfi
C11	Var	Var	Yok	Yok	Yok	Var	Var	Var
C12	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek	Orta
C13	Orta	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek
C14	Zor	Orta	Kolay	Kolay	Kolay	Orta	Orta	Orta

Melet Deresi

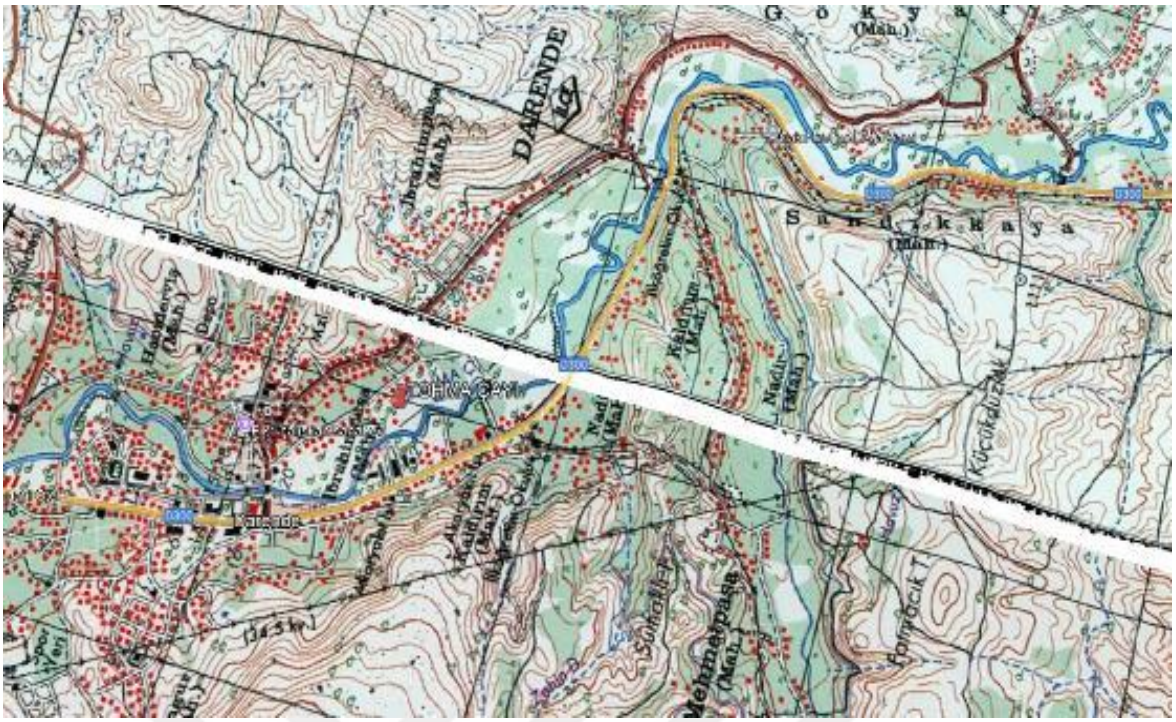
Bu kaynak, Malatya ili Doğanşehir ve Yeşilyurt ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.2). Melet kaynağı, yüksek dağlık alandan beslenen yüzey suyu kaynağıdır. Kar erimeleri, yağmur suları ve muhtemelen yer altı sularının yüzeye çıkmasıyla oluşur. Bu dağlık alanlar genellikle karmaşık bir jeolojik yapıya sahiptir. Farklı yaşlardaki kayaç türleri bir arada bulunabilir. Bu derenin Malatya için yeni bir içme suyu kaynağı olma potansiyeli olabilir. Su kaynağının bulunduğu bölgedeki geçirimsiz kayaçlar yüzey akışını artırırken, çatlaklı ve gözenekli geçirimli kayaçlar yer altı suyunun depolanmasına ve yüzeye çıkmasına olanak tanır. Yapılan çalışmalarda kaynağın ortalama debisi yaklaşık 400 l/s'dir. Bu debi, mevsimsel değişikliklere göre farklılık gösterebilir. 6 Şubat 2023 depremlerinden sonra deredeki su seviyesinde çekilme yaşanmış ancak jeofizik çalışmalarıyla suyun kaynağı yeniden bulunmuştur.



Şekil 3.2: Melet suyu deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Tohma Suyu – (Yazıköy ve Çatalbahçe)

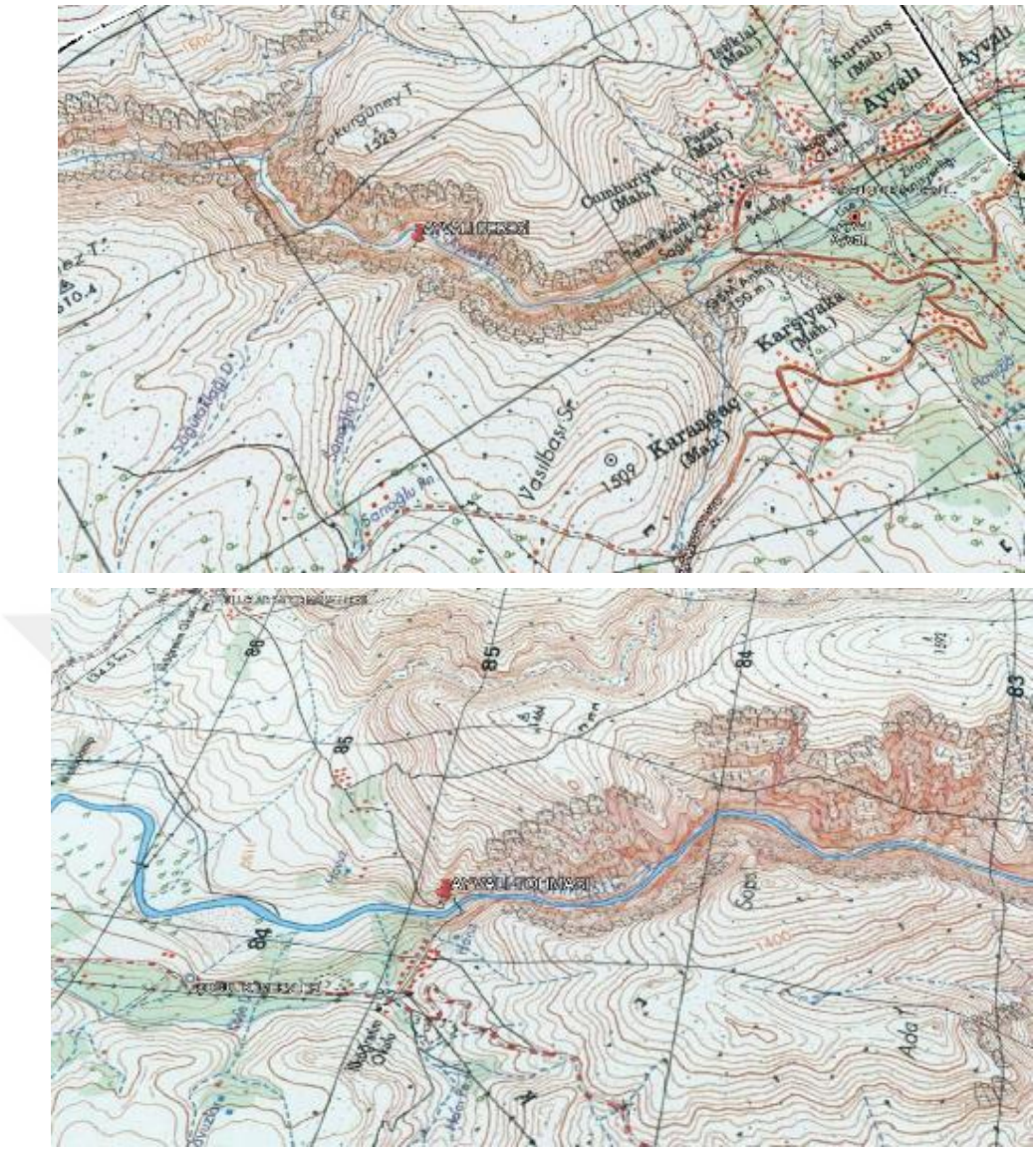
Tohma Suyu, Malatya'nın önemli akarsularından biridir. Tohma Suyu aslında iki büyük kolun (Kangal ve Gürün) birleşmesiyle oluşur (Şekil 3.3). Malatya topraklarında birleşen bu kollar, genel olarak güneybatı yönünde akar ve Fırat Nehri'nin önemli bir kolu olarak Karakaya Barajı'na dökülür. Tohma Çayı'nın yaklaşık uzunluğu ise 150 kilometredir. Özellikle Sultansuyu, Doğanşehir ve Malatya ovalarının tarımsal üretimi için büyük önem taşır. Tohma Suyu, temel olarak kar erimeleri ve yağışlar ve Yeraltı sularından beslenmektedir. Özellikle Gürün Tohması'nı besleyen Gökpınar ve çevresindeki karstik kaynaklar, önemli bir yeraltı suyu katkısı sağlar. Tohma Suyu'nun ortalama debisi 13.406 m^3/s olarak belirtilmektedir. Ancak bu değer mevsimsel değişiklikler gösterebilir. Gökpınar kaynaklarının tek başına debisi 4.5-7.8 m^3/s arasında değişebilmektedir. Tohma Suyu'nun su kalitesinin Fırat Nehri ile benzer olduğu ifade edilmektedir. Tohma suyu Yazıköy'ün yakınından akar ve bölgenin tarım arazilerinin sulamasında önemli bir kaynak teşkil eder. Bölgede Hacılar, Yazıköy, Çatalbahçe ve Kaynarca sulama projeleri gibi su yönetimi çalışmaları da bulunmaktadır. Çatalbahçe ve çevresindeki arazilerin sulanmasında Tohma Suyu önemli bir rol oynamaktadır



Şekil 3.3: Tohma çayı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Ayvalı Tohma Suyu ve Ayvalı Deresi

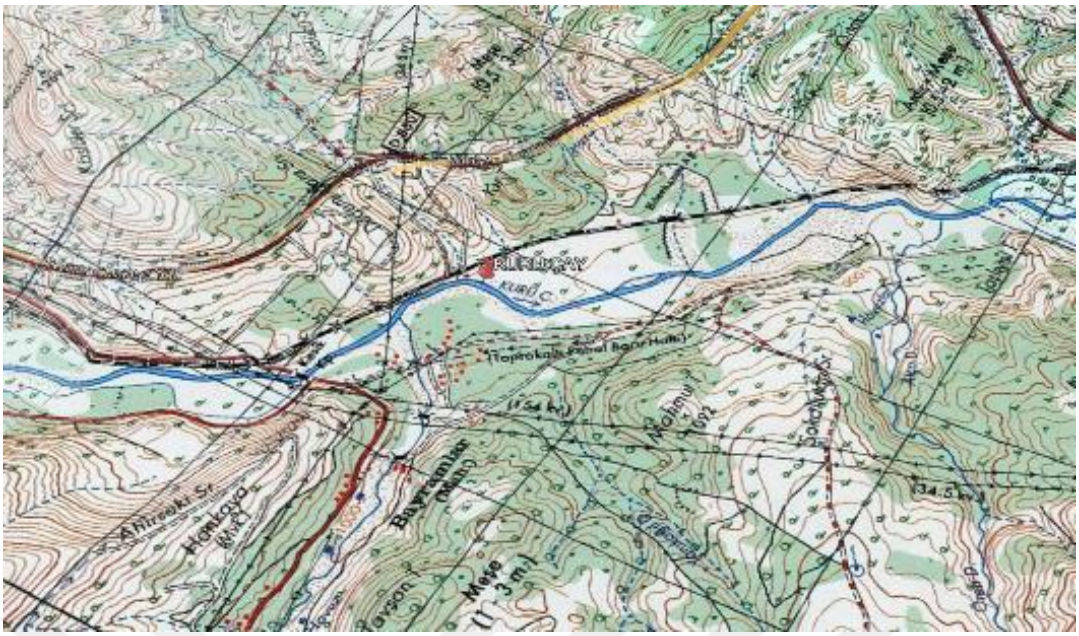
Tohma Çayı'nın bir koludur. Beslenme kaynakları, çevredeki yağışlar, küçük pınarlar ve yeraltı suyu sızıntıları olabilir. Debisi, mevsimsel değişikliklere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Debisi DSİ verilenine göre yıllık ortalama 8.5 m^3/s'dir (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Suyunun kalitesi kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik yapısına, arazi kullanımına ve insan etkisine bağlı olarak değişir. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu dönemlerde su kalitesinde düşüşler yaşanabilir. İçme suyu olarak kullanılması durumunda su analizlerinin yapılması gereklidir.



Şekil 3.4: Ayvalı deresi ve Ayvalı tohması alternatif su kaynağı lokasyonu.

Kuruçay

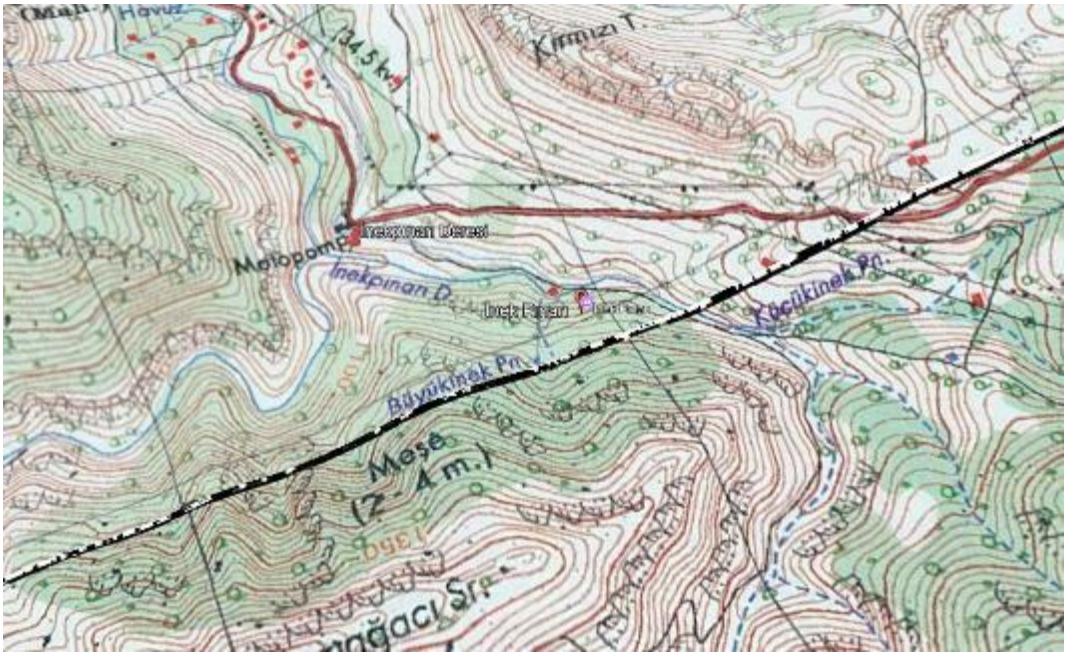
Kuruçay, Yama Dağı'nın batısından doğmakta ve Eğribük yönünde Karakaya Barajı'na katılmaktadır. Yaz aylarında suyu önemli ölçüde azalır ve mevsimlik yüzey suyu kaynağı olarak bilinir. Kesin bir debi değeri için kaynağın bulunduğu yerin uzun süreli ölçümleri gerekli olup DSİ verilerine göre 3.81 m^3/s'dir (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Su kalitesi, çevresel faktörlere (tarım, yerleşim yerleri, sanayi vb.) ve çıktığı yerin jeolojik yapısına bağlı olarak değişir. Yüzey suları genellikle yer altı sularına göre daha fazla kirlilik riski taşır.



Şekil 3.5: Kuru çay alternatif su kaynağı lokasyonu.

İnekpınarı

Kaynak suyu olan İnekpınarı, Malatya merkez ilçeye (Yeşilyurt) bağlı Gözene Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Yer altı sularının doğal olarak yüzeye çıktığı bir noktadır. Debi mevsimsel değişikliklere ve yağış durumuna göre hafif farklılıklar göstermekle beraber kaynağın debisi DSİ verilerine göre 16.69 m3/s'dir (DSİ, 2020). İnekpınarı suyu, doğal kaynak suyu olması nedeniyle genellikle temiz ve içilebilir olarak kabul edilir. Ancak, hijyen standartlarının korunması ve düzenli su analizlerinin yapılması önemlidir.



Şekil 3.6: İnekpınarı deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Elemendik Deresi

Yeşilyurt ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Elemendik Pınarı, karstik kaynak özelliği gösterir. Mavi kalker blokunun eteğinden kaynaması, suyun kireçtaşı formasyonları içerisinde çözünmüş kanallar boyunca hareket ederek yüzeye çıktığını işaret eder. Debi, mevsimsel değişikliklere bağlı olarak hafif dalgalanmalar gösterebilir ancak genel olarak sürekli ve yeterlidir. DSİ verilerine göre ortalama debisi 15.07 m3/s'dir (DSİ, 2020). Karstik kaynak suları genellikle berrak ve temizdir. Ancak, kireçtaşlarından geçerken çözünen mineraller nedeniyle bir miktar kalsiyum ve magnezyum içerebilir (sertlik). Düzenli su analizlerinin yapılması halk sağlığı açısından önemlidir.



Şekil 3.7: Elemendik deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Çat Barajı

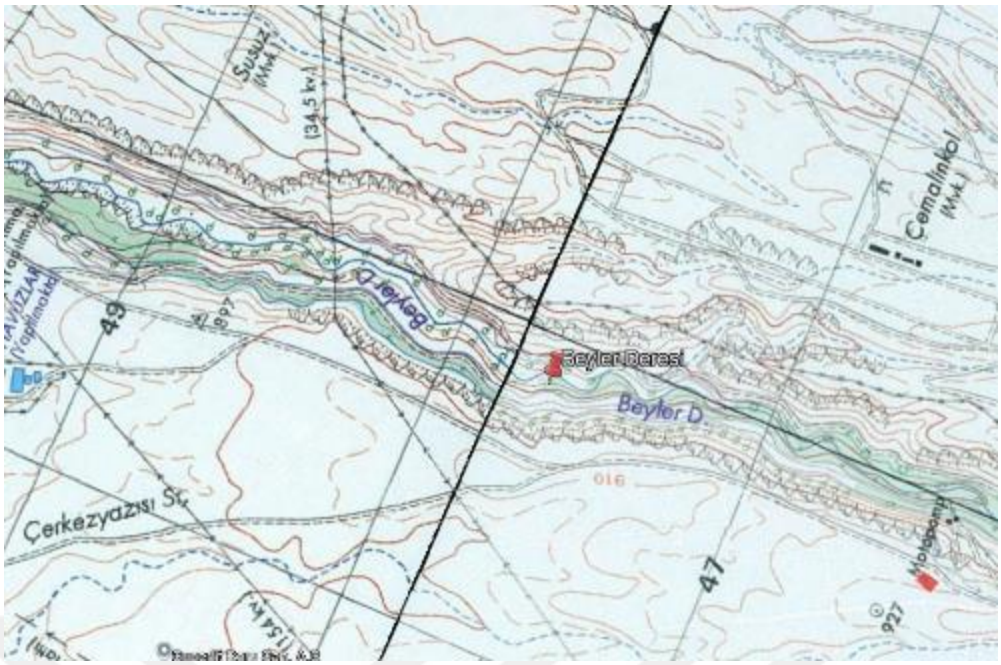
Adıyaman ile Malatya arasında, Abdülharap Çayı üzerinde yer almaktadır. 1985-1996 yılları arasında inşa edilmiştir. 2025 yılı Ocak ayı itibarıyla barajdaki su seviyesi %4'e kadar düşmüştür. Kış aylarında sularının artmasıyla Gölbaşı Gölü ile birleşik bir görünüm arz edebilir. Bölgedeki diğer önemli su kaynakları arasında Derme Karst Kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynak ortalama 13.78 m^3/s debisi ile Malatya ili sınırları içindeki en önemli karstik kaynaktır. Ancak Çat Barajı doğrudan bu kaynaktan beslenmemektedir.



Şekil 3.8: Çat barajı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Beylerderesi

Malatya şehir merkezinim kuzeyinde, dağlık bir bölgede yer almaktadır. Beylerderesi, Malatya için önemli bir su kaynağıdır. Bölgede yer alan kaynaklar, şehrin içme suyu ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bölge, zengin bitki örtüsü ve doğal su kaynakları ile karakterizedir. Beylerderesinde farklı kaynak türleri bulunmaktadır. Bunlar arasında karstik kaynaklar ve yüzey suları (dereler) yer almaktadır. Kaynakların debisi mevsime göre değişiklik gösterebilir. DSİ verilerine göre yıllık ortalama 1.57 m^3/s'dir (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Genellikle Beylerderesi kaynaklarının suyu kaliteli ve içilebilir özelliktedir. Ancak, yüzey sularında mevsimsel olarak bulanıklık ve mikrobiyolojik kirlenme riski bulunabilir. Kaynak sularının kalitesi düzenli olarak MASKİ tarafından kontrol edilmektedir. MASKİ, Beylerderesi bölgesinde yüksek debili ve kaliteli yeni bir içme suyu kaynağını şehre kazandırmıştır.

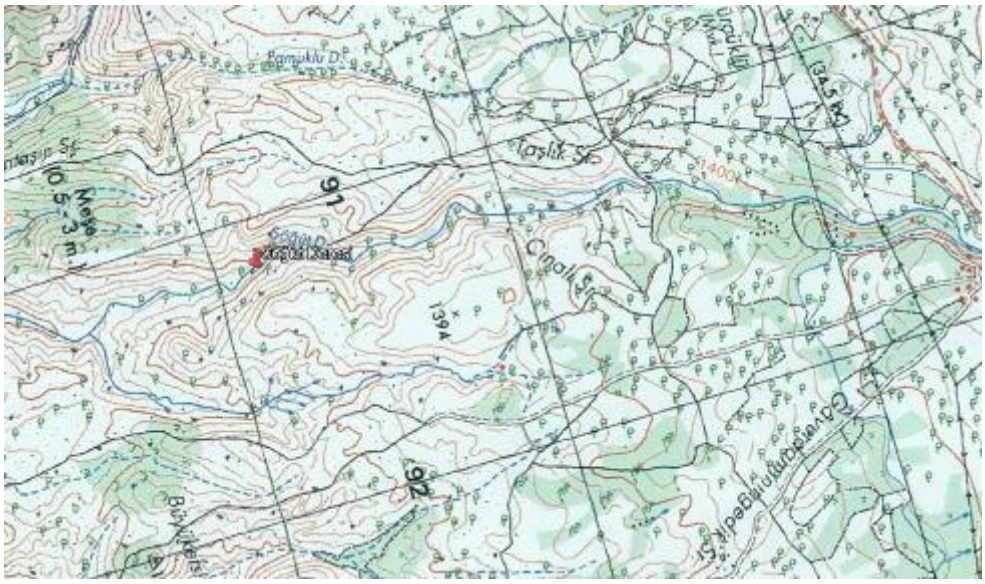


Şekil 3.9: Beyler deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Söğütlü Deresi

Malatya'nın güneybatısında yer alan Doğanşehir ilçesi sınırları içerisindedir. Söğütlü Deresi, Doğanşehir ve çevresi için önemli bir yüzey suyu kaynağıdır. Tarımsal sulama, hayvancılık ve yerel ekosistem için hayati önem taşır. Dere genellikle çevresindeki bitki örtüsü, akış hızı, derinliği ve mevsimsel değişiklikleri ile karakterizedir. Yağış rejimine bağlı olarak debisi önemli ölçüde değişebilir. Söğütlü Deresi bir yüzey suyu kaynağıdır.

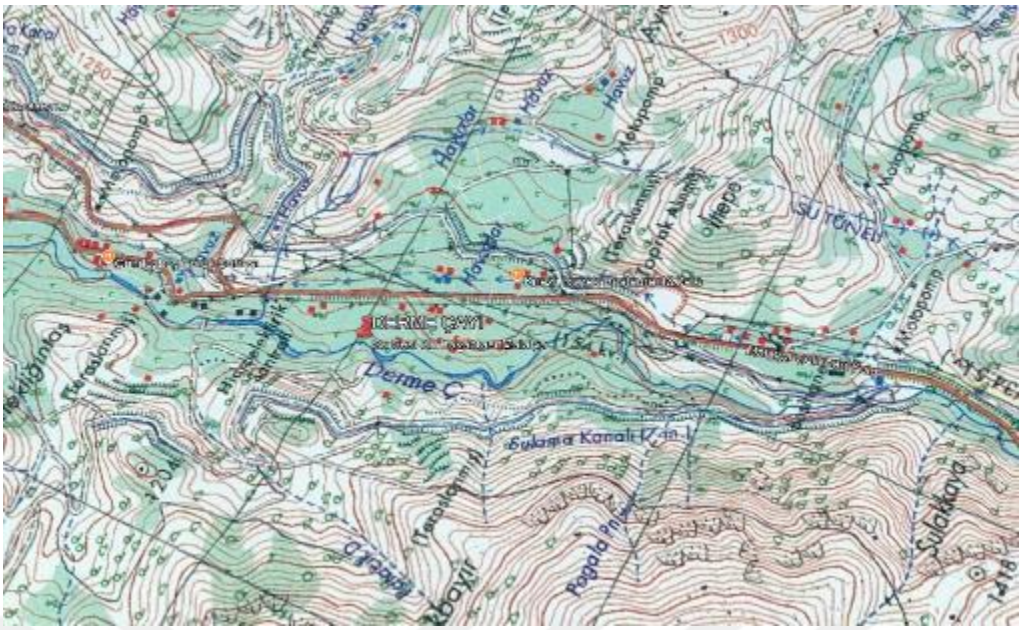
Yağmur suları, kar erimeleri ve çevredeki küçük kaynaklardan beslenir. Su kalitesi, çevresel faktörlere, arazi kullanımına ve olası kirlilik kaynaklarına bağlı olarak değişebilir. Tarımsal faaliyetler, yerleşim yerlerinden kaynaklanan atıklar su kalitesini etkileyebilir. Su kalitesi düzenli olarak ilgili kurumlar tarafından izlenmesi gereken bir faktördür.



Şekil 3.10: Söğüt deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Derme Çayı

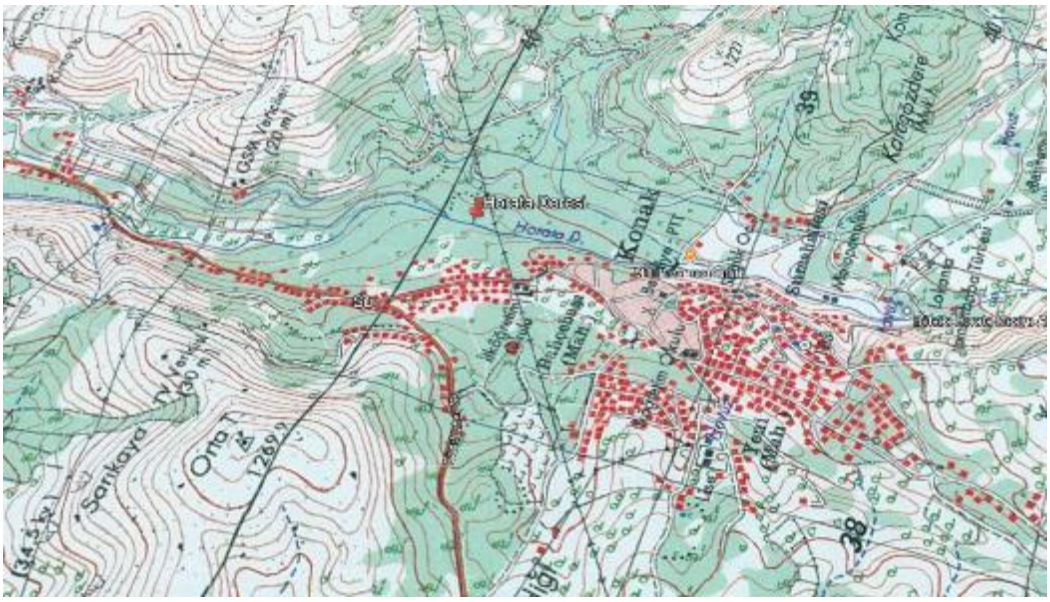
Malatya şehir merkezinin yaklaşık 12 km batısında, Yeşilyurt ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Güney-kuzey istikametinde akar ve sonunda Tohma Nehri'ne ulaşır. Derme Deresi vadisi boyunca özellikle mansap kısmında traverten oluşumları gözlemlenir. Bu oluşumlar, kaynak sularının içerdiği karbonatın çökelmesiyle meydana gelmiş süngerimsi yapılardır. Derme Deresi'nin en büyük su kaynağı Pınarbaşı karstik kaynağıdır. Bu kaynak, Malatya ili sınırları içindeki en önemli karstik kaynaklardan biridir. Ortalama debisi 2.6 m^3/s civarındadır. Yaklaşık 1,5 milyon nüfusun su ihtiyacını karşılayabilecek niteliktedir. 1205 m kotundan çıkan su 964 m kotundaki Malatya şehir merkezine herhangi bir işleme tabi tutulmadan, doğrudan cazibe ile şebekeye iletilmektedir. Derme Deresi'nin suyu yapılan analizlere göre birinci kalitede bir suya sahiptir ve tarımsal amaçlı kullanım için uygundur. Derme Deresi'nin kaynağı olan Pınarbaşı ve çevresinin jeolojik yapısı Permo-Triyas yaşlı kalkerlerden oluşmaktadır. Bu kalkerler, bölgedeki en büyük akiferleri oluşturur.



Şekil 3.11: Derme deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Horata Çayı

Malatya'nın Yeşilyurt ilçesinde bulunan Horata Çayı Yeşilyurt ilçesinin güney kesimlerinde yer alır. Güney-kuzey doğrultusunda akar ve Derme Deresi'ne paralel bir güzergâh izler. Sonunda Tohma Nehri'ne ulaşır. Çay, adını geçtiği Horata Mahallesi'nden almaktadır. Horata Çayı'nın debisi, mevsimsel yağışlara bağlı olarak değişkenlik gösterir. İlkbahar aylarında kar erimeleri ve yağmurlarla birlikte debisi artarken yaz aylarında azalma gösterebilir. Suyunun kalitesi geçtiği bölgelerdeki arazi kullanımına ve yerleşim yerlerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu dönemlerde su kalitesinde düşüşler yaşanabilir. Derme Deresi'nin aksine Horata Çayı'nın Malatya şehir merkezinin içme suyu ihtiyacını karşılamada doğrudan bir rolü bulunmamaktadır. Horata Çayı'nın kaynaklarının bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, farklı kayaç türlerinden oluşmaktadır. Beydağlarının eteklerinde yer aldığından, bu dağ silsilesini oluşturan metamorfik kayaçlar (şistler, mermerler) bölgede yaygındır.



Şekil 3.12: Horata deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Sürgü Çayı

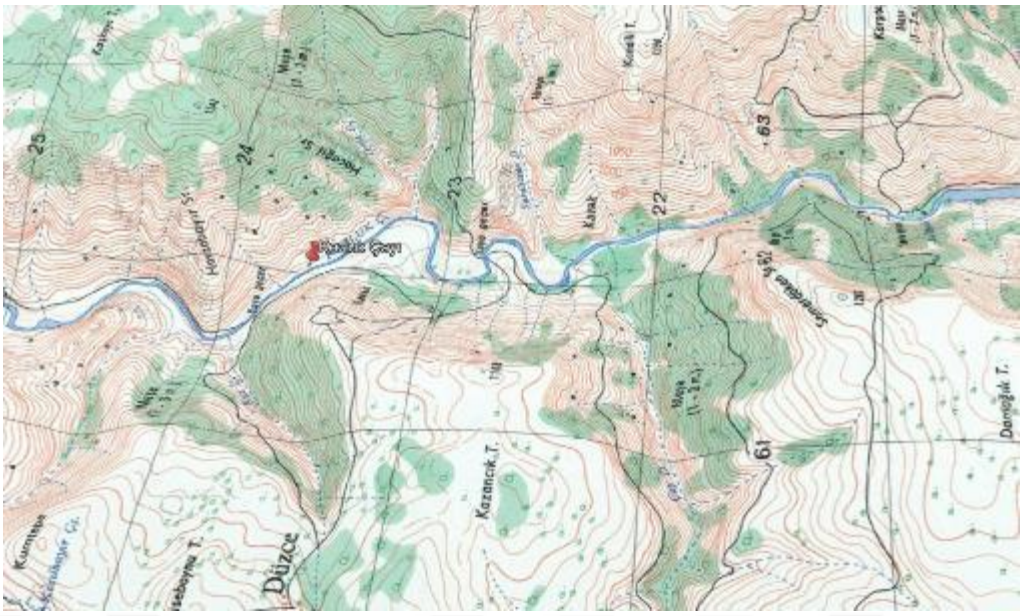
Malatya'nın Doğanşehir ilçesinin önemli akarsularından biridir. İlçe merkezinin güneybatısında yer alır. Çay, Sürgü Mahallesi ve çevresindeki dağlık alanlardan doğar ve genel olarak güney-kuzey doğrultusunda akar. Sonunda Fırat Nehri'nin önemli kollarından biri olan Tohma Nehri'ne dökülür. Sürgü Çayı'nın debisi mevsimsel yağışlara, kar erimelerine ve yer altı suyu beslenmesine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. İlkbahar aylarında en yüksek debiye ulaşırken yaz sonlarına doğru azalma gösterebilir. DSİ verilerine göre yıllık ortalama 0.565 m3/s debiye sahiptir (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Sürgü Çayı'nın ana su kaynakları, Sürgü Mahallesi'nin güneyindeki dağlık alanlarda bulunan çok sayıda küçük kaynak, pınar ve mevsimlik derelerdir. Bu kaynaklar genellikle karstik özellikli kayalıklardan sızan sular ve yer altı suyu çıkışları şeklindedir. Sürgü Çayı'nın kaynaklarının bulunduğu Doğanşehir ve çevresinin jeolojik yapısı oldukça çeşitlidir. Bölgede farklı yaş ve türde kayaçlar bulunmaktadır. Toros Dağları'nın bir parçası olan bu bölgede Mezozoik ve Senozoik dönemlere ait kayaçlar yaygındır.



Şekil 3.13: Sürgü çayı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Kozluk Çayı

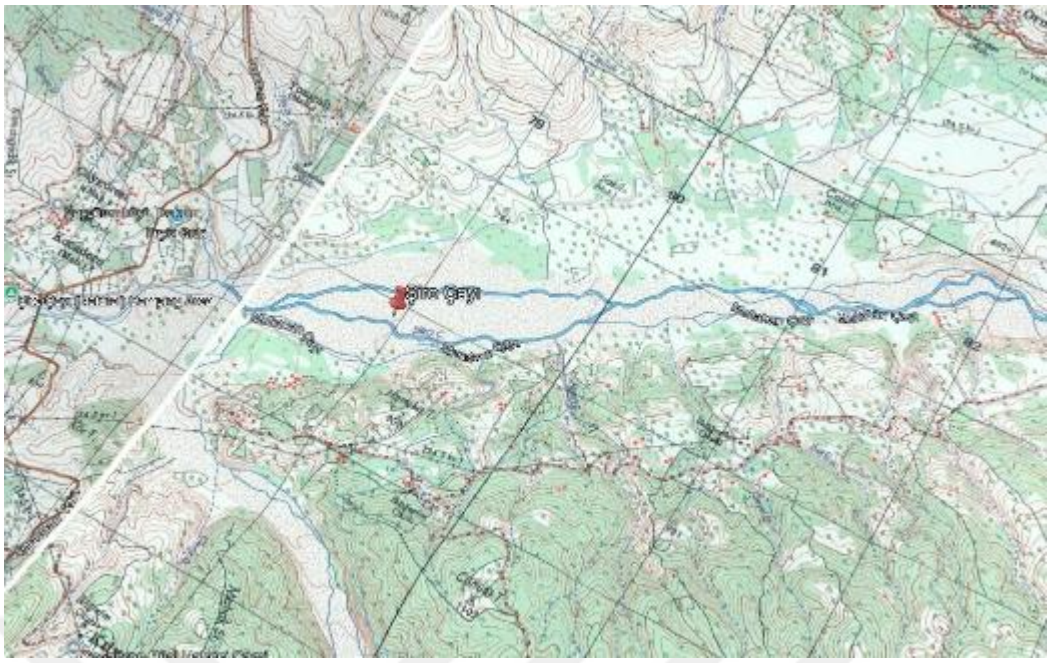
Kozluk Çayı, Malatya'nın Arapgir ilçesinin önemli akarsularından biridir. İlçe merkezinin kuzeydoğusunda yer alır. Genel olarak güney-kuzeydoğu yönünde akar ve Fırat Nehri'ne (Karakaya Baraj Gölü'ne) dökülür. Çevresindeki yerleşim yerleri ve tarım arazileri için sulama suyu önemli bir kaynaktır. Kozluk Çayı'nın debisi, mevsimsel yağışlara ve kar erimelerine bağlı olarak değişkenlik gösterir. İlkbaharda yüksek debilere ulaşırken, yaz aylarında azalma gösterebilir. DSİ verilerine göre yıllık ortalama 6.263 m3/s debiye sahiptir (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Kozluk Çayı'nın ana su kaynakları, Arapgir'in kuzeyindeki dağlık bölgelerde bulunan çeşitli küçük akarsular, pınarlar ve yer altı suyu sızıntılarıdır. Bu kaynaklar genellikle kalkerli ve metamorfik kayaçlardan sızan sularla beslenir. Suyunun kalitesi, kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı ve çevresel etkileşimlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yüksek kesimlerde genellikle daha temiz olabilirken, yerleşim yerleri ve tarım alanlarından geçerken insan etkisiyle kirlilik riski artabilir. Çay, Fırat Nehri'ne (Karakaya Baraj Gölü'ne) su taşıyarak bölgedeki hidrolojik sisteme katkıda bulunur.



Şekil 3.14: Kozluk çayı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Şilan Barajı Planlama (Şiro Çayı)

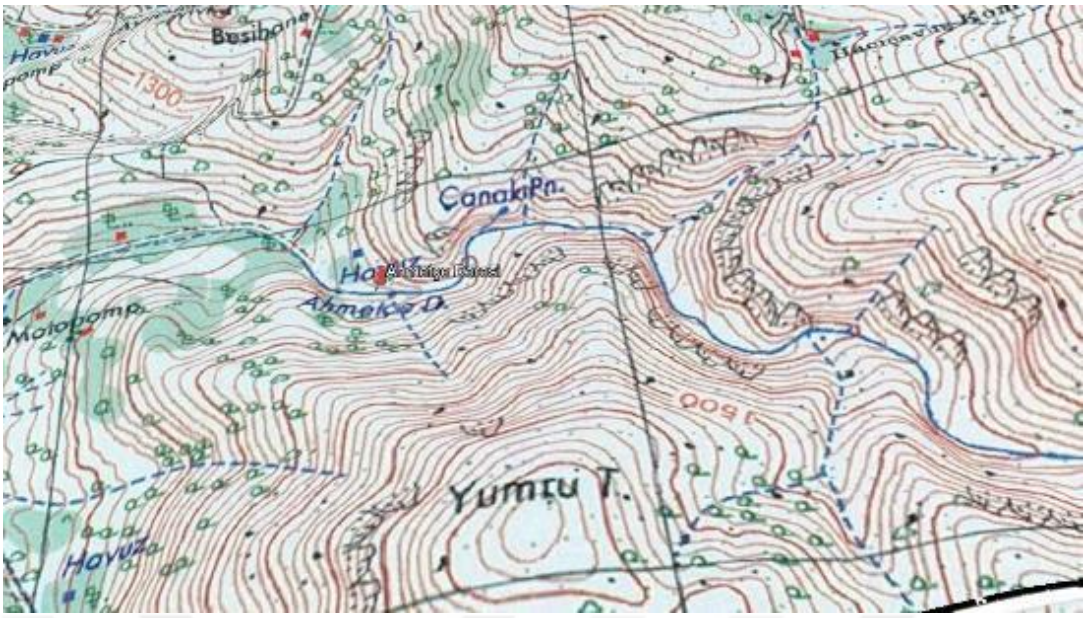
Şiro Çayı, Malatya'nın Pütürge ilçesinin önemli akarsularından biridir. İlçe merkezinin güney ve güneybatı kesimlerinde yer alır. Genel olarak güneyden kuzeye doğru akar ve Fırat Nehri'nin önemli kollarından biri olan Karasu Nehri'ne dökülür. Şiro Çayı vadisi, dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Yukarı kesimlerde dik yamaçlar, derin vadiler ve doğal güzellikler hakimdir. Aşağı kesimlerde ise yer yer tarım arazileri ve yerleşim yerleri bulunur. Çevresindeki yerleşim yerleri için tarımsal sulama önemli bir su kaynağıdır. Şiro Çayı'nın debisi, mevsimsel yağışlara, kar erimelerine ve yer altı suyu beslenmesine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. DSİ verilerine göre yıllık ortalama 7.506 m3/s debiye sahiptir (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019). Şiro Çayı'nın ana su kaynakları, Pütürge'nin güneyindeki yüksek dağlık bölgelerde bulunan çok sayıda kaynak, pınar ve mevsimlik derelerdir. Bu kaynaklar genellikle karstik özellikli kayaçlardan sızan sular ve yer altı suyu çıkışları şeklindedir. Suyunun kalitesi, kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik yapısına ve çevresel etkilere bağlı olarak değişir. Yüksek kesimlerde genellikle daha temiz ve doğal bir su kalitesine sahipken, yerleşim yerleri ve tarım alanlarından geçerken kirlilik riski artabilir. Şiro Çayı suyu öncelikli olarak tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.15: Şiro çayı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Ahmetçe Deresi

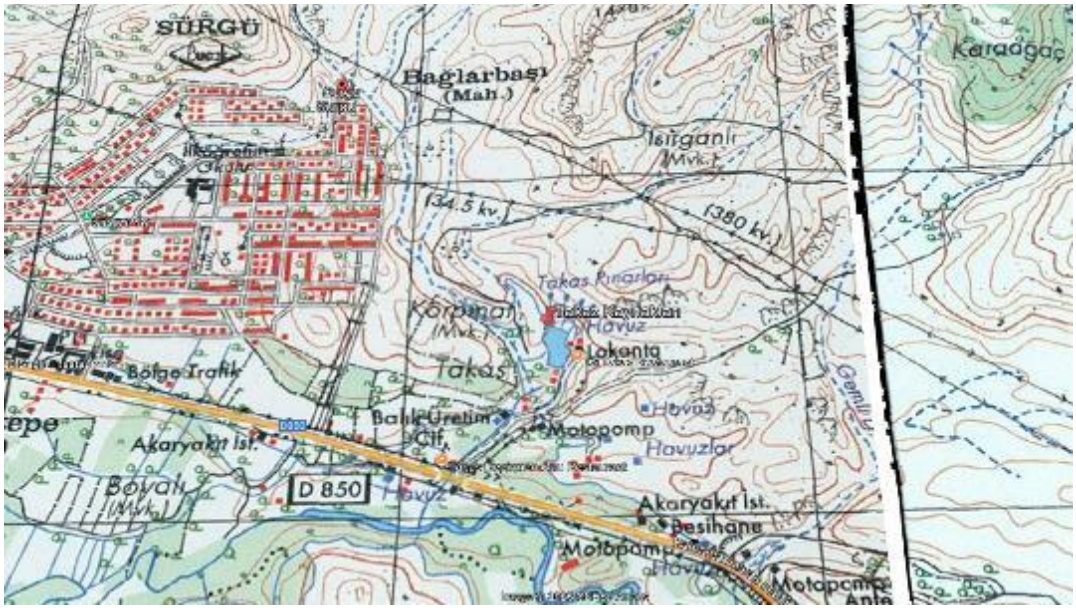
Ahmetçe Deresi, Malatya'nın Yeşilyurt ilçesine bağlı Gündüzbey Mahallesi sınırları dahilinde bulunan küçük bir akarsudur. Genel olarak güney-kuzey veya güneybatı-kuzeydoğu yönünde akar ve yerel su sistemine katkıda bulunur. Büyük ihtimalle Derme Deresi'ne veya dolaylı olarak Tohma Nehri'ne ulaşmaktadır. Ahmetçe Deresi ve çevresi, yerel bitki örtüsü ve doğal yaşam için önemli bir alandır. Ahmetçe Deresi'nin ana su kaynakları, Gündüzbey Mahallesi'nin güneyindeki veya batısındaki yamaçlardan inen küçük pınarlar, mevsimlik dereler ve yer altı suyu sızıntılarıdır. Bu kaynaklar yağış suları ve yüksek kesimlerde kar erimeleri ile beslenir. Derenin debisi mevsimsel olarak önemli ölçüde değişiklik gösterir. DSİ verilerine göre yıllık ortalama 0.815 m^3/s debiye sahiptir (DSİ, 2020). Suyunun kalitesi, kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik yapısı, arazi kullanımı ve insan etkisine bağlı olarak değişir. Yerleşim yerleri ve tarım arazilerinden geçerken kirlilik riski artabilir.



Şekil 3.16: Ahmetçe deresi alternatif su kaynağı lokasyonu.

Takaz Kaynakları

Takaz Kaynakları, Malatya'nın Doğanşehir ilçesinin önemli doğal su kaynaklarından biridir. Bu kaynak birden fazla pınardan oluşur ve bu pınarlardan çıkan sular birleşerek küçük dereler oluşturur. Bu dereler zamanla Sürgü Çayı'na ve dolaylı olarak Tohma Nehri'ne karışır. Bölge halkı için önemli bir içme suyu kaynağı olarak bilinir. Ayrıca, çevredeki tarım arazilerinin sulamasında da kullanılmaktadır. Suların kaynağı bölgedeki dağlık alanlarda biriken kar ve yağmur sularının yeraltında süzülerek oluşturduğu akiferlerdir. Kaynak sularının mineral içeriği bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir.



Şekil 3.17: Takaz kaynakları alternatif su kaynağı lokasyonu.

Malatya Derme Yeraltı Suyu Kaynağı

Derme Yeraltı Suyu İşletme Sahası, Malatya şehir merkezinin batısında özellikle Yeşilyurt ilçesi ve çevresini kapsayan bir alanı içerir. Bu saha Malatya şehir merkezi ve çevresinin en önemli içme ve kullanma suyu kaynağıdır. Kaynakların işletmesini MASKİ Genel Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır. Öncelikli olarak içme ve kullanma suyu olarak değerlendirilmekte olup yerel sanayi ve tarımsal sulamada da sınırlı düzeyde kullanımı olabilir. Derme Yeraltı suyunun ana beslenme alanı Beydağlarının karstik yapısı bu dağlara düşen kar ve yağmur sularının sızımıdır. Yapılan analizlere göre Derme Yeraltı Suyu birinci sınıf (çok kaliteli) bir suya sahiptir. Bu nedenle, herhangi bir işleme tabii tutulmadan doğrudan şebekeye verilebilmektedir. Kaynağın debisi genellikle stabildir ancak uzun vadeli sürdürebilirliği için beslenme alanlarının korunması ve aşırı kullanımdan kaçınılması önemlidir.

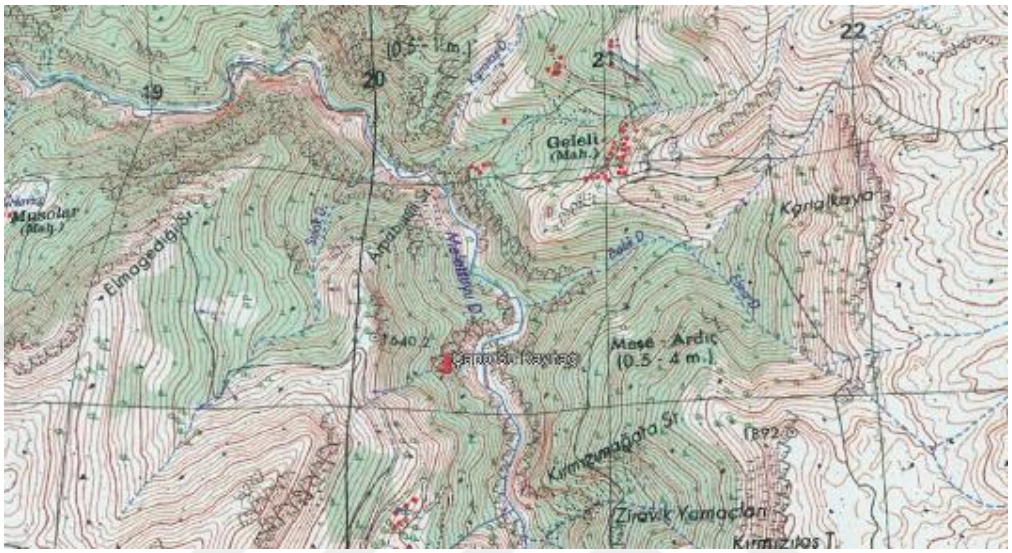


Şekil 3.18: Derme YAS işletme sahası su kaynağı lokasyonu.

Çapo Su Kaynağı

Bu kaynak, Akçadağ ilçesi sınırları içinde bulunmaktadır (Şekil 3.19). Akçadağ ilçesinin 12 mahallesinin su ihtiyacını karşılamaktadır. 6 Şubat 2023 depremlerinden sonra bu kaynağın suyu çekilmiştir. MASKİ tarafından yapılan jeofizik çalışmaları sonucunda Çapo suyunun kaynağı yeniden tespit edilmiş ve su arama çalışmalarıyla tekrar bulunur hale gelmiştir. Yeniden bulunan kaynakta saniyede 300 litre su çıkmaktadır. Bu debi, mevsimsel değişikliklere ve yer altı suyunun beslenme koşullarına bağlı olarak değişebilir.

Yapılan çalışmalarda bu kaynaktan hem Örnekköy'e hem de Çapo isale hattına su verilmesi sağlanmıştır. Jeofizik çalışmalarla kaynağın yeniden bulunması, yer altı suyunun biriktirdiği akiferden (su taşıyan yeraltı katmanı) beslendiğini düşündürmektedir. Su kalitesi olarak kaynağın içmesuyu kalite şartlarını sağladığı değerlendirilmektedir. Ancak yine de düzenli olarak analiz edilmesi ve gerekirse arıtılması önemlidir.



Şekil 3.19: Çapo su kaynağı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Karakaya Barajı'nı Besleyen Fırat Kolu

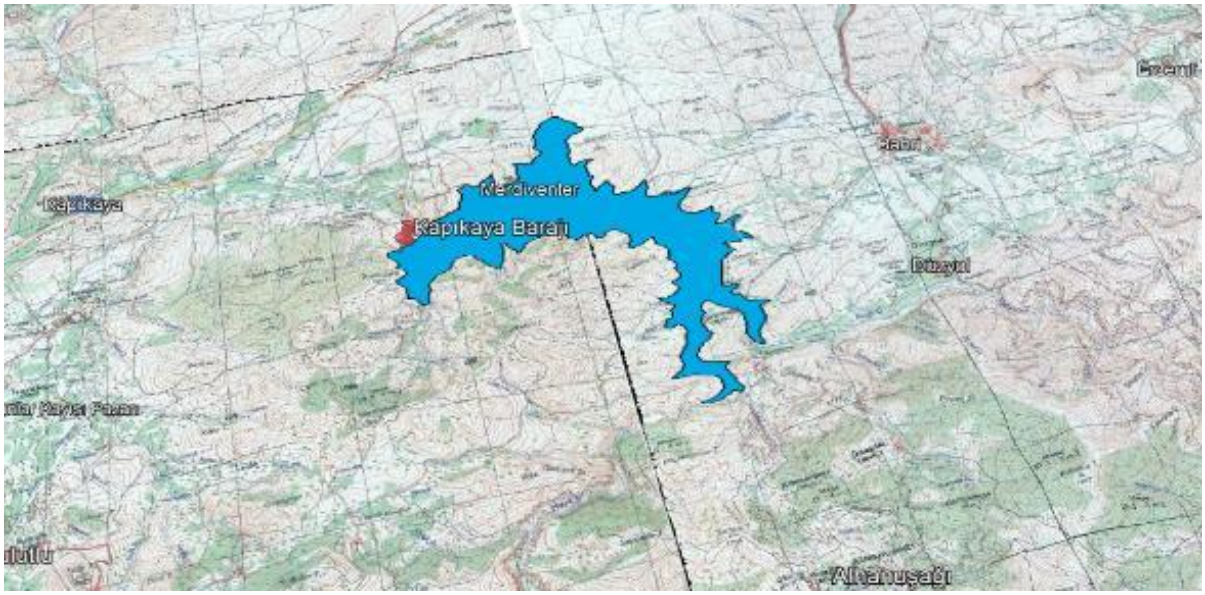
Karakaya Barajı, Fırat Nehri üzerinde Keban Barajı'nın mansabında yer almaktadır. Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Nehri'nin bu kolu Keban Barajı'ndan sonra Tohma Çayı suyunu da alarak Karakaya Barajı'nı beslemektedir (Şekil 3.20). Baraj gölü Diyarbakır, Elazığ ve Malatya illerini kapsamaktadır. Karakaya Baraj gölü çevresindeki yerleşim alanları, küçük ve büyük ölçekli sanayi kuruluşlarının atıkları dolaylı ve ya doğrudan Karakaya Baraj gölünü kirletmektedir. Baraj gölünün çevresindeki alanlar önemli ölçüde tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat kolu için ortalama debi değeri 900 m3/s'dir. Su kalitesi yüksektir. Debi değerleri kar erimeleri nedeniyle ilkbaharda daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır.



Şekil 3.20: Karakaya barajı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Kapıkaya Barajı

Kapıkaya Barajı Malatya ili, Battalgazi ilçesi sınırları dahilinde yer almaktadır (Şekil 3.21). Barajı besleyen en temel akarsu Mamikhan Çayı'dır. Kapıkaya Barajı'nın esas amacı tarımsal sulamadır. Buna istinaden yapılan su kalitesi analizleri genellikle tarımsal sulama uygunluğu açısından yapılmıştır. Kentsel içme suyu olarak verilecek olsaydı, kimyasal ve biyolojik parametrelerin analizi ve arıtma durumu ihtiyacı oluşacaktır. Mamikhan Deresi Malatya'nın karasal iklim yapısına bağlı olarak yaz aylarında kuraklık yaşamaktadır. Yaz aylarında oluşan kuraklık ve bölgedeki tarımsal sulama ihtiyacının artmasıyla debisi önemli ölçüde azalmaktadır. Debi değerlerine baktığımızda yıllık ortalama 0.46 m3/s'dir.



Şekil 3.21: Kapıkaya barajı alternatif su kaynağı lokasyonu.

Kaynarca Barajı (Planlama)

Kaynarca Barajı Malatya ili, Darende ilçesi Ayvalı-Tohma Çayı üzerinde yapılması planlanmaktadır (Şekil 3.22). Malatya merkez ilçeleri için 2040 yılı ve sonrası için stratejik bir kaynak olacaktır. Malatya ilini etkileyen afetler, 2023 depremleri ve yatırım maliyetleri göz önüne alındığında projenin planlama ve yapım sürelerinin uzunluğu göz önüne alındığında bu alternatif kısa sürede çözüm vaat etmemektedir. Aynı şekilde Ayvalı-Tohma Çayı da Malatya ilinin karasal ikliminden etkilenerek kar erimeleriyle ilkbahar ayında debisi artmakta ve yaz aylarında azalmaktadır.



Şekil 3.22: Kaynarca barajı alternatif su kaynağı lokasyonu.

3.2 Karar Verme Kriterleri ve Veri

Bu bölümde su kaynağı alternatiflerinin değerlendirilmesinde dikkate alınan kriterler hakkında bilgi sunulmaktadır. Ayrıca her bir su kaynağı alternatifi için bu kriterlere ait veriler yer almaktadır.

Kaynağın Debisi

Su kaynağının debisi, kaynak seçimi sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Kaynağın debisi, su talebini karşılayabilecek düzeyde olmalıdır. Bu planlanan sistemin (sanayi, içme suyu, sulama suyu) ihtiyacını karşılaması için en temel kriterlerden biridir. Ayrıca debi sürekliliği önemlidir. Düşük debili bir kaynak, kuraklık dönemlerinde veya mevsimsel değişikliklerde tamamen kuruma riski taşıyabilir. Düşük debili bir kaynaktan daha fazla su elde etmek için ek depolama alanları (baraj, biriktirme yapısı vb.), pompa sistemleri gibi

altyapı yatırımları gerekebilir. Bu durum da projeye ekstra işletme maliyeti olarak yansır. Yüksek debili kaynaklarsa yıl boyunca daha istikrarlı bir su akışı sağlar böylece daha az altyapı gerektirir. Ibrahim vd. (2023) yapmış oldukları araştırmada su kaynağı seçimindeki faktörlerden en önemli faktör sürdürebilirlik (%9,84) olup bunu üretilen su miktarı (9,30) takip eder. (Ibrahim vd., 2023) Çalışmada kullandığımız kaynakların debi bilgilerini DSİ verileri ve Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü Malatya ili 2019 Yılı Çevre Durum Raporundan alınmıştır (DSİ, 2020; Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü, 2019).

Mevcut İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı

Uygulama alanı olan Malatya merkez dağıtım sisteminde MASKİ verilerine göre 2025 yılı yaz ayında talebin en fazla olduğu dönemde sisteme verilen su miktarı 3100 /s civarındadır. Ayrıca 2018 yılında MASKİ tarafından yapılan içmesuyu master planında 2050 yılı için talep debisi ortalama 4500 l/s olarak tahmin edilmiştir. (MASKİ, 2018) Bu nedenle su kaynağı alternatiflerinin mevcut ihtiyaç debisini (2025 yılı için) karşılama oranı 3100 l/s debiye göre hesaplanmıştır (MASKİ, 2018).

Kaynağın mevcut su talebini karşılama oranı, suyun devamlılığı için hayati önem taşır. Eğer, bu oranın yetersiz kalıyorsa ileride su kıtlığına yol açabilir. Bu nedenle mevcut ihtiyaç debisinin hem şimdiki hem gelecekteki talebi güvenle sağlaması gerekmektedir. Mevcut ihtiyaç debisini karşılama oranı düşükse maliyet ve enerji harcama durumu artar, ayrıca ek su kaynaklarına da gereksinim duyulabilir. Ayrıca, düşük karşılama oranı çevresel ve ekolojik etkileri de belirleyerek ekosistemin ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olabilir. Özetle; kaynağın debisi ihtiyaç debisinden fazla ise su kaynağı mevcut talebi fazlasıyla karşılar. Bu durum kaynağın güvenilir ve sürdürülebilir olduğunu gösterir. Aynı zamanda gelecekteki nüfus artışına bağlı olarak artan su talebine karşı da güvence oluşturur. Kaynağın debisi ihtiyaç debisine yakınsa kurak dönemlerde veya afet durumları gibi ani su talebi olabilecek dönemlerde kaynak yetersiz kalabilir. Bu nedenle, su yönetimi ve tasarrufu için önlemler alınabilir. Kaynak debisi ihtiyaç debisini karşılayamıyorsa bu kaynağın seçilmesi durumunda ek kaynaklar (örneğin: başka bir kuyu veya yüzeysel su kaynağı vb.) bulunması ve mevcut suyun çok daha verimli kullanılmasını gerektirir.

Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı

Su kaynaklarının planlamasını yaparken gelecekte artacak olan su ihtiyacını karşılama oranı önemlidir. Bu oran, seçilecek olan kaynağın ilerleyen yıllarda yeterli olup olmayacağını gösterir. Kaynak seçimi yapılırken sadece bugünkü durum değil; gelecekteki koşullara da

bakmak gerekir. Nüfusun artması, iklimlerin değişmesi gibi etkenler gelecekteki su ihtiyaç talebini artıracaktır. Bugün yeterli görünen bir su kaynağı birkaç yıl sonra yetersiz hale gelebilir. Su kaynağının yetersiz kalma durumunda ise yeni kaynak arayışları, yüksek maliyetli altyapı yatırımlarını ve su sıkıntısı gibi sorunları da beraberinde getirebilir. Su kaynağını seçerken gelecekteki ihtiyaç debisini karşılamasına dikkat etmek projenin uzun ömürlü ve verimli olmasını sağlar. Düşük debide ya da gelecekteki ihtiyaç debisini karşılayamayan bir kaynak seçtiğimizde belki başlangıçta daha düşük maliyetli gibi görünebilir. Ancak; uzun vadede daha büyük maliyetlere yol açabiliriz. Gelecekte bu kaynağa ilave ek kaynak arayışı ve bunun sisteme entegrasyonu gibi problemler öncesinde su kaynağı seçimi için yapılan tasarrufu anlamsız kılabilir. Bu yüzden kaynak seçimi yaparken gelecek debi projeksiyonları ve uzun vadede fayda-maliyet analizi yapılması önemlidir. Bizim araştırmamızda kullanılan gelecekteki su ihtiyaç debisi, MASKİ 2018 Master Plan Raporlarına göre 2050 yılında 4250 l/s olarak belirlenmiştir. Ancak; deprem hasarları, şehrin gelişmesi, altyapı dikkate alındığında ortalama ihtiyaç debisi 4500 l/s olarak hesaplanmıştır (MASKİ, 2018).

Merkeze Olan Uzaklık

Ibrahım vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada su kaynağının kentsel alana yakın bir mesafede olması gerektiğini belirtmiştir. (Ibrahim vd., 2023) Yakınlık daha az boru hattı ihtiyacı doğurarak su temini ve iletim maliyetlerinde verimliliği artırır. Bu nedenle kaynak seçimlerinde kentsel alana yakın olan kaynağın seçilmesi ifade edilmiştir. Bununla birlikte anket sonuçlarına göre bu faktörün göreceli ağırlığı %6.48 çıkarak listenin en etkili faktörlerinden (sürdürebilirlik) yaklaşık %3 daha az önemli olarak belirlenmiştir. Buradan çıkan sonuçlarla birlikte; su kaynağının merkeze olan uzaklığı arttıkça suyun taşınması için boru hatları, pompaj sistemleri vb. gibi altyapı ve enerji maliyetleri de artar. Uzak mesafelerden su taşımak suyun kalitesini de olumsuz olarak etkileyebilir. Bu etki ise arıtma tesislerinin kapasitesi ve verimliliği hakkında ek önlemler alınmasına neden olabilir. Ayrıca, uzun boru hatları, dış müdahaleler, doğal afetler veya boru patlamaları gibi risklere karşı daha savunmasız kalabilir. Bu durumda su tedarikinde kesintilere yol açabilir ve sistemin de güvenirliliğini etkileyebilir. Çalışmada yer alan kaynakların Malatya merkez iline olan yakınlığı kullanılmıştır.

Arıtma Gereklilik Durumu

Arıtma ihtiyacı az olan, yani nispeten temiz olan su kaynakları (örneğin, mineraller ve kirleticilerce düşük seviyede) tercih edildiğinde, hem yatırım hem de işletme maliyeti düşer. Ayrıca, daha az işlem hattı gerektirdiğinden sistemin karmaşıklığı azalır. Dünya Sağlık Örgütü'ne bağlı Wash Matters'ın sunduğu kaynak seçimi rehberinde "en temiz suyun seçilmesinin devam eden arıtma maliyetlerini minimize edeceği, yapılacak işin azalacağı ve yanlış gidebilecek çok şeyin olmayacağı" vurgulanır (WaterAid, 2021). Ibrahım vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada üretilen suyun kalitesi, su kaynağı seçimini etkileyen önemli bir faktördür ve bu faktörün göreceli ağırlığı %8,42'dir (Ibrahim vd., 2023). Araştırmada kullanılan su kalitesinin kabul edilebilir olması suyun nasıl arıtılacağını belirlemenin bir toplum için önemli olduğu belirtiliyor. Yüksek florür seviyesi gibi su kalitesi sorunlarının arıtım açısından zorluklar çıkarabileceği ve sağlık açısından önemli sonuçlar doğurabileceği belirtilmiştir. Özetle; arıtma gerekliliği bir kaynağı seçilip seçilmemesinde belirleyici olabilir. Basit arıtma gerektiren kaynaklar yüksek kalitede ve kirleticilerden uzak kaynaklar (yeraltı suyu kaynağı gibi) genellikle basit dezenfeksiyon (klorlama gibi) veya minimum düzeyde filtrasyon gerektirir. Bu durum; daha düşük bir altyapı maliyeti ve daha az işletme gideri anlamına gelir. Yüzey suları (nehirler, göller) genellikle askıda katı maddeler ve bulanıklık içerir. Bu tür yüzeysel kaynaklar daha fazla maliyet gerektiren arıtma tesisi sistemleri kullanılmasını gerektirebilir. Bu nedenle projeye önemli bir yatırım ve düzenli bir işletme maliyeti de eklenmiş olur. Gelişmiş arıtma gerektiren su kaynağı kullanılması ileri arıtma teknolojileri (karbon filtreleme vb.) gerektirebilir. Bizde seçtiğimiz su kaynağını ileri arıtma gerektirecek düzeyde seçersek bu durum yüksek yatırım ve işletme maliyetlerine neden olur. Bu durumda kaynak seçiminde sadece debi ve uzaklık gibi faktörlerin yanı sıra suyun kalitesi gibi farklı bir faktöründe ne kadar önemli olduğunu gösterir. Seçilen bir su kaynağının debisinin fazla olması, merkeze yakın olması bile arıtma maliyetinin yüksek çıkmasıyla ekonomik olarak uygun bulunmayabilir. Bu çalışmada arıtma gereklilik durumunu yeraltı ve yüzeysel sularına göre değerlendirilmiştir.

Kaynak Türüne Göre Kaynağın Elde Edilebilirliği

Selecting the Water Source 2021 rehberinde, değerlendirme kriterleri arasında kaynak türünün suyun miktar-kalite profili, mevsimsel değişim, koruma durumu gibi özellikler taşıdığını belirtilir. Su kalitesine göre yaptığı değerlendirmede; yağmur suyunun genellikle en temiz su kaynağı olduğu toplanırken ve depolanırken kirlenmeye karşı korunursa içilebilir nitelikte olduğu belirtilmiştir (WaterAid, 2021). Derin yeraltı suyu, yüzey kirliliğinden

korunur ve toprak katmanları doğal bir filtre görevi görür. Ancak, toprağın yüzeyine yakın olan veya çatlaklı yapısına sahip yeraltı suları kirlenme riski taşır. Yeraltı suları en az değişkenliğe sahip su kaynağıdır; mevsimsel ve günlük değişiklikler göstermez. Ancak, suyu yüzeye çıkarmak için pompalama gerekir. Yüzey suları ise genellikle en kirli su kaynağıdır. Erişimi kolay olsa da arıtma maliyeti yüksek olabilir. Yağmur suyu ile toplanan su kadar değişken olmamakla birlikte, yağışlı ve kurak mevsimler arasında debi farkları bulunur. Su kaynağına gitmek veya suyu borularla insanlara ulaştırmak gerekir (WaterAid, 2021). Çalışmada kaynak türüne göre kaynağın elde edilebilirliği yeraltı ve yüzeysel sularına ulaşılma durumuna göre değerlendirilmiştir.

İletim Hattı Türü

Su iletim hatları genellikle basınçlı boru hatları ve cazibeli kanallar olmak üzere iki kategoride incelenir. Bu iki tür ise kaynak seçiminde farklı senaryolar ortaya koyar. Basınçlı boru hatları kullanılacaksa bu sistem suyu pompalar yardımıyla basınç altında taşır. Yeraltı sularından veya düşük kotlu yüzeysel kaynaklardan su temininde yaygın olarak kullanılır. Bu sistemi gerektiren bir su kaynağı seçildiyse basınçlı boru hatları, pompaj için sürekli enerji tüketimi gerektirdiğinden yüksek işletme giderlerine sahiptir. Ayrıca kullanılacak olan boruların malzeme ve döşeme maliyeti de ilk yatırım maliyetini artırır. Bu sistemlerin avantajı olarak suyun akışını kontrol etme konusunda daha fazla esneklik sunar ve daha az su kaybına neden olur. Ancak sistemin güvenirliliği açısından boru patlamaları, pompa arızaları, enerji kesintileri gibi riskleri bulunur. Cazibeli kanalları (serbest akışlı sistemler) inceleyecek olursak; suyun yüksek kotlu bir kaynaktan daha düşük kotlu bir yere doğru yerçekimiyle (cazibeli) akmasını sağlar. Bu sistemin en büyük avantajı, pompaj ihtiyacının olmaması sebebiyle işletme maliyetinin oldukça düşük çıkmasıdır. Aynı zamanda, pompaj sistemleri gibi enerji kesintilerinden etkilenmediği için daha güvenilirdir. Dezavantajı olarak açık kanallar buharlaşma yoluyla su kaybına ve çevresel kirliliğe karşı daha hassastır. Bu iki sistem arasında seçim yapılırken kaynağın merkeze olan uzaklığı, topografik durumu, projenin bütçesi ve işletme giderleri hedefleri göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır. Yüksek kotlu ve merkeze yakın bir kaynak cazibeli bir sistem için idealken düşük kotlu ve uzak bir kaynak seçiminde ise basınçlı sistem seçilebilir. Çalışmada iletim hattı türü yeraltı ve yüzeysel sularına ulaşılma durumu, kaynağın arazi kotuna göre değerlendirilmiştir.

Kaynak Sürekliliği

Selecting the Water Source 2021 rehberinde su kaynağının sürekliliği (availability) su kaynağı seçimini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür (WaterAid, 2021). Sürekli ve güvenli bir su tedariki olması için suyun ihtiyaç duyulduğu her an mevcut olması gerekir. Çalışmaya göre yüzey suyu (nehirler, göller) yağış kadar değişken değildir bu nedenle akış yeterliyse yıl boyunca su kaynağı olarak kullanılabilir. Genellikle günden güne değişmez bu yüzden akış güvenilirdir ve günlük depolama ihtiyacı yoktur. Yeraltı suları ise en az değişkenliğe sahiptir. Su kaynağının sürekliliği; su tedarik sisteminin sürdürebilirliği ve etkinliği için kritik bir faktördür. Uzak veya değişken bir kaynak yerine daha yakın ve sürekli bir kaynak seçmek su temininin güvenliğini artırır. Bir su kaynağının "güvenli" (safe) ve "güvenilir" (secure) olması gerektiğini vurgular ve süreklilik bu "güvenirlilik" kavramının temelini oluşturur. Yine Ibrahım vd. (2023) yaptıkları çalışmaya bakacak olursak; anket sonuçlarına göre sürdürebilirlik faktörü %9,84'lük göreceli ağırlığıyla diğer tüm faktörlerin (su miktarı, maliyetler vb.) önündedir (Ibrahim vd., 2023). Bu durum, sürekli ve kolayca bulunabilir su kaynağına sahip olmanın zorunluluğuyla açıklanmaktadır. Dolayısıyla makale, bir su kaynağının sadece mevcut su ihtiyacını karşılamasının değil, aynı zamanda yıl boyunca güvenilir ve sürekli bir şekilde varlığını sürdürmesinin kaynak seçimi için en kritik belirleyici olduğunu göstermektedir. Çalışmada kaynak sürekliliği kaynağın aylara göre debi sürekliliğine göre değerlendirilmiştir.

İlk Yatırım Maliyeti

Su kaynağı seçiminde ilk yatırım maliyeti, proje kararını doğrudan etkileyen temel bir kriterdir. Kaynağın yerleşim yerine uzaklığı, iletim hattı uzunluğunu ve dolayısıyla boru ile işçilik maliyetlerini artırmaktadır. Benzer şekilde, topografik koşullar ve yükseklik farkları pompaj gereksinimini artırarak enerji ve ekipman maliyetini artırmaktadır. Talep edilen debi büyüdükçe boru çapı, artırma kapasitesi ve depolama ihtiyacının artması da yatırım maliyetlerini yükseltmektedir. Jeolojik koşullar, ulaşım güçlüğü gibi faktörler kazı ve inşaat maliyetlerini de artırır. Bu nedenle sadece ilk yatırım maliyetini değil, uzun vadede işletme ve bakım maliyetlerini de değerlendirmemiz gerekir. Kaynağın türü de maliyet üzerinde belirleyicidir. Yeraltı sularında sondaj ve kuyu açma maliyetleri, yüzeysel sularda ise baraj ve kaptaj tesisleri gerekliliği farklı yatırım ihtiyaçlarını doğurmaktadır. Ibrahım vd. 2023'te yaptıkları çalışmaya bakacak olursak; ilk yatırım maliyeti "İnşaat Maliyeti" olarak belirtilmektedir (Ibrahim vd., 2023). Çalışmaya göre ilk yatırım maliyeti en önemli faktör değildir. Yalnızca; su kaynağı seçim sürecinde dikkate alınması gereken bir unsur olarak

belirtilmiştir. Özellikle uzun vadede maliyet tasarrufu sağlamak için ekonomik faktörlerin karar verme sürecine dahil edilmesi gerektiği de çalışmada ifade edilmiştir. Biz yapılan araştırmada ilk yatırım maliyetini; kaynağın biriktirme yapısı ihtiyacı, iletim hattı türü ve arıtma ihtiyaç durumuna göre değerlendirmiş bulunmaktayız.

İşletme ve Bakım Maliyeti

WaterAid, 2021 raporuna göre; bir su kaynağı seçerken işletme ve bakım maliyeti önemli bir etkendir. Bu maliyet, su kaynağının kalitesi ve suyu insanlara ulaştırmak için gereken altyapıya bağlı olarak değişir. Düşük kaliteli su daha fazla arıtma gerektireceğinden maliyeti artırır. Su doğal olarak temizse, arıtılmasına gerek yoktur. Kaynak insanlara uzaksa, suyu insanlara yaklaştırmak için pompa ve boru hatları gibi altyapı yatırımları gereklidir. Bu durumda kullanılan her ekipman işletme ve bakım maliyeti için ek maliyetler doğurur (WaterAid, 2021). Özetle, bir su kaynağı seçerken temiz ve ulaşılabilir gibi faktörler işletme, bakım maliyetlerini ve verimli olup olmayacağını belirler. İşletme ve bakım maliyeti, bir su kaynağının uzun vadede ekonomik sürdürülebilirliği açısından da önemlidir. Araştırmamızda; işletme ve bakım maliyeti açısından kaynakları değerlendirirken kaynağın biriktirme yapısı ihtiyacı, iletim hattı türü, arıtma ihtiyaç durumuna göre karar verilmiştir.

Biriktirme Yapısı İhtiyacı:

Bir su kaynağının biriktirme yapısına olan ihtiyacı o kaynağın mevcudiyetinin ne kadar değişken olacağına bağlıdır. WaterAid, 2021'de yayımlanan rapora bakacak olursak; suyun sadece belirli zamanlarda mevcut olması durumunda insanların istedikleri zaman kullanabilmesi için biriktirilmesi gerekir. Nehirlerin debisi mevsimler arasında değişse de, genellikle günden güne farklılık göstermez (aşırı seller dışında). Bu nedenle yüzey suları için günlük biriktirme yapısına ihtiyaç duyulmaz çünkü akış güvenlidir. Yeraltı suyu en az değişkenliği sahip kaynaktır; nehir veya yağışa göre çok daha az mevsimsel farklılık ve günlük değişim gösterir. Bu doğal süreklilik biriktirme yapısı ihtiyacını azaltır (WaterAid, 2021). Bu rapordan özetle çıkan sonuca bakmak gerekirse; biriktirme yapısına olan ihtiyaç su kaynağının mevcudiyetindeki değişkenlikle doğru orantılıdır. Yağmur suyu gibi değişken kaynaklar için depolama kritik bir gereklilik olabilirken yeraltı suyu gibi daha istikrarlı kaynaklarda bu ihtiyaç daha düşüktür. Biriktirme yapısı inşa etmek; baraj, gölet ya da depo vb. maliyet, arazi hazırlığı topografya, zemin özelliği ve inşa süresi gibi etkenlerden ciddi biçimde etkilenir. Bu maliyetler, ilk yatırım maliyeti ve kaynak seçiminde de önemlidir. Çalışmada işletme ve bakım maliyeti kaynağın biriktirme yapısı ihtiyacı kaynağın debisi,

kaynaktan çıkan suyun biriktirme yapısına ihtiyaç duyup duymaması ve kaynağın biriktirme yapısı ihtiyacı olup mevcutta biriktirme yapısının var olma durumuna göre değerlendirilmiştir.

Afetten Etkilenme Riski

Su kaynağının bulunduğu yerin afet riski, kaynak seçimini doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Afetler, su temini alt yapısının güvenliğini ve sürekliliğini tehdit edebilir; bu nedenle afet risklerinin değerlendirilmesi, su kaynağı seçimi ve yönetimi açısından kritik öneme sahiptir (Akçaoğlu & Tatlı, 2024). Yüksek riskli bir bölgede bulunan kaynak; deprem, sel gibi olaylarda hasar görebilir ve su tedariki kesintiye uğrayabilir. Bu durum projenin güvenirliliğini ve sürekliliğini tehlikeye atar. Bu riski yönetmek için de ek maliyetler ortaya çıkar. Örneğin; altyapının daha dayanıklı yapılması gerekir ki bu da ilk yatırım maliyetini artırır. Ayrıca, olası bir afet sonrası onarım masrafları da bütçeyi zorlayabilir. Bu yüzden afet riski yüksek olan kaynaklar daha güvenli bölgelerdeki kaynaklara göre daha az cazip hale gelebilir. Afet riski, bir su projesinin hem güvenirliliği hem de maliyeti doğrudan etkileyen önemli bir faktördür. Çalışmada afetten etkilenme riski (deprem) "Malatya İli Deprem Haritasına" göre değerlendirilmiştir.

Kuraklığa Karşı Dirençlilik Seviyesi:

WaterAid, 2021'de yayımlanan rapora bakacak olursak; bir su kaynağının kuraklığa karşı direnç seviyesi, kaynağın yıllık değişkenliği ve mevsimsel değişkenliğine bağlıdır. Yeraltı suyu kuraklığa karşı en dayanıklı kaynaktır. Yeraltı suyu, nehirler veya yağmur suyu kadar mevsimsel değişkenlik göstermez ve günlük değişimleri yoktur. Kum bentleri ve filtrasyon galerileri de yeraltı suyunun depolama özelliklerini kullandıkları için yüzey suyu veya yağmura göre daha az değişkenliğe sahiptir. Nehirler, yağmur suyu kadar değişken olmasa da akışları ıslak ve kurak mevsimler arasında farklılık gösterir. Ancak akış yeterliyse tüm yıl boyunca kullanılabilir. Nehir akışları genellikle günden güne değişmez. Yağmur suyu, en yüksek yıllık ve mevsimsel değişkenliğe sahip kaynaktır. Bu durum, yerel olarak yeterli su bulunmamasına neden olabilir. Ayrıca, yıldan yıla olan değişimler, bazı kurak yıllarda yağmur suyunun yeterli olmamasına neden olabilir (WaterAid, 2021). Özetle, rapora göre yeraltı suyu en düşük değişkenliğe sahip, yüzey suyu (nehirler) yağmur suyundan daha az değişken ve yağmur suyu ise en yüksek değişkenliğe sahiptir. Çalışmada kuraklığa karşı dirençlilik seviyesi kaynağın aylara göre debi sürekliliğine göre değerlendirilmiştir.

Proje Uygulanabilirlik Durumu

WaterAid, 2021'de yayımlanan rapora bakacak olursak; su kaynağı seçimi yapılırken projenin uygulanabilirliği, yani çevresel, teknik, sosyal, ekonomik ve sağlık üzerindeki etkileri dikkate alınmalıdır. Her kaynağın kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri vardır. Bu özellikler, bir projenin başarılı ve sürdürülebilir olup olmayacağını belirler. Rapora göre ekonomik uygulanabilirlik açısından bakacak olursak; bir su kaynağının seçimi sürekli devam eden arıtma maliyetlerini doğrudan etkiler. Örneğin, yüzey suyunun arıtma maliyeti, bu kaynağı finansal olarak sürdürülemez hale getirebilir. Bitkiler, deniz suyu veya atık su gibi daha az yaygın kaynaklardan su elde etmek aynı hacim için daha karmaşık ve pahalı teknolojileri gerektirir. Su kaynağı seçimi sistemi kullanacak toplulukla istişare edilerek yapılmalıdır. Topluluk üyeleri çeşitli seçeneklerin miktar ve kalitesinin mevsimlere göre nasıl değiştiği, erişim kolaylığı ve arazi hakları gibi konularda bilgiye sahip kişilerdir. Seçilen kaynağın güçlü ve zayıf yönleri su teminini işletecek insanların sosyal ve ekonomik kaynaklarıyla uyumlu olmalıdır. Temiz olan suyun arıtılması gerekmediğinden su temini sistemi daha basit bir şekilde işletilebilir. Basit ve sağlam yöntemler daha az işletme ve bakım gerektirdiği için daha sürdürülebilir çözümler sunar. Yeraltı suyu gibi kaynaklar yerel olarak mevcut su miktarını ölçmeyi karmaşık hale getirdiğinden su kaynağı uzmanlarıyla çalışma gerektirir (WaterAid, 2021). Proje uygulanabilirliği; ekonomik maliyetler, teknik gereklilikler gibi bir dizi faktörle yakından ilişkilidir ve tüm bu faktörler doğru su kaynağının seçilmesinde belirleyici rol oynar. Çalışmada proje uygulanabilirlik durumu biriktirme yapısı ihtiyacı, iletim hattı türü, arıtma ihtiyaç durumu ihtiyaçları, kaynağın debisi gibi birçok faktöre bağlı olarak uygulanacak projenin rantabl olma durumuna göre değerlendirilmiştir.

4. YÖNTEMLER

4.1 En İyi En Kötü Yöntemi (BWM)

BWM yöntemi, karar vericilerin kriterler ve/veya değişkenler arasından tercihlerini daha tutarlı, güvenilir ve daha az karşılaştırmayla belirlemesini amaçlayan bir karar destek yöntemidir. Kriter ağırlıklarını, "*En Önemli (en iyi)*" ve *"En önemsiz (en kötü)"* kriterler referans alınarak yapar. BWM yönteminin diğer çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerine göre birçok önemli üstünlüğü bulunmaktadır.

Literatürde yaygın bir şekilde kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminde gerekli ikili karşılaştırma sayısı $n * (n-1)/2$ iken, BWM yönteminde ise sadece $2n-3$ karşılaştırma gerektirir (Rezaei, 2015). Bu, özellikle kriter sayısı arttıkça karar verici üzerindeki yükü önemli ölçüde azaltır ve zaman tasarrufu sağlar. Daha az sayıda karşılaştırma, katılımcıların karar verme sürecini hızlandırır ve veri toplama aşamasındaki hata payını azaltır. Az sayıda karşılaştırma yapılması ve *en iyi-en kötü kriterlere* odaklanılması, karar vericinin yargılarının tutarlılığını artırma eğilimindedir. BWM yönteminde hesaplanan tutarlılık oranı, bu avantajı sayısal olarak da doğrulamaktadır. Tutarlılığın yüksek olması, elde edilen kriter ağırlıklarının daha güvenilir ve gerçekçi olmasını sağlar. BWM yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Rezaei, 2015 ve 2016).

Kriterleri belirlenmesi (Adım 1): Değerlendirmeye dahil edilecek karar probleminde dikkate alınacak kriterler $(C = c1, c2, \dots, cn)$ belirlenir. Bu kriterler, problemin amacına ulaşmak için önemli olan tüm faktörleri kapsamalıdır. Örneğin, su kaynağına karar verirken, su kalitesi, debi, kaynağın sürekliliği, iletim hattı durumu vb. gibi faktörler olabilir.

En önemli ve En önemsiz kriterlerin belirlenmesi (Adım 2): Karar verici n adet kriter arasından "*en önemli* (c_B)" ve "*en önemsiz* (c_W)" olan kriterleri belirlemektedir. Tanımlama karar vericinin görüşüne dayanır ve sübjektif olabilir ve herhangi bir karşılaştırma yapılmaz. Örneğin, bir karar verici için en iyi kriter (c_B) *su kalitesi*, en kötü kriter (c_W) ise *su alma yapısı türü* olabilir.

En iyi kriterin önceliğinin belirlenmesi ve diğer kriterler ile karşılaştırılması (Adım 3): En iyi kriterin (c_B) diğer tüm kriterlere göre 1-9 ölçeğinde üstünlüğü değerlendirilir. Bu kıyaslamada, 1 puan, eşit derecede önemli; 9 puan ise çok daha önemli anlamına gelir. $A_{BO=}$ (a_{B1}, a_{B2}, …, a_{Bn}) burada a_{Bj}, (c_B)'nin (c_j)'ye göre ne kadar önemli olduğunu gösterir. Burada; a_{Bj}, en iyi kriterin j. kritere göre üstünlüğünü ifade eder. Örneğin; en iyi kriterin (c_3) diğer kriterlere göre ne kadar önemli oldu değerlendirilir. En iyi kriterin kendi ile kıyası ise 1'e eşittir yani $a_{BB} = 1$'dir.

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (4.1)$$

En kötü kriterin önceliğinin belirlenmesi ve diğer kriterlerle karşılaştırılması (Adım 4): Tüm kriterlerin en kötü kritere (c_W)'ye göre derecelendirilmesi yapılır. $A_{OW} = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})$ burada (a_{jW}), c_J'nin c_W'ye göre ne kadar önemli olduğunu gösterir. Diğer kriterlerin ön kötü kritere (c_2) göre ne kadar önemli olduğu değerlendirilir.

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (4.2)$$

Çizelge 4.1: BWM kullanılan ikili karşılaştırma ölçeği (Demir & Bircan, 2020).

Önem Derecesi	Kriterlerin Karşılaştırılması için Sözlü anlatım
1	Eşit derecede önemli
2	Eşit olarak orta derecede önemli
3	Orta derecede daha önemli
4	Orta derecede çok daha önemli
5	Güçlü olarak önemli
6	Güçlü olarak çok önemli
7	Çok güçlü olarak önemli
8	Çok güçlü olarak daha önemli
9	Oldukça çok önemli

En uygun ağırlıkların belirlenmesi (Adım 5): Amaç, her (c_j) kriterine ait ağırlık değerini (w_j) belirlemektir. En uygun ağırlıklar bulunur (W_1^*, W_2^*, …; W_n^*). Kriterler için en uygun ağırlık, her bir $W_B = W_j$ *ve* $W_j = W_w$ çifti için $W_B/W_j = a_{Bj}$ *ve* $W_j/W_w = a_{jw^*}$ bulunur.

En iyi kriter ile diğer kriterler arasındaki göreceli önceliklerin ve diğer kriterler ile en kötü kriter arasındaki göreceli önceliklerin, belirlenen tercih vektörleriyle mümkün olan en yüksek uyumu sağlayacak şekilde kriter ağırlıklarının (w_j) tüketilmesi için bir optimizasyon problemi çözülür. Bu problem $W_B - a_{Bj} Wj$ *ve* $W_j - a_{jw} W_w$ ifadelerinden kaynaklanan mutlak farklılıkları minimize edildiği $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{Jw}w_w|\}$ bir j bulunmalıdır. Diğer bir deyişle, tüm j kriterleri için en büyük tutarsızlıkların en aza indirgendiği bir çözüm aranarak, kriter ağırlıkları tutarlı bir şekilde belirlenir.

$$min\ max_j = \{|(w_B/abjw_j)|, |(W_j - a_{jw}W_w)|\} \quad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \ wj = 1 \quad (4.4)$$

wj $\geq$ 0, tüm j'ler için (4.5)

Problem denklemi aşağıdaki doğrusal programlama denklemine aktarılmaktadır.

minξ_L (4.6)

|wB / wj − aBj| $\leq$ ξ ve ∀j için (4.7)

|wj / ww − ajw | $\leq$ ξ ve ∀j için (4.8)

$$\sum_{j=1}^{n} \ wj = 1 \quad (4.9)$$

wj $\geq$ 0 ∀j için (4.10)

Çözüm sonucunda her bir kriterin ağırlığı (w_j) ve tutarlılık oranı (ξ) elde edilir. Tutarlılık oranı, karşılaştırmaların ne kadar tutarlı olduğunu gösterir, 0'a ne kadar yakınsa o kadar iyi olduğunu belirtir.

Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması (Adım 6): Çözümden sonra kriter ağırlıkları ve tutarlılık oranı *(CR)* elde edilir. Eğer $a_{Bj} \times a_{Jw} = a_{BW}$ tüm j kriterleri için geçerliyse; tutarlılık endeks formülü ile karşılaştırmaların tutarlılığı kontrol edilir. *CI*, tutarlılık indeksi değeri kullanılan ölçeğe ve en kötü-en iyi kriter arasındaki tercih yoğunluğuna bağlı olarak önceden belirlenmiş bir tablodan alınır.

Çizelge 4.2: BWM için kullanılan tutarlılık indeksi (Demir & Bircan, 2020).

a_{bw}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tutarlılık endeksi	0.00	0.44	1.00	1.63	2.3	3.00	3.73	4.47	5.23

Farklı a_{BW} değerleri (en iyi kriterin en kötü kritere göre önemi) için farklı CI değerleri mevcuttur. Tutarlılık oranı (CR) ξ*baz alınarak tanımlanır; en küçük CR= daha tutarlı karardır. Tutarlılık oranı (CR) € [0,1] olmalıdır. CR $\leq$ 0.1 olursa, karar vericinin karşılaştırmalarının makul ölçüde tutarlı olduğu kabul edilir.

$$\text{Tutarlılık Oranı} = \frac{\xi L}{Tutarlılık\ Endeksi} \quad (4.11)$$

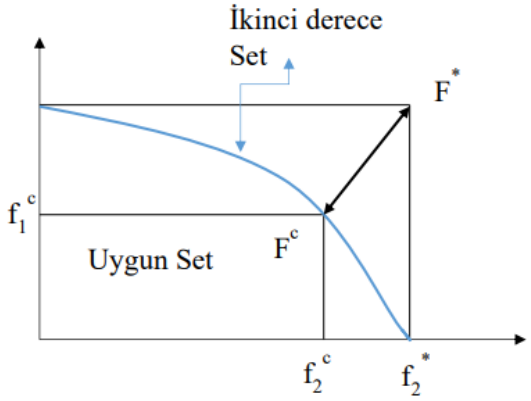
4.2 VIKOR Yöntemi

VIKOR yöntemi, çelişkili ve karşılaştırılamayan kriterlere sahip çok kriterli karar verme problemlerini çözmek için geliştirilmiş güçlü bir araçtır. Bu yöntem, karar vericilere en iyi uzlaşık çözümü sunmayı hedefler. Temel amacı, ideal çözüme en yakın ve aynı zamanda en az "pişmanlık" ile sonuçlanan bir alternatif setini belirlemektir (Opricovic, 1998 ve 2004). Bu yöntem, birden çok kriter birlikte değerlendirilip ideal çözüme en yakın olan uygulanabilir çözümlerin üretilmesine ve alternatifler arasından en iyi olanın seçilmesine veya bu alternatiflerin performanslarına göre sıralanmasına olanak sağlar (Özden,2012). Karar alma problemlerinde VIKOR yönteminin tercih edilmesinin en temel sebebi, kolay anlaşılır, uygulanabilir olması ve bunun yanında gerçekçi çözümler üretmesidir (Dinçer & Görener, 2011). VIKOR yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Opricovic, 2004).

VIKOR yönteminde her bir alternatifin ideal çözüme olan "uzaklığını" ölçmek için Lp 4.12 denklemi kullanılır (Opricovic, 2004).

$$Lp,j = \left\{ \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{w_i (f_i^* - f_{ij})}{f_i^* - f_i^-} \right]^P \right\}^{1/p} = 1; \quad 1 \le \mathrm{p} \le \infty \quad \mathrm{j}= 1, 2, \dots, \mathrm{j} \tag{4.12}$$

L_{1j} değeri S_j olarak adlandırılır ve grup yararını temsil eder. Bu değer maksimum grup yararını (çoğunluk kuralı) sağlayan çözümü belirlemek için kullanılır. $L_{\infty j}$ değeri ise R_j olarak adlandırılır ve bireysel pişmanlık veya maksimum bireysel pişmanlık ölçümünü ifade eder. Bu değer ise minimum bireysel pişmanlığı sağlayan çözümü belirlemek için kullanılır. Uzlaşık çözüm (F^c), ideal çözüm (F^*) ile negatif ideal çözüm (F^-) arasında yer alan ve ideal çözüme en yakın olan bir uygun çözümdür. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi uzlaşık çözüm kavramı, $\Delta f1 = f_1^* - f_1^c$ ve $\Delta f2 = f_2^* - f_2^c$ farklarıyla ifade edilebilir. Bu kriterler arasındaki karşılıklı konsensüs ve bir denge anlaşması anlamına gelir.



Şekil 4.1: İdeal ve uzlaşık çözümler (Babacan, 2020).

Her bir kriter için en iyi (f_i^*) *ve en kötü* (f_i^-) *değerleri belirlenmesi (adım 1):* Bu adımda, her kriter (karar ölçütü) için tüm alternatifler arasında en iyi ve en kötü performans değerleri belirlenir. Eğer $i.$ kriter bir fayda kriteri ise (yani, daha yüksek değer daha iyiyse); $f_i^* =$ maxj fij (maksimum değer en iyi) ve $f_i^- =$ maxj fij (minimum değer en kötü) ilişkisi kullanılır. Eğer $i.$ kriter bir maliyet kriteri ise (yani, daha düşük değer daha iyiyse); $f_i^* =$ minj fij (minimum değer en iyi) ve $f_i^- =$ maxj fij (maksimum değer en kötü) ilişkisi dikkate alınır.

S_j *ve* R_j *değerlerinin hesaplanması (adım 2):* Bu adımda, her alternatif için *grup faydasını* temsil eden S_j ve "bireysel pişmanlık değerini temsil edem R_j değerleri hesaplanır. w_i her bir kriterin ağırlığını temsil eder.

$$Sj = \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i(f_i^* - f_{ij})}{f_i^* - f_i^-} \tag{4.13}$$

$$Rj = \max, i \sum_{i=1}^{n} \frac{w_i(f_i^* - f_{ij})}{f_i^* - f_i^-} \tag{4.14}$$

Q_j *değerinin hesaplanması (adım 3):* Bu adımda, Q_j , $j = 1,2,\ldots,J$ değeri hesaplanır. Alternatiflerin uzlaşık sıralama indeksidir. En küçük Q_j değeri en iyi performansı gösterir.

$$Qj = v\frac{(Sj - Smin)}{(Smak - Smin)} + (1 - v)\frac{(Rj - Rmin)}{(Rmak - Rmin)} \tag{4.15}$$

S_{min} *ve* S_{mak}, tüm alternatifler arasındaki minimum ve maksimumS_j değeridir ve $S^* = min_j S_j$ ve $S^- = mak_j S_j$ şeklinde yazılır. R_{min} *ve* R_{mak}, tüm alternatifler arasındaki minimum ve maksimum R_j değeridir ve $R^* = min_j R_j$ ve $R^- = mak_j R_j$ şeklinde yazılır. v, "çoğunluğun stratejisi" veya "maksimum grup faydası" için ağırlığı temsil eder iken, $(1 - v)$ değeri ise karşı tarafın yani minimum pişmanlığın ağırlık değerini ifade eder. Genellikle $v = 0.5$ alınır, ancak 0 ile 1 arasında herhangi bir değer olabilir.

Alternatiflerin Sıralanması (adım 4): Alternatifler S, R ve Q değerlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Neticede üç farklı sıralama elde edilir. En küçük Q_j değerine sahip alternatif en iyi uzlaşık çözümdür.

Uzlaşık Çözümün Önerilmesi (adım 5): En iyi sıralanan alternatif (Q değerine göre en düşük olan) uzlaşık çözüm olarak önerilir. Ancak bunun için; Kabul Edilebilir Avantaj ($Q\left(A_{(2)}\right) - Q\left(A_{(1)}\right) \geq DQ$) ve Karar Vermede Kabul Edilebilir İstikrar koşullarının sağlanması gerekir.

$A_{(1)}$: Q değerine göre en iyi sıralanan alternatif, $A_{(2)}$: Q değerine göre ikinci en iyi sıralanan alternatif, $\mathrm{DQ} = 1/(\mathrm{J}-1)$ (J: alternatif sayısı) ifade eder. $A_{(1)}$ alternatifinin aynı zamanda S veya R sıralamalarında da en iyi sıralanmış olması gerekir. Bu çözümün grup faydası veya bireysel pişmanlık açısından da sağlam olduğunu gösterir. Eğer her iki koşul sağlanırsa, $A_{(1)}$ uzlaşık çözüm olarak kabul edilir. Eğer sadece ikinci koşul (karar vermede istikrar) sağlanmazsa, $A_{(1)}$ ve $A_{(2)}$ uzlaşık çözüm kümesi olarak önerilir.

Eğer ilk koşul (kabul edilebilir avantaj) sağlanmazsa, $A_{(1)}, A_{(2)} \ldots A_{(M)}$ uzlaşık çözüm kümesi olarak önerilir. Burada $A_{(M)}$ alternatifi ($Q\left(A_{(M)}\right) - Q\left(A_{(1)}\right) < DQ$) koşulunu hala sağlayan en büyük (en kötü sıralanmış) M değeri yardımıyla belirlenir. Yöntem sonucunda elde edilen en iyi alternatif, Q değerine göre sıralanan ve en küçük Q değerine sahip olan alternatiftir. Elde edilen ana sıralama uzlaşık sıralama listesidir. $A_{(M)}$ ve $A_{(1)}$arasında ($Q\left(A_{(M)}\right) - Q\left(A_{(1)}\right) < DQ$) olan tüm alternatifler uzlaşık çözüm olarak kabul edilir. Yöntem elde ettiği sıralamaya ek olarak belirli bir avantaj oranına sahip bir uzlaşık çözüm de sunmaktadır.

4.3 MOORA Yöntemi

Çok kriterli karar verme problemleri, birden fazla ve genellikle çelişen kriterlerin eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gereken karmaşık durumları ifade eder. Bu tür problemlerin çözümünde kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. MOORA (*Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis*) yöntemi de ÇKKV problemlerinin çözüm yöntemleri arasında oldukça yeni bir yöntem olarak karşımıza çıkar. 2006 yılında ekonomi alanında çalışmalar yapan Brauers ve Zavadkas tarafından özelleştirme uygulamaları için geliştirilmiştir. Pek çok kriterin yer aldığı çalışmada, kolay uygulanabilir, matematiksel işlemlerin mümkün olduğunca azaltılmaya çalışıldığı yeni bir yöntem geliştirilmiştir (Brauers, 2006). Daha sonraki yıllarda güçlü ve etkili birçok kriterli karar verme tekniği

olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. MOORA yönteminin en önemli avantajı, basit oran sisteminin karar matrisine boyutsuz ve karşılaştırma yapılabilir şekilde adapte edilebilmesidir.

MOORA yöntemi, farklı karar senaryolarına da kolaylıkla uygulanabilir (Durmaz vd., 2017). Ayrıca belirtilmiş olan tüm amaçları dikkate alması ve değerlendirmeye çalışması ile alternatifler ve amaçlar arası tüm etkileşimleri ayrı ayrı değil, aynı anda göz önüne alarak, sübjektif olmayan yönsüz değerler ile normalizasyon işlemini gerçekleştirmektedir (Brauers, 2006). MOORA oran yaklaşımı, MOORA yönteminin temel ve en yaygın kullanılan formu olup hesaplamaları ve sonuçların yorumlanması daha kolaydır (Brauers, 2006 ve 2009; Kalibatas vd., 2008; Gadakh, 2011).

Su kaynaklarını değerlendirirken debi, kaynak sürekliliği, çevresel etki durumu gibi birçok farklı kriteri göz önünde bulundurmamız gerektiğinden Oran Yaklaşımı, hem fayda (maksimize edilecek) hem de maliyet (minimize edilecek) kriterlerini aynı anda ele alarak tutarlı bir şekilde birleştirir. Kriter ağırlıklandırılması ise Oran Yaklaşımı içinde kolayca entegre edilebilir. Örneğin su kalitesinin debiden daha önemli olduğunu düşünüyorsak bu önceliği modelimize yansıtmaya olanak tanır. MOORA yönteminin Oran Sistemi, Referans Noktası Yaklaşımı ve Tam Çarpımsal Form olmak üzere üç türü vardır. Son olarak, alternatiflerin nihai sıralaması baskınlık teorisine dayalı MULTI-MOORA ile elde edilebilir (Kundakçı, 2016). Aşağıda adımları belirtilen MOORA yöntemi çeşitli hedeflere göre farklı alternatiflerin performansını gösteren bir karar matrisinin oluşturulması ile başlamaktadır.

Bu yöntemde, ilk olarak amaç tanımlanır ve ilgili değerlendirme ölçütleri belirlenir. *İkinci adımda,* denklem 4.16'da yer alan alternatifleri ve alternatiflerin ilgili ölçütlere göre performans değerlerini içeren X_{mxn} karar matrisi oluşturulmaktadır. Karar matrisi içinde yer alan her bir X_{ij} değeri $i.$ alternatifin $j.$ ölçüte göre performans değerlerini ifade etmektedir. Ayrıca, m; alternatif sayısı ve n; ölçüt sayısıdır (Acer ve İnci, 2020). Kriterler genellikle fayda (maksimizasyon, örn: kâr, kalite) veya maliyet (minimizasyon, örn: maliyet, risk) kriterleri olarak ayrılır.

$$X = \begin{bmatrix} x11 & x12 & \dots & xn \\ x21 & x22 & \dots & x2n \\ \ddots & & \vdots & \\ xm1 & xm2 & \dots & xmn \end{bmatrix} \tag{4.16}$$

Üçüncü adımda, farklı ölçü birimlerine sahip kriterleri karşılaştırılabilir hale getirmek için matris normalize edilir. En yaygın normalizasyon yöntemlerinden biri, her bir elemanın ilgili

sütundaki kareler toplamının karekökünе bölünmesidir. Bu adım kriterlerin eşit ağırlığa sahip olmasını sağlar veya daha sonra ağırlıklandırmaya imkân tanır.

$$x_{ij}^{*} = \frac{\text{Xij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{2}}} \qquad (\text{j} = 1,2, \dots, \text{n}) \qquad (4.17)$$

Burada X_{ij}, alternatif i'nin kriter j'ye göre değeri, x_{ij}^{*} normalize edilmiş değeri ve normalleştirilmiş performansını temsil eden $[0,1]$ aralığına ait boyutsuz bir sayıyı ifade etmektedir.

Eğer kriterlerin farklı önceliklere sahip olduğu düşünülüyorsa, normalize edilmiş değerler ilgili kriter ağırlıkları w_j ile çarpılır. Bu adım, her bir kriterin genel karar üzerindeki etkisini ayarlar.

$$v_{ij} = w_j * x_{ij}^{*} \qquad (4.18)$$

w_j; kriter j'nin ağırlığını temsil eder (Kundakçı, 2016). *Beşinci adımda*, her bir alternatif için nihai performans değeri (Yi) hesaplanır. Fayda kriterleri (maksimize edilecekler) toplanırken, maliyet kriterleri (faydasız kriterler) (minimize edilecekler) çıkarılır.

$$Yi = \sum_{j=1}^{g} Yij - \sum_{j=g+1}^{n} Yij \qquad (4.19)$$

Burada, g; fayda kriterleri (maksimize edilecek) ölçüt sayısı, (n-g); faydasız kriterler (minimize edilecek) ölçüt sayısı ve (Yi); tüm ölçütlere göre i. alternatifin normalleştirilmiş değeridir. Hesaplanan (Yi) değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek (Yi) değerine sahip alternatif, en iyi performans gösteren ve dolayısıyla en uygun alternatif olarak belirlenir. MOORA yöntemi Temel Oran Yaklaşımı'nın yanı sıra farklı problem türleri veya analitik derinlikler için çeşitli yaklaşımları içerebilir.

Referans Noktası Yaklaşımı'nda ilk üç adım MOORA Oran sistemi ile aynı olacaktır. Diğer adımları şu şekilde özetlenebilir (Kundakçı, 2016). Bu yöntemde, Karar matrisi (X) denklem 4.16'daki gibi oluşturulur ve denklem 4.17 ile normalleştirilir. Daha sonra ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisi denklem 4.18 ile oluşturulur. Dördüncü adımda, her kriter için referans noktaları (r_j) belirlenir. Referans noktaları belirlenirken, maksimizasyon kriterleri için en yüksek değerler, minimizasyon kriterleri için en düşük değerler seçilir. Sonraki adımda, alternatifler ile referans noktaları arasındaki mesafe hesaplanır ve ardından en iyi alternatif denklem (14)'te verilen "Tchebycheff Min-Max Metrik" işlemi uygulanır.

$$min_i = \{max_j \left(\left|w_j\, r_j - v_{ij}\right|\right)\} \qquad (4.20)$$

Öncelikle her bir alternatifin tüm kriterler altındaki referans noktalarına olan maksimum uzaklık değerleri belirlenir ve ardından bu değerlerden en küçüğü en iyi alternatif olarak seçilir. Alternatiflerin nihai sıralaması, maksimum uzaklık değerlerini artan sırada sıralamasıyla elde edilir. Alternatiflerin performansları hem fayda hem de faydasız (maliyet) kriterler açısından çarpımsal bir formülle (*Tam Çarpım Yaklaşımı*) değerlendirilir.

Multi-MOORA yöntemi, birden fazla MOORA yaklaşımının (Oran Sistemi, Referans Noktası Yaklaşımı ve Tam Çarpımsal Form) bir arada kullanılarak daha sağlam bir karar mekanizması oluşturulduğu durumlardır. Bu durumda farklı yaklaşımlardan elde edilen üç sıralamadan tek bir nihai sıralamaya ulaşmayı hedefler ve sıralamalar genellikle bir baskınlık teorisine dayanır.

4.4 ENTROPİ Yöntemi

Günümüzde başta fizik bilimi olmak üzere matematik ve mühendislik bilimlerinde yaygın olarak kullanılan Entropi kavramı Shannon (1948) tarafından enformasyon teorisine uyarlanmıştır. Entropi yöntemi mevcut verinin sağladığı faydalı bilginin miktarını ölçmede kullanılmaktadır (Wu-Sun vd., 2011). Geleneksel anket veya uzman görüşü gibi sübjektif yöntemler ile birlikte bu çalışmada Entropi Yöntemi ile toplanan verilere dayanarak kriterlerin (kaynağın debisi, kaynak türü, merkeze olan uzaklığı …) ağırlıklarını nesnel bir şekilde belirleyerek çalışmanın bulgularının güvenirliliğini artırması amaçlanmıştır. Entropi Yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır (Karami & Johansson, 2014; Wang & Lee, 2009, Li vd. 2011). Karar matrisinde birbirinden farklı indeks boyutlarının eş ölçülemezlik üzerindeki etkilerini yok etmek amacıyla indeksler çeşitli yöntemlerle standartlaştırılabilmektedir. Fayda ve maliyet indekslerine göre kriterler denklem (4.21) ve denklem (4.22) yardımıyla normalize edilir.

$$\text{rij} = \text{x}_{ij} / \max_{ij} \qquad (\text{i} = 1 \ldots, \text{m};\ \text{J} = 1, \ldots, \text{n}) \tag{4.21}$$

$$\text{rij} = \min_{ij} / \text{x}_{ij} \qquad (\text{i} = 1 \ldots, \text{m};\ \text{J} = 1, \ldots, \text{n}) \tag{4.22}$$

Farklı ölçü birimlerindeki aykırılıkları yok etmek için normalizasyon yapılarak P_{ij} hesaplanır. Üçüncü adımda E_j'nin entropisi denklem (4.24) yardımıyla hesaplanır. Dördüncü adımda d_j belirsizliği denklem (4.25) yardımıyla hesaplanır. *Son adımda,* denklem (26) yardımıyla j kriterinin önem derecesi w_j ağırlıkları hesaplanır.

$$Pij = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}} \; ; \; \forall j \tag{4.23}$$

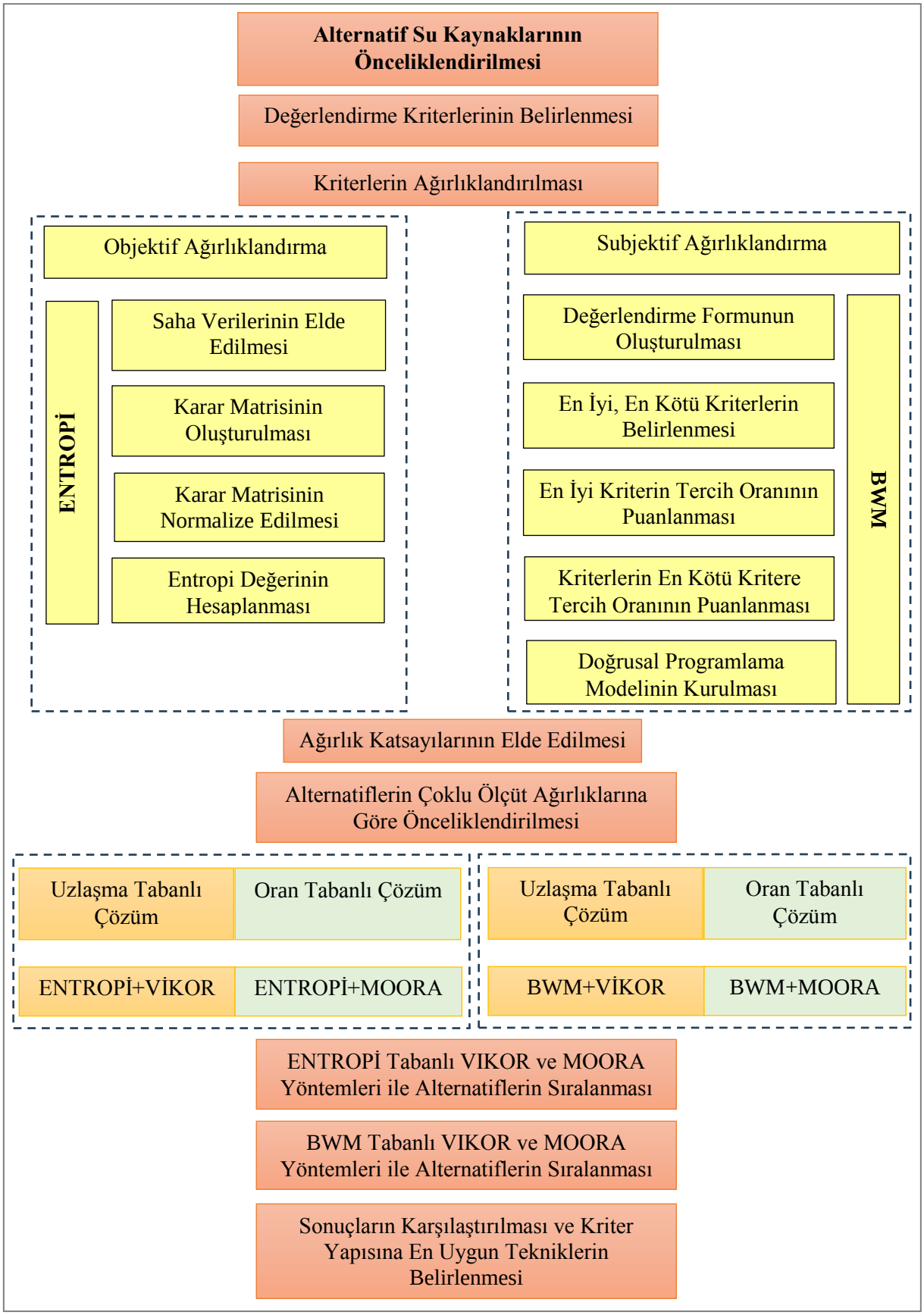
$$Ej = \; -k \sum_{i=1}^{m} [Pij ln Pij]; \; \forall j \tag{4.24}$$

$$\text{dj} \; = \; 1 - \; \text{Ej}; \; \forall j \tag{4.25}$$

$$\text{wj} \; = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j} ; \forall j \tag{4.26}$$

k; entropi katsayısı$((ln(n))^{-1})$, E_j; entropi değeri, i; alternatifler, j; kriterler, P_{ij}; normalize edilmiş değerler, a_{ij}; verilen fayda değerleridir.

Önceki bölümlerde detaylı bir şekilde sunulan yöntemler dikkate alınarak bu çalışmada izlenen yol Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Çalışmada izlenen yol.

5. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

5.1 Değerlendirme Kriterlerinin Entropi Yöntemi ile Ağırlıklandırılması

Sürdürebilirlik ve iklim değişikliği gibi önemli faktörleri göz önünde tutarak Malatya ili için en uygun alternatif su kaynaklarını belirlemeyi amaçlayan bu çalışmada, öncelikle Entropi yöntemi kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Yani, önceki bölümlerde tanımlanan kriterlerin alternatifler üzerine etkisi ise Entropi yöntemiyle belirlenmiştir. Daha sonra Malatya ili için belirlenen 22 su kaynağı alternatifleri VIKOR ve MOORA yöntemleri ile önceliklendirilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan su kaynağı alternatifleri (toplam 22 alternatif) ve karar verme kriterleri (toplam 14 kriter) Bölüm 3'te Çizelge 3.1'de detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Entropi yöntemiyle kriterler objektif olarak ağırlıklandırılmıştır. Çalışma kapsamında, "*Kaynak Debisi*" bilgileri DSİ verileri ve Çevre Şehircilik İl Müdürlüğü Malatya ili 2019 Yılı Çevre Durum Raporundan alınmıştır. "*Mevcut İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı*" ve "*Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı*" kaynakların debilerinin MASKİ 2018 Master Plan Raporlarından alınan değerlere olan oran hesaplanarak elde edilmiştir. Bu rapora göre mevcut ihtiyaç debisi 3100 l/s'dir. Yine aynı rapora göre 2050 yılında ihtiyaç debisi 4250 l/s olarak belirlenmiştir. Ancak; deprem hasarları, şehrin gelişmesi dikkate alındığında ortalama ihtiyaç debisi 4500 l/s olarak hesaplanmıştır. Çalışmada yer alan "*Merkeze Olan Uzaklık*" kaynakların Malatya il merkezine olan yakınlığı olarak hesaplanmıştır. "Arıtma Gereklilik Durumu" yeraltı ve yüzeysel su durumuna göre belirlenmiştir.

Aynı şekilde, *Kaynak Türüne Göre Kaynağın Elde Edilebilirliği Kriteri*, yeraltı ve yüzeysel sularına ulaşılma durumuna göre tanımlanmıştır. Diğer taraftan "*İletim Hattı Türü*" belirlenirken yeraltı ve yüzeysel sularına ulaşılma durumu ve kaynağın arazi kotuna bakılarak karar verilmiştir. Tabloda "*Kaynak Sürekliliği*" kriteri, kaynağın aylara göre debi sürekliliğine bakılarak değerlendirilmiştir. "*İlk Yatırım Maliyeti*" kaynağın biriktirme yapısı ihtiyacı, iletim hattı türü ve arıtma ihtiyaç duruma göre belirlenmiştir. "*İşletme ve Bakım Maliyeti*" kriteri ise biriktirme yapısı ihtiyacı, iletim hattı türü, arıtma ihtiyaç durumuna göre tanımlanmıştır. "*Biriktirme Yapısı İhtiyacı*" kriterini puanlarken kaynağın mevcutta

biriktirme yapısının var olma ve ihtiyaç durumuna göre değerlendirilmiştir. "*Afetten Etkilenme Riski*", Malatya ili Deprem Haritasına göre ilgili kaynağın faya uzaklığına göre karar verilmiştir. "*Kuraklığa Karşı Dirençlilik Seviyesi*" kriterinde ise kaynağın aylara göre debi sürekliliğine bakarak puanlandırma yapılmıştır. Son kriterimiz olan "*Proje Uygulanabilirlik Durumu*" ise iletim hattı türü, biriktirme yapısı ihtiyacı, kaynağın debisi vb. göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5.1'de araştırmadaki kriterlerden oluşan karar matrisi yer almaktadır.

Çizelge 5.1: Su kaynağı alternatifleri ve kriterlere göre oluşturulan entropi karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A1	0.45	0.15	0.10	89.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A2	7.09	2.29	1.58	20.0	1.0	5.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
A3	22.2	7.15	4.92	20.0	1.0	5.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
A4	8.50	2.74	1.89	10.0	1.0	5.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
A5	3.81	1.23	0.85	80.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	1.0
A6	16.69	5.38	3.71	104.6	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A7	15.1	4.86	3.35	118.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A8	13.8	4.45	3.06	84.0	1.0	5.0	5.0	1.0	3.0	3.0	1.0	1.0	3.0	3.0
A9	1.57	0.51	0.35	122.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0
A10	0.90	0.29	0.20	60.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A11	2.60	0.84	0.58	118.0	1.0	5.0	5.0	5.0	1.0	1.0	5.0	1.0	5.0	3.0
A12	0.02	0.01	0.00	118.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A13	0.57	0.18	0.13	50.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A14	6.26	2.02	1.39	20.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0
A15	7.51	2.42	1.67	66.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A16	0.82	0.26	0.18	111.0	1.0	5.	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A17	35.88	11.57	7.97	65.0	5.0	1.0	1.0	5.0	8.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0
A18	0.13	0.04	0.03	120.0	5.0	1.0	1.0	5.0	8.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0
A19	0.30	0.10	0.07	95.0	5.0	1.0	1.0	5.0	8.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0
A20	900	290.3	200.0	36.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	3.0
A21	0.46	0.15	0.10	90.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0
A22	10.45	3.37	3.62	10.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0
Maks.	900.0	290.3	200.0	122.0	5.0	5.0	5.0	5.0	8.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0
Min.	0.02	0.01	0.00	10.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Çizelge 5.1'de yer alan karar matrisinin ilgili sütunları için maksimum ve minimum değerleri yazılmıştır. Karar matrisinde yer alan kriterlerin değerleri yukarıda bahsedilen şekilde elde edilmiştir. Sonrasında her bir kriterin maksimum ve minimum değerleri belirlenerek ilgili sütunun altına veriler girilmiştir. Karar matrisini oluşturduktan sonra kriter değerlerini farklı birimlerden kurtarmak için normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalize edilmiş değerleri bulurken öncelikle *rij* değerleri elde edilir. Bunun için her bir sütunda bulunan kriter değerleri o sütunun altında yer alan maksimum değere oranlanarak bulunur. Bu işlemden sonra *Pij* değeri elde edilir. *Pij* değeri i. alternatifin j. kritere göre normalize edilmiş değerini ifade eder. Yani karar matrisindeki her bir kriter için elde edilen rij değerleri kendi sütunundaki tüm alternatiflerin toplam değerine oranlanarak bu işlem

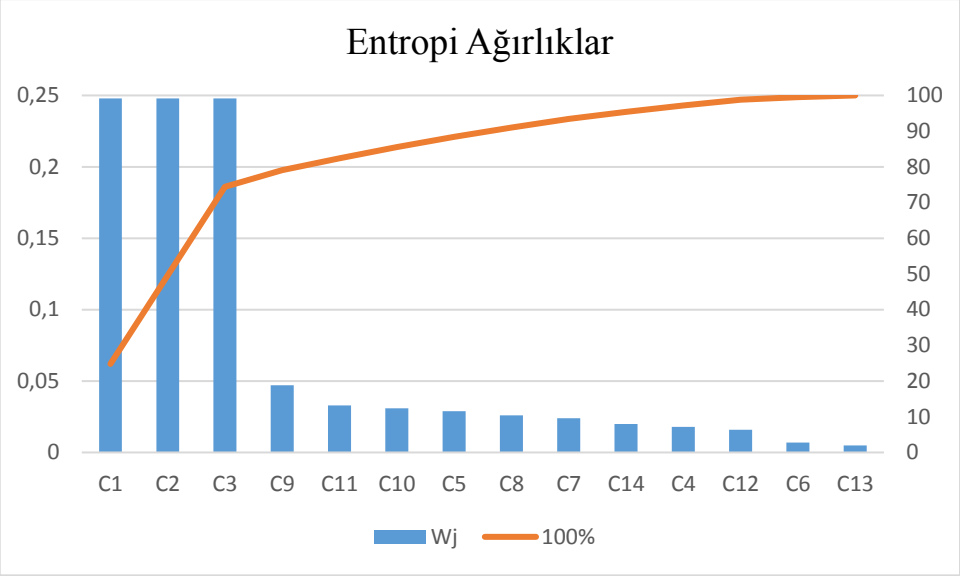
yapılmıştır. Çizelge 5.2'de yapılan bu işlemin sonucunda elde edilen normalize karar matrisi gösterilmiştir.

Çizelge 5.2: Normalize karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A1	0.0005	0.0005	0.0005	8.9	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A2	0.0079	0.0079	0.0079	2	0.2	1	1	1	0.87	1	1	1	1	0.6
A3	0.0246	0.0246	0.0246	2	0.2	1	1	1	0.87	1	1	1	1	0.6
A4	0.0095	0.0095	0.0095	1	0.2	1	1	1	0.87	1	1	1	1	0.6
A5	0.0042	0.0042	0.0042	8	0.2	1	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2	1	0.2	0.2
A6	0.0185	0.0185	0.0185	10.5	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A7	0.0167	0.016	0.016	11.8	0.2	1	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A8	0.0153	0.015	0.015	8.4	0.2	1	1	0.2	0.37	0.6	0.2	0.333	0.6	0.6
A9	0.0017	0.002	0.002	12.2	0.2	1	0.2	1	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.6
A10	0.0010	0.0010	0.0010	6	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A11	0.0029	0.0029	0.0029	11.8	0.2	1	1	1	0.12	0.2	1	0.333	1	0.6
A12	1.7278	1.727	1.727	11.8	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A13	0.0006	0.0006	0.0006	5	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A14	0.0069	0.007	0.007	2	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	1	0.6	0.2
A15	0.0083	0.008	0.008	6.6	0.2	1	0.2	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A16	0.0009	0.0009	0.0009	11.1	0.2	1	1	0.2	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.2
A17	0.0399	0.039	0.039	6.5	1	0.2	0.2	1	1	1	1	0.333	1	1
A18	0.00014	0.0001	0.0001	12	1	0.2	0.2	1	1	1	1	0.333	1	1
A19	0.0003	0.0003	0.0003	9.5	1	0.2	0.2	1	1	1	1	1	1	1
A20	1.00	1.00	1.00	3.6	0.2	1	0.2	1	0.12	0.2	0.2	0.333	1	0.6
A21	0.0005	0.0005	0.0005	9	0.2	1	0.2	1	0.12	0.2	0.2	0.333	0.6	0.6
A22	0.0116	0.0116	0.0116	1	0.2	1	0.2	1	0.12	0.2	0.2	1	0.6	0.2

Normalize edilmiş matris elde edikten sonra sabit bir katsayı olan *K değeri* $k=(\ln(n))^{-1}$ formülü ile hesaplanmıştır. Malatya ili alternatif su kaynakları için belirlenen alternatif sayısı (n=22) için $k=(\ln(22))^{-1}$ yardımıyla k= 0.3235 ve –k= -0.3235 olarak bulunmuştur.

Normalize karar matrisini elde ettikten sonra entropi değerlerini (*Ej*) her kriter için bulunan *Pij* değerlerini *ln(Pij)* ile çarptıktan sonra her bir sütuna toplam *ej* değerleri yazılır. Ardından; toplam *ej* değerleri ile –k katsayısı çarpılarak Ej değerleri elde edilir. *Dj* belirsizliği *1-Ej* formülü ile hesaplanarak ilgili sütunlara yazılmıştır. Yani hesaplanan her bir kriter için 1'den *Ej* değerlerini çıkararak *dj* elde edilmiştir. Entropi yönteminin son adımı olan *wj* ağırlıkları bulunurken her bir kriter için elde edilen *dj* değerlerini, tüm kriterlerin toplam *dj* değerine bölünür. Bu son işlemle de her kriterin karar üzerindeki göreceli önemini ifade eden *Wj* değerleri elde edilir. Entropi değerleri ve her bir kriterin ağırlıkları Şekil 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1: Entropi değerleri ve kriter ağırlıkları.

Entropi yöntemi ile çıkan sonuçlara göre C1, C2 ve C3 kriterleri yani kaynağın debisi, mevcut ihtiyaç debisini karşılama oranı, gelecekte ihtiyaç debisini karşılama oranı 0.248 eşit ağırlık kat sayıları ile en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Bu sonuca göre, seçeceğimiz su kaynağının debi değerleri yeterli değilse ya ek bir kaynak ya da ekstra maliyetler gerektirir. Kaynağın debisi kriteri için yüksek debiye sahip bir kaynak Malatya ili için su temini açısından daha güvenilir ve sürdürülebilirdir. Mevcut ihtiyaç debisini karşılama oranı da yine aynı şekilde projenin hayata geçtiği anda şehrin su ihtiyacının ne kadarını karşılayabileceğinin göstergesidir. Gelecekte su ihtiyacını karşılama durumu ise; uzun vadede kaynağın ne kadar su sağlayabileceği projenin sürdürebilirliği ve projenin rantabl olma durumunu doğrudan etkiler.

Malatya ilinin iklim koşulları, afetten etkilenme riski, kentleşme durumu göz önüne alındığında bir su temini projesi hazırlarken maliyet ve sürdürülebilirlik açısından gelecekte ihtiyaç debisini karşılama oranı büyük önem arz eder. Artan ihtiyacı karşılamak için 2040-2050 yılı nüfusu ve iklim değişiklikleri karşısında kuraklık senaryoları modellendiğinde uzun vadede sürdürülebilirlik önemlidir. Bu kriter sağlanmadığı takdirde proje için ilerleyen yıllarda ek kaynak arayışı ve ek maliyet durumu gibi önemli hususlar açığa çıkar. Özetle; C1, C2 ve C3 kriterleri uzun vadeli, sürdürülebilir ve güvenilir olan su kaynağının seçilmesinin daha fazla önem arz edeceğini belirtir.

Diğer taraftan 0.016, 0.007 ve 0.005 ağırlık değerleriyle C12, Afetten Etkilenme Riski, C6, Kaynak Türüne Göre Kaynağın Elde Edilebilirliği, C13 yani kuraklığa karşı dirençlilik seviyesi ise en önemsiz kriterler olarak belirlenmiştir. Buradan çıkan sonuçlara bakacak

olursak; afetten etkilenme riski kriteri için büyük doğal afetlerin çok sık görülmemesi ve zorunlu olarak zaten bir proje hazırlanırken bu riskleri en aza indiren mühendislik önlemlerinin alınması diyebiliriz. Kaynak türüne göre kaynağın elde edilebilirliği ise yeraltı veya yüzeysel suların fiziki olarak elde edilebilir olmasıdır. Kuraklığa karşı dirençlilik seviyesi ise en önemli kriterler olan C1, C2 ve C3 ün içerisinde kapsanmasından ayrı olarak ek bir bilgi katmaması olarak yorumlayabiliriz**.** En önemli ve en önemsiz kriterler arasında kalan kriterlere bakacak olursak; işletme maliyeti, arıtma gereklilik durumu vs. gibi maliyet, proje uygulanabilirliği gibi durumları kapsar.

5.2 Entropi Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması

VIKOR yöntemini uygularken Entropi yönteminde elde edilen karar matrisi (Çizelge 5.1) kullanılmıştır. Her bir kriter için en iyi (fi*) ve en kötü (fi-) değerler hesaplanmıştır. Daha sonra bu değerler yapılacak olan sıralama ve hesaplamalar için kullanılmıştır. Bu adımdan sonra *rij* (normalize edilmiş kriter değeri) her bir kriterin bulunduğu sütuna denk gelen maksimum değerden karar matrisinden o kritere ait değer çıkarılır. Bulunan sonuç; ilgili kritere ait maksimum değerden minimum değer çıkartılınca elde edilen sonuca oranlanır. Böylece *rij* değeri hesaplanmıştır. Ardından; "ağırlıklı normalize edilmiş değer" olan *vij* değerleri ise bulunan *rij* değerlerinin Entropi Yöntemi ile elde edilen ağırlıkların çarpılmasıyla bulunur.

VIKOR yönteminde kullanılan her alternatif için *grup faydasını* temsil eden *Sj* ve "bireysel pişmanlık değerini temsil eden *Rj* değerleri hesaplanmıştır. Burada *Sj* değeri alternatifim tüm *vij* değerlerinin toplanmasıyla elde edilir. *Rj* değeri ise alternatifin tüm *vij* değerlerinin maksimum alınarak elde edilir (*maks vij*). "Maksimum grup faydası" değerini ifade eden *Qj* değeri hesaplanırken; her bir kriterin *Sj* değerinden minimum *Sj* değeri çıkarılır**.** Maksimum *Sj* değerinden minimum *Sj* değeri çıkarılarak her iki değer oranlanıp v (konsensüs değeri) ile çarpılır. Aynı şekilde her bir kriterin *Rj* değerinden minimum *Rj* değeri çıkarılır; maksimum *Rj* ve minimum *Rj* değerinin farkına oranlanarak *(1-v)* değeri ile çarpılır. *Sj* ve *Rj* için yapılan hesaplama toplanarak *Qj* değeri elde edilir. Ayrıca; konsensüs değeri v= 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 alınarak bu hesaplamalar ayrı ayrı yapılmıştır. Burada v=0.25 değeri *Rj* parametresinin etkisinin *Sj* parametresinin etkisine göre daha fazla olduğunu belirtir. v=0.50 değeri uzlaşık çözümdür, *Sj* ve *Rj* arasında denge sağlar. v= 0.75 değeri *Sj* parametresinin etkisinin *Rj* parametresinin etkisine göre daha fazla olduğunu gösterir. Son olarak v=1 ise maksimum grup faydası olan *Sj* parametresinin tercihlerine en yakın olduğunu ifade eder. Çalışmada

tüm değerlerde hesaplamalar yaparak kararın tek bir noktaya sabitlenmesini önlemiş ve kararın sağlamlığı test edilmiştir. Çizelge 5.3'te ise v=0.25 değerine göre *Sj*, *Rj ve Qj* sıralama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.3: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.25)

Alternatif	Sj	Rj	Qj
A1	0.9358	0.2478	0.7427
A2	0.7824	0.2459	0.6885
A3	0.7700	0.2418	0.6741
A4	0.7828	0.2456	0.6876
A5	0.9449	0.2468	0.7434
A6	0.9199	0.2433	0.7264
A7	0.9428	0.2437	0.7350
A8	0.8863	0.2441	0.7175
A9	0.9173	0.2475	0.7360
A10	0.9400	0.2477	0.7438
A11	0.8581	0.2472	0.7161
A12	0.9315	0.2479	0.7416
A13	0.9419	0.2477	0.7446
A14	0.9261	0.2462	0.7356
A15	0.9573	0.2458	0.7449
A16	0.9320	0.2477	0.7412
A17	0.7519	0.2380	0.6588
A18	0.7727	0.2479	0.6901
A19	0.7607	0.2478	0.6861
A20	0.1860	0.0471	0.0000
A21	0.9233	0.2478	0.7387
A22	0.9205	0.2450	0.7309

Çizelge 5.3'e göre v=0.25 grup faydası değeri ile Qj=0.0000 değeriyle en iyi performans gösteren alternatif A20 iken en kötü performansı gösteren Qj=0.7449 ile A15 en kötü performansı göstermektedir. Çizelge 5.4'te v=0.50 değerine göre *Sj*, *Rj ve Qj* sıralama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.4: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.50).

Alternatif	Sj	Rj	Qj
A1	0.9358	0.2478	0.9857
A2	0.7824	0.2459	0.8818
A3	0.7700	0.2418	0.8634
A4	0.7828	0.2456	0.8811
A5	0.9449	0.2468	0.9894
A6	0.9199	0.2433	0.9643
A7	0.9428	0.2437	0.9803
A8	0.8863	0.2441	0.9445
A9	0.9173	0.2475	0.9730
A10	0.9400	0.2477	0.9882

Çizelge 5.4 (devam): VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.50).

Alternatif	Sj	Rj	Qj
A11	0.8581	0.2472	0.9339
A12	0.9315	0.2479	0.9833
A13	0.9419	0.2477	0.9896
A14	0.9261	0.2462	0.9755
A15	0.9573	0.2458	0.9949
A16	0.9320	0.2477	0.9830
A17	0.7519	0.2380	0.8422
A18	0.7727	0.2479	0.8802
A19	0.7607	0.2478	0.8723
A20	0.1860	0.0471	0.0000
A21	0.9233	0.2478	0.9777
A22	0.9205	0.2450	0.9690

Çizelge 5.4'e göre v=0.50 grup faydası değeri ile Qj=0.0000 değeriyle en iyi performans gösteren alternatif A20 iken en kötü performansı gösteren Qj=0.9949 ile A15 en kötü performansı göstermektedir. Çizelge 5.5'te v=0.75 değerine göre *Sj, Rj ve Qj* sıralama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.5: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.75).

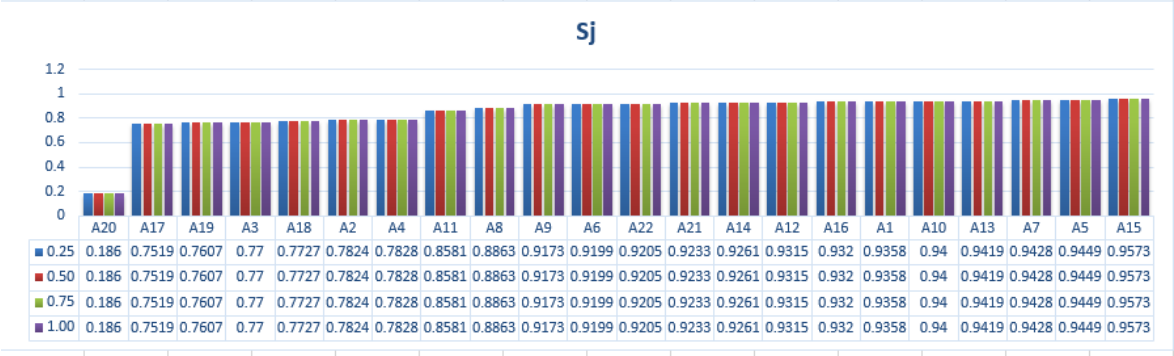
Alternatif	Sj	Rj	Qj
A1	0.9358	0.2478	1.2288
A2	0.7824	0.2459	1.0751
A3	0.7700	0.2418	1.0526
A4	0.7828	0.2456	1.0745
A5	0.9449	0.2468	1.2354
A6	0.9199	0.2433	1.2021
A7	0.9428	0.2437	1.2255
A8	0.8863	0.2441	1.1715
A9	0.9173	0.2475	1.2100
A10	0.9400	0.2477	1.2326
A11	0.8581	0.2472	1.1518
A12	0.9315	0.2479	1.2249
A13	0.9419	0.2477	1.2346
A14	0.9261	0.2462	1.2154
A15	0.9573	0.2458	1.2449
A16	0.9320	0.2477	1.2248
A17	0.7519	0.2380	1.0257
A18	0.7727	0.2479	1.0704
A19	0.7607	0.2478	1.0586
A20	0.1860	0.0471	0.0000
A21	0.9233	0.2478	1.2166
A22	0.9205	0.2450	1.2070

Çizelge 5.5'e göre v=0.75 grup faydası değeri ile Qj=0.0000 değeriyle en iyi performans gösteren alternatif A20 iken en kötü performansı gösteren Qj=1.2449 ile A15 en kötü performansı göstermektedir. Çizelge 5.6'da v=1 değerine göre *Sj, Rj ve Qj* sıralama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.6: VIKOR yönteminin uygulanması ile Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=1).

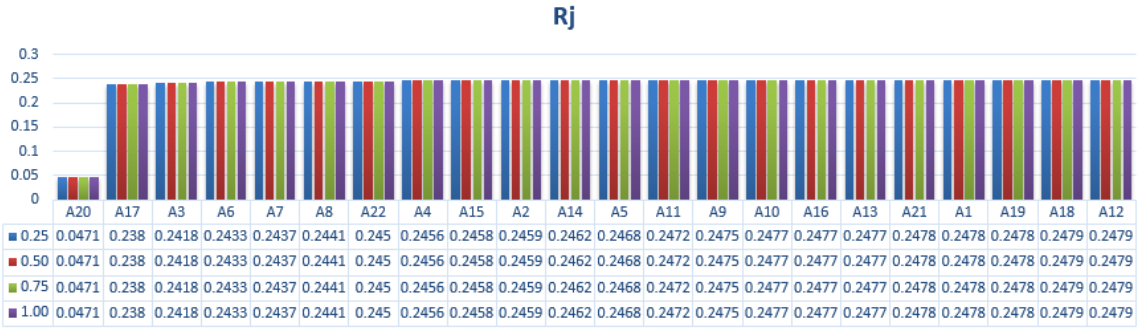
Alternatif	Sj	Rj	Qj
A1	0.9358	0.2478	1.4718
A2	0.7824	0.2459	1.2684
A3	0.7700	0.2418	1.2419
A4	0.7828	0.2456	1.2680
A5	0.9449	0.2468	1.4813
A6	0.9199	0.2433	1.4400
A7	0.9428	0.2437	1.4708
A8	0.8863	0.2441	1.3985
A9	0.9173	0.2475	1.4470
A10	0.9400	0.2477	1.4770
A11	0.8581	0.2472	1.3696
A12	0.9315	0.2479	1.4665
A13	0.9419	0.2477	1.4796
A14	0.9261	0.2462	1.4553
A15	0.9573	0.2458	1.4949
A16	0.9320	0.2477	1.4666
A17	0.7519	0.2380	1.2091
A18	0.7727	0.2479	1.2605
A19	0.7607	0.2478	1.2449
A20	0.1860	0.0471	0.0000
A21	0.9233	0.2478	1.4556
A22	0.9205	0.2450	1.4451

Çizelge 5.6'ya göre v=1 grup faydası değeri ile Qj=0.0000 değeriyle en iyi performans gösteren alternatif A20 iken en kötü performansı gösteren Qj=1.4949 ile A15 en kötü performansı göstermektedir. Bu sonuçlara baktığımızda her konsensüs değerinde en iyi performans gösteren A20'nin değişmemesi ve diğer alternatiflerin sıralamasının da genel olarak benzer kalması sonuçlarımızın kararlı ve güvenilir olduğunun göstergesidir. Şekil 5.2'de grup faydasını temsil eden Sj değerleri yer almaktadır. Şekil 5.2'de ki Sj değerlerine bakacak olursak; en küçük Sj değeri en yüksek genel faydayı temsil eder. Şekil 5.2'ye baktığımızda en küçük Sj değerinin A20 olduğu görülmektedir. Yani en yüksek performansı gösteren alternatif A20'dir. Şekil 5.3'te "bireysel pişmanlık parametresini temsil eden Rj değerleri yer almaktadır. Şekil 5.4'te farklı konsensüs değerlerine göre Oj değerleri gösterilmiştir.



	A20	A17	A19	A3	A18	A2	A4	A11	A8	A9	A6	A22	A21	A14	A12	A16	A1	A10	A13	A7	A5	A15
0.25	0.186	0.7519	0.7607	0.77	0.7727	0.7824	0.7828	0.8581	0.8863	0.9173	0.9199	0.9205	0.9233	0.9261	0.9315	0.932	0.9358	0.94	0.9419	0.9428	0.9449	0.9573
0.50	0.186	0.7519	0.7607	0.77	0.7727	0.7824	0.7828	0.8581	0.8863	0.9173	0.9199	0.9205	0.9233	0.9261	0.9315	0.932	0.9358	0.94	0.9419	0.9428	0.9449	0.9573
0.75	0.186	0.7519	0.7607	0.77	0.7727	0.7824	0.7828	0.8581	0.8863	0.9173	0.9199	0.9205	0.9233	0.9261	0.9315	0.932	0.9358	0.94	0.9419	0.9428	0.9449	0.9573
1.00	0.186	0.7519	0.7607	0.77	0.7727	0.7824	0.7828	0.8581	0.8863	0.9173	0.9199	0.9205	0.9233	0.9261	0.9315	0.932	0.9358	0.94	0.9419	0.9428	0.9449	0.9573

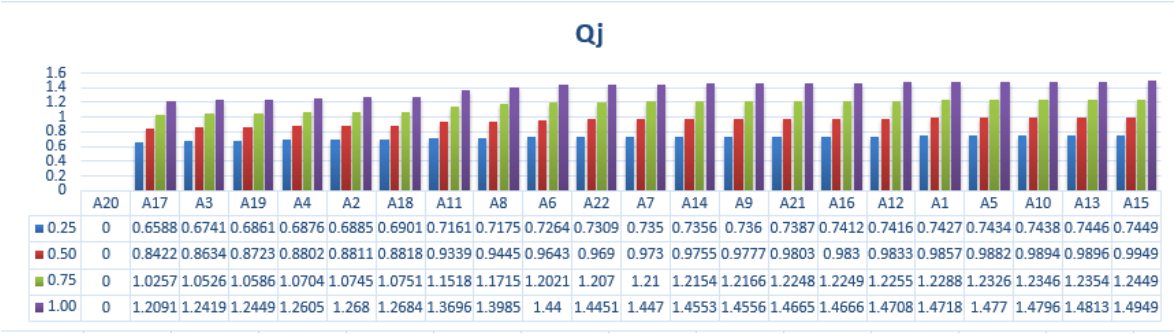
Şekil 5.2: Farklı v değerlerine göre Sj değişimi.



	A20	A17	A3	A6	A7	A8	A22	A4	A15	A2	A14	A5	A11	A9	A10	A16	A13	A21	A1	A19	A18	A12
0.25	0.0471	0.238	0.2418	0.2433	0.2437	0.2441	0.245	0.2456	0.2458	0.2459	0.2462	0.2468	0.2472	0.2475	0.2477	0.2477	0.2477	0.2478	0.2478	0.2478	0.2479	0.2479
0.50	0.0471	0.238	0.2418	0.2433	0.2437	0.2441	0.245	0.2456	0.2458	0.2459	0.2462	0.2468	0.2472	0.2475	0.2477	0.2477	0.2477	0.2478	0.2478	0.2478	0.2479	0.2479
0.75	0.0471	0.238	0.2418	0.2433	0.2437	0.2441	0.245	0.2456	0.2458	0.2459	0.2462	0.2468	0.2472	0.2475	0.2477	0.2477	0.2477	0.2478	0.2478	0.2478	0.2479	0.2479
1.00	0.0471	0.238	0.2418	0.2433	0.2437	0.2441	0.245	0.2456	0.2458	0.2459	0.2462	0.2468	0.2472	0.2475	0.2477	0.2477	0.2477	0.2478	0.2478	0.2478	0.2479	0.2479

Şekil 5.3: Farklı v değerlerine göre Rj değişimi.

En küçük Rj değeri en az pişmanlığı temsil eder. Şekil 5.3'te, en küçük Rj yani en düşük risk değerinin A20 olduğu görülmektedir. Her iki grafikte de A20 alternatifinin C1, C2 ve C3 kriterlerinin diğerlerine göre yüksek performans sergilediğini gösterir.



	A20	A17	A3	A19	A4	A2	A18	A11	A8	A6	A22	A7	A14	A9	A21	A16	A12	A1	A5	A10	A13	A15
0.25	0	0.6588	0.6741	0.6861	0.6876	0.6885	0.6901	0.7161	0.7175	0.7264	0.7309	0.735	0.7356	0.736	0.7387	0.7412	0.7416	0.7427	0.7434	0.7438	0.7446	0.7449
0.50	0	0.8422	0.8634	0.8723	0.8802	0.8811	0.8818	0.9339	0.9445	0.9643	0.969	0.973	0.9755	0.9777	0.9803	0.983	0.9833	0.9857	0.9882	0.9894	0.9896	0.9949
0.75	0	1.0257	1.0526	1.0586	1.0704	1.0745	1.0751	1.1518	1.1715	1.2021	1.207	1.21	1.2154	1.2166	1.2248	1.2249	1.2255	1.2288	1.2326	1.2346	1.2354	1.2449
1.00	0	1.2091	1.2419	1.2449	1.2605	1.268	1.2684	1.3696	1.3985	1.44	1.4451	1.447	1.4553	1.4556	1.4665	1.4666	1.4708	1.4718	1.477	1.4796	1.4813	1.4949

Şekil 5.4: Farklı v değerlerine göre Qj değişimi.

Tüm v değerleri için A20 alternatifinin Qj değeri 0.000 olarak görünmektedir. A20 alternatifinin tüm senaryolara göre en iyi uzlaşık çözüm olduğu görülmektedir.

5.3 Entropi Tabanlı MOORA Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması

MOORA yöntemini uygularken, Çizelge 5.1'de entropi yöntemi ile elde edilen karar matrisi kullanılmıştır. Karar matrisi oluşturulduktan sonra; farklı ölçü birimlerini karşılaştırabilmek

için normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işlemi yapılırken her bir elemanın ilgili sütundaki kareler toplamının kareköküne bölünmesi ile elde edilir. Çizelge 5.7'de normalize matris gösterilmektedir

Çizelge 5.7: MOORA normalize karar matrisi.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
0.001	0.001	0.001	0.230	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.008	0.008	0.008	0.052	0.103	0.228	0.284	0.295	0.367	0.379	0.363	0.340	0.280	0.239
0.025	0.025	0.025	0.052	0.103	0.228	0.284	0.295	0.367	0.379	0.363	0.340	0.280	0.239
0.009	0.009	0.009	0.026	0.103	0.228	0.284	0.295	0.367	0.379	0.363	0.340	0.280	0.239
0.004	0.004	0.004	0.206	0.103	0.228	0.056	0.059	0.053	0.076	0.073	0.340	0.056	0.080
0.019	0.019	0.019	0.270	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.017	0.017	0.017	0.305	0.103	0.228	0.057	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.015	0.015	0.015	0.217	0.103	0.228	0.284	0.059	0.158	0.227	0.073	0.113	0.168	0.239
0.002	0.002	0.002	0.315	0.103	0.228	0.057	0.295	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.239
0.001	0.001	0.001	0.155	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.003	0.003	0.003	0.305	0.103	0.228	0.284	0.295	0.053	0.076	0.363	0.113	0.280	0.239
0.000	0.000	0.000	0.305	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.001	0.001	0.001	0.129	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.007	0.007	0.007	0.052	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.340	0.168	0.080
0.008	0.008	0.008	0.170	0.103	0.228	0.057	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.001	0.001	0.001	0.286	0.103	0.228	0.284	0.059	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.080
0.040	0.040	0.040	0.168	0.516	0.045	0.057	0.295	0.420	0.379	0.363	0.113	0.280	0.398
0.000	0.000	0.000	0.310	0.516	0.045	0.057	0.295	0.420	0.379	0.363	0.113	0.280	0.398
0.000	0.000	0.000	0.245	0.516	0.045	0.057	0.295	0.420	0.379	0.363	0.340	0.280	0.398
0.998	0.998	0.998	0.093	0.103	0.228	0.057	0.295	0.053	0.076	0.073	0.113	0.280	0.239
0.001	0.001	0.001	0.232	0.103	0.228	0.057	0.295	0.053	0.076	0.073	0.113	0.168	0.239
0.012	0.012	0.012	0.026	0.103	0.228	0.057	0.295	0.053	0.076	0.073	0.340	0.168	0.080

Elde edilen normalize matristeki değerleri kriter ağırlıkları (wj) ile çarparak ağırlıklandırılmış normalize matris elde edilmiştir. Çizelge 5.8'de ağırlıklandırılmış normalize matris gösterilmektedir.

Çizelge 5.8: MOORA ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.007	0.008	0.017	0.012	0.012	0.005	0.002	0.005
0.006	0.006	0.006	0.001	0.003	0.002	0.007	0.008	0.017	0.012	0.012	0.005	0.002	0.005
0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.007	0.008	0.017	0.012	0.012	0.005	0.002	0.005
0.001	0.001	0.001	0.004	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.005	0.000	0.002
0.005	0.005	0.005	0.005	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.004	0.004	0.004	0.005	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.007	0.002	0.007	0.007	0.002	0.002	0.001	0.005
0.000	0.000	0.000	0.006	0.003	0.002	0.001	0.008	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.005
0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.001	0.001	0.001	0.005	0.003	0.002	0.007	0.008	0.003	0.002	0.012	0.002	0.002	0.005
0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002

Çizelge 5.8 (devam): MOORA ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.005	0.001	0.002
0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.002	0.007	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002
0.010	0.010	0.010	0.003	0.015	0.000	0.001	0.008	0.020	0.012	0.012	0.002	0.002	0.008
0.000	0.000	0.000	0.006	0.015	0.000	0.001	0.008	0.020	0.012	0.012	0.002	0.002	0.008
0.000	0.000	0.000	0.004	0.015	0.000	0.001	0.008	0.020	0.012	0.012	0.005	0.002	0.008
0.248	0.248	0.248	0.002	0.003	0.002	0.001	0.008	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005
0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.002	0.001	0.008	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.005
0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.002	0.001	0.008	0.003	0.002	0.002	0.005	0.001	0.002

Ardından her bir alternatif için alternatifin ağırlıklandırılmış normalize matriste yer alan satırdaki fayda kriterleri toplanarak nihai performans değeri (Yi) hesaplanmıştır. Hesaplanan Yi değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanmıştır. En yüksek Yi değerine sahip alternatif en iyi performansı gösteren alternatif olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.9'da Yi değerlerinin sıralaması gösterilmiştir.

Çizelge 5.9: MOORA yöntemi ile alternatiflerin sıralanması.

Alternatif	MOORA Ağırlıkları	MOORA
A1	0.0289	18
A2	0.0785	7
A3	0.0910	3
A4	0.0792	6
A5	0.0289	19
A6	0.0430	10
A7	0.0369	12
A8	0.0526	8
A9	0.0353	13
A10	0.0279	21
A11	0.0514	9
A12	0.0299	17
A13	0.0272	22
A14	0.0341	14
A15	0.0283	20
A16	0.0302	16
A17	0.1119	2
A18	0.0849	5
A19	0.0875	4
A20	0.7730	1
A21	0.0329	15
A22	0.0378	11

Bu sıralamaya bakacak olursak; en büyük değer 0.7730 ile A20 alternatifidir. A20 alternatifinin en yüksek performans gösteren, en uygun seçim olduğu görülmektedir. En kötü performansı gösteren alternatifin ise 0.0272 değeri ile A13 olduğu görülmektedir. Ağırlık değeri yüksek olan kriterlerden C1, C2 ve C3'ün bu alternatiflerin sıralamasında etkili olduğu görülmektedir.

5.4 Entropi Tabanlı VIKOR-MOORA Sıralama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 5.10'da entropi tabanlı VIKOR v=0.50 grup faydası değerine göre elde edilen ağırlıklar ve MOORA yöntemi ile alternatiflerin ağırlıkları ve sıralaması verilmiştir.

Çizelge 5.10: Alternatiflerin entropi tabanlı VIKOR v=0.50 grup faydası değerine göre elde edilen ağırlıklar ile MOORA yöntemleri ile karşılaştırılması.

Alternatif	VIKOR Ağırlıkları (v=0.5)	VIKOR (v=0.5)	MOORA Ağırlıkları	MOORA
A1	0.9857	18	0.0289	18
A2	0.8817	7	0.0785	7
A3	0.8633	3	0.0910	3
A4	0.8810	6	0.0792	6
A5	0.9893	20	0.0289	19
A6	0.9642	10	0.0430	10
A7	0.9802	15	0.0369	12
A8	0.9445	9	0.0526	8
A9	0.9729	12	0.0353	13
A10	0.9881	19	0.0279	21
A11	0.9339	8	0.0514	9
A12	0.9832	17	0.0299	17
A13	0.9896	21	0.0272	22
A14	0.9754	13	0.0341	14
A15	0.9948	22	0.0283	20
A16	0.9830	16	0.0302	16
A17	0.8422	2	0.1119	2
A18	0.8802	5	0.0849	5
A19	0.8723	4	0.0875	4
A20	0	1	0.7730	1
A21	0.9776	14	0.0329	15
A22	0.9689	11	0.0378	11

Çizelge 5.10'a bakarak sıralamayı değerlendirecek olursak; Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat kolu A20 alternatifi her iki yöntemde de diğer su kaynakları arasından en iyi performansı gösteren alternatif olarak birinci sırada yer almaktadır. En iyi performansı gösteren ikinci alternatif Takaz Kaynakları, üçüncü alternatif ise Tohma suyu-Çatalbahçe olarak sıralanmıştır. En kötü performansı gösteren alternatif ise VIKOR yöntemine göre Şiro çayı üzerinde Şilan Barajı (planlama) çıkarken bu alternatif MOORA yönteminde de yirminci sıralarda yer alarak diğer alternatiflere göre kötü bir performans sergilemektedir.

MOORA yöntemine göre en kötü alternatif ise Sürgü Çayı çıkmaktadır. Yine aynı alternatif VIKOR Yönteminde de son sıralarda yer almaktadır. Sıralama sonuçlarına göre VIKOR ve MOORA yöntemlerinde de büyük oranda aynı sıralamalar elde edilerek çalışmada yöntemler arası güvenilirlik sağlanmaktadır. Ayrıca çalışmada VIKOR yönteminde v=0.25, 0.50, 0.75 ve 1 değerleri alınarak ayrı ayrı hesaplamalar ve sıralamalar yapılmıştır. Bu sıralama ve sonuçlarda da sıralamalar benzer olarak elde edilmiştir. C1, C2 ve C3 kriterlerinde en iyi performansı sağlayan alternatifin A20 olduğu her iki yöntemde de görülmektedir.

5.5 Değerlendirme Kriterlerinin BWM Yöntemi ile Ağırlıklandırılması

Çalışmada, BWM yöntemine göre analiz için kriterlerin bulunduğu bir tablo oluşturulmuş ve alanında uzman olan 7 kişiden değerlendirme yapmaları istenmiştir. Oluşturulan değerlendirme formları kriterlerin 1 ile 9 arasında puanlandırılması, en iyi ve en kötü kriterlerin uzmanlar tarafından değerlendirilmesini içermektedir. Çizelge 5.11'de uzmanlara göre en iyi ve en kötü kriterlerin belirlendiği veriler gösterilmektedir. Çizelge 5.12'de uzmanların kriterlerin diğerlerine göre en iyi puanlandırması gösterilmektedir.

Çizelge 5.11: Uzmanlara göre en iyi ve en kötü kriterler.

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Uzman 6	Uzman 7
En İyi	C3	C3	C1	C1	C5	C1	C3
En Kötü	C11	C5	C11	C11	C4	C13	C7

Çizelge 5.12: Kriterlerin puanlandırılması (Diğerlerine göre en iyi).

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Uzman 6	Uzman 7
C1	2	2	1	1	2	1	4
C2	7	1	8	2	3	4	2
C3	1	1	8	1	4	2	1
C4	5	3	8	4	8	8	6
C5	2	3	8	2	1	2	5
C6	8	3	9	2	4	6	6
C7	3	3	5	8	7	8	9
C8	3	6	5	1	4	1	1
C9	4	3	9	3	4	6	5
C10	6	3	7	4	6	5	7
C11	9	3	9	9	5	3	8
C12	5	5	5	2	3	4	4
C13	4	5	8	2	3	9	3
C14	6	5	7	2	5	6	6

Diğerlerine göre en iyi puanlandırması yapılırken örneğin Uzman 1'e göre en iyi kriter C3 olup bu puanlama yapılırken mantık hatası olmaması adına C3 kriteri 1 olarak puanlandırılmıştır. Ardından C3 kriterinin diğer kriterlere göre kaç kat daha önemli olduğunu ifade eden puanlar verilmiştir. Örneğin; Uzman 1'in puanlamasına göre C3 kriteri C1 kriterine göre 2 kat daha önemlidir. Çizelge 5.13'te uzmanların, kriterlerin en kötüye göre diğerleri puanlandırılması gösterilmiştir.

Çizelge 5.13: Kriterlerin puanlandırılması (En kötüye göre diğerleri).

Kriterler	Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3	Uzman 4	Uzman 5	Uzman 6	Uzman 7
C1	8	5	9	9	8	9	5
C2	2	5	8	8	7	5	8
C3	9	6	7	9	6	7	9
C4	5	1	8	5	1	6	4
C5	8	1	9	8	8	9	4
C6	2	3	4	8	6	4	5
C7	7	1	5	2	6	6	1
C8	7	6	6	9	6	6	9
C9	6	3	5	7	5	5	5
C10	4	3	6	6	5	5	3
C11	1	3	1	1	6	7	2
C12	6	5	8	8	7	4	6
C13	6	6	8	8	7	1	7
C14	4	3	7	8	5	7	6

En kötüye göre diğerleri puanlandırılırken en kötü kriterin seçildiği hücre yine mantık hatası olmaması adına 1 olarak puanlandırılmıştır. Uzman görüşlerine göre belirledikleri en kötü kritere göre diğer kriterlerin kaç kat önemli olduğuna göre puanlama yapılmıştır. Örneğin; Uzman 1'e göre en kötü kriter C11 olup; C1 kriteri C11 kriterine göre 8 kat önemlidir. Çizelge 5.14'te ise uzmanların puanladıkları değerlendirme formları EXCEL ile çözülmüş olup her bir kriterin ağırlıkları ve bu ağırlıklara göre sıralaması gösterilmiştir.

Çizelge 5.14: BWM yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları ve sıralaması.

U1		**U2**		**U3**		**U4**		**U5**		**U6**		**U7**	
C3	0.1750	**C3**	0.1700	**C1**	0.2679	**C1**	0.1126	**C5**	0.1732	**C8**	0.1625	**C8**	0.1747
C1	0.1284	**C2**	0.1322	**C7**	0.0866	**C3**	0.1126	**C1**	0.1270	**C1**	0.1625	**C3**	0.1747
C5	0.1284	**C1**	0.1039	**C6**	0.0866	**C8**	0.1126	**C12**	0.0847	**C3**	0.1195	**C2**	0.1262
C7	0.0856	**C9**	0.0693	**C14**	0.0618	**C2**	0.0828	**C13**	0.0847	**C5**	0.1195	**C13**	0.0841
C8	0.0856	**C11**	0.0693	**C9**	0.0618	**C13**	0.0828	**C2**	0.0847	**C11**	0.0797	**C12**	0.0631
C13	0.0642	**C5**	0.0693	**C3**	0.0541	**C14**	0.0828	**C3**	0.0635	**C2**	0.0598	**C1**	0.0631
C9	0.0642	**C6**	0.0693	**C12**	0.0541	**C5**	0.0828	**C8**	0.0635	**C12**	0.0598	**C9**	0.0505
C12	0.0513	**C10**	0.0693	**C2**	0.0541	**C6**	0.0828	**C9**	0.0635	**C10**	0.0478	**C5**	0.0505

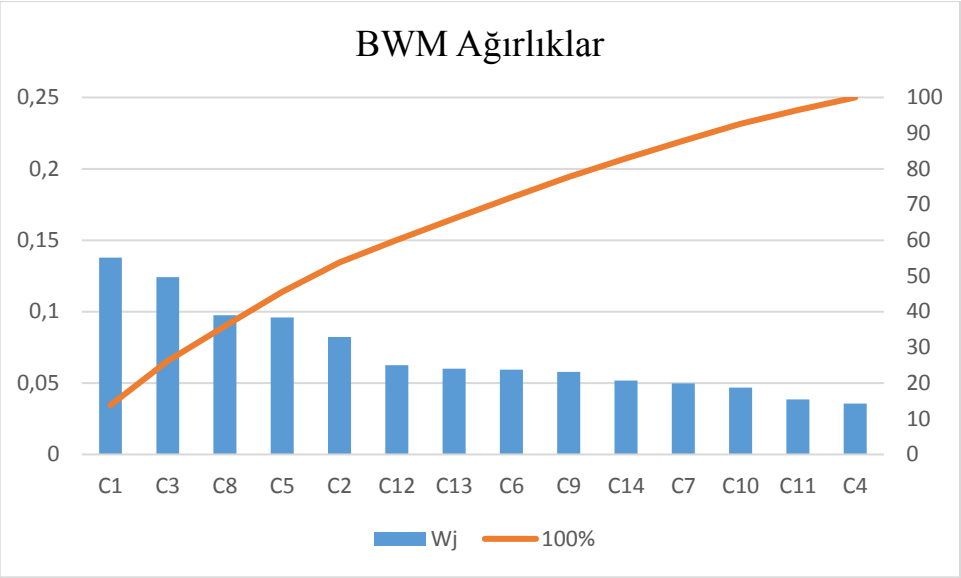
Çizelge 5.14 (devam): BWM yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları ve sıralaması.

U1		U2		U3		U4		U5		U6		U7	
C4	0.0513	**C7**	0.0693	**C13**	0.0541	**C12**	0.0828	**C6**	0.0635	**C9**	0.0398	**C6**	0.0421
C10	0.0428	**C13**	0.0416	**C4**	0.0541	**C9**	0.0552	**C14**	0.0508	**C6**	0.0398	**C14**	0.0421
C14	0.0428	**C12**	0.0416	**C5**	0.0481	**C4**	0.0414	**C11**	0.0508	**C14**	0.0398	**C4**	0.0421
C2	0.0367	**C14**	0.0416	**C10**	0.0481	**C10**	0.0414	**C10**	0.0423	**C4**	0.0299	**C10**	0.0361
C6	0.0321	**C8**	0.0346	**C8**	0.0481	**C7**	0.0207	**C7**	0.0363	**C7**	0.0299	**C11**	0.0315
C11	0.0117	**C4**	0.0189	**C11**	0.0206	**C11**	0.0066	**C4**	0.0115	**C13**	0.0096	**C7**	0.0194

Çizelge 5.14'ten çıkan sonuçlara bakacak olursak; uzmanlara göre en önemli kriterler C3, C1 ve C8 olarak öne çıkmaktadır. Yani daha çok yapacağımız bir su temini projesi için kaynağın debisi ve sürdürülebilirliği ön plana çıkmaktadır. En önemsiz kriterler ise uzman sonuçlarıda göre C11, C4 ve C7 gibi maliyet ve ekonomiklik durumu etkileyen faktörler çıkmaktadır. Çizelge 5.15'te ise her bir uzmanın puanlamalarına göre kriterlerin ağırlıkları ve bu ağırlıkların ortalaması yer almaktadır. Elde edilen ağırlık/oran grafiği ise Şekil 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.15: BWM yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları.

Kriterler	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	Ort.
C1	0.1284	0.1039	0.2679	0.1126	0.1270	0.1625	0.0631	0.1379
C2	0.0367	0.1322	0.0541	0.0828	0.0847	0.0598	0.1262	0.0823
C3	0.1750	0.1700	0.0541	0.1126	0.0635	0.1195	0.1747	0.1242
C4	0.0513	0.0189	0.0541	0.0414	0.0115	0.0299	0.0421	0.0356
C5	0.1284	0.0693	0.0481	0.0828	0.1732	0.1195	0.0505	0.0960
C6	0.0321	0.0693	0.0866	0.0828	0.0635	0.0398	0.0421	0.0594
C7	0.0856	0.0693	0.0866	0.0207	0.0363	0.0299	0.0194	0.0497
C8	0.0856	0.0346	0.0481	0.1126	0.0635	0.1625	0.1747	0.0974
C9	0.0642	0.0693	0.0618	0.0552	0.0635	0.0398	0.0505	0.0578
C10	0.0428	0.0693	0.0481	0.0414	0.0423	0.0478	0.0361	0.0468
C11	0.0117	0.0693	0.0206	0.0066	0.0508	0.0797	0.0315	0.0386
C12	0.0513	0.0416	0.0541	0.0828	0.0847	0.0598	0.0631	0.0625
C13	0.0642	0.0416	0.0541	0.0828	0.0847	0.0096	0.0841	0.0601
C14	0.0428	0.0416	0.0618	0.0828	0.0508	0.0398	0.0421	0.0517



Şekil 5.5: BWM değerleri ve kriter ağırlıkları.

BWM Yöntemi ile elde edilen sonuçlara bakacak olursak en önemli birinci kriter 0.1379 ağırlık değeri ile C1 kriteri yani "Kaynağın Debisi" olarak belirlenmiştir. Diğer kriterlere göre en önemsiz kriter ise 0.0356 ağırlık değeri ile C4 yani merkeze olan yakınlık olmuştur.

5.6 BWM Tabanlı VIKOR Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması

Çalışmada BWM yönteminde kullandığımız karar matrisi Çizelge 5.16'da gösterilmiştir. Elde edilen bu karar matrisi Entropi Yönteminde de kullandığımız karar matrisi ile aynıdır.

Çizelge 5.17'de ise BWM yöntemi için puanlama yapan yedi uzmana göre çözüm yapılmış ve ortalaması alınarak kriterlerin ağırlığı belirlenmiştir. Çizelge 5.17'ye göre en önemli kriter ağırlık değeri 0.1379 olan kaynağın debisidir. En önemsiz kriter ise 0.0356 ile kaynağın merkeze olan yakınlığı çıkmıştır. Bu sonuçları değerlendirdiğimizde kaynağın debisi projenin ileride verimli ve sürdürülebilir olması açısından diğer kriterlere göre daha önemlidir.

Çizelge 5.16: BWM yöntemi için kullanılan karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A1	0.45	0.15	0.10	89.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A2	7.09	2.29	1.58	20.0	1.0	5.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
A3	22.2	7.15	4.92	20.0	1.0	5.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
A4	8.50	2.74	1.89	10.0	1.0	5.0	5.0	5.0	7.0	5.0	5.0	3.0	5.0	3.0
A5	3.81	1.23	0.85	80.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	1.0
A6	16.7	5.38	3.71	104.6	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.	1.0	1.0	3.0	1.0
A7	15.1	4.86	3.35	118.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A8	13.8	4.45	3.06	84.0	1.0	5.0	5.0	1.0	3.0	3.0	1.0	1.0	3.0	3.0

Çizelge 5.16 (devam): BWM yöntemi için kullanılan karar matrisi.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
A9	1.57	0.51	0.35	122	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0
A10	0.90	0.29	0.20	60.0	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A11	2.60	0.84	0.58	118	1.0	5.0	5.0	5.0	1.0	1.0	5.0	1.0	5.0	3.0
A12	0.02	0.01	0.00	118	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A13	0.57	0.18	0.13	50	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A14	6.26	2.02	1.39	20	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0
A15	7.51	2.42	1.67	66	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A16	0.82	0.26	0.18	111	1.0	5.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0
A17	35.9	11.57	7.97	65	5.0	1.0	1.0	5.0	8.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0
A18	0.13	0.04	0.03	120	5.0	1.0	1.0	5.0	8.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0
A19	0.30	0.10	0.07	95.0	5.0	1.0	1.0	5.0	8.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0
A20	900	290.3	200	36.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.0	3.0
A21	0.46	0.15	0.1	90.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0
A22	10.45	3.37	3.62	10.0	1.0	5.0	1.0	5.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0

Çizelge 5.17: BWM yönteminde kriterlerin ortalama ağırlık değerleri.

Kriterler	Ortalama Ağırlıklar	Kriterler	Ortalama Ağırlıklar
C1	0.1379	C8	0.0974
C2	0.0823	C9	0.0578
C3	0.1242	C10	0.0468
C4	0.0356	C11	0.0386
C5	0.0960	C12	0.0625
C6	0.0594	C13	0.0601
C7	0.0497	C14	0.0517

BWM tabanlı VIKOR Yöntemi ile çözüm için EXCEL programından yararlanılmıştır. Öncelikle VIKOR Yöntemini uygularken Çizelge 5.16'da belirtilen karar matrisi ve Çizelge 5.17'de belirtilen BWM yöntemi ile elde edilen ağırlıklar kullanılmıştır. Her bir kriter için en iyi ve en kötü değerleri hesaplanmıştır. Fayda kriterleri için f_i^* ilgili sütunun maksimum değerine, f_i^- ise minimum değerine karşılık gelir. En iyi ve en kötü kriter değerleri hesaplandıktan sonra "grup faydasını" temsil eden Sj ve "bireysel pişmanlık parametresini temsil eden Rj değerleri hesaplanmıştır. Sj değeri alternatifin tüm vij değerlerinin toplanmasıyla elde edilir. Rj değeri; alternatifin tüm vij değerlerinin maksimum alınarak elde edilir. "Maksimum grup faydası" değerini ifade eden Qj hesaplanırken; her bir kriterin Sj değerinden minimum Sj değeri çıkarılır; maksimum Sj değerinden minimum Sj değeri çıkarılarak her iki değer oranlanıp v grup faydası değeri ile çarpılır. Aynı şekilde her bir kriterin Rj değerinden minimum Rj değeri çıkarılır; maksimum Rj ve minimum Rj değerinin farkına oranlanarak (1-v) değeri ile çarpılır. Sj ve Rj için yapılan hesaplama toplanarak Qj değeri elde edilir. Ayrıca bu hesaplamalarda farklı tercih senaryolarına göre uygun çözümü bulmak amacıyla v=0.25, 0.50, 0.75 ve 1 değerleri alınarak tek tek hesaplamalar yapılmıştır.

Bu farklı grup faydası değerleriyle yapılan hesaplama sonuçlarına göre alternatif dizilimlerinin benzer olarak çıkması durumunda yapılan çalışmanın tutarlı ve güvenilir olduğunu gösterir. Çizelge 5.18'de v=0.25 grup faydası değeri kullanılarak alternatiflerin Sj, Rj ve Qj değerlerinin sıralaması yer almaktadır.

Çizelge 5.18: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.25).

	Sj	**Rj**	**Qj**		**Sj**	**Rj**	**Qj**
A1	0.7999	0.1379	0.7212	A12	0.7909	0.1379	0.7174
A2	0.4686	0.1368	0.5385	A13	0.8123	0.1378	0.7274
A3	0.4629	0.1345	0.5080	A14	0.7572	0.1370	0.6886
A4	0.4713	0.1366	0.5373	A15	0.8542	0.1368	0.7363
A5	0.8188	0.1373	0.7248	A16	0.7928	0.1378	0.7169
A6	0.7888	0.1354	0.6858	A17	0.4849	0.1324	0.4943
A7	0.8348	0.1356	0.7125	A18	0.4811	0.1379	0.5576
A8	0.7307	0.1358	0.6612	A19	0.4265	0.1379	0.5292
A9	0.7155	0.1377	0.6757	A20	0.3688	0.0960	0.0000
A10	0.8090	0.1378	0.7251	A21	0.7261	0.1379	0.6832
A11	0.5980	0.1375	0.6133	A22	0.7110	0.1363	0.6572

Çizelge 5.18'e göre Qj=0.000 değeriyle en iyi performansı gösteren alternatif A20'dir. Ardından Qj=0.4943 değeriyle A17 ve Qj=0.5080 ile A3 bu sıralamayı takip etmektedir. En kötü performansı gösteren alternatifse Qj=0.7363 değeriyle A15 olmuştur. Çizelge 5.19'da v=0.50 grup faydası değeri kullanılarak alternatiflerin Sj, Rj ve Qj değerlerinin sıralaması yer almaktadır.

Çizelge 5.19: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.50).

	Sj	**Rj**	**Qj**		**Sj**	**Rj**	**Qj**
A1	0.7999	0.1379	0.9433	A12	0.7909	0.1379	0.9348
A2	0.4686	0.1368	0.5899	A13	0.8123	0.1378	0.9558
A3	0.4629	0.1345	0.5564	A14	0.7572	0.1370	0.8886
A4	0.4713	0.1366	0.5900	A15	0.8542	0.1368	0.9863
A5	0.8188	0.1373	0.9566	A16	0.7928	0.1378	0.9353
A6	0.7888	0.1354	0.9021	A17	0.4849	0.1324	0.5540
A7	0.8348	0.1356	0.9525	A18	0.4811	0.1379	0.6154
A8	0.7307	0.1358	0.8476	A19	0.4265	0.1379	0.5588
A9	0.7155	0.1377	0.8542	A20	0.3688	0.0960	0.0000
A10	0.8090	0.1378	0.9518	A21	0.7261	0.1379	0.8672
A11	0.5980	0.1375	0.7313	A22	0.7110	0.1363	0.8334

Çizelge 5.19'a göre Qj=0.000 değeriyle en iyi performansı gösteren alternatif A20'dir. Ardından Qj=0.4265 değeriyle A19 ve Qj=0.5564 ile A3 bu sıralamayı takip etmektedir. En kötü performansı gösteren alternatifse Qj=0.9863 değeriyle A15 olmuştur. Çizelge 5.20'ye v=0.75 grup faydası değeri kullanılarak alternatiflerin Sj, Rj ve Qj değerlerinin sıralaması yer almaktadır.

Çizelge 5.20: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=0.75).

	Sj	Rj	Qj		Sj	Rj	Qj
A1	0.7999	0.1379	1.4149	A12	0.7909	0.1379	1.4021
A2	0.4686	0.1368	0.8848	A13	0.8123	0.1378	1.4337
A3	0.4629	0.1345	0.8346	A14	0.7572	0.1370	1.3329
A4	0.4713	0.1366	0.8850	A15	0.8542	0.1368	1.4795
A5	0.8188	0.1373	1.4348	A16	0.7928	0.1378	1.4029
A6	0.7888	0.1354	1.3532	A17	0.4849	0.1324	0.8310
A7	0.8348	0.1356	1.4287	A18	0.4811	0.1379	0.9231
A8	0.7307	0.1358	1.2714	A19	0.4265	0.1379	0.8383
A9	0.7155	0.1377	1.2813	A20	0.3688	0.0960	0.0000
A10	0.8090	0.1378	1.4277	A21	0.7261	0.1379	1.3008
A11	0.5980	0.1375	1.0970	A22	0.7110	0.1363	1.2502

Çizelge 5.20'ye göre Qj=0.000 değeriyle en iyi performansı gösteren alternatif A20'dir. Ardından Qj=0.8383 değeriyle A19 ve Qj=0.8346 ile A3 bu sıralamayı takip etmektedir. En kötü performansı gösteren alternatifse Qj=1.4795 değeriyle A15 olmuştur. Çizelge 5.21'de v=1 grup faydası değeri kullanılarak alternatiflerin Sj, Rj ve Qj değerlerinin sıralaması yer almaktadır.

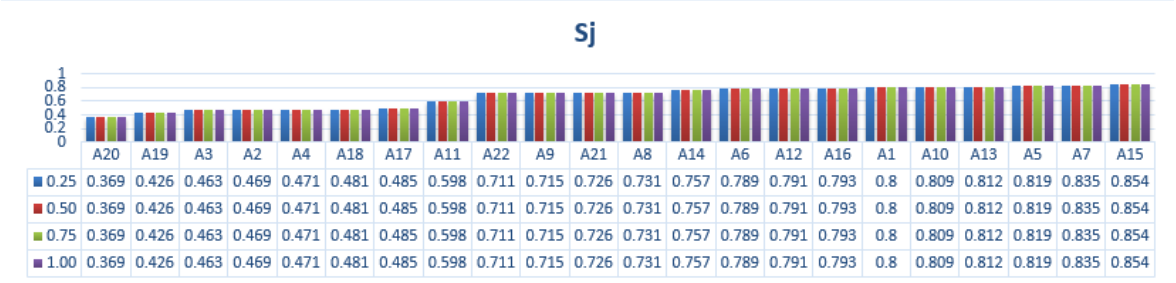
Çizelge 5.21: Sj, Rj ve Qj sıralama sonuçları (v=1).

	Sj	Rj	Qj		Sj	Rj	Qj
A1	0.7999	0.1379	1.8866	A12	0.7909	0.1379	1.8695
A2	0.4686	0.1368	1.1797	A13	0.8123	0.1378	1.9116
A3	0.4629	0.1345	1.1129	A14	0.7572	0.1370	1.7772
A4	0.4713	0.1366	1.1800	A15	0.8542	0.1368	1.9726
A5	0.8188	0.1373	1.9131	A16	0.7928	0.1378	1.8706
A6	0.7888	0.1354	1.8042	A17	0.4849	0.1324	1.1080
A7	0.8348	0.1356	1.9050	A18	0.4811	0.1379	1.2308
A8	0.7307	0.1358	1.6952	A19	0.4265	0.1379	1.1177
A9	0.7155	0.1377	1.7085	A20	0.3688	0.0960	0.0000
A10	0.8090	0.1378	1.9036	A21	0.7261	0.1379	1.7344
A11	0.5980	0.1375	1.4627	A22	0.7110	0.1363	1.6669

Çizelge 5.21'e e göre Qj=0.000 değeriyle en iyi performansı gösteren alternatif A20'dir. Ardından Qj=1.1177 değeriyle A19 ve Qj=1.1129 ile A3 bu sıralamayı takip etmektedir. En kötü performansı gösteren alternatifse Qj=1.9726 değeriyle A15 olmuştur. Bu sonuçlara bakacak olursak her bir farklı v grup faydası değeri için sonuçlar büyük oranda tutarlılık göstermiştir. En iyi performansı gösteren alternatifin Qj=0.000 değeri ile Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat kolu (A20), en kötü performansı gösteren alternatifin ise Şiro Çayı üzerinde Şilan Barajı (A15) olduğu sonucu elde edilmiştir.

VIKOR yöntemine göre iki koşulun sağlanması gerekir. Bunlardan ilki *"Kabul Edilebilir Avantaj Koşulu"* dur. Birinci sıradaki alternatif ile ikinci sıradaki alternatif arasındaki fark DQ kadar olmalıdır. İkinci koşul ise "Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu" dur. $A_{(1)}$ alternatifinin

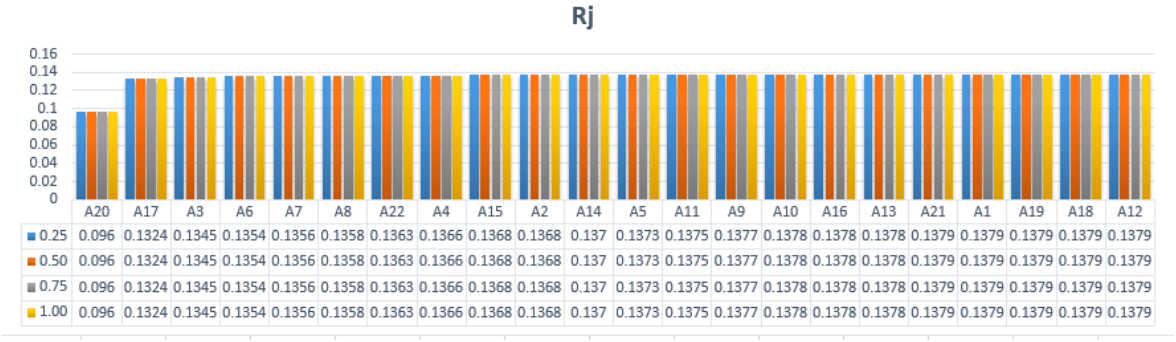
aynı zamanda S veya R sıralamalarında da en iyi sıralanmış olması gerekir. Çalışmada da bu koşullar DQ=0.0476 olarak hesaplanmış ve $Q(A_{(a'')}) - Q(A_{(a)}) \geq DQ$ değerleri bu aralıkta hesaplamıştır. Yine ikinci koşul olan *"Kabul Edilebilir İstikrar Koşulu"* da tüm sıralamalarda en önemli alternatifin aynı olması ve benzer sırlamalar olmasıyla sağlanmıştır. Elde edilen bu sonuçların Sj, Rj ve Qj değerleri grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 5.6'da Sj değerleri verilmiştir.



	A20	A19	A3	A2	A4	A18	A17	A11	A22	A9	A21	A8	A14	A6	A12	A16	A1	A10	A13	A5	A7	A15
0.25	0.369	0.426	0.463	0.469	0.471	0.481	0.485	0.598	0.711	0.715	0.726	0.731	0.757	0.789	0.791	0.793	0.8	0.809	0.812	0.819	0.835	0.854
0.50	0.369	0.426	0.463	0.469	0.471	0.481	0.485	0.598	0.711	0.715	0.726	0.731	0.757	0.789	0.791	0.793	0.8	0.809	0.812	0.819	0.835	0.854
0.75	0.369	0.426	0.463	0.469	0.471	0.481	0.485	0.598	0.711	0.715	0.726	0.731	0.757	0.789	0.791	0.793	0.8	0.809	0.812	0.819	0.835	0.854
1.00	0.369	0.426	0.463	0.469	0.471	0.481	0.485	0.598	0.711	0.715	0.726	0.731	0.757	0.789	0.791	0.793	0.8	0.809	0.812	0.819	0.835	0.854

Şekil 5.6: Farklı v değerlerine göre Sj değişimi.

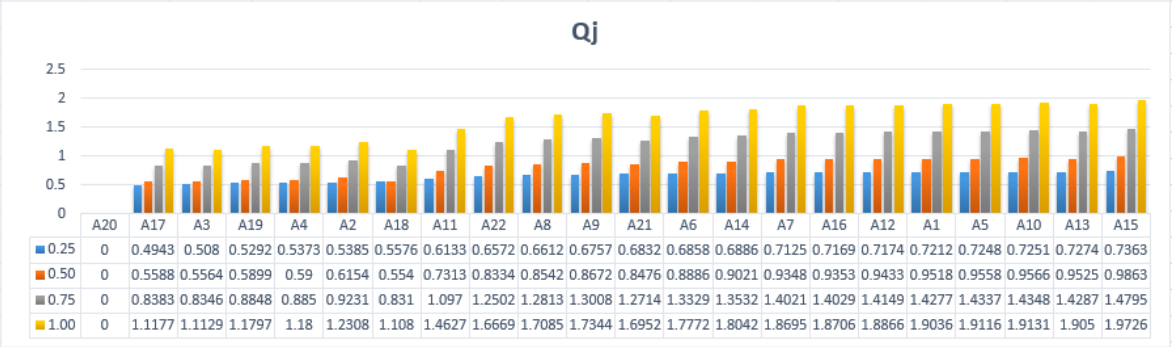
Şekil 5.6'da dört farklı grup faydası değerlerine göre yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Burada; A20 alternatifinin en düşük oranla en iyi faydayı sağlayan alternatif olduğu görülmektedir. A20 alternatifi tüm kriterler göz önüne alındığında C1, C2 ve C3 gibi yüksek ağırlıklı kriterlerde en iyi faydayı sağlayan çözümdür. Şekil 5.7'de Rj değerleri verilmiştir.



	A20	A17	A3	A6	A7	A8	A22	A4	A15	A2	A14	A5	A11	A9	A10	A16	A13	A21	A1	A19	A18	A12
0.25	0.096	0.1324	0.1345	0.1354	0.1356	0.1358	0.1363	0.1366	0.1368	0.1368	0.137	0.1373	0.1375	0.1377	0.1378	0.1378	0.1378	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379
0.50	0.096	0.1324	0.1345	0.1354	0.1356	0.1358	0.1363	0.1366	0.1368	0.1368	0.137	0.1373	0.1375	0.1377	0.1378	0.1378	0.1378	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379
0.75	0.096	0.1324	0.1345	0.1354	0.1356	0.1358	0.1363	0.1366	0.1368	0.1368	0.137	0.1373	0.1375	0.1377	0.1378	0.1378	0.1378	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379
1.00	0.096	0.1324	0.1345	0.1354	0.1356	0.1358	0.1363	0.1366	0.1368	0.1368	0.137	0.1373	0.1375	0.1377	0.1378	0.1378	0.1378	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379	0.1379

Şekil 5.7: Farklı v değerlerine göre Rj değişimi.

Şekil 5.7'de dört farklı grup faydası değerlerine göre yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Rj değeri küçükse en az riski taşır. Burada; A20 alternatifinin en düşük oranla en az riske sahip alternatif olduğu görülmektedir. Şekil 5.8'de Qj değerleri verilmiştir.



	A20	A17	A3	A19	A4	A2	A18	A11	A22	A8	A9	A21	A6	A14	A7	A16	A12	A1	A5	A10	A13	A15
0.25	0	0.4943	0.508	0.5292	0.5373	0.5385	0.5576	0.6133	0.6572	0.6612	0.6757	0.6832	0.6858	0.6886	0.7125	0.7169	0.7174	0.7212	0.7248	0.7251	0.7274	0.7363
0.50	0	0.5588	0.5564	0.5899	0.59	0.6154	0.554	0.7313	0.8334	0.8542	0.8672	0.8476	0.8886	0.9021	0.9348	0.9353	0.9433	0.9518	0.9558	0.9566	0.9525	0.9863
0.75	0	0.8383	0.8346	0.8848	0.885	0.9231	0.831	1.097	1.2502	1.2813	1.3008	1.2714	1.3329	1.3532	1.4021	1.4029	1.4149	1.4277	1.4337	1.4348	1.4287	1.4795
1.00	0	1.1177	1.1129	1.1797	1.18	1.2308	1.108	1.4627	1.6669	1.7085	1.7344	1.6952	1.7772	1.8042	1.8695	1.8706	1.8866	1.9036	1.9116	1.9131	1.905	1.9726

Şekil 5.8: Farklı v değerlerine göre Qj değişimi.

Şekil 5.8'de Sj ve Rj değerlerini farklı grup faydası değerleri senaryolarıyla hesaplanan Qj değerleri verilmiştir. Qj değeri 0.000 ile A20 alternatifi tüm senaryolara göre mutlak uzlaşık çözümdür.

5.7 BWM Tabanlı MOORA Yöntemi ile Alternatif Su Kaynaklarının Sıralanması

Çalışmada BWM tabanlı MOORA Yöntemi ile alternatifleri sıralarken yine Çizelge 5.16'da gösterilen karar matrisi ve Çizelge 5.17'de verilen BWM yöntemi ile belirlenen ağırlıklar ortalaması kullanılmıştır. Çizelge 5.22'de elde edilen normalize karar matrisi verilmiştir.

Çizelge 5.22: MOORA yöntemi ile elde edilen normalize matrisi.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
0,001	0,001	0,001	0,23	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,01	0,01	0,01	0,05	0,10	0,23	0,28	0,30	0,37	0,38	0,36	0,34	0,28	0,24
0,02	0,02	0,02	0,05	0,10	0,23	0,28	0,30	0,37	0,38	0,36	0,34	0,28	0,24
0,01	0,01	0,01	0,03	0,10	0,23	0,28	0,30	0,37	0,38	0,36	0,34	0,28	0,24
0,00	0,00	0,00	0,21	0,10	0,23	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,34	0,06	0,08
0,02	0,02	0,02	0,27	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,02	0,02	0,02	0,30	0,10	0,23	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,02	0,02	0,02	0,22	0,10	0,23	0,28	0,06	0,16	0,23	0,07	0,11	0,17	0,24
0,00	0,00	0,00	0,31	0,10	0,23	0,06	0,30	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,24
0,00	0,00	0,00	0,15	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,00	0,00	0,00	0,30	0,10	0,23	0,28	0,30	0,05	0,08	0,36	0,11	0,28	0,24
0,00	0,00	0,00	0,30	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,00	0,00	0,00	0,13	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,01	0,01	0,01	0,05	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,34	0,17	0,08
0,01	0,01	0,01	0,17	0,10	0,23	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,00	0,00	0,00	0,29	0,10	0,23	0,28	0,06	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,08
0,04	0,04	0,04	0,17	0,52	0,05	0,06	0,30	0,42	0,38	0,36	0,11	0,28	0,40
0,00	0,00	0,00	0,31	0,52	0,05	0,06	0,30	0,42	0,38	0,36	0,11	0,28	0,40
0,00	0,00	0,00	0,25	0,52	0,05	0,06	0,30	0,42	0,38	0,36	0,34	0,28	0,40
1,00	1,00	1,00	0,09	0,10	0,23	0,06	0,30	0,05	0,08	0,07	0,11	0,28	0,24
0,00	0,00	0,00	0,23	0,10	0,23	0,06	0,30	0,05	0,08	0,07	0,11	0,17	0,24
0,01	0,01	0,01	0,03	0,10	0,23	0,06	0,30	0,05	0,08	0,07	0,34	0,17	0,08

Çizelge 5.22'yi oluştururken farklı ölçü birimlerine sahip kriterleri karşılaştırılabilir duruma getirmek için normalize işlemi uygulanmıştır. Normalize işlemi; her elemanın ilgili

sütundaki kareler toplamının kareköküne bölünmesiyle elde edilir. Çizelge 5.23'te elde edilen ağırlıklandırılmış normalize matris verilmiştir.

Çizelge 5.23: Ağırlıklandırılmış normalize matrisi.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
0,0001	0,0001	0,0001	0,008	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,001	0,001	0,001	0,002	0,010	0,014	0,014	0,029	0,021	0,018	0,014	0,021	0,017	0,012
0,003	0,002	0,003	0,002	0,010	0,014	0,014	0,029	0,021	0,018	0,014	0,021	0,017	0,012
0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,014	0,014	0,029	0,021	0,018	0,014	0,021	0,017	0,012
0,001	0,000	0,001	0,007	0,010	0,014	0,003	0,006	0,003	0,004	0,003	0,021	0,003	0,004
0,003	0,002	0,002	0,010	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,002	0,001	0,002	0,011	0,010	0,014	0,003	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,002	0,001	0,002	0,008	0,010	0,014	0,014	0,006	0,009	0,011	0,003	0,007	0,010	0,012
0,000	0,000	0,000	0,011	0,010	0,014	0,003	0,029	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,012
0,000	0,000	0,000	0,006	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,000	0,000	0,000	0,011	0,010	0,014	0,014	0,029	0,003	0,004	0,014	0,007	0,017	0,012
0,000	0,000	0,000	0,011	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,000	0,000	0,000	0,005	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,001	0,001	0,001	0,002	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,021	0,010	0,004
0,001	0,001	0,001	0,006	0,010	0,014	0,003	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,014	0,014	0,006	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,004
0,006	0,003	0,005	0,006	0,050	0,003	0,003	0,029	0,024	0,018	0,014	0,007	0,017	0,021
0,000	0,000	0,000	0,011	0,050	0,003	0,003	0,029	0,024	0,018	0,014	0,007	0,017	0,021
0,000	0,000	0,000	0,009	0,050	0,003	0,003	0,029	0,024	0,018	0,014	0,021	0,017	0,021
0,138	0,082	0,124	0,003	0,010	0,014	0,003	0,029	0,003	0,004	0,003	0,007	0,017	0,012
0,000	0,000	0,000	0,008	0,010	0,014	0,003	0,029	0,003	0,004	0,003	0,007	0,010	0,012
0,002	0,001	0,001	0,001	0,010	0,014	0,003	0,029	0,003	0,004	0,003	0,021	0,010	0,004

Normalize edilen karar matrisi kriter ağırlıkları ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilmiştir. Ardından; her alternatif için nihai performans değeri Yi hesaplanır. Bu hesaplama yapılırken fayda kriterleri toplanır, faydasız kriterler çıkarılarak Yi değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 5.24'te ise MOORA Yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.24: MOORA yöntemi ile alternatiflerin sıralanması.

Wi	Alternatifler	Sıralama
0.4479	A20	1
0.2073	A19	2
0.2040	A17	3
0.1954	A18	4
0.1801	A3	5
0.1743	A2	6
0.1739	A4	7
0.1351	A11	8
0.1084	A8	9
0.1058	A9	10
0.1048	A22	11
0.1025	A21	12
0.0924	A14	13

Çizelge 5.24 (devam): MOORA yöntemi ile alternatiflerin sıralanması.

Wi	Alternatifler	Sıralama
0.0900	A6	14
0.0849	A12	15
0.0845	A16	16
0.0824	A1	17
0.0799	A10	18
0.0794	A7	19
0.0790	A5	20
0.0788	A13	21
0.0717	A15	22

Hesaplanan Yi değerleri ise büyükten küçüğe doğru sıralanarak en iyi performans gösteren alternatif belirlenmiştir. Bu sıralamaya göre Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat kolu (A20), en kötü performansı gösteren alternatifin ise Şiro Çayı üzerinde Şilan Barajı (A15) olduğu sonucu elde edilmiştir. VIKOR yönteminde de olduğu gibi sıralamalar büyük oranda benzer çıkmıştır. Her iki yöntemde ağırlık kat sayısı yüksek olan kriterleri en iyi olarak sağlayan alternatif ilk sırada yer almaktadır.

5.8 BWM Tabanlı VIKOR-MOORA Sıralama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çizelge 5.25'te çalışmada BWM yöntemiyle ağırlıkları elde edilerek, VIKOR yöntemi kullanılarak yapılan ağırlık değerleri ve sıralama yer almaktadır.

Çizelge 5.25: VIKOR ağırlıkları ve sıralaması.

v=0.25	sıralama	v=0.50	sıralama	v=0.75	sıralama	v=1	sıralama
A20	0.0000	A20	0.0000	A20	0.0000	A20	0.0000
A17	0.4943	A19	0.5588	A19	0.8383	A19	1.1177
A3	0.5080	A3	0.5564	A3	0.8346	A3	1.1129
A19	0.5292	A2	0.5899	A2	0.8848	A2	1.1797
A4	0.5373	A4	0.5900	A4	0.8850	A4	1.1800
A2	0.5385	A18	0.6154	A18	0.9231	A18	1.2308
A18	0.5576	A17	0.5540	A17	0.8310	A17	1.1080
A11	0.6133	A11	0.7313	A11	1.0970	A11	1.4627
A22	0.6572	A22	0.8334	A22	1.2502	A22	1.6669
A8	0.6612	A9	0.8542	A9	1.2813	A9	1.7085
A9	0.6757	A21	0.8672	A21	1.3008	A21	1.7344
A21	0.6832	A8	0.8476	A8	1.2714	A8	1.6952
A6	0.6858	A14	0.8886	A14	1.3329	A14	1.7772
A14	0.6886	A6	0.9021	A6	1.3532	A6	1.8042
A7	0.7125	A12	0.9348	A12	1.4021	A12	1.8695
A16	0.7169	A16	0.9353	A16	1.4029	A16	1.8706
A12	0.7174	A1	0.9433	A1	1.4149	A1	1.8866
A1	0.7212	A10	0.9518	A10	1.4277	A10	1.9036
A5	0.7248	A13	0.9558	A13	1.4337	A13	1.9116
A10	0.7251	A5	0.9566	A5	1.4348	A5	1.9131
A13	0.7274	A7	0.9525	A7	1.4287	A7	1.9050
A15	0.7363	A15	0.9863	A15	1.4795	A15	1.9726

Çizelge 5.25'teki sonuçlara bakacak olursak; A20 değeri tüm grup faydalarında Qj=0.000 olarak elde edilerek birinci sırada yer almaktadır. Malatya ili alternatif su kaynakları arasında en iyi uzlaşık çözümü A20 alternatifi sağlamaktadır. A20'nin sonrasında A17, A19, A3 alternatifleri bu sıralamayı takip etmektedir. A15 ise her fayda değeri için son sırada yer almaktadır. Çizelge 5.26'da BWM yöntemi ile ağırlıkları kullanarak MOORA yöntemi ile sıralayarak elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Çizelge 5.26: MOORA ağırlıkları ve sıralaması.

Wi	Alternatifler	Sıralama
0.4479	A20	1
0.2073	A19	2
0.2040	A17	3
0.1954	A18	4
0.1801	A3	5
0.1743	A2	6
0.1739	A4	7
0.1351	A11	8
0.1084	A8	9
0.1058	A9	10
0.1048	A22	11
0.1025	A21	12
0.0924	A14	13
0.0900	A6	14
0.0849	A12	15
0.0845	A16	16
0.0824	A1	17

Çizelge 5.26 (devam): MOORA ağırlıkları ve sıralaması.

Wi	Alternatifler	Sıralama
0.0799	A10	18
0.0794	A7	19
0.0790	A5	20
0.0788	A13	21
0.0717	A15	22

MOORA yönteminde elde edilen Yi değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. En büyük Yi değerine 0.4479 ile A20 alternatifi sahip ve birinci sırada yer almaktadır. A20'yi takiben A19 ve A17 alternatfileri yer almaktadır. Kriterlerin en az sağlayan en kötü alternatif ise 0.0717 ile A15 alternatifidir. Çizelge 5.25ve 5.26'dan hareketle BWM tabanlı VIKOR ve MOORA yöntemlerine göre yapılan tüm sıralamalarda kriterleri en iyi sağlayan alternatifin A20 yani Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat kolu olduğu sonucu çıkmıştır. Şiro Çayı üzerinde yapılması planlanan Şilan Barajı'nın ise kriterleri en az sağlayan en kötü alternatif olduğu görülmektedir.

5.9 Entropi ve BWM Ağırlıklandırma Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Yöntem Farklılığının Alternatif Sıralamada Etkinliğinin Gösterilmesi

Çizelge 5.27'de Entropi ve BWM Yöntemleriyle elde edilen ağırlıklar ile VIKOR ve MOORA Yöntemlerine göre alternatiflerin karşılaştırmalı sıralaması verilmektedir.

Çizelge 5.27: Entropi ve BWM tabanlı MOORA ve VIKOR yöntemlerine göre alternatiflerin sıralaması.

	ENTROPİ		**BWM**	
Alternatifler	VIKOR (v=0.50)	MOORA	VIKOR (v=0.50)	MOORA
A1	18	18	17	17
A2	7	7	5	6
A3	3	3	3	5
A4	6	6	6	7
A5	20	19	21	20
A6	10	10	14	14
A7	15	12	19	19
A8	9	8	10	9
A9	12	13	11	10
A10	19	21	18	18
A11	8	9	8	8
A12	17	17	15	15
A13	21	22	20	21
A14	13	14	13	13
A15	22	20	22	22
A16	16	16	16	16

Çizelge 5.27 (devam): Entropi ve BWM tabanlı MOORA ve VIKOR yöntemlerine göre alternatiflerin sıralaması.

	ENTROPİ		BWM	
Alternatifler	VIKOR (v=0.50)	MOORA	VIKOR (v=0.50)	MOORA
A17	2	2	2	3
A18	5	5	7	4
A19	4	4	4	2
A20	1	1	1	1
A21	14	15	12	12
A22	11	11	9	11

Yukarıdaki çizelgeye (5.27) göre sonuçlara bakacak olursak, hem BWM hem Entropi tabanlı ağırlık hesaplamaları sonucunda elde edilen sıralamada A20 alternatifi en iyi performansı sergileyen alternatif olmuştur. A15 ise büyük çoğunlukla son sırada olarak yerini alarak en kötü performansı sergileyen alternatif olarak yerini almıştır. Tabloda sıralamaların kıyasına bakacak olursak en iyi performansı sergileyen ilk beş alternatifin A20, A17, A3 ve A19 olduğu görülmüştür. Her iki yöntem ve farklı ağırlık hesaplamalarıyla da elde edilen en iyi ve en kötü performansı sağlayan kriterlerin aynı olması ve genel olarak benzer sıralamalar elde edilmesi ile sonucun bilimsel olarak tutarlı olduğu görülmektedir. Yine en iyi performansı sağlayan alternatifler ağırlıkları yüksek olan kriterleri de büyük oranda sağlayarak bu sonuçlar ortaya çıkmıştır.

6. SONUÇLAR

Çalışmada Malatya ilinin artan su ihtiyacına çözümler bulmak amacıyla 22 alternatif su kaynağı belirlenmiştir. Bu amaçla toplam 22 adet alternatif su kaynağı belirlenirken bu kaynakların verilerinin ulaşılabilir ve uygulanabilir olmasına dikkat edilmiştir. Öncelikle bu alternatifleri sıralayacağımız kriterler Malatya ilinin iklimsel ve nüfus özellikleri, literatür taramasına göre belirlenmiştir. Her bir alternatif için belirlediğimiz bu kriterler için karar matrisi oluşturulmuştur. Entropi ve BWM gibi iki farklı kriter ağırlıklandırma yöntemi uygulanarak kriterler ağırlıklandırılmıştır. Entropi yöntemiyle objektif veriye dayalı olarak kriterlerin ağırlığı belirlenmiştir.

Entropi Yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre, 0.248 eşit ağırlık değerleriyle C1, C2 ve C3 kriterleri en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. C1, Kaynağın Debisi, C2, Mevcut İhtiyaç Debisini Karşılama Oranı ve C3 Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranını ifade etmektedir. 0.047 ağırlık değeri ile İlk Yatırım Maliyeti (C9) kriteri ikinci sırada, Biriktirme Yapısı İhtiyacı (C11) kriteri üçüncü sırada yer almaktadır. Çıkan sonuçlar toplam kriter öneminin C1, C2 ve C3 olduğunu göstermektedir. Bu durum eğer bir su temini projesi yapılacak ise kaynağın yeterli ve sürdürülebilir olmasının en önemli kriter olduğunu gösterir.

BWM Yöntemiyle 7 farklı uzman değerlendirme formlarını doldurarak en iyi ve en kötü kriterleri belirlemiş ve bu yöntemde kullanılan ölçeğe göre puanlandırma yapmıştır. Uzmanlara göre en iyi kriter çoğunluk olarak C3 ve C1 olurken en önemsiz kriter ise C11 olarak belirlenmiştir. Uzmanlardan alınan bu sonuçlar EXCEL SOLVER aracıyla çözülüp, çıkan sonuçların ortalamasını alarak BWM Yöntemiyle kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bu ağırlık değerlerine baktığımızda 0.1379 değeriyle C1 en önemli kriter, 0.1242 değeriyle C3 ikinci sırada ve 0.0973 değeriyle C8 üçüncü sırada yer almaktadır. C1 Kaynağın debisini, C3 Gelecekte İhtiyaç Debisini Karşılama Oranını ve C8 Kaynak Sürekliliğini ifade etmektedir. Entropi yönteminde elde edilen en önemli kriterler ile BWM Yöntemiyle elde edilen sonuçlar büyük ölçüde benzerdir. Bu sonuçlar iki farklı ağırlıklandırma yönteminin de alternatiflerin sıralamasında en önemli etkiye sahip olan kriterlerde fikir birliği sağlandığını gösterir. Ayrıca entropi yöntemiyle kriterler objektif olarak ağırlıklandırılarak;

BWM yönteminde uzmanların öznel görüşünün ne derecede doğru olduğunu göstererek bu sübjektifliği ortadan kaldırmıştır.

Entropi ve BWM Yöntemleriyle elde edilen ağırlıklar iki farklı ÇKKV Yöntemiyle (VIKOR ve MOORA) alternatif sıralaması analiz edilmiştir. Entropi tabanlı VIKOR Yöntemi ile sıralama yaparken v=0.25, 0.50, 0.75 ve 1 grup faydası değerleriyle tek tek sonuçları elde edilmiştir. Farklı grup faydası değerleriyle yapılan işlemler farklı senaryolarda en önemli kriterin ne çıkacağını, sonuçların birbirini destekleyip desteklemediğini göstermektedir. Bu sonuçlara bakıldığında tüm senaryolarda en önemli kriterin Qj=0.0000 değeriyle A20 alternatifi yani Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolu olduğu sonucu elde edilmiştir. En kötü performans gösteren alternatif ise A15 yani Şiro Çayı üzerinde Şilan Barajı'dır.

VIKOR Yönteminde bulunan bu sonuçların iki farklı karar koşulunu da sağladığını yapılan hesaplarla görmekteyiz. Entropi yöntemiyle elde edilen ağırlıklar aynı şekilde MOORA Yöntemiyle de çözülmüştür. Entropi tabanlı MOORA Yöntemi sonuçlarını ifade edecek olursak, en önemli kriterin 0.773 değeriyle A20 alternatifi olduğu, en kötü performansı sergileyen alternatifin ise A13 olduğu tespit edilmiştir. Yine VIKOR yönteminde son sırada yer alan A15 alternatifinin MOORA Yönteminde de son sıralarda olduğu görülmektedir. En iyi ve en kötü alternatif arasında kalan alternatiflerinde her iki yöntemde de benzer şekilde sıralamaya sahip olması da oldukça önemlidir. VIKOR yöntemi en büyük pişmanlığı en aza indirmeye odaklanırken; MOORA yönteminde ise en iyi fayda-maliyet dengesine odaklanır. Her iki yöntemde de en önemli kriterin aynı olması ve benzer sıralamalar elde edilmesi çalışmanın güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

Entropi tabanlı alternatifler her iki yöntemle sıraladıktan sonra BWM tabanlı olarak sıralamaya geçilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi Entropi Yöntemiyle elde edilen aynı karar matrisi ve BWM Yöntemiyle elde edilen ağırlıklar kullanılarak VIKOR ve MOORA Yöntemleriyle sıralamalar yapılmıştır. VIKOR Yöntemiyle sıralamalar yapılırken aynı şekilde Entropi Yönteminde olduğu gibi dört farklı grup faydasıyla sıralamalar yapılmıştır. Tüm senaryolarda BWM tabanlı VIKOR yönteminde A20 alternatifi en iyi performansı sağlayan kriter olarak yerini almıştır. En kötü performansı sağlayan kriterin ise yine A15 olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

BWM tabanlı MOORA Yöntemiyle yapılan sıralamaya bakacak olursak, 0.4479 değeriyle A20 alternatifi yine ilk sırada en iyi performansı sağlayan alternatiftir. Diğer taraftan, 0.0716 değeriyle en kötü performansa sahip alternatifin ise A15 olduğu görülmektedir. Şimdi elde

edilen tüm kombinasyonlara bakacak olursak, Entropi tabanlı VIKOR-MOORA sonuçları ile BWM tabanlı VIKOR-MOORA sonuçlarında da A20 alternatifinin açık ara en iyi performansı sağlayan kriter olduğu görülmektedir.

A20 alternatifi Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolunu temsil etmektedir. A20 alternatifinin Entropi ve BWM yöntemlerinde en yüksek ağırlığa sahip C1, C2, C3 ve C8 kriterlerini en iyi performansla karşıladığını gösterir. C1, C2, C3 ve C8 kriterleri kaynağın debisini, mevcuttaki ve gelecekteki ihtiyaç debisini, kaynak sürekliliğini ifade eden kriterlerdir. A20 alternatifinin debisi 900 m^3/s ve kaynak olarak sürekliliğe sahip bir kaynaktır. Dolayısıyla bu dört kriter içerisinde en iyi performansı sergileyerek ilk sırada yerini almıştır. Yine bu kaynak üzerinde baraj bulunması sebebiyle ekstra biriktirme yapısı ihtiyacının bulunmaması önemli bir avantaj sağlamaktadır. A20 alternatifi, Malatya ili için alternatif bir su kaynağı temininde diğer alternatiflere göre en sürdürülebilir, uygulanabilir ve ekonomik su kaynağıdır.

A15 alternatifi Şiro Çayı üzerinde planlanan Şilan Barajı ise alternatiflerin sıralamasında sonuncu olarak yer almaktadır. Şiro Çayı'nın debisi 7.506 m^3/s ve kaynak sürekliliği bakımından yağışlı dönemlerde debisi artan kurak dönemlerde debisi azalan bir akarsudur. Bu durum ise C1, C2, C3 ve C8 kriterleri gibi kaynağın mevcuttaki ihtiyaç debisini karşılaması, gelecekte sürdürülebilir olması gibi kriterleri en kötü performansla karşıladığını gösterir. Ayrıca terfili iletim hattı, biriktirme yapısı gerektirdiğinden ekstra maliyet durumu eklenen bir alternatiftir.

Malatya ili için su temini projesinde bir alternatif seçmemiz gerekirse yapılacak olan projenin hem verimli hem sürdürülebilir olması açısından Karakaya Barajı'nı besleyen Fırat Kolu en iyi alternatiftir. Sonuç olarak; Malatya ili için Entropi tabanlı objektif ağırlık değerleri ve BWM yöntemi ile de sübjektif olsa da alanında uzman kişilerin puanlandırılması ile VIKOR ve MOORA yöntemiyle sıralamalar elde edilmiştir. Bu sayede kaynak debisi, çevresel etki, maliyet gibi birçok faktör objektif olarak ele alınarak en uygun çözüm elde edilmiştir. Çalışma, giderek artan su talebine sahip Malatya ili ve günümüz küresel ölçekte bir sorun teşkil edecek su krizi sorunu açısından bilimsel temelli kararlar alınmasına olanak tanımaktadır.

Yapılan çalışma gelecekte yapılacak olan çalışmalar için büyük önem taşımaktadır. Malatya ili özelinde yapılan bu çalışmada alternatiflerin sıralanması için belirlenen kriterler diğer çalışmalarda da öncü olacaktır. Analiz sonuçlarına bakacak olursak, maliyetten çok

sürdürülebilirlik veya kaynağın debisini temsil eden kriterlerin daha önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar da gelecek çalışmalar için hangi kriterin ne derecede önem arz ettiği hususunda ışık olmaktadır. Günümüzde yaygınlaşarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden VIKOR ve MOORA yöntemlerinin su kaynakları sıralaması vb. konularda güvenilir sonuçlar verdiği elde edilmiştir. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda güncel yapay zeka tekniklerinden faydalanılarak çalışmanın geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışma yine Malatya ili özelinde bölgesel su yönetimi için de yeni su stratejileri belirlemede önem arz etmekte olup başka bölgelerde de su kaynaklarının verimli ve sürdürülebilir şekilde kullanımı için bir model teşkil etmektedir. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda kriter sayısı güncellenerek (özellikle iklim değişiminin etkisi) model geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Acer, A. & İnci, H. (2020). Personel seçimi sürecinin ahp tabanlı moora yöntemi ile değerlendirilmesi: Liman saha operasyon elemanı seçimi üzerine bir uygulama, *OPUS International Journal of Society Researches 16* (29 Ekim Özel Sayısı), *3689-3713.*

Alamanos, A., Mylopoulos, N., Loukas, A., & Gaitanaros, D. (2018). An integrated multicriteria analysis tool for evaluating water resource management strategies, *Water, 10*(12), 1795.

Alves, S. A. F. D. S., Coelho, V. H. R., Tsuyuguchi, B. B., Galvão, C. D. O., Rêgo, J. C., Almeida, C. D. N., ... & Rufino, I. A. , (2021). Spatial multicriteria approach to support water resources management with multiple sources in semi-arid areas in Brazil, *Journal of Environmental Management*, 297, 113399.

Akçaoğlu, N. K., & Tatlı, Y. (2024). Doğal Afet Riski Taşıyan Bölgelerde**,** İşletme Yer Seçiminde Dikkat Edilmesi Gereken Faktörlere Dair Literatür İncelemesi. *19 MayısSosyal Bilimler Dergisi*, *5*(2), 172-182.

Amorocho-Daza, H., Cabrales, S., Santos, R., & Saldarriaga, J. (2019). A new multi-criteria decision analysis methodology for the selection of new water supply infrastructure, *Water*, 11(4), 805.

Armas Vargas, F., Nava, L. F., Gómez Reyes, E., Olea-Olea, S., Rojas Serna, C., Sandoval Solís, S., & Meza-Rodríguez, D. (2023). Water and environmental resources: a multi-criteria assessment of management approaches, *Water, 15*(16), 2991.

Babacan, A. (2020). Türkiye'de orta gelir grubuna yönelik otomobil seçimi: Çok kriterli karar verme yöntemi olarak Vikor yöntemi, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21*(1), 293-307.

Brauers, W.K. & Zavadskas, E.K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and cybernetics*, *35*(2), 445-469.

Brauers, W.K. & Zavadskas, E.K. (2009). Robustness of the multiobjective MOORA method with a test for the facilities sector, *Technological and Economic Development of Economy: Baltic Journal on Sustainability, 15*(2), 352-375.

Cambrainha, G.M. & Fontana, M.E. (2018). A multi-criteria decision making approach to balance water supply-demand strategies in water supply systems, *Production*, 28, e20170062.

Chang, C. L. & Hsu, C. H. (2009). Multi-criteria analysis via the vıkor method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed, *Journal of Environmental Management 90*(11), 3226-3230.

Chavoshian, A., Hashemi, H., Hosseinzadeh, F., & Zamani Sabzi, H. (2024). Emergency water supply during disasters in Iran: a multi-criteria group decision analysis, *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 73*(11), 2212-2228.

Malatya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2020). Malatya ili 2019 yılı çevre durum raporu. Malatya, Türkiye.

de Castro-Pardo, M., Fernández Martínez, P., Pérez Zabaleta, A., & Azevedo, J. C. (2021). Dealing with water conflicts: A comprehensive review of MCDM approaches to manage freshwater ecosystem services, *Land*, *10*(5), 469.

Demir, G. & Bircan, H. (2020). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinden BWM ve Fucom yöntemlerinin karşılaştırılması ve bir uygulama, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21*(2), 170-185.

Dinçer, H. & Görener, A. (2011). Analitik hiyerarşi süreci ve VIKOR tekniği ile dinamik performans analizi: Bankacılık sektöründe bir uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *10*(19), 110.

Durmaz, E.D., Akgündüz, E., & Şahin, R. (2017). Tedarikçi seçim problemlerinde hedef programlama ve MOORA yöntemi: uygulama çalışması, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19*(3), 1021-1044.

DSİ (2020). Devlet Su İşleri.

Gadakh, V. S. (2010). Application of MOORA method for parametric optimization of milling process, *International Journal of Applied Engineering Research*, 1(4), 743.

Gebre, S. L., Cattrysse, D., & Van Orshoven, J. (2021). Multi-criteria decision-making methods to address water allocation problems: A systematic review, *Water*, *13*(2), 125.

Hamidifar, H., Ghorbani, M. K., Bakhshandeh, M. A., & Gholami, S., (2023). A multi-criteria multidimensional model for optimal selection of rural water supply systems, *AQUA-Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 72*(6), 1042-1056.

Ibrahim, M.M., El-Elsaie, Y. M., Zaki, Y. A., & Mahdi, I. M. (2023). Factors impact on choice of suitable water resource, *Article in YMER Digital.*

Kalibatas, D. & Turskis Z. (2008). Multicriteria evaluation of ınner climate by using MOORA method, *Information Technology and Control*, *37*(1).

Karami, A. & Johansson, R. (2014). Utilization of multi attribute decision making techniques to ıngrate automatic and manual ranking of options, *Journal of Information Science and Engineering*, *30*, 519-534.

Kundakçı, N. (2016). Combined multi-criteria decision making approach based on MACBETH and MULTİ-MOORA methods, *Alphanumeric Journal*, *4*(1), 17-26.

Lim, F. H., Lee, W. K., Ishak, A. M., Hasan, A. A., Khor, J. W. S., Sulaiman, M. N. I. A., ... & Liew, J. (2023). Multi-criteria evaluation for long-term water resources augmentation planning with consideration of global change, *Environmental Advances, 12,* 100375.

Li, X., Wang, K., Liu, L., Xin, J., Yang, H., & Gao, C. (2011). Application of the entropy weight and TOPSIS method in safety evaluation of coal mines. *Procedia engineering*, *26*, 2085-2091.

Ma, Y., Zhao, Y., Wang, X., Feng, C., Zhou, X., & Lev, B. (2023). Integrated BWM-Entropy weighting and MULTIMOORA method with probabilistic linguistic information for the evaluation of Waste Recycling Apps, *Applied Intelligence*, *53*(*1)*, 813-836.

Macchiaroli, M., Dolores, L., & De Mare, G. (2023). Multicriteria Decision Making and Water Infrastructure: An Application of the Analytic Hierarchy Process for a Sustainable Ranking of Investments, *Applied Science, 13*(14), 8284.

MASKİ (2018). Malatya Büyükşehir Su ve Kanalizasyon İdaresi.

Nam, K. (2020). Policy proposals for promoting the development of alternative water resources, *KDI School of Public Policy and Management.*

Naghizadeh Vardin, A., Ansari, R., Khalilzadeh, M., Antucheviciene, J., & Bausys, R., (2021). An integrated decision support model based on BWM and fuzzy-VIKOR techniques for contractor selection in construction projects, *Sustainability*, *13*(12), 6933.

Nnaji, C. C. & Banigo A. (2018). Multi-criteria evaluation of sources for self-help domestic water supply, *Applied Water Science, 8*(1), 12.

Noori, A., Bonakdari, H., Salimi, A. H., & Gharabaghi, B. (2021). A group Multi-Criteria Decision-Making method for water supply choice optimization, *Socio-Economic Planning Sciences* 77, 101006.

Okeola, O.G. & 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(1), 19-24.

Opricovic, S. (1998). Multicriteria optimization of civil engineering systems, *Faculty of civil engineering, Belgrade,2*(1), 5-21.

Opricovic, S. & **Tzeng, G. H.** (2004). Compromise solution by MCDM Methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European journal of operational research, 156*(2), 445-455.

Özden, Ü. H. (2012). AB'ye üye ülkelerin ve Türkiye'nin ekonomik performanslarına göre VIKOR yöntemi ile sıralanması, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.*

Pagano, A., Giordano, R., & Vurro, M. (2021). A decision support system based on AHP for ranking strategies to manage emergencies on drinking water supply systems, *Water Resources Management*, 35*(2),* 612-628.

Parkinson, S. C., Makowski, M., Krey, V., Sedraoui, K., Almasoud, A. H., & Djilali, N. (2018). A multi-criteria model analysis framework for assessing integrated water-energy system transformation pathways, *Applied energy, 210,* 477-486.

Rezaei, J. (2015). Best worst multi-criteria decision-making method, *Omega, 53,* 49-57.

Rezaei, J. (2016). Best worst multi-criteria decision-making method: Some propperties and a linear model. *Omega, 64,* 126-130.

Savun-Hekimoğlu, B., Erbay, B., Hekimoğlu, M., & Burak, S. vd., (2021). Evaluation of water supply alternatives for İstanbul using forecasting and multi-criteria decision making methods, *Journal of Cleaner Production,* 287, 125080.

Saravanan, V., Sivaji, C., Chinnasamy, S., & Raja, C. (2023). Multi-criteria decision-making for water resources planning using the MOORA method, *Aeronautical and Aerospace Engineering, 1*(4).

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, *27*(3), 379-423.

Singh, R., Pathak, V. K., Kumar, R., Dikshit, M., Aherwar, A., Singh, V., & Singh, T. (2024). A historical review and analysis on MOORA and its fuzzy extensions for different applications, *Heliyon 10*(3).

Srivastava, A., Parmar, D., & Pamucar, D. (2023). Comparing Multi-criteria models for ranking the performance of India's water supply utilities, *Utilities Policy, 84,* 101652.

Teonıan Meriç, B. (2004). Su kaynakları yönetimi ve Türkiye, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi 28 (1) 27-38.*

Tu, Y., Chen, K., Wang, H., & Li, Z. (2020). Regional water resources security evaluation based on a hybrid fuzzy BWM-TOPSIS method, *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(14), 4987.

Udías, A., Efremov, R., Cano, J., & Redchuk, A. (2013). Methodological review of multicriteria optimization techniques: aplications ın water resources, *Technical Report* 2012.1 *http://www.analisisderiesgos.org*

WaterAid. (2021) Technology brief: Selecting the water source. *Retrieved from washmatters.wateraid.org*

Wanguba, B., Siriba, D. N., & Okumu, B. O. (2024). GIS-based multi-criteria decision analysis model for utility water demand: the case of lodwar municipality, Turkana County, Kenya, *Heliyon 10*(17).

Wang, T. C., & Lee, H. D.(2009).Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert systems with applications*, *36*(5), 8980-8985

Wu, J., Sun, J., Liang, L., & Zha, Y. (2011). Determination of weights for ultimate cross effiency using Shannon entropy, *Expert Sytems With Aplications, 38*(5), 5162-5165.

Zamani, A. A., Abbasi, H. R., Alipour, V., Peyravi, M., Shojaei, P., Goli, A., & Mohammadinia, L. (2022). Alternative Water Resources Selection to Supply Drinking Water in Flood Disasters by Multicriteria Decision-Making Techniques (DANP and VIKOR), *Hindawi Journal of Environmental and Public Health Volume 2022*(1), 5445786.

Zhang, H., Gu, C. L., Gu, L. W., & Zhang, Y. (2011). The Evaluation of tourism destination competitiveness by TOPSIS & information entropy – A case ın the yangtze river delta of China, *Tourism management*, *32*(2), 443-451.

Zhu, Y., Tian, D., & Yan, F. (2020). Effectiveness of entropy weight method in decision-making, *Mathematical problems in Engineering, 2020*(1), 3564835.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad **:** Melike DEMİRCİ DOĞAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, Tarih Bölümü
- **Yüksek Lisans** **:** İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2021 yılında Fammark Mağazacılık Anonim Şirketi'nde inşaat mühendisi olarak çalıştı.
- 2023 yılından bu yana DSİ 92. Şube Müdürlüğünde inşaat mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN ÇALIŞMALAR(Makale, Bildiri, Patent v.b.)

- **Demirci Doğan M., Bozkurt C., Fırat M. (2025).** "Assessment Of Alternative Water Resources in Malatya Province Using The Entropy-Based Vikor Approach". Global Sustainability and Devolopment Congress, Absract Book, 128.
- **Demirci Doğan M., Bozkurt C., Fırat M. (2025).** "Assessment Of Alternatıve Water Resources in Malatya Province Using The Entropy-Based Vikor Approach". Global Sustainability and Devolopment Congress, Full Text Book, 481-496.