



**SAFRANBOLU KONARI GÖLÜ'NÜN
HİDROLOJİK VE HİDROJEOLJİK
ÖZELLİKLERİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

Abdullah Yaseen QASIM

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**SAFRANBOLU KONARI GÖLÜ'NÜN HİDROLOJİK VE HİDROJEOLOJİK
ÖZELLİKLERİ**

Abdullah Yaseen QASIM

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Şubat 2024**

Abdullah Yaseen QASIM tarafından hazırlanan “SAFRANBOLU KONARI GÖLÜ’NÜN HİDROLOJİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 05/02/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan :Dr. Öğr. Üyesi. Ercan GEMİCİ (BARÜ)

ONLINE

Üye :Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi. Fatih SAKA (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdullah Yaseen QASIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAFRANBOLU KONARI GÖLÜ'NÜN HİDROLOJİK VE HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Abdullah Yaseen QASIM

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN

Şubat 2024, 58 sayfa

Bu çalışmada turistik açıdan henüz keşfedilmemiş olan UNESCO Dünya Mirası listesinde yer alan Safranbolu da bulunan Konarı Gölü'nün hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerini saptanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, arazi çalışmalarına ilave olarak, Konarı Gölü ve çevresinde farklı akiferleri temsil eden yeraltısularının, beslenme alanlarını ve yeraltı dolaşım sürelerini belirlemek, içme ve sulama suyu olarak kullanılabilirliklerini değerlendirmek için su kimyası, izotop analizleri ve jeofiziksel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık olarak 547 km² yüzölçümüne sahip çalışma alanının temel kayaçları, Prekambriyen metamorfikleri, Ordovisiyen-Devoniyen-Karbonifer şeyl, kumtaşı kireçtaşları ve demir cevherlerinden oluşmaktadır. Bu birimler, Jura-Kretase klastikleri ve Kretase kireçtaşı tarafından örtülmektedir.

Bu birimlerin üzerinde Eosen Karabük Formasyonu klastikleri, Safranbolu Formasyonuna ait kireçtaşı, konglomera ve kumtaşları, Pliyosen Örencik Formasyonu (gölsel kireçtaşı) ve alüvyonlar bulunmaktadır. Bölgedeki kireçtaşları genellikle karstik ve birincil akifer özellikleri göstermektedirler.

Çalışma alanında bir göl, üç kaynak, iki kuyu ve bir nehir ölçüm noktasında yağışlı ve kurak dönemlerde yerinde ölçümler ve su örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Suların elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri 100-1422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 5.13-7.91 arasında değişmektedir. Piper Diyagramında, suların çoğunlukla Ca-HCO₃ fasiyesinde olduğu, ancak KK-5 Kuyusunun muhtemelen akifer ve akım yollarındaki kükürt minerallerinin oksidasyonu nedeniyle CaSO₄ fasiyesinde ve KK-2 Kuyusunun ise muhtemelen kation değişiminden kaynaklı olarak Na+K-HCO₃ fasiyesinde olduğu saptanmıştır. İzotop sonuçları, suların meteorik kökenli olduklarını ve kurak dönemde Eflani Irmağı hariç tüm suların “yarı-modern ve şimdiki beslenimin karışımı” sular olduğunu göstermektedir.

Türk İnsani Tüketimi Amaçlı Sular Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Örgütü Standartlarına göre suların çoğunluğunun B, As, Se, Hg konsantrasyonlarının standartları aştığı ve bazı suların ise Al, Mn, Cd ve NH₄ konsantrasyonlarının standartları aştığı saptanmıştır. Bu kirliliklerin kaynağının bölgede olası kükürtlü mineral yataklarının varlığı, kayalardan doğal yıkanma ve tarımsal faaliyetler sırasında bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımı olabileceği düşünülmektedir. Gerçekleştirilen arazi çalışmaları ve analiz sonuçlarına göre Konarı Gölü'nün basınçlı akifer karakteri gösteren bir akiferden beslenen bir göl olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroloji, Hidrojeoloji, Karstik Akifer, Su Kimyası/İzotop Analizi, Jeofiziksel Ölçüm, Konarı Gölü, Safranbolu (Türkiye)

Bilim Kodu: 91106

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE HYDROLOGIC AND HYDROGEOLOGICAL PROPERTIES OF SAFRANBOLU KONARI LAKE.

Abdullah Yaseen QASIM

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN

February 2024, 58 pages

This study aims to determine the hydrological and hydrogeological characteristics of Konarı Lake, located in Safranbolu, which is listed as a UNESCO World Heritage site and has not yet been explored from a tourism perspective. In addition to fieldwork, water chemistry, isotope analysis, and geophysical measurements were conducted to determine the recharge areas and groundwater flow paths of underground waters representing different aquifers in and around Konarı Lake, as well as to evaluate their usability as drinking and irrigation water. The study area covers approximately 547 km² and is composed of Pre-Cambrian metamorphics, Ordovician-Devonian-Carboniferous shales, sandstone limestones, and iron ores as the bedrock units. These units are overlain by Jurassic-Cretaceous clastics and Cretaceous limestones. Above these units, Eocene Karabük Formation clastics, limestone, conglomerates, sandstones, Pliocene Örencik Formation (lacustrine limestone), and alluviums are

present. The limestones in the region generally exhibit karstic and primary aquifer characteristics.

In the study area, measurements and water sampling were carried out at one lake, three springs, two wells, and one river measurement point during rainy and dry periods. The electrical conductivity (EC) and pH values of the waters range from 100-1422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 5.13-7.91, respectively. In the Piper Diagram, it was determined that the waters are mostly in the Ca-HCO_3 facies, but the KK-5 Well is likely in the CaSO_4 facies due to the oxidation of sulfur minerals in the aquifer and flow paths, and the KK-2 Well is likely in the Na+K-HCO_3 facies possibly due to cation exchange. Isotope results indicate that the waters are of meteoric origin and that all waters except for the Eflani River during the dry period are "a mixture of semi-modern and present recharge."

According to the Turkish Regulation on Water Intended for Human Consumption and the World Health Organization Standards, it was determined that the majority of the waters exceed the standards for B, As, Se, and Hg concentrations, and some waters exceed the standards for Al, Mn, Cd, and NH_4 concentrations. The possible sources of these contaminations are believed to be the presence of potential sulfur mineral deposits in the region, natural leaching from rocks, and the indiscriminate use of fertilizers and pesticides during agricultural activities. According to the field studies and analysis results, it has been determined that Lake Konarı is a lake fed by an aquifer that has a pressurized aquifer character.

Keywords: Hydrology, Hydrogeology, Karstic Aquifer, Water Chemistry/Isotope Analysis, Geophysical Measurement, Konarı Lake, Safranbolu (Turkey)

Science Code: 91106

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin planlanması, araştırılması, uygulanması ve değerlendirilmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Tülay EKEMEN KESKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunmak isterim.

Bu tez projesine maddi destek sağlayan Karabük Üniversitesi'nin BAP'ne (Proje no: KBÜBAP-23-YL-047) ve saha çalışmalarında bize destek olan Cemil Bilder'e de teşekkür ederim. Ayrıca arkadaşım ve meslektaşım Nouri Al-Fadhli'ye teşekkür etmenin yanı sıra, hayatım boyunca bana destek olan anneme, babama ve tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KABUL.....	iv
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
BÖLÜM 1	1
ÇALIŞMANIN AMACI	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.1.1. Göllerin Hidrolojik Özellikleri	2
1.1.1.1. Akış	3
1.1.1.2. Gölün Sıcaklığı	4
1.1.1.3. Hidrojen Potansiyeli (pH).....	5
1.1.1.4. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP).....	5
1.1.1.5. Elektriksel İletkenlik (EC)	6
1.1.1.6. Toplam Çözünmüş Katı Maddeler (TDS).....	7
1.1.1.7. Su İzotop Özellikleri	7
1.1.2. Göllerin Hidrojeolojik Özellikleri	8
1.2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	9
1.3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ.....	12

Sayfa

1.3.1. Yedigöller Formasyonu (PEy)	13
1.3.2. Ereğli Formasyonu (ODe)	13
1.3.3. Yılanlı Formasyonu (DCy)	14
1.3.4. Bürnük Formasyonu (Jb)	14
1.3.5. Ulus Formasyonu (Ku)	14
1.3.6. Safranbolu Formasyonu (Tes).....	15
1.3.7. Karabük Formasyonu (Tek)	15
1.3.8. Örencik Formasyonu (Tpö)	17
1.3.9. Yörük Üyesi (Tplöy).....	17
1.3.10. Alüvyon (Qal)	17
BÖLÜM 2	18
MATERYAL VE METHOD	18
BÖLÜM 3	25
3.1. HİDROJEOLJİK DEĞERLENDİRME	25
3.2. İZOTOP KİMYASI	27
3.3. KİMYASAL ÖZELLİKLER	32
3.4. JEOFİZİKSEL ÖLÇÜMLER	44
BÖLÜM 4	47
SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanındaki karst topografyası	13
Şekil 1.2. Çalışma alanının jeolojik haritası	16
Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.	20
Şekil 2.2. Çalışma alanının içerisinde kaldığı Eflani Çayı'nın drenaj alanı ve su örneklemelerinin lokasyonları.....	20
Şekil 2.3. Multi-parametre cihazı ölçümleri (YSI-256).	20
Şekil 2.4. Wilcox Diyagramı.....	23
Şekil 2.5. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	24
Şekil 2.6. Konarı Gölü ve yakın çevresinin yükseklikleri.	21
Şekil 2.7. Çalışma alanında gerçekleştirilen jeofiziksel ölçüm noktaları	24
Şekil 2.8. Çalışma alanındaki DES ve SP ölçümleri.....	24
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - δ^2 grafiği.	30
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ ve ^3H ilişkisi.....	31
Şekil 3.3. Çalışma alanındaki suların EC ve ^3H ilişkisi.	32
Şekil 3.4. Çalışma alanındaki suların Piper Diyagramı (yağışlı dönem).	33
Şekil 3.5. Çalışma alanındaki suların Piper Diyagramı (kurak dönem).....	33
Şekil 3.6. Çalışma alanındaki suların Schoeller Diyagramı (Yağışlı dönem).....	35
Şekil 3.7. Çalışma alanındaki suların Schoeller Diyagramı (Kurak dönem).	35
Şekil 3.8. Çalışma alanındaki suların Wilcox Diyagramı (Yağışlı dönem).	36
Şekil 3.9. Çalışma alanındaki suların Wilcox Diyagramı (Kurak dönem).	37
Şekil 3.10. Çalışma alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Yağışlı dönem).....	38
Şekil 3.11. Çalışma alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Kurak dönem).....	38
Şekil 3.12. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 1 nolu hattın DES-1 eğrisi ve kalınlık-özdirenç değerleri.	44
Şekil 3.13. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 2 nolu hattın DES-2 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.....	45

Sayfa

Şekil 3.14. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 3 nolu hattın DES-3 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.....	45
Şekil 3.15. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 4 nolu hattın DES-4 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.....	46
Şekil 3.16. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 1 nolu hattın SP grafiği.	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Çalışma alanı çevresinde yer alan yağış gözlem istasyonlarının 2023 yılı aylık toplam yağış miktarları.....	26
Çizelge 3.2. Çalışma alanı çevresinde yer alan yağış gözlem istasyonlarının 2023 yılı aylık ortalama sıcaklık miktarları.....	27
Çizelge 3.3. Çalışma alanındaki suların arazi ölçüm bilgileri.	29
Çizelge 3.4. Çalışma alanındaki suların izotop analiz sonuçları.....	30
Çizelge 3.5. Tritiyum değerleri açısından kıtasal bölgeler kalitatif yaklaşımı	31
Çizelge 3.6. Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları.	34
Çizelge 3.7. Çalışma alanındaki suların iz element analiz sonuçları ve içme suyu referans standartları.	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klorür
CN	: Siyanür
CO ₃	: Karbonat
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
DCy	: Yılanlı Formasyonu
F	: Florür
Fe	: Demir
HCO ₃	: Bikarbonat
Hg	: Civa
Jb	: Bürnük Formasyonu
km ²	: Kilometrekare
Ku	: Ulus Formasyonu
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
NH ₄	: Amonyum
Ni	: Nikel
NO ₂	: Nitrit
NO ₃	: Nitrat
ODE	: Ereğli Formasyonu

Pey : Yedigöller Formasyonu
Pb : Kurşun
Se : Selenyum
SO₄ : Sülfat
Teka : Karabük Formasyonu
Tes : Safranbolu Formasyonu
Tplö : Örencik Formasyonu
Tplö : Yörük Üyesi
Qal : Alüvyon

KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
DES : Düşey Elektrik Sondajı
SP : Self Potansiyeli
EC : Electrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)
ORP : Oxidation Reduction Potential (Yükseltgenme İndirgeme Potansiyeli)
Eh : Electrode Potential (Elektrot Potansiyeli)
T : Temperature (Sıcaklık)
TDS : Total Dissolved Substance (Toplam Çözünmüş Madde)

BÖLÜM 1

ÇALIŞMANIN AMACI

Suyun hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerini incelemek, suyun dünyanın en değerli kaynaklarından biri olması nedeniyle oldukça önemlidir; son hesaplamalara göre Dünya'da yaklaşık 1386 milyon km³ su bulunmaktadır. Bununla birlikte bu suyun %2.5'i içilebilir su iken, %97.5'i tuzlu sudur. Tatlı suların çoğunluğu yani %68.7'si buz ve kar olarak kutup bölgelerinde ve dünyanın dağlarında donmuş halde bulunmaktadır. %29.9'u ise yeraltı tatlı su kaynaklarında bulunmaktadır. Göller, barajlar ve nehir sistemleri dünyanın tatlı suyunun sadece %0.26'sını içermektedir ve bu küçük oran her yerdeki sucul ekosistemlerin hayatta kalması için hayati öneme sahiptir [1, 2].

Son yıllardaki kuraklık ve az miktarda yağın yağış Türkiye'nin göllerinde önemli su seviyesi düşüşlerine neden olmuştur [3]. Safranbolu, UNESCO Dünya Mirası listesinde yer almaktadır [4]. Safranbolu'da yer alan ve çalışma konusunu oluşturan Konarı Gölü henüz tam keşfedilmemiş doğa harikası bir turistik destinasyondur. Hem turistik bir cazibe merkezi hem de yerel nüfusun sulama ve içme suyu kaynağı olarak önemlidir. Bu çalışmada, Konarı Gölü'nün hidrolojik, hidrojeolojik, debi, fiziksel özellikleri, major ve iz element içeriği, izotopik özellikleri, kökeni, yeraltı dolaşım süresi ve diğer su kaynaklarıyla bağlantısını saptamak amaçlanmıştır. Çalışma ayrıca suların Türk İnsani Tüketimi Amaçlı Sular Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Örgütü Standartlarına göre içme suyu açısından değerlendirilmesi ve sulama suyu açısından sınıflandırması hedeflenmiştir.

1.1. GİRİŞ

Göl ekosistemlerin çevresel koşulları, fiziksel ve kimyasal özellikleri, çevredeki arazi kullanımı ve yakındaki peyzajların özel karakteristikleri tarafından etkilenmektedir [5].

İklim değişikliği göl ekosistemlerini önemli ölçüde etkilemekte ve kış buz örtüsü ve göl yüzey sıcaklığındaki değişiklikler göl buharlaşmasını ve karışım rejimlerini etkilemekte, artan buharlaşma hızları, yağış rejimi değişikleri veya girişle dengelemeyen durumlarda, göl seviyeleri ve yüzey su alanı azalma eğiliminde olmaktadır. Bu göl tepkimeleri ve artan şiddetli yağış olayları, suyun kullanılabilirliğini, gıda üretimini, rekreasyonu ve ulaşımı değiştirerek göl ekosistemlerini etkilemektedir [6]. Birçok gölün hidrolojisi, biyolojik çeşitlilik ve sedimentoloji gibi gölün öğeleri iklim değişikliğine özellikle duyarlı olabilmektedir. Özellikle yarı kurak bölgelerdeki kapalı göller için, hacimleri, bölgesel yağış ve buharlaşma arasındaki su dengesindeki değişikliklerin önemli bir göstergesi olabilmektedir [7].

Tektonik hareket, buzul faaliyeti, volkanizma ve kayaçların çözünmesi göllerin oluşumuna yol açabilmektedir [8]. Doğal bir gölde olduğu gibi, bir rezervuardaki suyun ikamet süresi genellikle çok daha kısa olmaktadır [9]. İnsan eylemleriyle değişim hızları daha da hızlandırılabilir. İnsan müdahalesi (göl yönetimi uygulamaları), göllerde meydana gelen değişikliklerin nedenleri anlaşıldığında bazen olumsuz değişiklikleri sınırlayabilmekte veya tersine çevirebilmektedir [10]. Gıda üretimi, kaynak çıkarma ve endüstriyel genişleme, artan nüfus ve artan kentleşme nedeniyle zaman zaman tehlikeli seviyelere düşmektedir. Tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, ayrıca atık yönetimi tercihleri, yoğun nüfuslu metropol alanlarda su kirliliğine katkıda bulunmaktadır [11]. Ayrıca su kullanımı için yapılan aşırı çekimler gibi insan faaliyetleri de birçok değişikliklere katkıda bulunabilmektedir [12, 13]. Limnolojik ve hidrolojik çalışmalar, hem niteliksel hem de niceliksel olarak, sorunların doğal veya antropojenik nedenlerini ayırt edebilmesini sağlamak ve uygun çözümlere yönelik yol gösterebilmektedir [14].

1.1.1. Göllerin Hidrolojik Özellikleri

Hidroloji, suyun Dünya'nın hidrolojik döngüsü boyunca, oluşumu, taşınması ve fiziksel ve kimyasal özellikleri de dahil olmak üzere, tüm formlarını inceleyen bir bilim dalıdır. Hidroloji alanı, yağışın toprağa ulaştığı andan itibaren tekrar denize, buharlaşma ve terleme yoluyla havaya veya yüzey ve yeraltı akışıyla ayrıldığı zamana

kadar su döngüsünü incelemektedir. Bir gölün hidrolojik özellikleri, gölün kendisi içinde ve çevresindeki suyun akışı, depolanması ve yeniden dağıtımıyla ilgili süreçleri içermektedir. Su derinliği, yüzey alanı, hacmi, kalış süresi, su kalitesi, sıcaklık ve akış dinamikleri, suyun sahip olabileceği özellikleri arasındadır. Bir gölün ekolojisini yönetmek ve korumak ve insanlara ve çevreye fayda sağlamaya devam edebilmesini sağlamak için hidrolojik özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

1.1.1.1. Akış

Bir göldeki su akış hızı, hidrolojik özellikleri ve ekosistemi önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bir göldeki su akış hızının bazı etkileri:

- **Besin döngüsü:** Bir göldeki su akış hızı, azot ve fosfor gibi besin maddelerinin döngüsünü etkileyebilir ve bu, sucul bitki büyümesi için çok önemli kabul edilmektedir. Daha yüksek akış hızları, besin maddelerinin göle taşınmasını artırabilir ve göldeki alg ve diğer sucul bitkilerin büyümesini etkileyebilir [15]. Sucul ekosistemlerde, akış hızı, biyotik süreçler ve türler arası etkileşimler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [16–19]. Örneğin fitoplankton büyümesi, akışın yıkama, seyreltme ve yeniden süspansiyon gibi etkileri tarafından etkilenmektedir. Tatlı su ortamlarında fitoplankton biyokütlesi ve üretkenliği artan akış hızlarıyla ters ilişkili olduğu gözlemlenmiştir [20, 21]. Besin açısından zengin tatlı sular bile yüksek türbülans seviyeleri tehlikeli alg patlamalarını önleyebilmekte ve düşük akış hızlarındaki su zararlı alglerin büyümesini destekleyebilmektedir [22].
- **Oksijen seviyeleri:** Su akış hızıyla doğrudan ilişkili olan suyun çözülmüş oksijen içeriği, düşük akış hızları oksijen seviyelerini azaltabilir, bu durum da balık ölümlerine neden olabilir ve sucul ekosisteme zararlar verebilirken, yüksek akış hızları ise sucul canlılar için kullanılabilir oksijen miktarını artırabilir [22, 23].
- **Su sıcaklığı:** Suyun ortalama sıcaklığı ve ona eklenen karbondioksit miktarı küresel ısınma nedeniyle artmaktadır. Çözülmüş oksijen seviyeleri tüm sucul yaşam için önemlidir ve bu seviyeler göllerde ve rezervuarlarda su sıcaklığıyla doğrudan ilişkilidir. Yaz aylarında gölün yüzeyi derinliklerinden daha hızlı ısınmaktadır [24–26].

- **Sedimentasyon:** Göllerdeki sedimentasyon hızları genellikle su akış hızlarından etkilenmektedir. Bir göldeki sediment transferinin artması veya azalması, gölün taban kimyasını değiştirebilir ve sucul yaşamın dağılımını değiştirebilir. Sediment birikimi ve çökmesi, suyun geçirgenlik kapasitesini değiştirir ve su dengesini bozabilir ve su seviyesinin yükselmesine neden olabilir. Su verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sedimentasyon ciddi bir sorundur. Göllerde ve rezervuarlarda sediment birikimi ve çökmesi, kullanılabilirliklerini doğrudan tehdit eden önemli bir sorundur [27–29].
- **Su kalitesi:** Bir göle giren ve çıkan kirlilik ve diğer kirleticilerin hareketi, akış hızından etkilenebilir. Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), sıcaklık, elektriksel iletkenlik, nitrat, fosfor, potasyum ve çözülmüş oksijen, su kalitesini değerlendirmek için kullanılacak faktörlerden sadece birkaçıdır. Kurşun, kadmiyum, demir, civa ve krom gibi ağır metallerin sucul canlılarda su veya kronik zehirlenmeye neden olabileceği için ciddi bir endişe kaynağıdır [7, 30].

Bir gölün su kalitesini yönetmek ve korumak, ekosistem üzerinde akış hızının etkilerini anlamayı gerektirmektedir. Bu, göllerin yönetimi, su çekimleri ve havza kullanımını konusunda kararları yönlendirmek için kullanılabilir.

1.1.1.2. Gölün Sıcaklığı

Su kimyası aynı zamanda sıcaklık tarafından da büyük ölçüde etkilenmektedir. Sıcaklığın artması genellikle kimyasal süreçleri hızlandırmakta, karbonatlı gibi bazı kayaç türleri hariç daha yüksek sıcaklıklarda çevredeki kayalardan daha fazla mineral çözünerek suya geçebilmektedir. Böylece su ve özellikle yeraltısu, daha büyük elektriksel iletkenlik değerlerine sahip olmaktadır. Gazların çözünürlüğü ise sıcaklık ile ters orantılı olarak değişmektedir. Su içindeki oksijen seviyeleri, sucul bitkilerin fotosentez hızları, sucul hayvanların metabolik hızları ve türlerin toksik atıklara, parazitlere ve hastalıklara olan duyarlılığı gibi faktörler sıcaklıktan etkilenmektedir. Hava durumu, gölge sağlayan ağaç ve çalıları temizlemek, barajlar inşa etmek, soğuk su deşarj etmek, kentsel yağmur suyu ve yeraltısu sızmasının hepsi akışın sıcaklığını etkileyebilecek faktörler arasında yer almaktadır [30, 31].

1.1.1.3. Hidrojen Potansiyeli (pH)

Su gibi bir çözeltinin asidiklik veya alkalilik derecesi, pH ölçeği kullanılarak değerlendirilmektedir. pH ölçeğinde yediye kadar olan noktalar bulunur ve yedi nötralityi temsil etmektedir. pH değeri yedi altında olan bir çözelti asidik olarak kabul edilirken, yedi üzerinde olan bir çözelti alkaline olarak kabul edilmektedir. Suyun pH değeri ekosistem sağlığı üzerindeki potansiyel etkisi nedeniyle izlenmesi gereken önemli bir ölçüttür. Örneğin, pH değişiklikleri, belirli bir pH aralığına uyum sağlamış sucul türlerin üreme başarısını etkileyebilmektedir. Aşırı yüksek ve düşük pH değerleri su tüketimi için zararlıdır. Yüksek pH, suyun kötü tat almasına, tesisat ve su kullanan cihazlarda birikinti oluşturmaya ve klor dezenfeksiyonunun verimliliğini azaltmasına neden olabilmekte, bu da daha fazla kimyasal kullanımını gerektirmektedir. Düşük pH değerine sahip su birçok malzemeyi korozyona uğratabilir veya çözebilmektedir [32].

Su içindeki besin maddelerinin ve tehlikeli kimyasalların çözünürlüğü ve kullanılabilirliği de pH değişikliklerinden etkilenebilir. Örneğin, bazı metaller ve diğer kimyasallar düşük pH değerlerinde daha zararlı olabilirken, yüksek pH seviyelerinde daha az zararlı olabilir. Suyun pH değeri doğal jeoloji, arazi kullanımı, antropolojik kirlilik ve iklim değişikliği tarafından etkilenebilmektedir. Su ekosistemlerinin sağlığını korumak ve içme suyu güvenliğini sağlamak için su kütlelerindeki pH seviyelerinin izlenmesi ve yönetilmesi oldukça önemlidir [30, 33, 34].

1.1.1.4. Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP)

Bir su sistemlerinin oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), elektron transferini içeren kimyasal süreçleri destekleme kapasitesini göstermektedir. (ORP), mV biriminde ölçülmektedir, su sütununda ve tortularda biyojeokimyasal süreçleri etkileyebildiği için su sistemleri için önemli bir özelliktir. Oksitleyici veya indirgeyici ajanların varlığı ve çözülmüş organik madde oranı, çözeltinin ORP'sini etkileyebilmektedir. ORP'nin göl ekolojik sağlığı için önemi küçümsenemez. Suda yeterli oksijen olmadığında hidrojen sülfür gibi zararlı yan ürünler oluşabilmekte ve düşük bir ORP skoru bunun bir göstergesi olabilmektedir. Bununla birlikte, yüksek

ORP seviyeleri, sucul yaşam için zararlı olan klor veya ozon gibi oksitleyici kimyasalların varlığına işaret edebilmektedir. Azot döngüsü de ORP tarafından etkilenebilmektedir. ORP artması, organik maddelerden azot ve fosforun su kaynağına salınmasına neden olabilmekte, artan alg patlaması nedeniyle su kalitesi bozulabilmektedir. Genel olarak, ORP, göller ve diğer su ortamlarındaki biyojeokimyasal süreçleri incelemek için kullanışlı bir ölçüttür. Araştırmacılar ve yöneticiler, ORP seviyelerini izleyerek sucul ekosistemlerin durumu hakkında önemli bilgiler edinebilirler [35].

1.1.1.5. Elektriksel İletkenlik (EC)

Su, elektrik akımını taşıma kapasitesiyle tanımlanan elektriksel iletkenliğe sahiptir. Su iletkenliği, içine çözünebilen tuzlar ve mineraller tarafından etkilenmektedir. Su elektriksel iletkenliği genellikle $\mu\text{S}/\text{m}$ veya mS/cm biriminde ifade edilmektedir. Göllerin EC'si, yerel jeoloji, arazi kullanımı ve iklim gibi faktörlere bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Su kalitesinin en önemli göstergelerinden biri iyonik içeriğidir. Su içindeki iyonik bileşim, mevsimlerle birlikte değişen iletkenlik seviyelerine neden olmakta; yapay olarak yüksek iletkenlik seviyeleri kirlilik veya diğer çevresel sorunlara işaret edebilmektedir. Tarımsal aktiviteler, endüstriyel deşarj ve diğer kaynaklar da dahil olmak üzere insan faaliyetleri, yüksek EC seviyelerine katkıda bulunabilmektedir. Yüksek EC seviyelerine sahip göllerin yönetim veya koruma zorlukları olabilmekte ve durumda göllerin sürekli izlenmesi önem kazanmaktadır [36].

Sıcaklık, toplam çözünmüş katı madde miktarı, kimyasal oksijen ihtiyacı, klorür konsantrasyonu ve demir içeriği, iletkenlikle güçlü bir ilişki göstermektedir [38]. Bir bölgenin jeolojisi, akarsu ve nehirlerdeki suyun iletkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmaktadır. Granit içeren bölgelerdeki suların iletkenliği genellikle diğer bölgelerdeki suların iletkenliğinden daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni graniti oluşturan mineraller suyla yıkandıklarında iyonlaşma eğilimi göstermemelerinden kaynaklanmaktadır. EC değeri, toplam çözünmüş katı madde (TDS) için bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Elektriksel iletkenliğe dayalı yöntemler, gravimetrik TDS testlerine göre sonuçları çok daha hızlı bir şekilde sağlamakta ve geleneksel

laboratuvar testlerine kıyasla daha iyi performans göstermektedirler. TDS ve EC, suya özgü katyonlar ve anyonlar, iyonik türlerin iletken hareketliliği gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [37, 38].

1.1.1.6. Toplam Çözünmüş Katı Maddeler (TDS)

(TDS) ve (EC) gibi su içinde çözünmüş olan tüm maddelerin miktarını ölçmektedir. Bir litre su için yaygın olarak kullanılan TDS konsantrasyonlarını ifade etmek için milyonda parça (ppm) veya litre başına miligram (mg/L) kullanılmaktadır. Yerel jeoloji, sıcaklık ve arazi kullanımı gibi birçok faktör, bir göldeki (TDS) seviyesini etkileyebilmektedir. Örneğin, kurak bölgelerde veya önemli buharlaşma oranlarına sahip olan göller, çözünmüş minerallerin ve tuzların birikimi nedeniyle daha yüksek TDS seviyelerine sahip olabilmektedirler. Yüksek TDS seviyelerine sahip göllerin kalitesi su arıtma işlemleri ve diğer su uygulamaları için istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Yüksek TDS seviyelerinin insan kaynaklı kaynakları arasında tarımsal faaliyetler, endüstriyel deşarjlar ve atık su çıkışları bulunabilmektedir [7].

Bir gölün su kalitesini değerlendirirken, TDS dışında pH, besin konsantrasyonları ve çözünmüş oksijen seviyeleri gibi birçok faktörü dikkate almak da önemlidir. TDS'yi takip ederek, su yöneticileri su kalitesindeki herhangi bir değişimi izleyebilirler. Bu tür bir hesaplama, detaylı kimyasal analizin yerini almak için değil, pratik ve basit bir şekilde yapılan göl incelemeleri olarak değerlendirilmelidir [39, 40].

1.1.1.7. Su İzotop Özellikleri

"İzotop" terimi, aynı elementin değişken sayıda nötronlara sahip atomlarını ifade etmektedir. Aynı elementin farklı izotopları, nötron değerlerinin farklı olması nedeniyle farklı kütlelere sahiptir. Döteryum (D) veya ^2H , hidrojen izotoplarından biri olup, bir protonuna ek olarak bir nötron içermektedir. Su döngüsü, suyun farklı aşamalarında meydana gelen izotopik değişikliklerle tanımlanabilen bir biyometrik şablona sahiptir. En belirgin değişiklikler, okyanus ve yüzey suyu buharlaşması ve tersine yağış üretimi süreciyle birlikte gerçekleşen izotop fraksiyonları tarafından

oluşturulmaktadır [41]. Havza ölçeğinde izotopların (yani hidrolojik döngünün tamamında) uygulanması da mümkündür. ^{18}O , ^2H ve ^3H , her yıl bir havzada biriken su moleküllerinin bir parçası oldukları için mükemmel su izleyicilerini oluşturmaktadırlar [42].

Suyun doğal izotopik bileşimi ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve D/H oranları), modern küresel hidrolojik döngünün önemli bir izleyicisi ve en az 400.000 yıl boyunca buzul buzunda korunan bir iklim kaydı sağlamaktadır. İzotopik fraksiyonu oluşturan mekanizmaları (çoğunlukla faz geçişleri) anlamak, su buharı, yağmur, kar ve buzda bulunan izotopik oranları anlamak için önemlidir. Özellikle izotop izleyicileri olmak üzere izleyicilerin uygulamaları, küçük havzalardaki hidrolojik süreçler hakkında yeni ışık sağlamada en verimli olanlardır. Bu, havza düzeyindeki stratejileri etkin bir şekilde vurgulamak için yerel değişkenliği içerdiği için bu şekilde ifade edilmektedir. Daha hafif izotoplar, daha ağır olanlardan daha hızlı buharlaşır ve geride kalan sıvıda daha ağır olanları bırakmaktadırlar; bu, artık sıvının ağır izotoplarla daha yoğun hale gelmesine neden olmaktadır. Kütle spektrometreleri analiz teknikleri izotop hidrolojisi alanında hızlı bir büyümeye olanak sağlamıştır [43–48].

1.1.2. Göllerin Hidrojeolojik Özellikleri

Bir gölün hidrojeolojik özellikleri, gölün hidrolojik davranışını etkileyen havza içerisinde bulunan kayaç ve sedimanların jeolojik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu özellikler gölün su kaynaklarını, su dengesini, su kalitesini ve genel hidrolojik dinamiklerini etkileyebilir. Bir gölün bazı önemli hidrojeolojik özellikleri;

- **Akifer özellikleri:** Göller, suyu tutan ve ileten yeraltı kayaç veya sediman tabakaları olan akiferlerle etkileşime geçebilirler. Akiferin geçirimsizliği ve porozitesi gibi özellikler, göle giren veya çıkan suyun miktarını ve kalitesini, ayrıca gölün su seviyesi dalgalanmalarını etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır [49].
- **Jeolojik oluşumlar:** Göl ile çevredeki yeraltısuyu arasındaki su hareketliliği ve değişimi, çatlaklı veya gözenekli kayaçlar gibi jeolojik oluşumlar tarafından kontrol edilmektedir. Buna karşılık, geçirimsiz kayaçlar veya kil tabakaları gibi jeolojik birimler, suyun göle sızmasını veya gölden dışarı çıkmasını engelleyen

bariyerler olarak işlev görebilmekte ve bundan dolayı su seviyelerini, yeraltı kalış sürelerini ve akış dinamiklerini etkileyerek gölün hidrolojisinin değişmesine sebep olmaktadır [50].

- **Havza özellikleri:** Bir gölün beslenmesinde etkili olan havzanın özellikleri, hidrojeolojik yapıyı etkilemektedir. Havzanın alanı, eğimi, bitki örtüsü ve jeolojik yapı gibi faktörler gölün su kalitesini ve su dengesini etkilediği gibi akış, erozyon ve sedimentasyon süreçlerini de etkilemektedir.
- **Kaynaklar ve sızıntılar:** Yeraltısuyunun doğal olarak topoğrafyadan çıktığı noktalardır ve beslediği su kütlesinin su kalitesini ve akış hızını etkilemektedir. Sızıntı, göl tabanından yeraltı sedimanlarına veya akifere doğru yavaş hareket eden su hareketini ifade etmekte ve su seviyelerini ve dengesini etkilemektedir.
- **Yeraltı akış yolları:** Yeraltında yeraltı suyunun akış yollarının yönü ve hızı, kaynaklar ve sızıntılar gibi bir gölün hidrolojisini etkilemektedir. Yeraltısuyu, göle doğru veya gölden dışarıya doğru akabilmekte ve böylece rezervuar sularının dengesini ve kalitesini etkilemektedirler.

Bir gölün hidrojeolojisi ve hidroloji özelliklerini anlamak, su kaynaklarını yönetmek ve korumak için oldukça önemlidir. Su mevcudiyetini/potansiyelini değerlendirmeye, su seviyelerindeki değişiklikleri tahmin etmeye, kirleticilerin kaynaklarını ve kaderini anlamaya ve su kullanımı ve yönetim stratejileri hakkında bilinçli kararlar vermeye yardımcı olabilir. Hidrojeolojik araştırmalar genellikle saha araştırmaları, hidrolojik modelleme ve veri analizi içermektedir. Yer küredeki suların beslenme boşalım ilişkilerini, birbirleriyle ve jeolojik unsurlar, topoğrafya gibi diğer faktörler ile olan karmaşık etkileşimlerini anlamak için olmazsa olmaz çalışma unsurlarındandır [49–51].

1.2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Ekemen Keskin vd. (2012) Koyulhisar (Sivas, Türkiye) Pb-Zn-Cu maden sahası çevresindeki yeraltısularında SO₄, Al, Fe, Mn ve Pb kirliliği üzerine araştırma yapmış ve bu kirliliğin sülfat mineralizasyonunun oksidasyonu nedeniyle asidifikasyon etkisiyle meydana geldiğini saptamışlardır [52]. Ayrıca araştırmacı tarafından benzer

kirlilik kaynaklarından kaynaklanan bazı iz element kirliliklerinin Karabük, Bartın ve Kastamonu çevresindeki yeraltısularında tespit edilmiştir [53–55].

Törk (1995) [56] eş-yağış eğrisi yöntemini kullanarak Karabük ve çevresinin ortalama yağış miktarını 600 mm olarak belirlemiştir. Turc ve Thornthwaite denklemlerini kullanarak yıllık buharlaşma ve terleme miktarlarını ise sırasıyla 479 mm (gerçek buharlaşma-terleme, ET_g) ve 640 mm (potansiyel buharlaşma-terleme, ET_p) olarak hesaplamıştır. Ayrıca, bölgedeki karstik kaynaklardan biri olan Bulak Kaynağı'nın maksimum akış değerinin 1991-1993 yılları arasında Mart ayında 2.20 m³/s olarak gözlemlendiği belirtilmiştir. Bununla birlikte Bayarı vd. (2009) [57] tarafından ise Bulak Kaynağının 1991-2003 yılları arasında maksimum debisinin 3.5-4.0 m³/s olduğunu saptanmıştır.

Davraz vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, Eğirdir Gölü'ndeki su seviyesinin dalgalanmasının, yağış ve yeraltısuyu akışının yeniden beslenme parametreleri tarafından etkilendiğini ve buharlaşma parametresinin önemli bir öneme sahip olduğunu belirlenmiştir. Ayrıca göl su seviyesindeki değişkenliğin, insan etkisiyle de olabileceği, bir gölün sürdürülebilir kullanımını garanti altına almak için hidrolojik özelliklerinin dikkate alınmasının oldukça önemli olduğu belirtilmiştir [58].

Hayashi (2004) tarafından sıcaklık ile elektriksel iletkenlik arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma, çevresel izleme için su kullanımı ile jeofiziksel veri ters çevrimi arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sonuçlar, sıcaklık telafi faktörlerinin seçilen standart sıcaklığa bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiğini göstermektedir. Bu nedenle, 25 °C'den sapmış standart sıcaklıklar kullanırken dikkatli olmanın öneminden bahsedilmiştir [36].

Thirumalini vd. (2009) tarafından tatlı su, deniz suyu dahil olmak üzere çeşitli doğal su kaynaklarında Toplam Çözünmüş Katı Madde Miktarı (TDS) ve Elektriksel İletkenlik (EC) arasındaki ilişkiyi incelenmiştir. Bulgular, tatlı suda TDS ve EC arasında lineer bir korelasyon olduğunu, korelasyon katsayısının 0.65 olduğunu göstermektedir [38].

Alan vd. (2020) Düzce ve Türkiye'deki düzensiz atık depolama alanlarının çevresel sonuçlarını açıklamaktadır. Bu amaçla, yeraltısuyu kalitesinin kimyasal analizi yoluyla bir değerlendirme yapılmıştır. Kavramsal modeller, çeşitli çevresel koşullar altında katı atık depolama alanının yüzey ve yeraltısuyu arasındaki hidrolik ilişkiyi değerlendirmek için geliştirilmiştir. Çalışma alanının, katı atık depolama alanının etkisinde olduğu ve hem yüzey hem de yeraltısuyu kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirlenmiştir. Toplanan su örnekleri, insan tüketimi amaçları için uygun olmadığı değerlendirilmiştir [59].

Jones vd. (2006) tarafından, korunan jeokimyasal ve izotop izleyicilerinin, kütle denge denklemleriyle birleştirilerek, bir yağış olayı sırasında akarsu akışına önceden mevcut olan yeraltısuyu katkılarını belirlemeye yönelik yaygın bir teknik olduğunu incelenmiştir. Bununla birlikte, izotop tabanlı ayrışma tarafından belirlenen önceden mevcut su katkısı tahminlerinin, hidrodinamik karışma süreçlerini önemli ölçüde etkileyebileceği gösterilmiştir [60].

Günay (2006) tarafından Türkiye'nin Çifteler bölgesinde yapılan çalışmada, Sakaryabaşı Karstik kaynaklarının hidroloji ve hidrojeolojisine odaklanılmıştır. Çalışmada hidrojeolojik, kimyasal ve izotopik metodolojilerin kullanımıyla sistemdeki karst yeraltısuyunun akışının saptanması amaçlanmıştır. Suların izotopik bileşiminin analizi, bölgenin tüm su kaynaklarının meteorik süreçlerden kaynaklandığını, termal yönün ise derin dolaşıma atfedildiğini göstermektedir. Çalışmada hidrojeolojik sistemin havza alanı güneye doğru uzandığı ve yeraltısuyunun akış yönü, önemli bir fay boyunca bir depresyonda bulunan çıkışlara doğru olduğu belirtilmiştir. Uzaktan algılama görüntülerinden çıkarılan hidrojeolojik davranışın, genellikle yapısal özellikler tarafından belirlendiği saptanmıştır [61].

Kim vd. (2020), Antarktika'da bulunan King George Adası'ndaki iki küçük göl sisteminin yeraltısuyu ve yüzeysuyu hidrojeolojik özelliklerini incelemektedir. Çalışmada kar ve erime süreci sırasında hem yeraltısuyunda hem de yüzeysuyunda izotopik değişim fraksiyonu meydana gelebileceği, yeraltısuyunun kimyasal yapısı, su ve kayaç arasındaki etkileşimlere bağlı olarak yüzeysuyu ve kar suyundan farklılaşmış olabileceği belirtilmiştir. Bu çalışma, Antarktika'nın göl sistemlerinde yeraltısuyu

akışlarını doğrudan nicelendirmek ve Barton Yarımadası'ndaki yeraltısuyunun özelliklerini değerlendirmek için yeni bir girişimdir [62].

Stevanović (2019) tarafından karst sistemlerinin yeraltısu kaynaklarının dünya çapında sürekli talebe tabi olduğunu, özellikle benzersiz hidrolojik desenleri, kirlenmeye duyarlılıkları ve artan kullanım talepleri nedeniyle karstik kaynakların titizlikle çalışılmasının öneminden bahsedilmiştir. Bu önem aynı zamanda kurak hava koşullarına sahip çeşitli ülkelerde yeraltısuyu kaynaklarının aşırı çekilmesi ve tam tükenmesi belirtilerinin de kaynaklı olarak daha da arttığı ifade edilmektedir [63].

Beyhan vd. (2014), Eğirdir Gölü ve ana kollarındaki su kalitesinin değerlendirildiği bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Aralık 2010'dan Kasım 2011'e kadar göldeki yedi örnekleme noktasında aylık izleme yapılmış ve sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen (DO) konsantrasyonu, kimyasal oksijen talebi (COD), azot türü konsantrasyonları, fosfor türü konsantrasyonları ve Chl-a konsantrasyonlarını saptamışlardır [64].

1.3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Her türlü suyun hareketliliğinde, sızmada ve yüzeysel akış olaylarında oldukça önemli olan çatlak veya gözenekli kayalar gibi jeolojik birimler göl ile çevredeki yeraltısuyu arasında su hareketliliğini ve değişimini kolaylaştırabilir. Buna karşılık, geçirimsiz kayalar veya kil tabakaları, suyun göle sızmasını veya dışarı çıkmasını engelleyen bariyer görevini görebilirler. Bu durum gölün hidrolojisini, su seviyelerini, bekleme sürelerini ve akış dinamiklerini etkileyen şekillerde değiştirebilir. Çalışma alanını içine alan Eflani Irmağı drenaj alanı yaklaşık 547 km²'dir.

Çalışma alanının temel kayaları, Prekambriyen metamorfikleri, Ordovisyen-Devoniyen şeyl, kumtaşı kireçtaşları ve Devoniyen-Karbonifer karbonatlar ve demir cevherlerinden oluşmaktadır. Bu birimlerin üzerine Jura-Kretase klastikler ve Kretase kireçtaşları gelmektedir. Bu birimlerin üzerini ise Eosen yaşlı Karabük Formasyonu klastikleri ve Safranbolu Formasyonuna ait kireçtaşı, konglomera ve kumtaşı uyumsuz olarak üzerlemektedir. En üstteki litolojik birimler ise gölsel kireçtaşından

oluşan Pliyosen Örencik Formasyonu ve Kuvaterner alüvyonlardır [65, 66]. Bölgedeki kireçtaşları genellikle karstik özellikler sergilemektedirler (Şekil 1.1.). Konarı Gölü'nün çevresinde üst katmanlarda geçirimsiz birkaç on metre kalınlığında kıltaşı bulunmakta ve alt kısımlara doğru konglomeralara ve muhtemelen kireçtaşına geçiş yapmaktadır. Çalışma alanındaki jeolojik oluşumlar kısaca şu şekilde tanımlanabilmektedir.



Şekil 1.1. Çalışma alanındaki karst topoğrafyası

1.3.1. Yedigöller Formasyonu (Pey)

Birim, İstanbul-Zonguldak Paleozoyik dizisi içinde bulunan, amfibolit, gnays, migmatit, metagranit, metavolkanik kayalar ve mermerden oluşan bir metamorfik birleşimdedir. Yaşı Pre-Kambriyen'dir ve stratigrafik konumu Kurtköy Formasyonu ve Soğuksu Formasyonu üzerinde yer almaktadır [65, 66].

1.3.2. Ereğli Formasyonu (ODe)

Ereğli Formasyonu şeyl, kumtaşı ve kireçtaşından oluşmaktadır. Üç bölümden oluşmakta olup: alt kısımda seyrek gri kumtaşı ile yeşilimsi gri, ince tabakalı, lamine şeyl, orta kısımda kireçtaşı lensleri bulunan koyu gri, siyah şeyl ve seyrek kumtaşı bölümü, üst kısımda ise brakiyopodlar ve seyrek kumtaşı bulunan yeşilimsi gri, ince tabakalı, laminalı şeyller bulunmaktadır. Birimin kalınlığı 300 ila 540 m arasında değişmekte olup Orta Ordovisyen'den Üst Devonyen yaşı verilmiştir [67–69].

1.3.3. Yılanlı Formasyonu (DCy)

Yılanlı Formasyonu genellikle konglomera, dolomitik konglomera ve dolomitlerden oluşmaktadır. Eflani'nin güney ve batı kesimlerini ve Bartın çevresinde tipik olarak gözlemlenen jeolojik formasyon, alt kısmında şeyl, silttaşı ve nodüler konglomera içeren bir stratigrafik sıra ile başlamakta, yükseldikçe tabakalı bir konglomera, dolomitik kireçtaşı ve dolomit olarak devam etmektedir. Kalınlıkları değişen, gri ile siyah arasında değişen renklere sahip olup Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşı verilmiştir [68].

1.3.4. Bürnük Formasyonu (Jb)

Formasyon konglomera, kumtaşı ve karbonatlı kumtaşlarından oluşmaktadır. Konglomeraların çapları birkaç santimetreden 20 cm'ye kadar değişen yuvarlak bir morfoloji sergilemekte ve farklı çakıllar kuvarsit, metavolkanit, granit, kireçtaşı ve dolomit gibi çeşitli jeolojik malzemeleri içermektedir. Birimin alt tabakaları, aralıklı kumtaşı tabakalarıyla karışık bir şekilde birleşmiş birkaç bileşenli konglomeralardan oluşmaktadır. Üst tabakalarda, ince ila orta kalınlıkta Karbonifer kumtaşı hakim olup 50 metre kalınlığından 100 metre kalınlığa sahip olan birim, önceki birimlerin üzerinde açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Başlıca üst tabakalarında bulunan fosiller nedeniyle Orta-Üst Jura yaşlı eski bir oluşum olarak kabul edilmektedir [70–73].

1.3.5. Ulus Formasyonu (Ku)

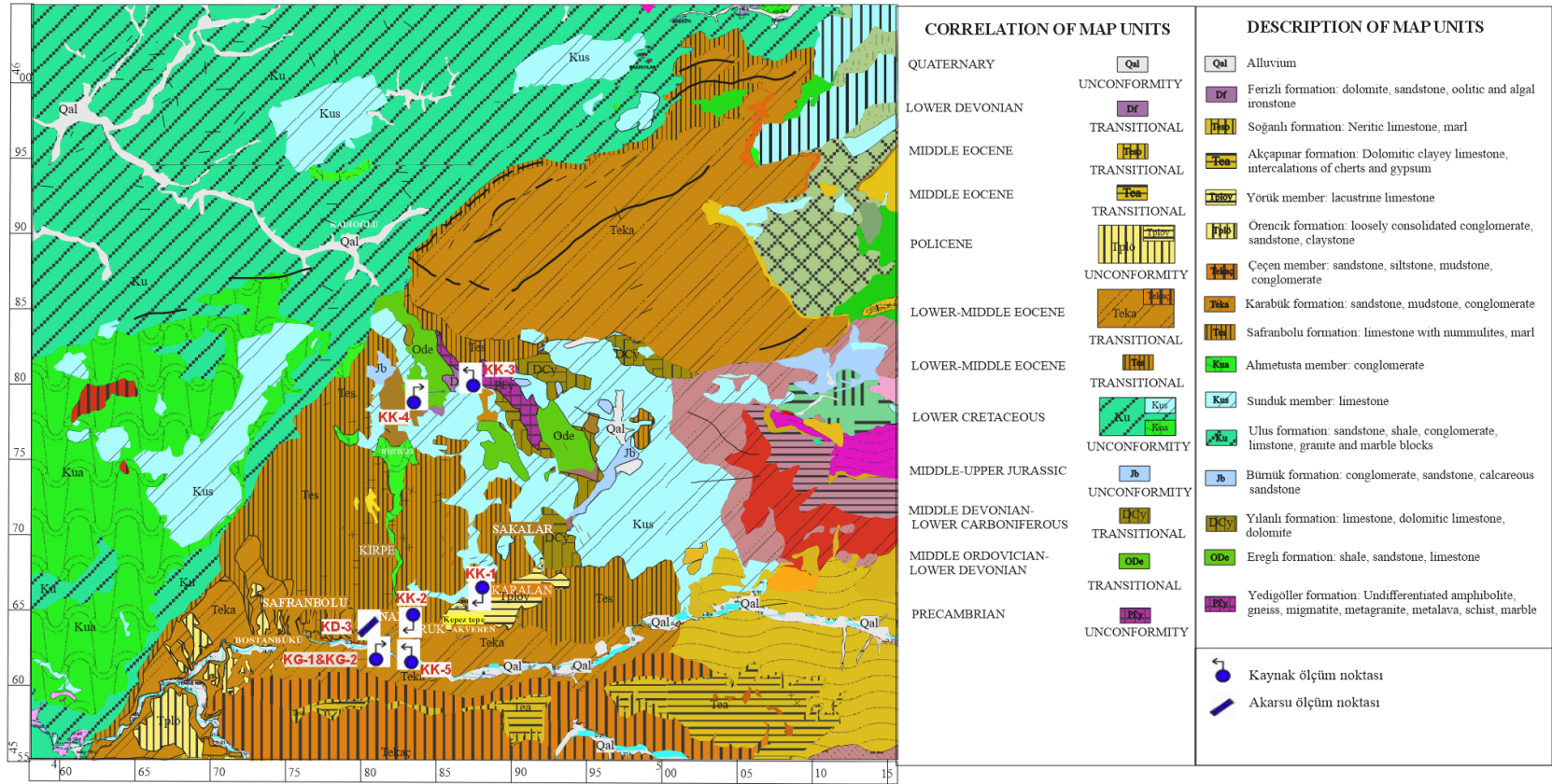
Türkiye'nin Bartın ilindeki Ulus ilçesinden esinlenerek Akyol ve diğerleri (1974) [74], tarafından tanımlanan Ulus Formasyonu türbiditik kumtaşı ve şeyl dizilerinden oluşan bir jeolojik birimdir. Griye çalan yeşil, gri veya siyah renkte olan birim kumtaşı ve şeyl tabakaları ve İnaltı Formasyonu ile temasında polijenik konglomeralar içermektedir. Birim ayrıca volkanik bloklar ve sedimenter kütle akışlarının konglomeralarını, karbonat çamuru, karbonat taneleri, açılı çakıllar ve küçük bloklar da içermektedir. Birim Alt Kretase yaşlı olup konglomeralar Ahmetusta Üyesi olarak ve kireçtaşları ise Sunduk Üyesi olmak üzere iki üyeye ayrılmıştır [74].

1.3.6. Safranbolu Formasyonu (Tes)

Safranbolu Formasyonu (Tes), Karabük ili Safranbolu ilçesine yakın yerlerde gözlemlenen birim Nummulites'in yüksek bolluğuyla karakterize olan konglomeralar, kumtaşı ve aralıklı şeyl ve kil'den oluşmaktadır. Formasyon, ince kumtaşı ve çakıl taşlarından oluşan bir taban tabakasıyla başlamakta ve periyodik olarak çakıl ve kumdan oluşan konglomeralara geçişlerle orta ve üst bölümleri, beyaz, bej, gri, pembe ve sarı gibi renkler içeren ince ila orta derecede tabakalı nodüler killi konglomera-mikritik konglomera doğru değişen bir bileşim sergilemektedir. Bu formasyon, Ulus Formasyonu'nun üzerinde uyumsuz bir konumda bulunmaktadır. Alt-Orta Eosen yaşlı birimin en üst bölümü, Karabük Formasyonu ile dikey bir geçiş sergilemektedir [71–75].

1.3.7. Karabük Formasyonu (Teka)

Karabük ilinin güney bölgelerinde tipik olarak gözlemlenen birim genellikle marn, şeyl, silttaşı ve kumtaşından oluşmaktadır. Alt seviyeler genellikle marn ile karakterize olup, orta segment ise giderek artan oranda kumtaşı içermekte ve sonunda üst bölümlerde tamamen kumtaşı bir bileşimine dönüşmektedir. Kumtaşı tabakaları, gevşek bir yapıya, gözenekli bir bileşime, yarı yuvarlak ila yuvarlak tane morfolojisine ve etkili bir tane sıralamasına sahip olup orta-büyük ölçekli tabakalanma göstermektedir. En yüksek rakımdaki kumtaşı tabakalarında çakıl parçacıklarının varlığı gözlemlenmektedir. Alt-Orta Eosen yaşlı birimin Saner ve diğerleri (1980) tarafından yapılan bir çalışmada Safranbolu-Karabük havzasındaki kalınlığının 450 m-1500 metre arasında olduğu saptanmıştır [76].



Şekil 1.2. Çalışma alanının jeolojik haritası [70].

1.3.8. Örencik Formasyonu (Tpö)

Aydın vd. (1987) [77], tarafından belgelenen nispeten yeni bir tortul oluşumu olan bu formasyon genellikle karasal konglomera, kumtaşı ve çamurdan oluşmaktadır. Kırmızı, sarımsı kırmızı ve kahverengi konglomeralar, kumtaşları ve çamurtaşlarının döngüsel bir çevrimiyle ayırt edilen birim gevşek çimentolanmış ve orta kalınlıkta tabakalara sahiptir. Pliyosen yaşlı formasyon, Yörük bileşeninin varlığıyla karakterize edilmektedir. Örencik Formasyonu, tüm altta yatan jeolojik birimlere göre açısız uyumsuzluk konumunda olan 50 ila 100 metre kalınlığa sahiptir. Örencik Formasyonu içinde fosil saptanamamış olup bir nehir ortamında oluştuğu araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir [77].

1.3.9. Yörük Üyesi (Tplöy)

Yaş olarak çok genç olan gölsel kireçtaşıdan oluşan birim bölgede yaygın olarak bulunmakta ve sarımsı, gri ve kırmızımsı renkleri ve orta kalınlıkta tabakalarıyla ayırt edilmektedir. Birim çalışma alanını içinde yer alan Yörük Köyünün doğusundaki Kepez Tepe üzerinde yer almaktadır. Kalın tabakalı bir yapıya sahip olan formasyon, kırılmalı ve dağılma eğiliminde olan gri ve kül rengi bir görünüme sahiptir. Bu bölgelerde kalsit jeodları oluşmuştur. Yörük bileşeni, tüm altta yatan jeolojik birimlerle ilgili olarak açısız uyumsuzluk karakteristiği gösteren bir konumda bulunmaktadır. Yaklaşık 100 metre kalınlığa sahiptir. Yörük bileşeni içinde fosil bulunmamıştır ve stratigrafik konumu Pliyosen dönemini göstermektedir [77].

1.3.10. Alüvyon (Qal)

Alüvyon (Qal) çakıl, kum, silt ve çamur karışımından oluşmakta olup menderesli ve örgülü nehirlerin ve taşkın düzlüklerinin tortul birikintileri olarak tanımlanmaktadır.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METHOD

Şekil 2.1’de çalışma alanının yer bulduru haritası verilmiştir. Çalışma alanını oluşturan Konarı Gölü çevresindeki arazi çalışmaları su kaynaklarının farklı akiferleri temsiliyetleri ve farklı boşalım yükseklikleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Arazi örnekleme sürecinde bir gölden (KG-1, KG-2), iki kuyudan (KK-2, KK5), üç kaynaktan (KK-1, KK-3, KK-4) ve bir nehir ölçümünden (KD-3) su örnekleri alınmıştır. Şekil 2.2’de yaklaşık olarak 547 km² yüzölçümüne sahip Eflani Çayı havzasında gerçekleştirilen su örnekleme lokasyonları verilmiştir. Analiz edilen suların birçoğu, ihtiyaç duyulduğu takdirde içme suyu ve sulama suyu amaçları için kullanılmaktadır. Örneklerin sıcaklık (T), toplam çözünmüş katı madde (TDS), elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen potansiyeli (pH) ve yükseltgenme- indirgenme (oksidasyon-redüksiyon) (ORP-Eh) gibi çeşitli fizikokimyasal özellikleri YSI-556 Multiparametre ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.3). Ayrıca debi ölçümleri bilinen hacim yöntemi ve muline cihazıyla gerçekleştirilmiştir. pH probu, pH değeri 4, 7 ve 10 olan tampon çözeltiler kullanılarak kalibre edilmiştir. ORP ölçümleri Zobell referansı ile kalibre edilmiş ve ORP değerleri YSI-556 kataloğunda verilen değerlere göre ekleme yapılarak Eh’a dönüştürülmüştür.

Major anyon ve katyon iyonları, Hacettepe Üniversitesi’nde yüksek performanslı iyon kromatografisi teknolojisi kullanılarak analiz edilmiş ve iz elementler ise Kayseri Üniversitesi’nde İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile analiz edilmiştir. Tritiyum izotopunun analizi, Hacettepe Üniversitesi’nde bulunan Çevresel Tritiyum Laboratuvarı’nda, Döteryum ve Oksijen-18 izotoplarının analizi ise DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Suların sulama amaçlı olarak kullanılabilirliklerinin sınıflandırılmasında Wilcox ve ABD Tuzluluk Diyagramı kullanılmıştır (Şekil 2.4, Şekil 2.5). Şekil 2.6’ da Konarı Gölü ve yakın çevresinin yükseltileri verilmiştir.

Yeraltı jeolojisi ve yeraltındaki su akışının saptanmasında yardımcı olan jeofiziksel ölçümlerde Dikey Elektrik Sondajı (DES) ve Self Potansiyel Doğal Gerili-SP yöntemleri tercih edilmiştir. Sırasıyla yeraltı tabakalarının elektrik direncini ve yeraltında doğal elektriksel potansiyel farkını ölçen bu jeofiziksel yöntemler, göl çevresinde 4 hatta DES ve uygun olan 1 hatta SP olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7, Şekil 2.8).

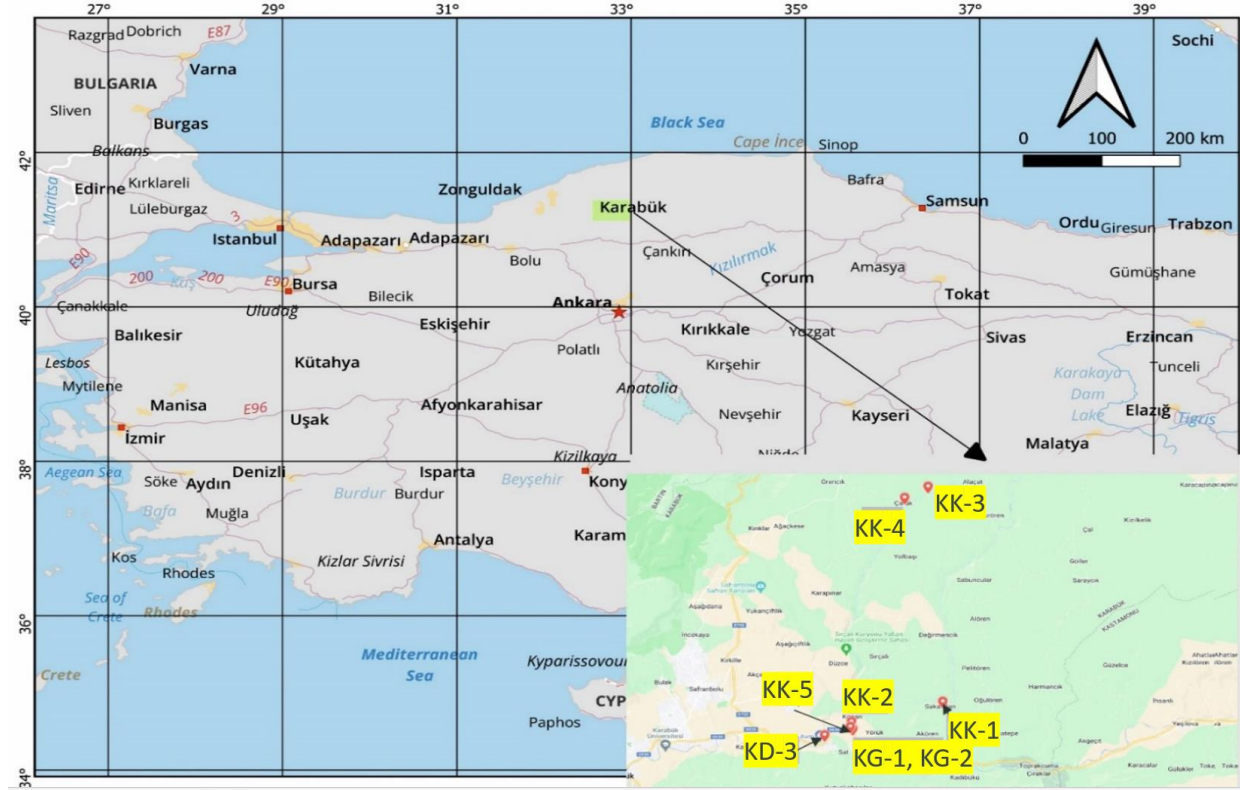
Suların sulama amaçlı olarak kullanılabilirliklerinin saptanmasında yararlanılan Wilcox diyagramı suyun tuzluluğunu temsil eden EC ve sodyum yüzdesi olmak üzere iki değişkene dayanmaktadır. Bu değişkenlere bağlı olarak diyagram, sulama amaçlı suları sınıflandırmak için çeşitli bölgelere ayrılmıştır (Şekil 2.4). Sodyum yüzdesi aşağıda verildiği gibi hesaplanabilmektedir ve genellikle 50 veya 60' dan yüksek olması istenmemektedir.

$$\% \text{ Na} = (\text{Na} + / \sum \text{ katyon}) \quad (2.1)$$

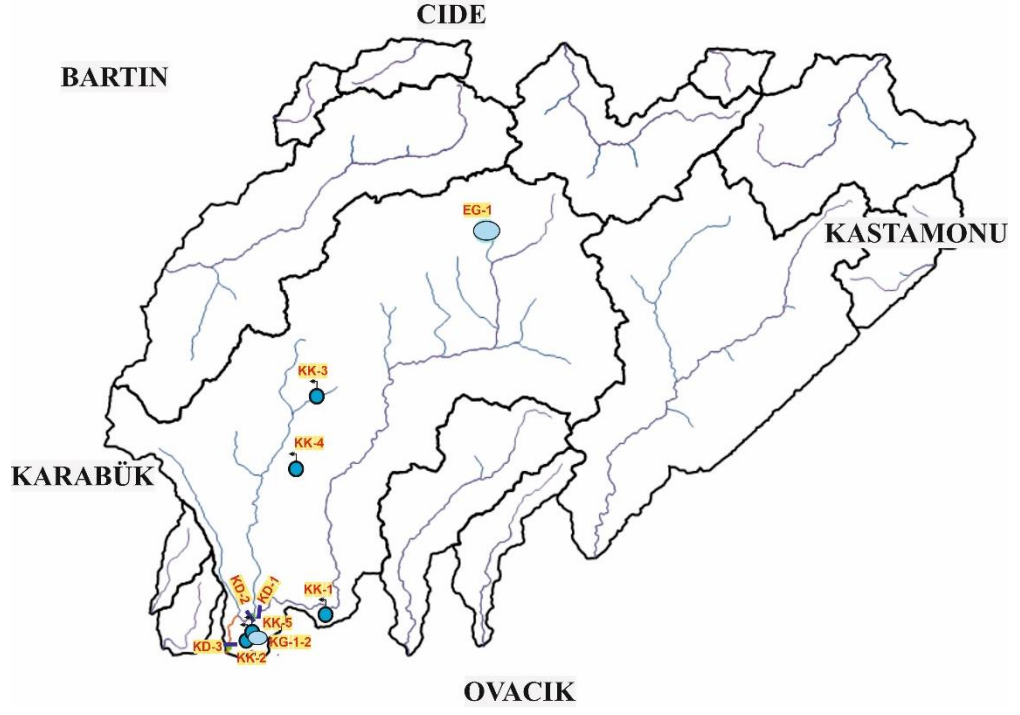
ABD laboratuvar tuzluluk diyagramı ise sodyum adsorpsiyon oranına (SAR) bağlıdır. SAR, suyun içerisindeki sodyumun (Na), kalsiyumun (Ca) ve magnezyumun (Mg) miktarına göre bir ölçüdür. Sodyumun bitkilere olan gerçek etkisini ifade etmek için kullanılmaktadır. Wilcox diyagramında olduğu gibi, bu değişkenler diyagramı tuzluluk ve sodyum etkisinin miktarını belirlemek için farklı bölgelere ayırmaktadır (Şekil 2.5). SAR değeri aşağıda verildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} /)]^{1/2}. \quad (2.2)$$

SAR değeri 0-10 arasında olan sularda sodyum zararı düşük, 10-18 arasında orta, 18-26 arasında yüksek ve 26'dan fazla ise çok yüksektir.



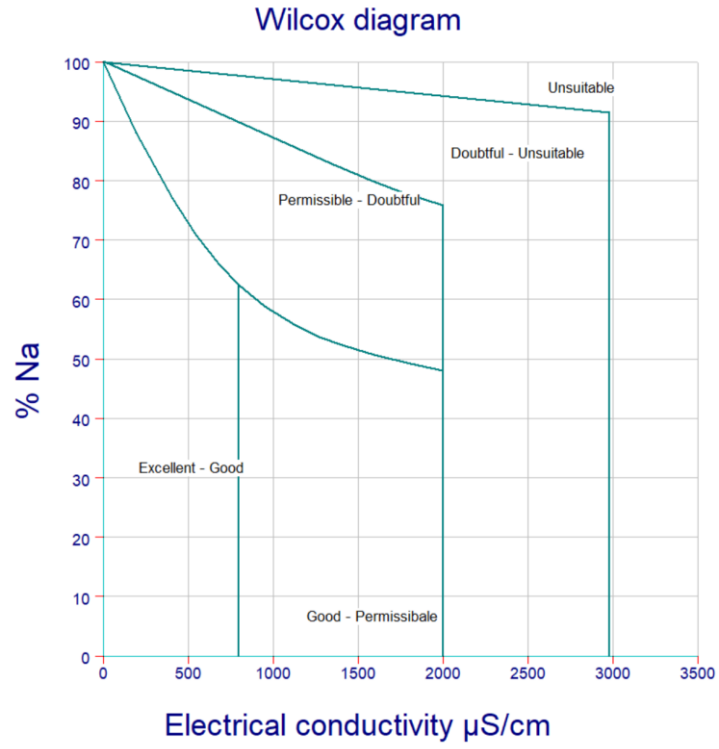
Şekil 2.1. Çalışma alanının yer buldu haritası.



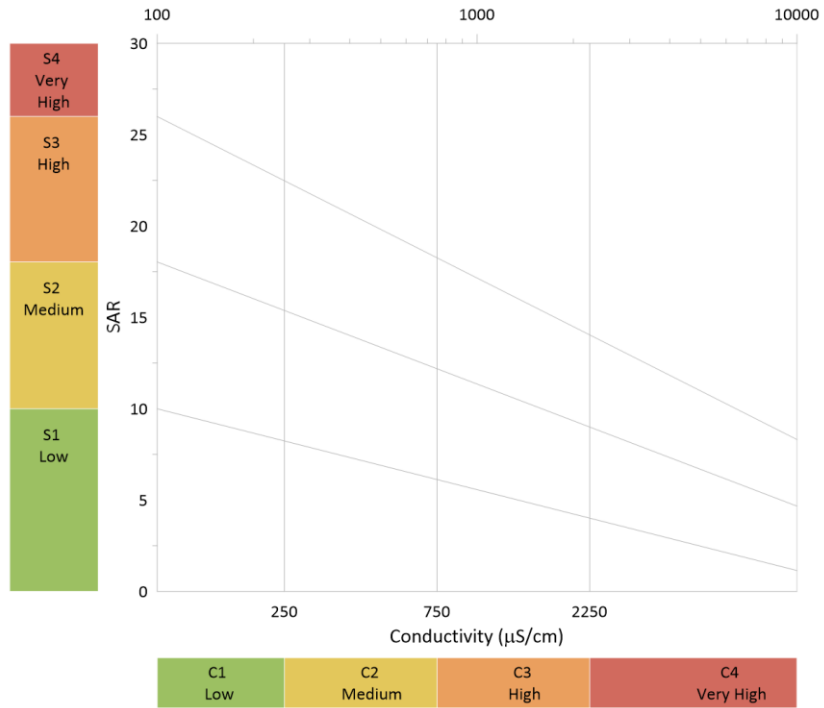
Şekil 2.2. Çalışma alanının içerisinde kaldığı Eflani Çayı'nın drenaj alanı ve su örneklemelerinin lokasyonları.



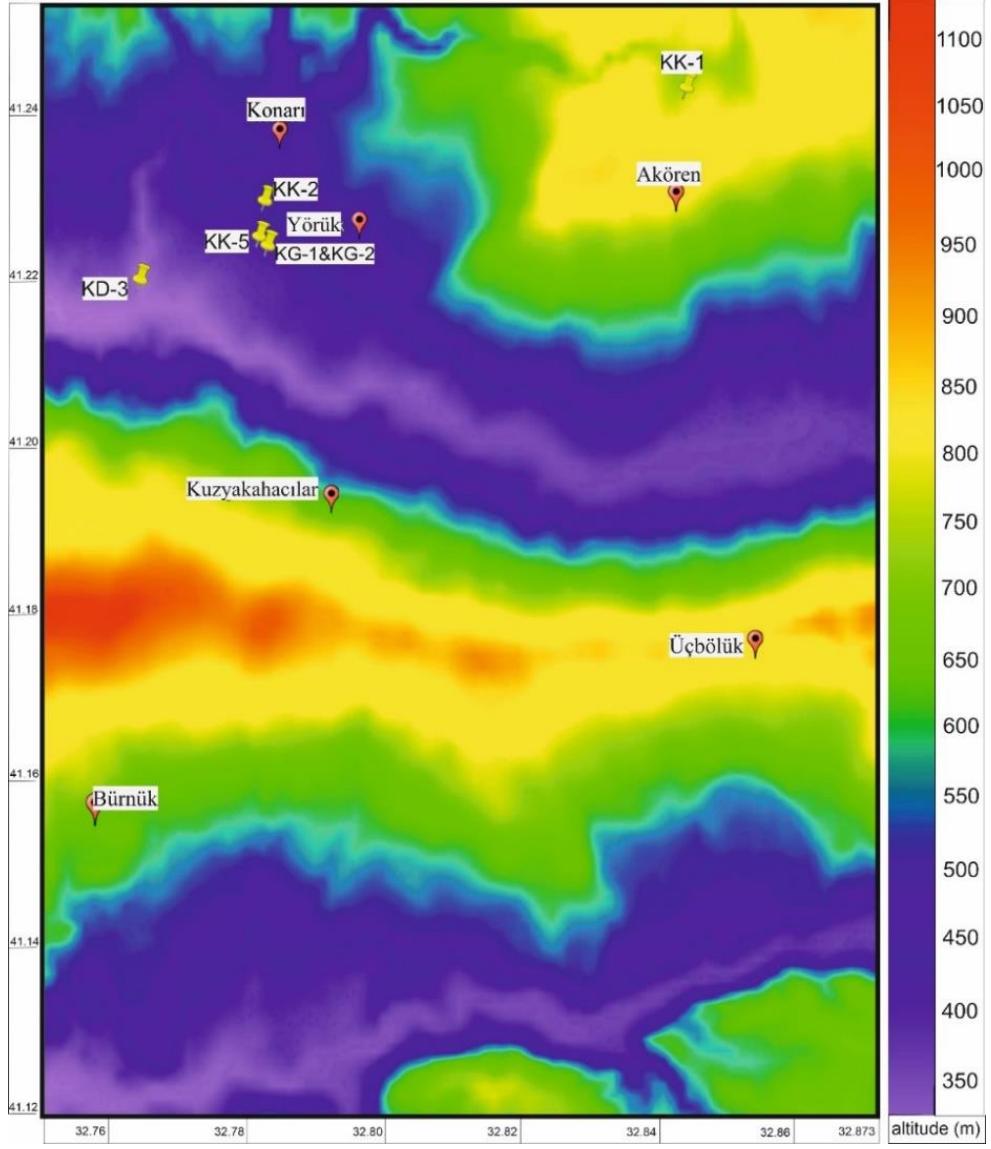
Şekil 2.3. Multi-parametre cihazı ölçümleri (YSI-256).



Şekil 2.4. Wilcox Diyagramı.



Şekil 2.5. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı



Şekil 2.6. Konarı Gölü ve yakın çevresinin yükseklikleri.



Şekil 2.7. Çalışma alanında gerçekleştirilen jeofiziksel ölçüm hatları.



Şekil 2.8. DES ve SP ölçümleri.

BÖLÜM 3

3.1. HİDROLOJİK ve HİDROJEOLOJİK DEĞERLENDİRME

Çizelge 3.3, çalışma alanındaki suların yerinde arazi gözlem ve yağışlı ve kurak dönemlerde yapılan ölçümleri göstermektedir. Çalışma alanındaki birincil akifer özelliği sunan jeolojik birimler farklı yaşlara sahip karstik özellikteki kireçtaşlarıdır. Yağcı Kaynağı (KK-1) karstik kireçtaşlarından boşalmaktadır. Konarı Gölü (KG-1, KG-2) ve çevresinde açılmış kuyular (KK-2, KK-5) beslenmeleri üst kotlarda yer alan karstik kireçtaşlarından olup boşalım noktaları çevresinde yer alan geçirimsiz kayalar nedeniyle basınçlı özellik sunan akiferden boşaldıkları saptanmıştır. Acısu Kaynağı (KK-3) ve Çatak Kaynağı (KK-4) çalışma alanının temelini oluşturan metamorfiklerden boşalmaktadırlar.

Çizelge 3.1 ve 3.2'de, arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği 2023 yılına ait aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri verilmiştir. Bu veriler, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Verilere bakıldığında yağışlı dönem ölçümlerinde yüksek miktarda yağışların meydana geldiği ve örneklemelerin yağışlı ve kurak dönem temsiliyetlerinin uygun olduğu saptanmıştır.

Yağışlı dönemde (Mayıs 2023), kaynakların debileri 0.9-0.16 L/s arasında değişirken, KK-2 ve KK-5 kuyularının debileri sırasıyla 1.3 L/s ve 4.4 L/s'dir. Konarı Gölü boşalım kanallarının çıkış debisi çok fazla yerden kaçak olması nedeniyle net olarak ölçülememiş olmakla birlikte ölçülebilen yerlerden ise yağışlı dönemde 20-25 L/s Kurak dönemde ise 15-20 L/s arasında değiştiği saptanmıştır. Yağışlı dönemde suyun pH değeri, elektriksel iletkenlik (EC) ve ORP değerleri sırasıyla 5.13-7.91, 100-1422 $\mu\text{S/cm}$ ve 214-379 mV aralığında iken, kurak dönemde (Ekim 2023) suyun pH değeri, elektriksel iletkenlik (EC) ve ORP değeri sırasıyla 6.54-7.78, 372-1031 $\mu\text{S/cm}$ ve 299-324 mV aralığında değişmektedir.

EC değeri, TDS değeri ile ilişkilidir çünkü TDS, su içinde çözünmüş madde miktarını yansıtmaktadır; ancak EC değerini belirleyen sadece TDS miktarı değildir çünkü diğer faktörler de etkilemektedir, örneğin, çözünmüş maddenin belirli bileşimi ve belirli koşullardaki sıcaklık etkilidir. Yüksek EC değeri olası bir kirlenmeyi gösterebilmektedir [78]. Çalışma alanındaki kuyu suları en yüksek EC değerine sahiptir. Bunun sebebinin çoğunlukla Göl beslenme alanındaki jeolojik yapı, suların yeraltında daha fazla kalış süresine bağlı olarak kayalar dolayısıyla kayalar bünyesindeki mineraller ile daha fazla etkileşime girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

pH değeri aynı zamanda su-kaya etkileşimini gösteren bir diğer göstergedir. Çalışma alanı özelinde Alkali pH değeri karbonatlı kayaların çözünmesinin kaynaklı olabilirken asidik pH değeri sülfürlü minerallerin oksidasyonundan kaynaklanıyor olabileceği düşünülmektedir. Oksidasyon-indirgeme potansiyeli (ORP), kirleticilerin veya kalitesinin varlığını gösterebilmektedir. Yüksek bir Oksidasyon-İndirgeme Potansiyeli (ORP) değeri, atık ürünlerin etkili bir şekilde ayrıştırıldığını gösterirken, düşük bir ORP değeri ise kirlilik veya durgunluk varlığını gösterebilmektedir. Çözülmüş maddeler ORP'yi etkilemekte ve kirlilik seviyelerinin ve atık su deşarjındaki klor içeriğinin bir göstergesi olabilmektedirler. Bununla birlikte, ORP sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen tarafından etkilenmektedir [79]. Çalışma alanındaki sular genellikle yüksek ORP/Eh değerine sahiptirler.

Çizelge 3.1. Çalışma alanı çevresindeki yağış gözlem istasyonlarının 2023 yılındaki aylık toplam yağış miktarları

İstasyon	Ay											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KARABÜK (mm)	15.1	29	81.6	81	71.6	32.7	79.4	0.5	4	28.8	118.1	96.8
SAFRANBOLU (mm)	14.8	20	88.5	84.5	81	29.6	76	4.5	9.5	22.6	81.6	95.2
BARTIN (mm)	45.4	136.8	109	116.6	50	149.2	194.2	12	1	74.6	341.2	109.4

Çizelge 3.2. Çalışma alanı çevresindeki yağış gözlem istasyonlarının 2023 yılındaki aylık ortalama sıcaklık değerleri

İstasyon	Ay											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KARABÜK (°C)	4.6	4.1	8.4	11.1	15.1	19.6	22.8	25.9	20.2	15.2	10.9	6.6
SAFRANBOLU (°C)	4.8	3.7	8.0	10.8	15.0	19.6	22.8	25.9	20.1	15.5	10.9	6.9
BARTIN (°C)	7.1	5.5	9.3	12.5	15.3	20.2	23.0	24.3	19.7	15.9	12.8	8.8

3.2. İZOTOP KİMYASI

İzotop analizleri, su kaynaklarının kökenini, yeraltı dolanım süresini ve dolayısıyla suların yaşını belirlenebilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H sonuçları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Yağışlı dönemde $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H değerleri sırasıyla -9.53‰ ile -11.35‰, -66.88‰ ile -79.65‰ ve 2.2 TU ile 8.14 TU arasında değişmektedir. Şekil 3.1, suların genellikle Ankara meteorik su doğrusu ve Yozgat meteorik su doğrusu [80, 81] arasında yer aldığını göstermektedir. Böylece suların meteorik kökenli olduğu anlaşılmaktadır. Trityum analiz sonuçları ise Çizelge 3.5'te gösterilen referanslarla [82] karşılaştırıldığında, kurak dönemde Eflani Irmağı hariç tüm suların “yarı-modern ve şimdiki beslenimin karışımı” sular olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, nispeten uzun yeraltı dolanım süresine işaret etmekte ve yüksek EC ve TDS değerlerini açıklamaktadır. Yağışlı dönemde ise Konarı Gölü'ne yağış sularının etkisiyle Trityum değerleri açısından bir miktar yükselme olduğu ve kısmen “modern beslenim”in de bir miktar varlığı kendini göstermektedir. Özellikle Eflani Irmağının kurak dönemdeki düşen Trityum değeri, ırmağa olan kurak dönemdeki nispeten derin dolaşımly yeraltısuyu besleniminin hakimiyetine işaret etmektedir. Ayrıca Yağcı Kaynağı (KK-1) karstik bir kaynak olmasına rağmen besleniminde modern suların baskın olmaması bu kaynağın yaygın ve kararlı bir dolaşıma sahip olduğunun göstergesi açısından önemlidir.

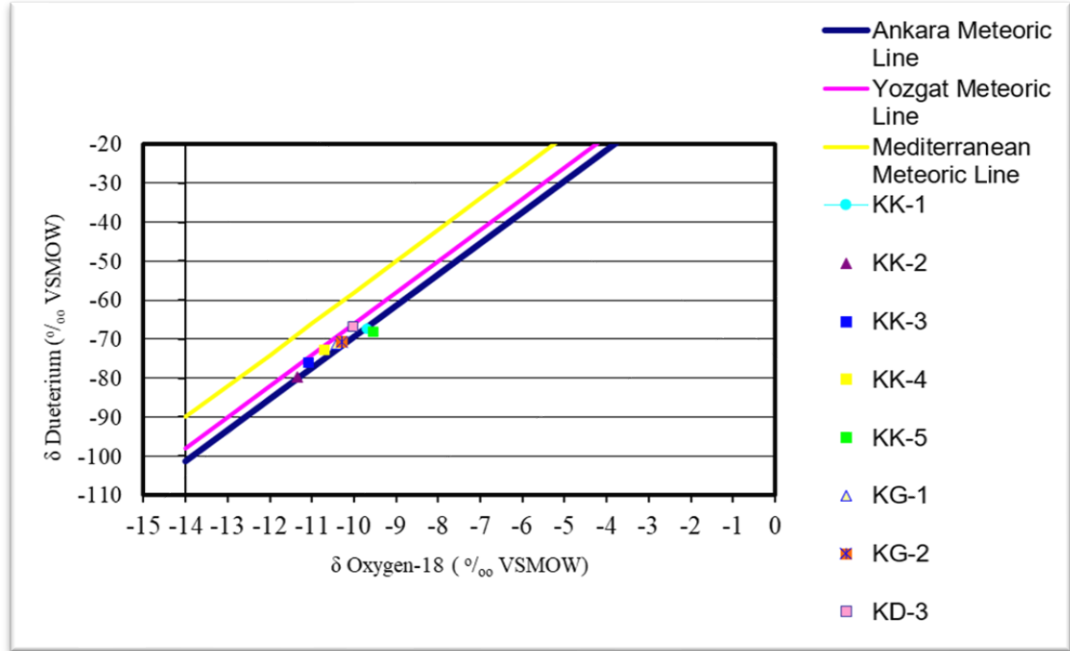
Şekil 3.2, yeraltı dolanım süresi ile birlikte trityum içeriği ve oksijen-18 değişimi arasındaki ilişkinin yansıtılmasında önemlidir. Konarı Gölü ve çevresindeki suların benzer beslenme ve boşalım ilişkisini göstermektedir. Ayrıca KK-2'nin nispeten daha yüksek beslenme alanına KK-5'in ise nispeten daha düşük beslenme alanına sahip olduğuna işaret etmektedir. Bu beslenimlerde karstik yapılarının konumsal varlıkları önem arz etmektedir. Şekil 3.3'de, EC ve Trityum arasındaki ilişki bulunmaktadır. Kısa yeraltı dolaşım süresine sahip suyun kayalar ile temas sürelerinin daha az olmasından kaynaklı olarak düşük EC değerleri ile kendini göstermektedir. Öte yandan, uzun dolanım süresine sahip yeraltısuları yüksek EC değerlerine sahip olmakta ve EC, TDS ve tuzluluk değerleri artırmaktadır.

Çizelge 3.3. Çalışma alanındaki suların arazi ölçüm bilgileri.

Su no	Tarih	Koordinatlar			Örneklerin özellikleri					
		Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	T(°C)	pH	EC (µs/cm)	TDS (mg/L)	ORP (mv)	Debi (L/s)
KK-1	25.05.2023	0486892	04565358	731	11.35	7.65	440	286	379	1.4
“	27.10.2023	“	“	“	11.35	7.63	417	271	308	0.9
KK-2	25.05.2023	0481766	04563900	420	18.1	7.1	961	624	214	1.3
“	27.10.2023	“	“	“	18.2	7.02	909	591	299	1.3
KK-3	25.05.2023	0486224	04580020	862	11.57	5.13	574	373	251	0.16
“	27.10.2023	“	“	“	12	6.86	605	394	304	0.15
KK-4	25.05.2023	0484871	04575236	830	13.76	5.43	100	65	354	(-)
KK-5	27.05.2023	0481732	04563549	415	18.02	6.7	1422	924	350	4.4
“	27.10.2023	“	“	“	17.8	6.54	1031	670	314	(-)
KG-1	27.05.2023	0481732	04563549	408	24.37	6.71	658	428	359	(-)
KG-2	27.05.2023	0481732	04563549	414	23.89	6.74	654	425	362	20-25
“	27.10.2023	“	“	“	23.62	6.7	653	424	324	15-20
KD-3	27.05.2023	0480304	04563017	320	15.12	7.91	392	254	358	(-)
“	27.10.2023	“	“	“	13.02	7.78	372	242	320	(-)

Çizelge 3.4. Çalışma alanındaki suların izotop analiz sonuçları.

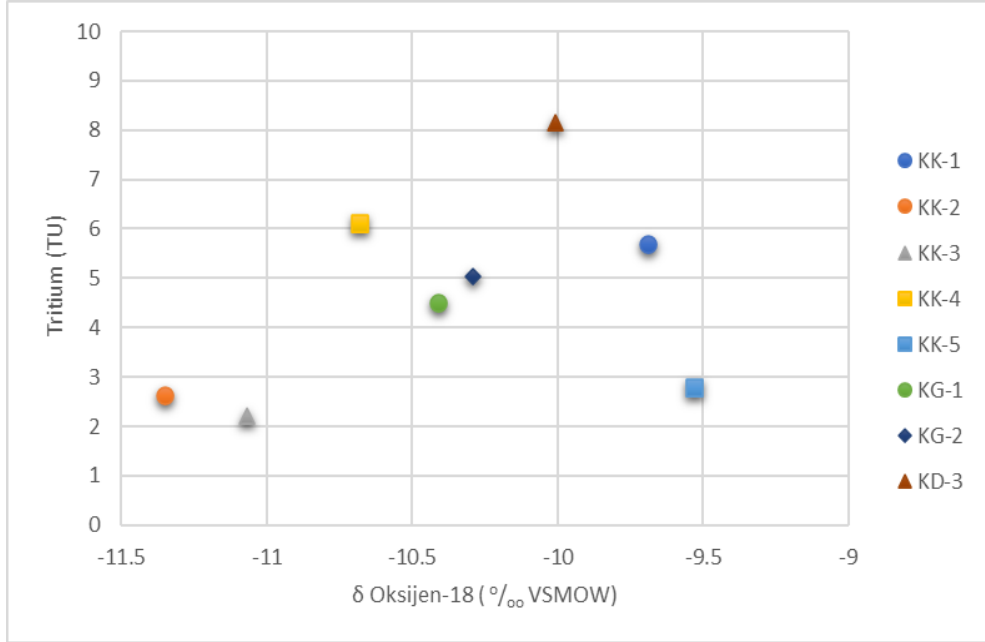
Su No	Örnek Adı	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Tritiyum (TU)
KK-1	Yağcı Kaynağı	25.05.2023	-9.69	-67.57	5.7
“	“	27.10.2023	-	-	4.47
KK-2	Konarı Kuyu-1	25.05.2023	-11.35	-79.65	2.64
“	“	27.10.2023	-	-	1.80
KK-3	Acısu Kaynağı	25.05.2023	-11.07	-76.25	2.2
“	“	27.10.2023	-	-	1.18
KK-4	Çatak Kaynağı	25.05.2023	-10.68	-72.77	6.12
KK-5	Konarı Kuyu-2	27.05.2023	-9.53	-68.17	2.8
“	“	27.10.2023	-	-	2.15
KG-1	Konarı Gölü - taban	27.05.2023	-10.41	-71.15	4.5
KG-2	Konarı Gölü - yüzey	27.05.2023	-10.29	-70.67	5.04
“	“	27.10.2023	-	-	2.97
KD-3	Eflani Irmağı (Ç.K.)	27.05.2023	-10.01	-66.88	8.14
“	“	27.10.2023	-	-	6.29



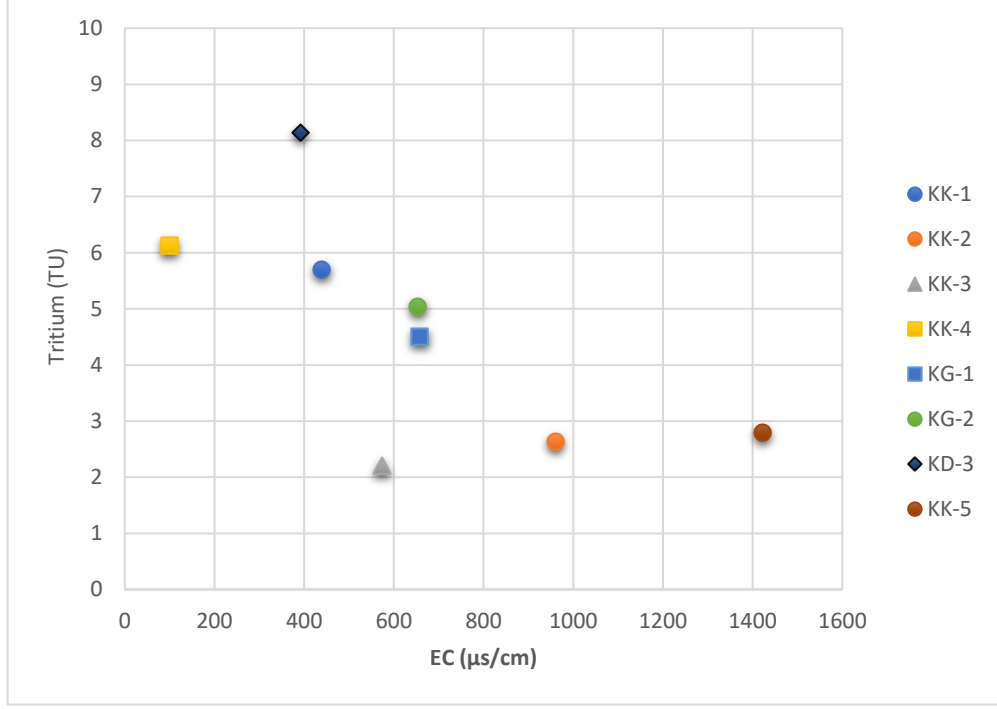
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ grafiği.

Çizelge 3.5. Tritiyum değerleri açısından kıtasal bölgeler kalitatif yaklaşımı [82].

Tritiyum (TU)	Su yaşlandırma
<0.8 TU	Yarımodern-1952'den önce beslenmiş
0.8~4 TU	Yarımodern ve şimdiki beslenimin karışımı
5-15 TU	Modern (<5 ila 10 yıl)
15-30 TU	1960'lı veya 1970'li yıllarda beslenmede önemli bir bileşen
>30 TU	1960'lı yılların beslenimi baskın
>50 TU	Yarımodern-1952'den önce beslenmiş



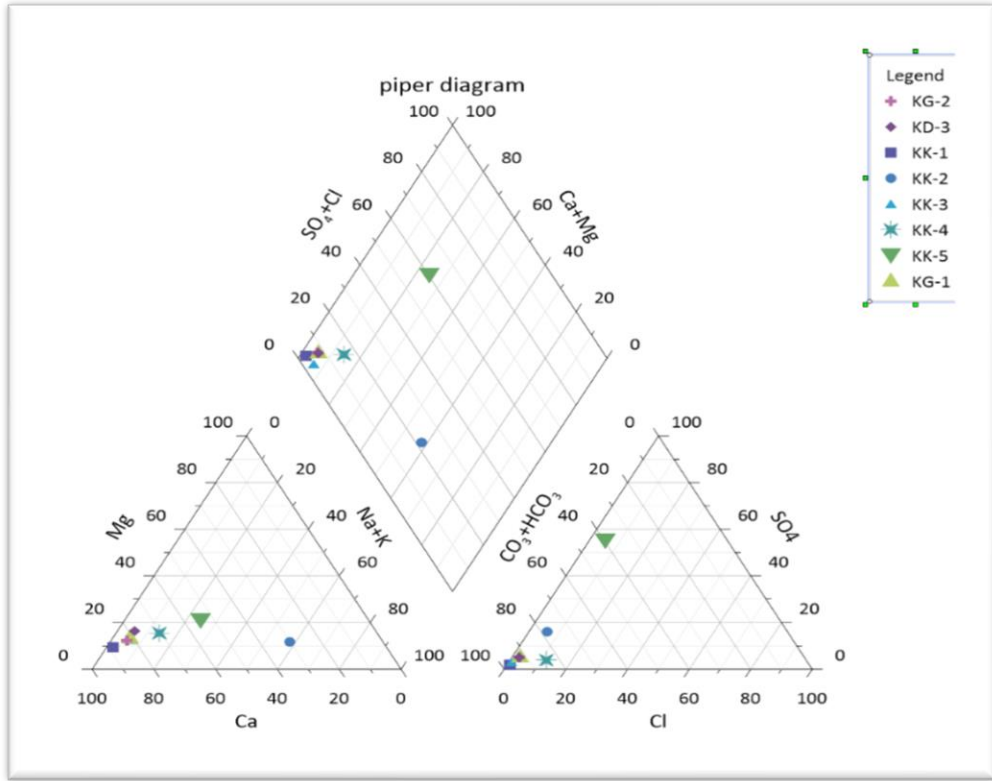
Şekil 3.2. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ ve ^3H ilişkisi.



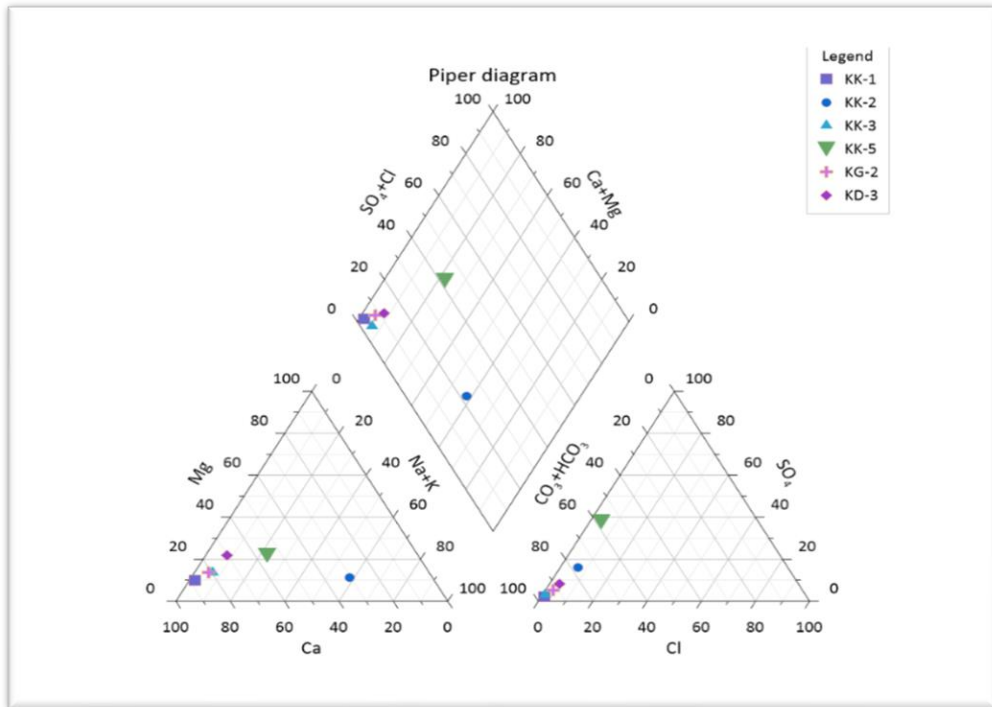
Şekil 3.3. Çalışma alanındaki suların EC ve ^3H ilişkisi.

3.3. KİMYASAL ÖZELLİKLER

Çalışma alanındaki suların anyon ve katyon değerlerine göre yapılan Piper Diyagramı Şekil 3.4, Şekil 3.5’de ve Schoeller Diyagramı ise Şekil 3.6, Şekil 3.7’de verilmiştir. Piper Diyagramında, yağışlı dönemde suların çoğunlukla Ca-HCO₃ fasiyesinde olduğu, ancak KK-5 Kuyusunun muhtemelen akifer ve akım yollarındaki kükürt minerallerinin oksidasyonu nedeniyle CaSO₄ fasiyesinde ve KK-2 Kuyusunun ise muhtemelen katyon değişiminden kaynaklı olarak Na+K-HCO₃ fasiyesinde olduğu saptanmıştır. Kurak dönemde genellikle suların fasiyeslerinde bir değişiklik olmayıp KK-5 Ca-HCO₃ fasiyesi hakimiyeti altına girmiş ve debi değişimi ile birlikte yeraltı akım yollarındaki değişiklik ile birlikte SO₄ konsantrasyonu bir miktar azalma gözlenmiştir. Benzer yorumlara Schoeller diyagramı da götürmekte ve KK-4 Kaynağındaki düşük çözünmüş madde içeriği kendini bariz bir şekilde göstermektedir. Bu kaynak çözünürlüğü düşük olan silisli kayaçların metamorfizması sonucu oluşan kayaç grubundan boşalan bir kaynaktır.



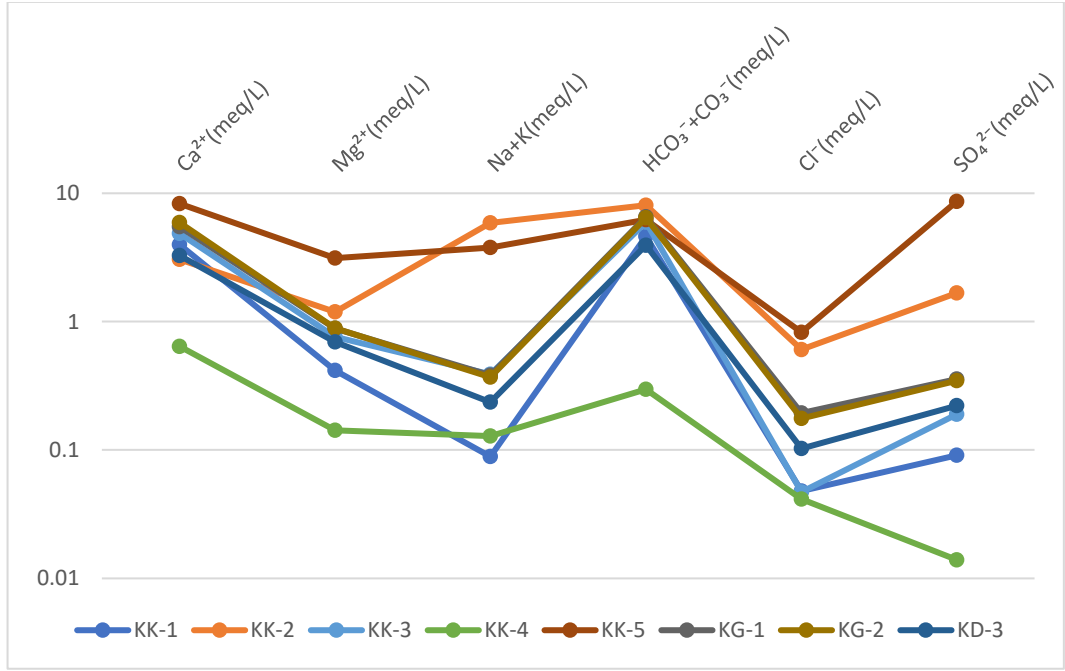
Şekil 3.4. Çalışma alanındaki suların Piper Diyagramı (yağışlı dönem).



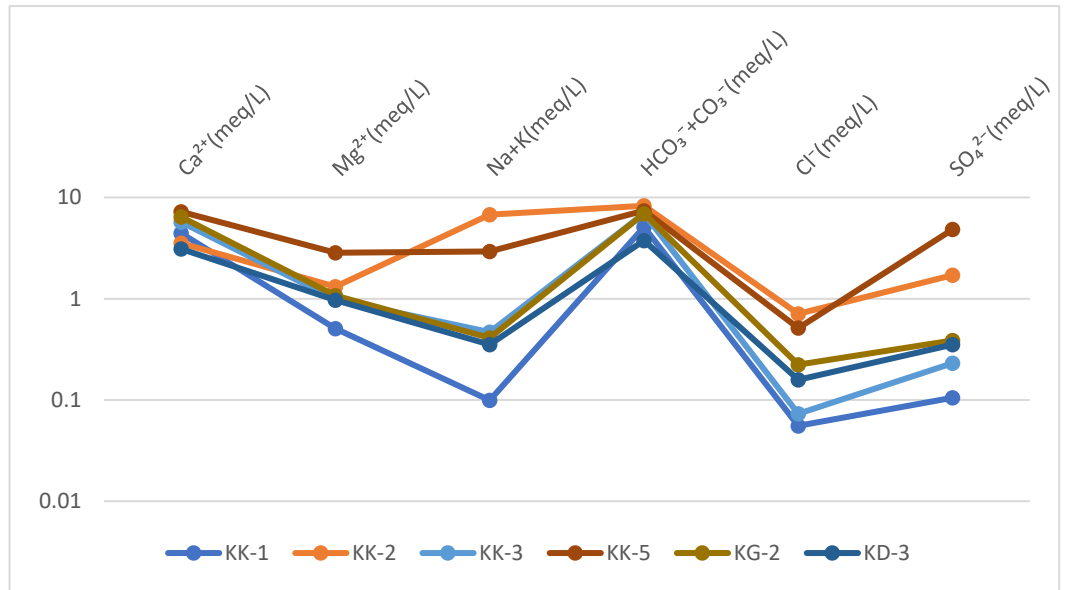
Şekil 3.5. Çalışma alanındaki suların Piper Diyagramı (kurak dönem).

Çizelge 3.6. Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları.

No.	Elementlerin konsantrasyonu (mg/L)														
	Na	K	Ca	Mg	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₂	NO ₃	PO ₄	NH ₄	F	Br	Li
KK-1	1.86	0.32	79.48	5.05	0	286.7	1.7	4.36	≤0.01	0.84	≤0.01	0.56	0.09	≤0.01	≤0.01
"	2.1	0.31	88.87	6.16	0	316.96	1.97	5.07	≤0.01	1.17	≤0.01	0.15	0.17	≤0.01	≤0.01
KK-2	133.01	2.91	61.28	14.46	0	501.76	21.5	80.16	≤0.01	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.32	≤0.01	0.04
"	153.62	3.05	71.13	15.96	0	514.32	25.12	82.22	0.23	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.57	≤0.01	0.04
KK-3	7.76	1.97	97.59	9.27	0	370.31	1.67	9.1	≤0.01	≤0.01	≤0.01	0.44	0.04	≤0.01	0.02
"	9.38	2.33	114.3	11.96	0	430.59	2.59	11.07	0.1	≤0.01	≤0.01	0.34	0.1	≤0.01	0.02
KK-4	2.71	0.42	12.86	1.73	0	18.43	1.47	0.67	≤0.01	39.7	≤0.01	≤0.01	0.01	≤0.01	≤0.01
KK-5	84.76	3.86	166.4	38.08	0	387.89	29.29	415.39	7.31	11.23	≤0.01	≤0.01	0.1	≤0.01	0.03
"	66	2.39	145.1	34.65	0	460.49	18.17	233	≤0.01	7.76	≤0.01	≤0.01	0.17	≤0.01	0.02
KG-1	8.14	1.07	110.14	10.76	0	406.31	6.88	17.16	≤0.01	2.49	≤0.01	0.43	0.06	≤0.01	0.01
KG-2	7.81	1.13	118.76	10.81	0	400.21	6.24	16.62	0.07	2.39	≤0.01	0.29	0.07	≤0.01	≤0.01
"	8.59	1.46	128.91	13.05	0	430.59	7.91	18.61	0.04	2.75	≤0.01	0.52	0.19	≤0.01	0.01
KD-3	4.77	1.09	65.54	8.42	0	244.96	3.64	10.66	0.46	2.41	≤0.01	0.13	0.04	≤0.01	≤0.01
"	6.93	2.02	62.1	11.79	0	233.24	5.61	16.92	0.02	1.71	≤0.01	0.09	0.09	≤0.01	≤0.01



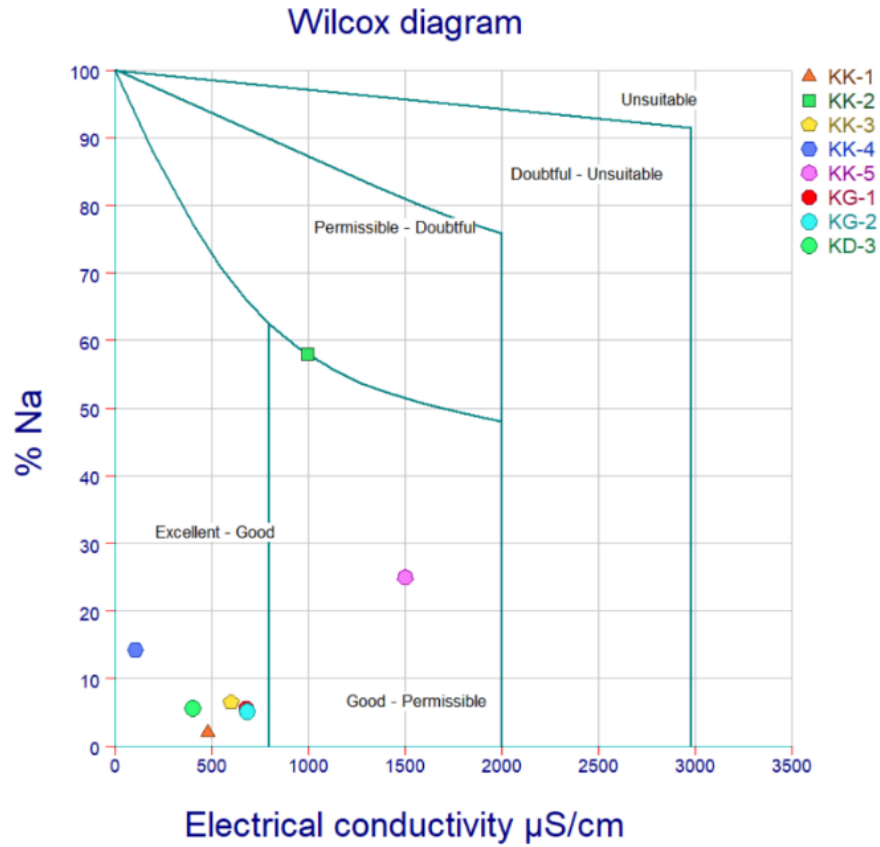
Şekil 3.6. Çalışma alanındaki suların Schoeller Diyagramı (Yağışlı dönem).



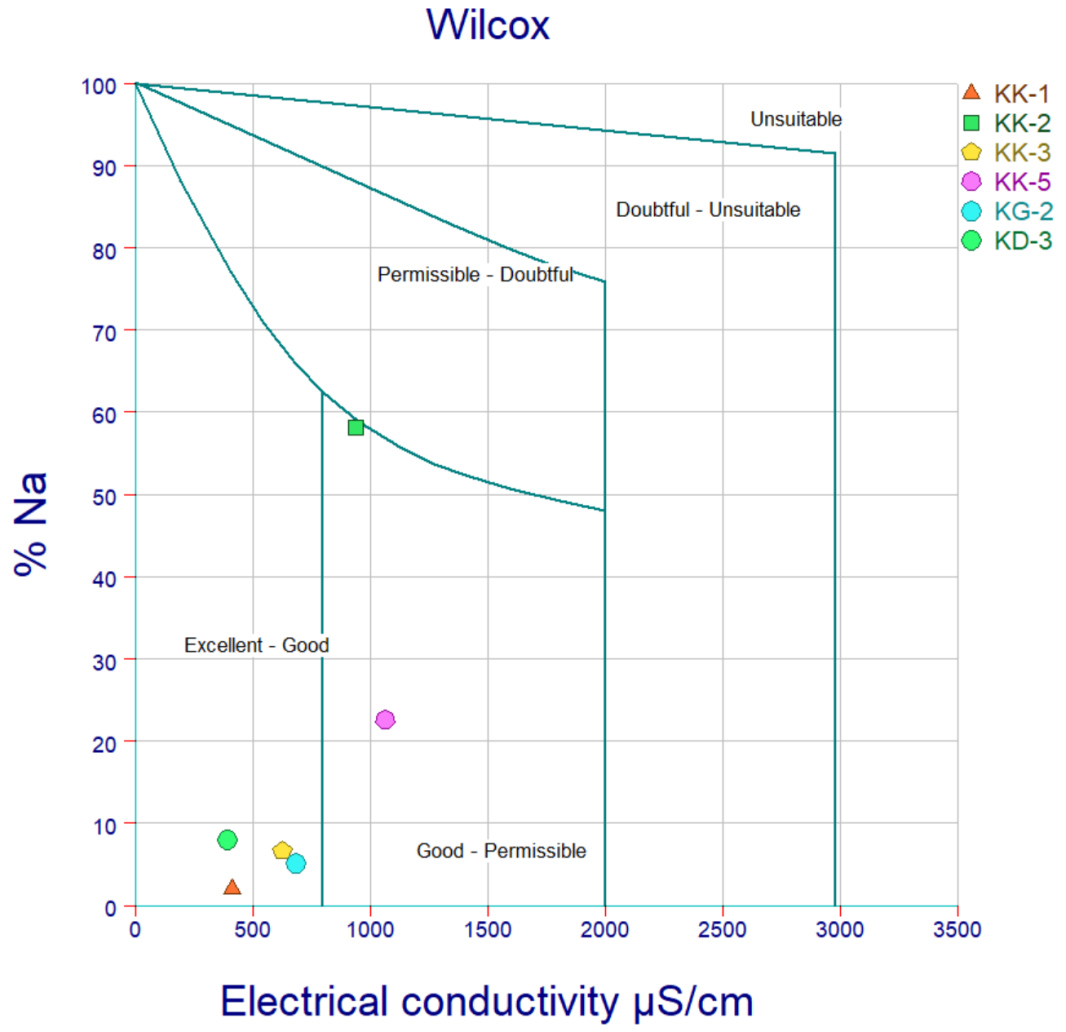
Şekil 3.7. Çalışma alanındaki suların Schoeller Diyagramı (Kurak dönem).

Çalışma alanındaki suları sulama suyu açısından değerlendirmek için Wilcox Diyagramı (Şekil 3.8, Şekil 3.9) ve ABD Tuzluluk Diyagramı (Şekil 3.10, Şekil 3.11) kullanılmıştır. Bu diyagramlar, tarımsal aktiviteler sürecinde sodyumun zararlı etkisini hesaplamaya dayanmaktadır. Wilcox Diyagramına göre sular sulama açısından

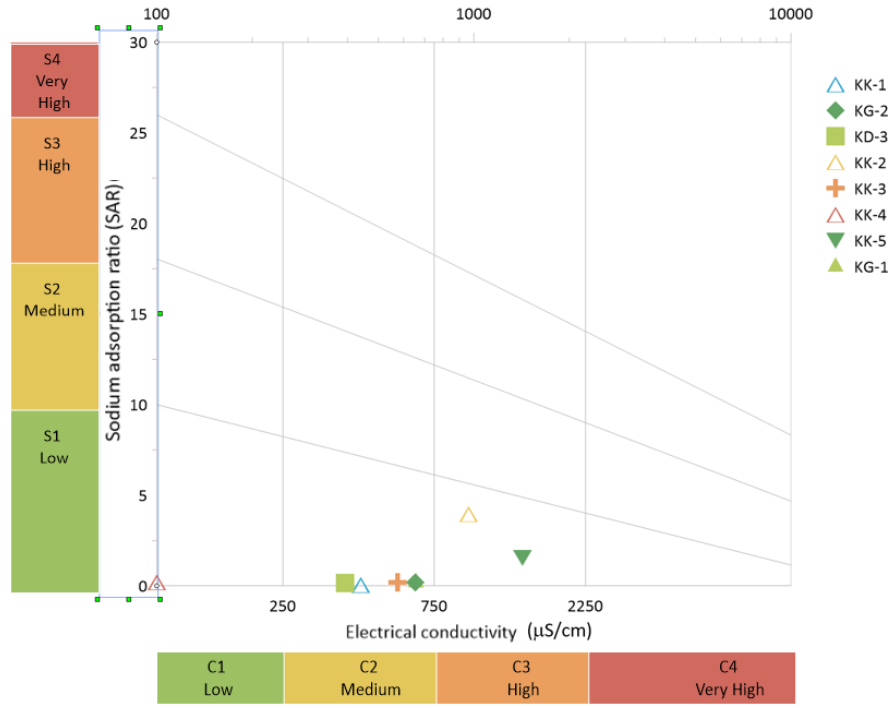
genellikle “mükemmel-iyi” sınıfında yer alırken, KK-5 “iyi-izin verilebilir”, KK-2 ise yüksek Na içeriği nedeniyle “izin verilebilir-şüpheli” sınıfında yer aşmaktadır. Aynı amaçla, ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre ise çoğunlukla suların “C2-S1 (orta tuzlu-düşük sodyum)” bölgesinde bulunduğunu ve düşük sodyum riski olduğunu göstermektedir. C2 sınıfı sular, tuzluluğa orta derecede dayanıklı bitkilerin tuzluluk kontrolüne ihtiyaç duymadan sulanmasında kullanılabilir. Bununla birlikte kuyu suları KK-2 ve KK-5 “C3-S1 (yüksek tuzluluk-düşük sodyum)” bölgesinde bulunmaktadır. Bu durum tuzluluğa dayanıklı bitkilerin kullanılmasını ve toprakta biriken tuzluluğun uzaklaştırılması için yıkama işlemlerini gerektirmektedir [83]. Kurak dönemlerde ise sulara sulama suları sınıfları açısından herhangi bir değişiklik saptanamamıştır.



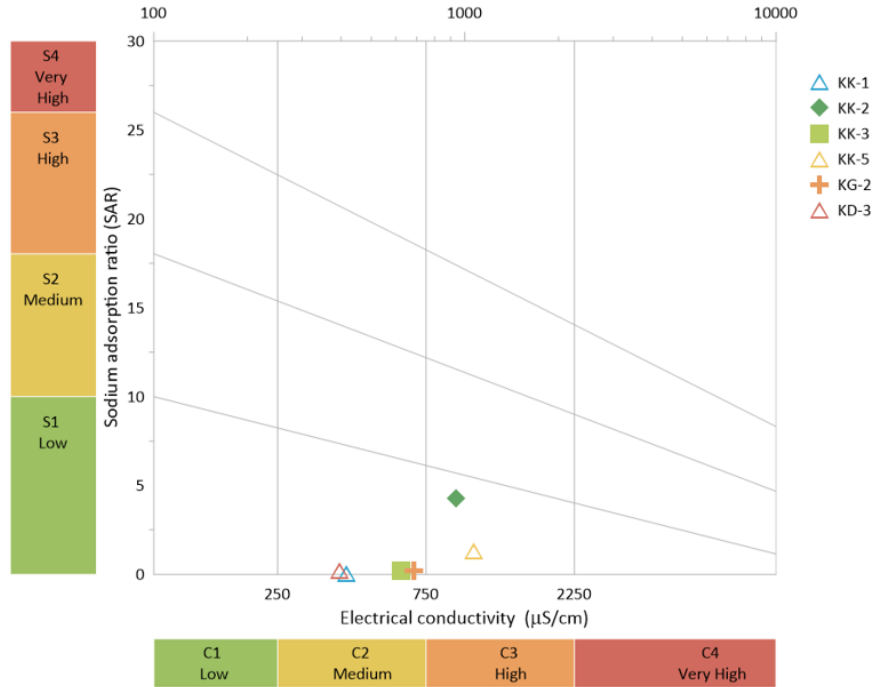
Şekil 3.8. Çalışma alanındaki suların Wilcox Diyagramı (Yağışlı dönem).



Şekil 3.9. Çalışma alanındaki suların Wilcox Diyagramı (Kurak dönem).



Şekil 3.10. Çalışma alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Yağışlı dönem).



Şekil 3.11. Çalışma alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Kurak dönem).

İçme suyunun uygunluğu, öncelikle tadı ve kimyasal ve bakteriyolojik özellikleri tarafından etkilenmektedir. İçme suyunda ağır metallerin varlığı önemli bir öneme sahiptir; hareket yetenekleri, mineral konsantrasyonu, metal özellikleri ve çevresel koşullar gibi unsurlara bağlıdır. Metallerin hareketliliği, bileşimlerine ve pH-Eh dengesine bağlı olarak değişmektedir [84, 85].

Çalışma alanındaki sular içme suyu açısından Türk İnsan Tüketimi Amaçlı Sular Yönetmeliği [86] ve Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları [87])'na göre karşılaştırılmıştır (Çizelge 3.7). Suların EC değerleri Türk içme suyu standartlarında limit değer olan 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ 'yi aşmamaktadır. pH değerleri ise 5.13-7.91 aralığında değişmekte olup, KK-3 ve KK-4 kaynakları minimum limit olan 6.5'in altında kalmaktadır. Konarı Gölü ve çevresindeki sular alt limit altına inmemekle birlikte asidik karakterdedir.

Klorür değeri 1.47-29.29 mg/L arasında değişmekte olup, içme suyu standardının üst sınırı olan 250 mg/L'i aşmamaktadırlar. En yüksek sodyum (Na) miktarı kurak dönemde 153.62 mg/L ile KK-2 kuyusunda gözlenmekte olup sınır değer olan 200 mg/L aşmasa da ona yakın bir değere sahiptir. KK-2 Kuyusundaki yüksek sodyum değerinin kuyu çevresinin üst katmanlarında bulunan killer ile etkileşimde kaynaklı olarak katyon değişiminin sebep olabileceği düşünülmektedir. 415.39 mg/L değerine sahip olan KK-5 kuyusu dışındaki tüm sular sülfat (SO_4) açısından kabul edilebilir düzeyde iken, bu değer Türkiye içme suyu standardının üst sınırını (250 mg/L) aşmaktadır. KK-5 Kuyusundaki sülfat fazlalığının ise muhtemelen beslenme alanı ve akım yollarında yer alabilecek sülfürlü minerallerin oksidasyonundan kaynaklı olabileceği ve ayrıca buna bağlı olarak pH değerlerinde bir miktar düşme gözlemlendiği saptanmıştır.

Suların nitrat (NO_3) ve nitrit (NO_2) değerleri sırasıyla ≤ 0.01 -39.7 mg/L ve ≤ 0.01 -7.31 mg/L arasında değişmektedir. Çevresinde tarımsal aktiviteler ve yerleşim merkezi bulunan KK-4'ün değerleri üst limit değerleri aşmamakla birlikte yüksek değerlere sahiptirler. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme suyundaki nitrat konsantrasyonu için

önerilen bir sınır olan 50 mg/L'yi belirlemiştir. Ancak, konsantrasyon 10 mg/L olduğunda bile, bu kirlilik riskinin olası bir göstergesi olabilmektedir [88, 89]. Nitrat ve nitrit, insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri olan yaygın kirleticilerdir [90]. Nitrat, toprakta, suda ve havada bulunan temel bir kimyasaldır ve çoğunlukla tarımsal aktiviteler sırasında kullanılabilen gübrelere kaynaklanabilmektedir. Tarımsal faaliyetlerin artması, bu elementlerin yeraltı suyuna ve yüzey suyuna sızmasına neden olabilmektedir. Nitrit, nitratın çevrede veya insan vücudunda bakteriyel çürümesi yoluyla üretilmekte ve içme suyunda yüksek nitrat ve nitrit konsantrasyonları, metemoglobinemiye, kanın oksijen taşıma kapasitesinin azalmasıyla karakterize bir tıbbi bozukluğa yol açabilmektedir [91]. Ayrıca, içme suyundaki yüksek nitrat seviyelerine uzun süreli maruz kalma, bazı kanser türlerinin, konjenital anormalliklerin ve tiroid bozukluklarının daha yüksek riskiyle ilişkilendirilmiştir [31]

Suların Bor (B) konsantrasyonları yağışlı dönemde 1.31-64.47 mg/L arasında, kurak dönemde ise 0.02-0.06 mg/L arasında değişmekte olup bor değerlerinin içme suyu standardının üst limitini yağışlı dönemde aştığı saptanmıştır. Kurak dönemde ise muhtemelen yağış sularının azlığı nedeniyle kayaçlardan yıkanmanın az olmasından kaynaklı olarak üst limitin altında kalmıştır. Alüminyum değerleri genellikle içme suyu referans standartları üst limitinin altında kalmakla birlikte, yağışlı dönemde metamorfiklerden boşalan KK-4 Kaynağı ve KD-3 Eflani Irmağı sırasıyla 2.06 mg/L ve 7.5 mg/L değerleriyle 0.2 mg/L olan üst limiti aşmaktadır. Al, Alzheimer hastalığı ve diğer bozukluklar gibi çeşitli nörolojik bozuklukların temel faktörü olarak gösterilmektedir [92].

Suların mangan (Mn) konsantrasyonu <0.004 mg/L ve 285.18 mg/L arasında değişmektedir. Türk içme suyu standartlarının ve Dünya Sağlık Örgütü standartlarının üst limitleri sırasıyla 0.05 mg/L ve 0.4 mg/L olarak belirlenmiştir, Genellikle her iki dönemde de Konarı Gölü çevresindeki kuyular ve metamorfiklerden boşalan KK-2, KK-3, KK-4 ve KK-5 suların Mn değerleri üst limitleri aşmaktadır. Mn, birçok farklı biyolojik fonksiyon için gerekli olan önemli bir iz elementtir. Bununla birlikte, manganın aşırı seviyeleri, bağışıklık sisteminin zayıflaması gibi önemli sağlık

sorunlarına yol açabilmekte ve böylece vücudun mikroplar, virüsler ve parazitlerle mücadele yeteneğini engellenmektedir. Ayrıca, tüberküloz ve hepatit gibi hastalıkların sonuçlarını kötüleştirebilmekte, beyin, kemik ve sinir sistemi üzerinde etki göstermekte ve titreme ve kas sertliği gibi sağlık sorunlarına neden olabilmektedir [93–95].

Demir (Fe) konsantrasyonu <0.01 mg/L ile 2.66 mg/L arasında değişmekte olup Türk içme suyu standartlarının üst limiti olan 0.2 mg/L değerini KD-3 aşmaktadır. Bakır (Cu) konsantrasyonu tüm sular için <0.001 mg/L iken, KK-4 Kaynağı 6.03 mg/L değeriyle üst limitleri aşmaktadır. Cu, antioksidan enzim aktivitesi sergileyen değerli bir elementtir. Bununla birlikte, insan vücudunda aşırı bakır, hipertansiyona neden olabilirken, eksiklik kardiyovasküler hastalıklara katkıda bulunabilmektedir [96, 97].

Arsenik (As) konsantrasyonları 0.05 mg/L ile 4.23 mg/L arasında değişmekte olup tüm dönemlerde standartlarda izin verilebilen üst limiti değeri olan 0.01 mg/L değerini onlarca hatta yağışlı dönemde yüzlerce kat aşmaktadır. Arsenik tat ve koku içermemektedir. İçme suyundaki arseniğin genellikle temel kaynağı doğal jeolojik oluşumlar olup maruziyet düzeyi zamanla arttıkça, sağlık sorunları yaşama olasılığı da artmaktadır. Arsenik, kardiyovasküler hastalıklar, böbrek problemleri, cilt bozuklukları, nörolojik bozukluklar ve çeşitli kanser türleri gibi bir dizi sağlık sorununa neden olma potansiyeline sahiptir [96, 98].

Çalışma alanındaki suların selenyum (Se) değerleri, 0.01 mg/L-23.57 mg/L arasında değişmekte olup tüm sular tüm dönemlerde üst sınır değer olan 0.01 mg/L'yi aşmaktadır. İnsan sağlığı için önemli olan bir iz mineralidir, ancak fazla veya az alımı ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Dünya Sağlık Örgütü yetişkinler için güvenli bir günlük alım miktarını 30 ila 400 mikrogram olarak önermektedir [31]. Eksiklik, tiroid hastalıklarına, bağışıklık sistemlerinin bozulmasına, üreme yeteneğinin azalmasına, kardiyomiyopati riskinin artmasına, ayrıca bebeklerde iyot eksikliğinin kötüleşmesine neden olabilir. Diğer olumsuz etkiler arasında sarımsak kokusu, metalik tat, bulantı, kusma, ishal, karın ağrısı, saç dökülmesi, tırnak kırılabilirliği, cilt

döküntüleri, sinir sistemi bozuklukları, karaciğer ve böbrek hasarı, solunum sıkıntısı ve kalp durması bulunur [99, 96]. Kadmiyum (Cd) konsantrasyonu, <0.001 mg/L-0.03 mg/L arasında değişmekte olup KK-1 ve KD-1 hariç tüm sularda özellikle kurak dönemde üst sınırlarını aşmaktadır. Kadmiyum, yaşayan türler için tanınmış bir biyolojik rol veya fayda sağlamamakta, büyüme veya hayatta kalma için gerekli olmamaktadır. Bununla birlikte, kadmiyuma uzun süreli veya aşırı maruz kalma, insanlar dahil yaşayan organizmalar için önemli sağlık riskleri oluşturabilmektedir [100]. Civa (Hg) konsantrasyonu, 0.0001 mg/L-0.25 mg/L arasında değişmekte olup KD-1 hariç özellikle kurak dönemde üst limit değerleri onlarca kat aşmaktadır. Civa, insan vücudunda çeşitli ciddi sağlık sonuçlarına neden olabilmekte, sağlık sonuçlarının doğası ve derecesi, maruz kalınan civa bileşimi ve miktarı ile birlikte, vücutta birikmiş civa birikimine bağlı olmaktadır [100].

Kurşun (Pb) konsantrasyonunun saptama sınırı üst limit değerlerinin altında kalmakta olduğu için standartları aşma konusunda net ifadeler kullanılamamaktadır. Pb vücuttaki kırmızı kan hücrelerine giren ve onları demir eksikliği nedeniyle tüketen çok zararlı bir maddedir; kemiklerde kurşun bulunması, bu toksik metalin çözülmesine ve böylece böbrek enfeksiyonlarına neden olabilmekte ve beyin ve sinir sisteminin normal işleyişini bozabilmektedir. Ayrıca, kan dolaşımındaki yüksek kurşun seviyeleri çocuklarda IQ seviyelerinin düşmesine katkıda bulunabilmekte olup standartlar tarafından belirlenen kurşun içeriği eşiğinin ötesindeki durumlar, metabolik toksisite, tükenme, kan eksikliği ve anksiyete gibi birçok sağlık sorununa yol açabilmektedir [88].

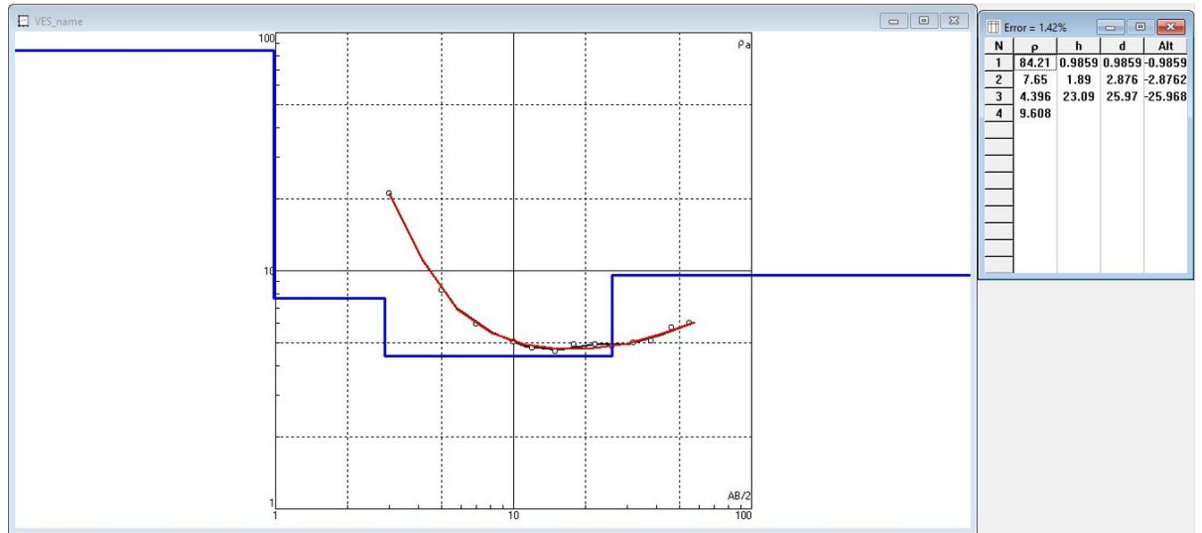
Çizelge 3.7. Çalışma alanındaki suların iz element analiz sonuçları ve içme suyu referans standartları ([89,87]).

No.	Elementlerin konsantrasyonu (mg/L)										
	¹¹ B	²⁷ Al	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁵⁶ Fe	⁶³ Cu	⁷⁵ As	⁷⁸ Se	¹¹¹ Cd	²⁰¹ Hg	²⁰⁸ Pb
KK-1	1.63	<0.005	0.01	<0.004	<0.01	<0.001	0.62	0.16	<0.001	<0.0001	<0.03
"	0.04	<0.005	<0.002	<0.004	<0.05	-	0.86	0.39	<0.001	0.23	<0.03
KK-2	64.57	<0.005	<0.002	1.59	<0.01	<0.001	4.23	0.02	<0.001	<0.0001	<0.03
"	0.03	<0.005	<0.002	<0.004	<0.05	-	0.18	0.16	0.02	0.23	<0.03
KK-3	4.15	<0.005	<0.002	285.18	<0.01	<0.001	0.06	0.06	<0.001	0.02	<0.03
"	0.02	<0.005	<0.002	150.8	<0.05	-	0.05	0.15	0.04	0.1	<0.03
KK-4	1.31	2.06	<0.002	4.19	<0.01	6.03	0.06	0.01	0.01	<0.0001	<0.03
KK-5	41.06	<0.005	<0.002	23.41	<0.01	<0.001	2.64	23.57	0.03	0.01	<0.03
"	0.05	<0.005	<0.002	16.88	<0.05	-	0.76	0.12	0.03	0.02	<0.03
KG-1	19.22	<0.005	<0.002	<0.004	<0.01	<0.001	2.74	0.42	<0.001	0.03	<0.03
KG-2	17.57	<0.005	<0.002	<0.004	<0.01	<0.001	2.87	0.4	<0.001	0.04	<0.03
"	0.028	<0.005	<0.000	<0.000	<0.05	-	0.81	0.61	0.01	0.25	<0.03
KD-3	3.69	7.51	0.04	<0.004	2.66	<0.001	0.27	0.19	<0.001	<0.0001	<0.03
"	0.06	<0.005	<0.000	<0.004	<0.05	-	0.54	0.09	<0.001	<0.0001	<0.03
[101]	1	0.2	0.05	0.05	0.2	2	0.01	0.01	0.005	0.001	0.01
[102]	0.5	0.2	0.05	0.4	-	2	0.01	0.01	0.003	0.006	0.01

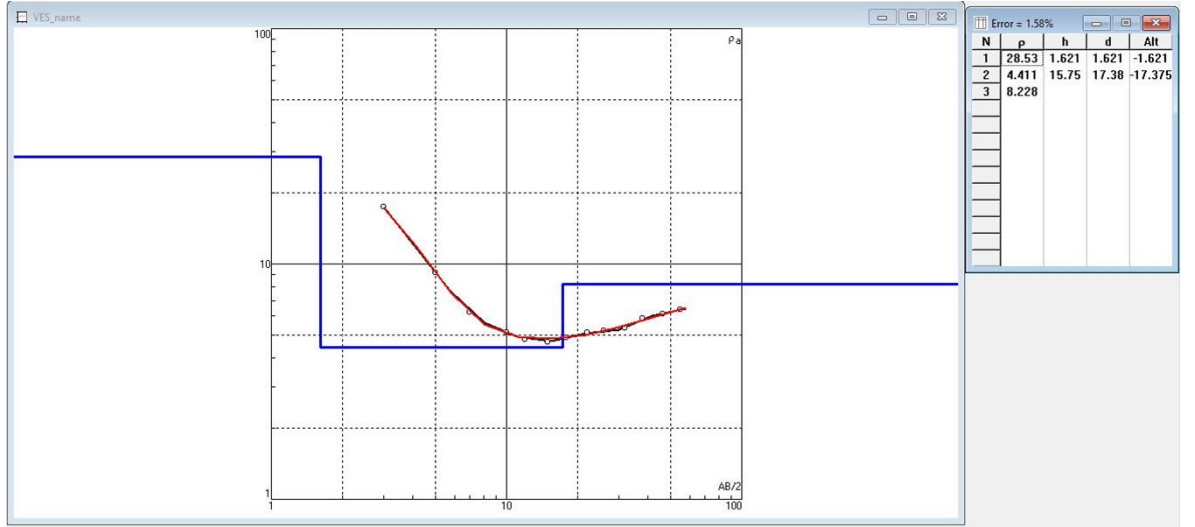
3.4. JEOFİZİKSEL ÖLÇÜMLER

Şekil 2.4, çalışma alanındaki elektrik akımı uygulanarak yeraltı tabakalarının elektrik direncini ölçen Dikey Elektrik Sondajı (DES) için hatları göstermektedir. DES sonuçları Şekil 3.12 - Şekil 3.15’de verilmiştir. Bu yöntem, yüzey potansiyel ölçümleri kullanarak yeraltı tabakalarının derinliğini ve direncini belirlemeyi amaçlamaktadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarında en üst katmanlarda kilin varlığı saptanmış olup, ardından arazi şartları nedeniyle açılı yapılabilen ve ölçülebilen derinlik olan 200 m’ye kadar olan kesimlerde ise kum, çakıl ve konglomera tabakalarının varlığı saptanmıştır.

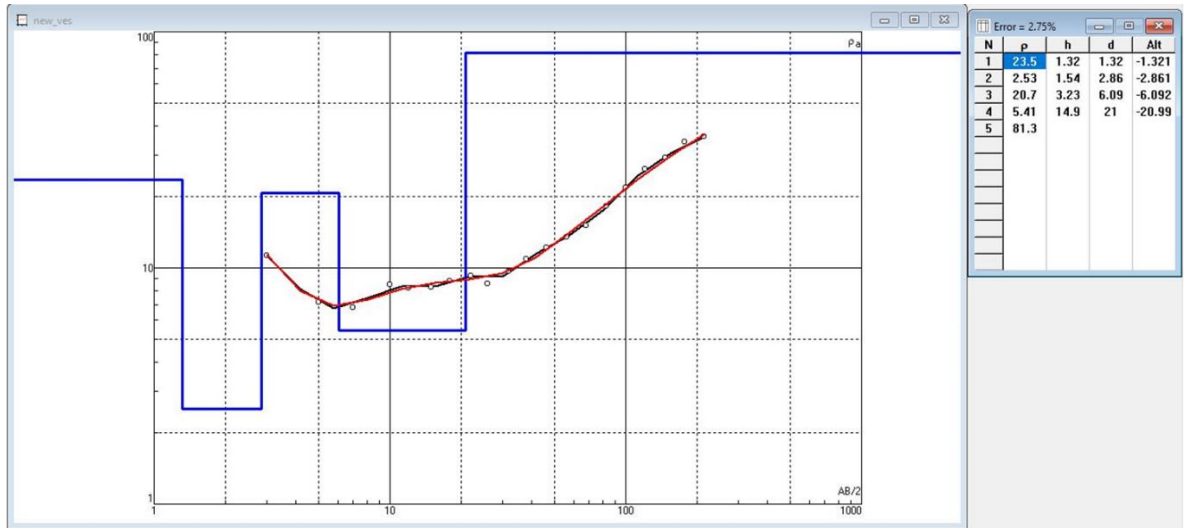
Jeofiziksel arazi ölçümleri esnasında ikici olarak yeraltındaki doğal elektrik potansiyel farkını ölçen Self Potansiyel (SP) yöntemi uygulanmıştır (Şekil 3.16). SP, sıvı akışı, mineralizasyon, jeotermal aktivite ve kirlilik gibi çeşitli fenomenleri tespit etmek için kullanılabilir. Arazi ölçümleri esnasında elde edilen sonuçlarda, arazi gözlemleri, diğer su kimyası ve izotop analizi sonuçlarını destekler nitelikte olarak Konarı Gölü’nün kuzey/kuzeydoğusunda yeraltı akışkanlarının varlığı saptanmıştır. Böylece Konarı Gölü’nün kuzey/kuzeydoğu kesimlerde yer alan karstik kireçtaşlarından beslendiği ve bu akiferin üst katmanlarda yer alan kil gibi geçirimsiz seviyeler nedeniyle basınçlı akifer özelliği kazandığı, yeraltısuyunun akifer boyunca uygun bulunduğu kırık çatlak hatlarından birkaç noktada yeryüzüne çıktığı saptanmıştır.



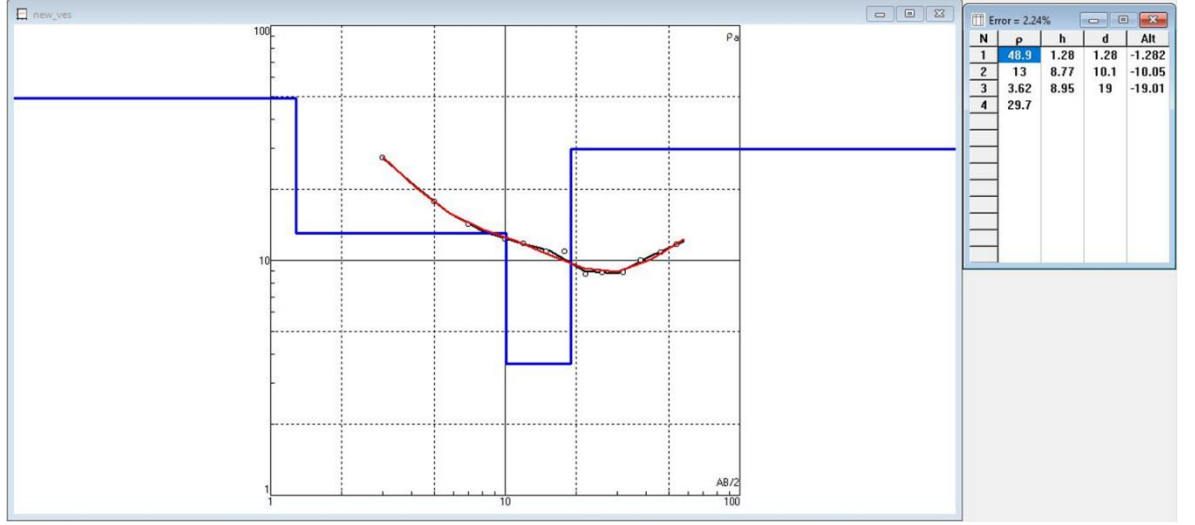
Şekil 3.12. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 1 nolu hattın DES-1 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.



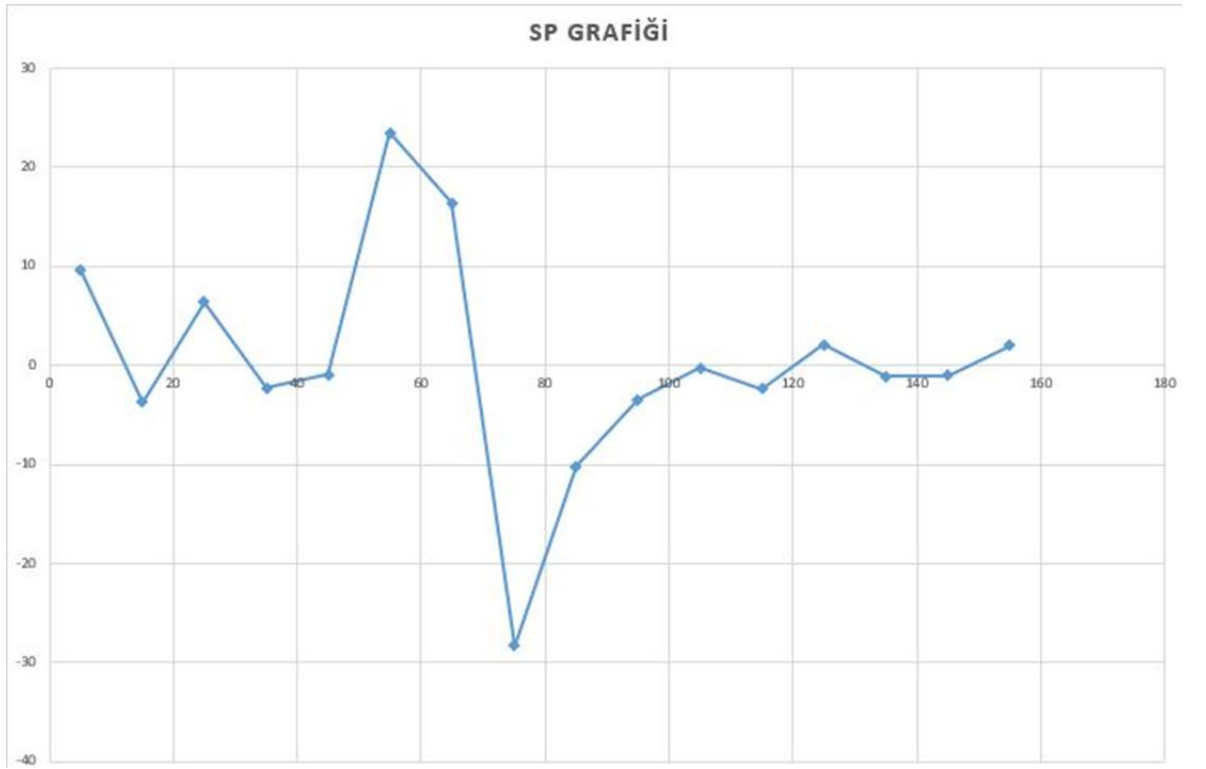
Şekil 3.13. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 2 nolu hattın DES-2 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.



Şekil 3.14. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 3 nolu hattın DES-3 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.



Şekil 3.15. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 4 nolu hattın DES-4 Eğrisi ve Kalınlık-Özdirenç Değerleri.



Şekil 3.16. Çalışma alanında ölçümü gerçekleştirilen 1 nolu hattın SP grafiği.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Çalışma alanında bir göl, üç kaynak, iki kuyu ve bir nehir noktası üzerinde hidrolojik ve hidrojeolojik amaçlı olarak arazi gözlemleri, ölçüm ve örneklemler gerçekleştirilmiştir. KK-1 karstik nitelikte bir kaynak olup KK-2, KK-5 ve Konarı Gölü suyunun (KG-1, KG-2) basınçlı akiferler niteliğine sahip bir akiferden boşalan sular olduğu saptanmıştır. KK-1 ve Konarı Gölü suları içme ve sulama amaçlarıyla tüketilirken, KK-2 ve KK-5 sadece sulama amaçlarıyla kullanılmaktadır. Benzer şekilde, KK-3 ve KK-4 yerel halk tarafından şifa amacıyla içme suyu olarak kullanılmaktadır.

Yağışlı dönemde suyun pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve ORP değerleri sırasıyla 5.13-7.91 ve 100-1422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Aynı şekilde, kurak dönemde ise bu değerler 6.54-7.78 ve 372-1031 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Piper diyagramı, suyun çoğunlukla Ca-HCO₃ fasiyesinde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Göl çevresindeki KK-5 Kuyusunun CaSO₄ fasiyesinde olduğu KK-2 Kuyusunun Na+K-HCO₃ fasiyesinde olduğu saptanmıştır. Bölgedeki jeolojik yapı, arazi gözlemleri ve kimyasal ve izotopik analiz sonuçları nedeniyle KK-5 Kuyusunun derinlikteki sülfür minerallerinin oksidasyonu nedeniyle CaSO₄ fasiyesinde olduğu ve KK-2 Kuyusunun ise çevresindeki killere ile katyon değişimi nedeniyle Na+K-HCO₃ fasiyesinde olduğu düşünülmektedir.

Oksijen-18 ve döteryum izotop sonuçları, suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. Trityum analiz sonuçları ise kurak dönemde Eflani Irmağı hariç tüm suların “yarı-modern ve şimdiki beslenimin karışımı” sular olduğu anlaşılmaktadır.

Bu durum, nispeten uzun yeraltı dolanım süresine işaret etmekte ve yüksek EC ve TDS değerlerini açıklamaktadır. Yağışlı dönemde ise Konarı Gölü'ne yağış sularının etkisiyle Trityum değerleri açısından bir miktar yükselme olduğu ve kısmen "modern beslenim" in de bir miktar varlığı saptanmıştır. Özellikle Eflani Irmağının kurak dönemdeki düşen Trityum değeri, ırmağa kurak dönemdeki nispeten derin dolaşımli yeraltısuyu besleniminin hakimiyetini vurgulamaktadır. Ayrıca Yağcı Kaynağı (KK-1) karstik bir kaynak olmasına rağmen besleniminde modern suların baskın olmaması bu kaynağın yaygın ve kararlı bir dolaşıma sahip olduğunun göstermektedir.

Çalışma alanındaki sular, Türk İnsan Tüketimi için Su Yönetmeliği ve Dünya Sağlık Örgütü İçme Suyu Standartları ile karşılaştırıldığında her iki dönemde de olmakla birlikte özellikle yağışlı dönemde, suların çoğunluğunun B, As, Se ve Hg için standartları aştığı, bazılarının da Al, Mn, Cd ve NH₄ için standartları aştığı saptanmıştır. Bu kirlilik kaynaklarının bölgede sülfür mineral yataklarının olası varlığı, mineralize olmuş kayaların doğal yıkanması olabileceği ve özellikle nitrat ve nitrit değeri yüksek olan KK-4 ve KK-5 sularındaki iz element kirliliklerinde tarımsal faaliyetler sırasında bilinçsizce kullanılan gübreler ve pestisitlerin de bir miktar katkıda bulunabileceği düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki sular sulama suyu amaçları için su kalitesi değerlendirildiğinde, Wilcox diyagramına göre suyun çoğunluğunun "çok iyi-iyi" sınıfında yer aldığı, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre ise "düşük sodyum-orta tuzlu (C2-S1)" sınıfında yer aldığı saptanmıştır. Bununla birlikte Konarı Gölü çevresindeki kuyu KK-2 ise Wilcox Diyagramına göre "izin verilebilir-şüpheli" sınıfında sınırı yer aldığı, KK-2 ve KK-5 ABD Tuzluluk Diyagramında ise yüksek tuzluluğu işaret ettiği saptanmıştır. Dolayısıyla bu sular bu haliyle tuzluluğa hassas bitkilerde tercih edilmemelidir.

Araştırma çalışmaları ve kimyasal/izotop analiz sonuçlarına dayanarak, akademik ve turistik olarak henüz keşfedilmemiş olan ve belirgin bir yüzey akışı beslenimi olmayan Konarı Gölü'nün, gölün kuzey/kuzeydoğu kesiminde yer alan farklı yaşlara sahip

karstik kireçtaşı akiferlerinden beslenen ve çevresindeki geçirimsiz seviyeler nedeniyle basınçlı akifer özelliği kazanan kayalardan kırık çatlak hatları boyunca yeryüzüne ulaşan sulardan beslenmeyle oluştuğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Shiklomanov, I. a., "World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century.", *United Nations Educational, Scientific And Cultural Organization*, 40 (1998).
2. United States Geological Service, "How much water is on, in and above the Earth?", *The USGS Water Science School*, 2: (2014).
3. Albaqoul, A. A. A., "Meteorological and Hydrological Drought Analysis of Sinop, Kastamonu, Bartın Provinces In The Western Black Sea", (2022).
4. "City of Safranbolu - UNESCO World Heritage Centre", <https://whc.unesco.org/en/list/614> (2023).
5. Islam, M. S., Ismail, B. S., Barzani, G. M., Sahibin, A. R., and Mohd Ekhwan, T., "Hydrological Assessment and Water Quality Characteristics of Chini Lake, Pahang, Malaysia", *J. Agric. & Environ. Sci*, 12 (6): 737–749 (2012).
6. Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., and Sharma, S., "Global lake responses to climate change", *Nature Reviews Earth & Environment* 2020 1:8, 1 (8): 388–403 (2020).
7. Mason, I. M., Guzkowska, M. A. J., Rapley, C. G., and Street-Perrott, F. A., "The response of lake levels and areas to climatic change", *Climatic Change*, 27 (2): 161–197 (1994).
8. Bhateria, R. and Jain, D., "Water quality assessment of lake water: a review", *Sustainable Water Resources Management*, 2 (2): 161–173 (2016).
9. "Hydrologic Sciences - Lakes, Ecology, Limnology | Britannica", <https://www.britannica.com/science/hydrologic-sciences/Study-of-lakes> (2024).
10. Internet: USGS, W. S. S., "Lakes and Reservoirs | U.S. Geological Survey", <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/lakes-and-reservoirs#overview> (2024).
11. Boelee, E., Geerling, G., van der Zaan, B., Blauw, A., and Vethaak, A. D., "Water and health: From environmental pressures to integrated responses", *Acta Tropica*, 193: 217–226 (2019).

12. Hayashi, M., and Van Der Kamp, G., "Water level changes in ponds and lakes: The hydrological processes", *Plant Disturbance Ecology: The Process And The Response*, 321–351 (2020).
13. Teubner, K., Großschartner, M., Teubner, I. E., "Response of Zooplankton to Restoration and Climate Warming in Alte Donau", *The Alte Donau: Successful Restoration And Sustainable Management*, 163–212 (2018).
14. Cardoso, A. C., Free, G., Nöges, P., Kaste, Poikane, S., Solheim, A. L., "Lake Management, Criteria", *Encyclopedia Of Inland Waters*, 310–331 (2009).
15. Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. N. S., Hassan, A., "Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (*Ipomoea aquatica*) in an aquaponic recirculating system", *New Pub: Balaban*, 5 (1–3): 19–28 (2012).
16. Reynolds, S., "Hydroecology of river plankton: the role of variability in channel flow", *HyPr*, 14 (16): 3119–3132 (2000).
17. Allan, J. D. and Castillo, M. M., "Stream Ecology", *Stream Ecology*, (2007).
18. Leland, H. V., "The influence of water depth and flow regime on phytoplankton biomass and community structure in a shallow, lowland river", *Hydrobiologia*, 506–509 (1): 247–255 (2003).
19. Zhang, H., Ruihong, C., Li, F., and Ling, C., "Effect of flow rate on environmental variables and phytoplankton dynamics: results from field enclosures*", *Chinese Journal Of Oceanology And Limnology*, 33 (2): 430–438 (2015).
20. Uhlmann, D., "Influence of dilution, sinking and grazing rate on phytoplankton populations of hyperfertilized ponds and micro-ecosystems", <https://doi.org/10.1080/05384680.1971.11903925>, 19 (1): 100–124 (2017).
21. Zhang, H., Chen, R., Li, F., and Chen, L., "Effect of flow rate on environmental variables and phytoplankton dynamics: results from field enclosures", *Chinese Journal Of Oceanology And Limnology*, 33 (2): 430–438 (2015).
22. Hudnell, H. K., Jones, C., Labisi, B., Lucero, V., Hill, D. R., and Eilers, J., "Freshwater harmful algal bloom (FHAB) suppression with solar powered circulation (SPC)", *Harmful Algae*, 9 (2): 208–217 (2010).
23. Franklin, P. A., "Dissolved oxygen criteria for freshwater fish in New Zealand: A revised approach", *New Zealand Journal Of Marine And Freshwater Research*, 48 (1): 112–126 (2014).
24. Huisman, J., Codd, G. A., Paerl, H. W., Ibelings, B. W., Verspagen, J. M. H., and Visser, P. M., "Cyanobacterial blooms", *Nature Reviews Microbiology*, 16 (8): 471–483 (2018).

25. Dupuis, A. P. Hann, B. J., "Warm spring and summer water temperatures in small eutrophic lakes of the Canadian prairies: Potential implications for phytoplankton and zooplankton", *Journal Of Plankton Research*, 31 (5): 489–502 (2009).
26. Katkov, E. and Fussmann, G. F., "The effect of increasing temperature and pCO₂ on experimental pelagic freshwater communities", *Limnology And Oceanography*, 9999: 1–15 (2023).
27. Osuagwu, J. C., Nwachukwu, A. N., Nwoke, H. U., Agbo, K. C., "Effects of soil erosion and sediment deposition on surface water quality: a case study of Otamiri river", *Asian Journal Of Engineering And Technology*, 2 (5): (2014).
28. Valizadegan, E., Bajestan, M. S., Samani, H. M. V., "Control of sedimentation in reservoirs by optimal operation of reservoir releases", *Journal Of Food, Agriculture & Environment*, 7 (2): 759–763 (2009).
29. Iradukunda, P. and Nyadawa, M. O., "Impact of Sedimentation on Water Seepage Capacity in Lake Nakuru, Kenya", *Applied And Environmental Soil Science*, 2021: (2021).
30. Vasistha, P. and Ganguly, R., "Water quality assessment of natural lakes and its importance: An overview", *Materials Today*. 32: 544–552 (2020).
31. Drinan, J., "Drinking Water Regulations", *The Drinking Water Handbook, Second Edition*, 27–58 (2012).
32. Yan, N. D. and Stokes, P. M., "The Effects of pH on Lake Water Chemistry and Phytoplankton in a LaCloche Mountain Lake", *Water Quality Research Journal*, 11 (1): 127–137 (1976).
33. Myers, D. N., "Innovations in Monitoring With Water-Quality Sensors With Case Studies on Floods, Hurricanes, and Harmful Algal Blooms", *Separation Science And Technology (New York)*, 11: 219–283 (2019).
34. Hem, J. D., "Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.", US Geological Survey Water-Supply Paper, (1985).
35. McMahon, P. B., Chapelle, F. H., and Bradley, P. M., "Evolution of redox processes in groundwater", *ACS Symposium Series*, 1071: 581–597 (2011).
36. Hayashi, M., "Temperature-electrical conductivity relation of water for environmental monitoring and geophysical data inversion", *Environmental Monitoring And Assessment*, 96 (1–3): 119–128 (2004).
37. Gupta, T. and Paul, M., "The Seasonal Variation in Ionic Composition of Pond Water of Lumding, Assam, India", *Current World Environment Journal*, 8 (1): (2013).

38. Thirumalini, S. and Joseph, K., "Correlation between electrical conductivity and total dissolved solids in natural waters", *Malaysian Journal Of Science*, 28 (1): 55–61 (2009).
39. Carlson, G., "Total Dissolved Solids from conductivity", *In-Situ Inc.*, 7488: 1 (2005).
40. Shirokova, Y., Forkutsa, I., Sharafutdinova, N., "Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia", *Irrigation And Drainage Systems*, 14 (3): 199–205 (2000).
41. Aggarwal, P. K., Gat, J. R., Froehlich, K. F. O., "Isotopes in the water cycle: Past, present and future of a developing science", *Isotopes In The Water Cycle: Past, Present And Future Of A Developing Science*, 1–381 (2005).
42. Sklash, M. G. "Environmental isotope studies of storm and snowmelt runoff generation." *Process studies in hillslope hydrology* (1990).
43. Cappa, C. D., Hendricks, M. B., DePaolo, D. J., and Cohen, R. C., "Isotopic fractionation of water during evaporation", *Journal Of Geophysical Research: Atmospheres*, 108 (16): 4525 (2003).
44. Criss, R. E., "Principles of Stable Isotope Distribution", *Principles Of Stable Isotope Distribution*, (1999).
45. Solomon, K. D., Cook, P. G., and Sanford, W. E., "Isotope Tracers in Catchment Hydrology - Chapter 9 - Dissolved Gases in Subsurface Hydrology", *Isotope Tracers in Catchment Hydrology, Elsevier B.V.*, 291–318 (1998).
46. Winston, W. E. and Criss, R. E., "Oxygen isotope and geochemical variations in the Missouri River", *Environmental Geology*, 43 (5): 546–556 (2003).
47. Kendall, C. and Coplen, T. B., "Distribution of oxygen-18 and deuterium in river waters across the United States", *Hydrological Processes*, 15 (7): 1363–1393 (2001).
48. Clark, I. D. and Fritz, P., "Environmental Isotopes in Hydrogeology", *Environmental Isotopes In Hydrogeology*, (2013).
49. Internet: USGS, "Aquifers and Groundwater | U.S. Geological Survey", <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/aquifers-and-groundwater> (2023).
50. Price, K., "Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review", *Progress In Physical Geography*, 35 (4): 465–492 (2011).
51. Barackman, M. and Brusseau, M. L., "Groundwater Sampling", *Environmental Monitoring And Characterization*, 121–139 (2002).

52. Ekemen Keskin, T. and Toptaş, S., "Heavy metal pollution in the surrounding ore deposits and mining activity: A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey)", *Environmental Earth Sciences*, 67 (3): 859–866 (2012).
53. Keskin, T. E., "Nitrate and heavy metal pollution resulting from agricultural activity: A case study from Eskipazar (Karabuk, Turkey)", *Environmental Earth Sciences*, 61 (4): 703–721 (2010).
54. Keskin, T. E., "Mineral-water interaction and hydrogeochemistry of groundwater around bartin coal mine, Turkey", *Fresenius Environmental Bulletin*, 22 (9 A): 2750–2762 (2013).
55. Ekemen Keskin, T. and Özler, E., "Heavy metal contamination in groundwater and surface water due to active pb-zn-cu mine tails and water-rock interactions: A case study from the küre mine area (Turkey)", *Turkish Journal Of Earth Sciences*, 29 (6): 878–895 (2020).
56. Törk, Koray. Safranbolu (Zonguldak) kuzeyinin karst hidrojeolojisi incelemesi. MS thesis. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
57. Bayarı, S., Kurtulus, B., Özyurt, N. N., Razack, M., Çiner, A., Albani, A. El, Caner, L., and TUBİTAK, "Karstik Sistemlerde Yeraltısuyu Kalitesi ve Akısının Esnek Hesaplama Yöntemleriyle (Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık) Modellemesi", (PIA-BOSPHORUS 105Y155): 133 (2009).
58. Davraz, A., Şener, E., Şener, Ş., Varol, S., Kelimeler, A., Gölü, E., Bütçesi Göl, S., Seviyesi, S., and Miktarı, Y., "Water Balance of the Eğirdir Lake and the Influence of Budget Components, Isparta,Turkey", *Süleyman Demirel University Journal Of Natural And Applied Sciences*, 18 (2): 27–36 (2014).
59. Alan, H. and Karagüzel, R., "Recommendations for investigation and improvement of the effect of solid waste irregular storage area on water sources in Düzce, Turkey", *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences*, 26 (8): 1379–1384 (2020).
60. Jones, J. P., Sudicky, E. A., Brookfield, A. E., and Park, Y. J., "An assessment of the tracer-based approach to quantifying groundwater contributions to streamflow", *Water Resources Research*, 42 (2): (2006).
61. Günay, G., "Hydrology and hydrogeology of Sakaryabaşı Karstic springs, Çifteler, Turkey", *Environmental Geology*, 51 (2): 229–240 (2006).
62. Kim, J., Jeon, S. W., Lim, H. S., Lee, J., Kim, O. S., Lee, H., and Hong, S. G., "Hydrogeological characteristics of groundwater and surface water associated with two small lake systems on King George Island, Antarctica", *Journal Of Hydrology*, 590 (September): 125537 (2020).

63. Stevanović, Z., "Karst waters in potable water supply: a global scale overview", *Environmental Earth Sciences*, 78 (23): 1–12 (2019).
64. Beyhan, M. and Kaçikoç, M., "Evaluation of water quality from the perspective of eutrophication in Lake Eğirdir, Turkey", *Water, Air, And Soil Pollution*, 225 (7): (2014).
65. Altun, E. İ., Şengün, M., Keskin, H., Akçören, F., Sevin, M., Deveciler, E., and Akat, U., "1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kastamonu B-17 Paftası", *MTA, Ankara*, (1990).
66. Uğuz, M. F. and Sevin, M., "Türkiye Jeoloji Haritaları, Kastamonu-E32 Paftası", *Jeoloji Etütleri Dairesi*, 32: (2007).
67. Gedik, İ. and Önalın, M., "Çamdağ (Sakarya İli) Paleozoyik Stratigrafisine Ait Yeni Gözlemler", *İst. Üniv. Mühendislik Fak. Yerbilimleri Derg.*, 14 (1–2): 61–76 (2001).
68. Kipman, E., "Sakarya Çamdağ (Kestanepınar-Yassıgeçit Köyleri Arası) Deniz Çökeltisi Demir Cevherinin Jeolojisi", *İst. Üniv. Fen Fak. Monografileri, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi*, 72 s., İstanbul (1974).
69. Dean, W. T., Martin, F., Monod, O., Demir, O., Rickards, R. B., Bultynck, P., Bozdoğan, N., Göncüoğlu, M. C., and Derman, A. S., "Lower Paleozoic stratigraphy, Karadere-Zirze area, central Pontides, northern Turkey", *Early Paleozoic Evolution Of NW Gondwana. T. Assoc. Petrol. Geol. Spec. Publ*, 3: 32–38 (1997).
70. Timur, Erol; Aksay, A., "Türkiye Jeoloji Haritaları Zonguldak F29 Paftası", Ankara, (2002).
71. Kaya, O., Dizer, A., Tansel, İ., and Özer, S., "Yiğilca (bolu) alanı üst kretase ve paleojenin stratigrafisi", *Dergi.Mta.Gov.Tr*, (1982).
72. Kaya, O. and Dizer, A., "Bolu Kuzeyi Üst Kretase ve Paleojen Kayalarının Stratigrafi ve Yapısı", *Dergi.Mta.Gov.Tr*, (1982).
73. Kaya, O. and Dizer, A., "Mengen (bolu) eosen kömür havzasının stratigrafisi", (1982).
74. Akyol, Z., Arpat, E., Erdoğan, B., Göger, E., Güner, Y., Şaroğlu, F., Şentürk, İ., Tütüncü, K., and Uysal, Ş., "Cide-Kurucaşile ile Dolayının Jeoloji Haritası", *Maden Tetkik Ve Arama Enstitüsü 1/50.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi*, (1974).
75. Ali, S., Üzmez, B. and S. A., "Mengen (Bolu) Civarı Bitümlü Şeyllerinin Hidrokarbon Potansiyeli", *Dergipark.Org.Tr*, 91–102 (2004).
76. Saner, S., Taner, İ., Aksoy, Z., Siyako, M., and Bürkan, K. A., "Karabük-Safranbolu bölgesinin jeolojisi", *TPAO Rap*, (1322): (1979).

77. Aydın, M., Serdar, H. S., Sahintürk, O., Yazman, M., Cokugras, R., Demir, O., and Ozcelik, Y., "Camdag (Sakarya) Sunnicedag (Bolu) yöresinin jeolojisi: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, v. 30", (1987).
78. Pitot, H. C., "Strategies for Water Quality Assessment", *Water Quality Assessments*, 45–80 (2021).
79. "Oxidation-Reduction Potential (ORP) - Water Quality Guide - DataStream", <https://datastream.org/en-ca/guidebook/oxidation-reduction-potential-orp> (2023).
80. Sayin, M. and Eyupoglu, S. O., "Determination of the local meteoric water lines using stable isotope contents of precipitation in Turkey", 424 (2005).
81. Kurttaş, T., "Gökova (Muğla) karst kaynaklarının çevresel izotop incelemesi", (1997).
82. Clark, I. D. and Fritz, P., "Environmental Isotopes in Hydrogeology", *Environmental Isotopes In Hydrogeology*, (2013).
83. Doğan, L., "Hidrojeolojide Su Kimyası", *DSİ Yayınları, 178s, Ankara*, 178 (1981).
84. Keskin, T. E., "Nitrate and heavy metal pollution resulting from agricultural activity: A case study from Eskipazar (Karabük, Turkey)", *Environmental Earth Sciences*, 61 (4): 703–721 (2010).
85. He, Z. L., Yang, X. E., and Stoffella, P. J., "Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment", *Journal Of Trace Elements In Medicine And Biology*, 19 (2–3): 125–140 (2005).
86. Sağlık Bakanlığı, "İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik", *Resmi Gazete*, 17 (02): 2005 (2005).
87. WHO, "Guidelines for drinking-water quality, First addendum to third edition, World Health Organization (WHO) 2006, Geneva, Switzerland", 1: 3–80 (2006).
88. McNeely, R. N., Neimanis, V. P., and Dwyer, L., "Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters.", (1979).
89. Sahinci, A., "Geochemistry of natural waters", *Reform Printing Office, Izmir*, 548: (1991).
90. Organization, World Health, "Guidelines for Drinking-Water Quality", *World Health Organization*, (2004).

91. Uslu, O. and Türkman, A., "Water pollution and control", *Publication Series Of Environment General Directorate Of Prime Ministry Of Turkish Republic*, 1: 251–265 (1987).
92. Gardner, M. J. and Gunn, A. M., "Speciation and bioavailability of aluminium in drinking water", *Chemical Speciation And Bioavailability*, 7 (1): 9–16 (1995).
93. Miah, M. R., Ijomone, O. M., Okoh, C. O. A., Ijomone, O. K., Akingbade, G. T., Ke, T., Krum, B., da Cunha Martins, A., Akinyemi, A., Aranoff, N., Antunes Soares, F. A., Bowman, A. B., and Aschner, M., "The effects of manganese overexposure on brain health", *Neurochemistry International*, 135: (2020).
94. Cotzias, G. C., "Manganese in health and disease", *Physiological Reviews*, 38 (3): 503–532 (1958).
95. Kaiser, J., "Manganese: A high-octane dispute", *Science*, 300 (5621): 926–928 (2003).
96. Coates, P. M., Blackman, M. R., Cragg, G. M., Levine, M., Moss, J., and White, J. D., "Encyclopedia of Dietary Supplements", *Encyclopedia of Dietary Supplements*, CRC Press, 1–821 (2004).
97. Epstein, M. B., "Analysis of Biological Material for Trace Elements Using X-Ray Spectroscopy by V. Valković", *Medical Physics*, 9 (6): 934–935 (1982).
98. Atabey, E., "Tibbi Jeoloji (medical geology)", *Publications Of Chamber Of Geology Engineers Of Turkey: Ankara, TMMOB*, (2005).
99. Zeng, H., "Selenium and the Regulation of Cell Cycle and Apoptosis", *Encyclopedia Of Metalloproteins*, 1909–1913 (2013).
100. Lakshmana, M.S., "Assessment of Trace Elements In Drinking Water Sources : A Case Syudy. Research Article Special Issue", *Journal Of Fundamental And Applied Sciences*, 10 (65): 1–15 (2018).

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Yaseen QASIM, inşaat mühendisidir, 2014 yılında Kerkük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başlamış ve 2018 yılında mezun olmuştur.