



**KELKİT (GÜMÜŞHANE) YÖRESİNİN YERALTI
SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mehmet Can TURHAN

Yüksek Lisans Tezi

Organik Tarım İşletmeciliği

Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

2024

(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ORGANİK TARIM İŞLETMECİLİĞİ ANA BİLİM DALI
ORGANİK TARIM İŞLETMECİLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

KELKİT (GÜMÜŞHANE) YÖRESİNİN YERALTI SUYU KALİTESİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Can TURHAN

Danışman: Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

BAYBURT- 2024

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Ümit YILDIRIM danışmanlığında, Mehmet Can TURHAN tarafından hazırlanan “Kelkit (Gümüşhane) Yöresinin Yeraltı Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma, 25.06.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ümit Yıldırım

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Ali Kurt

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat Camuzcuoğlu

.....

Bu tezin kabulü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20... tarih ve 20.../...-.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Murat KUL

Enstitü Müdürü

Beyanname

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Ümit YILDIRIM danışmanlığında hazırlamış olduğum “Kelkit (Gümüşhane) Yöresinin Yeraltı Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

25.06.2024

Mehmet Can TURHAN



Önsöz

Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü Enstitüsü, Organik Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada değerlendirmeleri, eleştirileri ve yönlendirmeleriyle tezin şekillenmesinde çok önemli katkıları olan danışman hocam sayın Doç. Dr. Ümit YILDIRIM'a teşekkür ederim. Saha ve laboratuvar çalışmalarında desteğini esirgemeyen, tez çalışmamda emeği olan Öğr. Gör. Onur GÜVEN'e teşekkür ederim. Yapmış olduğum bu tez çalışmasına “2023/69003-03” no'lu proje kapsamında maddi destek sağlayan Bayburt Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine teşekkür ederim.

Bütün bu süreçte her zaman yanımda olan aileme maddi manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Mehmet Can TURHAN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KELKİT (GÜMÜŞHANE) YÖRESİNİN YERALTI SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Can TURHAN

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Organik Tarım İşletmeciliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ümit YILDIRIM

Bayburt-2024, Sayfa: 46

Bu çalışmada, Gümüşhane ilinin güneyinde bulunan Kelkit ilçesi merkezinin yeraltı sularının kalitesi araştırılmıştır. Bu kapsamda yağışlı (Haziran 2023) ve kurak (Eylül 2023) dönem olmak üzere iki dönem örnekleme çalışması yapılmıştır. Elde edilen örneklerin fiziksel parametreleri (sıcaklık, pH, Eh, elektriksel iletkenlik ve çözünmüş oksijen) arazi de yerinde ölçülmüş olup majör anyon-kasyon (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , F^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve iz element derişimleri (Si, Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Sr, Sb, Ti, V ve Zn) laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Yapılan analizler ile ortaya çıkan sonuçlar Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Su kirliliği Kontrolü Yönetmeliği standartlarına göre içme-sulama suyu kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca yeraltı sularından ve Kelkit çayından alınan tüm örneklerin Piper diyagramı ile hangi tip su sınıfına girdiğini, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramı ile sulama suyu olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Piper diyagramına göre; Kelkit yöresinin yeraltı suyu örneklerinin yarısından çoğu “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat” su tipindedir. Örneklerin kurak dönemde 3 tanesi, yağışlı dönemde ise 2 tanesi “Karışık tip sular” sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramına göre; yeraltı suyu örnekleri kurak ve yağışlı dönemde genel olarak “İyi-kullanılabilir” sular sınıfında yer alırken, ABD Tuzluluk diyagramına göre; kuyulardan alınan su örneklerinin genel olarak C3-S1 sınıfında suları temsil ettiğini birkaçının ise C2-S1 sınıfında suları temsil ettiği görülmüştür. Majör kasyon analizlerinde yapılan ölçümlerde Mg^{+2} ve K^+ kasyonlarının içme suyu standartlarına göre sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. Majör anyon analizlerde NO_3^- ve florür değerlerinin TS 266 içme suyu standartlarına göre belirtilen sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. İz element analizlerinde B, Fe ve Mn değerleri TS 266 standartlarına göre belirtilen sınırın üzerinde kalmıştır. Bu standart değerleri aşan parametrelerin nedeninin tarımsal faaliyetler, evsel atıklar ve su-kayaç etkileşimi olduğu söylenebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su kalitesi, yeraltı suları, hidrojeokimya, Kelkit.

ABSTRACT

M. SC. THESIS

EVALUATION OF GROUNDWATER QUALITY OF KELKIT (GÜMÜŞHANE) REGION

Mehmet Can TURHAN

Bayburt University

Institute of Graduate Studies

Department of Organic Agriculture Management

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ümit YILDIRIM

Bayburt-2024, Pages: 46

In this study, the quality of the groundwater of the center of Kelkit district, located in the south of Gümüşhane province, was investigated. In this context, two periods of sampling were carried out: the dry (June 2023) and the rainy (September 2023) period. The physical parameters (temperature, pH, Eh, electrical conductivity and dissolved oxygen) of the samples obtained were measured in situ in the field and major anion-cation (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) and trace element concentrations (Si, Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Sr, Sb, Ti, V and Zn) was determined in a laboratory environment. The results obtained from the analyses were evaluated in terms of drinking irrigation water availability according to the World Health Organization (WHO) and Water Pollution Control Regulation standards. In addition, the water type of all samples taken from groundwater and Kelkit stream were examined with the Piper diagram and their usability as irrigation water with the US Salinity Laboratory and Wilcox Diagram. According to the Piper diagram; More than half of the groundwater samples of the Kelkit region are of the "calcium-magnesium-bicarbonate" water type. Three of the samples are in the "Mixed type waters" class during the dry period and two during the rainy period. According to the Wilcox diagram; While groundwater samples are generally in the "Good-usable" water class during dry and rainy periods, according to the US Salinity diagram; It was observed that the water samples taken from the wells generally represented water in the C3-S1 class, and a few of them represented water in the C2-S1 class. In the measurements made in major cation analyses, it was observed that Mg^{2+} and K^+ cations exceeded the limit values according to drinking water standards. In major anion analyses, it was determined that nitrate and fluoride values exceeded the limit value specified according to TS 266 drinking water standards. In trace element analyses, B, Fe, and Mn values remained above the limit specified according to TS 266 standards.

Keywords: Water quality, groundwater, hydrogeochemistry, Kelkit.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	II
BEYANNAME	III
ÖNSÖZ	IV
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
TABLOLAR.....	IX
ŞEKİLLER.....	X
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER.....	XI
GİRİŞ	1
Araştırmanın Konusu ve Problemi.....	1
Araştırmanın Amacı.....	2
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi.....	2
Araştırmanın Sınırlılıkları.....	2
BİRİNCİ BÖLÜM.....	3
1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
1.1. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI.....	5
1.1.1. Coğrafi Konumu.....	5
1.1.2. İklim	6
1.1.3. Nüfus ve Ekonomi	6
1.1.4. Yağış ve Sıcaklık	7
2. YÖNTEM.....	8
2.1. SU ÖRNEKLEMESİ VE FİZİKSEL PARAMETRE ÖLÇÜMÜ.....	8
2.2. LABORATUVAR ÇALIŞMASI	9
2.3. HİDROJEOKİMYA	10
2.4. HİDROJEOKİMYASAL SINIFLANDIRMA	10
2.4.1. Piper Diyagramı.....	11
2.4.2. Abd Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	11
2.4.3. Wilcox Diyagramı	12
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	14
3. BULGULAR	14
3.1. FİZİKSEL PARAMETRELER	14
3.1.1. Hidrojen İyon Değişimi (Ph)	14
3.1.2. Redoks Potansiyeli (Eh)	14
3.1.3. Elektriksel İletkenlik (Ei)	15
3.1.4. Çözülmüş Oksijen (Do)	15
3.2. KİMYASAL PARAMETRELER	16
3.2.1. MAJÖR KATYON ANALİZLERİ	16
3.2.1.1. Kalsiyum (Ca ²⁺).....	16
3.2.1.2. Magnezyum (Mg ²⁺)	17
3.2.1.3. Sodyum (Na ⁺)	18
3.2.1.4. Potasyum (K ⁺)	19
3.2.2. MAJÖR ANYON ANALİZLERİ	19
3.2.2.1. Bikarbonat (Hco ₃ ⁻).....	20
3.2.2.2. Sülfat (So ₄ ²⁻)	20
3.2.2.3. Klorür (Cl ⁻).....	21

3.2.2.4. Nitrat (NO_3^-).....	22
3.2.2.5. Nitrit (NO_2^-)	23
3.2.2.6. Florür (F^-).....	24
3.2.3. İZ ELEMENT ANALİZLERİ.....	25
3.3. HİDROJEOKİMYASAL SINIFLANDIRMA.....	26
3.3.1. Piper Diyagramı.....	26
3.3.2. ABD Tuzluluk Diyagramı	27
3.3.3. Wilcox Diyagramı	29
SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	31
Sonuç.....	31
Tartışma.....	32
Öneriler.....	32
KAYNAKÇA.....	34
EKLER	36
Ek 1: Yeraltı Sularının Birinci Dönem (Haziran–2023) Fiziksel Parametre Ve Anyon Analiz..	
Sonuçları.....	36
Ek 2: Yeraltı Sularının Birinci Dönem (Haziran–2023) Katyon Analiz.....	
Sonuçları.....	38
Ek 3: Yeraltı Sularının Birinci Dönem (Haziran–2023) İz Element Analiz.....	
Sonuçları.....	39
Ek 4: Yeraltı Sularının İkinci Dönem (Eylül–2023) Fiziksel Parametre Ve Anyon.....	
Analiz Sonuçları.....	41
Ek 5: Yeraltı Sularının İkinci Dönem (Eylül–2023) Katyon Analiz Sonuçları.....	43
Ek 6: Yeraltı Sularının İkinci Dönem (Eylül–2023) İz Element Analiz Sonuçları.....	44
ÖZ GEÇMİŞ	46

TABLÖLAR

Tablo 1: pH Değerlerine Göre Suların Sınıflandırılması.....	14
Tablo 2: Kurak Döneme Ait En Düşük ve En Yüksek İz Element Değerleri.....	25
Tablo 3: Yağışlı Döneme Ait En Düşük ve En Yüksek İz Element Değerleri.....	25



ŞEKİLLER

Şekil 1: Çalışma Alanının Yerbulduru Haritası	6
Şekil 2: Kelkit İlçesine Ait 2016-2023 Yılları Arası Nüfus Dağılım Grafiği	7
Şekil 3: Çalışma Alanından Alınan Örneklerle Ait Görseller	8
Şekil 4: WTW 3430 Multiparametre Cihazı	9
Şekil 5: Dijital Büret ve Spektrofotometre Cihazı	9
Şekil 6: Su Örneklerinin Katyon/İz Element Analizlerinin Yapıldığı ICP-MS Cihazı	10
Şekil 7: Piper Diyagramı	11
Şekil 8: ABD Tuzluluk Diyagramı	12
Şekil 9: Wilcox Diyagramı	13
Şekil 10: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Ph Dağılımı	14
Şekil 11: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Eİ Dağılımı	15
Şekil 12: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Çözünmüş Oksijen Dağılımı	16
Şekil 13: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Kalsiyum Dağılımı	17
Şekil 14: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Magnezyum Dağılımı	18
Şekil 15: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Sodyum Dağılımı	18
Şekil 16: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Potasyum Dağılımı	19
Şekil 17: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Bikarbonat Dağılımı	20
Şekil 18: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Sülfat Dağılımı	21
Şekil 19: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Klor Dağılımı	22
Şekil 20: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Nitrat Dağılımı	23
Şekil 21: Çalışma Alanına Ait Nitrit Dağılımı	24
Şekil 22: Çalışma Alanı Su Örneklerini Flor Dağılımı	24
Şekil 23: Kurak ve Yağışlı Döneme Ait Su Örneklerinin Piper Diyagramındaki Dağılımı	27
Şekil 24: Yağışlı Döneme Ait Su Örneklerinin ABD Tuzluluk Diyagramındaki Dağılımı	28
Şekil 25: Kurak Döneme Ait Su Örneklerinin ABD Tuzluluk Diyagramındaki Dağılımı	28
Şekil 26: Yağışlı Döneme Ait Su Örneklerinin Wilcox Diyagramındaki Dağılımı	29
Şekil 27: Kurak Döneme Ait Su Örneklerinin Wilcox Diyagramındaki Dağılımı	30

KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
DO	: Çözünmüş Oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
Eh	: Redoks Potansiyeli
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi
ICP-MS	: Inductively coupled plasma mass spectrometry
pH	: Hidrojen İyon Değişimi
SAR	: Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UA	: Uzaktan Algılama
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

SİMGELER

cm	: santimetre
L	: litre
m	: metre
mg	: miligram
mm	: milimetre
mV	: milivolt
m²	: metrekaare
m³	: metreküp
km	: kilometre
µg	: mikrogram
µS	: mikrosiemens
°	: derece
'	: dakika
"	: saniye
%	: yüzdeler
°C	: santigrat derece

GİRİŞ

Araştırmanın Konusu ve Problemi

Su, insan ve diğer canlıların hayatta kalabilmesi ve yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olan en temel maddelerden birisidir. Sanayileşme, tarım ve nüfus artışı ile birlikte tatlı su kaynaklarına olan talep de her geçen gün artmaktadır. İklim değişikliği ve ekolojik durumda meydana gelen değişiklikler ile birlikte su kaynaklarının sürdürülebilirliği her geçen gün zorlaşmaktadır. Bu sebeple, son yıllarda olduğu gibi yeraltı sularının kullanımı su ihtiyacını karşılamak için her geçen gün artmaktadır (Kumar ve Augustine, 2022).

Dünyadaki tatlı su kaynaklarının miktarı giderek azalmaktadır. Yerkürede toplamda 1,4 milyar km³ su bulunurken, bu suyun %97,5'ini okyanuslar oluşturmakta, tatlı su miktarı ise bu oranın %2,5'ine karşılık gelmektedir. Bu tatlı suyun %68,3'ü buzullarda, %3,4'ü akiferlerde, geri kalanı ise yüzey sularında bulunmaktadır. Bu miktarlar tatlı suyun ne kadar önemli olduğunu ortaya koyarak kalitesinin korunması için kritik bir durumdur.

Tatlı su kaynaklarındaki kirlenme giderek artarak geri dönülmesi imkânsız veya zorlayıcı olan durumlarla karşılaşmamıza yol açmaktadır. Bu kirleticiler kaynakların başlıcalarını endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetler ve akiferlerin tuzlanması gelmektedir. Dünyadaki tatlı suyun büyük bir kısmı (~%70) sulama amaçlı kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanlarını ise sanayi, içme ve kullanma oluşturmaktadır (Çolak, 2021).

Yüzey suyunun düzensiz dağılımı ve yeraltı suyuna göre daha kirlenebilir olması, yeraltı sularının alternatif bir kaynak olarak değerlendirilmesine yol açmaktadır (Kumar ve Augustine, 2022).

Yeraltı suları, tatlı su talebini karşılamak için önemli ve güvenilir bir kaynaktır ve milyonlarca insan içme, sanayi ve sulama amaçlı kullanım için yeraltı sularına ihtiyaç duymaktadır. Günümüzde yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı tehdit altındadır. Yeraltı suyunun gerektiğinden fazla kullanıldığı dünya üzerinde farklı bölgelerde tespit edilmiştir (Ates vd., 2021).

Yeraltı sularının fizikokimyasal özellikleri, kaliteleri ve sınıfları hidrojeokimyasal analizler ile belirlenmektedir. Günümüzde, yeraltı su kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesi için kimyasal özelliklerinin iyi bilinmesi, suların sürekli analiz edilerek izlenmesi önemli bir yer tutmaktadır (Tekocak–Yardımlı, 2017). Yeraltı suları özellikle kurak yarı kurak iklim bölgelerinde kimyasal içerik bakımından çok daha fazla hassastır (Yetiş, 2013).

Araştırmanın Amacı

Bu alışmada, Kelkit (Gümüşhane) yöresinin yeraltı su kaynaklarından yağışlı (Haziran 2024) ve kurak (Eylül 2024) dönemlerde alınan numunelerin analiz sonuçlarına göre yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi ve su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bu veriler yardımıyla yeraltı suyu kalitesinin mekânsal dağılımlarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında haritalanması amaçlanmaktadır.

Araştırmanın nemi ve Gerekçesi

Ülkemizde nüfusun artmasına bağlı olarak su ihtiyaı da artmakta ve buna bağlı olarak yeraltı sularının kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Evsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların doğaya atılmadan önce ilgili standartlarda belirtilen sınır değerlere uygunluğu titizlikle denetlenmelidir. Bu çalışmada da elde edilen bazı yüksek derişimler (nitrat, sülfat vb.,) alışma alanında evsel ve tarımsal faaliyetlerin yeraltı suyu kalitesini etkilediğini ortaya koymuştur. Bölgede tarımsal aktivitelerde kullanılan gübre ve kimyasalların daha denetimli bir şekilde kullanılması ve bunların toprağa ve suya olan etkileri sürekli izlenmelidir.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Bu tez kapsamında elde edilen tüm veriler CBS ortamında değerlendirilerek bölgedeki güncel yeraltı su kalitesi ortaya konulmuştur. Tez kapsamında yapılan arazi çalışmalarında, GPS (Global Positioning System) yardımı ile örneklerin alındığı kuyuların konumu belirlenmiştir. CBS ortamında bölgedeki güncel yeraltı suyu kalitesini yansıtan haritalar oluşturularak su kalitesi sınıfları belirlenmiştir. Elde edilen tüm veriler değerlendirilerek bölgedeki su kalitesini etkileyen faktörler ortaya konulmuş ve su kalitesi açısından değerlendirmeler ve yorumlar yapılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM

1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi ile ilgili ülkemizde ve dünyada birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalar sayesinde yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal parametre ölçümleri ve analizleri ile kaliteleri değerlendirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları örnek olarak bu bölümde anlatılmıştır.

Karan (2015) inceleme alanı olarak Yukarı Kelkit havzası ve tüm Kelkit havzasının yüzey suyunun özelliklerini CBS ve uzaktan algılama (UA) yöntemlerini kullanarak araştırarak haritalandırmıştır. Araştırmacı, Yukarı Kelkit Havzası alanından 225 toprak ve 24 su örneği almıştır. Toprak örneklerinde 18 adet toprak değişkenini analiz etmiş, su örneklerinde ise 19 su değişkeni analizi yapmıştır.

Semiz (2019), Gümüşhane ilinin Şiran ilçesinde ve yakın bölgesinde içme amaçlı kullanılan sularının fizikokimyasal özelliklerini incelemiş ve iz element içeriklerini belirlemiştir. Araştırmacı, su örneklerin pH değerlerinin 5,41 ile 7,68 arasında, elektriksel iletkenlik değerlerinin 107 ile 827 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, sertliklerin ise 5,2 ile 52,8 arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Çalışmada sonuç olarak, birkaç örnek dışında örneklerin genelini iyi sular sınıfında yer aldığı belirtilmiştir.

Yazıcı (2019) yaptığı çalışmasında Gümüşhane ilinin Kelkit ve Köse ilçelerinde içme sularının hidrojeokimyasal özelliklerini ortaya koyarak su-kayaç ilişkisi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı bölgeden aldığı su örneklerinde pH'nın 7,50 ile 8,09 arasında, elektriksel iletkenliğin 166,9 ile 1386 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, sertliklerin ise 8,4 ile 70,8 arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Elde edilen verilere göre suların kalitesini üç sınıfa ayırmış ve bazık karakterde sular olduğunu belirtmiştir.

Merdan (2020), Gümüşhane ilinin Torul ve Kürtün ilçe merkezlerindeki içme sularının katyon, anyon ve fizikokimyasal parametrelerini araştırmıştır. Araştırma sonucu, suların pH'ı 7,54– 8,10, Eİ'si 119,5-64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve sertliği 9,93-26,22 değerlerinde farklılık gösterdiğini tespit etmiştir. İçme sularının kalite parametrelerinin derişimlerinin TS 266 ve WHO standartlarına göre sınır değerlerin altında kaldığını ortaya koymuştur.

Arslan vd., (2007) Bafra Ovası'nda sulama amaçlı kullanılan 10 adet sondaj kuyusundan haziran, temmuz ve ağustos aylarında örnek almıştır. Bu örneklerin Eİ, pH, majör anyon-katyon değerlerini belirleyerek bu değerler ile SAR ve RSC hesaplamaları yapmıştır. Araştırmacılar,

elde ettiği sonuçlara göre iki adet örneğin sulamada kullanılmasının sakıncalı olduğunu belirtmiştir.

Akbulut (2016), Çukurova Deltası'nda yer alan Aşağı Seyhan Ovası'nın hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini ele almıştır. Çalışmada 2014 yılı haziran ve temmuz aylarında çalışma alanındaki kuyulardan ve yüzey sularından 173 adet su örneği alarak fiziko-kimyasal parametrelere ait ölçümleri yapılmıştır. Araştırmacı, çalışmanın sonucunda yeraltı ve yüzey sularının genelinin sulama amaçlı kullanılabilirliği ile çinko, mangan, molibden ve demir derişimlerinin SKKY'de belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğunu belirtmiştir.

Bozdağ (2017), yaptığı çalışmada umra (Konya) ovasının hidrojeokimyasını incelemiştir. Yeraltı sularının sulama açısından uygunluğunu değerlendirmek amacıyla EI, Na, SAR, %Na, Mg oranı, ABD Tuzluluk ve Wilcox diyagramlarını kullanmıştır. Araştırmacı, bölgedeki suların en çok tarımsal aktiviteler ve antropojenik faktörlerden etkilendiğini ifade etmiş ve suların sulama amacıyla kullanıma uygun olmadığı belirlemiştir.

Mosayyebi (2017), İran ile Kehriz Ovası'nın arasında kalan bölgede yapmış olduğu çalışmada, bölgenin yeraltı suyu kalitesini araştırmıştır. Çalışmada örneklere ait pH, EI, TDS, majör anyon-kasyon derişimleri tespit edilmiştir. Yarı Logaritmik Schoeller, Piper ve ABD Tuzluluk diyagramlarının kullanıldığı çalışmada Sodyum Absorbsiyon Oranı değerlerine göre bölge sularının yaklaşık %23'ünün sulama için uygun olmadığını ortaya çıkmıştır. Araştırmacı, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı göre ise sularının tamamının tarımda sulama kullanımı için uygun olmadığı tespit etmiştir.

Süzer (2024), Altınekin (Konya) Havzası'ndaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini ve sulama suyu olarak uygunluğunu araştırmıştır. Araştırmacı, kurak ve yağışlı dönem olmak üzere 40 adet yeraltı suyu örneği toplamıştır. İnceleme alanındaki yeraltı suyunun sulama suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla EI, Magnezyum Tehlikesi (MH) İndeksi, Kelley İndeksi (KI), Potansiyel Tuzluluk (PS) İndeksi parametreleri ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Diyagramları kullanılmıştır. Çalışmada örneklerin beşinin sulama amaçlı kullanımı bakımından "kullanılamaz" sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

Khateeb (2020), Idlib kentinin yeraltı su kalitesinin değerlendirmesini amaçlamış olup kentte bulunan 13 kuyuya ait kimyasal analiz raporlarını kullanarak 10 parametrenin mekânsal dağılım gösteren tahmin haritalarını yapmıştır. Her parametre için 3 model (Küresel, Gauss ve Üstel) uygulamıştır. Sonuç olarak 10 parametrenin Dünya Sağlık Örgütü standartlarına ve Suriye standartlarına göre yeraltı sularının içme suyu olarak uygun ve güvenli olduğunu ortaya koymuştur.

Jaraun (2021) bir araştırmasında, Gazze Şeridi kıyı akiferinin mevcut durumunu değerlendirmek ve modelleme yaklaşımı kullanarak tarım faaliyetlerinden kaynaklanan nitrat konsantrasyonlarını tahmin etmeyi amaçlamıştır. Pompalama ve yeniden doldurma parametrelerinin yeraltı suyu akış sistemi üzerindeki etkisini ve tarım alanlarından gelen nitrat yüklemesinin akifer üzerindeki etkilerini incelemek için beş yönetim senaryosunu uygulamıştır. Yönetim senaryolarının nitrat konsantrasyonu üzerindeki etkisini araştırmak için on farklı kuyu seçmiş ve tüm senaryolarında, akiferdeki su seviyesi ile nitrat konsantrasyonu arasında bir ilişki olduğunu, dolayısıyla Gazze şeridinin güney bölgelerindeki nitrat konsantrasyonu oranlarının kuzey bölgelerinden daha fazla olduğunu belirlemiştir.

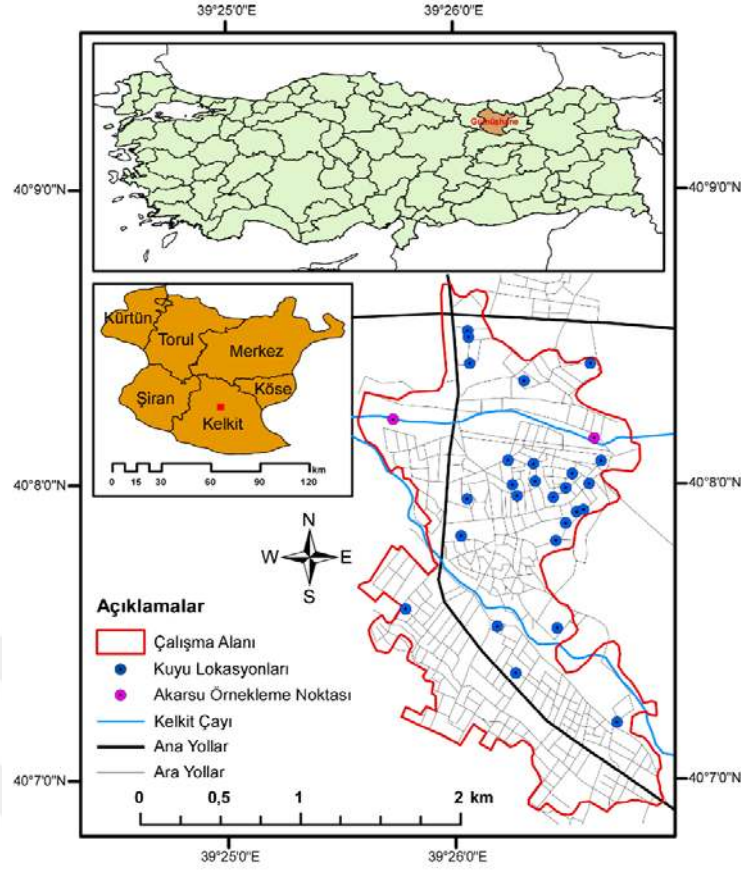
Smail (2022), Erbil alt havzasının yeraltı suyu kirlenebilirliğinin DRASTIC yöntemi ile değerlendirilmesini amaçlamıştır. Bu yöntem ile havzayı çok düşük, düşük, orta ve yüksek olmak üzere dört bölgeye ayırmıştır. Standart DRASTIC ve modifiye edilmiş modelleri doğrulamak için NO_3^- ve TDS parametrelerini kullanmış ve sonuç olarak yeraltı sularının kirliliğe karşı akifer duraylılığının değerlendirilmesinde değiştirilmiş DRASTIC_LULC haritasını önermiştir.

Beygloo (2024) yaptığı bir çalışmada İran'da Gavkhouni Havzası yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesini ve tarım, sanayi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından sulama suyu olarak uygunluğunu değerlendirmiştir. 2015 yılına ait 516 örnekleme noktasında Sodyum Emilim Oranı, Elektriksel İletkenlik, Toplam Çözülmüş Katı Madde, Klorür, Sodyum, Bikarbonat ve pH gibi parametreleri değerlendirmiştir. Sonuç olarak yeraltı suyu kalitesinde belirgin bir doğu-batı gradyanı ortaya koymakta olduğunu, doğu bölgelerinin daha yüksek tuzluluk ve sodisite sorunlarıyla mücadele ettiğini, güney bölgelerinin ise genellikle daha yüksek su kalitesi sergilendiğini belirtmiştir.

1.1. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

1.1.1. Coğrafi Konumu

Çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Gümüşhane ilinin Kelkit ilçesi merkezini kapsamaktadır. Çalışma alanı $40^{\circ}6'36''$ ile $40^{\circ}8'40''$ kuzey enlemleri ile $39^{\circ}25'33''$ ile $39^{\circ}26'55''$ doğu boylamları arasında olup kuzeyinde Gümüşhane (Merkez), güneyinde Erzincan, batısında Şiran ve doğusunda Köse ve Bayburt yer almaktadır. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1'de gösterilmiştir.



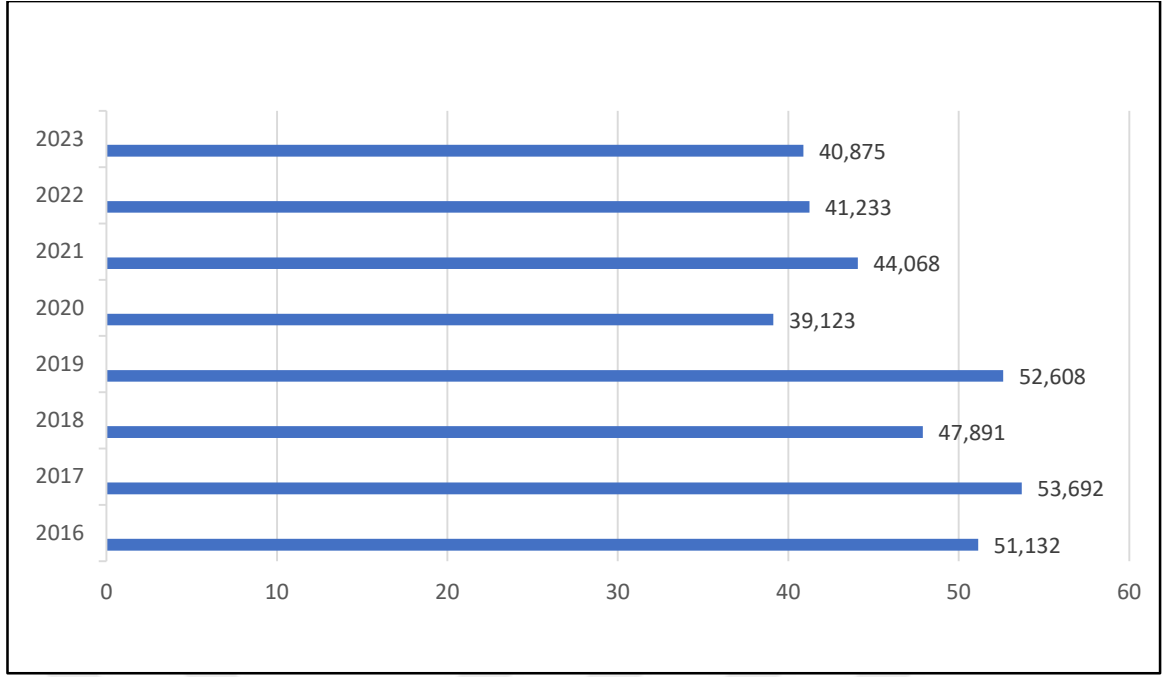
Şekil 1: Çalışma Alanının Yerbulduru Haritası

1.1.2. İklim

Kelkit, Karadeniz coğrafi bölgesinde bulunmasına rağmen, Doğu Anadolu bölgesinin coğrafi özellikleriyle benzer iklim özelliklerine sahiptir. Kelkit ilçesinde Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu arasında bir geçiş iklimi hakimdir. Bölgede yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk, ilkbahar ve sonbahar ayları oldukça yağışlı geçen iklim hakimdir (Korkmaz & Karakurt, 2015).

1.1.3. Nüfus ve Ekonomi

Çalışma alanında, TÜİK verilerinden alınan 2016 ve 2023 yılları arasında nüfus dağılım grafiğine göre 2017 yılında 53.692 olan nüfus, 2020 yılında 39.123'e kadar düşüşe geçip 2023 yılında 40.875 kişiye kadar artış göstermiştir (Şekil 2). Kelkit ilçesinin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayalı olup genellikle patates, fasulye, mısır ve şeker pancarı ürünleri yetiştirilmektedir.



Şekil 2: Kelkit İlçesine Ait 2016-2023 Yılları Arası Nüfus Dağılım Grafiği

1.1.4. Yağış ve Sıcaklık

Bu tez çalışmasını kapsayan araştırma alanının yağış ve sıcaklık verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. İklim verileri 1961-2023 yılları arasındaki 39 yıllık dönemi kapsamaktadır. Elde edilen verilere göre; günlük toplam en yüksek yağış 20.06.1990 tarihinde 51,7 mm, en yüksek kar yağışı ise 21.01.1976 tarihinde 80 cm, en yüksek sıcaklık 30.07.2020 tarihinde 41°C, en düşük sıcaklık ise 22.02.1985 tarihinde -25,7 °C olarak ölçülmüştür.

İKİNCİ BÖLÜM

2. YÖNTEM

2.1. SU ÖRNEKLEMESİ VE FİZİKSEL PARAMETRE ÖLÇÜMÜ

Çalışma kapsamında 2023 yılının haziran ayında 2'si sürekli akan Kelkit Çayı'ndan, 27'si ise yeraltı suyu olmak üzere toplam 29 adet örnek alınmıştır (Şekil 3). 2023 yılının Eylül ayında ise 1 adet kuyu kapatıldığından dolayı örnek alınamış akarsu örnekleri ile birlikte toplamda 28 adet örnek alınabilmekmiştir.

Yeraltı sularının sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), pH, Eh (mV), çözünmüş oksijen (DO) (mg/L), elektriksel iletkenlik (EI) ($\mu\text{S}/\text{cm}$) gibi fiziksel parametreleri WTW Multiparametre cihazı (Şekil 4) ile arazide yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin fiziksel parametreleri arazide ölçüldükten sonra her bir örnek içi buz ile dolu termoslarda muhafaza edilmiş olup soğuk zincir ile laboratuvar ortamına nakledilmiştir. Yeraltı suyu örneklerinin majör anyon-katyon ve iz element analizleri tamamlana kadar laboratuvar ortamında $+4^{\circ}\text{C}$ 'de saklanmıştır.



Şekil 3: Çalışma Alanından Alınan Örneklerle Ait Görseller



Şekil 4: WTW 3430 Multiparametre Cihazı

2.2. LABORATUVAR ÇALIŞMASI

Yapılan arazi çalışması ile birlikte elde edilen yeraltı suyu örneklerinin kimyasal parametreleri (majör anyon-kasyon ve iz elementler) Bayburt Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda analiz edilmiştir. Örneklerin karbonat ve bikarbonat analizleri dijital büret (Şekil 5) kullanılarak titrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Örneklerin klorür, sülfat, nitrat, nitrit ve florür derişimleri Merck marka Prove 100 model spektrofotometre (Şekil 5) kullanılarak ölçülmüştür. ICP-MS (Şekil 6) yöntemi kullanılarak majör kasyon (kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum) ve iz elementlerin (silisyum, alüminyum, arsenik, bor, baryum, brom, kobalt, krom, bakır, demir, mangan, molibden, nikel, stronsiyum, antimon, titanyum, vanadyum ve çinko) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz ve ölçüm sonuçları Ek olarak sunulmuştur.



Şekil 5: Dijital Büret (Solda) ve Spektrofotometre Cihazı (Sağda)



Şekil 6: Su Örneklerinin Katyon/İz Element Analizlerinin Yapıldığı ICP-MS Cihazı

2.3. HİDROJEOKİMYA

Hidrojeokimya, suların hidrolojik çevrim sırasındaki yolculuğu boyunca temas ettiği birimlerle kimyasal ve fiziksel değişimi inceleyen bilim dalıdır. Yeraltı sularının bünyelerinde bulunan iyonlar ve bileşenler suyun kullanım özelliklerini belirlemektedir. Yeraltı sularının fiziko-kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ile çeşitli kalite değerlendirmelerinin yapılması, kökenlerinin tahmin edilmesi ve yüzey suyu-yağış ilişkilerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

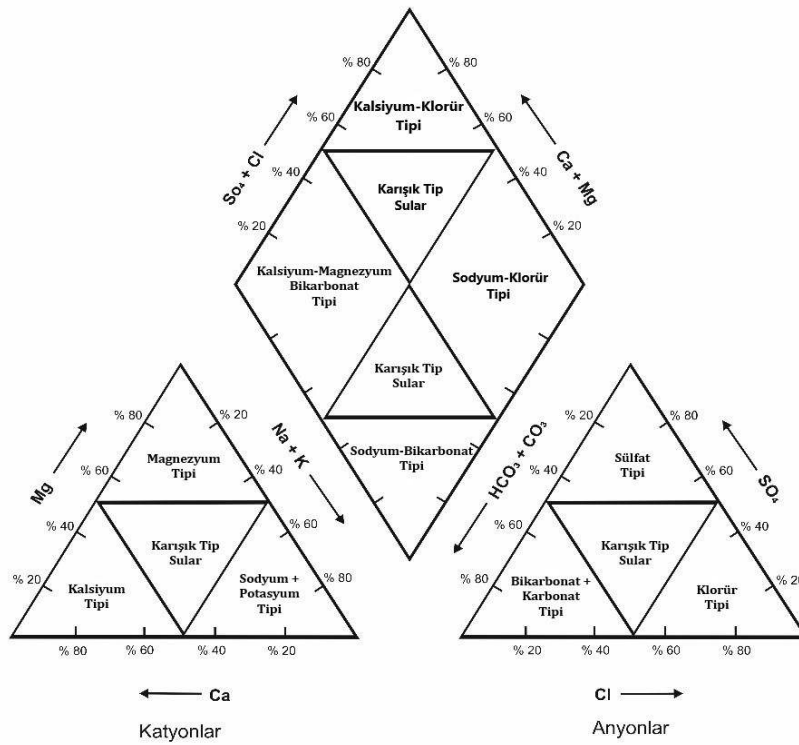
Farklı kalitedeki sular içme-kullanma ve tarımsal sulama gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır (Sargın, 2010). Yüzey ve yeraltı sularında, kullanım amacına göre sınıflandırma yapılabilmesi için ilk olarak suların fiziko-kimyasal içeriklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Varol, 2011). İçme-kullanma amacıyla kullanılan suların fiziko-kimyasal içeriklerinin belirli sınır değerleri üzerinde bulunması, bu suların kullanımının çevre ve insan sağlığı açısından çeşitli ve kritik sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Yıldırım, 2018).

Yeraltı ve yüzey sularında, doğal ve antropojenik kaynakların etkisiyle periyodik cetveldeki hemen hemen tüm elementler bulunabilmektedir. Buna karşın, yeraltı sularının sulama ve içme gibi çeşitli amaçlarla kullanıma uygunluğu için bütün elementlerin bilinmesinin gereği yoktur. Suların içilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından değerlendirilmesinde çeşitli standartlarla belirlenmiş kimyasal parametreler ile pH, Eh, elektriksel iletkenlik ve çözünmüş oksijen gibi fiziksel parametreler kullanılmaktadır (Erguvanlı & Yüzer, 1987).

2.4. HİDROJEOKİMYASAL SINIFLANDIRMA

2.4.1. Piper Diyagramı

Piper diyagramı (Piper, 1944) suların anyon-kasyon içeriğine göre suları sınıflandırmaktadır. Diyagram (Şekil 7), % meq/l cinsinden majör anyon ve kasyonların sınıflandırıldığı iki ayrı üçgen ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrojeokimyasal fasiyes tiplerinin değerlendirilmesinde, eşkenar dörtgen ise suların sınıflandırılarak birbirleriyle karşılaştırılmasına yardımcı olmaktadır. Bu tez çalışmasında çalışma alanındaki su örneklerinin sınıflandırılarak birbirleriyle karşılaştırılması amacıyla Piper Diyagramı kullanılmıştır.



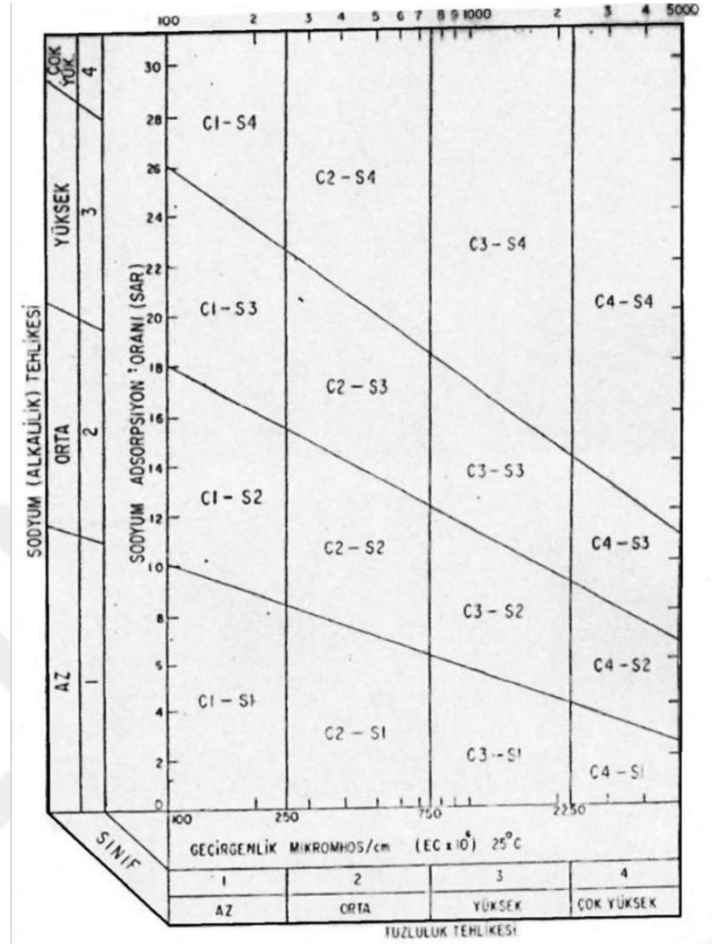
Şekil 7: Piper Diyagramı

2.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Suların sulama suyu olarak uygunluğunun en önemli ölçütleri Na miktarı ve Eİ'dir. Bu suların kullanım sınırlarını belirleyen ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (1954) bu iki parametre kullanılarak oluşturulmaktadır. İnceleme alanından alınan ve analizi yapılan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları diyagramlara yerleştirilerek suların sınıfları belirlenmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Şekil 8) tarafından önerilen bu sınıflandırmada sular, Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) (Denklem 1) ve elektriksel iletkenlik değerleri kullanılarak, tuzluluk içeriğine göre dört, sodyum içeriğine göre dört olmak üzere sular toplamda on altı alt sınıfta gruplandırılmıştır.

$$SAR = Na/(\sqrt{(Ca + Mg)/2})$$

(Denklem 1)



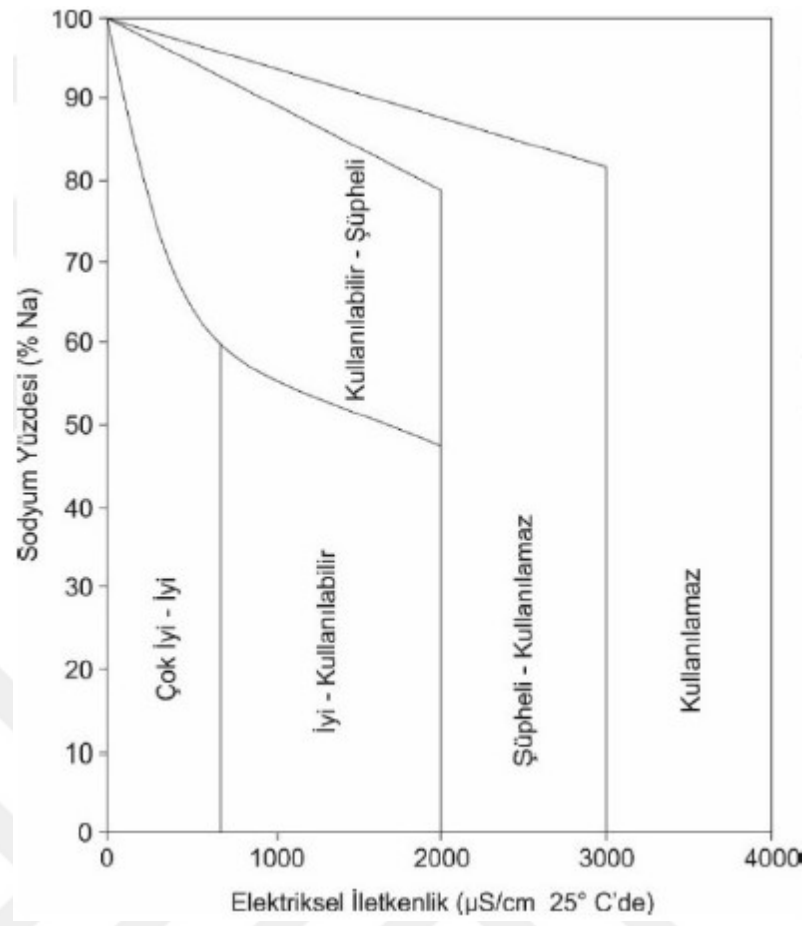
Şekil 8: ABD Tuzluluk Diyagramı

2.4.3. Wilcox Diyagramı

Suların sulama amaçlı kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla, Wilcox (1948) diyagramından yararlanılmaktadır. Wilcox diyagramı, Eİ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve % Na değerlerine göre suların sınıflandırılması için kullanılan bir diyagramdır (Şekil 9). Diyagramın dikey ekseninde % Na miktarı (Denklem 2), yatay ekseninde Eİ değerleri yer almaktadır. Suyun kimyasal analizlerinden % Na hesaplanarak dikey eksen üzerine işaretlenir, bu noktadan yatay eksene bir paralel çizilir. Eİ değeri yatay eksende bulunarak bu noktadan bir dik çıkarılır ve yatay eksene çizilen paraleli kestiği nokta, suyun diyagramda bulunduğu bölgeyi ve dolayısıyla özelliğini verir.

$$\%Na = \frac{Na^+}{Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+} \times 100$$

(Denklem 2)



Şekil 9: Wilcox Diyagramı

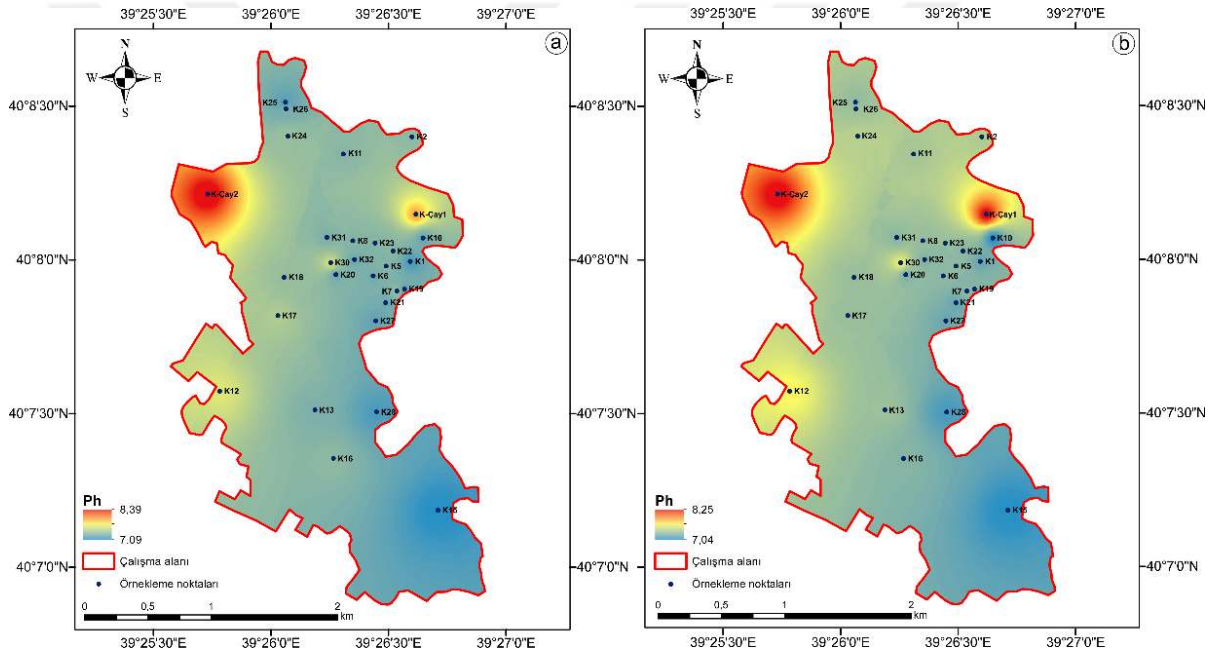
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. BULGULAR

3.1. FİZİKSEL PARAMETRELER

3.1.1. Hidrojen İyon Değişimi (pH)

Çalışma alanı yeraltı sularının pH değerleri yağışlı dönemde 7,09–7,56 arasında değişim gösterirken (Şekil 10'a), kurak dönemde 7,05–7,58 arasında değişim (Şekil 10'b) göstermektedir. Kelkit çayı su örneklerinin kurak dönem pH değerleri 7,93-8,39 arasında, yağışlı dönem pH değerleri ise 8,2-8,24 arasında değişmektedir. Suların pH değerine göre sınıflandırılması Şahinci (1991)'in sınıflandırmasına (Tablo 1) göre yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre alınan örneklerin tamamı bazik karakterli suları temsil etmektedir.



Şekil 10: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Ph Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

Tablo 1: Ph Değerlerine Göre Suların Sınıflandırılması

Suyun Sınıfı	pH	Suyun Sınıfı	pH
Bazik	> 8,5	Asidik Karakterli	7,0-4,5
Bazik Karakterli	8,5–7,0	Asidik	<4,5
Nötr	7,0		

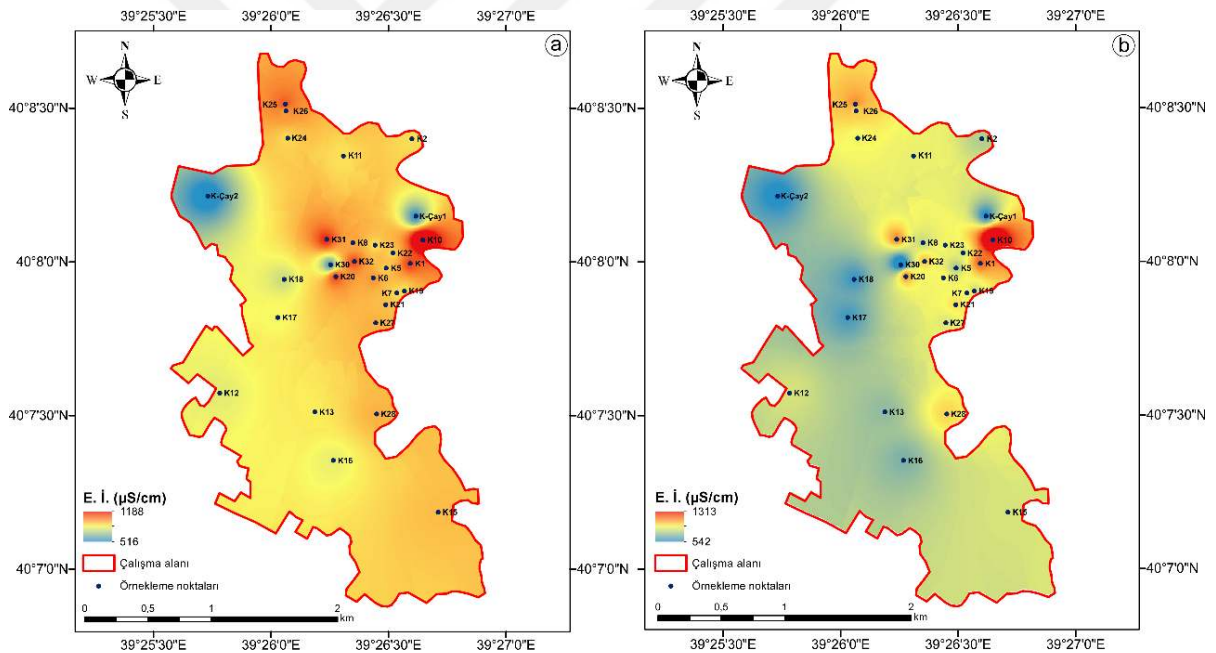
3.1.2. Redoks Potansiyeli (Eh)

Eh, sulu çözeltilerin kimyasal reaksiyonlarda elektronların bir yerden başka bir yere aktarıldığı (yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları) yükseltgenme potansiyelidir (Akbulut, 2016). Yeraltı sularının Eh değerleri, yağışlı dönemde -8,1 ile -33,8 mV arasında, kurak

dönemde -5,1 ile 7,58 arasında değişmektedir. Kelkit Çayı örneklerinin yağışlı dönem Eh değerleri -55,2 ile 81,4 mV arasında olup kurak dönem değerleri -72,8 ve -73,9 mV arasındadır. TS 266 ve WHO’da göre içme suyu için Eh içeriği standardı bulunmamaktadır.

3.1.3. Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Elektriksel iletkenlik (Eİ), suların içerdikleri anyon miktarı ile alakalı bir parametre olup sulara içilebilirlik değerlendirilmesi açısından kullanılan parametrelerdendir. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinde yağışlı dönemdeki en düşük Eİ değeri 577 $\mu\text{S/cm}$ iken en yüksek değeri 1188 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 11’a). Yağışlı dönemde Kelkit Çayı’ndan alınan örneklerde ise bu değer 516 $\mu\text{S/cm}$ ve 551 $\mu\text{S/cm}$ ’dir. Kurak dönemde ise yeraltı sularının Eİ değerleri 542 $\mu\text{S/cm}$ ile 1313 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir (Şekil 11’b). Kurak dönemde Kelkit Çayı örneklerinin Eİ değerleri 649 $\mu\text{S/cm}$ ve 650 $\mu\text{S/cm}$ ’dir. Kuyulardan alınan su örneklerinin çoğu yüksek Eİ değerlerine sahiptir. TS 266’ya göre içme amacıyla kullanılan sulara Eİ değeri, <2500 $\mu\text{S/cm}$ olmalıdır.

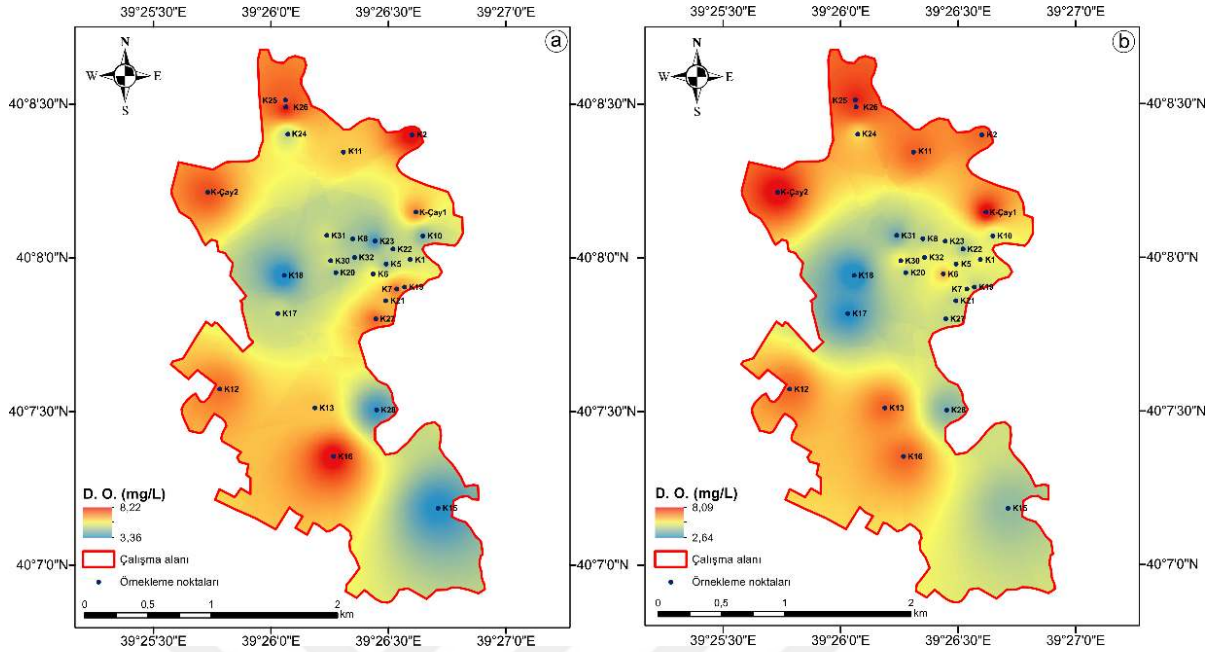


Şekil 11: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Eİ Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.1.4. Çözünmüş Oksijen (DO)

Çözünmüş oksijen, sucul ekosistemlerdeki su kalitesi parametrelerinden bir tanesidir. DO derişimleri su sıcaklıkları ile ters orantılıdır. Çalışma alanına ait yeraltı sularının yağışlı ve kurak dönemde için ölçülen en düşük DO değerleri sırasıyla 3,56 mg/L (Şekil 12’a) ve 2,95 mg/L (Şekil 12’b), en yüksek DO değerleri 8,12 mg/L ve 7,01 mg/L’dir. Kelkit Çayı’ndan alınan kurak ve yağışlı dönem için en düşük DO değerleri sırasıyla 6,91 mg/L ve 7,93 mg/L, en

yüksek DO değerleri 7,54 mg/L ve 8,09 mg/L 'dir. Düşük DO değeri, yeraltı sularında bulunan çözünmüş oksijenin önemli ölçüde tüketildiğinin bir göstergesidir.



Şekil 12: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Çözünmüş Oksijen Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

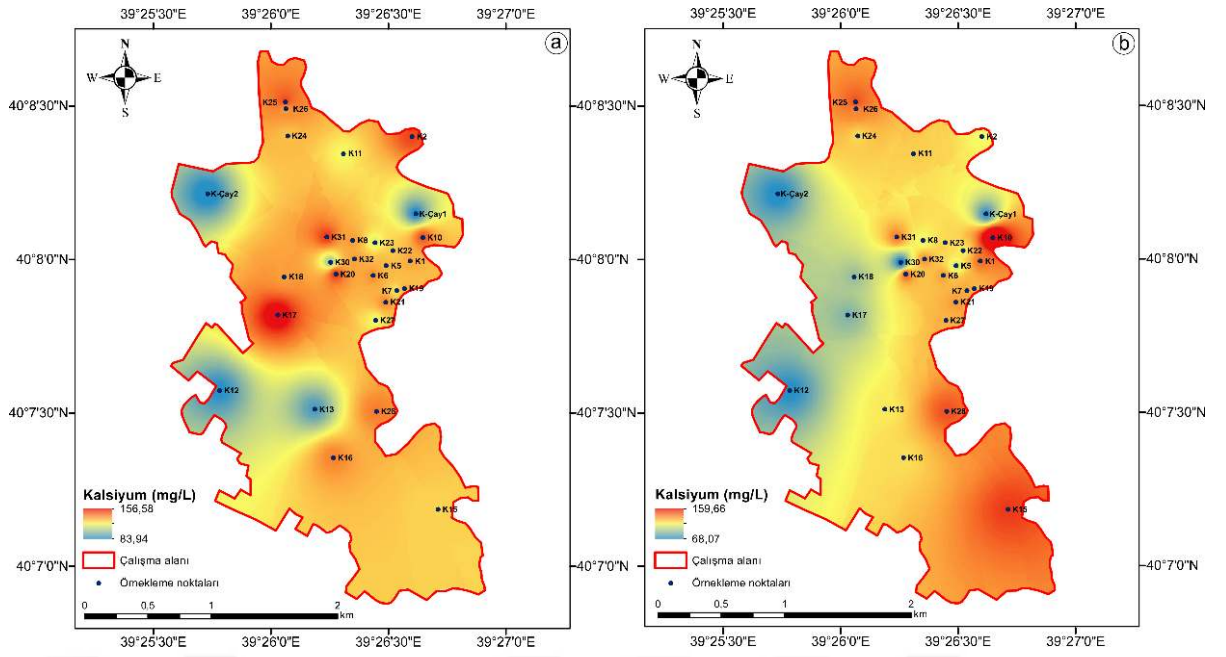
3.2. KİMYASAL PARAMETRELER

3.2.1. Majör Katyon Analizleri

Yüzey ve yeraltı sularının kalitelerinin belirlenmesi, çeşitli diyagramlar kullanılarak sınıflarının belirlenmesi ile içme-kullanma amaçlı değerlendirmelerinin yapılabilmesi için kullanılan majör katyonlar; kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum 'dur. Çalışma alanında bulunan kuyu suları ve Kelkit çayından alınan su örneklerinin kurak dönem majör katyon içerikleri Ek 5'te, yağışlı dönem majör katyon içerikleri ise Ek 2'de gösterilmiştir.

3.2.1.1. Kalsiyum (Ca^{+2})

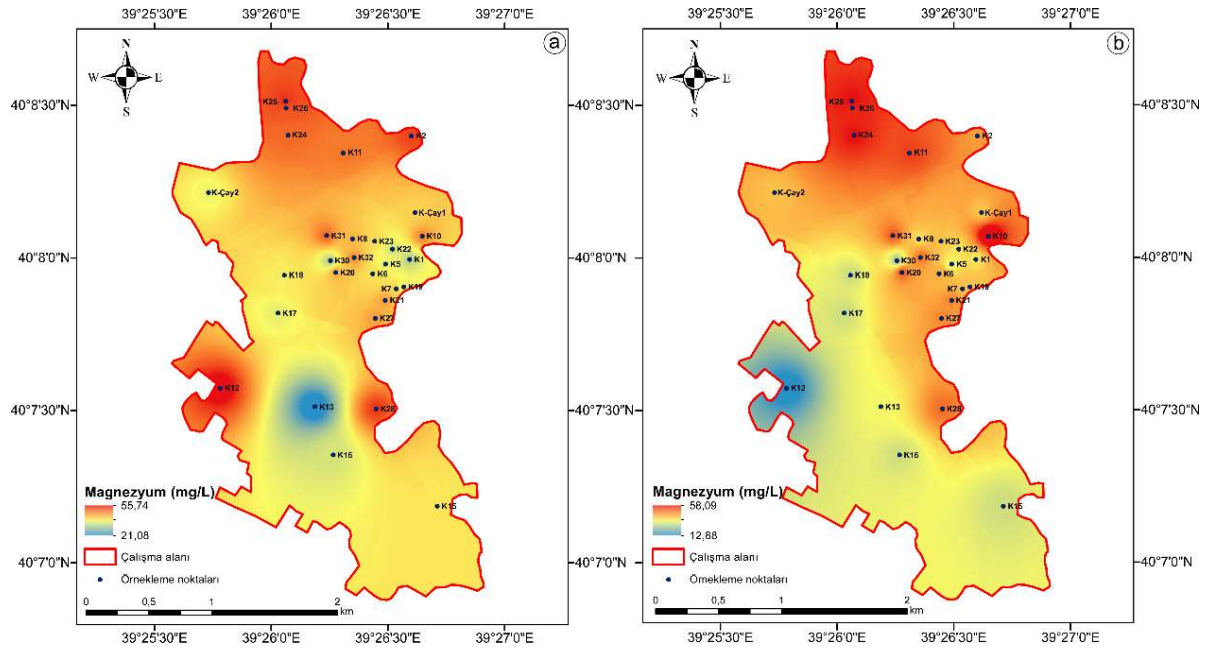
Çalışma alanına ait yeraltı sularındaki Ca^{+2} derişimleri yağışlı dönem için 83,94 mg/L ile 156,58 mg/L arasında (Şekil 13'a), kurak dönem için 68,07 mg/L ile 159,66 mg/L değişmektedir (Şekil 13'b). Dağılım haritası incelendiğinde, yüksek Ca^{+2} değerleri Kelkit çayına yakın bölgede yayılım göstermektedir. Bu durum baskın litolojinin karbonatlı kayalar ile temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır. TS 266 içme suyu standartlarına göre izin verilen maksimum değer 200 mg/L'dir (TS 266, 2005). WHO içme suyu standartlarında kalsiyum için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir (WHO, 2011).



Şekil 13: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Kalsiyum Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.1.2. Magnezyum (Mg^{+2})

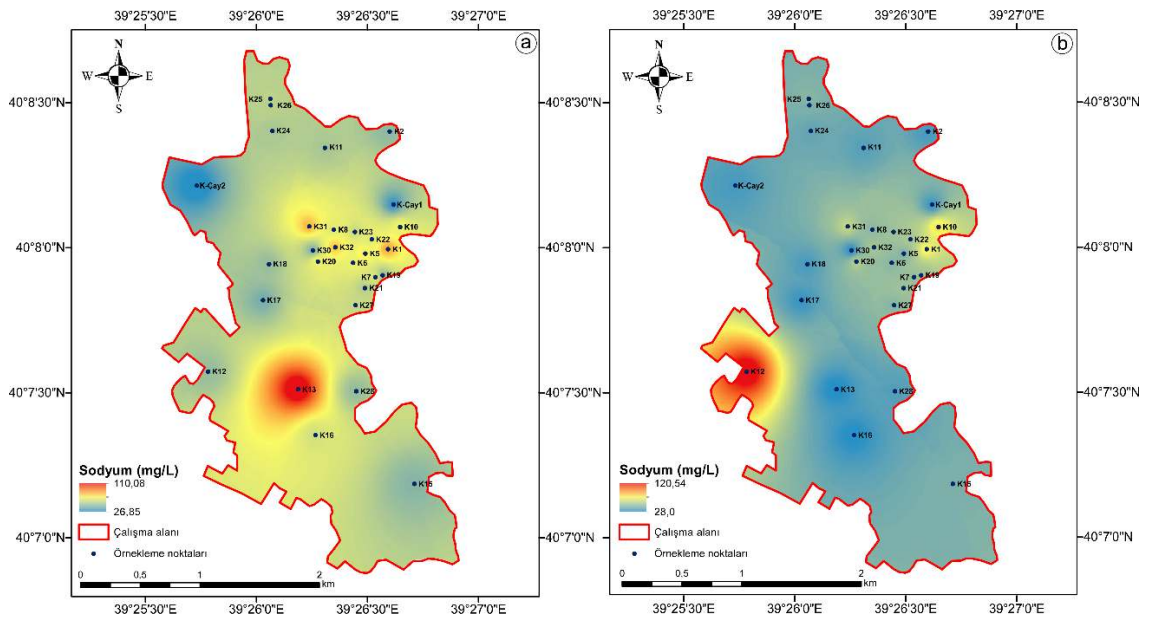
Çalışma alanına ait yeraltı sularındaki Mg^{+2} derişimlerinin yağışlı dönem için 21,08-55,74 mg/L arasında (Şekil 14'a), kurak dönem için 12,88-58,09 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 14'b). TSE'de suların içilebilir standart Mg^{+2} değerin 50 mg/l'den daha düşük olması gerektiği belirtilmiş olup çalışma alanında kurak döneme ait su örneklerinden K2, K11, K25, K26 ve K28 kuyularının Mg^{+2} derişimleri bu değerin üzerindedir. Yağışlı döneme ait su örneklerinden ise sadece K10 örneği sınır değerin üzerindedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre ise magnezyum için standart değer gösterilmemiştir.



Şekil 14: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Magnezyum Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.1.3. Sodyum (Na^+)

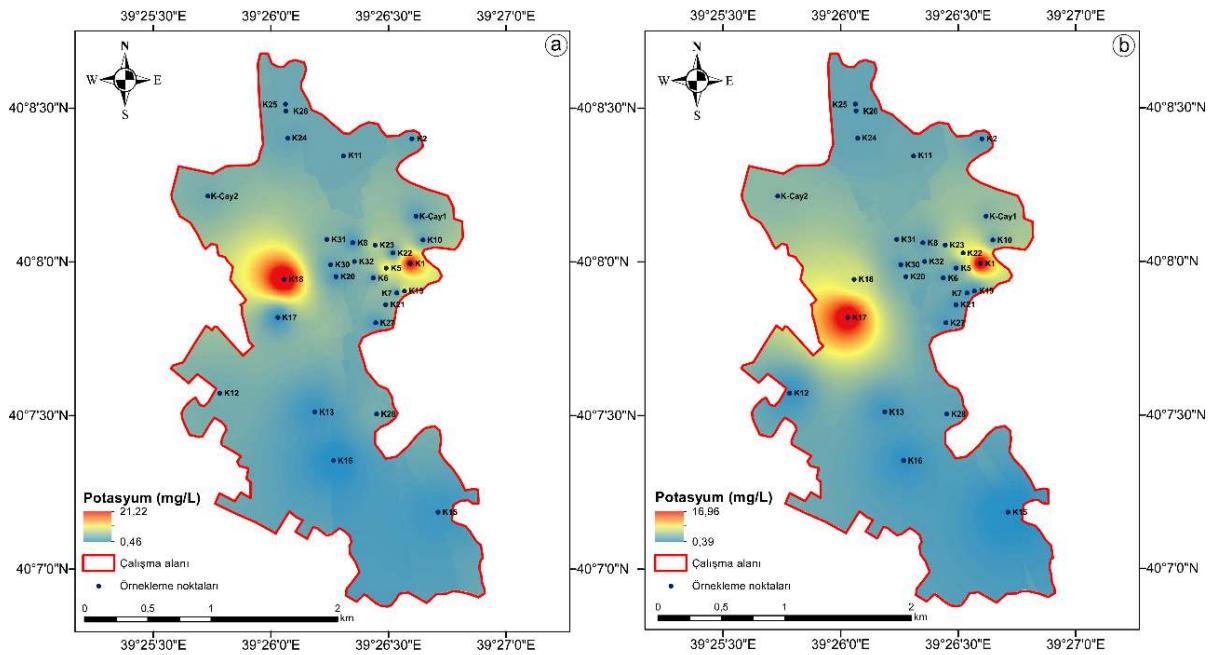
Çalışma alanındaki su örneklerinin yağışlı dönem Na^+ derişimleri 38,4-55,74 mg/L arasında (Şekil 15'a) değişirken kurak dönemde bu değerler 8,5-120,54 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 15'b). WHO'da suların içilebilirliği için sodyum açısından bir sınır değeri bulunmamaktadır (WHO, 2011). TS 266 içme suyu standartlarına göre ise içme suyu için izin verilen en yüksek sodyum değeri 175 mg/L'dir. Alınan örnekler bu sınır değerin altında kalmaktadır.



Şekil 15: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Sodyum Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.1.4. Potasyum (K^+)

Alkali metal grubunda bulunan potasyum birçok açıdan sodyum ile benzer özellikler sergilemektedir. Magmatik kayalarda sodyum hâkim iken tortul kayalarda potasyum hâkimdir. Çalışma alanından yağışlı ve kurak dönem su örneklerinin potasyum derişimlerinin en düşük ve en yüksek değerleri sırasıyla 0,46–21,22 mg/L ile 0,39–16,96 mg/L’dir (Şekil 16’a ve Şekil 16’b). En yüksek potasyum derişimleri kurak dönemde K1 ve K18 kuyularında ölçülmüş iken yağışlı dönemde K1 ve K17 kuyularında gözlenmiştir. WHO içme suyu standartlarına göre potasyum iyonu için bir standart bulunmamaktadır. TS 266 standardında içme suları için en yüksek potasyum değerinin 12 mg/l olması gerekliliği bulunmakta olup çalışma alanındaki numularının geneli kabul edilebilir sınırlar içerisinde.



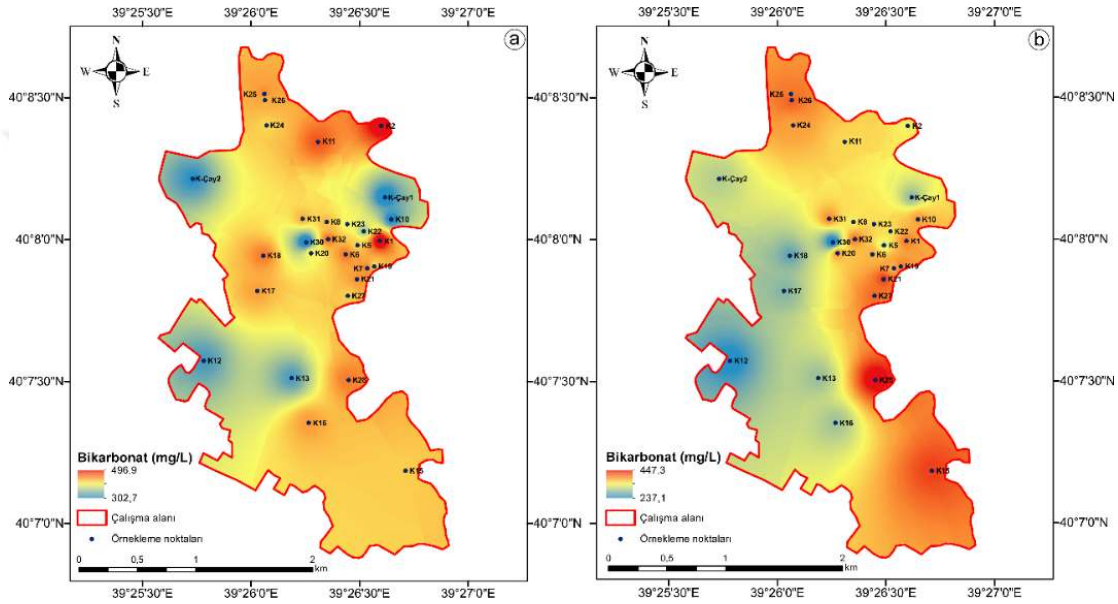
Şekil 16: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Potasyum Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.2. Majör Anyon Analizleri

Yüzey ve yeraltı sularının kalitelerinin belirlenmesi, çeşitli diyagramlar kullanılarak sınıflarının belirlenmesi ile içme-kullanma amaçlı değerlendirmelerinin yapılabilmesi için en çok kullanılan majör anyonlar; bikarbonat, sülfat, klorür, nitrat, nitrit ve florür ’dür. Çalışma alanında bulunan kuyu suları ve Kelkit çayın su örneklerinin kurak dönem majör anyon içerikleri Ek 1’te, yağışlı dönem majör anyon içerikleri ise Ek 4’de gösterilmiştir.

3.2.2.1. Bikarbonat (HCO_3^-)

Yeraltı suyundaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının ana kaynakları; atmosfer ve topraktaki CO_2 ve karbonatlı kayaçların erimesidir (Varol, 2011). Çalışma alanından alından örneklerden haziran ayı (yağışlı dönem) için bikarbonat derişimleri 302,74–496,90 mg/L arasında Eylül ayı (kurak dönem) için ise 265,71–422,84 mg/L arasında olduğu belirlenmiştir (Şekil 17'a ve Şekil 17'b). Sulama sularında bikarbonat iyonlarının varlığı Na^+ iyonun konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır. Ancak fazla miktarlarda bulunması ise toprakta kireç birikimine neden olarak tarımsal faaliyetlerin olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. WHO içme suyu standartlarında bikarbonat için sınır değeri belirtilmemiştir.

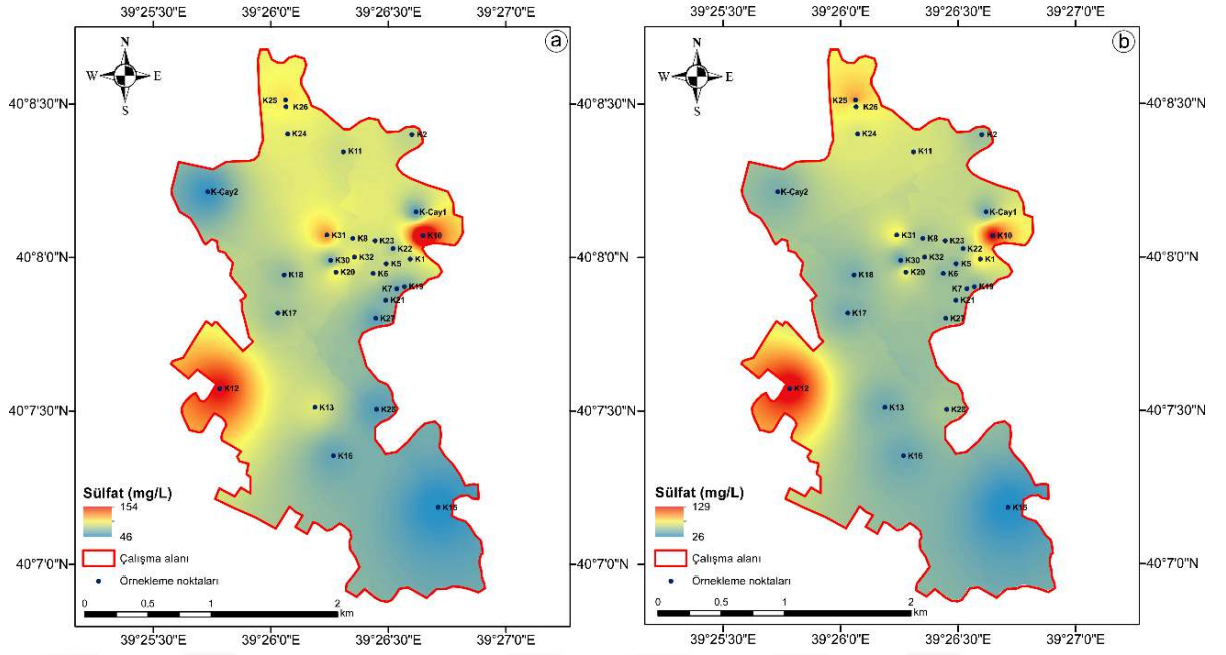


Şekil 17: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Bikarbonat Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.2.2. Sülfat (SO_4^{2-})

Yeraltı sularında sülfat çoğunlukla jips ve anhidrit minerallerinin çözünmesinden kaynaklanmaktadır (Hem, 1985). Kükürt, indirgenmiş halde metal sülfürler formunda magmatik ve sedimanter kayaçlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürler su ile temas edip oksitlenerek suda sülfat iyonunu oluştururlar. (Hem, 1985).

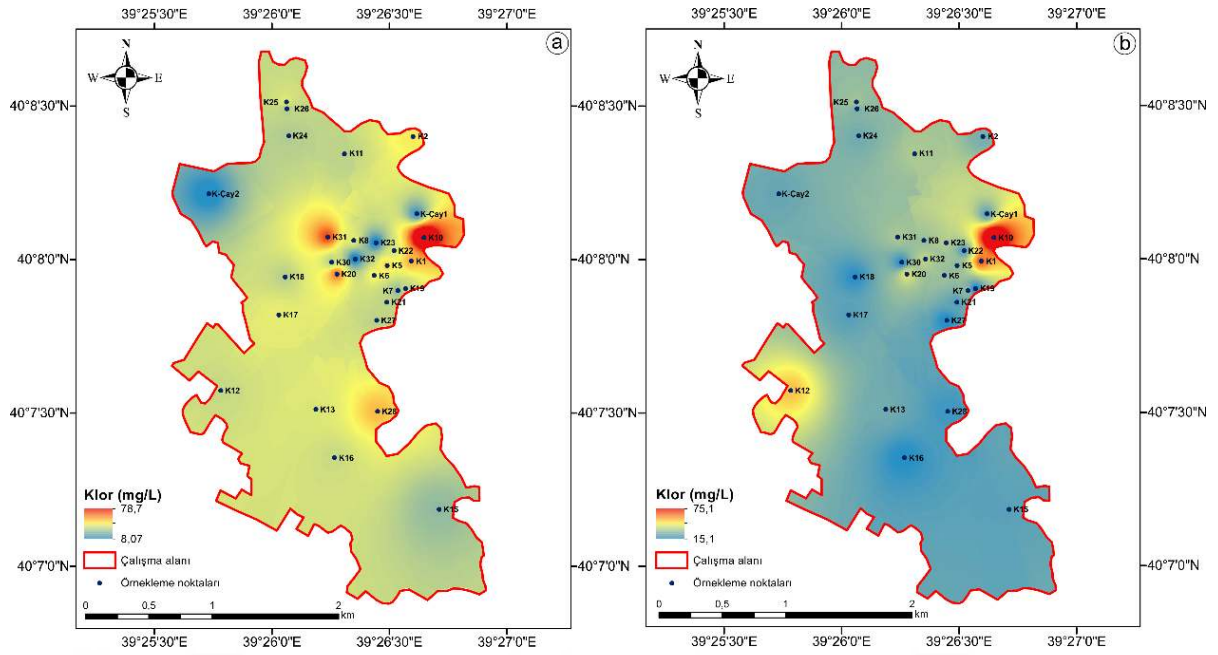
Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinde sülfat derişimleri yağışlı dönemde 46-154 mg/L arasında, kurak dönemde 26-129 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 18'a ve Şekil 18'b). WHO'ya göre suların içilebilmesi için sülfat değerinin 250 mg/L'nin altında olması gerekmektedir (WHO, 2011). Çalışma alanından toplanan tüm su örneklerinin sülfat değerleri bu sınır değerin altındadır.



Şekil 18: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Sülfat Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.2.3. Klorür (Cl^-)

Klorür iyonu doğada oldukça yaygın bulunmaktadır. Doğadaki öncelikli kaynak ise sedimanter kayalar, özellikle de evaporitlerdir (Hem, 1985). Bununla birlikte, bazı magmatik kökenli mineraller de klorür iyonu içermektedir (Yazıcı, 2019). Çalışma alanı yeraltı sularının klorür derişimleri yağışlı dönemde 8,1-78,7 mg/L arasında, kurak dönemde ise 11,1-75,1 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 19'a ve Şekil 19'b). Çalışma alanında K10 noktasında her iki dönemde de klorür derişimleri diğer noktalara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. WHO içme suyu standartlarına göre klor iyonunun sınır 250 mg/L'dir (WHO, 2011). Çalışma alanındaki numulerinin tamamı klor açısından içme suyu olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır.

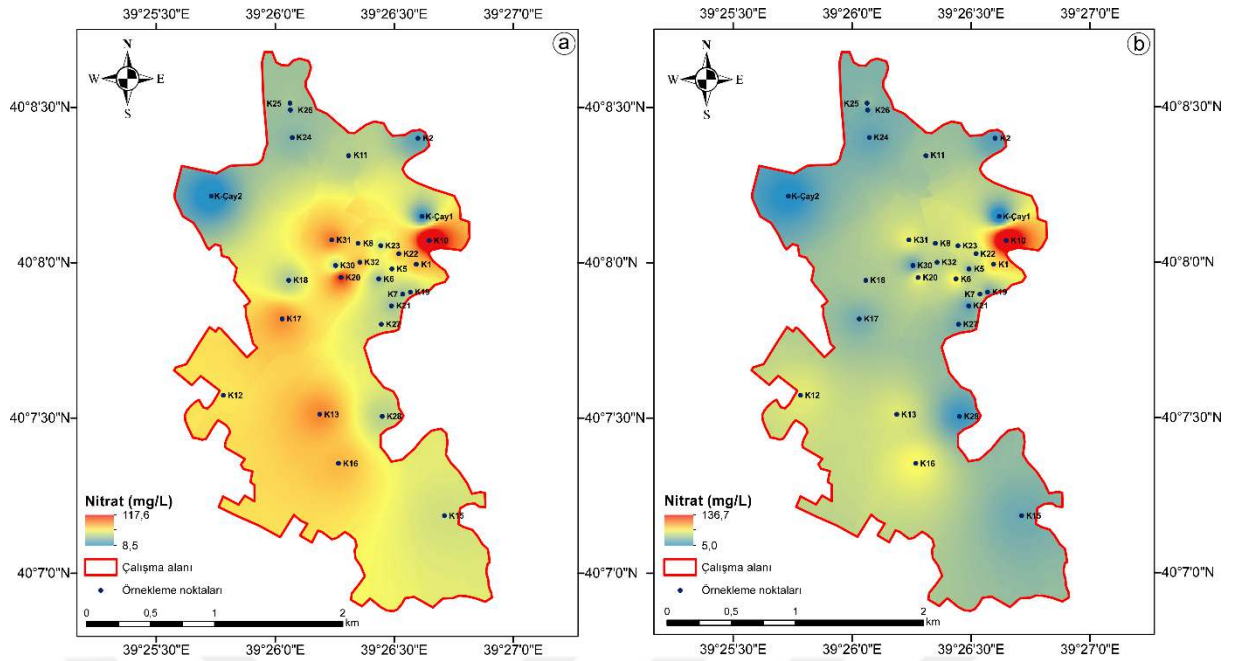


Şekil 19: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Klorür Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.2.4. Nitrat (NO_3^-)

Nitrat iyonu, yeraltı ve yüzey sularında genel olarak doğal kaynaklı olmayıp, insan kaynaklı olarak bulunmaktadır (Krishan vd., 2021). Sulardaki en önemli nitrat kaynağı ise tarımda kullanılan gübrelerdir. Ayrıca, evsel ve endüstriyel kaynaklı atık sular ile kanalizasyon sistemlerinden akifere sızan atık sular da nitrat kirliliğine neden olabilmektedir.

Çalışma alanından toplanan su örneklerinin nitrat derişimleri yağışlı dönem için 8,5-117,6 arasında, kurak dönem için ise 5-136,7 mg/L arasında değişim göstermektedir (Şekil 20'a ve Şekil 20'b). TS 266 içme suyu standartlarına göre nitratın 50 mg/L olarak belirlenen sınır değerini bazı noktalarda aştığı görülmektedir. Çalışma alanında kurak dönemde K1, K10, K13, K16, K17, K20, K22, K31 ve K32 kuyularının nitrat değerlerinin sınır değeri aştığını yağışlı dönemde ise K1, K6 ve K10 kuyularının nitrat değerlerinin sınır değeri aştığını gözlemlenmiştir. Bu kuyularda yüksek nitrat değerinin çıkmasının olası nedenleri aşırı gübre kullanımı ve evsel atıklar olduğu söylenebilir.

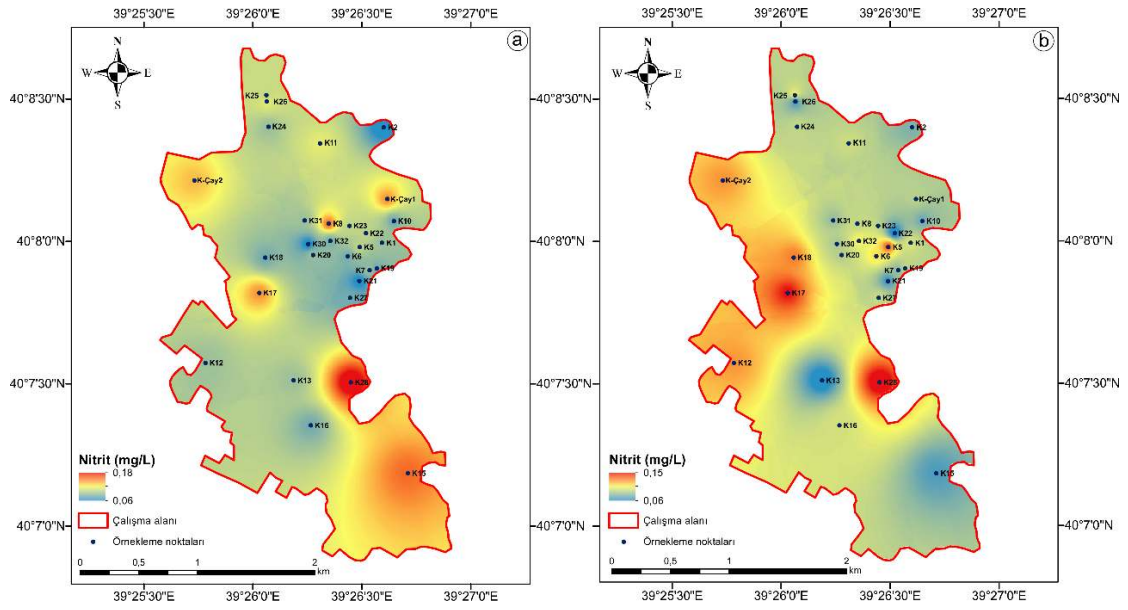


Şekil 20: Çalışma Alanı Su Örneklerinin Nitrat Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.2.5. Nitrit (NO_2^-)

Nitrit, bir nitrifikasyon-denitrifikasyon ara ürünü olup genel olarak yeraltı sularında oldukça düşük derişimler göstermektedir.

Çalışma alanından yağışlı dönem için alınan su örneklerindeki nitrat derişimleri 0,06 ile 0,180 mg/L arasında, kurak dönem için nitrat derişimleri 0,056-0,147 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 21'a ve Şekil 21'b). WHO içme suyu standartlarına göre, nitrat için sınır değer 0,2 mg/L'dir. Çalışma alanındaki su örneklerinin tamamı nitrat derişimi açısından bu sınır değerinin altındadır.

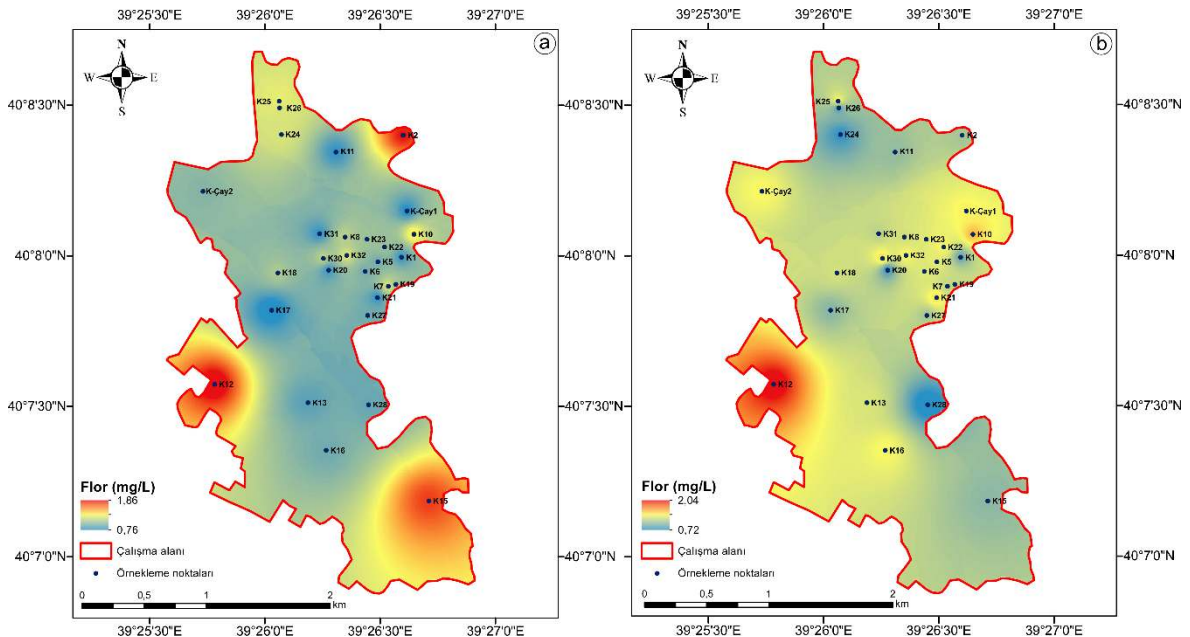


Şekil 21: Çalışma Alanına Ait Nitrit Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.2.6. Florür (F^-)

Florür, yeraltı ve yüzey sularında genellikle düşük konsantrasyonlarda görülmektedir. Volkanik kayalar, mika mineralleri ve termal kaynaklar sularda yüksek florür konsantrasyonlarına neden olmaktadır (Varol vd., 2008).

Çalışma alanından alınan örneklerinin yağışlı dönem için florür değerleri 0,758-1,772 mg/L arasında, kurak dönem için 0,717-2,038 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 22'a ve Şekil 22'b). WHO standartlarına göre içme suların da Flor konsantrasyonu 1,5 mg/L'yi aşmamalıdır. Çalışma alanından alınan kuyu suyu örneklerinde kurak dönemde K2, K12 ve K15'e ait kuyu örneklerinin, yağışlı dönemde ise K12 kuyu örneğinin bu değeri aştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 22: Çalışma Alanı Su Örneklerini Florür Dağılımı (Yağışlı Dönem: a, Kurak Dönem: b)

3.2.3. İz Element Analizleri

İz elementler, düşük derişimlerde bile toksik olabilen yüksek yoğunluklu elementlerdir. İz elementler bozunmadıkları için çevre için kirletici özelliğe sahiptirler. Bazı ağır metaller temel iz elementler olmamalarına rağmen, yüksek konsantrasyonlarda bitkiler, hayvanlar ve mikroplar için toksiktir. Su kaynaklarındaki iz elementler, litolojik yapıya, endüstriyel atıklara ve tarımsal uygulamalara bağlı olarak değişebilmektedir.

Yağışlı dönem yeraltı suyu ve Kelkit Çayı örneklerinin iz element içerikleri Ek 3'te, kurak dönemin ise Ek 6'da verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kurak dönemde elde edilen en yüksek ve en düşük iz element değerleri sırasıyla Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2: Kurak Döneme Ait En Düşük ve En Yüksek İz Element Değerleri

İz Elementler	En Düşük Değer (µg/l)	En Yüksek Değer(µg/l)
Si	5870	11400
Al	0,23	82,44
As	0,73	4,08
B	219,8	1212,4
Ba	171,6	291,8
Br	66,6	151,5
Co	0,11	0,4
Cr	0,64	7,56
Cu	0,54	2,04
Fe	0	114,5
Mn	0,14	21,97
Mo	0,51	33,83
Ni	0,56	3,30
Sr	625	1530
Sb	0,1	0,28
Ti	0,9	4,85
V	0,97	7,08
Zn	0,31	56,37

Yapılan analizler sonucunda yağışlı dönemde elde edilen en yüksek ve en düşük iz element değerleri sırasıyla tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Yağışlı Döneme Ait En Düşük ve En Yüksek İz Element Değerleri

İz Elementler	En Düşük Değer (µg/l)	En Yüksek Değer (µg/l)
Si	8070	12090
Al	0,21	23,05
As	0,34	3,96
B	172,1	1724,9
Ba	75,5	213
Br	54,5	189,2

Co	0,06	0,15
Cr	0,19	2,62
Cu	0,31	3,35
Fe	0,15	12,84
Mn	0,16	2,20
Mo	1,04	23,9
Ni	0,35	4,51
Sr	331,2	1217
Sb	0,01	0,09
Ti	0,557	1,183
V	0,86	5,32
Li	4,91	15,81
Zn	0,3	22,8

Yapılan ölçümlere göre kurak dönemde K13 kuyusunda Bor değeri TS 266 standartlarını aşmıştır. WHO standartlarına göre sınır değerinin altında kalmaktadır. K11, K1, K30 ve K-Çay 1 örneklerinde Fe değeri TS 266 standartlarının üzerinde ölçülmüştür. K16 ve K-Çay 1 örneklerinde Mn değeri TS 266 standartlarının üzerinde ölçülmüştür (Ek 3).

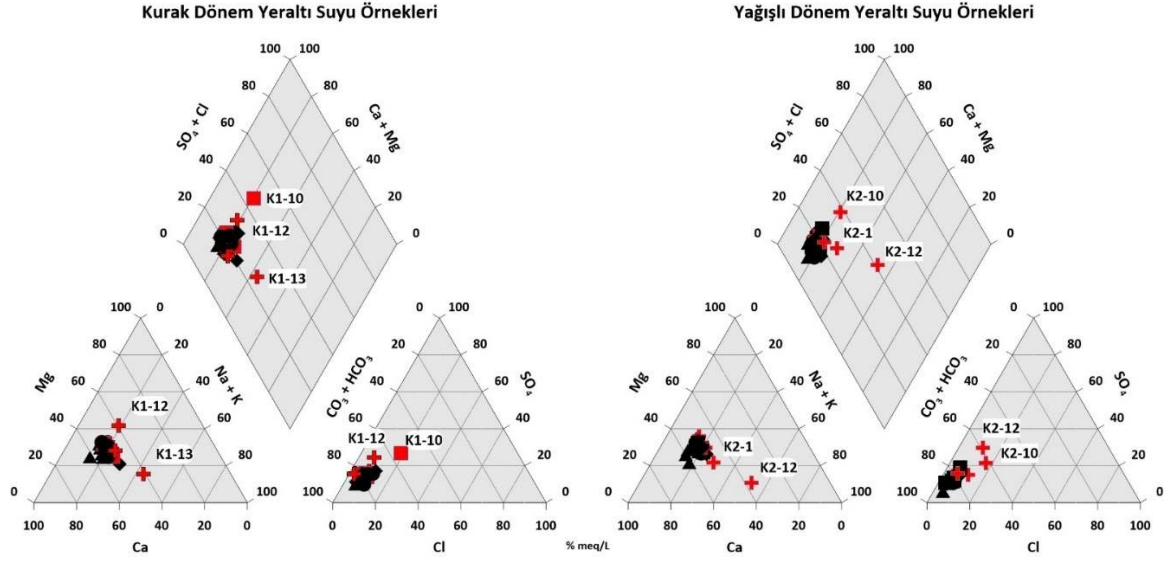
Yağışlı dönemde yapılan analizlerde K12 kuyusundan alınan su örneğinde B değeri TS 266 standartlarının üzerinde ölçülmüştür. WHO standartlarının altında kalmaktadır (Ek 6).

3.3. HİDROJEOKİMYASAL SINIFLANDIRMA

3.3.1. Piper Diyagramı

Bu tez kapsamında, çalışma alanındaki yeraltı ve yüzey suyu örneklerinin hidrojeokimyasal olarak sınıflandırması ve fasiyesleri Piper (1994) diyagramı kullanılarak yapılmıştır. Diyagrama göre, kurak döneme ait örneklerin katyon üçgeni ele alındığında örneklerin yarısından fazlası “kalsiyum tipi sular” sınıfında yer alırken K1, K12 ve K13 örnekleri “Karışık tip sular” sınıfında yer almaktadır. Anyon üçgeni ele alındığında örneklerin hepsi “bikarbonat karbonat tipi” sular sınıfına girmektedir. Katyon ve anyon üçgeninin birleşmesiyle oluşan paralelkenar şekli incelendiğinde alınan örneklerin “Kalsiyum-Magnezyum ve Bikarbonat tipi sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. (Şekil 23)

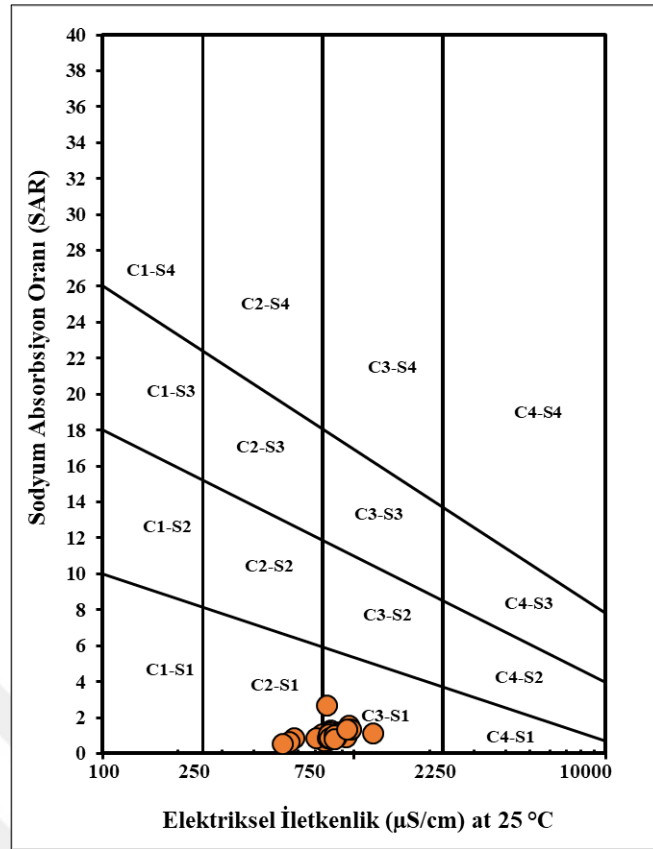
Yağışlı döneme ait örneklerin katyon üçgenine göre örneklerin çoğunluğunun “kalsiyum tipi sular” tipi sular sınıfında yer alırken, K2 ve K12 su örneklerinin “Sodyum-Potasyum tipi sular” sınıfında yer aldığı gözlenmiştir. Anyon üçgenine göre örneklerin hepsi “bikarbonat karbonat tipi” sular sınıfına girmektedir. Katyon ve anyon üçgeninin birleşmesiyle oluşan paralelkenar şekli incelendiğinde alınan örneklerin genelinin “bikarbonat karbonat tipi” sular sınıfında, K2 ve K12 su örneklerinin ise “Karışık tip sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 23).



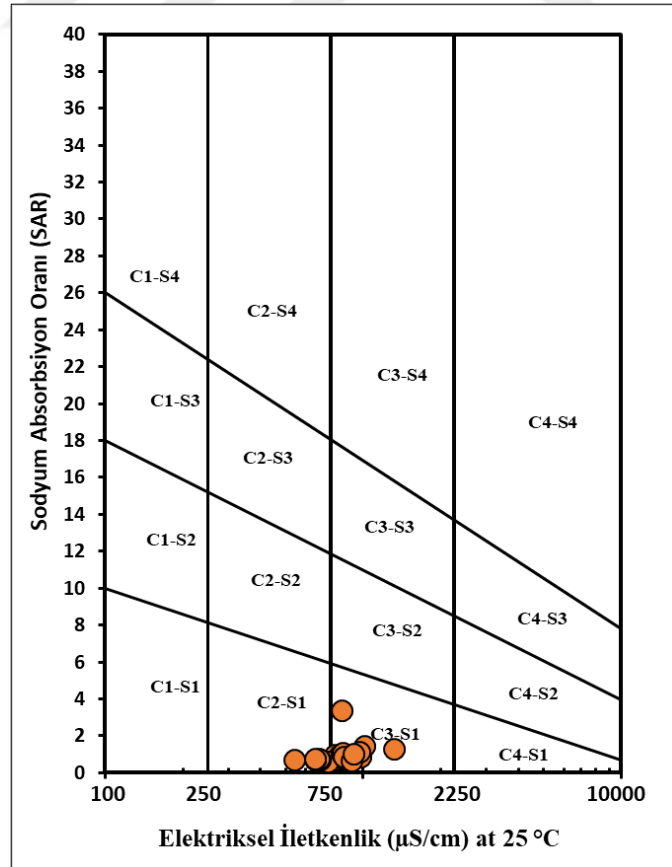
Şekil 23: Kurak ve Yağışlı Döneme Ait Su Örneklerinin Piper Diyagramındaki Dağılımı

3.3.2. ABD Tuzluluk Diyagramı

Çalışma alanında 2023 yılı yağışlı dönemde alınan su örneklerinin çoğu C3-S1 sınıfına, diğer su örnekleri ise C2-S1 sınıfına girmektedir (Şekil 24). C3-S1 sınıfı sular fazla tuzlu ve sodyuma karşı duyarlı bitkiler dışında her türlü tarım için uygun olan sınıfı temsil etmektedir. C2-S1 sınıfı sular ise orta tuzlulukta ve az sodyumlu sular sınıfına girmektedir. Kurak dönem için alınan su örnekleri yağışlı döneme benzer sonuçlar göstermektedir. Bu dönemdeki örneklerinin de geneli C3-S1 sınıfına girerken, bazıları C2-S1 sınıfına girmektedir (Şekil 25).



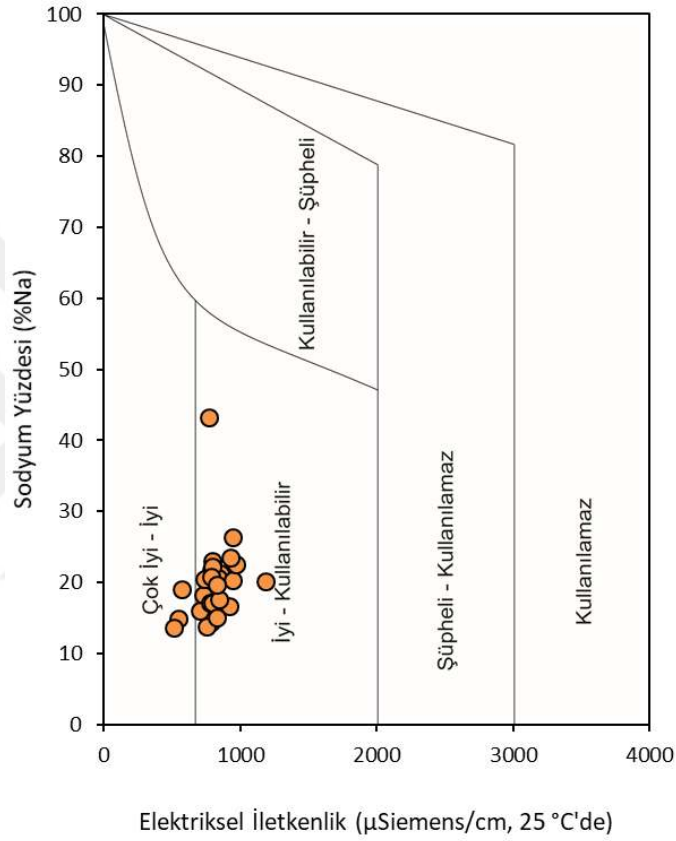
Şekil 24: Yağışlı Döneme Ait Su Örneklerinin ABD Tuzluluk Diyagramındaki Dağılımı



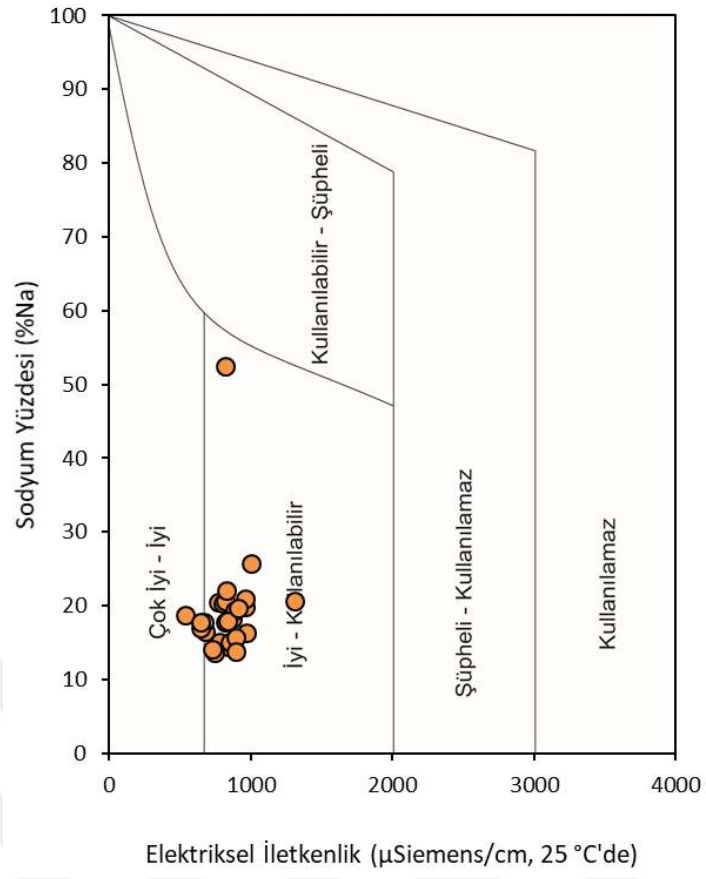
Şekil 25: Kurak Döneme Ait Su Örneklerinin ABD Tuzluluk Diyagramındaki Dağılımı

3.3.3. Wilcox Diyagramı

Çalışma alanından yağışlı dönemde alınan su örneklerinin yarısından fazlası Wilcox diyagramında “İyi-Kullanılabilir” sular sınıfına düşerken, 3 adet yeraltı suyu örneğinin ise “Çok İyi-İyi” sular sınıfına girmektedir (Şekil 26). Kurak dönem için alınan su örneklerinin çoğunluğu “İyi-Kullanılabilir” sular sınıfına girerken, 5 adet su örneği “Çok İyi-İyi” sular sınıfına girmektedir (Şekil 27).



Şekil 26: Yağışlı Döneme Ait Su Örneklerinin Wilcox Diyagramındaki Dağılımı



Şekil 26: Kurak Döneme Ait Su Örneklerinin Wilcox Diyagramındaki Dağılımı

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sonuç

Kelkit (Gümüşhane) yöresinin yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi başlıklı bu yüksek lisans tezinde çalışma alanından alınan kurak ve yağışlı döneme ait yeraltı suyu örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametre ölçüm ve analizleri yapılmıştır. Bu tez çalışması kapsamındaki tüm analiz ve değerlendirmelerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çalışma alanında bulunan yeraltı sularında, su kalitesinin mevsimsel olarak değişiminin ve ayrıca suların sınıfının belirlenmesi amacıyla hidrokimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları hidrokimyasal sınıflandırma grafiklerine (Piper, Wilcox, ABD Tuzluluk Laboratuvarı) göre sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, yeraltı suyu örnekleri, kimyasal ve fiziksel parametre içerikleri bakımından içme suyu olarak kullanılabilirliklerinin belirlenmesi amacıyla Dünya Sağlık Örgütü içme suyu standartlarına ve Sulama suyu kalitesi bakımından değerlendirmek amacıyla Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Teknik Usuller Tebliği'nde belirtilen standartlara göre değerlendirilmiştir.

Tartışma

Kelkit yöresine ait su örneklerinin fiziksel parametreleri sonuçlarını ele aldığımızda pH değerlerinin 7,0-8,5 arasında olup bazik özellik göstermektedir. Çalışmada alınan suların tamamının elektriksel iletkenlik değerleri TSE'de sınır değer olan 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerinin altındadır.

Majör katyon analizlerinde yapılan ölçümlerde Mg^{+2} ve K^{+} katyonlarının bazı örneklerde içme suyu standartları sınır değerlerini aştığı belirlenmiştir. Magnezyum katyonunda kurak dönemde K2, K11, K25, K26 ve K28 kuyularına ait su örneklerinde belirlenen sınır değerin aşıldığı yağışlı dönemde ise sadece K10 kuyusuna ait değerin standartları aştığı belirlenmiştir. Potasyumun kurak dönemde K1 ve K18 kuyularına ait su örneklerinin belirtilen sınır değeri aştığını yağışlı dönemde ise K1 ve K17 kuyularına ait su örneklerinin belirtilen sınır değeri aştığı görülmektedir. Diğer su örneklerinden elde edilen sonuçların belirtilen standartlara göre sınır değerlerin altında kaldığını toprak, içme-sulama suyu ve sağlık açısından tehlike arz etmediği söyleyebiliriz. Majör anyon analizlerine göre bazı örneklerin nitrat ve florür değerlerinin TS 266 içme suyu standartlarında belirtilen sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. Çalışma alanında kurak dönemde K1, K10, K13, K16, K17, K20, K22, K31 ve K32 kuyularının nitrat değerlerinin sınır değeri aştığı, yağışlı dönemde ise K1,K6 ve K10 kuyularının nitrat değerlerinin sınır değeri aştığı gözlemlenmiştir. Bu kuyularda yüksek

nitrat değerinin çıkmasının olası nedenleri aşırı gübre kullanımı ve evsel atıklar olduğu söylenebilir. Çalışma alanından alınan bazı kuyu suyu örneklerinde florür değerinin de içme suyu standartlarına göre belirtilen sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. Kurak dönemde K2, K12 ve K15'e ait kuyu örneklerinin, yağışlı dönemde ise K12 kuyu örneğinin bu değeri aştığı gözlemlenmiştir.

Piper diyagramına göre; Kelkit yöresinin yeraltı suyu örneklerinin yarısından çoğu “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat ”su tipinde olup yeraltı sularının karbonatlı kayalar ile etkileşimde olduğunun bir göstergesidir. Örneklerin kurak dönemde 3 tanesi, yağışlı dönemde ise 2 tanesi “Karışık tip sular” sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramına göre; yeraltı suyu örnekleri kurak ve yağışlı dönemde genel olarak “İyi-kullanılabilir” sular sınıfında yer alırken, ABD Tuzluluk diyagramına göre; kuyulardan alınan su örneklerinin genel olarak C3-S1 sınıfında suları temsil ettiğini birkaçının ise C2-S1 sınıfında suları temsil ettiği grlmştir.

İz element analizlerinde kurak dönem su örneklerinden K13 nolu kuyuda, yağışlı dönemde ise K12 nolu kuyuda B elementi derişimi TS 266'nın sınır değerini aştığı belirlenmiştir. Kurak dönemde alınan su örneklerine ait Fe değeri K11, K18, K30 kuyuları ve Kay1 akarsu rneğinde TS 266 standartlarının üzerinde kalmaktadır. Kurak döneme ait su örneklerine ait Mn değeri K16 kuyusu ve K-ay 1 akarsu örneklerinde TS 266 standartlarına göre belirtilen sınırın üzerinde kalmıştır.

neriler

Endüstriyel ve evsel faaliyetler sonucunda oluşan atıklar ve tarımda kullanılan gübreler yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada da elde edilen bazı yüksek derişimler (nitrat, sülfat vb..) alışma alanında evsel ve tarımsal faaliyetlerin yeraltı suyu kalitesini etkilediğini ortaya koymuştur. Bölgede tarımsal aktivitelerde kullanılan gübre ve kimyasalların daha denetimli bir şekilde kullanılması ve bunların toprağa ve suya olan etkileri sürekli izlenmelidir. Evsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların doğaya atılmadan önce ilgili standartlarda belirtilen sınır değerlere uygunluğu titizlikle denetlenmelidir.

Ülkemizde nüfusun artmasına bağlı olarak su ihtiyaı da artmakta ve buna bağlı olarak yeraltı sularının kullanımı da gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak yeraltı suları miktar olarak azalmakta ve kalite bakımından kötüleşmektedir. Bunu önlemek için havzaya özgü bütünleşik su yönetimi gecikmeksizin uygulanmalıdır. Buna ek olarak yağmur suyu hasadı, arıtılmış atık suların değerlendirilmesi (akifer beslemesi, tarımsal ve endüstriyel aktivitelerde kullanılması), yeraltı barajlarının yaygınlaştırılması gibi uygulamaların acil olarak yapılması

gerekmektedir. Bu uygulamalar günümüzde yeraltı suları üzerindeki olağan dışı baskıları azaltacaktır.



KAYNAKÇA

- Akbulut, C. (2016). *Aşağı Seyhan Ovası (Adana) yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası*. (Doktora tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 450715)
- Ates, N., Dadaser, F., & Bekaroglu, S. S. (2021). Evaluation of hydrogeochemical characteristics of groundwater in mt. Erciyes stratovolcano aquifers. *Geochemistry International*, 59, 1324–1340. <https://doi.org/10.1134/S0016702921130024>
- Arslan, H., Güler, M., Cemek, B., & Demir, Y. (2007). Bafra ovası yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından değerlendirilmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(2), 219–226.
- Bozdağ, A. (2017). Çumra (Konya) ovasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu kalitesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 559–571.
- Beygloo, E. (2024) *Integrated multi-scenario geostatistical analysis of groundwater quality in iran's gavkhuni watershed*. (Doktora tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 855235).
- Çolak, M. G. (2021). *Yeraltı sularının sulamaya uygunluklarının matematiksel eşitlikler ve grafiksel yöntemlerle belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 697495)
- Erguvanlı, K., & Yüzer E. (1987). *Yeraltı suları jeolojisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Hem, J. D. (1985). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Virginia: U. S. Geological Survey Water Supply Paper.
- Jaraun, A. (2021) *Nitrate transport modeling of the groundwater for coastal aquifer (Gaza Strip Aquifer- Case Study)*. (Yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 663492).
- Khateeb, I. (2020) *Assessment of groundwater quality in idleb city using gis*. (Yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 629175).
- Karan, G. (2015). *Yukarı Kelkit havzasının bazı toprak ve yüzey suyu özelliklerinin modellenmesi ve haritalanması*. (Doktora Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 420455).
- Korkmaz, M. & Karakurt, E. (2015). Kelkit (Gümüşhane) ilçesinde doğal gıda bitkilerinin geleneksel kullanımları. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8(2), 31–39.
- Kumar, P. J. S., & Augustine, C. M (2022). Entropy-weighted water quality index (EWQI) modeling of groundwater quality and spatial mapping in Uppar Odai Sub-Basin, South India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8, 911–924. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01132-5>
- Merdan, Y. (2020). *Torul ve Kürtün (Gümüşhane) ilçe merkezi içme sularının fiziksel ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 6634922)
- Mosayyebi, Y. (2017). *Urmıye Gölü İran kuzey batısındaki Kehriz Ovası'nın yer altı sularının hidrojeokimyasal ve bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 472767)

- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25, 914–928.
- Sargın, A. H. (2010). *Ceylanpınar Ovası'nda yeraltı suyu tuzluluğunun coğrafi bilgi sistemi destekli incelenmesi*, Ankara.
- Semiz, Ü. (2019). *Şiran (Gümüşhane) ilçe merkezi içme sularının fiziksel ve jeokimyasal özelliklerinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi) Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 602475).
- Süzer, C. (2024) Altınekin (Konya) havzası yeraltısularının hidrojeokimyasal incelemesi *Hydrogeochemical investigation of groundwaters of Altınekin (Konya) basin* (Yüksek Lisans tezi) (Tez No .850868) Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir
- Smail, R. Q. (2022) *evaluation of groundwater vulnerability of erbil central sub-basin by drastic method (Iraq)*, (Yüksek lisans tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 720153).
- Şahinci, A. 1991. *Doğal suların jeokimyası*. İzmir, Reform Matbaası
- Tekocak-Yardımlı, B. B. (2017). *Aksaray ili yeraltı su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin coğrafi bilgi sistemi kullanılarak değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 483698)
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2021). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları*. 15 Mayıs 2024 tarihinde <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> adresinden erişildi.
- TSE (2005). TS 266, Türk İçme Suyu Standartları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- United States Salinity Laboratory Staff (USSLS). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook 60*. Washington: United States Department of Agriculture.
- Varol, S., Davraz, A., & Varol, E. (2008). Yeraltı suyu kimyası ve sağlığa etkisinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi. *TSK Koruyucu Hekimlik Bülteni*, 7(4), 351–356.
- Varol, S. (2011). *Tefenni (Burdur) ovası hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasal özelliklerinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi*. (Doktora tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 295149)
- Yazıcı, N. (2019). *Kelkit ve Köse (Gümüşhane) ilçe merkezi içme sularının hidrojeokimyasal özellikleri ile yan kayaçlarla olan ilişkilerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi)
- Yetiş, A. D. (2013). *Ceylanpınar ovası yeraltısuyu kalitesinin ve kirlenme potansiyelinin belirlenmesi*. (Doktora tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 327162).
- Yıldırım, Ü. (2018). *Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) arasında yer alan akarsuların morfometrik, hidrolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması*. (Doktora tezi), Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 542365)
- World Health Organization (WHO) (2017). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO Publications.
- Wilcox, L. V. (1948). The quality of water for irrigation use. u. s. department of agriculture. *Technical Bulletin*, 962, 40.

EKLER

Ek 1: Su örneklerinin yağışlı dönem (Haziran 2023) fiziksel parametre ve anyon analiz sonuçları.

No	pH	Eh (mV)	DO (mg/L)	Eİ (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	CO ₃ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
K1	7,15	-11,3	5,36	947	12,5	0,0	496,9	38,4	72,0	52,4	0,090	0,85
K2	7,34	-21,8	8,12	790	12,3	0,0	473,4	33,0	70,0	17,1	0,060	1,77
K5	7,33	-20,8	4,74	801	11,4	0,0	411,8	35,0	72,0	42,6	0,100	0,95
K6	7,27	-18,1	5,87	861	11,9	0,0	439,4	31,7	72,0	28,5	0,080	0,96
K7	7,37	-22,7	7,29	791	11,9	0,0	436,3	20,1	56,0	28,9	0,090	1,23
K8	7,32	-20,1	4,72	844	12,4	0,0	418,8	29,8	74,0	49,6	0,150	1,13
K10	7,23	-16,1	4,48	1188	13	0,0	328,3	78,7	154,0	117,6	0,080	1,34
K11	7,32	-20,9	6,28	785	15,2	0,0	448,9	24,8	73,0	31,2	0,110	0,83
K12	7,60	-36,1	7,18	733	14,2	0,0	343,3	25,8	118,0	47,1	0,090	1,86
K13	7,29	-19,5	6,36	777	13,5	0,0	344,8	28,1	76,0	61,0	0,090	0,90
K15	7,09	-8,1	3,56	823	12,1	0,0	413,3	20,1	46,0	36,6	0,150	1,70
K16	7,34	-22,2	8,22	742	14,3	0,0	427,8	26,1	54,0	53,9	0,080	0,95
K17	7,45	-27,9	5,21	757	12,2	0,0	426,8	29,5	64,0	60,0	0,140	0,76
K18	7,37	-23,4	3,36	705	12,1	0,0	437,9	24,4	62,0	30,4	0,080	1,09

Ek 1: Su Örneklerinin Yağışlı Dönem (Haziran 2023) Fiziksel Parametre Ve Anyon Analiz Sonuçları.

No	pH	Eh (mV)	DO (mg/L)	Eİ (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	CO ₃ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
K19	7,23	-17,4	6,51	783	12,6	0,0	407,3	25,9	57,0	32,6	0,080	1,06
K20	7,25	-17,9	4,87	946	12,8	0,0	405,3	43,1	84,0	74,9	0,090	0,85
K21	7,25	-16,6	6,46	824	12,1	0,0	429,8	25,3	58,0	28,3	0,060	0,83
K22	7,33	-21,1	5,02	796	12,8	0,0	370,3	28,0	66,0	51,5	0,100	1,06
K23	7,31	-20,1	3,82	787	11,9	0,0	398,8	8,5	74,0	37,2	0,100	1,06
K24	7,38	-24,2	5,20	797	12,2	0,0	410,8	23,4	78,0	23,3	0,090	1,20
K25	7,18	-12,4	7,28	927	14,4	0,0	432,3	29,5	86,0	30,0	0,100	1,26
K26	7,30	-19,8	8,03	851	14,6	0,0	420,3	23,4	81,0	24,6	0,110	1,20
K27	7,22	-15,3	7,29	835	11,1	0,0	412,3	24,9	53,0	35,7	0,080	0,95
K28	7,16	-12,6	3,71	834	12,5	0,0	437,3	37,3	52,0	32,6	0,180	0,93
K30	7,56	-33,8	5,35	577	12,9	0,0	302,7	24,8	58,0	33,6	0,060	1,13
K1 -Çay1	7,29	-18,4	5,36	970	12,3	0,0	420,3	48,4	97,0	63,9	0,090	0,83
K1 -Çay 2	7,25	-17,0	4,85	936	12,1	0,0	441,4	8,1	80,0	52,9	0,080	1,21

Ek 2: Su Örneklerinin Yağışlı Dönem (Haziran 2023) Majör Katyon Analiz Sonuçları.

No	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	No	Ca (mg/L)	Mg (Mg/L)	Na (Mg/L)	K (Mg/L)
K1	130,5	33,5	79,5	17,38	K19	128,9	37,4	45,6	7,65
K2	144,5	51,7	44,3	2,41	K20	146,5	44,4	64,0	1,46
K5	128,1	38,1	67,0	8,68	K21	134,3	45,5	51,1	3,29
K6	133,7	41,0	62,4	2,08	K22	124,8	35,9	60,3	1,53
K7	120,6	42,2	60,6	1,96	K23	114,2	41,4	55,7	5,69
K8	132,2	43,9	60,7	1,37	K24	126,8	49,0	49,1	2,20
K10	142,6	47,1	63,7	2,17	K25	144,6	52,9	52,9	2,51
K11	118,5	48,0	49,0	2,56	K26	131,2	50,2	52,5	2,61
K12	86,8	55,7	45,7	2,75	K27	118,3	45,6	54,6	1,59
K13	91,0	21,1	110,1	1,01	K28	136,6	52,3	45,6	2,97
K15	124,2	40,7	42,5	1,11	K30	103,0	33,2	42,4	2,24
K16	135,5	36,2	57,4	0,46	K-Çay1	146,2	49,3	75,9	3,35
K17	156,6	37,8	40,2	0,91	K-Çay 2	131,3	46,4	73,8	3,21
K18	131,7	40,0	45,5	21,22					

Ek 3: Su Örneklerinin Yağışlı Dönem (Haziran 2023) İz Element Analiz Sonuçları.

No	Si (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	B (µg/L)	Ba (µg/L)	Br (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Mo (µg/L)	Ni (µg/L)	Sr (µg/L)	Sb (µg/L)	Ti (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
K1	8,25	0,00	3,48	522	216,5	118,3	0,11	3,22	0,54	3,76	0,14	3,49	0,59	708	0,10	1,34	5,66	0,00
K2	9,42	41,45	1,36	456	198,5	105,6	0,16	2,60	0,61	44,58	5,54	1,62	1,19	826	0,19	2,20	1,37	23,24
K5	11,44	12,22	3,36	463	205,0	98,3	0,21	2,97	1,35	46,94	1,19	2,01	1,11	682	0,19	2,33	7,08	11,84
K6	8,76	2,14	1,28	444	227,2	96,4	0,21	2,19	1,06	2,24	0,37	1,17	1,03	733	0,13	1,24	3,67	8,17
K7	8,74	0,00	0,91	482	247,6	111,6	0,15	2,65	0,92	11,12	0,27	1,15	0,92	814	0,14	1,27	2,53	0,31
K8	8,72	0,81	0,90	507	225,6	102,4	0,16	3,51	0,74	16,44	0,81	0,98	0,56	765	0,11	1,17	3,01	6,31
K10	8,57	1,72	1,23	465	231,7	109,8	0,15	3,03	1,00	11,43	0,88	1,49	1,15	811	0,17	1,27	2,81	11,36
K11	9,73	20,28	1,57	846	286,7	110,1	0,27	0,75	1,71	82,99	3,09	3,15	3,30	1530	0,22	4,45	1,46	29,75
K12	8,64	8,84	1,24	470	196,3	104,7	0,16	1,83	1,17	26,71	0,84	1,39	2,01	935	0,21	1,25	1,20	33,76
K13	8,38	34,53	4,08	1212	198,9	168,7	0,13	2,55	0,62	37,06	4,08	33,83	0,51	1004	0,28	2,35	4,00	1,55
K15	9,27	72,06	1,11	277	276,3	94,8	0,40	7,56	1,13	25,60	0,48	0,77	0,74	1162	0,10	4,85	2,50	0,00
K16	10,39	0,00	0,73	220	177,7	95,5	0,25	0,77	0,66	0,44	21,12	0,74	1,50	975	0,17	1,37	2,71	4,81
K17	10,38	0,37	1,18	260	284,5	107,2	0,16	3,61	0,77	2,62	0,14	0,51	0,72	1101	0,10	1,44	2,84	0,10
K18	7,19	11,28	2,38	276	180,6	70,8	0,23	0,64	1,74	114,5	2,58	2,63	1,13	653	0,27	1,43	1,53	41,40

Ek 3: Su Örneklerinin Yağışlı Dönem (Haziran 2023) İz Element Analiz Sonuçları.

No	Si (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	B (µg/L)	Ba (µg/L)	Br (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Mo (µg/L)	Ni (µg/L)	Sr (µg/L)	Sb (µg/L)	Ti (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
K19	7,29	0,33	1,34	271	192,4	66,6	0,22	0,53	2,04	40,98	0,97	1,83	1,80	625	0,20	0,90	1,35	20,76
K20	9,20	1,02	1,20	538	244,5	109,1	0,13	3,79	0,75	5,95	0,24	0,80	0,76	797	0,24	1,21	3,44	3,15
K21	8,86	9,04	0,83	428	280,4	140,4	0,24	3,53	1,15	14,08	0,58	1,05	1,44	878	0,14	1,89	1,96	16,26
K22	8,89	1,82	0,66	457	259,2	95,4	0,14	2,60	0,54	4,20	0,22	0,54	0,68	834	0,11	1,24	1,91	21,61
K23	9,20	3,57	2,53	455	200,7	97,8	0,17	2,16	1,46	11,30	0,62	1,49	1,64	761	0,20	1,50	4,50	56,37
K24	8,93	0,23	1,29	476	190,5	105,9	0,13	1,75	0,69	4,92	0,19	1,26	1,44	984	0,20	1,43	1,26	4,68
K25	10,04	0,62	1,32	511	214,9	143,0	0,19	2,61	0,73	9,74	1,25	0,84	1,85	1104	0,22	1,26	1,50	26,99
K26	9,78	50,82	1,66	515	213,9	130,8	0,12	2,93	0,57	42,40	1,22	0,90	1,45	1064	0,17	1,83	1,64	19,58
K27	8,71	0,00	0,57	426	254,5	94,9	0,13	2,62	0,63	6,74	0,23	0,51	1,08	801	0,09	1,12	1,54	2,63
K28	7,69	6,18	0,59	375	271,9	94,3	0,21	0,58	1,45	15,83	2,09	0,56	0,76	778	0,16	1,24	0,97	8,54
K30	7,23	2,78	1,04	232	171,6	77,2	0,14	1,68	0,95	75,74	1,12	1,50	0,78	515	0,18	1,13	1,70	7,11
K-Çay1	8,79	0,60	1,05	447	334,8	151,5	0,24	1,66	1,14	5,15	0,20	1,16	1,55	984	0,14	1,17	2,32	5,36
K-Çay2	9,37	1,29	1,10	523	291,8	132,1	0,21	3,05	1,04	8,98	0,25	1,16	1,07	952	0,13	1,27	2,89	12,69

Ek 4: Su Örneklerinin Kurak Dönem (Eylül 2023) Fiziksel Parametre Ve Anyon Analiz Sonuçları.

No	pH	Eh (mV)	DO (mg/L)	Eİ (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	CO ₃ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
K1	7,18	-13,1	5,36	1007	14,1	0,0	399,3	45,3	79,0	55,5	0,096	0,93
K2	7,38	-24,4	6,95	783	13,3	0,0	356,3	18,0	50,0	19,1	0,078	1,10
K5	7,30	-20,0	5,19	774	14,6	0,0	337,3	20,3	46,0	31,6	0,130	1,32
K6	7,28	-18,7	6,02	871	14,1	0,0	379,8	21,7	47,0	52,5	0,107	1,28
K7	7,28	-18,7	5,32	865	15,3	0,0	377,3	20,5	51,0	39,8	0,080	1,19
K8	7,31	-19,9	4,51	811	14,8	0,0	357,8	21,3	51,0	39,9	0,091	1,24
K10	7,04	-5,1	4,93	1313	15,2	0,0	386,3	75,1	128,0	136,7	0,076	1,54
K11	7,35	-24,2	7,06	847	15,7	0,0	365,3	23,1	65,0	31,2	0,093	1,04
K12	7,63	-37,8	6,99	825	14,1	0,0	265,7	36,0	129,0	44,7	0,119	2,04
K13	7,33	-21,5	7,01	749	13,6	0,0	310,2	17,6	40,0	44,0	0,059	1,27
K15	7,05	-6,1	4,05	826	14,9	0,0	421,8	15,6	26,0	23,1	0,070	1,02
K16	7,26	-17,3	7,03	729	13,3	0,0	313,3	12,1	38,0	50,2	0,094	1,38
K17	7,32	-21,2	2,95	679	14,5	0,0	301,2	15,2	41,0	23,6	0,140	1,01

Ek 4: Su Örneklerinin Kurak Dönem (Eylül 2023) Fiziksel Parametre Ve Anyon Analiz Sonuçları.

No	pH	Eh (mV)	DO (mg/L)	Eİ (µS/cm)	Sıcaklık (°C)	CO ₃ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)
K18	7,31	-20,6	2,64	674	16,9	0,0	288,7	12,4	42,0	33,8	0,123	1,25
K19	7,26	-17,9	4,51	824	15,6	0,0	399,3	11,1	46,0	23,6	0,092	1,20
K20	7,23	-16,1	4,70	965	14,9	0,0	392,8	28,8	72,0	48,9	0,088	0,83
K21	7,18	-13,2	4,62	891	14,7	0,0	422,8	15,4	50,0	20,0	0,068	1,45
K22	7,27	-18,7	4,29	831	15,6	0,0	360,8	15,3	52,0	41,9	0,056	1,38
K24	7,41	-25,4	5,72	860	14,6	0,0	386,3	17,4	66,0	20,8	0,091	0,81
K25	7,28	-18,8	7,72	972	14,6	0,0	398,8	22,9	97,0	30,1	0,102	1,39
K26	7,35	-22,7	7,34	895	16,8	0,0	412,3	18,1	68,0	21,6	0,068	0,88
K27	7,19	-13,7	4,73	838	14,5	0,0	406,8	11,5	48,0	24,2	0,092	1,11
K28	7,11	-9,3	3,86	900	16,4	0,0	447,4	13,7	53,0	15,7	0,147	0,72
K30	7,58	-33,8	5,47	542	14,4	0,0	237,2	12,0	38,0	20,2	0,086	1,47
K2-Çay1	7,27	-17,8	3,64	963	14,6	0,0	393,3	22,8	77,0	47,6	0,083	1,17
K2-Çay 2	7,25	-16,5	5,24	915	14,4	0,0	400,8	25,0	55,0	35,3	0,102	1,37

Ek 5: Su Örneklerinin Kurak Dönem (Eylül 2023) Major Katyon Analiz Sonuçları.

No	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	No	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
K1	121,1	32,1	72,1	16,96	K18	88,1	27,2	33,5	6,01
K2	102,4	38,5	33,7	1,90	K19	110,9	35,3	50,5	1,28
K5	96,8	29,9	43,3	1,80	K20	122,3	43,6	55,1	2,47
K6	114,6	37,7	45,2	1,66	K21	115,4	40,9	50,4	1,40
K7	113,4	35,7	48,1	1,32	K22	103,7	32,7	52,1	7,20
K8	100,9	33,5	45,9	1,89	K24	107,6	48,1	37,8	1,90
K10	159,7	58,1	76,2	2,39	K25	125,8	48,5	46,0	1,87
K11	108,5	45,4	35,5	2,28	K26	116,6	47,0	41,5	1,93
K12	74,1	12,9	120,5	0,84	K27	112,2	40,1	44,6	1,31
K13	104,7	30,9	28,0	1,04	K28	124,8	42,2	35,4	1,85
K15	127,5	27,3	42,6	0,39	K30	68,1	24,1	28,5	1,81
K16	106,3	27,6	28,5	0,72	K2-Çay1	119,0	43,7	58,1	2,47
K17	84,8	27,4	31,1	16,63	K2-Çay 2	115,7	42,0	51,8	2,28

Ek 6: Su Örneklerinin Kurak Dönem (Eylül 2023) İz Element Analiz Sonuçları.

No	Si (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/l)	B (µg/L)	Ba (µg/L)	Br (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Mo (µg/L)	Ni (µg/L)	Sr (µg/L)	Sb (µg/L)	Ti (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
K1	11,53	0,39	3,55	536	190,5	104,1	0,15	2,62	0,68	1,59	0,40	9,64	0,88	631	0,07	0,97	5,32	0,82
K2	10,16	0,83	1,13	435	134,9	71,4	0,10	1,64	0,51	1,50	0,62	4,71	0,99	555	0,07	0,97	1,02	22,88
K5	9,91	0,39	1,27	375	145,8	62,1	0,11	1,79	0,79	1,04	0,48	3,04	1,08	470	0,05	0,97	3,14	6,07
K6	9,66	0,62	0,78	390	166,0	76,5	0,13	1,94	0,68	1,19	0,45	2,80	0,85	543	0,04	0,97	2,15	0,57
K7	10,89	1,97	0,72	466	168,9	73,4	0,12	1,88	0,84	0,51	0,45	2,81	0,81	563	0,04	0,97	2,76	3,19
K8	10,00	0,00	1,06	377	147,4	72,2	0,13	2,12	0,63	1,64	0,36	3,23	0,76	511	0,05	0,97	2,17	7,06
K10	11,80	1,04	0,99	680	159,8	115,3	0,18	0,00	1,05	3,61	2,20	3,33	4,51	1217	0,09	0,97	0,88	14,26
K11	10,36	2,59	0,89	398	139,5	93,9	0,11	1,34	0,59	8,91	1,26	2,55	1,72	665	0,10	0,97	0,90	28,21
K12	8,86	14,84	3,96	1725	78,4	189,2	0,09	1,27	0,55	12,84	0,47	23,90	0,41	682	0,01	0,97	2,63	0,30
K13	11,25	1,17	1,28	225	148,7	58,3	0,12	1,24	0,41	0,40	0,34	1,82	0,35	815	0,01	0,97	2,34	0,00
K15	12,09	23,05	0,79	186	75,5	56,5	0,09	0,94	0,31	11,56	0,52	1,78	0,59	644	0,02	0,97	2,58	0,92
K16	11,41	0,21	0,71	197	177,4	64,0	0,06	1,77	0,86	0,84	0,54	1,51	0,87	697	0,02	0,97	2,14	1,97
K17	8,07	0,00	1,84	203	98,9	46,2	0,12	0,19	3,35	1,13	0,78	3,71	0,95	374	0,11	0,97	1,28	11,55

Ek 6: Su Örneklerinin Kurak Dönem (Eylül 2023) İz Element Analiz Sonuçları.

No	Si (mg/L)	Al (µg/L)	As (µg/L)	B (µg/L)	Ba (µg/L)	Br (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	Cu (µg/l)	Fe (µg/L)	Mn (µg/L)	Mo (µg/l)	Ni (µg/L)	Sr (µg/L)	Sb (µg/l)	Ti (µg/L)	V (µg/L)	Zn (µg/L)
K18	8,65	1,56	1,13	219,7	124,3	60,9	0,19	0,22	1,15	0,34	1,59	2,27	1,35	402,1	0,07	0,62	1,25	10,28
K19	11,36	0,70	1,08	513,8	175,5	70,5	0,15	2,06	0,87	0,22	0,80	1,28	1,04	569,0	0,05	0,83	2,72	3,22
K20	10,51	0,42	0,86	379,4	193,9	91,8	0,13	1,94	0,80	2,37	0,45	1,48	1,04	605,8	0,04	0,65	1,48	6,09
K21	10,60	1,56	0,65	402,8	185,7	65,4	0,12	1,81	0,65	0,09	0,52	1,22	0,52	594,7	0,03	0,65	1,70	8,34
K22	13,67	0,21	2,63	402,3	154,7	75,1	0,15	2,29	1,07	0,90	0,58	2,01	1,01	524,3	0,09	0,92	6,28	6,51
K24	10,39	0,62	1,13	387,8	136,5	87,8	0,09	1,34	0,39	0,57	0,44	1,52	1,24	718,1	0,06	0,65	0,86	0,99
K25	11,01	7,68	0,89	347,5	146,5	111,0	0,08	1,66	0,47	1,12	0,49	1,16	1,21	762,1	0,07	0,79	0,94	5,88
K26	10,75	0,52	0,98	382,9	141,2	91,8	0,10	1,65	0,42	0,15	0,62	1,43	0,96	732,5	0,06	0,62	1,04	18,20
K27	10,49	0,00	0,34	366,4	164,9	57,1	0,14	1,32	0,78	0,68	0,78	1,04	1,14	536,1	0,04	0,65	1,20	1,07
K28	9,65	0,21	0,65	339,1	193,3	54,3	0,09	0,07	1,19	1,76	1,79	1,12	0,40	550,4	0,07	0,58	0,90	11,89
K30	8,27	0,39	0,75	172,1	103,2	54,5	0,07	0,86	0,68	0,75	0,44	1,71	0,54	331,2	0,05	0,57	1,16	2,48
K2-Çay1	10,29	0,10	0,81	386,7	213,0	91,8	0,12	0,81	0,81	0,48	0,55	1,46	1,13	629,5	0,07	0,79	1,86	4,75
K2-Çay2	10,73	1,45	0,85	394,4	184,6	88,3	0,12	1,02	0,74	1,60	0,66	1,26	0,88	614,9	0,03	0,65	2,33	8,11

ÖZ GEÇMİŞ

Mehmet Can TURHAN, yılında [REDACTED] İlk ve orta öğrenimini Mustafa Maruf Şahin ilköğretim okulunda, lise öğrenimini Kelkit Lisesi'nde tamamladı. yılında başladığı yükseköğrenimini Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde tamamladı. Yılında Çakıroğluları Geri Dönüşüm firmasında çevre mühendisi olarak 1 yıl görev yaptı. yılından itibaren Tuğlu Mühendislik firmasında çevre mühendisi olarak görev yapmaktadır. yılında Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Organik Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başladı.

