



T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLOPİ-ŞIRNAK OVASI'NIN YERALTI SULARININ KALİTESİNİN
BELİRLENMESİ VE SEKTÖREL SU DAĞILIMI İÇİN
UYGUNLUĞUNUN SAPTANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aysel ZEYREK EĞDEMİR

ŞIRNAK, 2025

T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLOPİ-ŞIRNAK OVASI'NIN YERALTI SULARININ KALİTESİNİN
BELİRLENMESİ VE SEKTÖREL SU DAĞILIMI İÇİN
UYGUNLUĞUNUN SAPTANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aysel ZEYREK EĞDEMİR

Danışman
Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

ŞIRNAK, 2025

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tez çalışmasının Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlandığını, bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Aysel Zeyrek EĞDEMİR

İmza:

TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

“Silopi-Şırnak Ovası’nın Yeraltı Sularının Kalitesinin Belirlenmesi ve Sektörel Su Dağılımı İçin Uygunluğunun Saptanması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Danışman

Aysel Zeyrek EĞDEMİR

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK



İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

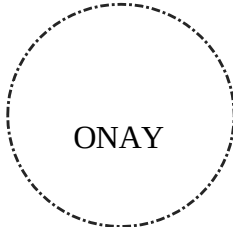
KABUL VE ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK danışmanlığında **Aysel Zeyrek Eğdemir** tarafından hazırlanan “**Silopi-Şırnak Ovası’nın Yeraltı Sularının Kalitesinin Belirlenmesi ve Sektörel Su Dağılımı İçin Uygunluğunun Saptanması**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği / Hidrolik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans** olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi	Unvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Jüri Başkanı	Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Sedat ÖZCANAN	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Veysel Süleyman YAVUZ	Online

Savunma Tarihi: 25 / 06 / 2025

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun/.... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. İbrahim HÜSEYİNİ

ÖN SÖZ/TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının konusunun belirlenmesinde araştırma süreçlerinin yürütülmesi ve raporlanmasına kadar uzanan tüm aşamalarda, bilgi ve birikimlerinden büyük ölçüde yararlandığım; yüksek lisans süresince her türlü konuda desteğini esirgemeyen değerli danışmanım sayın Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK' ye içtenlikle teşekkür ederim. Aynı zamanda tez savunmamda sundukları bilimsel perspektif ve yapıcı geri bildirimlerle çalışmamın gelişimine katkıda bulunan saygıdeğer jüri üyeleri Doç. Dr. Sedat ÖZCANAN ve Dr. Öğr. Üyesi Veysel Süleyman YAVUZ' a şükranlarımı sunarım.

Hayatımın her döneminde yanımda olan; varlığıyla bana güç ve yön veren, sabırla, özveriyle ve emeğiyle bugünlere gelmem için tüm imkanları seferber eden Canım annem Devlet ZEYREK' e ve canım babam Ebubekir ZEYREK' e gönülden teşekkür ederim.

Son olarak, Hayatımda desteğini her an hissettiğim, sabır ve teşviğini esirgemeyen sevgili eşim Abdullah EĞDEMİR ve biricik kızım Arya Lavinya EĞDEMİR'e kalpten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	iii
TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK.....	iv
KABUL VE ONAY SAYFASI	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
GİRİŞ.....	1
1.YERALTI SUYU KALİTESİ.....	6
1.1. Su Kalite Parametreleri	6
2.LİTERATÜR ÖZETİ.....	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1.Materyal	30
3.1.1. Çalışma alanı.....	30
3.1.2. Bölgenin jeolojik özellikleri	32
3.1.3. İklim ve meteorolojik özellikleri	34
3.1.4. Hidrolojik özellikleri	36
3.1.5. Toprak özellikleri ve tarımsal durumu	36
3.1.6. Yeraltı suyu kuyu verileri	37
3.2.Yöntem.....	37
3.2.1. Numune alma yöntemi	38
3.2.2. Arazide ve laboratuvarında yapılan analiz yöntemi.....	39
3.2.3. Suların kullanım özellikleri	41

3.2.4.Suların içilebilirlik özellikleri	41
3.2.5. Suların kullanılabilirlik özellikleri.....	43
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	50
4.1. Hidrojen Potansiyeli (pH)	50
4.2. Çözünmüş Oksijen (DO)	50
4.3. Elektriksel İletkenlik (EC).....	51
4.4. BOD ₅ ve COD ₅ Bulguları.....	53
4.5. <i>E. coli</i> - <i>T. Coliform</i> Bulguları.....	53
4.6. Katyonlar (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺² , K ⁺ , NH ₄ ⁺ , F ⁺)bulguları.....	54
4.7. Anyonlar (Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , PO ₄ ⁻³ , HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻²) Bulguları.....	57
4.8. Piper Diyagramı.....	58
4.9. TDS bulguları.....	61
4.10. Sulama Suyu Kalite Değerlendirilmesinde Kullanılan Analitik Denklem Sonuçları.....	66
4.10.1. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR).....	67
4.9.2 Sodyum yüzdesi (%Na).....	69
4.9.3 Kelly oranı (KR)	70
4.9.4 Magnezyum tehlikesi (MH)	70
4.9.5. Potansiyel tuzluluk (PS)	71
4.9.6. Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC).....	71
4.9.7. Geçirgenlik indeksi (PI)	72
SONUÇ ve ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	87

ÖZET

SİLOPİ-ŞIRNAK OVASI'NIN YERALTI SULARININ KALİTESİNİN BELİRLENMESİ VE SEKTÖREL SU DAĞILIMI İÇİN UYGUNLUĞUNUN SAPTANMASI

Zeyrek EĞDEMİR, Aysel

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği / Hidrolik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

Mayıs 2025, 101 sayfa

Dünya nüfusun artması ve endüstrileşme yaygınlaşması ile beraber, sular kirlenmekte ve iklim değişimi nedeniyle içilebilen sular her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle yeraltı su kalitesinin, statik su dengesinin düzenli ve rutin olarak ölçülecek, aynı anda alınacak su numunelerinde ön görülen ve aşağıda detayları verilen parametreler için analizler yapılacaktır.

Silopi Ovası yeraltı su potansiyeli, içme kullanma endüstriyel tarımsal için önemli bir kaynaktır. Ovada su kalitesinin belirlenmesi için 2023/2024 su yılı esas alınarak ve yılın belli zamanlarında arazi çalışması yapılarak ovayı kapsayacak şekilde su kuyuları seçilip kuyulardan su numuneleri alınmıştır. Sahada alınan su numunelerinde sahada hidrojen Potansiyeli (pH), elektiriksel iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen (DO) ve bulanıklık (NTU) değerleri okunmuştur. Diğer analizlerden, sırasıyla; Kalsiyum (Ca^{+2}), Magnezyum (Mg^{+2}) Potasyum (K^{+}), Sadyum (Na^{+}), Klor (Cl^{-}), bikarbonat (HCO_3^{-}), Sülfat (SO_4^{2-}), Karbonat (CO_3^{2-}) parametreleri belirlenmiştir. Yeraltı suyunun kalitesinin belirlenmesi ve sektörel su dağılımı için uygunluğunu saptanmasında sırasıyla; sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), Kelly Oranı (KR), sodyum yüzdesi (%Na), Geçirgenlik indeksi (PI), kalıcı sodyum karbonat (RSC) ve magnezyum tehlikesi (MH) eşitliklerinden değerler hesaplanmıştır.

Yeraltı suyunun içme suyu olarak ve tarımsal kullanım için uygunluğunun belirlenmesi için içme suyu kalite parametrelerin, Türk Standartları (TS 266, 2005), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011), Avrupa Birliği (EC, 1998) ve ABD-Çevre Koruma Ajansı (US-EPA, 2008) kabul edilebilir standartlarına göre analiz sonuçları karşılaştırılmış, su kalitesinin içme- kullanma, endüstriyel ve tarımsal açısından uygunluğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silopi Ovası, yeraltı suyu, yeraltı suyu kalitesi, su kalite standartları,

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE QUALITY OF GROUNDWATER IN THE SILOPI-SIRNAK PLAIN AND DETERMINATION OF ITS SUITABILITY FOR SECTORAL WATER DISTRIBUTION

Zeyrek EĞDEMİR, Aysel

Master of Science in Department of Civil

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞEK

July 2025, 101 pages

With the increase in the world population and the spread of industrialization, water is getting polluted and due to climate change, drinkable water is decreasing day by day. For this reason, underground water quality and static water balance will be measured regularly and routinely, and analyses will be made for the parameters foreseen in the water samples to be taken at the same time and detailed below.

In the Silopi Plain, groundwater is an important source for industrial and agricultural purposes for drinking and use. In order to determine the water quality in the plain, field studies were carried out at certain times of the year and based on the 2023/2024 water year, water wells were selected to cover the plain and water samples were taken from the wells. In the samples taken, Hydrogen Potential (pH), electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO) and turbidity (NTU) values were read in the field. Chemical analyzes were determined as follows; Calcium (Ca^{+2}), Magnesium (Mg^{+2}) Potassium (K^{+}), Sodium (Na^{+}), Chlorine (Cl^{-}), bicarbonate (HCO_3^{-}), Sulfate (SO_4^{-2}), Carbonate (CO_3^{-2}) parameters. In determining the quality of groundwater and determining its suitability for sectoral water distribution, respectively; values were calculated from the equations of sodium adsorption ratio (SAR), Kelly Ratio (KR), sodium percentage (% Na), Permeability index (PI), residual sodium carbonate (RSC) and magnesium ratio (MR).

In order to determine the suitability of groundwater as drinking water and for agricultural use, the analysis results of drinking water quality parameters were compared with the acceptable standards of Turkish Standards (TS 266, 2005), World Health Organization (WHO, 2011), European Union (EC, 1998) and US-Environmental Protection Agency (US-EPA, 2008). At the end of the study, the suitability of water quality in terms of drinking-use, industrial and agricultural was evaluated.

Keywords: Silopi Basin, Groundwater, Groundwater quality, water quality standards,

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Yerkürenin hidrolojik su döngüsünde; su kaynaklarının orijinleri, hacimleri ve oranları. Kaynak: Igor Shiklomanov's 1993	2
Tablo 2. Yeraltı suyunun yaygın kimyasal içeriği	5
Tablo 3. pH ölçeğinin tablo şeklinde sınıflandırılması kaynak: (Ayers ve Westcot, 1985)..	6
Tablo 4 Bakteriyel açıdan su özelliği (Muslu, 1985).	8
Tablo 5. Silopi ovasında alınan su numunelerinin kordinatları.....	30
Tablo 6. TSE-266, EU, US-EPA ve WHO içme suyu standartları	42
Tablo 7. Sularda EC ve SAR değerinin simgelerinin yorumu	44
Tablo 8. SAR değerine göre sınıflandırılma (Sarathbabu ve John Paul, 2015).....	46
Tablo 9. %Na değerine göre sulama suyunun sınıflandırılması (Wilcox, 1955).	47
Tablo 10. PI sınıflandırılması	47
Tablo 11. MH kalite indeksinin sınıflandırılması (Szabolcs, ve Darab, 1964)	48
Tablo 12. Kelly Oranı (KR) sulama suyu sınıfı	48
Tablo 13. PS Uygunluk Yorumu	49
Tablo 14. Su yılı boyunca ölçülen pH, DO ve EC değerleri	52
Tablo 15. ŞUSKİ laboratuvarından gelen 18 YAS kuyularının analiz sonuçları.....	62
Tablo 16. Sulama suyunun kalitesinde kullanılan eşitlikler.....	66
Tablo 17. Sulama suyunun kalitesinin belirlenmesinde kullanılan analitik denklemlerin sonuçları	67

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Dünyadaki su.....	1
Şekil 2. Kuyu sularında koliform bakteriler (Goddard, 2025)	8
Şekil 3 Dicle havzası	31
Şekil 4. Silopi Ovasının fiziki ve Lokasyon Haritası	32
Şekil 5. Silopi uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nisbi nem (1960-2024).....	35
Şekil 6. Silopi su yılında (1Ekim-30 Eylül) sıcaklık, yağış ve nisbi nem grafiği	36
Şekil 7. Çalışma alanında su numunesi alınan sondaj kuyuları.....	39
Şekil 8. Multi parametre probu((pH, EC ve DO Propları) (HACH-HQ-Germany)).....	40
Şekil 9. Mahalinde yapılan analiz.....	41
Şekil 10. Wilcox Diyagramları.....	43
Şekil 11. Piper Diyagramı	44
Şekil 12. ABD (USSL) Tuzluluk Diyagramı	45
Şekil 13. Toprakta SAR etkisi	46
Şekil 14. Piper diyagramı, ...	59
Şekil 15. Tabuk bölgesinden toplanan yeraltı suyu numunelerinin Piper diyagramı.	60
Şekil 16. Su numunelerinin Piper diyagramı.....	60
Şekil 17. ABD Tuzluluk Diyagramı, Sulama Suyu Sınıflandırılması.....	68
Şekil 18. Wilcox diyagramı %Na ve EC sınıflandırması	69

KISALTMALAR LİSTESİ

APHA	: American Public Health Association (Sarılık Endeksi)
ALK	: Alkalinite
BOD ₅	: Biological Oxygen Demand (Biyolojik Oksijen İhtiyacı)
B	: Bor
BIS	: Bureau of Indian Standards (Hindistan Standartları Bürosu)
CAI	: Chloro alkaline index (Kloroalkalin İndeksi)
COD ₅	: Chemical Oxygen Demand (Kimyasal Oksijen İhtiyacı)
CO ₃ ⁻²	: Karbonat
CO ₂	: Karbondioksit
Cl ⁻	: Klorür
Ca ⁺²	: Kalsiyum
ÇOM	: Çözünmüş Organik Madde
DSİ	: Devlet Su İşleri
DO	: Dissolved Oxygen (Çözünmüş Oksijen)
EC	: Elektriksel İletkenlik
ESP	: Exchangeable Sodium Percentage (Değişebilir Sodyum Yüzdesi)
<i>E. coli</i>	: <i>Escherichia Coli</i>
F ⁻	: Florür
FFNN	: Feedforward neural network (İleri Beslemeli Sinir Ağları)
FAO	: Food and Agriculture Organization (Gıda ve Tarım Örgütü)
GSO	: Gulf Standardization Organization (Körfez Standardizasyon Örgütü)
HCO ₃ ⁻	: Bikarbonat
H ⁺	: Hidrojen
IWQI	: Irrigation Water Quality Index (Sulama Su Kalite İndeksi)
KHGM	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü (MÜLGA)
K ⁺	: Potasyum
KR	: Kelly ratio (Kelley Oranı)
MaSO ₄	: Magnezyum Sülfat
meq/L	: Miliekivalan / Litre
mg/L	: Miligram/Litre
Mg ⁺²	: Magnezyum
MH	: Magnesium Hazard (Magnezyum Tehlikesi)
MENA	: Middle East and North Africa (Orta Doğu ve Kuzey Afrika)
Na %	: sodium percentage (Sodyum Yüzdesi)
Na ⁺	: Sodyum
Na ₂ SO ₄	: Sodyum Sülfat

NO_3^-	: Nitrat
NO_2^-	: Nitrit
NTU	: Nephelometric Turbidity İs Defined (Bulanıklık)
NEQS	: National Environmental Quality Standards (Ulusal Çevre Kalite Standartları)
OH^-	: Hidroksil
ORP	: Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli
PCA	: Principal Component Analysis (Temel Bileşen Analizi)
pH	: Power of Hydrogen (Hidrojen İyonu Konsantrasyonu)
PO_4^{3-}	: Fosfat
PI	: Permeability Index (Geçirgenlik indeksi)
PS	: Potential Salinity (Potansiyel Tuzluluk)
RSC	: Residual Sodium Carbonate (Kalıcı Sodyum Karbonat)
RMSE	: Root Mean Square Error (Kök Ortalama Kare Hatası)
SAR	: Sodium Adsorption Rate (Sodyum Adsorpsiyon Oranı)
SKH	: Sürdürebilir Kalkınma Hedefi
SSP	: Soluble Sodium Percentage (Çözünebilir sodyum yüzdesi)
SO_4^{2-}	: Sülfat
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TDS	: Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Katı Madde)
<i>T. coliform</i>	: <i>Total Coliform</i>
UNFPA	: United Nations Population Fund (Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu)
UWQI	: Underground Water Quality Index (Yeraltı su kalite indeksi)
US-EPA	: United States Environmental Protection Agency (Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı)
USSL	: United States Salinity Laboratory (ABD Tuzluluk Laboratuvarı)
YAS	: Yeraltı Suyu
YÜS	: Yerüstü Suyu
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
WQI	: Water Quality Index (Su Kalite indeksi)

GİRİŞ

Canlılar için hayati önem arz eden ve temel yapı maddeleri başında gelen su; doğal koşulların altında oluşturulması ve yok edilmesi imkânsız olan hidrolojik döngü ile yenilenen doğal bir kaynaktır. Hidrolojik döngü (hydrological cycle), suyun karadan ve okyanustan atmosfere, atmosferden yerküreye ve okyanusa döngüyü tanımlar. Yapılan araştırmalara göre yerkürenin toplam su miktarı 1.338.000.000 km³'tür. Yer kürenin $\cong$ %97 okyanuslarda tuzlu ve kalan suyun $\cong$ %3'ü tatlı sudur. Kolay ulaşılabilir su, sadece $\cong$ %0.06'dır. Küresel ölçekte suyun tüketimi her geçen gün artmakta ve küresel ısınmayla beraber; iklim değişimi, aşırı hava olaylarının sıklaşması ve temiz su kaynaklarının kirlenmesi, temiz tatlı su kaynaklarının giderek tükenmesine neden olduğu bilinmektedir. Yer kürede tatlı suyun yüzdelik dağılımı ise, buzullarda %68.7, yeraltı suyunda %30.1, toprak altında %0.86', göllerde %0.26, toprakların neminde %0.05, atmosferde su buharı formunda %0.04, sulak alan şeklinde %0.03 akarsularda %0.006 ve biyolojik su formunda %0.003'tür (Shiklomanov, 1993).



Şekil 1. Dünyadaki su

Kaynak:(<https://www.australianenvironmentaleducation.com.au/education-resources/water/>)

Tablo 1. Yerkürenin hidrolojik su döngüsünde; su kaynaklarının orijinleri, hacimleri ve oranları. Kaynak: Igor Shiklomanov's 1993

Water source (Su Kaynağı)	Water volume km³ (Su Hacmi km³)	% Fresh water (Tatlı Su %)	% Total water (Toplam Su %)
Oceans, Seas, & Bays (Okyanuslar, Denizler ve Körfezler)	1.338.000.000		96,5
Ice caps, Glaciers, & Permanent Snow (Buzullar, Buzullar ve Kalıcı Kar)	24.064.000	68,7	1,74
Groundwater (Yeraltı suyu)	23.400.000		1,69
Fresh (Tatlı)	10.530.000	30,1	0,76
Saline (Tuzlu)	12.870.000		0,93
Soil Moisture (Toprak Nemi)	16.500	0,05	0,001
Ground Ice & Permafrost (Yer Buzu ve Permafrost)	300.000	0,86	0,022
Lakes (Göllere)	176.400		0,013
Fresh (Tatlı)	91.000	0,26	0,007
Saline (Tuzlu)	85.400		0,006
Atmosphere (Atmosfer)	12.900	0,04	0,001
Swamp Water (Bataklık Suyu)	11.470	0,03	0,0008
Rivers (Nehirler)	2.120	0,006	0,0002
Biological Water (Biyolojik Su)	1.120	0,003	0,0001

Bu bağlamda, küresel ölçekte bakıldığında her geçen gün suya olan ihtiyaç artmaktadır. Dünya genelinin ⅓'ü suya erişime kısıtlıdır. Tatlı su kaynaklarının yerkürede

eşit dağılmadığı, insanlar ve ülkelerin erişiminin bir olmadığı unutulmamalıdır. Dünya nüfusunun artmasıyla beraber, her geçen gün tatlı su kaynaklarına olan talep artmakta, ancak bilinçsiz kullanım, küresel ısınma gibi nedenlerle kullanılabilir su kaynakları azalmaktadır.

Sonuç olarak, kısıtlı olan su kaynakları dünya için stratejik bir öneme sahiptir. Su kaynaklarının akılcı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Su talebinin karşılanması gelecek nesillere sağlıklı su kaynaklarının bırakılması için mevcut kaynakların mutlak korunması önemlidir. Su kaynaklarının dengeli bir şekilde dağılımı, suyun verimli kullanımı, kirliliğin önlenmesi ve uluslararası iş birliği, su krizinin önlenmesi ve sürdürülebilir bir su kaynakları yönetiminin sağlanması için gereklidir (Chilton, 1997).

Dünya nüfusu 2024'te 8,2 milyarın üzerinde beklenirken, 2080 yılında 10,3 milyar 2100'de ise tekrar 10,2 milyar olması tahmin edilmektedir (United Nations: 2024). Nüfusun dramatik şekilde artması ve endüstrileşmenin yaygınlaşması ile beraber, sular kirlenmekte ve iklim değişimi nedeniyle içilebilen sular her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle yeraltı su kalitesinin, statik su dengesinin düzenli ve rutin olarak ölçülmesi, tespiti ve suyun kalitesinin, parametre değerlerinin ve kullanılabilirlik durumunun takibinin yapılması gerekmektedir.

Ülkeler su kaynakları açısından farklı sınıflandırmalara tabi tutulmaktadır. Buna göre; su zenginliği yılda kişi başına düşen kullanılabilir tatlı su miktarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu değer $<1.000 \text{ m}^3$ şiddetli su kıtlığı, $1.000-1700 \text{ m}^3$ su stresi, $>1700 \text{ m}^3$ su zenginliğini işaretir (Falkenmark, 1989).

Toplam yüzölçümü 780.043 km^2 olan Türkiye, üç tarafı denizlerle çevrili olmasına rağmen tatlı su kaynakları açısından zengin bir ülke değildir. Ülkemiz nüfusu 87 milyon olup, kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.287 m^3 . Bu nedenle Türkiye su stresi sınıfına dâhil olan ülkeler arasında yer alıyor.

Devlet Su İşlerinin (DSİ) 2021 yılında hazırladığı Haritalı İstatistik Bülteninde yapılan master plan sonuçlarına göre ülkemizdeki toplam yıllık su akış miktarının 186 milyar m^3 tür. Yerüstü/Yeraltı suyu içme kullanma endüstriyel tarımsal amaçlar doğrultusunda teknik ve ekonomik şartların sağlanması koşulu ile yıllık tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli 94 milyar m^3 , yıllık çekilebilir su miktarı 18 milyar m^3 , toplamda 112 milyar m^3 olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizin toplam su potansiyelinin 57 milyar m^3 'nün, 44 milyar m^3 'ü (%77) tarımsal amaçlarla sulama suyu olarak, 13 milyar m^3 'ü (%23) ise içme-kullanma ve sanayi suyu olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

Türkiye'nin toplam tarımsal amaçlı alanı 28 milyon hektardan, işlenen tarımsal sulamaları tamamlanmış alan 6.3 milyon hektardır. Ancak 8.5 milyon hektar ekonomik olarak kullanılabilir tarım alanı bulunmaktadır (Sibel Atış vd., 2021)

Yeraltı suyu dünyanın birçok yerinde içme kullanma tarımsal amaçlarla kullanılan öncül rezervler olduğu bilinir. Ülkemizde de yerüstü suyu kullanımının mümkün olmadığı veya izin verilen sahalar dışında kullanım ihtiyacı söz konusu olduğunda, yeraltı suyu kullanımı zorunlu hale gelmektedir.

Yapılan DSI çalışmaları bakıldığında su kaynaklarının tüketiminin ilk sırasında tarımsal faaliyetler, İkinci sırasında içme kullanma suyu, son olarak endüstriyel tüketim gelir. Tarım, küresel geçim kaynakları ve ekonomik istikrarın sağlanması için önem teşkil etmektedir. Buda tarımsal faaliyetler için suyun iyi organize edilmesini gerektirir. Büyüyen küresel nüfusun gıda ihtiyaçlarını karşılamak için tarım yapılan sahalarda sulama suyunun kalitesi, miktarı, dağıtımı ve sistem işletimine dikkat edilmelidir. Belirlenecek yeraltı su kalitesi; alana uygulanacak sulama sistemi projelerinde ilk yatırım maliyetini minimum seviyeye indirmek ve uzun yatırım projelerinde beklenen faydayı sağlayarak su ve toprağın daha verimli kullanılmasında önemli bir faktördür (Güler, 2023).

Yeraltı suyuna bağımlı bölgelerde su kaynaklarının yönetimi ve korunması önemlidir. Bu nedenle suyun kalitesine etki edecek kirleticilerin saptanması ve buna karşı önlemlerin alınması gerekmektedir. Yeraltı suyuna kirleticilerin bulaşmasının ana sebeplerinden biri şehirlerden ve üretim bölgelerinden kaynaklı atıkların disiplinsiz alıcı ortama deşarjı, diğer kirletici durumlar ise iklim değişikliği, toprak çeşitliliği, endüstriyel tesis atıkları, petrol sızıntıları, pestisit kullanımı yeraltı su kaynaklarının kirliliğinde önemli enfekte nedenleridir. Su kalitesinin saptanması, mevcut çerçeveyi görmenin yanı sıra sulara belirli kirleticilerin temasını kesmek için yapılacak projeler için önemli bir rehberdir. Su yeraltına sızarken geçtiği katmanlarda çeşitli minerallerle organik kökenli bileşiklerle temas halindedir. Bu temaslar sonucunda kalite belirleyici parametrelerde farklı sonuçlar oluşur.

Yeraltı suyu araştırmaları suyun fiziko-kimyasal özelliklerinin tayini, suyun kullanım alanının; evsel, tarımsal sulama, hayvancılık ve endüstriyel faaliyetlere uygunluğunun belirlenmesinde öncelikli ve önemlidir. Sulama yönetimin de tarımda kullanılan suyun kalitesi bitki toprak ve çevre üzerinde önemli etkilere sahiptir.

Yeraltı sularının fiziko-kimyasal özellikleri; kayaç morfolojisine, jeo-kimyasal bileşiklere göre tepki verirler. Bu tepkimeler sonucu, yeraltı suyunda önem arz eden

elementler ve kritik eşik değerleri aşağıdaki Tablo 2’de paylaşılmıştır (Hem, 1985).

Tablo 2. Yeraltı suyunun yaygın kimyasal içeriği

Element	Yeraltı Suyu (mg/L)
Ca ⁺²	10-100
Mg ⁺²	1-100
Na ⁺	1-300
K ⁺	1-20
NH ₄ ⁺	0-5
HCO ₃ ⁻	80-400
SO ₄ ⁻²	10-100
Cl ⁻	1-150

Bu çalışma Silopi Ovasında içme, kullanma, tarım ve endüstriyel sektörlerinde tüketilen yeraltı sularından örnekler alınmıştır. Alınan örneklerin değerlendirilmesi; TS-266, EU-AB, US-EPA ve WHO protokolüne göre gerçekleştirilmiştir.

Silopi Ovasında yeraltı suyu özellikle içme ve sulama için önemli bir kaynaktır. Sulama suyunun kalitesi bitkiyi ve toprağı etkilediğinden dolayı olarak insan ve hayvan sağlığını da etkilemektedir. Su ve toprak doğal kaynaklarının geliştirilmesi için sadece sulama şebekesinin başarılı şekilde işletilmesi ve sulama suyunun uzun vadede sağlanması yeterli değildir. Bunun yanında toprak tuzluluğunun ve sodyumun kontrol edilmesi gereklidir. Başlangıçta fazla miktarda tuz bulunmayan topraklar, uygun sulama yöntemlerinin seçilmemesi nedeniyle topraklar hızlı şekilde degrede olur, Uygun olmayan drenaj koşulları nedeniyle topraklar kullanılamaz hale gelebilir. Ovada yeraltı suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesinde; SAR, KI, % Na, MH, PS, RSC ve PI, eşitlikler kullanılmıştır.

1.YERALTI SUYU KALİTESİ

Yeraltı suyu kalitesini belirleyen faktörler; suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerdir. Yeraltı suyu fiziksel su kalitesi; sıcaklık, bulanıklık, renk, tat ve koku parametrelerinden oluşur. Yeraltı sularının kalitesini belirlemede renk, tat ve koku gibi fiziksel özellikler çok belirleyici olmadığından dolayı daha çok suyun kimyasal ve biyolojik özellikleri araştırma konusudur.

Yeraltı suyunun kalitesini belirlemek için suların kimyasal özellikleri mutlaka incelenmelidir. Çünkü kaliteyi etkileyecek birçok faktör vardır. Bu faktörler; kirleticiler (evsel atıklar ve fenni gübre atıkları) veya degregasyona yol açan maddeleri taşıyan endüstriyel atıklar gibi, atık sularının akiferlere karışmasıyla yeraltı sularının fiziksel kimyasal ve biyolojik özellikleri değiştiği görülür. Ayrıca organik bileşiklerin tepkimeye girmesi, gübreler, sıvı atıklar, nitrojen bakterileri, pestisit ve ağır metaller yeraltı su kaynaklarının kalitesini düşürür, böylece suların kirlenmesine neden olur. Kentsel ve endüstriyel kalkınmayla beraber evsel atıkların, alıcı ortama uygun deşarj koşullarının olmaması söylenebilir (Harter, 2003).

1.1. Su Kalite Parametreleri

Hidrojen Potansiyeli (pH): Bir çözeltinin asidik ve bazlık derecesini tarif eder. pH su bazlı bir maddedeki hidrojen iyonlarının konsantrasyonunu tanımlar. pH değeri düşük olunca asidik, yüksek olunca alkalidir. Aşağıda tabloda görüleceği gibi, pH değerlerinden suların sınıfları değişmektedir (Tablo 1). pH; hidrojen (H^+)ve hidroksil (OH^-) iyonlarının denge halindeki durumu nötr ($pH=7$) sulardır. pH değerinin 7'den küçük olması asidik olduğunu, pH değerinin 7 den büyük olması, suların bazik olduğunu ve OH^- iyonunun H^+ iyonuna göre büyük olmasından ileri gelmektedir (Ayers ve Westcot, 1985).

Tablo 3. pH ölçeğinin tablo şeklinde sınıflandırılması kaynak: (Ayers ve Westcot, 1985).

pH	
> 7	Bazik
7	Nötr
< 7	Asidik

Elektriksel İletkenlik (EC), Elektriksel iletkenlik değerini erimiş halde bulunan katı maddeler oluşturmaktadır. EC değeri suda erimiş toplam tuz miktarının iyi bir göstergesidir. Bu nedenle EC değeri kolay ölçülebilir olması nedeniyle sulardaki toplam tuzluluğun

belirtilmesinde sıkça kullanılır. Birimi microsiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$)'dir (Sarathbabu & John Paul, 2015).

Çözünmüş Oksijen (DO), Su ve diğer sıvılarda olan serbest, bileşik olmayan oksijen seviyesini ifade eder. Suda çözünmüş oksijen miktarının ölçüsü olarak ta tanımlanır. Bir su kütlesinde (akarsu, göl, YAS gibi) çözünmüş oksijen miktarı su kalitesini değerlendirmede önemli bir parametredir. Suyun içinde çözünmüş oksijenin olmaması canlılar için ölü bir ortamın olduğunu ifade etmektedir. Sıcaklık ($T:^\circ\text{C}$) ve DO arasındaki ilişki ters orantılıdır (Riedel, 2019). DO ölçülmesi, saha ve laboratuvarında kolaylıkla kullanılabilecek küçük ve modern bir alet ile yapılabilmektedir. Cihaza bağlanacak kablonun ucundaki prob yardımıyla ölçüm yapılır. Bu nedenle her ölçümde prob ve cihaz düzgün bir şekilde kalibre edilmelidir.

Toplam Çözünebilir Katı Madde (TDS), Sularda bulunan katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+) ve anyon (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_2^- , NO_3^-) iyonlarının toplamıdır. Bu nedenle yapılacak olan TDS testi, suda bulunan iyonların nitel bir ölçüsünü ve suyun kalitesi ile ilgili genel bir gösterge içerir. Ancak detaylı olarak sudaki sertliği, tat, koku, ağır metaller ve mikrobiyolojik kirleticilerin varlığı gibi belirli su kalitesi problemleri hakkında bilgi vermez (Adjovu vd., 2023).

Sıcaklık ($^\circ\text{C}$), Yeraltı ve Yer üstü sularda sıcaklığın değişmesiyle birçok tepkime gerçekleşebilmektedir. Sularda sıcaklığın yüksek olması çözünmüş oksijen miktarını düşürür. Suların temas ettiği kayalardaki minerallerin suda ayrışması ve çökelmenin miktarının hızı sıcaklıkla değişmektedir. Ayrıca suda bulunacak canlıların biyolojik yapısını (mikro-organizma gelişim hızına) da etki etmektedir (Riedel, 2019).

Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOD_5): Belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir zaman aralığında, bir su kütlesindeki aerobik biyolojik organizmaların, organik maddeleri parçalayabilmeleri için tükettikleri oksijen miktarı olarak ifade edilir. BOD_5 , sularda kirlilik derecesini belirlemek amacıyla tespit edilen bir parametredir. BOD_5 değerinin ölçümü genellikle 20°C 'de 5 günlük zaman diliminde ölçümü yapılır. Alınan su numunelerin, standart 60 veya 300 mL BOD_5 şişesine yerleştirilir. İlk numune hemen ölçülür, ikinci numune karanlık ortamda saklanan numune 5 gün sonra analiz edilir. İki numune arasındaki fark BOD_5 değerini verir (Carstea vd., 2016). BOD_5 değerinin fazla olması su kaynağında organik madde miktarının fazla olduğunu ifade etmektedir. Suyun kullanım durumuna göre ilgili yönetmelikteki sınır değerlere bakılarak uygunluğunu belirlemede kullanılır

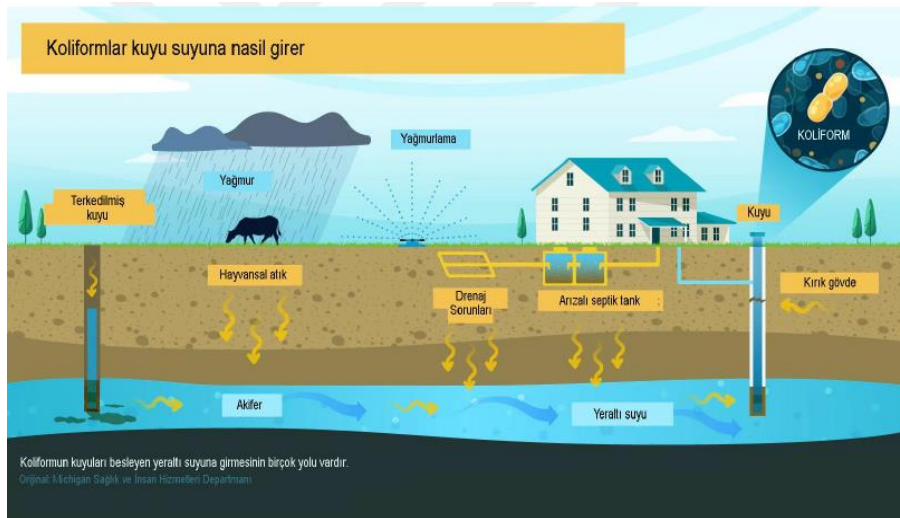
Kimyasal oksijen ihtiyacı (COD₅), Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOD₅), organik yük miktarına ve reaksiyon şiddetinin akış hızına bağlıdır. Bilindiği gibi tarımsal ve endüstriyel atıklar anaerobik sindirimlerin sonucunda ortaya çıkar (Keerthana Devi vd., 2022).

Escherichia Coli (e. coli), içme ve kullanma sularında hastalığa neden olabilecek toksikler istenmez. Su kalitesinin saptanmasında *e. coli* değerinin bilinmesi oldukça önemli bir parametredir. Suyun içinde *e. coli* olması suda insan veya hayvan dışkısının olduğunun kanıtıdır. Yapılan araştırmalara göre bu parametre bir çok sağlık problemine sebep olmaktadır (Khan vd., 2022). Su kaynaklı hastalık geçirildiğinde içme ve kullanım suyuna dikkat edilmelidir.

Tablo 4 Bakteriyel açıdan su özelliği (Muslu, 1985).

Suyun Özelliği	Bakteri Sayısı (1 cm ³)	E.Coli (1 cm ³)
Zararsız	<10	0
Az Zararlı	10-100	Var
Zararlı	>100	
Çok Zararlı	-	

Total Coliform (t. coliform), suların kalitesini izlenmesi için sıklıkla yapılan analizlerden biridir (WHO, 2017). Yeraltı kuyularında tespit edilen *t. coliformun* sebebi yetersiz filtrelenmemiş yüzey sularının göstergesi olabilir (Petculescu vd., 2022). Coliformlar en çok sıcakkanlı hayvanların dışkılarında mevcuttur, ancak sulak ortamda toprak ve bitkilerde de bulunmaktadır. Bu parametreler ciddi toksik etkilerinden kaynaklı hastalıklara sebep olurlar. Su numunesinde bulunmaları, zararlı patojenlerin olabileceğini ifade etmektedir. (Edberg vd., 2000).



Şekil 2. Kuyu sularında koliform bakteriler (Goddard, 2025)

Kalsiyum (Ca^{+2}) Kalsiyum yeraltı su kaynaklarında en fazla bulunan kimyasal elementlerden biridir. Yeraltı kayaların morfolojisine bağılı olarak suda artış veya azalış gösterebilir. Temel kaynağı kireçtaşı, mermer ve dolomit (MgCO_3 CaCO_3)’tir. Suya sertlik vermektedir. Ca^{+2} elementinin insan sağlığı üzerinde birçok yararı bulunmaktadır. Ancak çok yüksek konsantrasyonlarda bazı olumsuz etkileri de olabilir Örneğin kalsiyum, vücuttaki ağır metallerin emilimini engelleyebilir ve kemik kütlesinde artışa yol açtığı ve belirli kanser türlerini önlediği düşünülmektedir. Öte yandan, çok yüksek konsantrasyonlar vücuttaki diğer hayati minerallerin emilimini etkileyebilir (Jaworek 2014).

Magnezyum (Mg^{+2}) Magnezyum yeraltı su kaynaklarında en fazla bulunan elementler arasındadır. Yeraltı sularında magnezyum en önemli kaynağı dolomittir. Ayrıca magmatik ve metamorfik kayalarda da magnezyum içeriğine sahip mineraller bulunmaktadır. Bu element suya sertlik vermektedir. Magnezyum’da insan sağlığına etkisi bulunmaktadır. Kalp ve damar fonksiyonlarında temel bir elementtir, ancak içme suyundaki yüksek içerikler, özellikle yüksek magnezyum sülfat konsantrasyonlarına sahip sularda, müshil etkisi gösterebilir (Jaworek 2014).

Sülfat (SO_4^{-2}) Doğal ve antropojenik olarak YAS kaynaklarında yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfatın yeraltı sularında bulunması suyun SO_4^{-2} minareli içeren toprak ve kayaların çözülmesiyle suya karışmasıdır. YAS bulunan SO_4^{-2} ‘ın temel kaynağı jips ve anhidrittir. Suyun içinde sodyum elementinin fazla olması; yüksek sertlik, sodyum tuzu ve asitli olduğu anlamına gelmektedir (Gourcy vd., 2013). Sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve magnezyum sülfat(MgSO_4), elementlerinin içme suyunda fazla yüksek olması insanları müshil etkisi gösterdiğinden TSE 266 ve EPA tarafından bildirilmiş sınır değeri 250 mg/l olarak sınırlandırılmıştır. Tarım faaliyetlerinde ise 250 mg/l olması bitkiler için yararlı bulunulmuştur

Potasyum (K^+) Yerkabuğunda en fazla bulunan ve miktarlarının hemen hemen eşit olduğu K^+ ve Na^+ elementi alkali metallerdendir. YAS nadir bulunan bir elementtir. Bunun nedeni ise bu elementin hava koşullarıyla ayrışmaya karşı dayanıklı olmasıdır. K^+ elementi sedimanter-metamorfik kayalarda ve magmatik kayaların mikalarında bulunan minerallerde görülmektedir. Potasyum elementi yağışın az olduğu iklim bölgelerinde yüzeyde bulunan miktarı yeraltı suyuna göre daha fazladır. Yeraltı sularında potasyum elementinin fazla olması genellikle tarım için kullanılan gübrelerin yağışla beraber toprağa sızmasıyla gerçekleşir (Pradhan, 2011).

Sodyum (Na^+) suyla temas halinde çözülmesi kolay olduğundan yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerden biridir. Bu element kil minerallerinde, magmatik kayalarda ve feldispatlarda görünür. Yeraltı sularında sodyum elementinin miktarı birçok faktöre göre değişkenlik gösterir. Bunlar; suyun pH değeri, minerallerin miktarı ve cinsinin çözünmesi, yeraltı suyundaki beslenme, kayaç morfolojisi ve doğal kaynaklı kirlenme gibi faktörlerdir. Yeraltı sularında Na miktarının artmasına sebep olan faktörler ise; evsel ve sanayi atıkları, tarım için kullanılan gübrelerdir (British Columbia Groundwater Association, Water Stewardship Information Series February 2007).

Amonyum (NH_4^+) Yeraltı sularında amonyum varlığının tespit edilmesi, suya evsel atıkların karıştığına göstergesidir. Dolayısıyla bu tür sular zehirli bir toksin ve sağlık riski haline gelir. Evsel, endüstriyel atıklardan veya gübrelemelerden kaynaklanabilir. Amonyumun suda fazla olması suda kötü tat oluşturur (Roy vd., 2003).

Karbonat ve Bikarbonat (CO_3^{2-} ve HCO_3^-) Bu elementlerin yeraltı sularında bulunma nedenleri; karbonatlı kayaçların erimesi, atmosfer ve yeryüzündeki karbondioksit (CO_2) çözünmesidir. Suyun pH değeri karbonat ve bikarbonat değerini etkilemektedir. Sularda pH değerinin 8,2- 8,3'ün üzerinde olması bikarbonat elementi çözünerek karbonat ve hidrojene ayrılır. Ph >8 olması suda karbonat, pH <8 olması da suda bikarbonat elementinin olması durumuna gelmektedir. Sularda bikarbonat olması tarım için SAR değerinin sulama suyuna etkisi olumlu yönde etkilemektedir (Trainer ve Heath, 1976).

Klorür (Cl^-), Doğada serbest halde bulunmayan ve reaktif bir elementtir. Suda çözünürlüğü oldukça yüksektir. Yeraltı suyunda Cl^- elementi, tortul kayalardan ve yağmur ve deniz sularından gelir. Sularda Cl^- elementinin olmasının başlıca sebepleri; sanayi ve foseptik atıkları, tarım faaliyetleri için kullanılan gübrelerdir (Pradhan, 2011). İçme sularında sınır değeri TS266, EU-AB, US-EPA WHO standartlarına göre 250 mg/l'dir.

Fosfat (PO_4^{3-})

Yeraltı suyunda fosfat elementi evsel, endüstriyel ve tarımsal amaçlı kullanılan gübrelerden kaynaklıdır (Patil ve Patil, 2011).

2.LİTERATÜR ÖZETİ

Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu/ United Nations Population Fund (UNFPA) tarafından paylaşılan bilgilere göre dünya nüfusunun 2030'da 8,6 milyar, 2050'de 9,8 milyar 2100'de ise 11,2 milyar olması bekleniyor. Dünyada nüfusun bu şekilde artması ve endüstrileşmenin yaygınlaşması ile beraber, sular kirlenmekte ve iklim değişimi nedeniyle içilebilen sular her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle yeraltı su kalitesinin, statik su seviyesinin düzenli ve rutin olarak ölçülmesi, tespiti ve suyun kalitesinin, element değerlerinin ve kullanılabilirlik durumunun da takibinin yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasıyla ilgili yapılan literatür taramasında bazı önemli çalışmalar aşağıdaki paylaşılmıştır.

Suudi Arabistan Saq akiferinin yeraltı suyu kalitesi incelemişlerdir. Saq akiferi, Suudi Arabistan'da 1200 km'den fazla ve kuzeyde Ürdün'e kadar uzanan bir Kambro-Ordovisiyen kumtaşı oluşumudur. Suyun hem serbest hem de kapalı koşullar altında bulunduğu devasa bir yeraltı suyu rezervuarıdır. Yeraltı suyunun kimyasal bileşiminin, tuzluluğunun mekansal değişiminin ve bu değişkenliği kontrol eden süreçlerin bir tanımını içermektedir. Nitekim Saq akiferinde toplam 384 kuyudan su numunesi alınmış ve birçok iyonik bileşim için su analizleri yapmışlardır. Elde edilen veriler bilgisayar programları kullanılarak analizlerini yapmışlardır. Bu kapsamda, doygunluk indeksleri hesaplanmış, iyonik ilişkiler incelenmiş, hidrokimyasal fasiyesler belirlenmiş ve su türleri belirlemişlerdir. Yeraltı suyu kalitesindeki değişimleri kontrol eden temel süreçler de detaylı tartışmışlardır. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda akiferdeki yeraltı suyu kalite yönetimi için gerekli bilgiler elde etmişlerdir (Sharaf ve Hussein, 1996).

Hindistan, Tamilnadu, Namakkal ve çevresinde farklı lokasyonlardan toplanan yeraltı suyu numunelerinin fizikokimyasal özellikleri açısından analizlerini yapmışlardır. Haziran-2007 ile Aralık-2007 dönemi için her iki ayda 10 adet lokasyondan yeraltı suyu numuneleri toplamışlardır. Mevcut araştırma; sıcaklık, tat, NTU, EC, pH, sertlik, toplam katı, toplam çözünmüş katı, TDS, klorürler, sülfat, nitrat, florür, çözünmüş oksijen, sodyum, potasyum ve *E. Coli* bakterisi gibi fizikokimyasal parametrelerin belirlenmesi hedeflemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre bölgenin yeraltı suyunun evsel ve tarımsal amaçlar için WHO ve BIS standartları kullanılarak pek uygun olmadığı sonucuna varmışlardır (Karunakaran vd., 2009).

Suudi Arabistanla ilgili yapılan başka bir çalışma ise içme ve kullanma suyuna artan talep ve azalan su kaynaklarıyla ilgilidir. Bu makalede suya olan talep arz ilişkisini

sürdürmek ve su ihtiyaçları ile kullanılabilirliği arasında kabul edilebilir bir denge sağlamak için koruma ve su talebi yönetimi girişimlerini benimsemenin aciliyetine vurgu yapmışlardır. Krallık, mevcut olan su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasına dikkat çekmektedir. Çalışma, ülkenin su kaynaklarına ve suyla ilgili sorunlarına karşı önemli bir projeksiyon sunduğu görülmektedir. Su kaynakları çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Ancak en çok su tüketen tarım sektörünün suyun verimsiz kullandığını ve buna karşı koruma ve iyileştirme önlemleri alınması gerekliliği hakkında vurgu yapmışlardır. Çalışmanın amacı, Yeni yüzyıl için yapay zekadan yararlanılarak doğal kaynakları korumak ve muhafaza etmektir. Su kaynaklarının, su koruma önlemleri de dahil olmak üzere çevre dostu teknolojiler tasarlayarak ve uygulayarak sürdürülebilir bir şekilde yönetilebileceği bildirilmektedir. Bu önlemlerin yararlılığı, hizmet içi eğitim ve teknoloji kapasite geliştirme programları ile desteklenmesi amaçlamışlardır (Zaharani vd., 2011).

Hindistan'ın Hanmakonda Bölgesi'ndeki sulama amaçlı yeraltı suyu değerlendirilmesi yapılmıştır. Yeraltı suyunun değerlendirilmesinde EC, pH, TDS, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} ve TDS gibi çeşitli fiziksel ve kimyasal parametreler açısından toplam 18 yeraltı suyu kuyusundan numuneleri toplamışlardır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen parametrelerle SAR, %Na, kalıcı sodyum karbonat, KI ve MR hesaplamışlardır. Alınan numunelerinin %78'i, yüksek tuzluluk ve düşük sodyum içeren suyu gösteren C3–S1 su sınıfı olarak saptamışlardır. Bu çalışmada tarımsal faaliyetlerin verimliliğini artırmak için uygun su yönetim önlemleri alınarak iyileştirmeyi önermektedirler (Narsimha vd., 2013).

Çalışma alanı, Nijerya'nın Ikorodu kentindeki Majidun-Ilaje Bölgesi'nin yeraltı suyunun yanı sıra yüzey suyu kalitesini, besin durumunu ve fiziko-kimyasal özelliklerini incelemek için yürütülmüştür. Mevcut çalışma, topluluğun elle kazılmış kuyu suyu ve sondaj suyu olmak üzere iki tür yeraltı suyunun yanı sıra topluluğun nehir suyu olan yüzey suyunu izleyerek yürütmüşlerdir. Suyun fiziko-kimyasal özelliklerini incelemek ve analiz etmek için girişimlerde bulunmuşlardır Sıcaklık, Mg^{+2} gibi çeşitli parametreler, hem keson kuyu hemde sondaj kuyuları hakkında bilgi verilmiştir. Analiz sonuçlarını gözlemleyerek, su kalitesinin incelenmesi için alınan parametrelerin, evsel, tarımsal, endüstriyel gibi çeşitli amaçlar için kullanım gereksinimini karşılayan yalnızca sondaj tipi yeraltı suyu için kirlilik seviyesinin altında olduğu sonucuna varmışlardır. Keson kuyuların ve nehre daha yakın bir sondajın kalitesi, nehirden derinliğe ve mesafeye göre değişen izin verilen sınırın nispeten üzerinde olduğu tespit etmişlerdir. Ancak yüzey suyu durumunda, nehrin su kalitesi WHO

ve EPA'nın izin verilen sınırlarının üzerinde çıktığını saptamışlardır (M. Awoyemi vd., 2014).

Suudi Arabistan'ın Jazan ili' nin yeraltı suyu kalitesi incelenmiştir. Jazan ili ülkenin güneybatı kesiminde, Kızıldeniz kıyısında yer alan kurak bir bölgededir. Bu bölgenin tek içme suyu kaynağı yeraltı suyudur. Ancak içme ve evsel kullanıma uygunluğu su kalitesine ait ilgili protokollere göre uygun olmadığından endişe verici olduğu paylaşılmıştır. Bu çalışmada 2014 sonbaharında Jazan bölgesindeki 23 farklı lokasyondan yeraltı su numuneleri alınmış ve bu numunelerin pH, TDS, NTU, sertlik (FSD), alkalilik, NH_3^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , Fe ve F^+ dahil olmak üzere su kalitesi parametrelerinin ölçümleri ve analizleri yapılmışlardır. Yapılan analizler sonucunda WHO ve Körfez Standardizasyon Örgütü (GSO) referans alınarak suların uygunluğu değerlendirilmişlerdir. Su örneklerinin %30.4'ünde TDS değerleri 600 mg/l ve numunelerin toplam sertlik değerleri %34.8'inde 300 mg/l olduğu bildirilmiş her iki parametre önförülen limitlerin üzerinde gerçekleştirildiği ifade etmişlerdir. Ancak 23 lokasyonun sadece birinde NO_3^- konsantrasyonunun 50 mg/l sınır değerini aşmış olduğu bildirilmişlerdir. Elde edilen sonuçlar WHO'nün izin verdiği sınırlar içerisinde kalmıştır. Elde edilen parametrelere göre, Jazan bölgesindeki yeraltı suyunun su kalitesinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu, içme ve evsel amaçlarla güvenle kullanılabileceğini göstermişlerdir. Çalışmanın öngörüsü yeraltı suyundaki TDS ve NO_3^- konsantrasyonuna, özel bir itina gösterilmesi gerektiğini bildirmişlerdir (Alhababy ve Al-Rajab, 2015).

Yavuz, 2017'de yapmış olduğu çalışmada Batman il sınırları içerisinde yer alan yerleşim alanları ve ovalarda yeraltı suyunun parametreleri ile ilgili CBS yardımıyla harita oluşturulup yeraltı suyu kalite standartlarıyla karşılaştırma yapmıştır. Buna göre çalışma alanında nitrat ve nitrit kirliliğinin yüksek olduğunu saptamıştır. Batman merkez ve Beşiri Ovasında tarımsal kaynaklı gübre kullanımı artması sonucu nitrat kirliliği yüksek bulmuştur. Çalışmada su kalitesinin parametreleri ulusal ve uluslararası kalite standartları ile karşılaştırılması yapılmış ve tespit ettiği kirleticilere karşı nasıl önlemler alınacağını ifade etmiştir.

Sulama amaçlı yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmada, yeraltı suyunun kalitesi çeşitli fizikokimyasal özellikler ve kimyasal indeksler kullanılır. Yeraltı suyunun kimyasal özellikleri doğal jeokimyasal süreçler ve antropojenik faaliyetler tarafından kontrol edilmektedir. Bu nedenle, tarımsal sulamada yeraltı suyunun kalitesini izleyerek, sudaki farklı iyonların toprakta olumsuz etkileri olacağından dolayı

suyun hidrojeokimyasının bilinmesi gerekir. Yüksek SAR değerine sahip olan su, sulama için kullanıldığında topraktaki değiştirilebilir sodyum yüzdesini (ESP) yükseltir, böylece toprak yapısını olumsuz etkileyerek sızma, infiltrasyon azalır, yüzey akışı ve erozyon artar. Ayrıca, düşük kaliteli su, sulama suyundaki yüksek tuz konsantrasyonunun bitkilerde ozmotik strese ve iyon toksisitesine yol açması nedeniyle üründe bozulmaya neden olduğunu göstermişlerdir (Bhat vd., 2018).

Hindistan, Tamil Nadu, Kanchipuram bölgesinde bulunan 44 yeraltı su kuyusundan su numunesi alınarak kalitesi değerlendirilmişlerdir. Buna göre; muson öncesi (2006-2013) ve muson sonrası (2005-2013) mevsime ait yeraltı suyu numune verileri 9 yıl boyunca toplanmıştır. SAR, %Na, RSC, KI, PI kloroalkalin endeksleri (CAI1 ve CAI2), potansiyel tuzluluk (PS), MH, TDS ve TSS olmak üzere su kalitesi endeksleri ayrı sondaj kuyuları için hesaplamışlardır. Kuyuların çoğunluğu sulama amaçları için orta ila uygunsuz su kategorisine girdiğini saptamışlardır (Rawat vd., 2018).

Kurak ve yağışın az olduğu bölgelerde sulama suyu kalitesi araştırmışlardır. Sulama suyunun kalitesinin belirlenebilmesi için sudaki çözünür tuzların konsantrasyonu ve bileşimine bakılmalıdır. Özellikle EC, SAR, RSC ve iyon toksisitesi, B ve Cl⁻ elementlerinin bitkiler üzerindeki toksisiteleri dikkate alınmasını önermişlerdir. Yağışın az olduğu sıcak ve kurak ülkelerde yeraltı suyunun tarım için kullanılması, yeraltı suyu tuzluluğunun artmasına neden olacağı ve yetiştirilecek ürün seçimini sınırlayacağını savunmuşlardır. Su tuzluluğunun azaltılmasında ilgili protokoller kullanılarak açıklamışlardır (Zaman vd., 2018).

Kazakistan'da bulunan Ganj Brahmaputra Nehrinin hidrokimyasal karakterizasyonu ve sulamaya uygunluğunu araştırmışlardır. Buna göre; Kazakistan'daki Syr Darya Nehri'nin yüzey suyu hidrokimyasının belirlenmesi için 39 lokasyonda su numunesi almışlardır. Yüzey suyunda Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ parametreleri tespit etmişlerdir. Doğal faktörler açısından bakıldığında, çalışma alanındaki hidrokimyasal özellikler kayaların ayrışması ve buharlaşma-yoğunlaşmanın ikili etkilerinden kaynaklandığı ancak, nehir yakınındaki endüstriyel ve tarımsal üretimi içeren antropojenik faktörlerin etkisi ve kentsel evsel kanalizasyonun hidrokimyasal özellikler üzerindeki etkisinin de mevcut olduğu göstermişlerdir. Yüzey suyunun SAR, %Na ve KI bazında sulamaya uygunluk değerlendirmesi, suyun çoğunluğunun içme kullanma ve sulamaya uygun olduğunu göstermişler ve TDS değerinin su numunelerinin %71,43'ünün kritik durumda olduğunu bildirmişlerdir. Sulama uygunluğu üzerindeki TDS konsantrasyonunun etkisi göz ardı

edilemeyeceğini, Syr Darya nehri'ndeki su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sürdürmek için önemli olduğunu vurgulamışlardır (Zhang vd., 2019).

Bangladeş'in Dakka'daki Shitalakhya nehrinde TSS'nin bulanıklık ölçümleri yoluyla ölçülmesini sağlayacak bir regresyon modeli oluşturmuşlardır. TSS ve TDS konsantrasyonu 2017 yılı boyunca günlük olarak ölçülmüş ve TSS için bulanıklığın yerine geçecek regresyon modeli geliştirilmişlerdir. 2017 yılının tamamı için $R^2 = 0,48$, kurak ve yağışlı sezon için sırasıyla 0,51 ve 0,59 olduğu ve bunların mükemmel olmasa da oldukça iyi bir korelasyon olduğu bulunmuşlardır. Her ay için regresyon denklemini hesaplarken R^2 'nin 0,04 - 0,79 aralığında değiştiğini ve on iki değerin yarısının 0,2'nin altına düştüğünü bulmuşlardır. Bu bölge için, bireysel aylık ölçümler için TSS'nin yerine türbiditenin kullanılması, baştan sona etkili olmadığı görülmüş, ancak bir bütün olarak kurak ve yağışlı mevsimlerdeki kirliliğe ilişkin anlık bir fikir edinmek için model kullanılabilirliğini ortaya koymuşlardır (Md vd., 2019).

Güney Hindistan'ın yarı kurak bir bölgesinde sulama için yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi çalışılmışlardır. Çalışma alanında 36 yerden yeraltı suyu örnekleri toplanıp, yeraltı suyu kalitesi sulama amacıyla değerlendirmişlerdir. Çalışmada yeraltı suyu örnekleri pH, EC, TDS, katyonlar ve anyonlar gibi fiziko-kimyasal parametreler açısından analizi yapmışlardır. Ayrıca analitik sonuçlar kullanılarak EC, SAR, %Na, RSC, PI, KR ve MR gibi kalite indeksleri hesaplamışlardır. Bu parametreler, mevcut ürünler için sulama kullanımına ilişkin standart limitlerle karşılaştırmışlardır. Hidrokimyasal sonuçlar, çalışma alanındaki yeraltı suyunun $pH \geq 7$ nötr ila hafif alkali nitelikte olduğunu göstermişlerdir. EC ve TDS sınıflandırmasına göre yeraltı suyu örneklerinin çoğu orta tuzluluk tehlikesi kategorisine girdiğini bildirmişlerdir. Çalışma, su örneklerinin çoğunun sulama suyu kalitesinin kritik seviyelerinin üzerinde olduğu ve çalışma alanında uygun ürünlerin yetiştirilmesi için dikkatli bir yönetim gerektirebileceğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca çalışma, bu kadar yüksek TDS'ye sahip yeraltı suyunun, sulama amacıyla kullanılmasının toprak tuzluluğuna neden olabileceğine de dikkat çekmişlerdir (Sreedevi vd., 2019).

Hazar Gölü-Behremaz ovası dicle alt havzasında yer alan Hazar Gölü havzasında su kaynaklarının tarımsal kullanıma uygunluğunu için su kalitesi araştırmışlardır. Bu amaçla, 2015 yılının yağışlı döneminde 61 lokasyondan ve kurak döneminde 60 lokasyondan su numuneleri alınmış ve pH, EC, Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Co^{2+} , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ parametreleri analiz etmişlerdir. Bu analizlere dayanarak, %Na, SAR, RSC, MR, PI ve KR hesaplanmıştır. Ayrıca, yeraltı suyunun tarımsal faaliyetlerde kullanılabilirliği Wilcox ve ABD Tuzluluk

Laboratuvarı United States Surfacing Laboratory(USSL) Diyagramlarına göre değerlendirilmiştir. EC, SAR, %Na, RSC, PI, KR ve MR değerleri, göle yakın birkaç yer dışında, suyun sulama suyu olarak uygun olduğunu ortaya koymuştur. USLL ve Wilcox diyagramlarında yapılan sınıflandırmalarda da benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Tematik su kalitesi parametre haritaları, yeraltı suyu kalitesinin yüksek kotlardan göl seviyesine olan akış yolu boyunca düştüğünü göstermişlerdir (Çeliker ve Parlakyıldız, 2020).

Dicle Nehrinin su kalitesi yapay sinir ağları kullanılarak değerlendirilmesini yapmışlardır. Buna göre; 2016-2018 yılları arasında Irak'ın Samarra kenti (yukarı), Bağdat kenti (orta) ve Kut kentinin sonu (mansap) boyunca akan Dicle Nehri üzerindeki üç istasyondan su örnekleri toplamışlardır. Suyun Ca^{+} , Mg^{+} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , SO_4^{-2} gibi fizikokimyasal parametrelerle kullanılarak su kalitesi ve SAR üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ayrıca CO_3^{-2} , HCO_3^{-} , NO_3^{-} , Toplam Sertlik (TH), TDS, EC, reaksiyon derecesi (RD), Bor (B), aylık ve yıllık debi'ye bakılmıştır. Sonuçlar, Dicle su kalitesinin, sülfat konsantrasyonu dışında, Dünya Sağlık Örgütü'nün/ World Health Organization(WHO) içme suyu spesifikasyonlarına uygun olduğunu göstermiştir. SAR'ı tahmin etmek için üç lokasyona yönelik model geliştirmek amacıyla yapay bir sinir ağı/ Artificial Neural Network (ANN) kullanılmış ve SAR değerlerinin tahmin edilmesinde ve modelin performans değerlendirmesinde hata miktarının saptanmasında hata karesi fonksiyonu ile belirleme katsayısının (R^2) toplamı kullanmışlardır. Sonuçlar, belirleme katsayısının en yüksek değerinin Samarra, Bağdat ve Kut için sırasıyla 0,992, 0,986 ve 0,955 olduğunu göstermiş ve YSA analizi, üç istasyon için SAR tahmininin Sodyum tarafından etkilendiğini göstermiş. Böylece YSA modelinin, nehir suyu kalitesinin sulama amaçlarına uygunluğunu tanımlamak için etkili bir şekilde kullanılabilecek SAR tahmin aracı sağladığı bulmuşlardır (Al-Obaidi vd., 2020).

Uttarakhand, Udham Singh Nagar bölgesinden tarıma uygunluk için yeraltı suyu kalitesi değerlendirmişlerdir. Toplamda 50 kuyunun yeraltı suyu örneği derlenmiş ve pH, EC, TH, HCO_3^{-} , CO_3^{-2} , Cl^{-} , SO_4^{-2} , NO_3^{-} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} ve K^{+} açısından analiz etmişlerdir. Sulama suyunun yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi için SAR, SSP, RSC, MH, PI ve kloroalkalin indeksi (CAI) değerleri gibi parametreler hesaplamışlardır. Hesaplanan değerler USSL diyagramında alınan örneklerin çoğu C2S1 kategorisine girmekte ve sulama amacıyla uygun olduğu bildirilmiştir. 50 numuneden sadece yedi numunenin C3S1 kategorisine girdiğini ve bu katagorinin her türlü toprakta sulama için güvenli olan orta - yüksek tuzluluğu gösterdiğini ifade etmişlerdir. Yapılan RSC hesaplamasına göre alınan tüm su

numunelerinin sulama suyu olarak uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Piper diyagramı, yeraltı suyu numunelerinin %50'sinin Mg^{+2} Ca^{+2} , HCO_3^- türüne ait olduğunu ve %48'inin Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- türü olarak sınıflandırıldığını göstermişlerdir. Durov diyagramı, iyon karışımı ve kirli topraktan iyonların basit çözünmesi olasılıklarını önermişlerdir (Singh vd., 2020).

2020 yılında MENA Ülkelerinde Su Politikaları adlı kitap, Suudi Arabistan'ın su kaynaklarının sorunları ve iyileştirme stratejileri, konusunu ele almıştır. Bu kitapta ülkenin içme-kullanma ihtiyacını karşılamak için deniz suyunun arıtılması için tesis kurmayı öngörmüşlerdir. Paradoksal olarak, dünyanın en kurak ülkelerinden biri olmasına rağmen, dünyada kişi başına düşen tatlı su tüketiminde üçüncü en yüksek ülkedir. Kapsamlı tarım politikaları, su tasarrufu ve verimliliği inceleyen yatırımları hayata geçirilmiştir (Baig vd., 2020).

Günümüzde su kaynakları, önceden arıtılmamış ham evsel, endüstriyel ve tarımsal deşarjlardan kaynaklanan kirlilik nedeniyle tehdit altındadır. Bu kirlilik su kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Yüzey kirleticileri topraktan su seviyelerine sızabilmektedir. Çalışmamızın amacı insan sağlığını korumak için Chari Baguirmi yeraltı suyunun fiziko-kimyasal kalitesini değerlendirmek ve kontrol etmektir. Çad'daki Ulusal Su Laboratuvarı ve Gıda Kalite Kontrol Merkezi'nde 12 fiziko-kimyasal parametre için analiz gerçekleştirilirken 83 sondaj kuyusunun kalitesi değerlendirmişlerdir. Bu parametreler pH, EC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , NH_4^+ ve NO_3^- , Fe^{+2} ve HCO_3^- 'dir. Elde edilen sonuçlar ayrıca WHO standartlarıyla karşılaştırılmışlardır. Jeokimyasal istatistiksel yaklaşım, Çad'daki Chari Baguirmi bölgesindeki yeraltı suyu kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini karakterize etmeyi ve mineralizasyonunun başlıca süreçlerini anlamayı mümkün kılmıştır. Sularının bir kısmı asidik ve zayıf mineralize olup, Fe^{+2} ve NH_4^+ açısından zengindir. Mineralizasyonun kökeni, ana kayaçların değişimi, silikat ve ferromagnezyum minerallerinin hidrolizinin yanı sıra antropojenik kirlilikten kaynaklandığını tespit etmişlerdir. N'Djamena sondajlarındaki amonyum konsantrasyonları WHO standartlarından daha yüksektir ve bu da organik atıktan kaynaklanabilecek kirliliğin varlığını gösterdiğini bildirmişlerdir. Bu sonuçlar, hidrojeokimyasal işleyişin anlaşılmasında ön bir adım teşkil etmekte ve çalışma alanındaki suyun fizikokimyasal kalitesinin izlenmesi için bir temel oluşturacağını vurgulamışlardır (Beyaitan Bantin vd., 2020).

Giresun Dereli bölgesi yüzey sularının kalitesinin saptanması için ana nehir ve akarsudan numune alınarak fizikokimyasal özellikleri incelemiştir. Ayrıca, suların tarımsal

faaliyetlerde kullanılması açısından da değerlendirme yapmıştır. Sularda elde edilen mevcut verilere göre; yüzey suyunun hafif alkali karakterde olduğu ve pH değerlerinin 7.6 - 8.35 aralığında değiştiğini göstermiştir. Alınan su numunelerinin EC değeri 210-590 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değiştiğini ve EC değeri açısından iyi sınıfta olduğunu tespit etmiştir. Bölgeden alınan su numunelerinde baskın olan anyonlar sırasıyla; $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ katyonlar ise sırasıyla; $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ izlendiğini göstermiştir. Sularda belirlenen tüm iyon seviyeleri Gıda ve Tarım Örgütü/Food and Agriculture Organization, (FAO)' nün sulama suları için referans sınır değerler aralığında olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, ABD Tuzluluğu SAR, RSC, %Na, KR ve MH için hesaplanan değerler, suların tarımsal amaçlı sulama için uygun olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak yüzeysuyunun iyi kalitede olduğunu ve tarımsal faaliyetler için elverişli olduğunu bildirmiştir (Kaçmaz, 2021).

Tandojam'ın yeraltı suyu kalitesinin değerlendirilmesi için farklı noktalardan su numunesi almışlardır. Çalışmanın amacı yeraltı suyu örneklerinin fizikokimyasal parametreleri, kalitelerini ve kullanım uygunluğunu belirlemektir. Analiz sonuçlarına göre; WHO ve Ulusal Çevre Kalite Standartları (NEQS) ile değerlendirmişlerdir. Sonuçlar öngörülen sınır değerlerin üstünde gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Ancak, TDS, pH, EC, TH, NTU, Cl iyonu, Al, SO_4^{2-} , ve NO_3^- Çoğu lokasyonda WHO göre uygun olmadığını tespit etmişlerdir. Farklı parametreler arasındaki korelasyon analiz sonuçlarına göre, parametreler arasındaki korelasyonlar zayıfladıkça gözlenen değerlerin önemsiz hale geldiğini saptamışlardır (Qureshi vd., 2021).

2021 yılında Suudi Arabistan' da yeraltı suyunun kalitesi hakkında yapılan çalışmalar değerlendirmişlerdir. Bu bölgede antropojenik veya jeojenik kaynaklardan kaynaklanan yeraltı suyu kalite sorunları üzerinde durmuşlardır. Çalışmada, yeraltı suyunda bulunan kirleticiler nedeniyle yeraltı suyu kalite değerlendirmesi ve akifer kırılgenlik değerlendirmesi için farklı su kalitesi değişkenlerine odaklanılmıştır. Mevcut çalışma, farklı yeraltı suyu kalite sorunları hakkında bütünsel bir anlayış sağlamış ve önceki çalışmaların boşluklarının belirlemesi amaçlamışlardır. Çalışmada F, NO_3^- , ağır metaller ve radyonüklidlerin toksisiteleriyle ilgili farklı yeraltı suyu kalite sorunları belirlemişlerdir. Yeraltı suyu kirleticilerinin büyük çoğunluğu doğal kökenli olduğu, ancak bölgede ağır metallerle yeraltı sularının kirlenmesine yol açan önemli miktarda atık su deşarjının da bulunduğu tespit etmişlerdir (Mallick vd., 2021).

Çalışma Tolluca Vadi yakınında Belediye depolama alanı olan çöp sahasında sularda fiziko-kimyasal değerleri ile yeraltı suyu kalitesi ve hidrojeokimyasal işlemlerin

değerlendirilmesini yapmışlardır. Amaç belediye depolama alanının, yakınındaki bir alanda yeraltı suyunun kimyasal bileşimini belirleyen fizikokimyasal kalite ve hidrojeokimyasal süreçler üzerindeki etkisini tespit etmektir. Su numunelerinde pH, sıcaklık, EC, DO, ORP, HCO_3^- , PO_4^{3-} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ ve organik madde (OM) analizi yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre çalışma alanına su sağlayan yeraltı suyu kalitesi, sıhhi depolama sahasından gelen sızıntı suyu sızması nedeniyle etkilendiğini bildirmişlerdir (Dávalos-Peña vd., 2021).

İçme sularının oluşturduğu tatlı su kaynağının kalitesinde; fizikokimyasal parametreleri analiz etmek bunlara ek olarak, su kaynağının türü ve coğrafi konumunun önemli olduğu bildirmişlerdir. İran'ın orta çölü, Semnan Eyaleti, Garmsar şehrinin bir bölgesinde 13 lokasyon seçilmiştir. Bu bölgeden 40 adet su numunesi alınmıştır. Alınan su numunelerin TDS, EC, TH, Cl^- , Ca^{+2} ve Mg^{+2} parametreleri örneklenerek yeraltı suyu kalitesi araştırılmıştır. Su kalite indeksi kullanılarak parametrelerin YAS etkisi ve ağırlığı incelenmiştir. Analiz neticesinde su kalite indeksi WHO belirlediği standartlara göre, 7, 11 ve 21 örneğin durumları sırasıyla ortalama, kötü ve çok kötü kalite olarak belirlemişlerdir. Mg^{+2} değeri 40,88 mg/L WHO' göre sınır değerinin altındadır. EC değeri 2.087,49 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve Cl^- değeri 1.015,87 mg/L ortalamaları küresel ve ulusal limitleri aştığı belirtmişlerdir. Su kalitesinin TH açısından sınıflandırılmasında sular sırasıyla çok sert (%87,5), sert (%7,5) ve orta (%5) olarak belirtmişlerdir. 13 lokasyondaki Coğrafi dağılıma göre 4 ve 11 numaralı bölgedeki içme suyu su kalite indeksine göre uygun bulunmadığını tespit etmişlerdir. Cl^- elementi sorumlu kirletici ve indeksi yükselten en önemli iyon olarak saptamışlardır (Abolli vd., 2022).

Gana'nın başkenti Accra'daki çeşitli kent çevresi topluluklarında 600.000'den fazla sakinin kullanımına sunulan yeraltı suyunun kalitesini ve uygunluğunu değerlendirmişlerdir. 36 adet sondaj kuyusundan numune toplanıp, fiziko-kimyasal parametrelere göre evsel ve sulama amaçlarına uygunlukları açısından analiz edilmiştir. Ek olarak WQI, sodyum emilim oranı ve ilgili istatistiksel çizimler, yeraltı suyunun kalitesini, evsel ve sulama amaçlarına uygunluğunu değerlendirmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, ölçülen parametrelerin neredeyse tamamının WHO tarafından içme suyu için önerilen değerlerin içinde olduğunu göstermişlerdir. Alınan su numunelerinde elde edilen parametrelerin katyon varlığı $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ ve anyonlar $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{F}^- > \text{NO}_3^-$ şeklindedir. Çalışmada ayrıca temel bileşen ve hiyerarşik kümeleme analizlerini kullanarak yeraltı suyunun kimyasına etki edebilecek mineral çözünmesini ve antropojenik aktivitelerin varlığını tespit etmişlerdir.

Wilcox ve USSSL diyagramlarına dayalı sınıflandırmalar ise bölgedeki yeraltı suyunun genel olarak sulama için de uygun olduğunu göstermişlerdir (Hagan vd., 2022).

Suudi Arabistan Al-Ahsa Vahasında 2023 yılında arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı ve sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesini yapmışlardır. Al-Ahsa Vahası'ndaki su, sulama suyu kalite indekslerinin/irrigation water quality index (IWQI'ler) yardımıyla değerlendirilmiştir. Bölgede çeşitli sulama suyu kaynaklarından 148 adet su numunesi alınmıştır. Su kalitesinin belirlenmesinde; pH, sıcaklık, TDS, EC, NTU, serbest klor, toplam sertlik, Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Co^{2+} , Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^+ , B, NO_2^- , organik madde indeksleri (DO, BOI_5 , KOI_5) ve (Nh_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}) analizlerini yapmışlardır. Bu çalışmada kullanılan IWQI'ler arasında PS, SAR, KR, SSP, PI, RSC ve MH eşitlikleri yer almaktadır. Çalışma sonucunda, arıtılmış atık suyun yeraltı suyuyla karıştırılmasının sulama için kabul edilebilir olduğunu göstermişlerdir (Badr vd., 2023).

Suudi Arabistanın Al-Jouf bölgesindeki içme ve sulama suyu olarak kullanılan yeraltı suyunun kalitesi araştırılmıştır. YAS kuyularından su numuneleri alınarak, mahalinde ve laboratuvar ortamında sırasıyla; TDS, pH, EC, sertlik, Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Co^{2+} , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , B, Nh_4^+ , NO_2^- , NO_3^- gibi parametrelerini belirlemişlerdir. Yeraltı suyunun içme amaçlı uygunluğunu belirlemek için (WQI) hesaplamışlardır. Yeraltı suyunun sulamaya uygunluğunu değerlendirmek için ise EC, %Na, MH, SAR, PS ve KR değerlendirmişlerdir. Bu sonuçlara göre parametreler arasındaki korelasyonu ortaya çıkarmak ve WQI'yi tahmin etmek için etkili istatistiksel testler ve ileri beslemeli sinir ağı/ Feed Forward Neural Networks) (FFNN) modellemesini uygulamışlar ve. yeraltı suyunun içme ve tarımsal sulamaya uygunluğu FFNN yardımıyla tespit etmişlerdir (Alrowais vd., 2023).

Aydın Durasallı da 14 farklı kuyuda kaynak sularının, hidro – jeokimyasal özellikleri incelendiği bildirilmiştir. Çalışılan kuyulardan alınan numunelerin sonuçların değerlendirilmesinde; suların insan sağlığına etkileri dermal ve oral açıdan riskleri US-EPA tarafından hazırlanan protokole göre 'Suların kanser riski değerlendirme yöntemi' esas alınmıştır. Alınan su numunelerinde EC, pH, °C, TDS sahada ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi; Piper, Schoeller, Wilcox ve USSD Diyagramları kullanılmış, anyon ve katyon değerliklerinden SAR, %Na, MR, PI, TDS, KR eşitlikleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca insan sağlığı üzerinde olan riskler de araştırmıştır (Uyar, 2023).

Suudi Arabistan'ın Tabuk bölgesinde yüzeysel suların yetersizliğinden kaynaklı yeraltı suyu kullanılmaktadır. Yeraltı suyu içme, kullanma, tarım ve sanayide için kullanılan önemli bir kaynaktır. Bu çalışmanın amacı bölgenin yeraltı suyunun kalitesini incelemektir.

Buna göre; Tabuk bölgesinden 80 adet su kuyusundan numune alınmış, numunelerin anyon ve katyon değerleri; K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- elementlerinin analizi gerçekleştirildiği bildirilmişlerdir. Sıcaklık, alkalinite (ALK), pH, TDS, EC, TH, oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) konsantrasyonları ölçmüşlerdir. Su kimyası sınıflandırması, Piper diyagramı ve Gibbs diyagramı kullanılarak değerlendirmişlerdir. Hidrojeokimyasal parametrelerden; SAR, RSC, PI, CR, MH, Na%, KR ve HI belirlemişlerdir. Yeraltı suyu numunelerinin % 92,5'inin arıtma işlemlerinden sonra içme ve sulama amaçları için uygun olacağı paylaşmışlardır (Fallatah ve Khatlab, 2023).

Hindistan'ın Noyyal nehri kıyısında, tekstil endüstrilerinin yeraltı suyunun kalitesini nasıl etkiledi araştırılmışlardır. Noyyal Nehri'nin aşağı akışını takip edilerek Tirupur'daki on beş tesadüfî noktadan yeraltı suyu numuneleri alınarak yeraltı su kalitesi değerlendirmişlerdir. Su numunelerinin K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- , pH, TDS, EC, TH gibi parametrelerin analizlerini yapmış olduklarını bildirmişlerdir. Yeraltı suyu kalite endeksi (UWQI) de test sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Noyyal Nehire işlenmemiş endüstriyel atıklar ve belediye atık suları nehre deşarj edilmesi sonucunda yeraltı suyu kalitesinin önemli ölçüde etkilendiğini göstermişlerdir. Yeraltı suyunun kalitesini korumak için uygun bir eylem planının yürütülmesi gerektiğini bildirmişlerdir (Krishnamoorthy vd., 2023).

Sindh'in Haydarabad şehrindeki kurak bölgenin yeraltı suyunun kalitesi araştırılmıştır. Bu bölgede bulunan Kotri barajının aşağısındaki Indus Nehri kıyısına yakın sığ kuyulardan 13 adet muson öncesi ve muson sonrası, mevsimine göre su numuneleri alınmıştır. Alınan su numunelerinin fiziko-kimyasal değerlerinin analizini yapmışlardır. Analiz sonuçlarına göre TDS 320-4.011, TH 120-1.320, CI 160-2.260 ve SO_4^{-2} 61-777 mg/L arasında saptamışlardır. pH ise 6,9-8,1 arasında değişkenlik göstermiştir. WHO içme suyu için belirlediği kılavuz değerlerin aksine, sığ bir akiferde yüksek miktarda fiziko-kimyasal parametrenin varlığını göstermişlerdir. Yeraltı su kalite bileşenlerinin konsantrasyonunu tahmin etmek için doğrusal regresyon denklemleri geliştirmeye çalışılmıştır. Birçok parametre arasında %1 ve %5'te önemli derecede pozitif bir korelasyon bulunmuş olup, TH 0,969; CI 0,988 ve SO_4^{-2} 0,994 değerleri konveksiyonel yaklaşım kullanılarak (0,05) önemli bulmuşlardır. Ancak yıl boyunca muson öncesi ve sonrası mevsimlerin başlangıcında su kalitesinde belirgin bir değişiklik gözlemlenemediğini bildirmişlerdir (Memon vd., 2023).

Ouagadougou, üç milyon nüfusa sahip ve yeterli kalitede suya olan talebin arttığı bir şehirdir. Su temininin karşılanması için YAS kuyuları açılması öngörülmesine rağmen

antropojenik kirlenmeye karşı korumaları yetersiz olduğu bildirmişlerdir. Ouagadougou'daki kentsel yeraltı suyunun kalitesini ilk kez değerlendirmek için, toplam 32 sondaj suyu örneği toplanmış ve yerleşik yöntemler kullanılarak bakteriyolojik ve fizikokimyasal özellikler açısından değerlendirmişlerdir. Potansiyel tehlikeleri ve katkıda bulunan faktörleri belirlemek için örnekleme alanlarında sağlık riski denetimleri ve tehlike değerlendirmeleri yapmışlardır. Risk faktörleri ve su kirliliği arasındaki ilişkileri belirlemek için istatistiksel analiz kullanmışlardır. Çalışma, Ouagadougou'daki yeraltı suyunun *T.coliform*, *E-coli* ve NTU ile ilgili önemli uyumsuzluklarla birlikte düşük kalitede olduğunu ortaya konmuş 19 sondajdan alınan su örnekleri (%59) *T.coliform* ve 11 kuyudan (%34) alınan su örnekleri *E-coli* ile kirlenmiş olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca ek olarak, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus* ve anaerobik sülfid indirgeyici bakterileri saptamışlardır. Su bulanıklığı, pH, NO_3^- , F ve Fe için fiziko-kimyasal kalite gerekliliklerinden sapmalar gözlemlenmiştir. Risk analizi, en yüksek riskli uygulamaların çamur yayma veya çöp yığını, latrin, septik tank veya sondaj deliğinin yakınında kirli su olması olduğunu göstermişlerdir. Bu sonuçlara dayanarak, halk sağlığını korumak için yetkililer, Ouagadougou'daki bu önemli içme suyu kaynaklarının çevresinde bu tür uygulamaları yasaklamak için katı önlemler almalarını bildirmişlerdir (Traoré vd., 2023).

Yeraltı suyu kaynakları, Jiaodong Yarımadası'nın (CRJP) kıyı bölgesinde birincil su kaynağını oluşturur ve sosyo-ekonomik kalkınma ve belediye su temini için önemli bir kaynaktır. Makalede, 2017 yılında toplam 73 numunenin yeraltı suyunun hidrojeokimyasal özelliklerini değerlendirilmişler, matematiksel istatistik ve hidrokimyasal teknikler kullanarak kimyasal bileşimi ve çevresel faktörleri kapsamlı bir şekilde analizini yapmışlardır. TDS ve pH sonuçlarına göre su zayıf alkalidir. Yeraltı suyundaki katyon sonuçları $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ iken, anyon $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{NO}_3^-$ şeklindedir. Piper diyagramına göre, yeraltı suyu örnekleri ağırlıklı olarak $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\cdot\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ ve $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}\cdot\text{Na}$ tiplerinde kümelenmiştir. Ek olarak, yeraltı suyunun birincil kimyasal bileşenlerinde önemli mekânsal farklılıklar tespit etmişlerdir. Bölgedeki hidrojeokimyasal özellikler hem doğal hem de insan faaliyetlerinden etkilenmiştir. Doğal unsurlar silikat kayaçların aşınması, alçı ve karbonat minerallerinin çözünmesini içerirken, insan kaynaklı endüstriyel ve madencilik faaliyetlerini, tarımsal uygulamaları ve evsel atık deşarjını içerdiğini tespit etmişlerdir. Sağlık açısından risk değerlendirmesinde, içme suyu yoluyla nitrat alımının oluşturduğu kanserojen olmayan parametrelerin bebeklerin yetişkinlere, gençlerin çocuklara kıyasla önemli ölçüde yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, CRJP içindeki belirli

bölgelerde incelenen yeraltı suyunda dikkate değer deniz suyu sızma etkileri görmüşlerdir (Gao vd., 2023).

Chota Nagpur Platosunda bulunan yeraltı suyunda meydana gelen kirlenme endişeye yol açmıştır. İçme ve sulamada kalite standartlarına sahip sulara ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Suların kalitesi hem insan sağlığına hem de bitkiler için önem teşkil etmektedir. Bu nedenle, içme ve sulama amaçları için kullanımını belirlemek üzere yeraltı suyu kaynaklarının uygun şekilde planlanması ve yönetimi için yeraltı suyu kalitesini bilmek çok önemlidir. Çalışmada yeraltı sularından elde edilecek fizikokimyasal değerlere göre; içme suyu ve sulama suyunun kalitesini belirlemişlerdir. Sulama suyunun uygunluğu için SAR, SSP, MH, KI, PI'nin analitik hesaplamaları yapılmıştır. Piper, USSS ve Durov diyagramı aracılığıyla hidro-kimyasal fasiyesler değerlendirilmiştir. Bu bölgede orta ila yüksek tuzluluk ve düşük ila orta sodyum tehlikeleri göstermiştir. Bu araştırma bulguları, özellikle kurak bölgelerde yeraltı suyu kaynaklarının yönetimi ve tarımsal sürdürülebilirlik konusunda politikacılara ve yöneticilere yardımcı olacağı sonucuna varmışlardır (Ghosh ve Bera, 2023).

Taihu Gölü, Çin'de tipik bir ötrofik göldür. Çalışmada, Taihu Gölü Havzası'nın çevresindeki akiferdeki yeraltı suyunun hidrokimyasal bileşimi analiz edilmiştir. Sonuçlar ilgili protokollerle karşılaştırılıp sınıfı tespit etmişlerdir. Yeraltı suyunda baskın elementlere bakılmış ve bu elementlerin kaya morfolojisi ve antropojenik sebeplerden etkilendiğini saptamışlardır. Çalışmanın amacı göl ötrofikasyonunun yeraltı su yolları üzerindeki etkileri daha iyi anlamaya yardımcı olarak kılınmıştır (Ma vd., 2023).

Güney Hindistan'da bulunan Dindigul ve Vedsandur taluklarında çeşitli alanlarda kullanılan yeraltı suyunun kalitesi incelenmiştir. YAS kuyularından toplam 36 adet su numunesi toplamışlardır. Yeraltı suyunun içme suyu olarak kalitesinin belirlenmesi amacıyla numunelerin iyon konsantrasyonu, TDS, TH, fiziko-kimyasal parametreleri WHO belirttiği standartlara göre karşılaştırma yapmışlardır. Sulama amaçları için SAR, EC, KI, MH, PI parametrelere bakıldığını bildirmişlerdir. Bu bölgenin kuzeybatıdaki birkaç kuyu hariç çoğu kuyunun içme suyuna uygun olduğu görülmüştür. Tarımsal kullanım için suyun kalitesi genel olarak kabul edilebilir düzeyde olduğunu bildirmişlerdir (Subramaniyan vd., 2024).

Yeraltı suyunun kalitesini etkileyen faktörler; küresel ısınma, nüfus artışı, tarımsal yoğunlaşma ve artan endüstriyel faaliyetlerdir. Yeraltı suyunun kalitesinin tespit edilmesiyle beraber sulardaki kirlenme durumları ve doğal kaynakları uzun vadede koruması

amaçlanmıştır. Bu çalışmada Fas'ın Kuzey Batısında içme suyu için kullanılan yeraltı suyunun fizikokimyasal parametrelerini değerlendirilmiş ve grafiksel diyagramlar (Piper ve Schoeller Berkloff) ve GIS enterpolasyon araçları kullanarak bunların jeojenik ve jeojenik olmayan kökenlerini belirlenmiş ve yeraltı suyu kalitesini yöneten ana jeokimyasal süreçleri anlatmışlardır. Çalışma bölgesinin kırsal alanında bulunan 51 noktadan su numunesi alınarak Bouregreg havzası ve Sebou havzasının güney kesimindeki yeraltı suyunun fiziko-kimyasal parametrelerinin analizi yapılmıştır. Suların fiziko-kimyasal su parametreleri (pH, TH, TAC ve EC, K^+ , Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- ve SO_4^{-2}) ölçülmüştür. Yeraltı suyu hidrokimyasal fasiyeslerini belirlemek, jeoloji ve antropojenik faktörlerle ilgili tahmini parametrelerin mekânsal dağılımını incelemek için Piper diyagramları ve ArcGIS kullanılmıştır. Ölçülen değerler WHO'ne göre değerlendirilmiştir. Ayrıca Piper ve Schoeller Berkloff diyagramlarına göre asitleri sınıflandırılmışlardır (Nassri vd., 2024).

Bangladeş'teki çeşitli sanayi bölgelerinden gelen yeraltı suyu kalitesi, kaynağın endüstriyel kullanım için uygun kalitede olup olmadığını belirlemek için araştırma yapılmıştır. Sertlik, pH, NTU, TDS, alkalinite, Cl^- içeriği, çözünmüş demir ve toplanan yeraltı suyunun iletkenliği gibi su kalitesini belirleyen parametreler ölçülmüştür. Gazipur ve Mymensingh bölgelerinden gelen yeraltı suyunun kalitesinin, incelenen diğer bölgelere göre önemli ölçüde dikkat çekici olduğu, diğer bölgelerin yeraltı suyunun da hafif bir işlemle sonra tekstil işleme kullanımı için uygun olduğu tespit etmişlerdir. Çalışmada, tekstil için kullanılan suda herhangi bir kirlilik veya safsızlık olma durumunu araştırmışlardır. Uygun maliyet ve optimum verim tekstil sektörü için sağlaması amaçlamışlardır (Hasan vd., 2024).

Yeraltı suyu hem mevcut hem de gelecek nesiller için önemlidir. Çalışmada İran'da bulunan yeraltı suyunun kalitesinin belirlenmesi için yaklaşık yirmi yıllık olan yeraltı suyunun jeokimyasını içeren bir meta-analizi uygulamışlardır. Buna göre; pH, EC, SO_4 , Cl , Na , HCO_3 , Ca , Mg , CO_3 , NO_3 , K parametre değerleri ilgili standartlara göre karşılaştırılmıştır. Analiz değerlerine göre; İran'daki yeraltı suyunun kalitesini antropojenik faaliyetlerden yoğun bir şekilde etkilediği tespit etmişlerdir. Genel olarak, kuzey ve kuzeybatı illeri yeraltı suyu kalitesi açısından merkez, güney ve doğu illerine kıyasla daha düşük bir genel ortalama sunmuştur. Yeraltı suyunun kalitesinin iyileştirilmesi için tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin azaltılması, uygun arazi kullanım planlaması, İran'ın merkez, güney ve doğu bölgelerinde gerçekleştirilmesi gereken uygulamalar olduğunu ifade etmişlerdir (Jalali ve Jalali, 2024).

Yeraltı suyunun önemi insan yaşamı için büyüktür. Yapılan bu çalışmada Batı

İran'da 15 yılı kapsayacak şekilde yeraltı suyunun jeokimyasını kontrol eden ana faktörler araştırılmışlardır. Buna göre; 1030 veri noktasından suyun hidrojeokimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen analizler sonucunda sular sınıflandırılmıştır. Su kimyasında bulunan parametreler tespit edilmiştir. Ayrıca, NO_3^- ilgili insan sağlığı üzerindeki kanserojen olmayan etkiler değerlendirilmiştir. Sular sınıflandırılmıştır. Analiz sonuçlarının önemi, yarı kurak, kurak ortamlardaki ve benzer yeraltı sularındaki anyon ve katyonların nihai olarak tahmin edilmesini kolaylaştırma potansiyelini sağlamaktadır. Yerel halk için kanserojen olmayan sağlık risklerini azaltmak amacıyla uygun eylemler yapılmalıdır. Bölgedeki tarım alanlarının çoğunun birincil toprak dokuları kumludur ve NO_3^- sızıntısı mevcuttur. Bu nedenle, çalışma bölgesindeki yeraltı suyunun kalitesini korumak için kimyasal ve organik gübrelerin aşırı kullanımından kaçınılmalıdır. Bu bulgular, yeraltı suyu kalitesinin anlaşılmasına ve korunmasına katkıda bulunacak ve aynı zamanda benzer çevresel özelliklere sahip kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yönetim stratejilerine bilgi temin edeceği bildirilmişlerdir (Jalali vd., 2024).

Nüfus yoğunluğunun fazla olduğu ve endüstriyel olarak gelişmiş bölgelerde, kirlenmiş yeraltı suyu insan sağlığı için önemli riskler meydana getirmektedir. Yeraltı suyu kalitesinin kapsamlı bir şekilde araştırılması açısından Shandong Eyaletindeki tipik bir kıyı sanayi şehrinde gerçekleştirilmiştir. Bu bölgedeki su analizlerin sonucu suların öncelikle zayıf alkali, ve sert tatlı su ile karakterize edildiğini, hidrokimyasal tiplerin çoğunlukla Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{+2} ve HCO_3^- , Cl^- Ca^{+2} dan oluştuğu gözlemlenmiştir. Hidrokimyasal bileşim öncelikle karbonat kaya çözünmesi ve kaya aşınması ile kontrol edilir. Daha güçlü pozitif katyon değişimi, yeraltı suyundaki Na^+ ve K^+ iyonlarının Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarıyla yer değiştirmesiyle sonuçlandığı belirtilmiştir. Bölgedeki su kalitesi sınıflandırmışlardır. Buna göre sular; iyi (%14), orta (%54), zayıf (%18) ve son derece zayıf (%14) ve yeraltı suyu olarak ayrılmıştır. Suların %32'si içilemez olarak tespit etmişlerdir Yeraltı suyunun yaklaşık %59'u çeşitli düzeylerde kirlilik saptamışlardır. Makalede , YAS kuyularının geliştirilmesi için referans olacağı ifade etmişlerdir (Hu vd., 2024).

Yeraltı suyu, yüzey suyundan sonra dünyanın en büyük ikinci tatlı su kaynağı olarak bilinmektedir. Çalışmada insan faaliyetlerinde sebep olduğu, iklim değişimi ile beraber yeraltı suyunun kalitesine olan etkiyi değerlendirmektedir. İklim değişikliği, yeraltı suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirme potansiyeline sahiptir ve dolayısıyla ekolojik işlevleri etkiler. Yeraltı suyunun iklim sistemine verdiği tepkiler, doğal ve antropojenik süreçler yoluyla iklimin yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkileriyle ilgili önceki çalışmalar

incelemişlerdir. Ayrıca sulardaki pH, çözülmüş oksijen seviyesi, tuzluluk, organik ve inorganik bileşikleri değerlendirilmişlerdir. İklim değişimi ile beraber su kalitesinin değişimine bakmışlardır (Dao vd., 2024).

İran'da bulunan Gorgan akiferinin su kalitesinin belirlenebilmesi için kuru ve yağışlı mevsimde 68 adet yeraltı su numunesi toplamışlardır. Bu numunelerin pH, EC, TDS, Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , TH, F, NO_3^- , NO_2^- , Cl^- , Na^+ ve K^+ parametrelerinin analizleri yapmışlardır. Çalışmada, içme, sulama ve endüstriyel kullanımlar için kabul edilebilirlik konusunda yeraltı suyunun hidrojeokimyasal karakterizasyonundan net bir sonuç alınmış, fakat kurak dönemde mineral çözünmesi, tuzlu su girişi ve antropojenik süreçlerle ilgili riskleri tahmin etmek için daha fazla izlemesi gerekliliği sonucuna varmışlardır (Faraji ve Shahryari, 2024).

Çin'de bulunan bir senklinal havzada karstik arazi tipine sahip bölgede, antropojenik aktivitelerin bu jeolojik yapıdaki zeminin yeraltı suyundaki hidrokimyasının ve su kalitesi üzerinde olan etkisi araştırmışlardır. Sonuçlar suyun hidrojeokimyasal analiz, çok değişkenli istatistiksel analiz ve karst yeraltı suyu kalitesinin çok faktörlü rejim izleme kullanılarak analiz etmişlerdir. Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- ve TDS gibi başlıca iyon bileşenlerinin 1,73-4,59 kat arttığını göstermişlerdir. Ek olarak, iyon bileşen içerikleri öncelikle 2019-2023 yılları arasında stabil olmayan bir durumu göstermişlerdir. Mekânsal ölçekte, deşarj alanındaki karst yeraltı suyundaki birincil iyon bileşenleri, besleme ve akış alanlarındakilerden önemli ölçüde daha yüksek çıkmış ve membadan mansaba, aşağıdan sağından ve solundan çevreden ortaya doğru kademeli bir artış gerçekleştirdiği bildirmişlerdir (Feng vd., 2024).

İran'ın Kazvin Eyaleti'nde tarım için yeraltı suyu kalitesi araştırmışlardır. Bu bölgede araştırma iki aşamada yürütülmüştür. İlk olarak 54 adet numunenin su kalite parametreleri sınıflandırılmıştır. Bunlar: EC, SAR, RSC, TH, Sodyum iyon konsantrasyonu ve klorür konsantrasyonudur. Sular "arzu edilir", "kabul edilebilir" ve "kabul edilemez" olarak üç kategoriye ayırmışlardır. İkinci aşamada ise, yeraltı suyu kalite riskinin olasılıksal haritalarını üreterek Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) uygulamışlardır. Ayrıca 2023 yılında yapılan yeraltı suyu kalite parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yeraltı suyu kalitesinin önemi vurgulanmış, yerel yönetimlerinde önleyici müdahaleler için su kalitesine öncelik vermesine yardımcı olduğunu saptamışlardır. Bu, sürdürülebilir tarım uygulamalarını desteklemekte ve su kaynakları yönetimi için Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi-6 ile uyumlu olduğu sonucuna varmışlardır (Masoudi vd., 2024).

Pulau Kapas, tatlı su kaynakları için baskın olarak yerüstü ve yeraltı suyuna bağımlı olan tropikal bir adadır. Yeraltı suyu kalitesi, Mayıs-Ekim 2022 arasında yeraltı suyu kalitesini etkileyen olası faktörleri belirlemek için aylık numuneler almışlardır. Numunelerin fiziko-kimyasal parametreleri yerinde ve laboratuvarında analizleri yapılmıştır. Sonuçlara bakıldığında tatlı su ihtiyaçları için deniz suyu girişinin yeraltı suyunu etkilediği tespit etmişlerdir. Pulau Kapas'ın yeraltı suyunun yerüstü su kaynaklarına göre daha güçlü sürdürülebileceği bildirmişlerdir (Cheong vd., 2024).

Yeraltı suyu, Dongjiang-Hanjiang Nehri Havzası'nın hızlı ekonomik kalkınmasında önemli bir rol oynadığı, anılan havzada YAS'ın kimyasal özelliklerini ve kalitesini tahmin etmek için Gibss modeli, iyonik oran katsayısı analizi, faktör analizi, su kalitesi endeksi yöntemi ve insan sağlığı risk değerlendirme modeli kullanmışlardır. Hanjiang Nehri Havzası'nda bulunan suyun SO_4^{-2} iyon konsantrasyonu ve oranı, Dongjiang Nehri Havzası'ndaki SO_4^{-2} iyon konsantrasyonu ve oranından daha yüksek çıktığı bildirilmiştir. Yeraltı suyunda bulunan iyonlar; karbonat, silikat ve tuzlu kayaçların çözünmesinden oluşmuştur. Ayrıca endüstri ve madencilik gibi sektörlerin faaliyetleri de etki etmiştir. Hanjiang Nehrinde endüstri, tarım ve madencilik gibi sektörlerdeki yoğun faaliyetler Dongjiang Nehri Havzası'ndan daha fazla olduğu bildirmişlerdir. Bu nedenle yeraltı suyunun kalitesi Dongjiang Nehrine göre daha düşüktür. Sanayileşme nedeniyle Hanjiang Nehri Havzası'ndaki su, Dongjiang Nehri Havzası'ndaki suya göre sağlık riski açısından daha yüksektir. Bu havzalardaki yeraltı suyunun; kirliliğin önlenmesi ve kontrolü için referans alınarak küresel çapta benzer alanlar için başvurulabilecek önemli bir kaynak görevi görebileceği belirtmişlerdir (Lu vd., 2024).

Fas'ın güneydoğu kesimindeki kurak bölgelerden biri olan Güney Atlas bölgesindeki yeraltı suyunun hidrojeokimyasal özelliklerini ve sulama uygunluğunu çalışmışlardır. Coğrafi dağılımlarına ve hidrojeolojik önemlerine göre sistematik olarak 50 adet yeraltı suyunda örnekler toplanmıştır. Yeraltı suyunun kalitesini etkileyen başlıca faktörler sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, jeokimyasal modelleme ve Piper üç doğrusal diyagramı yardımıyla IWQI, SAR, %Na, PI, MH ve Potansiyel tuzluluk (PS) gibi çeşitli IWQI kullanarak yeraltı suyunun sulamaya uygunluğunu değerlendirmişlerdir (Laghrib vd., 2025).

Hindistan'ın Ambala bölgesinin belirlenen noktalardan içme-kullanma suyu numuneleri toplandığını bildirmişlerdir. Çalışmanın amacı kış aylarında su kalitesinin insan sağlığına etkisi incelenmesidir. Buna göre alınan numunelerin F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} ve

HCO_3^- , ve su numunelerinde ağır metallerin analizi yapılmıştır. Analizlerin sonuçlarına göre APHA, BIS ve WHO tarafından belirtilen standartlarla karşılaştırılarak kış aylarında yetişkinlerin ve çocukların sağlık sorunlarıyla bağlantısı tespit edilmeye çalışılmışlardır. Ayrıca sulama suyu uygunluğu kontrol edilmiştir. Çalışmanın neticesinde ilk kez seçilen alandaki musluk suyu özellikleriyle ilişkili toksisite seviyelerini bildirilmiş ve doğrudan tatlı su ve sulama suyu alımına ilişkin tehlike analizinin yeni bulguların tartışılmasına dikkat çekmişlerdir (Kamboj ve Singh, 2025).

Mısır'ın orta kesiminde yer alan Batı El-Minya bölgesinin yeraltı suyunun içme ve tarımsal amaçlarla uygunluğu incelemişlerdir. Buna göre bölgeden toplanan su numunelerinin fizikokimyasal değerlerinin analizi yapıp Piper ve Gibbs diyagramları oluşturulmuştur. WQI kullanılarak içme suyu kalitesi değerlendirmişlerdir. İçme suyu olarak %75 uygun görülmüştür. Özellikle Batı El Minya bölgesinin güneyinde ve ortasında, Ayrıca sulama suyuna göre uygunluğunun tespit edilebilmesi için IWQI göre analiz yapılmıştır. Bu çalışma, su kalitesindeki kırılganlığı göstermiş ve yeraltı suyu yönetiminin iyileştirilmesi ihtiyacını vurgulamıştır. Sulama sıklığının ayarlanması, damla ve yağmurlama sistemleri gibi modern sulama yöntemlerinin kullanılması, su kullanım verimliliğini artıracak ve yeraltı su kaynaklarının tükenmesini azaltabileceğini göstermişlerdir (Alzahrani vd., 2025).

Dünyanın vazgeçilmez kaynağı olan yeraltı suyu, artan kirlenme tehditleriyle karşı karşıya olup, insan sağlığını ve çevresel sürdürülebilirliği tehlikeye atmaktadır. Yapılan bu çalışma, Pakistan'ın Sargodha şehrinde yeraltı suyunun kalitesi, kullanılan içme sularına bağlı olarak insan sağlığı tehdit eden riskler hakkında bilgi vermektedir. Hidrojeokimyasal analiz, ters jeokimyasal modelleme, yeraltı suyu kalite endeksi ve insan sağlığı risk değerlendirmesinde bildirilen; TDS, EC, TH, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , N ve As seviyelerinde WHO yayınlamış olan protokollere göre değerlendirmişlerdir. İçme suyundaki kirliliklerin nedenleri araştırılmış ve kentsel bölgelerdeki benzer yeraltı suyu kirliliklerin olabileceğine dikkat çekmişlerdir. Çalışmada içme sularındaki kirliliğin tespit edilmesiyle, halk sağlığının korunması için benzer hidrojeokimyasal koşullara sahip alanlarda, sürdürülebilir su yönetimini sağlamak için referans kabul etmişlerdir. (Fida vd., 2025).

Hindistan'nın içme ve sulamada kullanılan önemli kaynaklardan biri olan Krishna Nehri'nin kirlenmiş yeraltı suyunun sürdürülebilirliği incelemişlerdir. Bu bölgeden farklı mevsimlere göre 142 adet numune toplanmıştır. Alınan numuneler içme-kullanma, sulama suyu kalite endeksleri ve sağlık riski değerlendirmesi için uygunlukları geçerliliği olan

güncel protokollerle incelenmiştir. Numunelerin fizikokimyasal parametrelerin analizi yapılmıştır buna göre katyonların sudaki miktarı $Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^{+} > Na^{+}$ ve anyonlar $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-} > F^{-}$ olarak gözlenmiştir. Sulama suyunun uygunluğunun tespiti için MR, KI ve sodyum emilim oranına bakılmıştır. Yeraltı suyunun fizikokimyasal ve hidrojeokimyasal analizleri sonucunda, sığ akifer derinliğindeki yeraltı suyunun içme ve sulama amaçları için orta derecede güvensiz olduğu gözlemlenmiştir (Sathe vd., 2025).

Abu Ali yeraltı suyunun hidrojeokimyasal parametrelerinin analizleri yapılarak su kalitesine bakılmıştır. Buna göre; 2019 ve 2020 yıllarında yağışlı ve kurak mevsimlerde toplam 65 adet su numunesi alınmıştır. Arazide $^{\circ}C$, pH, TDS EC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{-2} , NO_3^{-} ve PO_4^{-3} parametrelerini ölçmüşlerdir. Elde edilen analizler sonucunda sular sınıflandırılmıştır. Baskın hidrokimyasal fasiyeslerin $Ca-HCO_3$ ve $Ca-Mg-HCO_3$ olduğunu, kaya-su etkileşiminin ise birincil jeokimyasal süreç olduğunu göstermişlerdir. Karbonat ayrışması iyonların ana kaynağıdır. Yapılan çalışmada, küme analizi ve temel bileşen analizi (PCA) alınan numuneleri dört gruba ayırmıştır. Birinci grup, kısa bekleme sürelerine sahip yüksek rakımlarda bulunan kaynaklarla karakterize etmiştir. Birinci gruptan daha düşük rakımlarda bulunan kaynaklar, ikinci grup olarak değerlendirilmiş ve aynı jeolojik oluşumu paylaşır ve çok sayıda kuyu içerir. Diğer iki grup, genellikle yoğun tarımsal faaliyetlerin yaşandığı daha düşük rakımlardaki Miyosen akiferini kullanan kuyulardan oluşur. Çalışmanın temel amacı Abu Ali'nin yeraltı suyu hidrojeokimyasal yapısının ön değerlendirmesini sağlamak olduğunu bildirmişlerdir (Haj vd., 2025).

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SKH) 6, su ve hijyenin herkes için erişilebilir olduğunu beyan eder. Güney Hindistan'daki Arjunanadi Nehri havzasında, yüzey sularından ve sondaj kuyularından toplam 94 adet su numunesi toplamışlardır. Çalışmada su numunelerinin TDS, pH, EC, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , NO_3^{-} , SO_4^{-2} ve F^{-} gibi kalite parametrelerine analizi yapmışlardır. Analiz sonucunda içme-kullanma için ilgili yönetmeliklerin protokolleriyle karşılaştırması yapılarak uygunluğu kontrol edilmiştir. Elde edilen parametreler Piper ve Gibs diyagramlarına aktarılmış olup, yorumlanmıştır. Çalışma, yeraltı suyu kalitesini artırmak ve yerel topluluğa sürdürülebilir yeraltı suyu yönetim tekniklerinde yardımcı olmak için çevre dostu önlemler önermiştir ve hükümet yetkililerinin yardımıyla toplumun iyileştirilmesi için sürdürülebilir kalkınmayı sağladığını bildirmişlerdir (Hari Raj vd., 2025).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

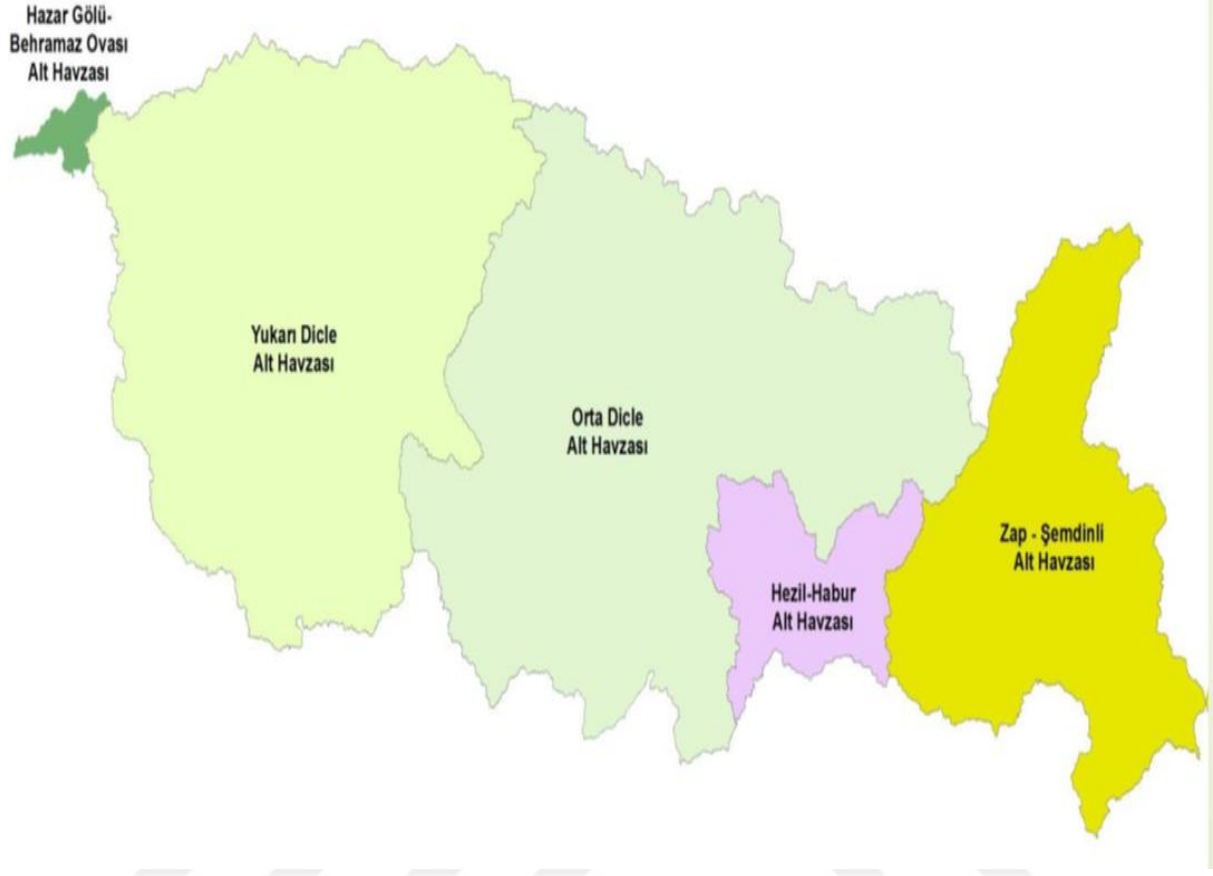
Silopi Ovasında yer alan sondaj kuyularının içme-kullanma ve tarımsal sulamalar açısından yeraltı suyunun kalitesinin değerlendirilmek amacıyla 18 adet YAS kuyularından numune alınarak analizleri mahalinde ve laboratuvar ortamında yapılmıştır. Numunesi alınan 18 YAS kuyusunun koordinatları GBS (Magellan eXplorist 610) ile ölçülmüştür. Aşağıdaki tabloda konum tanımlanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Silopi ovasında alınan su numunelerinin kordinatları

ÖRNEK NUMARASI	ÖRNEK ALMA NOKTASI	X KOORDİNAT	Y KOORDİNAT	RAKIM(m)
S1	SLPOZGNES	37°13'44"	42°28'43"	551
S2	SLPCMHP	37°12'52"	42°30'6"	472
S3	SLPÇRÇRCT	37°11'3"	42°29'34"	419
S4	SLPORTKY YÜ	37°11'45"	42°27'35"	415
S5	SLP VRMLMD	37°11'38"	42°33'32"	456
S6	SLPKPLHÖ	37°10'22"	42°33'54"	423
S7	SLPAKTPSG	37°9'42"	42°31'39"	412
S8	SLPBSVRMLNY	37°12'4"	42°32'20"	482
S9	SLPORTKYSK	37°18'51"	42°32'59"	377
S10	SLPBGDYLCU	37°8'14"	42°23'21"	380
S11	SLPYNKLMP	37°8'57"	42°21'42"	348
S12	SLPBSTNSİ	37°10'27"	42°20'17"	339
S13	SLPKVKÖZA	37°13'13"	42°20'48"	370
S14	SLPVRMLİY	37°12'45"	42°33'12"	495
S15	SLPBŞKYMÖ	37°10'06"	42°29'53"	418
S16	SLPYKRMÖ	37°12'7"	42°35'1"	452
S17	SLPVRMLHLÖ	37°11'57"	42°33'51"	455
S18	SLPBGDLRK	37°9'12"	42°24'33"	369

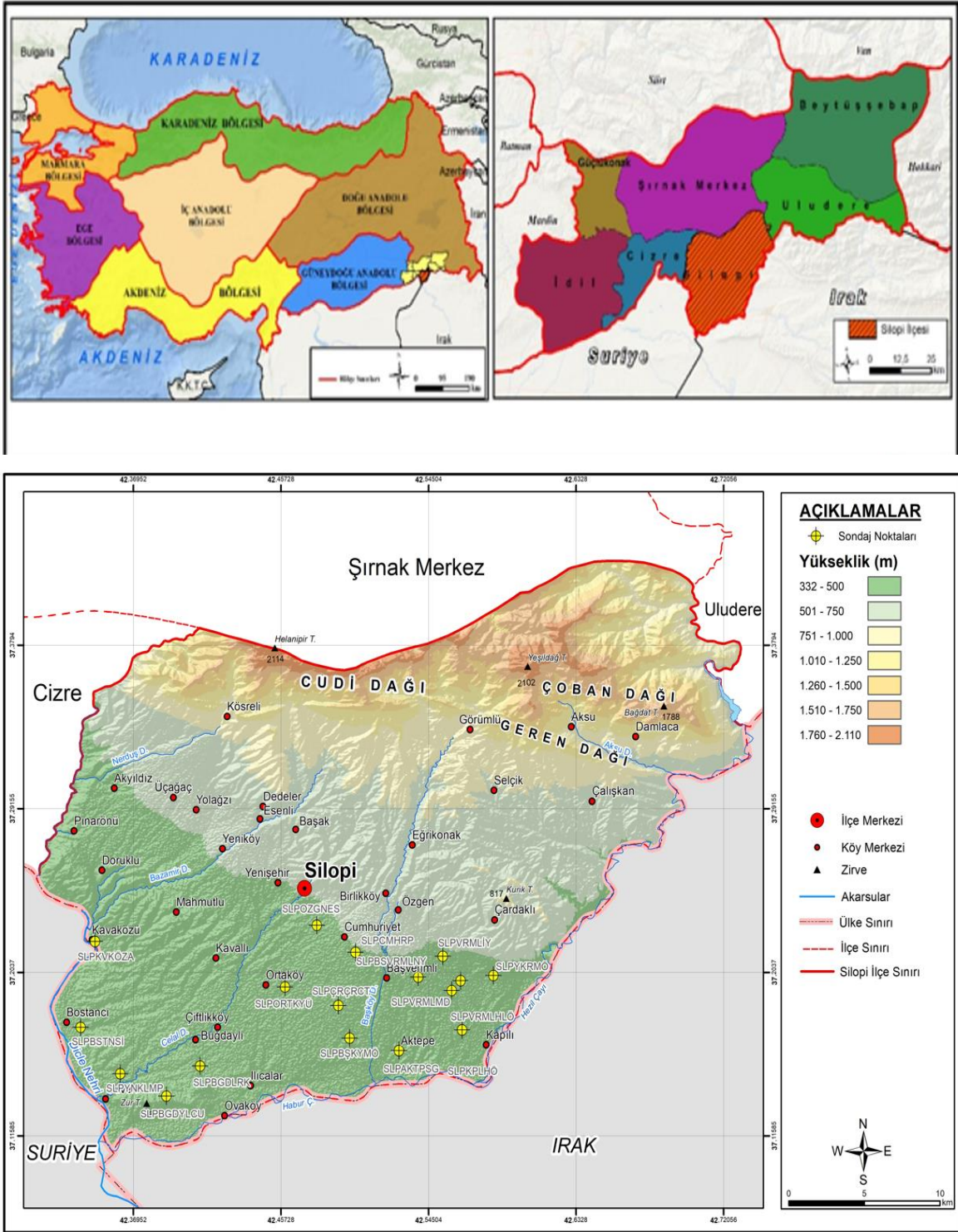
3.1.1. Çalışma alanı

Silopi İlçesi, 37°31' kuzey enlem ve 42°28' doğu boylamları arasında bulunan Şırnak iline bağlı bir ilçedir. Dicle Nehri ve ana kolları ile bu kollar üzerindeki projeler dikkate alınarak Dicle havzası 5 farklı alt havzaya ayrılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3 Dicle havzası

Dicle Alt Havzasına ait alt havzaların tamamını ve/veya bir kısmını kapsadığı İller;
1 Nolu Yukarı Dicle Alt Havzası: Batman, Bingöl, Diyarbakır, Elazığ, Mardin ve Muş
2 Nolu Orta Dicle Alt Havzası: Batman, Bitlis, Mardin, Siirt, Şırnak ve Van
3 Nolu Hezil-Habur Alt Havzası: Siirt ve Şırnak
4 Nolu Zap-Şemdinli Alt Havzası: Hakkari ve Van
5 Nolu Hazar-Behramaz Alt Havzası: Elazığ'dır. Çalışmanın yapıldığı lokasyon, Silopi Ovası Güneydoğu Anadolu'da 3 nolu Hezil Habur alt havzasında Türkiye Suriye ve Irak üçgeninde yer alır. Batıda Hezil çayı ile sınırlanır. Kuzeyi yüksek dağlarla (Cudi Dağının en yüksek noktası 2114 m) çevrilidir. Ova güneye eğimlidir.



Şekil 4. Silopi Ovasının fiziki ve Lokasyon Haritası

3.1.2. Bölgenin jeolojik özellikleri

Bölgenin Jeolojisi Anadolu Platformu, Anadolu– İran Bloğu olarak tanımlanmış ve Türk, Van ve İran levhaları ile Şengör ve Kidd (1979)'in tarif ettikleri Türk- İran platosuna karşılık kullanılmıştır. Doğu Anadolu bölgesinin karakteristik veya türleri, Mesozoyik ve

Tersiyer tortul formasyonlar ile Orta-Üst Miyosen'den günümüze kadar yaşlar veren volkanik serilerdir (Ota ve Dinçel, 1975; Innocenti ve diğerleri, 1976; Şengör ve Kidd, 1979). Ayrıca Anadolu Platformu güncel MTA çalışmalarında da alloktanlar ve paraalloktanlar olarakta bahsedilmiştir. Alt havzada, Güneydoğu Anadolu Otoktonu'na ait Prekambiyen yaşlı Yolcular Grubu bulunmakta ve alt havzanın en yaşlı birimlerini kapsamaktadır. Üst Permian'de Çadırdağ Master Plan Nihai Raporu– Şubat 2017'de Dicle Alt Havzası Master Planı Grubu ve Üst Permian Alt Triyas dönemlerine ait kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, şeyl'den oluşan Çığlı Grubu, uyumsuz bir şekilde Triyas döneminde neritik kireçtaşı, dolomit ve mermer oluşan Cudi Grubu gelmektedir. Kretase döneminde ise tabanında kıtasal kırıntılı birimlerden oluşan karbonatlı yapıya sahip olan Mardin Grubu, aynı döneme ait olan, içerisinde birtakım üye bulunduran ve killi, çörtlü kireçtaşlarından meydana gelen Adıyaman Grubu bulunmaktadır. Paleosen yaşlı birim karasal kırıntılardan oluşan Germav Formasyonu uyumsuz bir şekilde gelmektedir. Yer yer tektonik olarak karışmış ve ağırlıklı olarak volkanik istiflerden oluşan Paleosen yaşlı Baykan karmaşığı gelmektedir. Karasal kırıntılardan oluşan ve içerisinde kireçtaşı blokları bulunan Eosen yaşlı Maden Formasyonu uyumsuz bir şekilde gelmektedir. Stratigrafik olarak oluşum gösteren, Gerçüş Formasyonu, onun üstünde Oligosen yaşlı kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan karbonatlı yapıya sahip geniş yayılım gösteren Eosen Oligosen yaşlı Midyat Formasyonu, daha üstüne ise Oligosen yaşlı jips, şeyl, dolomitlerden oluşan Germik Formasyonu gelmektedir. Bu birimlerin üzerinde ise aynı yaşlı olan ve içerisinde karasal kırıntılı birimlerden oluşan Lice Formasyonu uyumsuz bir şekilde gelmektedir. Alt havzanın Silopi ovasına yakın bölümünde geniş yayılım gösteren Orta Miyosen yaşlı, konglomera, kumtaşı, kilitaşından oluşan Şelmo Formasyonu ile otoktonlar yüzeylenmektedir. Orta Dicle Alt Havzasında bulunan alloktanları 4 ana grup şeklinde yer almaktadır. Bunlar Bitlis-Pötürge-Malatya Napları, Koçali-Karadut napları ve Hezan Formasyonu ve Durankaya, Yüksekova Karmaşığıdır. Alt Havzanın kuzey kesimlerinde geniş bir alanda yayılım gösteren ve alt Havzanın en yaşlı birimini oluşturan Bitlis Metamorfittleridir. Prekambriyen yaşlı olan birim içerisinde metakarbonatlı, metakırıntılılar, metamorfittler tortul kayalar bulunmaktadır. Daha üstte Devoniyen yaşlı Meydan Formasyonu, Koçali-Karadut naplarına ilişkin Koçali Karmaşığı, Karadut Karmaşığı ve Hezan Birimi, en kuzeyde ise Bitlis-Pötürge-Malatya naplarına ait alloktan kütleler izlenir. Bunları üstüne Yüksekova Karmaşığı da gelmektedir. Tüm bu kaya birimleri üzerinde Pliyosen-Kuvaterner yaşlı adlanmamış karasal çökeller, Kuvaterner yaşlı Bazalt, Yamaç Molozu, Alüvyon Yalpazeleri gelmektedir. Akarsuların getirdiği sedimanlarla oluşan Silopi Ovası Alüvyonları yani genç çökelleri bulundurmaktadır. Orta

Dicle Alt Havzasında içerisinde bulunan jeolojik birimlerin alansal dağılımı ilgili olarak en fazla yayılım gösteren jeolojik formasyonlar Midyat Formasyonu (%21.16), Bitlis Metamorfikleri (%17.37) olarak görülmektedir. Bitlis Metamorfikleri, Anadolu Platformu içerisindeki Bitlis Masifi ve napları temsil ederken, alt havza içerisinde en büyük alansal yayılımı gösteren Midyat Formasyon, Güneydoğu Anadolu Otoktonlarına (Arap Platform) ait birimlerdir.

3.1.3. İklim ve meteorolojik özellikleri

Silopi ilçesinin yağış durumuna bakıldığında ilkbahar ve kış mevsimlerinde yağışın olduğu(%90), görülmektedir. Yaz mevsiminde ise belirgin bir yaz kuraklığına sahip olup karasal iklim özelliği bulunur (Silopi meteoroloji verileri).Silopi'nin kuzey tarafı güney tarafına göre kışın daha soğuktur. Cudi dağı tarafından esen soğuk rüzgar kuzeyde kışların daha sert ve soğuk olmasına neden olurken, güney tarafı bakı etkisinden kaynaklı daha ılıktır.

3.1.3.1 Sıcaklık

Silopi'nin rakımı 400 - 800 metre arasında değişmektedir. Sıcaklığa etki eden önemli unsurlardan biri yükseltilerdir. Sıcaklık dağılım haritasına bakıldığında sıcaklığın güneyden kuzeye doğru gidildikçe sıcaklık ortalama değerinin kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Bölgede karasal iklim özellikleri hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak kışlar, soğuk ve yağışlıdır.

Silopi Ovası uzun yıllar verileri incelendiğinde, en düşük sıcaklık değeri ocak ayında 7,5°C olduğu ve en yüksek sıcaklık değeri ise temmuz ayında 35,1°C gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 5). Su Yılı (01 Ekim 2023-30 Eylül 2024) verileri incelendiğinde, aylık ortalama en düşük sıcaklık değeri ocak ayında 8,9 °C olduğu ve en yüksek sıcaklık değeri ise temmuz ayında 35,2°C gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 6). Bu durumda Silopi ovası ve yakın çevresinin sıcaklığın don derinliğine düşmediği gözlemlenmiştir.

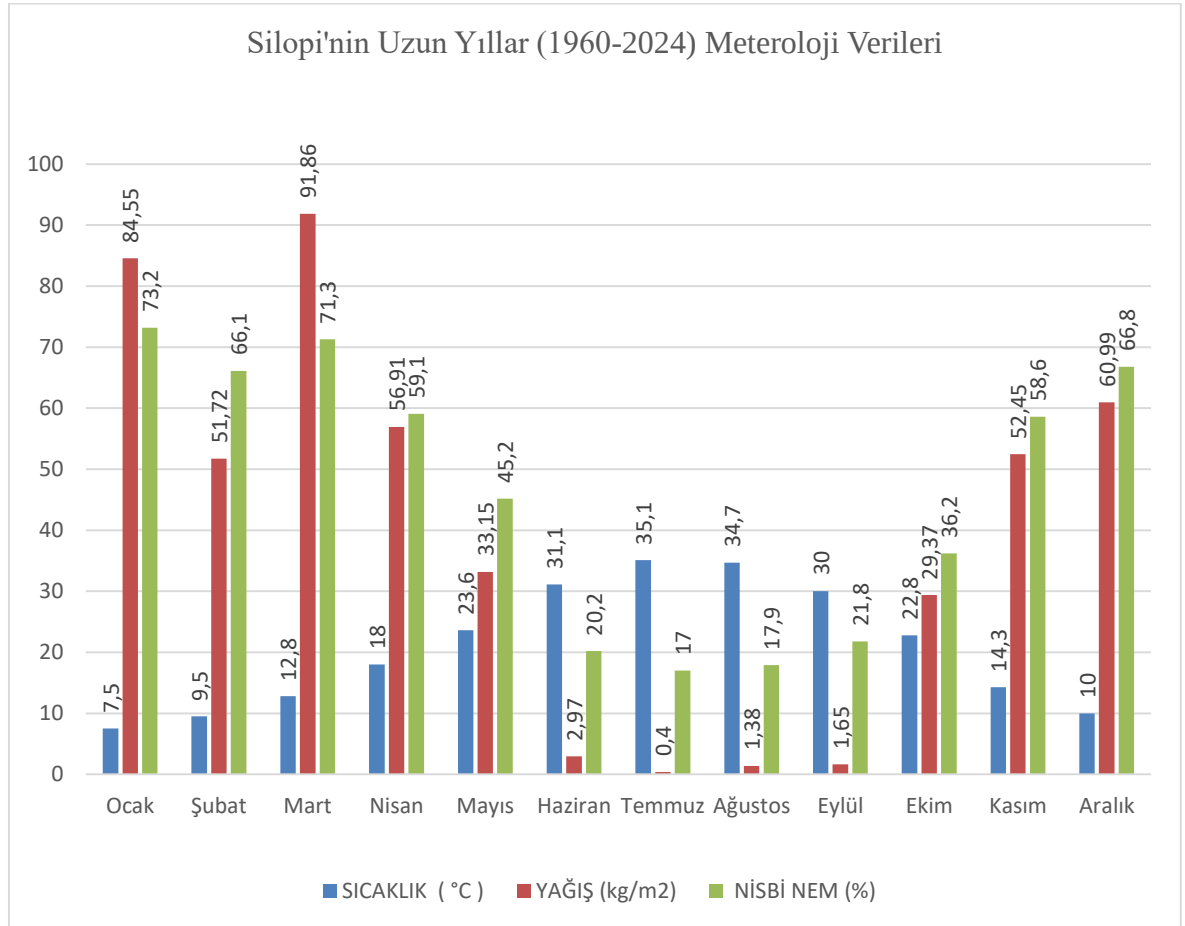
3.1.3.2.Yağış

Silopi meteoroloji müdürlüğünden alınan verilere göre; en az yağışlı dönem uzun yıllar (1960-2024) için Temmuz ayında 0,40, Ağustos ayında 1,38 ve Eylül ayında1,65 kg/m² olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Su Yılına (01 Ekim 2023-30 Eylül 2024) ait verilere bakıldığında, yağış miktarı Haziran ve Temmuz ayında 0,60, Ağustos ayında 0 kg/m² olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Uzun yıllar (1960-2024) için yağışın en fazla olduğu aylar Aralık ayında 60,99, Ocak 84,55 ve Mart 91,86 kg/m² olduğu görülmüştür (Şekil 5). Su Yılı için yağışın en fazla olduğu aylar Ocak ayında 179,80, Şubat 59 ve Mart 146,70 kg/m² olduğu görülmüştür (Şekil 6). Su

yılında sıcaklığın yaz aylarında yüksek olduğu ve buna karşılık yağış değerlerinin oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum silopi’ de karasal iklim özelliğinin hakim olduğu tespit edilmiştir. Silopi Ovasında yağış genel olarak yağmur şeklinde de düşse de Silopi ilçesinin kuzeyinde kalan yüksek dağlara kar şeklinde düşmektedir. Fakat bu bölgede karın yerde kalma süresi kısadır. Bunun nedenleri kış mevsiminin kısa sürmesi, rüzgârın etkisi ve enleme bağlı olarak ısınmanın yüksek olması olarak açıklanabilir.

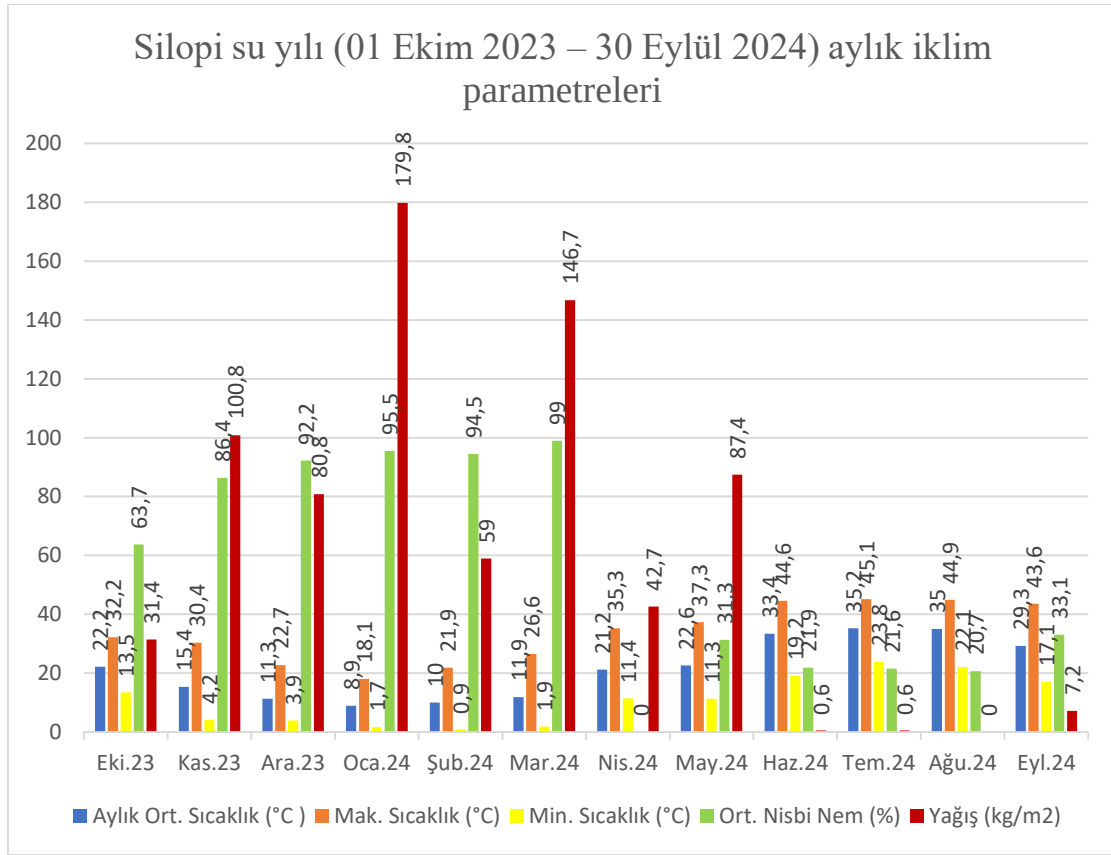
3.1.3.3. Nisbi nem

Nisbi nem, bitkinin gelişmesinde oldukça önemlidir. Uzun yıllar için nisbi nem (%); en yüksek olduğu ay Ocak ayı 73,2, en düşük olduğu ay Temmuz ayı 17,0’dır (Şekil 5). Su yılı verilerine bakıldığında en yüksek Mart ayı 99,0, en düşük Ağustos ayı 20,7’dir (Şekil 6).



Şekil 5. Silopi uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nisbi nem (1960-2024)

(Kaynak: MGM, 2025)



Şekil 6. Silopi su yılında (1Ekim-30 Eylül) sıcaklık, yağış ve nisbi nem grafiği

(Kaynak: MGM, 2025)

3.1.4. Hidrolojik özellikleri

Silopi Bölgesi, Dicle Havzasının 3 Nolu Hezil-Habur Alt Havzasındadır. Bu havzayı besleyen akarsular habur, hezil ve Nerdüş deresidir. Akarsuların debileri mevsimlerin yağış durumuna göre değişmektedir.

Akarsular içme kullanma sulama, endüstriyel ve cey-taş temik santrali dumanın filtrelmesi gibi faaliyetlerinde kullanılmaktadır.

3.1.5. Toprak özellikleri ve tarımsal durumu

Toprak, Dünya ekosisteminin önemli bir parçasıdır. Arzın yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, toprağın içinde ve dışında birçok canlı barındıran, bitkilerinde besin kaynağıdır. Toprağın içinde belli oranlarda su ve hava bulunmaktadır.(İ. Akalan, 1988)

Yeraltı suyu toprağın kayaç formolojisine bağlı olarak su kalitesine de etki etmektedir. Silopi bölgesinin toprak özelliklerine bakıldığında kuzey ve kuzeydoğusunda kırmızımsı kahverengi topraklar, eski ve yeni alüvyon alanlarda görülen alüvyal topraklar

bulunmaktadır. Kuzeyden başlayıp şehrin güney, Doğu ve Batısına kadar uzanan eski alüvyal topraklar mevcuttur. Kırmızımsı kahverengi topraklar ana özelliği neojen zamanda eski kalkerli oluşumdur. Çalışma alanına bulunan bir diğer toprak grubu yeni alüvyon topraklarıdır. Alüvyon topraklar azonal(taşınmış) topraklardır. Bu topraklar akarsuların taşıdığı kil, kum, çakıl birikmesiyle oluşur. Toprağın üst katmanında mineral ve organik madde açısından zengin ve verimlidir.

Silopi İlçe Tarım Müdürlüğü verilerine göre, toprak sulu tarla vasfındadır. Toprak genellikle 1. ve 2. sınıf arazi yapısındadır. Bu bölgede uygulanan münavebeye göre buğday, mısır(2. Ürün), yerfıstığı ve pamuk ekim nöbeti bulunmaktadır.

3.1.6. Yeraltı suyu kuyu verileri

Silopi ilçesine ait çeşitli kurum ve kişilerin açmış oldukları 734 adet sondaj kuyu verileri toplanmıştır. Ancak saha çalışmalarında bu değerlerin üzerinde olduğu bilgisine ulaşılmıştır (Anonim, 2024). Yeraltı suyu İlçede içme kullanma endüstriyel tarımsal için önemli bir kaynaktır

3.2.Yöntem

Şırnak-Silopi İlçesi içme kullanma endüstriyel tarımsal vb. su ihtiyacının büyük bir bölümünü yeraltı suyundan karşılamaktadır. Silopi Ovası hakkında DSİ tarafından 1977 yılında hazırlanan Hidrojeoloji Etüd Raporu dışında, herhangi bir çalışma yapılmamış olması, an itibariyle 27 bin hektar olduğu bildirilen ovada sadece bir tek araştırma kuyusunun olması ve bu kuyunun da belediye sınırlarında meskur saha içerisinde kalması kuyunun teknik olarak ovayı temsil edemeyeceği görüşünün gerçeğiyle 2024 su yılında yürütülecek YAS kuyularında elde edilecek bulgularla çalışmanın ova için net ve kesin olarak özgün değer kazanacağı söylenebilir.

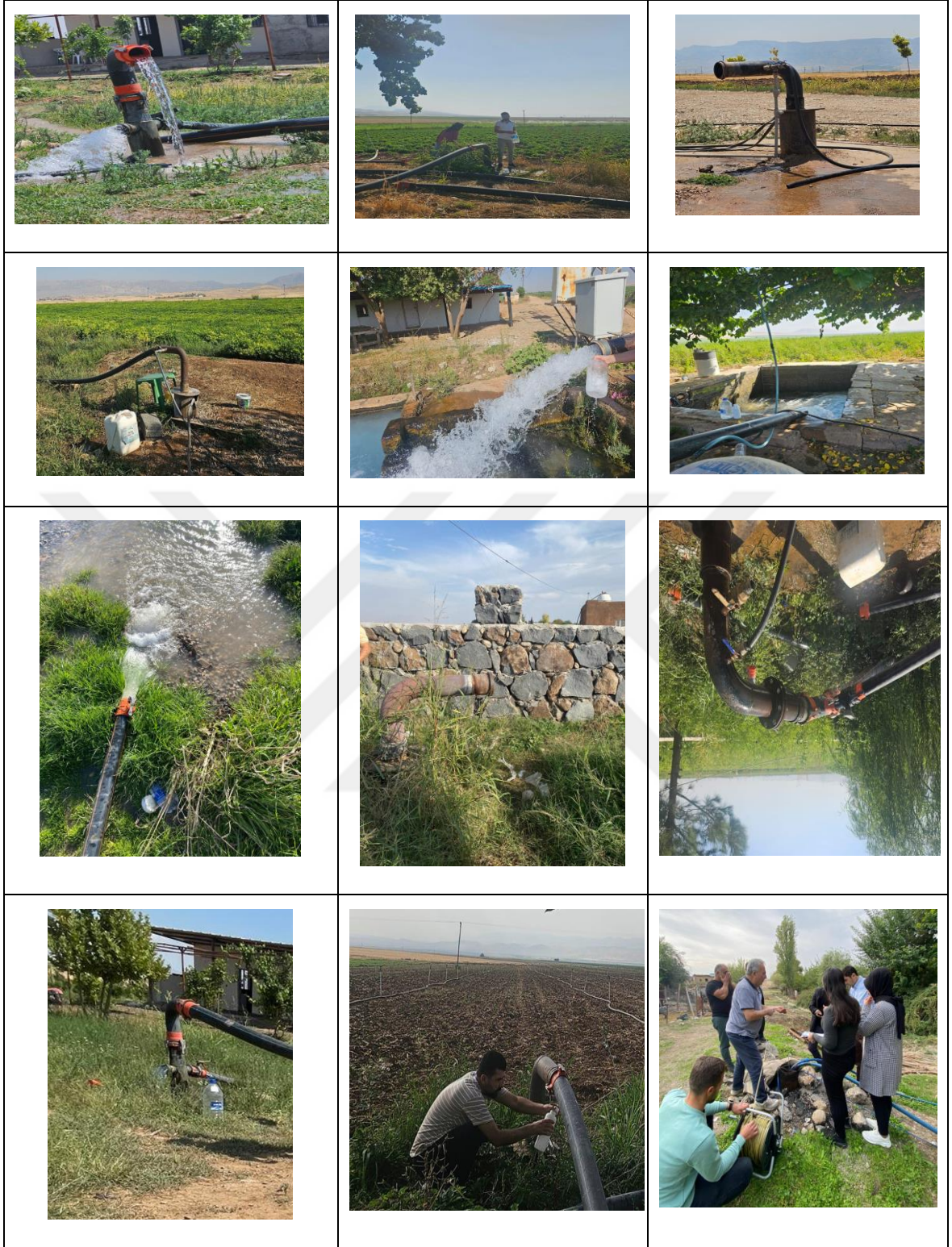
Bu nedenle Silopi Ovası'nda kullanılan yeraltı suyunun kimyasal ve fiziksel özelliklerini su kalitesi için incelenmiştir. Bu çalışmada ovayı temsil edecek 18 kuyu tespit edilerek yeraltı suyunun içme kullanma endüstriyel ve tarımsal sulama amaçlı uygunluğunun için TS- 266, EU, EPA ve WHO kabul edilebilir standartlarına göre analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Onsekiz YAS kuyusunun kimyasal parametreleri Piper diyagramına göre sınıflandırılmıştır. Çalışmanın sonunda su kalitesinin içme- kullanma, endüstriyel ve tarımsal açısından uygunluğu değerlendirilmiştir. Ayrıca Silopi Ovasında yeraltı suların, tarımsal faaliyetlerde sulama amaçlı kullanıma özelliği araştırılmasında Wilcox ve ABD Tuzluluk Diyagramı, SAR, %Na, RSC, PI, KR ve MH hesaplanmıştır. Yapılan bu analitik

hesaplamalara göre tarımsal faaliyetlerde kullanılacak suyun izin verilen sınırlarda ve ilgili standartlara olan uygunluğu mukayese edilmiştir. Sular protokollere göre sınıflandırılmıştır.

3.2.1. Numune alma yöntemi

YAS kuyuları belirli bir süre çalıştırıldıktan sonra numuneler arazi ve laboratuvar için uygun şişelere doldurulmuştur. Buna göre mikrobiyolojik analizler için alınan su numuneleri tiyosülfat içeren (20 mg/L), aseptik olarak üretilen daha sonra Gama Sterilizasyona (10 – 6 SAL radyasyon) gönderilip yapılan polietilen şişelerde, diğer analizler için alınan su numuneleri 5 litrelik polietilen şişelerde toplanarak analizler arazi ve laboratuvar da gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).





Şekil 7. Çalışma alanında su numunesi alınan sondaj kuyuları

3.2.2. Arazide ve laboratuvarında yapılan analiz yöntemi

Silopi Ovasında su yılına bağlı (01 Ekim 2023 – 30 Eylül 2024) kuyulardan numuneler alınarak mahalinde; pH, EC ve DO değerleri multi parametre probu (HACH-HQ-

Germany) ile sahada anlık ölçümler okunmuştur (Şekil 9).



Şekil 8. Multi parametre probu((pH, EC ve DO Propları) (HACH-HQ-Germany))





Şekil 9. Mahalinde yapılan analiz

Alınan su numunelerinde ŞUSKİ Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan laboratuvarında aşağıdaki parametrelerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla; Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , NH_4^+ , F^- , BOD_5 , COD_5 , *E.Coli*, *T.Koliform* ve TDS 'dir.

3.2.3. Suların kullanım özellikleri

Silopi ovasını temsil eden 18 adet sondaj kuyusu; içme, kullanma sanayi ve tarımsal faktörler için kullanılmaktadır. Bu sondaj kuyularından alınan su numunelerinin analizi yapılarak içme ve sulama suyu olarak kullanılabilme özellikleri araştırılarak sınıflama yapılmıştır.

3.2.4.Suların içilebilirlik özellikleri

Yeraltı su kuyularından alınan numuneler mahalinde ve laboratuvar ortamında fiziko-kimyasal değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler neticesinde içme suyu kalite değerlendirmesi TSE-266'İçme Suyu Standartı', EU, EPA ve WHO'nun içme suyu standartları belirlenmiştir (Tablo 6).

Tablo 6. TSE-266, EU, US-EPA ve WHO içme suyu standartları

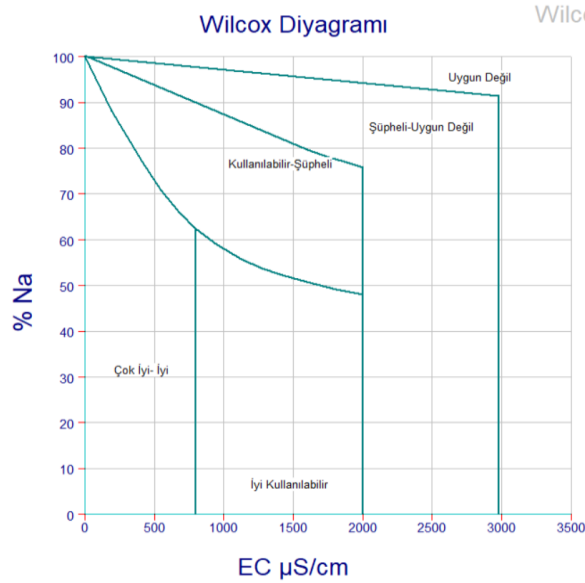
	İÇME SUYU KALİTE PARAMETRE DEĞERLERİ			
	Kabul Edilebilir Maksimum Değerler			
	STANDARTLAR			
	TSE 266 (TSE 266 2005) Türk Standartları Enstitüsü	EU Avrupa Birliği	US-EPA, 2008 Çevre Koruma Ajansı	WHO 2006, 2011 Dünya Sağlık Teşkilatı
Mikrobiyolojik EMS/100 mL				
Koliform	0	0	0	0
Esherichia Coli (E.Coli)	0	0	0	0
Toplam Kloloni Sayısı (22C')	20			
Toplam Kloloni Sayısı (37C')	5			
C.perfringers	0	0		0
Pseudomonas Aeruginosa	0	0		0
Kimyasal mg/L				
pH	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-8,5	6,5-9,5
İletkenlik 20' (uS/cm)	2500	2500		2500
Nitrat (NO3)	50	50	45	50
Nitrit (NO2)	0,5	0,5		0,5
Bor (B)	1	2		2
Nikel (Ni)	0,02	0,02		0,02
Arsenik (As)	0,01	0,01	0,01	0,01
Kadmiyum (Cd)	0,005	0,005	0,005	0,003
Civa	0,001	0,001	0,002	0,001
Krom Toplam (Cr)	0,05	0,05	0,1	0,05
Baryum			2	0,7
Florür (F)	1,5	1,5	2	1,5
Kurşun (Pb)	0,01	0,01	0,015	0,01
Siyanür (CN)	0,05	0,05	0,2	0,07
Bromat (Br)	3	10	10	10
Benzen (C6H6)	0,001	0,001		0,01
Selenyum (Se)	0,01	0,01	0,05	0,01
Antimon (Sb)	0,005	0,005	0,006	0,005
Bakır (Cu)	2	2	1	2
Fosfor	0,4-5,0	0,4-5,0		
Demir (Fe)	0,2	0,2	0,3	0,3
Çinko	5		5	
Mangan (Mn)	0,05	0,05	0,05	0,1
Magnezyum (Mg)	50	50		
Alüminyum (Al)	0,2	0,2	0,2	0,2
Amonyum (NH4)	0,5	0,5		1,5
Sodyum (Na)	175	200		200
Potasyum (K)	12			
Serbest Klor (Cl2)	0,5	0,5	4	5
Klorür (Cl)	250	250	250	250
Kalsiyum (Ca)	200			100
Sülfat (SO4)	250	250	250	250
Sertlik (CaCO3)				500
Fiziksel ve Duyusal (Organoleptik)				
Renk (Co-Pt birimi)	20	20	15	15
Bulanıklık (NTU birimi)	5	4	1	5
Toplam Çözülmüş Madde			500	1000
Koku	Duyusal	Duyusal	Duyusal	Duyusal
Tat	Duyusal	Duyusal	Duyusal	Duyusal

3.2.5. Suların kullanılabilirlik özellikleri

Silopi Ovasında yeraltı suların, tarımsal faaliyetlerde sulama amaçlı kullanıma özelliği araştırılmasında Wilcox ve Piper diyagramı, ABD Tuzluluk Diyagramı, SAR, KI, %Na, MH, PS, RSC ve PI, hesaplanmıştır. Yapılan bu analitik hesaplamalara göre tarımsal faaliyetlerde kullanılacak suyun izin verilen sınırlarda ve ilgili standartlara olan uygunluğu mukayese edilmiştir.

3.2.5.1. Wilcox diyagramı

Tarımsal faaliyetlerde kullanılacak suyun sınıflandırılmasında Wilcox diyagramı kullanılmıştır (Wilcox, 1955). Bu diyagramın X koordinatında "tuzluluk tehlikesi" olan EC değeri ile Y koordinatında "sodyum tehlikesi" %Na değerleri arasındaki suyun sınıflandırılması yapılır. Silopi ovasını kapsayacak şekilde toplanan 18 YAS kuyusundan alınan su numuneleri, Wilcox diyagramı kullanılarak sınıflandırılma yapılmıştır. Buna göre; “çok iyi kullanılabilir su”, “iyi kullanılabilir su”, “şüpheli kullanılabilir su”, “şüpheli kullanılamaz su”, “sulamaya uygun olmayan su” olarak beş farklı sınıflandırma içinde değerlendirilmesi yapılmıştır. Alınan numunelerin wilcox grafiği çizilerek suların sınıflandırılması aşağıda şekil 10’a göre diyagramda gösterilecektir.

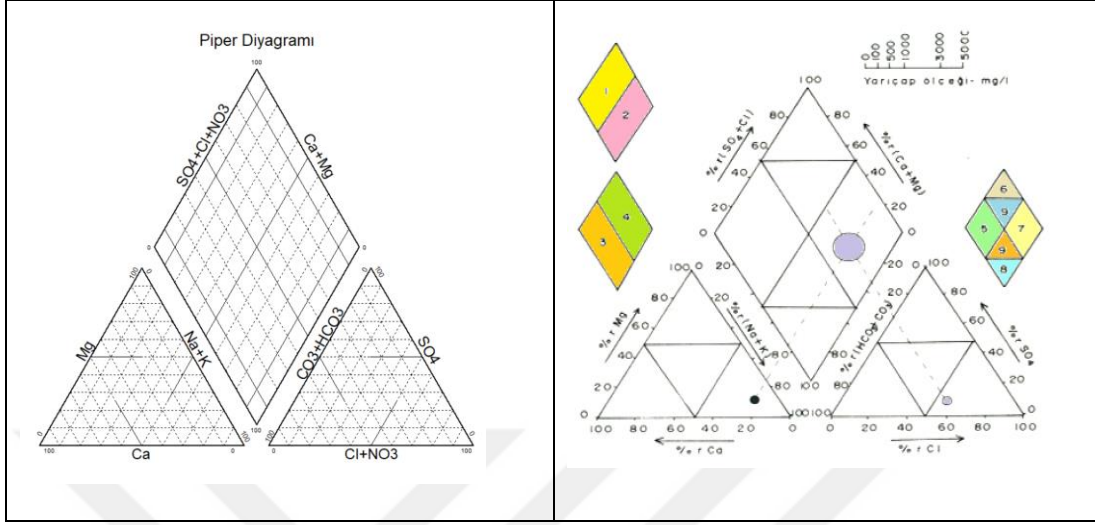


Şekil 10. Wilcox Diyagramları

3.2.5.2. Piper diyagramı

Piper diyagramı, Arthur M. Piper tarafından 1944'te suyun hidrojeokimyasal verilerinin sunmak amacıyla yapılmıştır. Bu diyagramla sularda bulunan katyon (Ca^{2+} ,

Mg^{2+} , Na^+ ve K^+) ve anyon (HCO_3^- , SO_4^{2-} ve Cl^-) değerlerinin miliekivalan yüzdelik konsantrasyonlarının iki üçgen alana çizildiği ve daha sonra merkezi elmas alanına yansıtıldığı çok yönlü bir diyagramdır (Karmegam vd., 2011).



Şekil 11. Piper Diyagramı

3.2.5.3. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

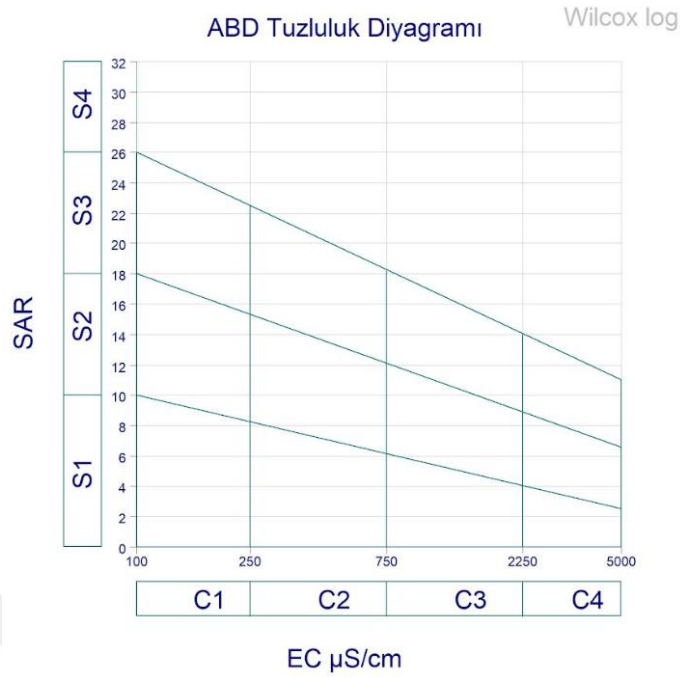
Tarımsal faaliyetlerin yürütümünde sulama suyunun sınıflandırılması ABD-Tuzluluk diyagramına göre yapılmaktadır (Richards, 1954). Bu diyagramın X koordinatında "tuzluluk tehlikesi" olan EC değeri ile Y koordinatında "sodyum tehlikesi" SAR değerleri arasında yarı log dağılım grafiğidir. Tuzluluk Tehlikesi EC değerine bağlı olduğu bilinmektedir. EC değerleri 0-249 arasında olması C1 Düşük, 250-749 değerleri arasında olması C2 Orta, 750-2249 arasında olması C3 Yüksek ve 2250-5000 değerleri arasında olması tuzluluk tehlikesinin C4 çok yüksek olduğunu gösterir. Sodyum tehlikesini temsil eden Y koordinatında ise SAR değerlerine göre S1=Düşük, S2= Orta, S3= Yüksek ve S4= Çok Yüksek olduğunu ifade etmektedir. Sulardaki EC değeri C1, C2, C3, C4 ve SAR değeri de S1, S2, S3 ve S4 harfleriyle sembolize edilmektedir. Yapılan bu simgelerin açıklaması aşağıdaki gibidir.

Tablo 7. Sularda EC ve SAR değerinin simgelerinin yorumu

C1: Az tuzlu su	S1: Az Sodyumlu Su
C2: Orta Tuzlu Su	S2: Orta Sodyumlu Su
C3: Yüksek Tuzlu Su	S3: Yüksek Sodyumlu Su
C4: Çok Yüksek Tuzlu Su	S4: Çok Yüksek Sodyumlu Su

Alınan numunelerin ABD (USSL) Tuzluluk Diyagramı çizilerek suların

sınıflandırılması aşağıda şekil 12'e göre diyagramda gösterilecektir.



Şekil 12. ABD (USSS) Tuzluluk Diyagramı

3.2.5.4. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)

ABD Tuzluluk Laboratuvarı (1954), tarımsal amaçlar için suyun kalitesini değerlendirmek amacıyla SAR kullanımını önermiştir. Bu yöntem, sulama sularını derecelendirmek için SAR ve EC kullanılmaktadır. SAR, Na elementinin, topraktaki değişim reaksiyonlarındaki göreceli aktivitesini ifade eder. Bu oran sodyum konsantrasyonunun, Ca^{+2} ve Mg^{+2} oranını ifade eder. SAR değeri (3.1) denklemlerle hesaplanır (Richards, 1954).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (3.1)$$

[SAR]: meq/L cinsinden iyon konsantrasyonu

Na: sodyum

Ca: kalsiyum

Mg: Magnezyum

Sulama suyunun uygunluğunu tespit etmek için SAR değeri önemlidir. Suyun içinde bulunan yüksek Na^+ iyonu topraktaki geçirgenliği olumsuz yönde etkiler. Na^+ elementinin değişebilir formda toprakta bulunması durumunda, toprağın içinde muhteva ettiği kilde adsorbe olmuş Ca^{+2} ve Mg^{+2} ile yer değiştirmesi ve toprak partiküllerini disperse ederek

toprağı kurutur (Şekil 9).



Şekil 13. Toprakta SAR etkisi

Tablo 8. SAR değerine göre sınıflandırılma (Sarathbabu ve John Paul, 2015)

SAR	Su Sınıfı
<10	Çok iyi özellikte sulama suları
10-18	İyi özellikte sulama suları
18-26	Orta özellikte sulama suları
>26	Kötü özellikte sulama suları

3.2.5.5. Sodyum iyon yüzdesi (% Na)

Sulama sularının kalitesi hakkında fikir vermektedir. %Na değerinin değişmesiyle beraber, toprakta bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerlerinin değişmesine etki etmektedir. Sadyum iyonunun artması geçirgenliği azaltır. Bu durum sulama suyunda istenmeyen bir durumdur. Wilcox'a göre Na %60'a kadar olan değerler sulamaya uygunluğunu belirler. Sodyum iyon yüzdesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$Na\% = \left(\frac{Na^{+} + K^{+}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+})} \right) * 100$$

(3.2)

Tablo 9. %Na değerine göre sulama suyunun sınıflandırılması (Wilcox, 1955).

%Na	Su Sınıfı
<20	Çok iyi
20-40	İyi
40-60	izin verilebilir
60-80	şüpheli
> 80	uygunsuz

3.2.5.6. Geçirgenlik indeksi (PI)

PI, (Doneen, 1964) tarafından suların kalitesini belirlemede kullanılmak için çıkarılmıştır. Özellikle sulama suyunun uygunluğunu belirlemede kullanılır. Bu indeks tanımına göre su kalitesini 3 sınıfa ayrılmıştır. Sınıf 1 ($PI > \%75$), Sınıf 2 ($\%25 < PI < \%75$) ve Sınıf 3 ($PI < \%25$) olarak ayırır. I ve II. Sınıf sular geçirgenlik indeksleri yüksek olduğundan “iyi” ve “uygun” olduğu, III. Sınıfın sulama suyuna “uygun olmadığını” ifade etmektedir. Geçirgenlik indeksi toprakların yapısal özelliklerine göre değişmektedir. Topraktaki Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} ve HCO_3^{-} etkilenir. Aşağıdaki formüle göre PI hesaplanır

$$PI = \left(\frac{Na^{+} + \sqrt{HCO_3^{-}}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+})} \right) * 100 \quad (3.3)$$

Tablo 10. PI sınıflandırılması

Sulama Suyu Kalitesinin PI göre Sınıflandırılması	PI DEĞERİ
1. Sınıf	> %25
2. Sınıf	% 25 – 75
3. Sınıf	< %75

3.2.5.1. Magnezyum tehlikesi (MH)

Magnezyum bitkiler için gerekli bir elementtir. Magnezyum eksikliğinde topraklarda verim düşebilir. Mg^{+2} konsantrasyonu sulama suyunun kalitesinin saptanmasında önemlidir. Suyun MH'nin analitik denklemi (3.4)' te verilmiştir (Szabolcs, ve Darab, 1964).

$$MH = \left(\frac{Mg^{+2}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2})} \right) * 100 \quad (3.4)$$

Magnezyum tehlikesinin sonucu 50 meq/L 'den az sulama için uygun olduğu, 50 meq/L 'den büyük ise sulama için uygun olmadığı anlaşılır. Tarımda verimlilik azalır.

Tablo 11. MH kalite indeksinin sınıflandırılması (Szabolcs, ve Darab, 1964)

Magnezyum Tehlikesi (MH)	Sulama Suyunun Kalite Durumu
<50	Uygun
>50	Uygun değil

3.2.5.8. Kelly oranı (KR)

Kelley, (1963) sulama suyu kalitesini Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} iyonlarının konsantrasyonlarına göre sınıflandırmıştır. Kelly oranının 1'e eşit veya 1'den küçük olması sulama suyunun kaliteli olduğunu ifade ederken, 1'in üstünde olması alkali tehlikesi nedeniyle sulama suyunun uygun olmadığını belirtir (Karanth, 1987). Kelly Oranındaki denklemi Na, Ca ve Mg'a bağlı olarak değişir (Ibraheem ve Khan, 2017).

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} \quad (3.5)$$

Tablo 12. Kelly Oranı (KR) sulama suyu sınıfı

Kelly Oranı(KR)	Sulama Suyu Sınıfına göre Uygunluğu
KR<1	Su Uygun
KR=1-2	Su Kısmen uygun
KR>2	Su Uygun değil

3.2.5.1. Kalıcı sodyum karbonat (RSC)

Sulama suyunun kalitesini belirlemede kullanılır. Sulama yapılan toprağın alkalitesini belirler. Suda bulunan Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} elementleri karşılaştırıldığında, sularda sodyumun fazlalığı killi toprağı genişletilmektedir. Killi toprağın genişlemesiyle birlikte, toprakların geçirgenliği değişir ve bitki zarar görebilir. RSC denkleminin birimi meq/L'dir. Aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır (Eaton, 1950).

$$RSC = CO_3^{2-} + HCO_3^- - Ca^{+2} + Mg^{+2} \quad (3.6)$$

3.2.5.1. Potansiyel tuzluluk (PS)

Tarımda kullanılacak suyun kalitesini belirlenmesinde kullanılır. Birimi meq/L'dir (Doneen, 1964; Omotoso ve Ojo, 2012).

$$PS = Cl^- + 0.5 * SO_4^{2-} \quad (3.7)$$

Tablo 13. PS Uygunluk Yorumu

Potansiyel Tuzluluk (PS)	
PS< 3	Uygun
PS> 3	Uygun değil

3.2.5.11. Toplam çözülmüş katılar (TDS)

TDS, su kalitesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. TDS ölçümü eşitlik; 3.8'ye göre su kalitesi değerlendirmesinde önemli bir yer tutar (Alzahrani vd. 2025).

$$TDS = Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+} + K^{+} + CO_3^{2-} + HCO_3^{-} + Cl^{-} + SO_4^{2-} + PO_4^{3-} \quad (3.8)$$

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Silopi Ovasında sondaj kuyularından farklı tarihlerde alınan su numunelerinin fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Buna göre; su yılı olan 01 Ekim 2023-30 Eylül 2024 tarihleri arasında mahalinde kuyuların statik seviyeleri ölçülmüş ve su numunelerinde pH, EC, DO ölçümleri yapılmıştır (Tablo 13). Kimyasal analizler sırasıyla; Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+} , NH_4^{+} , F^{+} , Cl^{-} , HCO_3^{-} , SO_4^{-2} , CO_3^{-2} , PO_4^{-3} , COD_5 , BOD_5 , *e-coli*, *T-coliform*, parametreleri ŞUSKİ laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 14’de paylaşılmıştır. Elde edilen analiz değerleri TSE 266, EU, EPA ve WHO protokolleri ile karşılaştırılarak kuyu suların sınıflandırılması sonucu içme ve kullanma suyunun kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

4.1. Hidrojen Potansiyeli (pH)

Yapılan çalışmada hidrolojik su yılında (01 Ekim 2023 – 30 Eylül 2024) pH değerleri 18 farklı lokasyonda bulunan YAS kuyusunda toplamda 162 adet okuma pH metre ile yapılmıştır. Bu sonuçların en düşük, en yüksek ve ortalama değerlerine bakıldığında sırasıyla 6,31, 7,95 ve 7,23 pH değerlerinin TSE 266, EU, EPA ve WHO protokolleri ile karşılaştırıldığında yüksek çoğunlukla 6,5 - 8,5 arasında kaldığı saptanmıştır. Suların pH parametresinin referans standart değerler aralığında olduğu belirlenmiştir (Tablo 14).

Benzer sonuçlar birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Memon vd., 2023; Singh vd., 2020; Zhang vd., 2019).

4.2. Çözünmüş Oksijen (DO)

Çözünmüş oksijen analizleri sonuçları sırasıyla; en düşük, en yüksek ve ortalama değerler 5,51, 8,94 ve 7.02 okunmuştur (Tablo 14). Değerlerde büyük sapmaların bulunması, numunelerin farklı zamanlarda alınması, kuyuların statik seviyelerinin ciddi şekilde değişkenliği, aylık ortalama iklim verilerinin farklı olması, DO’nun değerlerinin değişken olmasına neden olduğu söylenebilir.

Önceki çalışmalara bakıldığında, DO yaz ve kış aylarında; kışın azalan sıcaklıkla arttığı, yaz aylarında ise DO değerinin düştüğü bildirilmiştirlerdir. Çözünmüş oksijenin artan sıcaklık ve tuzluluk değerleriyle azaldığı tespit edilmişlerdir (Badr vd., 2023).

Elde edilen DO değeri 5,5 – 8,94 olduğundan Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde (YSKY) belirtilen sınır değerlere göre I. Sınıf (>8) “Çok iyi”, II.Sınıf (>6) “İyi” sınıfına girmektedir.

4.3. Elektriksel İletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik sonuçları incelendiğinde; en düşük 352 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en yüksek 988 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve ortalama değeri 522,41 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür (Tablo 14). EC değeri tarım faaliyetlerinde verimliliği etkilediğinden dolayı sulama suyu kalitesinde oldukça önemli ve dikkat edilmesi gereken bir parametre olduğu bilinir. Toplamda 18 YAS kuyusu çalışılmış, bunlardan 2 kuyu hariç, 16 kuyunun EC değerleri 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında kaldığı görülmüştür. Şöyle ki 16 kuyunun EC değerleri sırasıyla; en küçük, en büyük ve ortalama 352, 724 ve 477 olarak saptanmıştır. EC hakkında ön görülen içme suyu kalite parametreleri değerlendirmeye göre, tüm YAS kuyularının “iyi” olduğu görülmüştür. Bu nedenle Silopi Ovası genelinde tüm kuyulara ait suların sorunlu ve sıkıntılı olmadığı söylenebilir. Bu değerlendirme EC için geçerli olduğu görülebilir. İki kuyu ise 750-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında kaldığından, referans değeri “İzin verilebilir” olarak değerlendirilebilir. Ancak 2 kuyunun EC değeride 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’nin altında kaldığından dolayı, özellikle tarımsal sulama amaçlı tereddütsüz kullanılabilir sonucuna varılmıştır.

Benzer çalışmalarda;

Hazar Gölü Havzasındaki su kaynaklarının tarımsal kullanıma uygunluğunun tespit edilmesi amacıyla yapılan araştırmada alınan su numunelerinin EC değerleri 130 – 2.145 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında bulunmuş olup, Sonuçlar, neredeyse tüm parametrelerin sulama suyu için kullanılabilir aralıklar içinde olduğu belirtilmiştir (Çeliker ve Parlakyıldız, 2020).

Hindistan, Andhra Pradesh, Warangal Bölgesi, Hanmakonda Bölgesi'nde sulama amaçlı yeraltı suyunun kalitesinin uygunluğuna yönelik yapılan araştırmada; alınan su numunelerin EC değerleri 520 – 2.180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında bulunmuş olup, neredeyse tüm parametrelerin sulama suyu için kullanılabilir aralıklar içinde olduğu belirtilmiştir (Narsimha vd., 2013).

Örnek olarak verilen benzer çalışmalardaki EC değerleri oldukça geniş bir aralığa yayılmıştır. Çünkü 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den daha büyük suların yoğun şekilde bulunduğu ve bu değerlerin Silopi Ovasından alınan su numunelerinin EC değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Buradan şu anlaşılabılır, çalışılan bölgede EC değerleri son derece değişken olduğu söylenebilir.

Tablo 14. Su yılı boyunca ölçülen pH, DO ve EC değerleri

Parametreler	Numune Alınma Tarihleri	SLPOZGNES	SLPCM HP	SLPCRÇRCT	SLPORTKY YÜ	SLP VRMLMD	SLPKPLHÖ	SLPAKTPSG	SLPBSVRMLN _Y	SLPORTKYSK	SLPBGDYLCU	SLPYNKLMP	SLPBSTNSİ	SLPKVKÖZA	SLPVRMLİY	SLPBŞKYMÖ	SLPYKRMÖ	SLPVRMLHLÖ	SLPBGDLRK
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
pH	10.11.2023	6,54	7,4	6,85	6,89	6,65	7,22	6,49	7,12	7,0	7,0	7,35	7,48	7,38	7,45	7,15	6,78	7,38	7,36
	19.01.2024	6,4	7	6,5	6,31	6,31	7,51	6,58	7,3	6,4	6,45	7,41	7,36	7,42	7,68	7,32	6,9	7,51	7,15
	18.03.2024	6,76	6,84	6,77	6,8	6,82	6,7	7,35	7,27	6,91	7,75	7,4	7,7	6,98	7,42	6,98	6,65	7,12	7,42
	30.04.2024	7,19	7,53	7,34	7,66	7,82	7,75	7,46	7,84	7,76	7,85	7,8	7,88	7,82	7,85	7,66	6,98	7,41	7,35
	29.05.2024	6,96	6,98	6,92	6,94	6,96	6,94	6,99	6,96	6,97	6,97	6,95	6,85	6,91	6,93	6,88	6,89	7,37	7,22
	30.06.2024	7,38	7,36	7,18	7,12	7,34	7,23	7,07	7,39	7,22	7,05	7,11	7,04	6,95	7,36	7,26	7,41	7,36	7,4
	20.07.2024	7,52	7,37	7,93	7,95	7,43	7,49	7,4	7,47	7,51	7,54	7,52	7,57	7,54	7,54	7,57	7,32	7,53	7,54
	10.08.2024	7,26	7,43	7,51	7,58	7,26	7,38	7,19	7,29	7,43	7,54	7,32	7,45	7,33	7,43	7,35	7,4	7,32	7,32
	12.09.2024	6,99	7,48	7,08	7,21	7,08	7,27	6,97	7,1	7,35	7,54	7,11	7,32	7,11	7,32	7,12	7,25	7,1	7,1
	ORTALA MA	7,0	7,3	7,1	7,2	7,1	7,3	7,1	7,3	7,2	7,3	7,3	7,4	7,3	7,4	7,3	7,1	7,3	7,3
DO	10.11.2023	6,71	6,95	8,42	8,35	7,6	6,9	7,54	7,22	6,9	7,13	6,85	7,1	7,12	8,1	6,71	7,12	7,24	7,12
	19.01.2024	7,42	6,84	8,94	8,73	7,94	7,1	7,94	7,18	7,82	8,49	6,87	6,98	7,5	7,27	6,84	6,9	7,32	6,86
	18.03.2024	6,7	7,44	7,91	7,53	7,61	7,84	7,11	7,23	7,1	6,82	6,9	6,81	6,42	6,38	6,34	6,85	7,21	6,45
	30.04.2024	6,82	7,02	7,6	6,73	7,32	7,1	7,47	7,59	5,51	7,11	6,86	7,12	7,18	8,06	6,81	6,72	6,85	6,98
	29.05.2024	6,79	6,83	7	7,31	6,76	7,02	7,04	7,26	7,16	7,02	7,62	7,4	7,46	7,37	7,02	7,15	6,58	6,74
	30.06.2024	7,1	7,26	6,92	7,27	7,1	7,02	6,9	7,4	6,71	6,34	6,88	7,13	6,74	7,57	6,91	6,1	7,23	6,95
	20.07.2024	7,05	7,11	7,44	7,84	8,18	7,09	7,03	7,55	8,5	7,42	7,13	7,28	7,45	7,44	6,68	6,1	7,67	7,42
	10.08.2024	6,63	6,54	6,71	6,93	7,1	6,68	6,69	6,98	7,24	6,69	6,62	6,71	6,92	6,85	6,4	5,85	6,97	6,85
	12.09.2024	6,2	5,96	5,98	6,02	6,02	6,26	6,35	6,41	5,98	5,95	6,1	6,13	6,39	6,26	6,11	5,88	6,27	6,28
	ORTALA MA	6,8	6,9	7,4	7,4	7,3	7,0	7,1	7,2	7,0	7,0	6,9	7,0	7,0	7,3	6,6	6,5	7,0	6,9
EC	18.03.2024	509	548	421	454	570	568	554	415	418	474	412	812	404	426	724	455	402	910
	30.04.2024	510	570	410	600	560	521	448	405	485	385	441	911	441	388	704	480	418	882
	29.05.2024	448	560	414	440	570	594	671	398	448	581	385	883	421	421	640	418	405	824
	30.06.2024	400	555	395	512	532	521	401	352	398	412	352	785	400	365	602	442	388	836
	20.07.2024	418	660	420	550	560	519	502	411	358	504	429	902	488	402	614	505	402	896
	10.08.2024	442	578	428	524	547	534	518	420	438	428	425	887	442	385	650	492	416	844
	12.09.2024	448	650	420	420	550	529	449	418	402	447	442	988	355	419	685	554	441	905
	ORTALA MA	453,6	588,7	415,4	500,0	555,6	540,9	506,1	402,7	421,0	461,6	412,3	881,1	421,6	400,9	659,9	478,0	410,3	871,0

4.4. BOD₅ ve COD₅ Bulguları

BOD₅ ve COD₅ değerleri, sularda organik kirliliğin belirlenmesinde önemli birer parametredir. Çalışmada BOD₅ 3,7 - 10,4 mg/L arasında değiştiği ve ortalama 7,08 mg/L olarak belirlenmiştir. COD₅ 8,9 – 29,6 mg/L arasında değişmiş ve ortalama 20,03 mg/L' olarak saptanmıştır. Çalışılan su numunelerinde, elde edilen bulgulardan, sularda organik kirliliğin olduğu söylenebilir. Sularda gerek BOD₅ ve gerekse COD₅ değerlerinin yüksek olması, organik kirliliğin yüksek olduğu söylenebilir. Nitekim bakteriler bu tür sularda çok kolay üreyebilmektedir. Ortalama BOD₅ değeri, YSKY'ye göre sular genelde II. sınıf sular için belirlenmiş 8 mg/L civarındadır. Ayrıca ortalama COD₅ değeri, YSKY'ye göre sularda II. sınıf sular 50 mg/L civarında olmasından dolayı, elde edilen değerlerin < 50 mg/L altında gerçekleşmiştir.

Suudi Arabistanda su kalitesinin araştırılmasında BOD₅, COD₅ değerlerinin analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmada YAS kuyularında ve arıtılmış karışık sulama sularındaki BOD₅ ve COD₅ karşılaştırılmıştır. BOD₅ değerleri 0,10 - 8,89 mg/L arasında değişkenlik göstermiştir. YAS kuyularında BOD₅ değeri arıtılmış karışık sulama sularındakinden yüksek bulmuşlardır. COD₅ değeri, 1–51 mg/L aralığındadır. BOD₅ ve COD₅ değerleri sırasıyla izin verilen maksimum değer olan 10 mg/L ve 90 mg/L'nin altında olduğunu saptamışlardır. Buna göre; sulama ile arıtılmış suda ve tarımsal drenajda nispeten yüksek seviyelerde organik madde gözlemlendiğini ortaya koymuşlardır. BOD₅ ve COD₅ değerlerindeki artış sebepleri; tarımsal genişleme ile beraber kullanılan aşırı gübre ve pestisit kullanımından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ancak arıtılmış atık su, toprak verimliliğini artırmak için kullanılabilen, nispeten yüksek seviyelerde biyolojik olarak parçalanabilir organik madde ile karakteri ze edildiğinden dolayı BOD₅ ve COD₅ değerlerinin artışa neden olduğunu paylaşmışlardır (Badr vd., 2023). Sonuç olarak ovadan alınan su numunelerinin BOD₅ ve COD₅ değerleri benzer çalışmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülebilir.

4.5. *E. coli*- *T. Coliform* Bulguları

Çalışmada su yılı boyunca alınan numunelerde 18 kuyuda *E. coli* ve *T. Coliform* bakterisi bulunmuştur. Analiz neticesinde 17 YAS kuyularının *E. coli* değeri en küçük 18,0 en büyük 86,0 ve ortalama değer 45,1 olarak tespit edilmiştir. SLPKPLHÖ kuyusunda *E. coli* >100 çıkmıştır. *T. Coliform* değerlerine bakıldığında en küçük 30,0 en büyük 100,0 ve ortalama değer 73,1 olarak belirlenmiştir. SLPKPLHÖ kuyusunda *T. Coliform* değeri >100 bulunmuştur. Bu değerler TSE 266, EU, EPA ve WHO tarafından hazırlanan içme suyu

protokollerine göre değerlerin “sıfır” olması gereklidir ve sular *E. coli* ve *T. coliform* açısından içme suyuna uygun olmadığı söylenebilir.

Benzer çalışmalara göre; Ouagadougou'daki yeraltı suyunun kalitesi incelenmiştir. Otuziki YAS kuyusundan alınan su numunelerinin analizleri yapılmıştır. Mikrobiyolojik kalite açısından, YAS kuyularından alınan su numunelerinin %62'si *T Coliform*, *E. coli*, bağırsak enterokokları, *Pseudomonas aeruginosa* veya anaerobik sülfid indirgeyici bakteri sporları içermesi bakımından WHO ve ulusal protokollere uygun olmadığı saptamışlardır. Suların bu bakterileri barındırmasının sebebi, genelde YAS kuyularının yakın çevresinde potansiyel olarak zararlı mikroorganizmalar taşıyan yüzey suyu ve atık suyun olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Çalışmada sulara mikrobiyolojik kirlenmenin nedeni, biyolojik atık suların araziye uygulanması, su kuyularına yakın belediye katı atık depolama alanları, tarımsal faaliyetler ve antropojenik faaliyetlerden kaynaklı sulara kirlenme meydana gelebileceğini bildirmişlerdir. Ouagadougou'daki yeraltı suyunun antropojenik faaliyetler nedeniyle mikrobiyolojik kirlenmeye karşı hassas olduğunu göstermişlerdir ve uygun tedbilerin alınması gerekliliğine değinmişlerdir (Traoré vd., 2023).

Bir başka çalışmada toplanan su numunelerinin *E. coli* 2 – 6 (counts/100 mL) aralığında olup, BIS ve WHO tarafından önerilen önerilen sınır aşılmıştır (Karunakaran vd., 2009).

Yürütülen çalışmamızda YAS kuyularında *E. coli* ve *T. coliform* değerlerinin referans değerleri sayılan 0 sayısından yüksek gerçekleştiği görülmüştür. Bunun nedeni bölgede yoğun şekilde yapılan büyükbaş, küçükbaş hayvancılık ve kırsalda evsel atıkların direk fosseptik çukurlarına bağlantılarının etkili olduğu söylenebilir. Bu nedenle gerek yüzey suların ve yeraltı sularının kirliliği bu şekilde açıklanabilir.

4.6. Katyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} , K^{+} , NH_4^{+} , F^{+})bulguları

Ca^{+2} kemik ve diş gelişiminde faydalıdır. Su yılı boyunca YAS kuyularından alınan numunelerin Ca^{+2} konsantrasyonu 21,5 – 94,7 mg/L, aralığında olup, ortalama 54,65 mg/L hesaplanmıştır (Tablo 15). Ova genelinde 18 kuyudan alınan su numunelerinin yukarıda verilen ilgili protokollere göre izin verilen sınır değerin (100 - 200) altında olduğu söylenebilir.

Toplam 18 kuyudan 15'inde Mg^{+2} 11,5 - 39 mg/L aralığında kalmış, ortalama 23,43 mg/L hesaplanmıştır (Tablo 15). Mg^{+2} konsantrasyonu izin verilen sınır değer 50 mg/L'dir. Çalışmamızda hidrolojik yıl içerisinde alınan numune sonuçları; 15 YAS kuyusunda izin

verilen sınır değerin altında bulunurken, 3 kuyudaki ortalama değeri TS-266 ve EU protokollerde belirtilen sınır değerlerinin üstünde; SLPBSVRMLNY 73,4 mg/L, SLPORTKYSK 73,8 mg/L ve SLPVRMLİY 71,8 mg/L olarak bulunmuştur.

Na⁺ 0,8 - 7,9 mg/L aralığında ve ortalama 3,47 mg/L'dir (Tablo 14). Toplam su numunelerinin ortalama değeri TSE-266 belirtilen 175 sınır değeri ile EPA ve WHO belirlediği 200 sınır değerinin çok altında kaldığı saptanmıştır.

K⁺ 0,20 – 16,00 mg/L aralığında olup, ortalama 7,0 mg/L'dir (Tablo 15). Çalışmada su numunesi alınan 15 YAS kuyusundaki K⁺ değeri, TSE-266 belirtilen 12 mg/L sınır değerin altında kalmaktadır. Ancak SLPBSVRMLNY kuyusunda K⁺ elementinin değeri 13,3 - 14,9 mg/L aralığında ve ortalama 14,2 mg/L'dir. SLPBGDYLCU kuyusunda 13,7 - 14,9 mg/L ve ortalama 14,7 mg/L'dir. SLPBGDLRK kuyusunda 13,7 – 16 mg/L, ve ortalama 15 mg/L'dir. Çalışmadaki 3 YAS kuyusundan alınan su numuneleri sınır değeri olan 12 mg/L'yi aştığı görülmüştür. Ancak YAS kuyuları, ovanın geneli 12 mg/L sınır değerinin altında kalması K⁺ değeri açısından risk taşımadığı söylenebilir.

NH₄⁺ 16 YAS kuyu numune sonuçları 0 – 0,40 mg/L arasında değişmekte olup, ortalama değeri 0,14 mg/L'dir (Tablo 15). NH₄⁺ analiz değerlerinin TS 266 ve EU'nun belirlemiş olduğu sınır değeri olan 0,5 ile WHO belirlemiş olduğu sınır değeri sayılan 1,5 mg/L değerinin altında gerçekleşmiştir. Ancak NH₄⁺ elementinin değeri iki YAS kuyusunda sırasıyla; SLPORTKYSK için 0,3, - 0,5 mg/L ve ortalama 0,4 mg/L, SLPYKRMÖ YAS kuyusu için 0,7 - 0,8 mg/L ve ortalama 0,8 mg/L saptanmış olup referans alınan sınır değerlerinin üstünde gerçekleşmiştir.

F⁺ 0,30 – 0,90 mg/L aralığında değişmekte olup, ortalama 0,52 mg/L'dir (Tablo 14). F⁺ konsantrasyonu analiz sonuçlarının TSE 266, EU, EPA ve WHO protokolleri ile karşılaştırıldığında 1,5 ve 2 mg/L değerlerinin altında kaldığı saptanmıştır. Sulardaki iyon değerleri sırasıyla Ca⁺² > Mg⁺² > K⁺ > Na⁺ > F⁺ > NH₄⁺ olarak bulunmuştur.

Silopi Ovasında yürütülen çalışmada elde edilen katyon bulguları yukarıda ifade edildiği gibi tüm parametre değerleri, birkaç YAS kuyusu hariç $\approx$ 15 kuyuda TS - 266, EU, EPA ve WHO kriterlerine göre uygun olduğu ve aşağıda farklı araştırmacıların yürüttükleri çalışmalarla benzerlik gösterdiği söylenebilir. Ayrıca çalışması yapılan toplam 18 kuyudan elde edilen parametrelerden katyon değerleri diğer araştırmacılara göre daha yüksek pozitif değerler ölçüldüğü görülebilir.

Suudi Arabistan Al-Jouf bölgesinde, içme ve tarımsal amaçlı kullanılan yeraltı

suyunun kalitesi incelenmiştir. Buna göre, farklı yerlerdeki tarımsal faaliyetlerin gerçekleştiği toplam 47 adet lokasyondan yeraltı suyu numunesi alınmıştır. Su numunelerinin içme suyu için değerlendirilmesinde, BIS ve WHO protokollerine göre karşılaştırılmıştır. İçme suyu kalitesinin saptanması için en önemli fizikokimyasal parametreler kullanılmıştır. Buna göre; Ca^{+2} konsantrasyonu 5,30 – 1.010,40 ppm arasında değişkenlik göstermiş olup, ortalama Ca^{+2} değeri 103,93 ppm olarak bulunmuştur. Alınan numunelerin geneli, izin verilen sınır sayılan 200 ppm içinde olduğu bildirilmiştir.

Aynı araştırmacılar Na^+ konsantrasyonu 5,30 – 2.815,10 ppm arasında değiştiğini ve ortalama 275,74 ppm olduğunu bildirmişlerdir. Na^+ parametresi aldıkları su numunelerinin genelinde, 200 ppm'lik izin verilen sınır değerinin altında çıkmıştır. Ancak El Qaryat bölgesinden alınan su numuneleri 200 ppm'den daha yüksek çıktığını tespit etmişlerdir.

Çalışmanın devamında K^+ konsantrasyonu 1,60 - 138,30 ppm arasında olup, ortalama değeri 23,88 ppm bildirmişlerdir. Su numunelerin %50' sinin izin verilen 12 ppm sınır değerinin üstünde olduğunu saptamışlardır.

Al Qaryat bölgesinde YAS kuyularında sahada yürütülen araştırmada Mg^{+2} konsantrasyonu 3,10 - 503,00 ppm aralığındadır. Mg^{+2} ortalama değeri 59,94 ppm' dir. Alınan su numunelerinin müsaade edilen 150 ppm sınır değerinin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Makalede çalışılan bölgenin su numunelerindeki katyon değerleri sırasıyla $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+$ şeklindedir (Alrowais vd., 2023).

Samarra Barajı, Bağdat Şehri ve Kut Şehrinde 2016-2018 yılları arasında Dicle Nehri üzerindeki üç lokasyon seçilerek su kalitesi araştırılmıştır. Alınan su numunelerinde en yüksek Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} parametreleri saptamışlardır. Buna göre çalışılan üç lokasyondan sadece Kut şehri için paylaşılan Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} parametrelerinin maksimum değerleri sırasıyla 93,85; 95,03 ve 49,87 mg/L olup, WHO tarafından bildirilen standartlara göre içme suyu için izin verilen sınırın (200 mg/L) altında kaldığını bildirmişlerdir (Al-Obaidi vd., 2020).

Hindistanın Uttarakhand'ın Udham Singh Nagar Bölgesi'nde sulama suyunun kalitesinin değerlendirilmesinde YAS kuyularından su numunesi alınarak Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ elementlerinin analizi yapılmıştır. Sırasıyla; Ca^{+2} 20,0 - 140,0 mg/L, Mg^{+2} 14,1 - 85,0 mg/L, Na^+ 0,4 - 62,0 mg/L ve K^+ 0,0 - 55,2 mg/L aralığında saptamışlardır. Oysa katyon değerleri için öngörülen sınır değerler; Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ sırasıyla 80, 35, 200 ve 30 mg/L'dir. Öngörülen izin verilen sınır değerler esas alınarak yeraltı suyu örneklerinin

%96'sının Ca^{+2} , %42'sinin Mg^{+2} , %100' ünün Na^{+} ve %100'ünün K^{+} açısından sulama amaçlı kullanıma uygun olduğu paylaşımlardır (Singh vd., 2020).

4.7. Anyonlar (Cl^{-} , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , HCO_3^{-} , CO_3^{-2}) Bulguları

Yürütülen çalışmada 18 su numunesi üzerinde beş anyon çalışması yapılmıştır. Bunlar sırasıyla;

Cl^{-} , 2,8 - 68,4 mg/L aralığında olup, ortalama 12,06 mg/L olduğu saptanmıştır (Tablo 15). Ova genelinde 18 kuyudan alınan su numunelerinin yukarıda metodolojide bildirilen ilgili protokollere göre izin verilen sınır değerin (250 mg/L) altında kaldığı görülmüştür.

SO_4^{-2} su yılı boyunca 18 kuyudan alınan su numunesinin 15 – 96 mg/L aralığında olup, ortalama 46,0 mg/L olarak ölçülmüştür (Tablo 15). SO_4^{-2} içme suyu kalite parametrelerinin izin verilen maksimum değeri 250 mg/L'dir. Bulgularımızda 18 kuyununda 250 mg/L'nin oldukça altındadır.

PO_4^{-3} 0 – 0,1 mg/L aralığında ölçülmüş, ortalama 0,02 mg/L hesaplanmıştır (Tablo 15). Bu bileşik referans sınır değerin (0,4-5) oldukça altında kalmıştır.

HCO_3^{-} 125,8 - 320 mg/L aralığında ölçülmüş, ortalama 198,7 mg/L hesaplanmıştır.. HCO_3^{-} referans sınır değerin < 600 altında kalmıştır.

CO_3^{-2} çalışılan numunelerinde tespit edilememiştir. Zayıf asitler güçlü asitlerden daha fazladır. $\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-} > \text{PO}_4^{-3}$ olarak bulunmuştur.

Çalışmanın bulgularından anyon önemli yer tutmaktadır. Yukarıda ifade edildiği gibi beş anyon üzerinde çalışılmış, tüm anyon değerlerinin ilgili tabloda (Tablo 14) görüleceği gibi TS-266, EU, EPA ve WHO standartlarının altında kaldığı görülmüştür. Anyon parametreleri için Piper diyagramı (Şekil 13) ifade edildiği gibi bulgularımızı teyit ettiği görülebilir. Sonuç olarak anyon için öngörülen kritik eşik hiçbir şekilde aşılmadığı söylenebilir. Çalışma farklı araştırmacıların bulgularıyla karşılaştırılması yapılmış sonuçların benzerlik oranları aşağıda tartışılmıştır.

Suudi Arabistan'ın Al-Jouf bölgesinde alınan su numunelerinin SO_4^{-2} konsantrasyonları, yeraltı suyunun kullanıma uygun olmadığını göstermişlerdir. **SO_4^{-2} Konsantrasyonu** 0,30 - 19,96 ppm arasında olduğunu ve ortalama 3,06 ppm olarak saptamışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre ilgili protokollerin izin verilen sınır değerin altında kaldığını bildirmişlerdir. Suda bulunan Cl^{-} elementinin fazlalığı suda tuzlu bir tat yaratır ve insan sağlığını etkileyerek böbrek taşlarına neden olur. **Cl^{-}**

Konsantrasyonu 0,17 - 61,65 ppm arasında değiştiği ve ortalama 4,77 ppm bildirmişlerdir. Tüm yeraltı suyu örnekleri izin verilen sınırların altında değerler göstermiştir. Sonuçlar, alışma alanında anyonların bolluğunu $Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ şeklinde göstermektedir (Alrowais vd., 2023)

Çalışmada Dicle Nehri üzerinde 2016-2018 yılları arasında üç lokasyon seçilerek su kalitesi araştırılmıştır. Samarra Barajı, Bağdat şehri ve Kut şehrinde alınan su numunelerinin maksimum Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , ve HCO_3^- parametreleri saptanmıştır. Klorür iyonu her türlü doğal suda bulunduğunu ve ancak çok düşük konsantrasyonlarda olduğunu bildirmişlerdir. Klorür konsantrasyonu kanalizasyon, atık ıkışları ve sulama giderlerinin yakınında artığını, yüksek klorür konsantrasyonu suya tuzlu bir tat verdiğini ve boru hatlarında korozyona neden olduğunu paylaşmışlardır. Klorür konsantrasyonunun Kut şehrinde 117,72 mg/L olarak saptamışlardır. Bu değer WHO izin verdiği (250 mg/L) altında olduğunu bildirmişlerdir. Su kaynaklarında SO_4^{2-} atmosferik yağış ve endüstriyel deşarjlardan geldiğini bildirmişlerdir. Sülfat parametresi Bağdat ve Kut şehirlerindeki iki sahada izin verilen sınır değerden yüksek bulunduğunu, ancak Samarra Barajı'nda, 250 mg/L'lik izin verilen WHO sınırı içinde kaldığını saptamışlardır (Al-Obaidi vd., 2020b).

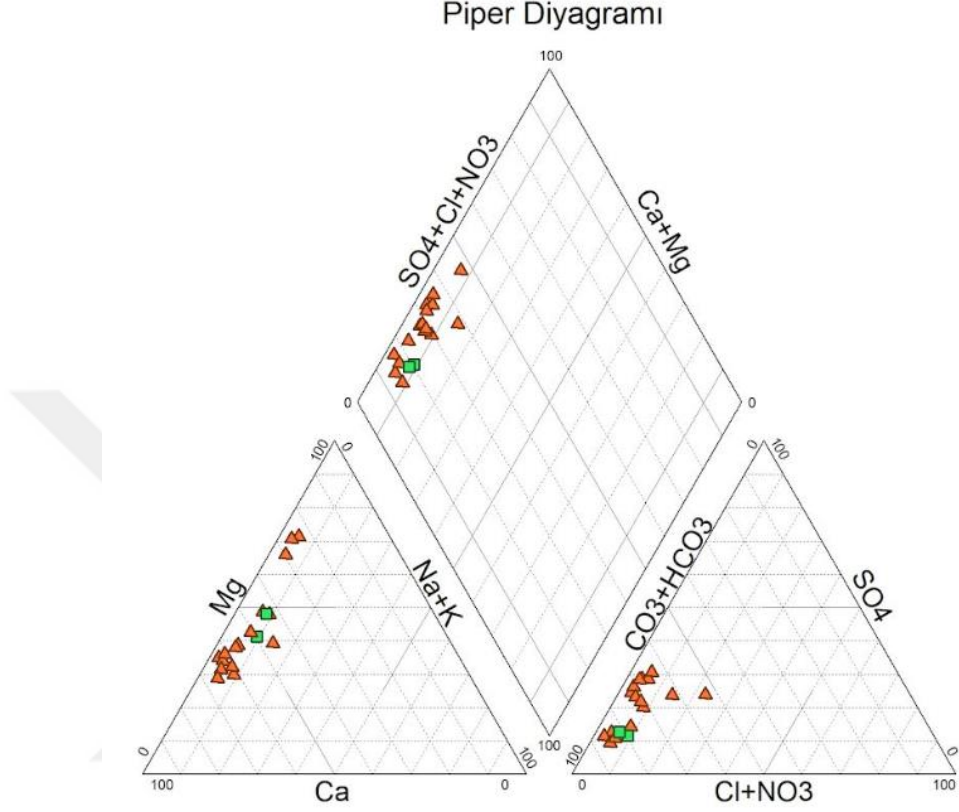
Hindistanda yapılan çalışmada YAS kuyularında alınan su numunelerinin HCO_3^- ve Cl^- değerleri sırasıyla 29,2 - 372,0 mg/L ve 8,2 - 252,4 mg/L aralığında değiştiği, HCO_3^- ve Cl^- anyonları için izin verilen sınır 250 mg/L olduğundan dolayı her iki anyonun, kimi YAS kuyularında bu sınır üzerine olduğunu bildirmişlerdir. SO_4^{2-} ve CO_3^{2-} değerleri sırasıyla 0,2 - 150,4 mg/L ve 0 - 12 mg/L aralığında değişmektedir. Başlıca anyonlara bakıldığında HCO_3^- elementi alınan su örneklerinin %64'ünün ve Cl^- elementinin değerlerine göre %98'inin sulama suyuna uygun olduğunu bulmuşlardır (Singh vd., 2020).

Çalışmada tüm 18 YAS kuyusundan alınan su numuneleri sonuçlarında Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} değerleri referans sınır değerlerinin oldukça altında gerçekleştiği, ilgili tablo ve şekilde diyagram olarak verilmiştir. Bulgularımızın sonuçları genel olarak benzer çalışmaları yürüten farklı lokasyon değerleri ile karşılaştırıldığında, sonuçlarımızın daha düşük seviyede kaldığı, suyun kullanabilirlik açısından değerlendirildiğinde alternatiflerine göre daha pozitif çıktığı görülebilir.

4.8. Piper Diyagramı

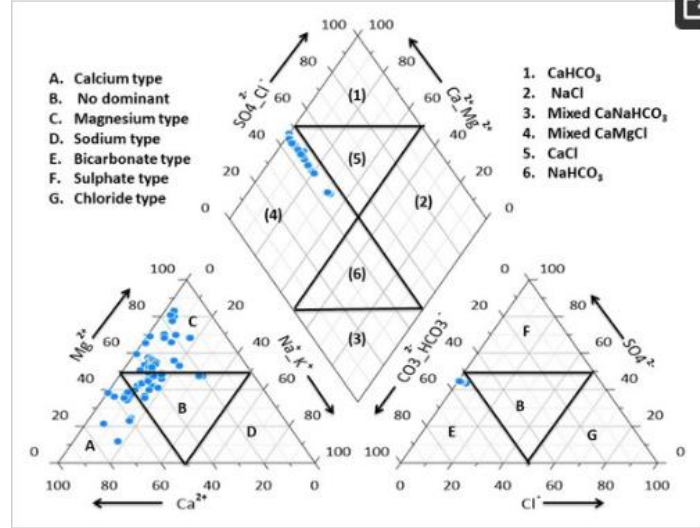
Silopi Ovasından alınan su numunelerine ait Piper diyagramında kullanılan dataların dağılımı gösterilmiştir. Diyagramın görselinden çıkan sonuç; alkali toprak elementlerinin

($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) > ($\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$) baskın olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca zayıf asit kökleri olan ($\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-}$) > güçlü asit kökleri ($\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-}$) görülmüştür. Nitekim 18 lokasyondan alınan su numunelerinin karbonat sertliği %50 fazla olan grupta yer aldığı görülmüştür (Şekil 13).



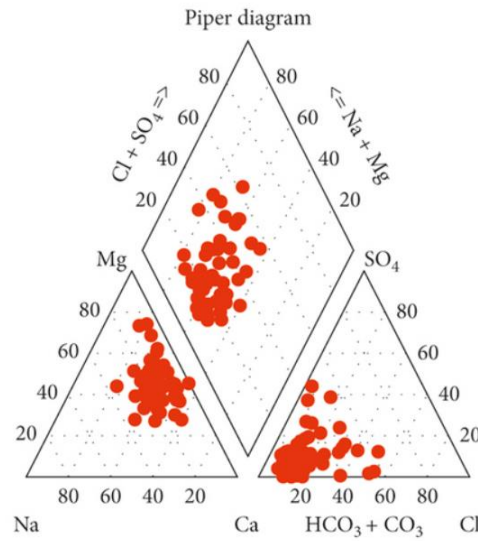
Şekil 14. Piper diyagramı,

Suudi Arabistanın Tabuk bölgesinde yapılan benzer çalışmada Piper diyagramının elmas şeklindeki alanı ayrıca (I) $\text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2} - \text{Cl}^{-} - \text{SO}_4^{-2}$, (II) $\text{Na}^{+} - \text{K}^{+} - \text{Cl}^{-} - \text{SO}_4^{-2}$, (III) $\text{Na}^{+} - \text{K}^{+} - \text{HCO}_3^{-}$ ve (IV) $\text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2} - \text{HCO}_3^{-}$ olarak sınıflandırılabilir. Toplanan yeraltı suyu kuyusu örnekleri $\text{Ca}^{+2} - \text{Mg}^{+2} - \text{Cl}^{-} - \text{HCO}_3^{-}$ su tipine aittir (Fallatah ve Khattab, 2023). Bu çalışma Silopi Ovası için oluşturduğumuz diyagrama benzerdir. Piper diyagramın değerlendirilmesinde Şekil 14’te verilen görsel sonuçları çalışmamızı destekler nitelikte olup, bulgularımız bu diyagramı besleyen parametrelere ait değerlerin altında kaldığı görülmüştür.



Şekil 15. Tabuk bölgesinden toplanan yeraltı suyu numunelerinin Piper diyagramı.

Yapılan başka bir çalışmada Piper diyagramındaki verilere bakıldığında, su numunelerinin %50'si Mg^{+2} , Ca^{+2} ve HCO_3^- tipi, %48'i Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Cl^- tipi, yalnızca %2'si Ca,Na ve HCO_3^- tipine ait olduğunu bildirmişlerdir. Piper diyagramı ve Durov diyagramındaki bakıldığında, katyonların $Mg^{+2} > Ca^{+2} > Na^+$, anyonların ise $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$ baskın olduğunu ifade etmişlerdir (Şekil 15). Çalışmada, yeraltı su numunelerinin baskın iyonlarının alkali toprak metalleri olduğunu bildirmişlerdir. Yüksek seviyelerde kalsiyum elementinin olması, kayaçların morfolojisine bağlı olabileceğine, ancak sodyum ve magnezyum iyonlarının baskın olması ise kirli kayaçların ve toprakların çözümlerinden kaynaklandığını bildirmişlerdir (Singh vd., 2020).



Şekil 16. Su numunelerinin Piper diyagramı

4.9. TDS bulguları

Çalışmada hidrolik su yılı boyunca 18 YAS kuyusunun TDS değerleri 194 - 390 mg/L aralığında değişmiştir. YAS kuyularının ortalama TDS değeri 286,8 mg/L hesaplanmıştır. Su numunelerinin WHO belirlediği sınır değer 1.000 mg/L, EPA' nın izin verdiği 500 mg/L'lik değerın altında kalmıştır. Bu sonuçlar TDS parametresine ait dataların “orta seviye”ve “İçilebilir” su sınıfına girdiği saptanmıştır.

Fallatah ve Kahattab'ın 2023 yılında yapmış olduğu çalışmada yeraltı suyu numunelerinin TDS değerleri 411 - 11.167 arasında değıştiği, ortalama 2.483 mg/L'dir. Toplanan yeraltı su numunelerinin bir kısmının 2.000 mg/L'lik izin verilen sınırın altında, diğerlerinin ise sınırın üzerinde olduğunu saptamışlardır. TDS değeri 1.000 mg/L'den yüksek olan yeraltı su numunelerini tatlı su olarak kabul etmişlerdir. Sonuç olarak çözünmüş katyonların toplam yükü, çözünmüş anyonların yüküyle dengelenmediğini belirtmişlerdir. Su kalitesine etkileyen başka çözünmüş iyonlar veya çözünen maddeler olabileceği anlamına gelmektedir. Organik ve inorganik karbon, azot, fosfor ve mikrobiyolojik patojenler, su kalitesini ve su kullanım güvenliğini değerlendirmek için vazgeçilmez göstergelerdir. Çalışmada alınan su numunelerinin, doğrudan sulama amaçları ve çölden geri kazanım için uygun olmadığını; bunun yerine, kullanılmadan önce arıtılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Çalışmamızda TDS değeri 1.000 mg/L'den düşük olduğundan, dolayı, daha iyi olduğü söylenebilir.

Tablo 15. ŞUSKİ laboratuvarından gelen 18 YAS kuyularının analiz sonuçları

Parametreler	Numune Alınma Tarihleri	SLPOZGNES	SLPCM HP	SLPÇRCRCT	SLPORTKY YÜ	SLP VRMLMD	SLPKPLHÖ	SLPAKTPSG	SLPBSVRMLNY	SLPORTKYSK	SLPBGDYLUCU	SLPYNKLMP	SLPBSTNSİ	SLPKVKÖZA	SLPVRMLİY	SLPBŞKYMÖ	SLPYKRMÖ	SLPVRMLHLÖ	SLPBGDLRK
Sülfat SO_4^{2-} (mg/l)	18.03.2024	32,0	26,0	18,0	19,0	54,0	73,0	92,0	70,0	81,0	64,0	88,0	23,0	34,0	65,0	52,0	48,0	18,0	23,0
	30.04.2024	16,0	24,0	17,0	17,0	43,0	69,0	85,0	68,0	78,0	63,0	96,0	21,0	38,0	67,0	47,0	52,0	21,0	25,0
	29.05.2024	28,0	25,0	21,0	19,0	55,0	55,0	82,0	77,0	65,0	55,0	90,0	19,0	33,0	64,0	53,0	44,0	17,0	19,0
	30.06.2024	18,0	29,2	19,0	15,0	58,0	62,0	76,0	68,0	61,0	58,0	69,0	22,0	36,0	58,0	46,0	48,0	23,0	20,0
	20.07.2024	25,0	28,0	21,0	20,0	47,0	77,0	88,0	56,0	56,0	77,0	77,0	20,0	28,0	56,0	52,0	44,0	17,0	25,0
	10.08.2024	22,0	27,0	18,0	16,0	52,0	64,0	90,0	64,0	58,0	72,0	86,0	18,0	30,0	67,0	50,0	50,0	19,0	22,0
	13.09.2024	20,0	24,0	17,0	18,0	49,0	59,0	96,0	63,0	68,0	69,0	90,0	22,0	32,0	63,0	54,0	47,0	20,0	23,0
ORTALAMA		23,0	26,2	18,7	17,7	51,1	65,6	87,0	66,6	66,7	65,4	85,1	20,7	33,0	62,9	50,6	47,6	19,3	22,4
Amonyum NH_4^+ (mg/l)	18.03.2024	0,1	0,1	0,0	<0,1	0,0	<0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	2,0	0,2	0,1	0,7	0,2	0,1
	30.04.2024	0,0	0,3	0,2	0,1	0,4	<0,1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,8	0,2	0,1
	29.05.2024	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	<0,1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,1	0,8	0,2	0,2
	30.06.2024	0,0	0,1	0,3	<0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2
	20.07.2024	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,8	0,2	0,2
	10.08.2024	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	<0,1	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,8	0,2	0,2
	12.09.2024	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	0,8	0,1	0,1
ORTALAMA		0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,8	0,2	0,2
Florür F^- (mg/l)	18.03.2024	0,4	0,3	0,7	0,3	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8
	30.04.2024	0,6	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,9
	29.05.2024	0,5	0,5	0,6	0,3	0,4	0,7	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,5	0,6	0,4	0,5	0,7	0,9
	30.06.2024	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,7	0,6	0,6	0,8
	20.07.2024	0,8	0,4	0,7	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7	0,9
	10.08.2024	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,7	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7	0,8
	12.09.2024	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,9	0,5	0,5	0,5	0,6	0,9
ORTALAMA		0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,9
Fosfat PO_4^{3-} (mg/l)	18.03.2024	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	30.04.2024	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	29.05.2024	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	0,0	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	30.06.2024	0,0	0,1	0,0	<0,1	0,0	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	20.07.2024	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	10.08.2024	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0
	12.09.2024	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,0

Tablo 15. (Devam)

Kalsiyum Ca ²⁺ (mg/l)	18.03.2024	58,9	75,5	47,3	60,5	76,7	77,8	35,7	40,4	53,7	25,6	65,7	42,8	65,3	42,5	53,4	52,4	51,4	48,9
	30.04.2024	64,5	94,7	45,6	63,6	81,5	80,3	33,7	36,6	55,6	21,5	77,9	37,0	63,3	44,5	52,6	53,3	53,2	54,2
	29.05.2024	61,3	89,6	47,5	65,3	77,9	74,5	35,6	41,2	58,7	35,6	74,5	41,3	69,3	49,6	55,6	44,5	52,4	55,2
	30.06.2024	52,4	75,0	40,4	52,3	70,2	63,2	28,5	48,5	42,3	22,4	58,6	36,1	62,1	36,6	43,0	52,6	55,2	51,8
	20.07.2024	66,9	65,3	52,6	61,3	69,6	77,6	30,5	39,0	61,5	28,6	75,6	39,0	63,3	41,2	54,2	54,7	49,9	59,6
	10.08.2024	55,6	78	49,3	60	75,5	75,6	33,8	37,4	56,8	27,4	74,8	40,6	62,8	43,7	55,8	50	52,2	50,4
	12.09.2024	59,6	78,9	48,6	66,3	74,5	74,5	33,6	39,6	57,5	30,5	68,6	44,5	77,9	45,6	50,9	55,6	50,6	49,6
ORTALAMA		59,9	79,6	47,3	61,3	75,1	74,8	33,1	40,4	55,2	27,4	70,8	40,2	66,3	43,4	52,2	51,9	52,1	52,8
Magnezyum Mg ²⁺ (mg/l)	18.03.2024	25,9	32,6	21,5	22,6	24,2	29,8	24,4	73,5	75,3	14,2	23,5	20,5	27,3	74,6	35,8	27,3	13,6	38,2
	30.04.2024	15,6	28,6	15,4	15,2	21,6	28,7	25,7	77,5	79,1	11,5	23,6	20,5	26,1	77,5	35,6	25,4	13,2	37,6
	29.05.2024	19,6	25,6	19,7	17,9	20,6	26,0	20,6	74,5	72,2	15,3	25,8	20,7	22,3	74,5	33,7	25,8	13,2	35,2
	30.06.2024	23,7	36,3	23,1	16,8	26,4	22,3	18,6	70,4	69,3	12,6	19,6	17,4	32,5	60,3	30,2	26,3	12,6	34,6
	20.07.2024	15,9	22,4	20,4	20,4	21,6	29,7	23,7	69,9	77,7	14,9	22,4	21,5	28,9	69,9	39,0	27,6	14,5	33,7
	10.08.2024	21,2	20,2	20,5	18,8	24,2	27,5	22,3	72,2	68,6	14,2	23,2	22,2	26,2	70,2	34,4	26,8	13,6	34,4
	12.09.2024	20,3	19,6	19,0	14,9	19,6	25,4	21,5	75,6	74,5	15,7	21,9	19,0	25,7	75,6	35,6	25,7	16,0	33,6
ORTALAMA		20,3	26,5	19,9	18,1	22,6	27,1	22,4	73,4	73,8	14,1	22,9	20,3	27,0	71,8	34,9	26,4	13,8	35,3
Sodyum Na ⁺ (mg/l)	18.03.2024	1,3	4,1	1,3	7,1	3,7	3,7	3,4	1,3	3,6	1,2	7,4	4,8	2,7	1,2	5,2	5,5	3,8	2,5
	30.04.2024	1,1	3,9	1,5	5,6	3,5	5,2	3,3	1,1	4,0	1,0	7,7	5,3	3,1	1,1	5,7	5,4	4,0	2,7
	29.05.2024	1,1	4,0	2,0	6,3	3,0	4,2	3,5	1,2	3,9	1,3	7,9	5,1	3,6	1,2	5,5	5,6	3,7	2,6
	30.06.2024	1,1	5,0	2,4	5,2	3,2	4,0	3,0	1,0	3,0	1,2	7,0	4,2	3,0	0,8	4,2	5,5	3,1	2,5
	20.07.2024	1,5	3,0	1,0	6,3	3,6	3,7	3,5	1,6	3,5	1,1	6,5	5,1	2,7	1,6	5,2	5,6	4,0	2,6
	10.08.2024	1,2	4	2,2	5,3	3,4	3,6	3,2	1,4	3,2	1,2	6,6	5,2	2,8	1,2	4,8	5,4	3,8	2,2
	12.09.2024	1,3	3,6	1,3	3,3	4,5	4,5	3,6	1,5	3,7	1,1	6,9	5,0	2,3	1,5	5,2	5,4	3,9	2,6
ORTALAMA		1,2	3,9	1,7	5,6	3,6	4,1	3,4	1,3	3,6	1,2	7,1	5,0	2,9	1,2	5,1	5,5	3,8	2,5
Bikarbonat HCO ₃ ⁻ (mg/l)	18.03.2024	190,8	161,7	150,6	195,5	180,5	170,7	285,0	194,6	202,0	210,0	244,0	184,0	153,0	168,0	194,0	193,5	186,0	184,0
	30.04.2024	204,0	203,6	212,0	216,0	222,0	226,0	300,0	208,0	206,0	227,0	285,0	188,0	151,0	176,0	211,0	190,4	192,0	176,0
	29.05.2024	221,0	211,8	178,0	218,6	199,0	211,0	305,0	211,0	201,0	229,0	253,0	193,0	152,0	196,0	207,0	188,8	184,0	180,0
	30.06.2024	182,2	162,3	145,2	184,3	184,2	182,3	320,0	175,0	235,2	212,0	241,3	175,0	140,0	162,3	201,0	194,0	193,0	185,0
	10.08.2024	193,2	184,9	174,8	193,5	190,2	187,4	304,2	193,0	200,0	210,0	230,0	172,0	130,0	158,0	195,0	200,4	188,8	182,8
	20.07.2024	196,0	188,5	205,0	228,0	189,0	208,0	277,0	188,3	196,0	230,0	227,0	174,0	169,0	189,0	196,0	206,0	185,4	178,0
	12.09.2024	178,0	155,2	185,0	198,3	175,8	185,0	284,4	193,0	188,2	195,3	215,3	185,1	149,0	125,8	188,3	204,0	188,0	193,0
ORTALAMA		195,0	181,1	178,7	204,9	191,5	195,8	296,5	194,7	204,1	216,2	242,2	181,6	149,1	167,9	198,9	196,7	188,2	182,7

Tablo 15. (Devam)

Klorür Cl ⁻ (mg/l)	18.03.2024	7,1	10,0	3,7	5,7	8,6	6,7	8,4	10,6	5,8	26,2	68,4	12,3	10,2	7,2	8,2	11,3	8,2	7,8
	30.04.2024	2,8	9,2	2,8	6,6	2,8	5,4	7,0	8,8	6,0	28,8	67,2	11,3	10,4	7,8	7,3	12,0	7,5	8,2
	29.05.2024	5,2	10,2	3,1	7,6	5,6	8,8	7,4	9,5	5,4	29,6	52,3	12,4	11,3	7,8	8,4	11,8	6,8	7,4
	30.06.2024	4,4	12,6	3,6	9,0	4,4	5,2	6,8	9,3	5,3	30,3	65,2	12,5	9,8	6,5	6,2	12,3	7,9	8,0
	20.07.2024	6,3	11,7	3,9	7,6	3,6	7,9	6,3	10,2	7,7	28,3	59,4	10,2	10,5	10,3	8,9	10,2	7,4	8,9
	10.08.2024	5,4	12,7	3,4	8,0	4,9	6,5	7,3	8,6	6,5	28,5	58,0	12,0	10,0	9,4	8,6	11,4	8,5	8,6
	12.09.2024	8,2	10,3	3,6	7,3	4,8	6,5	7,5	8,5	6,4	30,4	53,6	11,4	10,4	9,3	9,9	10,3	9,3	7,2
	ORTALAMA	5,6	11,0	3,4	7,4	5,0	6,7	7,2	9,4	6,2	28,9	60,6	11,7	10,4	8,3	8,2	11,3	7,9	8,0
Potasyum K ⁺ (mg/l)	18.03.2024	2,7	3,7	6,4	7,9	5,5	1,3	8,6	14,2	9,2	13,8	4,4	5,8	6,8	9,4	8,0	4,6	1,8	15,5
	30.04.2024	2,9	3,9	6,0	7,9	5,0	1,6	7,7	14,6	10,3	14,9	4,5	5,6	5,7	9,6	8,7	4,2	1,5	14,6
	29.05.2024	2,8	4,0	6,1	7,8	5,1	1,2	8,0	13,9	9,7	15,7	4,4	6,3	5,0	9,9	6,4	4,4	0,2	15,2
	30.06.2024	2,2	2,9	6,0	7,0	4,6	1,5	7,2	13,3	8,8	14,2	3,8	5,4	8,3	8,5	8,2	4,7	1,6	14,8
	20.07.2024	2,1	3,2	6,0	7,5	5,2	1,6	8,4	14,9	10,3	13,7	4,0	6,0	7,4	10,9	6,9	4,6	1,7	13,7
	10.08.2024	2,1	3,1	6,2	7,6	5,2	1,6	8,3	14,6	9,4	14,7	4,1	6,4	7,2	10,3	6,1	4,5	1,7	14,9
	12.09.2024	2,1	3,0	6,3	7,7	5,1	1,5	8,1	14,2	8,5	15,6	4,0	6,7	7,0	9,6	6,9	4,3	1,6	16,0
	ORTALAMA	2,4	3,4	6,1	7,6	5,1	1,5	8,0	14,2	9,5	14,7	4,2	6,0	6,8	9,7	7,3	4,5	1,4	15,0
COD ₅	18.03.2024	16,3	20,1	18,4	17,9	16,3	17,3	19,4	10,4	24,6	22,6	26,6	22,4	17,2	10,8	16,2	28,2	22,4	22,5
	30.04.2024	18,5	22,4	23,3	16,8	18,5	20,8	18,3	8,9	24,7	21,4	27,3	25,6	16,5	11,2	16,3	27,2	20,2	22,6
	29.05.2024	20,3	20,3	20,5	17,5	20,3	19,6	18,9	10,5	25,6	20,8	25,6	21,4	14,0	10,8	15,8	29,6	22,4	23,2
	30.06.2024	18,9	23,6	21,6	15,6	18,9	22,5	20,3	14,9	23,6	22,3	25,6	19,2	15,6	11,6	15,8	27,2	20,6	21,4
	20.07.2024	19,6	21,9	20,8	15,2	19,6	18,6	21,5	12,3	20,8	23,6	24,5	29,6	18,0	15,2	16,5	26,6	20,5	23,8
	10.08.2024	20,0	22,4	20,6	16,8	20,0	20,9	19,4	13,5	24,7	22,8	24,8	23,4	17,8	12,8	15,5	28,6	23,6	21,7
	12.09.2024	21,2	20,6	19,6	18,3	20,0	21,3	20,1	11,5	22,6	22,4	23,8	25,4	16,0	11,8	14,3	27,8	20,4	22,5
	ORTALAMA	19,3	21,6	20,7	16,9	19,1	20,1	19,7	11,7	23,8	22,3	25,5	23,9	16,4	12,0	15,8	27,9	21,4	22,5
BOD ₅	18.03.2024	5,3	7,6	6,9	8,0	6,5	6,4	9,2	7,2	7,2	7,2	6,7	6,7	5,0	6,4	5,1	7,2	6,7	9,3
	30.04.2024	5,0	8,3	7,9	8,3	7,9	7,2	9,5	7,6	7,0	7,0	6,8	6,0	5,1	6,5	5,3	7,4	7,3	10,4
	29.05.2024	5,0	5,3	8,0	6,3	9,6	7,0	9,9	8,5	6,9	7,4	6,9	7,4	4,8	7,0	7,8	6,9	6,8	9,4
	30.06.2024	6,3	8,1	7,1	8,2	7,3	6,8	8,2	7,5	7,4	6,1	7,2	7,0	3,7	4,4	3,7	7,6	6,6	8,8
	20.07.2024	6,0	7,9	9,0	7,3	8,6	6,6	10,2	7,4	7,9	6,9	7,7	7,5	5,2	5,9	5,2	6,8	6,8	8,6
	10.08.2024	6,2	7,5	7,2	7,0	7,5	7,4	9,5	7,8	8,0	7,3	7,6	6,8	4,8	6,2		6,9	7,2	9,2
	12.09.2024	5,7	7,6	7,4	6,9	7,4	6,9	8,9	6,9	7,4	6,6	6,5	6,9	5,1	5,8	4,3	7,2	6,5	10,2
	ORTALAMA	5,6	7,5	7,6	7,4	7,8	6,9	9,3	7,5	7,4	6,9	7,1	6,9	4,8	6,0	5,3	7,1	6,8	9,4

Tablo 15. (Devam)

E. COLİ	18.03.2024	18,0	20,0	34,0	20,0	30,0	>100	57,0	54,0	47,0	40,0	55,0	41,0	33,0	44,0	35,0	50,0	55,0	45,0
	30.04.2024	22,0	31,0	40,0	30,0	34,0	>100	60,0	60,0	45,0	32,0	56,0	40,0	30,0	40,0	35,0	48,0	54,0	85,0
	29.05.2024	20,0	33,0	38,0	20,0	48,0	>100	59,0	58,0	40,0	40,0	44,0	32,0	35,0	43,0	38,0	52,0	62,0	77,0
	30.06.2024	25,0	29,0	35,0	20,0	38,0	>100	55,0	48,0	55,0	36,0	45,0	45,0	30,0	45,0	45,0	45,0	49,0	84,0
	20.07.2024	20,0	35,0	40,0	45,0	40,0	>100	60,0	50,0	40,0	43,0	55,0	40,0	40,0	50,0	40,0	54,0	54,0	86,0
	10.08.2024	27,0	38,0	42,0	55,0	54,0	>101	65,0	63,0	45,0	47,0	58,0	44,0	38,0	48,0	38,0	55,0	60,0	78,0
	12.09.2024	24,0	42,0	37,0	60,0	36,0	>100	60,0	55,0	52,0	50,0	60,0	50,0	30,0	44,0	44,0	56,0	49,0	79,0
	ORTALAMA	22,3	32,6	38,0	35,7	40,0	>100	59,4	55,4	46,3	41,1	53,3	41,7	33,7	44,9	39,3	51,4	54,7	76,3
T. KOLİFORM	18.03.2024	40,0	80,0	60,0	80,0	80,0	>100	80,0	70,0	85,0	80,0	100,0	80,0	60,0	80,0	80,0	75,0	75,0	65,0
	30.04.2024	30,0	60,0	60,0	80,0	90,0	>100	80,0	70,0	80,0	80,0	100,0	80,0	60,0	80,0	80,0	85,0	80,0	70,0
	29.05.2024	30,0	60,0	60,0	70,0	80,0	>100	80,0	70,0	100,0	80,0	100,0	80,0	60,0	80,0	80,0	70,0	75,0	75,0
	30.06.2024	50,0	60,0	60,0	60,0	80,0	>100	80,0	70,0	70,0	80,0	100,0	80,0	50,0	80,0	80,0	70,0	70,0	75,0
	20.07.2024	30,0	50,0	60,0	80,0	80,0	>100	80,0	70,0	80,0	80,0	100,0	80,0	50,0	80,0	80,0	80,0	80,0	50,0
	10.08.2024	50,0	50,0	60,0	80,0	90,0	>101	80,0	70,0	90,0	70,0	100,0	80,0	60,0	80,0	80,0	70,0	75,0	65,0
	12.09.2024	40,0	60,0	60,0	80,0	90,0	>100	80,0	70,0	80,0	60,0	100,0	80,0	60,0	80,0	80,0	80,0	80,0	60,0
	ORTALAMA	38,6	60,0	60,0	75,7	84,3	>100	80,0	70,0	83,6	75,7	100,0	80,0	57,1	80,0	80,0	75,7	76,4	65,7
TDS Toplam Çözünbilir Katı Madde (mg/L)	18.03.2024	255,0	276,0	325,0	265,0	225,0	249,0	334,0	353,0	230,0	274,0	368,0	304,0	336,0	258,0	364,0	256,0	204,0	234,0
	30.04.2024	245,0	281,0	354,0	258,0	243,0	255,0	362,0	346,0	242,0	286,0	382,0	296,0	344,0	274,0	358,0	243,0	210,0	253,0
	29.05.2024	274,0	275,0	350,0	284,0	267,0	244,0	346,0	322,0	241,0	290,0	374,0	303,0	328,0	289,0	357,0	264,0	207,0	242,0
	30.06.2024	244,0	292,0	330,0	262,0	258,0	256,0	328,0	338,0	238,0	298,0	386,0	308,0	342,0	286,0	364,0	248,0	194,0	233,0
	20.07.2024	238,0	294,0	302,0	255,0	260,0	266,0	345,0	344,0	235,0	296,0	382,0	290,0	332,0	265,0	350,0	255,0	196,0	244,0
	10.08.2024	270,0	288,0	322,0	245,0	244,0	254,0	338,0	358,0	248,0	285,0	390,0	304,0	336,0	249,0	364,0	249,0	210,0	238,0
	12.09.2024	274,0	286,0	296,0	231,0	229,0	238,0	341,0	352,0	253,0	280,0	374,0	278,0	302,0	240,0	324,0	241,0	218,0	243,0
	ORTALAMA	257,1	284,6	325,6	257,1	246,6	251,7	342,0	344,7	241,0	287,0	379,4	297,6	331,4	265,9	354,4	250,9	205,6	241,0

4.10. Sulama Suyu Kalite Değerlendirilmesinde Kullanılan Analitik Denklem Sonuçları

Sulama sularının değerlendirilmesinde ŞUSKİ’ de yapılan analizler sonucu yedi farklı eşitlikten yararlanılarak değerlendirme yapılmıştır (Tablo 16). Bunlar; SAR, KR, %Na, MH, PS, RSC ve PI değeridir. Ayrıca wilcox, ABD tuzluluk ve Piper diyagramı kullanılarak alınan su numunelerinde suların sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki sulama suyu kalite endekslerinin hesaplanmasında kullanılan tüm çözünmüş iyonların (Cl, HCO₃, SO₄, Na, K, Ca, Mg) konsantrasyonları meq/L cinsinden olmalıdır.

Tablo 16. Sulama suyunun kalitesinde kullanılan eşitlikler

SAR (Richards, 1954)	$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}{2}}}$	< 10 Mükemmel 10-18 iyi 18-26 Şüpheli > 26 Uygun değil
%Na (Wilcox, 1955)	$Na\% = \left(\frac{Na^+ + K^+}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ + K^+)} \right) * 100$	< 20 Mükemmel 20-40 İyi 40-60 İzin verilebilir 60-80 Şüpheli > 80 Uygun değil
KR (Kelley, 1963)	$KR = \frac{Na^+}{(Ca^{+2} + Mg^{+2})}$	< 1 Uygun > 1 Uygun değil
MH (Szabolcs, ve Darab, 1964)	$MH = \left(\frac{Mg^{+2}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2})} \right) * 100$	< 50 Uygun > 50 Uygun değil
PS (Doneen, 1964; Omotoso ve Ojo, 2012).	$PS = Cl^- + 0.5 * SO_4^{2-}$	< 3 Uygun > 3 Uygun değil
RSC (Eaton, 1950)	$RSC = CO_3^{2-} + HCO_3^- - Ca^{+2} + Mg^{+2}$	< 1,25 İyi 1,25 – 2,50 İzin verilebilir >2,50 Uygun değil
PI (Doneen, 1964)	$PI = \left(\frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+)} \right) * 100$	> 75 Sınıf I (Mükemmel) 25 - 75 Sınıf II (İyi) < 25 Sınıf III Uygun değil

Tablo 17. Sulama suyunun kalitesinin belirlenmesinde kullanılan analitik denklemlerin sonuçları

Lokasyon Noktaları	SAR (meq/L)	%Na	KR (meq/L)	MH (meq/L)	PS (meq/L)	RSC (meq/L)	PI (meq/L)	EC μS/cm
SLPOZGNES	0,03	2,38	0,01	35,79	0,40	-1,46	39,06	453,60
SLPCMHP	0,10	4,01	0,03	35,38	0,58	-3,18	29,95	588,70
SLPÇRÇRCT	0,05	5,45	0,02	40,90	0,29	-1,07	43,87	415,40
SLPORTKY YÜ	0,16	8,79	0,05	32,69	0,39	-1,19	43,34	500,00
SLP VRMLMD	0,90	4,87	0,03	33,11	0,67	-2,47	33,47	555,60
SLPKPLHÖ	0,10	3,51	0,03	37,34	0,87	-2,75	32,09	540,90
SLPAKTPSG	0,11	9,18	0,04	52,68	1,11	1,37	64,6	506,10
SLPBSVRMLNY	0,03	4,96	0,01	74,93	0,96	-4,86	22,72	402,70
SLPORTKYSK	0,07	4,34	0,02	68,74	0,87	-5,46	22,16	421,00
SLPBGDYLCU	0,05	14,52	0,02	45,84	1,50	1,03	75,18	461,60
SLPYNKLMF	0,19	7,14	0,06	34,73	2,59	-1,42	40,33	412,30
SLPBSTNSİ	0,16	9,17	0,06	45,37	0,55	-0,7	49,93	881,10
SLPKVKÖZA	0,08	5,15	0,02	40,11	0,64	-3,09	29,85	421,60
SLPVRMLİY	0,03	3,59	0,01	73,13	0,89	-5,32	21,06	400,90
SLPBŞKYMÖ	0,13	6,95	0,04	52,37	0,76	-2,21	35,59	659,90
SLPYKRMÖ	0,15	6,93	0,05	45,55	0,81	-1,54	40,67	478,00
SLPVRMLHLÖ	0,12	5,11	0,04	30,35	0,42	-0,65	49,24	410,30
SLPBGDLRK	0,07	8,18	0,02	52,37	0,46	-2,55	32,55	871,00

4.10.1. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Yeraltı suyunun sulama amacına uygunluğunun belirlenmesinde kullanılan ana ve önemli parametredir. SAR değerlerine göre sulama suyunun sınıflandırılması; SAR 0-10 arasında ise, “mükemmel” yani düşük sodyumlu su anlamına gelmektedir. SAR 10-18 arasında ise “izin verilebilir” orta sodyumlu su demektir. SAR değerinin 18 -26 arasında olması “şüpheli” ve 26’dan büyük olması içme ve sulama suyuna uygun olmadığını ve yüksek sodyum içeriğine sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 17).

Ovadan alınan su numunelerinden elde edilen SAR değerleri 0,03 – 0,19 arasında değişmiştir ve bu nedenle sulama amacı için “mükemmel” kategoriye girmiştir.

Kazakistan Syr Darya Nehrinde sulama suyunun kalitesinin araştırılmasında, alınan tüm su numunelerinin SAR değerleri (%100) sulama suyuna uygun olduğunu göstermişlerdir (Zhang vd., 2019). Hindistan Hammakonda bölgesinde alınan su numunelerinin SAR değerleri 0,35 – 0,97 arasında olup < 10 olduğunda dolayı uygun olduğunu bildirmişlerdir (Narsimha vd., 2013). Uttarakhand, Udham Singh Nagar bölgesinden tarıma uygunluk için yeraltı suyu kalitesi araştırılmıştır. Alınan su numunelerinin SAR değerleri 0,01 - 1,49 arasında değişmiştir. Sonuç mükemmel çıkmış ve sınıflandırmaya göre S1 olduğunu saptamışlardır (Singh vd., 2020).

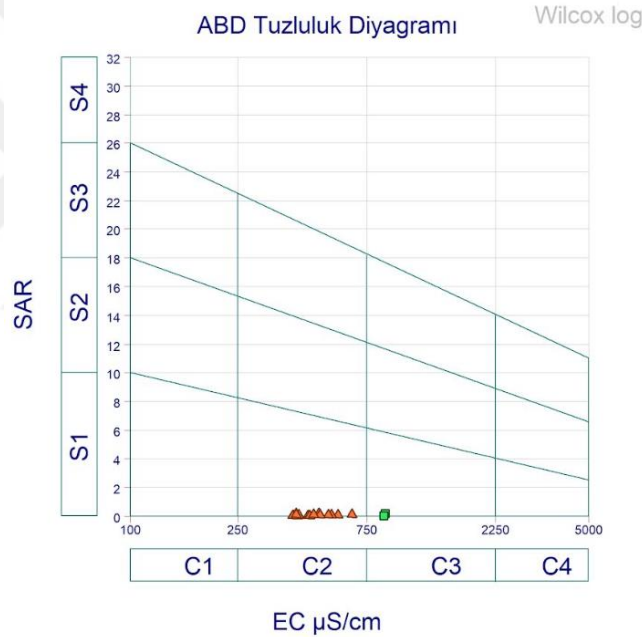
Yüksek Sodyum içeriğine sahip yeraltı suları, tarımsal alanlar için uygun değildir.

Tarımsal suluma için yüksek SAR değerinin toprak bünyesini olumsuz etkilediğini, toprak permabilitesini azalttığını ve erozyona sebep olduğunu bildirmişlerdir (Bhat vd., 2018).

Sonuç olarak 18 kuyudan alınan su numunelerinin SAR değeri yukarıda ifade edildiği gibi son derece düşük olduğu ve benzer tepkilerin alındığı söylenebilir.

4.10.1.1. Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk Laboratuvarı (USSL) diyagramı

USSL tuzluluk diyagramına göre Silopi Ovasında 18 lokasyona ait YAS suyularından alınan su numunelerinden, 16'da EC değerleri 410,30 – 682,70 $\mu\text{S/cm}$ aralığında olduğu okunmuştur. Wilcox diyagramında görüleceği gibi SAR değerleri incelendiğinde su numunelerin 0,03 – 0,19 meq/L ölçülmesinden dolayı, ovanın genelinde SAR*EC kombinasyonundan, suların C2S1 olduğu net olarak söylenebilir. Numunelerden sadece ikisi C3S1 sınıfında yer almıştır (Şekil 16).



Şekil 17. ABD Tuzluluk Diyagramı, Sulama Suyu Sınıflandırılması

Udham Singh Nagar Bölgesi'ndeki su örneklerinin SAR ve EC değerleri ABD tuzluluk diyagramı çizilmiştir. Toplanan su numunelerinden 43'ü C2S1'e (düşük sodyum kategorisine sahip olup orta tuzluluk sınıfındadır) ve kalan 7 su numunesinin C3S1'e (yüksek tuzluluk ve düşük sodyum kategorisine) düştüğü bildirmişlerdir. Alınan su numunelerinin geneli C3S1 C2S1 hücrelerine düştüğünü ve bunun sulama amacına uygun olduğunu bildirmişlerdir (Singh vd., 2020). Sonuç olarak çalışma alanımızın YAS kuyu su değerleri Singh vd., 2020 ile benzer tepkiler verdiği ve hatta daha üstün değerlerin bulunduğu saptanmıştır.

4.9.2 Sodyum yüzdesi (%Na)

Suda bulunan Na^+ elementi toprağın geçirgenliğine etki etmektedir. Çalışmada %Na değeri 2,38 – 14,52 aralığındadır. Su numuneleri %Na'ne göre “çok iyi- iyi” kategorisine girmektedir. Sulama suyu için uygundur.

4.9.2.1. Wilcox diyagramı

Sulama suyunun sınıflandırılmasında YAS kuyularından alınan 18 numunenin Na % ve EC değerine göre sular sınıflandırılmıştır. Numuneler , “Çok-İyi” ve “İyi kullanılabilir” kalitede olduğu bulunmuştur (Şekil 17). Çünkü EC değerleri en yüksek SLPBSTNSİ kuyusunda 881,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve SLPBGDLRK kuyusunda 871,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gerçekleşirken diğer kuyuların tamamının EC değerleri 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ daha düşük olduğundan ve % Na değerlerinin geneli < 20 olmasında dolayı sodyumun oransal değerinin çok altında kalması, yukarıda bildirilen iki kuyu hariç son derece yüksek kaliteli sular olduğu söylenebilir. Ancak bu değerlendirme Wilcox diyagramı kapsamında geçerlidir. Yukarıda ifade edilen iki kuyunun EC değerleri 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ büyük olması nedeniyle iyi sınıfında olduğu görülmüştür.



Şekil 18. Wilcox diyagramı %Na ve EC sınıflandırması

Yapılan önceki çalışmalarda Singh ve diğerlerinin 2020 yılında yaptığı çalışmada %Na Wilcox diyagramı çizilerek sular sınıflandırılmıştır. Su numunelerinin %86'sı mükemmel iyi kategorisinde olduğunu ve kalan %14 yeraltı su numunesinin iyi kategoriye girdiğini bildirmişlerdir.

4.9.3 Kelly oranı (KR)

Çalışmada alınan su numunelerinin KR, en küçük 0,01 ve en büyük 0,06 olarak hesaplanmıştır. Bu oranlar < 1 olduğundan KR oranı için sular sulamaya uygundur.

Fallatah ve Khattab'ın 2023 yılında yaptığı çalışmada da suların KR değerleri 0,03 - 1,00 arasında değişmiş olup, toplanan yeraltı suları KR değeri birden küçük olduğundan sular KR değerine göre %100'ü uygun olduğunu bildirmişlerdir.

Başka bir çalışmaya baktığımızda KR değerleri 0,84 - 2,31 arasında değişmektedir. Ölçülen su örneklerinin yaklaşık %93,9'u, KR değerleri > 1 olmak üzere sulama için "uygun olmayan" sınıfta olduğunu belirtmişlerdir (Badr vd., 2023).

4.9.4 Magnezyum tehlikesi (MH)

MH sonucunun 50'den büyük olması zararlı ve sulama suyunun kullanımı için uygunsuz kabul edilmektedir. Çalışma alanından toplanan su numunelerinin MH analiz sonuçlarına göre 18 kuyudan 6 sı %50 yi geçmektedir. Bunlar; SLPKTPSG 52,68, SLPBSVRMLNY 74,93, SLPORTKYSK 68,74, SLPVRMLİY 73,13, SLPBŞKYMÖ 52,37 ve SLPBGDLRK 52,37 olarak saptanmıştır.

Singh vd. 2020 yılında Udham Singh Nagar bölgesinde yeraltı suyunun tarıma uygunluğu değerlendirilmiştir. Yeraltı suyundan alınan numunelerde Mg^{+2} yüksekliği tespit edildikten sonra MH değerlendirilmiştir. MH değerleri 32 - 81 arasında değişmiştir; bu, örneklerin %56'sının MH değerlerinin 50'den yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında, yüksek magnezyum miktarı dolomitin çözünmesinden kaynaklanıyor olabildiğine dikkat çekmişlerdir.

Suudi Arabistanın Al-Ahsa vahasında yapılan çalışmada MH değerleri, toplanan su numunelerinin %100 < 50 olduğundan sulama için “uygun” olduğunu ve toprak ve bitki sağlığı için uygun magnezyum seviyelerini gösterdiğini ortaya koymaktadır (Badr vd., 2023)

Güney Hindistanın yarı kurak bölgesinde YAS kuyularının sulama suyu için uygunluğu araştırılmıştır. Çalışmada 36 YAS kuyusundan alınan su numunelerinin analizi yapılmıştır. MH değerine bakıldığında su numunelerinin %50'sinin uygunsuz kategoriye girdiğini göstermektedir (Sreedevi vd., 2019).

Çalışmamızda MH yapılan benzer çalışmalara göre daha iyi su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir.

4.9.5. Potansiyel tuzluluk (PS)

Silopi Ovasında toplamda 18 YAS kuyusu çalışılmış, bunlardan 3 kuyu hariç, 15 kuyunun PS değerleri 0,29 – 0,86 meq/L aralığında kaldığı diğer 3 kuyununda (**SLPAKTPSG**, **SLPBGDYLCU** ve **SLPYNKLMP**) değerleri sırasıyla 1,11; 1,50 ve 2,59 meq/L'dir. Elde edilen PS değerleri < 3 olduğundan sular PS açısından sulama suyuna uygun olduğu kabul edilmiştir.

Rawat ve diğerlerinin 2018'de Hindistan, Tamil Nadu, Kanchipuram bölgesindeki kırk dört sabit sondaj kuyusunun su kalitesi araştırılmıştır. Muson sonrası (2005-2013) ve muson öncesi (2006-2013) mevsime göre yeraltı suyu numuneleri 9 yıl boyunca toplamışlardır. Su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan eşitliklerden biride PS değeridir. (PS bağlamında), uzun vadeli ortalamalar 2.52 (< 3) ve 2.46 (< 3) bulmuşlardır. Ancak PS, muson öncesi ve sonrası dönemde minimum ve maksimumda çok fazla farkla karşılaşmıştır. Bunun sebebinin yağışla ilgili olduğu düşünülmüştür. Genel olarak PS analizine dayanarak, çalışma alanındaki kuyuların genelinin (%63,64'ten fazla) muson öncesinde sulama için uygun olduğu, ancak muson sonrasında (%61,36'dan fazla) kuyunun sulama için uygun olmadığı bulmuşlardır.

Potansiyel tuzluluk değeri, Rawat ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

4.9.6. Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC)

Çalışmada RSC değeri SLPBGDYLCU ve SLPAKTPSG kuyuları hariç eşitlikte sonuç negatif (-) çıkmıştır. Su yılı boyunca SLPBGDYLCU kuyusundan alınan su numunelerinin ortalama RSC değeri 1,04 < 1,25 olması sulamaya 1.sınıf sulamaya “uygun” ve SLPAKTPSG ortalama değeri 1,39 < 2,5 olduğundan 2. Sınıf sulamaya uygun olduğu tespit edilmiştir.

Singh vd. (2020)'de Toplanan su numunelerinin RSC değerleri (-4,92) – (+0,72) meq/L arasındadır. RSC değerlerine dayanarak, tüm örneklerin tarımsal amaç için güvenli olduğu saptamışlardır.

Badr vd. (2023)'te YAS kuyularındaki su kalitesini araştırmışlardır. Sulama suyunun kalitesinde RSC değeride ölçülmüştür. Buna göre; RSC değerleri, ölçülen tüm su örneklerinin “iyi” kategorisinde olduğunu, yani <1,25 meq/L olduğunu ve minimal alkalinite tehlikesini gösterdiğini belirtmektedir. Daha yüksek kalıcı sodyum karbonat değerleri,

sulama üzerinde zararlı bir etki gösteren yüksek su alkalinite seviyelerini yansıttığına değinilmiştir

Sreedevi vd. (2019)'da YAS kuyuların su numunelerinin analizi neticesinde RSC'si, muson öncesi ve sonrası dönemlerde sırasıyla; (-30) – (+12) meq/L ve (-29,19) – (+13,19) meq/L arasında değişmiş ve ortalamaları (-3) – (-1,97)'dir. (Richard, 1954) sınıflandırmasına göre, muson öncesi ve sonrası dönemlerde su örneklerinin %56'sı ve %58'i iyi kategoriye, %36'sı ve %33'ü uygunsuz kategoriye girmekte ve her iki mevsimde de su örneklerinin %8'i şüpheli kategoriye girdiğini belirtmişlerdir.

Fallatah ve Kahattab'ın 2023 yılında yapmış olduğu çalışmada yeraltı suyu numunelerinin RSC değerleri (-118) – (+5) meq/L arasında olup, ortalama değeri -10 meq/L bulmuşlardır. Yeraltından alınan su numunelerinin %88,7'sinin sulama amaçlı kullanıma uygun olduğu, %1,3'ünün şüpheli olduğu, %10'unun ise sulama amaçlı kullanıma uygun olmadığı sonucunu bildirmişlerdir.

Çalışmamızda 18 YAS kuyusundan alınan su numunelerinin RSC değeri genel olarak $< 1,25$ olduğundan sulama suyu iyi, SLPKTPSG ortalama değeri $1,39 < 2,5$ olduğundan 1 adet YAS kuyusunun sulama suyu olarak şüpheli bulunmuştur. Benzer çalışmalara bakıldığında ovadan elde edilen RSC değeri genel olarak iyi bulunmuştur.

4.9.7. Geçirgenlik indeksi (PI)

Yeraltı suyunun sulamaya uygunluğunun tespiti için PI değerlendirilmiştir. Çalışmada Onsekiz YAS kuyusundan alınan su numunelerinin onbeşi $25 < PI < 75$ olduğundan II. Sınıf sularıdır. Onbeş YAS kuyusunun geçirgenlik indeksleri yüksek olduğundan sulama suyu “uygun” olarak saptanmıştır. Üç YAS kuyusu olan SLPBSVRMLNY, SLPORTKYSK ve SLPVRMLİY PI değerleri sırasıyla, 21,77, 21,5 ve 20,53 olarak hesaplanmıştır. Üç YAS kuyusu < 25 olduğundan PI değerine göre sulama suyu için uygun değildir.

Singh vd. (2020)'de yapmış olduğu çalışmada sular PI değerine göre sınıflandırılmıştır. Alınan su numunelerinin PI değerleri, Sınıf II'ye (29,05 - 72,75) düşmektedir. Sular “mükemmel - iyi geçirgenliğe” sahip olduğu bildirilmiştir.

Badr vd. (2023)'teki çalışmasında PI yüzdelik değerleri %53,8 - %75,8 arasında değişmekte olup, su numunelerinin (%99,3) sulama için “uygun” kategorisinde olduğunu saptamışlardır.

Fallatah ve Kahattab (2023)'te çalışmasında YAS kuyularının araştırılmasında PI değerleri 23-83 meq/L arasında değişmekte olup, ortalama 52 meq/L olarak bulunmuşlardır. Toplanan yeraltı su numunelerinin %5'inin PI değerlerinin 75 meq/L'den yüksek olduğu, %93,7'sinin PI değerlerinin 25-75 meq/L arasında değiştiği ve sulama amaçlı olarak şüpheli kabul edilebileceğini bildirmişlerdir. Geri kalan su numunelerinin %1,25'i ise 25 meq/L'den düşük olup sulama amaçlı olarak uygunsuz olarak değerlendirilebileceğini göstermişlerdir.

Geçirgenlik indeksi sonuçlar birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Badr vd., 2023; Fallatah ve Khattab, 2023; Singh vd., 2020).



SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünya nüfusu UNFPA, (2024)'e göre her geçen gün artmaktadır. Nüfusla beraber artan endüstri, tarım faaliyetleri yeraltı sularına etki etmektedir. Dünya çapında yeraltı suyu kalitesi hakkında önemli araştırmalar yapılmaktadır. Özellikle su kıtlığı çeken ülkelerde yeraltı suyu hayatta kalmak ve sosyo-ekonomik büyüme için olmazsa olmazdır. Hem içme suyu hem de sulama sağlar. Suudi Arabistan, Hindistan, Pakistan, Çin ve Mısır gibi birçok gelişmekte olan ülke içme suyu ve sulama amaçları için yeraltı suyuna bağımlıdır (Badr vd., 2023; Sreedevi vd., 2019; Traoré vd., 2023; Zhang vd., 2019). Yapılan literatür taramasında özellikle kurak ülkelerde nüfusun artması ve çevre yönetiminde olan eksiklikler su kalitesinde ciddi düşüşler meydana getirerek insan sağlığını ve tarımsal faaliyetlerde olumsuzluklara sebep olmaktadır Bu sebeple yeraltı suyunun kimyasının bilinmesi yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilir gelişimi ve kullanımı için çok önemlidir. Sonuç olarak, içme, sulama ve endüstriyel kullanım için yeraltı suyunun güvenliğini değerlendirmek için hidrojeokimyasal özelliklerin anlaşılması hayati önem taşımaktadır. Birçok çalışma yeraltı suyu tuzluluğunun nedenlerini ve su kalitesinin bozulmasındaki etkenleri araştırmıştır. Yeraltı suyu kalitesinin hem jeojenik hem de antropojenik kaynaklardan etkilendiği sonucuna varmışlardır. Yeraltı suyu kalitesini etkileyen doğal jeokimyasal süreçler arasında aşınma, çözünme, sızıntı, iyon değişimi ve buharlaşma bulunur. Buna karşılık, kirliliğe neden olan insan faaliyetleri arasında evsel atık su deşarjı, septik tank sızıntıları, sulama dönüş akışları, kimyasal gübreler ve hayvansal atıklar yer alır (Alrowais vd., 2023; Bhat vd., 2018; Mallick vd., 2021; Zhang vd., 2019).

Yapılan çalışmada su örneklerinin ortalama pH değeri 7,2 bulunmuştur. Ph, içme ve sulama suyunun kalitesinin saptanmasında önemli bir göstergedir. TSE 266, EPA, WHO ve EU tarafından bildirilen protokole göre alınan su numunelerinin belirtilen sınır değerlerinin arasında olduğu görülmüştür. Numunesi alınan sulara ait Ca^{+2} , Mg^{+2} ve K^{+} ortalama değerleri sırasıyla 54,65; 31,7 ve 7,08 mg/L olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler ilgili protokollerde belirtilen standart değerlere uygun olduğu tespit edilmiştir. Numunelerdeki NH_4^{+} değeri 0,0-0,8 arasında iken F^{+} değeri 0,3-0,9 mg/L arasında değişmekte olup, Na^{+} elementinin ortalama değeri ise 3,47 mg/L'dir. Çalışmada Cl^{-} ve SO_4^{-2} ortalama değerleri sırasıyla 2,8 – 68,4 ve 15 - 96 mg/L arasında değişmektedir. Öte yandan, HCO_3^{-} 'in ortalama en düşük değeri SLPVRMLİY kodundaki sondaj kuyusundan alınan numunedir. Numune ortalama değeri, 125,8 mg/L'dir. En yüksek değer ise SLPKTPSG kuyu numune değeri 320 mg/L'dir. Alınan tüm su numunelerinde CO_3^{-} iyonuna raslanmamıştır. PO_4^{-3} değeri <0,1

altında bulunmuştur. Bu sonuçlar, ilgili protokollere göre uygundur.

DO, BOD₅ ve COD₅, ana organik madde göstergeleri olarak kabul edilir. Bu göstergeler organik kirlilik açısından su kalitesinin araştırma ve yorumlanmasında yaygın olarak referans alınmaktadır. Su ortamı organik madde ile yeni kirlendiğinde, aerobik mikroorganizmalar biyolojik bozunma sürecinde çözünmüş oksijeni tüketir ve sonuç olarak biyolojik olarak adsorbe edilen oksijen miktarı artar. Toplanan su numunelerinde ortalama DO değeri 5,51 – 8,94 arasında değişmektedir. İçme ve kullanma sularında olması istenilen değer 6-12 mg/L' dir. DO değeri sınır değerlerin içerisinde kalmaktadır. Suların BOD₅ ortalama değerleri sırasıyla 3,7 – 10,4 arasında ve COD₅ 8,9 – 29,6 mg/L arasında değişkenlik gösterir.

İçme ve kullanma suları insan sağlığı için büyük öneme sahiptir. BM SDGS 6 suların kalitesinin öneminden bahsetmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfus ve sanayi artırımını ile beraber temiz ve güvenilir içme suyu üzerinde durulmaktadır. İçme sularını kirlüten mikrobiyolojik etkenler, insanlarda hastanmaya sebebiyet vermektedir. Özellikle beş yaşından küçük çocuklarda bağırsak enfeksiyonuna bağlı olarak ölüme bile neden olabilmektedir. (Traoré vd., 2023; Uyar, 2023)

Çalışmada su yılı boyunca alınan numunelerde 18 kuyuda *e-coli* ve *T. Coliform* bakterisi bulunmuştur. Analiz neticesinde *e.coli* 18,00 - >100, *T. Coliform* 30,00 ve >100 gibi ortalama değerler saptanmıştır. TSE 266, EPA, WHO ve EU tarafından hazırlanan içme suyu standartlarına göre değerlerin sıfır olması gereklidir ve sular içme suyuna uygun değildir. Çalışma, Ovanın YAS kuyularından alınan numuneler neticesinde suların antropojenik nedenlerden kaynaklı mikrobiyolojik kirlenmeye karşı hassas olduğu görülmüştür. YAS kuyularında kirliliği önlemek için çevreye daha fazla dikkat edilmelidir. Halk bu konuda bilinçlendirilmeli ve yetkililerin gerekli uygulamaları yapip veya yaptırmalarını gerektirir. Özellikle içme suyu olarak kullanılacak kuyuların etrafında çöp yığını, fosseptik veya kirli su bulundurmamalıdır. YAS kuyuların eğimleri dışa doğru olmalı ve gelecek kirli su birikmemelidir. Ayrıca suların filtrelenmesi veya dezenfeksiyonu gibi arıtma önlemleri insan sağlığı açısından riskleri azaltılacağı düşünülmektedir. Yetkili mercilerin eğitim programlarını güçlendirilmesiyle farkındalık artırılabilir ve etkili izleme sistemleri ile YAS kuyularındaki su kalitesi korunabilir.

Piper Diyagramına göre alkali toprak elementlerinin ($Ca^{+2} + Mg^{+2}$) > ($Na^{+} + K^{+}$) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca zayıf asit kökleri olan ($HCO_3^{-} + CO_3^{-}$) > güçlü asit kökleri ($Cl^{-} + SO_4^{-}$) görülmüştür.

Sulama suyunun kalitesini değerlendirmede kullanılan eşitliklerin neticesinde, 18 noktadan alınan suların sulama suyu için SAR değeri mükemmel, KR, MH, Na % ve PS açısından uygun, uygun, iyi – iyi kullanılabilir ve uygun olarak belirlenmiştir. Suyun PI değerine göre sınıflandırıldığında su yılı boyunca yapılan analizlerde ortalama değer 39,2 meq/L’dir. Bu değer $25 < 39,2 < 75$ olduğundan 2. Sınıf sular olarak kabul edilmiştir. Alınan numunelerin genelinin EC değeri iyi, SLPBSTNSI ve SLPBGDLRK lokasyonlarında alınan su numunelerinin ortalama EC değerleri sırasıyla 881,10 ve 871,00 olarak izin verilen sınırlar içerisinde kalmaktadır. Su yılı boyunca TDS ortalama değeri 194 - 390,00 mg/L aralığında seyretti ve sınır değerin altında olup sulama suyuna uygundur. RSC değeri SLPKTPSG, SLPBGDYLCU hariç eşitlikte sonuç negatif (-) çıkmıştır. Sodyum bikarbonat oluşma olasılığı olmadığından, sodyum karbonatın olumsuz etkisi beklenmez. Ayrıca SLPBGDYLCU ortalama değeri $1,04 < 1,25$ olması sulamaya 1.sınıf sulamaya uygun ve SLPKTPSG ortalama değeri $1,39 < 2,5$ olduğundan 2. Sınıf sulamaya uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yürütölen çalışmada kimyasal analizlere ait diyagramlar sunulmuş olup. Wilcox diyagramlarına göre havzada suların çoğunlukla “ok İyi – İyi” ve “İyi Kullanılabilir” sular sınıfında, ABD Tuzluluk Lab. Diyagramlarına göre ise çoğunlukla “C2S1” ve yalnızca 2 lokasyonda su numunesi “C3S1” sınıfında yer aldığı görölmektedir. Sular “iyi sulama suyu” olarak bulunmuştur.

Çalışmada Silopi ovasında yeraltı suyunun içme kullanma, endüstriyel ve tarım faaliyetlerinde kullanıldığı görölmüştür. Yeraltı suyu bakımından verimli olduğu düşünölmektedir. Ancak bölgede yeraltı su kaynaklarının kalitesi hakkında ayrıntılı bir inceleme bulunmamaktadır. Yapılan alışma ile bu eksikliğin giderilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada 18 kuyudan alınan su numunelerinde *e.coli* ve *T.coliform* bulunmasından kaynaklı içme suyuna uygun bulunmamıştır. Sulama suyu kalitesi analitik eşitlikler ve fizikokimyasal değerlere bakıldığında uygun olduğu görölmüştür.

KAYNAKLAR

- Abolli, S., Nasab, M. A., Yaghmaeian, K., and Alimohammadi, M. (2022). Determination the effects of physico-chemical parameters on groundwater status by water quality index (WQI). *Desalination and Water Treatment*, 269, 84-92.
- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., and Ahmad, S. (2023). Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing*, 15(14), 3534.
- Alhababy, A., and Al-Rajab, A. (2015). Groundwater Quality Assessment in Jazan Region, Saudi Arabia. *Current World Environment*, 10(1), 22-28.
<https://doi.org/10.12944/CWE.10.1.03>
- Al-Obaidi, B. H. K., Mahmood, R. S., and Kadhim, R. A. (2020). Water quality assessment and sodium adsorption rate estimation of Tigris River using artificial neural network. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(5), 3055-3066.
- Alrowais, R., Abdel daiem, M. M., Li, R., Maklad, M. A., Helmi, A. M., Nasef, B. M., and Said, N. (2023). Groundwater Quality Assessment for Drinking and Irrigation Purposes at Al-Jouf Area in KSA Using Artificial Neural Network, GIS, and Multivariate Statistical Techniques. *Water*, 15(16), 2982
- Alzahrani, H., Basaloom, A., and Mosaad, S. (2025). Geochemical-based appraisal of karst groundwater quality, west Nile Valley, central Egypt, for drinking and irrigation. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 57, 102152.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.102152>
- Ayers, R. S., and Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture*. Rome: Food and agriculture organization of the United Nations.
- Badr, E.-S. A., Tawfik, R. T., and Alomran, M. S. (2023). An Assessment of Irrigation Water Quality with Respect to the Reuse of Treated Wastewater in Al-Ahsa Oasis, Saudi Arabia. *Water*, 15(13), 2488.
- Baig, M. B., Alotibi, Y., Straquadine, G. S., and Alataway, A. (2020). Water resources in the Kingdom of Saudi Arabia: Challenges and strategies for improvement. *In Water Policies in MENA Countries* (pp. 135-160). Cham: Springer International Publishing.

- Beyaitan Bantin, A., Wang, H., and Jun, X. (2020). Analysis and Control of the Physicochemical Quality of Groundwater in the Chari Baguirmi Region in Chad. *Water*, 12(10), 2826.
- Bhat, M. A., Wani, S. A., Singh, V. K., Sahoo, J., Tomar, D., Sanswal, R., and Ma, B. (2018). An overview of the assessment of groundwater quality for irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research*, 9(1), 1.
- Carstea, E. M., Bridgeman, J., Baker, A., and Reynolds, D. M. (2016). Fluorescence spectroscopy for wastewater monitoring: A review. *Water Research*, 95, 205-219.
- Cheong, S. M., Joseph, B., Ahmad Idham, K., Ahmad Rusyaiddi, M. M., Yong, J. C., and Adiana, G. (2024). Key insight of groundwater quality and nutrients contamination in Pulau Kapas, Terengganu. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117102.
- Chilton, J. (1997). *Groundwater in the Urban Environment*, Volume 1 (1st edition). CRC Press.
- Çeliker, M., Parlakyıldız, N., and Öztürk, M. (2020). Water Quality Assessment for Irrigation Water Use in Lake Hazar Basin, Elazığ, Turkey. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(1), 231-247.
- Dao, P. U., Heuzard, A. G., Le, T. X. H., Zhao, J., Yin, R., Shang, C., and Fan, C. (2024). The impacts of climate change on groundwater quality: A review. *Science of The Total Environment*, 912, 169241.
- Dávalos-Peña, I., Fuentes-Rivas, R. M., Fonseca-Montes de Oca, R. M. G., Ramos-Leal, J. A., Morán-Ramírez, J., and Martínez Alva, G. (2021). Assessment of Physicochemical Groundwater Quality and Hydrogeochemical Processes in an Area near a Municipal Landfill Site: A Case Study of the Toluca Valley. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11195. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111195>
- Doneen, D. N. (1964). *Notes on Water Quality in Agriculture*. Published as a Water Science and Engineering, Paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis.
- Eaton, F. M. (1950). Significance Of Carbonates In Irrigation Waters. *Soil Science*, 69(2), 123-34.
- Edberg, S. C., Rice, E. W., Karlin, R. J., and Allen, M. J. (2000). *Escherichia coli*: The best

- biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88(S1), 106S-116S.
- Fallatah, O., and Khattab, M. R. (2023). Evaluation of Groundwater Quality and Suitability for Irrigation Purposes and Human Consumption in Saudi Arabia. *Water*, 15(13), 2352. <https://doi.org/10.3390/w15132352>
- Hem D., (1985), *Study and Interpretation the Chemical of Natural of Characteristics Water*, Geological Survey Water-Supply Paper 2254,
- Faraji, H., and Shahryari, A. (2024). Assessment of groundwater quality for drinking, irrigation, and industrial purposes using water quality indices and GIS technique in Gorgan aquifer. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100821. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100821>
- Falkenmark, M. (1989) The Massive Water Scarcity Now Threatening Africa: Why Isn't It Being Addressed? *Ambio*, 18, 112-118.
- Feng, Y., Kang, F., Guo, Y., Li, Z., Liu, B., Bu, H., Xia, C., and He, Q. (2024). Evolution of hydrochemistry and water quality of karst groundwater under the effects of intense anthropogenic activities. *Journal of Environmental Management*, 371, 123059. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123059>
- Fida, M., Li, P., Alam, S. M. K., Ning, J., Wang, Y., and Elumalai, V. (2025). Groundwater quality in Sargodha City, Pakistan: Comprehensive research of geochemical modeling, groundwater quality assessment, and risk evaluation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 137, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103798>
- Gao, Z., Li, Q., Liu, J., and Su, Q. (2023). Hydrochemical characterizations and groundwater quality assessment in the coastal region of the Jiaodong peninsula, North China. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 115596. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115596>
- Ghosh, A., and Bera, B. (2023). Hydrogeochemical assessment of groundwater quality for drinking and irrigation applying groundwater quality index (GWQI) and irrigation water quality index (IWQI). *Groundwater for Sustainable Development*, 22, 100958. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100958>
- Gourcy, L., De Paulet, F. C., and Laurent, A. (2013). Sulfur Origin and Influences of Water

- Level Variation on SO₄ Concentration in Groundwater of the Transboundary Carboniferous Limestone Aquifer (Belgium, France). *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 309-312.
- Güler, M. S. (2023). *Kastamonu ilinin yeraltı sularının potansiyel kalitesinin incelenmesi, kirletici konsantrasyonlarının tespiti ve yeraltı sularının tarımsal sulama için uygunluğunun değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi).Kastamonu Üniversitesi: Kastamonu
- Hagan, G. B., Minkah, R., Yiran, G. A. B., and Dankyi, E. (2022). Assessing groundwater quality in peri-urban Accra, Ghana: Implications for drinking and irrigation purposes. *Groundwater for Sustainable Development*, 17, 100761.
- Haj, R. A., Merheb, M., Halwani, J., and Ouddane, B. (2025). Baseline hydro-geochemical characteristics of groundwater in Abu Ali watershed (Northern Lebanon). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 57, 102135.
- Hari Raj, M. R., Karunanidhi, D., Roy, P. D., and Subramani, T. (2025). Fluoride enrichment in groundwater and its association with other chemical ingredients using GIS in the Arjunanadi River basin, Southern India: Implications from improved water quality index and health risk assessment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 137, 103765. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103765>
- Harter, T. (2003). *Groundwater Quality and Groundwater Pollution*. University of California, Agriculture and Natural Resources. p.1-5.
- Hasan, Md. M., Takafuji, M., and Shahruzzaman, Md. (2024). Contribution of groundwater quality to the industrialization of textile sector in Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100790. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100790>
- Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Hu, X., Li, B., Zhang, B., Yang, Y., Cai, X., Gong, X., Xiang, X., and Wu, T. (2024). Hydrochemical analysis and quality comprehensive assessment of groundwater in the densely populated coastal industrial city. *Journal of Water Process Engineering*, 63, 105440.

- Ibraheem, A. M., and Khan, S. M. M. N. (2017). Suitability assessment of groundwater for irrigation purpose in Veppanthattai block, Perambalur district, Tamil Nadu. *World Scientific News*, 81(2), 81-93.
- Jalali, M., and Jalali, M. (2024). A meta-analysis of geochemical characteristics of groundwater quality in Iran. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 135, 103674.
- Jalali, M., Jalali, M., and Morrison, L. (2024). Groundwater hydrogeochemical processes, water quality index, and probabilistic health risk assessment in an arid and semi-arid environment (Hamedan, Iran). *Groundwater for Sustainable Development*, 26, 101255.
- Kaçmaz, H. (2021). A Study on Physicochemical Characteristics of Surface Waters in The Area of Dereli (Giresun, Turkey). *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21(5), 1187-1194.
- Kamboj, S., and Singh, N. (2025). Wintertime water quality assessment via integrated indexical approaches with reference to drinking and irrigation standards in NW India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 23, 101032.
- Karant, K. R. (1987). *Ground Water Assessment: Development and Management*. Tata McGraw-Hill Publishing Company.
- Karmegam, U., Chidambaram, S., Prasanna, M. V., Sasidhar, P., Manikandan, S., Johnsonbabu, G., Dheivanayaki, V., Paramaguru, P., Manivannan, R., Srinivasamoorthy, K., and Anandhan, P. (2011). A study on the mixing proportion in groundwater samples by using Piper diagram and Phreeqc model. *Chinese Journal of Geochemistry*, 30(4), 490-495.
- Karunakaran, K., Thamilarasu, P., and Sharmila, R. (2009). Statistical Study on Physicochemical Characteristics of Groundwater in and around Namakkal, Tamilnadu, India. *Journal of Chemistry*, 6(3), 290720. <https://doi.org/10.1155/2009/290720>
- Keerthana Devi, M., Manikandan, S., Oviyapriya, M., Selvaraj, M., Assiri, M. A., Vickram, S., Subbaiya, R., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S. W., and Awasthi, M. K. (2022). Recent advances in biogas production using Agro-Industrial Waste: A comprehensive review outlook of Techno-Economic analysis. *Bioresource*

Technology, 363, 127871.

- Kelley, W. P. (1957) Adsorbed Sodium, cation exchange capacity and percentage sodium adsorption in alkali soils. *Soil Science*, 84(6), 473-478.
- Khan, J. R., Hossain, Md. B., Chakraborty, P. A., and Mistry, S. K. (2022). Household drinking water E. coli contamination and its associated risk with childhood diarrhea in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(21), 32180-32189.
- Krishnamoorthy, N., Thirumalai, R., Lenin Sundar, M., Anusuya, M., Manoj Kumar, P., Hemalatha, E., Mohan Prasad, M., and Munjal, N. (2023). Assessment of underground water quality and water quality index across the Noyyal River basin of Tirupur District in South India. *Urban Climate*, 49, 101436.
- Laghrib, F., Elkasmi, S., Bahaj, T., Barbot, A., Bouzekraoui, M., Hilali, M., Touiss, Y., Draoui, M., Hammani, O., Benammi, F., Ben Aakame, R., and Walid, M. (2025). Integration of multivariate statistical analysis, geochemical modeling, and irrigation water quality assessment in the aquifers of the South-Atlas Tinghir-Errachidia-Boudenib basin (Pre-African Trough, Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 221, 105444.
- Lu, L., Wang, Z., Wang, Z., Deng, L., Zou, S., Fan, L., and Yang, Y. (2024). Chemical characteristics and water quality assessment of groundwater in the Dongjiang-Hanjiang River Basin, China. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(6), 114721.
- M. Awoyemi, O., C. Achudume, A., and A. Okoya, A. (2014). The Physicochemical Quality of Groundwater in Relation to Surface Water Pollution in Majidun Area of Ikorodu, Lagos State, Nigeria. *American Journal of Water Resources*, 2(5), 126-133. <https://doi.org/10.12691/ajwr-2-5-4>
- Ma, N., Gao, L., Ge, Z., and Li, M. (2023). Hydrochemical characteristics of groundwater in a plain river network region: Establishing linkages between source and water quality variables. *Chemosphere*, 331, 138809.
- Mallick, J., Singh, C. K., AlMesfer, M. K., Singh, V. P., and Alsubih, M. (2021). Groundwater Quality Studies in the Kingdom of Saudi Arabia: Prevalent Research and Management Dimensions. *Water*, 13(9), 1266.

- Masoudi, M. J., Ashrafzadeh, A., Khaledian, M., and Janatrostami, S. (2024). Assessment of groundwater quality for agricultural purposes in Qazvin Province, northwestern Iran: A fuzzy inference and indicator Kriging approach. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100528.
- Md, S., Md.AI, C., Haque, Md. M., & Haque, Md. E. (2019). Using Turbidity to Determine Total Suspended Solids in an Urban Stream: A Case Study. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 67(9), 83-88.
- Memon, Y. I., Qureshi, S. S., Kandhar, I. A., Qureshi, N. A., Saeed, S., Mubarak, N. M., Ullah Khan, S., & Saleh, T. A. (2023). Statistical analysis and physicochemical characteristics of groundwater quality parameters: A case study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 103(10), 2270-2291.
- MEWA. Standards and Specifications for Water Types; according to the water law and its implementing regulations; Ministry of Environment, Water and Agriculture (MEWA): Riyadh, Saudi Arabia, 2021.
- Muslu, Y. (2004). *Su ve Atıksu Mühendisliği, Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü*. Su Vakfı Yayınları, Sayfa: 342, İstanbul.
- Narsimha, A., Sudarshan, V., & Swathi, P. (2013). Groundwater and its assessment for irrigation purpose in hanmakonda area, warangal district, andhra pradesh, india. *International journal of research in chemistry and environment*, 3(2), 196-200.
- Nassri, I., Harmouzi, H., Tahri, L., El Ouali, A., & Khattabi Rifi, S. (2024). Hydrogeochemical assessment and spatial analysis of groundwater quality parameters in North West of Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, S1658077X24000705.
- Omotoso O.A., & Ojo O.J., (2012), Assessment of quality of river Niger floodplain water at Jebba , central Nigeria : implications for irrigation, *Water Utility Journal*, 4, 13–24.
- Özer, Ç., & Köklü, R. (2019). Aşağı Sakarya Nehri Su Kalitesinin Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 237-246.
- Patil, V. T., & Patil, P. R. (2011). Groundwater Quality of Open Wells and Tube Wells around Amalner Town of Jalgaon District, Maharashtra, India. *Journal of Chemistry*, 8(1), 676213.

- Petculescu, I., Hynds, P., Brown, R. S., McDermott, K., & Majury, A. (2022). An assessment of total coliforms and associated thresholds as water quality indicators using a large Ontario private drinking water well dataset. *Science of The Total Environment*, 846, 157478.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), 914-928.
- Pradhan, B. (2011). Hydro-Chemical Analysis of the Ground Water of the Basaltic Catchments: Upper Bhatsai Region, Maharashtra. *The Open Hydrology Journal*, 4(1), 51-57.
- Qureshi, S. S., Channa, A., Memon, S. A., Khan, Q., Jamali, G. A., Panhwar, A., & Saleh, T. A. (2021). Assessment of physicochemical characteristics in groundwater quality parameters. *Environmental Technology and Innovation*, 24(101877).
- Rawat, K. S., Singh, S. K., & Gautam, S. K. (2018). Assessment of groundwater quality for irrigation use: A peninsular case study. *Applied Water Science*, 8(8), 233.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Soil Science, 78(2), 154.
- Riedel, T. (2019). Temperature-associated changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*, 572, 206-212.
- Roy, W. R., Glessner, J. J., Krapac, I. G., & Larson, T. H. (2003). Possible geological-geochemical sources of ammonium in groundwater: preliminary results. In *Proceedings, 13th Annual Illinois Groundwater Consortium Symposium*. Illinois Groundwater Consortium.
- Sarathbabu, P., & John, P. K. (2015). Assessment of ground water for irrigation in Naguleru sub basin of Guntur District, Andhra Pradesh, India. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6(3), 2947-2951.
- Sathe, S. S., Bhan, U., Kushwaha, A., Shabbir, M., Patil, K., Kamboj, V., Goswami, L., Oh, S., Bahukhandi, K. D., & Bind, A. (2025). Fluoride distribution, groundwater quality and health risk assessment for contaminated region near Krishna River (Maharashtra) India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 23, 101033. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2024.101033>
- Sharaf, M. A., & Hussein, M. T. (1996). Groundwater quality in the Saq aquifer, Saudi

- Shiklomanov, L.A. (1993) *World Freshwater Resources*. In: Gleick, P.H., Ed., *Water in Crisis: A Guide to World's Freshwater Resources*, Oxford University Press, New York, 13-24.
- Atış, S. Ocak, S.O. and Sarıaltın, T. (2021). T.C. *Tarım Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı*. Haritalı İstatistik Bülteni (No. I.Kısım; s. 793).
- Singh, K. Kr., Tewari, G., & Kumar, S. (2020). Evaluation of Groundwater Quality for Suitability of Irrigation Purposes: A Case Study in the Udham Singh Nagar, Uttarakhand. *Journal of Chemistry*, 2020(1), 6924026.
- Sreedevi, P. D., Sreekanth, P. D., Ahmed, S., & Reddy, D. V. (2019). Evaluation of groundwater quality for irrigation in a semi-arid region of South India. *Sustainable Water Resources Management*, 5(3), 1043-1056.
- Subramaniyan, A., Balaji, A., & Andimuthu, R. (2024). Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in Dindigul district, southern India: Hydrochemical characterization and spatial analysis. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100772.
- Szabolcs, I., & Darab, C. (1964). *The influence of irrigation water of high sodium carbonate content of soils*. Proceedings of 8th international congress soil science sodics soils, 802-812.
- Trainer, F. W., & Heath, R. C. (1976). Bicarbonate content of groundwater in carbonate rock in eastern North America. *Journal of Hydrology*, 31(1), 37-55. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(76\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(76)90019-6)
- Traoré, O., Kpoda, D. S., Dembélé, R., Saba, C. K. S., Cairns, J., Barro, N., & Haukka, K. (2023). Microbiological and Physicochemical Quality of Groundwater and Risk Factors for Its Pollution in Ouagadougou, Burkina Faso. *Water*, 15(21), Article 21.
- Uyar, D. Ş. (2023). *Kuyucak–Durasallı (Aydın) civarındaki yeraltı sularının hidrojeokimyası ve insan sağlığına etkisinin değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale üniversitesi: Denizli
- Yavuz, V. S. (2017). *Batman Ovasının yer altı suyu potansiyeli ve kalitesinin coğrafi bilgi*

sistemi (CBS) ile modellenmesi. (Doktora Tezi). Dicle Üniversitesi: Diyarbakır.

Wilcox, L.V. *Classification and Use of Irrigation Waters*; United States Department of Agriculture (USDA): Washington, DC, USA, 1955; Volume 969.

Zaharani, K. H., Al-SHAyAA, M. S., & Baig, M. B. (2011). Water conservation in the Kingdom of Saudi Arabia for better environment: implications for extension and education. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(3), 389-395.

Zaman, M., Shahid, S. A., & Heng, L. (2018). *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer International Publishing p.164.

Zhang, W., Ma, L., Abuduwaili, J., Ge, Y., Issanova, G., & Saparov, G. (2019). Hydrochemical characteristics and irrigation suitability of surface water in the Syr Darya River, Kazakhstan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 572.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı - Soyadı : Aysel ZEYREK EĞDEMİR

Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lise	Şırnak Lisesi	12/06/2009
Lisans	Erciyes Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	23/06/2015
Yüksek Lisans	Şırnak Üniversitesi/ İş Sağlığı ve Güvenliği (Tezsiz)	21/09/2021

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-2018	Mert DURSUN Proje Mühendislik	İnşaat Mühendisi
2019- Halen	Şırnak İl Özel İdaresi	İnşaat Mühendisi

YABANCI DİLLER

İngilizce