

Nijer Su Kaynaklarının İncelenmesi

Kassim Ali Guingarey

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2020

Investigation of Niger Water Resources

Kassim Ali Guingarey

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Geological Engineering

October 2020

Nijer Su Kaynaklarının İncelenmesi

Kassim Ali Guingarey

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Didem YASİN

Ekim 2020

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Dr. Öğr. Üyesi Didem YASİN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Nijer Su Kaynaklarının İncelenmesi” başlıklı bu tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 22/10/2020

Kassim Ali Guingarey

İmza

ÖZET

Güneyde Nijerya, güneybatıda Benin ve Burkina Faso, kuzeyde Cezayir, kuzeydoğuda Libya, doğuda Çad, batıda Mali ile komşu olan Nijer, topraklarının %60'ı çöl ya da yarı-çöl olan bir Afrika ülkesidir. Çalışma kapsamında Nijer'de Niamey, Tillaberi ve Dosso bölgelerindeki kırsal alanlarda açılan su kuyularına ait analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları, hidrojeokimyasal özellikler, içme ve sulama için uygunluğu açısından incelenmiştir. Suların sulama suyu açısından uygunluğunu değerlendirmek için Permeabilite İndeksi (PI), Magnezyum Oranı (MR), Çözünebilir Sodyum Yüzdesi (SSP), Kelley Oranı (KR), Potansiyel Tuzluluk (PS), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) değerleri hesaplanmıştır. Su örnekleri içme suyu amacı ile kullanılabilirliğini araştırılması için standartlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda suların CaMgHCO₃'lü ve NaHCO₃'lü sular olduğu tespit edilmiştir. Mineral doygunluk indeksleri değerleri çoğu örneğin jips, anhidrit, aragonit, kalsit ve dolomit açısından doymun olmadığını göstermektedir. Ayrıca suların genellikle sulama ve içme suyu amaçlı kullanımının uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nijer, su kalitesi, içme suyu, hidrojeokimya

SUMMARY

Niger is neighbour to Nigeria in the south, Benin and Burkina Faso in the southwest, Algeria in the north, Libya in the northeast, Chad in the east, Mali in the west, 60% of its land is a desert or semi-desert African country. In the study, the well drilled in the rural areas of Niamey, Tillaberi and Dosso were investigated. Analysis results were evaluated to hydrogeochemical properties and suitability for drinking and irrigation. To evaluate the suitability of the waters in terms of irrigation water Permeability Index (PI), Magnesium Ratio (MR), Soluble Sodium Percentage (SSP), Kelley Ratio (KR), Potential Salinity (PS), Sodium Adsorption Ratio (SAR), Residual Sodium Carbonate (RSC) values were computed. Parameters were compared with Standards. Water resources are CaMgHCO₃ and NaHCO₃ facies. The results of mineral equilibrium modeling indicate that most of the examined waters are undersaturated with respect to gypsum, anhydrite, aragonite, calcite and dolomite. In addition, it has been determined that the water is generally suitable for irrigation and drinking purposes.

Keywords: Niger, water quality, drinking water, hydrogeochemistry

TEŞEKKÜR



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
4. JEOLJİ	7
4.1. Jeoloji	7
4.2.Hidroloji	8
4.2.1.Akarsular	8
4.2.2.Kuyular.....	8
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	10
5.1. Hidrojeokimyasal İncelemeler	10
5.2. Piper ve Schoeller Diyagramı Değerlendirmeleri	17
5.2.1. Piper diyagramı	17
5.2.2. Schoeller diyagramı	19
5.2.3. SO_4^{-2} ve Cl^{-} Diyagramı	20
5.2.4. Ca^{+2} - Mg^{+2} ilişkisi	20
5.3. Doygunluk İndeksleri (SI).....	21
5.4. Suların Sulama Amaçlı Kullanılabilme Özelliklerinin Değerlendirilmesi.....	23
5.4.1. Elektriksel iletkenlik (EC)	23
5.4.2. Permeabilite İndeksi (PI).....	24
5.4.3. Magnezyum oranı (MR).....	25
5.4.4. Çözünebilir Sodyum Yüzdesi (SSP)	26

İÇİNDEKİLER (devam)

5.4.5. Kelley Oranı (KR).....	27
5.4.6. Potansiyel Tuzluluk (PS).....	28
5.4.7. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR).....	29
5.4.8. Sodyum Yüzdesi (%Na).....	30
5.4.9. Artıksal Sodyum Karbonat (RSC).....	31
5.4.10. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	33
5.4.11. Wilcox diyagramı	34
5.5. Suların İçme Suyu Olarak Kullanılabilirliği	35
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR DİZİNİ	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çalışma alanı yer bulduğu haritası	1
3.1. Kuyu yerleri	5
4.1. Jeoloji haritası (Razack, 2002, Schlüter, 2008)	7
4.2. Kuyu logları	9
5.1. Bir numaralı kuyu	10
5.2. İki numaralı kuyu	11
5.3. Üç numaralı kuyu	11
5.4. Dört numaralı kuyu	12
5.5. Beş numaralı kuyu	12
5.6. Altı numaralı kuyu	13
5.7. Yedi numaralı kuyu	14
5.8. Sekiz numaralı kuyu	14
5.9. Dokuz numaralı kuyu	15
5.10. On numaralı kuyu	15
5.11. On bir numaralı kuyu	16
5.12. Piper diyagramı bölgeleri (Doğan,1981)	17
5.13. Piper Diyagramı	18
5.14. Schoeller Diyagramı	19
5.15. SO_4^{-2} ve Cl^{-} grafiği (Toscano vd. 2020)	20
5.16. Ca^{+2} - Mg^{+2} oranı	21
5.17. Minerallerin doygunluk özellikleri	22
5.18. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	34
5.19. Wilcox diyagramı	35
5.20. H. Schoeller Suların İçilebilirlik Diyagramı	36
5.21. Örneklere ait EC değişim grafiği	37
5.22. Örneklere ait pH değişim grafiği	37
5.23. Örneklere ait Na^{+} değişim grafiği	37
5.24. Örneklere ait K^{+} değişim grafiği	38
5.25. Örneklere ait Mg^{+2} değişim grafiği	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Sekil****Sayfa**

5.26. Örneklere ait Ca^{+2} değişim grafiği.....	38
5.27. Örneklere ait Cl^- değişim grafiği	38
5.28. Örneklere ait SO_4^{-2} değişim grafiği	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Niamey iklim tablosu	2
3.1. Kuyuların listesi.....	6
4.1. Kuyulara ait özellikler	8
5.1. Bir numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.....	10
5.2. Bir numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	10
5.3. İki numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.	11
5.4. İki numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	11
5.5. Üç numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	11
5.6. Üç numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları.....	12
5.7. Dört numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.....	12
5.8. Dört numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	12
5.9. Beş numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	13
5.10. Beş numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	13
5.11. Altı numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	13
5.12. Altı numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	13
5.13. Yedi numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	14
5.14. Yedi numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları.....	14
5.15. Sekiz numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	14
5.16. Sekiz numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	15
5.17. Dokuz numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	15
5.18. Dokuz numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları.....	15
5.19. On numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	16
5.20. On numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları.....	16
5.21. On bir numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri	16

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.22. On bir numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları	16
5.23. Hesaplanan mineral doygunluk indeksleri	20
5.24. EC değerine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Richards, 1954)	22
5.25. EC değerleri	22
5.26. Permeabilite indisine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Doneen, 1964).....	23
5.27. Hesaplanan Permeabilite indisi değerleri	23
5.28. Magnezyum oranına göre sulama suyu kalite sınıflaması (Paliwal, 1972)	24
5.29. Hesaplanan magnezyum oranı değerleri	24
5.30. Çözünebilir Sodyum Yüzdesine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Todd 1980)..	25
5.31. Hesaplanan SSP değerleri	25
5.32. Kelley oranına göre sulama suyu kalite sınıflaması (Kelley 1963).....	26
5.33. Hesaplanan KR değerleri	26
5.34. Hesaplanan PS değerleri	27
5.35. SAR değerlerine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Güngör 2010).....	28
5.36. Hesaplanan SAR değerleri	29
5.37. %Na değerlerine göre sulama suyu kalite sınıflaması	29
5.38. Hesaplanan %Na değerleri	30
5.39. RSC değerine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Aghazadeh ve Mogaddam 2010)	30
5.40. Hesaplanan RSC değerleri	31
5.41. Standartların tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri	35

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
C ₁	Az tuzlu su
C ₂	Orta tuzlu su
C ₃	Yüksek tuzlu su
C ₄	Çok yüksek tuzlu su
°C	Santigrat derece
Ca ⁺²	Kalsiyum iyonu
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
Cl ⁻	Klor iyonu
CO ₂	Karbondioksit
CO ₃ ⁻²	Karbonat iyonu
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel İletkenlik
E.N	Analiz sonuçlarına ait hata payı
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat iyonu
K ⁺	Potasyum iyonu
L/s	Litre / saniye
M	Metre
Mg ⁺²	Magnezyum iyonu
MgCO ₃	Magnezyum karbonat
Mg/l	Miligram / litre
Mek/l	Miliekuvalen / litre
Mm	Milimetre
µmho/cm	Mikromho / santimetre
Na ⁺	Sodyum iyonu
PH	Hidrojen iyonları derişiminin negatif logaritması
ppm	Milyonda bir
S1	Az sodyumlu su
S2	Orta sodyumlu su

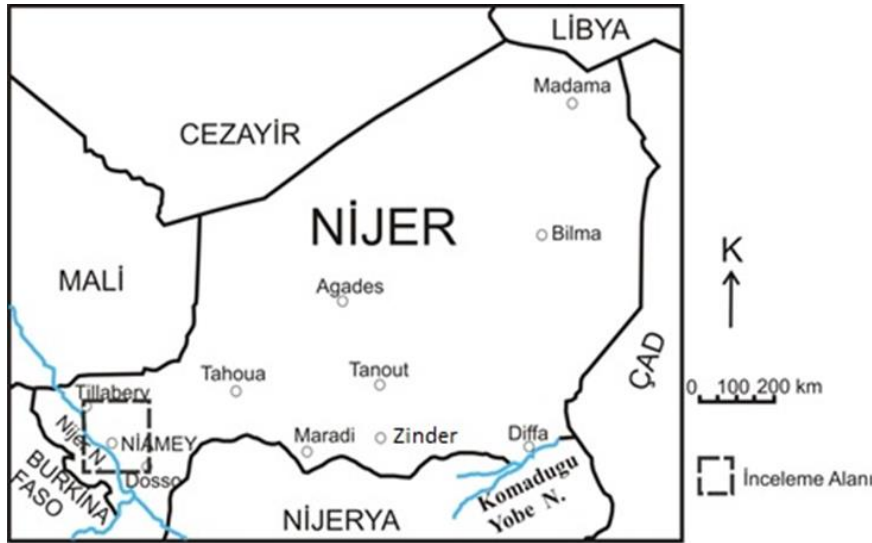
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar Açıklamalar**

TİKA	Türk İş birliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığı
S2	Orta sodyumlu su
S3	Yüksek sodyumlu su
S4	Çok yüksek sodyumlu su
%	Yüzde
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SI	Saturation Index
PI	Permeabilite İndeksi
MR	Magnezyum Oranı
SSP	Çözünebilir Sodyum Yüzdesi
KR	Kelley Oranı
PS	Potansiyel Tuzluluk
RSC	Artıksal Sodyum Karbonat
SO ₄ ²⁻	Sülfat

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yüksek lisans tez çalışması olan bu çalışmanın amacı, Nijer'deki bazı su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ile içme ve sulama suyu açısından uygunluğunu araştırmaktır. Bu amaçla DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) ve TİKA (Türk İş birliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığı) işbirliği ile açılmış olan bazı kuyular değerlendirilmiştir.

Nijer güneyde Nijerya, güneybatıda Benin ve Burkina Faso, kuzeyde Cezayir, kuzeydoğuda Libya, doğuda Çad, batıda Mali ile komşu olan (Şekil 1.1) denize kıyısı bulunmayan, 1.267.000 km²'lik bir alana sahip bir Afrika ülkesidir. Ülke büyük bir Afrika nehrinin adını taşımaktadır. Geçmişte Fransa sömürgesi olan ülke 1960 yılında bağımsızlığına kavuşmuştur. Resmi adı Nijer Cumhuriyeti olan ülkenin başkenti Niamey'dir. Tez kapsamında değerlendirilen analiz sonuçlarına ait kuyular Nijer'in güneybatısında bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduğu haritası.

Nijer'in ekonomisi tarım, hayvancılık ve madencilığe dayanmaktadır. Ülke sömürge sonrası dönemi bağlayıcı anlaşmalardan dolayı sahip olduğu uranyum başta olmak üzere, petrol ve altın gibi kaynaklarını kullanamama sıkıntısını yaşamaktadır. İnsanı gelişme indeksine göre Nijer, dünyanın en az gelişmiş ikinci ülkesidir. Nüfusun üçte biri her an açlıkla karşı karşıyadır. Nijer'de okur-yazar oranı %24'tür. Nijer'in toprakları %60

çöl ya da yarı-çöldür. Güneyden kuzeye gidildikçe kuraklaşır, sıcaklık artar. Kuraklığın bütün yılı kapladığı ve yıllık yağış miktarının ancak 30-40 mm olduğu kuzey kesimlerinde yerleşik hayat yoktur. Burada sadece göçebe Tuaregler yaşamaktadır. İnceleme alanı içerisinde kalan başkent Niamey'e ait iklim tablosu Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Niamey iklim tablosu (<https://tr.climate-data.org/afrika/nijer/niamey/-497/climate-table>).

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (° C)	24.3	27.5	31.1	33.7	33.8	31.7	28.9	27.5	28.6	30.8	28.2	24.7
Min. Sıcaklık (° C)	15.2	18.7	22.4	25.8	27.1	25.5	23.6	23	23.1	23.5	18.9	15.7
Maks. Sıcaklık (° C)	33.4	36.3	39.9	41.6	40.6	37.9	34.3	32	34.1	38.1	37.5	33.8
Yağış (mm)	0	0	2	4	33	66	140	167	83	10	0	0

Nijer'de su ihtiyacı Nijer Nehri dışında, az sayıdaki sondaj kuyularından ve keson kuyulardan sağlanmaktadır. İçme suyu ihtiyacı ise kuyulardan insan gücü ile çalışan tulumba ve pompa sistemi ile giderilmektedir. Nijer'in nüfusu ise 2018 yılı sayımına göre 22.2 milyondur.

2.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Andrews vd. (1994), Nijer'deki Irhazer Ovası'nda alkali yeraltı sularının evrimini araştırmış ve yeraltı sularının HCO_3 alkalinitesinin artmasının, derin CO_2 'ce zengin akiferin etkileşiminden kaynaklandığını vurgulamıştır.

Le Gai La Salle, C., (1994), Nijer'in güneybatısında yer alan Lullemeden Havzası'nda yeraltısularında yaptığı izotopik çalışma sonucunda incelemiş olduğu su örneklerinin aynı kökenli yağışlardan beslendiğini belirtmiştir.

Dodo ve Zuppi (1997), Djado Havzası'nda (Nijer) yaptıkları çalışmada incelemiş oldukları su örneklerinin izotopik ayrılaşmadan etkilenmediğini ve ^{18}O -D diyagramında meteorik su çizgisinde yer aldığını belirtmiştir.

Chapitoux vd. (2002), Niamey'de kimyasal ve bakteriyolojik açıdan yeraltı suyu kirliliğini araştırma amaçlı yaptıkları çalışmada özellikle Nijer Nehri'nin yakınında yer alan kuyuların insan tüketimi için uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Soumaila ve Garba (2006), Bölgede manganez mineralizasyonunu inceledikleri çalışmada, makroskopik ve mikroskobik incelemeler sonucunda manganez mineralizasyonunun gonditlerin alterasyonu sonucunda oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

Gourouza vd. (2009), Tillabéry (Nijer) bölgesindeki yeraltı sularında yaklaşık 300 örneği değerlendirmişler ve 2/3'ünde kirlilik tespit etmişlerdir. Özellikle tarım ve büyükbaş hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu Nijer Nehri civarında kirliliğin çok olduğunu vurgulamışlardır.

Boureima vd. (2010), Tillabéri Bölgesi'nde yaptıkları çalışmada 25 örnekte sulardaki bakteriyolojik kirliliği araştırmışlar ve bakteriyolojik testlerin sonucunda örneklerin yaklaşık %32'sinin içme suyu için bakteriyolojik standartları aştığını tespit etmişlerdir.

Hassane (2010), yaptığı doktora çalışmasında Niamey’de yeraltı su kirliliğini araştırmış ve kirliliğine azotlu bileşiklerin etkili olduğunu belirtmiştir.

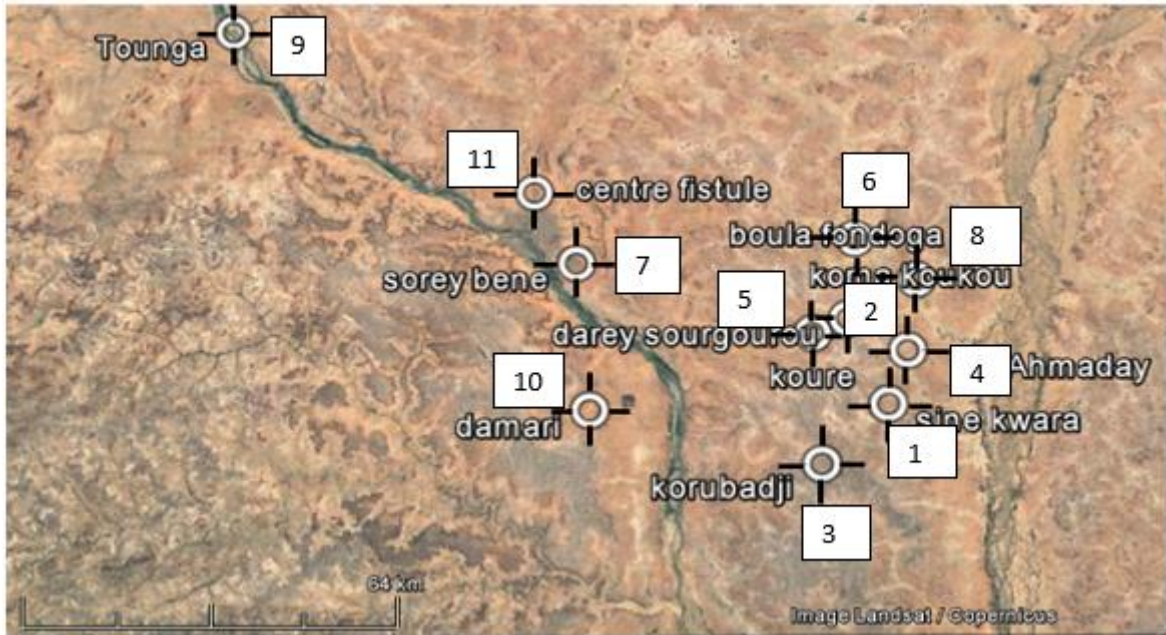
Boko vd. (2020), Niamey’de iklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisini araştırmak amacı ile yaptıkları çalışmada içme ve tarımsal su temini için gerekli minimum çevresel akış koşullarının, iklim değişikliğinden kaynaklanan yüzey akışındaki değişikliklere duyarlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ayrıca bölgede madencilik şirketlerinin içme endüstriyel su gereksinimlerini karşılamak için yaptıkları çalışmalar vardır (Assalack, 2009; Razak, 2013).

Bu çalışmalara ilavaten bölgede uranyum cevherini araştırmak amacı ile yapılmış çalışmalar da bulunmaktadır (Pagel vd. 2005; Bohari vd. 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Afrika’da ortaya çıkan kuraklık felaketi sebebi ile bazı Afrika ülkelerinde içme ve kullanma suyu sıkıntısı çekildiği bilinmektedir. Devlet Su İşleri (DSİ) ve Türk İşbirliği ve Koordinasyon Ajansı Başkanlığınca (TİKA), Nijer’in 161 yerleşim merkezinde 258 adet kuyu ile, 874.000 kişiye yetecek içme ve kullanma suyu temin edilmiştir. (DSİ, 2015) DSİ Eskişehir 3. Bölge Müdürlüğü 14. Sondaj Şube ekibi tarafından Niamey, Tillaberi ve Dosso bölgelerindeki kırsal alanlarda açılan 11 adet su kuyusu verileri bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Kuyulara ait veriler, belirtilen çalışmada Nijer ekibinin koordinatörü olan Sayın Danjimo Amadou (EROH/GC/TP-Nijer)’den temin edilmiştir. Analiz sonuçlarına ait Piper diyagramı, Schoeller diyagramı RockWare AqQA,2003 adlı bilgisayar programından yararlanılarak çizilmiştir. Bu tez çalışmasında mineral doygunluk indekslerinin hesaplanmasında ise Watspec (Wigley; 1977) adlı bilgisayar programı kullanılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilen kuyuların yerleri Şekil 3.1’de ve Çizelge 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Kuyu yerleri.

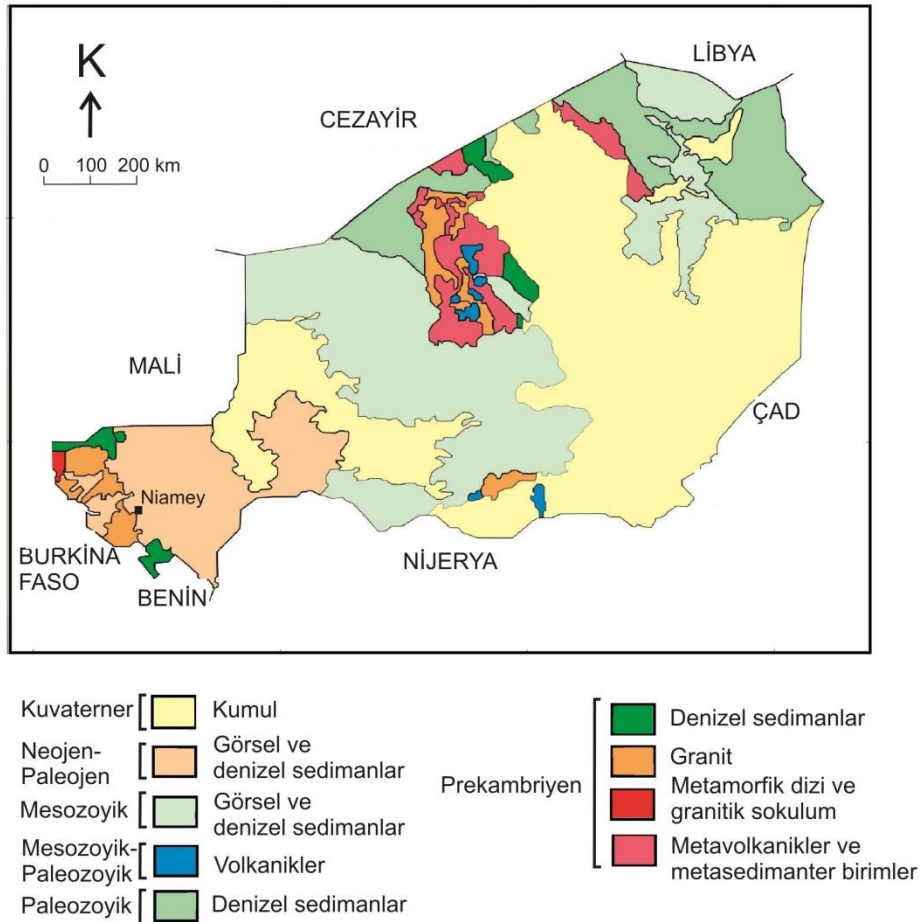
Çizelge 3.1. Kuyuların listesi.

Kuyu no	Yer
1	Sina koira
2	Koure
3	Korubadji
4	Ahmaday
5	Darey sourgourou
6	Boula fondoga
7	Sorey bene
8	Koma koukou
9	Tounga
10	Damari
11	Centre fistule

4. JEOLJİ

4.1. Jeoloji

Prekambriyen kayaçlar Nijer'in büyük bir bölümünün temelini oluşturmaktadır. Karasal ayrışma ürünleri ve kum tepelikleri, Prekambriyen kayalarının çoğunu örtmektedir. Granitik kayaçlar, Niamey'in batısında ve kuzey batısında açığa çıkar. Diğer Prekambriyen kayaçlar, genellikle ülkenin kuzeyinde görülmektedir. Prekambriyen denizel sedimanlar, Benin ve Burkina Faso sınırında Niamey'nin güneyinde bulunmaktadır. Paleozoik sedimanlar, ülkenin orta ve kuzeydoğusunda hakimdir. Nijer'in büyük bir kısmını Kuvaterner kumullar kaplamaktadır (Şekil 4.1). Nijer uranyum, altın, petrol gibi yeraltı zenginliklerine sahiptir (Razack, 2002; Schlüter, 2008).



Şekil 4.1. Jeoloji haritası (Razack, 2002; Schlüter, 2008).

4.2.Hidroloji

4.2.1.Akarsular

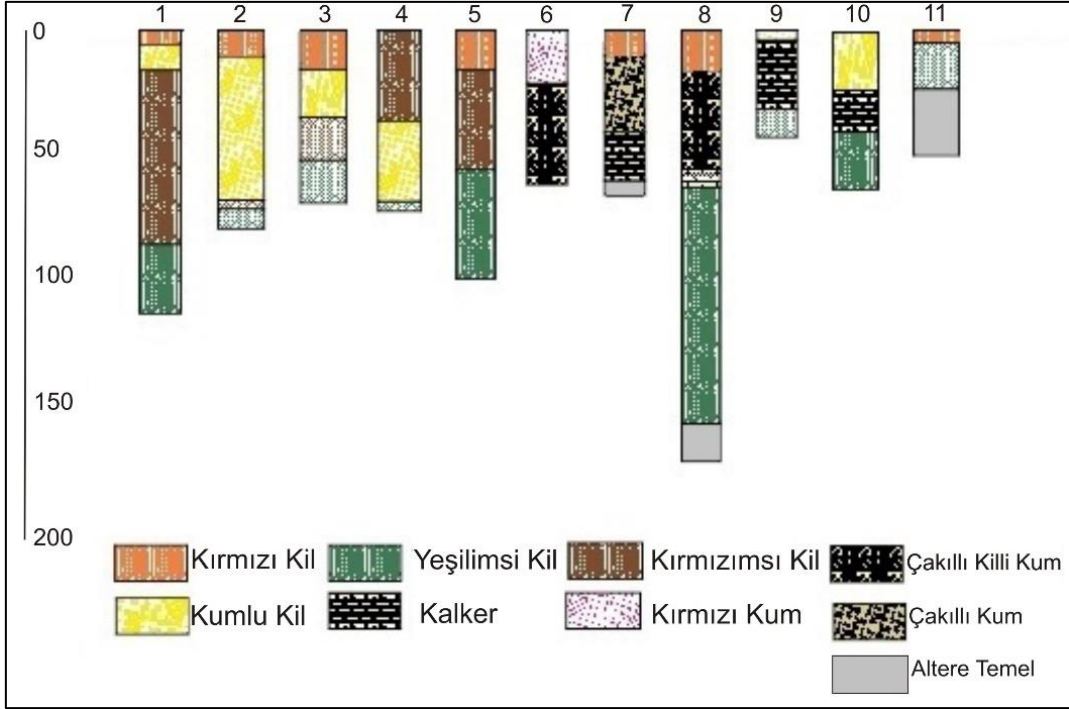
Nijer'in toplam yenilenebilir su kaynaklarının yaklaşık yüzde 90'ı ülke dışından gelmektedir (FAO, 2005). 4200 km uzunluğu ile Batı Afrika'nın en uzun nehri olan Nijer Nehri, ülkenin güneybatı bölümünde 650 km'lik bir uzunluk ile ülke sınırları içerisinde geçmektedir. Nijer nehri Gine, Mali, Nijer ülkelerinden geçerek, Benin - Nijerya sınırının bir kısmını oluşturur ve Nijerya topraklarına sokulup bir delta yaparak, Gine Körfezi'ne boşalmaktadır.

4.2.2.Kuyular

Tez çalışması kapsamında 11 adet kuyu incelenmiştir. Kuyuların kotları, derinlikleri ve statik seviyeleri Çizelge 4.1' de verilmektedir. Ayrıca kuyuların logları Corel Draw programı ile hazırlanarak sunulmuştur (Şekil 4.2).

Çizelge 4.1. Kuyulara ait özellikler.

Kuyu No	Sondaj derinliği(m)	Statik Seviye (m)
1	116	67.22
2	90.60	27.22
3	78	30.60
4	80	48.10
5	111	59.70
6	66	33.00
7	72	20.31
8	186	31.60
9	47	8.00
10	72	20.00
11	54.5	10.60



Şekil 4.2. Kuyu logları.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Hidrojeokimyasal İncelemeler

Birden onbire kadar numaralandırılan örneklere (Şekil 5.1- Şekil 5.11) ve analiz sonuçları Çizelge 5.1-Çizelge 5.22’de verilmektedir.



Şekil 5.1. Bir numaralı kuyu.

Çizelge 5.1. Bir numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
1	Sina koira	5.3	27	84

Çizelge 5.2. Bir numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
1	Sina koira	4	1.4	0.5	13	6	12	0	18.3



Şekil 5.2. İki numaralı kuyu.

Çizelge 5.3. İki numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
2	Koure	6	26	725

Çizelge 5.4. İki numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
2	Koure	27.2	11	5.6	124	53	135	0	170.8



Şekil 5.3. Üç numaralı kuyu.

Çizelge 5.5. Üç numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
3	Korubadji	6	26	725

Çizelge 5.6. Üç numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
3	Korubadji	2.4	3	1.25	9	3	10	0	12.2



Şekil 5.4. Dört numaralı kuyu.

Çizelge 5.7. Dört numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
4	Ahmaday	5.3	23	26

Çizelge 5.8. Dört numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
4	Ahmaday	1.2	1.2	0.4	2.5	2	1	0	6



Şekil 5.5. Beş numaralı kuyu.

Çizelge 5.9. Beş numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
5	Darey sourgourou	6	29	8

Çizelge 5.10. Beş numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
5	Darey sourgourou	1.6	1.4	1	7	4	8	0	12.2



Şekil 5.6. Altı numaralı kuyu.

Çizelge 5.11. Altı numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
6	Boula fondoga	6	29	8

Çizelge 5.12. Altı numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
6	Boula fondoga	1	1	1	3	1	2	0	6.1



Şekil 5.7. Yedi numaralı kuyu.

Çizelge 5.13. Yedi numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
7	Sorey bene	6	30	294

Çizelge 5.14. Yedi numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
7	Sorey bene	20	15	6	18	3	25	0	146.4



Şekil 5.8. Sekiz numaralı kuyu.

Çizelge 5.15. Sekiz numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
8	Koma koukou	6.10	30	1334

Çizelge 5.16. Sekiz numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
8	Koma koukou	33.6	25	12	240	100	290	0	329.4



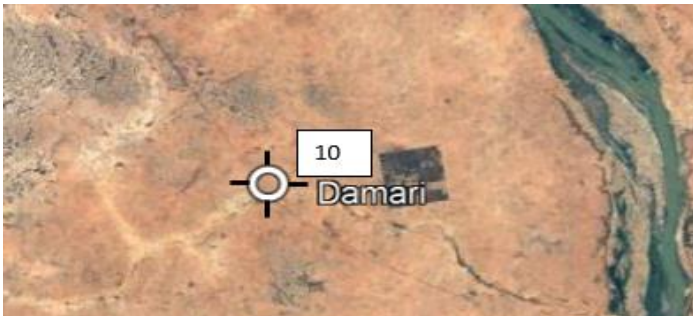
Şekil 5.9. Dokuz numaralı kuyu.

Çizelge 5.17. Dokuz numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
9	Tounga	5.8	29	700

Çizelge 5.18. Dokuz numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
9	Tounga	48.8	19.20	5	67	37	39	0	311.1



Şekil 5.10. On numaralı kuyu.

Çizelge 5.19. On numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
10	Damari	5.2	34	116

Çizelge 5.20. On numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
10	Damari	4	3	1.5	9	5	4	0	24.4



Şekil 5.11. On bir numaralı kuyu.

Çizelge 5.21. On bir numaralı örneğe ait yerinde ölçüm değerleri.

Kuyu no	Yer	pH	Sıcaklık °C	EC (µS/cm)
11	Centre fistule	8.06	30,5	344

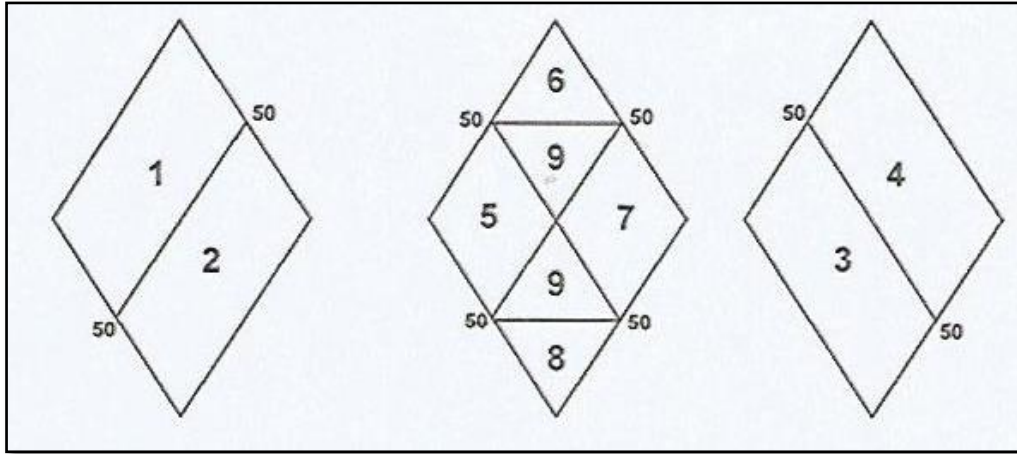
Çizelge 5.22. On bir numaralı örneğe ait majör iyon analiz sonuçları (mg/l).

Kuyu no	Yer	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻
11	Centre fistule	42.4	19.2	0.5	10	6	18	0	234.24

5.2. Piper ve Schoeller Diyagramı Değerlendirmeleri

5.2.1. Piper diyagramı

Piper diyagramı su kaynaklarının litoloji ile ilişkilerini açıklamada kullanılan diyagramlardan biridir. Piper diyagramı, bir paralel kenar ile katyon ve anyonlar kullanılan iki eşkenar üçgenden oluşmaktadır (Şekil 5.12). % cinsinden mek/l değerleri ayrı ayrı anyon ve katyon üçgen diyagrama işaretlenir. Anyon ve katyon üçgenlerindeki değerler paralelkenar üstünde kesitirilerek örneklerin Piper Diyagramında yer aldığı bölgelere göre sınıflama yapılmaktadır. Piper diyagramının ifade ettiği bölgeler Şekil 5.12’de görülmektedir.

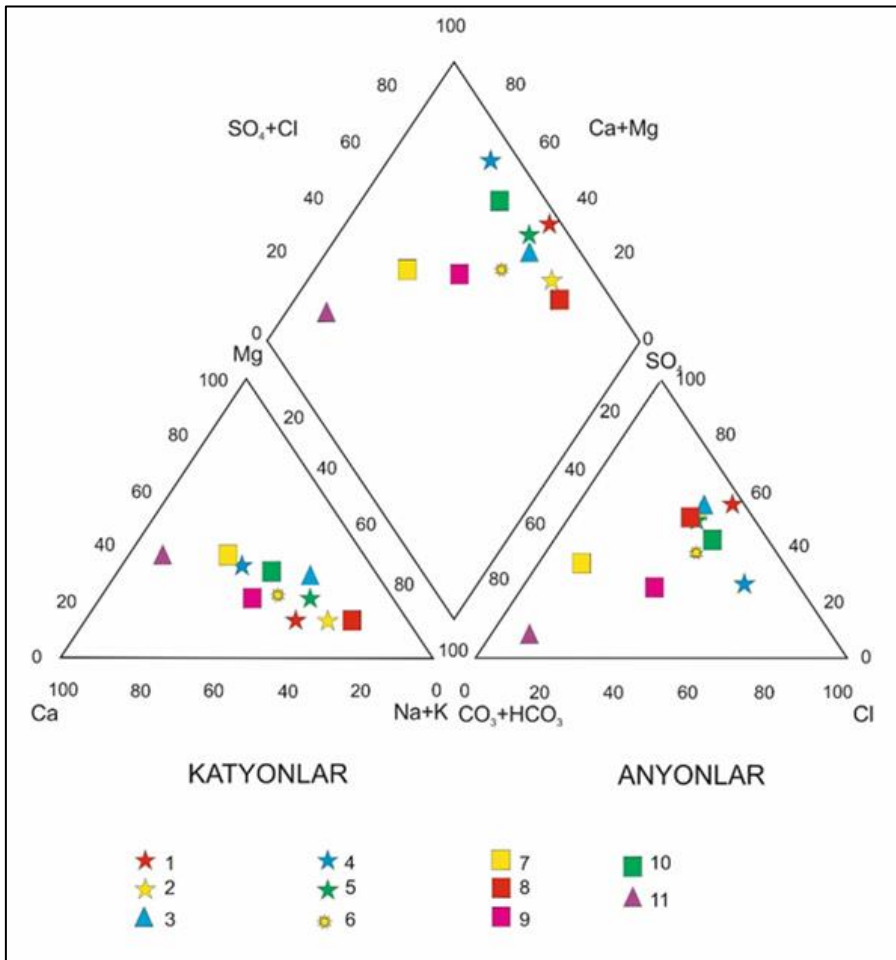


Şekil 5.12. Piper diyagramı bölgeleri (Doğan,1981).

Ayrıca bölgelerin temsil edildiği su fasiyesleri aşağıdaki gibidir:

- 1.Bölgeye düşen bir suda $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$ karbonatlı ve sülfatlı sulardır.
- 2.Bölgede, $Na^{+} + K^{+} > Ca^{+2} + Mg^{+2}$ Tuzlu ve sodalı sulardır.
- 3.Bölgede, $HCO_3^{-} + CO_3^{-2} > Cl^{-} + SO_4^{-2}$
- 4.Bölgede, $Cl^{-} + SO_4^{-2} > HCO_3^{-} + CO_3^{-2}$
- 5.Bölgede, karbonat sertliği $>$ karbonat olmayan sertlik. Böyle sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ 'lü sulardır.
- 6.Bölgede karbonat olmayan sertlik $>$ karbonat sertliği $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ 'lü sulardır.
- 7.Bölgede, karbonat olmayan alkalilik $>$ karbonat alkaliliği $NaCl$, Na_2SO_4 ve KCl 'lü sular
- 8.Bölgede, karbonat alkaliliği $>$ karbonat olmayan alkalilik
- 9.Bölgede, iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular

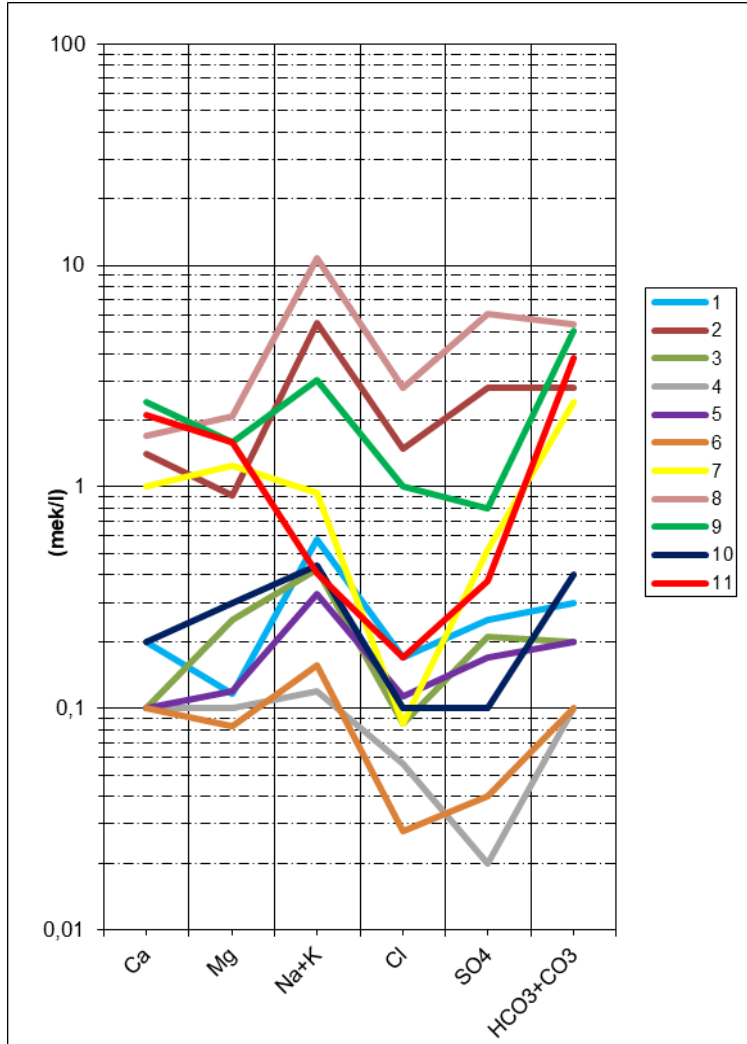
Çalışmada değerlendirilen su örnekleri Piper diyagramına yerleştirildiğinde (Şekil 5.13) 1, 2, 3, 5, 6, 8 numaralı örnekler 2., 4., 7. bölgelere; 9 ve 10 numaralı örnekler 1., 4., 9. bölgelere; 7 ve 11 numaralı örnekler 1., 3. ve 5. bölgelere; 4 numaralı örnek ise 1., 4. ve 6. bölgelere düşmektedir. Yani; 1, 2, 3, 5, 6, 8 numaralı örnekler $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ Tuzlu ve sodalı sular, $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$, karbonat olmayan alkalilik > karbonat alkaliliği; 9 ve 10 numaralı örnekler $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ karbonatlı ve sülfatlı sular, $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$, iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular; 7 ve 11 numaralı örnekler $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ karbonatlı ve sülfatlı sular, $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2} > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2}$, karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik; 4 numaralı örnek ise $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$, $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{-2}$, karbonat olmayan sertlik > karbonat sertliği özelliğindedir.



Şekil 5.13. Piper Diyagramı.

5.2.2. Schoeller diyagramı değerlendirmeleri

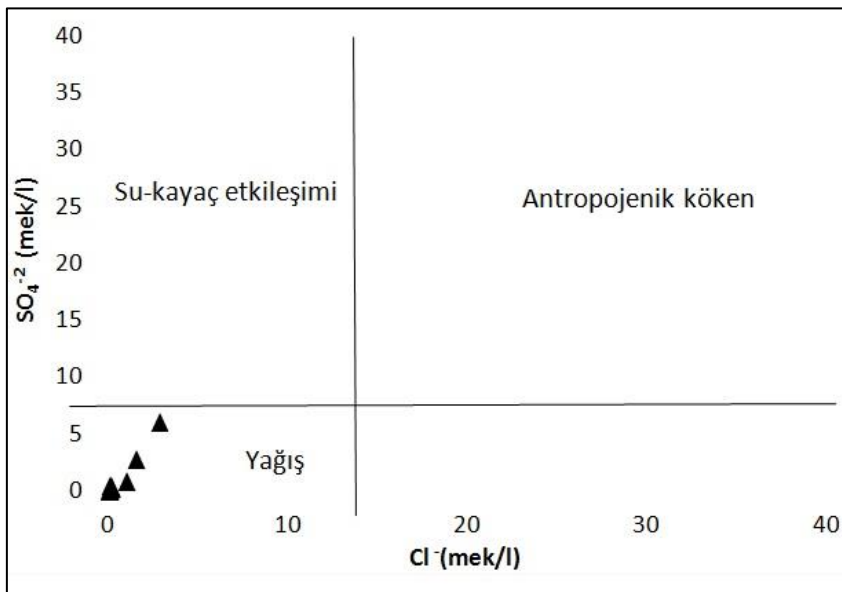
Logaritmik eksen üzerine her bir iyonun analiz sonuçlarının mek/l değerlerinin kırık çizgiler oluşturarak işaretlendiği Schoeller diyagramı başlıca aynı kökenli suları belirlemek için kullanılmaktadır. Kökenleri aynı olan suların oluşturduğu kırık çizgiler, diyagramda birbirlerine paralel olarak görülmektedir. Çalışma alanına ait Schoeller diyagramı Şekil 5.14'de görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 1, 2, 3, 5, 6, 8 numaralı örnekler; 9 ve 10 numaralı örnekler ve 7 ve 11 numaralı örnekler aynı tür formasyondan gelmektedir denebilir.



Şekil 5.14. Schoeller Diyagramı.

5.2.3. SO₄⁻²- Cl⁻ Diyagramı

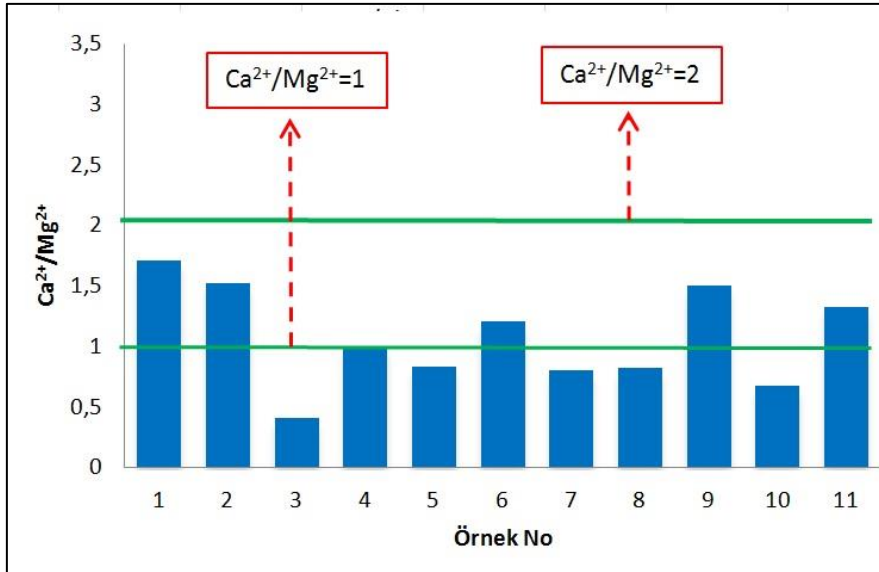
Su örneklerine ait sülfatın kaynağını belirlemek için SO₄⁻² ve Cl⁻ grafiği kullanılabilir (Toscano vd.. 2020). SO₄⁻² ve Cl⁻ grafiği sülfatın kaynağının yağış, su kayaç etkileşimi ya da antropojenik kaynaklı olduğunu belirtmektedir. İnceleme alanında değerlendirilen örneklerdeki (Şekil 5.15) sülfatın kaynağı yağış suyudur.



Şekil 5.15. SO₄⁻² ve Cl⁻ grafiği (Toscano vd. 2020).

5.2.4. Ca⁺²-Mg⁺² ilişkisi

Karbonat minerallerinin çözünmesini belirlemek için Ca⁺²-Mg⁺² molar oranı kullanılmaktadır. Ca⁺²-Mg⁺² molar oranının 1 olması dolomit çözünmesi meydana geldiğini, 1 ile 2 arasında değişen Ca⁺²-Mg⁺² molar oranı kalsitin çözündüğünü göstermektedir. 2' den büyük Ca⁺²-Mg⁺² molar oranı, sularda magnezyum ve kalsiyuma katkıda bulunan silikat minerallerinin çözünmesini ifade etmektedir (Mayo ve Loucks 1995; Katz vd. 1997; Narany vd. 2014). Bu çalışmada Ca⁺²-Mg⁺² molar oranı (Şekil 5.16) 0.40 ile 1.70 arasında değişmektedir. Bu değerler dolomit ve kalsitin çözündüğünü, silikat minerallerinin çözünmesinin olmadığını ifade etmektedir.



Şekil 5.16. Ca²⁺-Mg²⁺ oranı.

5.3. Doygunluk İndeksleri

Termodinamik yöntemler ile pek çok bilgisayar programı yardımı ile hesaplanabilen mineral doygunluk indeksi (SI: Saturation Index) sonuçları şu şekilde yorumlanmaktadır.

SI=0 ise su ile mineral dengededir.

SI<0 ise su ilgili mineral doygun değildir. Mineral çözüldürücü özelliktedir.

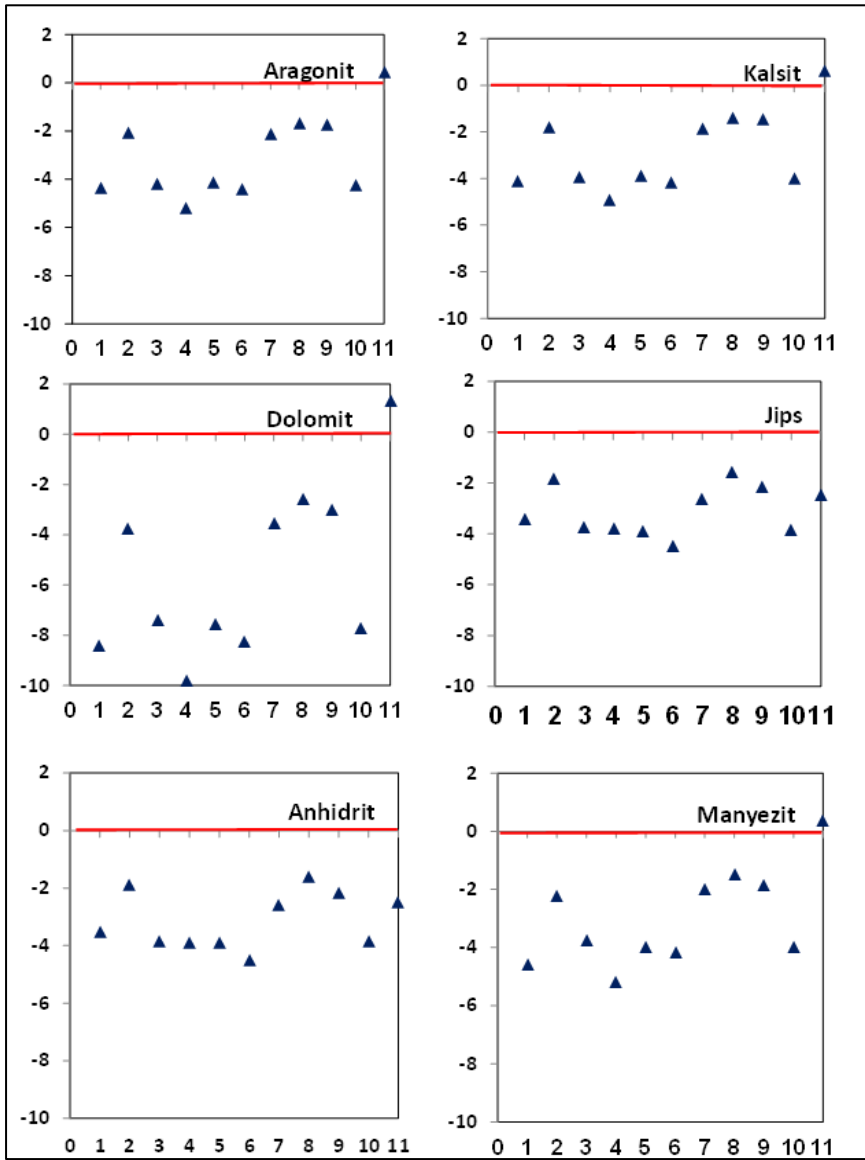
SI>0 ise su ilgili minerale doygundur. Mineral çökeltici özelliktedir.

İnceleme alanına ait suların doygunluk indeksi (SI) değerleri Watspec (Wigley, 1977) Programı yardımı ile hesaplanmıştır. Hesaplanan doygunluk indeksleri Çizelge 5.23'de verilmektedir.

Çizelge 5.23. Hesaplanan mineral doygunluk indeksleri.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anhidrit	-3,490	-1,89	-3,84	-3,88	-3,88	-4,50	-2,60	-1,60	-2,17	-3,82	-2,48
Aragonit	-4,360	-2,08	-4,18	-5,19	-4,12	-4,39	-2,14	-1,65	-1,71	-4,26	0,41
Kalsit	-4,130	-1,82	-3,92	-4,93	-3,86	-4,14	-1,88	-1,39	-1,45	-4,00	0,64
Dolomit	-8,403	-3,73	-7,36	-9,80	-7,55	-8,26	-3,55	-2,58	-2,98	-7,70	1,33
Jips	-3,43	-1,84	-3,73	-3,80	-3,86	-4,47	-2,59	-1,58	-2,15	-3,84	-2,47
Manyezit	-4,58	-2,20	-3,74	-5,18	-3,98	-4,18	-1,97	-1,49	-1,83	-3,99	0,36

Şekil 5.17’te x eksenini örnek numaralarını, y eksenini ise hesaplanan mineral doygunluk indeksleri değerlerini göstermektedir. Diyagramlarda doygunluk indeksi sıfır olan değer kırmızı çizgi ile belirtilmiştir. Sıfır çizgisinin üstünde kalan örneklerin mineral doygunlukları pozitif ve o minerali çöktürmeye eğilimli olarak değerlendirilir. Sıfır çizgisinin altında kalan örnekler ise minerali çözücü özellikte olarak değerlendirilmektedir. Buna göre sülfatlı mineraller olan jips, anhidrit mineralleri çözücü özelliktedir. Karbonat mineralleri olan kalsit, aragonit, dolomit, manyezit 11 numaralı örnekte doygunluk üstü değerler vermektedir ve o mineralleri çöktürmeye eğilimlidir. 11 numaralı örnek dışında kalan diğer örneklerde ise doygunluk altı değerlerdedir.



Şekil 5.17. Minerallerin doygunluk özellikleri.

5.4. Suların Sulama Amaçlı Kullanılabilirlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Suların sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde Elektriksel İletkenlik (EC) parametresi ile Permeabilite İndeksi (PI), Magnezyum Oranı (MR), Çözünabilir Sodyum Yüzdesi (SSP), Kelley Oranı (KR), Potansiyel Tuzluluk (PS), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) gibi indekslerin hesaplamaları yapılmış, ayrıca Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları değerlendirilmiştir.

5.4.1. Elektriksel iletkenlik (EC)

Sulama suyu kalitesi ölçülerinden biri olan EC, sudaki çözünmüş madde içeriğine bağlı olarak artar ve suyun elektriği iletme derecesinin ölçüsüdür. Tuzluluk ölçüsünde EC kullanılmaktadır (Richards, 1954). EC değerine göre sulama suyu kalite sınıflaması Çizelge 5.24’da görülmektedir. İnceleme alanındaki suların EC değerleri bu sınıflamaya göre değerlendirildiğinde (Çizelge 5.25) 1,4,5,6,10 numaralı sular mükemmel, 2,3,7,9, 11 numaralı sular iyi, 8 numaralı su izin verilebilir sınıfına düşmektedir.

Çizelge 5.24. EC değerine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Richards, 1954).

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	<250	Mükemmel
	250-750	İyi
	750-2000	İzin verilebilir
	2000-3000	Şüpheli
	>3000	Uygun değil

Çizelge 5.25. EC değerleri.

Örnek No	EC (µS/cm)
1	84
2	725
3	725
4	26
5	8
6	8
7	294
8	1334
9	700
10	116
11	344

5.4.2. Permeabilite İndeksi (PI)

Permeabilite indeksi,

$$PI = \frac{Na+HCO_3}{Ca+Mg+Na} \times 100 \quad (5.2)$$

numaralı eşitlik ile iyonların mek/l cinsinden değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır (Doneen, 1964). Permeabilite indeksi değerleri kullanılarak yapılan sulama suyu sınıflaması Çizelge 5.26'de verilmektedir.

Çizelge 5.26. Permeabilite indisine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Doneen, 1964).

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
PI	<25	Uygun değil
	25-75	İyi
	>75	Mükemmel

İnceleme alanına ait örneklerin hesaplanan permeabilite indeksi değerleri Çizelge 5.27'de görülmektedir. 11 numaralı örnek iyi, diğer örnekler mükemmel grubuna düşmektedir.

Çizelge 5.27. Hesaplanan Permeabilite indeksi değerleri.

Örnek No	Permeabilite İndeksi
1	126
2	92
3	113
4	138
5	143
6	143
7	77
8	90
9	75
10	115
11	57

5.4.3. Magnezyum oranı (MR)

Sudaki yüksek magnezyum oranı toprağın tuzlanmasına neden olmakta ve bitki büyümesini engellemektedir (Joshi vd., 2009).

$$MR = \frac{Mg}{Mg+Ca} \times 100 \quad (5.3)$$

formülü ile (eşitlik 5.3) hesaplanmaktadır. İyonlar mek/l cinsindedir. Magnezyum oranına göre Paliwal, 1972 tarafından yapılan sınıflama Çizelge 5.28'da verilmektedir.

Çizelge 5.28. Magnezyum oranına göre sulama suyu kalite sınıflaması (Paliwal, 1972).

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
MR	<50	Uygun
	>50	Uygun değil

Çizelge 5.30’da ise örneklere ait hesaplanan MR değerleri görülmektedir. Çizelge 5.29’a göre 1, 2, 4, 6, 9, 11 numaralı örnekler uygun grubuna düşerken, 3, 5, 7, 8, 10 numaralı örnekler uygun değil grubuna düşmektedir.

Çizelge 5.29. Hesaplanan magnezyum oranı değerleri.

Örnek No	Magnezyum oranı
1	37
2	40
3	71
4	49
5	54
6	45
7	56
8	55
9	40
10	60
11	40

5.4.4. Çözünabilir Sodyum Yüzdesi (SSP)

Çözünabilir Sodyum yüzdesi sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) gibi sulama sularında sodyum tehlikesini belirlemek için kullanılmaktadır.

$$SSP = \frac{Na+K}{Na+K+Ca+Mg} \times 100 \quad (5.4)$$

ile ifade edilmektedir (eşitlik 5.4). İyonlar mek/l cinsindedir. Çözünabilir Sodyum Yüzdesine göre yapılan sınıflama Çizelge 5.30’de verilmektedir.

Çizelge 5.30.Çözünabilir Sodyum Yüzdesine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Todd,1980)

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
SSP	0-20	mükemmel
	20-40	İyi
	40-60	İzin verilebilir
	60-80	şüpheli
	80-100	uygun değil

Hesaplanan SSP değerlerine göre (Çizelge 5.31) 11 numaralı örnek mükemmel, 4 ve 7 numaralı örnekler iyi, 3,5,6,9,10 numaralı örnekler izin verilebilir, 1, 2, 8 numaralı örnekler ise şüpheli kullanılabilir grubuna düşmektedir.

Çizelge 5.31. Hesaplanan SSP değerleri.

Örnek No	SSP
1	65
2	70
3	55
4	37
5	60
6	46
7	29
8	74
9	43
10	47
11	9

5.4.5. Kelley Oranı (KR)

Kelley oranı, iyonların mek/l cinsinden değerleri kullanılarak,

$$KR = \frac{Na}{Ca+Mg} \quad (5.5)$$

formülü ile ifade edilir (eşitlik 5.5). Kelley 1963 tarafından yapılan sınıflama Çizelge 5.32'te görülmektedir.

Çizelge 5.32. Kelley oranına göre sulama suyu kalite sınıflaması (Kelley 1963).

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
KR	<1	Uygun
	>1	Uygun değil

İnceleme alanındaki sulara ait hesaplanan KR değerleri Çizelge 5.33'te verilmektedir. 4, 6, 7, 9, 10, 11 numaralı örnekler uygun, 1, 2, 3, 5, 8 numaralı örnekler ise uygun değil grubuna düşmektedir.

Çizelge 5.33. Hesaplanan KR değerleri

Örnek No	KR
1	1.78
2	2.32
3	1.1
4	0.54
5	1.38
6	0.71
7	0.34
8	2.75
9	0.72
10	0.8
11	0.10

5.4.6. Potansiyel Tuzluluk (PS)

Potansiyel Tuzluluk değeri

$$PS = Cl + \frac{1}{2}SO_4 \quad (5.6)$$

5.6 numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır. Cl ve SO₄ mek/l cinsindedir.

Doneen 1964'e göre PS değeri 3 mek/l' den az olan sular sulamaya uygun, 3 mek/l' den fazla olan sular sulamaya uygun değildir.

Hesaplanan PS değerleri Çizelge 5.34'te verilmektedir. Çizelge 5.34'e göre 8 numaralı örnek hariç tüm örnekler uygundur.

Çizelge 5.34. Hesaplanan PS değerleri.

Örnek No	PS
1	0.29
2	2.89
3	0.19
4	0.06
5	0.19
6	0.04
7	0.34
8	5.8
9	1.4
10	0.15
11	0.37

5.4.7.Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sodyum sulama suyu için oldukça önemli bir iyonudur. Düşük sodyum ve düşük kalsiyum iyonuna sahip sular sulama amaçlı kullanıldığında katyon değişimine neden olmaktadır. Bu durum toprağın sızma kapasitesi etkilenmekte ve bitki gelişimini zorlaştırmaktadır (Todd, 1980, Hem, 1985).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (5.7)$$

5.7 numaralı eşitlik ile iyonların mek/l cinsinden değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. SAR değerleri kullanılarak yapılan sınıflama (Güngör, 2010) Çizelge 5.35'te verilmektedir.

Çizelge 5.35. SAR değerlerine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Güngör, 2010).

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
SAR	0-20	mükemmel
	20-40	İyi
	40-60	İzin verilebilir
	60-80	şüpheli
	80-100	uygun değil

İnceleme alanına ait suların SAR değerleri hesaplandığında (Çizelge 5.36) tüm suların mükemmel sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Çizelge 5.36. Hesaplanan SAR değerleri.

Örnek No	SAR
1	1.42
2	5
3	0.93
4	0.34
5	0.91
6	0.42
7	0.73
8	7.58
9	2.05
10	0.8
11	0.29

5.4.8.Sodyum Yüzdesi (%Na)

Suların sulamada kullanımının belirlenmesi için önemli bir parametredir. Sulama sularındaki yüksek sodyum kil parçacıkları tarafından absorbe edilir. Ca ve Mg iyonları ile yerdeğiştirir ve bu bazı değişimi topraktaki geçirgenliği azaltmaktadır (Todd, 1980, Collins ve Jenkins 1996, Saleh vd, 1999). İyonların mek/l cinsinden değerleri kullanılarak,

$$\%Na = \frac{Na}{Na+K+Ca+Mg} \times 100 \quad (5.8)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır (eşitlik 5.8) (Todd, 1960, Wilcox, 1955).Sodyum Yüzdesi (%Na) değerleri kullanılarak yapılan sınıflama (Todd, 1960, Wilcox, 1955) Çizelge 5.37’de verilmektedir.

Çizelge 5.37. %Na değerlerine göre sulama suyu kalite sınıflaması.

Parametre	Değer Aralığı	Sınıfı
%Na	0-20	Mükemmel
	20-40	İyi
	40-60	İzin verilebilir
	60-80	Şüpheli
	80-100	Uygun değil

Çizelge 5.38’da görüldüğü gibi 1,2,8 numaralı örnekler şüpheli, 3,5,9,10 izin verilebilir. 4, 6, 7 numaralı örnekler iyi, 11 numaralı örnek ise mükemmel sular grubuna düşmektedir.

Çizelge 5.38. Hesaplanan %Na değerleri.

Örnek No	%Na
1	63.12
2	68.63
3	50.58
4	34.16
5	55.27
6	38.34
7	24.56
8	71.83
9	41.25
10	42.55
11	9.68

5.4.9. Artıksal Sodyum Karbonat (RSC)

RSC 5.9 numaralı eşitlik ile (Ragunath, 1987) hesaplanmaktadır ve bikarbonat ve karbonatın su kalitesi üzerindeki etkisini belirlemek için kullanılmaktadır. RSC değerine göre sulama suyu kalite sınıflaması Çizelge 5.39’ta görülmektedir.

$$RSC = (HCO_3^- + CO_3^{2-}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (5.9)$$

Çizelge 5.39. RSC değerine göre sulama suyu kalite sınıflaması (Aghazadeh ve Mogaddam 2010).

RSC	Değer Aralığı	Sınıfı
	<1.25	Güvenli
	1.25-2.5	Normal
	>2.5	Uygun değil

İnceleme alanına ait sular RSC değerlerine göre değerlendirildiğinde (Çizelge 5.40) tüm sular güvenli sınıfta yer almaktadır.

Çizelge 5.40. Hesaplanan RSC değerleri.

Örnek No	RSC
1	-0.01
2	0.48
3	-0.15
4	-0.1
5	-0.02
6	-0.083
7	0.15
8	1.617
9	1.1
10	0.8
11	0.29

5.4.10. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Sulama suyu kalitesini belirleme de kullanılan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında (Şekil 5.18) yatay ekseninde EC değeri, düşey ekseninde ise SAR değeri bulunmaktadır ve sular diyagrama göre 16 kategoriye ayrılmaktadır (Richards,1954). Anlamları şu şekildedir:

C1: Az tuzlu su

S1: Az sodyumlu su

C2: Orta tuzlu su

S2: Orta sodyumlu su

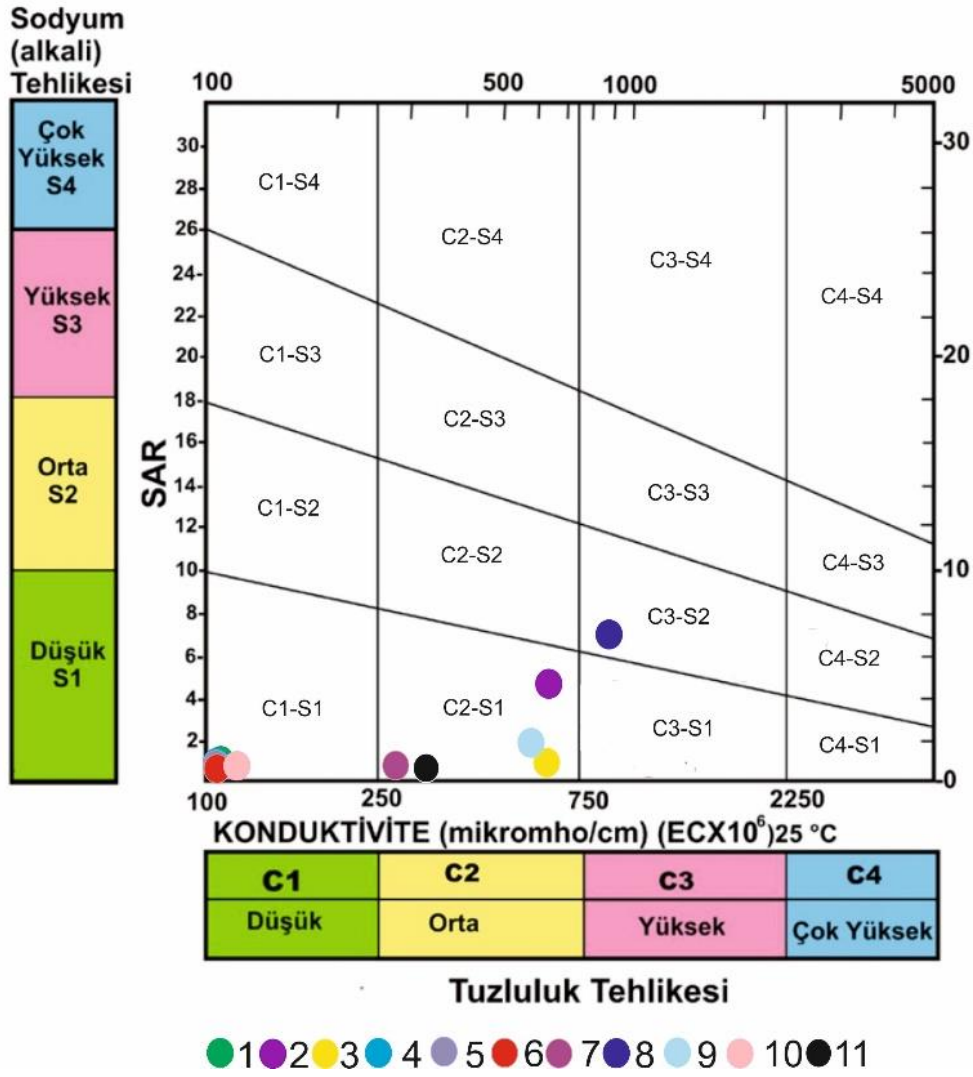
C3: Yüksek tuzlu su

S3: Yüksek sodyumlu su

C4: Çok yüksek tuzlu su

S4: Çok yüksek sodyumlu su

Genel olarak C1S1, C2S1, C3S1 sınıfı sular sulamaya uygundur. C4S1, C3S2 sınıfı sular bazı özel şartlarda kullanılabilir. C4S2, C4S3, C4S4 sınıfı sular sulama faaliyetlerinde kullanılmazlar (Richards,1954). İnceleme alanındaki su örnekleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre C1-S1, C2-S1, C3-S2 sınıfına düşmektedir (Şekil 5.18).

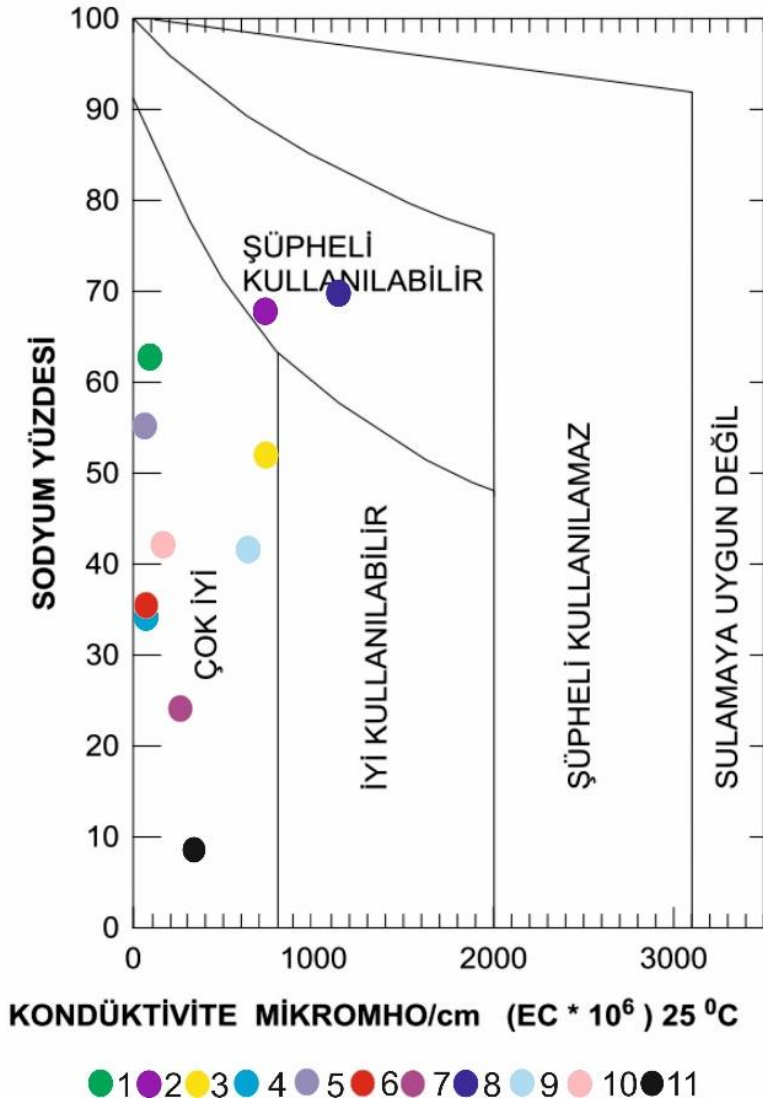


Şekil 5.18. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.

5.4.11. Wilcox diyagramı

Wilcox diyagramı % Na ve EC değerlerinden yararlanılarak sulama sularının kullanılabilirliği ile ilgili “çok iyi”, “iyi-kullanılabilir”, “şüpheli kullanılabilir”, “şüpheli kullanılamaz” ve “sulamaya uygun değildir” değerlendirmelerinin yapıldığı bir diyagramdır (Wilcox,1955).

Wilcox diyagramına göre inceleme alanındaki örneklerden 7 ve 8 numaralı örnekler şüpheli kullanılabilir, diğerleri çok iyi grubuna düşmektedir (Şekil 5.19).

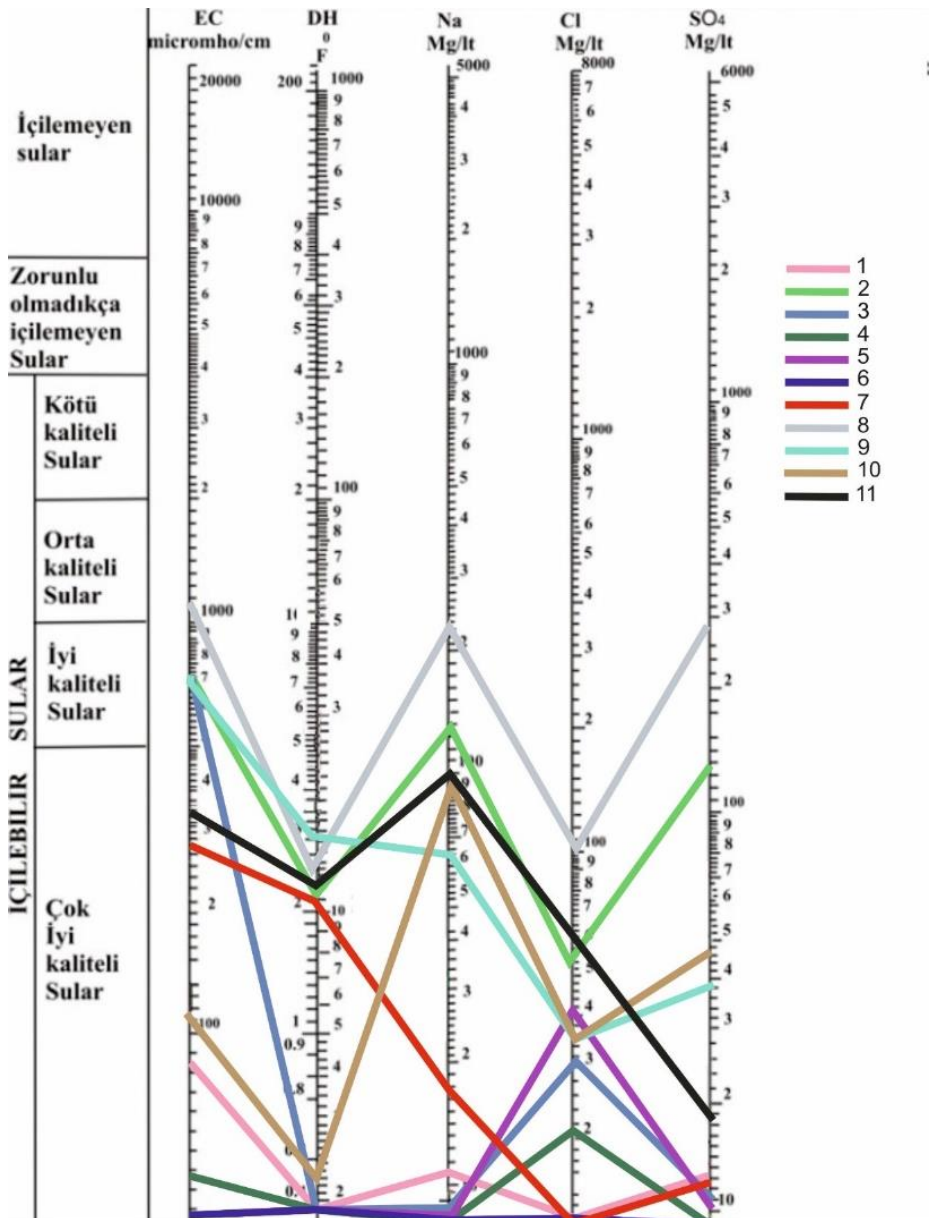


Şekil 5.19. Wilcox diyagramı.

5.5. Suların içme suyu olarak kullanılabilirliği

H. Schoeller tarafından suların EC, sertlik, Na, Cl ve SO₄ parametreleri kullanılarak hazırlanan Schoeller içilebilirlik diyagramında sular içilemeyen, zorunlu olmadıkça içilemeyen ve içilebilir sular olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. İçilebilir sulara kalite özelliklerine göre, kötü kaliteli, orta kaliteli, iyi kaliteli ve çok iyi kaliteli sular olarak sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada değerlendirilen sular Schoeller içilebilirlik diyagramı üzerine yerleştirilmiş (Şekil 5.20) ve tüm suların 'içilebilir sular' sınıfında yer aldığı görülmektedir. Ayrıca suların içme suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları kullanılmıştır. Standartların tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri ile

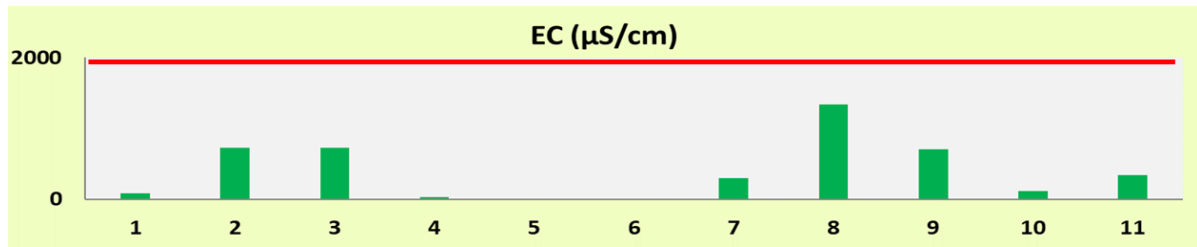
çalışmadaki ilgili analiz sonuçlarına ait minimum ve maksimum değer aralıkları Çizelge 5.42’de verilmektedir. Buna ilaveten parametrelere ait grafikler oluşturulmuştur (Şekil 5.21- Şekil 5.28). Grafiklerde kırmızıçizgi TSE 266 (1997) maksimum izin verilebilir limit değerlerini göstermektedir. Şekil 5.21-Şekil 5.28 ve Çizelge 5.42’de görüldüğü gibi sadece 8 numaralı örneğin sülfat ve sodyum değerlerinin maksimum izin verilebilir değerleri bir miktar aştığı görülmektedir.



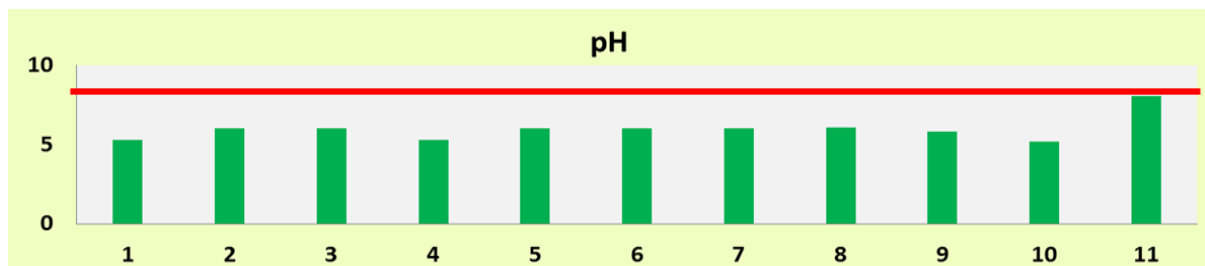
Şekil 5.20. H. Schoeller Suların İçilebilirlik Diyagramı.

Çizelge 5.41. Standartların tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri.

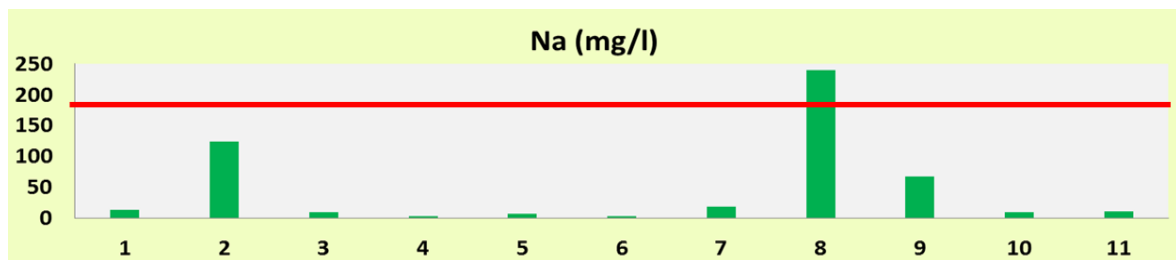
Parametre	Tavsiye Edilen (TS 266)	Maks.İzin Verilen (TS 266)	Tavsiye Edilen (WHO)	Tüm örnekler Min. - Maks. Değer
Sıcaklık (°C)	12	25	-	23-34
pH	6.5-8.5	6.5-9.2	-	5.2-8.06
EC (µS/cm)	400	2000	-	8-1334
Cl (mg/l)	25	600	250	1-100
SO ₄ (mg/l)	25	250	250	1-290
Ca (mg/l)	100	200	-	1-48.8
Mg (mg/l)	30	30	-	1-25
Na (mg/l)	20	175	200	2.5-240
K (mg/l)	10	12	-	0.4-12

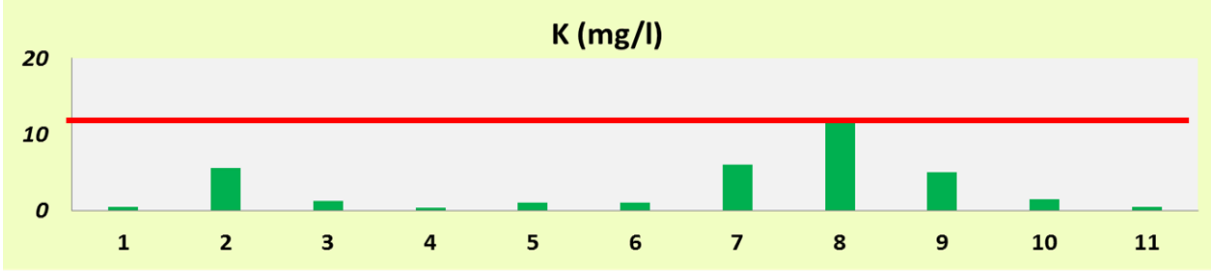


Şekil 5.21. Örneklere ait EC değişim grafiği.

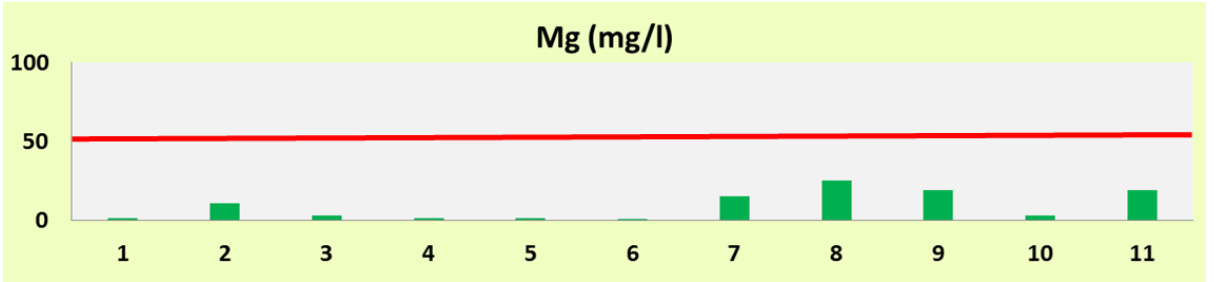


Şekil 5.22. Örneklere ait pH değişim grafiği.

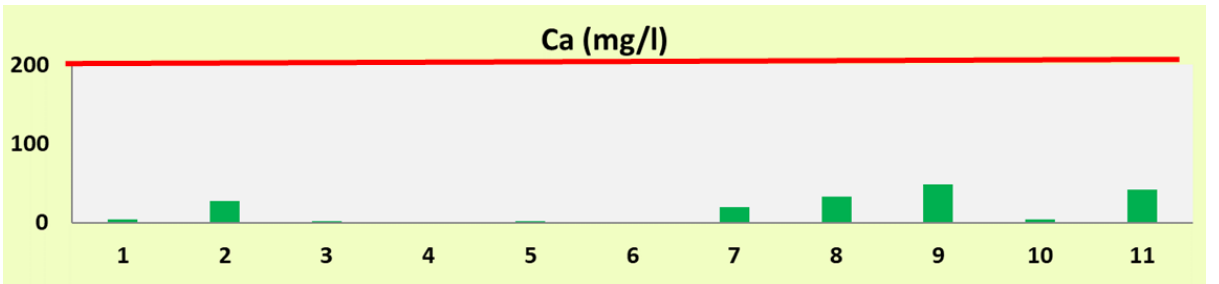
Şekil 5.23. Örneklere ait Na⁺ değişim grafiği.



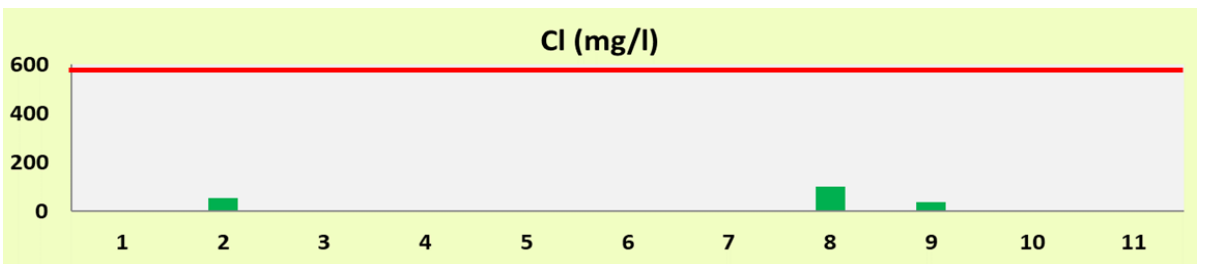
Şekil 5.24. Örneklere ait K^+ değişim grafiği.



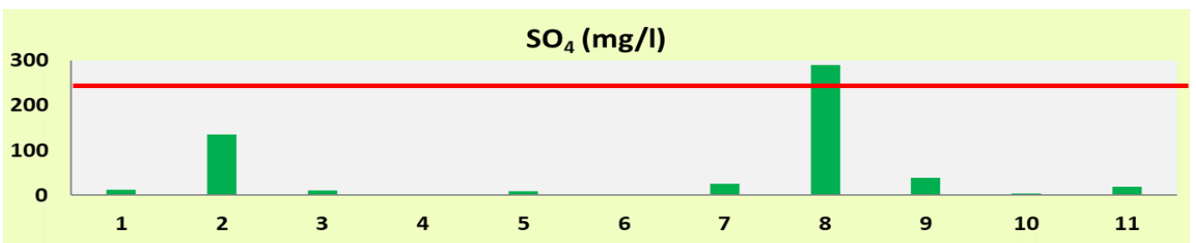
Şekil 5.25. Örneklere ait Mg^{+2} değişim grafiği.



Şekil 5.26. Örneklere ait Ca^{+2} değişim grafiği.



Şekil 5.27. Örneklere ait Cl değişim grafiği.



Şekil 5.28. Örneklere ait SO_4^{-2} değişim grafiği.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

DSİ ve TİKA iş birliği ile Nijer’de açılmış olan bazı kuyuların hidrojeokimyasal özellikleri ile içme ve sulama suyu açısından uygunluğunu araştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda suların CaMgHCO_3 ve NaHCO_3 ’lu sular olduğu tespit edilmiştir. Suların sulamada kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde elektriksel iletkenlik (EC), permeabilite indeksi (PI), magnezyum oranı (MR), Çözünebilir Sodyum Yüzdesi (SSP), Kelley Oranı (KR), Potansiyel Tuzluluk (PS), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) gibi indeksler hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile de değerlendirme yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Magnezyum Oranına (MR) göre 3, 5, 7, 8 ve 10 numaralı örnekler uygun değil; Çözünebilir Sodyum Yüzdesi (SSP) açısından 1, 2, 8 numaralı örnekler şüpheli; Kelley Oranına (KR) göre 1, 2, 3, 5,8 numaralı örnekler uygun değil; Potansiyel Tuzluluğa (PS) göre 8 numaralı örnek uygun değil; % Na değerine göre 1, 2, 8 numaralı örnekler şüpheli kullanılabilir; ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre 8 numaralı örnek yüksek tuzluluk tehlikesine sahip; Wilcox diyagramına göre 2 ve 8 numaralı örnekler şüpheli kullanılabilir; Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Elektriksel iletkenlik (EC) ve Permeabilite İndeksi (PI) değerlerine göre ise uygun sınıfına düşmektedir. Tez çalışması kapsamında değerlendirilen su örneklerinin içmesuyu amacı ile kullanılabilirliğini araştırmak için seçilen parametreler, Türk İçmesuyu Standartları (TS 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, suların genellikle standartlara uyduğu, sadece 8 numaralı örneğin sülfat ve sodyum değerlerinin standartları bir miktar aştığı söylenebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonymous, 1994, FAO, water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper, No:29, Rome.
- Assalack, F., 2009, Etat du réseau de production d'eau potable de la zone d'Arlit-Akokan, études des essais de pompage et géochimiques–Mémoire de fin d'étude.
- Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2010, Assessment of Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Agricultural Uses in the Oshnavieh Area Northwest of Iran. *Journal of Environmental Protection* 1:1, p.30-40, doi: 10.4236/jep.2010.11005.
- Andrews, J.N., Dodo, A., Joseph, A., 1994, The evolution of alkaline groundwaters in the Continental Intercalaire aquifer of the Irhazer Plain, Niger. *Water Resour. Res.* 30, p.45–61.
- Anonyme, 2005 (Paléoprotérozoïque) de Diagorou-Darbani (Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest). *Africa Geoscience Review*, 13(1), p.107-128.
- Boko, B.A., Konaté, M., Yalo, N., Berg, S.J., Erler, A.R., vd., 2020, High-Resolution, Integrated Hydrological Modeling of Climate Change Impacts on a Semi-Arid Urban Watershed in Niamey, Niger. *Water* 2020, 12, p.364.
- Bohari, A., Harouna, M., Mosaad, A., 2018, Geochemistry of Sandstone Type Uranium Deposit in Tarat Formation from Tim-Mersoi Basin in Northern Niger (West Africa): Implication on Provenance, Paleo-Redox and Tectonic Setting. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6, p.185-225. doi: 10.4236/gep.2018.68014.
- Boureima, O., Soumana, D., Issa, S., Amadou, S., 2010, Preliminary study of bacteriological pollution of water from Discontinus Aquifers of the basement in the department of Tera / Liptako Niger, *Afrique Science* 06(3), p.27–36.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chapitiaux JP., Houssier S., Gross P., Bouvier C., Brissaud F.,2002, Etude de la pollution de L'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. Bull Soc Pathol Exot. 2002;95(2): p.119–123.
- Collins, R., Jenkins, A., 1996, The Impact of Agricultural Land Use on Stream Chemistry in the Middle Hills of the Himalayas, Nepal. Journal of Hydrology 185: p.71-86, doi.org/10.1016/00221694(95)03008-5.
- Dodo, A., Zuppi, G.M., 1997, Groundwater flow study in the Bilma-Djado basin (Niger) by means of environmental isotopes. C.R. Acad. Sci. Paris 325: p. 845-852.
- Doğan, L. 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası. DSİ yayınları, 178s, Ankara.
- DSİ, 2015. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2015 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara
- Dufor C.N., Becker E., 1962. Public water supplies of the 100 largest cities in the United States, U.S. Geological Survey Water Supply, p.1812.
- Doneen, L.D.,1964, Notes on Water Quality in Agriculture. Published as a water science and engineering, Department of Water Science and Engineering University of California, Davis.p.4001.
- FaO. 2005. L'irrigation en afrique en chiffres. Burkina Faso. enquête aQUaStat, 2005. FaO rapports sur l'eau. p. 29.
- Güngör, T., 2010, Oğulbey Gölbaşı akiferlerinin yeraltı suyu kalitesinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Gourouza, M., Zibo G., Bayo, K.,2009, Les phénomènes de nitration des eaux souterraines dans la région de Tillabéry (Niger), J. Soc. Ouest-Afr. Chim., 027) p.83-92.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hassane, B., 2010, Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique: Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER). Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, p. 249
- Hem, D., 1985, Study and Interpretation the Chemical of Natural of Characteristics Water, Geological Survey Water-Supply, p.2254.
- Joshi D.M., Kumar A., Agrawal N., 2009, Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district, Rasayan Journal of Chemistry, 2(2), p.285–292.
- Katz BG, Coplen TB, Bullen TD et al (1997) Use of chemical and isotopic tracers to characterize the interactions between ground water and surface water in mantled karst. *Ground Water* 35:1014–1028.
- Kelley, W.P., 1963, Use of Saline Irrigation Water. *Soil Science* 95: 6, p.385-391.
- Le Gai, C., 1994, Circulation des eaux souterraines dans l'aquifère captif du Continental Terminal- Bassin des Iullemeden Niger — Méthodologie et application: isotopes stables de la molécule d'eau, carbone-14, chlore-36, uranium et gaz nobles. Thèse de Doctorat en Sciences, Univ. Paris-Sud, Orsay, France.
- Mayo AL, Loucks MD (1995) Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range, *Utah Journal of Hydrology* 172:31-59
- Nagaraju A, Suresh S, Killham K et al (2006) Hydrogeochemistry of waters of Mangampeta a barite mining area, Cuddapah basin, Andhra Pradesh, India. *Turkish Journal of Environmental Science* 30: 203–219
- Piper, A.M., 1944, “Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses”. *Transactions American Geophysical Union* 25: 6, p.914-928.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Paliwal, K.V.,1972, Irrigation with saline water. New Delhi, IARI, p.198.

Pagel, M., Cavellec, S., Forbes, P., Gerbaud, O., Vergely, P., Wagani, I., Mathieu, R., 2005, Uranium deposits in the Arlit area (Niger). In: Mao, J., Bierlein, F.P. (Eds.), Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Springer Berlin Heidelberg, p. 303-305.

Raghunath, H.M.,1987, Groundwater (2nd ed.), Wiley Eastern Ltd, New Delhi, p.563.

Razack, A.A., 2002, Proposals for optimising artisanal mining in Niger.- Pangea-Geoscience and Development 37/38, p. 7-23.Orleans.

Richards, L.A., 1954, "Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils". Soil Science 78: 2, p.154.

RockWare AqQA, 2003. Quality assurance and presentation graphics for water analyses. RockWare Inc., 2221 East Street, Golden CO, 80401, USA.

Soumaila A., Garba Z., 2006, Le métamorphisme des formations de la ceinture de roches vertes.

Schlüter, T.,2008, Geological Atlas of Africa, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 10.1007/978-3-540-76373-4, Kenya.

Saleh, A., Al-Ruwaih, F. ve Shehata, M. (1999). Hydrogeochemical Processes Operating Within the Main Aquifers of Kuwait. Journal of Arid Environments 42: 3, p.195-209.

Schoeller, H., 1955, Gechemie des eaux souterranes. Review Institutue, 10, p.3-4.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology (2nd ed.). John Wiley and Sons, p.535.
- Toscano R, Villanueva RCA, Martínez RC et al (2020) Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in the urban area of Zamora, Mexico. Water 12:556
- Wigley, T. M. L., 1977, WATSPEC: A computer program for determining the equilibrium speciation of aqueous solutions. Brit. Geomorph. Res. Group Tech. Bull., 20: p.48.
- Wilcox, L.V.,1955, Classification and Use of Irrigation Waters. USDA Circular No.969, p.19.
- WHO 2011, International standarts for drinking water, 3 rd ed. Geneva.
- Anonim, 2005, TSE 266 İçme Suyu Limit Değerleri
<https://www.saglik.gov.tr/TR%2C10473/insani-tuketim-amacli-sular-hakkindayonetmelik>. erişim tarihi: 17.02.2020.
- <http://acaum.ankara.edu.tr/files/NIJER.pdf>, erişim tarihi:01.02.2020.
- <http://koop.ticaret.gov.tr/yurtdisi-teskilati/afrika/nijer/ulke-profil/ekonomik-gorunum/genel-ekonomik-durum>,erişim tarihi:24.07.2020.
- <https://tr.climate-data.org/afrika/nijer/niamey/-497/#climate-table>,erişim tarihi:04.01.2020.