



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ALTINEKİN (KONYA) HAVZASI
YERALTISULARININ HİDROJEOKİMYASAL
İNCELEMESİ

Cevat SÜZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Cevat SÜZER tarafından hazırlanan “Altınekin (Konya) Havzası Yeraltısularının Hidrojeokimyasal İncelemesi” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üy. Güler GÖÇMEZ
Konya Teknik Üniversitesi

Danışman

Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ
Konya Teknik Üniversitesi

Üye

Prof. Dr.Şehnaz ŞENER
Süleyman Demirel Üniversitesi

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 211007035 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Cevat SÜZER

Tarih:

ÖZET**YÜKSEK LİSANS TEZİ****ALTINEKİN (KONYA) HAVZASI YERALTISULARININ
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ****Cevat SÜZER****Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ****2024, 98 Sayfa****Jüri
Dr. Öğr. Üy. Güler GÖÇMEZ
Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ
Prof. Dr. Şehnaz ŞENER**

Bu çalışmada, Altinekin (Konya) havzasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri değerlendirilmiş ve sulama suyu olarak uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla, inceleme alanındaki 40 adet sondaj kuyusundan kurak ve yağışlı dönemlerde yeraltısuyu örnekleri toplanmıştır. Örneklerin sıcaklık, pH, toplam çözünmüş katılar (TDS) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri alanda tespit edilmiş olup majör iyon analizleri yaptırılmıştır. Örneklerin pH değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla 7,30 ve 7,25 olup hafif alkali bir özellik göstermektedir. Ortalama TDS ve sertlik (TH) değerleri ise kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla 1241 ve 1249 mg/l ve 779 ve 805 mg/l olup, her iki dönemde de çoğunluğu “çok sert-tatlı su” ve “çok sert-acı su” ile karakterizedir. Yeraltısuyu örnekleri başlıca Ca-Mg-HCO₃ olmak üzere karışık bileşimli ve Na-Mg-Cl su tipine sahiptir. Kimyasal analiz sonuçlarına göre, yeraltısuyunun kimyasını etkileyen süreçlerin başında su-kayaç etkileşiminin olduğu ve A3, A7, A28 ve A31 numaralı örneklerin kimyasında buharlaşmanın da etkisinin olduğu gözlenmiştir. İnceleme alanında yaygın olarak bulunan karbonatlı kayaçların çözünümü ve/veya ayrışması yeraltısuyu kimyasını etkileyen ana süreçlerin başında gelmektedir. Evaporitik minerallerin çözünümü ise yeraltısuyu kimyasını etkileyen bir diğer önemli süreçtir. Ayrıca iyon değişim reaksiyonları yeraltısuyu kimyasını etkileyen önemli bir süreç olup özellikle yağışlı dönemde bu etkinin daha belirgin olduğu söylenebilir.

İnceleme alanındaki yeraltısuyunun tarımsal sulama suyu olarak kullanıma uygunluğunu değerlendirmek için kullanılan parametrelerden; EC değerlerine göre 5 örnek, Magnezyum Tehlikesi (MH) indeksine göre 10 örnek, Kelley İndeksi (KI)’ne göre 1 örnek ve Potansiyel Tuzluluk (PS) indeksine göre 14 örneğin sulama suyu olarak kullanılmasının uygun olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramlarına göre A3, A7, A28, A29 ve A31 nolu örnekler sulama suyu uygunluğu açısından “kullanılamaz” sınıfındadır.

Yeraltısuyu örneklerinin kurak dönemde NO₃ konsantrasyonları 4,65-970,8 mg/l arasında değişmekte olup ortalama 79,48 mg/l ve yağışlı dönemde ise 5,23-981,2 mg/l arasında değişmekte olup ortalama 105,2 mg/l’dir. Örneklerin kurak dönemde %45’i ve yağışlı dönemde %50’si WHO ve TSE-266 tarafından izin verilen 50 mg/l sınır değerini aşmış olup NO₃ konsantrasyonları, tarım arazilerinin yanı sıra yerleşim alanları çevresinde de yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır. Elde edilen bulgulara göre, yeraltısuyundaki NO₃ kirliliğine sadece tarımsal aktiviteler değil özellikle yerleşim alanları ve çevresindeki kanalizasyon sızıntısı, fosseptik sızıntısı, depolama sızıntı suları, evsel atıklar ve hayvansal gübre atıklarının da neden olduğu söylenebilir. Yapılan bu çalışmada elde edilen tüm sonuçlara göre inceleme alanında NO₃ kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığı ve önlem alınmadığı takdirde daha da artabileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Altınekin, Hidrojeokimya, Nitrat kirliliği, Sulama suyu kalitesi, Yeraltısuyu



ABSTRACT**MS THESIS**

**HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF GROUNDWATER IN THE
ALTINEKIN BASIN, KONYA**

Cevat SÜZER

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ

2024, 98 Pages

Jury

**Dr. Öğr. Üy. Güler GÖÇMEZ
Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ
Prof. Dr. Şehnaz ŞENER**

In this study, the hydrogeochemical properties of the groundwater in the Altinekin (Konya) basin are evaluated and its suitability as irrigation water is investigated. For this purpose, groundwater samples were collected from 40 drilling wells in the study area during the dry and wet periods. Temperature, pH, total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity (EC) values of the samples were determined in situ, and major ion analyses were performed. The pH values of the samples were 7.30 and 7.25 in the dry and wet periods respectively, indicating a slightly alkaline nature. The average values of TDS and hardness (TH) were 1241 and 1249 mg/l and 779 and 805 mg/l, respectively, for both the dry and the wet periods. The majority of the samples in both periods were classified as “very hard-fresh water” to “very hard-brackish water”. The groundwater samples are of the mixed, Na-Mg-Cl and mainly Ca-Mg-HCO₃. The results of the chemical analyses showed that water-rock interaction is one of the main processes affecting groundwater chemistry and that evaporation also has an effect on the chemistry of samples A3, A7, A28 and A31. Dissolution and/or weathering of carbonate rocks, which are common in the study area, is one of the main processes affecting groundwater chemistry. Another important process affecting groundwater chemistry is the dissolution of evaporitic minerals. In addition, ion-exchange reactions, which are more pronounced during the rainy period, are an important process affecting groundwater chemistry.

Of the parameters used to assess the suitability of groundwater in the study area for use as agricultural irrigation water, 5 samples were found to be unsuitable for use as irrigation water in terms of EC values, 10 samples in terms of Magnesium Hazard (MH) index, 1 sample in terms of Kelley Index (KI) and 14 samples in terms of Potential Salinity (PS). Furthermore, according to Wilcox and US Salinity Laboratory Diagrams, samples A3, A7, A28, A29 and A31 are "unsuitable" for irrigation water.

NO₃ concentrations of groundwater samples ranged from 4.65 to 970.8 mg/l with an average of 79.48 mg/l in the dry season and from 5.23 to 981.2 mg/l with an average of 105.2 mg/l in the wet season. In the dry period, 45% of the samples and in the wet period, 50% of the samples exceeded the limit value of 50 mg/l permitted by the WHO and TSE-266, and NO₃ concentrations reached high concentrations around residential areas as well as in agricultural areas. The results show that NO₃ pollution in the groundwater was not only caused by agricultural activities, but also by sewage leakage, septic tank

leakage, landfill leachate and domestic and livestock waste, especially in and around residential areas. According to all the results obtained in this study, it can be said that the NO_3 pollution in the study area has reached a serious level and is likely to increase further if no measures are taken.

Keywords: Altinekin, Hydrogeochemistry, Nitrate pollution, Irrigation water quality, Groundwater



ÖNSÖZ

Bu çalışma Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Altınekin (Konya) havzasının yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmıştır.

Bu çalışmada her türlü yardımını ve ilgisini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca yardım ve desteklerini gördüğüm Sayın Doç. Dr. Ali BOZDAĞ' a, Jeoloji Mühendisliği bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Fetullah ARIK' a, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Güler GÖÇMEZ'e de teşekkür ederim.

Konya Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik Dairesi Başkanlığında görev yapan Sayın Özlem HORASAN ve tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 211007035 numaralı proje ile desteklenmiştir. KTUN BAP Koordinatörlüğüne vermiş olduğu mali destekten dolayı teşekkür ederim.

Son olarak desteklerini esirgemeyen kıymetli eşim Sayın Sema SÜZER ve biricik kızlarım Alya ve Serra' ya teşekkür ederim.

Cevat SÜZER
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER	viii
ÇİZELGELER.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.2. Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Ön Çalışmalar	8
3.2. Saha Çalışmaları	8
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	9
3.3. Büro Çalışmaları	9
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI.....	11
4.1. Stratigrafi	11
4.1.1. Halıcı Formasyonu (Ch)	14
4.1.2. Eldeş Formasyonu (Pe).....	15
4.1.3. Katarası Formasyonu (TRk)	16
4.1.4. Loras Formasyonu (TRJl).....	17
4.1.5. Midos Formasyonu (Km).....	18
4.1.6. Hatıp Ofiyolitli Karışığı (Kh)	19
4.1.7. Çayırbağı Ofiyoliti (Kç).....	21
4.1.8. Çayraz Formasyonu (Teç)	22
4.1.9. İnsuyu Formasyonu (Tmi)	22
4.1.10. Cihanbeyli Formasyonu (TQc)	24
4.1.11. Tuzgölü Formasyonu (TQt)	25
4.1.12. Traverten (Qtr).....	26
4.1.13. Alüvyon (Qal).....	26
4.2. Yapısal Jeoloji.....	27
4.3. Çalışma Alanının Su Akış Yönleri ve Drenaj Ağları	28
4.4. HİDROJEOLJİ.....	31
4.4.1. İklim Özellikleri.....	31

4.4.1.1. Yağış ve Sıcaklık	31
4.4.1.2. Buharlaşma-Terleme.....	31
4.4.2. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri	35
4.5. HİDROJEOKİMYA	41
4.5.1. Yeraltısularının Fiziksel Özellikleri.....	41
4.5.2. Yeraltısularının Ana İyon Kimyası.....	46
4.5.2.1. Yeraltı Suyunun Hidrokimyasal Sınıflandırması.....	52
4.5.2.2. Yeraltısuyu Kimyasını Kontrol Eden Faktörler.....	54
4.5.3. Yeraltısuyunun Tarımsal Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği.....	64
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
5.1 Sonuçlar	74
5.2 Öneriler	78
KAYNAKLAR	79



ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 3.1. Arazi ve yeraltısuyu örnekleme çalışmalarından görünüm.....	9
Şekil 4.1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Umut, 2009a, 2009b'den değiştirilerek alınmıştır).....	12
Şekil 4.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Ölçeksiz)	13
Şekil 4.3. Halıcı Formasyonu (Ch)'na ait şeyller (Meydanköy Güneyi).....	15
Şekil 4.4. Meydanköy-Dağdere arası Eldeş Formasyonu (Pe)'na ait şeyller (Meydanköy-Dağdere arası)	16
Şekil 4.5. Katarasu Formasyonu (TRk)'na ait kireçtaşları ve dolomitler (Meydanköy Güneyi)	17
Şekil 4.6. Loras Formasyonu (TrJl) ve Alüvyon (Qal) sınırı (Meydanköy).....	18
Şekil 4.7. Hatıp Ofiyokitli Karışığı (Kh)'na ait kristalize kireçtaşı blokları (Altınekin çevresi).....	21
Şekil 4.8. Cihanbeyli Formasyonu ile Loras Formasyonu sınırı (Konya-Ankara karayolu üzeri Kırkışla Kuzeydoğusu)	24
Şekil 4.9. Alüvyon (Qal) (Meydanköy civarı).....	26
Şekil 4.10. Çalışma alanı akış ağı haritası	29
Şekil 4.11. Çalışma alanı drenaj ağı haritası	30
Şekil 4.12. İnceleme alanına ait uzun yıllar (1992-2022) a) yağış, b) sıcaklık dağılışı grafiği.....	32
Şekil 4.13. Uzun yıllar (1992-2022) ortalama yıllık yağıştan birikimli sapma grafiği ..	33
Şekil 4.14. Thornthwaite (1948) metoduna göre uzun yıllar (1992-2022) yağış (P)-düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etpc) değişim grafiği	33
Şekil 4.15. İnceleme alanındaki hidrojeolojik birimler	37
Şekil 4.16. İnceleme alanından alınan yeraltısularının lokasyonları	39
Şekil 4.17. Jeoloji Kesitleri a) A-A' ve b) B-B' jeoloji kesiti	40
Şekil 4.18. İnceleme alanındaki yeralsularına ait pH, EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve TDS (mg/l) dağılım haritaları (a, c, e: Ekim 2021; b, d, f: Mayıs 2022)	47
Şekil 4.19. Yeraltısuyu örneklerine ait TDS-TH konsantrasyonları arasındaki ilişki	48
Şekil 4.20. İnceleme alanındaki yeraltısularına ait Ca, Mg, Na ve K (mg/l) iyonlarının dağılım haritaları (a, c, e, g: Ekim 2021; b, d, f, h: Mayıs 2022)	50
Şekil 4.21. İnceleme alanındaki yeraltısularına ait HCO_3 , Cl, SO_4 ve NO_3 (mg/l) iyonlarının dağılım haritaları (a, c, e: Ekim 2021; b, d, f: Mayıs 2022).....	51
Şekil 4.22. Toplam katyonlar (TC^+)- Ca+Mg ve Na+K konsantrasyonları arasındaki ilişki a) Ekim 2021, b) Mayıs 2022	52
Şekil 4.23. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinin Piper diyagramı (Ekim 2021) 53	
Şekil 4.24. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinin Piper diyagramı (Mayıs 2022)	54
Şekil 4.25. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Gibbs Diyagramındaki dağılımı a) TDS-Na/Na+Ca, b) TDS-Cl/Cl+ HCO_3	55
Şekil 4.26. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait a) Ca/Na- HCO_3 /Na ve b) Ca/Na- HCO_3 /Na diyagramı	56
Şekil 4. 27. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin a) Ca- HCO_3 ve b) Ca+Mg- HCO_3 ilişkisi	57
Şekil 4.28. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait a) Ca+Mg- HCO_3 + SO_4 ve b) (Ca+Mg- HCO_3)- SO_4 ilişkisi	58
Şekil 4.29. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait Na ve Cl arasındaki ilişki. 58	
Şekil 4.30. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait a) Ca+Mg-(HCO_3 + SO_4)-(Na+K)-Cl grafiği, b) CAI-I ve CAI-II arasındaki ilişki.	61

Şekil 4.31. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin a) Cl/Na - NO ₃ /Na ve b) NO ₃ /Na - SO ₄ /Na diyagramları.....	63
Şekil 4.32. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin NO ₃ - Derinlik ilişkisi.....	63
Şekil 4.33. Geçirgenlik İndeksi (PI)- Toplam Konsantrasyon (meq/l) (Doneen, 1964)	69
Şekil 4.34. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	72
Şekil 4.35. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait Wilcox diyagramı.....	73



ÇİZELGELER

Çizelge 4.1. Thorntwaite (1948) metoduna göre inceleme alanına ait 1992-2022 yılları arasındaki yağış ve buharlaşma-terlemenin deneştirmeli nem bilançosu	34
Çizelge 4.2. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Ekim 2021)	42
Çizelge 4.2. (devamı) İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Ekim 2021)	43
Çizelge 4.3. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Mayıs 2022)	44
Çizelge 4.3. (devamı) İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Mayıs 2022).....	45
Çizelge 4.5. Sulama suyu kalitesinde kullanılan indekslerin sınıflandırılması	65



SİMGELER VE KISALTMALAR

EC	: Elektriksel İletkenlik
TDS	: Toplam Çözünmüş Katılar
TH	: Toplam Sertlik
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
% Na	: Yüzde sodyum
RSC	: Artıksal Sodyum Karbonat
ABD	: Amerika Birleşik Devleti
MH	: Magnezyum Tehlikesi
KI	: Kelley İndeksi
PS	: Potansiyel Tuzluluk
Etpc	: Düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme
PI	: Çökelme İndeksi
Ca ⁺⁺	: Kalsiyum
Cl ⁻	: Klorür
CO ₃ ⁻	: Karbonat
HCO ₃ ⁻	: Bikarbonat
K ⁺	: Potasyum
Mg ⁺⁺	: Magnezyum
Na ⁺	: Sodyum
NH ₃	: Amonyak
NO ₃	: Nitrat
SO ₄ ⁼	: Sülfat
meq/L	: Miliekivalan / Litre
mg/L	: Miligram/litre

1. GİRİŞ

Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, Altınekin (Konya) havzasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Çalışma alanı, Konya İl merkezinin yaklaşık 30 km kuzeydoğusunda bulunan Altınekin ve çevresini içermekte olup havzanın doğusunda Altınekin, batısında Sarayönü, güneyinde Konya ve kuzeyinde Cihanbeyli bulunmaktadır (Şekil 1.1).

1.2. Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

Çalışma alanı, Türkiye 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritasının Ilgın K29_{c3, c4, d3, d4}, Ilgın L28_{c2, b3} ve Ilgın L29_{a1-a4, b1-b4, c1-c2, d1-d2} paftaları içerisinde yaklaşık 1650 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).

İnceleme alanında en büyük yerleşim yeri Altınekin İlçesi'dir. Ayrıca havza içerisinde Dedeler, Ölmez, Sarnıç, Yazıbelen, Güvenç, Meydanköy, Kınık, Başhüyük, Çaldere, Kaleköy, Ayışığı, Hodoğlu, Kırkışla, Ağabeyli ve Akıncılar Mahalleleri bulunmaktadır.

Çalışma alanının çevresi dağlık, diğer kısımlar düz veya az engebeli bir morfolojiye sahip olup özellikle doğu ve güney kesimleri çalışma alanındaki belirgin yükseltileri oluşturmaktadır. Morfolojik olarak en yüksek nokta çalışma alanının güney kesiminde bulunan 1446 m yüksekliğindeki Fakra Dağ'ıdır. İnceleme alanındaki başlıca yükseltiler; doğuda Erdoğan Tepe, Küçükdağ, Karasivri Tepe, kuzeyde Bozdağ, Boz Tepe, batıda Dikmen Tepe, Yukarı Tepe ve güneyde Kuzukıran Tepe, Kara Tepe ile Karaağıl Tepe yer almaktadır (Şekil 1.1).

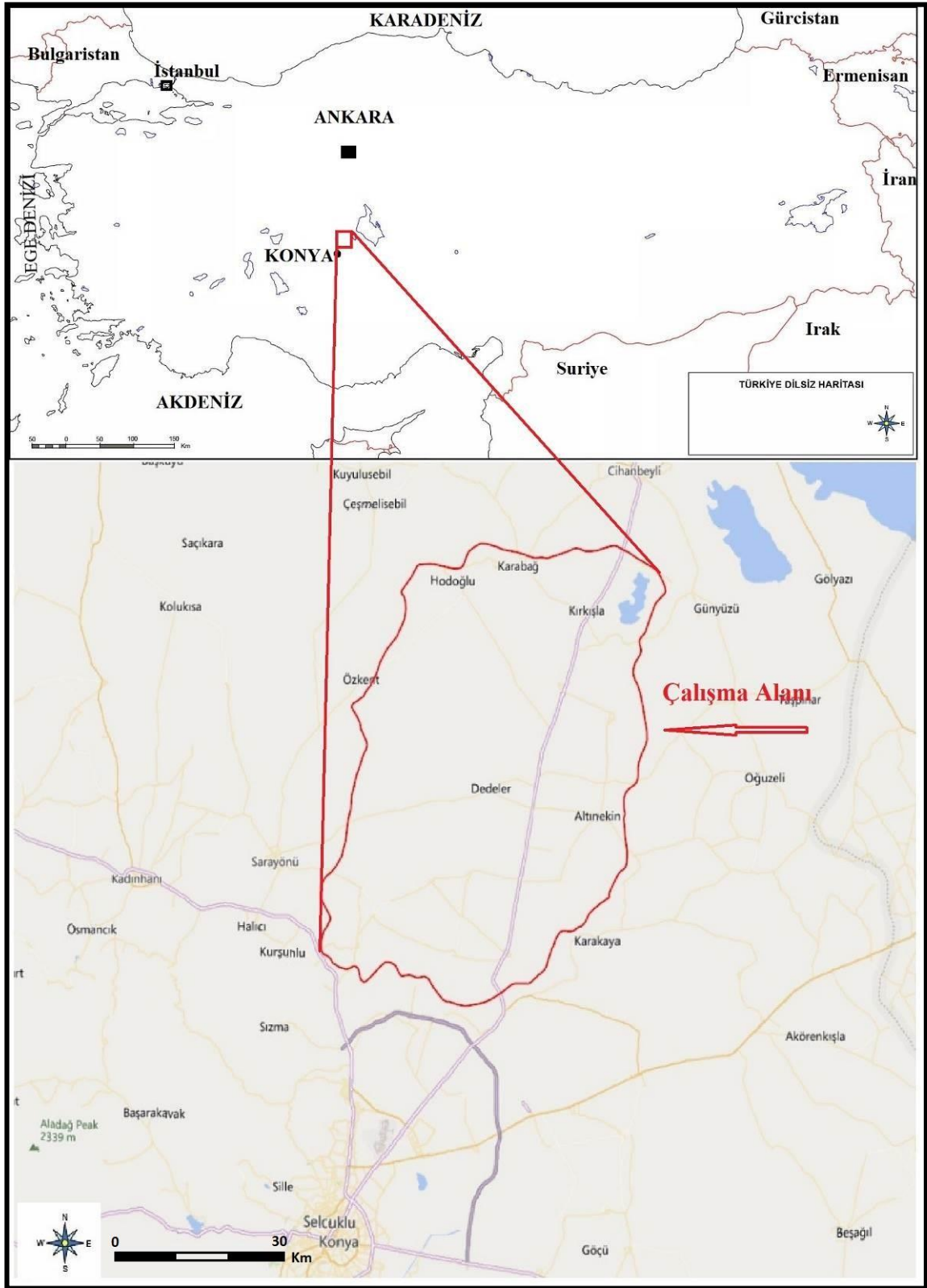
Ulaşım ağı yönünden önemli bir konumda bulunan çalışma alanı Konya-Ankara karayolu üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca güneydoğusunda Konya-Afyon karayolundan da çalışma alanına ulaşım mümkündür.

İnceleme alanında sulu dere bulunmamakla birlikte alanın kuzeydoğu sınırında yaklaşık 11 km²'lik alana sahip acı-tuzlu bir göl olan Bolluk Gölü bulunmaktadır. Türkiye'deki 76 sulak alandan biri olan Bolluk Gölü aynı zamanda ulusal/tarihi sit alanıdır (Ramsar Sözleşmesi, 2004). Ayrıca Göl Akdeniz martıları, termitler ve kaşıkçı kuşları gibi birçok kuş türünün yanı sıra Avrupa'da nesli tehlike altında olan flamingoların da yaşam alanıdır (Bozdağ 2010; Bozdağ ve Göçmez, 2014). Gölü besleyen herhangi bir akarsu bulunmamakla birlikte göl sadece yağışlarla beslenmekte olan sığ bir göldür ve göl suyu sulama, içme ve kullanma suyu olarak kullanılmamaktadır. Gölün kuzey kenarında bulunan Alkim A.Ş. tuz üretim endüstrisi,

gölden başlıca sodyum sülfat ve tuzun yanı sıra magnezyum klorür ve magnezyum-potasyum sülfat da üretmektedir (Bozdağ, 2010).

İnceleme alanı doğal bitki örtüsü bakımından oldukça fakirdir. Yöre halkının bahçelerinde bulunan meyve ağaçları ve sulama yapılabilen alanlarda bulunan küçük ağaç grupları dışında hâkim bir bitki örtüsü bulunmamaktadır. Bölgede ekonominin başını tarım ve hayvancılık çekmektedir. Bölge halkının belli bir kesimi küçükbaş hayvancılıkla geçimini sağlamakta olup genellikle tarımsal aktiviteler daha yoğun yapılmaktadır. Yörede genellikle şeker pancarı ve mısır, tahıl (arpa, buğday vs.) üretimi yapılmaktadır.





Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

1.2. Çalışmanın Amacı

Altınekin havzasında yüzey suyunun sınırlı olması ve farklı kullanımlar için uygun olmamasından dolayı, bölge halkı içme ve diğer kullanım (ev, tarım, rekreasyon, sanayi vb.) ihtiyaçlarını yeraltısuyundan karşılamaktadır. Havza aynı zamanda İç Anadolu bölgesindeki en yoğun sulu tarım yapılan bölgelerinden birini oluşturmaktadır. Çok uzun yıllar yoğun şekilde sulu tarım yapılan ve hala artarak devam eden bu tarımsal aktiviteler bölge halkının başlıca geçim kaynağını oluşturmaktadır. Fakat hem bölge halkına hem de ülke ekonomisine katkı sağlamasından dolayı önemli bir tarım bölgesi olan Altınekin havzasında yeraltısuyunun hidrokimyasal özellikleri detaylı şekilde aydınlatılamamıştır. Yeraltısuyunun sürdürülebilir kullanımı ile gelecekteki kullanım planlaması ve değerlendirilmesi için temel teşkil eden yeraltısuyunun hidrojeokimyasal özelliklerinin bilinmesi son derece önemlidir. Ayrıca bir tarım bölgesi olan Altınekin havzasında yeraltısuyunun tarımsal sulama suyu olarak uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı' nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Altınekin havzasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerini incelemek ve değerlendirmek ve sulama suyu olarak uygunluğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

DSİ (1973) bünyesinde hazırlanan “Altınekin Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu”nda: Bölgedeki Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı marnlı kireçtaşlarının kalınlığının 30 ila 130 metre arasında değiştiğini ve yeraltısuyu için ana akiferi oluşturduğunu belirtilmiştir. Ayrıca Paleozoyik döneminde oluşan kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşları ve alüvyonun da akifer özelliği taşıdığını belirlemişlerdir.

Karaman (1984-1986), Altınekin ve çevresindeki temel birimlerin Paleozoik yaşlı Altınekin Grubu olduğunu belirterek bu temel birimlerin alttan üste doğru; glokofanlı yeşil şistlerden oluşan Gözet formasyonunun Milis Üyesi, kalkıştından oluşan Dereköy üyesi ile geçişli kuvarsitlerden oluşmuş Karasivri formasyonu, mermerden oluşan Nuras formasyonu ile Üst Permiyen yaşlı Bademli formasyonundan oluştuğunu ifade etmiştir. Çalışmalarda, temel birimler Koçyaka Ofiyolitlerinin tektonik dokanakla geldiğini ve bu birim üzerine ise uyumsuzlukla Üst Kampaniyen-Alt Maestrihtiyen yaşlı Maydos formasyonunun geldiği ve tüm birimlerin üzerine de uyumsuz olarak Üst Miyosen yaşlı Haydos formasyonunun geldiği ifade edilmektedir.

Özcan ve ark. (1990), Karaman (1986) tarafından bölgede yapılan çalışmada temel birimlerden oluşan Üst Paleozoyik yaşlı “Altınekin Grubu” nun üzerine gelen Mesozoyik yaşlı ofiyolitli karışığın bu birimlerle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir.

Karakaya (1991), Altınekin çevresinde yaptığı çalışmada Maydos formasyonunu Üst Triyas yaşlı olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, bölgede yüzeyleyen Üst Paleozoyik yaşlı metamorfik birimleri, Milis, Nuras, Karasivri, Kağsak formasyonları adı altında ayırarak incelemiştir. Bölgedeki temel birimlerin üzerine Üst Triyas yaşlı Yenice formasyonunun uyumsuz olarak geldiğini ve Yenice formasyonunun üzerine ise tektonik dokanakla Üst Kretase ofiyolitik karışığın geldiğini belirtmiştir. Ofiyolit birimlerin üzerine ise Üst Miyosen yaşlı Akıncılar formasyonunun uyumsuz olarak geldiğini ve en üstte tüm birimlerin uyumsuz olarak Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökellerle örtüldüğünü söylemiştir.

Eren (1993 ve 1996), Altınekin havzasının batısında bulunan Ilgın ve Sarayönü çevresindeki hem allohton hem de otokton konumda bulunan kayalar “Bozdağlar Masifi” adı altında toplamıştır. Konya çevresindeki Üst Permiyen-Alt Kretase yaşlı Gökçeyurt Grubu’na ait birimlerin otokton olduğunu ve genellikle sığ denizel karakteri yansıtan kayaç topluluklarından oluştuğunu belirtmiştir.

Ulu ve ark. (1994), Cihanbeyli-Karapınar-Akkise çevresinde yaptıkları çalışmada Altınekin Fayı’nı ilk kez göstermişlerdir. Araştırmacılar bölgedeki genç volkanitlerin

coğrafiik farklılıklara rağmen hemen hemen aynı tür volkanizma özellikleri gösterdiklerini ve ayrıca metamorfizma etkisinin güney batıdan kuzey doğuya doğru arttığını belirtmişlerdir.

Özgül ve Göncüoğlu (1999), Altınekin çevresinde yaptıkları çalışmalarda yüksek basınç-düşük sıcaklık metamorfizmasının Albiyen-Maastrichtiyen döneminde birbirini takip eden üç evrede meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Eren (2000), Altınekin (Konya) çevresinde yaptığı çalışmada bölgedeki birimlerin stratigrafik özelliklerini ve yapısal unsurları incelemiştir. Temeli oluşturan Geç Permien-Eosen yaşlı birimlerin, Akçasar ve Altınekin faylarıyla gelişen kuzey-güney yönlü horst yapısında yüzlek verdiğini belirtmiştir. Bölgenin temel kayaçlarını alttan üste doğru mermer, dolomitik mermer ve metakırıntılar ile olistostromal özellikte mermer, metaçört, kalkışist ile metakırıntılardan oluştuğunu ve bu birimlerin tektonik olarak, başkalaşıma uğramış ofiyolitik melanj tarafından üzerlendiğini belirtmiştir. Araştırmacı, bölgedeki Paleosen-Eosen yaşlı kırıntılı kayaçların temel kayaçları uyumsuzlukla örttüğünü ve Miyosen-Kuvaterner yaşlı karasal kayaçların bölgenin en genç birimlerini oluşturduğunu belirtmiştir.

Dirik ve Erol (2000), Tuzgölü ve çevresinin tektonomorfolojik evrimini belirlemek amacıyla Tuz Gölü'nün doğusunda bulunan kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Tuzgölü Fay Zonu, güneybatısında bulunan Altınekin Fay zonunu ve batısında bulunan Eskişehir-Sultanhanı Fay Sistemi'ni araştırmışlardır. Bölgenin en önemli yapısal unsurlarının bu fay zonlarının olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar Altınekin fay zonunun Pleyistosen' den itibaren Tuz Gölü'nün şekillenmesinde önemli rol oynadığını savunmuşlardır.

Döner (2008) Altınekin ve çevresinde yaptığı çalışmada, yeraltısuyu statik seviyesinin 1,5 m ile 65 m arasında değiştiğini belirterek inceleme alanındaki yeraltısuyu akım yönünün güneybatıdan kuzeydoğuya doğru olduğunu söylemiştir. Bölgede yapılan tarımsal aktivitelerin bölgedeki yeraltısularına kirlilik açısından mevcut durumda çok büyük etkiye sahip olmadığını fakat tarımsal aktivitelerde kullanılan gübre ve ilaçların ileriki zamanlarda yeraltısularını etkileyebileceğini belirtmiştir. Araştırmacı Altınekin havzasından derlediği toprak numunelerinde nitrat konsantrasyonlarını araştırmış ve elde ettiği analiz sonuçlarına göre toprak örneklerinde 15,26 ila 47,74 mg/l arasında NO₃ konsantrasyonlarının olduğunu belirtmiştir.

Tuncer (2011), Altınekin ilçesindeki yeraltısuyunun kullanımı ve tarımsal faaliyet ilişkisini incelemiş ve son yıllarda yeraltı su seviyesinde artarak düşmeler yaşandığını

belirtmiştir. Araştırmacı Altınekin İlçesindeki başlıca su ihtiyacının çoğunlukla yeraltısularından karşılandığını ve ilçenin başlıca geçim kaynağı olan sulu tarımın yeraltısularından karşılandığını belirtmiştir. Doksanlı yıllardan sonra bölgedeki tarımsal sulama suyu için açılan su kuyularının hızla arttığını ve bu kuyulardan aşırı miktarda su çekildiği için yeraltısı seviyesinin hızla düşmesine sebebiyet verdiğini ifade etmiştir.

Bozdağ ve Göçmez (2013), Cihanbeyli havzasındaki yeraltısuyunun içme ve tarımsal kullanım açısından uygunluğunun belirlenmesi için hidrojeokimyasal araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışma ile jeolojik etkenler yanında yeraltı sularının bilinçsizce aşırı şekilde kullanılması ve son yıllardaki kuraklığın etkisiyle bölgedeki yeraltısuyu kalitesinin giderek bozulduğu belirlenmiştir.

Coşkun (2018), Altınekin çevresindeki ofiyolitik kayaçların ve oluşan plaserlerin maden potansiyelini incelemiştir. Araştırmacı, Altınekin civarındaki kayaç ve plaser numunelerinin nadir toprak element içeriklerini karşılaştırmışlar ve plaserlerde en fazla ofiyolitlerde ise en düşük içerikte bulunduğunu belirtmişlerdir. Altınekin İlçesinin yakın çevresinde bulunan Koçyaka ofiyolitik karışığı ile Aktepe ofiyolitine ait örneklerde yaptıkları kimyasal değerlendirme sonucu iki farklı kayaç grubu olduğunu belirterek Aktepe ofiyolitine ait kayaçların yitim zonu üzerinde, Koçyaka ofiyolitik karışına ait kayaçların ise yitim zonundan uzak bir ortamda oluştuğunu iddia etmişlerdir.

Öztürk ve ark (2020), Konya çevresindeki Hatıp-Çayırbağı, Altınekin ve Yükselen bölgelerinde bulunan ofiyolitik kayaçlar ve plaserler üzerinde yaptıkları jeokimyasal çalışmalarda hem kayaçlarda hem de plaserlerdeki ortalama Si ve Al'in yer kabuğundan daha düşük olduğunu, fakat ortalama Fe, Cr, Mg, Co, Ni ve Ti içeriklerinin yer kabuğundaki ortalama miktarlardan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar Au içeriğinin Altınekin bölgesinde beş kat daha fazla zenginleşme gösterdiğini belirlemişlerdir. Her üç bölgede de incelenen bileşenlerin basit korelasyon ve küme analizine göre incelenen ofiyolitik kayaçların benzer süreçlerle oluştuğu ortaya çıkarmışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Ön Çalışmalar

Saha çalışmalarına başlamadan önce kapsamlı bir literatür taraması yapılarak bölge ve çevresinin jeolojik, yapısal, hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile ilgili bilgi toplanmıştır. Ayrıca bölgedeki yerleşim yerleri belirlenerek Altınekin ilçesi başta olmak üzere köylerdeki muhtar veya yetkili kişilerle iletişime geçilerek su kaynakları ve mevcut kullanımları hakkında bilgiler toplanmaya çalışılmıştır. Bölgeye ait topografik haritalar derlenmiş, saha çalışmaları için gerekli dokümanlar (harita, pusula, GPS, su örnekleme kapları vb.) sağlanarak kontrolleri yapılmıştır.

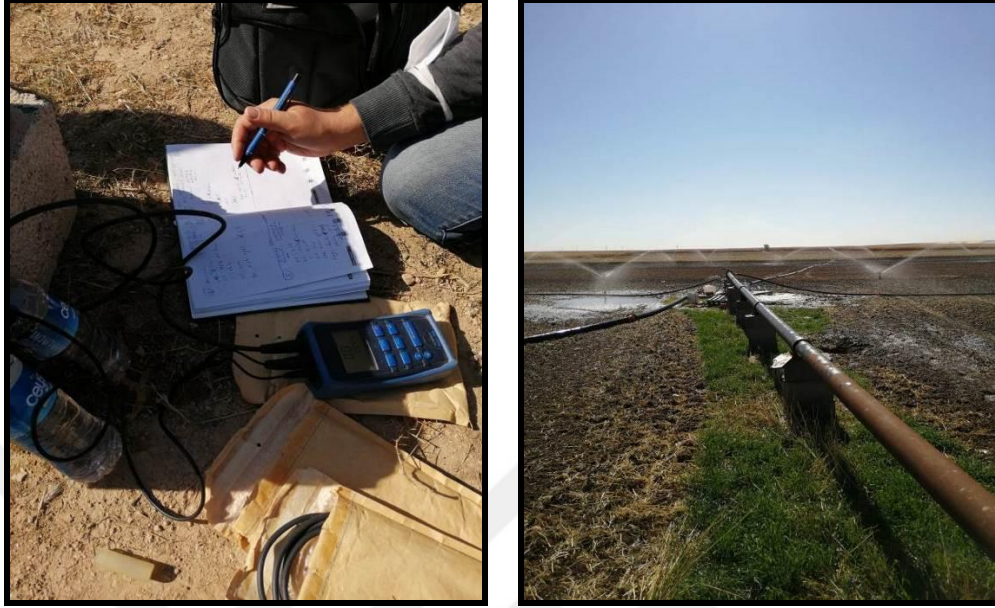
3.2. Saha Çalışmaları

İnceleme alanının jeoloji haritasının oluşturulmasında Umut (2009a; 2009b) tarafından yapılmış 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasından faydalanılmıştır. Kullanılan jeoloji haritaları saha çalışmaları sırasında yapılan inceleme ve gözlemlerle düzenlenerek veya gerekli görülen noktalarda değiştirilerek topografik harita üzerine işaretlenmiştir.

İnceleme alanındaki yeraltısu örnekleme ve su seviye ölçümü yapılacak su noktalarının koordinatları GPS ile belirlenip topografik haritalar üzerine işaretlenmiştir. Saha çalışmaları sırasında tarımsal sulama suyu ve içme-kullanma amaçlı açılmış ve çalışma döneminde kullanılmakta olan derinlikleri 6 ile 17 m arasında değişen 5 adet keson ve sığ sondaj kuyusu ile derinliği 25-280 m arasında değişen 35 derin sondaj kuyusu olmak üzere toplam 40 adet su örnekleme noktası belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalardan 2021 yılı Ekim ayında (Kurak dönem) ve 2022 Mayıs ayında (Yağışlı dönem) yeraltısu örnekleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca yeraltısu seviyesi ölçümü yapılabilen kuyularda ölçümler kurak dönemde gerçekleştirilmiştir. Fakat yağışlı dönemde sulama için açık olan kuyulardan çoğunlukla ölçüm yapmaya izin alınamadığı için arazinin genelini yansıtacak şekilde yeraltısu seviye ölçümü gerçekleştirilememiştir. Belirlenen 40 adet su örnekleme noktasında hem kurak hem yağışlı dönemde, WTW Multi 340i Set Portatif Cihaz ile yeraltısularının sıcaklık (°C), hidrojen iyon konsantrasyonu (pH), toplam çözünmüş katılar (TDS) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).

Su kimyası analizleri için her bir su noktasından ikişer adet 500 ml'lik polietilen şişelere örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılırken kullanılan şişeler örnek alınacak

su ile en az üç kez yıkanmıştır. Saha çalışması boyunca günlük toplanan örnekler analize gönderilene kadar buzdolabında 4 °C’de muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Arazi ve yeraltısuyu örnekleme çalışmalarından görünüm

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanından hem kurak hem de yağışlı dönemde toplanan yeraltısuyu örneklerinin kimyasal analizleri [kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), sodyum (Na), potasyum (K), bikarbonat (HCO_3), karbonat (CO_3), klorür (Cl), sülfat (SO_4) ve nitrat (NO_3)] Devlet su İşleri (DSİ) 4. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvarı (Konya)’nda yaptırılmıştır.

3.3. Büro Çalışmaları

Literatür taraması, saha çalışmaları ve su kimyası analizleri tamamlandıktan sonra elde edilen veriler değerlendirilerek tez yazım aşamasına geçilmiştir. İnceleme alanının jeoloji haritası CorelDRAW çizim programında çizilmiştir. Ayrıca ArcGIS (10.1) programı kullanılarak bölgenin 1/25000’lik topografik haritasından akış ağı ve drenaj ağı haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca ArcGIS programı yardımıyla sayısal verileri görsel dönüştürebilmek ve arazi genelinde majör iyonların dağılımını görebilmek için yeraltısuyu iyon dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Su kimyası analizlerinden elde edilen veriler Excel ve AqQA 1.1 (www.rockware.com) programları kullanılarak değerlendirilmiştir. Bölgede sürdürülmekte

olan yoğun tarımsal faaliyetlerde kullanılan yeraltısuyunun sulama suyu olarak uygunluğunu değerlendirmek için sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), kalıntı/artık sodyum karbonat (RSC), sodyum yüzdesi (%Na), Kelley İndeksi (Kİ), magnezyum tehlikesi (MH), geçirgenlik indeksi (PI), potansiyel tuzluluk (PS) indeksleri ile ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramları kullanılmıştır.

Su kimyası çalışmalarına ek olarak bölgenin iklim koşullarını değerlendirmek ve su bütçesi hesaplamaları yapabilmek için çalışma alanına en yakın Cihanbeyli Meteoroloji istasyonuna ait uzun yıllar yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.

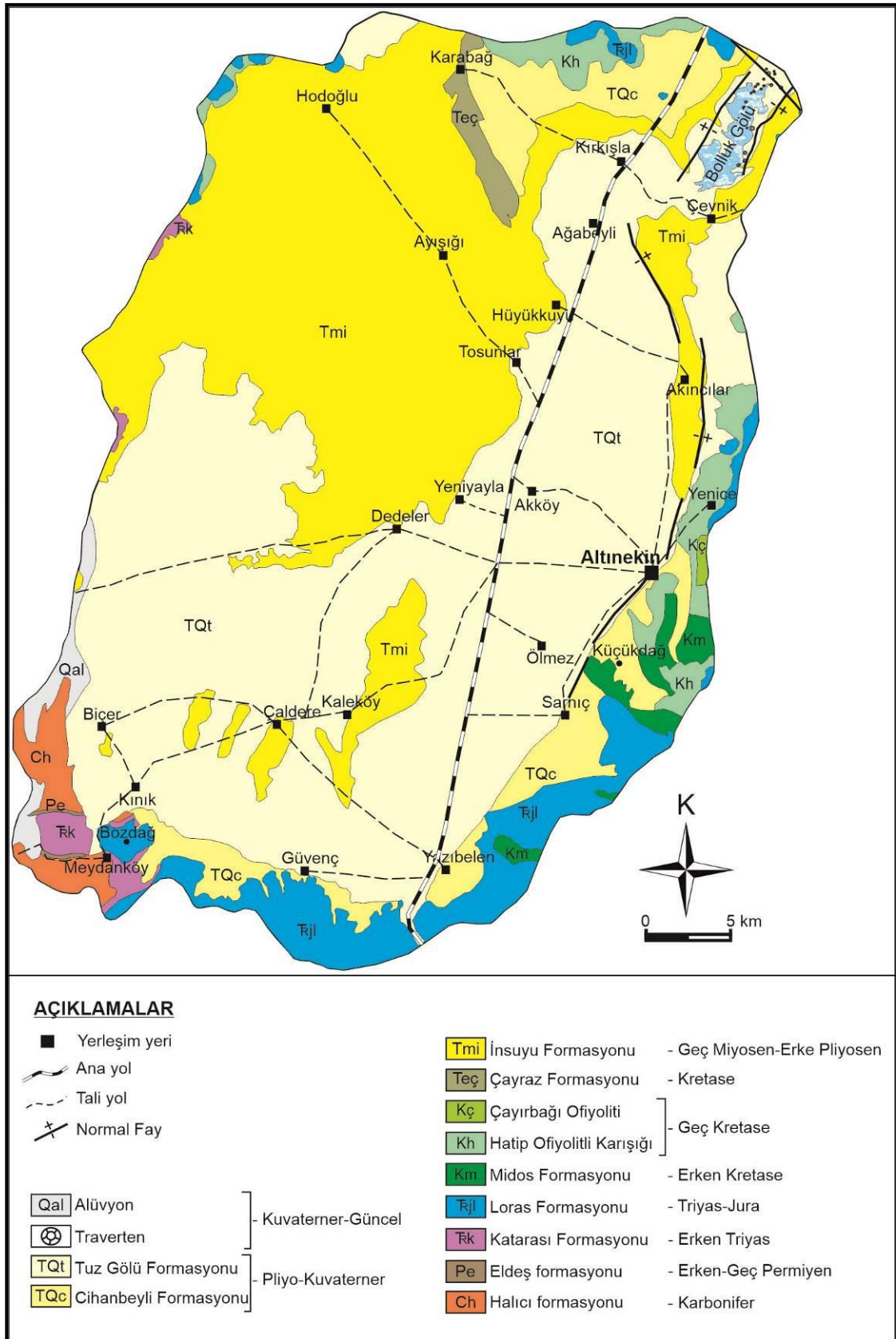


4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. Stratigrafi

İnceleme alanında Karbonifer-Kuvaterner zaman aralığında çökelmiş on üç formasyon ayırtlanmıştır (Şekil 4.1).

Grovak, silttaşı, şeyl, çakıltası, çört ve kireçtaşı aralanması şeklinde bir matriks ile matriks içerisinde yer alan kireçtaşı blokları ve volkanik kayalardan oluşan Karbonifer yaşı Halıcı Formasyonu bölgenin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerine uyumsuzlukla yerleşen, dolomit, silttaşı, kumtaşı ve grafit şist içeren ve genellikle kireçtaşı-kuvarsit-şeyl aralanmasından oluşan Erken-Geç Permiyen yaşı Eldes Formasyonu gelmektedir. Bu birim üzerine uyumsuzlukla kumtaşı, çakıltası, kireçtaşı ve çamurtaşından oluşan Erken Triyas yaşı Katarası Formasyonunun gelmektedir. Gri renkli orta katmanlı, yer yer oolitik ve algli kireçtaşlarından oluşan Triyas-Jura yaşı Loras Formasyonu uyumsuzlukla bu birimlerin üzerine gelmektedir. Gri, kırmızı pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, radyolaryalı ve çört ara bantlı karbonatlardan oluşan Erken Kretase yaşı Midos Formasyonu Loras formasyonu ile geçişlidir. Çamurtaşı, radyolarit, gabro, metakumtaşı, serpantin, kristalize kireçtaşı, volkanik ve metamorfik kayaç blokların ile ofiyolitik kayaç kırıntıları içeren bir matriksten oluşan Geç Kretase yaşı Hatip Ofiyolitli Karışığı Midos Formasyonu ile düşey yönde geçişlidir. Hatip ofiyolitli karışığı üzerine tektonik dokanakla serpantinleşmiş peridotit, gabro ve piroksenit ve bazik magmatik kayaç parçacıklarından oluşan Geç Kretase yaşı Çayırbağı ofiyoliti gelmektedir. Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak bol fosilli kireçtaşları ve marnlardan oluşan Eosen yaşı Çayraz Formasyonu gelmektedir. Kırmızı renkli alüvyal çökeller, çakıltası-kumtaşı- silttaşı, kil, jipsli kil, marn ve çoğunlukla kireçtaşlarından oluşan Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşı İnsuyu Formasyonu kendinden yaşı tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. Bu birim üzerine Pliyo-Kuvaterner yaşı ve birbiriyle yanal düşey geçişli, kiltası, kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşından oluşan Cihanbeyli Formasyonu ve çakıl, karbonatlı kum, kil, jips ve jipsli killerden oluşan Tuzgölü Formasyonu, İnsuyu Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer alırlar. Tüm bu birimler, Kuvaterner-Güncel yaşı bej, grimsi beyaz renkli dom şeklinde olan traverten konileri ile alüvyon tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 4.1 ve 4.2).



Şekil 4.1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Umut, 2009a, 2009b'den değiştirilerek alınmıştır)

ZAMAN	S E N E Z O Y I K				FORMASYON	SİMGE	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	KUVATERNER	NEOJEN	PALEOJEN	ERKEN PLİYOKUVATERNER					
SİSTEM	PLİYOKUVATERNER	GEÇ MİYÖSEN - ERKEN PLİYÖSEN	EÖSEN	GEÇ	INSUYU	Tmi	450 m		Örjenik Fazlar Alüvyonal birimler, tutturulmamış, kil, kum. çakıl boyutlu malzeme
SERİ				MAESTRİHTİYEN	ÇAYIRBAĞI OFİYOLİTİ	Kç	300 m.		Açık sarımsı gri renkli, boşluklu traverten
KAT				HAFTI DİNYOLITİ KATMANI		Kh	150 m.		Uyumsuzluk Gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve karbonatlı kum, silt, jipsli kil ve jips
FORMASYON				ERKEN	MİDOS	Km	400 m.		Çakıltaşı, çamurtaşı ve çakıllı kireçtaşları
SİMGE				JURA		Tj	700 m.		Uyumsuzluk
KALINLIK				ORTA - GEÇ TRIYAS	LORAS				Çakıltaşı, çamurtaşı ve çakıllı kireçtaşları
LİTOLOJİ				ERKEN TRIYAS	KATARASI	Tk	100 - 150 m.		Uyumsuzluk
				ERKEN-GEÇ	ELDEŞ	Pe	250 m.		Uyumsuzluk
				KARBONİFER	HALICI	Ch	500 m.		Uyumsuzluk
									Açıklamalar
									Alüvyonal birimler, tutturulmamış, kil, kum. çakıl boyutlu malzeme
									Açık sarımsı gri renkli, boşluklu traverten
									Uyumsuzluk
									Gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve karbonatlı kum, silt, jipsli kil ve jips
									Çakıltaşı, çamurtaşı ve çakıllı kireçtaşları
									Uyumsuzluk
									Kireçtaşı, çakıllı kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, silt, kil, marn ve kireçtaşı
									Uyumsuzluk
									Kireçtaşı ve marn
									Uyumsuzluk
									Peridotit, gabro ve piroksenit ve bazik magmatik kayaç parçacıkları
									Tektonik Dokanak
									Çamurtaşı, radyolarit, gabro, çamurtaşı, metakumtaşı, serpantin, kristalize kireçtaşı, Volkanik ve metamorfik kayaç blokları ile ofiyolitik kayaç kırıntıları
									Geçişli
									Gri, kırmızı pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, radyolaryalı, çört ara bantlı karbonatlar
									Geçişli
									Gri renkli, orta-kalın tabakalı kristalize kireçtaşı ve içerisinde dolomit bantları.
									Uyumsuzluk
									Sarı-gri-pembe renkli kristalize kireçtaşı ve dolomitler.
									Mor-gri-yeşil şeyl, mor renkli kumtaşı, sarı renkli oolit kireçtaşı
									Uyumsuzluk
									Dolomit, kumtaşı, silttaşı ve grafit şist içerikli kireçtaşı, şeyl, kuvarsit
									Uyumsuzluk
									Yeşil-kahverengi boz renkli grovak, silttaşı, şeyl, çakıltaşı, çört, Kireçtaşı blokları ve volkanik kaya parçaları

Şekil 4.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Ölçeksiz)

4.1.1. Halıcı Formasyonu (Ch)

Çakıltaşı, şeyl, çört, grovak, silttaşı ve kireçtaşı ardalması ile kireçtaşı blokları ve volkanik kayalardan oluşan birim, Özcan ve ark. (1990) tarafından “Halıcı Grubu” olarak adlandırılmıştır. Bulduk ve ark. (2008) ise birimi “Halıcı formasyonu” olarak adlandırmışlardır.

Birim inceleme alanının güneydoğusundaki Meydanköy Mahallesi’nin çevresinde dar bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).

İnceleme alanında farklı renkler sunan litolojisiyle ayırt edilebilen birim genellikle yeşilimsi gri şeyl, kırmızı renkli çört, gri krem renkli kireçtaşı ve kırmızımsı kahve renkli volkanik kayaç parçaları ile beyaz-krem renkli kireçtaşı bloklarından oluşur (Şekil 4.2). Grimsi yeşil renkli, ince-orta katmanlı, karbonat çimentolu ve sıkı tutturulmuş grovaklar, genellikle yarı köşeli veya az yuvarlak olup boylanma ve derecelenme göstermez.

Birimin hâkim litolojisini silttaşı, şeyl, kuvarsit, çört ve volkanik kaya parçaları içeren grovaklar oluşturur (Şekil 4.3). Birimin matriksini oluşturan grovak, silttaşı, şeyl, çakıltaşı, çört, ve kireçtaşları düşük derecede metamorfizma geçirmişlerdir (Özcan ve ark., 1990). Birimin alt seviyelerinde yeşil ve gri renkli çakıltaşları ile başlar üst seviyelerinde kumtaşları ile ardalama gösterir. Birim içerisindeki çörtler genellikle gri renkli ve nodüler olarak gözlenmektedir. Kireçtaşları, koyu gri-siyah renkli ve ince-orta tabakalıdır. Kireçtaşlarının üst seviyelerinde marnlara geçiş göstermektedir.

Halıcı formasyonunda metamorfizma ve volkanizma nedeniyle fosil belirlenememesine rağmen birim içerisindeki kireçtaşlarında, Özcan ve ark. (1990) tarafından *Archaeosphaera* sp., *Endothyra* sp., *Pseudostaffella* sp., *Bradyina* sp., fosil toplulukları tanımlanmıştır. Bu verilere göre birimin yaşının Karbonifer olduğu belirtilmiştir (Özcan ve ark., 1990).

Eren (1993a), Siluriyen-Devoniyen yaş aralığında oluşan kıtasal karbonatların üzerine gelen ve sığ denizel özellikteki rekristalize kireçtaşı ara tabakalı volkanoklastikler ile ilişkili kayaçların tektonik hareketler sonucu çökme ortamındaki değişiklikleri gösterdiğini ve birimin yay arası ve kenar havzaları gibi çökme ortamlarında oluştuğu belirtilmiştir.

İnceleme alanının temelini oluşturan Karbonifer Yaşlı Halıcı formasyonu Permian yaşlı Eldeş formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülür (Şekil 4.2). Birimin kalınlığı yaklaşık 500 m’ dir (Özcan ve ark., 1990)



Şekil 4.3. Halıcı Formasyonu (Ch)'na ait şeyller (Meydanköy Güneyi)

4.1.2. Eldeş Formasyonu (Pe)

Çoğunlukla kireçtaşı, kuvarsit ve şeyl arılanmasından ve yer yer kumtaşı, silttaşı, dolomitten oluşan birim, Özcan ve ark. (1990) tarafından Eldeş formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim inceleme alanının güneydoğusunda Meydanköy Mahallesi ve Dağdere Mahallesi civarında yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).

Birim çoğunlukla kireçtaşı, kuvarsit ve şeyl arılanmasından oluşmaktadır. Kireçtaşları ince-orta tabakalı olup, siyah, sarı, kırmızı, mor ve yeşilimsi renkler sunmaktadır. Kuvarsitler ince-orta tabakalı, alacalı renkli, laminalı ve çapraz katmanlıdır. Birimin içerisindeki şeyller genellikle kıvımsız ve yeşilimsi renklerde gözlenmektedir (Şekil 4.4).

Eldeş formasyonunununa ait kireçtaşları bol foraminifer ve makrofosil içermektedir. Özcan ve ark. (1990) tarafından kireçtaşları içerisinde; *Pseudoschwagerina* sp., *Pseudofusilina* sp., *Parafusilina* sp. Erken Permiyen'i, *Tetrataxis* sp., *Beedeina* sp., *Schwagerinca* sp., *Hemigordius* sp., *Nan/dnella* sp., *Golomspira* sp. ve *Globivalvulina* sp. fosilleri tanımlanmış olup bu verilere göre birimin Erken Geç-Permiyen yaş konağında çöktüğü kabul edilmiştir.



Şekil 4.4. Meydanköy-Dağdere arası Eldeş Formasyonu (Pe)'na ait şeyller (Meydanköy-Dağdere arası)

Platform türü çökellerinden oluşan birim içerisinde Triyas öncesi ve Geç Paleosen öncesi iki ayrı metamorfizmaya uğraşmış kayaçlar belirlenmiştir (Özcan ve ark, 1989). Birim, İhsaniye metamorfik karmaşığı (Özcan ve ark, 1989) ile Afyon metamorfikleri (Metin ve ark, 1988)'nin en üst kesimlerinde yer alan rekristalize kireçtaşlarıyla denestirilebilir. Formasyon, Bolkar Dağları'nda yüzeyleyen Öşin formasyonu (Demirtaşlı ve ark, 1984) ile de benzer özellikler gösterdiği belirtilmiştir.

Erken-Geç Permiyen yaşlı Eldeş formasyonu altındaki Karbonifer yaşlı Halıcı formasyonu ile uyumsuzdur. Birimin üstüne ise uyumsuz olarak Erken Triyas yaşlı Katarası formasyonu gelir. Önceki çalışmalarda birimin kalınlığının yaklaşık 250m olduğu belirtilmektedir (Özcan ve ark., 1990) (Şekil 4.2).

4.1.3. Katarası Formasyonu (TRk)

Genellikle iri taneli, kızılımsı mor renkli kumtaşı ya da çakıltaşı ile başlayan kırıntılı kireçtaşı ardalanmasıyla devam eden, dolomitik kireçtaşı seviyeleri ile sona eren birim, Özcan ve ark. (1990) tarafından Ardıçlı formasyonu olarak adlandırılmıştır. Ancak Demirtaşlı (1967), Torosların belli kesimlerinde Alt Triyas transgresyonunu Katarası formasyonu olarak adlandırmıştır.

Birime, inceleme alanının güneydoğusunda Meydanköy Mahallesi ve Dağdere Mahallesi arasında kalan bölgede ve Meydanköy' ün güney kesimlerinde yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).

Katarası formasyonu, kırmızı renkli çakıltası, kumtaşı ve kırıntılılar ile çoğunlukla oolitlik, yer yer de dolomitik kireçtaşıdan oluşmaktadır (Şekil 4.5). Kızılımsı mor renkler sunan kumtaşları, ince-orta tabakalı olup kalınlıkları 5 ila 10 cm arasında değişmektedir. Kumtaşları genellikle kötü boylanma sunarlar ve taneler az yuvarlak ve çoğunlukla kuvarstan oluşur (Özcan ve ark., 1990). Alt seviyelerde kaba taneli olan kumtaşları, üste doğru ince-orta tanelidir ve üste doğru renk yeşilimsi gri olarak gözlenmektedir. Çakıltaları genellikle kırmızımsı kahve renkli, kötü boylanmış, orta-kalın katmanlıdır. Kumlu-killi kireçtaşları, sarımsı kahve renkli ve orta-ince katmanlıdır.

Formasyon, Erken-Geç Permien yaşlı Eldeş formasyonu üzerine açılal uyumsuz olarak gelir (Demirtaşlı, 1967). Birimin kalınlığı yaklaşık 100-150 m arasındadır (Demirtaşlı, 1967) (Şekil 4.2).



Şekil 4.5. Katarasu Formasyonu (TRk)'na ait kireçtaşları ve dolomitler (Meydanköy Güneyi)

4.1.4. Loras Formasyonu (TRJl)

Kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan birim, Göğer ve Kırıl (1973) tarafından “Loras Dağı kireçtaşı” ve “Kızılören dolotaşı” olarak iki farklı isim altında ele alınmıştır. Özcan ve ark. (1988) ise dolomitlerin kireçtaşları içerisinde ara katkı olarak gözlendiğini belirterek birimin tümüne Loras Formasyonu adını vermişlerdir. Birim, Eren (1993) tarafından ise “Lorasdağı Formasyonu” olarak incelenmiştir.

Birime inceleme alanının güney ve güneydoğusundaki dağlık bölgelerde rastlanmaktadır (Şekil 4.1).

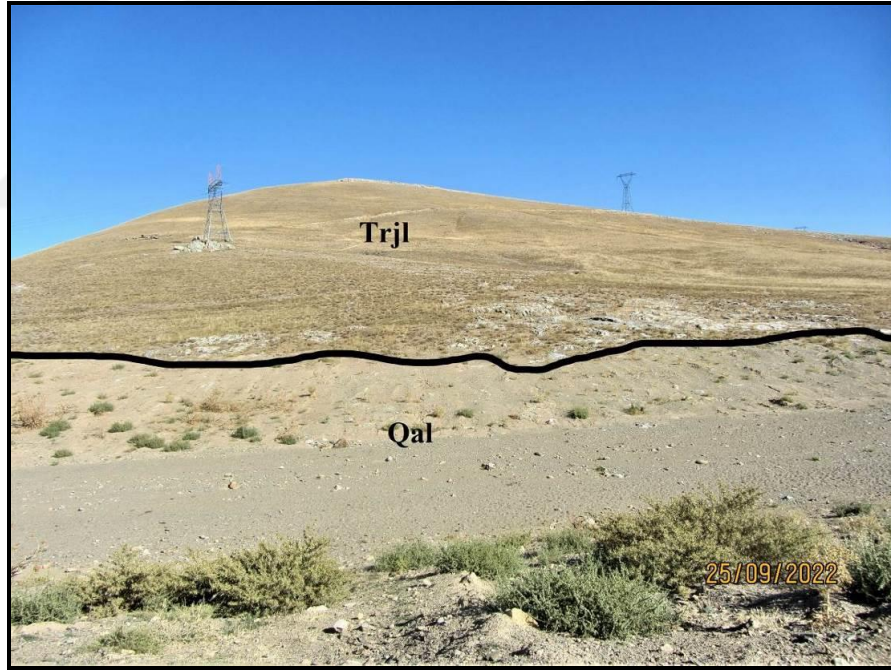
Loras formasyonu içerisindeki kristalize kireçtaşı genellikle açık gri, açık kahve, bej ve beyazımsı renklerde olup orta-kalın tabakalı ve yer yer oolit ve alglar içermektedir. Masif kesimleri genellikle gri renkli ve rekristalizedir (Şekil 4.6).

Kireçtaşları yer yer koyu gri renkli, bitümlü, orta-kalın tabakalı, yer yer masif yapılı ve toprağımsı yapılı çok ince kristalli dolomit içermektedir. Koyu gri-siyah renkli dolomitler ise kireçtaşları ile geçiş sunmaktadır.

Lorasdağı ve Kızılören civarında benzer özellikli kayalara göre birimin Göğer ve Kırıl (1969) tarafından Liyas-Erken Kretase, Görmüş (1984) tarafından Geç Jura-Geç Kretase, Özcan ve ark. (1988) tarafından Orta Triyas-Erken Kretase ve Eren (1993a) tarafından ise Geç Triyas-Erken Kretase zaman aralığında çökeldiği belirtilmiştir.

Loras formasyonu, lagün-gelgit arası, gelgit kanalı ve gelgit üstü ortamlarının karakterize edildiği “sınırlı platform” fasiyesinde çökelmiştir (Özcan ve ark., 1990).

Loras formasyonu altta bulunan Katarası formasyonu ile uyumsuz, üstteki Midos formasyonu ile geçişlidir. Birimin kalınlığı genelde 700 m civarındadır (Özcan ve ark., 1990) (Şekil 4.2).



Şekil 4.6. Loras Formasyonu (TrJl) ve Alüvyon (Qal) sınırı (Meydanköy)

4.1.5. Midos Formasyonu (Km)

Birim, pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, radyolaryalı ve çört ara bantlı karbonatlardan oluşmaktadır. Birim, Göğer ve Kırıl (1973) ve tarafından Midos formasyonu olarak adlandırılmış ve Özcan ve ark. (1990)’ da birimi Midos formasyonu adı altında incelemişlerdir.

Birim inceleme alanında Altınekin İlçesinin güney kesimlerinde ve Yazıbelen Mahallesinin doğusunda yüksek topoğrafyalarda gözlenmektedir (Şekil 4.1).

Formasyon altta yeşilimsi gri renkli çamurtaşı ve çört bantlı, kırmızımsı renkli kireçtaşları ile başlar. Orta kesimlerde pembe renkli pelajik kireçtaşları ile çört ardalanmalı yeşilimsi renkli şeyllere geçer. Birim üste doğru çört ara bantlı, ince-orta tabakalı, kaba taneli kireçtaşları ile devam etmekte olup en üstte sarı ve bordo renkli çört ara katmanlı pelajik kireçtaşları içermektedir.

Özcan ve ark. (1990) tarafından Midos Tepe ve Çiftliközü dolayında birim içerisinden derledikleri kayaç örneklerinde; *Tintinnopsella obianga* (Boller), *Protopeneroplis irochangulata* Septfontaine, *Calpionellopsis simplex* (Colom), *Clypenici* sp. (Erken Kretase); *Nezzazata simplex* Omara, *Cuneolina* sp., *Nezzazata* sp. (Geç Albiyen-Erken Senomaniyen); *Mayncina* d'Orbigny (Cuvillier and Szakall), *Globotruncana lapparenti* Broizen, *Roëlipora appennica* (Renz) (Senomaniyen); *Nezzazata* cf. *convexa* (Smout), *Cuneolina* sp., *Glnhigerina* sp. (Geç Senomaniyen), *Globotruncana falsostuarti* Sigal, *Globotruncana fornicata* (Plummer), *Globotruncana* sp. (Geç Kampaniyen-Erken Maastrihtiyen) fosillerini belirlemişler ve bu verilere göre birimin yaşının Kretase olduğunu belirtmişlerdir.

Midos formasyonu kıta yokuşu ve Basen fasiyes kuşağındaki çökelme ortamları ile temsil edilmektedir (Özcan ve ark., 1990).

Midos formasyonu altta Geç Triyas-Erken Kretase yaşlı Loras formasyonu (kireçtaşı) ve üstte Geç Kretase yaşlı Hatıp Ofiyoliti ile geçişlidir. Birimin kalınlığı yaklaşık 400 m' dir (Özcan ve ark., 1990).

4.1.6. Hatıp Ofiyolitli Karışığı (Kh)

Birim çamurtaşı, radyolarit, gabro, metakumtaşı, serpantinit, kristalize kireçtaşı, volkanik ve metamorfik kayaç blokları ile ofiyolitik kayaç kırıntıları içeren bir matriksten oluşmaktadır. Göğer ve Kırıl (1973) tarafından Hatip formasyonu olarak adlandırılan birim, daha sonra birçok araştırmacı (Özcan ve ark., 1988; Eren, 1993a,b; Öztürk ve Baykal, 2012) tarafından "Hatip Ofiyolitli Karışığı" adı altında incelenmiştir.

Birim inceleme alanının kuzeyindeki Hodoğlu Mahallesinin batı kesimlerinde yüksek rakımlı bölgeler ile Karabağ ve Bolluk Gölü arasında gözlenmektedir (Şekil 4.1).

Birim altta çamurtaşı, pelajik kireçtaşı ve radyolaryalı kayaçlarla başlar üste doğru Karbonifer, Permien, Triyas, Jura ve Kretase yaşlı kireçtaşı blokları ile pelajik çamurtaşı, bazalt ve ultramafik bloklara geçiş gösteren olistostromal bir özellik gösterir (Umut, 2009). Birimin en üstü ise matriks içermeyen tektonik bir karışık özelliğindeki siyahımsı koyu gri renkli peridotit, gabro, yeşilimsi kahve renkli serpantinit, kızılımsı renkli radyolarit, neritik karbonatlar, kuvarsit, silttaşı ve bazik volkaniklerden oluşur (Umut, 2009). Kırmızı, kahve ve yeşil renkli oldukça ayrıışmış çamurtaşları metamorfizmanın etkisiyle yer yer yapraklanmalar sunmakta olup çatlakları damarlar şekline kuvars dolguludur (Öztürk ve Baykal, 2012). Metamorfizma derecesinin artmasına bağlı olarak çamurtaşları, mordan yeşile değişen renkler sunan sleyt ve fillite geçiş göstermektedir. Birim içerisinde saçılmış şekilde gözlenen kızılımsı kahve renkli radyolaritlerin kırık yüzeyleri parlak olup masif yapıdadırlar. Düzensiz çatlak ve kırıklar içeren radyolaritler oldukça sert yapıya sahiptir (Öztürk ve Baykal, 2012). Siyahımsı koyu gri, koyu yeşil renkler sunan gabrolar bol çatlaklı olup çatlaklar yer yer kuvars ile dolmuştur. Koyu ve açık yeşil renkli serpantinitler çoğunlukla yapraksı yer yer de masif ve bol çatlaklı olup çatlakları yer yer kuvars dolguludur. Bozuşma nedeniyle yapraksı bir görünüm sunan serpantinitler parçalandıkları için genellikle kırıntı şeklinde bulunmaktadır.

Peridotitik matriksin ilksel ilişkileri çoğunlukla kaybolmuş, birçok yerde ayrışarak serpantinleşmiştir. Matriks içerisindeki şeyller ve kumtaşlarında deformasyonlara bağlı olarak yapraklanmalar ve yer yer kıvrımlar bulunmaktadır (Aydın ve ark., 2000).

Birim içerisindeki kristalize kireçtaşı blokları Eren (1993b) tarafından “İkisivritepe olistolitleri” olarak isimlendirilmiştir. Gri renkli kireçtaşı blokları orta kalın tabakalı olup yer yer çört ara seviyeli içermektedirler ve yer yer masif görünüm sunarlar (Eren, 1993b). Birim içerisinde farklı yaşlarda kireçtaşı blokları olmasına rağmen (Umut, 2009) inceleme alanında sadece Lorasdağı formasyonuna ait kristalize kireçtaşı blokları gözlenmektedir (Şekil 4.7).

Birimin alt seviyeleri Karaböğütlen formasyonunun, üst seviyeleri ise Koçyaka metamorfik ofiyolitli karmaşığı ve Karaböğürtlen formasyonun üst kesimlerinin karşılığıdır (Philippon, 1915; Umut, 2009a).

Özcan ve ark. (1988) birimin yaşını Maestrihtiyen-Erken Paleosen olarak belirtmişlerdir. Ulu ve ark. (1994) ile Karakoç (1996) ise birimin yaşını Geç Kretase (Maestrihtiyen) olarak kabul etmişlerdir.

Hatip ofiyolitli karışığı Midostepe formasyonu ile geçişli iken üstten Çayırbağı ofiyolitleri tarafından tektonik olarak örtülmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık 150 m civarındır (Özcan ve ark., 1988) (Şekil 4.2).



Şekil 4.7. Hatip Ofiyolitli Karışığı (Kh)’na ait kristalize kireçtaşı blokları (Altınekin çevresi)

4.1.7. Çayırbağı Ofiyoliti (Kç)

Hatip formasyonu içerisindeki Kretase yaşlı dünit ve peridotitler ilk kez Göger ve Kırıl (1969) tarafından “serpantinleşmiş dünit ve peridotit blokları” adıyla tanımlanmıştır. Pehlivan (1976) ise birimi “diabaz” adı altında incelemiş ancak tektonik konumunu ve önemini belirtmemiştir. Özcan (1990) ise birimi “Hatip Ofiyolitli Karışığı” ve “Çayırbağı ofiyoliti” olarak iki farklı isim altında incelemiştir. Eren (1993) ise serpantinleşmiş peridotit, gabro, bazik magmatik kayaç parçalarından oluşan birimi “Çayırbağı ofiyoliti” adı altında incelenmiştir.

Birim Altınekin İlçesinin doğusundaki yüksekliklerde dar bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).

Birim kahvemsî yeşil renklerde serpantinleşmiş peridotit, gabro ve piroksenit ve bazik magmatik kayaç parçacıklarından oluşmaktadır (Özcan ve ark., 1990; Umut, 2008).

Midostepe formasyonu ve alttaki diğer birimlerin tümünün üzerine bindirme ile gelmektedir. Çayraz Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Birim bölgeye Maestrihtiyende ofiyolit napı olarak gelmiştir (Özcan ve ark., 1990).

Birim Hatip Ofiyolitli karışığının üzerine tektonik dokanakla gelmektedir. Çayraz Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Birimin kalınlığı yaklaşık 300 m' dir (Özcan ve ark., 1990) (Şekil 4.2).

4.1.8. Çayraz Formasyonu (Teç)

Kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşan birim ilk kez Schmidt (1960) tarafından adlandırılmıştır. Ünal ve ark. (1976) da birimi Çayraz formasyonu adı altında incelemişlerdir.

Birim çalışma alanının kuzeyinde Karabağ Mahallesi ile Hüyükuyu arasında dar bir bölgede görülmektedir (Şekil 4.1).

Birim, krem ve sarı renkli bol fosilli kireçtaşları ve sarı, yeşil renkli marnlardan oluşmaktadır. Kireçtaşları orta-kalın tabakalı olup yer yer kumlu kireçtaşı mercekleri içerir. Marnlar bol fosilli olup kireçtaşlarıyla yanar ve düşey yönde ardalanma gösterir. Birime ait kireçtaşları çoğunlukla *Nummulites* spp, *Alveolina* spp., *Discocyclus* sp., alg, mercan, gastropod, pelesipod ve ekinid fosilleri içermektedir (Umut, 2009).

Umut (2009), Ünal ve ark. (1976) ve Sirel ve Gündüz (1976) tarafından belirlenen fosil içeriklerine göre birimin yaşı Eosen olarak belirlenmiştir.

Çayraz formasyonu sığ denizel, şelf kenarı ortamlarında çökelmiştir (Umut, 2009a).

Eosen yaşlı Çayraz formasyonu kendinden yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmekte, üstte Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 4.2). Birimin kalınlığı yaklaşık 25-30 m' dir (DSİ, 1973).

4.1.9. İnsuyu Formasyonu (Tmi)

Kireçtaşı, çakıllı kireçtaşı, çakıltaşı, kumtaşı, silt, kil ve marnlardan oluşan birim, Uygun ve ark., (1982) tarafından "İnsuyu kireçtaşı" olarak adlandırılmıştır. Ulu ve ark. (1994) formasyonun sadece kireçtaşı veya çakıllı kireçtaşı düzeylerinden oluşmadığını ve birim içerisinde yatay ve düşey yönde heterojenlik gösteren marn, tuf, tüfit, çakıltaşı ve kumtaşı ve bölgesel olarak jipsler içerebilmesinden dolayı "İnsuyu formasyonu" adı altında incelemişlerdir.

Birim çalışma alanının orta ve kuzey kesimlerinde Dedeler, Höyükuyu, Hodoğlu ve Özkent Mahalleleri arasında geniş bir alanda gözlenmektedir. Ayrıca Kaleköy, Çaldere ve Akıncılar Mahalleleri civarında da yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).

İnsuyu formasyonu kırmızı renkli alüvyal çökeller, çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kil, jipsli kil, marn ve çoğunlukla kireçtaşlarından oluşmaktadır (Ulu ve ark., 1994). Birim içerisindeki çakıltaları, çoğunlukla grimsi renklerde olup yer yer derecelenme göstermektedir. Çoğunlukla kireçtaşı ve volkanik kayaç parçalarından oluşan çakıllar çoğunlukla yarı yuvarlak ve yer yer yassı şekillidir. Çakıltaları çoğunlukta kötü boylanmalı ve orta-kalın katmanlıdır. Birim içerisinde sarımsı ve yeşilimli renkleri sunan marnlar genellikle ince kalınlığa sahip seviyeler sunarlar. Kumtaşları, ince taneli, derecelenmeli, polijenik kökenli, kötü boylanmalı, yer yer çapraz katmanlı ve ince-orta tabakalı olup çoğunlukla volkanik çakıllıdır. Yatay ve yataya yakın tabakalanma gösteren kireçtaşları genellikle beyaz, bej ve gri renkli olup orta-kalın tabakalı, bol kırık ve çatlaklı ve karstik boşluk içerirler. Kireçtaşları içerisindeki boşlukların boyutu milimden birkaç metreye değişmektedir (Bozdağ, 2010). Kireçtaşı-kumtaşı geçiş yerleri çoğunlukla kumlu, tüflü ve yer yer kil oranı yüksek ince tabakalı seviyeler olarak gözlenir. Ayrıca Bolluk Gölü'ne doğru birimin jips içeriğinde artış olmaktadır (Bozdağ, 2010).

Birim içinden Umut (2009) tarafından derlenen örneklerde, *ilyocypris gibba* (Ramdohr), *ilyocypris brady* Sars, *Candona* sp., *Caridona* (Candona) *candida* (Müller), *Candoria* (C.) *parallela pannonica* Zalanyii, *Candona* (C.) *devaxa* Kaufmann, *Planorbarius* cf. *thiollierei* (Michaud), *Lymnaea* sp., *Planorbis* sp. gibi fosiller tanımlanmış olup bu fosillere göre birimin yaşının Pliyosen olduğunu belirtmiştir. Hakyemez ve ark. (1992) İnsuyu formasyonuna karşılık gelen Apa formasyonundan aldıkları örneklerde; *Cyperideis torosa* (Oones), *Cyperideis seminulum* (Reuss) ve *Cyperideis* sp. fosilleri ve aynı birim içerisinde aldıkları örneklerde de; *Testudo* sp., *Gazelle* sp., *Hipparion* sp., *Proboscidae* gen. et. Sp. indet gibi fosiller bulmuş olup bu fosillerin Geç Miyosen yaşını gösterdiğini belirtmişlerdir. Birimin yaşı fosil içeriklerine göre Geç Miyosen - Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Ulu ve ark., 1994).

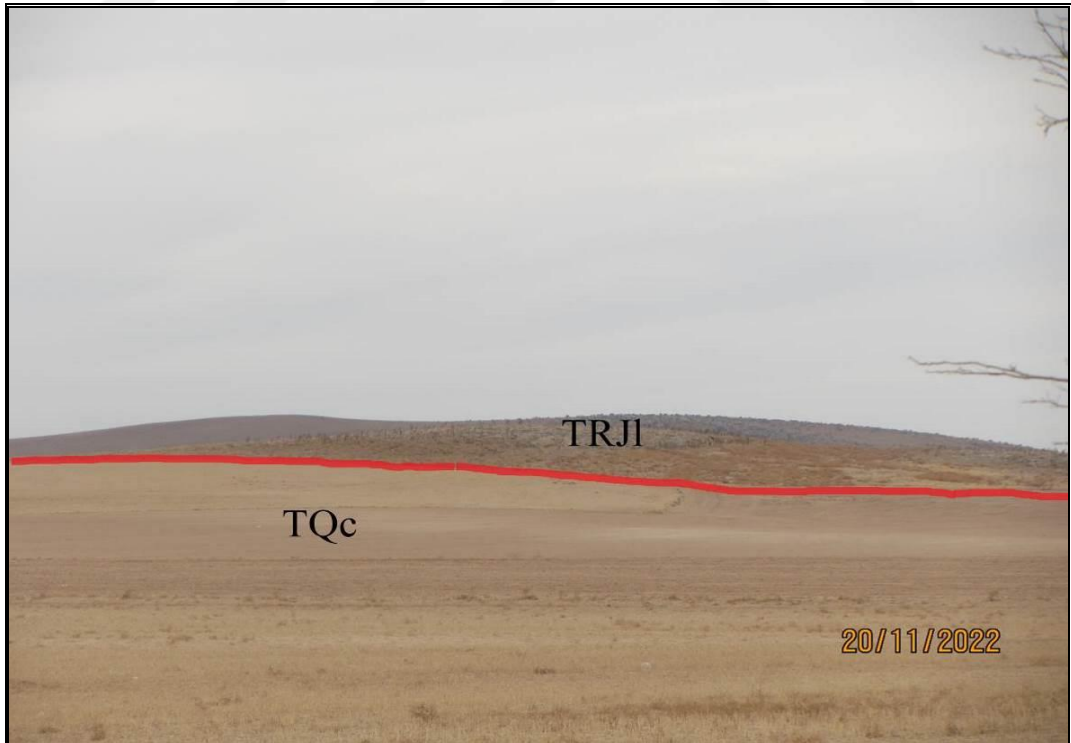
İnsuyu formasyonu kendinden yaşlı birimleri uyumsuzlukla örtmekte olup üstte Plio-Kuvaterner yaşlı Cihanbeyli formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 4.2). Birimin kalınlığı inceleme alanında yaklaşık 130 m' dir (DSİ, 1973).

4.1.10. Cihanbeyli Formasyonu (TQc)

Çakıлтаşı, çamurtaşı ve çakıllı kireçtaşılarından oluşan birim ilk kez Akarsu (1971) tarafından “Cihanbeyli formasyonu” olarak adlandırılmıştır. Ulu ve ark. (1994) ise, kıvrımsız renkli alüvyal malzemeler, jipsli killler, kil, çakıлтаşıları, kumtaşıları ve çakıllı kireçtaşılarından oluşan topluluğa “Cihanbeyli formasyonu” adı altında incelemişlerdir. Çemen ve ark. (1999), Dirik ve Erol (2000), Özsayın (2007) ve Akıl (2008) karasal kırıntılar ve karbonatlar için aynı ismi kullanmışlardır.

Birim çalışma alanında Karabağ ve Bolluk gölü arasında, Altınekin, Sarnıç, Yazıbelen ve Güvenç çevrelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.1).

Birim altta kırmızıdan sarıya değişik renkler sunan, yer yer siltli, kumlu matriks içeren tane destekli, kristalize kireçtaşı, çört ve kumtaşı parçaları içeren çakıлтаşıları ile başlar. Çakıлтаşıları genellikle yatay tabakalı olup tabaka kalınlıkları 40-50 cm’dir (Bozdağ, 2010). Çakıлтаşıları üste doğru kahve sarı renkli çimentolanma derecesi yüksek olan çoğunlukla yarı yuvarlak ve polijenik kökenli çakıllar içeren çakıлтаşı-kumtaşı arıalanmasına geçer. Birimin üst seviyesinde çakıllı kireçtaşıları ve beyaz, bej renkli kıltaşı arıalanmasından oluşur (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Cihanbeyli Formasyonu ile Loras Formasyonu sınırı (Konya-Ankara karayolu üzeri Kırkışla Kuzeydoğusu)

Ulu ve ark. (1994), formasyonun Orta Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu üzerine uyumsuz olarak geldiğini ve Tuzgölü formasyonu ile geçişli olduğunu belirterek birimin yaşının Pliyo-Kuvaterner olabileceğini söylemişlerdir.

Geç Miyosen- Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen birim Tuzgölü formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Ulu ve ark. (1994) tarafından Konya Kapalı havzasındaki farklı bölgelerde 500 m kalınlığa kadar ulaştığını belirtilen birimin DSİ (1973) tarafından Altınekin havzasında yaklaşık 110m olduğu belirtilmektedir.

4.1.11. Tuzgölü Formasyonu (TQt)

Birim, ilk kez Ulu ve ark. (1994) tarafından “Tuzgölü formasyonu” olarak adlandırılan birim çakıl, kum, karbonatlı, kum, kumtaşı, gevşek tutturulmuş çakıltaşı, silt, kil, jipsli kil, jipslerden oluşmaktadır.

Birim inceleme alanının doğu ve güney kesimlerinde geniş bir alanda yüzlek vermektedir. Altınekin çevresinde, Dedeler mahallesinin güney ve doğu kesimlerinde, Çaldere, Kaleköy, Kınık, Biçer, Güvenç-Yazıbelen arasında, Ölmez, Akköy, Tosunlar, Ağabeyli ve Kırkışla çevresinde gözlenmektedir (Şekil 4.1).

Çakıl, kum, kil, silt ve jipslerden oluşan birim, en altta yatay tabakalı çakıl ve kum ardalanması ile başlar. Kum ve çakıllar iyi boyplanmalı ve iyi yuvarlaklaşma özellikleri göstermektedir. Kum ve çakıl ardalanmasının üzerine yeşil ve beyaz renklerde çoğunlukla masif görünümlü yatay-yataya yakın tabakalı kil çökelleri gelmektedir. Killer içerisinde ince laminalar şeklinde siltli seviyeler bulunmaktadır (Ulu ve ark. 1994; Bozdağ, 2010; Bozdağ ve Göçmez, 2016). Bolluk gölüne doğru kumların karbonat içeriği artmaktadır (Ulu ve ark., 1994). Killer içerisinde farklı kalınlıklarda yer yer merceksi şekilde jips ara seviyeleri bulunmaktadır. Ayrıca jipsli seviyeler yatay yönde yüzlerce metre yayılıma sahiptir (Ulu ve ark., 1994). Killer içerisindeki jipsler genellikle paralel laminalı, disk ve kırlangıçkuyruğu biçimli jips yumruları ve farklı kalınlıklar sunan jips kristalleri şeklinde gözlenmektedir (Bozdağ, 2010). Bolluk Gölü çevresinde genellikle disk ve kırlangıçkuyruğu biçimli jips yumruları belirgindir.

İnsuyu formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen birim Cihanbeyli formasyonu ile yanal düşey geçişlidir. Üstte ise Kuvaterner yaşlı alüvyon tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Birimin kalınlığı değişiklik göstermekte olup yaklaşık 20 ila 110 m arasındadır (Ulu ve ark., 1994).

Ulu ve ark. (1994), birim içerisinde yaş verebilecek bir fosilin belirlenemediğini bu yüzden stratigrafik konumu dikkate alındığında, birimin yaşının Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edildiğini belirtmişlerdir.

4.1.12. Traverten (Qtr)

İnceleme alanının kuzeydoğusundaki Bolluk Gölü içinde ve çevresinde koni şekilli travertenler bulunmaktadır.

Bej, grimsi beyaz renkli ve boşluklu dom şeklinde olan traverten konilerinin iç çapları 5,5-47 m. arasında değişmektedir (Bozdağ, 2010). Yüzeyleri dairesel ve yer yer elipsoidal şekillidir.

Kuvaterner-Güncel yaşlı travertenler kendinden yaşlı tüm birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelmektedir.

4.1.13. Alüvyon (Qal)

Tutturulmamış çakıl, kum, kil boyutlu malzemeden oluşan birim inceleme alanında Biçer mahallesinin kuzeybatı kesimlerinde, Meydanköy mahallesinin batı taraflarında ve Karaağıl Tepe'nin güneyinde yüzlek vermektedir (Şekil 4.9).

Birim gri, kıvılcımsı kahve renkli çakıl, kum, silt ve kil içeren gevşek ve tutturulmamış malzemeden oluşmaktadır.

Birim bölgedeki tüm birimlerin üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Birimin yaşı Kuvaterner-Güncel'dir.



Şekil 4.9. Alüvyon (Qal) (Meydanköy civarı)

4.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanını içine alan Konya ve çevresi, tektonik olarak Orta Anadolu Ova Bölgesinde bulunmaktadır. Bölge, kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Sistemi, güneyde Helenik-Kıbrıs Yayı, batıda Ege Çöküntü sistemi ve doğuda Doğu Anadolu Fay Sistemi arasında bulunmaktadır (Demirtaş ve ark., 1996). Orta Anadolu Ova Bölgesinde bulunan inceleme alanındaki en önemli yapısal unsur Altınekin Fay Zonu'dur.

Altınekin Fay Zonu: Altınekin Fay Zonu, ilk kez “Zıvarık (Altınekin) Fay Sistemi” olarak Erol (1969) tarafından tanımlanmıştır. Dirik ve Erol (2003) ise Altınekin Fay Zonu'nun sistem derecesinde olmadığını belirterek “Altınekin Fay Zonu” olarak tanımlamışlardır.

Altınekin Fay Zonu toplam 40 km uzunluğunda olup doğrultuları KKD-GGB olan bir dizi faydan oluşmaktadır (Dirik ve Erol, 2003). Zonun güney kesimi KD-GB gidişli, kuzey kolu ise K-G gidişli eğim atımlı normal faylardan oluşmaktadır. 3 fay segmentinden oluşan bu zonun güneydeki segmenti KKD-GGB yönelimli olup yaklaşık 15 km uzunluğundadır. Bu segment boyunca doğudaki taban bloğu yükselmiş ve batıdaki tavan bloğu düşmüştür (Demirtaş ve ark., 1996). Altınekin ilçesinin kuzeyinden başlayan ve kuzeyde Bolluk Gölü'ne kadar uzanan K-G yönlü ikinci segmentin uzunluğu yaklaşık 10 km'dir. Akıncılar köyünün hemen kuzeyinde bu segmentten KB-GD yönlü küçük bir kol ayrılır. İnceleme alanının kuzedoğusunda bulunan Bolluk Gölü'nün güneyinden başlayan ve kuzeydeki Kulu ilçesine kadar devam eden KKD-GGB yönlü üçüncü segmentin uzunluğu ise yaklaşık 15 km'dir (Demirtaş ve ark., 1996; Dirik ve Erol, 2003).

İnceleme alanındaki Bolluk Gölü ve çevresindeki traverten konileri genellikle Altınekin Fay Zonu'nun genel doğrultusuna paralel gelişmiş olup bu fay zonunun kontrolünde gelişmişlerdir (Dirik ve Erol, 2000).

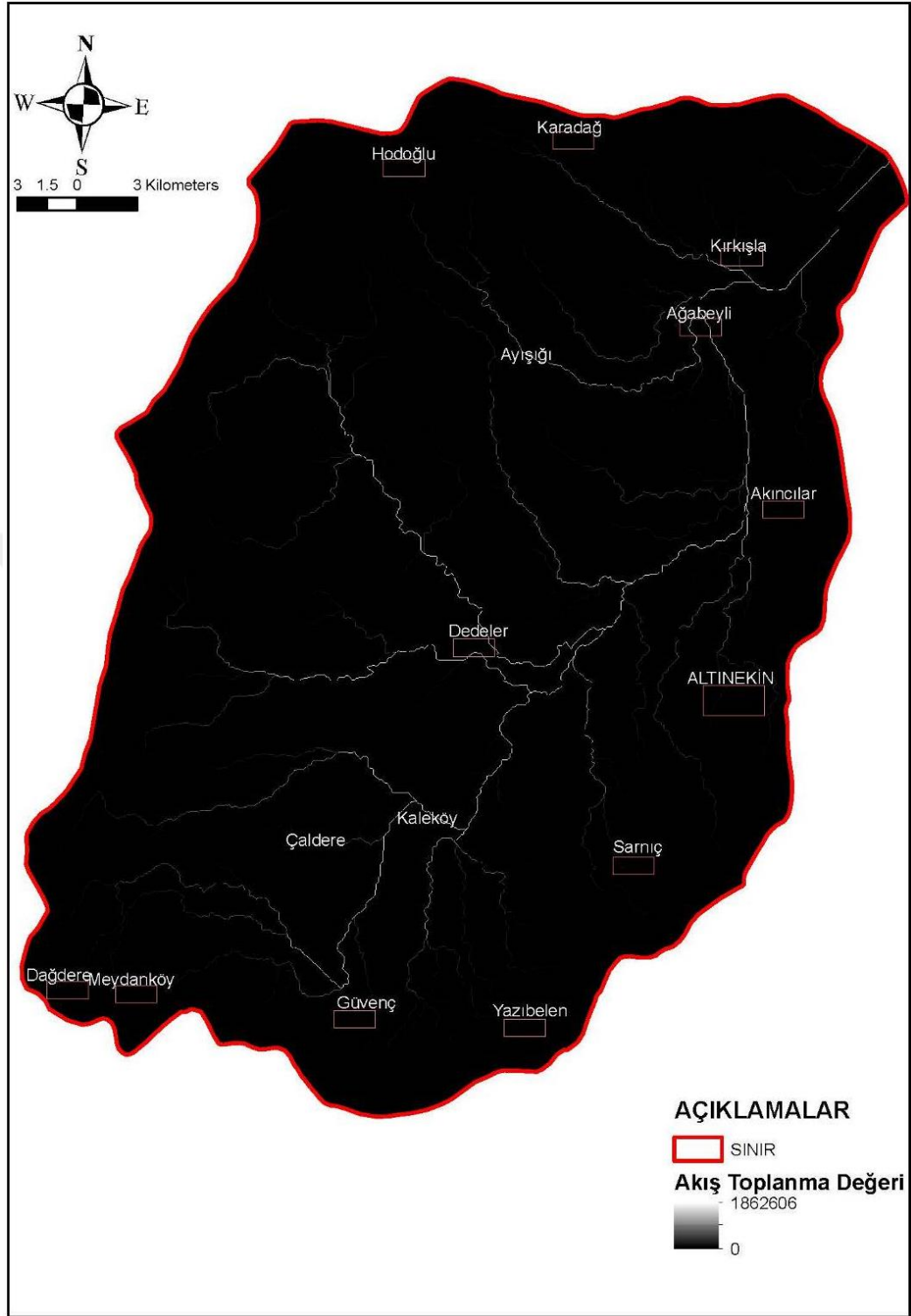
4.3. Çalışma Alanının Su Akış Yönleri ve Drenaj Ağları

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak, grid formatındaki yükseklik verilerinden drenaj havzaları, drenaj ağları belirlenebilmekte, aynı zamanda drenaj havzası verileri hesaplanabilmektedir (Smemoe 1997, Corwin 1996). Düzensiz hidrolojik modeller havzaların konumuna göre değişebilen fiziksel özelliklerini net olarak ortaya koymakta ve hidrolojik değişkenlerin mekansal olarak incelenmesine katkı sunmaktadır (Anonim, 1987).

Bu çalışmada, Arc/Info, ArcMap, ArcScene (versiyon 10.8) Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı kullanılarak inceleme alanının su akış yönleri ve akış toplanma gridleri hesaplanarak drenaj ağları belirlenmiştir. Havzanın 1/25.000'lik topoğrafik haritası Arcgis ortamında sayısallaştırılmıştır.

Sayısal yükseklik modelinden elde edilen verilere göre inceleme alanının su akış yönleri belirlenmiş ve inceleme alanına ait akış toplanma modeli geliştirilmiştir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi grid değerleri sıfır olarak belirtilen alanlar/hücreler siyah renkte, grid değeri sıfırdan yükseldikçe hücreler daha açık renklidir. Çalışma alanında havza kenarlarından ortaya doğru olan su toplanma kolları ya [klasik](#) kuzey-güney yönlü ana su toplanma noktalarıyla birleşmektedir.

Akış toplanma modeli üzerinden oluşturulan drenaj ağları belirlenirken 0 değerine sahip hücreler haricindeki tüm hücreler drenaj ağının bir parçasını oluşturmaktadır ve model üzerindeki su akış yönü ise küçük değerli hücreden büyük değerli hücreye doğrudur (Venkatachalam ve ark., 2001). İnceleme alanı için oluşturulan drenaj ağı haritasında havzadaki mevcut akarsu yolları ve muhtemel drenaj ağları gösterilmiştir. Bu haritaya göre inceleme alanında en büyük drenaj ağını Altınekin'in batısından geçen ve alanın güneyindeki Güvenç Mahallesi'nden Bolluk Gölü'ne kadar uzanan güneybatı-kuzeydoğu yönlü drenaj ağı oluşturmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.10. Çalışma alanı akış ağı haritası

4.4. HİDROJEOLOJİ

4.4.1. İklim Özellikleri

İnceleme alanının iklim koşulları ve hidrolojik özelliklerini değerlendirmek amacıyla bölgeye en yakın Cihanbeyli istasyonuna ait yağış ve sıcaklık verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji 8. Bölge Müdürlüğü (Konya)'nden elde edilmiştir. Elde edilen yağış ve sıcaklık verilerine göre bölgenin uzun yıllar ortalama yağış ve sıcaklık değerleri ile su bütçesi hesaplamaları yapılmıştır.

4.4.1.1. Yağış ve Sıcaklık

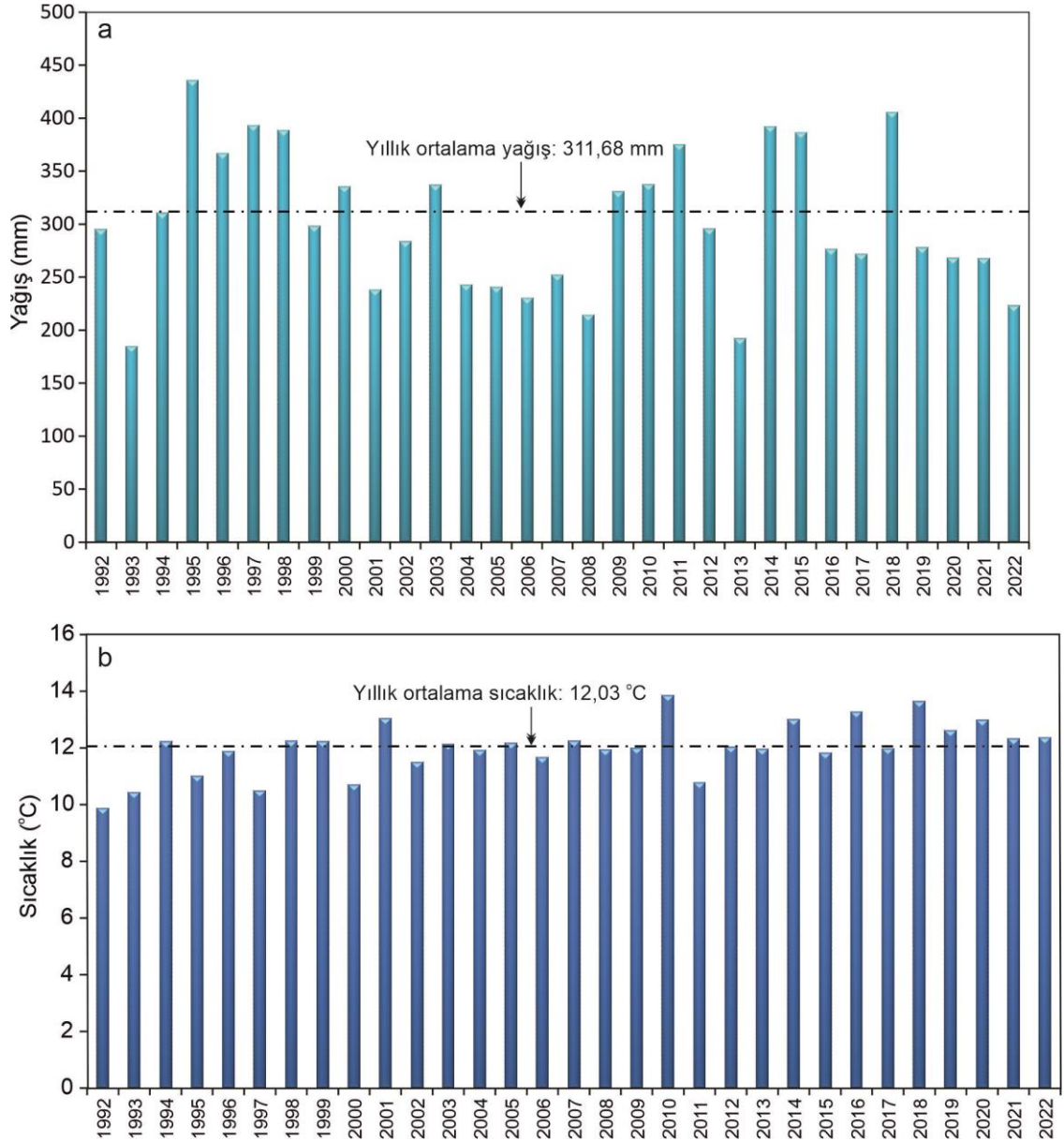
İnceleme alanı, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı olan tipik karasal iklimin görüldüğü bir bölgedir. 1992-2022 yıllarına ait yağış ve sıcaklık verilerine göre yıllık ortalama yağış 311,68 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 12.03 °C'dir. Uzun yıllar ortalama aylık yağış verilerine göre en yüksek yağış ortalaması Aralık (38,32 mm) ve Haziran (38,16 mm) aylarında, en düşük ortalama yağış Temmuz (9,14 mm) ve Ağustos (7,17 mm) aylarında gözlenmiştir. Uzun yıllar ortalama aylık sıcaklık verilerine göre ise en yüksek sıcaklık değeri Temmuz ve Ağustos aylarında olup ortalama sıcaklık değeri 24,10 °C'dir. En soğuk ay ise -0,15 °C ile Ocak ayıdır (Şekil 4.12a, b).

İnceleme alanına ait 1992-2022 yıllarına ait 30 yıllık ortalama yağışa göre yağışın birikimli sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.13). Hazırlanan bu grafiğe göre 1995-2000 ve 2009-2011 yılları arası yağışlı dönem, 1992-1994, 2001-2008 ve 2019-2022 yılları arasında kurak dönemi yansıtmaktadır.

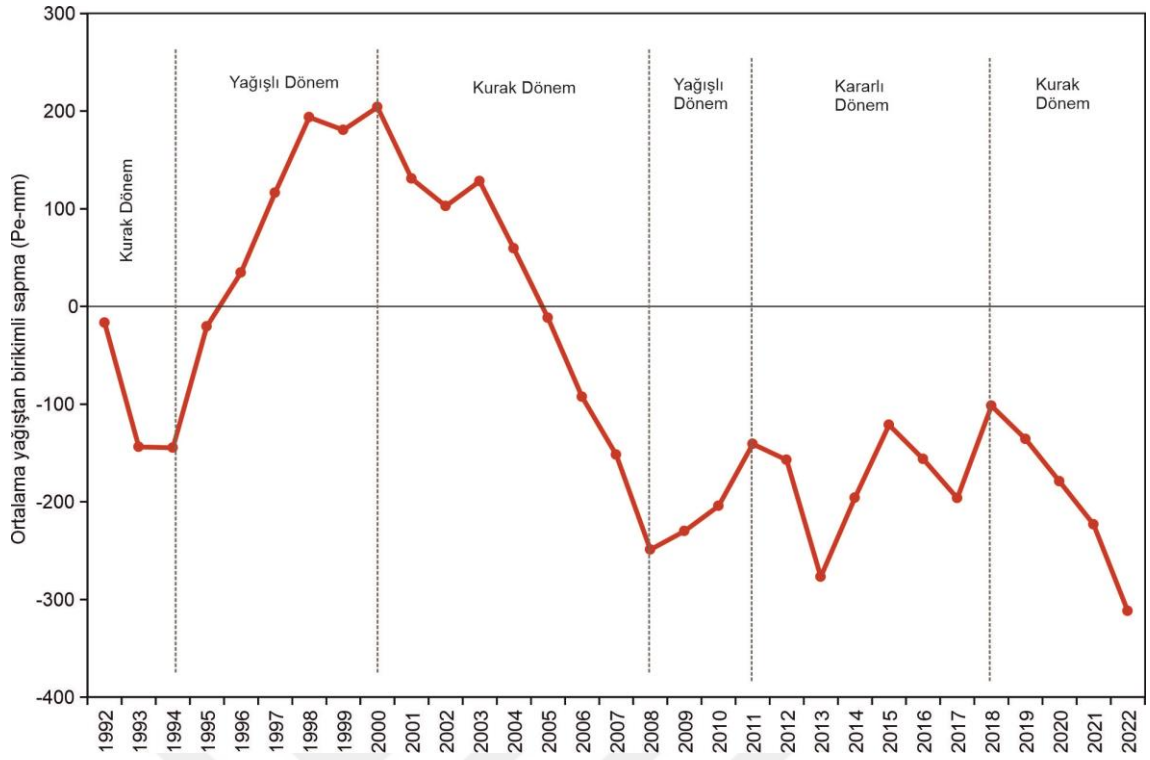
4.4.1.2. Buharlaşma-Terleme

Uzun yıllar (1992-2022) ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak Thorntwaite (1948) metodu ile potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmıştır. İnceleme alanının deneştirmeli su bilançosuna göre ortalama yıllık yağış miktarı 309,75 mm ve toplam gerçek buharlaşma-terleme (ET_r) miktarı 296 mm olarak hesaplanmıştır. Toplam yağışın 67,25 mm'si yeraltısuyuna süzülmemekte olup süzülen miktar yağıştan çıkarıldığında gerçek buharlaşma terleme yağışın %78,29'una (242,5 mm) karşılık gelmektedir. Verilere göre sadece Ocak, Şubat ve Mart aylarında su fazlası gözlenmektedir ve toplam su fazlası (67,25 mm) yağışın %21,71'ine karşılık gelmektedir (Çizelge 4.1). Uzun yıllar (1992-2022) verilerine göre hazırlanan yağış (P)-potansiyel buharlaşma-terleme (ET_p) grafiğine göre; Nisan ayının ortalarına kadar

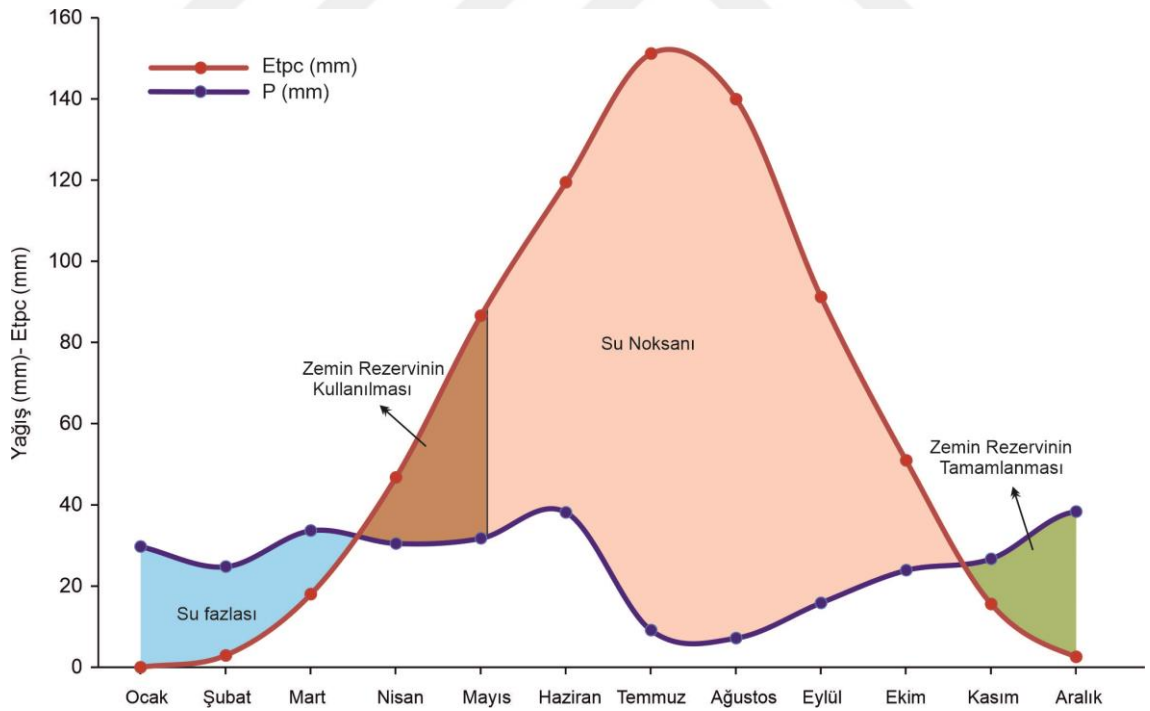
yağışın Etpc'den fazla olduğu Nisan ayı ortalarından Kasım ayı ortalarına kadar Etpc'nin yağıştan fazla olduğu gözlenmektedir (Şekil 4.14). Nisan ve Mayıs aylarında faydalı su yedeği kullanılmış olup Haziran ayından Ekim ayının sonuna kadar su noksanı gözlenmiştir. Kasım ayında faydalı su yedeği tamamlanmaya başlamış olup Aralık ayında su yedeğinin tamamlanması devam etmiştir (Çizelge 4.1; Şekil 4.14).



Şekil 4.12. İnceleme alanına ait uzun yıllar (1992-2022) a) yağış, b) sıcaklık dağılış grafiği



Şekil 4.13. Uzun yıllar (1992-2022) ortalama yıllık yağıştan birikimli sapma grafiği



Şekil 4.14. Thornthwaite (1948) metoduna göre uzun yıllar (1992-2022) yağış (P)-düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etpc) değişim grafiği

Çizelge 4.1. Thorntwaite (1948) metoduna göre inceleme alanına ait 1992-2022 yılları arasındaki yağış ve buharlaşma-terlemenin denestirmeli nem bilançosu

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık ortalaması (°C)	-0,15	1,79	5,83	11,19	16,27	20,53	24,16	24,10	19,26	13,28	6,14	1,65	
Sıcaklık indisi	0	0,21	1,26	3,39	5,97	8,49	10,86	10,82	7,71	4,39	1,36	0,19	54,63
Potansiyel Buh-Ter (Etp-mm)	0	3,54	17,46	42,12	69,83	95,56	119,02	118,61	87,68	53,05	18,73	3,17	629
Enlem düzeltme katsayısı	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
Düzeltilmiş Etpc-mm	0	2,94	17,99	46,75	86,59	119,45	151,15	139,96	91,18	50,93	15,55	2,57	725
Yağış-mm	29,76	24,77	33,64	30,52	31,76	38,16	9,14	7,17	15,88	23,88	26,72	38,32	309,75
Faydalı su yedeği-mm	100	100	100	83,77	28,948	0	0	0	0	0	11,18	46,8	
Gerçek Buh-Ter (Etr-mm)	0	2,94	17,99	46,75	86,59	67,11	9,14	7,17	15,88	23,88	15,55	2,57	296
Su fazlası-mm	29,76	21,83	15,66	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0,00	67,25
Su noksanı-mm	0	0	0	0	0	52,34	142,01	132,79	75,31	27,05	0	0	429,50
Yeraltısuyuna akış (Ro)	14,88	18,36	17,008	8,504	4,252	2,126	1,063	0,532	0,266	0,133	0,066	0,033	67,25
Yağış-Akış (mm) (P-Ro):	14,88	6,41	16,63	22,02	27,51	36,03	8,08	6,64	15,61	23,75	26,65	38,29	242,5

4.4.2. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanında bulunan litolojik birimlerin su bulundurabilme özelliklerine göre değerlendirildiğinde bölgedeki birimler; geçirimli, yarı geçirimli ve az geçirimli olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4.15).

4.4.2.1. Geçirimli (G) Birimler

(G-1): Meydanköy Mahallesi ve Dağdere Mahallesi arasında kalan bölgede ve Meydanköy'ün güney kesimlerinde gözlenen Erken Triyas yaşlı Katarası formasyonuna ait kireçtaşları ve dolomitler bol çatlaklı, kırıklı yapıda olması sebebiyle ikincil gözenekliliğe sahiptir. Kırıklı ve çatlaklı yapılarından dolayı geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir.

(G-2): Çalışma alanının güney ve güneydoğusundaki dağlık bölgelerinde yüzeyleyen Orta Triyas-Jura yaşlı Loras formasyonuna ait kristalize kireçtaşları kırıklı, çatlaklı ve boşluklu yapıya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı ikincil gözenekliliğe ve dolayısıyla geçirimliliğe sahiptir.

(G-3): Bolluk Gölü ve çevresinde gözlenen travertenler boşluklu ve çatlaklı yapılarından dolayı akifer olma özelliğine sahiptir. Birim geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

4.4.2.2. Yarı Geçirimli (YG) Birimler

(YG-1): İnceleme alanının kuzeyinde Karabağ Mahallesi ile Hüyükkuuyu arasında ki dar bir bölgede yüzlek veren Eosen yaşlı Çayraz formasyonuna ait kireçtaşları orta kalın tabakalı ve bol kırıklı çatlaklı yapılarından dolayı geçirimliliğe sahiptir. Fakat Kireçtaşları ile yanal düşey ardalama gösteren marnlar geçirimsiz seviyeleri oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı birim yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

(YG-2): İnceleme alanında geniş yüzlek veren Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonuna ait kireçtaşlarının, tabakalı, kırıklı, çatlaklı olmasından ve karstik boşluklar içermesinden dolayı iyi gözenekliliğe ve geçirimliliğe özelliğe sahip olup bölgenin en önemli akiferini oluşturur. Birim içerisindeki marnlar, killi ve jipsli killeri geçirimsiz seviyeleri oluşturmaktadır. Bu nedenle birim yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

(YG-3): Plio-Kuvaterner yaşlı Cihanbeyli formasyonuna ait çakıllı kireçtaşları ve çakıltaşlarından oluşan seviyeler geçirimlidir. Siltli, killi ve ince taneli kumtaşı ile çamurtaşı seviyeleri geçirimsizdir. Birim içindeki kireçtaşı ve çakıltaşı seviyeleri bazı sığ kuyuların akiferini oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı birim yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

(YG-4): İnceleme alanında dar bir alanda yüzlek veren ve tutturulmamış malzemeden oluşan alüvyonlar ince taneli malzemenin fazla olmasından dolayı yarı geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir.

4.4.2.3. Az Geçirimli (AG) Birimler

(AG-1): Erken Kretase yaşlı Midos formasyonuna ait kireçtaşları kırıklı ve çatlaklı yapılarından dolayı ikincil gözenekliliğe sahiptir. Fakat çörtlü seviyeler de geçirimsizlik azalmakta olup özellikle çamurtaşı seviyeleri geçirimsizdir. Birimin hâkim litolojisini oluşturan kireçtaşlarının kırıklı çatlaklı olması akifer olma özelliği gösterir fakat kireçtaşları sıklıkla çamurtaşı ve çörtlü seviyelerle aralanma gösterir ve bu seviyeler geçirimsizdir. Bu özelliğinden dolayı birim az geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir.

(AG-2): Halıcı formasyonuna ait çakıltaşları ve kireçtaşları geçirimlidir. Fakat birimin hâkim litolojisini oluşturan silttaşı, şeyler geçirimsizdir. Bu özelliğinden dolayı birim az geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

(AG-3): Eldeş formasyonuna ait kireçtaşı blokları ve dolomit seviyeleri geçirimli olup silttaşı ve şeyler geçirimsiz seviyeleri oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı birim az geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

(AG-4): Geç Kretase yaşlı Hatıp Ofiyolitli Karışığı içerisindeki kireçtaşı blokları ve gabrolar kırıklı çatlaklı yapılarından dolayı geçirimlidir. Çamurtaşı, radyolarit, metakumtaşı, serpantinler geçirimsiz olup özellikle serpantinlerin ayrışması sonucu oluşan killer geçirimsiz seviyeleri oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı birim az geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

(AG-5): Geç Kretase yaşlı Çayırbağı ofiyoliti içerisindeki gabrolar kırıklı ve çatlaklı özelliklerinden dolayı geçirimli seviyeleri oluştururken serpantinler ve serpantinlerin ayrışması sonucu oluşan killer geçirimsiz seviyeleri oluşturmaktadır.

(AG-6): Cihanbeyli formasyonu ile yatay düşey yönde geçiş gösteren Pliyo-Kuvaterner yaşlı Tuzgölü formasyonuna ait çakıl ve kumtaşı seviyeleri gözenekliliğe ve

geçirimsizliğe sahiptir. Fakat birimin killi, siltli ve jipsli seviyeleri geçirimsizdir. Bu özelliğinden dolayı birim az geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

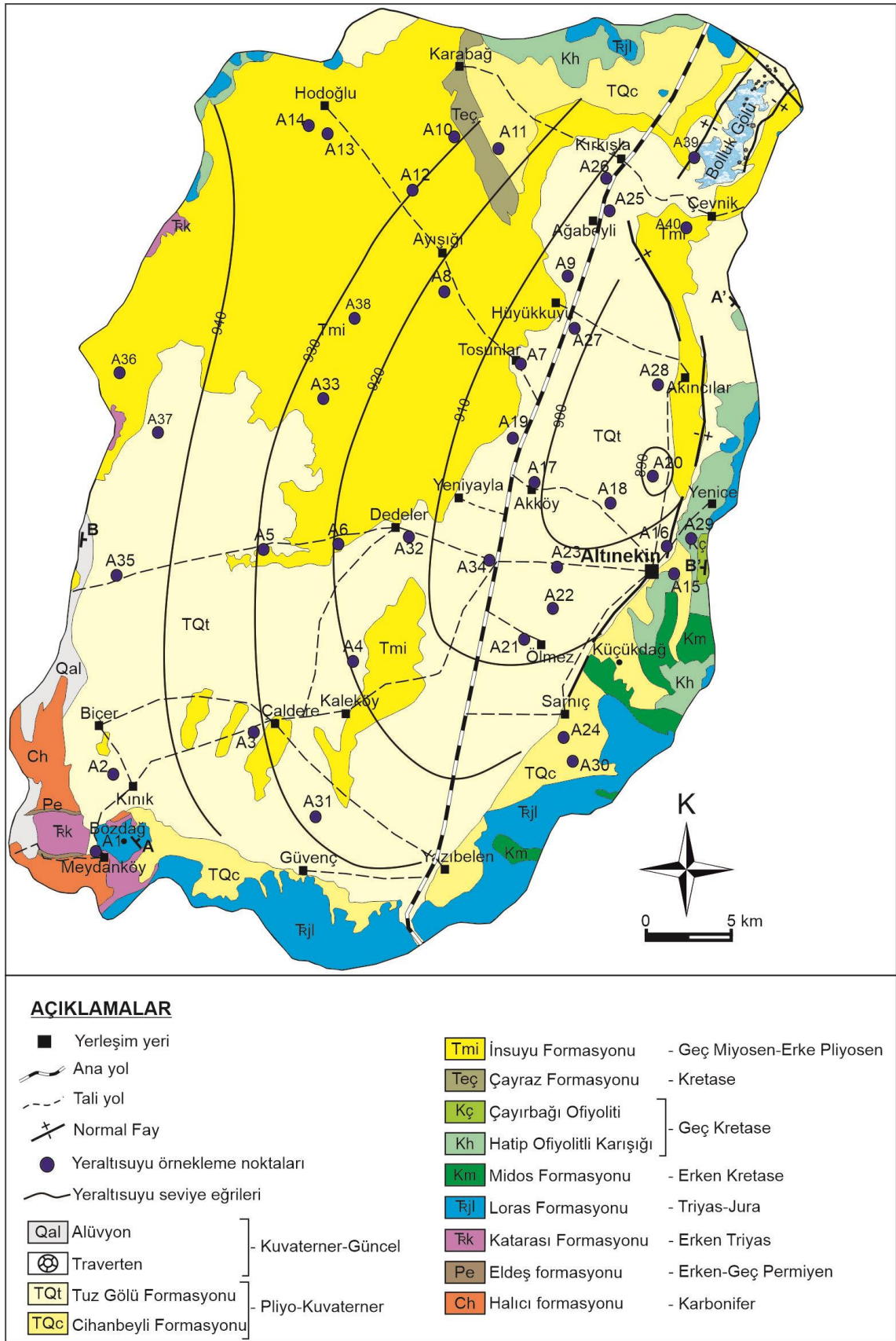
ZAMAN	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENZOYİK	KUVATERNER	PLİYOKUVATERNER			Q _{al}	100 m		YARI GEÇİRİMLİ BİRİM (YG-4) GEÇİRİMLİ BİRİM (G-3) YG-4: Akiviyonal birimler, tutunulmamış, kil, kum, çakıl boyutlu malzeme G-3: Açık sarımsı gri renkli, boşluğu traverten Uyumsuzluk
					T _{Qk}	200 m		YARI GEÇİRİMLİ BİRİM (YG-3), AZ GEÇİRİMLİ BİRİM (AG-6) YG-3: Tuzgölü Formasyonu : Gevrek tutturulmuş çakıl, kum ve karbonatlı kum, silt, jipsli kil ve jips AG-6: Çhanbeyli Formasyonu : Çakıltası, çamurtaşı ve çakıllı kireçtaşı Uyumsuzluk
	NEOJEN	GEÇ MİYÖSEN - ERKEN PLİYOSEN		INSUYU	T _{mi}	450 m		YARI GEÇİRİMLİ BİRİM (YG-2) Kireçtaşı, çakıllı kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı, silt, kil, mam ve kireçtaşı Uyumsuzluk
	PALEOJEN	EOSEN		ÇAYRAZ	T _ç	200 m		YARI GEÇİRİMLİ BİRİM (YG-1) Kireçtaşı ve mam Uyumsuzluk
	MESOZOYİK	KRETASE	GEÇ	MAESTRİHTİYEN	K _ç	300 m		AZ GEÇİRİMLİ BİRİM (AG-5) Periodit, gabro ve piroksenit ve bazik magmatik kayalar parçacıkları Biridime
				ÇAYRAZLI (FRIHULT)	Kh	150 m		AZ GEÇİRİMLİ BİRİM (AG-4) Çamurtaşı, radyolarit, gabro, çamurtaşı, melakumtaşı, serpentinli, kristalize kireçtaşı, Volkanik ve metamorf kayalar blokları ile ofiyolitik kayalar kırıntıları
		ERKEN		MİDÖS	K _m	400 m		AZ GEÇİRİMLİ BİRİM (AG-1) Gri, kırmızı pelajik kireçtaşı, çamurtaşı, radyolaritli, çört ara bantlı karbonatlar
PALEOZOYİK	JURA	ORTA - GEÇ TRIYAS		LORAS	T _j	700 m		GEÇİRİMLİ BİRİM (G-2) Gri renkli, orta-kalın tabakalı kristalize kireçtaşı ve içerisinde dolomit bantları. Uyumsuzluk
	ERKEN TRIYAS	SKİTTİYEN		KATARASI	T _k	100 - 150 m		GEÇİRİMLİ BİRİM (G-1) Sarı-gri-pembe renkli kristalize kireçtaşı ve dolomitler. Mor-gri-yeşil şeyl, mor renkli kumtaşı, sarı renkli oolitik kireçtaşı Uyumsuzluk
	PERMİYEN			ELDEŞ	Pe	250 m		AZ GEÇİRİMLİ BİRİM (AG-3) Dolomit, kumtaşı, silttaşı ve grafit şist içeren kireçtaşı, şeyl, kuvarsit Uyumsuzluk
	KARBONİFER			HALICI	Ch	500 m		AZ GEÇİRİMLİ BİRİM (AG-2) Yeşil-kahverengi boz renkli grovak, silttaşı, şeyl, çakıltası, çört. Kireçtaşı blokları ve volkanik kaya parçaları

Şekil 4.15. İnceleme alanındaki hidrojeolojik birimler

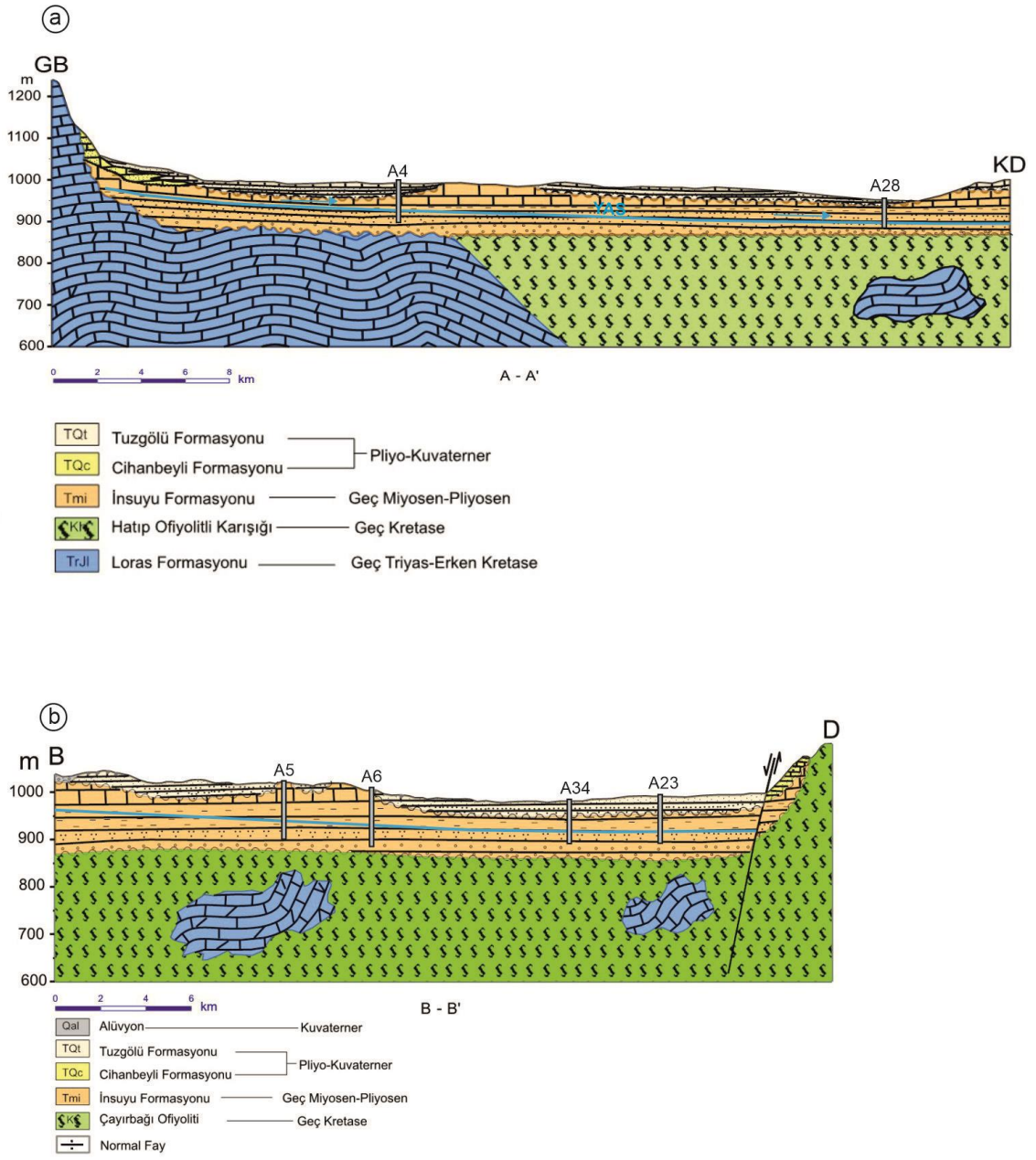
İnceleme alanında literatür (DSİ, 1973) ve kuyu verilerine dayalı olarak üç akifer tanımlanmıştır. Geç Kretase (Maestrihtiyen) yaşlı Hatip ofiyolitli karışığına ait

kireçtaşı blokları, çatlaklı ve kırıklı gablo ve serpantinitler derin akifer olarak belirlenmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen İnsuyu formasyonun kireçtaşı seviyeleri ana akiferi oluşturmaktadır. Birim içerisindeki kireçtaşları kalından inceye değişen yatay tabakalı, bol kırık, çatlak ve erime boşlukları içermektedir. Pliyo-Kuvaterner Cihanbeyli formasyonuna ait çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri geçirimli özellik gösterdiklerinden dolayı üçüncü akifer olarak değerlendirilmiştir.

İnceleme alanının en önemli akiferini oluşturan İnsuyu formasyonu yüzeyletiği alanlarda serbest, Pliyo-Kuvaterner birimlerinin kapladığı alanlarda basınçlı akifer özelliği göstermektedir. Birimin kalınlığı genel olarak 100-130 m arasında değişmekte (DSİ, 1973) olup Bolluk Gölü çevresinde yaklaşık 50 m' ye düşmektedir. Pliyo-Kuvaterner Cihanbeyli ve Tuzgölü formasyonlarının kalınlığı yaklaşık 15-60 m arasında değişmekte olup inceleme alanının güney ve orta kesimlerinde genellikle 30-50 m arasındadır. Kretase yaşlı ofiyolitler havza boyunca bu akiferlerin altında yer alır. İnceleme alanındaki içme, kullanma ve tarımsal su ihtiyaçları, büyük bir çoğunluğu İnsuyu formasyonundan ve az olarak Cihanbeyli-Tuzgölü formasyonlarının geçirimli birimlerinden sığ veya derin kuyularla sağlanmaktadır. Bölgede örnekleme yapılan kuyuların derinliği 8-280 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu derinliği ise 5-85 m arasında değişmektedir. Genel olarak yeraltısu akım yönü güneybatıdan çalışma alanının kuzeydoğusundaki Bolluk Gölü'ne doğrudur (Şekil 4. 16).



Şekil 4.16. İnceleme alanından alınan yeraltısularının lokasyonları



Şekil 4.17. Jeoloji Kesitleri a) A-A' ve b) B-B' jeoloji kesiti

4.5. HİDROJEOKİMYA

4.5.1. Yeraltısularının Fiziksel Özellikleri

İnceleme alanından derinliği 6-17 m arasında değişen 5 adet sığ sondaj kuyusu ve derinliği 25-280 m arasında değişen 35 adet derin sondaj kuyusu olmak üzere toplam 40 adet yeraltısuyunudan örnek alınmıştır (Şekil 4.16). Yeraltısuyu örneklerinin kurak (Ekim 2021) ve yağışlı (Mayıs 2022) dönemlere ait fizikokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2 ve 4.3’ de verilmiştir.

Yeraltısuyu örneklerinin kurak dönemde hidrojen iyon konsantrasyon (pH) değerleri 6,8-8 arasında olup ortalama 7,3’dür. Yağışlı dönemde ise pH değerleri 6,8-7,88 olup ortalama 7,25’dir. Örneklerin her iki dönemde de ortalama pH değerleri 7 den yüksek olup hafif alkali bir özellik göstermektedir (Şekil 4.18 a,b). Yağışlı dönemde su örneklerinin pH değerleri genellikle kurak dönemdekinden daha düşüktür, bu da yağışın az da olsa yeraltı suyu için bir yenileme kaynağı olduğunu göstermektedir. Yeraltısularının EC değerleri kurak dönemde 525-6450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte olup ortalama 1702 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Yağışlı dönemde ise 601-6422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte olup ortalama 1784 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’dir. Örneklerin toplam çözünmüş katılar (TDS) değerleri kurak dönemde 339-5096 mg/l arasında değişmekte olup ortalama değeri 1241 mg/l ve yağışlı dönemde 345-5054 mg/l arasında olup ortalama değeri 1249 mg/l’dir. Yeraltısularının EC ve TDS değerleri paralellik göstermekte olup her iki değerde de yağışlı dönemde az bir artış gözlenmiştir (Çizelge 4.2; 4.3). Daha yüksek EC ve TDS değeri muhtemelen çözünme reaksiyonlarının yağışlı dönemde arttığını, su-kayaç etkileşiminin çözünmüş tuzlara katkısının daha yüksek olduğunu göstermektedir (Wang ve Li, 2022). Ayrıca yeraltısuları buharlaşıpken veya su seviyesi düşerken killerin ara bölümlerinde veya gözeneklerinde kalan tuzlar yağışlı dönemde tekrar yeraltısuyuna süzülülerek EC ve TDS değerlerini yükseltirler (Sing ve ark., Rao ve ark. 2013; Bozdağ, 2016). Yağışlı ve tarımsal sulamanın yoğun olduğu dönemde inceleme alanındaki EC ve TDS değerlerinin biraz daha yüksek olması muhtemelen bölgedeki çözünme süreçlerinin artması ve toprak tuzlarının yeraltısularına süzülmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.2. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Ekim 2021)

Örnek No	Kuyu Derinliği	pH	T °C	EC µS/cm	TDS mg/l	TH mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
1	12	7,36	14,9	1048	717	540	31,89	4,71	162,77	32,49	426,30	43,80	121,29	64,02
2	92	7,8	15,5	525	339	249	18,41	0,56	79,26	12,50	226,99	12,00	38,40	41,12
3	40	7,3	17	3340	2414	1484	240,67	5,02	321,16	166,04	408,22	438,56	748,24	247,84
4	90	7,4	16,5	1470	987	712	72,95	5,45	172,52	68,46	499,75	125,55	213,65	28,34
5	140	7,06	15,4	1187	1071	668	45,67	4,62	172,00	58,12	516,00	69,78	190,30	13,64
6	110	7,33	15,1	1205	813	632	45,25	4,94	161,02	55,97	534,54	65,68	139,68	19,35
7	140	7,08	20,8	4320	2892	1132	601,88	19,12	190,63	159,81	783,50	664,80	779,44	4,65
8	250	7,89	20,5	1200	980	568	78,65	13,67	126,95	61,23	308,15	146,00	188,00	79,65
9	50	7,04	15,1	1461	968	680	49,15	6,19	152,62	72,83	331,95	127,89	130,40	229,13
10	17	7,81	15,5	1722	1138	654	136,83	0,44	98,08	99,78	269,71	193,56	343,39	101,97
11	240	7,78	18	814	486	319	41,54	1,60	64,39	38,52	199,54	57,11	92,99	69,90
12	8	7,5	17	1488	962	618	80,97	14,38	138,25	66,44	344,15	157,26	207,98	89,18
13	11	7,5	16,3	1077	690	389	31,54	5,31	108,00	29,00	268,00	45,60	66,12	134,30
14	80	7,88	14,8	761	489	339	26,33	5,03	90,66	27,52	212,96	44,18	64,30	102,25
15	40	7,46	15	1280	1082	684	45,77	4,79	162,00	68,00	490,00	138,00	117,00	53,70
16	100	8	15,5	1264	820	528	73,99	2,35	121,34	54,78	226,99	73,34	220,83	136,09
17	25	7,1	14,6	1457	949	711	52,59	5,27	166,00	72,14	532,70	149,68	128,28	55,11
18	80	7,26	16,5	1194	841	663	45,11	6,00	164,39	61,41	563,82	61,22	130,65	32,74
19	100	7,23	16,4	1261	1060	650	46,38	5,71	162,00	59,80	573,00	62,30	131,10	18,79
20	120	7,15	15	1284	850	682	45,18	7,53	117,95	94,48	691,97	50,84	104,64	13,26
21	68	7,15	18,5	1268	864	665	40,85	4,48	173,08	56,72	559,55	66,57	116,35	69,90

Çizelge 4.2. (devamı) İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Ekim 2021)

Örnek No	Kuyu Derinliği	pH	T (°C)	EC $\mu\text{S/cm}$	TDS mg/l	TH mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
22	100	7,17	19	1233	1064	659	40,80	4,45	172,00	55,90	550,00	65,74	111,50	62,00
23	90	7,17	17,7	1160	805	625	38,07	4,34	160,84	54,37	572,98	52,52	115,42	35,40
24	280	7,2	20	1180	799	644	35,44	4,59	166,21	55,69	624,84	48,16	103,70	9,85
25	60	7,35	14,5	1265	842	636	49,12	8,03	148,27	64,63	605,93	63,63	131,87	12,12
26	60	7,2	15,1	1250	624	666	38,90	3,56	162,00	63,78	612,00	59,87	91,37	24,56
27	80	7,62	17,8	682	486	281	28,67	1,69	76,94	21,57	234,00	42,10	50,80	28,97
28	76	6,75	13,3	4950	3747	2002	502,53	33,24	326,00	289,62	626,68	671,05	1530,78	52,60
29	60	7,34	15,5	4840	3762	1953	414,93	1,83	368,50	251,73	193,43	474,09	1163,15	970,80
30	6	7,31	15,2	724	473	361	11,32	12,14	86,67	35,11	311,20	23,46	26,15	91,17
31	250	7,44	13,8	6450	5096	3104	527,39	13,37	470,63	470,13	385,04	990,72	2377,09	13,78
32	85	7,63	17	1308	1077	670	46,38	4,76	170,00	59,80	570,00	69,34	140,10	15,68
33	200	7,31	15,5	1305	1061	650	45,37	4,87	165,00	57,90	569,00	66,10	140,20	11,37
34	80	7,26	15,5	1274	843	659	48,31	4,99	165,78	59,62	561,38	73,37	139,65	23,90
35	200	7,21	15,3	1317	1137	696	50,64	4,79	177,00	61,80	534,00	73,50	223,10	11,98
36	186	7,27	16,2	1533	1170	707	57,68	4,97	179,00	63,20	549,00	74,12	228,40	13,41
37	200	7,33	16	1352	924	696	54,16	4,88	176,04	62,54	530,87	73,91	220,73	12,49
38	110	7,28	15,4	1185	1068	649	40,35	3,68	165,00	57,60	526,00	64,35	197,00	13,25
39	50	6,89	17,5	1972	1428	903	62,90	6,21	130,00	141,00	553,00	141,00	294,00	98,00
40	46	6,9	14,2	1834	1282	786	61,70	4,79	122,00	117,40	490,00	136,00	261,00	87,00

Çizelge 4.3. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Mayıs 2022)

Örnek No	Kuyu Derinliği	pH	T (°C)	EC μ S/cm	TDS mg/l	TH mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
1	12	7,14	14,5	1090	728	547,66	27,51	5,77	169,34	30,32	336,83	46,80	109,72	135,82
2	92	7,6	15	601	345	258,19	18,90	0,48	81,30	13,40	230,47	13,87	36,94	44,75
3	40	7,37	16,8	3480	2524	1634,39	225,59	4,21	355,96	181,59	378,93	499,28	739,30	289,23
4	90	7,04	16	1588	1072	760,86	80,77	4,62	192,04	68,48	423,48	125,98	273,47	71,96
5	140	7,06	15	1249	1070,8	692,29	44,80	3,87	175,50	61,84	500,00	68,70	191,10	20,30
6	110	7,02	15	1261	817	660,06	45,26	3,99	170,38	57,10	520,05	67,68	142,87	27,94
7	140	7	19	4389	3021	1147,70	617,80	20,87	193,40	162,00	815,00	669,80	791,00	5,23
8	250	7,4	19,2	1186	1010	577,13	79,02	13,90	128,40	62,47	320,00	146,80	189,00	81,35
9	50	7,24	15	1505	974	722,36	48,76	5,73	163,86	76,27	312,42	129,09	129,28	232,90
10	17	7,81	15,1	1985	1204	665,00	142,60	0,51	102,00	100,00	271,20	198,31	350,21	121,30
11	240	7,65	17,2	847	491	341,06	41,90	1,20	68,20	41,60	202,56	58,64	91,68	84,69
12	8	7,23	16,7	2083	1370	923,11	105,81	19,03	207,49	98,63	358,19	246,91	301,76	174,39
13	11	7,5	16	1178	745	565,78	38,31	1,85	135,30	55,49	295,34	83,97	80,67	198,64
14	80	7,88	14,2	1057	672	382,01	27,68	6,22	99,65	32,41	248,00	46,31	65,23	138,45
15	40	7,68	14,5	2016	1429	507,82	35,99	311,94	109,84	56,88	265,44	96,91	159,53	497,20
16	100	7,79	15	1284	825	533,78	74,00	2,47	122,00	55,80	231,54	74,21	221,63	154,00
17	25	7	14,1	1521	1021	728,65	60,20	5,40	170,10	74,00	521,30	160,30	130,20	84,60
18	80	7,26	15,9	1207	840,61	682,87	48,30	5,89	168,40	63,87	549,50	78,60	131,35	68,97
19	100	7,07	16	1300	831	676,76	47,01	4,01	171,68	60,38	541,00	79,68	135,66	41,23
20	120	7,1	14,6	1300	876	686,01	47,20	8,12	118,26	95,21	692,58	52,57	106,40	16,79
21	68	7,15	17,9	1305	864,22	712,58	40,85	4,28	183,40	61,97	606,57	59,21	121,38	58,97

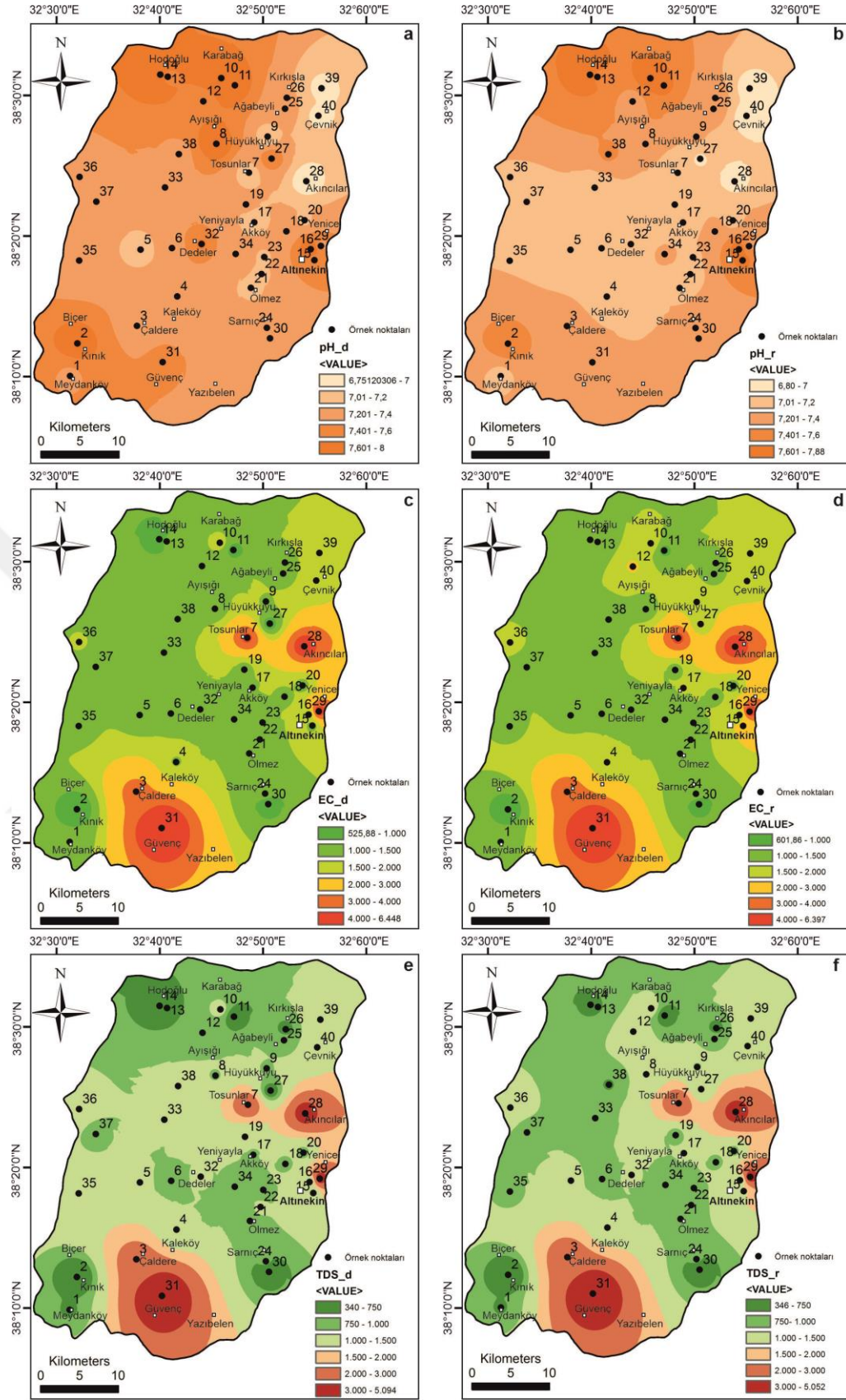
Çizelge 4.3. (devamı) İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçları (Mayıs 2022)

Örnek No	Kuyu Derinliği	pH	T (°C)	EC μ S/cm	TDS mg/l	TH mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l
22	100	7,08	18,7	1290	847	701,11	39,45	4,36	181,34	60,43	599,83	57,03	113,45	30,05
23	90	7,17	17,5	1211	812	649,17	37,64	4,12	167,50	56,20	589,36	53,10	117,40	38,67
24	280	7,3	19,8	1191	802	652,16	36,21	4,49	168,50	56,32	625,94	49,10	102,50	10,20
25	60	7,35	14,1	1315	874	641,99	50,20	8,17	150,03	65,10	604,70	65,04	133,84	24,60
26	60	7,35	15	1258	625	675,31	37,80	3,12	165,00	64,10	617,00	60,00	92,10	26,00
27	80	6,97	17,6	1444	1000	751,00	58,64	5,83	175,00	58,67	467,00	153,00	151,64	44,37
28	76	6,9	13	4987	3750	2010,60	505,10	34,97	327,00	291,00	628,45	674,12	1541,78	55,12
29	60	7,34	15,1	4860	3781	1962,99	415,66	2,08	368,90	253,84	194,32	477,04	1165,30	981,20
30	6	7,31	15,3	750	489	369,26	11,79	12,40	88,50	36,10	316,70	24,50	27,83	99,84
31	250	7,3	13,6	6422	5054	3089,74	526,98	13,60	468,90	467,68	384,90	991,67	2380,12	12,96
32	85	7	16,7	1308	1076,8	687,72	47,98	3,92	175,00	61,03	567,00	93,87	153,17	21,67
33	200	7,08	15,2	1323	846	663,29	50,99	4,12	167,90	59,40	515,00	98,60	142,40	15,84
34	80	7,26	15,1	1300	860	671,79	49,50	5,00	168,30	61,23	557,90	75,12	142,89	38,96
35	200	7,2	15	1390	900	690,07	65,88	6,38	140,86	82,42	500,36	91,24	216,30	15,91
36	186	7,2	15,7	1587	1192	720,81	58,31	5,20	181,20	65,32	554,00	77,20	241,67	14,32
37	200	7,08	16	1391	924,23	733,50	54,95	4,50	186,36	65,27	489,38	74,38	232,07	12,24
38	110	7,43	15,2	1170	722,74	497,33	71,01	5,35	99,36	60,72	376,49	102,92	134,30	22,09
39	50	6,85	17,3	1960	1405	903,57	59,71	5,67	130,40	140,87	548,00	138,60	290,00	100,00
40	46	6,8	14	1789	1270	774,56	60,58	4,20	120,73	115,30	473,68	129,67	247,68	94,60

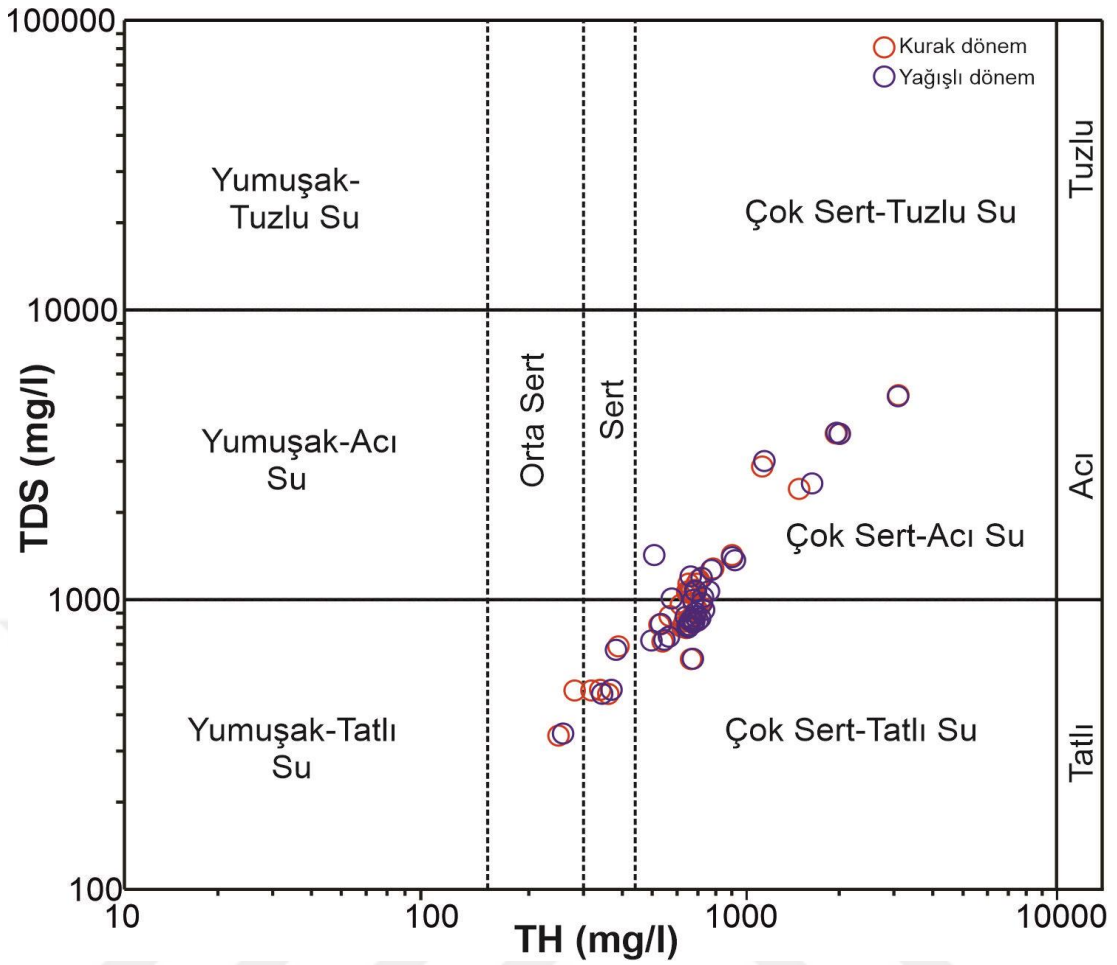
Sudaki TDS konsantrasyonları, minerallerin çözünürlüğündeki tutarsızlıklar nedeniyle farklı jeolojik bölgelerde önemli ölçüde değişir. Yüksek TDS genellikle daha güçlü veya daha uzun su-kaya etkileşimini, minerallerin ve çözünür tuzların çözünmesi gibi doğal kaynakların yanı sıra kanalizasyon, kentsel akış ve endüstriyel atık su, sulama dönüş akışı ve gübre uygulamaları gibi insan faaliyetleri ve yeraltısuyunun buharlaşmasından da etkilenebilir (Wu ve ark., 2015; WHO, 2017; Bozdağ 2021; Wang ve Li 2022). Her iki dönemde de A3, A7, A28, A29 ve A31 nolu örneklerin EC ve TDS değerleri diğer tüm örneklerle karşılaştırıldığında daha yüksek değerler göstermekte olup bu durum bölgesel olarak evaporitik minerallerin çözünümü olarak yorumlanabilir (Şekil 4.18 c-f). TH ise öncelikle sudaki kalsiyum ve magnezyum iyon konsantrasyonlarının miktarına bağlıdır. İnceleme alanındaki yeraltısularının TH değerleri kurak dönemde 249 ile 3104 mg/l arasında; yağışlı dönemde ise 258 ile 3090 mg/l arasında değişmektedir. TDS ve TH konsantrasyonları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramda (Freeze ve Cherry 1979; Peiyue vd. 2011; Gao vd. 2019), inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinden kurak dönemde A2 ve A27 nolu örnekler, yağışlı dönemde sadece A2 nolu örnek “Orta Sert-Tatlı Su” sınıfındadır. Kurak dönemde A11, A13, A14 ve A30 nolu örnekler, yağışlı dönemde ise A11, A14 ve A30 nolu örnekler “Sert-Tatlı Su” sınıfında çıkmıştır. Örneklerin kurak dönemde %42,5’i ve yağışlı dönemde %47,5’i “Çok Sert-Tatlı Su” sınıfında ve her iki dönemde de %42,5’i “Çok Sert-Acı Su” sınıfında çıkmıştır (Şekil 4.19).

4.5.2. Yeraltısularının Ana İyon Kimyası

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin kurak dönemde major katyonlardan Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} ve K^{+} konsantrasyonları sırasıyla 64,4-471 mg/l (ortalama 167 mg/l), 12,5-470 mg/l (ortalama 87,9 mg/l), 11,32-601,9 mg/l (ortalama 101,9 mg/l) ve 0,49-26,17 mg/l (ortalama 6,5 mg/l)’dir (Şekil 4.20 a, c, e, g). Yağışlı dönemde ise Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} ve K^{+} konsantrasyonları sırasıyla 68,2-469 mg/l (ortalama 173 mg/l), 13,4-468 mg/l (ortalama 90,8 mg/l), 11,79-617,8 mg/l (ortalama 103,4 mg/l) ve 0,48-311,9 mg/l (ortalama 14,3 mg/l)’dir (Şekil 4.20 b, d, f, h).



Şekil 4.18. İnceleme alanındaki yersularına ait pH, EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve TDS (mg/l) dağılım haritaları (a, c, e: Ekim 2021; b, d, f: Mayıs 2022)



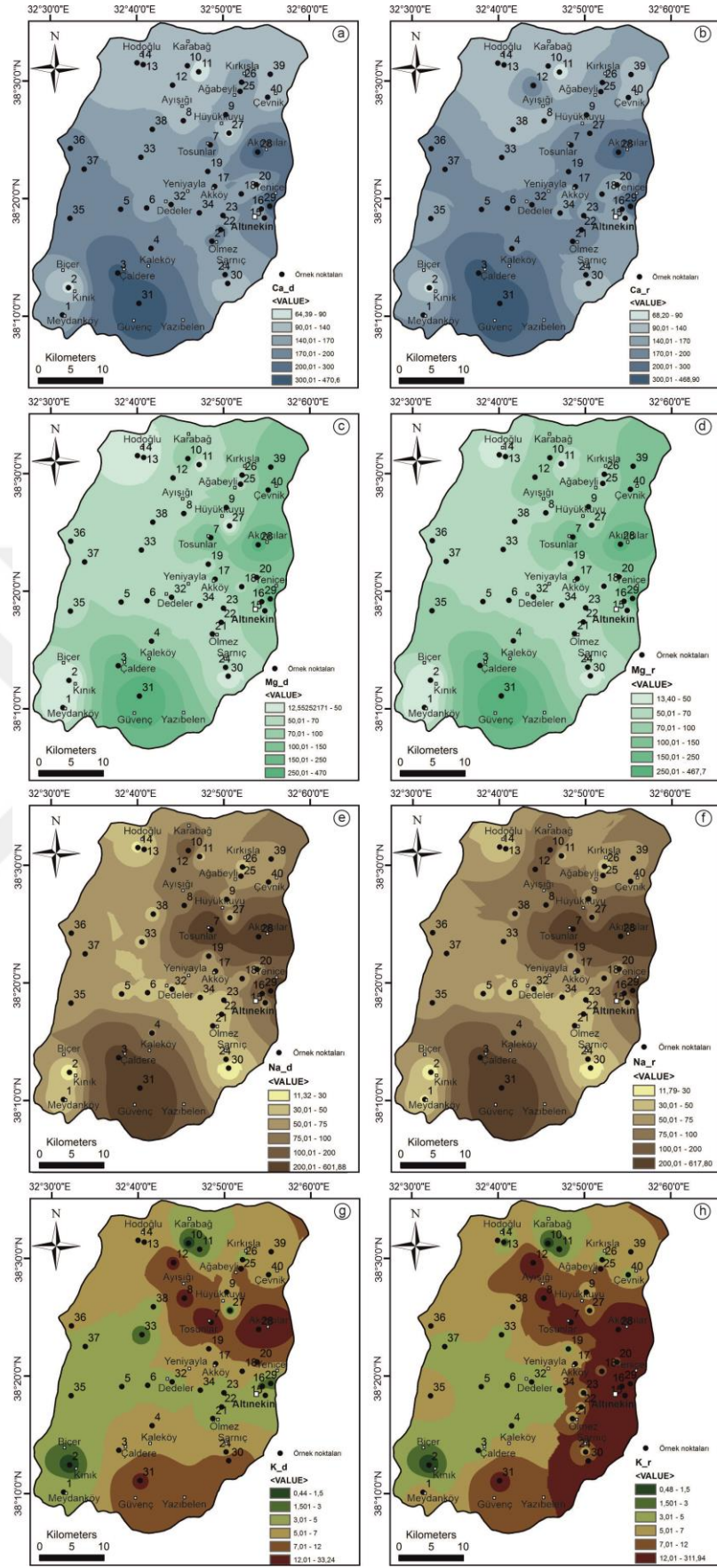
Şekil 4.19. Yeraltısuyu örneklerine ait TDS-TH konsantrasyonları arasındaki ilişki

Yeraltısuyu örneklerinin kurak dönemde major anyonlardan HCO_3 , Cl , SO_4 ve NO_3 konsantrasyonları sırasıyla 193-783 mg/l (ortalama 465 mg/l), 12-990,7 mg/l (ortalama 154,2 mg/l), 26,15-2377 mg/l (ortalama 300 mg/l) ve 4,65-970,8 mg/l (ortalama 79,48 mg/l)'dir (Şekil 4.21a, c, e, g). Yağışlı dönemde ise HCO_3 , Cl , SO_4 ve NO_3 konsantrasyonları sırasıyla 194-815 mg/l (ortalama 456 mg/l), 13,87-991,7 mg/l (ortalama 162,2 mg/l), 27,83-2380 mg/l (ortalama 303,1 mg/l) ve 5,23-981,2 mg/l (ortalama 105,2 mg/l)'dir (Şekil 4.21b, d, f, h).

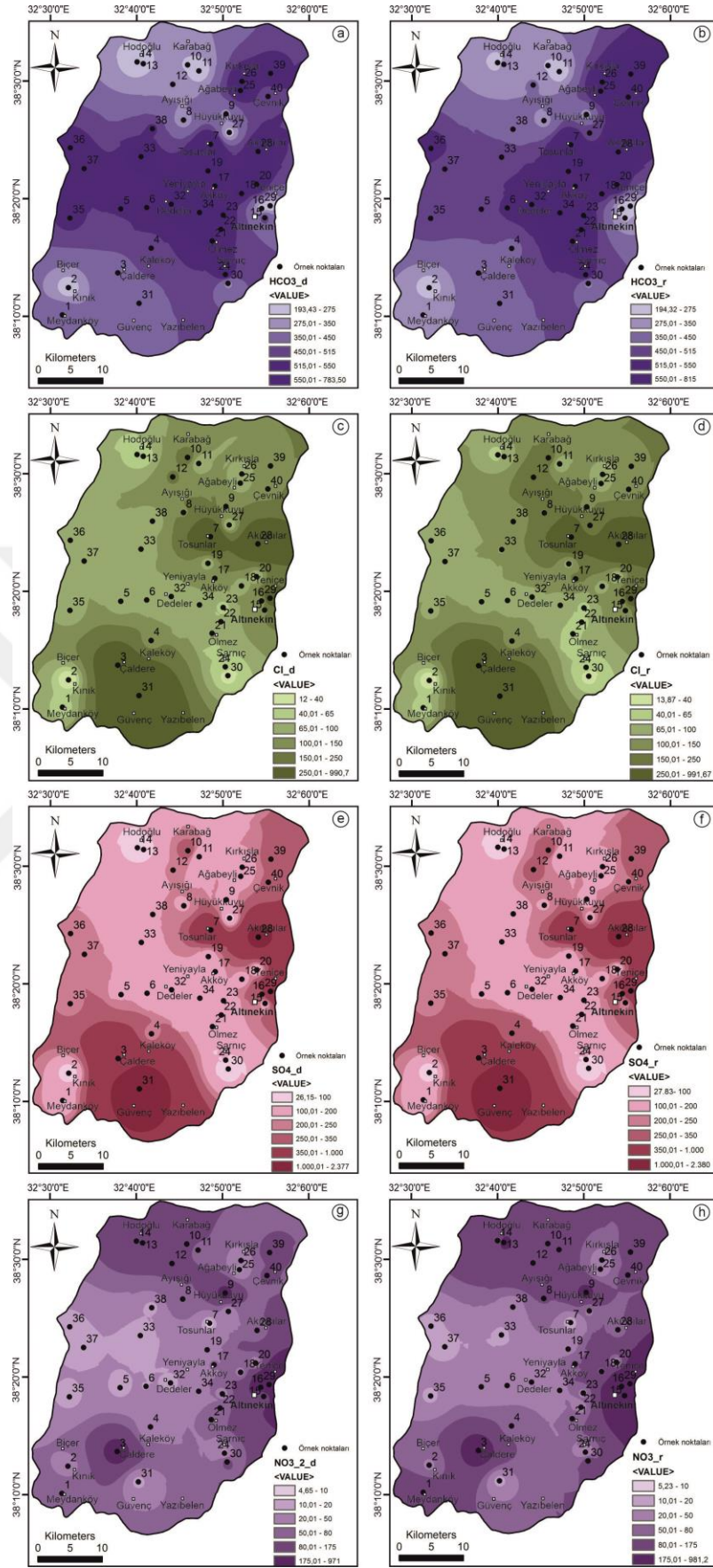
Her iki dönemde de iyon konsantrasyonları arasında çok fazla bir farklılık olmamasına rağmen yağışlı dönemde ortalama değerlerinde az bir artış çözünme süreçlerindeki artışı işaret etmektedir. Fakat A15 numaralı yeraltısuyu örneğinin K ve NO_3 konsantrasyonlarında yağışlı dönemde anormal bir artış gözlenmiştir. Atıksular, sulama-dönüş-akışları, hayvansal atıklar ve potasyumlu gübreler K iyonunun önemli kaynaklarıdır (Subba Rao ve ark., 2013; Deepali ve ark., 2020). Aynı zamanda sulama-

dönüş-akışları ve hayvansal atıklar NO_3 konsantrasyonunu da arttırır. Altınekin İlçe merkezinde bulunan A15 nolu örneğin kuyu derinliği 40m olup özellikle yağışlı dönemde K ve NO_3 konsantrasyonunun çok yüksek seviyelere çıkması bu kuyu çevresindeki kirleticilerin (evsel atıksu ve kuyuya yakın bölgede biriktirilen hayvansal atıkların) yağışlarla yeraltısuyuna sızmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İyon dağılım haritaları incelendiğinde özellikle A3, A7, A28, A29 ve A31 nolu örneklerde her iki dönemde de Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 iyonlarının diğer örneklerle göre çok daha yüksek konsantrasyonlara ulaştığı gözlenmektedir (Şekil 4.20; 4.21). Bu örnekler inceleme alanında spesifik lokasyonlarda dağılmış olup örneklerdeki iyon artışının bölgesel evaporitik mineral (halit, jips, anhidrit) çözünmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bölüm 4.1. de açıklandığı gibi İnsuyu ve Tuzgölü formasyonları heterojen olarak yanal ve düşey yönde jips minerali içermektedir. İnceleme alanı aynı zamanda Tuz Gölü'ne yakın yakın olup NaSO_4 ve NaCl üretimi yapılan Bolluk Gölü de havza içerisinde bulunmaktadır. Alan çevresinde yapılan önceki çalışmalarda (DSİ, 1971; 1973; Bozdağ, 2010; Bozdağ ve Göçmez, 2013; Bozdağ ve Göçmez, 2016) bölgesel tuz domlarının varlığından bahsedilmiş, hatta bazı alanlarda yeraltı tuz üretimi yapıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle inceleme alanındaki bölgesel Na ve Cl iyon konsantrasyonlarının yüksek seviyelerde olması bu lokasyonlarda tuz birikimlerinin olduğuna işaret etmektedir.

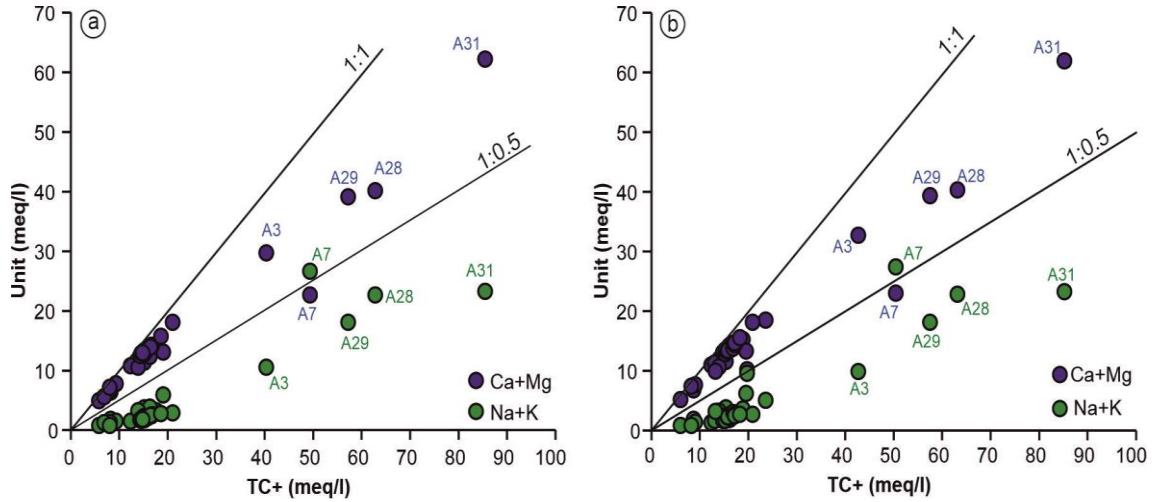
İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin iyon sıralanışı her iki dönemde de $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$ ve $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{NO}_3$ şeklindedir. Yeraltısuyu örneklerinde hâkim katyon kalsiyum, hâkim anyon ise bikarbonat olup bu sonuç bölgedeki karbonatlı kayaçların çözünümünü yansıtır. Ayrıca örneklerin toplam katyon konsantrasyonlarına (TC^+) katkı oranları Şekil 4.22'de görüldüğü gibi A7 nolu örnek hariç $\text{Ca}+\text{Mg}$ konsantrasyonları $\text{Na}+\text{K}$ konsantrasyonlarından çok daha yüksek değerlere sahip olup $\text{Ca}+\text{Mg}$ konsantrasyonları yaklaşık 1:1 çizgisi boyunca düşmüştür. Fakat A3, A28, A29 ve A31 nolu örneklerinde $\text{Na}+\text{K}$ konsantrasyonlarının da toplam katyonlara katkısının yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4.20. İnceleme alanındaki yeraltısularına ait Ca, Mg, Na ve K (mg/l) iyonlarının dağılım haritaları (a, c, e, g: Ekim 2021; b, d, f, h: Mayıs 2022)



Şekil 4.21. İnceleme alanındaki yeraltısularına ait HCO_3 , Cl , SO_4 ve NO_3 (mg/l) iyonlarının dağılım haritaları (a, c, e: Ekim 2021; b, d, f: Mayıs 2022)

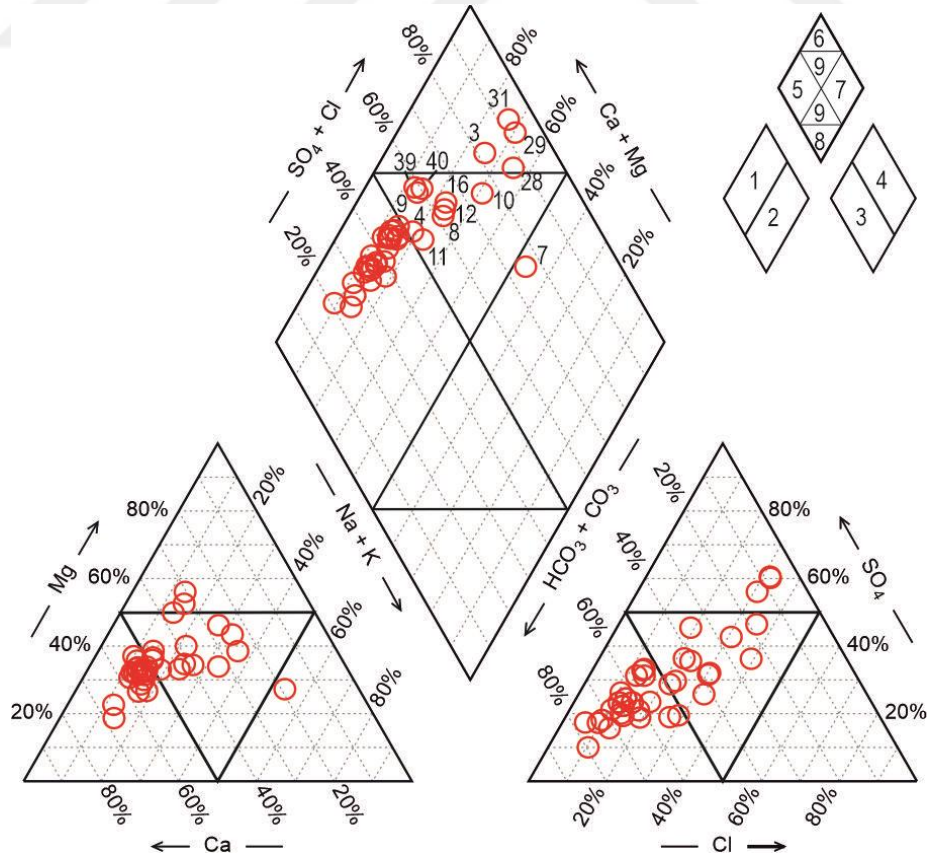


Şekil 4.22. Toplam katyonlar (TC⁺)- Ca+Mg ve Na+K konsantrasyonları arasındaki ilişki a) Ekim 2021, b) Mayıs 2022

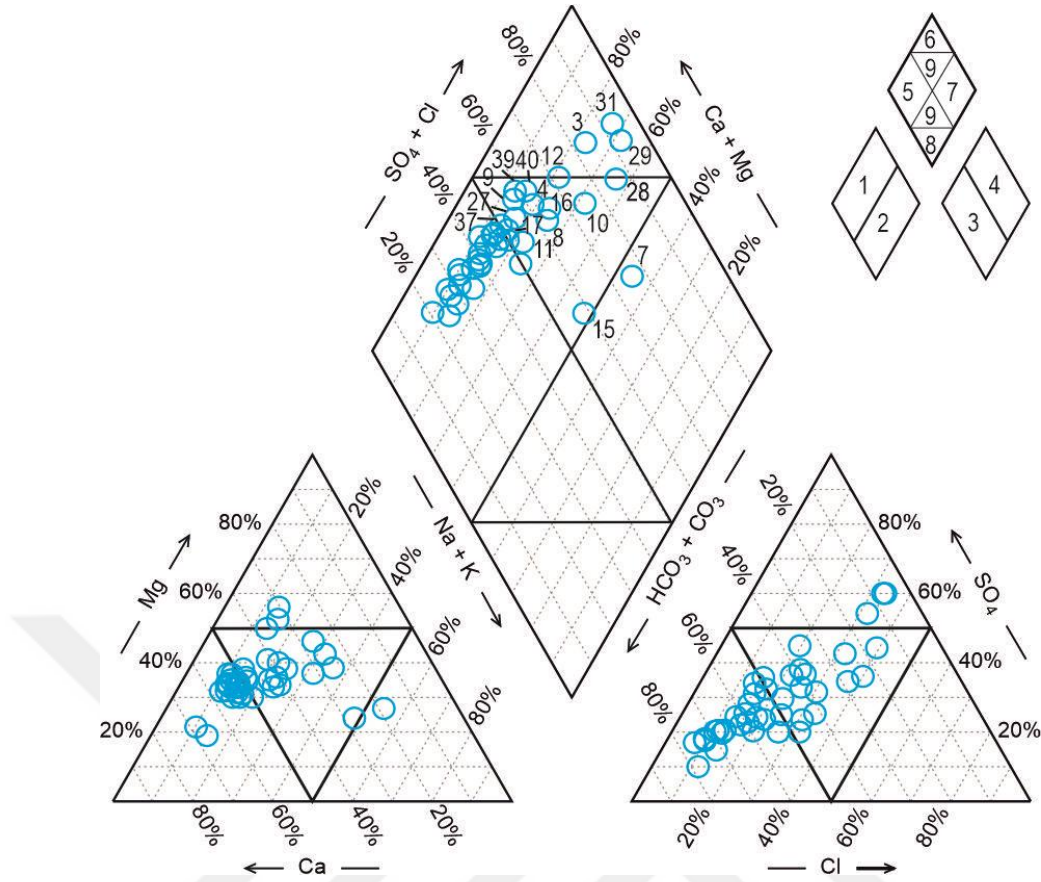
4.5.2.1. Yeraltı Suyunun Hidrokimyasal Sınıflandırması

İnceleme alanındaki yeraltısularının hidrokimyasal su tiplerini belirleyebilmek için majör iyonların konsantrasyonu, Piper diyagramı (Piper, 1944) üzerinde gösterilmiştir. Şekil 4.23 ve şekil 4.24’de verilen Piper diyagramına göre her iki dönemde de A7 numaralı örnek hariç tüm örnekler 1. bölgeye düşmüş olup bu tip sular; alkali toprak elementlerin (Ca+Mg) toplamı, alkali elementlerin (Na+K) toplamından daha fazla olan sulardır. Kurak dönemde örneklerin %65’i ve yağışlı dönemde %55’i 3. bölgeye düşmüş olup bu tip sular; zayıf asitlerin ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$) toplamı, güçlü asitlerin ($\text{SO}_4 + \text{Cl}$) toplamından daha fazla olan sulardır. Kurak dönemde yeraltısuyu örneklerinin %65’i 5. bölgeye düşmüş olup Ca-Mg- HCO_3 su tipine sahipken %22,5’i (A4, A8-A12, A16, A39 ve A40) 9. bölgeye düşmüş olup “karışık sular” (Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 , Mg-Ca- SO_4 - HCO_3 , Ca-Mg-Na- SO_4 - HCO_3 , Ca-Mg-Na- SO_4 , Ca-Mg- HCO_3 -Cl, Mg-Na-Ca- SO_4 -Cl) sınıfındadır. A3, A28, A29 ve A31 nolu örnekler Piper diyagramında 6. bölgeye düşmüş olup bu tip sularda hakim anyon SO_4 ’dır ve bu bölgedeki örnekler Ca-Mg-(Na)- SO_4 su tipine sahiptir. Yalnızca A7 nolu örnek 7. bölgeye düşmüş olup Na-(Mg)-Cl su tipine sahiptir (Şekil 4.23). Yağışlı dönemde yeraltısuyu örneklerinin %55’i 5. bölgeye düşmüş olup Ca-Mg- HCO_3 su tipine sahipken %35’i (A4, A8-A12, A15-A17, A27, A28, A37, A39 ve A40) 9. bölgeye düşmüş olup bu tip sular “karışık sular” sınıfındadır. A3, A29 ve A31 nolu örnekler 6. bölgeye düşmüş olup Ca-Mg-(Na)- SO_4 su tipine sahiptir. A7 nolu örnek yağışlı dönemde de 7. bölgeye düşmüş olup Na-(Mg)-Cl su tipine sahiptir (Şekil 4.24).

Genel olarak yeraltısuyu örneklerinin majör iyon kimyasında kurak ve yağışlı dönem arasında çok önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Fakat A17, A27 ve A37 nolu örnekler kurak dönemde Ca-Mg-HCO₃ su tipinden yağışlı dönemde karışık bileşimli sular tipine geçmiştir. Major iyon kimyaları incelendiğinde yağışlı dönemde A17 nolu örnekte Cl konsantrasyonunun, A27 ve A37 nolu örneklerde ise SO₄ konsantrasyonlarının arttığı gözlenmiştir. İki dönem arasında sadece A15 nolu örneğin majör iyon kimyasında belirgin bir fark olduğu gözlenmiştir. Kurak dönemde Ca-Mg-HCO₃ su tipine sahip olan bu örnek, yağışlı dönemde K-Ca-Mg-NO₃-HCO₃ su tipinde olduğu belirlenmiştir. Genel olarak örneklerin çoğunluğu, çalışma alanında yaygın olan kireçtaşı, kristalize kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşı gibi karbonatlı kayaçların çözünmesini ve/veya ayrışmasını gösteren Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir. Bununla birlikte, belirli örneklerde gözlenen HCO₃-SO₄ su tipinden, SO₄-HCO₃ ve SO₄ su tipine bir eğilim, esas olarak akiferlerde jips ve anhidrit gibi evaporitik minerallerin çözünmesinin bir sonucudur. Ayrıca, A7 nolu örneğin Cl tipi su olması birincil olarak halit mineralinin bölgesel olarak çözünmesinin ve bununla birlikte sulama dönüş akışı sırasında toprak tuzlarının yeraltısuyuna sızmasının bir sonucu olabilir.



Şekil 4.23. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinin Piper diyagramı (Ekim 2021)



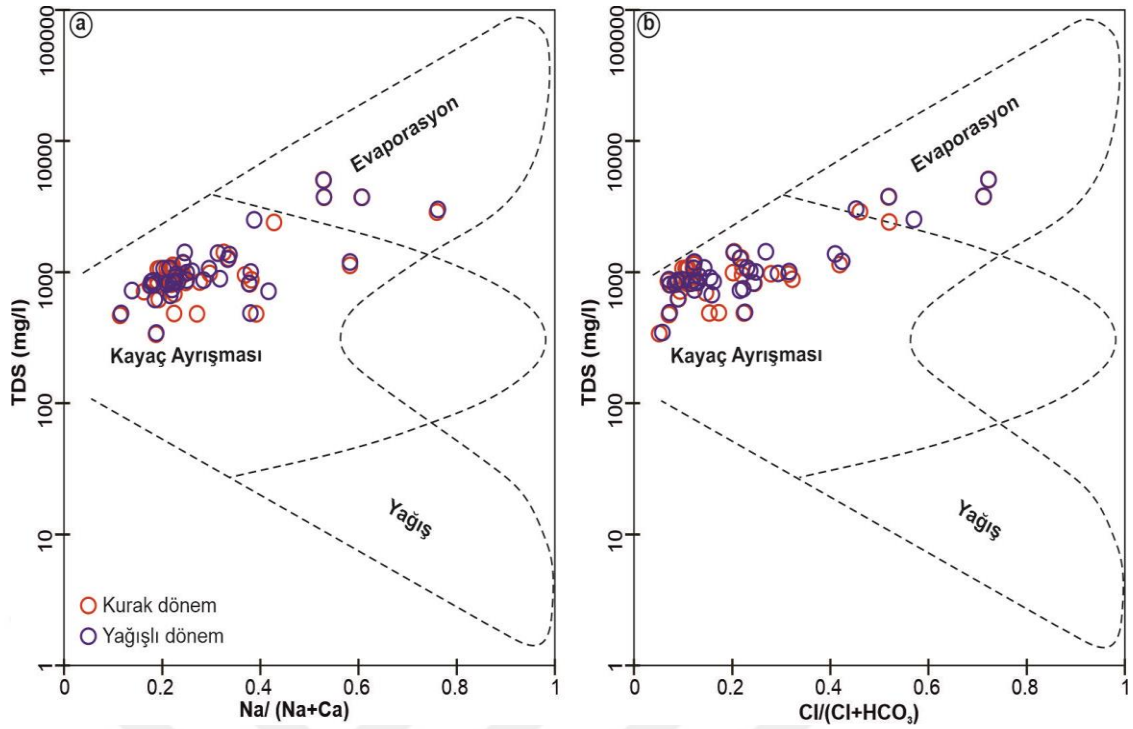
Şekil 4.24. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örneklerinin Piper diyagramı (Mayıs 2022)

4.5.2.2. Yeraltısuyu Kimyasını Kontrol Eden Faktörler

1. Doğal Faktörler

Bir bölgedeki yeraltısuyu kimyasını etkileyen veya kontrol eden doğal süreçleri/mekanizmaları belirlemek için Gibbs (1970) tarafından önerilen ve atmosferik yağış, kayaç ayrışması ve buharlaşma-kristalleşme olarak üç ana mekanizmayı/süreci temsil eden Gibbs' diyagramları yaygın olarak kullanılmaktadır (Bozdağ, 2010; Chakraborty ve ark., 2022; Guo ve ark., 2023).

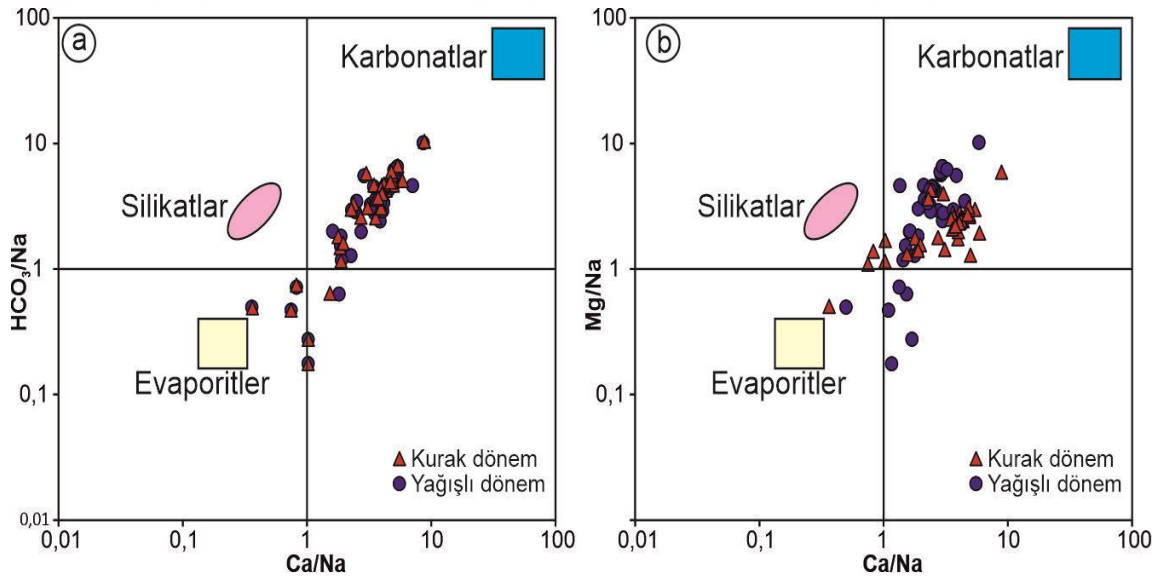
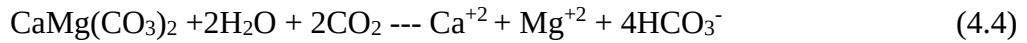
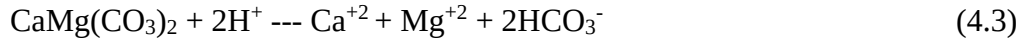
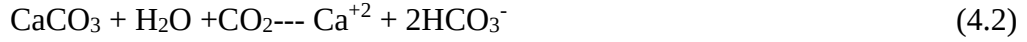
İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Gibbs diyagramlarında dağılımı Şekil 4.25'de görülmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin her iki dönemde de geneli kayaç baskın bölgeye düşmüş olup bu durum yeraltısuyunun kimyasını etkileyen ana mekanizmanın, kayaların ve minerallerin ayrışması ve/veya çözünmesi olduğunu gösterir. Aynı zamanda dört yeraltısuyu örneği (Örnek No: A3, A7, A28 ve A31) buharlaşma-kristalleşme hakim bölgeye düşmüş olup bu durum örneklerin kimyasında buharlaşmanın da etkisini yansıtmaktadır.



Şekil 4.25. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Gibbs Diyagramındaki dağılımı a) TDS- $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$, b) TDS- $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$

Yeraltısuyunun ana iyon kimyasını etkileyen kaynak kayaçların (karbonatlar, silikatlar, evaporitler) rolü Ca/Na , Mg/Na ve HCO_3/Na mol oranlarıyla değerlendirilebilir (Gaillardet ve ark., 1999; Liu ve ark., 2023). Şekil 4.26'da görüleceği gibi örnekler karbonat hâkim zon ve evaporit hâkim zona düşmekte olup bu durum karbonat çözünümünün/ayrışmasının yanında evaporit çözünümünün yeraltısuyunun majör kimyasında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Fakat kurak dönemde birkaç örnek silikatlar ve karbonatların çözünme uç üyeleri arasındaki geçiş alanı düşmüş olup yeraltısularında Mg iyonunu sağlayan mekanizmalarda karbonatların yanında silikatlarında katkısı olabileceğini yansıtmaktadır. Karbonat minerallerinin (kalsit, dolomit vb) çözünümünün (Eq.4.1-Eq.4.4) yeraltısuyu kimyasına katkısını değerlendirmek için genellikle $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ ve $\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3$ oranları kullanılmaktadır (Edmunds ve ark., 1982). Yeraltısuyu örnekleri 1:1 ve 1:0.5 doğrusunda veya arasında ise karbonat minerallerinin katkısını gösterir. Şekil 4.27 a ve b'de her iki dönem de de yeraltısuyu örnekleri 1:1 doğrusu boyunca veya arasında lineer bir yayılım ($R^2: 0.68$; $R^2:0.73$) göstermekte olup karbonatlı kayaçların çözünümü/ayrışmasının yeraltısuyu kimyasındaki Ca , Mg ve HCO_3 sağlayan ana süreçlerden biri olduğunu göstermektedir. Fakat Ca ve Mg iyonlarının HCO_3 'e karşı daha fazla oranları bu iyonları sağlayan

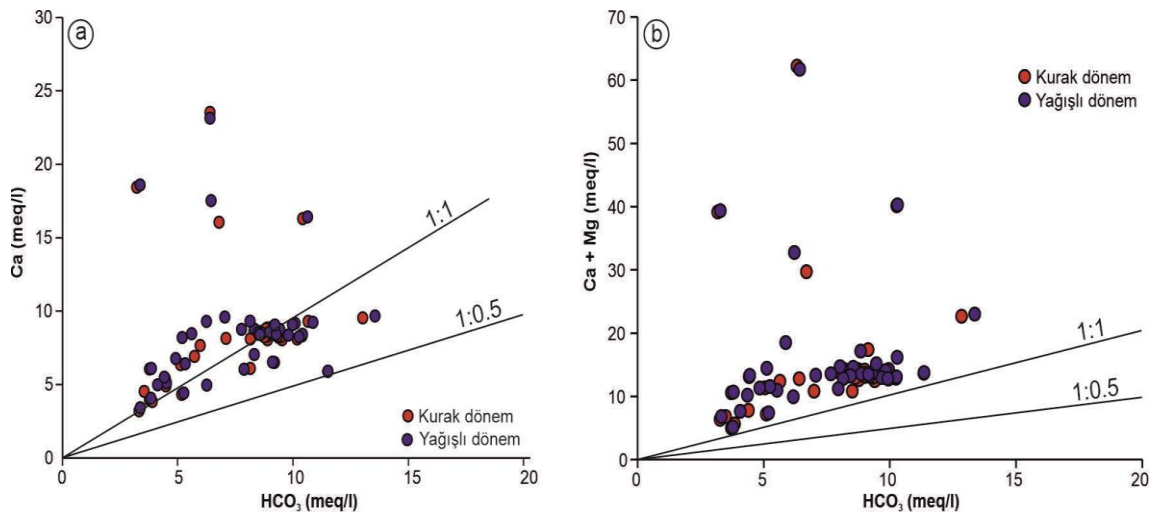
karbonat çözünümünün yanında başka mekanizma/süreçlerin (iyon değişimi, evaporit çözünümü veya silikat ayrışması) olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 4.26. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait a) Ca/Na-HCO₃/Na ve b) Ca/Na-Mg/Na diyagramı

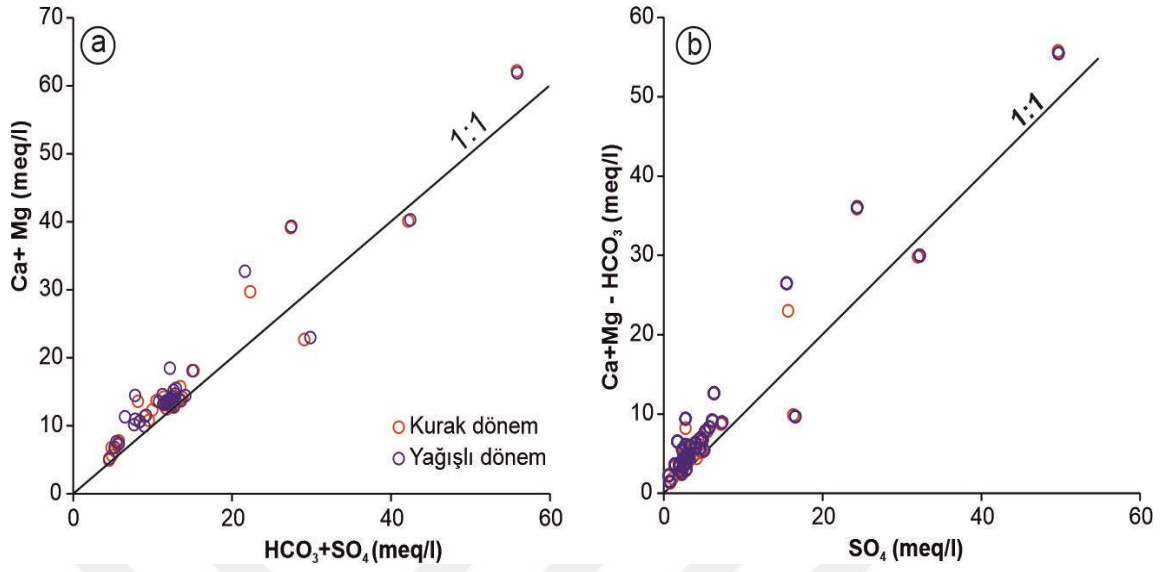
Karbonat ayrışmasının ve sülfat minerallerinin çözünümünün yeraltısuyu kimyasına katkısını değerlendirmek için ayrıca Ca+Mg ile HCO₃+SO₄ arasındaki ilişki kullanılmıştır (Şekil 4.28a). İnceleme alanındaki yeraltısuyu örnekleri her iki dönemde de 1:1 denge çizgisi boyunca ve/veya yakınında düşmüş olup karbonat ve sülfat minerallerinin (kalsit, dolomit, jips, anhidrit) yeraltısularındaki bu iyonların en önemli kaynağı olduğunu doğrulamaktadır. Fakat örneklerin (Ca+Mg)'un (HCO₃+SO₄)'dan biraz daha yüksek konsantrasyonları kalsiyum ve magnezyumun karbonat ayrışması ve sülfat minerallerinin çözünümünün yanında ters iyon değişim reaksiyonları ve/veya silikat ayrışması gibi diğer süreçlerden türemiş olabileceğini düşündürmektedir.

(Edmunds ve ark., 1982; Bozdağ 2016; Guo ve ark., 2023). Ayrıca inceleme alanındaki yeraltısularının kimyasına jips çözünümünün katkısını aydınlatmak ve doğrulamak için yeraltısuyu örneklerinin $\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3$ oranı ile SO_4 konsantrasyonları arasındaki ilişki belirlendi (Şekil 4.28b). Açıkça görülmektedir ki yeraltısuyu örnekleri hem kurak hem de yağışlı dönemde çok güçlü bir korelasyona (sırasıyla R^2 : 0,94 ve R^2 :92) sahip olup 1:1 çizgisine çok yakın lineer bir yayılım göstermektedir. Bu ilişki jips çözünümünün yeraltısuyu kimyasını etkileyen önemli bir kaynak olduğunu gösterir.

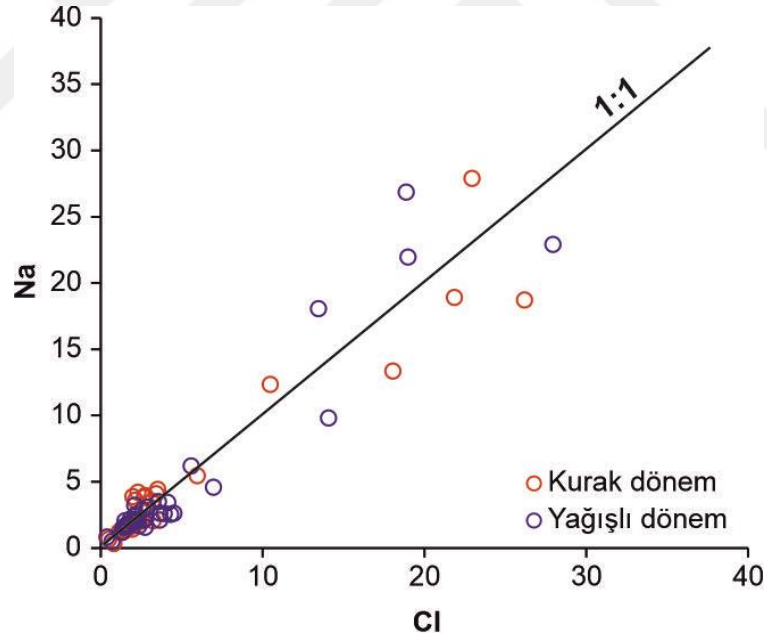


Şekil 4. 27. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin a) $\text{Ca}-\text{HCO}_3$ ve b) $\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3$ ilişkisi

Yeraltısuyundaki Na ve Cl iyonlarının kökeni halit çözünümünden kaynaklanırsa Na/Cl oranı 1 olur ve 1:1 çizgisi boyunca düşer (Şekil 4.29). Fakat 1:1 çizgisinden uzaklaşan noktalar, yeraltısuyundaki Na artışına veya azalmasına neden olan diğer mekanizmaların/süreçlerin (silikat ayrışması veya katyon değişimi) olduğunu gösterir. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Na/Cl oranları kurak dönemde 0,51-2,36 arasında olup ortalama 1,03 ve yağışlı dönemde 0,57-2,10 arasında olup ortalama 0,99'dur. Ayrıca Şekil 4.29' da görüleceği gibi yeraltısuyu örnekleri 1:1 çizgisi üzerinde ve yakın çevresine düşmekte olup her iki dönemde de güçlü bir pozitif korelasyona (Kurak dönem R^2 : 0,92; yağışlı dönem R^2 : 0,90) sahiptir. Bu durum halit çözünmesinin çalışma alanındaki yeraltısuyu kimyasını etkileyen önemli bir mekanizma olduğunu göstermektedir. Na değerinin Cl'a karşı küçük değerlerde fazlalığı iyon değişimini gösterirken Cl'un Na'a karşı fazlalığı ise toprak tuzlarının çözünümünü veya antropojenik kirliliği gösterir (Jalali, 2009; Bozdağ, 2016).



Şekil 4.28. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait a) $\text{Ca} + \text{Mg} - \text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ ve b) $(\text{Ca} + \text{Mg} - \text{HCO}_3) - \text{SO}_4$ ilişkisi



Şekil 4.29. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait Na ve Cl arasındaki ilişki

Yeraltısuyu kimyasını etkileyen diğer bir önemli süreç de iyon değişimidir (Singh ve ark., 2015; Bozdağ, 2016; Pant ve ark., 2021; Guo ve ark., 2023). Yeraltısuyundaki ana iyonlar arasındaki ilişki sistemde katyon değişiminin olup olmadığını belirlemek için kullanılabilir (Jankowski ve ark., 1998). $\text{Ca} + \text{Mg} -$

(HCO₃+SO₄) - (Na+K)-Cl grafiğinde iyon değişimine uğrayan suların eğimi -1 olması gerekirken iyon değişiminden etkilenmeyen suların eğimi sıfır olur (Jankowski ve ark., 1998). Şekil 4.30a'da yeraltısuyu örneklerine ait noktalar kurak dönemde düşük bir negatif eğim (-0,30), yağışlı dönemde ise sıfırdan uzak negatif bir eğim (-0,62) sergilemektedir. Bu durum katyon değişiminin özellikle yağışlı dönemde yeraltısuyu kimyasını etkileyen bir süreç olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanında meydana gelen iyon değişim sürecinin doğruluğunu değerlendirmek için Schoeller (1965) tarafından önerilen ve daha sonra birçok çalışmada (Schoeller, 1967; Kumar 2007; Singh ve ark., 2015; Bozdağ 2016; Zhang, 2021; Guo ve ark., 2023) kullanılan kloro-alkali indeksleri (CAI-I ve CAI-II) kullanılabilir. Değerlendirmede kullanılan kloro-alkali indeksleri tüm iyonların meq/l cinsinden ifade edildiği aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanır:

$$CAI - I = \frac{Cl - (Na + K)}{Cl} \quad (4.5)$$

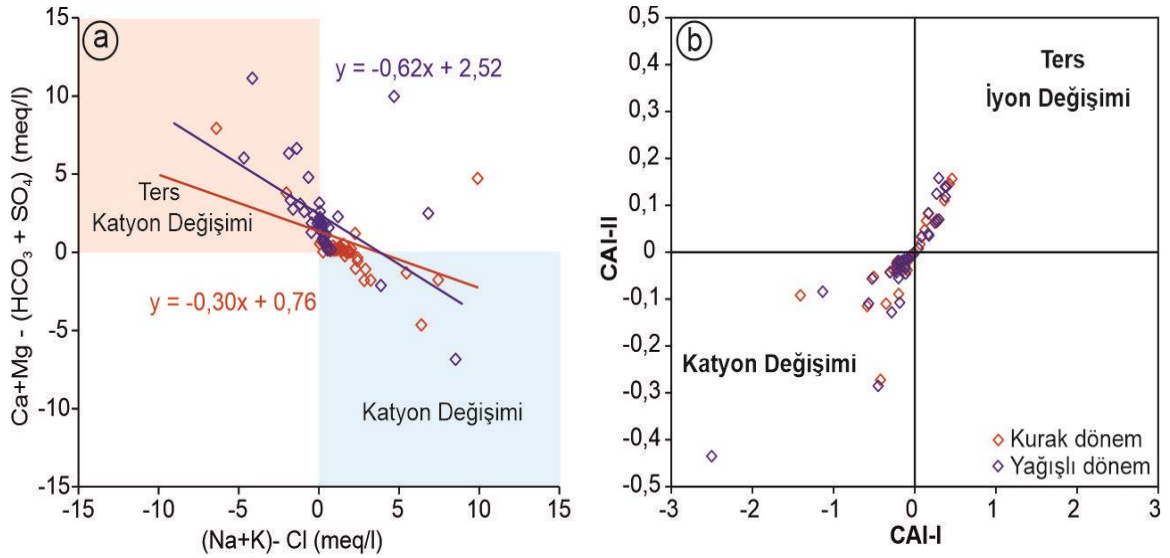
$$CAI - II = \frac{Cl - (Na + K)}{SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3} \quad (4.6)$$

CAI-I ve CAI-II'nin negatif değerleri, yeraltısuyundaki Ca ve Mg iyonlarının ana kayalarındaki/akifer malzemelerindeki Na veya K ile değiştirildiği bir iyon değişim sürecinin meydana geldiğini gösterirken, CAI-I ve CAI-II'nin pozitif değerleri, ters iyon değişiminin olduğunu göstermektedir (Schoeller, 1965). İnceleme alanındaki yeraltısularına ait hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri Çizelge 4.4 de gösterilmektedir. Kurak dönemde örneklerin %25'inin (Örnek no: A3, A4, A8, A9, A12, A15, A17, A31, A39 ve A40) CAI-I ve CAI-II değerleri pozitif değerde iken yağışlı dönemde örneklerin %32,5'inin (Örnek no: A3, A8, A9, A12, A13, A17, A19, A37, A31-A33, A39 ve A40) pozitif değerdedir (Şekil 4.30b). Ters iyon değişiminin bu örneklerdeki Ca ve Mg konsantrasyonlarındaki fazlalığın nedenini açıklamaktadır. Kurak dönemde örneklerin %75 ve yağışlı dönemde %67,5' inin her iki kloro-alkali indeks değerleri negatif olup yeraltısuyundaki Ca ve Mg iyonlarının ana kayalarındaki Na ve K iyonuyla yer değiştirdiğini göstermektedir. Örneklerin büyük çoğunluğunun negatif indeks değerleri katyon değişim reaksiyonların varlığına işaret etmektedir. Fakat kloro-alkali indeksleri

kurak dönemde -1,41 ile 0,46 arasında yağışlı dönemde 0,39 ile -2,50 arasında değişmekte olup kurak dönemde ortalama -0,10 yağışlı dönemde ise ortalama -0,13 değerindedir. Bu düşük değerler her iki dönemde ve özellikle kurak dönemde hem kation değişiminin hem de ters iyon değişiminin inceleme alanındaki yeraltısuyu kimyasındaki etkisinin çok yüksek değerlere ulaşmadığını gösterebilir.

Çizelge 4.4. İnceleme alanındaki yeraltısularına ait CAI-I ve CAI-II değerleri

KURAK DÖNEM											
Ö.No	CAI-I	CAI-II	Ö.No	CAI-I	CAI-II	Ö.No	CAI-I	CAI-II	Ö.No	CAI-I	CAI-II
A1	-0,222	-0,026	A11	-0,148	-0,038	A21	-0,008	-0,001	A31	0,166	0,083
A2	-1,410	-0,092	A12	0,122	0,047	A22	-0,020	-0,003	A32	-0,095	-0,015
A3	0,143	0,067	A13	-0,174	-0,028	A23	-0,194	-0,023	A33	-0,126	-0,019
A4	0,064	0,017	A14	-0,024	-0,005	A24	-0,223	-0,024	A34	-0,078	-0,013
A5	-0,070	-0,011	A15	0,456	0,157	A25	-0,307	-0,043	A35	-0,123	-0,019
A6	-0,132	-0,020	A16	-0,586	-0,115	A26	-0,057	-0,008	A36	-0,262	-0,039
A7	-0,424	-0,272	A17	0,426	0,146	A27	-0,088	-0,019	A37	-0,191	-0,029
A8	0,083	0,033	A18	-0,226	-0,031	A28	-0,201	-0,090	A38	-0,020	-0,003
A9	0,363	0,110	A19	-0,232	-0,033	A29	-0,354	-0,110	A39	0,271	0,064
A10	-0,093	-0,038	A20	-0,506	-0,053	A30	-0,216	-0,020	A40	0,268	0,069
YAĞIŞLI DÖNEM											
Ö.No	CAI-I	CAI-II	Ö.No	CAI-I	CAI-II	Ö.No	CAI-I	CAI-II	Ö.No	CAI-I	CAI-II
A1	-0,020	-0,003	A11	-0,121	-0,030	A21	-0,131	-0,016	A31	0,167	0,083
A2	-1,135	-0,084	A12	0,268	0,125	A22	-0,137	-0,017	A32	0,173	0,036
A3	0,295	0,158	A13	0,276	0,067	A23	-0,165	-0,019	A33	0,164	0,039
A4	-0,023	-0,006	A14	-0,045	-0,008	A24	-0,222	-0,024	A34	-0,078	-0,013
A5	-0,058	-0,009	A15	-2,503	-0,435	A25	-0,306	-0,043	A35	-0,178	-0,035
A6	-0,086	-0,014	A16	-0,569	-0,109	A26	-0,020	-0,003	A36	-0,227	-0,034
A7	-0,452	-0,285	A17	0,390	0,139	A27	0,374	0,140	A37	-0,195	-0,031
A8	0,083	0,033	A18	-0,017	-0,003	A28	-0,204	-0,089	A38	-0,112	-0,035
A9	0,377	0,118	A19	0,044	0,008	A29	-0,349	-0,108	A39	0,298	0,070
A10	-0,112	-0,046	A20	-0,526	-0,056	A30	-0,203	-0,019	A40	0,249	0,063



Şekil 4.30. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait a) $\text{Ca}+\text{Mg}-(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)-(\text{Na}+\text{K})-\text{Cl}$ grafiği, b) CAI-I ve CAI-II arasındaki ilişki.

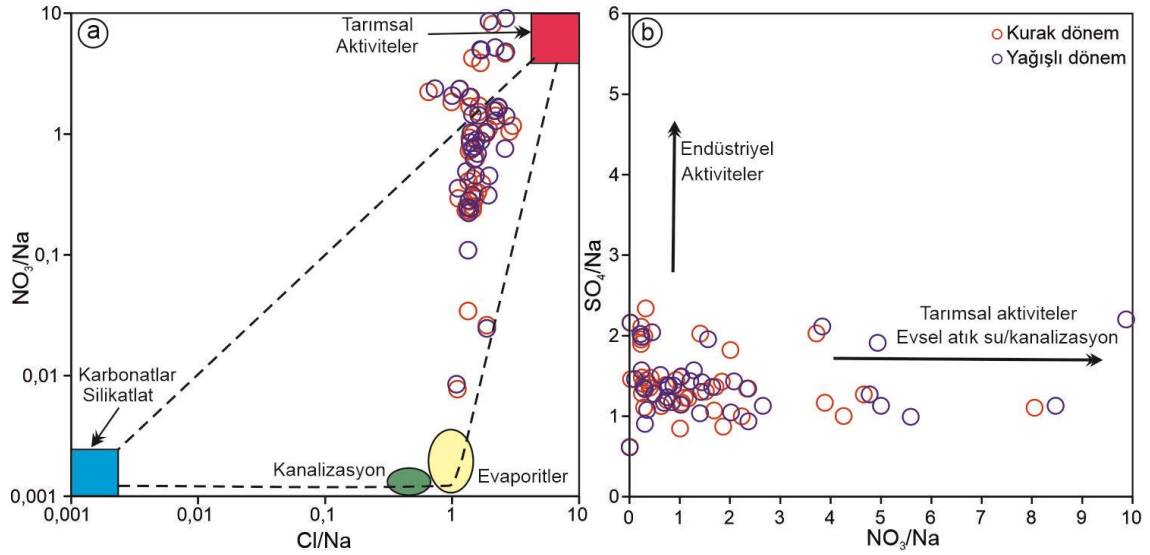
2. İnsan faaliyetlerinin yeraltısuyu kimyasına etkisi

Major element kimyası, tarımsal aktiviteler, kentsel ve endüstriyel atık sularının boşaltılması gibi çeşitli insan faaliyetlerinden de etkilenebilir (Han ve ark., 2010; Li ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2021). Ayrıca, yoğun insan faaliyetleri özellikle yüksek NO_3 , Cl ve SO_4 konsantrasyonlarına neden olarak yeraltı veya yüzey suyunun kimyasal özelliklerini önemli derecede etkileyebilir (Li ve ark., 2016; Liu ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021). Fakat su kütlelerinde Cl ve SO_4 esas olarak, evaporitlerin (halit, jips, anhidrit) çözünümü ile sülfürün oksidasyonu gibi doğal süreçlerden ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanabilirken, su kütlelerindeki 5mg/l'den yüksek NO_3 konsantrasyonlarının genellikle tarımsal üretimde aşırı gübre ve böcek ilacı kullanımı, kanalizasyon sızıntısı, fosseptik sızıntısı, depolama sızıntı suları ve evsel ve hayvansal gübre atıkları gibi insan faaliyetlerinin su kütlelerine girdilerinden kaynaklanmaktadır (Meybeck, 2003; Adimalla ve Qian, 2021; Liu ve ark., 2021; Shakeri ve ark., 2022).

Çalışma alanı, ürün verimliliğini artırmak için gübre ve ilaç kullanımının yaygın olduğu ve yeraltısularının tarımsal sulamanın ana kaynağı olduğu önemli bir tarım bölgesidir. Yeraltısuyu örneklerine ait NO_3 mekânsal dağılım haritası incelendiğinde (Bkz. Şekil 4.21 g ve h) örneklerin kurak dönemde %45'inin ve yağışlı dönemde %50'sinin WHO ve TSE-266 tarafından belirlenen izin verilen 50 mg/l sınır değerini aştığı gözlenmektedir. İnceleme alanında NO_3 , tarım arazilerinin yanı sıra yerleşim alanları çevresinde de yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır. En yüksek NO_3 içeriği

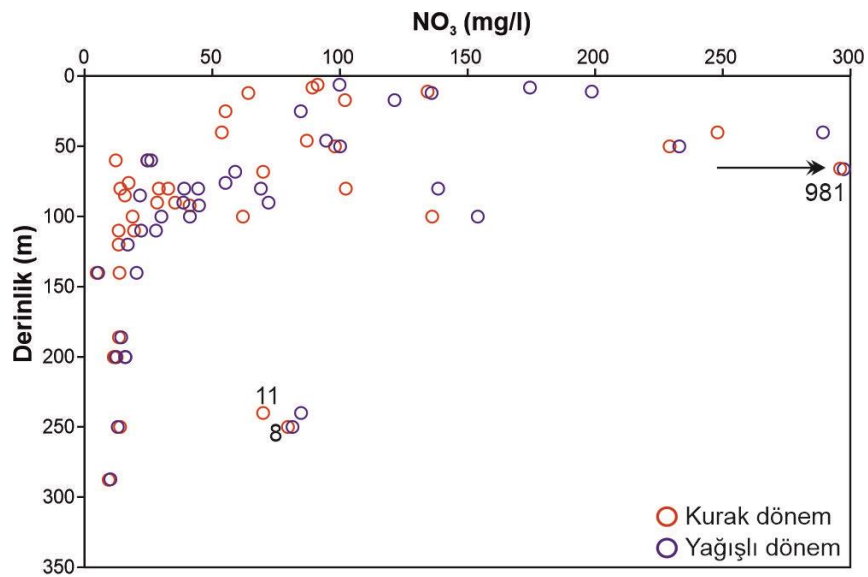
kurak dönemde 970,8 mg/l ve yağışlı dönemde 981,2 mg/l olup ortalama NO_3 değeri sırasıyla 79,48 mg/l ve 105,20 mg/l'dir. Ayrıca A7 nolu örnek hariç diğer tüm örneklerin NO_3 konsantrasyonları 10-50 mg/l arasında olup bu değerler çalışma alanında NO_3 kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığını ve artabileceğinin göstermektedir.

İnceleme alanındaki yeraltısuyu kimyasını etkileyen antropojenik faaliyetleri niteliksel olarak belirleyebilmek için, birçok araştırmacı (Zhang ve ark., 2021; Guo ve ark., 2023) tarafından farklı bölgelerdeki NO_3 kirliliğini değerlendirmek için kullanılan $\text{NO}_3/\text{Na-Cl/Na}$ ve $\text{NO}_3/\text{Na-SO}_4/\text{Na}$ grafikleri kullanılmıştır. İnsan faaliyetleri sonucu kirlenmiş sular genellikle yüksek Cl/Na ve NO_3/Na oranlarıyla karakterize edilirler (Gaillardet ve ark., 1999; Roy ve ark., 1999). İnceleme alanındaki yeraltısuyu örnekleri $y=x$ çizgisi sağ üst köşesine yakın bir yerde dağılmış olup yeraltısuyunun tarımsal aktivitelerle önemli ölçüde kirlendiğinin göstermektedir (Şekil 4.31a). Farklı bölgelerde de benzer sonuçlar rapor edilmiştir (Zang ve ark., 2021; Guo ve ark., 2023). Ayrıca, Cl/Na ile NO_3/Na arasında herhangi bir korelasyon olmaması ve Cl ve SO_4 arasında güçlü korelasyon (kurak ve yağışlı dönem sırasıyla R^2 : 0,92 ve 0,91) olması Cl ve SO_4 iyonlarının aynı veya benzer kaynaktan, fakat NO_3 'ün farklı bir kaynaktan açığa çıktığını gösterir. Düşük SO_4/Na oranına karşı yüksek NO_3/Na oranı endüstriyel aktivitelerden çok tarımsal aktiviteler ve evsel atık suların etkisini yansıtır. İnceleme alanındaki tarımsal aktiviteler ve evsel atık sular yeraltısularındaki NO_3 kirliliği için potansiyel kaynaklardır (Şekil 4.31b). Fakat bazı örnekler endüstriyel aktivitelerden de bir noktaya kadar etkilenmiştir. Bulgular arazi gözlemleriyle örtüşmekte olup NO_3 kirliliğine tarım bölgesi olan inceleme alanında sadece tarımsal aktivitelerden değil çok özellikle yerleşim alanları ve çevresinde kanalizasyon sızıntısı, fosseptik sızıntısı, depolama sızıntı suları ve evsel ve hayvansal gübre atıklarının da neden olduğu söylenebilir. Çünkü arazide dağılmış olarak birçok köy ve yayla bulunmakta olup buradaki halkın su ortamını koruma konusundaki zayıf farkındalığının, evsel atık ve hayvansal gübre atıklarının gelişigüzel atılmasına neden olması yeraltısuyu kirlenmesinin nedenleri arasındadır.



Şekil 4.31. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin a) Cl/Na - NO_3/Na ve b) NO_3/Na - SO_4/Na diyagramları

İnceleme alanında, genellikle 50 mg/l ve daha yüksek NO_3 konsantrasyonları, 100 m ve daha sığ derinlikteki kuyulardan alınan yeraltısuyu örneklerinde gözlenmiştir (Şekil 4.32). Bu durum sığ kuyulardan örneklerin antropojenik faaliyetlerden daha fazla etkilendiğini göstermektedir. Ancak derinliği 250 m'yi bulan kuyulara ait A8 ve A11 numaralı örneklerde gözlenen yüksek nitrat konsantrasyonlarının ya kuyularda sulama suyunu hızla sızdırabilen daha yoğun kırık ve çatlak sistemlerinin varlığından kaynaklandığı ya da bu kuyuların zayıf inşasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.32. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin NO_3 - Derinlik ilişkisi

4.5.3. Yeraltısuyunun Tarımsal Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Konya ve İç Anadolu'nun önemli tarım bölgelerinden biri olan inceleme alanında yeraltısuyu tarımsal aktiviteler için başlıca sulama suyu kaynağıdır. Bölgedeki yeraltısuyunun uzun yıllardan beri yoğun ve aşırı şekilde çekilmesi yeraltısuyu seviyesinin düşmesine neden olduğu gibi yoğun tarımsal faaliyetler de yeraltısuyu kalitesini olumsuz etkilemiştir. Ancak bölge halkı yeraltısularının kirlenmesinden habersiz tarımsal aktivitelerine devam etmektedirler.

Sulama suyunun kalitesi, hangi bitkilerin başarılı bir şekilde yetiştirilebileceği, bitkinin büyümesi ve ömrü yani bitki ekosisteminin türü ve yönetimi, suyun süzülebilmesi, ürünlerin üretkenliği ve toprağın fiziksel koşulları üzerinde etkilidir (Benjamin ve ark., 2003; Khanoranga ve Khalid, 2019; Mukherjee ve ark., 2022). Bu nedenle hem yeraltısuyunun sürdürülebilir kullanımı hem de toprağın gelecekte tarımsal aktivitelerde sürdürülebilir kullanımı için yeraltısuyunun tarımsal sulama suyu olarak kullanıma uygunluğu; Elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), kalıntı/artık sodyum karbonat (RSC), sodyum yüzdesi (%Na), Kelley İndeksi (Kİ), magnezyum tehlikesi (MH), geçirgenlik indeksi (PI), potansiyel tuzluluk (PS) indeksleri ile ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramlarıyla değerlendirilmiştir (Çizelge 4.5).

Elektriksel İletkenlik (EC): Elektriksel iletkenlik, sulama nedeniyle bitkilerin su alma kapasitesine yönelik tuzluluk tehlikesini ölçmek için kullanılan en etkili parametredir. EC, sulama suyundaki tuzluluk tehlikelerinin temsili bir ölçüsü olarak kabul edilir. (Kumari ve Rai, 2020; Bauder ve ark., 2011; Gharbi ve ark., 2019). EC ne kadar yüksekse, toprak ıslak görünse bile bitkiler için o kadar az su bulunur. Bitkiler yalnızca "saf" suyu soğurabildikleri için, toprak çözeltisindeki kullanılabilir bitki suyu, EC arttıkça önemli ölçüde azalır (Bauder ve ark., 2011). Diğer bir ifadeyle suyun EC değeri yüksekse, bitkilerin ozmotik aktivitesini sınırlayabilir ve aşırı tuzluluk nedeniyle topraktan su ve besin maddelerinin emilimini engelleyebilir, böylece büyümesini sınırlandırır.

Çizelge 4.5. Sulama suyu kalitesinde kullanılan indekslerin sınıflandırılması

Parametre	Referans	Oran	Su sınıfı	Örnek No Kurak dönem	Örnek No Yağışlı dönem
EC ($\mu\text{S/cm}$)	Bauder ve ark. (2011)	≤ 750	Çok iyi	2, 27, 30	2, 30
		751-1500	İyi	1,4,5,6,8,9,11-26, 32-35,37,38	1,5,6,11,13,14,16, 18-27,32-35,37,38
		1501-3000	İzin verilebilir	10,36,39,40	4,9,10,12,15,17, 36,39,40
		$3001 \leq$	Uygun değil	3,7,28,29,31	3,7,28,29,31
SAR	Todd (1980)	< 10	Çok iyi	1-40	1-40
	Richards (1954)	10-18	İyi	-	-
	Saleh ve ark. (1999)	19-26	Şüpheli	-	-
		$26 <$	Uygun değil	-	-
%Na	Wilcox (1955)	0-20	Çok iyi	1,2,4-6,9,13-15,17-27,30,32-40	1,2,4-6,9,13,14,17-27,30,32-37,39,40
		20-40	İyi	3,8,10-12,16,28,29,31	3,8,10-12,16,28,29,31,38
		40-60	İzin verilebilir	7	7,15
		60-80	Şüpheli	-	-
		$80 <$	Uygun değil	-	-
MH	Raghunath (1987)	≤ 50	Uygun	1-6, 11-19,21-27,30, 32-38	1-6,8,9,12-19,21-27,30, 32-37
		$50 <$	Uygun Değil	7,10,20,28,29, 31, 39, 40	7,10,11,20,28,29, 31, 38, 39, 40
KI	Kelley (1951)	< 1	Uygun	1-6, 8-40	1-6, 8-40
		$1 <$	Uygun Değil	7	7
RSC	Eaton (1950)	$\leq 1,25$	Çok İyi	1-40	1-40
		$1,25 < \text{RSC} \leq 2,5$	İyi		
		$2,5 <$	Kötü		
PI	Donen (1962) Raghunath (1987)	$\text{PI} > 75$	Çok İyi	-	-
		$25 < \text{PI} < 75$	İyi	1-40	1-40
		$\text{PI} < 25$	Uygun Değil	-	-
PS	Donen (1962)	< 3	Mükemmel-İyi	1,2,11,13,14, 20, 23, 24, 26, 27, 30	1, 2, 11, 14, 20,21,22,23,24, 26,30
		3-5	İyi	5,6,9,16,18,19,21,22,25, 32-38	5,6,9,13,15,16,18,19,25 32-38
		$5 <$	Kötü	3,4,7,8,10,12,15,17 28,29,31,39,40	3,4,7,8,10,12,17,27 28,29,31,39,40

İnceleme alanındaki yeraltısularının EC değerine göre sınıflandırılması Çizelge 4.5’de gösterilmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin her iki dönemde de %12,5’i çok yüksek EC değerine sahip olup sulama suyu için uygun değildir. Örneklerin kurak dönemde %10’u ve yağışlı dönemde %22,5’i yüksek tuzluluğa sahip olup sınırlı drenaja sahip topraklarda sulama için sınırlı kullanıma uygun olarak özel durumlarda kullanılabilir. Örneklerin kurak dönemde %77,5’i ve yağışlı dönemde %65’i sulama

suyu için “iyi” ve “çok iyi” sınıfında olup sulama suyu olarak kullanılabilir. Bölgedeki yeraltısularında yüksek tuzluluğun nedeni evaporitlerin çözünümü ve yarı kurak iklim koşulları olup yağışlı dönemde EC değerlerindeki artış çözünme süreçlerinin artmasını göstermektedir. Özellikle killi birimlerin ve sığ derinliklerdeki malzemenin boşluklarında biriken tuzlar yağışla birlikte yeraltına süzülürken çözünerek suyun iyon içeriğinin artırılır.

Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR): Sulama suyundaki sodyum miktarının kalsiyum ve magnezyum miktarından yüksek olması suyun süzülmesinde azalmaya neden olabilir ve aşırı sodyum birikiminden kaynaklanan bu durum “sodisite” olarak adlandırılır. Sodisite, toprak killerinin şişmesine ve dağılmasına, yüzeyde kabuklanmaya ve gözenek tıkanmasına neden olur. Bu bozulmuş toprak yapısı durumu, sonuçta sızmayı engeller ve yüzey akışını artırabilir. Sodisite, suyun toprağa doğru ve aşağı doğru hareketinde bir azalmaya neden olur ve aktif olarak büyüyen bitki kökleri, sulamadan sonra toprak yüzeyinde su birikmesine rağmen yeterli su alamayabilir (Bauder ve ark., 2011).

Sodisiteyi değerlendirmek için sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) yaygın olarak kullanılmakta olup SAR, sudaki Na'nın Ca ve Mg'a oranının ölçüsüdür. Benzer şekilde, su toprakta hareket ederken sodyum geçirgenliği tehlikesini de yansıtır (Bauder ve ark., 2011; Gharbi ve ark., 2019). Yüksek SAR değerine sahip suların sulama amaçlı sürekli kullanımı toprağın fiziksel özelliklerinde değişikliğe neden olur. Sodyumun toprak tarafından emilerek fazlaşması sonucu toprak kili dağılır ve kuruyan toprak daha sert ve sıkı hale gelerek geçirgenliği azaltır ve tekrar ıslandığında suyun süzülme oranında azalma meydana gelir (Ayers ve Westcot, 1985; Singh ve ark., 2015; Alam ve ark., 2021). SAR oranı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır (Richerds, 1954);

$$SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2} \quad (4.7)$$

İnceleme alanındaki yeraltısularının SAR değerine göre sınıflandırılması Çizelge 4.5’de gösterilmektedir. Yeraltısularının kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla SAR değerleri 0,26-7,77 ve 0,27-7,92 meq/l arasında değişmektedir. Yeraltısularının her iki dönemde de SAR değerleri 10 meq/l’den düşük olup SAR açısından sulama suyu için uygundur.

Yüzde Sodyum Oranı: Sulama suyu için suyun sınıflandırılmasında kullanılan diğer önemli bir parametre de % Na değeridir. Sodyumdan etkilenen toprak ürünün gelişmesi ve büyümesini durdurur veya geciktirir (Rao ve ark., 2002; Gharbi ve ark., 2019). %Na değeri aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır (Wilcox, 1955);

$$\%Na = ((Na+K)/(Ca+Mg+Na+K))*100 \quad (4.8)$$

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin % Na değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla 10,0 - 54,03% ve 10,10 - 54,36% arasında değişmektedir. Yeraltısularının kurak dönemde ve yağışlı dönemde sırasıyla %75'i ve %70'i %Na değeri açısından “çok iyi” sınıfında, %22,5 ve %25'i “iyi”, ve % 2,5 ve % 5'i “izin verilebilir” sınıfında bulunmuştur. Bu değerlere göre yeraltısuyu örnekleri %Na açısından sulama suyu için uygundur.

Magnezyum Tehlikesi (MH): Genel olarak yeraltı sularında Ca ve Mg denge durumunu korur. Bazen yüksek Mg konsantrasyonundan dolayı denge bozulur ve fazla Mg, suyu daha alkali hale getirip toprağın kümeleşmesine ve gevrekleşmesine yol açmakta ve bitkilerin büyümesini negatif olarak etkilemektedir (Gowd, 2005; Khanoranga ve Khalid, 2019). MH aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Raghunath, 1987);

$$MH = (Mg/(Ca+Mg)) *100 \quad (4.9)$$

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin MH değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla %20,61-%64,10 ve %21,34-%64,01 arasında değişmektedir. Yeraltısularının kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla %20'si ve %25'i MH açısından sulama suyu olarak “uygun değil” sınıfında bulunmuştur (Çizelge 4.5). Belirlenen bu örneklerin sulama suyu olarak kullanılması ürün verimini düşürebilir.

Kelley İndeksi (KI): İnceleme alanındaki yeraltısularının sulama suyu olarak değerlendirilmesinde; Kelley (1951) tarafından önerilen kalsiyum ve magnezyuma karşı sodyumun ölçüldüğü Kelly indeksi parametresi de kullanılmıştır. Buna göre, KI değeri birden daha düşük sular sulama suyu olarak uygundur. KI aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Kelley, 1963);

$$KI = Na/(Ca+Mg) \quad (4.9)$$

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin KI değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla 0,068-1,154 meq/l ve 0,069-1,168 meq/l arasında değişmektedir. Sadece 7 numaralı örnek her iki dönemde de KI değeri açısından sulama suyu olarak “uygun değil” sınıfında bulunmuş (Çizelge 4.5) olup diğer örnekler KI değeri açısından sulama suyu olarak uygundur.

Kalıntı Sodyum Karbonat (RSC): Karbonat ve bikarbonatın tarımsal sulama suyu kalitesi üzerindeki zararlı etkisini değerlendirmek için RSC hesaplanmıştır. Çünkü yüksek RSC değerine sahip suların sürekli kullanımı bitki yapraklarının yanmasına neden olarak ürün verimini azaltır (Ramesh ve Elango, 2012). RSC değerinin pozitif çıkması ortamda sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel karbonat ve bikarbonat iyonlarının bulunduğunu yansıtır (Eaton, 1950). Eğer tarımsal sulama sularının RSC değeri 2,5 meq/l’nin üzerinde olursa toprakta kalıcı sodyum karbonat etkisi nedeniyle bitki büyümesi için olumsuz koşullar oluşturabilir (Eaton, 1950; FAO, 1985). RSC aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Eaton, 1950);

$$RSC = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad (4.10)$$

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin RSC değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla -55,92 ile -1,27 meq/l ve -55,63 ile -1,39 meq/l arasında değişmektedir. İncelenen tüm yeraltısuları RSC açısından tarımsal sulama suyu için uygundur (Çizelge 4.5).

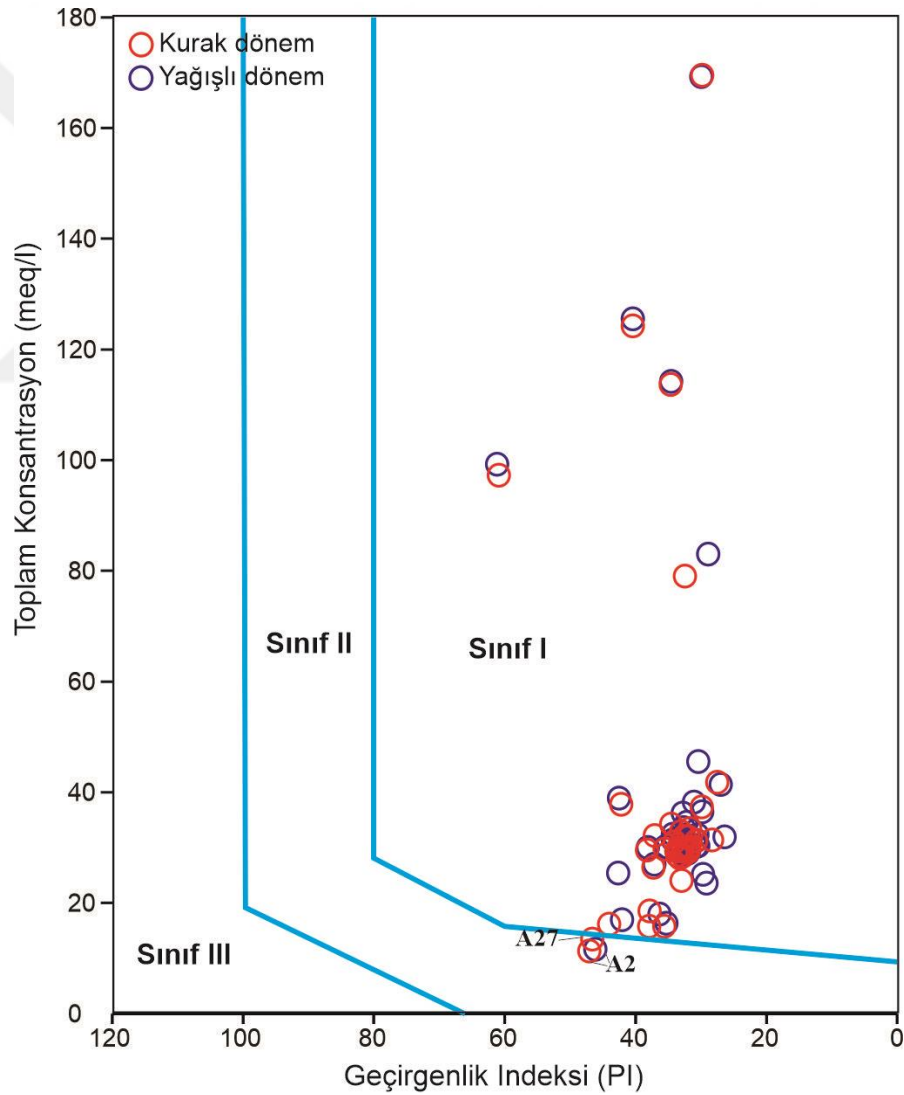
Geçirgenlik İndeksi (PI): Yüksek mineral konsantrasyonuna (Ca, Mg, Na, HCO₃) sahip sulama suyunun uzun süreli kullanımı toprağın geçirgenliğini azaltır ve bu da tarımsal üretimi negatif yönde etkiler (Singh ve ark., 2015). PI aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Donen 1962; Raghunath 1987);

$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} \times 100 \quad (4.11)$$

Doneen (1962) tarafından suyun PI değerine göre geliştirilen kriterde I, II ve III olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Geçirgenlik İndeksi 75 ve üzeri olan I ve II. sınıflar sulama suyu için sırasıyla “çok iyi” ve “iyi” olarak kabul edilmektedir. Geçirgenlik

indeksi 25 veya altında olan III. sınıf sular, sulama suyu için “uygun değil” olarak nitelendirilmektedir (Çizelge 4.5) (Doneen 1962; Raghunath 1987; Ramesh ve Elango 2012).

Toprak geçirgenliğinin maksimum (%100) olması bitki büyümesi için en faydalı durumken daha az geçirgen bir toprak bitki büyümesinin düzgün olarak büyümesine izin vermeyebilir ve sudaki ve topraktaki iyonik bileşenlerin değişim sürecine bağlıdır (Verma ve ark., 2021), yani inceleme alanındaki yeraltısu örneklerinin PI değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla %27,57 - %60,90 ve %26,42 - %61,20 arasında değişmektedir. Geçirgenlik indeksi sınıflamasına göre Altınekin havzasındaki incelenen tüm yeraltı suları tarımsal sulama suyu için uygundur (Çizelge 4.5; Şekil 4.33).



Şekil 4.33. Geçirgenlik İndeksi (PI)- Toplam Konsantrasyon (meq/l) (Doneen, 1964)

Potansiyel Tuzluluk (PS): Potansiyel tuzluluk indeksi, yeraltısuyunun sulama suyu olarak uygunluğunun belirlenmesinde Cl ve SO₄ tuzlarını dikkate alan diğer önemli bir indekstir. Bu tuzlar, ardışık sulama sırasında çökeltme sonrasında toprakta birikmekte ve yüksek oranda çözünebilen tuzların varlığı toprağın tuzluluğunu artırmaktadır (Barik ve Pattanayak, 2019; Zafar ve ark. 2022). PS aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Doneen, 1962);

$$PS = Cl + (SO_4/2) \quad (4.12)$$

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin PS değerleri kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla 0,74-52,67 meq/l ve 0,78-52,73 meq/l arasında değişmektedir. Yeraltısularının kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla %27,5'i PS açısından "mükemmel-iyi" sınıfında, %40'i "iyiden zararlıya" sınıfında, %32,5'i "kullanılamaz" sınıfında bulunmuştur (Çizelge 4.5).

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı: Yeraltısuyunun sulama suyu olarak kullanılabilirliği, sulama suyunda yüksek miktarlarda bulunması hem toprak hem de ürün kalitesi üzerinde olumsuz etkiye sahip sodyum tehlikesi (SAR) ve tuzluluk tehlikesi (EC, 25 °C de $\mu\text{S}/\text{cm}$) parametreleri açısından "ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında" değerlendirilir. Richards (1954) tarafından geliştirilen ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında tuzluluk tehlikesi (C1-C4) ve sodyum tehlikesi (SAR: S1-S4) parametreleri dörder sınıf altında değerlendirilmektedir;

C1 ($EC < 250 \mu\text{S}/\text{cm}$): Düşük tuzluluk tehlikesi

C2 ($EC: 250-750 \mu\text{S}/\text{cm}$): Orta tuzluluk tehlikesi

C3 ($EC: 750-2250 \mu\text{S}/\text{cm}$): Yüksek tuzluluk tehlikesi

C4 ($EC > 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$): Çok yüksek tuzluluk tehlikesi

S1 ($SAR < 10$): Düşük sodyum tehlikesi

S2 ($SAR: 10-18$): Orta sodyum tehlikesi

S3 ($SAR: 19-26$): Yüksek sodyum tehlikesi

S4 ($SAR > 26$): Çok yüksek sodyum tehlikesi

Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına (Richard, 1954) göre sulama suyu kalite sınıflaması:

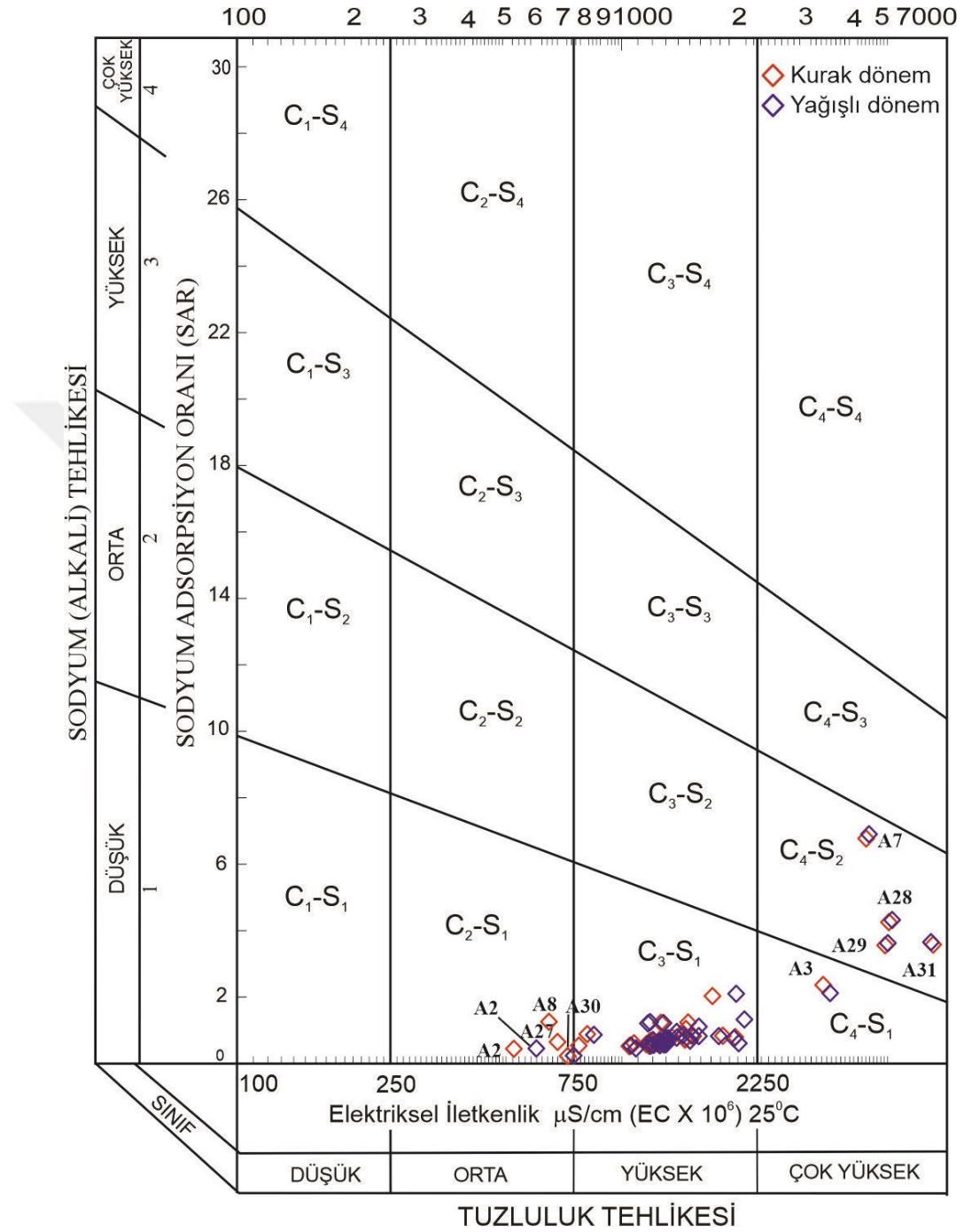
C1-S1: Çok iyi kalite	C1-S3: Orta kalite
C2-S1: İyi kalite	C2-S3: Orta kalite
C3-S1: Orta kalite	C3-S3: Çok Kötü kalite
C4-S1: Kötü kalite	C4-S3: Çok Kötü kalite
C1-S2: İyi kalite	C1-S4: Kötü kalite
C2-S2: İyi kalite	C2-S4: Kötü kalite
C3-S2: Kötü kalite	C3-S4: Çok Kötü kalite
C4-S2: Kötü kalite	C4-S4: Çok Kötü kalite

İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinden A2 nolu örnek her iki dönemde de C2-S1 sınıfında ve A8, A27 ve A30 nolu örnekler ise kurak dönemde C2-S1 sınıfında olup bu sular sulama suyu olarak “iyi kalite” sınıfındadır. A3 nolu örnek her iki dönemde de C4-S1 sınıfında olup bu tip sular sulama suyu açısından “kötü kaliteli” sulardır. A7, A28, A29 ve A31 nolu örnekler C4-S2 sınıfında olup bu tip sular sulama suyu açısından “Kötü kaliteli” sulardır. Diğer örneklerin hepsi hem kurak hem yağışlı dönemde C3-S1 sınıfında olup sulama suyu açısından “Orta kaliteli sular” olarak değerlendirilir (Şekil 4.34).

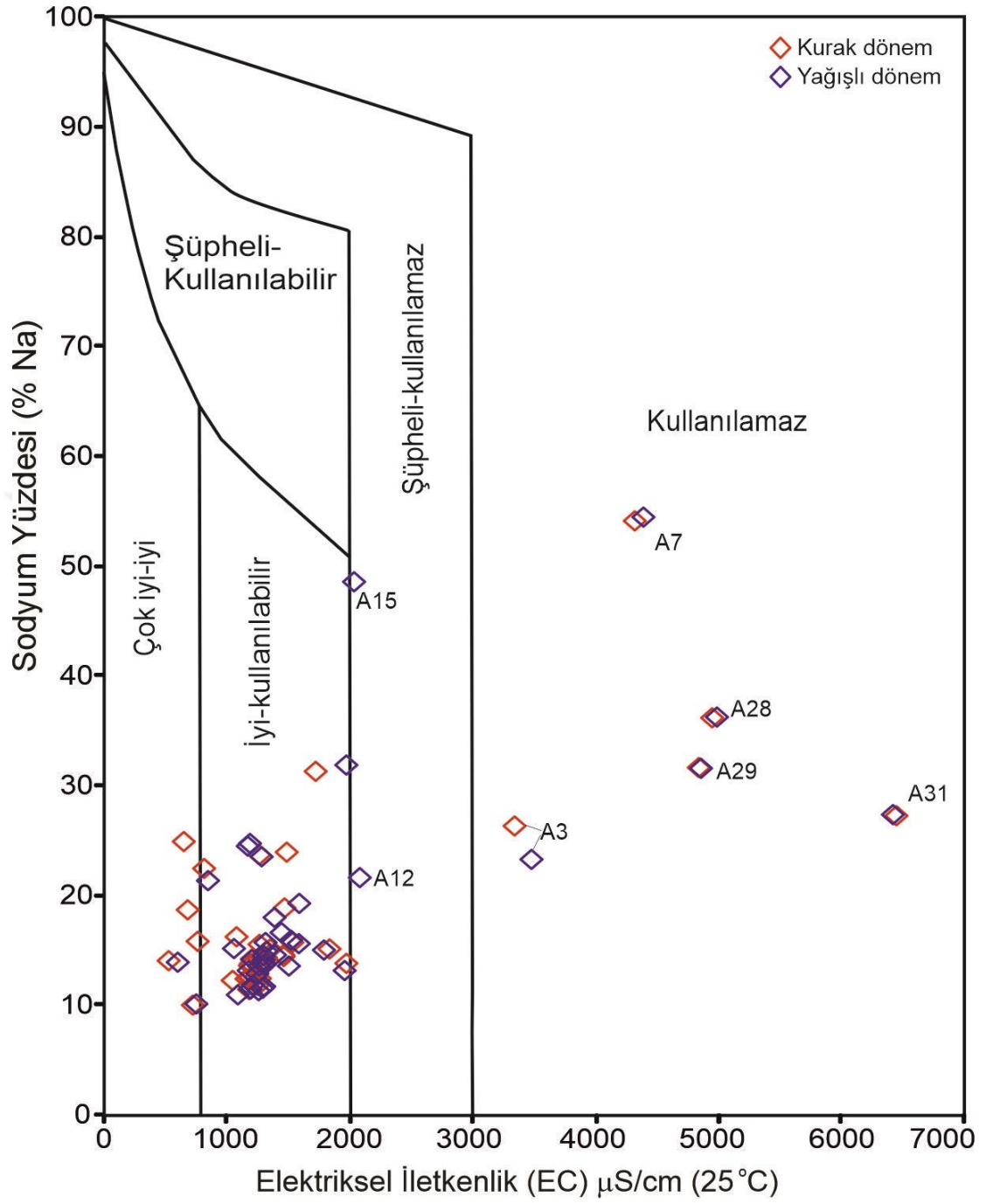
Wilcox Diyagramı: Genel olarak yeraltısuyunun sulama suyu olarak uygunluğu aynı zamanda ana akiferden veya diğer kaynaklardan salınan kimyasal bileşenlere de bağlıdır. Ayrıca, sudaki Na iyonlarının topraktaki Ca ve Mg ile değişim süreci gözenekliliği azaltarak toprak yapısını değiştirir, bu da iç drenaj koşullarının kötü olmasına neden olur (Wilcox, 1955). Wilcox (1955), yeraltı suyu kalitesinin sulamaya uygunluğunun daha iyi anlaşılması için EC'ye karşı %Na'nın bir diyagramını önermiştir. Bu diyagram çok iyi-iyi, iyi-kullanılabilir, kullanılabilir-şüpheli, şüpheli-uygun değil ve uygun olmayan kategorilerinden oluşan beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.35).

İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinden kurak dönemde A2, A8, A27 ve A30 nolu örnekler ile yağışlı dönemde A2 ve A30 nolu örnekler sulama suyu açısından “Çok iyi-İyi” sınıfında çıkmıştır. Kurak ve yağışlı dönemde örneklerin %77,5'i “İyi-Kullanılabilir” sınıfındayken bu örneklerden yağışlı dönemde A12 ve A13 nolu örnekler “Şüpheli-Kullanılamaz” sınıfında çıkmıştır. Kurak ve yağışlı dönemlerde A3, A7, A28,

A29 ve A31 nolu örnekler sulama suyu uygunluğu açısından “Kullanılamaz” sınıfında çıkmıştır (Şekil 4.35).



Şekil 4.34. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı



Şekil 4.35. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerine ait Wilcox diyagramı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan bu tez çalışmasında, Konya'nın en önemli tarım bölgelerinden biri olan Altınekin havzasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenerek yeraltısuyu kimyasını etkileyen süreçler değerlendirilmiştir. Ayrıca tarımsal faaliyetlerin yeraltısuyuna etkisi ve sulama suyu olarak uygunluğu araştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında yapılan çalışmaların sonuçları aşağıda verilmiştir.

1-Yapılan önceki çalışmalar ışığında saha çalışmalarındaki inceleme ve gözlemlerle birlikte bölgenin jeolojisi haritalandırılmıştır. İnceleme alanının temelini Karbonifer yaşlı Halıcı formasyonu oluşturmaktadır. Temel üzerine uyumsuz olarak Erken-Geç Permiyen yaşlı Eldeş Formasyonu gelmektedir. Bu birimin üzerine uyumsuz olarak Erken Triyas yaşlı Katarası Formasyonu ve onun üzerine ise uyumsuzlukla Triyas-Jura yaşlı Loras Formasyonu gelmektedir. Erken Kretase yaşlı Midos Formasyonu Loras formasyonu ile geçişli olup Geç Kretase yaşlı Hatip Ofiyolitli Karışığı, Midos Formasyonu ile düşey yönde geçişlidir. Hatip ofiyolitli karışığı üzerine tektonik dokanakla Geç Kretase yaşlı Çayırbağı ofiyoliti gelmektedir. Tüm bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Eosen yaşlı Çayraz Formasyonu gelmektedir. Kırmızı renkli alüvyal çökeller, çakıltası-kumtaşı- silttaşı, kil, jipsli kil, marn ve çoğunlukla kireçtaşlarından oluşan Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı İnsuyu Formasyonu kendinden yaşlı tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. Bu birim üzerine Pliyo-Kuvaterner yaşlı ve birbiriyle yanal düşey geçişli, kıltaşı, kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşından oluşan Cihanbeyli Formasyonu ve çakıl, karbonatlı kum, kil, jips ve jipsli killerden oluşan Tuzgölü Formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Kuvaterner-Güncel yaşlı bej, grimsi beyaz renkli dom şeklinde olan traverten konileri ile alüvyon tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir

2- İnceleme alanında literatür ve kuyu verilerine dayanarak üç akifer tanımlanmıştır. Kretase yaşlı ofiyolitlere ait kireçtaşı blokları, çatlaklı ve kırıklı gabro ve serpantinitle derin akifer olarak belirlenmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonunun kireçtaşı seviyeleri ana akiferi oluşturmaktadır. Birim içerisindeki kireçtaşları kalından inceye değişen yatay tabakalı, bol kırık, çatlak ve erime boşlukları içermektedir. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Cihanbeyli ve Tuzgölü formasyonlarına ait çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri geçirimli özellik gösterdiklerinden dolayı üçüncü akifer olarak değerlendirilmiştir.

İnceleme alanındaki içme, kullanma ve tarımsal su ihtiyaçlarının büyük bir çoğunluğu İnsuyu formasyonundan ve az olarak Cihanbeyli formasyonunun geçirimli birimlerinden sığ veya derin kuyularla sağlanmaktadır. Bölgede örnekleme yapılan kuyuların derinliği 6-280 m arasında değişmekte olup yeraltısuyu derinliği ise 5-85 m arasında değişmektedir. Genel olarak yeraltısuyu akım yönü güneybatıdan çalışma alanının kuzeydoğusundaki Bolluk Gölü' ne doğrudur.

3- İnceleme alanına ait uzun yıllar (1992-2022) yağış ve sıcaklık verilerine göre yıllık ortalama yağış 311,68 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 12.03 °C' dir. Thorntwaite (1948) metodu ile hesaplanan deneştirmeli su bilançosuna göre inceleme alanında ortalama yıllık yağış miktarı 309,75 mm ve toplam gerçek buharlaşma-terleme (ETr) miktarı ise 296 mm' dir. Toplam yağışın 67,25 mm' si yeraltısuyuna süzölmektedir.

4-İnceleme alanından derinliği 6-17 m arasında değişen 5 adet sığ ve derinliği 25-280 m arasında değişen 35 adet derin sondaj kuyusu olmak üzere toplam 40 adet yeraltısuyunudan örnek alınmıştır. Yeraltısuyu örneklerinin kurak ve yağışlı dönemde pH değerleri sırasıyla ortalama 7,3 ve 7,25 olup hafif alkali bir özellik göstermektedir. Yeraltısularının EC ve TDS değerleri kurak dönemde sırasıyla ortalama 1702 µS/cm ve 1241 mg/l; yağışlı dönemde ise sırasıyla ortalama 1784 µS/cm ve 1249 mg/l' dir. Yağışlı ve tarımsal sulamanın yoğun olduğu dönemde inceleme alanındaki EC ve TDS değerlerinin biraz daha yüksek olması muhtemelen bölgedeki çözünme süreçlerinin artması ve toprak tuzlarının yeraltısularına süzölmesinden kaynaklanmaktadır.

5- TDS ve Toplam sertlik (TH) değerlerine göre yapılan sınıflamada kurak dönemde A2 ve A27 nolu örnekler ile yağışlı dönemde sadece A2 nolu örnek "Orta Sert-Tatlı Su" sınıfındadır. Kurak dönemde A11, A13, A14 ve A30 nolu örnekler, yağışlı dönemde ise A11, A14 ve A30 nolu örnekler "Sert-Tatlı Su" sınıfındadır. Örneklerin kurak dönemde %42,5'i ve yağışlı dönemde %47,5'i "Çok Sert-Tatlı Su" sınıfında ve her iki dönemde de %42,5'i "Çok Sert-Acı Su" sınıfındadır.

6- Yeraltısuyu örneklerinin iyon sıralanışı her iki dönemde de $Ca > Mg > Na > K$ ve $HCO_3 > SO_4 > Cl > NO_3$ şeklindedir. Ayrıca örneklerin toplam katyon konsantrasyonlarına (TC^+) katkı oranlarına göre; A7 nolu örnek hariç $Ca+Mg$ iyonlarının katkısı $Na+K$ iyonlarından çok daha yüksek değerlerdedir. Kurak dönemde yeraltısuyu örneklerinin %65'i $Ca-Mg-HCO_3$ su tipine sahipken %22,5'i (A4, A8-A12, A16, A39 ve A40) "karışık bileşimli sular" sınıfındadır. A3, A28, A29 ve A31 numaralı örnekler ise $Ca-Mg-(Na)-SO_4$ su tipinde iken A7 numaralı örnek $Na-(Mg)-Cl$ su tipindedir. Yağışlı dönemde ise yeraltısuyu örneklerinin %55'i $Ca-Mg-HCO_3$ su tipinde

olup %35'i (A4, A8-A12, A15-A17, A27, A28, A37, A39 ve A40) "karışık bileşimli sular" sınıfındadır. A3, A29 ve A31 nolu örnekler ise Ca-Mg-(Na)-SO₄ su tipinde iken A7 nolu örnek Na-(Mg)-Cl su tipinde bulunmuştur. Genel olarak örneklerin çoğunluğu, çalışma alanında yaygın olan karbonatlı kayaçların çözünmesini ve/veya ayrışmasını gösteren Ca-Mg-HCO₃ su tipinde olup belirli örneklerde gözlenen HCO₃-SO₄ su tipinden, SO₄-HCO₃ ve SO₄ su tipine bir eğilim olması, esas olarak akiferlerde jips ve anhidrit gibi evaporitik minerallerin çözünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, A7 nolu örneğin Na-Cl su tipinde olması halit mineralinin bölgesel olarak çözünmesinin ve sulama dönüş akışı sırasında toprak tuzlarının yeraltısuyuna sızmasının bir sonucu olabilir. Her iki dönemde de iyon konsantrasyonları arasında çok fazla bir farklılık olmamasına rağmen yağışlı dönemde ortalama değerlerinde az bir artış çözünme süreçlerindeki artışı işaret etmektedir. Fakat A15 numaralı yeraltısuyu örneğinin K ve NO₃ konsantrasyonlarında yağışlı dönemde anormal bir artış gözlenmiştir. Altınekin İlçe merkezinde bulunan A15 nolu örneğin kuyu derinliği 40m olup özellikle yağışlı dönemde K ve NO₃ konsantrasyonunun çok yüksek seviyelere çıkması bu kuyu çevresindeki kirleticilerin (evsel atıksu ve kuyuya yakın bölgede biriktirilen hayvansal atıkların) yağışlarla yeraltısuyuna süzülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

7- A3, A7, A28, A29 ve A31 numaralı örnekler, Ca, Mg, Na, Cl, SO₄ iyon konsantrasyonları, diğer örneklerle kıyaslandığında her iki dönemde de çok daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır. Bu örnekler inceleme alanında spesifik lokasyonlarda dağılmış olup örneklerdeki iyon artışının bölgesel evaporitik mineral (halit, jips, anhidrit) çözünmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

8- Yeraltısuyunun ana iyon kimyasını etkileyen süreçler çeşitli diyagramlar, formüller ve iyonik oranlar kullanılarak değerlendirilmiş olup elde edilen sonuçlara göre; yeraltısuyunun kimyasını etkileyen ana mekanizmanın, kayaç ve minerallerin çözünmesi ve/veya ayrışması olduğunu söylenebilir. Ayrıca, Gibbs diyagramına göre A3, A7, A28 ve A31 numaralı örneklerin kimyasında buharlaşmanın da etkisini olduğu gözlenmiştir. Karbonatlı kayaçların çözünümü ve ayrışması yeraltısuyu kimyasını etkileyen ana süreçlerin başında gelmektedir. Evaporitik minerallerin çözünümü ise yeraltısuyu kimyasını etkileyen bir diğer önemli süreçtir. Ayrıca iyon değişim reaksiyonlarının bölgedeki yeraltısuyu kimyasında önemli bir etkiye sahip olduğu özellikle yağışlı dönemde bu etkinin daha belirgin olduğu söylenebilir.

9- Önemli bir tarım bölgesi olan inceleme alanındaki insan faaliyetlerinin yeraltısuyu kimyası üzerindeki etkisi özellikle NO_3 analiz sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Yeraltısuyu örneklerinin kurak dönemde NO_3 konsantrasyonları 4,65-970,8 mg/l arasında değişmekte olup ortalama 79,48 mg/l ve yağışlı dönemde ise 5,23-981,2 mg/l arasında değişmekte olup ortalama 105,2 mg/l'dir. Örneklerin kurak dönemde %45' inin ve yağışlı dönemde %50' sinin WHO ve TSE-266 tarafından izin verilen 50 mg/l sınır değerini aştığı gözlenmiştir. Yeraltısuyu örneklerinde NO_3 , tarım arazilerinin yanı sıra yerleşim alanları çevresinde de yüksek konsantrasyonlara ulaşmıştır. Yapılan tüm değerlendirmeler, inceleme alanındaki tarımsal aktiviteler ve evsel atık suların yeraltısularındaki NO_3 kirliliği için potansiyel kaynakları olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgulara göre, yeraltısuyundaki NO_3 kirliliğine sadece tarımsal aktiviteler değil özellikle yerleşim alanları ve çevresindeki kanalizasyon sızıntısı, fosseptik sızıntısı, depolama sızıntı suları ve evsel ve hayvansal gübre atıklarının da neden olduğu söylenebilir. İnceleme alanında dağılmış yerleşime sahip birçok köy ve yayla bulunmakta olup buradaki halkın su ortamını koruma konusundaki zayıf farkındalığının, evsel atık ve hayvansal gübre atıklarının gelişigüzel atılmasına neden olması yeraltısuyu kirlenmesinin nedenleri arasında gösterilebilir. Ayrıca, A7 nolu örnek hariç diğer tüm örneklerin NO_3 konsantrasyonları 10-50 mg/l arasında olup bu değerler çalışma alanında NO_3 kirliliğinin ciddi boyutlara ulaştığını ve artabileceğinin göstermektedir.

10- İnceleme alanındaki yeraltısuyunun tarımsal sulama suyu olarak kullanıma uygunluğunu EC, SAR, RSC, %Na, KI, MH, PI, PS indeksleri ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Diyagramlarıyla değerlendirilmiştir. SAR ve RSC değerlerine göre tüm örnekler sulama suyu kalitesi bakımından çok iyi sınıfında, PI değerlerine göre "iyi" sınıfında ve %Na değerlerine göre örnekler çok iyi, iyi, izin verilebilir sınıfındadır. EC değerlerine göre A3, A7, A28, A29 ve A31 numaralı örnekler, MH değerlerine göre A7, A10, A11, A20, A28, A29, A31, A38, A39 ve A40 numaralı örnekler, KI değerlerine göre A7 numaralı örnek ve PS değerlerine göre "A3, A4, A7, A8, A10, A12, A15, A17, A27, A28, A29, A31, A39 ve A40 numaralı örnekler sulama suyu kalitesi açısından "uygun değil" sınıfındadır. Elde edilen verilere göre bölgedeki bazı suların sulama suyu olarak kullanılması sakıncalıdır.

5.2 Öneriler

İnceleme alanı, yılın büyük bir bölümünde sulama suyuna ihtiyaç duyan şeker pancarı ekimi başta olmak üzere tarımsal faaliyetler açısından Konya ve hatta İç Anadolu bölgesinin önemli tarım alanlarından biridir. Yüzey suyunun olmasından dolayı yeraltısuyu sulama suyunun başlıca kaynağını oluşturmaktadır.

Yeraltısuyu kalitesinin ürün/mahsul üzerinde çok büyük etkisi bulunmakta olup uygun sulama suyu kalitesi mahsul üretimini destekleyebilirken düşük kaliteli veya uygun olmayan su çeşitli sulama risklerinden dolayı mahsul veriminde azalmaya ve dirence neden olabilir. Ayrıca kuraklığın bir sonucu olarak mahsul üretiminde son derece önemli olan yağışların azalması yeraltısuyuna olan gereksinimi her geçen gün daha da arttırmaktadır. Dolayısıyla yeraltısuyu kalitesinin bozulması bölgedeki mahsul verimini negatif olarak etkileyecektir. Bunun yanı sıra büyük ölçüde tarımsal faaliyetlere bağlı olan bölgenin sosyo-ekonomik koşulları da zorluklarla karşı karşıya kalacaktır. Bu nedenle sulama suyunun korunması için sürekli izlenmesi ve detaylı analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bölgede mevcut durumda yeraltısuyundaki NO_3 kirliliği ileri seviyelere ulaşmış olup tarım ilacı ve gübrelerin sınırlı kullanımının yeraltısuyu kirliliğini azaltacağı öngörülmektedir. Bunun yanında, yeraltısuyunda NO_3 kirliliğine neden olan evsel atık su ve hayvansal atıkların da uygun yöntemlerle bertaraf edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, yağmur suyu hasadı, yeraltısuyuna bağımlılığı azaltmanın yanında yeraltısuyu seviyesini arttırarak bozulma eğilimini tersine çevirmek için etkili bir araç olarak değerlendirilebilir.

Altınekin havzasındaki yeraltısuları ile ilgili bu çalışma, bölge halkı ile çiftçiler, bölge plancıları ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ve tarım uygulamalarıyla ilgilenen diğer paydaşlar için temel değerlendirme görevi görecektir.

KAYNAKLAR

- Adimalla, N., and Qian, H., 2021, Groundwater chemistry, distribution and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater: A case study from the semi-urban region of South India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111277.
- Akarsu, İ., 1971, II. Bölge AR/TPO/747 nolu sahanın terk raporu: Petrol İşletmeleri Genel Müdürlüğü.
- Akıl, B., 2008, İnönü-Eskişehir Fay Sistemi'nin Günyüzü (Eskişehir)–Yeniceoba (Konya-Türkiye) Arasındaki Bölümünün Yapısal Evrimi. Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 126s.
- Alam, M.S., Han, B., and Pichtel, J., 2021, Irrigation suitability of White River in Indiana, Midwestern USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 43:10, 4179-4200.
- Aydın, Y., Eren, Y., Aksoy, R. ve Dinç, S., 2000, Çayırbağı-Dutlukırı-Kırankaya Mukbil ve Beypınarı tatlı su kaynakları çevresinin jeolojisi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Döner Sermaye İşletme Projesi 74 s.(Yayınlanmamış)
- Benjamin, J.G., Nielsen, D.C. and Vigil, M.F., 2003, Quantifying effects of soil conditions on plant growth and crop production. *Geoderma*, 116(1-2), 137-148.
- Bozdağ, A., 2010, Cihanbeyli (Konya) ve Çevresinin Hidrojeolojik, Hidrokimyasal ve İzotopik Özelliklerinin İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, 282s.
- Bozdağ, A. and Göçmez, G., 2013, Evaluation of groundwater quality in the Cihanbeyli basin, Konya, Central Anatolia, Turkey. *Environmental Earth Science*. 69: 921–937.
- Bozdağ, A. and Göçmez, G., 2014, Geotourism potential of travertine cones in the surroundings of Bolluk Lake (Cihanbeyli), Turkey. *Tourism, Environment and Ecology in the Mediterranean Region*, Edited by Recep Efe and Münir Öztürk, *Cambridge Scholars Publishing*, Chapter fifteen, p.207-219
- Bozdağ, A. and Göçmez, G., 2016, Hydrogeochemical and isotopic study of groundwater in a semi-arid region: Yeniceoba Plain (Cihanbeyli-KONYA), Central Anatolia, Turkey. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 90(1), 230-241.

- Chakraborty, M., Tejankar, A., Coppola, G. and Chakraborty, S., 2022, Assessment of groundwater quality using statistical methods: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(12), 1136.
- Corwin, D.L., 1996, GIS applications of deterministic solute transport models for regional-scale assessment of non-point source pollutants in the vadose zone. In: Corwin DL, Loague K (eds) Applications of GIS to the modelling of nonpoint source of pollutants in the vadose zone. *Soil Science Society of America*, 48:69-100.
- Coşkun, A., 2018, Altınekin (Konya) çevresindeki ofiyolitik kayaçların ve oluşan plaserlerin maden potansiyelinin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, 96s.
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M.C. ve Dirik, K., 1999, Structural evolution of the Tuzgolu Basin in Central Anatolia, Turkey. *Journal of Geology* 107, 693-706.
- Deepali, M., Malpe, D.B., Karunanidhi, D., Patil, P.D. and Li, P., 2020, Hydrogeochemical evaluation, suitability, and health risk assessment of groundwater in the watershed of Godavari basin, Maharashtra, Central India. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 18471-18494.
- Demirci, A., 2008, Öğretmenler için Coğrafi Bilgi Sistemleri. *Fatih Üniversitesi Coğrafya Bölümü*, Yayın no: 41, 379s, Büyükçekmece, İstanbul.
- Demirtas, R. ve Yılmaz, R., 1996, Türkiye'nin Sismotektonigi, Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı., Ankara, Say:91.
- Demirtaşlı, E., 1967, Jeolojinin ana prensipleri ye temel konuları. *Scientific Mining Journal*, 6 (4), 259-267.
- Demirtaşlı, E., Turhan, N., Bilgin, A.Z. ve Selim, M., 1984, Geology of the Bolkar mountains, In: Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C. (eds.), *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, Ankara, 125-142.
- Dirik, K. ve Erol, O., 2000, Tuzgölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi Orta Anadolu, Türkiye, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, Özel sayı 5:27-46.
- Dirik, K. ve Erol, O., 2003, Tectonomorphologic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia-Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 27-46.
- DSİ (Devlet Su İşleri), 1971, Cihanbeyli-Yeniceoba-Kulu Ovası Hidrojeolojik Araştırma Raporu, Ankara

- DSİ (Devlet Su İşleri), 1973, Altınekin Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara. Sıra no: 1406. 26s.
- Doneen, L.D., 1962, The influence of crop and soil on percolating water. *In Proceedings 1961 biennial conference on groundwater recharge* (pp 156–163)
- Doneen, L.D., 1964, Notes on water quality in agriculture, in Davis: Water Science and Engineering Paper 4001, *Department of Water Science And Engineering*, University of California
- Döner, K., 2008, Altınekin Ovasında Tarımsal Atık Sularının Yeraltı Suyuna Olan Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği*, Konya, 72 s.
- Eaton, F.M., 1950, Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, 69(2), 123-134.
- Edmunds, W.M., Bath, A.H. and Miles, D.L., 1982, Hydrochemical evolution of the East Midlands Triassic sandstone aquifer, England. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46:2069–2081.
- El Osta, M., Masoud, M., Alqarawy, A., Elsayed, S. and Gad, M., 2022, Groundwater suitability for drinking and irrigation using water quality indices and multivariate modeling in makkah Al-Mukarramah province, Saudi Arabia. *Water*, 14(3), 483.
- Eren, Y., 1993, Konya kuzeybatısında Bozdağlar Masifinin otokton ve örtü birimlerinin stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 36, 7-23.
- Eren, Y., 1996, Ilgın-Sarayönü (Konya) güneyinde Bozdağlar masifinin stratigrafisi ve jeoloji evrimi, *K.T.Ü. Jeoloji Müh. Böl.*, 30. Yıl Sempozyumu, Bildiriler, (1), 694-707.
- Eren, Y., 2000, Altınekin (Konya) çevresinin stratigrafisi ve yapısal özellikleri. Selçuk Üniversitesi Araştırma Fonu, Proje No:96/151.
- Eren, Y., 2003a., Yazır fayının (Konya) neo-tektonik özellikleri. *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 237-244.
- Eren, Y., 2003b., Konya bölgesinin depremselliği. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 85-98.
- Erol, O., 1969, Tuz Gölü Havzasının Jeoloji ve Jeomorfolojisi. Genç tektonik Hareketler, Pluvial Göl Sekileri ve Potas-Tuz Teşekkül Şartları Yönünden Bir Araştırma, *Tübitak*, TBAG:26.(Yayınlanmamış), Ankara.
- Esri, 2006, Environmental Systems Research Institute, from <https://www.esri.com>

- FAO, 1985, Water quality for agriculture. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome
- Fitzpatrick, C. and Maguire, D.J., 2000, GIS in schools: Infrastructure, methodology and role. In: GIS: A sourcebook for schools (ed D.R. Gren), pp. 61-62. Taylor & Francis.
- Gaillardet, J., Dupré, B., Louvat, P. and Allegre, C.J., 1999, Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. *Chemical Geology*, 159(1-4), 3-30.
- Garbrecht, J. and Martz, L.W., 1999, Digital Elevation Model Issues In Water Resources Modelling. *19th ESRI International User Conference, Environmental Systems Research Institute*, San Diego, California, July 26-30, 1999.
- Gharbi, A., Ali, Z.I. and Zairi, M., 2019 Groundwater suitability for drinking and agriculture purposes using irrigation water quality index and multivariate analysis: case of Sidi Bouzid aquifer, central Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-19.
- Gowd, S.S., 2005, Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes: a case study of Peddavanka watershed, Anantapur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 48, 702-712.
- Guo, Y., Zhang, S., Wang, S., Zhang, Y., Du, J., and Liao, L., 2023, Using stable isotopes ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) and hydrochemistry to understand the genesis and hydrochemical processes of groundwater in Chongming Island, Yangtze Estuary. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14.
- Göğer, E. ve Kıral, K., 1969, Kızılören (Konya) dolayının Jeolojisi; Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Raporu.No: 5204, 86s, Ankara.
- Göğer, E. ve Kıral, K., 1973, Kızılören dolayının (Konya'nın batısı) genel stratigrafisi. MTA Rap. No: 5204 (Yayınlanmamış).
- Görmüş, M., 1984, Kızılören (Konya) dolayının jeoloji incelemesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 67 s. (yayınlanmamış).
- Han, G.L., Tang, Y. and Xu, Z.F., 2010, Fluvial geochemistry of rivers draining karst terrain in South west China. *Journal of Asian Earth Sciences* 38: 65-75
- Jalali, M., 2009, Groundwater geochemistry in the Alisadr, Hamadan, Western Iran, *Environmental Monitoring and Assessment*, 166(1-4):359-369.
- Jankowski, J., Acworth, R.I. and Shekarforoush, S., 1998, Reverse ion exchange in deeply weathered porphyritic dacite fractured aquifer system, Yass, New South

- Wales, Australia. In G. B. Arehart & J. R. Hulston (Eds.), *9th International Symposium on Water-Rock Interaction* (pp. 243-246). August Aime Balkema
- Jenson, S.K. and Domingue, J.O., 1988, Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593-1600
- Karakaya, N., 1991, Altınekin (Konya) civarının jeolojisi ve mineralojik petrografik incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği, Konya
- Karakoç, İ., 1996, Hatip- Çayırbağı- Çaldağı (Konya) ve kuzeyinin jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 62 s. (yayınlanmamış).
- Karaman, E., 1984, Konya Altınekin çevresinin jeolojisi ve tektonik gelişimi, S.Ü.M.M.F., Doktora Tezi, 125 s. (yayınlanmamış).
- Karaman, E., 1986, Altınekin (Konya) çevresinin jeolojisi ve tektonik evrimi, Türkiye Jeolojisi Kurumu Bülteni, 29/1, 157-171.
- Kelley, W.P., 1951, *Alkali soils: their formation, properties and reclamation*. Reinhold Publishing Company. New York
- Kelley, W.P., 1963, Use of saline irrigation water. *Soil Science*, 95(6), 385-391.
- Khanoranga and Khalid, S., 2019, An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14-26.
- Kumari, M. and Rai, S.C., 2020, Hydrogeochemical evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using water quality index in semi arid region of India. *Journal of the Geological Society of India*, 95, 159-168.
- Kumar, M., Kumari, K., Ramanathan, A.L. and Saxena, R., 2007, A comparative evaluation of groundwater suitability for irrigation and drinking purposes in two intensively cultivated districts of Punjab, India. *Environmental Geology*, 53:553-574
- Li, P., Wu, J. and Qian, H., 2016, Hydrochemical appraisal of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and the major influencing factors: a case study in and around Hua County, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-17.
- Liu, J., Peng, Y., Li, C., Gao, Z. and Chen, S., 2021, Characterization of the hydrochemistry of water resources of the Weibei Plain, Northern China, as well

- as an assessment of the risk of high groundwater nitrate levels to human health. *Environmental Pollution*, 268, 115947.
- Liu, J., Gao, Z., Zhang, Y., Sun, Z., Sun, T., Fan, H., Wu, B., Li, M. and Qian, L., 2021, Hydrochemical evaluation of groundwater quality and human health risk assessment of nitrate in the largest peninsula of China based on high-density sampling: A case study of Weifang. *Journal of Cleaner Production*, 322, 129164.
- Metin, S., Genç, Ş., Bulut, V., Ölmez M., Kılıç İ., Akıncı, A., Umut, M. ve Kurt Z., 1988, Bolvadin (Afyon)- Yunak (Konya) dolayının Jeolojisi, M.T.A. Raporu No: 8522 (Yayımlanmamış).
- Meybeck, M., 2003, Global occurrence of major elements in rivers. *Treatise Geochemistry*. 5, 207–224.
- Mukherjee, I., Singh, U.K. and Chakma, S., 2022, Evaluation of groundwater quality for irrigation water supply using multi-criteria decision-making techniques and GIS in an agroeconomic tract of Lower Ganga basin, India. *Journal of Environmental Management*, 309, 114691.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Uysal, S., Sentürk, K. and Isik, A., 1988, Late Paleozoic evaluation of the Kütahya-Bolkardag Belt; *Middle East Technical University Journal of Pure and Applied Sciences Series A Geosciences*, 21, 1-3, 211-220.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M.C. ve Turhan, N., 1989, Kütahya-Çifteler-Bayat-İhsaniye Yöresinin Temel Jeolojisi. MTA Rapor no:8118, 142 s.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., Sentürk, K., Uysal, S. ve Isık, A., 1990, Konya-Kadınhanı-Ilgın dolayının temel jeolojisi, M.T.A. Rapor No:9535 (Yayınlanmamış).
- Özgül, L. ve Göncüoğlu, M.C., 1999, Koçyaka metamorfik kompleksinin metamorfik evrimi: Batı Orta Anadolu’da YB/DS metamorfizmalı Tektonik bir birim, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler kitabı, 279-286.
- Özsayın, E., 2007, İnönü-Eskişehir Fay Sistemi’nin Yeniceoba-Cihanbeyli (Konya-Türkiye) Arasındaki Bölümünün Neojen-Kuvaterner Yapısal Evrimi. Doktora Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 120 s, Ankara.
- Öztürk, A. ve Baykal, A., 2012, Hatıp-Çayırbağı (Meram-Konya) Bölgesinde Yüzeylenen Ofiyolitik Kayaçlarda Jeofizik Yöntemlerle Ağır ve Kıymetli Metal Aranması. *S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (4) 149-167.

- Pant, N., Rai, S.P., Singh, R., Kumar, S., Saini, R.K., Parthasarathy, P., Nijesh, P., Rawat, Y., Sharma, M. and Pratap, K., 2021, Impact of geology and anthropogenic activities over the water quality with emphasis on fluoride in water scarce Lalitpur district of Bundelkhand region, India. *Chemosphere*, 279:130.
- Piper, A.M., 1944, A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions, *American Geophysical Union*, 25: 914-23.
- Philippson, A., 1915, Reisen und Forschungen im westlichen Kleinasien, Gotha: *Petermanns Geographische Mitteilungen Heft*. 1-5 Erg. Nr. 167-183.
- Raghunath, H.M., 1987, Groundwater: hydrogeology, groundwater survey and pumping tests, rural water supply and irrigation systems. 2nd edn. *New Age International, Wiley Eastern Ltd*, New Delhi, 563s.
- Ramesh, K. and Elango, L., 2012, Groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural use in Tondiar river basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 3887-3899.
- Ramsar Convention, 2004, *The Ramsar Convention Manual: A Guide to the Convention on Wetlands* (Ramsar, Iran, 1971), 3rd edition, Switzerland.
- Rao, N.S., Rao, J.P., Devadas, D.J. and Rao, K.S., 2002, Hydrogeochemistry and groundwater quality in a developing urban environment of a semi-arid region, Guntur, Andhra Pradesh. *Geological Society of India*, 59(2), 159-166.
- Richards, L.A., 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook No. 60. *US Department of Agriculture*, Washington DC, p 160.
- Roy, S., Gaillardet, J. and Allegre, C.J., 1999, Geochemistry of dissolved and suspended loads of the Seine river, France: anthropogenic impact, carbonate and silicate weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(9), 1277-1292.
- Schmidt, G.C., 1960b., Surrender report of Licenses 360-363 District II. State Petroleum Archive, Ankara.
- Schoeller, H., 1965, Qualitative evaluation of groundwater resources. In *Methods and techniques of groundwater investigations and development*. UNESCO, pp 54-83
- Schoeller, H., 1967, Geochemistry of groundwater. An international guide for research and practice. UNESCO, Paris, pp 1-18
- Shakeri, A., Hosseini, H., Rastegari-Mehr, M. and Dashti-Barmaki, M., 2022, Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) and human

- health risk (HHR) assessment in Herat aquifer, west Afghanistan. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 28(7): 711-733.
- Singh, S., Raju, N.J. and Ramakrishna, C., 2015, Evaluation of groundwater quality and its suitability for domestic and irrigation use in parts of the Chandauli-Varanasi region, Uttar Pradesh, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 7(07), 572.
- Smemoe, C.M., 1997, Linking Gis Data To Hydrologic Models. <http://emrl.byu.edu/chris/documents/watergis.pdf>
- Subba Rao, N., Subrahmanyam, A. and Babu Rao, G., 2013, Fluoride-bearing groundwater in gummanampadu sub-basin, guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Earth Science*, 70, 575-586.
- Tarboton, D.G., 1997, A New Method For The Determination of Flow Directions And Upslope Areas In Grid Digital Elevation Models. *Water Resources Research*, 33(2): 309-319.
- Todd, D.K. and Mays, L.W., 2004, *Groundwater hydrology*. John Wiley & Sons, New York.
- Tuncer, T., 2011, Altınekin İlçesi'nde yeraltı suyu kullanımı-tarımsal faaliyet ilişkisi. *Selçuk Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 81s.
- Turcotte, R., Fotin, J.P., Rousseau, A.N., Massicotte, M. and Villeneuve, J.P., 2001, Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *Journal of Hydrology*, 240 (2001) 225-242.
- Ulu, Ü., Bulduk, A., Ekmekçi, E., Karakas, M., Öcal, H., Arbas, A., Saçlı, L., Taskiran, M.A., Adır, M., Sözeri, S. ve Karabıyıkoglu, M., 1994, İnlice-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi, M.T.A. Rapor no: 9720 (Yayınlanmamış).
- Umut, M., 2009a., 1/100000 ölçekli Ilgın-L28 paftası jeoloji haritası, MTA Genel Müdürlüğü Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, No: 121, 13 s. Ankara.
- Umut, M., 2009b., 1/100000 ölçekli Ilgın-L29 paftası jeoloji haritası, MTA Genel Müdürlüğü Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, No: 122, 17 s. Ankara.
- Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, O. ve Hüseyin, S., 1976, Haymana-Polatlı yöresinin (Güneybatı Ankara) Üst Kretase-Alt Tersiyer stratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bulteni.*, 19, 159-176, Ankara-Turkey.

- Venkatachalam, P., Mohan, B.K., Kotwal, A., Mishra, V., Muthuramakrishnan, V. and Pandya M., 2001, Automatic Delineation of Watersheds for Hydrological Applications Proc. ACRS 2001- 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Singapore. Vol. 2, pp. 1096-1101.
- Verma, A., Yadav, B.K. and Singh, N.B., 2021, Hydrochemical exploration and assessment of groundwater quality in part of the Ganga-Gomti fluvial plain in northern India. *Groundwater for Sustainable Development*, 13, 100560.
- Zafar, M.M., Sulaiman, M.A., Prabhakar, R. and Kumari, A., 2022, Evaluation of the suitability of groundwater for irrigational purposes using irrigation water quality indices and geographical information systems (GIS) at Patna (Bihar), India. *International Journal of Energy and Water Resources*, 1-14.
- Zhang, Y., Dai, Y., Wang, Y., Huang, X., Xiao, Y. and Pei, Q., 2021, Hydrochemistry, quality and potential health risk appraisal of nitrate enriched groundwater in the Nanchong area, southwestern China. *Science of The Total Environment*, 784, 147186.
- Wang, Y. and Li, P., 2022, Appraisal of shallow groundwater quality with human health risk assessment in different seasons in rural areas of the Guanzhong Plain (China). *Environmental Research*, 207, 112210.
- Westcot, D.W. and Ayers, R. S., 1985, *Irrigation water quality criteria*. Irrigation with reclaimed municipal wastewater: A guidance manual. GS Pettygrove and T. Asano (Eds.). *Lewis Publishers, Inc.* Chelsea, M.I.
- Wilcox, L.V., 1948, *Classification and Use of Irrigation Waters*. United States Department of Agriculture, Washington DC, 962
- Wilcox, L.V., 1955, *Classification and use of irrigation water*. USDA, Circular, Washington.

<http://yebilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> Erişim tarihi: 22.02.2021