

KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GAZİANTEP İLİ YERALTISULARININ HİDROKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ VE KALİTE PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet Selçuk AVCI

DANIŞMAN: Doç Dr. Halim AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2018
KİLİS

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Halim AVCI danışmanlığında, Ahmet Selçuk AVCI tarafından hazırlanan “Gaziantep şehir merkezinde tüketilen artezyen (kuyu) sularının kimyasal özellikleri ve kalite kontrol kriterlerine uygunluğunun araştırılması” adlı tez çalışması/...../2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

**Unvanı, Adı Soyadı
(Kurumu)**

İmza

Başkan

..... Dr.
(Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edebiyat Fak. Kimya ABD)

Üye

..... Dr.
(..... Üniv. Fak. ABD)

Üye

..... Dr.
(..... Üniv. Fak. ABD)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../201... tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

Bu tez çalışması **Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi** tarafından desteklemiştir.

Yrd. Doç. Dr. Hülya DEDE
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yeraltı suları, kurak bölgeleri fazla olan Türkiye'nin çoğu kısımlarında evsel, endüstriyel ve tarımsal kullanım için önemli bir kaynaktır. Yeraltı suları, farklı kullanım amacıyla bu suların uygunluğunu belirlemek ve majör iyonların konsantrasyonunu tespit etmek için, Güneydoğu Anadolu'da Gaziantep'in kırsal alanlarındaki 120 kuyudan numune toplanmıştır.

İyon konsantrasyonları (as meq/L) arasındaki ilişkiler, kararlılık katsayısının hesaplanması ve lineer model yoluyla analiz edildi. Sitokiyometrik hesaplamalarla yeraltı suyunda iyonlar arasındaki kantitatif ilişkiler belirlemeye çalışılmıştır. ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) ve HCO_3^- iyonları arasındaki hesaplamalar, toplam toprak alkali metal iyonlarının (M^{2+}) konsantrasyonlarının farklılıklarında bile bağıl yüzdenin tüm örnekler için %86'nın altında kaldığını gösterdi. Yeraltı sularındaki Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- iyonlarının çoğunluğu yerel jeolojik yapıda en yaygın yaygın olarak görülen karbonatlı birimlerin aşınmasından kaynaklanmıştır. Kalsitin yanı sıra dolomitin aşınması bazı bölgelerdeki iyonlara katkı sağlamak için önemlidir. Numunelerin %79'unda Ca-HCO_3^- 'in, %2,5'inde ise Mg-HCO_3^- 'in baskın olduğu, %18'inde ise eşit seviyelerde olduğu görülmüştür. Na-HCO_3^- yalnızca bir su numunesinde saptanmıştır. Bu nedenle yeraltı sularındaki çözülmüş majör bileşenlerin $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve biraz daha az miktardaki $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ olduğu anlaşılmaktadır.

Çözülmüş halde bulunan NaCl , KCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 ve $\text{M}(\text{NO}_3)_2$ numune alınan yere bağlı olarak majör veya minör rol oynamıştır. NO_3^- ve M^{2+} ($[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ iyonları $[\text{HCO}_3^-]$ iyonlarından daha fazladır) arasındaki ilişkiler incelendi. NO_3^- ve M^{2+} iyonlarının molar konsantrasyonları arasında güçlü bir doğrusal ilişki vardır. Nitrifikasyon gibi öncelikli olarak mikrobiyal kaynaklı süreçlerden meydana gelen azotlu bileşikler, karbonat mineralleriyle (CaCO_3 gibi) reaksiyona girmesi ve doğal kimyasal reaksiyonlar yoluyla yeraltı suyuna geçmesi beklenir. Örnek olarak alınan yeraltı suları, Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- ve NH_4^+ konsantrasyonları bakımından ve standartlara uygun çoğu fizikokimyasal özelliklerinden dolayı genellikle içme suları kalite esaslarına uygun bulunmuştur. Ancak birkaç yeraltı suyu örneğindeki NO_3^- , Ca^{2+} ve HCO_3^- konsantrasyonları kabul edilebilir maksimum konsantrasyondan (MACs) daha

fazladır. Bu çalışma Gaziantep yöresindeki yeraltı sularının geniş kapsamlı bir değerlendirmesidir. Su kimyasının verilerinin sonuçları 1) çok amaçlı su kullanımı için halihazırdaki su kalitesi ile ilgili bilgi sağlar; 2) gelecekte yapılacak araştırmalar için bir kriter görevi görür.

Anahtar Kelimeler: *Hidrokimya, Hidrojeokimya; Majör iyon kimyası; Nitratın (yeraltı sularına) taşınma mekanizmaları; Su kalitesi; Yeraltı (kuyu) suyu; Gaziantep*



ABSTRACT

Groundwater is a major source of water for domestic, industrial and agricultural uses in many parts of Turkey, where arid environments are common. Groundwater was collected from 120 wells in rural areas of Gaziantep, in southeast Anatolia, to determine the concentration of major ions and assess the suitability of the groundwater for various uses. Relationships between ion concentrations (as meq/L) were analyzed through linear modeling and calculation of coefficients of determination (R^2). Stoichiometric calculations were employed to determine the quantitative relationships between ions in groundwater. Calculations between $(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ and HCO_3^- indicated that, even at different concentrations of the total alkaline earth metal ion (M^{2+}), the relative percent remained at 86% for all samples. The majority of Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- ions in groundwater were derived from weathering of calcite, the most common mineral in the local geology. Weathering of dolomite was also important to the contribution of ions in some areas. Ca- HCO_3 was found to be the dominant water type for 79% of raw samples; Mg- HCO_3 was the water type in 2.5% of the samples; a mixed water type was found in 18% of the samples. Na- HCO_3 water was identified in only one groundwater sample. The major dissolved components of groundwater were, therefore, $Ca(HCO_3)_2$ and, to a lesser degree, $Mg(HCO_3)_2$. Dissolved NaCl, KCl, Na_2SO_4 , MSO_4 and $M(NO_3)_2$ also played major or minor roles depending on the sampling point.

The relationships between NO_3^- and M^{2+} (excess $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]$ over $[HCO_3^-]$) were investigated. There was a strong linear relationship ($R^2>0.90$) between molar concentrations of NO_3^- and M^{2+} . Nitrogen compounds originating primarily from microbially-driven processes such as nitrification are expected to react with carbonate minerals (e.g., $CaCO_3$) and migrate to groundwater via natural chemical reactions.

The sampled groundwater was generally found to meet drinking water quality guidelines for most of the physicochemical quality properties for which standards are available, and with regard to concentrations of Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- and NH_4^+ . However, NO_3^- , Ca^{2+} and HCO_3^- concentrations in several groundwater samples were in excess of maximum acceptable concentrations (MACs). This study was a wide-ranging evaluation of groundwater within the Gaziantep region. The resulting water

chemistry data 1) provides information on current water quality for multiple uses and 2) acts as a benchmark for future research.

Keywords: *Hydrochemistry; Hydrogeochemistry; Major ion chemistry; Mechanisms for nitrate transport; Water quality, Groundwater; Gaziantep*



TEŞEKKÜR

Çalıőmanın planlanmasında, yürütülmesinde, raporlandırılmasında ve yüksek lisans tezimin her aşamasında değerli yardım ve katkılarından dolayı tez danışmanım saygıdeğer hocam Doç . Dr. A. Halim AVCI' ya Őükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

GASKİ Genel Müdürlüğü'ne girdiğim günden beri benden desteğini eksik etmeyen Laboratuvarlar Őube Müdürümüz Belgin PAMUKÇU'ya ve su örneklerinin toplanmasında ve analizlerinde GASKİ'de emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine mali destekleri için, tez yazımındaki desteğinden dolayı Kenan ERCAN'a ve Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde desteği geçen herkese teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini benden hiçbir zaman eksik etmeyen, varlıklarından güç aldığım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat, 2018

Ahmet Selçuk AVCI

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
RESİMLER VE ŞEKİLLER.....	ix
TABLOLAR	xi
GİRİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
1.1. Dünyada Su Kimyası ve Su Politikası.....	15
1.2. Türkiye’de Su Kaynakları ve Su Politikası	18
1.3. Gaziantep’de Su Kaynakları ve Su Politikası.....	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	20
3. MATERYAL VE METOD.....	22
3.1. Çalışma Alanı	22
3.2. Örneklerin Toplanması ve Ön Hazırlık İşlemleri.....	24
3.3. Kimyasallar, Cihazlar, Analiz ve Yöntemler.....	28
3.3.1. İyon kromatografisi analizleri.....	29
3.3.2. Anyon analizleri.....	29
3.3.3. Katyon analizleri.....	31
3.3.4. Yeraltı su örneklerinde eser element analizleri.....	32
3.3.5. Yeraltı su örneklerinin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi	33
4. SONUÇ VE TARTIŞMALAR	38
4.1. Su Kimyası Diyagramları	38
4.2. Su-Kayaç Etkileşimleri.....	43
4.3. Hidrokimyasal Fasiyeler	49

4.4. Yüksek Nitrat Konsantrasyonlarının Kaynakları ve Nitratın Yeraltı Sularına Taşınması	61
4.5. Yeraltı Suları İyon Kimyası; Majör Katyon ve Anyonlar	68
KAYNAKLAR	93



RESİMLER VE ŞEKİLLER

Şekil 3.1. Çalışma Alanının Jeolojik Haritası Ve Örnekleme Noktaları	23
Resim 3.1.Katyon ve Anyonların Kantitatif Analizlerinde Kullanılan İyon Kromatografisi Cihazı.....	30
Şekil 3.2.İyon Kromatografisi ile F^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Br^- , NO_3^- ve SO_4^{2-} Anyonlarının Analizlerinde Elde Edilen Bir Kromatogram.....	30
Şekil 3.3. İyon Kromatografisi ile Klorür İyonunun Kantitatif Tayini İçin Elde Edilen Kalibrasyon Grafiği.....	31
Şekil 3.4. İyon Kromatografisi ile Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} ve Ba^{2+} ...Katyonlarının Analizlerinde Elde Edilen Bir Kromatogram	32
Resim 3.2. Yeraltı Sularında Metallerin Kantitatif Analizlerinde Kullanılan İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrofotometresi (ICP-OES) Cihazı	33
Resim 3.3. Çalışmalarımızda Kullanılan pH-metre Cihazı.....	34
Resim 3.4. Çalışmalarımızda Kullanılan Kondüktometre Cihazı.....	35
Resim 3.5. Çalışmalarımızda Kullanılan Renk Ölçer (Color Meter) Cihazı	35
Resim 3.6. Çalışmalarımızda Kullanılan Bulanıklık Ölçüm Cihazı	36
Şekil 4.1. Gaziantep (G), Nizip (N), Kargamış-Oğuzeli (K), Araban (A) ve Yavuzeli (Y) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı	39
Şekil 4.2. Gaziantep (G) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı	40
Şekil 4.3. Nizip (N) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı	41
Şekil 4.4. Araban (A) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı	42

Şekil 4.5. Yavuzeli (Y) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı	43
Şekil 4.6. Yeraltı Sularında Ca^{2+} ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon	44
Şekil 4.7. Yeraltı Sularında Mg^{2+} ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon	45
Şekil 4.8. Yeraltı Sularında SO_4^{2-} ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon	46
Şekil 4.9. Yeraltı Sularında HCO_3^- ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon	46
Şekil 4.10. Yeraltı Sularında HCO_3^- ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon	47
Şekil 4.11. Yeraltı Suları İçin Na^+/Cl^- ve Cl^- Arasındaki Korelasyon	48
Şekil 4.12. Yeraltı Suları İçin Ca^+/Na^+ ve Cl^- Arasındaki Korelasyon	48
Şekil 4.13. Yeraltı Sularında Na^++K^+ ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon	49
Şekil 4.14 a-d Yeraltı Sularında Bağlı İyon Değişimleri	56
Şekil 4.15a-b. Yeraltı Sularında Ca^{2+} ve Mg^{2+} ile HCO_3^- Bağlı Değişimi.....	58
Şekil 4.16. Doğal Olaylar Sonucu Azot Türlerinin Toprakta Nitrat İyonuna Dönüşmesi	61

TABLÖLÄR

Tablo 1.1.: Su Kaynaklarının Yeryüzündeki Dağılımı	16
Tablo 1.2. Türkiye'nin Su Kaynakları Potansiyeli	19
Tablo 2.1. Mevcut Çalışmadaki Yeraltı Suyu Örneklerinin Kimyasal Analiz Sonuçları, ve Seçilmiş Yeraltı Suyu Örneklerinin Raporlanan Fizikokimyasal Özellikleri	21
Tablo 3.1. Örneklerin Noktalarına Ait Detaylar	25
Tablo 4.1. Yeraltı Su Örneklerinde Tayin Edilen İyonların Molar Konsantrasyonları (Meq/L) Herbir Örneğin Temel Bileşeni ve Hidrokimyasal Fasiesleri	51
Tablo 4.2. Gaziantep İlçe ve Değişik Köylerinde İçme ve Kullanma Amaçlı Kullanılan Yeraltı (Kuyu-Artezyen) Su Örneklerinde İyon Kromatografisi ile Tayin Edilen Anyon ve Katyonların Konsantrasyonları, Fizikokimyasal Parametreler ve Bu Tür Sular İçin Kalite Standartlarının Belirlediği Sınır Konsantrasyon Değerleri	80

1. GİRİŞ

Su yaşamımızın en faydalı ve en önemli ihtiyaçlarından biri olduğu için, yaşayan tüm canlıların ihtiyaçlarını karşılamak için kullandıkları suyun temiz, kaliteli ve uygun nitelikte olması gereklidir. Su kalitesinin belirlenmesinde fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik parametreler önem taşır. Günümüz şartlarında çok hızlı artan insan popülasyonu ve şehirlerdeki çoğalan ekonomik ve kültürel faaliyetler, yüksek oranlarda su, hava, toprak ve bitki kirliliğine neden olmaktadır. Dünyadaki toplam su miktarı yaklaşık 1,4milyon km³ olup, bu suyun 1,365 milyon km³'ü (%97,5) tuzlu su, 35 milyon km³'ü (%2,5) ise tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır (USİAD). Tatlı suyun %68,7'si buzullarda, %30,1'i yer altı sularında, %0,8'i donmuş topraklar içinde yer almaktadır. Tatlı suyun sadece %0,4'ü yeryüzünde ve atmosfer içindedir. Bu suyun da %67,4'ü göllerde, %12,2'si toprak nemi olarak, %9,5'i atmosferde, %8,5'i sulak alanlarda, %1,6'sı nehirlerde, %0,8'i bitki ve hayvan bünyesinde bulunmaktadır.

Su kaynaklarının bulunduğu bölgelere baktığımızda; nüfusu en fazla olan kıtalar Asya, Avrupa ve Afrika kıtaları, su kaynağı olarak ise Asya, Güney ve Kuzey Amerika kıtaları kendini göstermektedir. Ülkelerin su varlığına göre sınıflandırılmasında ve su ile ilgili mevcut durumlarının belirlenmesinde kullanılan birçok kriter bulunmaktadır. Bunların arasından en genel kriter kullanılarak bir sınıflandırma yapıldığında; yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 1.000 m³'ten az olan ülkeler "su fakiri", 2.000 m³'ten az olan ülkeler "su azlığı yaşayan", 8.000 - 10.000 m³'ten fazla olan ülkeler ise "su zengini" ülkeler olarak kabul edilmektedir.

Ülkemizin toplam yüzölçümü 783.562 km²'dir. Ülkemizin dört çevresinin üçü su olsa dahi içilebilir yani tatlı su varlığı konusunda fakir bir ülkedir. Ülkemiz hava şartları açısından ılıman, kurak, yüksek sıcaklıkların yaşandığı iklim kuşağına sahiptir. Ülkemizin bir yıldaki ortalama yağış miktarı yaklaşık 643 mm olup, dünya ortalamasının (800 mm) altındadır. Bu miktar, yılda ortalama 501 km³ suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 km³'ü toprak ve su yüzeyi ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 km³'lük suyun 28 km³'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelere gelen yılda ortalama 7 km³ su bulunmaktadır. Böylece Ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 km³

olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 km³de dikkate alındığında, toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 km³olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 km³, komşu ülkelerden gelen akarsulardan 3 km³ olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 km³'tür. 14 km³olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte Türkiye'nin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 km³'dür. Türkiye 2023 yılına kadar toplam kullanılabilir su potansiyelinin (112 km³) tamamını kullanmayı hedeflemektedir.

Gaziantep dünyanın en eski yerleşim yerlerinden olup birçok yeraltı su kaynağına sahip olmasına rağmen hızlı nüfus artışı nedeniyle bu kaynaklar yetersiz kalmıştır. Bu nedenle 1975 yılında Kahramanmaraş İlinde bulunan Kartalkaya barajından içme suyu elde edilmesi planlanmış ve gerekli çalışmalar yapılmıştır. Gaziantep ili su ihtiyacının %70 ine yakın bölgeyi Kartalkaya barajından, yaklaşık %25'ini yine Kahramanmaraş ilinde bulunan Mizmilli bölgesindeki yeraltı kuyularından ve son olarak ise % 5'ine yakın bölgeyi Gaziantep ilindeki yer altı kuyu sularından temin etmektedir. Ancak günümüzde bu kaynakların da yetersiz kalması nedeniyle yeni kaynaklar arayışına girilmiştir ve yine Kahramanmaraş İlinde Düzbağ bölgesinde DSİ Genel Müdürlüğüyle yapılan ortak çalışma ile bu bölgeye bir baraj planlanması hasıl olmuştur. Şu anda proje kapsamında olan iş Gaziantep ilinin yaklaşık 2050 yılına kadar ki su ihtiyacını karşılayacak kapasitede planlanmıştır.

Bu çalışmada Gaziantep'in kırsal alanlarındaki 120 kuyudan numune toplanmıştır. Bu yeraltı suyu örneklerinin kimyasal kompozisyonu ve kalite (kontrol) kriterlerine uygunlukları araştırılmıştır. Toplanan su örnekleri iki temel özellik bakımından incelenmiştir; (1) kimyasal özelliklerinin belirlenmesi; su örneklerindeki Na, Ca, Mg, K gibi katyon ve bikarbonat, klorür, sülfat, nitrat, nitrit ve florür gibi anyonların seviyeleri araştırılmıştır. (2) fiziksel özelliklerin tespiti; renk, elektriksel iletkenlik, bulanıklık gibi özellikler incelenmiştir. Tayin edilen kalite kontrol kriterlerinin ulusal (TSE) ve uluslararası (WHO, EPA, EC) standartlara büyük oranda uyduğu tespit edilmiştir. Ancak bazı kuyulardan alınan su örneklerindeki nitrat (NO₃⁻) konsantrasyonlarının yukarıdaki standart kuruluşlarının üst konsantrasyon değeri olan 50 mg/L'yi aştığı saptanmıştır: Toplanan 120 tane yer altı su örneklerindeki nitrat

konsantrasyonu 2.1-253.2 mg/L gibi çok geniş bir aralıkta, ortalama konsantrasyon±standart sapma' değeri; 30.0±32.1 mg/L'dir. NO₃⁻ iyonu konsantrasyonu bölgeden bölgeye önemli farklılıklar göstermektedir. Ancak örneklerin alındığı noktalar ve bölgeler arasında ortalama nitrat konsantrasyonlarında belirgin farklılıklar görünse de, % 95 güven aralığında (p<0.5) bölgeler arasında farkın olmadığı hesaplanmıştır. Su örneklerinin % 14'ü 50 mg/L olan üst sınır konsantrasyon değerini aşmıştır.

İyon konsantrasyonları (meq/L) arasındaki ilişkiler, kararlılık katsayısının hesaplanması ve lineer model yoluyla analiz edildi. Sitokiyometrik hesaplamalarla yeraltı suyunda iyonlar arasındaki kantitatif ilişkiler belirlemeye çalışılmıştır. (Ca²⁺+Mg²⁺) ve HCO₃⁻ iyonları arasındaki hesaplamalar, toplam toprak alkali metal iyonlarının (M²⁺) konsantrasyonlarının farklılıklarında bile bağıl yüzdenin tüm örnekler için %86'nın altında kaldığını gösterdi. Yeraltı sularındaki Ca²⁺, Mg²⁺ ve HCO₃⁻ iyonlarının çoğunluğu yerel jeolojik yapıda en yaygın yaygın olarak görülen karbonatlı birimlerin aşınmasından kaynaklanmıştır. Kalsitin yanı sıra dolomitin aşınması bazı bölgelerdeki iyonlara katkı sağlamak için önemlidir. Numunelerin %79'unda Ca-HCO₃'in, %2,5'inde ise Mg-HCO₃'in baskın olduğu, %18'inde ise eşit seviyelerde olduğu görülmüştür. Na-HCO₃ yalnızca bir su numunesinde saptanmıştır. Bu nedenle yeraltı sularındaki çözünmüş majör bileşenlerin Ca(HCO₃)₂ ve biraz daha az miktardaki Mg(HCO₃)₂ olduğu anlaşılmaktadır.

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışması (2015/2/LTP) Kilis 7 Aralık Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklemiştir. Katyon, anyon ve diğer bütün analizler GASKİ Laboratuvarında yapılmıştır.

1.1. Dünyada Su Kimyası ve Su Politikası

Dünyadaki toplam su miktarı yaklaşık 1,4milyon km³ olup, bu suyun 1,365 milyon km³'ü (%97,5) tuzlu su, 35 milyon km³'ü (%2,5) ise tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır (USİAD). Tatlı suyun %68,7'si buzullarda, %30,1'i yer altı sularında, %0,8'i donmuş topraklar içinde yer almaktadır. Tatlı suyun sadece %0,4'ü yeryüzünde ve atmosfer içindedir. Bu suyun da %67,4'ü göllerde, %12,2'si toprak nemi olarak, %9,5'i atmosferde, %8,5'i sulak alanlarda, %1,6'sı nehirlerde, %0,8'i bitki ve hayvan bünyesinde bulunmaktadır. (JMO, 2012:17)

Su kaynaklarının yeryüzüne dağılımına baktığımızda; nüfus açısından en yoğun kıtalar Asya, Avrupa ve Afrika kıtaları, su kaynağı olarak ise Asya, Güney ve Kuzey Amerika kıtaları ön plana çıkarmaktadır. (Tablo 1.1)

Tablo 1.1.: Su Kaynaklarının Yeryüzündeki Dağılımı (Kaynak: BM)

KITALAR	Nüfus (%)	Su Kaynağı (%)
Kuzey Amerika	8	15
Güney Amerika	6	26
Avrupa	13	8
Afrika	13	11
Asya	60	36
Avustralya ve Adalar	1	5

Yüzeysel tatlı suyun %20'si Asya'daki Baykal Gölü'nde, diğer %20'si ise Huron, Michigan ve Superior'daki büyük göllerde depolanmıştır. Nehirler toplam tatlı su rezervlerinin sadece %0,6'sını oluşturur. Göllerde, akarsularda, barajlarda ve göletlerde bulunan kullanılabilir ve içilebilir özellikte tatlı suların %0,3 oranında olması, tatlı su kaynaklarının %90'ının ise kutuplarda ve yeraltında hapsedilmiş olarak bulunması, kolaylıkla yararlanabilecek elverişli tatlı su miktarının çok az olduğunu göstermektedir (DPT, 2007:5).

Dünyadaki toplam suyun yaklaşık 500 bin km³'ü her yıl denizlerde ve toprak yüzeyinde meydana gelen buharlaşmalarla atmosfere geri dönmekte ve hidrolojik çevrim içerisinde yağış olarak tekrar yeryüzüne düşmektedir. Yeryüzüne düşen yağış yılda 110.000 km³ olup, bunun 42.700 km³'ü yüzeysel akışa geçerek nehirlerle denizlere ve kapalı havzalardaki göllere ulaşmaktadır. Bu miktarın yılda 9.000 km³'ü teknik ve ekonomik olarak kullanılabilir durumdadır. Kara yüzeyinde buharlaşmayla yılda 70.000 km³ yitirildiğinden, toplam yağışın 40.000 km³'ü deniz ve okyanuslardan buharlaşmayla aktarılmaktadır (Hekimoğlu ve Altındağ, 2008:21).

Son yüz yılda dünya nüfusu üç kat artarken, su kaynakları üzerindeki talep yedi kat artmıştır. 1940 yılında dünyadaki toplam su tüketimi yılda 1000 km³ civarındayken, bu miktar 1960 yılında ikiye katlanmış, 1990 yılında 4.130 km³'e ulaşmıştır. Nüfus yoğunluğunun artması ve su kaynaklarının dünya genelinde dengeli dağılmaması

nedeniyle yaklaşık 80 ülkede nüfusun %40'ında su arzı mevcut talebi karşılayamamaktadır (ATB, 2009:1).

Birleşmiş Milletler'in raporlarına göre su tüketme alışkanlıkları hızla değişmezse 15 yıl sonra sahip olunan su ancak dünya nüfusunun yüzde 60'ına yeteceği düşünülmektedir (Radikal, 2015).

Ülkelerin su varlığına göre sınıflandırılmasında ve su ile ilgili mevcut durumlarının belirlenmesinde kullanılan birçok kriter bulunmaktadır. Bunların arasından en genel kriter kullanılarak bir sınıflandırma yapıldığında; yılda kişi başına düşen ortalama kullanılabilir su miktarı 1.000 m³'ten az olan ülkeler "su fakiri", 2.000 m³'ten az olan ülkeler "su azlığı yaşayan", 8.000 - 10.000 m³'ten fazla olan ülkeler ise "su zengini" ülkeler olarak kabul edilmektedir (ÇŞB, Erişim Tarihi: 14.10.2016)

Dünyada su zengini kıtaların başını Kuzey Amerika çekiyor. ABD ve Kanada; Güney Amerika'da ise Brezilya dünyanın su zengini ülkeleri arasında. Eski kıtanın en zenginleri ise Rusya, Avusturya, Fransa, Hollanda, İzlanda ve Norveç. Rusya Asya kıtasında da liderliğini koruyor. Ardından Çin, Hindistan ve Endonezya geliyor. Afrika kıtasında ise Mısır, Kongo ve Çad su sorunu olmayan ülkeler arasında. Okyanusya'da da Avustralya ve Yeni Zelanda su probleminin olmadığı bilinmektedir (Radikal, 2015).

Ancak dünya su kaynaklarının yarısından fazlası Kanada, Brezilya, Norveç, Rusya, ABD, Yeni Zelanda, Avustralya, Kolombiya, Brezilya ve Çin olmak üzere on ülkenin sınırları içinde kalmaktadır. Dünya nüfusunun %60'ına sahip Asya kıtası su kaynaklarının % 36'sına sahiptir. Su sıkıntısı çeken ülkeler dünya nüfusunun % 20'sini oluşturmaktadır. Afrika'da su sıkıntısı çekenler nüfusun yüzde 48'i iken bu oran Asya'da % 22 olduğu bilinmektedir (Radikal, 2015).

Su zengini ülkeler şanslarını iklim koşullarına, kar, yağmur, buzullar ve suları taşıyan nehirlerine borçlular. Kısacası su, doğadan kaynaklanan bir eşitsizlikle adil olmayan bir biçimde dünyada dağılım göstermektedir. Ancak su kıtlığının gelişmiş ülkelerin politikalarıyla yaratılmış bir sorun olduğu söylenebilir (Radikal, 2015).

1.2. Türkiye’de Su Kaynakları ve Su Politikası

Türkiye’nin toplam yüzölçümü 783.562 km²’dir. Türkiye üç tarafı su ile çevrili bir ülke olsa da tatlısu varlığı açısından zengin bir ülke değildir. Türkiye ılıman, yarı-kurak ve sıcaklıklarda aşırılıkların yaşandığı bir iklim kuşağındadır. Türkiye genelinde yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 643 mm olup, dünya ortalamasının (800 mm) altındadır. Bu miktar, yılda ortalama 501 km³ suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 km³’ü toprak ve su yüzeyi ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 km³’lük suyun 28 km³’ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden gelen yılda ortalama 7 km³ su bulunmaktadır. Böylece Türkiye’nin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 km³ olmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 41 km³’de dikkate alındığında, toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 km³ olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 km³, komşu ülkelerden gelen akarsulardan 3 km³ olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 km³’tür. 14 km³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte Türkiye’nin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 km³’dür. Türkiye 2023 yılına kadar toplam kullanılabilir su potansiyelinin (112 km³) tamamını kullanmayı hedeflemektedir (DSİ, 2009). (Tablo 1.2)

Tablo 1.2. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (DSİ, 2009)

Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Yıllık yağış miktarı	501 km ³
Buharlaşma	274 km ³
Yeraltına sızma	41 km ³
Kullanılmayan su	88 km ³
Kullanılabilir yüzeysel su	98 km ³
Çekilebilir yeraltı suyu	14 km ³
Toplam kullanılabilir su (net)	112 km ³

Topografik farklılıklar, iklimsel farklılıklara neden olmaktadır. Türkiye'de ortalama rakım yaklaşık 1.100-1.200 metre arasındadır. Ortalama yükseklik batı bölgelerinde daha az iken doğu ve iç bölgelerde daha yüksektir. Bu yüzden yüksek platolar ve dağ sıralarının olduğu İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgeleri çok daha fazla kar yağışı almaktadır. Kıyı kesimlerinde uzun, sıcak ve kuru yaz mevsimleri ile kısa ılıman, yağışlı kış mevsimlerinin olduğu Akdeniz iklimi hakimdir. Ne var ki, kışların soğuk, yazların aşırı sıcak olduğu İç Anadolu platosunda yağış oranları oldukça düşüktür. Sonuç olarak yağış miktarlarında da çok büyük değişiklikler görülmektedir; güneydoğu bölgelerinde 250 mm iken, Karadeniz kıyılarında 3.000 mm'nin üstüne çıkabilmektedir (Muluk, 2013:17).

Türkiye hidrolojik olarak, ortalama yıllık yağışların, buharlaşmanın ve yüzeysel su akışlarının büyük farklılıklar gösterdiği büyük havzadan oluşmaktadır. Havzalardaki yıllık yağış miktarları ve yıl içi yağış miktarı dağılımları büyük değişiklikler göstermektedir. Yaklaşık her 30 yılda bir kurak periyod gerçekleşmektedir. Bu kurak dönemler genellikle bir yıl sürmekle birlikte bazen iki veya üç yıla kadar uzayabilmektedir. Ancak 1960'lardan başlayarak kurak periyodların uzadığı gözlemlenmektedir. Örneğin 1994'deki kuraklık 5 yıl sürmüştür (Muluk, 2013:17)

1.3. Gaziantep’de Su Kaynakları ve Su Politikası

Gaziantep dünyanın en eski yerleşim yerlerinden olup birçok yeraltı su kaynağına sahip olmasına rağmen hızlı nüfus artışı nedeniyle bu kaynaklar yetersiz kalmıştır. Bu nedenle 1975 yılında Kahramanmaraş İli’nde bulunan Kartalkaya barajından içme suyu elde edilmesi planlanmış ve gerekli çalışmalar yapılmıştır. Gaziantep ili su ihtiyacının %70 ine yakın bölgeyi Kartalkaya barajından, yaklaşık %25’ini yine Kahramanmaraş ilinde bulunan Mizmilli bölgesindeki yeraltı kuyularından ve son olarak ise % 5’ine yakın bölgeyi Gaziantep ilindeki yer altı kuyu sularından temin etmektedir. Ancak günümüzde bu kaynakların da yetersiz kalması nedeniyle yeni kaynaklar arayışına girilmiştir ve yine Kahramanmaraş İlinde düzbağ bölgesinde DSİ Genel Müdürlüğüyle yapılan ortak çalışma ile bu bölgeye bir baraj planlanması hasıl olmuştur. Şu anda proje kapsamında olan iş Gaziantep ilinin yaklaşık 2050 yılına kadar ki su ihtiyacını karşılayacak kapasitede planlanmıştır (Milliyet, 2015)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünyanın bir çok yerinde doğal sulardaki majör iyon seviyeleri ve su kalitesi ile ilgili bir çok sayıda araştırmalar yapılmıştır. Literatürde doğal yeraltı ve yerüstü suları ile ilgili yapılan bu araştırmalardan bazıları ve bu tez kapsamında analiz edilen majör iyon seviyeleri ve bazı su kalitesi parametrelerinin ortalama değerleri Tablo 2.1’de özetlenmiştir.

Tablo 2.1. Mevcut çalışmadaki yeraltı suyu örneklerinin kimyasal analiz sonuçları, ve seçilmiş yeraltı suyu örneklerinin raporlanan fizikokimyasal özellikleri, Türkiye ve diğer küresel yerlerdeki literatürde belirtilmiştir. Çeşitli yönergelerdeki içme suyu standartları ayrıca gösterilmiştir. Birimler, pH ve EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dışında mg/L 'dir,

Örnek yeri ve numarası	Değer	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	TOC ^f	pH	EC	TDS	Literatür Numarası
Gaziantep çevresi, Türkiye n=120	Aralık	4-185	3-88	2-227	1-186	49-653	3-438	2-102	2-253	0.3-4.2	6.9-8.0	320-2120	3-48**	Mevcut Çalışma
	Ortalama±Std.Sp.	85±29	16±12	18±29	14±32	297±83	31±63	16±19	30±32	0.6±0.4	7.5±0.2	604±269	13±6**	
Standart değer*		75-200	50-150	100-200			30-250	25-250	x-45	x-3.5	7.0-8.5/ 6.5-9.2	650-2500		ISO TSE (TSE266)
Standart değer *		75-200	50-150	200	12	300	200-600	200-400	x-50		6.5-9.2/ 7-8.5	500-1400		WHO
İskoçya, n:6-54	Ortalamalar	22:104	3:28	8:54	1:5	53:281	9:163	6:89	0.3:4 ^c		6.7:7.8		73:962	Robins (2002)
Songnen Ovası, Çin, n=40	Ortalama	61	18	70	3	245	86		36		7.2	721		Zhang et al (2015)
Nottingham, Birleşik Krallık, n=100	Ortalamalar (a)	59:146	39:61	36:66	6:35	210:441	55:141	102:152	10:13 ^c					Barrett et al (1999)
Pisuerga Nehri Akiferi , İspanya n=32	Ortalamalar (b)	160:125	64:54	67:121	3:9	388:352	62:83	277:249	103:89		7.5:7.3	1132:1202		Helena et al (2000)
Bir Gaz Keşif Kuyusu, Yeni Zelanda, n=31	Aralık	4-8	1.5-5	305-327		444-512	140-151	<2			7.2-7.9	1270-1424		Taulis and Milke (2013)
Dalian, Çin Endüstri Bölgesi, n=69	Aralık	70-303	12-80	18-296	0.0-13	46-310	34-802	46-369	39-626		6.5-8.7	750-3440	309-2043	Han et al (2015)
Chougafiya Havzası, Tunus, n=45	Aralık	38-594	7-495	14-2369	0.0-33	122-720	10-4808	8-3935	0.0-129		6.5-7.9		270-10718	Farid et al (2015)
Teojen Bölgesi, Kore, n: 3-77	Ortalamalar (a)	17-56	0.2-11	15-65	1-3	74-178	17-51	13-34	8-39		6.3-8.2	229-507		Jeong (2001)
Four Quaternary Aquifers, Almanya, n: 2-12	Ortalamalar (a)	54-100	1-29	1-19	0-3	232-451	1-39	4-26	3-13					Stoewer et al (2015)
Tropik Bir Tortul Adası, Malezya, n=59	Ortalama	120	21	99	5	354	288	40			7.3	1182		Lin et al (2012)
Merkez Japonya'da Aşıkaga bölgesi, n=23	Aralık	11-45	1-14	6-44	1-3	39-169	2-26	3-46	0.0-17		6.1-7.5	830-4440		Liu and Yamanaka (2012)
Kalker Akiferi, Kuzey Norfolk, Birleşik Krallık n=69	Aralık	48-245	2-94	14-311	1-34	110-242	24-176	9-170	0.0-105					Feast et al (1998)
Akdeniz Çevresinde Sulanmış Bir Arazi, Algarve, Portekiz, n: 2-11	Ortalamalar (a)	111-338	21-75	48-413	2-19	276-403	87-1097	48-296	40-349		6.9-7.6	900-3900		Stigter et al (1998)
Mineralli Bölgeler, Körübaşı, Türkiye, n=7	Aralık	12-25	3-8	6-27	2-25	51-109	4-18	6-39	1-18		6.2-7.1	87-329	58-220	Kacmaz and Nakoman (2009)
Trakya Bölgesi, Türkiye, n:20, 20	Ortalamalar (a)	104:117	60:66		3:6		75:101	129:130	27:52		7.2:7.4	884:901	58:128	Özler and Aydın (2008)
Kütahya Ovası, Türkiye, n=21	Ortalamalar (b)	22:154	7:238	2:105	1:159	275:731	2:174	3:649			7.5:9.1	483:3135	451:457	Berhe et al (2015)
Kırlılık Etkisi Altındaki Mersin, Türkiye, n=31	Aralık	11:333	3:183	4:5559	1:49	18:454	6:8928	6:908	0.0:103		7.0:9.3	11:333		Demirel and Kulege (2005)
Van Akiferi, Türkiye, n=12	Aralık	36-109	4-64	6-109	2-20	137-543	13-103	13-98	0.2-0.7		7.1-9.5	276-1420	166-852	Özler (2003)
Sandıklı Ovası, Afyon, Türkiye, n=38	Aralık	24-78	4-28	4-70	0.4-29	49-516	7-139	5-423			7.1-8.8	217-2000	149-1097	Afşin (1997)
Akdeniz Sahili, Silifke, Türkiye, n=21	Ortalamalar (b)	28:44	25:30	116:137	4:8	234:302	107:209	44:49			8.0:8.3	881:1151		Seckin et al (2010)
Tarsus Kıyı Ovası, Mersin, Türkiye, n=193	Median	80	42	53	2	297	68	74	11		7.5	906	705	Guler et al (2012)
Gaziantep Şehir Merkezi, Türkiye, n=9	Aralık			5-12			6-27	6-33	12-30		7.1-7.7	421-703		Günel and Kösen (2015)
Harran Ovası, GAP Projesi, Türkiye, n=24	Aralık	41-495	12-203	6-379	1-88	6-381	15-619	5-1902	2-699	1.6-3.8	6.9-7.6	469-4848		Yesilnacar and Gulluoglu (2008)
Bir Depolama Alanı, Torbalı, Türkiye, n=20	Aralık	41-215	12-63	15-419	1-30	95-979	20-649	15-398	0-44		6.9-8.4	102-1050		Simsek et al (2008)
Cihanbeyli Havzası, Orta Anadolu	Ortalama	136	115	263	9	262	347	672	56		7.7	2511	1803	Bozdag and Gocmez (2013)
Çeltikçi Ovası, Burdur, Türkiye, n=15	Aralık	71-142	5-49	5-51	0.4-2	311-598	5-82	5-50			8-8.8	368-792		Davraz and Ozdemir (2014)
Amik Ovası, Türkiye'nin Güneyi, n:42, 42, 92	Ortalamalar (b)	42:149	86:108	183:231	4:4	123:203	252:262	303:802			7.8:7.8	2128:2750	1382:1782	Agca (2014)
Senirkent-Uluborlu Havzası, Türkiye, n=11	Ortalama	77	34	10	4	288	12	24			7.7	547	281	Aksever et al (2015)
Tefenni Ovası Burdur, Türkiye, n=28	Ortalamalar (b)	54:66	35:36	35:38	1:2	286:346	26:27	38:40	4:17		7.1: 8.0	1221:1117	514:514	Varol and Davraz (2015)
Literatür Esası Değerler														
Yağış		0.9	0.2	0.6	0.4	2.0	0.4	3.0	0.3			5.5		Lee and Fetter (1994)
Birleşmemiş Katmanlarda Yeraltı Suyu		54	15	47	3	157	21	64	0.6		7.5			
Volkanik Kayalarda Yeraltı Suyu		8	2	4	1	40	1	1	n/a		6.8			
Tortul Kayaçalarda Yeraltı Suyu		53	19	20	2	263	12	47	2.7		7.5			
Karbonatlarda Yeraltı Suyu		55	28	13	3	255	14	48	n/a		7.5			
Deniz Suyu		400	1272	10560	380	142	18980	2560	<1		8.1-8.4			

*İstenilen standart limitler için düşük değerler, azami müsaade edilen standart limitler için yüksek değerler; **Toplam katyon ve anyon derişimi Tablo 1'de tanımlandığı gibi meq/L şeklindedir; (a)Farklı örnek bölgelerinin ortalama değerleri; (b)Farklı zamanlar için ortalama değerler; Std.Sp.:Sandart sapma; ^f91 örnek için toplam organik karbon; cNO3-N; TSE: Türk Standartları Enstitüsü

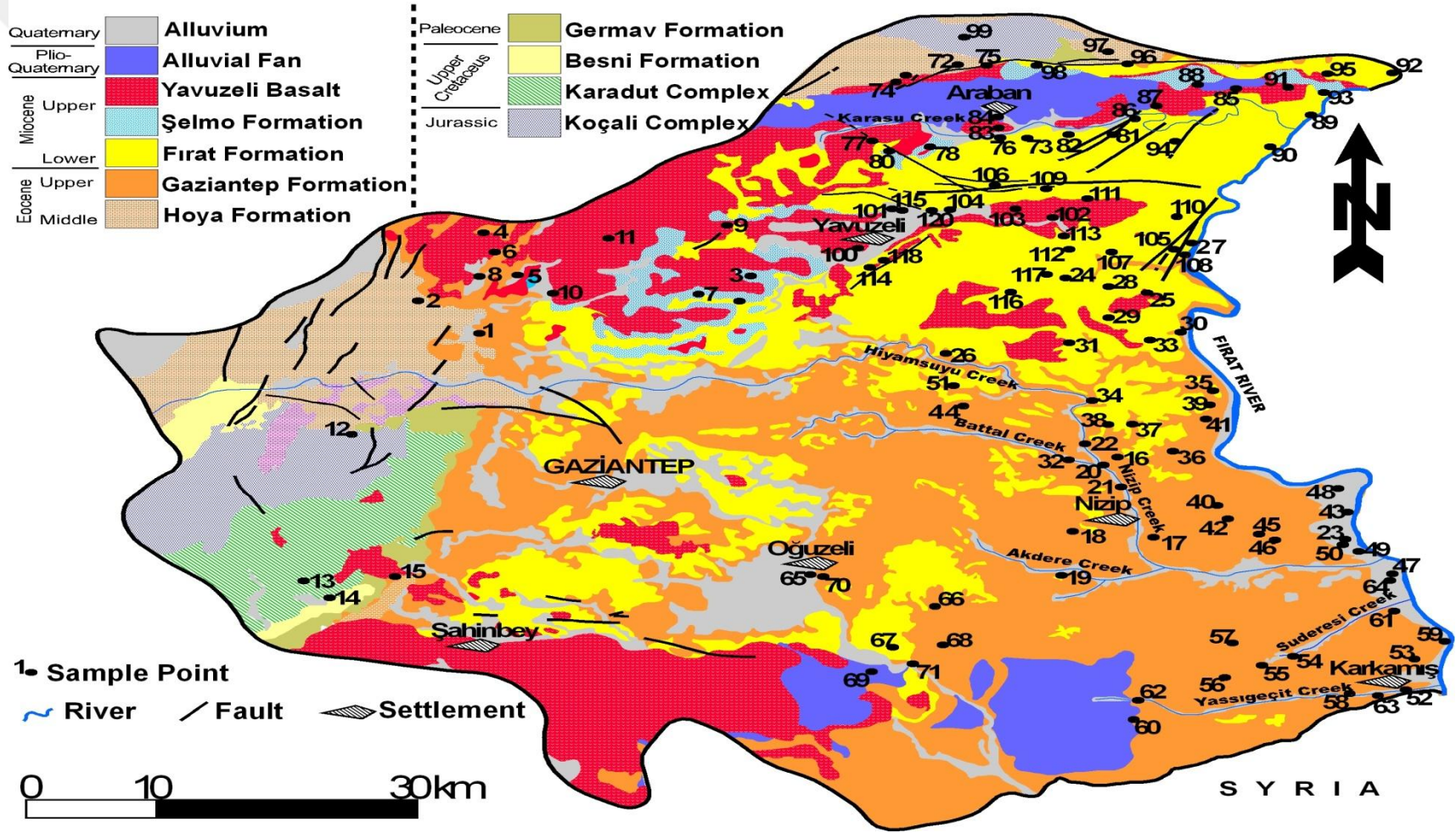
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Türkiye'nin güneydoğusunda, Suriye sınırında bulunan Gaziantep ilinin doğu kısmını kapsamakta olup, doğudan Fırat Nehri ile, güneyden ise Suriye hududu ile sınırlandırılmıştır (Şekil 3.1). Çalışma alanında Akdeniz iklim koşulları hâkimdir. Meteoroloji servisinden alınan verilere göre yıllık yağış miktarı 572 mm olup sıcaklık değerleri -18 ile 49 °C arasındadır.

Çalışma alanının genel jeolojik özellikleri Ulu vd. (1992) ve Terlemez vd. (1992) tarafından incelenmiş ve haritalanmıştır. Çalışma alanında Jura'dan günümüze arlığında değişen yaşlara sahip tortul kayalar yoğun olarak görülmekte olup, çalışma alanının tabanında ofiyolitik birimler mevcuttur. Arap Plakası'nın Anadolu Plakası'na bindirmesi sonucu oluşan allokton birimler çalışma alanının güneybatısında yüzeylenmektedir. Bölgede genel olarak sedimanter birimler yaygın olmakla birlikte, Orta-Üst Miyosen döneminde bazaltik volkanizma etkin olmuştur (Şekil 3.1).

Çalışma alanının genelinde Orta Eosen-Alt Miyosen döneminde çökelmiş karbonatlı birimler geniş yayılım göstermektedir. Bunlardan Hoya Formasyonu dolomitik, Gaziantep Formasyonu killi, Fırat Formasyonu ise resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Karbonatlı birimler tabakalı, kırıklı-çatlaklı ve yer yer karstlaşma gösteren yapısı nedeniyle yüksek geçirimliliğe sahiptir ve akifer özelliği taşımaktadır. Bölgede bu birimlerden oluşan akiferler yoğun olarak işletilmekte ve yüksek debiyle su alınabilmektedir. Bölgede Üst Miyosen'de de olivin bazalt bileşimindeki Yavuzeli bazaltları yayılım göstermektedir. Çalışma alanının kuzey ve güneybatı kesiminde yayılım gösteren volkanikler yer yer akma-soğuma çatlakları ve kırıklı geçirimlilik kazanmıştır ve yeraltı suyu akışına imkân tanımaktadır.



Şekil 3.1. Çalışma Alanının Jeolojik Haritası Ve Örnekleme Noktaları

3.2. Örneklerin Toplanması ve Ön Hazırlık İşlemleri.

Numuneler 2014 yılının 4. ve 5. Aylarında TSE 5667-1, 5667-2, 5667-3 standartlarına göre Gaziantep'in farklı noktalarından toplanmıştır (Tablo 3.1). İlgili ulusal ve uluslararası standartlara göre analiz işlemlerine kadar saklanmıştır. Alınan örneklerle uygulanan ön hazırlık işlemleri aşağıda özetlenmiştir;

- (a) Numune alma için sadece temiz polietilen ve cam kaplar kullanıldı.
- (b) Numune laboratuvara geldikten sonra numune eğer şebeke suyu değilse, gerekli görüldüğünde (kirli ve bulanık yer altı suları için) membran filtreden (0,45 µm) süzüldü. Böylece anyonların partikül madde üzerinde adsorpsiyonu veya bakteriyel gelişme nedeniyle olası reaksiyonları önlendi.
- (c) Numune analize kadar 1 - 5°C de tutuldu veya -20°C'a donduruldu.
- (d) Analizler, derişimde değişme olmaması için, numune alındıktan sonra mümkün olan en kısa sürede yapıldı.

Tablo 3.1. Örneklerin noktalarına ait detaylar (KD: kuyu derinliği, R: Rakım)

Örnek No	Örnek Kodu	Örneğin alındığı yerin adı	Örneğin alındığı noktanın koordinatı	KD (m)	R (m)
1	G9	Şehitkamil Ülkerli	37°13'13.94" K - 37°14'10.65"D	145	999
2	G10	Şehitkamil Serintepe	37°15'19.24" K - 37°11'05.50"D	173	983
3	G11	Şehitkamil Uğurca	37°16'16.43" K - 37°28'07.78"D	90	699
4	G12	Şehitkamil Karakesek	37°19'27.87" K - 37°14'36.20"D	132	911
5	G13	Şehitkamil Bağbaşı	37°16'43.79" K - 37°16'18.57"D	186	848
6	G14	Şehitkamil Sülüklü	37°18'13.46" K - 37°15'07.43"D	160	869
7	G15	Şehitkamil Yayıktaş	37°15'14.73" K - 37°25'30.78"D	189	795
8	G16	Şehitkamil Köksalan	37°16'40.77" K - 37°14'23.10"D	145	893
9	G17	Şehitkamil Karayusuflu	37°19'25.12" K - 37°27'13.68"D	82	709
10	G18	Şehitkamil Akçagöze	37°15'35.85" K - 37°17'59.28"D	125	815
11	G19	Şehitkamil Seğmenli	37°18'47.42" K - 37°21'04.62"D	40	741
12	G20	Şehitkamil Sofalıcı	37°07'11.07" K - 37°07'32.45"D	-	1138
13	G22	Şahinbey Dokur	37°58'19.46" K - 37°04'18.97"D	79	766
14	G23	Şahinbey Uğurtepe	37°57'11.38" K - 37°05'41.09"D	178	778
15	G24	Şahinbey Ozanlı	37°58'27.43" K - 37°09'06.02"D	153	971
16	N1	Nizip Oğlakderesi	36°50'16.52" K - 37°41'35.80"D	89	503
17	N2	Nizip Yunus Emre Ç,	36°59'46.28" K - 37°47'43.45"D	98	494
18	N3	Nizip Söğütlü	37°00'12.08" K - 37°43'38.48"D	40	585
19	N4	Nizip Bahçeli	37°57'43.93" K - 37°43'06.46"D	85	550
20	N5	Nizip Turlu	37°04'09.33" K - 37°45'28.72"D	102	555
21	N6	Nizip Kızılcakent	37°02'49.10" K - 37°46'16.39"D	120	519
22	N7	Nizip Kıratlı Köy	37°05'29.30" K - 37°44'35.10"D	57	572
23	N8	Nizip Yukarıbayındır	37°59'08.74" K - 37°57'16.99"D	50	584
24	N9	Nizip Zerdegüm	37°15'32.76" K - 37°44'12.09"D	80	654
25	N10	Nizip Köseler	37°14'30.09" K - 37°48'11.66"D	3	663
26	N11	Nizip Boyluca	37°11'10.28" K - 37°37'52.37"D	67	762
27	N12	Nizip Adaklı	37°17'08.39" K - 37°51'47.02"D	78	768
28	N13	Nizip Gülbaşak	37°14'59.22" K - 37°46'17.13"D	110	614
29	N14	Nizip Elhacı	37°13'02.62" K - 37°46'13.79"D	87	734
30	N15	Nizip Gümüşlük	37°12'02.39" K - 37°49'49.02"D	-	391
31	N16	Nizip Gaziler	37°11'32.76" K - 37°44'08.09"D	-	716
32	N17	Nizip Yenyazı	37°04'31.74" K - 37°43'44.52"D	102	583
33	N18	Nizip Oğuzlar	37°11'36.07" K - 37°48'11.32"D	85	603
34	N19	Nizip Tatlıcak	37°08'03.76" K - 37°45'04.19"D	110	632
35	N20	Nizip Yukarı Çardak	37°08'26.86" K - 37°51'08.03"D	-	482
36	N21	Nizip Keklik Köyü	37°04'54.21" K - 37°48'53.34"D	-	531
37	N22	Nizip Özyurt Köyü	37°06'33.00" K - 37°47'02.75"D	-	684
38	N23	Nizip Tanır Köyü	37°06'33.51" K - 37°45'51.12"D	-	608
39	N24	Nizip Samandöken K	37°07'37.59" K - 37°50'59.70"D	220	441
40	N25	Nizip Turnalı Köyü	37°01'32.07" K - 37°51'02.32"D	60	481
41	N26	Nizip Toydemir Köyü	37°06'45.69" K - 37°50'44.90"D	-	475

42	N27	Nizip Dutlu Köyü	37°00'42.29" K - 37°51'27.89"D	-	464
43	N28	Nizip Suboyu	37°00'55.47" K - 37°57'32.67"D	108	348
44	N29	Nizip Kemaliye	37°07'58.29" K - 37°38'33.54"D	123	412
45	N30	Nizip Bağlıca	36°59'44.51" K - 37°52'59.55"D	80	428
46	N31	Nizip Güzel Köy	36°59'19.88" K - 37°53'47.57"D	83	426
47	N32	Nizip Kumla Köyü	36°57'06.43" K - 37°59'29.39"D	48	356
48	N33	Nizip Saray Köyü	37°02'19.24" K - 37°58'07.02"D	89	348
49	N34	Nizip Aşağı Bayındır	36°58'32.52" K - 37°57'50.80"D	76	359
50	N35	Nizip Yukarı Bayındır	36°59'08.27" K - 37°57'16.95"D	75	363
51	N38	Nizip Dayıdağı Köyü	37°09'15.20" K - 37°38'06.69"D	90	867
52	K1	Karkamış B, Kuyu	36°50'08.17" K - 37°59'43.29"D	15	358
53	K2	Karkamış Yurtbağı	36°51'45.28" K - 38°00'14.75"D	13	363
54	K3	Karkamış Karacurun	36°52'15.99" K - 37°54'16.51"D	-	424
55	K4	Karkamış Subaşı	36°51'44.15" K - 37°52'41.58"D	-	439
56	K5	Karkamış Yeşerti	36°51'07.50" K - 37°50'45.94"D	-	464
57	K6	Karkamış Yolağzı	36°53'09.75" K - 37°51'16.28"D	-	465
58	K7	Karkamış Kıvırcık	36°49'54.27" K - 37°57'01.23"D	70	393
59	K8	Karkamış Gürçay	36°52'59.00" K - 38°01'47.72"D	10	341
60	K9	Karkamış Balaban	36°48'41.83" K - 37°46'03.93"D	-	500
61	K10	Karkamış Keleklioğlu	36°54'52.14" K - 37°59'22.89"D	35	358
62	K11	Karkamış Alacalı	36°49'52.77" K - 37°46'21.24"D	-	498
63	K12	Karkamış Karanfil	36°49'47.82" K - 37°58'19.83"D	70	379
64	K13	Karkamış Elifoğlu	36°56'49.23" K - 37°59'22.00"D	30	356
65	K15	Oğuzeli Karpuzatan	36°57'47.85" K - 37°30'17.14"D	-	683
66	K16	Oğuzeli Tınazdere	36°55'54.76" K - 37°36'28.25"D	70	664
67	K17	Oğuzeli Karataş	36°53'28.36" K - 37°34'14.79"D	50	655
68	K18	Oğuzeli Tutluca	36°53'34.35" K - 37°36'43.56"D	-	612
69	K19	Oğuzeli Yeniköy	36°51'59.34" K - 37°33'05.00"D	40	612
70	K20	Oğuzeli Acarköyü	36°57'50.25" K - 37°30'52.08"D	-	691
71	K21	Oğuzeli Kaşyolu	36°52'23.99" K - 37°35'08.08"D	-	593
72	A1	Araban Yolveren	37°28'42.57" K - 37°39'23.43"D	140	710
73	A2	Araban Esentepe	37°24'03.78" K - 37°42'38.30"D	170	560
74	A3	Araban Köklüce	37°28'06.72" K - 37°37'10.40"D	63	592
75	A4	Araban Karacaören	37°28'38.40" K - 37°40'54.79"D	120	656
76	A5	Araban Eski Altıntaş	37°24'13.97" K - 37°41'22.10"D	90	521
77	A6	Araban Gelinbuğday	37°24'16.04" K - 37°34'51.12"D	40	568
78	A7	Araban Körhacıobası	37°23'53.36" K - 37°37'47.14"D	75	567
79	A8	Araban Göllüce	37°28'02.78" K - 37°36'57.95"D	170	580
80	A9	Araban Dağdancık	37°23'39.58" K - 37°35'46.22"D	80	616
81	A10	Araban Doğan	37°24'10.88" K - 37°47'07.09"D	70	545
82	A11	Araban Fakılı	37°24'17.14" K - 37°44'49.10"D	108	515
83	A12	Araban Aşağıgözey	37°25'30.11" K - 37°41'17.73"D	155	533
84	A13	Araban Yukarıgözey	37°25'30.39" K - 37°41'20.45"D	98	531

85	A14	Araban Gümüşpınar	37°26'42.72" K - 37°53'24.86"D	-	511
86	A15	Araban Taşdeğirmen	37°25'06.96" K - 37°48'15.45"D	112	530
87	A16	Araban Küçükklü	37°25'49.03" K - 37°49'25.09"D	154	521
88	A17	Araban Başpınar	37°27'03.32" K - 37°51'30.10"D	170	569
89	A18	Araban Tarlabası	37°24'57.73" K - 37°57'07.45"D	110	506
90	A19	Araban Hisar	37°23'05.42" K - 37°54'55.16"D	-	668
91	A20	Araban Akbudak	37°26'41.68" K - 37°56'05.94"D	-	548
92	A21	Araban Fıstıklıdağ	37°27'29.75" K - 38°02'16.88"D	145	518
93	A22	Araban Çiftekoz	37°26'18.37" K - 37°57'51.24"D	140	497
94	A23	Araban Sarıtepe	37°23'37.45" K - 37°50'10.37"D	220	586
95	A24	Araban Erenbağ	37°27'22.14" K - 37°58'07.47"D	80	599
96	A25	Araban Akkoç	37°28'27.47" K - 37°48'01.85"D	130	762
97	A26	Araban Gökçepayam	37°29'06.37" K - 37°46'00.66"D	110	813
98	A27	Araban Bağlıca	37°28'27.68" K - 37°43'31.63"D	260	690
99	A28	Araban Beylilli	37°30'24.26" K - 37°39'53.46"D	120	883
100	Y1	Yavuzeli Karapınar	37°45'42.05" K - 38°14'38.28"D	110	699
101	Y2	Yavuzeli Yörelî	37°20'05.58" K - 37°35'39.43"D	200	607
102	Y3	Yavuzeli Gülpınar	37°19'17.15" K - 37°43'41.32"D	155	498
103	Y4	Yavuzeli Bağtepe	37°19'53.57" K - 37°38'33.63"D	100	553
104	Y5	Yavuzeli Şenlikçe	37°19'49.36" K - 37°41'52.59"D	160	540
105	Y6	Yavuzeli Beğendik	37°17'04.14" K - 37°49'46.58"D	165	629
106	Y7	Yavuzeli Nohutalan	37°21'19.01" K - 37°40'53.07"D	240	803
107	Y8	Yavuzeli Kuzuyatağı	37°17'04.29" K - 37°46'34.35"D	-	569
108	Y9	Yavuzeli Kasaba	37°16'44.27" K - 37°50'17.41"D	166	462
109	Y10	Yavuzeli Büyükhavuz	37°18'58.71" K - 37°23'49.90"D	80	575
110	Y11	Yavuzeli Sarılar	37°19'03.20" K - 37°49'57.60"D	200	526
111	Y12	Yavuzeli Göçmez	37°20'21.42" K - 37°45'29.56"D	66	555
112	Y13	Yavuzeli Çiltoprak	37°17'16.12" K - 37°44'27.61"D	210	523
113	Y14	Yavuzeli Aşağıkayabaşı	37°18'09.41" K - 37°44'14.87"D	150	498
114	Y15	Yavuzeli Karabey	37°16'38.85" K - 37°34'16.59"D	90	633
115	Y16	Yavuzeli Örenli	37°20'04.92" K - 37°35'43.89"D	200	609
116	Y17	Yavuzeli Üçgöl	37°14'45.34" K - 37°41'18.25"D	124	701
117	Y18	Yavuzeli Düzce	37°15'50.08" K - 37°43'17.15"D	-	616
118	Y19	Yavuzeli Çimenli	37°17'00.97" K - 37°35'01.74"D	134	664
119	Y20	Yeşil Dere		160	
120	Y21	Yavuzeli K,Hüseyin		88	

3.3. Kimyasallar, Cihazlar, Analiz ve Yöntemler

Çalışmamızda kullanılan bütün reaktifler analitik saflıktadır. Bütün analitik işlemlerin her bir basamağında yüksek saflıkta saf su kullanılmıştır.

Su örneklerinin kimyasal ve/veya fizikokimyasal özelliklerinin tayininde kullanılan cihaz ve bu cihazlar için marka, model gibi bazı detaylar aşağıda özetlenmiştir; renk ölçüm cihazı (HachLange, lico 500 Model) (ISO 7887), turbidimetre (HachLange, 2100 AN IS Model) (ISO 7027), pH metre (WTW, 730 Model) (ISO 10523), iletkenlik ölçer (WTW, 720 Model) (EN 27888). Total organik karbon tayini için (EN 1484)TeledyneTekmar TOC analiz cihazı kullanıldı. Majör katyon ve anyonların kantitatif analizleri iyon kromatografisi (DIONEX ICS 5000, ThermoScientific) cihazı, metal tayinleri için ICP-OES (Optima 2100 DV, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA) cihazı kullanıldı.

Her bir tayine ait detaylar aşağıda açıklanmıştır;

Alınan suların sıcaklıkları ölçümü yapıldı ve 18-24 0C arasında olduğu tespit edildi.

Örnekler alındıktan sonra en geç bir hafta içinde analiz edildi.

Toplam organik karbon (TOC) analizi UV persülfat yöntemiyle yapıldı. Toplam karbon ve toplam organik karbon analizi, fotokimyasal (UV-persulfat) oksitleme sonucu oluşan CO₂ gazının statik basınçlı NDIR detektör ile ölçülmesi prensibine dayanmaktadır.

Kullanılan yöntem TS 8195 EN 1484 sudaki organik karbonun yakma, uygun bir yükseltgeyici ilâvesi, UV ışınları ile ışınlanması veya herhangi bir diğer yüksek enerjili ışın ile CO₂'e yükseltgenmesidir.

Katyon ve anyon analizlerinde; TS EN ISO 10304-1 ve TS EN ISO 14911 standartları kullanıldı. Anyon (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, F⁻, NO₂⁻) analizleri için 100 mg/L'lik sertifikalı standart stok anyon çözeltilerinden 0,1-2 mg/L konsantrasyon aralığında (ve değişen konsantrasyonlarda) hazırlanan standart çözeltileri ile çalışma eğrileri oluşturuldu. Anyon analizlerinde elüsyon çözeltisi olarak Potasyum hidroksit (KOH)'in

farklı konsantrasyonlardaki çözeltileri kullanıldı. Bu analizler için toplamda 5 ml su örneği enjekte edildi.

Kasyon (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) analizleri için 100 mg/L'lik sertifikalı standart stok katon çözeltilerinden 0.2-10 mg/L konsantrasyon aralığında her bir kasyon için ayrı, ayrı (ve değişen konsantrasyonlarda) hazırlanan standart çözeltileri ile çalışma eğrileri oluşturuldu. Kasyon analizlerinde elüsyon çözeltisi olarak meta sülfonik asit (MSA)'in farklı konsantrasyonlardaki çözeltileri kullanıldı.

Metal analizleri için 1000 mg/L'lik sertifikalı standart stok metal çözeltilerinden değişen konsantrasyon aralıklarında hazırlanan standart çözeltileri ile çalışma eğrileri oluşturuldu. Bu analizler TS EN ISO 11885 standardına uygun yapıldı. Bütün analizlerde ISO – TSE'nin önerdiği örnek hazırlama ve analiz yöntemleri kullanıldı.

İyon kromatografisi analizleri

İyon kromatografisi analizlerinde su örneklerinin laboratuvara taşınması ve saklanması sırasında bozulma ve değişmelerden sakınmak için bu işlemlerde standart metotlara (TS 5089 EN 25667-1, TS 5090 EN 25667-2 ve 5106 ISO 5667-3.e) uyulmuştur. Su örnekleri laboratuvara getirildikten sonra, gerekli görüldüğünde membran filtreden (göz açıklığı 0,45 ppm) süzüldü. İyon analizleri, örnekler alandan alındıktan sonra mümkün olabilen en kısa sürede gerçekleştirildi. Analiz hemen yapılamamış ise süzülen örnekler 2-6 °C'de kısa bir süreliğine saklandı veya -20°C'a donduruldu.

Anyon analizleri

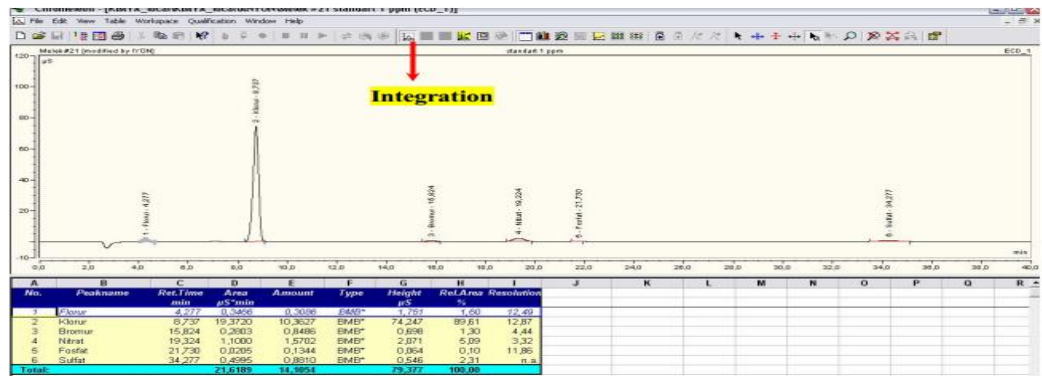
Az kirlenmiş sularda bulunan çözünmüş anyon; florür (F^-), klorür (Cl^-), nitrit (NO_2^-), ortofosfat, bromür (Br^-), nitrat (NO_3^-), sülfat (SO_4^{2-}) tayinlerini kapsar. Farklı zamanlarda farklı konsantrasyonlarda KOH eluent Jeneratör kimyasalı (%99 saflıkta) kullanılmıştır.



Resim 3.1.Katyon ve Anyonların Kantitatif Analizlerinde Kullanılan İyon Kromatografisi Cihazı

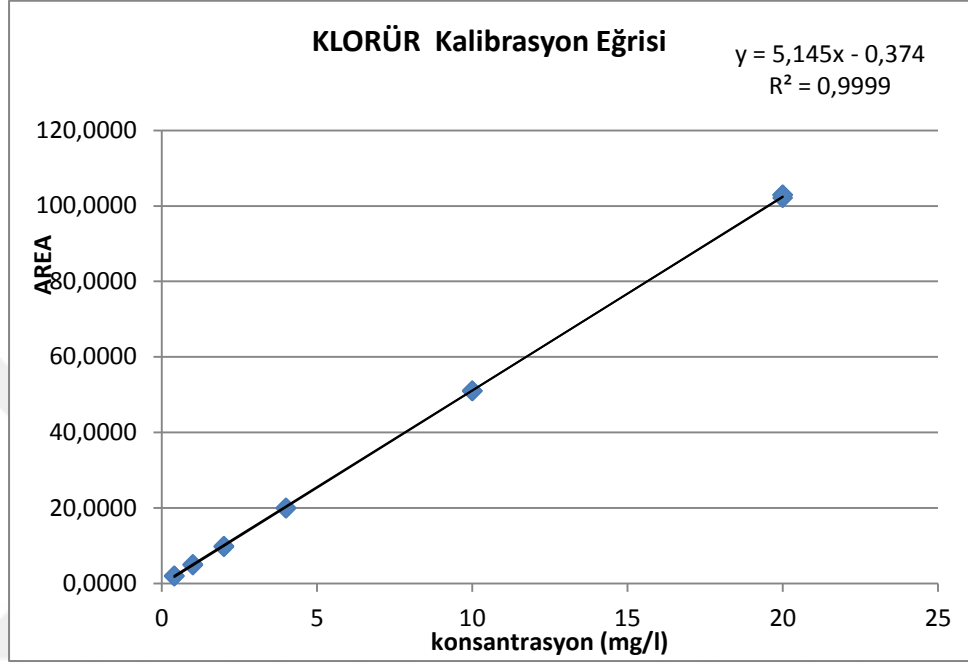
Kalibrasyon standartlarının hazırlanması

Kalibrasyon işlemi için farklı konsantrasyonlar da (1/50, 1/100, 1/250, 1/500, 1/1000 mg/L (ppm)) her bir standarttan 3'er tane olacak şekilde ayarlandı ve cihaz için özel hazırlanmış olan 5 ml'lik viallere aktarıldı ve kapaklarına sert bir şekilde baskı uygulanarak, sıkıca kapatıldı. Hazır olan küvetler cihaz içerisine sıra ile yerleştirildi ve cihaz kapağı kapatıldı. Daha sonra bilgisayar yardımıyla standartlar tek tek isimlendirilerek kayıt altına alındı ve cihaz kalibrasyon eğrisini anyonlar için oluşturmaya başladı.



Şekil 3.2.İyon Kromatografisi ile F^- , Cl^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Br^- , NO_3^- ve SO_4^{2-} Anyonlarının Analizlerinde Elde Edilen Bir Kromatogram

Elektrik kesintisi vb. olumsuz durumlar sonucunda cihazın standarta yanlış okuyabileceği ihtimaline karşı cihazın en net sonucu vermesi için 3'er standart hazırlanarak doğrulama yapıldı.

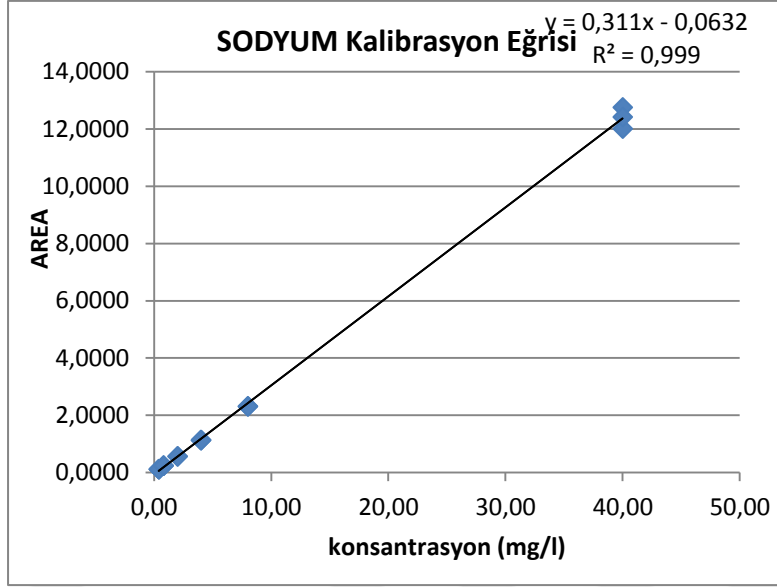


Şekil 3.3. İyon Kromatografisi ile Klorür İyonunun Kantitatif Tayini İçin Elde Edilen Kalibrasyon Grafiği

3.3.1. Katyon analizleri

Bozucular; amonyum ve sodyumun derişimleri arasında büyük fark olduğunda biri diğerinin tayininde bozucu etki yaratır.

Kalibrasyon grafiklerinin hazırlanması için CRM sertifikalı 500-1000 mg/L'lik stok katyon çözeltileri kullanıldı. Seyreltme işlemlerinde kullanılan saf suyun elektriksel iletkenliği 0.01 mS/m den küçüktür (ISO 3696). Elüsyon çözeltisi olarak farklı zamanlarda farklı konsantrasyonda metan sülfanik asit $\text{CH}_4\text{O}_3\text{S}$ (%99 <) kullanıldı.



Şekil 3.4. İyon Kromatografisi ile Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{+2} ve Ba^{+2} ...Kasyonlarının Analizlerinde Elde Edilen Bir Kromatogram

3.3.2. Yeraltı su örneklerinde eser element analizleri

ICP – OES analizlerinde uygulanan parametrelere ait detaylar aşağıda verilmiştir;

Eser elementlerin analizinde; genel laboratuvar malzemeleri, saf su, nitrik asit , hidroklorik asit, azot gazı, argon gazı ve bakılmak istenen elementin sertifikalı referans çözeltisi kullanılır.



Resim 3.2. Yeraltı Sularında Metallerin Kantitatif Analizlerinde Kullanılan İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrofotometresi (ICP-OES) Cihazı

3.3.3. Yeraltı su örneklerinin fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi

pH tayini

Yeraltı sularının pH değerleri TS EN ISO 10523 standardına uygun olarak bir pH-metre cihazı ile tayin edildi (Resim 3.4). pH değeri 4,01-7,00-10,01 olan sertifikalı referans tampon çözeltileri kullanıldı.

pH tayinleri, numune alındıktan sonra en kısa zamanda yapıldı. Bunun mümkün olmadığı özel durumlarda su numunesi alınan musluğa, numune şişesinin dibine dalacak şekilde plastik boru yerleştirildi ve şişe taşırılarak dolduruldu. Alternatif olarak, şişe, su numunesi ile çalkalandı ve numuneye daldırıldı. Şişe, mümkün olduğunca türbülansız olarak dolduruldu. Yavaşça sallanarak numunedeki hava kabarcıkları uzaklaştırıldı ve kapatıldı. Analiz mümkün olduğunca kısa sürede yapıldı ve numune alındıktan sonra 24 saat içinde tamamlandı.



Resim 3.3. Çalışmalarımızda Kullanılan pH-metre Cihazı

İletkenlik tayini

İletkenlik Kalibrasyon Standardı (Sertifikalı Referans Malzeme):Potasyum Klorür Standart Çözeltisi KCl), 0,1 – 0,01 – mol/L kullanıldı.

Numuneler ağzı tamamen kapatılmış polietilen şişelerde toplandı. Numuneler karanlıkta muhafaza edildi ve ölçümden önce 25 C referans sıcaklığa gelmeleri beklendi ve hemen sonrasında numuneler ölçüme alındı.



Resim 3.4. Çalışmalarımızda Kullanılan Kondüktometre Cihazı

Renk Tayini

Bu parametrenin incelenmesinin amacı, içme sularının estetik açıdan uygunluğunun kontrolüdür.

Suyun rengi, doğal metal iyonları (demir, manganez gibi) humus ve turba maddeleri, plankton, bitkiler ve endüstriyel atıklardan dolayı oluşabilmektedir. Herhangi bir kaynaktan temin edilecek suyun, kullanım amacına bağlı olarak (içme suyu olarak, sanayi proseslerinde kullanım, renk giderimi (arıtımı) işlemi gerekebilmektedir.



Resim 3.5. Çalışmalarımızda Kullanılan Renk Ölçer (Color Meter) Cihazı

Bulanıklık tayini

Yeraltı sularındaki bulanıklık tayinleri TS 5091/ISO 7027 standart metoduna göre yapıldı.

İçme suyu ve az bulanık sularda bulunan çözünmemiş maddelerin sebep olduğu bulanıklığın, yani ışık geçirgenliğindeki azalmanın rakamsal ifadesinin tespitini yapmak ve rapor düzenlemek amaç edinildi.

Sertifikalı Referans Tampon Çözeltiler (0.1-20-200-1000-4000-7500 NTU-FNU). Cihazda okunan değer FNU (NTU) cinsinden bulanıklık değeridir.



Resim 3.6. Çalışmalarımızda Kullanılan Bulanıklık Ölçüm Cihazı

Toplam sertlik tayini

Yeraltı sularındaki toplam sertlik tayini TSE 4474 ISO 6059 standart metoduna göre yapıldı.

Bu standart, pH'sı 10'da EDTA'nın disodyum tuzu çözeltisi ile kalsiyum ve magnezyum çözeltisinin kompleksometrik titrasyonu sonucu suda toplam sertlik tayinini kapsar.

Numune çok partiküllü bir yapıya sahip ise alındıktan hemen sonra 0.45 µm göz açıklığındaki süzgeçten süzülür bunun dışında süzme işlemine ihtiyaç duyulmaz.

Deneyin Yapılışı:

Deney çözeltisinin 50 ml si 250 ml likerlene alındı ve 4 ml tampon çözeltisi ilave edildi. Daha sonra 3 damla Mordan Black 11 indikatörü damlatıldı. Çözeltinin rengi bordo şarabı veya viyole rengine döndü. Hazırlanan çözelti EDTA ile titre edildi. Çözeltinin rengi maviye dönünceye kadar titre edildi. Daha sonra birkaç damla daha damlatılarak renk değişiminin olup olmadığı kontrol edildi.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

$$C (Ca + Mg) = \frac{C_1 \times V_3}{V_0}$$

(3.3.1)

C_1 : EDTA çözeltisinin derişimi, mol/L

V_0 : Deney çözeltisinin hacmi, ml (normal olarak 50 ml)

V_3 : Titrasyonda kullanılan EDTA çözeltisinin hacmi, ml

Kesinlik ve Bozucular

İşlemin tekrarlanabilirliği 0,04 mmol/L'dir bu derişim EDTA çözeltisinin 2 damlasına karşılık gelmektedir.

Alüminyum, baryum, kurşun, demir, kobalt, bakır, mangan, kalay, çinko iyonları, kalsiyum ve magnezyum gibi titre edildiklerinden ve dönüm noktasındaki renk değişikliklerini kapattığı için bozucu etki yaparlar.

$$C (Ca + Mg) = \frac{C_1 \times V_3}{V_0}$$

(3.3.2)

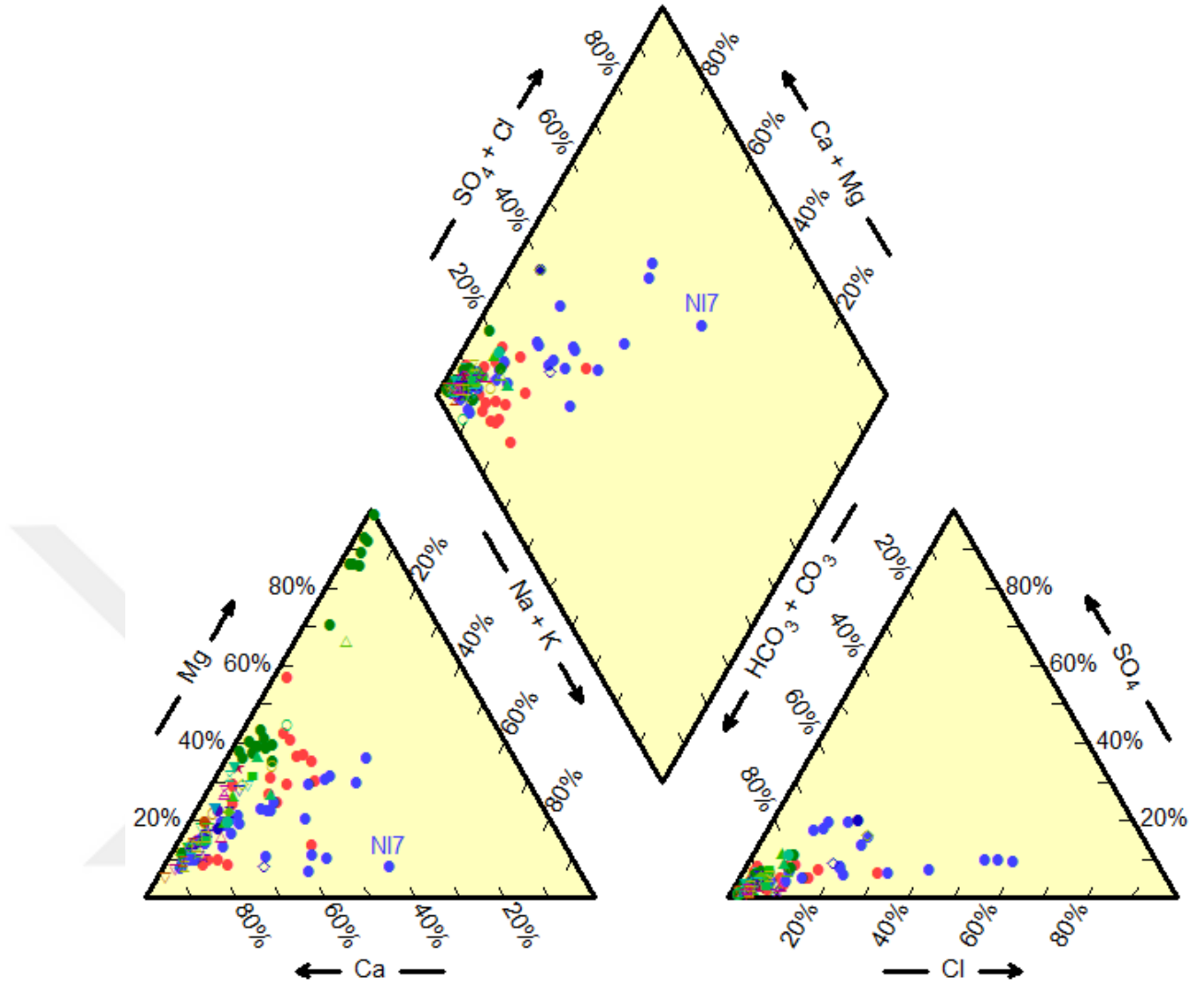
Orto fosforlar ve karbonat iyonları titrasyon pH'ında kalsiyum çöktürebilirler.

4. SONUÇ VE TARTIŞMALAR

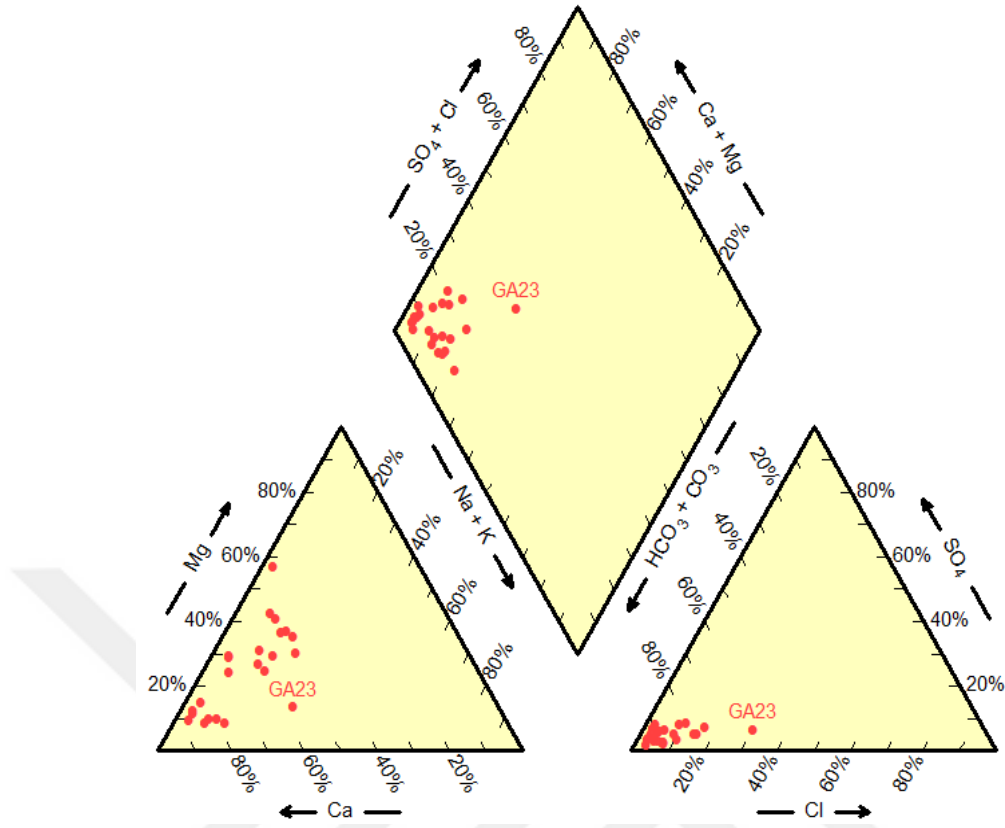
4.1. Su Kimyası Diyagramları

Su kimyası diyagramları, sulardaki türlerin konsantrasyonlarının bir arada görülebilmesi, sınıflandırılması, birbirleriyle ilişkilerinin araştırılması ve karşılaştırılmasına fırsatlar verir. Bu diyagramların en yaygın kullanılanları Piper üçgen diyagram, Schoeller yarı logaritmik diyagram ve Durov diyagramıdır. Bu diyagramlar gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılmaktadır. Piper Üçgen diyagramı anyon ve katyonların (% meq/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır (Hem, 1985). Çalışmalarımızda bu amaçla Piper Üçgen diyagramı kullanılmıştır.

Çalışma alanından derlenen örneklerin tamamı Piper diyagramında incelendiğinde örneklerin genelinin Ca-HCO₃ karakterinde oldukları görülmektedir.

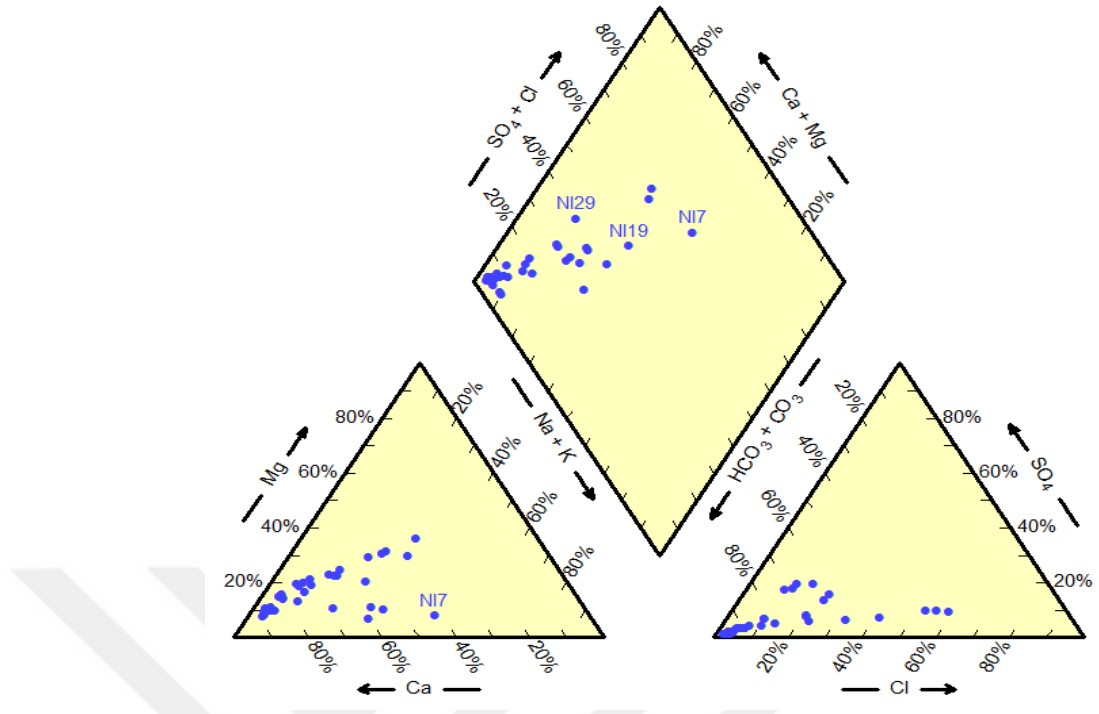


Şekil 4.1. Gaziantep (G), Nizip (N), Kargamış-Oğuzeli (K), Araban (A) ve Yavuzeli (Y) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı



Şekil 4.2. Gaziantep (G) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı

Gaziantep ili merkez ilçelerinden derlenen örneklerin Piper diyagramındaki dağılımları bu örneklerin Ca-HCO₃ karakterli ve sığ dolaşımli sular oldukları gözlenmektedir. Bunun yanı sıra örneklerin bir kısmında katyonlar bakımından öncelikle Mg nispeten daha az olarak da Na bakımından ve anyonlar bakımından ise Cl'ce zenginleştiği görülmektedir. Bu örneklerin EC değerleri göz önünde bulundurulduğunda Ca-HCO₃ karakterli örneklerin nispeten daha sığ dolaşımli örnekler oldukları, Mg, Na ve Cl bakımından nispeten zenginleşmiş örneklerin ise muhtemelen volkanik birimlerden ya da Oligosen tortullarından oluşan akiferde daha uzun süre kaldıkları anlaşılmaktadır.

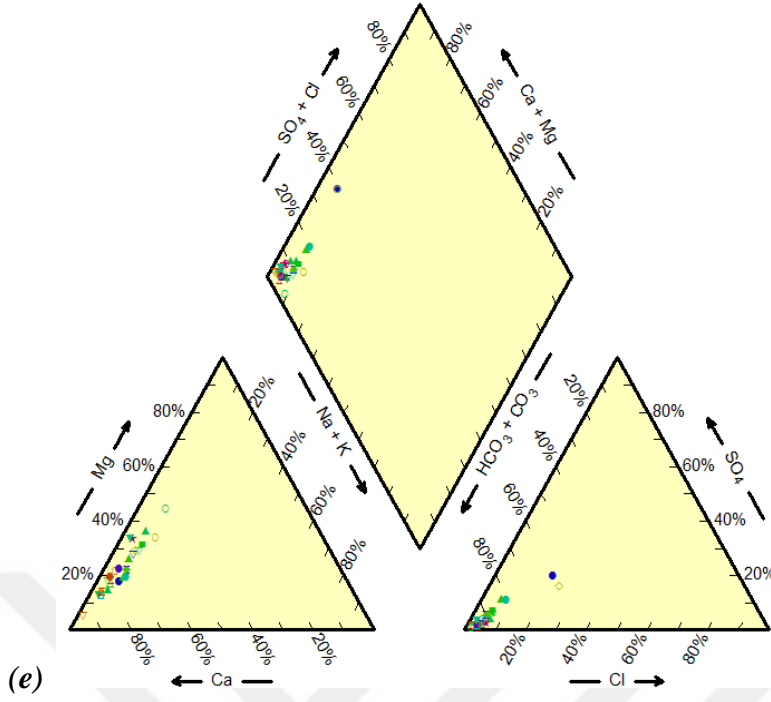


Şekil 4.3. Nizip (N) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı

Nizip ilçesinden derlenen örnekler yakından bakıldığında örneklerin genel olarak Ca-HCO₃'ca zengin sular oldukları anlaşılmakla birlikte örneklerin sistematik olarak Na-Mg ve Cl bakımından zenginleştikleri görülmektedir. Biri Ca-HCO₃ diğeri SO₄-Na-Mg-Cl ce zengin iki üç üye arasında gerçekleşen bu dağılımın olası sebepleri;

- *Bazı örneklerin alındığı lokasyonlarda kireçtaşlarının dolomitik özellik taşıması ya da bölgede evaporitik çökellerin bulunması (ancak bölgenin jeolojik yapısı incelendiğinde bu tür litolojilere rastlanmamıştır)*
- *Yüzey suyu yeraltı suyu etkileşimi (yüzey suyunun örneklenmesi ve örnek dağılım haritasının incelenmesi gerekmektedir),*
- *Söz konusu Na-Mg ve Cl bakımından zenginleşmiş örneklerin daha derin Akifelere ait sular olup, ofiyolitik birimlerle ilişkili olması,*

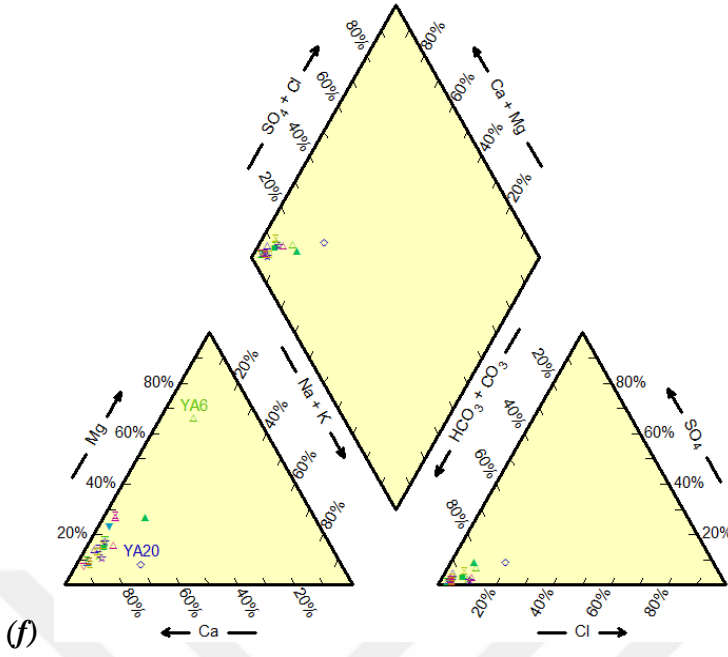
Bu örneklerin antropojenik etkiler sebebiyle SO₄⁻² ve Mg⁺²,ca zengin atık sular tarafından kirletilmiş olmasıdır.



Şekil 4.4. Araban (A) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı

Araban ilçesi ve dolayında derlenen örneklerin Piper diyagramındaki dağılımındaki dağılımı örneklerin tamamının Ca-HCO₃ karakterinde olduklarını göstermekte ise de yer yer Mg bakımından Zayıf zenginleşmeler izlenmektedir. Özellikle A4 nolu örnekte ise diğer örneklerden bağımsız olarak SO₄ zenginleşmesi gözlenmektedir. Bu zenginleşme lokal kirlilikten kaynaklanmaktadır.

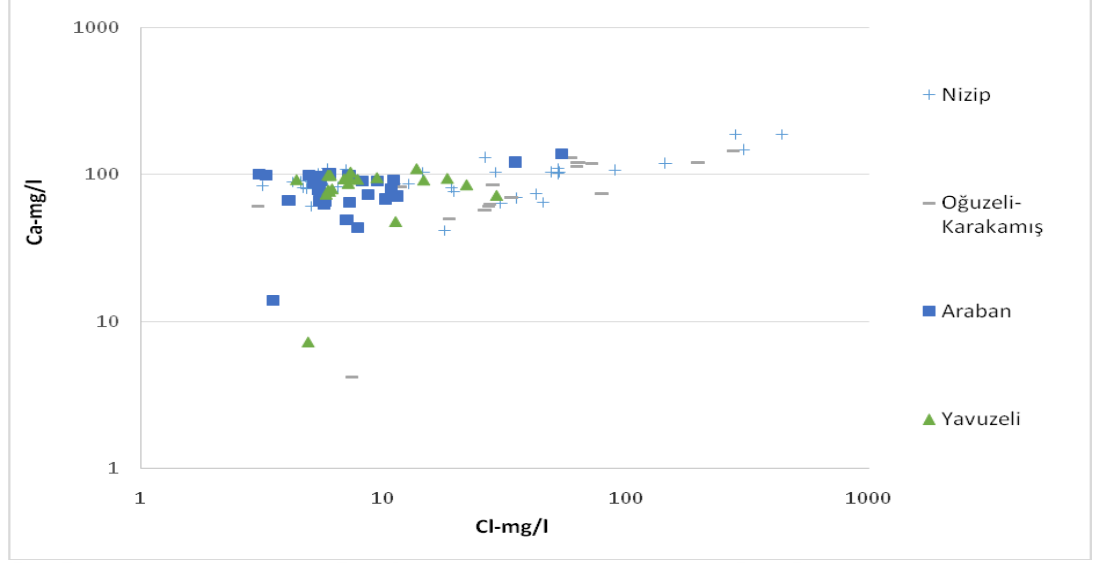
Yavuzeli bölgesi sularının Piper diyagramındaki dağılımı, suların genelinin Ca-HCO₃ karakterinde sular olduğunu göstermektedir. Bu durum Yavuzeli ilçe merkezinde yayılım gösteren bazaltik kayalardan ziyade ilçenin yakın dolayında yayılım gösteren kireçtaşlarının suyun kimyasal karakterinde daha etkin olduğunu göstermektedir. Buna göre Yavuzeli bölgesinde öncelikli akifer, Oligo-Miyosen yaşlı kalkerden oluşmaktadır. Buna karşın Y6, Y9 ve Y20 nolu örneklerde görülen Mg ve Na bakımından zenginleşmeler bu numunelerin bazaltların kırık çatlaklarında dolaşan sularla ilişkili olabileceklerini göstermektedir. Y20 nolu numune hariç örneklerin tamamı sığ dolaşımli sulardır. Y20 nolu örnek ise diğer örneklere nazaran kısmen daha fazla kalmıştır.



Şekil 4.5. Yavuzeli (Y) Yeraltı Sularında Analiz Edilen Majör İyonların Piper Diyagramındaki Dağılımı

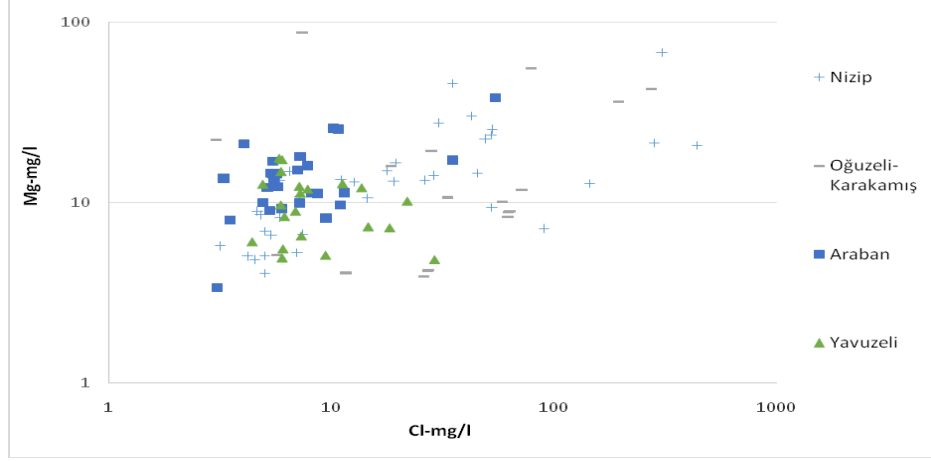
4.2. Su-Kayaç Etkileşimleri

Cl⁻ iyonu yer altı sularında inert (korunumlu) davranış göstermesinden dolayı akım yolu boyunca su kimyasında gerçekleşen değişimlerin saptanması ve yorumlanması için kullanılabilir. Bu nedenle yeraltı suyu kimyası verileri Cl değişim diyagramları hazırlanarak yorumlanmış ve yeraltındaki dolaşımı sırasında suların maruz kaldıkları süreçler hakkında yaklaşımlarda bulunulmuştur. Buna göre Ca iyonunun beslenme bölgesinden itibaren nispeten yüksek derişimlere ulaştığı görülmektedir. Çalışma alanında genel yeraltı suyu akışı *KKB-GGD* yönlü olup çalışma alanının genelinde karbonatlı birimlerin yüzeylendikleri görülmektedir (Şekil 4.6).



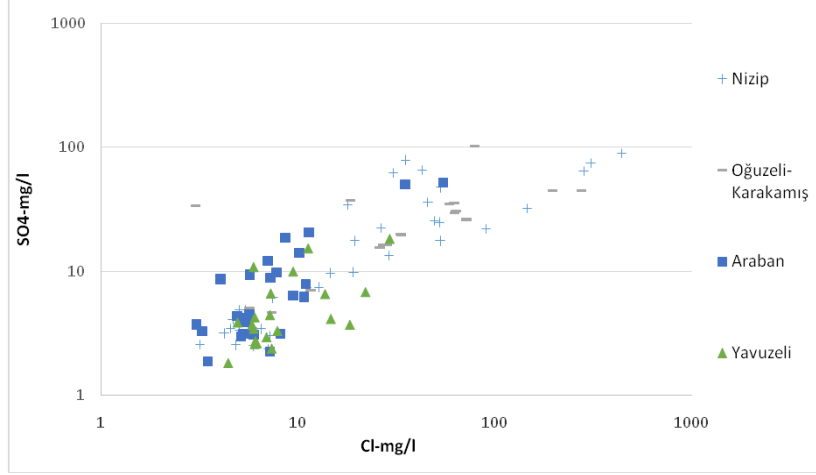
Şekil 4.6. Yeraltı Sularında Ca^{2+} ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon

Yeraltı suyu örneklerindeki Mg iyon değişimlerinin Cl iyon derişimlere göre değişimleri incelendiğinde akım yolu boyunca Mg değişiminin de geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum özellikle tarımsal kaynaklı antropojenik etkilerin Akiflere yansması olarak değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra Araban, Nizip ve Oğuzeli Karkamış dolayında ise *Hoya Formasyonu*'na ait dolomitli birimlerin çözünmesi sonucu yer altı suyunda Mg derişimlerinde artış görülmektedir (Şekil 4.7).



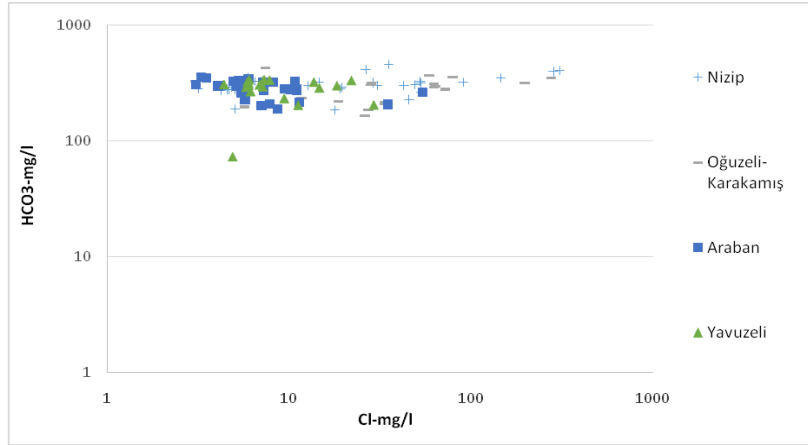
Şekil 4.7. Yeraltı Sularında Mg^{2+} ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon

Suların SO_4^{2-} iyon değişimlerinin Cl^- iyonu ile nispeten yüksek korelasyon göstermesi sularındaki sülfatın yegane kaynağının bölgede yayılım gösteren litolojiler olduğuna işaret etmektedir. Buna karşın SO_4 değişimlerinin yüksek değerlere ulaşmaması ise bölgede evaporasyon sonucu oluşan jips ve halit gibi minerallerin yaygın olmamasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.8.).



Şekil 4.8. Yeraltı Sularında SO_4^{2-} ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon

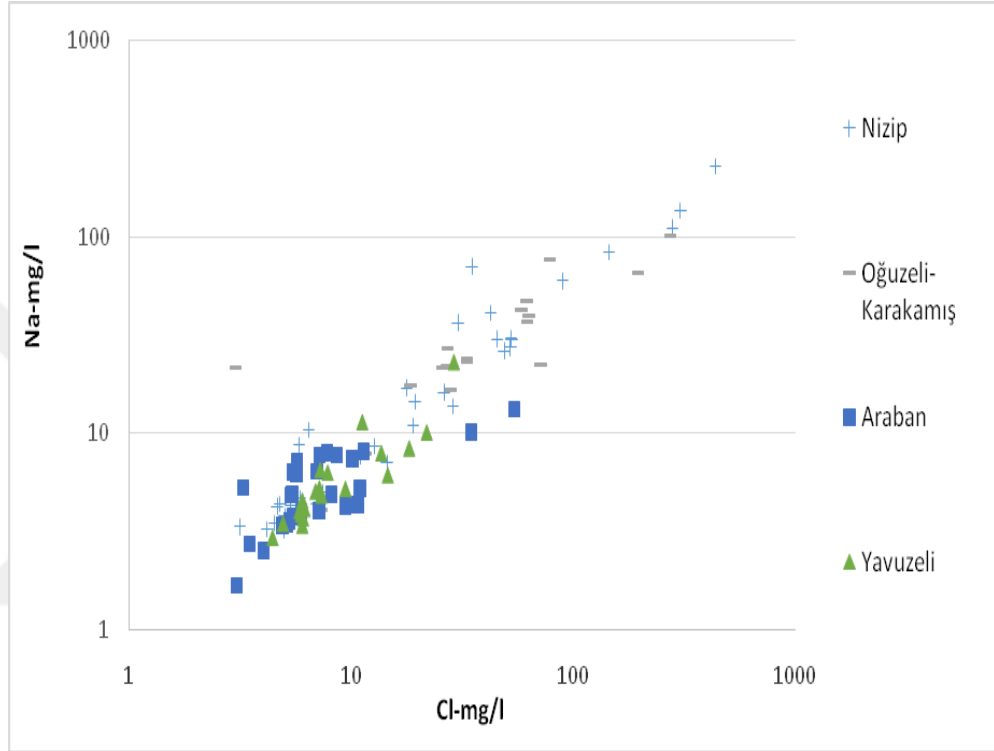
Karbonatlı kayaçların yüksek yayılıma sahip olduğu bölgede HCO_3^- iyonunun kalsit ve dolomit çözünmesine bağlı olarak beslenme bölgesinden itibaren yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Yeraltı Sularında HCO_3^- ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon

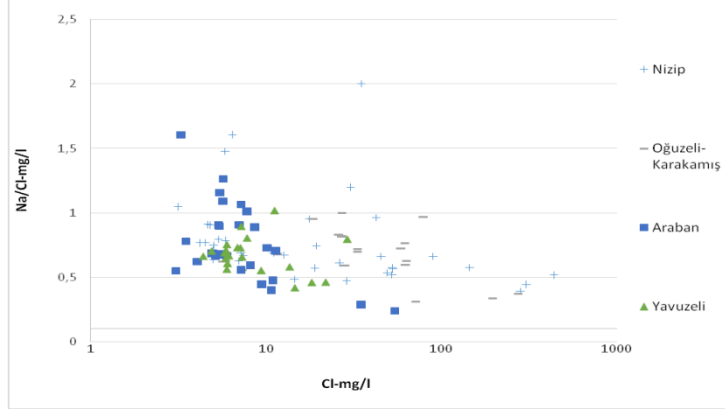
Na iyonu ile Cl iyonu arasındaki nispeten yüksek korelasyon ve Na iyon değişimlerinin dar bir alanda dağılması Na'un doğrudan litolojik kaynaklı olarak yeraltı

sularında zenginleştğini göstermektedir. Na değerleri beslenme bölgesinde 10 mg/L dolayında iken boşalım bölgesine doğru daha hızlı bir artışla 100 mg/L seviyesine ulaşmaktadır. Bu durum, Karkamış ve Nizip bölgelerinde geniş yayılım gösteren Gaziantep Formasyonu killi kireçtaşlarından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.10).



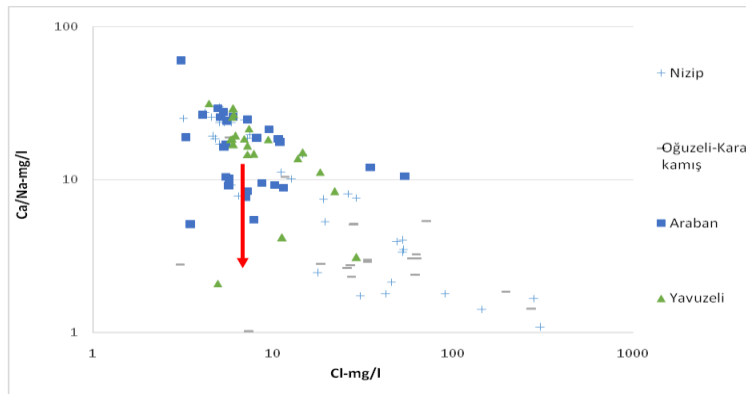
Şekil 4.10. Yeraltı Sularında HCO_3^- ve Cl^- İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon

Na/Cl-Cl değişim diyagramında örneklerin dağılımı incelendiğinde özellikle Araban ve Nizip örneklerinin Cl değişiminden bağımsız olarak Na bakımından zenginleştikleri görülmektedir. Cl'den bağımsız olarak Na bakımından zenginleşen örneklerin dağılımı dikkate alındığında söz konusu örneklerin alındıkları bölgede Gaziantep Formasyonuna ait kireçtaşı ve killi kireçtaşı birimlerinin yüzeylendikleri görülmektedir. Bu durum Na zenginleşmesinin kaynağı killerin bünyesinde bulunan Na iyonunun yeraltı sularının bünyesine katılması olduğunu göstermektedir (Şekil 4.11).



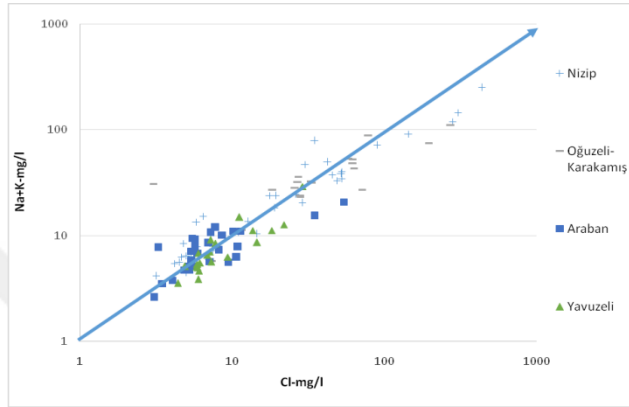
Şekil 4.11. Yeraltı Suları İçin Na^+/Cl^- ve Cl^- Arasındaki Korelasyon

Yeraltı sularında killi birimlerle etkileşim sonucu Na zenginleşmesi başlıca iki farklı süreç sonucu gerçekleşebilmektedir. Bunlardan biri doğrudan Na çözünmesi iken diğeri baz değişim reaksiyonları sonucu sudaki Ca ve Mg'un kayaçtaki Na ve K ile yer değiştirmesidir. Bu mekanizmanın açıklığa kavuşturulması amacıyla Ca/Na oranları Cl değişimleri ile birlikte değerlendirmek amacıyla aşağıdaki diyagramdan faydalanılmış ve akım yolu boyunca örneklerin Ca/Na değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak bu durumun yalnızca Na artışından mı kaynaklandığı yoksa Na artışına Ca azalmasının da mı eşlik ettiği halen netleşmemiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Yeraltı Suları İçin Ca^+/Na^+ ve Cl^- Arasındaki Korelasyon

Na K değerleri Cl derişimine karşı dağılımını incelendiğinde özellikle boşalım bölgesine doğru suların Na ve K bakımından Cl denge hattının altında kaldığı görülmektedir. Bu durum suların boşalım bölgesinde de hakim katyonun Ca olmasından kaynaklanmaktadır ve bu durum suların boşalım bölgesinde de hakim litolojinin kireçtaşlarından oluşmasıdır.



Şekil 4.13. Yeraltı Sularında Na⁺+K⁺ ve Cl⁻ İyon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyon

4.3. Hidrokimyasal Fasiyesler

Suları birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimlerini araştırmak ve diyagramlara işlenmesindeki hesaplamaları kolaylaştırmak için hesaplanan iyonik oranlar, anyonlarla katyonların ayrı ayrı mg/L ve % mg/L değerleri ile IAH (*Uluslararası Hidrojeologlar Birliği*) sınıflamasına göre belirlenen hidrokimyasal fasiyes tipi diğer hidrojeokimyasal değerlendirmeler arasındadır. Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mg/L cinsinden % 50 den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak % 50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. IAH sıcak ve mineralli sular komisyonu çalışma raporunda belirtilen sınıflamada ise suda çözülmüş başlıca iyonlar anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine mg/L olarak % 20 den fazla çözülmüş bulunan iyonlar (önce katyonlar sonra anyonlar

sırasıyla yazılarak) su tipini belirlemektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada belirtilen hidrokimyasal fasiyes kavramı IAH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır.

Çalışma bölgesinden (Şekil 3.1) toplanan yer altı (kuyu) su örneklerindeki Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} iyonlarının konsantrasyonları (meq/L) ve her bir su örneğine ait fasiyes türü Tablo 4.1’de verilmiştir. Değişik kimyasal özelliklerine göre sulu ortamda iyonlar arasındaki ilişkiler, ve iyonların olası jeolojik veya organik (bitkisel veya hayvansal) kaynakları yorumlandı. Tablo 4.1’de belirtilen yer altı su örneklerinin toplam iyon konsantrasyonları arasında önemli farklar olup 3.2-46.7 meq/L gibi çok geniş bir aralıktadır. Toplam ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) konsantrasyonu toplam katyon konsantrasyonunun (TZ^+) % 20-97 (ort.% 85)’ni, HCO_3^- konsantrasyonu ise toplam anyon konsantrasyonunun %34-95 (ort.78)’ni oluşturur. Ortalama konsantrasyonları bakımından katyonlar; $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ve anyonlar; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ sırasına göre dizilir.

Tablo 4.1. Yeraltı su örneklerinde tayin edilen iyonların molar konsantrasyonları(meq/L) herbir örneğin temel bileşeni ve hidrokimyasal fasiesleri (KD:Kuyu derinliği)

No	Örnekleme Kodu	KD (m)	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	F ⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Suyun temel bileşeni (>%20)	Suyun fasiesi (>%50)
1	G9	145	0,08	0,12	0,36	4,34	0,01	0,06	0,1	2,9	2,04	MgCa-HCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂
2	G10	173	0,27	0,29	0,13	4,89	0,01	0,13	0,66	2,03	2,69	CaMg- HCO ₃	Karışık
3	G11	90	0,25	0,31	0,18	6,46	0,01	0,15	0,65	2,22	4,09	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
4	G12	132	0,21	0,5	0,13	6,16	0,01	0,13	0,66	2,86	3,31	CaMg- HCO ₃	Karışık
5	G13	186	0,91	0,49	0,14	6,34	0,01	0,02	0,34	2,3	5,2	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
6	G14	160	0,3	0,83	0,27	4,82	0,01	0,15	1	2,16	2,79	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Karışık
7	G15	189	0,32	0,16	0,07	4,98	0,01	0,085	0,19	1,56	3,6	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
8	G16	145	0,21	0,59	0,16	5,12	0,01	0,16	0,76	2,23	2,8	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Karışık
9	G17	82	0,53	0,79	0,41	8,44		0,13	0,53	2,4	6,87	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
10	G18	125	0,36	0,18	0,23	3,92	0,01	0,15	0,57	1,35	2,47	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
11	G19	40	0,66	0,39	0,38	6,14	0,01	0,155	0,77	1,96	4,32	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
12	G20	-	0,17	0,13	0,29	4,4	0	0,11	0,38	2,18	2,46	CaMg- HCO ₃	Karışık
13	G22	79	0,1	0,17	0,23	3,96	0,01	0,125	0,56	1,07	2,53	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
14	G23	178	0,23	2,23	0,46	4,84	0,01	0,15	2,15	1,03	4,41	CaNa- HCO ₃ (Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
15	G24	153	0,15	0,25	0,08	3	0,01	0,135	0,6	1,03	1,61	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Karışık
16	N1	89	0,32	0,21	0,13	5,02	0,01	0,06	0,22	0,56	4,89	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
17	N2	98	0,17	1,28	0,75	3,74	0,01	0,155	1,26	1,21	3,21	CaMg(Na+K)- HCO ₃ (Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
18	N3	40	0,51	0,41	0,2	5,3	0,02	0,085	0,31	0,88	5,12	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
19	N4	85	0,36	0,74	0,47	6,84	0,02	0,15	0,7	1,11	6,51	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
20	N5	102	0,39	1,48	0,37	5,22	0,01	0,16	1,27	0,78	5,04	Ca(Na+K)- HCO ₃ (Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
21	N6	120	0,46	7,95	1,34	9,21	0	2,385	4,73	1,78	9,26	CaNa-Cl-(HCO ₃)	Karışık
22	N7	57	0,37	12,4	1,86	7,96	-	2,28	9,86	1,73	9,27	(Na+K)MgCa-Cl(HCO ₃)	Karışık
23	N8	50	1,36	1,48	0,52	5,42	0,02	0,165	1,14	1,98	5,44	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
24	N9	80	0,15	0,17	0,07	5,4	0,01	0,125	0,38	1,11	4	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
25	N10	3	0,2	0,14	0,05	4,76	0,01	0,11	0,19	0,71	3,99	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
26	N11	67	0,26	2,53	0,46	5,3	0,01	0,15	2,33	0,6	5,33	CaNa- HCO ₃ (Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
27	N12	78	0,15	0,17	0,05	5,94	0,01	0,085	0,2	0,69	5,47	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
28	N13	110	0,05	0,2	0,06	5,5	0,01	0,09	0,22	0,9	4,61	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
29	N14	87	0,23	0,31	0,15	5,04	0,01	0,08	0,33	1,12	4,26	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
30	N15	-	0,3	0,2	0,05	5,36	0,01	0,04	0,19	0,44	5,37	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
31	N16	-	0,13	0,18	0,07	5,44	0,01	0,13	0,45	1,24	4,07	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂

32	N17	102	0,19	0,13	0,07	4,58	0,01	0,055	0,15	0,4	4,46	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
33	N18	85	0,24	0,12	0,07	4,5	0,01	0,06	0,14	0,42	4,43	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
34	N19	110	0,25	4,09	0,67	5,76	0	0,16	3,63	1,06	5,93	CaNa- HCO ₃ (Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
35	N20	-	0,24	0,14	0,08	4,6	0,01	0,035	0,16	0,42	4,45	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
36	N21	-	0,18	0,09	0,05	4,64	0,01	0,02	0,14	0,48	4,16	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
37	N22	-	0,25	0,15	0,1	5,4	0,01	0,055	0,19	0,55	5,03	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
38	N23	-	0,15	0,13	0,08	4,56	0,01	0,055	0,18	0,75	4,04	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
39	N24	220	0,2	0,55	0,37	4,98	0,02	0,155	0,63	1,38	3,82	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
40	N25	60	0,43	0,36	0,15	4,94	0,01	0,13	0,37	1,08	4,3	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
41	N26	-	0,25	0,14	0,1	3,08	0,01	0,075	0,16	0,34	3,02	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
42	N27	-	0,03	0,5	0,72	3,04	0,01	0,135	0,74	1,24	2,08	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Karışık
43	N28	108	0,13	0,85	1,29	4,96	0,03	0,15	1,58	2,31	3,17	CaMgNa- HCO ₃	Karışık
44	N29	123	1,69	1,49	0,99	4,36	0,02	0,125	1,21	2,12	5,18	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
45	N30	80	0,67	0,81	0,28	5,26	0,02	0,14	0,59	1,18	5,17	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
46	N31	83	0,47	0,54	0,2	4,64	0,02	0,15	0,47	1,09	4,03	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
47	N32	48	1,47	8,61	1,56	10,7		2,27	5,16	5,66	7,34	CaMgNa-Cl(HCO ₃)	Karışık
48	N33	89	0,15	0,99	1,65	7,54	0,02	0,145	2,79	3,81	3,44	MgCaNa- HCO ₃	Karışık
49	N34	76	0,43	1,2	1,37	4,96	0,03	0,15	1,52	2,51	3,67	MgCaNa- HCO ₃	Karışık
50	N35	75	1,28	1,38	0,53	5,04	0,02	0,155	1,05	1,88	5,17	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
51	N38	90	0,15	0,14	0,07	5,36	0,01	0,035	0,14	0,58	4,77	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
52	K1	15	0,04	0,52	0,77	3,6	0,01	0,155	0,77	1,33	2,48	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Karışık
53	K2	13	0,16	0,09	0,7	5,34	0,01	0,135	0,95	1,86	3,02	CaMg(Na+K)- HCO ₃	Karışık
54	K3	-	0,52	0,77	0,34	3,04	0,01	0,155	0,96	0,35	3,13	CaNa- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
55	K4	-	0,52	0,76	0,34	3,04	0,01	0,16	0,96	0,35	3,03	CaNa- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
56	K5	-	0,73	0,94	0,41	3,5	0,02	0,155	1,01	0,9	3,46	Ca(Na+K)- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
57	K6	-	0,74	0,94	0,41	3,42	0,01	0,115	1,01	0,89	3,47	Ca(Na+K)- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
58	K7	70	0,53	0,79	0,34	5,04	0,04	0,135	0,72	1,62	4,25	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
59	K8	10	1,53	2,22	2,13	5,84	0,01	0,155	3,15	4,61	3,71	Mg(Na+K)Ca- HCO ₃ (Cl)	Karışık
60	K9	-	1,18	1,78	0,63	4,84	0,01	0,085	1,59	0,75	6,05	Ca(Na+K)- HCO ₃ (Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
61	K10	35	0,54	5,52	0,92	7,88	0,01	1,36	2,74	3,03	6,05	MgCaNa-Cl(HCO ₃)	Karışık
62	K11	-	1,16	1,75	0,62	5,1	0,01	0,14	1,57	0,74	6,02	Ca(Na+K)- HCO ₃ -(Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
63	K12	70	0,53	0,79	0,34	5,16	0,04	0,155	0,73	1,62	4,23	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
64	K13	30	0,99	7,71	0,94	5,7	0,01	1,85	4,19	3,55	7,21	CaNaMg-Cl(HCO ₃)	Karışık
65	K15	-	0,89	1,65	0,73	6,04	0,01	0,155	1,84	0,84	6,45	CaNa- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
66	K16	70	0,49	0,73	0,32	2,7	0	0,155	0,94	0,33	2,85	CaNa- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂

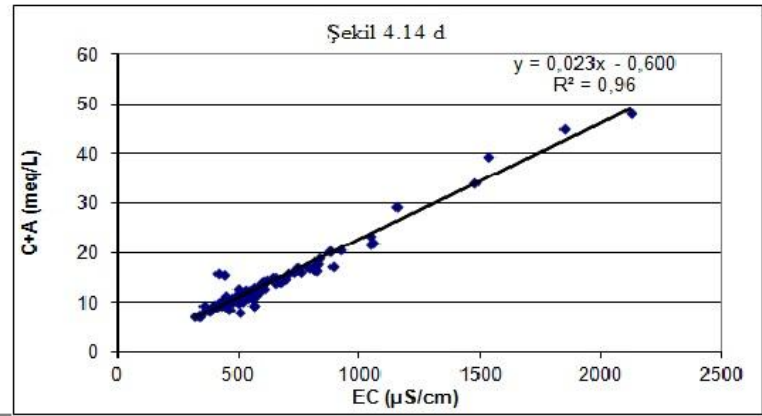
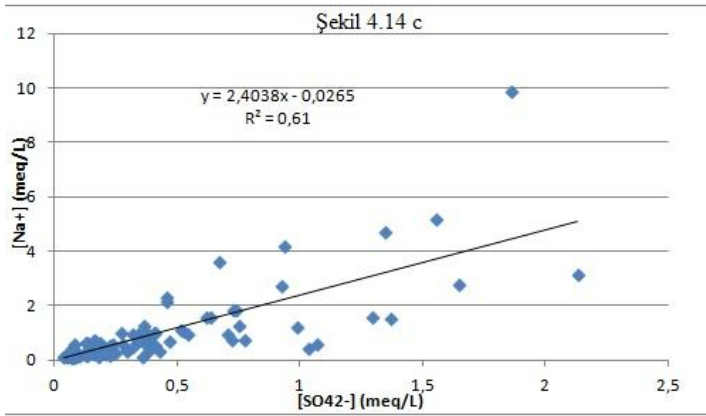
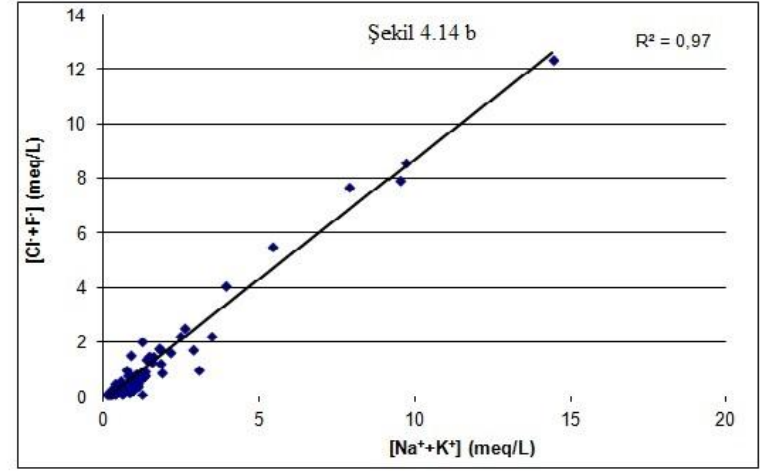
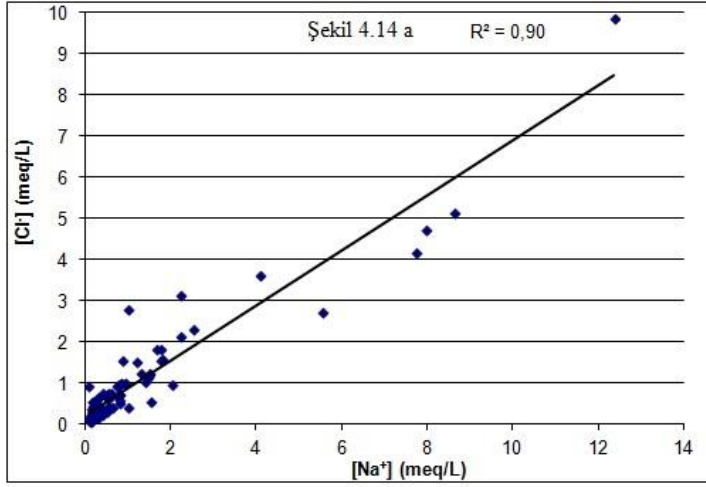
67	K17	50	1,13	1,75	0,74	0,81	0,01	0,51	1,84	0,7	0,17	NaMg- HCO ₃ -(Cl)	NaHCO ₃
68	K18	-	0,43	0,21	0,1	7,02	0,01	0,045	0,18	7,31	0,21	Mg- HCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂
69	K19	40	0,47	0,33	0,15	3,82	0,01	0,085	0,34	0,34	4,09	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
70	K20	-	0,41	0,16	0,1	3,22	0,01	0,035	0,15	0,43	3,32	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
71	K21	-	0,88	2,02	0,54	4,58	0,01	0,13	0,97	0,98	5,95	Ca- HCO ₃ -(Cl)	Ca(HCO ₃) ₂
72	A1	140	0,69	0,31	0,16	4,5	0	0,065	0,23	0,81	4,58	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
73	A2	170	0,34	0,15	0,06	4,92	0,01	0,04	0,15	1,01	4,39	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
74	A3	63	0,35	0,09	0,08	5,02	0	0,025	0,07	0,28	5,04	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
75	A4	120	2,62	0,98	1,03	3,4	0	0,14	0,44	1,43	6,1	Ca- HCO ₃	Karışık
76	A5	90	0,23	0,15	0,09	5,3	0,01	0,035	0,16	1,12	4,5	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
77	A6	40	0,72	0,29	0,29	4,6	0	0,095	0,32	2,15	3,41	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
78	A7	75	0,3	0,14	0,09	5,36	0	0,035	0,15	0,83	4,94	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
79	A8	170	1,22	0,24	0,38	3,1	0	0,065	0,33	0,94	3,65	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
80	A9	80	0,6	0,3	0,13	5,36	0,01	0,05	0,19	2,13	4	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
81	A10	70	0,3	0,15	0,07	5,5	0,01	0,03	0,15	0,75	4,88	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
82	A11	108	0,52	0,27	0,13	4,62	0,01	0,035	0,18	0,68	4,53	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
83	A12	155	0,66	0,16	0,19	3,76	0,01	0,05	0,31	1,02	3,3	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
84	A13	98	0,66	0,16	0,19	3,72	0,01	0,055	0,31	1,02	3,3	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
85	A14	-	0,16	0,22	0,2	3,42	0,01	0,105	0,34	1,34	2,17	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
86	A15	112	0,21	0,16	0,09	4,16	0,01	0,04	0,27	1,21	3,16	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
87	A16	154	0,78	0,32	0,43	3,54	0,01	0,075	0,35	0,95	3,56	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
88	A17	170	0,44	0,15	0,09	4,28	0,01	0,08	0,28	1,41	3,29	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
89	A18	110	0,25	0,23	0,07	5,3	0,01	0,065	0,21	0,94	4,52	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
90	A19	-	0,21	0,15	0,08	5,08	0,01	0,025	0,21	1,2	4,17	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
91	A20	-	0,21	0,15	0,08	5,12	0,01	0,06	0,21	1,21	3,96	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
92	A21	145	0,45	0,2	0,05	5,3	0,01	0,045	0,18	0,83	4,93	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
93	A22	140	0,25	0,09	0,07	5,84	0	0,065	0,23	1,14	4,93	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
94	A23	220	0,26	0,2	0,18	4,48	0,01	0,075	0,34	1,5	3,24	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
95	A24	80	0,21	0,17	0,06	5,6	0	0,075	0,17	0,77	5,09	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
96	A25	130	0,18	0,1	0,04	1,42	0	0,02	0,12	0,67	0,69	CaMg- HCO ₃	Karışık
97	A26	110	0,09	0,11	0,18	4,9	0	0,035	0,11	1,77	3,32	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
98	A27	260	4,08	1,53	1,07	4,32	0	0,155	0,57	3,17	6,91	CaMg- HCO ₃ (NO ₃)	Karışık
99	A28	120	0,36	0,2	0,25	3,32	0	0,055	0,28	1,26	2,44	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
100	Y1	110	0,34	0,41	0,09	4,7	0,01	0,065	0,27	0,61	4,57	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
101	Y2	200	0,19	0,17	0,09	4,96	0,01	0,06	0,2	1,44	3,83	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂

102	Y3	155	0,45	0,2	0,09	4,82	0,01	0,045	0,23	1,03	4,33	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
103	Y4	100	0,23	0,17	0,07	4,94	0,01	0,02	0,18	1,24	3,9	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
104	Y5	160	0,12	0,12	0,04	5,04	0,01	0,015	0,13	0,5	4,6	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
105	Y6	165	0,22	0,14	0,08	1,2	0,02	0,045	0,15	1,05	0,36	MgCa- HCO ₃	Mg(HCO ₃) ₂
106	Y7	240	0,22	0,17	0,06	5,22	0	0,025	0,16	0,46	4,91	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
107	Y8	-	0,22	0,22	0,07	5,5	0,01	0,055	0,27	0,99	4,62	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
108	Y9	166	0,12	0,32	0,32	3,34	0,01	0,09	0,5	1,06	2,38	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
109	Y10	80	0,33	0,17	0,22	5,32	0,01	0,04	0,17	0,81	4,93	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
110	Y11	200	0,4	0,17	0,05	4,38	0,01	0,03	0,18	0,7	3,98	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
111	Y12	66	0,26	0,17	0,05	5,16	0,01	0,01	0,15	0,41	4,92	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
112	Y13	210	1,13	0,38	0,14	5,28	0,01	0,08	0,34	1,01	5,46	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
113	Y14	150	0,29	0,19	0,06	5	0,01	0,04	0,22	0,75	4,65	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
114	Y15	90	0,31	0,51	0,08	4,92	0,01	0,07	0,36	0,6	4,69	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
115	Y16	200	0,27	0,62	0,14	4,46	0,01	0,07	0,44	0,85	4,24	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
116	Y17	124	0,24	0,2	0,14	5,48	0,01	0,07	0,28	0,94	4,74	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
117	Y18	-	1,2	0,26	0,21	3,82	0	0,03	0,23	0,42	4,74	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
118	Y19	134	0,21	0,21	0,05	5,52	0,01	0,02	0,21	0,54	5,17	Ca- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
119	Y20	160	0,58	0,82	0,38	3,44	0,01	0,15	1,01	0,4	3,59	CaNa- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂
120	Y21	88	0,29	0,16	0,08	5,01	0,01	0,02	0,17	1,47	3,67	CaMg- HCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂

Ca^{2+} ve Mg^{2+} katyonları; Cl^- , SO_4^{2-} ve NO_3^- anyonlarından daha önce, suda daha büyük konsantrasyonlarda (seviyelerde) olan HCO_3^- anyonuna kimyasal çekim gücünün etkisinde olur. Çünkü Lewis bazı olarak $\text{OH}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{F}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ sıralamasına göre HCO_3^- daha güçlü bir şekilde Ca^{2+} ve Mg^{2+} katyonlarına elektron sunar. HCO_3^- , diğer anyonlara göre daha kuvvetli elektron sunucudur. Dolayısıyla HCO_3^- iyonu ile etkileşimden fazla kalan $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ iyonları, ancak diğer anyonlarla değişik kimyasal etkileşimlerde bulunabilir. $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ ve $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ konsantrasyonları arasındaki ilişkiler aşağıda (ileriki paragraflarda) açıklanmıştır. Hem elektronegativite değerleri, hem de sert asit-baz gibi özellikleri dikkate alındığında ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) katyonları ile ($\text{Cl}^- + \text{F}^-$) anyonları arasında öncelikli olarak kimyasal etkileşimlerde olması beklenir. Tablo 4.1'deki Na^+ ve K^+ katyon derişimleri ile anyon derişimleri arasında bazı doğrusal ilişkiler hesaplandı: Na^+/Cl^- , $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/\text{Cl}^-$, $\text{Na}^+/\text{SO}_4^{2-}$ iyon derişimleri ve EC-(C+A) arasındaki regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla, 0,90, 0,97, 0,61 ve 0,96'dir. (Şekil 4.14a-d). Ancak Na^+ ile NO_3^- konsantrasyonları arasında herhangi bir doğrusal ilişki tespit edilemedi ($R^2 = 0,00$). Bu yüksek doğrusal ilişkilerin nedeni iyonların kimyasal özelliklerine ilaveten yörenin jeokimyasal özelliklerinden kaynaklanabilir. Elektronegativite, sert asit-baz'lık gibi kimyasal özellikleri dikkate alındığında sulu ortamdaki Na^+ ve K^+ katyonları HCO_3^- , NO_3^- ve SO_4^{2-} anyonlarından daha fazla Cl^- anyonunun elektrostatik çekim kuvvetinin etkisinde olur. Bu nedenlerden dolayı sulu ortamda öncelikli olarak Na^+ ve K^+ katyonları Cl^- ile NaCl ve KCl formlarında olur.

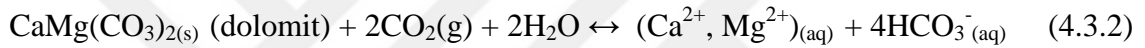
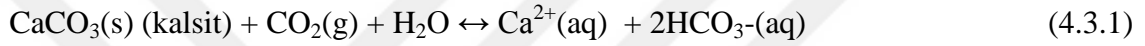
SO_4^{2-} ve NO_3^- iyonları karşılaştırıldığında SO_4^{2-} iyonunun dipol momenti daha büyük, daha güçlü Lewis bazı ve kısmen de olsa daha sert bazdır. Bunun gibi özelliklerinden dolayı NaCl ve KCl formlarında yer almayan (dışında kalan) Na^+ iyonunun Na_2SO_4 formunda olması beklenebilir. Yer altı su örneklerindeki Na_2SO_4 içerikleri (miktarları) örnekten örneğe değişen Na^+ ve SO_4^{2-} iyonlarının konsantrasyonlarına bağlıdır. Ayrıca, her örnekleme noktasının özel şartları içerisinde Cl^- ile SO_4^{2-} iyonları arasında değişik yarışlar da olabilir. Yani, suyun fizikokimyasal özellikleri, jeolojik formasyon, kuyunun hidrojeolojik faktörleri ve diğer doğal ve antropojenik faktörlere bağlı olarak NaCl , KCl ve Na_2SO_4 formları değişik seviyelerde olabilir.

Şekil 4.14 a-d Yeraltı Sularında Bağlı İyon Değişimleri



Çalışma bölgesinin genel jeolojik yapısında kalsit (CaCO_3) ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) gibi karbonat mineralleri yaygındır. Karbonatlar çoğu tortul kayalar ve bazı metamorfik kayalarda yaygın olarak bulunur.

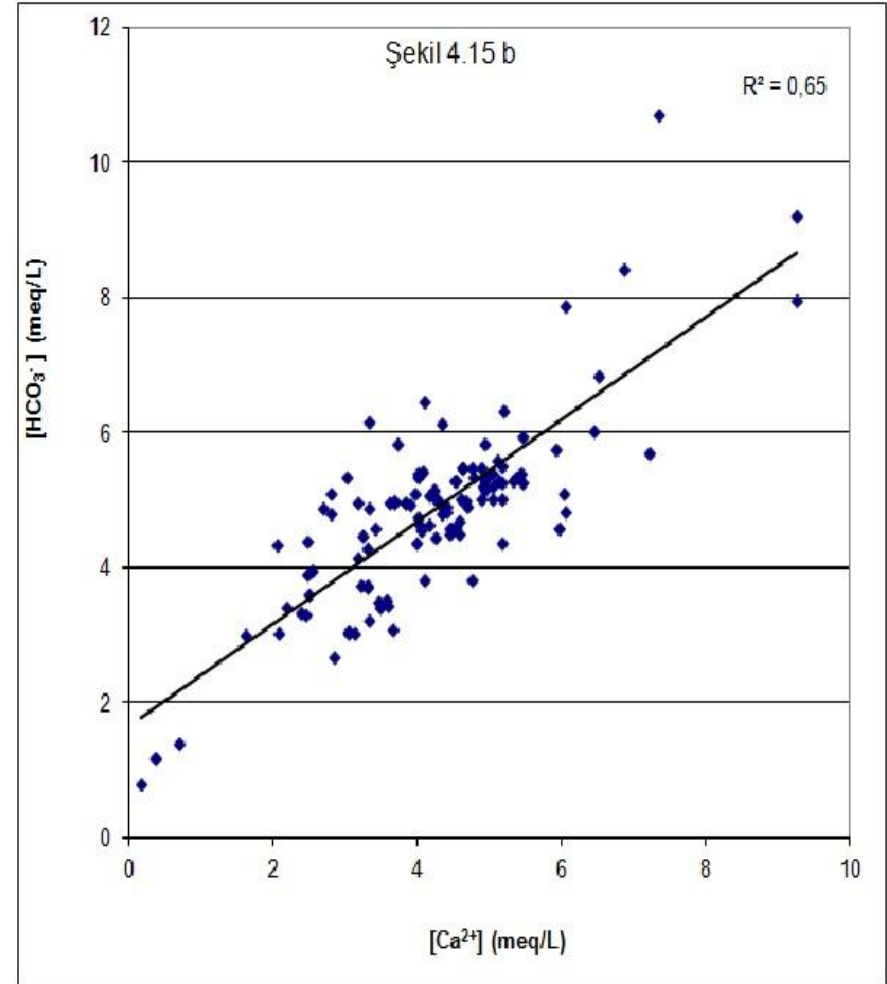
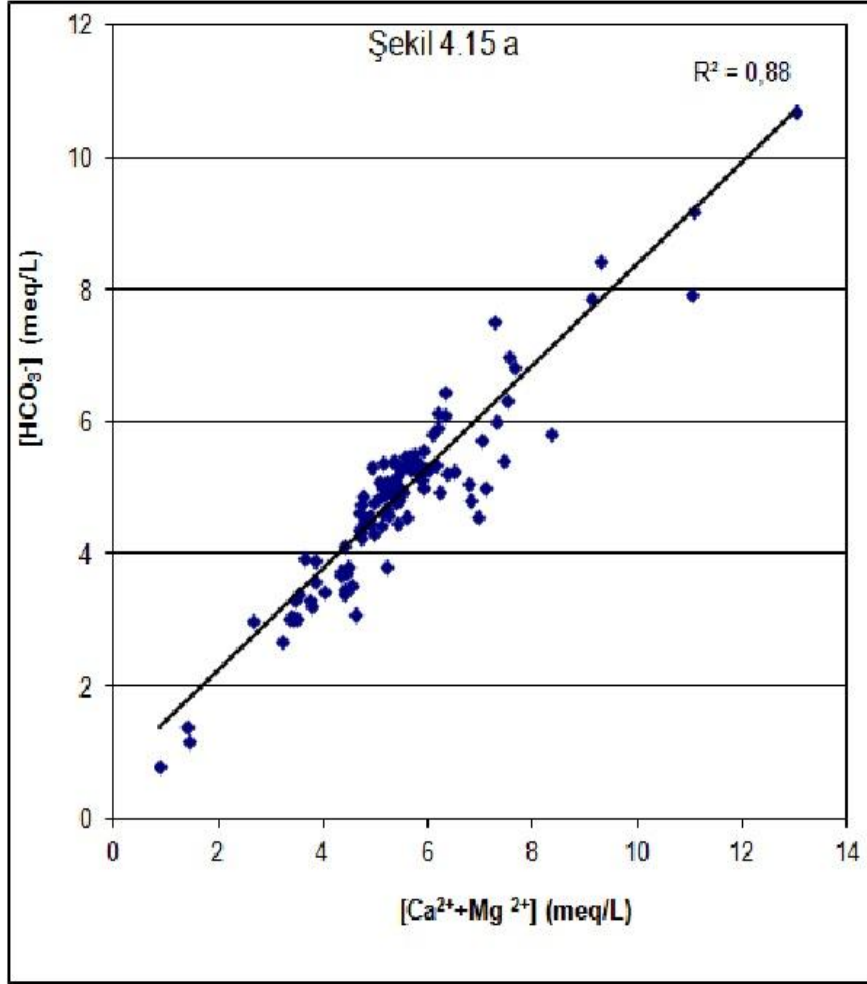
Bu nedenle karbonat kimyası çoğu yer altı sularının evrimi ile oldukça ilgilidir. Genel olarak karbonat reaksiyonları ile kontrol edilen yer altı suları kısmen yüksek konsantrasyonlarda kalsiyum ve bikarbonat içerir. Kalsit çözünmesinin etkin olduğu yerlerde (4.3.1) reaksiyona göre $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ ekivalan molar oranlarının (meq/L) 1'e yakın olması gerekir. Kalsit ve dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) çözünmelerinin birlikte önemli olduğu yerlerde ise (4.3.2) reaksiyona göre $[\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ ekivalent molar oranlarının oranlarının 1 ya da 1'e yakın olması beklenir.



Hidrokimyasal fasiyesi bakımından karışık tipte olan bazı yer altı su örnekleri (*N29*, *K13*, *A4* ve *A27*) hesaplamaya katılmadığında $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ ekivalent molar oranları 0.9-1.5 aralığında olup yüksek oranda bir doğrusal ilişki vardır ($r^2=0.88$) ([Şekil 4.15a](#)). $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ stokiyometrik ilişkisine göre, örneklerin % 86'sında değişik konsantrasyonlarda aralığında toplam alkali metal iyonu ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$; M^{2+}) geride kalmaktadır. Yine hidrokimyasal faciesi karışık olan bazı örneklerin (*N33*, *K18* ve *A4*) analiz sonuçları hesaplamalara dahil edilmediğinde $\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-$ molar ekivalan oranları 0.5-1.3 aralığında olup, önemli bir doğrusal ilişki vardır ($r^2=0.65$) ([Şekil 4.15b](#)). $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ molar derişim oranı örneklerin % 76'sında 2'den büyük, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ oranı sadece örneklerin % 5'inde 1'den büyük olması, kalsit çözünmelerinin yüksek seviyelerde olduğu göstermektedir.

Stokiyometrik hesaplamalara göre birkaç örnekte düşük seviyeleri hariç geriye önemli konsantrasyonlarda HCO_3^- iyonu, $\text{M}(\text{HCO}_3)_2$ yapısı dışında geriye kalmamaktadır. Yani HCO_3^- iyonunun neredeyse tamamı $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ ile $\text{M}(\text{HCO}_3)_2$ formundadır.

Şekil 4.15a-b. Yeraltı Sularında Ca^{2+} ve Mg^{2+} ile HCO_3^- Bağlı Değişimi



Toplam katyon derişimi içinde %6-94 gibi geniş bir aralıkta bulunan Mg^{2+} iyonunun bazı örnekleme noktalarındaki (*K18*, *Y6* ve *G9*) kaynağı kalsit ve/veya dolomit ile birlikte Yavuzeli Bazaltlarının yapısında bulunan amfibol, piroksen gibi Mg silikatların çözünmeleri olabilir. Çalışma bölgesinin her bir noktasında farklı seviyelerde olmak üzere bikarbonattan geriye kalan toplam toprak alkali metal iyonları (M^{2+}) katyonlarının yüksek oranlarda nitrat formlarında ($M(NO_3)_2$) olabilir. Ayrıca Cl^- ve SO_4^{2-} iyonları yüksek oranda $NaCl/KCl$ ve Na_2SO_4 formlarında olup, bu formlarının dışında kalabilen anyon derişimlerinin ihmal edilebileceği stokiyometrik olarak hesaplandı.

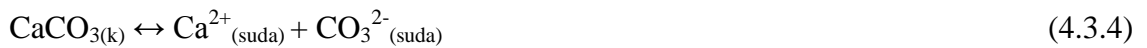
Bu yorum ve sonuçlara göre, yer altı (kuyu) sularındaki çözünmelerinin büyük bir bölümünün kalsit ($CaCO_3$) mineralinden kaynaklandığı belirtilebilir. Ayrıca bu çözünmeler bazı yer altı su örneklerinde dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) mineralinde kaynaklanmaktadır.

Bu iyonların suda çözünmüş halde bulunan formları $Ca(HCO_3)_2$ ve $Mg(HCO_3)_2$ dir. CO_2 etkisiyle karbonat minerallerin yüzeylerinde nemli ince bir film şeklinde $M(HCO_3)_2$ oluşur. Bu ince film zamanla suda çözünür ve böylece sulu ortamda Ca^{2+} ve Mg^{2+} derişimi artar.



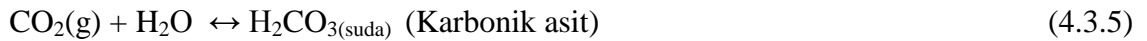
Yer altı sularında HCO_3^- derişimini etkileyen faktörler, sulardaki Ca^{2+} Mg^{2+} , in kaynağını dolaylı olarak etkiler. Bikarbonat kaynaklı olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} seviyelerini mineralin formasyonu, havadaki CO_2 miktarı, basınç, sıcaklık, suyun pH değeri, havadaki SO_2 gibi kirletici gazların konsantrasyonu ve bazı antropojenik faktörler etkiler.

Genel olarak karbonat reaksiyonları ile kontrol edilen yer altı suları kısmen yüksek seviyelerde kalsiyum ve bikarbonat içerir. Saf su ortamında, yani CO_2 ve çözünlüğü etkileyen diğer faktörlerden bağımsız olarak $CaCO_3$ bir denge reaksiyonu oluşturur. Eğer sulardaki Ca^{2+} konsantrasyonu sadece aşağıdaki denge reaksiyonundan kaynaklansaydı, yaklaşık 0,05 mol/L Ca^{2+} değeri sularda sabit olurdu.



Yukarıdaki reaksiyona göre Ca^{2+} konsantrasyonu CaCO_3 'ün çözünürlük çarpımı (K_{sp}) değerine bağlıdır.

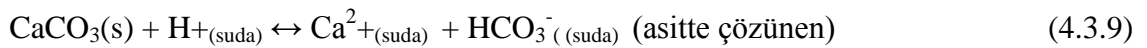
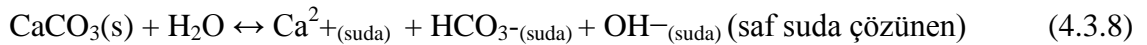
Oysa doğal sularda Ca^{2+} ve Mg^{2+} derişimlerini ilgilendiren sadece reaksiyon (4.3.4) değildir. Doğal sulardaki Ca^{2+} konsantrasyonu yukarıda belirtildiği gibi CO_2 miktarı (sıcaklık basınç ile birlikte) ve pH değerine bağlıdır. Atmosferde ve yer altının değişik katmanlarında bulunan CO_2 'in doğal olarak sularda çözünmesiyle karbonik asit (H_2CO_3) oluşur.



CO_2 'in H_2O ile olan reaksiyonunda hidrojen iyonları (ortam asidik) üretilir. Karbonatlı kayaçlarla (en önemlilerinden kalsit ve dolomit) temas eden bu su doygunluğa erişene kadar karbonatlı mineralleri çözer;



Plummer vd. (1978) CaCO_3 'ün çözünmesini üç göreceli mekanizma ile göstermişlerdir;



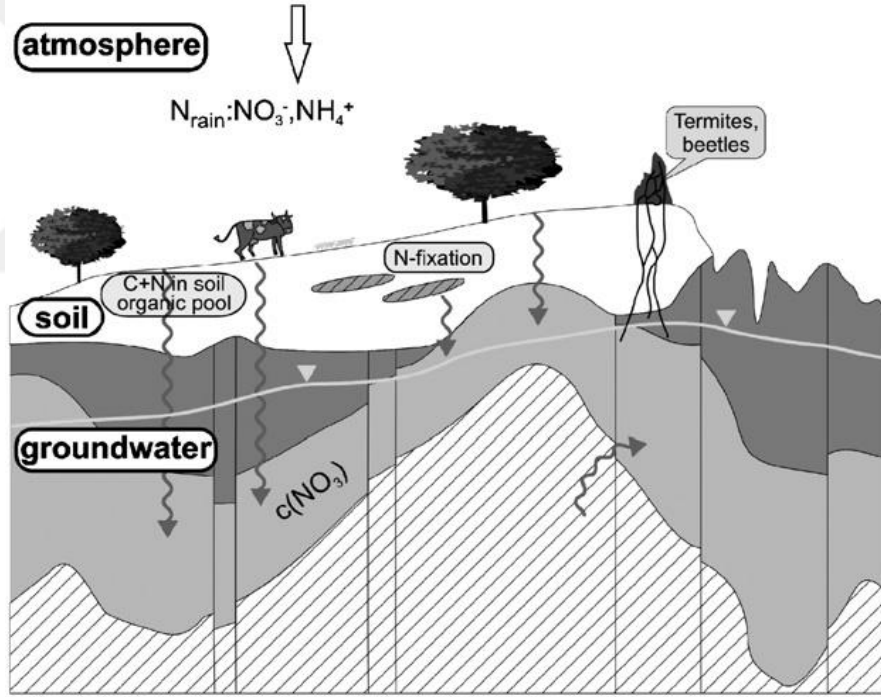
Genel çözünme hızı, R_{dis} (mmol/cm².s), üç mekanizmanın toplamıdır.

$$R_{\text{dis}} = k_{\text{H}_2\text{O}}[\text{H}_2\text{O}] + k_{\text{H}^+}[\text{H}^+] + k_{\text{H}_2\text{CO}_3}[\text{H}_2\text{CO}_3]. \quad (4.3.11)$$

Bir atmosfer basınçta saf CO_2 gazı saf suda pH değeri yaklaşık 3,6 olan bir çözelti oluşturur. Bununla birlikte, ortamda aşırı kalsit (CaCO_3)'ün varlığında kalsiyumun bir kısmı çözünerek 350 mg/L'lik bir çözelti oluşur ve ortamın pH değeri böylece 6 civarında olur. pH 8,2 den küçük olan sularda sadece bikarbonat iyonu vardır (Plummer vd., 1978)

4.4. Yüksek Nitrat Konsantrasyonlarının Kaynakları ve Nitratın Yeraltı Sularına Taşınması

Azot doğal sularda farklı bileşikler şeklinde bulunsa da yer altı sularında yaygın olarak nitrat şeklinde olmak üzere nitrit, amonyak ve nadiren de kyanit şeklinde görülmektedir. Yeraltı sularındaki nitrat atmosferik yağıştan, su kayaç etkileşiminden ve daha yaygın şekilde hayvansal atıklardan kaynaklanabilmektedir. Yeraltı sularında yaygın olarak görülen azot bileşiği nitrattır, zira doğal ortamlarda yaygın olarak görülen bir diğer azot bileşiği olan nitrit oksijenli ortamlarda kolaylıkla nitrata dönüşebilmektedir (Şekil 4.16). Bölgede serbest akifer koşullarının hakim olduğu anlaşılmaktadır, bu durum özellikle yer altı suyunun sığ derinlikte olduğu durumlarda yüzeyden süzülme sonucunda nitrat kirliliğinin görülmesi olasıdır (Hem, 1985)



Şekil 4.16. Doğal Olaylar Sonucu Azot Türlerinin Toprakta Nitrat İyonuna Dönüşmesi

Nitrat yeraltı sularında doğal süreçlerle oluşur. Fakat uygun düzenlemeler yapılmadığında sulanan alanlarda dramatik bir şekilde birikir. Nitrat bakımından

kirletilmiş olan yer altı suları kuyulardaki içme sularını kirletebilir, yeraltı suları dere ve gölleri kirletebileceği için yüzey sularını kirletebilir.

Nitratlar, amonyum ve nitrite göre insanlar için çok daha az toksiktir. Ancak yüksek seviyelerde bebekler için toksik olmaya başlar. Çevre örneklerinde, yaklaşık 30 mg/L seviyelerinde balıklar için toksik olmaya başlar. Azotlu bileşiklerin toksik etkileri pH ve sıcaklığın artması paralelinde artar. Dünya sağlık örgütü (WHO) verilerine göre içme sularında nitrat ve nitrit için maksimum izin verilebilen konsantrasyonları 50 mg/L ve 0.1 mg/L'dir (WHO, 1998). Türkiye'de "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" çerçevesinde ise nitrat düzeyi 50 mg/L, nitrit düzeyi ise 0.50 mg/L olarak belirlenmiştir.

US EPA (US Environmental Protection Agency)'nın içme sularında nitrat için önerdiği en yüksek konsantrasyon değeri 44.5 mg/L (veya 10 mg/L NO₃⁻ - N)'dir. EPA bu değeri potansiyel sağlık risklerini önlemek amacıyla mevcut olan en iyi bilimsel verilere dayanarak tesis etmiştir. Nitrat için uygulanabilir olan EPA'nın bu değeri, maksimum kirletici düzeyi (maximum contaminant level: MCL) olarak adlandırılmıştır. Bu tür MCL değerleri mümkün olabilen iyi sağlık hedeflerine uygun olarak tesis edilirken, maliyet, kamunun yararı, su sistemlerindeki kirleticileri kontrolü gibi faktörler dikkate alınır.

Gaziantep'in değişik noktalarından toplanan yer altı su örneklerindeki nitrat konsantrasyonu 2.1-253.2 mg/L gibi çok geniş bir aralıkta olup (Tablo 4.2), ortalama konsantrasyon±standart sapma' değeri; 30.0±32.1 mg/L'dir. NO₃⁻ ionu konsantrasyonu bölgeden bölgeye önemli farklılıklar göstermektedir. Ancak örneklerin alındığı noktalar ve bölgeler arasında ortalama nitrat konsantrasyonlarında belirgin farklılıklar görünse de, % 95 güven aralığında (p<0.5) beş bölge arasında farklar yoktur. Nitrat analizi yapılan yer altı su örneklerinin % 18'i 50 mg/L olan üst sınır konsantrasyon değerini aşmıştır. Bunların çoğu Oğuzeli-Kargamış, Araban ve Nizip bölgesine ait su örnekleridir (Tablo 4.2).

Yüzey suyundaki nitrat konsantrasyonu normalde düşüktür. Fakat başta tarımsal uygulamalar olmak üzere diğer insani kaynaklı (antropojenik) faktörler sayesinde yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir. Nehirlerdeki nitrat konsantrasyonlarına mevsimsel

olarak dalgalanmalar gösterir. Nitrat konsantrasyonu birçok Avrupa ülkesinde son yıllarda artış göstermekte ve son 20 yılda iki katına çıkmıştır.

Aerobik koşullar altında yeraltı sularında doğal nitrat konsantrasyonu litrede birkaç miligramdır. Bu değer toprak tipine ve jeolojik yapıya kuvvetlice bağlıdır. ABD'de, doğal olarak oluşan nitrat seviyeleri 4-9 mg/L, nitrit seviyeleri ise 0,3 mg/L'yi aşmamaktadır (USEPA, 1987). Tarımsal faaliyetler sonucunda, nitrat konsantrasyonu kolayca birkaç 100 mg/L gibi seviyelere ulaşabilir. Örneğin, Hindistan'da tarımsal alanlardaki yer altı sularında 1500 mg/L'ye kadar olan yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir (WHO, 2011).

ABD'de, nitrat iyonu konsantrasyonları çoğu yüzey ve yeraltı sularında 4 mg/L'nin altındadır. Yüzey sularının % 3'ü, yer altı sularının % 6'sı 20 mg/L seviyelerini aşmaktadır. Benzer Antalya-Demre yöresinde toprak ve kuyu sularının nitrat içeriklerinin değişiminin incelendiği araştırmada toprakta ve kuyu sularında nitrat değerlerinin dönemsel olarak artış gösterdiği ve kuyu sularının yaklaşık % 45'inin 50 mg/L sınır değerini aştığı belirtilmiştir (Sönmez vd., 2007).

Nitratin yeraltı suyunda yüksek olması doğal süreçlerle de gerçekleşebilmektedir. Yani nitratin gübreden değil topraktaki doğal organik azotun oksitlenmesi ve yıkanmasından da türemiş olabileceği ifade edilmektedir.

Azot türevleri olan NO_2^- ve NH_4^+ doğal jeolojik ortamlarda çok küçük miktarlarda bulunurlar. NO_2^- iyonu oksijenin bulunduğu ortamda kararsız olduğundan, NO_3^- - NH_3 arasında geçiş formu olarak bulunur. Nitrit sularda kararlı olmayıp, yükseltgenerek nitrat haline dönüşür. Sularda nitritin kaynağı organik maddeler, azotlu gübreler ve bazı minerallerdir. Yerleşim bölgelerinde bulunan sularda nitrit organik maddelerden kaynaklanmaktadır. Doğal sularda konsantrasyonu düşük olmasına rağmen organik kirlenmenin olduğu, oksijen içeriğinin düşük olduğu, çevresel ve endüstriyel atık su deşarjının olduğu yerlerde yüksek seviyelere ulaşabilir. Yeraltı suyunda NO_2^- bulunuşu, hayvansal ve evsel atıklarla yeni ve taze kirlenme belirtisidir. Nitritin yüksek miktarda olması suların kirlenmiş olduğunu gösterir. İçme sularında nitrit seviyeleri genellikle 0,1 mg/L'nin altındadır (WHO, 2011).

Nitrat, azot devrindeki azotun en üst yükseltgenme basamağındadır. Sularda bulunan en önemli azot bileşikleri organik azot, amonyak (NH₃), nitrit (NO₂) ve nitrattır (NO₃). Yağmur suyunda çözünen havadaki azotlu bileşikler hava oksijeni ile yükseltgenerek nitrit ve nitrik asiti meydana getirir (Alparslan, 2013).



(Ca²⁺+Mg²⁺)/HCO₃⁻ stokiyometrik ilişkisine göre (Şekil 15a), örneklerin % 86 sında değişik konsantrasyonlarda aralığında toplam alkali metal iyonu (Ca²⁺+Mg²⁺) yani M²⁺ geride kalmaktadır. Geride kalan M²⁺ iyon derişimi ile NO₃⁻ iyon derişimleri arasında yüksek bir doğrusal ilişki (N7, N19 ve K13 hariç bırakıldığında) tespit edildi (r²=0.90) (Şekil 16).

Lewis asit ve bazlık kuvveti aşağıdaki sıralamaya göre azalır; Lewis asidi olarak; K⁺ > Na⁺ > Ba²⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > Mn²⁺, and OH⁻ > CO₃²⁻ > HCO₃⁻ > F⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻. SO₄²⁻ iyonu NO₃⁻ iyonuna göre Lewis bazı olarak kuvveti ve dipol momentleri daha büyüktür. Bu özelliklerinden dolayı stokiyometrik hesaplamada M²⁺ iyonlarının SO₄²⁻ ile olan ilişkisi (r²=0.61), M²⁺ ile NO₃⁻ ilişkisinden (r²=0.90) öncelikli olarak değerlendirilebilir. Ancak MSO₄ yapısındaki M²⁺ iyonu çok yüksek oranda MgSO₄ olması beklenmelidir. Çünkü MgSO₄ çözünürlüğü CaSO₄ (K_{sp} = 2.4×10⁻⁵)'inkinden çok daha büyüktür. Böylece, HCO₃⁻ ile olan etkileşimlerinden geriye kalan Ca²⁺+Mg²⁺ iyonları (M²⁺) MSO₄ ve M(NO₃)₂ formlarındadır.

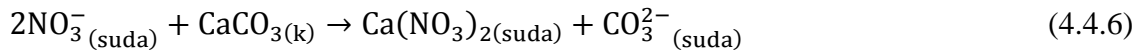
HCO₃⁻ ile olan etkileşimlerinden geriye kalan Ca²⁺+Mg²⁺ iyonları (M²⁺) sayesinde NO₃⁻ iyonuyeraltı sularına Ca(NO₃)₂ ve Mg(NO₃)₂ formlarında taşınmakta olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışma alanı topraklarında nitrat iyonuna dönümiş olan (4.4.1 – 4.4.4) azotlu türler, yörenin hakim minerali olan kalsit (CaCO₃) ile reaksiyona girer.

HCO₃⁻ iyonundan geride kalan M²⁺ (ki burada yüksek oranda Ca²⁺ iyonudur) ile NO₃⁻ iyon derişimleri arasındaki yüksek doğrusal ilişki aşağıdaki reaksiyon ile temsil edilir. Oluşan nitrat topraktaki kalsiyum bileşikleri ile aşağıdaki reaksiyonu verir:



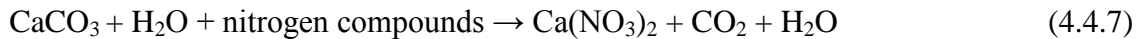
Çalışma alanı toprağındaki NO₃⁻ formunda olan azot, çalışma alanının jeolojik yapısında etkin mineral olan kalsit (CaCO₃) ile aşağıdaki gibi reaksiyon verdiği düşünölmektedir:



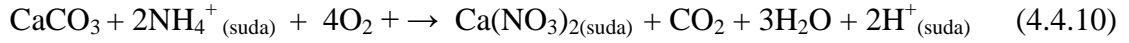
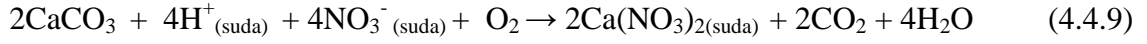
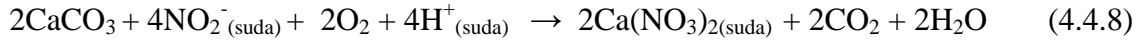
Amonyum iyonu (NH₄⁺) toprak ortamında negative yüklü türler tarafından tutulur. Böylece NH₄⁺ iyonu toprak matrisi tarafından hızlı bir biçimde absorplanır. Oysa NO₃⁻ iyonu toprağına bağlanmaz böyle davranmaz. NO₃⁻ iyonu toprakta su ile birlikte yerin değişik katmanlarına serbest bir biçimde taşınır (Baird, 2001). Böylece toprakta kalsit mineralinde çözünen NO₃⁻ iyonu, yer altı sularına Ca²⁺ iyonu ile birlikte taşınır (4.4.6).

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi HCO₃⁻ iyonu ile etkileşimden fazla kalan [M²⁺] (Ca²⁺+Mg²⁺) ile NO₃⁻ molar konsantrasyonları (meq/L) arasında güçlü bir doğrusal ilişkinin olması (r²>0.90) bu durumu desteklemektedir. Çalışma bölgesinin toprakları yüksek CaCO₃ oranlarına sahip olup, bazik karakterlidir (pH: 7.9-8.4) (Avcı ve Yaman, 2014). Böyle bir toprak ortamında azot mineralizasyonu ve NH₄⁺ ve diğer azotlu türlerin NO₃⁻ iyonuna nitrifikasyon ile dönüşmesi hızlı bir şekilde gerçekleşebilir.

Şekil 4.1'de jeolojik haritada gerek doğu-batı, gerekse güney-kuzey yönlerine doğru örnekleme noktaları ve bölgeler arasında nitrat konsantrasyonlarında belirgin farklılıklar vardır. Her örnekleme noktası için farklı olmak üzere sudaki NO₃⁻ konsantrasyonu doğal süreçlerle farklı seviyelere ulaşabilir. Bu durum aşağıdaki gibi bir genel reaksiyonla özetlenebilir;



Yukarıdaki genel reaksiyon, aşağıda belirtilen reaksiyonların bir ya da bir kaçını birlikte değişik etkinlik'lerde içerebilir.



Yüksek nitrat seviyelerinin nedeni; zirai gübreler ve diğer antropojenik faktörlerden daha çok, yukarıda açıklanan doğal süreçler olduğu düşünülmektedir.

Ancak, noktasal (lokal) anlamda zirai ilaçlar ve diğer antropojenik faktörler de değişik oranlarda yüksek nitrat konsantrasyonlarına kaynaklık edebilir.

Örnekleme noktalarının çoğu kırsal alandadır ve neredeyse tamamının yakınlarında önemli bir antropojenik kirletici bulunmamaktadır. Bunun için nitratın yeraltı suyunda önemli oranda doğal süreçlerle biriktiği sonucuna varılır.

Yüksek nitrat konsantrasyonlarının kaynağı antropojenik faktörler olsaydı, en azından bazı su örneklerindeki NO_2^- ve/veya NH_4^+ iyonlarının iyon kromatografisi (IC) ile analiz edilen gözlemlenebilecek seviyelerde olması beklenebilirdi. Oysa bir iki tanesi için hariç bütün yer altı su örneklerinde bu iki iyon IC-iletkenlik dedektörü yöntemi ile tespit edilememiştir ($<0,001$ mg/L). Doğal olarak oluşan nitrat, uzun sürelidir. NO_2^- ve NH_4^+ iyonları kararsız olduğu için bu uzun süre içinde nitrata dönüşürler.

Keza, yüksek nitrat konsantrasyonları antropojenik kaynaklı olsaydı, nitrat ile toplam organik karbon konsantrasyonları arasında (en azından yüksek nitrat konsantrasyonlarının gözlemlendiği noktalar için) doğrusal bir ilişki beklenebilirdi. Oysa bu iki analit konsantrasyonları arasındaki regresyon katsayısı oldukça düşüktür ($r^2 = 0,02$).

Yukarıda açıklanan bütün faktörler her bir örnekleme noktası için değişik oranlarda olmak üzere nitratın kaynakları olabilir.

Yukarıdaki açıklama ve reaksiyonlarda belirtildiği gibi, doğal kimyasal etkileşimler vasıtasıyla yer altı sularına NO_3^- iyonu Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları ile taşındığı tahmin edilmektedir.

Bir kuyunun yeraltısuyundaki nitrat seviyeleri; akiferde bulunan azot kaynakları iklim, jeolojik yapı, toprak jeokimyası, yeraltı suyu jeokimyası, akiferin beslenme alanının yüzölçümü ve suyun akiferde kat ettiği yol da dahil olmak birçok faktöre bağlıdır (WHO, 2003).

Doğal süreçlerle yer altı sularında nitrat seviyeleri yüksek değerlere ulaşabilir. Organik kirlenmenin yoğun olduğu yerlerde yağışla birlikte nitrat seviyeleri önemli ölçüde artar. Yağmur sularının toprakları yıkaması sonucunda suda kolayca çözünen nitrat doğal su ortamına karışır. Ayrıca; sığ kuyuların dış bileşenler tarafından kirletilebilmesi, hatalı kuyu inşası gibi faktörler de yeraltı sularında yüksek nitrat seviyelerine neden olabilir. (Freeze ve Cherry, 2003).

Örnekleme noktalarının kuyu derinlikleri 3-260 m arasında olup, standart sapma ile birlikte ortalama 108 ± 52 m'dir. Nitrat konsantrasyonları ile kuyu derinlikleri arasında belirgin doğrusal bir ilişki yoktur.

Sodyum iyonu (Na^+) ile NO_3^- molar konsantrasyonları arasında doğrusal bir ilişki tespit edilememesi ($r^2=0.00$), NaNO_3 formunun sularda olmadığına kanıtı sayılabilir. Eğer NO_3^- kaynakları soda niter (NaNO_3) ve niter (KNO_3) gibi jeolojik kaynaklar olsaydı, NO_3^- ile Na^+ iyon derişimleri arasında en azından bir kısım örnekler için belirli bir seviyede doğrusal ilişki olması gerekirdi. Çalışma alanı yeraltı sularındaki Na^+ kaynağı kil ve feldispat mineralleridir. Kısaca, bölgenin yer altı sularındaki nitratın kaynağı jeolojik değildir.

Ayrıca sığ kuyuların nitrat ve diğer bileşenler tarafından kirletilmesi genellikle hatalı kuyu inşasından da kaynaklanmaktadır. (Freeze ve Cherry, 2003; Yetiş, 2013). Yöredeki kuyuların derinlikleri farklı, farklıdır.

Bir kuyunun yer altı nitrat seviyeleri akifer'de bulunan azot kaynakları, iklim, toprak jeolojisi, yeraltı suyu jeokimyası, kuyuya katkı yapan arazinin yüzölçümü ve suyun kuyuda aldığı yol da dahil olmak birçok faktöre bağlıdır (WHO, 2011).

Yukarıda açıklanan bütün bilgi ve verilere dayanarak nitrat seviyeleri özellikler 40–50 mg/L den yukarı olan kuyu sularının içme amaçlı kullanılmamaları gerekir. Uzun vadede olası halk sağlığı risklerini en aza indirmek için EPA'nın içme amaçlı sular için önerdiği 10 mg/L NO_3^- seviyelerine sahip olmayan kuyuların içme amaçlı kullanılmayıp sulama ve diğer işler için kullanılmaları önerilebilir. Bunların yerine fiziki etütleri iyi yapılmış ve NO_3^- seviyeleri 10 mg/L'in altında (diğer faktörlerin de uygun olması durumunda) kuyuların tespiti orta ve uzun vadede halk sağlığı için önem taşımaktadır.

4.5. Majör İyon Kimyası ve Su Kalitesi

Kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+})

Havada % 0.03 kadar mevcut olan CO_2 etkisiyle, nemli bulunan CaCO_3 yüzeylerinde eser miktarda kalsiyum bikarbonat oluştuğundan kireç taşları ile temasta bulunan bütün sular çözülmüş halde kalsiyum bikarbonat içerirler. Çözülmüş bulunan kalsiyum bikarbonatın büyük bir kısmı suyun buharlaşmasında suda çözünmeyen CaCO_3 haline geçtiğinden bu şartın oluştuğu yerlerde kireçtaşı meydana gelir. (Breznik and Arnold, 2011; Boyd, 1998)

Önceki bölümdeki reaksiyonlarda olduğu gibi doğal sulardaki Ca^{2+} konsantrasyonu bazı faktörlere bağlıdır; havadaki CO_2 miktarı, basınç, suyun pH değeri.

Çalışma bölgesinin genel jeolojik yapısında kalsit ve dolomit gibi karbonat mineralleri etkindir. Karbonatlar çoğu tortul kayalar ve bazı metamorfik kayalar olmak üzere farklı türdeki kayalarda bulunur. Bu nedenle karbonat kimyası çoğu yer altı sularının evrimi ile oldukça ilgilidir. Genel olarak karbonat reaksiyonları ile kontrol edilen yer altı suları kısmen yüksek seviyelerde kalsiyum ve bikarbonat içerir. Atmosferde ve yer altının değişik katmanlarında bulunan CO_2 'in doğal olarak sularda çözünmesiyle karbonik asit (H_2CO_3) oluşur.

Genel olarak içilebilen yeraltı sularındaki Ca^{2+} konsantrasyonları 10-100 mg/L arasında değişir. Çoğu doğal sulardaki Ca^{2+} konsantrasyonları 4-100 mg/L (yani 10–250

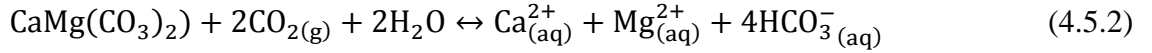
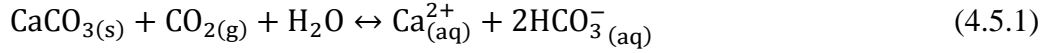
mg/L CaCO₃). Doğal sulardaki 200 mg/L Ca²⁺ konsantrasyonları çok nadirdir (WHO, 2006).

Çalışma bölgesinin yer altı su örneklerinin majör iyon konsantrasyonlarındaki büyük değişimler, suyun değişik kaynakları, kayaç-su etkileşimleri, iyon-değişim reaksiyonları ve diğer faktörlerden kaynaklanmaktadır. Örneklerin Ca²⁺ konsantrasyonu 3 mg/L'den 185 mg/L'e kadar değişmektedir. 'Ortalama Ca²⁺ konsantrasyonu±standart sapma' değeri; 184±30 mg/L'dir. Özellikle, 31, 32, 47, 65, 68 ve 77 (Şekil 4.1) numaralı örnekleme noktalarının Ca²⁺ konsantrasyonları arasındaki büyük farklar dikkat çekicidir. Sadece 120 örnekten üç tanesinin Ca²⁺ konsantrasyonu WHO ve ISO standartlarını (50 mg/L) geçmektedir (Tablo 4.2). Uygun doğal koşullarda suda Ca(HCO₃)₂ ve Mg(HCO₃)₂ formlarında çözülmüş halde bulunan Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyonları, CaCO₃ ve MgCO₃ formlarında suda çözünmeyen formlarına dönüşebilirler. Aşağıdaki eşitliklerde (4.5.1 ve 4.5.1) gösterilen reaksiyonlar sağa doğru yürür.

Sulardaki Ca²⁺ iyonun temel kaynakları kalsit (CaCO₃) ve dolomittir (CaMg(CO₃)₂). Bu yüzden toplam anyon derişiminin büyük bölümü HCO₃⁻ iyonuna aittir. Ancak bazı kuyuların suları katyon ya da anyon derişimleri bakımından 'karışık su' sınıfına girer. Ca²⁺ konsantrasyonu bakımından da kuyular arasında büyük farklar vardır. Örneğin K15 (3 mg/L), K18 (4 mg/L) ve Y6 (7 mg/L) ile N32 (147 mg/L), N16 (185 mg/L) ve N17 (185 mg/L) kuyularının su örneklerindeki Ca²⁺ konsantrasyonları arasında büyük farklar vardır. Yer altı sularında Ca²⁺ iyonu genellikle Mg²⁺ iyonundan daha yüksek seviyelerdedir.

Kalsiyum yeraltı sularına; kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jips gibi silikatlı olmayan minerallerin ve anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun erimesi ile karışır. Kalsiyum, evriminin büyük bir kısmını yeraltı sularında geçirir; hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarda bulunur. Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artması, sudaki kalsiyum miktarını artırır (Brezonik ve Arnold, 2011; Yetiş, 2013).

Doğal suların çoğunda Ca²⁺ iyonu genellikle majör seviyelerde bulunur. Değişik formasyondaki kalsiyum tuzlarının çözünmesi sonucu bu iyon suya geçer;



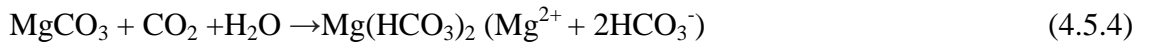
Su sertliği, sertliğe neden olan tuzların niteliklerine göre ikiye ayrılır:

Geçici sertlik: Ca ve Mg bikarbonatların neden olduğu sertliklere denir. Bu tür sertlikler suyun belirli bir süre kaynatılmasıyla giderilebilir. Kaynatma sonunda çözünür. Bikarbonat tuzu, suda az çözünen karbonat tuzuna dönüşür ve dolayısıyla çökme olur.



2. *Kalıcı Sertlik:* CaCl_2 ve MgCl_2 , SO_4^{-2} , PO_4^{-3} veya Silikat tuzlarından meydana gelen sertliktir. Bu tür sertlikler kaynatılmayla giderilmez. Kalıcı ve geçici sertliğin toplamına sertlik bütünü denir. Sertlik tanımı olarak değişik tanımlar kullanılmaktadır. Bunlar;

Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en yüksek seviyelerde bulunan katyondur. Magnezyum, yeraltı sularına çoğunlukla magnezyumlu kalker, dolomit ve serpantizasyon sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın eritilmesi ile karışır.



Yeraltı sularında kalsiyum iyonu genellikle magnezyum iyonundan fazladır. Ca^{2+} ve Mg^{2+} , un suda fazla miktarda bulunması sertliğe yol açarak suyun kalitesini etkiler. Ancak sulama sularında Ca ve Mg azaldığında da ortamdaki Na oranı ve dolayısıyla SAR değeri artmaya başlar. Bu iki katyonun belirli miktarlarda bulunmaları sodyum tehlikesini azalttığından yararlıdır (Plummer vd., 1978; Brezonik ve Arnold, 2011; Boyd, 1998; Yetiş, 2013). Yer altı sularında Mg^{2+} seviyeleri 10-100 mg/L arasında değişir. WHO içme amaçlı izin verdiği seviyesi 50 mg/L'dir.

Genel olarak karbonat reaksiyonları ile kontrol edilen yer altı suları kısmen yüksek seviyelerde kalsiyum ve bikarbonat içerir. CO_2 ve çözünürlüğünü etkileyen diğer faktörlerden bağımsız olarak CaCO_3 sulu ortamda bir denge reaksiyonu oluşturur, ve çözünürlüğü düşüktür.

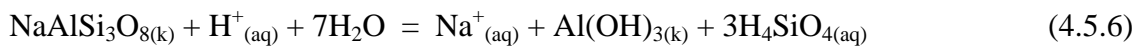


Bikarbonat kaynaklı olan Ca^{2+} ve Mg^{2+} seviyelerini mineralin yapısı, havadaki CO_2 miktarı basınç, sıcaklık, suyun pH değeri, havadaki SO_2 gibi kirletici gazların konsantrasyonu ve bazı antropojenik faktörlerden etkilenir.

Oysa bikarbonat kaynaklı doğal sularda Ca^{2+} ve Mg^{2+} derişimlerini ilgilendiren sadece reaksiyon (4.5.5) değildir. Doğal sulardaki Ca^{2+} konsantrasyonu yukarıda belirtilen faktörlere bağlıdır. Atmosferde ve yer altının değişik katmanlarında bulunan CO_2 'in sularda çözünmesi ile carbonic acid (H_2CO_3) doğal olarak oluşur.

Sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+)

Magmasal kayaçlar, kil mineralleri, feldspatlar, feldspatoidler, evaporitler (NaCl , KCl gibi) sodyum ve/veya potasyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. Suda kolayca çözünebilen Na^+ iyonunun kaynağı genellikle magmatik kayaçlar, kil mineralleri, feldspatlar veya evaporitlerdir. Yer altı sularında yüksek sodyum konsantrasyonunun temel nedeni toprağın geçirgenliğinin artmasıdır. Genellikle sodyum ve potasyum yer altı sularına plajioklasların ayrışması, kil minerallerinin iyon-değişim özellikleri ve evaporitlerin bozunması (çözünmesi) sonucu karışmaktadır. Jeokimyasal olaylar ve diğer bazı doğal faktörler yer altı sularındaki sodyum ve potasyum seviyelerini önemli ölçüde değiştirir. Sodyum ve potasyumun yer altı sularındaki konsantrasyonu mineral tipi, pH, mineralin çözünme (bozunma) süresi, suyunakış hızı, ortamdaki kalsiyum iyon değişimi, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır (Varol vd., 2008; Brezonik ve Arnold, 2011; Yetiş, 2013). Aşağıdaki reaksiyonda belirtildiği gibi, yer altı suyu ile silikatlı kayalar arasındaki etkileşim sonucunda bu elementler çözünerek sulu ortama geçer.



Yeraltı sularının sodyum konsantrasyonu normal olarak 6-130 mg/L arasında değişir. Bununla birlikte 200 mg/L'yi aşan konsantrasyonlarda suyun tadını bozabilir. Yüksek sodyum zararının ana nedeni toprak geçirgenliği ve infiltrasyonu azaltmasıdır.

Sodyum aynı zamanda doğrudan toprak tuzluluğuna katkı yaparak tuza duyarlı bitkilere zarar verebilir. Yeraltı sularına en çok plajiyoklasların ayrışması, kil minerallerinin baz değişimi ve evaporitlerin bozunumu sonucu karışmaktadır. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldspatlar, feldspatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayalar ve minerallerdir (US EPA, 1999; Varol vd., 2008; Yetiş, 2013).

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan yeraltı su örneklerindeki Na⁺ konsantrasyonu 1.6-118.7 mg/L aralığında olup (Tablo 4.2) 'ortalama konsantrasyon ± standart sapma' değeri; 16.1±21.1 mg/L'dir. Örneklerin % 94'ünün Na⁺ konsantrasyonu, WHO ve US EPA'nın içme amaçlı mücade ettiği 50 mg/L değerinin altındadır. Aynı su örneklerindeki K⁺ konsantrasyonu 0.5 ile 177.7 mg/L aralığında olup (Tablo 4.2), 'ortalama konsantrasyon ± standart sapma' değeri; 12±27.0 mg/L'dir.

Suda kolayca çözünebilen Na⁺'un kaynağı genellikle magmatik kayalar, kil mineralleri, feldspatlar veya evaporitlerdir. K⁺ iyonu ise potaslı feldspatlarda, mikalarda, feldspatoid ve kil minerallerinde bulunmaktadır (Yastı, 2008). N7, N19, N32, N33, K8 ve K10 kuyularındaki Na⁺ seviyeleri hem mg/L, hem de meq/L olarak katyonlar içinde % Na bakımından yüksektir. Bu kuyuları önemli oranda halide (NaCl) mineralinden beslenmiş olabilir. Keza yüksek Na⁺ konsantrasyonlarına kuyu yakınlarındaki andezit varlığı da neden olabilir.

Potasyum yerkabuğunun % 2.5'ini oluşturur ve yerkabuğunda en fazla bulunan elementlerin yedincisidir. Bu element genel olarak feldspatlarda (ortoklaz, mikroklin), mikalarda, feldspatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur. Doğada oldukça yaygın bulunmasına karşın doğal sularda genellikle birkaç (1-10) mg/L düzeyinde bulunur. Bazı jeokimyasal prosesler ve absorpsiyon nedeniyle potasyum toprakta kalır ve suya fazla geçmez. Suların çoğunluğundaki potasyum konsantrasyonu 20 mg/L den daha azdır. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda potasyumun bulunduğu da görülebilir. Bu durum suyun bulunduğu jeolojik formasyonlarla ilgilidir. İçme suyundaki düşük ve yüksek konsantrasyonların insan sağlığına direk bir etkisi yoktur. Potasyum bitki ve hayvan yaşamı için ana besinlerden biridir. Toprak zeminini oluşturan ana kayalarda K miktarı, Na'dan fazla bulunmaktadır. Buna karşın zeminde K iyonlarının bitkiler ve hayvanlar için yararlı olmasından dolayı, suda Na⁺ iyonları K⁺ iyonlarından fazladır (Şahinci, 1991; Brezonik and Arnold, 201; Boyd, 1998; Yetiş, 2013).

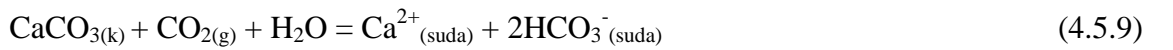
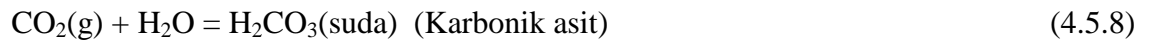
Bikarbonat (HCO₃⁻) ve karbonat (CO₃²⁻)

Karbonatlar çoğu tortul kayalar ve bazı metamorfik kayalar olmak üzere farklı türdeki kayalarda bulunur. Bu nedenle karbonat kimyası çoğu yer altı sularının evrimi ile oldukça ilgilidir. Genel olarak karbonat reaksiyonları ile kontrol edilen yer altı suları kısmen yüksek seviyelerde kalsiyum ve bikarbonat içerir. Saf su ortamında, yani CO₂ ve çözünürlüğü etkileyen diğer faktörlerden bağımsız olarak CaCO₃ bir denge reaksiyonu oluşturur; (Plummer vd., 1978; Freeze ve Cherry, 2003; Brezonik ve Arnold, 2011).

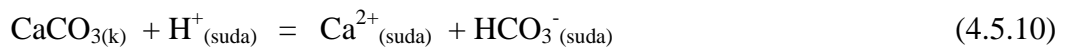


Doğal suların bikarbonat konsantrasyonu karbonat dengelerine bağlı olup, genellikle belirli bir aralıktadır. Akan suların çoğu limnolojik (limnological) anlamda "bikarbonat"lı olup, pH, CO₂, H₂CO₃, H⁺, CO₃⁻, HCO₃⁻, Ca²⁺ ve Mg²⁺ arasındaki karmaşık bir ilişkiye sahiptir.

Atmosferdeki ve yer altının değişik katmanlarında bulunan CO₂ nin doğal olarak sulara çözünmesiyle karbonik asit (H₂CO₃) ve dolayısıyla da bikarbonat ve karbonat iyonları oluşur. Doğal suların alkalinitesi, özellikle H₂CO₃ olmak üzere, zayıf asitlerin tuzlarından ileri gelir. Bunların basında yer alan bikarbonatlar alkalitenin en önemli seklidir. Atmosferde ve yer altının değişik katmanlarında bulunan CO₂'in doğal olarak sulara çözünmesiyle karbonik asit (H₂CO₃) oluşur.



CO₂'in H₂O ile olan reaksiyonunda hidrojen iyonları (ortam asidik) üretilir. Karbonatlı kayalarla (en önemlilerinden kalsit ve dolomit) temas eden bu su doygunluğa erişene kadar karbonatlı mineralleri çözer;



Birinci reaksiyonda kalsitin çözünürlüğü CaCO_3 'ün çözünürlük çarpımına (K_{sp}), ikinci reaksiyonda (sıcaklık ve basınçla birlikte) CO_2 miktarına, üçüncü reaksiyonda ise ortamın pH değerine bağlıdır. Ayrıca, kükürt minerallerinin (MS) yükseltgenmesi veya havadaki kükürtlü kirleticiler (SO_2 gibi) ile etkileşim gibi faktörler de ortamın H^+ iyonu konsantrasyonu artırır. Bu da CaCO_3 (kalsit) ya da diğer karbonatlı minerallerin çözünürlüğünü artırır (Plummer vd., 1978; Brezonik ve Arnold, 2011).

Yukarıdaki açıklamalarda görüldüğü gibi, doğal sularda karbonat konsantrasyonu, çözülmüş karbon dioksit, sıcaklık, pH, katyonlar ve diğer çözülmüş tuzların bir fonksiyonudur. Bir atmosfer basınçta saf CO_2 gazı distile suda pH değeri yaklaşık 3.6 olan bir çözelti oluşturur. Bununla birlikte, ortamda aşırı kalsitin varlığında kalsiyumun bir kısmı çözünerek 350 mg/L bir çözelti oluşur ve ortamın pH değeri böylece 6 civarında olur. Çoğu yüzey suları az 200 mg/L den daha düşük seviyelerde karbonat ve bikarbonat içerir. Ancak yeraltı suları biraz daha yüksek konsantrasyonlarda bu iki iyonu içerir (Yastı, 2008; Brezonik ve Arnold, 2011).

Yeraltı sularındaki bikarbonat seviyeleri genel olarak 10-800 mg/L seviyelerinde değişir. Nadiren bu aralığın üzerinde bulunur. CO_3^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının toplam konsantrasyonu 500 mg/L' den fazla olan sularda, ancak CO_3^{2-} konsantrasyonu 300 mg/L' ye kadar olan sular içilebilir. Fazla kalsiyum ve magnezyum bulunan sularda fazladan (artık) karbonat önemli seviyelerde bulunmaz. Çünkü sudaki çözünürlüğü düşük olan CaCO_3 ve MgCO_3 bileşikleri (K_{sp} değerleri sırasıyla 5.0×10^{-9} ve 6.8×10^{-6}) oluşur. Normal sularda karbonat seviyeleri bikarbonata oranla çok daha düşüktür. Suda karbonatın fazla bulunması, sodyum yüzdesinin yüksekliğini gösterir. Suyu alkali duruma getirir.

Bu çalışmada, yeraltı su örneklerinin HCO_3^- konsantrasyonu 40-623 mg/L gibi geniş bir aralıktadır. 'ortalama HCO_3^- konsantrasyon \pm standart sapma' değeri; 297 ± 83 mg/L'dir. Sadece 120 örnekten 63 tanesinin HCO_3^- konsantrasyonu WHO'nun içme amaçlı sular için olan standartını geçmektedir. (Tablo 2).

İncelenen altı bölgenin HCO_3^- konsantrasyonları birbirine oldukça benzerdir; %90 güven aralığında ($p < 0.1$) bölgeler (G, N, K, A ve Y) için anlamlı farklar yoktur. Çalışma alanının yer altı sularının büyük bir bölümünün kalsit (CaCO_3) ve dolomit

(CaCO₃, MgCO₃) jeolojik formasyonlardan beslenmektedir. Zaten örneklerin büyük bir kısmı Ca-HCO₃ veya CaMg-CO₃ tipindedir (Tablo 4.1).

Örnekleme noktalarının (Şekil 4.1) yer altı sularındaki HCO₃⁻ konsantrasyonları arasında farklar bulunmaktadır. Örneğin *K17* (49 mg/L), *Y* (73 mg/L), *A25* (87 mg/L) düşük konsantrasyonlarda HCO₃⁻ içerirken *N32* (653 mg/L), *N16* (562 mg/L) ve *G17* (515 mg/L) yüksek konsantrasyonlarda HCO₃⁻ içermektedir. Bölgelerin ortalama HCO₃⁻ konsantrasyonları bakımından *K*, *A* ve *Y* birbirine yakın iken, *G* ve *N* bunlardan daha yüksektir; *K*: 274 mg/L, *A*: 273 mg/L, *Y*: 283 mg/L, *G*: 316, ve *N*: 329 mg/L

Yüksek bikarbonat seviyelerine sahip yeraltı sularındaki toplam Ca²⁺+Mg²⁺ iyonu konsantrasyonu da paralel olarak yüksektir. Diğer bölümde de açıklandığı gibi toplam [Ca²⁺+Mg²⁺] derişimi ile [HCO₃⁻] derişimleri arasında yüksek bir doğrusal ilişki vardır (R²=0.88) (Şekil 4.15a). Keza doğusal ilişki Ca²⁺ ile HCO₃⁻ konsantrasyonları arasında da vardır (r²=0.61) (Şekil 4.15b). Her bir yeraltı suyu örneği için ayrı, ayrı hesaplamak üzere, Ca²⁺+Mg²⁺ toplam katyon derişiminden HCO₃⁻ anyon derişimi (meq/L) çıkarıldığında nerdeyse bütün örnekler için geriye HCO₃⁻ kalmamaktadır.

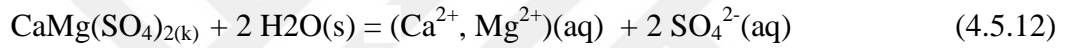
Fazla Ca²⁺ ve Mg²⁺ bulunan sularda artık HCO₃⁻ bulunmaz. Çünkü sudaki çözünürlüğü düşük olan CaCO₃ ve MgCO₃ bileşikleri oluşur. Normal sularda karbonat seviyeleri bikarbonata oranla çok daha düşüktür. Suda karbonatın fazla bulunması, sodyum oranının yüksekliğini gösterir ve suyu alkali duruma getirir.

Bikarbonat, bitkinin besin maddeleri alımını ve metabolizmasını etkilemektedir. Sulama sularında bikarbonat derişiminin Ca²⁺+Mg²⁺ toplam derişiminden yüksek olması durumunda sodyum iyonun bitkiler üzerinde zararlı etkisi olur. Sulama açısından karbonat ve bikarbonat seviyelerini tek başına değil, diğer iyonların seviyeleri ile bir arada nispi olarak incelemek gerekir. Bikarbonat, bitkinin besin maddeleri alımını ve metabolizmasını etkilemektedir. Sulama sularında bikarbonat iyonlarının yüksek konsantrasyonda bulunması halinde sodyum zararı fazla olur. Aynı zamanda meyve ağaçlarında demir yetersizliğine sebep olur. Sulama açısından karbonat ve bikarbonat seviyelerini tek başına değil, diğer iyonların seviyeleri ile bir arada nispi olarak incelemek gerekir. İyi bir içme suyunda bikarbonat iyonu hakim anyon olmalıdır. İçme

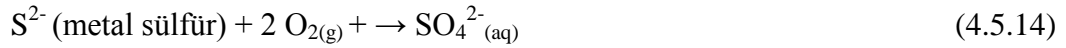
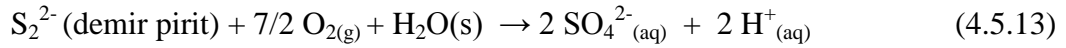
sularında karbonat ve bikarbonat iyonları 500 mg/L den az ise fizyolojik yönden sakıncası yoktur.

Sülfat (SO₄²⁻)

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Jips diğer sülfat minerallerine göre suda daha çok çözünür. Bu yüzden doğal sulardaki sülfatın en önemli kaynağı jipstir. Sülfatın tuzları arasında sudaki çözünürlüğü en düşük olan BaSO₄ olup, jips (CaSO₄.2H₂O) ve anhidrit (alçı) (CaSO₄)'in çözünürlüğü orta veya az olarak nitelendirilir. Ancak Na, K ve amonyum sülfatlar çok fazla çözünür.



Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan da ileri gelebilir. Ayrıca pirit (FeS₂)ve diğer metal sülfürlerin (MS) oksitlenmesi ile de sülfat oluşur.



Sülfat genellikle sularda bikarbonat ve klorürden sonra en yüksek seviyelerde bulunduğu gibi, bazı doğal sularda sülfat en yüksek konsantrasyonlarda bulunan anyon olabilir. Doğal sulardaki konsantrasyonu 1-2 mg/L'den 1000-2000 mg/L'e kadar değişen seviyelerde bulunur. Sağlık Bakanlığı (2005), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (US EPA) içilebilir sular için en yüksek SO₄²⁻ konsantrasyonu 250 mg/L'dir (US EPA,1999).

Çalışma alanı yer altı su örneklerinde SO₄²⁻ konsantrasyonu 1-102 mg/L aralığında olup (Tablo 4.2) 'ortalama konsantrasyon ± standart sapma' değeri; 16 ± 19 mg/L'dir. Bir örnek (K8) hariç, bütün örneklerin SO₄²⁻ konsantrasyonu 100 mg/L'in

altındadır. Çoğu yer altı su örneğinde (*N10, N15, N21, A21, A25, Y5, Y12*) SO_4^{2-} konsantrasyonu oldukça düşüktür (<3 mg/L).

Sülfatın, tarımda toprağın tuzluluğunu arttırması dışında zararlı etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/L'ye kadar olan seviyeleri bitki beslenmesi için faydalıdır. Ancak 500 mg/L'nin üzerindeki seviyelerde bitkilere zararlı olmaya başlar. Suda yüksek sülfat konsantrasyonu dağıtma sistemlerindeki, bilhassa düşük alkalinite olduğu zaman, metallerin korozyonuna sebep olur. Sülfat sulama sularında klordan daha az toksiktir. Yüksek konsantrasyonlarda sülfat iyonları kalsiyumun çökmesine neden olur ve bitkilerde toksik olabilirler (US EPA,1999; Yalçın ve Gürü, 2002; Yetiş, 2013).

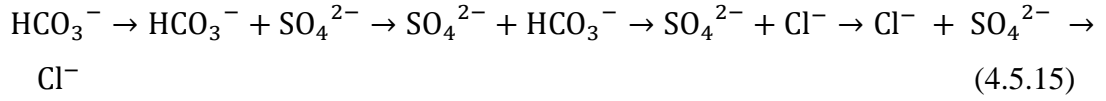
Özellikle Orta ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki evaporitik seri içinde bol miktarda jips ve anhidrit bulunduğundan, bu bölgelerin yeraltı sularında sülfat iyonuna çokça rastlanılmaktadır. Sülfatın, tarımda toprağın tuzluluğunu arttırması dışında zararlı etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/L'ye kadar olan miktarlar bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/L'nin üzerine çıktığında zararlı olmaya başlar (Yetiş, 2013).

Biyojeokimyasal işlemler, kuyunun kaynağı, suyun kuyuda kalma süresi gibi çeşitli faktörler yeraltı suyundaki sülfat konsantrasyonunu etkiler. Sülfat genellikle sularda bikarbonat ve klorürden sonra en yüksek seviyelerde bulunur. Bazı doğal sularda sülfat en yüksek konsantrasyonlarda bulunan anyon olabilir. Kayaç ya da toprakların yapısından suya geçen Na^+ ve K^+ katyonları SO_4^{2-} anyonu ile iyi çözünen bileşikler oluştururlar (Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Kimyası Laboratuvarı Dersi, 2013).

Klorür (Cl) ve florür (F)

Doğada yayılımı geniş olan Cl^- iyonu genellikle sedimanter kayaçlarda ve özellikle evaporitlerde bulunmaktadır. Bunun dışında hornblend, biyotit ve sodalit gibi magmatik kayaçların minerallerinde değişik seviyelerde Cl^- iyonu mevcuttur. Bunun yanında derin dolaşımli sularda dolaşım arttıkça Cl^- iyonunun arttığı bilinmektedir (Yastı, 2008). Sulardaki klorür iyonu, hidrolojik çevrim sırasında iyi korunabilen iyonlardandır. Bu nedenle iyi bir izleyici olarak bilinir (Yetiş, 2013) Yer altı suyu akış yolu boyunca, yani

ortam derinleştikçe suyun yaşı artmakta, aynı zamanda suda baskın olan bikarbonat sülfat ve klorüre dönüşmektedir (Freeze ve Cherry, 1979).



Klorür sularında NaCl, CaCl₂, MgCl₂ (ve düşük seviyelerde olsa KCl) bileşikleri şeklinde bulunur. İyonlar arasındaki tercihleri etkileyen faktörlerin başında elektronegativite, sert ve yumuşak asit-baz özelliği gelir. Suda bulunan Cl⁻ iyonu, aynı ortamda bulunan K⁺, Na⁺, Mg²⁺ ve Ca²⁺ ve diğer metal iyonlarından ilk önce K⁺ iyonunu tercih ederek KCl şeklinde bulunur. Ama aynı ortamda F⁻ iyonu da bulunuyorsa, K⁺ ile F⁻ iyonları arasında KF bileşiği oluşur. Geriye kalan K⁺ iyonları, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ gibi iyonlar arasında değişik oranlarda birleşir. Doğal sulardaki Na⁺ ve Cl⁻ seviyeleri genellikle birbirine yakındır.

Çalışmamızda yeraltı sularındaki K⁺ seviyeleri bu iki iyondan belirgin bir şekilde düşüktür. Böylece Cl⁻ iyonları düşük oranlarda KCl şeklinde bulunurken, büyük oranda NaCl şeklinde bulunur. Su ortamında yeterince Na⁺ iyonu bulunmuyorsa, bu kez Cl⁻ iyonları Ca²⁺ ve daha sonra Mg²⁺ iyonlarını tercih eder.

Klorür (Cl⁻), doğal sularda yaygın bir şekilde bulunan iyonlardan birisidir. Normal sularda 1 mg/L den birkaç bin mg/L ye kadar bulunabilir. Yani doğal sularda değişik seviyelerde bulunur. Klorür tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan normal ve atık sularda en çok bulunan iyonlardan birisidir. Ancak içme sularında, 250 mg/l'den fazla klorür bulunmamalıdır. Klorürler, klorürlü kayaç ve zeminlerden erime, deniz kıyısındaki kuyularda tuzlu su kirlenmesi ve bazı antropojenik (insani kaynaklı) faktörlerden dolayı sulara geçer. Sularda aniden oluşacak bir klorür konsantrasyonu yüksekliği bir kirlenici faktör şüphesi doğurabilir. Yer altı suyunda klorür konsantrasyonlarındaki azalma yalnızca yağmura bağlı olabilir. Bu da kaynak sularının izlenmesi açısından bir kriter olarak kabul edilebilir (WHO, 2011; Yetiş, 2013).

Analizi yapılan yer altı sularının klorür konsantrasyonu 3 ile 438 mg/L arasında değişmekte (Tablo 4.2) ve 'ortalama konsantrasyon ± standart sapma' değeri; 31 ± 63 mg/L'dir. Dört örnekte (N6, N7, N32, K13) içme suları için izinverilebilen üst

konsantrasyon değeri olan 250 mg/L'lik seviyeyi aşmıştır. Florür konsantrasyonu 0.00 ile 0.78 mg/L değerleri arasında ve 'ortalama konsantrasyon \pm standart sapma' değeri; 0.17 ± 0.06 mg/L'dir (Tablo 4.2).

Suya florür veren başlıca mineral volkanik kayaların bileşiminde bulunan kalsiyum florürdür. Bu tuzun çözünlüğü azdır. Diğer florür mineralleri arasında apatit, mika sayılabilir. Derinden alınan sularda ve özellikle petrol kuyularındaki tuzlu sularda florür görülür. Doğal sularında F⁻ iyonu konsantrasyonu genellikle 1 mg/L'nin altındadır. Flor, kalsiyum florür olarak kemiklerde ve diş minesinde az miktarda bulunur. Az miktarda florun diş çürümelerine engel olduğu görölmüştür. İçme suyu için tavsiye edilen değer 1 mg/lt'dir. Bu değerin dişler için faydalı olduğu ve diş çürümelerini azalttığı bilinmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Sularda bulunan florür, miktarına bağlı olarak faydalı veya zararlı olabilir. 4 mg/lt ise müsaade edilen maksimum dozdur. İçme suyuna katılan florun optimum noktası 1 mg/79ort h. Konsantrasyona karar verirken suyun içindeki doğal florit miktarını da göz önünde tutmak gerekir.

4.6. Yeraltı sularının kalitesi

120 tane yer altı su numunesindeki nitrat konsantrasyonu 2.1-253.2 mg/L gibi çok geniş bir aralıktadır. Nitrat analizi yapılan yer altı su örneklerinin % 18'i 50 mg/L olan üst sınır konsantrasyon değerini aşmıştır. Bunların çoğu Oğuzeli-Kargamış, Araban ve Nizip bölgesine ait su örnekleridir. Örneklerin Ca²⁺ konsantrasyonu 3 mg/L'den 185 mg/L'e kadar değişmektedir. 'Ortalama Ca²⁺ konsantrasyonu \pm standart sapma' değeri; 184 ± 30 mg/L'dir. Yeraltı su örneklerinin HCO₃⁻ konsantrasyonu 40-623 mg/L geniş bir aralıktadır. 120 örnekten 63 tanesinin HCO₃⁻ konsantrasyonu WHO'nun içme amaçlı sular için olan standardını geçmektedir. SO₄²⁻ konsantrasyonu 1-102 mg/L, klorür konsantrasyonu 3-438 mg/L aralığında tayin edildi.

Tablo 4.2. Gaziantep ilinin ilçe ve değişik köylerinde içme ve kullanma amaçlı kullanılan yeraltı (kuyu-artezyen) su örneklerinde iyon kromatografisi ile tayin edilen anyon ve katyonların konsantrasyonları (mg/L), fizikokimyasal parametre değerleri (TE: Tespit edilemedi)

Örnek No	Örnek Kodu/ Nokta	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	NH ₄ ⁺ mg/L	F mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Renk Pt/Co	Bulaşıklık NTU	pH	İletkenlik ms/m	Toplam sertlik mg/l	Toplam organik karbon mg/L
1	G9	4,92	T,E	T,E	0,14	4,41	17,19	264,74	2,28	2,34	34,78	40,75	1	0,47	7,95	43,1	2,08	0,6
2	G10	17,02	0,04	T,E	0,1	10,45	6,11	298,29	15,17	5,07	24,35	53,7	26	14,2	7,68	48,4	2,41	1,1
3	G11	15,7	T,E	T,E	0,18	10,88	8,85	394,06	15,04	5,85	26,62	81,85	T,E	0,34	7,66	61,1	3,13	0,5
4	G12	13,02	T,E	T,E	0,1	17,81	6,27	375,76	15,19	5,07	34,33	66,22	T,E	0,39	7,82	60,2	3,07	0,45
5	G13	56,22	T,E	T,E	0,11	17,42	6,57	386,74	7,87	0,78	27,61	104	1	0,54	7,67	70,1	3,3	0,56
6	G14	18,89	T,E	T,E	0,12	29,55	13,14	294,02	23,07	5,85	25,89	55,7	T,E	0,24	7,5	54,6	2,61	0,64
7	G15	19,95	T,E	T,E	0,14	5,82	3,48	303,78	4,27	3,315	18,75	71,99	T,E	0,34	7,62	48,1	2,53	0,63
8	G16	12,77	T,E	T,E	0,11	20,78	7,79	312,32	17,59	6,24	26,72	55,9	T,E	0,29	7,54	52,2	2,57	0,49
9	G17	33,08	T,E	T,E		28,16	19,72	514,84	12,29	5,07	28,81	137,4	3	0,01	7,22	87,3	4,83	0,71
10	G18	22,08	T,E	T,E	0,15	6,56	11,27	239,12	13,14	5,85	16,15	49,36	T,E	0,15	7,75	39,7	1,94	0,45
11	G19	40,82	T,E	T,E	0,12	13,84	18,34	374,54	17,7	6,045	23,57	86,45	1	0,4	7,48	63,7	3,17	0,53
12	G20	10,71	T,E	T,E	0,05	4,55	14,12	268,4	8,74	4,29	26,12	49,21	2	0,69	7,71	42,7	2,02	0,72
13	G22	6,24	T,E	T,E	0,17	6,17	10,93	241,56	12,9	4,875	12,81	50,64	3	0,81	7,65	49,1	2,95	0,53
14	G23	14,14	T,E	T,E	0,21	79,33	22,06	295,24	49,5	5,85	12,36	88,18	1	0,23	8,04	39,5	2	0,72
15	G24	9,6	T,E	T,E	0,16	8,84	3,83	183	13,86	5,265	12,33	32,16	1	0,14	7,77	41,2	2	0,7
16	N1	19,98		T,E	0,21	7,43	6,08	306,22	4,96	2,34	6,66	97,7	1	0,25	8,02	32	1,46	0,62
17	N2	10,64	T,E	0,02	0,16	45,44	36,17	228,14	29,09	6,045	14,51	64,17	1	0,39	7,21	50,2	2,61	T,E
18	N3	31,87	T,E	T,E	0,3	14,53	9,63	323,3	7,03	3,315	10,55	102,3	1	0,66	7,65	53	2,57	T,E
19	N4	22,19	T,E	T,E	0,3	26,28	22,38	417,24	16,1	5,85	13,31	130,1	T,E	0,26	7,26	55,8	3,15	T,E
20	N5	23,98	T,E	T,E	0,25	52,55	17,53	318,42	29,28	6,24	9,38	100,8	2	0,73	7,23	73,9	3,38	T,E
21	N6	28,44	T,E	T,E	0,02	282,1	64,52	561,81	108,7	93,015	21,32	185,2	1	0,3	7,27	65,3	3,06	T,E
22	N7	22,74	T,E	T,E	T,E	438,5	89,28	485,56	226,8	88,92	20,77	185,3	T,E	0,14	6,86	153,1	3,72	T,E
23	N8	84,12	T,E	T,E	0,36	52,38	24,75	330,62	26,23	6,435	23,7	108,9	1	0,63	7,08	212	5,46	0,84
24	N9	9,41	T,E	T,E	0,19	5,86	3,5	329,4	8,66	4,875	13,31	79,96	1	0,52	7,37	82,7	3,68	0,79
25	N10	12,32	T,E	T,E	0,15	4,8	2,53	290,36	4,34	4,29	8,52	79,86	T,E	0,35	7,45	49,5	2,65	0,48
26	N11	16,26	T,E	T,E	0,12	89,97	21,85	323,3	53,48	5,85	7,15	106,6	T,E	0,34	7,54	44,5	2,43	0,43
27	N12	9,03	T,E	T,E	0,14	5,89	2,49	362,34	4,63	3,315	8,25	109,3	T,E	0,13	7,29	81,3	3,05	0,49
28	N13	2,83	T,E	T,E	0,21	7,2	3	335,5	4,95	3,51	10,78	92,25	T,E	0,13	7,51	49,4	2,63	0,59
29	N14	14,4	T,E	T,E	0,23	11,03	7,38	307,44	7,6	3,12	13,39	85,19	T,E	0,2	6,94	57,6	2,97	0,5
30	N15	18,42	T,E	T,E	0,13	7,01	2,35	326,96	4,38	1,56	5,26	107,4	2	0,44	7,65	52	2,41	0,56
31	N16	7,82	T,E	0,17	0,19	6,47	3,41	331,84	10,4	5,07	14,87	81,49	2	0,46	7,6	53,3	2,41	0,72
32	N17	12,06	T,E	T,E	0,12	4,53	3,44	279,38	3,48	2,145	4,81	89,17	2	0,6	7,52	51,8	2,53	0,51
33	N18	14,78	T,E	T,E	0,11	4,2	3,14	274,5	3,22	2,34	5,02	88,68	T,E	0,16	7,21	46,3	2,39	0,44
34	N19	15,37	T,E	T,E	0,07	145,2	32,14	351,36	83,55	6,24	12,74	118,5	8	2,73	7,25	104,5	4,08	0,55
35	N20	14,64	T,E	T,E	0,11	5,03	3,67	280,6	3,77	1,365	5,03	88,91	1	0,19	7,38	46,1	2,3	0,41
36	N21	11,23	T,E	T,E	0,13	3,17	2,55	283,04	3,32	0,78	5,73	83,19	1	0,17	7,55	43,5	2,61	0,37
37	N22	15,5	T,E	T,E	0,15	5,36	4,85	329,4	4,26	2,145	6,6	100,5	T,E	0,27	7,59	52,1	2,67	0,48
38	N23	9,14	T,E	T,E	0,17	4,65	4,07	278,16	4,23	2,145	8,94	80,87	2	0,14	7,53	45	2,49	0,38
39	N24	12,35	T,E	T,E	0,42	19,42	17,55	303,78	14,41	6,045	16,55	76,37	1	0,28	7,69	54,4	2,45	0,48
40	N25	26,39	T,E	T,E	0,28	12,7	7,39	301,34	8,52	5,07	12,97	86,02	1	0,33	7,66	53,8	2,67	0,43

41	N26	15,24	T,E	T,E	0,15	5,01	4,82	187,88	3,57	2,925	4,04	60,49	T,E	0,31	7,67	33,5	2,03	0,34
42	N27	2,11	T,E	T,E	0,11	17,79	34,55	185,44	16,92	5,265	14,93	41,55	1	0,24	7,51	46,1	2,31	1,24
43	N28	8	T,E	T,E	0,62	30,35	62,06	302,56	36,39	5,85	27,67	63,48	1	0,1	7,46	68,8	3	0,62
44	N29	105,1	T,E	0,02	0,44	52,92	47,35	265,96	27,8	4,875	25,47	103,6	1	0,17	7,26	89,2	3,92	0,72
45	N30	41,27	T,E	T,E	0,31	28,9	13,28	320,86	13,62	5,46	14,13	103,3	1	0,87	7,3	67,2	3,36	0,8
46	N31	29,27	T,E	T,E	0,36	19,05	9,79	283,04	10,89	5,85	13,05	80,53	1	0,2	7,48	57,4	3	0,71
47	N32	91,18	T,E	T,E	T,E	305,6	74,65	652,7	118,8	88,53	67,92	146,8	1	0,35	7,42	185	6,8	0,53
48	N33	9,27	T,E	T,E	0,35	35,1	78,98	459,94	64,27	5,655	45,69	68,85	1	0,5	7,36	92,1	3,92	0,9
49	N34	26,77	T,E	T,E	0,66	42,52	65,71	302,56	34,95	5,85	30,11	73,35	1	0,19	7,3	75,6	3,3	1,1
50	N35	79,15	T,E	T,E	0,38	49,02	25,37	307,44	24,14	6,045	22,56	103,4	1	0,17	7,49	81	4	0,65
51	N38	9,21	T,E	T,E	0,13	5,02	3,29	326,96	3,19	1,365	6,9	95,4	1	0,36	7,41	52,4	2,81	0,6
52	K1	2,2	T,E	T,E	0,14	18,53	37,15	219,6	17,67	6,045	15,93	49,6	1	0,37	7,66	41,5	2,11	T,E
53	K2	9,83	T,E	T,E	0,23	3,038	33,74	325,74	21,83	5,265	22,32	60,44	32	2,37	7,71	52,6	2,64	T,E
54	K3	32,04	T,E	T,E	0,14	27,24	16,39	185,44	22,16	6,045	4,23	62,61	1	0,25	7,3	42,6	2,16	T,E
55	K4	31,98	T,E	T,E	0,1	27,08	16,3	185,44	22,12	6,24	4,19	60,63	1	0,33	7,16	41,5	2,1	T,E
56	K5	45,28	T,E	T,E	0,3	33,27	19,83	213,5	23,23	6,045	10,77	69,27	12	1,5	7,13	51,3	2,52	T,E
57	K6	45,89	T,E	T,E	0,28	33,4	19,49	208,62	23,25	4,485	10,69	69,47	11	0,92	7,08	51,5	2,5	T,E
58	K7	32,96	T,E	T,E	0,75	28,12	16,36	307,44	16,63	5,265	19,4	85,04	1	0,42	7,22	59,24	2,92	T,E
59	K8	94,56	T,E	T,E	0,21	78,94	102,3	356,24	72,44	6,045	55,37	74,26	T,E	0,1	7,32	104	4,8	T,E
60	K9	73,46	T,E	T,E	0,13	63,25	30,42	295,24	36,59	3,315	8,97	120,9	T,E	0,1	7,34	79,1	3,84	T,E
61	K10	33,28	T,E	T,E	0,17	195,9	44,39	480,68	62,91	53,04	36,4	121,1	T,E	0,3	7,25	115,1	4,8	T,E
62	K11	71,83	T,E	T,E	0,11	62,3	29,72	311,1	36	5,46	8,85	120,4	T,E	0,13	7,34	77,8	3,44	T,E
63	K12	32,87	T,E	T,E	0,78	28,22	16,4	314,76	16,72	6,045	19,39	84,68	2	0,62	7,26	59,3	2,96	T,E
64	K13	61,25	T,E	T,E	0,1	273,9	44,92	347,7	96,29	72,15	42,59	144,3	2	0,71	7,16	147,1	5,4	T,E
65	K15	55,08	T,E	T,E	0,17	58,58	34,89	368,44	42,32	6,045	10,12	129	6	1,6	6,95	82,8	3,56	T,E
66	K16	30,35	T,E	T,E	0,09	25,99	15,4	164,7	21,56	6,045	3,9	56,95	1	0,51	7,33	39,6	1,6	T,E
67	K17	70,3	T,E	T,E	0,11	62,06	35,65	49,41	42,41	19,89	8,37	3,3	1	0,19	7,23	81,7	3,3	T,E
68	K18	26,87	T,E	T,E	0,15	7,39	4,63	428,22	4,09	1,755	87,72	4,16	1	0,33	7,41	43,8	2,2	T,E
69	K19	29,06	T,E	T,E	0,15	11,63	7,01	233,02	7,9	3,315	4,08	81,86	2	0,47	7,44	43	2,2	T,E
70	K20	25,45	T,E	T,E	0,22	5,67	5	196,42	3,51	1,365	5,11	66,34	T,E	0,17	7,64	35,1	1,84	T,E
71	K21	54,29	T,E	T,E	0,15	71,63	26,11	279,38	22,27	5,07	11,77	119,1	2	0,42	7,92	73,1	3,5	T,E
72	A1	42,67	T,E	T,E	0,07	10,98	7,87	274,5	5,24	2,535	9,7	91,58	1	0,17	7,55	53,2	2,76	0,77
73	A2	21,36	T,E	T,E	0,13	5,15	2,95	300,12	3,43	1,56	12,15	87,8	1	0,14	7,34	52,5	2,5	0,7
74	A3	21,75	T,E	T,E	0,05	3,07	3,7	306,22	1,69	0,975	3,39	100,9	T,E	0,1	7,46	50,9	3	0,54
75	A4	162,2	T,E	T,E	0,06	34,92	49,61	207,4	10,11	5,46	17,2	121,9	2	0,34	7,51	81,5	4,04	0,89
76	A5	13,97	T,E	T,E	0,13	5,5	4,2	323,3	3,75	1,365	13,39	90,07	T,E	0,16	7,41	54	2,94	0,84
77	A6	44,52	T,E	T,E	0,09	10,17	14,03	280,6	7,41	3,705	25,81	68,27	T,E	0,16	7,53	55,6	3,06	0,79
78	A7	18,71	T,E	T,E	0,09	4,92	4,31	326,96	3,38	1,365	9,99	98,78	T,E	0,08	7,49	55,2	3,22	0,76
79	A8	75,58	T,E	T,E	0,09	8,64	18,43	189,1	7,7	2,535	11,27	73,08	T,E	0,14	7,78	49,9	2,5	0,82
80	A9	37,47	T,E	T,E	0,13	10,75	6,15	326,96	4,32	1,95	25,54	79,95	T,E	0,13	7,49	59,8	3,1	0,68
81	A10	18,39	T,E	T,E	0,12	5,28	3,12	335,5	3,56	1,17	9,03	97,65	17	4,8	7,19	54,2	2,5	0,66
82	A11	32,52	T,E	T,E	0,11	9,46	6,3	281,82	4,24	1,365	8,21	90,51	1	0,18	7,81	51,8	2,5	0,69
83	A12	40,61	T,E	T,E	0,13	5,71	9,34	229,36	7,23	1,95	12,25	66	T,E	0,16	7,25	56,2	2,89	4,18
84	A13	40,61	T,E	T,E	0,13	5,71	9,34	226,92	7,23	2,145	12,25	66	T,E	0,16	7,25	56,2	2,89	1,18
85	A14	9,91	T,E	T,E	0,1	7,81	9,68	208,62	7,91	4,095	16,04	43,35	T,E	0,1	7,14	50,5	2,35	0,44
86	A15	12,97	T,E	T,E	0,11	5,69	4,43	253,76	6,21	1,56	14,5	63,23	T,E	0,26	7,86	35,8	1,86	0,96
87	A16	48,58	T,E	T,E	0,13	11,39	20,52	215,94	8,05	2,925	11,37	71,17	T,E	0,25	7,32	42,6	2,14	0,4
88	A17	27,55	T,E	T,E	0,22	5,46	4,15	261,08	6,33	3,12	16,94	65,87	T,E	0,1	7,28	51,5	2,32	0,44
89	A18	15,42	T,E	T,E	0,14	8,18	3,12	323,3	4,86	2,535	11,31	90,45	T,E	0,16	7,28	53,4	2,89	0,42
90	A19	13,27	T,E	T,E	0,13	5,44	3,84	309,88	4,88	0,975	14,44	83,33	T,E	0,1	7,42	51,5	2,53	0,44

91	A20	13,15	T,E	T,E	0,13	5,36	3,86	312,32	4,85	2,34	14,53	79,1	T,E	0,10	7,59	48,9	2,53	0,41
92	A21	28,13	T,E	T,E	0,14	7,2	2,24	323,3	4,03	1,755	9,96	98,53	T,E	0,14	7,55	57,1	2,91	0,41
93	A22	15,63	T,E	T,E	0,09	3,27	3,27	356,24	5,25	2,535	13,66	98,57	T,E	0,22	7,34	57,7	3,03	0,6
94	A23	16,04	T,E	T,E	0,1	7,24	8,82	273,28	7,71	2,925	18,04	64,73	T,E	0,16	7,55	45,5	2,34	0,47
95	A24	13,23	T,E	T,E	0,08	5,97	3,05	341,6	3,99	2,925	9,28	101,9		0,13	7,34	57,5	3,23	0,6
96	A25	11,21	T,E	T,E	0,08	3,5	1,87	86,62	2,73	0,78	7,99	13,83	1	0,32	7,55	57,4	2,89	0,42
97	A26	5,5	T,E	T,E	0,04	4,05	8,56	298,9	2,52	1,365	21,22	66,31	3	0,43	7,69	46	2,13	0,45
98	A27	253,2	T,E	T,E	0,02	54,34	51,33	263,52	13,14	6,045	38,09	138,2	1	0,19	7,56	105,4	4,15	0,69
99	A28	22,3	T,E	T,E	0,04	7,03	12,04	202,52	6,39	2,145	15,16	48,82	T,E	0,49	7,72	37,3	2,01	0,47
100	Y1	20,87	T,E	T,E	0,19	14,62	4,13	286,7	6,11	2,535	7,32	91,37	T,E	0,16	7,08	50,7	2,58	T,E
101	Y2	11,94	T,E	T,E	0,23	6	4,25	302,56	4,53	2,34	17,28	76,58	T,E	0,12	7,45	50,6	2,74	1
102	Y3	28,03	T,E	T,E	0,17	7,17	4,44	294,02	5,23	1,755	12,3	86,65	T,E	0,14	7,48	49,2	2,56	0,57
103	Y4	14,35	T,E	T,E	0,22	5,93	3,45	301,34	4,22	0,78	14,85	77,91	T,E	0,26	7,49	49	2,62	0,5
104	Y5	7,43	T,E	T,E	0,1	4,4	1,83	307,44	2,92	0,585	6,04	91,95	T,E	0,11	7,43	48,2	2,54	0,56
105	Y6	13,91	T,E	T,E	0,31	4,91	3,87	73,2	3,46	1,755	12,62	7,24	T,E	0,14	7,61	46,3	2,46	0,46
106	Y7	13,82	T,E	T,E	0,09	6,05	2,74	318,42	3,68	0,975	5,52	98,28	T,E	0,33	7,52	53,2	2,76	0,67
107	Y8	13,84	T,E	0,04	0,19	7,82	3,31	335,5	6,3	2,145	11,86	92,36	6	0,78	7,42	53,2	2,76	1,13
108	Y9	7,69	T,E	T,E	0,27	11,21	15,22	203,74	11,43	3,51	12,71	47,67	T,E	0,22	7,81	37,9	2,12	0,71
109	Y10	20,76	T,E	3,65	0,14	5,92	10,79	324,52	3,85	1,56	9,67	98,63	T,E	0,31	7,55	54,3	2,78	0,64
110	Y11	25,04	T,E	T,E	0,17	6,15	2,63	267,18	4,11	1,365	8,34	79,55	T,E	0,16	7,57	45,6	2,48	0,72
111	Y12	16,12	T,E	T,E	0,1	6	2,6	314,76	3,38	0,39	4,91	98,46	T,E	0,16	7,62	44,4	2,44	0,5
112	Y13	70,12	T,E	T,E	0,16	13,66	6,54	322,08	7,93	3,315	12,07	109,1	3	0,94	7,44	65,1	3,02	0,47
113	Y14	18,12	T,E	T,E	0,22	6,89	2,95	305	5,04	1,56	8,94	93,09	T,E	0,2	7,28	52	2,65	0,6
114	Y15	19,48	T,E	T,E	0,13	18,26	3,71	300,12	8,38	2,73	7,23	93,71	4	1,87	7,41	52,5	2,79	0,45
115	Y16	16,74	T,E	T,E	0,15	21,91	6,79	272,06	10,12	2,73	10,16	84,77	T,E	0,22	7,51	51,3	2,73	0,4
116	Y17	14,84	T,E	T,E	0,12	7,24	6,61	334,28	6,49	2,73	11,25	94,88	T,E	0,14	7,42	55,6	2,75	0,49
117	Y18	74,2	T,E	T,E	0,08	9,4	9,93	233,02	5,2	1,17	5,08	94,86	T,E	0,14	7,42	55,6	2,75	0,49
118	Y19	12,75	T,E	T,E	0,11	7,32	2,39	336,72	4,81	0,78	6,5	103,5	1	0,11	7,27	53,6	2,65	0,48
119	Y20	35,84	T,E	0,02	0,21	29,08	18,12	209,84	23,16	6,045	4,8	71,82						
120	Y21	17,98	T,E	T,E	0,22	5,82	3,7	305,61	4,02	0,975	17,6	73,34						

Yeraltı sularının kalitesi, suyun kullanım amaçlarına bağlı olarak farklı anlamlar taşır. Örneğin içme ve kullanma ve sulama amaçlı suyun kalite parametrelerinin değerleri farklıdır. WHO, US EPA, ISO gibi standart kuruluşları kullanımlarına bağlı olarak sular için değişik standartlar önermişlerdir. Çalışma bölgesinin 120 tane noktasından alınan yeraltı su numunelerinden tayin edilen türlere ait konsantrasyon değerleri ve fizikokimyasal kalite parametreleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Ortalama pH, 6,86-8,04 aralığında olup, hafif ve orta derece alkali olduğu tespit edilmiştir. Elektriksel iletkenlik 25 °C’de 320-1849 $\mu\text{S} / \text{cm}$ arasında değişmekte olup ortalama 603 $\mu\text{S} / \text{cm}$ ’dir. Büyük bir coğrafi alan üzerinde toplanan yeraltı sularının EC değerlerinde önemli farklar olduğu görülmektedir. Bu durum, jeolojik yapı, su-kaya etkileşimi, su kimyası, yağış ve buharlaşma gibi faktörlerin noktalar arasında farklılıkları göstermesine bağlanabilir. Suyun toplam sertliği, sularda ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) formlarında bulunan Ca^{2+}

ve Mg^{2+} iyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu HCO_3^- suda geçici sertliğe neden olmaktadır. Suyun kaynatılması ile kalıcı sertlik belli oranlarda giderilir. Yeraltı su örneklerinin çoğunda renk tespit edilemedi. Bulanıklık değeri 0.01-14.2 NTU arasında değişmekte olup ortalama 0.56 NTU olarak tayin edilmiştir. Tüm yeraltı su numunelerdeki toplam organik karbon (TOC) konsantrasyonu, ISO TSE (2005) tarafından belirlenen maksimum sınırın (3.5 mg/L) altındadır. TOC konsantrasyonları % 77' sinde 0.34-4.18 mg/L (ortalama 0.61 mg/L) konsantrasyon aralığında analiz edilmiştir. Numunelerin % 23'ünde yöntemin gözlenebilirlik sınırı olan göre 0.005 mg/L değerinden düşük olduğu tespit edildi.

Yeraltı sularında eser element (ağır metal) konsantrasyonları

120 tane yer altı su numunesinden ICP-OES ile Al, Fe, Mn, Ni, Cu, Pb, Cd ve Cr metalleri analiz edildi. Analiz sonuçları Tablo 4.3'te verilmiştir. Örneklerin büyük çoğunluğundaki Al, Ni, Cu, Pb, Cd ve Cr konsantrasyonları ICP-OES'nin bu elementler için tayin sınırı değerleri olan 0.0025-0.005 mg/L aralığının altındadır. Yeraltı su örneklerinin 15-20%'inde Fe: 0.007-0.190 μ g/L ve Mn: 0.07-0.150 mg/L konsantrasyon aralıklarında tayin edilmiştir. Neredeyse bütün yeraltı su örneklerindeki eser element (ağır metal) konsantrasyonları standart kuruluşların içme ve kulanma amaçlı belirlediği 'izinverilebilen azami konsantrasyon değerleri'nin (MAC) altındadır. Çalışma bölgesi jeolojik yapısı kalsit olup, toprakları bazik ve yüksek oranlarda kireç içerir (11-67% $CaCO_3$) (Avcı ve Yaman, 2014). Yeraltı su örneklerinin pH değerleri 6.9-8.0 aralığında olup, bir dereceye kadar bazik kabul edilebilirler. Bütün bu faktörlerden dolayı yeraltı su örneklerindeki eser element konsantrasyonlarının düşük olması beklenebilen bir durumdur. Bu orta derecede bazik ve kireçli jeolojik ortamda Al, Ni, Cu, Pb, Cd ve Cr metal iyonlarının hidrosit, karbonat ve oksitleri gibi formlarda çökmüş olabilirler.

Tablo 4.3. Gaziantep ilinin ilçe ve değişik köylerinde içme ve kullanma amaçlı kullanılan yeraltı (kuyu-artezyen) su örneklerinde ICP-OES ile tayin edilen eser element konsantrasyonları ve bu tür sular için kalite standartlarının belirlediği sınır konsantrasyon değerleri (mg/L, ppm)

Örnek No	Örneğin alındığı yer	Al	Fe	Mn	Ni	Cu	Pb	Cd	Cr
	ISO-TSE	0,2	0,2	0,05	0,02	2	0,01	0,005	0,05
1	N1	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	0,001	T,E

2	N2	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	0,001	T,E
3	N3	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
4	N4	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
5	N5	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
6	N6	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
7	N7	T,E	T,E	T,E	0,004	T,E	T,E	T,E	T,E
8	N8	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
9	N9	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
10	N10	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
11	N11	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,014
12	N12	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,007
13	N13	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
14	N14	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,003
15	N15	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
16	N16	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
17	N17	T,E	T,E	0,032	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
18	N18	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
19	N19	T,E	0,001	T,E	0,002	T,E	T,E	T,E	T,E
20	N20	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
21	N21	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
22	N22	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,004
23	N23	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
24	N24	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
25	N25	T,E	0,002	T,E	0,002	T,E	T,E	T,E	T,E
26	N26	T,E	0,01	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
27	N27	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
28	N28	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
29	N29	T,E	0,016	T,E	0,004	T,E	T,E	T,E	T,E
30	N30	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
31	N31	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
32	N32	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
33	N33	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
34	N34	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
35	N35	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
36	N38	T,E	0,03	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
37	K1	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E
38	K2	T,E	0,035	0,044	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
39	K3	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
40	K4	T,E	0,007	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
41	K5	T,E	0,012	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
42	K6	T,E	0,011	0,001	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E
43	K7	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
44	K8	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
45	K9	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
46	K10	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
47	K11	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
48	K12	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
49	K13	T,E	0,034	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
50	K15	T,E	0,015	0,003	0,004	T,E	T,E	0,001	T,E
51	K16	T,E	0,008	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
52	K17	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
53	K18	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
54	K19	T,E	0,011	0,15	0,002	T,E	T,E	T,E	T,E
55	K20	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
56	K21	T,E	0,01	0,002	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
57	G9	T,E	0,009	0,001	0,002	T,E	T,E	T,E	0,002
58	G10	T,E	0,012	0,001	0,004	T,E	T,E	T,E	0,002
59	G11	T,E	0,026	0,032	0,007	T,E	T,E	T,E	T,E
60	G12	0,2	0,004	0,004	0,001	T,E	T,E	T,E	0,001
61	A1	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
62	A2	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
63	A3	T,E	T,E	0,014	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
64	A4	T,E	0,01	0,003	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
65	A5	T,E	T,E	0,012	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
66	A6	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,005
67	A7	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
68	A8	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
69	A9	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,003
70	A10	T,E	0,002	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
71	A11	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
72	A12	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
73	A13	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E
74	A14	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
75	A15	T,E	T,E	T,E	0,002	0,003	0,001	T,E	0,001

76	A16	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
77	A17	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
78	A18	T,E	T,E	0,047	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
79	A19	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
80	A20	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
81	A21	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
82	A22	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
83	A23	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
84	A24	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
85	A25	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
86	A26	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
87	A27	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
88	A28	T,E	0,005	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
89	Y1	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E
90	Y2	T,E	T,E	0,023	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
91	Y3	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
92	Y4	T,E	T,E	0,005	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
93	Y5	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
94	Y6	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
95	Y7	T,E	T,E	0,009	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
96	Y8	T,E	T,E	T,E	0,018	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
97	Y9	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
98	Y10	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
99	Y11	T,E	T,E	T,E	0,009	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
100	Y12	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
101	Y13	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
102	Y14	T,E	0,024	0,001	0,001	0,006	T,E	T,E	T,E	0,001
103	Y15	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
104	Y16	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
105	Y17	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
106	Y18	T,E	T,E	0,007	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
107	Y19	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
108	Y20	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
109	Y21	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E
110	G13	T,E	0,002	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
111	G14	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,006
112	G15	0,152	0,194	0,018	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
113	G16	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
114	G17	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,005
115	G18	T,E	T,E	T,E	0,007	T,E	T,E	T,E	T,E	0,003
116	G19	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	T,E	0,002
117	G20	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
118	G22	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
119	G23	T,E	T,E	T,E	0,001	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001
120	G24	T,E	T,E	T,E	0,003	T,E	T,E	T,E	T,E	0,001

5. SONUÇLAR

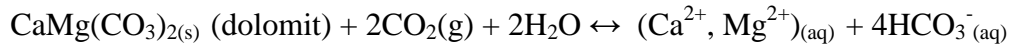
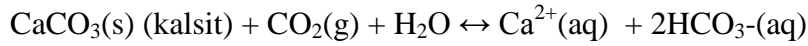
Çalışma alanından derlenen örneklerin tamamı Piper diyagramında incelendiğinde örneklerin genelinin Ca-HCO₃ karakterinde oldukları görülmektedir.

Gaziantep ili merkez ilçelerinden derlenen örneklerin Piper diyagramındaki dağılımları bu örneklerin Ca-HCO₃ karakterli ve sığ dolaşımli sular oldukları gözlenmektedir. Nizip ilçesinden derlenen örneklere yakından bakıldığında örneklerin genel olarak Ca-HCO₃'ca zengin sular oldukları anlaşılma ile birlikte örneklerin sistematik olarak Na-Mg ve Cl bakımından zenginleştikleri görülmektedir. Araban ilçesi ve dolayında derlenen örneklerin Piper diyagramındaki dağılımındaki dağılımı örneklerin tamamının Ca-HCO₃ karakterinde olduklarını göstermekte ise de yer yer Mg bakımından Zayıf zenginleşmeler izlenmektedir. Yavuzeli bölgesi sularının Piper diyagramındaki dağılımı, suların genelinin Ca-HCO₃ karakterinde sular olduğunu göstermektedir. Bu durum Yavuzeli ilçe merkezinde yayılım gösteren bazaltik kayalardan ziyade ilçenin yakın dolayında yayılım gösteren kireçtaşlarının suyun kimyasal karakterinde daha etkin olduğunu göstermektedir. Buna göre Yavuzeli bölgesinde öncelikli akifer, Oligo-Miyosen yaşlı kalkerden oluşmaktadır.

Tablo 4.1'de belirtilen yer altı su örneklerinin toplam iyon konsantrasyonları arasında önemli farklar olup 3.2-46.7 meq/L gibi çok geniş bir aralıktadır. Toplam (Ca²⁺+Mg²⁺) konsantrasyonu toplam katyon konsantrasyonunun (TZ⁺) % 20-97 (ort.% 85)'ni, HCO₃⁻ konsantrasyonu ise toplam anyon konsantrasyonunun %34-95 (ort.78)'ni oluşturur. Ortalama konsantrasyonları bakımından katyonlar; Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺ ve anyonlar; HCO₃⁻ > Cl⁻ > NO₃⁻ > SO₄²⁻ sırasına göre dizilir.

Çalışma bölgesinin genel jeolojik yapısında kalsit (CaCO₃) ve dolomit (CaMg(CO₃)₂) gibi karbonat mineralleri yaygındır. Karbonatlar çoğu tortul kayalar ve bazı metamorfik kayalarda yaygın olarak bulunur.

Bu nedenle karbonat kimyası çoğu yer altı sularının evrimi ile oldukça ilgilidir. Genel olarak karbonat reaksiyonları ile kontrol edilen yer altı suları kısmen yüksek konsantrasyonlarda kalsiyum ve bikarbonat içerir. Kalsit çözünmesinin etkin olduğu yerlerde reaksiyona göre $[Ca^{2+}]/[HCO_3^-]$ ekivalan molar oranlarının (meq/L) 1'e yakın olması gerekir. Kalsit ve dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) çözünmelerinin birlikte önemli olduğu yerlerde ise reaksiyona göre $[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$ ekivalent molar oranlarının 1 ya da 1'e yakın olması beklenir.



Hidrokimyasal fasiyesi bakımından karışık tipte olan bazı yer altı su örnekleri (*N29, K13, A4 ve A27*) hesaplamaya katılmadığında $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/HCO_3^-$ ekivalent molar oranları 0.9-1.5 aralığında olup yüksek oranda bir doğrusal ilişki vardır ($r^2=0.88$) (Şekil 4.15a). $(Ca^{2+}+Mg^{2+})/HCO_3^-$ stokiyometrik ilişkisine göre, örneklerin % 86'sında değişik konsantrasyonlarda aralığında toplam alkali metal iyonu ($Ca^{2+}+Mg^{2+}; M^{2+}$) geride kalmaktadır. Yine hidrokimyasal faciesi karışık olan bazı örneklerin (*N33, K18 ve A4*) analiz sonuçları hesaplamalara dahil edilmediğinde Ca^{2+}/HCO_3^- molar ekivalan oranları 0.5-1.3 aralığında olup, önemli bir doğrusal ilişki vardır ($r^2=0.65$) (Şekil 4.15b). Ca^{2+}/Mg^{2+} molar derişim oranı örneklerin % 76'sında 2'den büyük, Mg^{2+}/Ca^{2+} oranı sadece örneklerin % 5'inde 1'den büyük olması, kalsit çözünmelerinin yüksek seviyelerde olduğu göstermektedir.

Stokiyometrik hesaplamalara göre birkaç örnekte düşük seviyeleri hariç geriye önemli konsantrasyonlarda HCO_3^- iyonu, $M(HCO_3)_2$ yapısı dışında geriye kalmamaktadır. Yani HCO_3^- iyonunun neredeyse tamamı $(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ ile $M(HCO_3)_2$ formundadır.

Na^+/Cl^- , $(Na^++K^+)/Cl^-$, Na^+/SO_4^{2-} iyon derişimleri ve EC-(C+A) arasındaki regresyon katsayıları (R^2) sırasıyla, 0,90, 0,97, 0,61 ve 0,96'dir.(Şekil 4.14a-d). Ancak Na^+ ile NO_3^- konsantrasyonları arasında her hangi bir doğrusal ilişki tespit edilemedi ($R^2= 0,00$). Bu yüksek doğrusal ilişkilerin nedeni iyonların kimyasal özelliklerine ilaveten yörenin jeokimyasal özelliklerinden kaynaklanabilir.

Toplam katyon derişimi içinde %6-94 gibi geniş bir aralıkta bulunan Mg^{2+} iyonunun bazı örnekleme noktalarındaki (*K18*, *Y6* ve *G9*) kaynağı kalsit ve/veya dolomit ile birlikte Yavuzeli Bazaltlarının yapısında bulunan amfibol, piroksen gibi Mg silikatların çözünmeleri olabilir.

Çalışma bölgesinin her bir noktasında farklı seviyelerde olmak üzere bikarbonattan geriye kalan toplam toprak alkali metal iyonları (M^{2+}) katyonlarının yüksek oranlarda nitrat formlarında ($M(NO_3)_2$) olabilir. Ayrıca Cl^- ve SO_4^{2-} iyonları yüksek oranda $NaCl/KCl$ ve Na_2SO_4 formlarında olup, bu formlarının dışında kalabilen anyon derişimlerinin ihmal edilebileceği stokiometrik olarak hesaplandı.

Bu yorum ve sonuçlara göre, yer altı (kuyu) sularındaki çözünmelerinin büyük bir bölümünün kalsit ($CaCO_3$) mineralinden kaynaklandığı belirtilebilir. Ayrıca bu çözünmeler bazı yer altı su örneklerinde dolomit ($CaMg(CO_3)_2$) mineralinden de kaynaklanmaktadır.

Yüksek Nitrat Konsantrasyonlarının Kaynakları ve Nitratın Yeraltı Sularına Taşınması

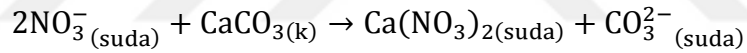
Gaziantep'in değişik noktalarından toplanan yer altı su örneklerindeki nitrat konsantrasyonu 2.1-253.2 mg/L gibi çok geniş bir aralıkta olup (Tablo 4.2), ortalama konsantrasyon±standart sapma' değeri; 30.0 ± 32.1 mg/L'dir. NO_3^- iyonu konsantrasyonu bölgeden bölgeye önemli farklılıklar göstermektedir. Ancak örneklerin alındığı noktalar ve bölgeler arasında ortalama nitrat konsantrasyonlarında belirgin farklılıklar görünse de, % 95 güven aralığında ($p<0.5$) dört bölge arasında farklar yoktur. Nitrat analizi yapılan yer altı su örneklerinin % 18'i 50 mg/L olan üst sınır konsantrasyon değerini aşmıştır. Bunların çoğu Oğuzeli-Kargamış, Araban ve Nizip bölgesine ait su örnekleridir (Tablo 4.2).

Azot türevleri olan NO_2^- ve NH_4^+ doğal jeolojik ortamlarda çok küçük miktarlarda bulunurlar. NO_2^- iyonu oksijenin bulunduğu ortamda kararsız olduğundan, NO_3^- - NH_3 arasında geçiş formu olarak bulunur. Nitrit sularda kararlı olmayıp, yükseltgenerek nitrat haline dönüşür. Sularda nitritin kaynağı organik maddeler, azotlu gübreler ve bazı minerallerdir. Yerleşim bölgelerinde bulunan sularda nitrit organik maddelerden kaynaklanmaktadır. Doğal sularda konsantrasyonu düşük olmasına

rağmen organik kirlenmenin olduğu, oksijen içeriğinin düşük olduğu, çevresel ve endüstriyel atık su deşarjının olduğu yerlerde yüksek seviyelere ulaşabilir. Yeraltı suyunda NO_2^- bulunuşu, hayvansal ve evsel atıklarla yeni ve taze kirlenme belirtisidir. Nitritin yüksek miktarda olması suların kirlenmiş olduğunu gösterir. İçme sularında nitrit seviyeleri genellikle $0,1 \text{ mg/L}$ 'nin altındadır (WHO, 2011).

$(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})/\text{HCO}_3^-$ stokiometrik ilişkisine göre (Şekil 15a), örneklerin % 86'ında değişik konsantrasyonlarda aralığında toplam alkali metal iyonu ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) yani M^{2+} geride kalmaktadır. Geride kalan M^{2+} iyon derişimi ile NO_3^- iyon derişimleri arasında yüksek bir doğrusal ilişki (N7, N19 ve K13 hariç bırakıldığında) tespit edildi ($r^2=0.90$) (Şekil 16). Bundan dolayı HCO_3^- ile olan etkileşimlerinden geriye kalan $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ iyonları (M^{2+}) sayesinde NO_3^- iyonu yeraltı sularına $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ formlarında taşınmakta olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışma alanı toprağındaki NO_3^- formunda olan azot, çalışma alanının jeolojik yapısında etkin mineral olan kalsit (CaCO_3) ile aşağıdaki gibi reaksiyon verdiği sonucu çıkarılabilir.



Amonyum iyonu (NH_4^+) toprak ortamında negatif yüklü türler tarafından tutulur. Böylece NH_4^+ iyonu toprak matrisi tarafından hızlı bir biçimde absorplanır. Oysa NO_3^- iyonu toprağına bağlanmaz böyle davranmaz. NO_3^- iyonu toprakta su ile birlikte yerin değişik katmanlarına serbest bir biçimde taşınır (Baird, 2001). Böylece toprakta kalsit mineralinde çözünen NO_3^- iyonu, yer altı sularına Ca^{2+} iyonu ile birlikte taşınır

HCO_3^- iyonu ile etkileşimden fazla kalan $[\text{M}^{+2}]$ ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) ile NO_3^- molar konsantrasyonları (meq/L) arasında güçlü bir doğrusal ilişkinin olması ($r^2>0.90$) bu durumu desteklemektedir. Çalışma bölgesinin toprakları yüksek CaCO_3 oranlarına sahip olup, bazik karakterlidir. Böyle bir toprak ortamında azot mineralizasyonu ve NH_4^+ ve diğer azotlu türlerin NO_3^- iyonuna nitrifikasyon ile dönüşmesi hızlı bir şekilde gerçekleşebilir.

Şekil 4.1'de jeolojik haritada gerek doğu-batı, gerekse güney-kuzey yönlerine doğru örnekleme noktaları ve bölgeler arasında nitrat konsantrasyonlarında belirgin

farklılıklar vardır. Her örnekleme noktası için farklı olmak üzere sudaki NO_3^- konsantrasyonu doğal süreçlerle farklı seviyelere ulaşabilir.

Yüksek nitrat seviyelerinin nedeni; zirai gübreler ve diğer antropojenik faktörlerden daha çok, yukarıda açıklanan doğal süreçler olduğu düşünülmektedir. Ancak, noktasal (lokal) anlamda zirai ilaçlar ve diğer antropojenik faktörler de değişik oranlarda yüksek nitrat konsantrasyonlarına kaynaklık edebilir. Yüksek nitrat konsantrasyonlarının kaynağı antropojenik faktörler olsaydı, en azından bazı su örneklerindeki NO_2^- ve/veya NH_4^+ iyonlarının iyon kromatografisi (IC) ile analiz edilen gözlemlenebilecek seviyelerde olması beklenebilirdi. Oysa bir iki tanesi için hariç bütün yer altı su örneklerinde bu iki iyon IC-iletkenlik detektörü yöntemi ile tespit edilememiştir ($<0,001$ mg/L). Doğal olarak oluşan nitrat, uzun sürelidir. NO_2^- ve NH_4^+ iyonları kararsız olduğu için bu uzun süre içinde nitrata dönüşürler. Keza, yüksek nitrat konsantrasyonları antropojenik kaynaklı olsaydı, nitrat ile toplam organik karbon konsantrasyonları arasında (en azından yüksek nitrat konsantrasyonlarının gözlemlendiği noktalar için) doğrusal bir ilişki beklenebilirdi. Oysa bu iki analit konsantrasyonları arasındaki regresyon katsayısı oldukça düşüktür ($r^2 = 0,02$). Yukarıda açıklanan bütün faktörler her bir örnekleme noktası için değişik oranlarda olmak üzere nitratin kaynakları olabilir.

Yukarıdaki açıklama ve reaksiyonlarda belirtildiği gibi, doğal kimyasal etkileşimler vasıtasıyla yer altı sularına NO_3^- iyonu Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları ile taşındığı tahmin edilmektedir. Bir kuyunun yeraltı suyundaki nitrat seviyeleri; akiferde bulunan azot kaynakları iklim, jeolojik yapı, toprak jeokimyası, yeraltı suyu jeokimyası, akiferin beslenme alanının yüzölçümü ve suyun akiferde kat ettiği yol da dahil olmak birçok faktöre bağlıdır (WHO, 2011; WHO, 2003).

Doğal süreçlerle yer altı sularında nitrat seviyeleri yüksek değerlere ulaşabilir. Organik kirlenmenin yoğun olduğu yerlerde yağışla birlikte nitrat seviyeleri önemli ölçüde artar. Yağmur sularının toprakları yıkaması sonucunda suda kolayca çözünen nitrat doğal su ortamına karışır. Ayrıca; sığ kuyuların dış bileşenler tarafından kirlenilebilmesi, hatalı kuyu inşası gibi faktörler de yeraltı sularında yüksek nitrat seviyelerine neden olabilir. Ayrıca sığ kuyuların nitrat ve diğer bileşenler tarafından

kirletilmesi genellikle hatalı kuyu inşasından da kaynaklanmaktadır. (Freeze ve Cherry, 2003; Yetiş, 2013).

Nitratin yeraltı suyunda yüksek olması doğal süreçlerle de gerçekleşebilmektedir. Yani nitratin gübreden değil topraktaki doğal organik azotun oksitlenmesi ve yıkanmasından da türemiş olabileceği ifade edilmektedir.

Yukarıda açıklanan bütün bilgi ve verilere dayanarak nitrat seviyeleri özellikler 40–50 mg/L den yukarı olan kuyu sularının içme amaçlı kullanılmamaları gerekir. Uzun vadede olası halk sağlığı risklerini en aza indirmek için EPA'nın içme amaçlı sular için önerdiği 10 mg/L NO_3^- seviyelerine sahip olmayan kuyuların içme amaçlı kullanılmayıp sulama ve diğer işler için kullanılmaları önerilebilir. Bunların yerine fiziki etütleri iyi yapılmış ve NO_3^- seviyeleri 10 mg/L'in altında (diğer faktörlerin de uygun olması durumunda) kuyuların tespiti orta ve uzun vadede halk sağlığı için önem taşımaktadır.

Çalışma bölgesinin yer altı su örneklerinin majör iyon konsantrasyonlarındaki büyük değişimler, suyun değişik kaynakları, kayaç-su etkileşimleri, iyon-değişim reaksiyonları ve diğer faktörlerden kaynaklanmaktadır. Örneklerin Ca^{2+} konsantrasyonu 3 mg/L'den 185 mg/L'e kadar değişmektedir. 'Ortalama Ca^{2+} konsantrasyonu±standart sapma' değeri; 184 ± 30 mg/L'dir. Özellikle, 31, 32, 47, 65, 68 ve 77 (Şekil 4.1) numaralı örnekleme noktalarının Ca^{2+} konsantrasyonları arasındaki büyük farklar dikkat çekicidir. Sadece 120 örnekten üç tanesinin Ca^{2+} konsantrasyonu WHO ve ISO standartlarını (50 mg/L) geçmektedir. Uygun doğal koşullarda suda $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ formlarında çözülmüş halde bulunan Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları, CaCO_3 ve MgCO_3 formlarında suda çözünmeyen formlarına dönüşebilirler. Çalışma alanındaki kuyulardan alınan yeraltı su örneklerindeki Na^+ konsantrasyonu 1.6-118.7 mg/L aralığında olup 'ortalama konsantrasyon±standart sapma' değeri; 16.1 ± 21.1 mg/L'dir. Örneklerin % 94'ünün Na^+ konsantrasyonu, WHO ve US EPA'nın içme amaçlı müsaade ettiği 50 mg/L değerinin altındadır. Aynı su örneklerindeki K^+ konsantrasyonu 0.5 ile 177.7 mg/L aralığında olup, 'ortalama konsantrasyon ±standart sapma' değeri; 12 ± 27.0 mg/L'dir (Tablo 4.2).

Bu çalışmada, yeraltı su örneklerinin HCO_3^- konsantrasyonu 40-623 mg/L gibi geniş bir aralıktadır. 'ortalama HCO_3^- konsantrasyon \pm standart sapma' değeri; 297 ± 83 mg/L'dir. Sadece 120 örnekten 63 tanesinin HCO_3^- konsantrasyonu WHO'nun içme amaçlı sular için olan standardını geçmektedir. Çalışma alanı yer altı su örneklerinde SO_4^{2-} konsantrasyonu 1-102 mg/L aralığında olup 'ortalama konsantrasyon \pm standart sapma' değeri; 16 ± 19 mg/L'dir. Bir örnek (K8) hariç, bütün örneklerin SO_4^{2-} konsantrasyonu 100 mg/L'in altındadır. Analizi yapılan yer altı sularının klorür konsantrasyonu 3 ile 438 mg/L arasında değişmekte ve 'ortalama konsantrasyon \pm standart sapma' değeri; 31 ± 63 mg/L'dir. Dört örnekte (N6, N7, N32, K13) içme suları için izin verilebilen üst konsantrasyon değeri olan 250 mg/L'lik seviyeyi aşmıştır. Florür konsantrasyonu 0.00 ile 0.78 mg/L değerleri arasında ve 'ortalama konsantrasyon \pm standart sapma' değeri; 0.17 ± 0.06 mg/L'dir (Tablo 4.2).

6. KAYNAKLAR

- Afşin M. 1997. Hydrochemical evolution and water quality along the groundwater flow path in the Sandıklı plain, Afyon, Turkey. *Environ Geol.* 31(3): 221-230.
- Agca N. 2014. Spatial variability of groundwater quality and its suitability for drinking and irrigation in the Amik Plain (South Turkey). *Environ Earth Sci.* 72: 4115-4130.
- Aksever F, Karaguzel R, Mutluturk M, 2015. Evaluation of groundwater quality and contamination in drinking water basins: a case study of the Senirkent-Uluborlu basin (Isparta-Turkey). *Environ Earth Sci.* 73: 1281-1293.
- Ankara Ticaret Borsası Raporları, (2009). Tarımda Sulama ve Suyun Kullanımı, https://www.ankaratb.org.tr/lib_upload/61_TARIMDA%20SULAMA%20VE%20SUYUN%20KULLANIMI_10_02_2009.pdf
- Apaydin A, 2011. Groundwater legislation in Turkey: problems of conception and application. *Water Int.* 36(3): 314-327.
- Avci H., Yaman M. 2014. Concentrations, accumulation and interactions of redoximorphic metal (Fe, Mn) between other elements in plants grown on wastewater-irrigated and control soils. *Water Air Soil Poll.* 225(4): 126-142.
- Baird C. 2001. *Environmental Chemistry*. W.H. Freeman and Company, USA.
- Barrett MH., Hiscock KM, Pedley, S, Lerner, DN, Tellam JH, French MJ. 1999. Marker species for identifying urban groundwater recharge sources: a review and case study In Nottingham, UK. *Water Res.* 33(14): 3083-3097.
- Berhe BA, Çelik M, Dokuz UE. 2015. Investigation of irrigation water quality of surface and groundwater in the Kütahya Plain, Turkey. *MTA J.* 150: 147-163.

- Bozdag A, Gocmez G. 2013. Evaluation of groundwater quality in the Cihanbeyli basin, Konya, Central Anatolia, Turkey. *Environ Earth Sci.* 69: 921-937.
- Brezonik PL, Arnold WA, 2011. *Water chemistry: an introduction to the chemistry of natural and engineered aquatic systems.* Oxford University Pres. New York.
- Buccianti A, Nisi B, Martín-Fernández JA, Palarea-Albaladejo, J. 2014. Methods to investigate the geochemistry of groundwaters with values for nitrogen compounds below the detection limit. *J Geochem. Explor.* 141: 78-88.
- Canter, L.W. 1996. Nitrates in Groundwater. CRC Lewis Publishers. New York.
- Chilton J. 1996. *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition*, Chapter 9, WHO by F & FN Spon.
- Cotton, F.A., Wilkinson, G. and Gaus, P.L., 1995. *Basic Inorganic Chemistry*, Third Edition, Wiley-Interscience.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, [https://www.csb.gov.tr/db/bolu/eduardosya/SU\(2\).pdf](https://www.csb.gov.tr/db/bolu/eduardosya/SU(2).pdf)
- Davraz A, Ozdemir A. 2014. Groundwater quality assessment and its suitability in C, elतिक, I plain (Burdur/Turkey). *Environ Earth Sci.* 72: 1167-1190.
- Demirel Z, KulegeK. 2005. Monitoring of spatial and temporal hydrochemical changes in groundwater under the contaminating effects of anthropogenic activities in Mersin Region, Turkey. *Environ. Monit. Assess.* 101: 129-145.
- Devlet Planlama Teşkilatı, 2005. Toprak ve Su Kaynaklarının Kullanımı ve Yönetimi, Özel İhtisas Raporu, Ankara.
- Devlet Su İşleri, (2009). “*Toprak Su Kaynakları*” <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari>

- Farid I, Zouari K, Rigane A, Beji R. 2015. Origin of the groundwater salinity and geochemical processes in detrital carbonate aquifers: Case of Chougafiya basin (Central Tunisia). *J Hydrol.* 530: 508-532.
- Feast NA, Hiscock KM, Dennis PF, Andrews JN. 1998. Nitrogen isotope hydrochemistry and denitrification within the Chalk aquifer system of north Norfolk, UK. *J Hydrol.* 211: 233-252.
- Freeze AR, Cherry JA. 2003. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 604 p, U.S.A.
- Güler C, Kurt MA, Alpaslan M, Akbulut C. 2012. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *J Hydrol.* 414-415: 435-451.
- Günel, M, Kösen A. 2015. Application of GIS for Predicting Quality of Underground Water for Drinking. *Acta. Phys. Pol. A*, 128(2-B): 107-109.
- Han D, Post VEA, Song X. 2015. Groundwater salinization processes and reversibility of sea water intrusion in coastal carbonate aquifers. *J Hydrol.* 531: 1067-1080.
- Hekimoğlu, B., & ALTINDEĞER, M. (2008). KÜRESEL ISINMA VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ.
- Helena B, Pardo R, Vega M, Barrado E, Fernandez JM, Fernandez L. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Res.* 34(3): 807-816.
- Hem JD. 1985. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Third Edition. U.S Geological Survey Water-Supply Paper 2254.

- Jeong CH. 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. *J Hyrol.* 253(1-4): 194-210.
- Jeoloji Mühendisleri Odası, 2012. Su ve Yaşam Raporu. http://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=8133&tipi=58&sube=0#.WgWMUdJI_Dc
- Kaçmaz H, NakomanE. 2009. Hydrochemical characteristics of shallow groundwater in aquifer containing uranyl phosphate minerals, in the Koprubası (Manisa) area, Turkey. *Environ. Earth Sci.* 59: 449-457.
- Kattan Z, Kadkoy N, Nasser S, Safadi M, Hamed A. 2010. Isotopes and geochemistry in a managed aquifer recharge scheme: a case study of fresh water injection at the Damascus University Campus, Syria. *Hydrol. Process.* 24: 1791–1805.
- Kim K, Rajmohan N, Kim HJ, Hwang GS, ChoMJ. 2004. Assessment of groundwater chemistry in a coastal region (Kunsan, Korea) having complex contaminant sources: a stoichiometric approach. *Environ. Geol.* 46: 763-774.
- Koh DC, Chang HW, Lee KS, Ko KS, Kim Y, Park WB. 2005. Hydrogeochemistry and environmental isotopes of ground water in Jeju volcanic island, Korea: implications for nitrate contamination. *Hydrol. Process.* 19: 2225–2245.
- Lin CY, Abdullah MH, Praveena SM, YahayaAHBt, Musta, B. 2012. Delineation of temporal variability and governing factors influencing the spatial variability of shallow groundwater chemistry in a tropical sedimentary island. *J Hydrol.* 432–433: 26-42.
- Liu Y, Yamanaka T. 2012. Tracing groundwater recharge sources in a mountain–plain transitional area using stable isotopes and hydrochemistry. *J Hydrol.* 464-465. 116-126.

- Lopez B, Baran B, Bourguine B. 2015. An innovative procedure to assess multi-scale temporal trends in groundwater quality: Example of the nitrate in the Seine–Normandy basin, France. *J Hydrol.*522: 1-10.
- Milliyet (2015). <http://www.milliyet.com.tr/gaski-gaziantep-in-50-yillik-su-sorunu-gaziantep-yerelhaber-769389/>
- Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U. 2013. Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.
- National Research Council. 1977. *Drinking water and health*. Washington, DC, National Academy of Sciences.
- Obeidat MM, AwawdehM, Al-Rub FA. 2013. Multivariate statistical analysis and environmental isotopes of Amman/Wadi Sir (B2/A7) groundwater, Yarmouk River Basin, Jordan. *Hydrol. Process.* 27: 2449–2461.
- Ochqun, M. H. (2015). *Türkiye’de su yönetiminin kurumsal yapısına ilişkin tespitler- öneriler* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Owen DDR, Raiber M, Cox ME. 2015. Relationships between major ions in coal seam gas groundwaters: Examples from the Surat and Clarence-Moreton basins. *Int. J Coal Geol.* 137: 77-91.
- Özbilen, M. V. (2005). Su Sektöründeki Gelişmeler ve Bunun Karşısında Kent ve Bölge Plancılarının Duruşu. *Planlama*, 2, 53-59.
- Özler HM, Aydın A. 2008. Hydrochemical and microbiological quality of groundwater in West Thrace Region of Turkey. *Environ Geol.* 54: 355-363.
- Özler HM. 2003. Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey. *Environ Geol.* 43. 759-775.

- Plummer LN, Bexfield LM, Anderholm SK. 2003. *How ground-water chemistry helps us understand the aquifer*, U.S. Geological Survey.
- Plummer LN, Wigley TML, Parkhurst DL. 1978. The kinetics of calcite dissolution in CO₂-water systems at 5 to 60 °C and 0.0 to 1.0 atm CO₂. *Amer. J Sci.* 278: 179-216.
- Proses-TİM, <http://www.proses-tim.com/medya/su-kimyasi.pdf>
- Radikal, (2015). “Dünyanın su zengini ülkeleri hangileri?” <http://www.radikal.com.tr/gusto/dunyanin-su-zengini-ulkeleri-hangileri-1318958/>
- Rivett MO, Buss SR, Morgan P, Smith JWN, Bemment CD. 2008. Nitrate attenuation in groundwater: A review of biogeochemical controlling processes. *Water Res.* 42: 4215-4232.
- Robins NS. 2002. Groundwater quality in Scotland: major ion chemistry of the key groundwater bodies. *Sci. Total Environ.* 294: 41-56.
- Seckin G, Yilmaz T, Sari B, Ersu CB. 2010. Groundwater hydrochemistry at the Mediterranean coastal plains -The case of Silifke, Turkey. *Desalination*, 253: 164-169.
- Stigter TY, Van Ooijen SPJ, Post VEA, Appelo CAJ, Carvalho Dill AMM. 1998. A hydrogeological and hydrochemical explanation of the groundwater composition under irrigated land in a Mediterranean environment, Algarve, Portugal. *J Hydrol.* 208: 262-279.
- Stoewer MM, Knöller K, Stumpp C. 2015. Tracing freshwater nitrate sources in pre-alpine groundwater catchments using environmental tracers. *J Hydrol.* 524: 753-767.

- Şimşek C, Gemici U, Filiz S. 2008. An assessment of surficial aquifer vulnerability and groundwater pollution from a hazardous landfill site, Torbali/Turkey. *Geosci. J.*12(1): 69-82.
- Taulis M, Milke M. 2013. Chemical variability of groundwater samples collected from a coal seam gas exploration well, Maramarua, New Zealand. *Water Res.* 47: 1021-1034.
- Terlemez HÇI, Şentürk K, Ateş Ş, Sümengen M, Oral A. 1992. *Geology of Gaziantep vicinity and the region between Pazarcık-Sakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli*. MTA Report no. 9526, Ankara (unpublished).
- US EPA. 1999. *Health effects from exposure to high levels of sulfate in drinking water study*. Washington, DC, US Environmental Protection Agency, Office of Water (EPA 815-R-99-001).
- U.S. Geological Survey. 2012. *The potential effects of sodium bicarbonate, a major constituent of produced waters from coalbed Natural Gas Production, on aquatic life*. Scientific Investigations Report 2012–5008.
- Varol S, Davraz A. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain(Burdur/Turkey). *Environ Earth Sci.* 73: 1725-1744.
- Wen X, Diao M, Wang D, Gao M. 2012. Hydrochemical characteristics and salinization processes of groundwater in the shallow aquifer of Eastern Laizhou Bay, China. *Hydrol. Process.* 26: 2322–2332.
- Wetzel RG., 1983. *Limnology*, Saunders College Publishing, Philadelphia.
- World Health Organization, 2011. *Nitrate and Nitrite in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*.

- World Health Organization, 2006. *Hardness in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality.*
- World Health Organization, 2004. *WHO guidelines for drinking water quality* (3rd edition). Geneva, Switzerland.
- World Health Organization, 2003. *Chloride in Drinking-water. Background document for development WHO Guidelines for Drinking-water Quality.*
- Yesilnacar MI, Gulluoglu MS. 2008. Hydrochemical characteristics and the effects of irrigation on groundwater quality in Harran Plain, GAP Project, Turkey. *Environ. Geol.* 54: 183-196.
- Yidana SM, Banoeng-Yakubo B, Akabzaa T, Asiedu D. 2011. Characterization of the groundwater flow regime and hydrochemistry of groundwater from the Buem formation, Eastern Ghana. *Hydrol. Process.* 25: 2288–2301.
- Zhang Q, Sun J, Liu J, Huang G, Lu C, Zhang Y. 2015. Driving mechanism and sources of groundwater nitrate contamination in the rapidly urbanized region of south China. *J Contam. Hydrol.* 182: 221-230.