

KIZILIRMAK DELTASI (SAMSUN) KIYI AKİFERİNİN HİDROKİMYA VE İZOTOP HİDROJEOLJİSİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ

Arzu FIRAT ERSOY 

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü 61080 Trabzon
firat@ktu.edu.tr

Hava YILDIZ ÖZGÜL 

Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü 55070 Samsun
havayildiz@dsi.gov.tr

Nazlı AYYILDIZ TURAN 

Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü 55070 Samsun
nazaytu@dsi.gov.tr

(Makalenin geliş tarihi: 03.08.2022, Makalenin kabul tarihi: 27.12.2022)

ÖZ

Ülkemizde kıyı akiferlerinde deniz suyunun yeraltısuyuna karışması gittikçe önem kazanan bir sorun haline gelmektedir. Bu çalışmada Bafra Havzası, Kızılırmak Deltası kıyı akiferinde yeraltısuyunun hidrokimyasal ve izotopik özellikleri araştırılmış, deniz suyunun yeraltısuyuna olan etkileri ortaya konulmuştur. Bu amaçla kıyı akiferinde yeraltısuyundan Haziran-2016, Ekim-2016, Haziran-2017 ve Ekim-2017 dönemlerinde 48'er adet yeraltısuyu örnekleme yapılmış ve alınan örnekler üzerinde majör anyon ve katyon, iz element ve izotop analizleri yapılmıştır. Hidrokimyasal analiz sonuçlarına göre yeraltısuyunun Elektriksel İletkenlik (EC) değerinin tüm örnekleme dönemlerinde 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} iyon içeriklerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve TS-266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2006) standartlarına göre oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Yeraltısuyu örnekleri üzerinde yapılan izotop analiz sonuçlarına göre, Dünya Meteorik Su Doğrusuna yakın konumda oldukları, düşük kotlara düşen yağışlarla beslendikleri ve deniz suyu girişiminin etkisinde olduğu görülmüştür. Fakat bu girişimin Bafra Ovası Sulaması Projesi Sulama sisteminin devreye girmesi ile azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrokimya, İzotop Hidrojeolojisi, Kızılırmak Deltası, Samsun

INVESTIGATION OF GROUNDWATER IN KIZILIRMAK DELTA (SAMSUN) IN TERMS OF HYDROCHEMICAL and ISOTOP HYDROGEOLOGY

ABSTRACT

In our country, the intrusion of sea water to groundwater in coastal aquifers is becoming an increasingly important problem. In this study, the hydrochemical and isotopic properties of groundwater in the coastal aquifer of Bafra Basin, Kızılırmak Delta were investigated, and the effects of seawater on groundwater were revealed. For this purpose, 48 groundwater samplings were made from the coastal aquifer in June-2016, October-2016, June-2017 and October-2017 periods, and major anion and cation, trace element and isotope analyzes were performed on the samples taken. According to the results of hydrochemical analysis, the Electrical Conductivity (EC) value of the groundwater was found to be higher than 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in all sampling periods. In addition, Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} ion contents were determined to be quite high according to the standards of the World Health Organization (WHO, 2011) and TS-266 Regulation on Water Intended for Human Consumption (2006). According to the isotope analysis results performed on the groundwater samples, it was observed that they were close to the Global Meteoric Water Line, were recharge by precipitation falling at low elevations, and were under the influence of seawater

intrusion. However, it has been determined that this initiative has decreased with the introduction of the irrigation system of the Bafra Plain Irrigation Project.

Keywords: Hydrochemistry, Isotope Hydrology, Kızılırmak Delta, Samsun

1 GİRİŞ

Dünyadaki toplam su hacminin yaklaşık olarak %96'sını tuzlu su oluşturmaktadır. Tatlı su kaynaklarının ise %68'i buzulların içinde bulunmaktadır. Tatlı su miktarının %30'unu yeraltı suyu oluşturmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde kullanılabilir su kaynaklarının oldukça az miktarda olduğu söylenebilir. Özellikle kıyı akiferlerinde fazla miktarda yeraltı suyu çekimi yapıldığında, yeraltı suyu seviyeleri düşmekte ve deniz suyu iç bölgelere doğru hareket etmektedir. Bu nedenle kıyı bölgelerindeki yeraltı suyu özelliklerinin ve su seviyelerinin düzenli olarak ölçülmesi ve takip edilmesi gerekmektedir. Deniz suyu tarafından tuzlanmış olan yeraltı sularının sulamada kullanılması durumunda da bu sular ile sulanan tarım arazilerinde bitkilerde verim azalması ve topraklarda tuzluluk sorunları ile karşılaşmaktadır [7].

Bu çalışmada ülkemizin en önemli kıyı akiferlerinden birisi olan Kızılırmak Deltası kıyı akiferinin hidrokimyasal ve izotop içerikleri ile özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu makale Devlet Su İşleri (DSİ) 7. Bölge Müdürlüğü tarafından yürütülen "Kızılırmak Deltası Kıyı Bölgesi Yeraltı Sularında Kalite ve Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi" başlıklı AR-GE Projesi'nin sonuçları kullanılarak hazırlanmıştır.

Kızılırmak Deltası Türkiye'nin kuzeyinde Orta Karadeniz Bölgesinde 41-10' - 41-45' Kuzey enlemleri ve 35-30' - 36-15' Doğu boylamları arasında Kızılırmak ile yan derelerin oluşturduğu bölgede yer almaktadır. Bafra ovasının yüz ölçümü 80 000 ha'dır. Doğu-batı yönünde en uzun yeri 60 km, kuzey-güney yönünde ise 32 km'dir. Çalışma alanının güneyi Orta Karadeniz bölgesinin dağ sıralarını oluşturan Canik sıra dağlarının uzantıları ile sınırlanmıştır (Şekil 1). Çalışma alanındaki ana akarsu Kızılırmak Nehridir. Nehir, İç Anadolu'nun en doğusundaki Sivas ili İmranlı ilçesinde Kızıldağ'ın güney yamaçlarından doğar ve Bafra İlçesinden Karadeniz'e boşalır [4].

2 MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Kızılırmak Deltası kıyı akiferinde yeraltı suyunun kalite, kirlilik ve izotop içeriklerinin belirlenmesi amacıyla 2016 ve 2017

yıllarında 48 adet su kuyusunda yağışlı ve kurak dönemlerde olmak üzere toplam 4 dönem yeraltı suyu örnekleme yapılmıştır. Su örnekleri TS EN ISO 5667 Su Kalitesi Numune Alma Standardına uygun olarak alınmış, korunmuş ve hidrokimyasal analizleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 7. (Samsun) Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nde ve izotop analizleri DSİ TARK Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı Şube Müdürlüğü'nde analizleri yapılmıştır. Her bir su örneği için 1 L'lik polietilen (saf su ile yıkanmış) şişeler kullanılmıştır. Alınan su örnekleri etiketlenerek ilk 6 saat içerisinde analiz için DSİ 7. (Samsun) Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'ne getirilmiştir. Majör anyon-kasyon analizleri iyon kromatografisi cihazı ve iz element analizleri ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. DSİ Laboratuvarları TÜRKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından AB-0010-T ile akredite edilmiştir. Analizlerin iyon denge hatası % -5,79 ile 4,82 arasında kalmaktadır.

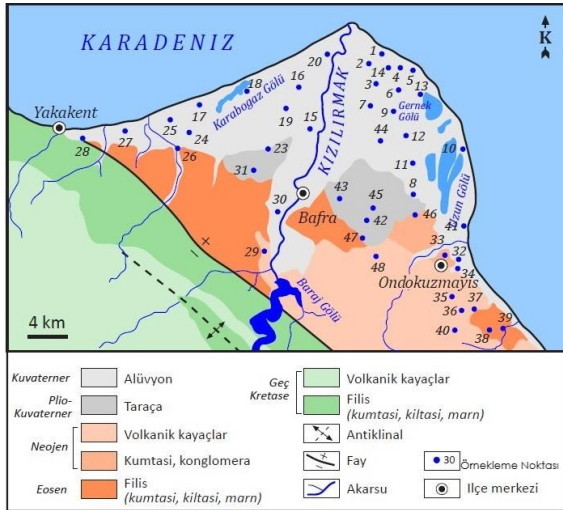


Şekil 1 - Çalışma alanı ve çevresinin yer bulduru haritası

3 JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Türkiye'nin en uzun üçüncü nehri olan Kızılırmak Havzası 78.180 kilometrekarelik bir alanı kaplamaktadır. Ülkenin iç kesimlerinden doğan ve kuzeyde Karadeniz'e dökülen nehrin ortalama debisi 184 m³/s'dir. Bu makalenin konusu olan Kızılırmak Deltası kıyı akiferi, deltanın kuzey kesiminde Orta Karadeniz Bölgesi'nde

Kızılırmak ve yan nehirlerin oluşturduğu nehir deltasında yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde yağışlı iklim koşulları hakimdir ve bölge tüm yıl boyunca yağış almaktadır. Samsun meteoroloji istasyonundan 1987-2017 dönemine ait alınan bilgilere göre yıllık ortalama sıcaklık 13.7°C ve yıllık toplam yağış 794 mm'dir [3]. İnceleme alanı ve çevresindeki en yaşlı birim, Üst Kretase yaşlı volkano-tortul seridir. Bu seri genellikle çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve marnlardan oluşurken, volkanik kayalar bazalt, andezit ve piroklastik kayalardan oluşmaktadır. Üst Kretase yaşlı birimler üzerinde Eosen yaşlı flişler görülmektedir. Bu birimde yer yer volkanik kayalar da bulunmaktadır. Hem Üst Kretase hem de Eosen yaşlı birimler akifer özelliği göstermemektedir. İnceleme alanında Neojen, konglomera, kumtaşı, siltaşı, marn, kil taşları ve bunların üzerinde bazik volkanik kayalar ile temsil edilmektedir. Bu kayalar akifer özelliği taşımaya da bazı bölgelerinde az miktarda yeraltısuyu bulunmaktadır. İnceleme alanının kuzey kesimlerinde Pliyo-Kuvaterner yaşlı çakıl, kum ve kilden oluşan gevşek ve zengin alüvyon çökelleri bulunmaktadır. Bu çökeller genellikle iyi akifer özelliği gösterir ve ekonomik olarak yüksek miktarda yeraltısuyu içerir [1] (Şekil 2).



Şekil 2 - Çalışma alanına ait jeoloji haritası ve yeraltısuyu örnekleme noktaları haritası [1]

Kızılırmak Deltası kıyı bölgesinde bu alüvyonlarda açılan çok sayıda kuyu bulunmaktadır. Bu kuyular DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından ve özel firmalar tarafından açılmıştır. Kuyulardan elde edilen yeraltısuyu bölgede tarımsal sulama yapmak ve sanayi tesislerinde kullanılmak üzere tüketilmektedir. Bu kuyuların derinlikleri 50-100 m arasında, debileri ise 1-60 L/s arasında değişmektedir. Serbest akifer özelliği taşıyan Kızılırmak Deltası

kıyı akiferinde geçirgenlik katsayısı 18-8.320 m²/gün arasında değişmektedir. Akiferdeki yeraltı suyu akışı kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönündedir [1].

4 BULGULAR

4.1 Yeraltısuyu Hidrojeokimyası

Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyunda yağışlı ve kurak mevsimleri temsil eden Haziran 2016, Ekim 2016, Haziran 2017 ve Ekim 2017 tarihlerinde 48 kuyudan yeraltı suyu örneği alınmış ve pH, EC, FS, majör anyon-katyon ve izotop analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir. Yeraltısuyu örnekleme noktalarının yer aldığı harita Şekil 2'de gösterilmektedir.

Kızılırmak Deltası kıyı akiferinde 4 dönem için yapılan hidrokimyasal analiz sonuçları fiziksel parametreler açısından incelendiğinde (Çizelge 1); örneklerin ortalama pH değerlerinin 6,87-8,02 arasında, EC değerinin her dönem ortalamasının 2.927, 2.933, 2.587 ve 2.708 µS/cm arasında değiştiği görülmektedir. EC ortalamalarının Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) [8] ve TS-266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2006) [6] standartlarına göre oldukça yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Suların değerleri Fransız Sertliği (FS) türünde hesaplandığında ortalama sertliğin 51,2-107,1 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değerler açısından kıyı akiferi yeraltısuları "çok sert su" olarak tanımlanmaktadır.

TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te Na⁺ için tanımlanan üst sınır değer 200 mg/L'dir. Kıyı akiferi yeraltısularına ait analiz sonuçları incelendiğinde Na⁺ değerlerinin 19,9 ile 2532,6 mg/L arasında değiştiği ve ortalama Na⁺ değerlerinin sınır değeri aştığı görülmektedir. TS266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te SO₄²⁻ için tanımlanan sınır değer 250 mg/L'dir. Analiz sonuçları SO₄²⁻ değerleri açısından değerlendirildiğinde 7,3 ile 1.136,6 mg/L arasında değiştiği ve ortalama değerlerin sınır değerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. TS266 ve WHO standartlarına göre Cl⁻ için tanımlanan üst sınır değer 250 mg/L'dir.

Çizelge 1 incelendiğinde çalışma alanındaki ortalama Cl⁻ değerlerinin 15,7 ile 3.303,0 mg/L arasında değiştiği ve sınır değerden yüksek olduğu görülmektedir. Analiz sonuçları NO₃⁻ açısından değerlendirildiğinde Haziran 2016 ve Ekim 2017 ortalama değerlerinin TS266 ve WHO standartlarında verilen sınır değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin Kızılırmak deltasında uygulanan

tarımsal faaliyetler, endüstriyel atıklar ve atık sulardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyu analiz sonuçları diğer anyon ve katyonlar açısından değerlendirildiğinde Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^- içeriklerinin de yüksek olduğu görülmektedir.

4.2 Yeraltısularının İzotopik Özellikleri

Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyuna ait izotop analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmektedir. Çizelge incelendiğinde Haziran-2016, Ekim-2016 ve Ekim-2017 de ^{18}O , 2H ve 3H analizlerinin sonuçları görülmektedir. Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyunda ^{18}O değerleri -10,03 ile -5,72 arasında; 2H değerleri -68,56 ile -37,97 arasında değişmektedir. 3H

analizi sonuçlarına göre 2016 yılı Haziran ve Ekim ayı için ortalama değerler sırasıyla 3,95 ve 4,41 TU olmuştur. Çalışma alanında yeraltısuyu örneklerinin yanı sıra Karadeniz'den de su örnekleri alınarak deniz suyunun izotopik bileşimi belirlenmeye çalışılmıştır. Deniz suyunun ortalama ^{18}O içeriği -3,23, 2H içeriği ise -23,89 olarak elde edilmiştir. Deniz suyundan yapılan Trityum analiz sonuçlarına Karadeniz'in Trityum içeriği 7,2 TU olarak analiz edilmiştir. ^{18}O , 2H içeriklerinin Dünya Meteorik Su Doğrusu [2] üzerindeki konumları Şekil 3'te verilmektedir. Şekil incelendiğinde örnek noktalarının Dünya Meteorik Su Doğrusu ile Sinop Meteorik Su Doğrusu arasında kalan bölgede yer aldıkları görülmektedir.

Çizelge 1 – Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyunun fiziko-kimyasal analiz sonuçları

Örnekleme Tarihi	Değerler	pH	EC (µS/cm)	FS (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Cl (mg/L)	NO ₃ (mg/L)
Haziran 2016	Min.	7,17	810	13,3	28,8	3,4	50,4	306,8	7,3	15,7	7,3
	Maks.	7,86	8.120	227,6	555,0	213,1	2.443,9	1.287,1	187,0	405,4	187,1
	Ort.	7,51	2.927	55,1	168,2	31,2	602,2	711,9	73,4	114,5	72,4
	St.Sp.	0,17	1.352	39,5	109,9	44,9	498,6	255,9	48,1	80,3	48,0
Ekim 2016	Min.	7,12	992	30,5	31,2	18,0	43,2	216,6	33,2	77,0	23,3
	Maks.	8,02	6.973	497,6	355,6	985,9	2.532,6	1.453,1	974,7	3302	177,9
	Ort.	7,53	2.933	107,1	150,9	166,4	587,1	799,3	361,1	711,5	48,7
	St.Sp.	0,20	1.165	73,4	68,4	154,5	494,9	309,4	234,1	668,8	34,1
Haziran 2017	Min.	7,07	377	10,7	12,8	4,0	19,9	187,3	21,0	24,4	6,4
	Maks.	7,70	5.450	116,2	210	229,9	965,5	1.020,5	497,3	1.162,3	195,6
	Ort.	7,40	2.587	51,2	82,1	73,6	281,4	562,7	221,5	380,8	43,8
	St.Sp.	0,13	1.151	23,6	46,0	47,6	220,5	193,6	161,1	266,6	37,4
Ekim 2017	Min.	6,87	780	28,3	60,4	10,8	52,5	233,0	31,5	56,6	31,5
	Maks.	7,81	5.540	286,0	338,0	547,3	1.840,4	1.546,4	1.136,6	2.311,0	1.136,6
	Ort.	7,30	2.708	95,6	129,7	151,6	506,4	693,6	311,1	565,5	324,7
	St.Sp.	0,21	1.197	56,5	54,4	122,7	456,8	297,7	270,4	535,2	267,6
TS266 (Max. Değer)		6,5-9,5	2.500	-	-	-	200		250	250	50
WHO (Max. Değer)			2.500							250	50

Çizelge 2 – Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyunun izotop analiz sonuçları

Örnekleme Tarihi	Değerler	^{18}O (V-SMOW)	2H (V-SMOW)	3H (TU)
Haziran 2016	Min.	-9,95	-68,56	0,16
	Maks.	-6,34	-44,97	6,4
	Ort.	-8,01	-54,09	3,95
	St.Sp.	1,01	6-78	1,89
Ekim 2016	Min.	-10,03	-67,94	0,01
	Maks.	-5,72	-37,97	7,67
	Ort.	-7,81	-52,64	4,41
	St.Sp.	1,04	6,46	1,87
Ekim 2017	Min.	-10,00	-68,41	N.A.
	Maks.	-6,37	-46,16	N.A.
	Ort.	-8,16	-54,69	N.A.
	St.Sp.	0,99	6,35	N.A.

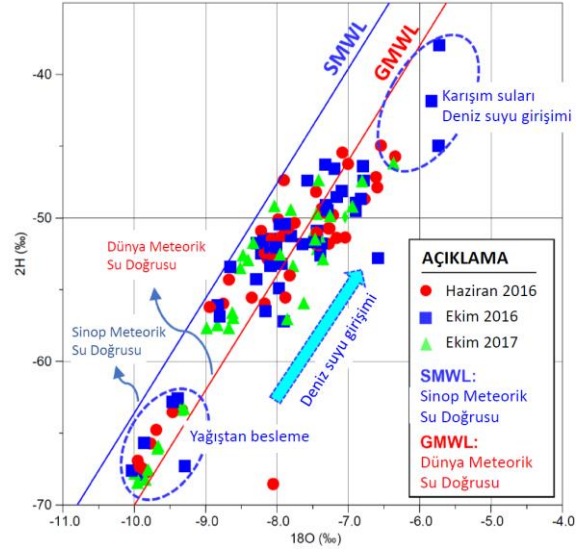
*İzotop konsantrasyonları δ (‰), NA: Analiz Yapılamadı

Ayrıca yeraltısuyu örneklerinin büyük bir kısmının deniz suyu girişim bölgesine doğru yer aldığı ve küçük bir kısmının ise karışık su (deniz suyu girişim) bölgesinde yer aldığı tespit edilmiştir. Özellikle denize yakın açılan kuyularda $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ değerlerinin daha pozitif olduğu görülmekte ve bu durum deniz suyu girişiminin varlığına işaret etmektedir.

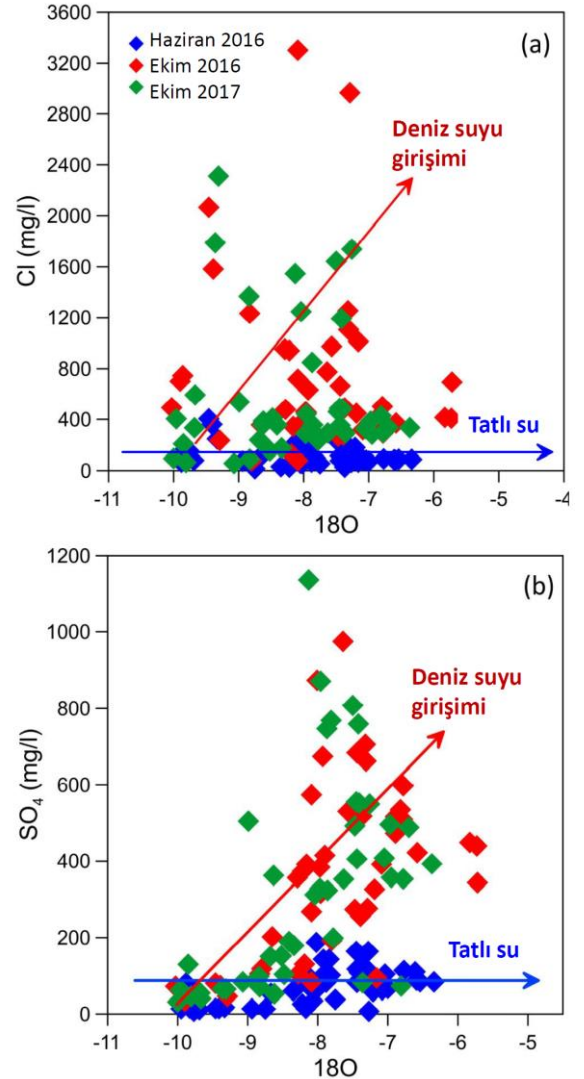
Analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan $^{18}\text{O}\text{-Cl}^-$ ve $^{18}\text{O}\text{-SO}_4^{2-}$ grafikleri Şekil 4'te gösterilmiştir. $^{18}\text{O}\text{-Cl}^-$ diyagramı (Şekil 4a) incelendiğinde, yağışlı mevsim olan Haziran 2016'da alınan yeraltısuyu örneklerinin tatlı su niteliğinde olduğu, kurak dönem olan Ekim 2016 ve Ekim 2017'de alınan yeraltısuyu örneklerinin ise deniz suyu girişimi etkisinde olan su niteliğinde olduğu görülmektedir. Grafiklerde ayrıca yeraltısuyu örneklerinin büyük bir bölümünün Cl^- içeriklerinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

$^{18}\text{O}\text{-SO}_4^{2-}$ diyagramı (Şekil 4b) incelendiğinde, $^{18}\text{O}\text{-Cl}^-$ diyagramına benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir. Yine Haziran 2016'da alınan yeraltısuyu örneklerinin tatlı yeraltısuyu özelliğinde olduğu ve Ekim 2016 ve Ekim 2017'de alınan yeraltısuyu örneklerinin deniz suyu girişim zonu bölgesinde yer aldığı görülmektedir.

Her iki grafik incelendiğinde yağışlı dönem olan Haziran 2016'da alınan yeraltı suyu örneklerinin tatlı su doğrusuna yakınlık gösterdiği; kurak dönem olan Ekim 2016 ve Ekim 2017 yeraltısuyu örneklerinin ise daha çok deniz suyu girişim doğrusuna yakın olduğu görülmektedir. Özellikle Ekim ayı yeraltısuyu örneklerinin deniz suyu girişim bölgesinde yer alan su örneklerinin Karadeniz'e yakın konumda bulunan su kuyularından alınan örnekler olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu iki diyagramın özellikle Karadeniz kıyısında yer alan kuyularda buharlaşma nedeniyle deniz suyu girişiminin varlığına işaret etmesi açısından önemli olduğu söylenebilir.



Şekil 3 – Yeraltısuyu örneklerine ait $^{18}\text{O}\text{-}^2\text{H}$ değerleri [5]



Şekil 4 – Yeraltısuyu örneklerine ait $^{18}\text{O}\text{-Cl}^-$ ve $^{18}\text{O}\text{-SO}_4^{2-}$ değerleri [5]

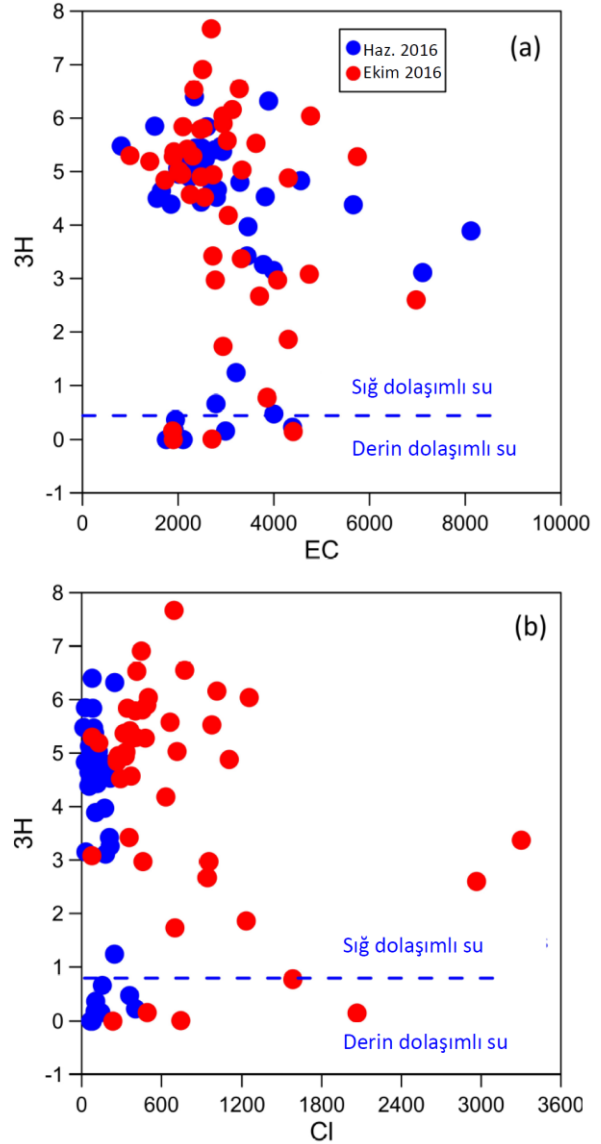
Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyuna ait Haziran ve Ekim 2016 analiz sonuçlarından yararlanılarak ^3H -EC ve ^3H -Cl⁻ diyagramları hazırlanmış ve Şekil 5a ve 5b'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde Kızılırmak Deltası kıyı bölgesinde yer alan yeraltısuyu örneklerinin çoğunlukla günlük yağışlardan beslenen ve sığ dolaşıma sahip suların olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Kızılırmak Deltası kıyı akiferinde yeraltısularının, akiferde uzun süre kalmayan günlük yağışlarla beslenen sığ sulardan oluştuğu belirlenmiştir. ^3H -Cl⁻ diyagramı (Şekil 5b), Haziran 2016'da alınan yeraltısuyu örneklerinin daha az Cl⁻ içerdiğini, buna karşın Ekim 2016'da alınan yeraltısuyu örneklerinin daha yüksek Cl⁻ içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu diyagrama göre, buharlaşma faktörü, yeraltısuyunun aşırı çekilmesi ve deniz suyu girişimi nedeniyle Cl⁻ içeriklerinin Ekim ayında arttığı görülmektedir. Çalışma alanında yağışlı (Şekil 6a) ve kurak dönem (Şekil 6b) için eş Cl⁻ haritaları hazırlanmıştır. Haritalardan görüldüğü gibi Cl⁻ içerikleri kurak mevsimde artış göstermekte ve sahanın doğu kesimine yayılmaktadır. Yağışlı dönemde düşük değerlerin elde edildiği havzanın doğu bölümlerinin kurak dönemde yok olarak Cl⁻ içeriklerinin artış gösterdiği görülmektedir.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

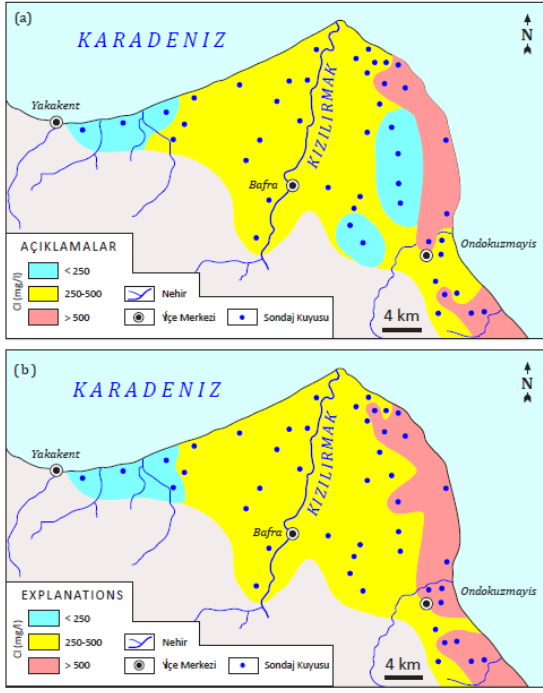
Bu çalışma kapsamında Kızılırmak Deltası kıyı akiferinde 2016 ve 2017 yıllarında Haziran ve Ekim aylarında toplam 4 örnekleme döneminde yeraltısuyu örnekleri alınarak hidrokimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde suların "çok sert su" sınıfında yer aldığı, Na⁺, Cl⁻ ve SO₄²⁻ değerlerinin standartlarda tanımlanan sınır değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Karadeniz kıyısına yakın açılmış kuyularda EC ve Cl⁻ içeriklerinin yüksek olması bu bölgelerde buharlaşmanın etkisi ve deniz suyu girişiminin varlığı ile açıklanabilir.

Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyunda yapılan ^{18}O , ^2H ve ^3H analizlerinin sonuçlarına göre; yeraltısuyu örneklerinin büyük bir kısmının deniz suyu girişim bölgesinde yer aldığı, yeraltısuyunun günlük yağışlarla beslendiği, sığ dolaşıma sahip olduğu, deniz kıyısında bulunan kuyularda buharlaşmaya bağlı olarak deniz suyu girişiminin etkisinin tespit edildiği sonucuna varılmıştır. Fakat deniz suyu girişiminin Bafra Ovası Sulaması Projesi Sulama sisteminin devreye girmesi ile azaldığı belirlenmiştir. Kızılırmak Deltası'nda tarımsal sulama faaliyetlerinin Derbent Barajı'ndan sağlanan su ile yapılması ve buna bağlı olarak kıyı bölgesinde yeraltısuyu kullanımının azalması deniz suyu girişiminin azalmasına neden olan başlıca nedenlerdir.

Kızılırmak Deltası kıyı akiferi yeraltısuyunda tuzlanma meydana gelmemesi ve tarım arazilerinin kalitesinin bozulmaması için yeraltısuyu kalitesinin sistematik olarak izlenmesi ve analizlerin periyodik olarak tekrarlanması önerilmektedir.



Şekil 5- ^3H - Cl⁻ değerleri [5]



Şekil 6 – Yeraltısuyu örneklerine ait Cl⁻ dağılım haritaları (a) yağışlı (b) kurak dönem

6 TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2016-2 Nolu Ar-Ge projesi ile desteklenmiştir. Ar-Ge Projesi kapsamında destekleri için TAKK Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı Şube Müdürü Alime TEMEL DİLAVER'e ve ekibine teşekkür ederiz.

7 KAYNAKLAR

[1] Ayyıldız Turan, N., ve diğ., "Kızılırmak Deltası Kıyı Bölgesi Yeraltısularında Kalite ve Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi",

Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü AR-GE Projesi, 2018

- [2] Craig, H., "Isotopic variations in meteoric waters", Science, 1961
- [3] Fırat Ersoy, A. ve Karaca, Z., "Determination of groundwater parameters for drinking and agricultural use in the coastal region of Engiz Aquifer System, Samsun (NE Turkey)", Arabian Journal of Geoscience, 2019
- [4] Fırat Ersoy, A., Karaca, Z., "Ayyıldız Turan N., Yıldız Özgül H., "Kızılırmak Delta Kıyı Alanındaki Tuzlanma Sürecinin Stuyfand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi ile Değerlendirilmesi", Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, cilt.10, 2020
- [5] Fırat Ersoy, A., Ayyıldız Turan N., Arslan H., Kuleyin A., "Assessment of seawater intrusion in Kızılırmak delta coastal area (North Turkey) using hydrochemical and isotopic data", Environmental Earth Sciences, 2021
- [6] TS266, "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik", Ankara, 2005
- [7] UNESCO, (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), "World's Groundwater resources are suffering from poor governance", UNESCO Natural Sciences Sector News UNESCO, 2012
- [8] WHO, "Guidelines for Drinking-Water Quality", Health Criteria and Other Supporting Information, 2011