

Kızılırmak Delta Kıyı Alanındaki Tuzlanma Sürecinin Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Sea Water Intrusion in Kızılırmak Delta Coastal Area by Stuyfzand Hydrogeochemical Modeling System

Arzu FIRAT ERSOY*^{1,a}, Nazlı AYYILDIZ TURAN^{2,b}, Hava YILDIZ ÖZGÜL^{2,c}

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

²Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü, Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü, 55070, Samsun

• Geliş tarihi / Received: 27.04.2020

• Düzeltilek geliş tarihi / Received in revised form: 11.08.2020

• Kabul tarihi / Accepted: 12.08.2020

Öz

Bu çalışmada Türkiye'nin kuzey-orta kesiminde yer alan ve en uzun 3. akarsuyu olan Kızılırmak Nehri'nin kıyı kesiminde yer alan yeraltısuyunun hidrokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla 2017 yılında Haziran ve Ekim aylarında her dönemde 48 adet kuyudan alınan toplam 94 adet yeraltısuyu örneğinin pH, EC, TDS gibi fiziksel özellikleri belirlenmiş, bu örnekler üzerinde majör anyon katyon ve iz element analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler değerlendirilerek suların hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmış kıyı bölgesinde yeraltı suyunda deniz suyu girişiminin etkileri ortaya konulmuştur. Yapılan analizler değerlendirildiğinde her dönem için EC'nin 2500 µS/cm değerinden yüksek olması, Na, SO₄ ve Cl değerlerinin ise Türk İçme Suyu Standardında tanımlanan sınır değerlerin üstünde olması nedeniyle akifer sularının içme ve kullanmaya uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Kızılırmak Deltası kıyı alanındaki yeraltısuyu örnekleri, Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre değerlendirilerek deniz suyu girişiminin etkileri ortaya konulmuştur. Buna göre; Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyu bileşiminin deltanın doğusuna gidildikçe NaCl'ye doğru değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, tatlı yeraltısuyu ile deniz suyu arasında geçiş koşullarının mevcut olduğu görülmektedir. NaCl su tipi ise delta alanında bir deniz suyu girişiminin varlığına işaret etmektedir ve yapılan hidrokimyasal analizler bölgede yeraltısuyunun %46'sının deniz suyu etkisinde olduğunu göstermektedir. Gelecekte Kızılırmak Deltası kıyı alanında yeraltısuyunun tuzlanmasının önüne geçmek ve yeraltısuyu kalitesinin bozulmasını önlemek için pompaja son verilmeli ve kıyı kesiminde yeni kuyu açılmamalıdır.

Anahtar kelimeler: Deniz Suyu Girişimi, Hidrojeokimya, Kızılırmak, Stuyfzand Sınıflama Sistemi, Türkiye

Abstract

In this study, hydrochemical properties of groundwater in delta of Kızılırmak River, which is the third longest river of Turkey and is located in the north-central part of the country were identified. For this purpose, physical properties pH, EC, TDS of samples taken from 48 wells in each period in June and October 2017 were determined, and major anion cation analyzes were performed. The hydrogeochemical properties of the waters were investigated by evaluating the data obtained and the effects of seawater intrusion in groundwater in the region were revealed. According to the analyzes results, the aquifer are not suitable for drinking and domestic purposes since EC values are higher than 2500 µS/cm for each period and Na, SO₄ and Cl are above the limit values according to the Turkish Drinking Water Standard. Groundwater in the Kızılırmak Delta area were evaluated by using the Stuyfzand Classification System and the effects of the sea water intrusion were revealed. According to this; while the chemical character of groundwater in the Kızılırmak delta area is of changes NaCl towards the eastern part of the delta. In addition, there is a transitional zone between fresh groundwater and seawater. NaCl water type indicates the presence of seawater intrusion in the delta area and based on hydrogeochemistry 46% of the groundwater in the study are under the influence of seawater. To prevent salinization of the groundwater in area and deterioration of their quality, pumping must be stopped, and new wells must not be drilled in the area.

Keywords: Sea Water Intrusion, Hydrogeochemistry, Kızılırmak, Stuyfzand Classification System, Turkey

*a Arzu FIRAT ERSOY; arzufirat@gmail.com, Tel: (0462) 377 20 63, orcid.org/0000-0002-4181-1219

^b orcid.org/0000-0003-2487-2199

^c orcid.org/0000-0002-5151-7988

1. Giriş

Son yıllarda dünyada nüfus artışı, endüstriyel gelişim, iklim değişikliği gibi birçok nedene bağlı olarak artan su tüketimi ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin önemi gittikçe artmaktadır. Su kaynaklarının yönetimi, yeraltısuyunun yaşamı ve insan ihtiyaçlarını sürdürmek için bir kaynak olarak oynadığı rolden dolayı mevcut küresel zorluklardan biridir. Dünyanın birçok yerinde kentleşmenin artması ve yaşam koşullarının iyileştirilmesi, içme suyu talebinin artmasına neden olmuştur. Bunun sonucunda kıyı akiferleri kontrolsüz bir şekilde kullanıma açılarak yeraltı suyu aşırı miktarda tüketilmiştir (Gültekin vd., 2005; Sappa ve Luciani, 2015; Najaib vd., 2017).

Kıyı akiferleri denize hidrolik olarak bağlandıkları için, başlangıçta daha yoğun olan deniz suyu doğal olarak yeraltısuyu sistemine tabandan girişim yapar ve tatlı suyu tuzlu suya dönüştürmeye çalışır. Deniz suyunun sığ yeraltısuyu akiferine sızması, tatlı su seviyesinin deniz suyu seviyesinin altına düşmesi ve ters hidrolik gradyan oluşması sonucunda gerçekleşir. Artan su ihtiyacını karşılamak için bu tür kıyı akiferlerinden yeraltısuyunun aşırı kullanımı ise deniz suyunun yeraltısuyuna doğru ilerlemesini hızlandırır. Bunun sonucu olarak da yeraltısuyu tuzlanır ve su kuyuları terk edilmek zorunda kalınır (Nair, 2015; Al Farrah vd., 2011). Bir akifer sistemine deniz suyu girişi meydana geldiği zaman, yeraltısuyunda yalnızca yüksek toplam çözünmüş katı madde (TDS) bulunmaz, aynı zamanda çoğu ana katyon ve anyonun konsantrasyonları da oldukça yüksek değere ulaşır (Gültekin vd., 2013; Fırat Ersoy vd., 2007). Bu gibi yüksek TDS ve majör iyon konsantrasyonları kıyı akiferindeki yeraltısuyunun deniz suyu girişiminden etkilendiğini göstermektedir (Richter ve Kreitler., 1993).

Deniz suyu girişi, Türkiye, Kıbrıs, Mısır ve Tunus, Suriye ve Lübnan gibi denize kıyısı olan ülkelerde önemli bir konu olmaya başlamıştır (FAO, 1997). En yoğun nüfuslu yerleşim alanlarının özellikle kıyı bölgelerinde yoğunlaşması, bu bölgelerde tatlı suya olan ihtiyacı daha da artırmaktadır (Gaaloul vd., 2012). Üç tarafı denizlerle çevrili Türkiye’de de özellikle tarımsal amaçlı yapılan aşırı pompaj, kıyı akiferlerinde önemli bir sorun olan yeraltısuyunun tuzlanmasına neden olmaktadır. Tuzlanmış olan yeraltısuyunun sulamada kullanılması durumunda da tarım arazilerinde verimin azalması ve topraklarda tuzluluk sorunları ile karşılaşmaktadır (Ayyıldız Turan, 2018). Türkiye’de özellikle tarımsal ve

endüstriyel faaliyetlerin yoğun olarak sürdürüldüğü Karadeniz Bölgesi’nde yeraltısuyu, tatlı su rezervinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Fırat Ersoy ve Gültekin, 2008). Bölgede akifer sistemlerinin çoğunlukla deniz kıyısında bulunması ve bu akiferlerde yeraltısuyu seviyesinin yüzeye çok yakın olması, tatlı suyu doğrudan deniz suyu girişimi tehdidi ile karşı karşıya bırakmaktadır (Fırat Ersoy, 2019). Karadeniz Bölgesi’nde bulunan ve 1355 km uzunluğu ile Avrupa’daki en uzun 10 nehir içinde yer alan Kızılırmak Nehri kıyı akiferinde de benzer sorunlarla karşılaşmıştır. Yapılan çalışmalarda yeraltısuyu seviyelerinin yüzeye çok yakın olduğu (yaklaşık 15-20 cm) belirlenmiş ve yeraltı suyu örneklemesi yapılan kuyuların birçoğunun deniz suyu girişimi etkisi altında olduğu belirlenmiştir (Arslan, 2012).

Deniz suyu girişiminin etkilerinin belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bir tanesi Stuyfzand (1986) Sınıflama Sistemi’nin kıyı akiferlerine uygulanmasıdır. Diğer yöntemler ise çeşitli katyonlar ile anyonların birbirlerine oranları ile hazırlanan grafikler ve ayrıca Piper diyagramıdır (Kelly, 2005; Kim vd., 2002; Leboeuf, 2004, Lee ve Song, 2007; Montety vd., 2008).

Türkiye’nin en uzun 3. nehri olan Kızılırmak’ın beslenme havzası 78180 kilometrekaredir (Şekil 1). Ülkenin iç bölgelerinde 3025 m kotundan doğarak kuzeyde Karadenize dökülen nehrin ortalama debisi 184 m³/sn’dir. Çalışma konusu olan Kızılırmak delta kıyı alanı, Türkiye’nin kuzeyinde Orta Karadeniz Bölümü’nde 41°10’ - 41°45’ kuzey enlemleri ve 35°30’-36°15’ doğu boylamları arasında, Kızılırmak ile yan derelerin oluşturduğu delta ovasında yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde ılıman iklim iklim koşulları hakim olup bölge yılın her ayı yağış alır. Samsun meteoroloji istasyonundan alınan 1987-2017 yılları arasındaki verilere göre, yıllık ortalama sıcaklık 13.7 °C, yıllık ortalama toplam yağış ise 794 mm dir.

Bu çalışmada Türkiye’nin Kuzey kesiminde yer alan ve Türkiye’nin en büyük havzalarından biri olan Kızılırmak Havzasının Kıyı Akiferinde (Kızılırmak Delta Kıyı Alanı) bulunan yeraltısuyunun hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş ve deniz suyu girişiminin varlığı araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda kıyı akiferinde yeraltısuyunda 2017 yılında Haziran ve Ekim aylarında olmak üzere toplam 2 dönemde majör anyon-katyon ve iz element analizleri yapılarak elde edilen bulgular yeraltısuyunun içme

ve kullanmaya uygunluğu açısından değerlendirilmiş ve Stuyfzand Sınıflama Sistemi uygulanarak olası deniz suyu girişiminin varlığı belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında Kızılırmak Havzasının Kıyı Akiferinde yeraltısuyunun konumsal ve zamansal değişimlerinin belirlenmesi, hidrokimyasal özelliklerinin ortaya konulması, kullanmaya uygunluğunun araştırılması ve bölgedeki deniz suyu girişiminin araştırılması amacıyla 2017 yılında 48 adet derin kuyuda yağışlı (Ekim) ve kurak (Haziran) sezon olmak üzere 2 dönemde yeraltısuyu örnekleme yapılmıştır. Yeraltısuyu örnekleri TS EN ISO 5667 Su Kalitesi Numune Alma Standardına uygun olarak alınmıştır. Kuyularda 15 dakika pompaj yapıldıktan sonra su örnekleri polietilen şişelere doldurulmuştur. Her bir su örneği için değişik boyutlardaki polietilen şişeler (saf su ile yıkanmış) kullanılarak analiz için laboratuvarlara gönderilmiştir. Temin edilen su örneklerinin fiziksel parametreler, majör anyon-kasyon ve iz element analizleri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Samsun 7. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nde ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Tablo 1). Majör anyon-kasyon analizleri iyon kromatografisi ile, iz element analizleri ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Bu laboratuvarlar, 2000 yılından beri her yıl TURKAK (Türk Akreditasyon Kurumu) tarafından akredite edilmektedir.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan standartlar

| Parametre | Standart |
|---|-----------------------|
| Elektriksel İletkenlik (EC) | TS 9748 EN 27888 |
| pH | TS EN ISO 1523 |
| HCO ₃ | TS 3790 EN ISO 9963-1 |
| Ca, Mg, Na, K, NH ₄ | TS EN ISO 14911 |
| SO ₄ , Cl, NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ | TS EN ISO 10304-1 |
| İz Elementler | EPA 200.8 |

3. Bulgular / Bulgular ve Tartışma

3.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji

Çalışma alanı ve çevresinde yüzeylenen en yaşlı birim Geç Kretase yaşlı volkano-tortul seridir. Bu serinin tortul kayaçlarını genel olarak konglomera, kumtaşı, kiltası ve marnlar oluştururken volkanik kayaçlarını bazalt, andezit ve piroklastitler

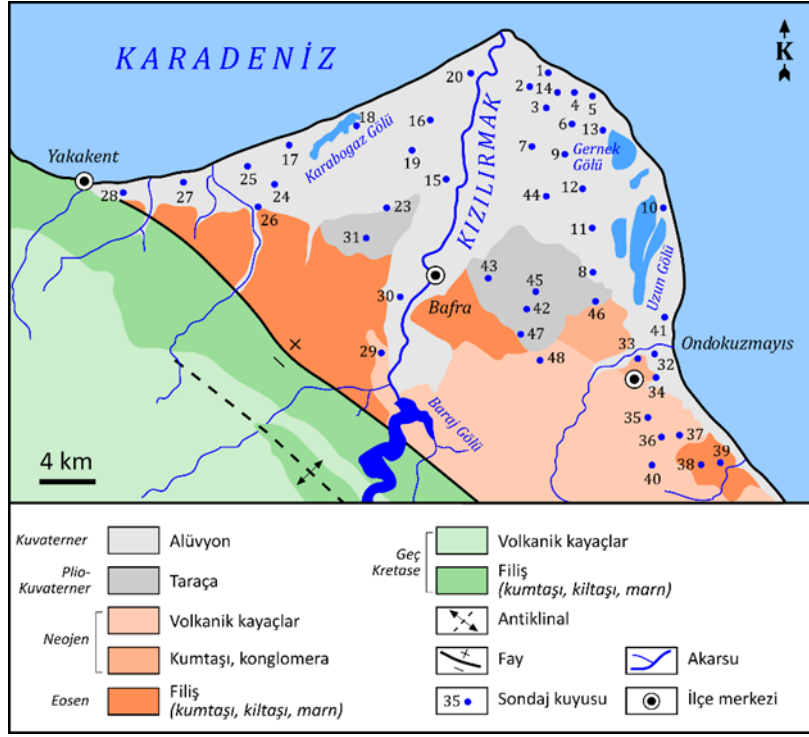
oluşturmaktadır. Geç Kretase yaşlı birimler üzerine Eosen yaşlı flişler gelmektedir. Bu birimde de yer yer volkanik kayaçlar bulunmaktadır. Gerek Geç Kretase gerekse Eosen yaşlı birimler akifer özelliği taşımamaktadır. İnceleme alanında Neojen, konglomera, kumtaşı, silttaşı, marn, kiltaları ve bunların üzerinde bulunan bazik volkanik kayaçlar ile temsil edilmektedir. Bu kayaçlar akifer özelliği göstermese de bazı alanlarda yerel olarak yeraltısuyu varlığından söz edilebilmektedir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde genel olarak Pliyo-Kuvaterner yaşlı çakıl, kum ve kil karışımından oluşan gevşek ve tutturulmamış alüvyal çökeller bulunmaktadır. Bu çökeller genellikle iyi akifer özelliği taşımakta ve ekonomik olarak yüksek miktarda yeraltısuyu bulundurmaktadır (Ayyıldız Turan, 2018) (Şekil 1).

Kızılırmak delta kıyı alanında açılmış çok sayıda keson kuyu ve sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyuların derinlikleri 5-100 m; debi değerleri ise 1-60 l/sn arasında değişmektedir. Serbest akifer özelliği taşıyan Kızılırmak delta kıyı alanında Transmissiblite Katsayısı 18-8320 m²/gün arasında değişir. Akiferde yeraltı suyu akışı kuzey, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönünde gerçekleşmektedir (Ayyıldız Turan, 2018).

3.2. Hidrojeokimya

Kızılırmak delta kıyı alanında yağışlı ve kurak sezonları temsil edecek şekilde Haziran 2017 ve Ekim 2017'de 48 kuyuda toplam 94 yeraltı suyu örnekleme (ikinci örnekleme döneminde 2 kuyudan su örneği alınamamıştır) yapılarak fiziksel parametreler ile majör anyon-kasyon analizleri yapılmıştır. İz element analizleri ise yine aynı çalışma kapsamında Haziran-2016 ve Ekim 2016'da gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları kullanılarak (Tablo 2 ve 3) delta kıyı alanında yer alan kuyu sularının içme ve kullanmaya uygunluğu incelenmiş ve deniz suyu girişiminin olası etkileri araştırılmıştır. Analiz sonuçları TS266'da (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı) tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 2'de Haziran 2017 ve Ekim 2017'de yapılan toplam 94 yeraltısuyu örneğine ait pH, EC (Elektriksel İletkenlik), TDS (Toplam Çözünmüş Katı Madde), TS (Toplam Sertlik) ve majör anyon-kasyon sonuçlarının düşük, yüksek, ortalama ve standart sapma değerleri verilmektedir. Buna göre 2 dönem için yeraltısuyu örneklerinin ortalama pH değeri 7.3-7.4 arasında değişmektedir. Su örneklerinin EC değerleri incelendiğinde bu değerlerin çok yüksek olduğu gözle çarpılmaktadır.



Şekil 1. Kızılırmak delta kıyı alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve örnekleme noktaları (Ayyıldız Turan, 2018)

EC değerlerinin ortalama değerleri 2 dönem için 2587 ve 2708 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. TS 266'ya göre içme suları için EC'nin sınır değeri 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir ve Kızılırmak delta kıyı alanının doğu kesimlerinin EC açısından sorunlu olduğu belirlenmiştir. Yeraltı suyu örneklerinin Toplam Sertlik analiz sonuçları incelendiğinde, ortalama TS değerlerinin 51.2-95.6 (FH) arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre yeraltı suyu örnekleri çoğunlukla "çok sert su" sınıfında yer almaktadır. TS266'da Na için tanımlanan sınır değeri 200 mg/l'dir. Alandaki Na sonuçları incelendiğinde ortalama Na değerlerinin sınır değeri aştığı gözlenmektedir. SO_4 değerleri incelendiğinde Ekim-2017 dönemlerinde ortalama değerlerin sınır değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Cl için sınır değeri 250 mg/l'dir ve Tablo 2 incelendiğinde ortalama Cl değerlerinin çok yüksek olduğu dikkat çekmektedir.

Analiz sonuçları iz elementler (Tablo 3) açısından değerlendirildiğinde Mn, Fe, Ni, Al ve As açısından sorun olduğu belirlenmiştir. Mn için TS266'da tanımlanan sınır değeri 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir ve Tablo 3'te Mn için ortalama Mn değerlerinin 317.23 ve 323.91 olduğu görülmektedir. Örnek noktaları açısından incelendiğinde Mn değerlerinin neredeyse tüm noktalarda sınır değerinin üzerinde olduğu ve Kızılırmak Nehri boyunca 400 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'nin üstünde olduğu görülmektedir. Ayrıca Fe için tanımlanan sınır değeri 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir ve Tablo 3'e göre çalışma alanındaki ortalama Fe değerleri

2326.31 ve 2021.13 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir. Fe içeriklerinin çalışma alanının çok büyük bir bölümünde 1000-5000 $\mu\text{g}/\text{l}$ arasında olduğu belirlenmiştir. Ni içerikleri incelendiğinde ortalama Ni değerlerinin standardın üzerinde olmadığı, yalnızca çalışma alanında birkaç noktada yüksek olduğu belirlenmiştir. Analiz sonuçları Al açısından irdelendiğinde, ortalama Al içeriklerinin 624.83 ve 10.4 $\mu\text{g}/\text{l}$ olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının birçok noktasında Al değerleri TS266'da tanımlanan değerinin üzerindedir. Yine analiz sonuçlarına göre As için TS266'da tanımlanan sınır değeri 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'dir ve Tablo 3'e göre ortalama As değerleri (41.99 ve 334.97) standart değerinin üzerinde bulunmaktadır.

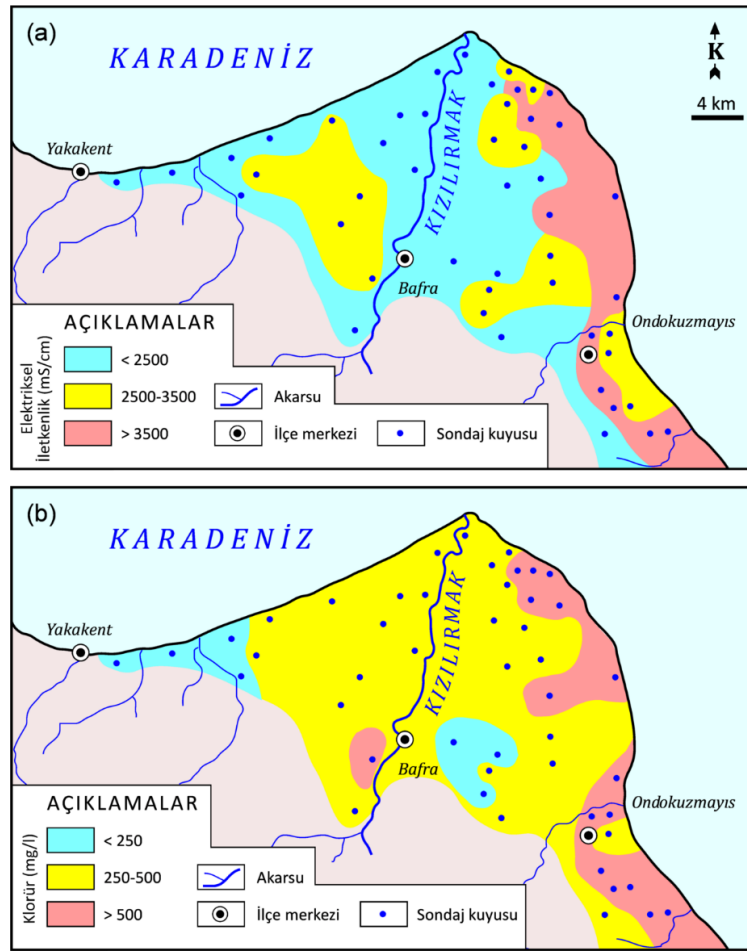
Kızılırmak deltası kıyı alanında 2 dönem için analiz edilen EC değerlerinin konumsal dağılımı Şekil 2a'da verilmektedir. Tablo 2'de verilen analiz sonuçları incelendiğinde alandaki EC değerlerinin 2 dönem ortalamalarının 2708-2587 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca yine aynı tablodan en yüksek EC değerlerinin Ekim 2017 analizlerinde elde edildiği ve bu değerlerin 5540 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile deltanın doğusunda yer alan 41 numaralı kuyuda ölçüldüğü belirlenmiştir. TS 266'da göre içme suları için EC'nin üst sınırı 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir ve çalışma alanındaki 2 dönem ortalama değerlerinin sınır değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Şekil 2a incelendiğinde kıyı alanında en yüksek değerlerin bölgenin doğu

kesimlerinde analiz edildiği görülmektedir. 48 örnekleme noktasının 30 noktasında değerler 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin üzerinde bulunmaktadır. Deltanın orta ve batı kesimlerinde daha düşük EC değerleri elde edilmiştir.

Tablo 2'de Cl iyonunun analiz sonuçları incelendiğinde ortalama Cl değerlerinin 380.8-565.5 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. TS266'da Cl için tanımlanan üst sınır değer 250 mg/l'dir. Delta alanında Cl değerlerinin konumsal dağılımı Şekil 2b'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde 48 adet yeraltısuyu örnekleme noktasının sadece 7 noktasında TS266'da verilen

sınır değerinin altında değer elde edildiği görülmektedir. Diğer tüm noktalarda sınır değerinin üzerinde değerler elde edilmiştir ve özellikle delta alanının doğu kesimlerinde Cl iyonunun 500-1000 mg/l arasında değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Yüksek EC ve Cl değerleri bölgede deniz suyu girişiminin varlığına işaret etmektedir. Kızılırmak deltası kıyı alanında yer alan kuyulardan fazla miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması tuzlu su kamasını kara içerisine doğru hareket ettirmekte ve bu da tuzlu su seviyesinin yukarı doğru yükselmesine neden olmaktadır.



Şekil 2. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyu örneklerine ait (a) EC ve (b) Cl dağılım haritası

3.3. Deniz Suyu Girişimi

Kızılırmak delta kıyı alanında deniz suyu girişiminin varlığını belirlemek amacı ile Piper diyagramı ve Stuyfzand Sınıflama Sistemi kullanılmıştır.

Kızılırmak delta kıyı alanında yapılan 2 dönem analiz sonuçlarından çizilen Piper diyagramı Kelly (2005)'e göre yorumlanmıştır. Buna göre çizilen

Şekil 3'te Haziran-2017 ve Ekim-2017 analiz sonuçları yer almaktadır. Şekil 3 incelendiğinde hem Haziran-2017 hem de Ekim-2017 analiz sonuçlarının büyük çoğunluğunun "karışık su" ve "deniz suyu girişi" bölgelerinde bulunduğu görülmektedir. 2017 yılına ait örneklerin çok az bir kısmı "tatlı su" bölgesinde yer almaktadır. Ayrıca yine Piper diyagramına göre 2017 yılına ait yeraltısuyu örnekleri "karışım bileşimli" su tipinde yer almaktadır.

Tablo 2. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyunun fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

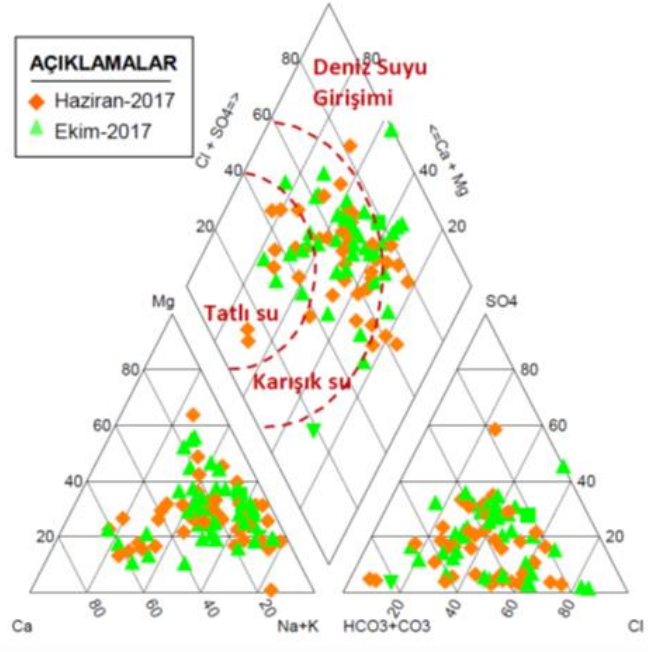
| Örnek Türü | Örnekleme Tarihi | İstatistiksel Değerler | pH | EC (µS/cm) | TDS | TS (FH) | Ca | Mg | Na | HCO ₃ | SO ₄ | Cl | NO ₃ |
|--------------------------------|------------------|------------------------|----------------|---------------|------|---------|-------|-------|------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------|
| Yeraltısuyu | Haziran -2017 | En Düşük Değer | 7.07 | 377 | 245 | 10.7 | 12.8 | 4 | 19.9 | 187.3 | 21 | 24.4 | 6.4 |
| | | En Yüksek Değer | 7.70 | 5450 | 3543 | 116.2 | 210 | 229.9 | 965.5 | 1020.5 | 497.3 | 1162.3 | 195.6 |
| | | Ortalama Değer | 7.40 | 2587 | 1682 | 51.2 | 82.1 | 73.6 | 281.4 | 562.7 | 221.5 | 380.8 | 43.8 |
| | | Standart Sapma | 0.13 | 1151 | 749 | 23.6 | 46 | 47.6 | 220.5 | 193.6 | 161.1 | 266.6 | 37.4 |
| Yeraltısuyu | Ekim- 2017 | En Düşük Değer | 6.87 | 780 | 507 | 28.3 | 60.4 | 10.8 | 52.5 | 233 | 31.5 | 56.6 | 31.5 |
| | | En Yüksek Değer | 7.81 | 5540 | 3601 | 286 | 338 | 547.3 | 1840.4 | 1546.4 | 1136.6 | 2311 | 1136.6 |
| | | Ortalama Değer | 7.30 | 2708 | 1761 | 95.6 | 129.7 | 151.6 | 506.4 | 693.6 | 311.1 | 565.5 | 324.7 |
| | | Standart Sapma | 0.21 | 1197 | 778 | 56.5 | 54.4 | 122.7 | 456.8 | 297.7 | 270.4 | 535.2 | 267.6 |
| TS266 (En Yüksek Değer) | | | 6.5-9.5 | 2500 | - | - | - | - | 200 | 250 | 250 | 50 | |

*İyon konsantrasyonları ve TDS mg/l'dir.

Tablo 3. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyunun iz element analiz sonuçları

| Örnek Türü | Örnekleme Tarihi | İstatistiksel Değerler | Pb | Zn | Cr | Mn | Fe | Cu | Cd | Ni | Al | As |
|--------------------------------|------------------|------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|-------------|----------|-----------|------------|-----------|
| Yeraltısuyu | Haziran-2016 | En Düşük Değer | 0.92 | 17.17 | 0.00 | 26.70 | 129.41 | 12.03 | 1.85 | 0.81 | 5.18 | 0.00 |
| | | En Yüksek Değer | 9.83 | 279.25 | 21.15 | 1071.8 | 11738.44 | 54.76 | 2.11 | 51.05 | 16383 | 425.11 |
| | | Ortalama Değer | 1.73 | 78.30 | 2.24 | 317.23 | 2326.31 | 29.32 | 1.89 | 14.49 | 624.83 | 41.99 |
| | | Standart Sapma | 1.32 | 56.92 | 4.18 | 242.02 | 2561.44 | 10.33 | 0.04 | 10.77 | 2422.42 | 95.5 |
| Yeraltısuyu | Ekim- 2016 | En Düşük Değer | 0.00 | 2.14 | 0.00 | 24.55 | 91,65 | 2.29 | N.A. | 0.00 | 2.47 | 3.82 |
| | | En Yüksek Değer | 29.42 | 944.18 | 57.79 | 929.39 | 25754.19 | 66.41 | N.A. | 1.51 | 86.64 | 8563.35 |
| | | Ortalama Değer | 2.86 | 81.85 | 8.8 | 323.91 | 2021.13 | 32 | N.A. | 0.04 | 10.4 | 334.97 |
| | | Standart Sapma | 5.05 | 204.31 | 8.84 | 255.18 | 3875.74 | 17.81 | N.A. | 0.23 | 12.54 | 1270.71 |
| TS266 (En Yüksek Değer) | | | 10 | - | 50 | 50 | 200 | 2000 | 5 | 20 | 200 | 10 |

* İyon konsantrasyonları µg/l'dir, NA analiz edilemedi.



Şekil 3. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyu örneklerine ait Piper Diyagramı

3.3.1. Stuyfzand Sınıflama Sistemi

Stuyfzand (1986, 1993) Sınıflama Sistemi'nin Kızılırmak delta kıyı alanında uygulanması, akiferde yeraltısuyunun hidrokimyasal özellikleri hakkında temel bilgilerin elde edilmesi ve yeraltısuyunun işletme programının belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Stuyfzand Sınıflama Sistemi, denize komşu olan akiferlerde yeraltısuyu sistemini tanımlamak ve farklı akifer türlerini belirlemek için geliştirilmiştir. Stuyfzand Sınıflama Sistemi, bir akiferdeki farklı su tiplerinin belirlenmesi esasına dayanmakta ve yeraltısuyunda katyon değişim prensibinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu yöntem Stuyfzand tarafından ilk kez 1986 yılında denize yakın konumda bulunan akiferlerde meydana gelebilecek tuzlu su girişimini belirlemek için geliştirilmiştir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde bir akiferde su tipinin belirlenmesi, su örneğinin başlıca ana tür (main type), tür (type), alt tür (sub-type) ve sınıf (class) bileşenlerinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Tablo 4). Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde 6 ana tür, 11 tür, 54 alt tür ve 3 sınıf bulunmaktadır.

Kızılırmak delta kıyı alanında 2017 yılı Haziran ve Ekim aylarında olmak üzere 2 dönemde yapılan toplam 94 adet yeraltısuyu örneğine ait kimyasal analiz sonuçları, Stuyfzand (1986) Sınıflama Sistemi'ne göre aşağıda anlatıldığı gibi sınıflandırılmıştır:

Tablo 4. Stuyfzand Sınıflama Sistemini'nin genel yapısı

| İsim | Alt Bölüm | Parametre | Kod |
|---------|-----------|---|--|
| Ana tür | 6 | Cl | F, Fb, B, Bs, S, H |
| Tür | 11 | Toplam Sertlik | X,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 |
| Alt tür | 54 | Baskın anyon-katyon | NaCl, NaSO ₄ , NaHCO ₃ , NaKarışım, KNO ₃ , NH ₄ SO ₄ , CaCl, CaSO ₄ , CaNO ₃ , CaHCO ₃ , CaKarışım, MgCl, MgHCO ₃ , MgKarışım, AlSO ₄ , FeSO ₄ |
| Sınıf | 3 | (Na ⁺ +K ⁺ +Mg ²⁺) düzeltme | -,0,+ |

Ana Tür (Cl Konsantrasyonu)

Yeraltısuyunun “ana tür” özelliği içerdiği Cl konsantrasyonuna (mg/l) göre belirlenmektedir. Buna göre su örnekleri F (tatlı) ile H (çok tuzlu) arasında değişen kodlara sahip olmaktadır. Kızılırmak delta kıyı bölgesinde 2 döneme ait 94 adet yeraltısuyu örneği ana tür özellikleri açısından irdelendiğinde, örneklerin;

F (tatlı): Cl < 150 mg/l

F (tatlı) - Fb (az tuzlu): 150 – 300 mg/l

B (az tuzlu): 300 – 1000 mg/l

B (az tuzlu) – Bs (tuzlu): 1000 – 10 000 mg/l su türlerinde olduğu görülmektedir. Yeraltısu örneklerinin yalnızca %12’si “tatlı” su sınıfında yer almakta; geri kalan örnekler ise “az tuzlu” ve “tuzlu” (Fb, B, Bs) sınıfında bulunmaktadır.

Tür (Toplam Sertlik)

Yeraltısının “tür” özelliği Toplam Sertlik (TS) değerine göre belirlenmektedir. Toplam Sertlik değerine göre yeraltısu örnekleri X (çok yumuşak) ile 9 (çok fazla sert) arasında değişmektedir. Kızılırmak deltasında 94 adet yeraltısu örneği Toplam Sertlik değerine göre sınıflandırıldığında örneklerin;

1 (kısmen sert): 10 – 20 (°F)

2 (sert): 20 – 40 (°F)

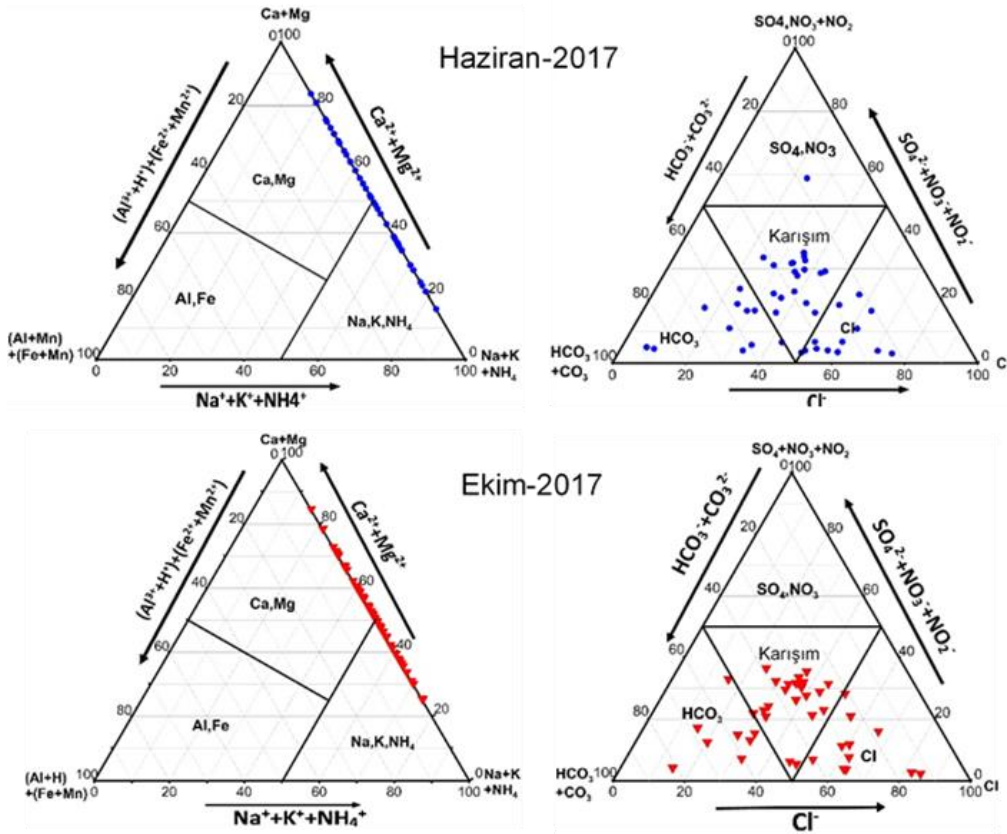
3 (çok sert): 40 – 80 (°F)

4 (çok fazla sert): > 80 (°F) su türünde olduğu belirlenmiştir.

Yeraltısının %82’si “çok sert” ve “çok fazla sert” su türündedir.

Alt Tür (Anyon-Katyon)

Yeraltısının “alt tür” özelliği hakim anyon-katyon çiftine göre belirlenmektedir. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısının alt türünü belirlemek için Stuyfzand tarafından geliştirilen üçgen diyagramlar kullanılmaktadır. Analiz sonuçlarının üçgen diyagramlara yerleştirilmesi sonucunda kıyı alanında yeraltısının NaKarışım, MgKarışım, NaCl, CaHCO₃, NaHCO₃ ve MgHCO₃ su türlerinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısu örneklerine ait hakim anyon-katyon çiftleri

Şekil 4 incelendiğinde yağışlı sezon sonu olan Haziran-2017 ve kurak sezon sonu olan Ekim-2017 yeraltısu örneklerinin NaHCO₃, NaCl, MgKarışım, NaKarışım, CaHCO₃ ve MgHCO₃ su türünde olduğu görülmektedir. Her iki döneme ait grafikte yeraltısu örneklerinde anyon-katyon çiftlerinin birbirine benzer olduğu göze çarpmaktadır.

Sınıf (Katyon Değişim Kodu)

Yeraltısının “sınıf” özelliği katyon değişim kodu ile belirlenmektedir. Katyon değişim kodunu belirlemek için yeraltısu analiz sonucunda (Na⁺+K⁺+Mg²⁺) için düzeltme yapılarak bir kod tanımlanmaktadır. Bunun sonucunda yeraltısu örneği (Na⁺+K⁺+Mg²⁺)₊, (Na⁺+K⁺+Mg²⁺)₋ ve (Na⁺+K⁺+Mg²⁺)₀ olarak isimlendirilmektedir. Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısu

örneklerinin katyon değişim kodu + ve 0 olarak belirlenmiştir. Her ne kadar katyon değişim kodları + ve 0 olarak hesaplanırsa da yeraltısuyu örneklerinde alt türlerin NaCl, MgKarışım ve NaKarışım olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ana tür açısından yeraltısuyu örneklerinin çoğunlukla Fb, B ve Bs olduğu görülmektedir. Bu durum yine deniz suyu girişimine işaret etmektedir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi Sonuç Haritaları

Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyu örneklerinin Haziran-2017 ve Ekim-2017 dönemleri kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne elde edilen sonuç tablosu Tablo 5'te, Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne ait sonuç haritaları ise Şekil 5'te verilmektedir.

Tablo 5. Kızılırmak delta kıyı alanı için hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi tablosu

| Kuyu No | Haziran-2017 | Ekim-2017 | Kuyu No | Haziran-2017 | Ekim-2017 |
|---------|-------------------------|-------------------------|---------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Fb3-NaKarışım+ | B3-CaKarışım+ | 26 | Fb3-MgKarışım+ | F3-CaHCO ₃ + |
| 2 | Fb3-CaKarışım+ | B4-MgKarışım+ | 27 | F3-CaHCO ₃ φ | Fb3-CaKarışım+ |
| 3 | F1-CaHCO ₃ + | B4-MgKarışım+ | 28 | F2-CaHCO ₃ + | Fb3-CaHCO ₃ + |
| 4 | B3-NaKarışım+ | B4-MgKarışım+ | 29 | Fb3-MgHCO ₃ + | Fb3-MgKarışım+ |
| 5 | B4-NaCl+ | Bs4-NaCl+ | 30 | B3-NaHCO ₃ + | Fb2-NaKarışım+ |
| 6 | B4-NaKarışım+ | Bs5-NaKarışım+ | 31 | Fb3-MgKarışım+ | B3-MgKarışım+ |
| 7 | B3-MgKarışım+ | B4-MgKarışım+ | 33 | Bs4-NaCl+ | B5-MgKarışım+ |
| 8 | Fb3-MgKarışım+ | B4-NaHCO ₃ + | 34 | B2-NaClφ | B3-NaClφ |
| 9 | B3-CaKarışım+ | B3-NaKarışım+ | 35 | B3-NaKarışım+ | Bs5-NaCl+ |
| 10 | B2-NaCl+ | F3-NaHCO ₃ + | 36 | B2-NaCl+ | Bs4-NaCl+ |
| 11 | F1-CaHCO ₃ φ | Bs5-NaCl+ | 37 | B2-NaCl+ | B3-NaClφ |
| 12 | F3-CaSO ₄ + | B4-MgKarışım+ | 38 | B3-NaClφ | Bs4-NaCl+ |
| 13 | B3-NaKarışım+ | Bs4-NaCl+ | 39 | Bs3-NaClφ | Bs4-NaCl+ |
| 14 | B3-NaKarışım+ | B4-NaKarışım+ | 40 | B2-NaClφ | B3-NaCl+ |
| 15 | Fb3-MgKarışım+ | 3-MgKarışım+ | 41 | B3-NaCl+ | Fb4-NaHCO ₃ + |
| 17 | B3-CaClφ | B3-NaClφ | 42 | Fb4-CaHCO ₃ + | - |
| 18 | B3-NaKarışım+ | B3-MgKarışım+ | 43 | Fb3-MgHCO ₃ + | Fb3-MgHCO ₃ + |
| 20 | B2-NaCl+ | B3-CaKarışım+ | 44 | Fb4-CaKarışım+ | B4-CaKarışım+ |
| 21 | Fb3-CaKarışım+ | B4-MgKarışım+ | 45 | Fb1-NaCl+ | F2-CaHCO ₃ + |
| 22 | Fb3-CaKarışım+ | B4-MgKarışım+ | 46 | F2-CaHCO ₃ φ | B2-NaKarışım+ |
| 23 | Fb3-MgKarışım+ | B4-MgKarışım+ | 47 | Fb3-MgHCO ₃ + | Fb3-MgHCO ₃ + |
| 24 | Fb3-NaKarışım+ | Fb3-MgKarışım+ | 48 | - | Fb3-MgKarışım+ |
| 25 | F2-CaHCO ₃ + | F2-CaHCO ₃ + | | | |

Şekil 5 incelendiğinde Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyunda başlıca 3 su tipinin belirlendiği görülmektedir. Bunlar 1.CaMgHCO₃ ve MgKarışım, 2.NaKarışım ve NaHCO₃, 3.NaCl su tipleridir. Kızılırmak delta kıyı alanının orta ve batı kesimleri hem Haziran-2017 hem de Ekim-2017 sonuçlarına göre CaMgHCO₃ ve MgKarışım su tipindedir. Alanın doğu kesimlerinde ise NaKarışım, NaHCO₃ ve NaCl su tipleri izlenmektedir.

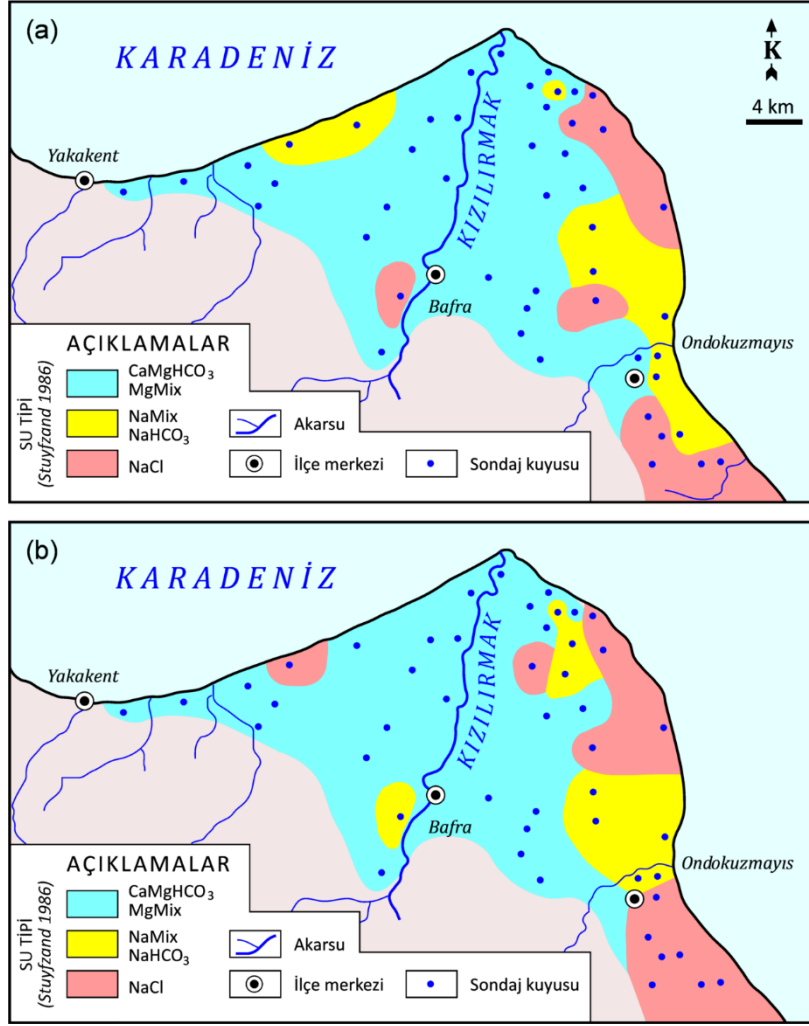
4. İrdeleme ve Sonuçlar

Bu çalışma Kızılırmak delta kıyı alanında yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve deniz suyu girişimi etkilerinin

araştırılması amacı ile gerçekleştirilmiştir. Deniz suyu girişiminin belirlenmesi için Stuyfzand Sınıflama Sistemi kıyı akiferlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada da delta alanında 2017 yılında Haziran ve Ekim aylarında yapılan hidrokimyasal analiz sonuçları kullanılarak Stuyfzand Sınıflama Sistemi uygulanmıştır.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi, denize sınırı olan bir yeraltısuyu sisteminde yıkanmanın (freshening) veya tuzlanmanın (salting) meydana gelme şeklini belirlemek için kullanılmaktadır. Bir yeraltısuyu sisteminde tuzlanmanın meydana gelmesi için başlangıçta su tipinin CaHCO₃ ve CaKarışım olması ve daha sonra su tipinin sırasıyla MgKarışım, MgHCO₃, NaKarışım, NaHCO₃, NaCl

su tiplerine doğru adım adım ilerlemesi gereklidir. Yine aynı şekilde ana tür olan Cl konsantrasyonunun F'den H'ye kadar ilerlemesi gerekir.



Şekil 5. Kızılırmak delta kıyı alanı yeraltısuyu örneklerine ait Stuyfzand Sınıflama Sistemi haritaları (a)Haziran-2017 (b)Ekim-2017

Bu çalışmada 2017 yılında yağışlı ve kurak dönemlerde yapılan iki analiz sonucu kullanılarak Kızılırmak delta kıyı alanı için geliştirilen modelde su tiplerinin yukarıda belirtilen sıra ile geliştiği yani tuzlanmanın son aşaması olan NaCl'ye ulaşıldığı belirlenmiştir. Kızılırmak delta alanında yeraltısuyunun hidrokimyasal gelişimi bölgenin batısında CaHCO₃ ve CaKarışım su tipinden doğuya gidildikçe NaCl su tipine doğru değişmekte ve deniz suyu girişiminin etkisi açıkça görülmektedir. Bu durum yeraltısuyunun kimyasal bileşiminin, tatlı yeraltısuyu ile tuzlu deniz suyunun karışması esnasında meydana gelen kation değişim reaksiyonlarına bağlı olarak değiştiğine işaret etmektedir. Delta alanında yeraltısuyu bileşiminin NaCl olduğu alanlar çok belirgin bir deniz suyu karışımının olduğunu; MgKarışım, NaKarışım ve NaHCO₃ olduğu bölgeler ise tatlı yeraltısuyu ile deniz suyu arasında

geçiş olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçlarında Cl içeriklerinin ve EC değerlerinin oldukça yüksek olması da bu sonuçları desteklemektedir.

Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre Kızılırmak delta kıyı alanında 2017 yılında yağışlı ve kurak dönemde analizi yapılan yeraltısuyu örneklerinin %46'sı doğrudan deniz suyu girişiminin etkisi altındadır. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre belirlenen su tiplerinde kation değişim kodlarının birçoğunun + olduğu dikkat çekmektedir. + kod burada yeraltısuyunda bir yıkanmaya işaret etmemekte; Mg⁺⁺ ile ilişkilendirilmektedir. Bölgede Mg içeren kayaçların çözünmesi ile yeraltısuyuna geçmekte ve kation değişim kodunun + olmasına neden olmaktadır.

Ayrıca Cl konsantrasyonunun da çoğunlukla B ve Bs olduğu görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde

Kızılırmak delta kıyı alanında deniz suyu girişiminin yaygın olarak bölgenin doğu kesimlerinde meydana geldiği görülmektedir. Deltanın batı kesimlerinde tuzlanmanın etkisi azdır. Fakat delta alanında tuzlanmanın bölgenin doğusundan batısına doğru ilerlediği söylenebilir. Ayrıca Haziran ve Ekim aylarında yapılan analiz sonuçlarından hazırlanan Stuyfzand Sınıflama Sistemi haritalarında çok farklılığın olmaması yani her iki haritada tuzlanmanın meydana geldiği bölgelerin birbirine benzer olması deltada yeraltısuyunun aşırı miktarda tüketildiğinin ve yağışlı dönemde meydana gelen beslenmenin etkisinin hissedilemediğinin göstergesidir.

Sonuç olarak, Kızılırmak delta kıyı alanında tuzlanma süreci temel olarak deniz suyu girişiminden kaynaklanmaktadır. Özellikle delta alanının doğu kesimlerinde açılmış olan sondaj kuyularından su çekilerek tarımsal sulama faaliyetlerinin yürütülmesi ve delta alanında aşırı miktarda yeraltısuyunun çekilmesi tatlı yeraltısuyunun deniz suyu girişimi ile tuzlanmasına neden olmaktadır.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Bu çalışma, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma Projeleri birimi (AR-GE) tarafından 2016-2 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Al Farrah, N., Martens, K. ve Walraevens, K., 2011. Hydrochemistry of the Upper Miocene-Pliocene-Quaternary Aquifer Complex of Jifarah Plain, NW-Libya. *Geologica Belgica*, 14/3-4, 159-174.
- Arslan, H., Cemek, B. ve Demir, Y., 2012. Determination of Seawater Intrusion via Hydrochemicals and Isotopes in Bafra Plain, Turkey. *Water Resources Management*, 26, 3907-3922.
- Ayyıldız Turan, N. ve diğ., 2018. Kızılırmak Deltası Kıyı Bölgesi Yeraltısularında Kalite ve Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. 2016-2, Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü AR-GE Projesi.
- FAO., 1997. Seawater Intrusion in the Coastal Aquifers. Guidelines for Study Monitoring and Control. FAO. Rome.
- Fırat Ersoy, A., Ersoy, H. ve Gültekin, F., 2007. Nitrate, Nitrite and Ammonia Contamination in Ground

Water: A Case Study from Gümüşhacıköy Plain, Turkey. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 1, 107 – 118.

- Fırat Ersoy, A. ve Gültekin, F., 2008. Modeling Groundwater Flow in the Agricultural Area of Gümüşhacıköy (Amasya, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 529-535.
- Fırat Ersoy, A. ve Karaca, Z., 2019. Determination of Groundwater Parameters for Drinking and Agricultural Use in the Coastal Region of Engiz Aquifer System, Samsun (NE Turkey). *Arabian Journal of Geoscience*, 12, 198.
- Gaaloul, N., Pliakas, F., Kallioras, A., Schuth, C. ve Marinos, P., 2012. Simulation of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers: Forty-Five Years Exploitation in an Eastern Coast Aquifer in NE Tunisia. *Open Hydrology Journal*, 6, 31-44.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A. ve Ersoy, H., 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29(1), 21-34.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., Hatipoğlu, E. ve Celep, S., 2013. Quality Assessment of Surface and Groundwater in Solaklı Basin (Trabzon, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 213-224.
- Kelly, W.P., 2005. Seawater intrusion Topic paper. Island Country Health Department.
- Kim, R., Yum, B. ve Chang, H., 2002. Hydrochemical and Isotopic Characteristics for Salinization of a Shallow Groundwater in a Coastal Area. Youngkwang, Korea. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft The Netherlands.
- Leboeuf, P.P., 2004. Seawater Intrusion and Associated Processes in a Small Coastal Complex Aquifer (Castell De Ferro Aquifer Spain). *Applied Geochemistry*, 19(10), 1517-1527.
- Lee, J.Y. ve Song, S.H., 2007. Evolution of Groundwater Quality in Coastal Areas: Implications for Sustainable Agriculture. *Environmental Geology*, 52, 1231-1242.
- Montety, V., Radakovitch, O., Vallet-Coulomb, C., Blavoux, B., Hermitte, D. ve Valles, V. 2008. Origin of Groundwater Salinity and Hydrogeochemical Processes in A Confined Coastal Aquifer: Case of The Rhône Delta (Southern France). *Applied Geochemistry*, 23, 2337–2349.
- Najaib, S., Fadili, A., Mehdi, K., Riss, J. ve Makan, A., 2017. Contribution of Hydrochemical and Geoelectrical Approaches to Investigate Salinization Process and Seawater Intrusion in

- the Coastal Aquifers of Chaouia, Morocco. *Journal of Contaminant Hydrology*, 198, 24-36.
- Nair, I. S., Pajaveni, S P., Schneider, M. ve Elango, L., 2015. Geochemical and Isotopic Signatures for the Identification of Seawater Intrusion in an Alluvial Aquifer. *Journal of Earth System Science*, 6, 1281-1291.
- Richter, B.C. ve Kreitler, C.W., 1993. *Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground-Water Salinization*, CRC Press, 258 p.
- Sappa, G. ve Luciani, L., 2015. Sustainability of Groundwater Management in the Coastal Plain of Dar es Salaam (Tanzania). *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*. 35, 264-267.
- Stuyfzand, P.J., 1986. A New Hydrogeochemical Classification of Water Types: Principles and Application to the Coastal Dunes Aquifer System of the Netherlands. *Proceedings 9th Sea Water Intrusion Meeting (SWIM)*, Delft (The Netherlands), 641-656.
- Stuyfzand, P.J., 1993. *Hydrochemistry and Hydrology of the Coastal Dune Area of the Western Netherlands*. PhD Dissertation, Free Univesity (VU), Amsterdam, 90-74741-01-0. 366 p.
- TSE 266, 2005. *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*, Ankara.