

Deniz suyu girişi etkisinde bulunan yeraltısuyunda hidrojeokimyasal değişimin izlenmesi: Çarşamba akiferi (Samsun) örneği

Monitoring hydrogeochemical change in groundwater under the influence of seawater intrusion: the case of Çarşamba aquifer (Samsun)

Arzu FIRAT ERSOY^{*1} , Abdourazakou Maman HASSAN² 

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

²Maden Sanayi ve Jeoloji Yüksek Okulu (EMİG), Yer bilimleri Bölümü, 732, Niamey, Nijer

• Geliş tarihi / Received: 25.04.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 27.06.2024

Öz

Bu çalışma Karadeniz Bölgesi'nin orta Karadeniz bölümünde yer alan Çarşamba akiferinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılmasını amaçlamaktadır. Çarşamba akiferi yeraltısuyunda Temmuz-2019 ve Aralık-2019 döneminde 33 sondaj kuyusunda örnekleme yapılarak, yeraltısuyunda fiziksel parametreler, majör anyon ve katyonlar ile iz element analizleri yapılmıştır. Buna göre; yeraltısuyunda pH değerleri kıyı kesimlerde yüksek değerler almakta, güney kesimlere doğru ise daha düşük değerler almaktadır. Denize yakın konumda bulunan sondaj kuyularından elde edilen yeraltısuyu örneklerinde yüksek EC değerleri elde edilmektedir. Çarşamba akiferi yeraltısuyunda Na⁺, Cl⁻ ve SO₄²⁻ içeriklerinin Dünya Sağlık Örgütü ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartlarına göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, akiferde tarımsal sulama yapmak amacıyla yeraltısuyunun çekilmesi ve bölgede gerçekleştirilen endüstriyel faaliyetler olduğu düşünülmektedir. Çarşamba akiferi yeraltısuyu iz elementler yönünden incelendiğinde, Ni, Mn, As, Al ve Cr içeriklerinin bazı kuyu sularında İnsani Tüketim Amaçlı Sular ve Dünya Sağlık Örgütü'nün standartlarına uygun olmadığı görülmektedir. Yüksek iz element içeriklerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden, tarımsal faaliyetlerden ve fosil yakıtların yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çarşamba akiferinde deniz suyu girişiminin etkisinin olduğu kıyıya yakın konumda bulunan sondaj kuyularında yeraltısuyu çekimleri kontrol altında tutulmalı ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre kullanımına sınırlamalar getirilmelidir. Yüksek iz element içeriklerini denetleyebilmek amacıyla sanayi tesislerinden meydana gelebilecek kirlenmeyi önlemeye yönelik çalışmalar yürütülmelidir.

Anahtar kelimeler: Çarşamba akiferi, Hidrojeokimya, Samsun, Yeraltısuyu

Abstract

This study aims to investigate the hydrogeologic and hydrogeochemical properties of the Çarşamba aquifer located in the Central Black Sea Section of the Black Sea Region. The groundwater of the Çarşamba aquifer was sampled in 33 boreholes between July-2019 and December-2019 and physical parameters, major anions and cations and trace element analyses were performed in the groundwater. According to the results, pH values in groundwater are higher in the coastal areas and lower in the southern areas. High EC values are obtained in groundwater samples obtained from boreholes located close to the Blacksea. It was determined that Na, Cl and SO₄ contents in the groundwater of the Çarşamba aquifer are high according to the standards of the World Health Organization and the Regulation on Water Intended for Human Consumption. The reason for this is thought to be groundwater consumption for agricultural irrigation in the aquifer and industrial activities carried out in the region. When the groundwater of the Çarşamba aquifer is examined in terms of trace elements, it is seen that the Ni, Mn, As, Al and Cr contents in some well waters do not comply with the standards of the Standard for Water Intended for Human Consumption and the World Health Organization. High trace element contents are thought to be caused by industrial facilities, agricultural activities and fossil fuel combustion in the region. Groundwater withdrawals should be kept under control in boreholes located close to the coast where seawater intrusion is effective in the Çarşamba aquifer and restrictions should be imposed on the use of fertilizers used in agricultural activities. In order to control the high trace element contents, studies should be carried out to prevent pollution from industrial facilities.

Keywords: Çarşamba aquifer, Hydrogeochemistry, Samsun, Groundwater

*Arzu FIRAT ERSOY; arzufirat@gmail.com

1. Giriş

1. Introduction

Yeryüzünde yüzey ve yeraltısularının esas kaynağını oluşturan yağışın dünya ortalaması 1000 mm iken bu rakam Türkiye’de 646 mm’dir. Bu durum Türkiye’nin su kaynakları bakımından zengin ülkeler arasında yer almadığını göstermektedir. Bu nedenle Türkiye’de su kaynaklarının rezervi tükenmeden ve kaliteyi bozmadan yararlanma zorunluluğu artmaktadır. Türkiye’de, artan nüfusla, kişi başına düşen su potansiyeli her yıl biraz daha azalmaktadır.

Günümüzde en önemli çevresel sorunlardan biri, yeraltısuyunun kirlenmesidir. Yeraltısuyunun aşırı pompalanması, kontrolsüz tarım uygulamaları, sanayileşme gibi birçok faktör küresel su kaynaklarının tükenmesine yol açsa da yeraltı su kaynaklarını kirleten en önemli faktörlerden biri tuzlanmadır. Deniz suyu girişimi, halitin çözünmesi, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar dahil olmak üzere çeşitli potansiyel yeraltı suyu tuzlanması kaynakları bulunmaktadır (Al Farrah vd., 2011). Özellikle kıyı akiferlerinde aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda, yeraltısuyu seviyesi düşmekte ve bunun sonucunda da deniz suyu iç bölgelere doğru hareket etmektedir (Barlow vd., 2003). Kıyı bölgesinde, deniz suyu girişimi yeraltı suyunun tuzlanması ana kaynağıdır ve çoğu zaman bu alanlardaki kuyuların terk edilmesini gerektirir.

Deniz suyu girişimine maruz kalmış akiferlerde bulunan yeraltısuyu ile sulama yapılan tarım alanlarında toprakta tuzlanma ve sodyum içeriğinin artması, toprağın verimliliğini azalması ve toprağın geçirimsiz hale gelmesi gibi problemler yaşanmaktadır. Kızılırmak Delta alanında yeraltısuyu üzerinde yapılan çalışmalarda yeraltısuyunun deniz suyu girişimi etkisi ile karşı karşıya bulunduğu ve kıyıya yakın kuyularda yeraltısuyu çekiminin yapılmaması gerektiği belirlenmiştir (Fırat Ersoy vd., 2020).

Deniz suyu girişiminden başka, su kaynaklarını etkileyen çok çeşitli kirleticiler arasında ağır metaller, düşük konsantrasyonlarda bile güçlü toksisiteleri göz önüne alındığında özellikle endişe duyulmaktadır. Toprakların aşırı ağır metal kirliliği, metallerin bitkiler ve su yoluyla besin zincirine girmesine neden olmakta ve insan sağlığı açısından olası bir risk oluşturmaktadır. Ağır metalleri diğer toksik kirleticilerden ayıran en önemli özelliklerinden biri, çevrede biyolojik olarak parçalanamamalarıdır. Metallerden bakır, demir, manganez, nikel ve çinko gibi bazıları hayvanlar ve bitkiler için esansiyeldir; krom, kadmiyum ve kurşun gibi diğerlerinin ise hiçbir önemi yoktur. Özellikle yeraltı suyunda ağır metal konsantrasyonunun izlenmesi önemlidir çünkü sağlık sorunlarının, özellikle de su kaynaklı hastalıkların giderilmesine yardımcı olabilir (Hooda vd., 1998; Hopkins vd., 2007).

Türkiye’de Karadeniz’in en büyük 2 ovasından bir tanesi Samsun ili sınırları içinde yer alan Çarşamba Ovası’dır. Çarşamba Ovası bu nedenle yoğun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bir bölge konumundadır. Bu bölge Karadeniz kıyısında yer aldığından, aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda deniz suyu girişimi problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca tarım alanlarında aşırı derecede gübre kullanımı da yeraltısularının nitrat, nitrit ve amonyum açısından kirlenmesine neden olmaktadır.

Bu makalede, Türkiye’nin en önemli kıyı akiferlerinden biri olan Çarşamba akiferinde, akiferin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda Çarşamba akiferinden yeraltısuyu ve deniz suyu örnekleri alınarak sıcaklık, EC, TDS, pH, majör kation (Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2}), majör anyon (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), kirlilik parametre (NO_2^- , NO_3^- ve NH_4^+), iz element (Ni, Mn, As, Al ve Cr) analizleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar kullanarak yeraltısuyunda bulunan majör iyon ve iz element içerikleri belirlenmiş, ağır metal kirlilik indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) değeri belirlenmiştir. İçme ve kullanma suyu açısından sorun oluşturan ağır metal ve diğer kirlilik parametrelerinin alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır ve bunun sonucunda problemin fazla olduğu bölgeler tespit edilmiştir.

2. Çalışma alanı

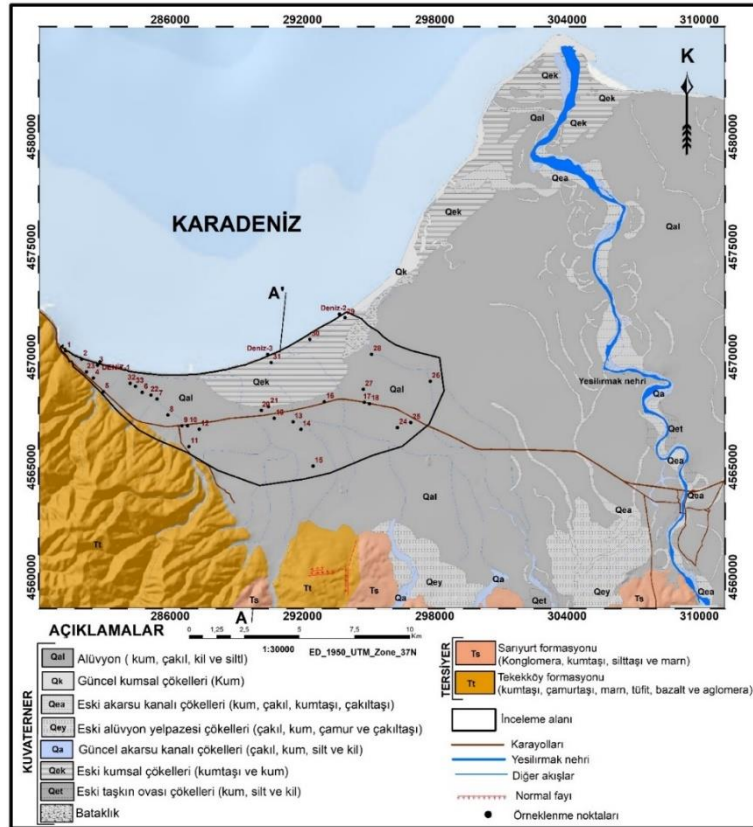
2. Study area

Çalışma alanı Türkiye’nin Karadeniz Bölgesi’nin Orta Karadeniz Bölümü’nde Çarşamba Ovası’nda, Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Çarşamba Ovası

4. Jeoloji ve hidrojeoloji

4. Geology and hydrogeology

Çalışma alanı, Türkiye'nin tektonik birliklerinden olan Doğu Pontidler'in batısında yer almaktadır. Bölgede daha önce 1985 yılında MTA tarafından hazırlanan jeoloji haritası incelendiğinde inceleme alanında ve yakın çevresinde yaşlıdan birim olarak Tersiyer yaşlı kumtaşı, çamurtaşı, marn, tüfit, bazalt ve aglomeralardan oluşan Tekkeköy Formasyonu ve konglomera, kumtaşı, silttaşı ve marnlardan oluşan Sarıyurt Formasyonu yüzeylenme vermektedir. Bölgedeki en genç jeolojik birimler Kuvaterner yaşlı Güncel taşkın ovası çökelleri, Güncel kumsal çökelleri, Güncel akarsu kanalı çökelleri, Eski alüvyon yelpazesi çökelleri, Eski akarsu kanalı çökelleri, Eski kumsal çökelleri ve Eski taşkın ovası çökelleri olarak ayrılanmıştır (Yılmaz ve Tüysüz, 1984) (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası

Figure 2. Geological map of the study area

Çarşamba Ovasında bulunan ve etkin rol oynayan en önemli akarsu Yeşilirmak nehridir. Bu nehir 36000 km² drenaj havzasına sahip olup Sivas'ın Koyulhisar ilçe merkezinin güneydeki Kösedag'dan doğar ve Çarşamba delta ovasını iki parçaya ayırarak Cıva burnundan Karadeniz'e dökülür. Yeşilirmak nehri 5727 hm³/yıl ortalama akım değerlerine sahip olup en yüksek taşıdığı su miktarı Nisan ve Mayıs aylarında, en düşük değerleri Ağustos ayında sırasıyla 1109,7 hm³ ile 148,2 hm³ olarak ölçülmüştür. Yeşilirmak'ın Nisan ayı debisi 60,8 m³/s ile 589 m³/s arasında, Ağustos ayı debisi de 1,18 m³/s ile 61,6 m³/s arasında değişmektedir (DSİ, 1993).

Yeşilirmak sol sahilinde akifer tavan derinliği genel olarak 4 ile 40 m arasında; kalınlığı 1 ile 20 m arasında değişmektedir. Akifer seviyeleri, genelde çakıl, killi-kumlu çakıl, silt-kum, killi-kavkılı çakıl ve siltli kumdan oluşmakta ve sahalara göre serbest veya yarı basınçlı özellikler göstermektedir (DSİ, 1993).

Yeşilirmak sağ sahilinde ise akifer derinliği 5 ile 58 m arasında; kalınlığı ise 2 ile 15 m arasında değişmektedir. Akifer seviyeleri genellikle çakıl, killi-kumlu çakıl, siltli-kavkılı kum, killi-kavkılı çakıl, siltli kum ve bloklu kum-çakıllardan oluşmakta ve sahalara göre basınçlı-yarı basınçlı veya serbest akifer özellikleri göstermektedir. Bu bölgede yer alan Çarşamba-Terme arasında yelpaze şeklinde kuzeye doğru açılan saha,

Yeşilirmak sağ sahilinin basınçlı-yarı basınçlı bölümünü oluşturmakta bunun dışında kalan saha serbest akifer seviyelerinden meydana gelmektedir (DSİ, 1993).

İnceleme alanında bulunan Tekkeköy Formasyonu'nun kumtaşı seviyeleri, altere olmuş bazalt ve aglomera seviyeleri içinde gelişmiş olan birbirleriyle bağlantılı çatlaklar ve kırık sistemleri yeraltısuyu taşımaktadır. Birim içinde bulunan çamurtaşı, marn, masif bazalt ve aglomera gibi birimler yeraltısuyu bulundurmeyen geçirimsiz ortamları oluşturmaktadır. Bu nedenle Tekkeköy Formasyonu yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır (DSİ, 1993).

Sarıyurt Formasyonu'nun üst ve orta kesimlerinde bulunan kumtaşları yeraltısuyu bulunduran ortamları oluştururken marn ve silttaşları geçirimsiz ortamı oluşturulmaktadır. Birimin alt kısımlarda bulunan çakıltaşları ile üzerine çakıltaşlarını birkaç düzey halinde içeren kumtaşları geçirimli birimler olup yeraltısuyu taşıyabilecek bir ortam oluşturmaktadır. Bu nedenle Sarıyurt Formasyonu yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır (DSİ, 1993).

İnceleme alanındaki akifere ait hidrolik parametreler (K ve T) DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularında yapılan sabit seviyeli pompaj deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan parametrelere göre akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı (K) $2,51 \times 10^{-3}$ - $1,27 \times 10^{-1}$ cm/s ve iletimlilik katsayısı (T) $5,01 \times 10^{-4}$ - $2,29 \times 10^{-2}$ m²/s arasında değişmektedir.

Çarşamba Ovası'ndaki akifer seviyeleri, bölgenin jeolojik birimlerinin litolojik ve hidrodinamik özelliklerinden dolayı yağıştan, yüzeysel akıştan ve akarsu yatağından alüvyona süzülme yoluyla beslenmektedir. Ovanın jeolojik haritası incelendiğinde; alüvyonun kuzeyden Karadeniz, güneyden de Eosen yaşlı fliş ve volkanik kökenli kayalar ile Neojen yaşlı detritik seri tarafından çevrelendiği görülmektedir. Eosen ve Neojen yaşlı jeolojik formasyonlar litolojik ve hidrodinamik özellikleri nedeniyle ovadaki yeraltısuyu rezervini sadece yüzeysel akış yönünden etkilemektedir. Çarşamba akiferine ait hidrojeoloji haritası Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası
Figure 3. Hydrogeological map of the study area

5. Hidrojeokimya

5. Hydrogeochemistry

Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, izotop hidrojeolojisinin belirlenmesi, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması, suların kirlilik parametrelerinin incelenmesi, suların sulamaya ve içmeye uygunluğunun incelenmesinin belirlenmesi amacı ile 2019 yılında yağışlı ve kurak dönemde yeraltısuyu örnekleme yapılmıştır. Kurak dönemi temsil eden 2019-Temmuz ayında 33 adet yeraltısuyu örneği ve yağışlı dönemi temsil eden 2019-Aralık ayında 30 adet yeraltısuyu alınarak kimyasal analizler yaptırılmıştır. Kimyasal analizler kapsamında; pH, EC, TDS ve TS, major katyon (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}), major anyonlar (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), kirlilik parametreleri (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), iz element (Ni, Mn, As, Al ve Cr) analizleri ilgili laboratuvarlarda yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ile karşılaştırılmıştır.

5.1. Fiziksel parametreler

5.1. Physical parameters

Tablo 1’de Çarşamba akiferi yeraltısuyunun 2019-Temmuz ve 2019-Aralık döneminde yapılan fiziksel parametrelerine ait analiz sonuçları verilmektedir. Tablo 1 incelendiğinde su örneklerinin pH değerlerinin 2019-Temmuz döneminde 6,5-8 arasında ve 2019-Aralık döneminde 6,5-7,9 arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanının kıyı kesimlerine, kuzeyine ve kuzeybatısına doğru giderken pH değerlerinin arttığı görülürken güneyinde ve güneydoğusunda azaldığı görülmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre değerlendirildiğinde tüm yeraltısuyu örneklerinin pH değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği’ne göre ise I. ve II. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır. Su örneklerinin EC değerleri Temmuz ayında 587 ile 3940 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında; Aralık ayında ise 584 ile 2007 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Temmuz ve Aralık aylarında izlenen yüksek EC değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki sondajlarda izlenmektedir. Analiz sonuçları TDS açısından incelendiğinde, su örneklerinin TDS içeriklerinin 2019-Temmuz ayında 399,16 ile 2679,2 mg/l arasında; 2019-Aralık ayında ise 397,12 ile 1364,76 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) TDS üst sınır değerini 1000 mg/l olarak belirlemiştir. Buna göre; Temmuz ayında 13, 14, 22, 26 ve 29 nolu kuyularda ve Aralık ayında 16, 22, 25 ve 28 nolu kuyularda ölçülen TDS değerleri Dünya Sağlık Örgütü’nün sınır değerini aştığı görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)’ne göre Temmuz ayında örneklerin TDS açısından I., II. ve III. Sınıf su oldukları belirlenmiştir. Çarşamba akiferinden alınan su örneklerinin Toplam Sertlik değerleri Temmuz ayında 21 ile 85,55 F^o arasında; Aralık ayında 10,15 ile 81,70 F^o arasında değişmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) Toplam Sertlik için sınır değeri 50 F^o olarak belirlemiştir. Buna göre 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 16, 17, 18, 22, 24, 25, 26, 31, 32 ve 33 nolu yeraltısuyu örneklerinin Toplam Sertlik değerleri standartlarda verilen sınır değerin üzerindedir.

Tablo 1. Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz ve 2019-Aralık dönemine ait fiziksel parametreler

Table 1. Physical parameters of the Çarşamba aquifer for the period 2019-July and 2019-December

Kuyu No	Temmuz 2019				Aralık 2019			
	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	TS (°F)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	TS(°F)
1	7.54	834	567.12	22.9	7.44	840	571.2	34.05
2	7.67	1109	754.12	41.15	6.97	1251	850.68	63.05
3	7.91	745	506.6	30.75	7.33	769	522.9	37.6
4	7.65	1010	686.8	32.15	6.99	1033	702.44	44.15
5	7.47	1342	912.56	43.45	7.16	1418	964.24	54.8
6	7.17	1027	698.36	35.65	6.92	1067	725.56	51
7	7.13	1399	951.32	48.4	6.96	1383	940.44	58.15
8	7.16	1272	864.96	47.2	7.13	1244	845.92	56.3
9	6.93	872	592.96	49.35	6.64	868	590.24	46.75
10	6.96	1183	804.44	70.35	6.55	1436	976.8	81.7
11	6.78	1222	830.96	43.6	6.72	1186	806.48	60.2
12	6.87	811	551.48	37.5	6.98	718	488.24	40.55
13	7.22	3940	2679.2	85.55	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.

Tablo 1'in devamı
Table 1 continued

Kuyu No	Temmuz 2019				Aralık 2019			
	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	TS ($^{\circ}\text{F}$)	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (mg/l)	TS ($^{\circ}\text{F}$)
14	7.23	1737	1181.16	48	7.13	984	669.12	45.5
15	7.37	718	488.24	27.6	7.31	716	486.88	36.1
16	7.22	1418	964.24	31.85	6.89	1568	1066.24	70.1
17	6.73	1290	877.2	51.7	6.74	1265	860.2	68.3
18	6.72	1296	881.28	54.9	6.65	1311	891.48	71.9
19	7.39	1195	812.6	35.75	7.42	899	611.32	34.35
20	7.25	903	614.04	49.45	7.29	1021	694.28	41.4
21	7.35	854	580.72	45.9	7.4	781	531.08	39.45
22	7.27	1900	1292	48.35	7.31	2007	1364.76	53.2
23	7.99	1120	761.6	21	7.93	1128	764.04	10.15
24	6.5	1344	913.92	54.05	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.
25	6.5	1344	913.92	67.3	6.64	1615	1098.2	62.05
26	7.04	1696	1153.28	50.1	7.47	878	597.04	33.05
27	6.86	1078	733.04	42.65	ö.a.	ö.a.	ö.a.	ö.a.
28	7.25	2074	1410.32	40.7	7.1	1947	1323.96	48.4
29	7.56	587	399.16	27.1	7.52	584	397.12	27.95
30	7.52	876	595.68	29.2	7.38	1045	710.6	44.35
31	7.67	710	482.8	47.4	7.49	844	573.92	62.55
32	7.22	1150	782	51.8	6.92	1266	860.88	53.15
33	7.09	1307	888.76	46.75	6.92	1266	860.88	53.15

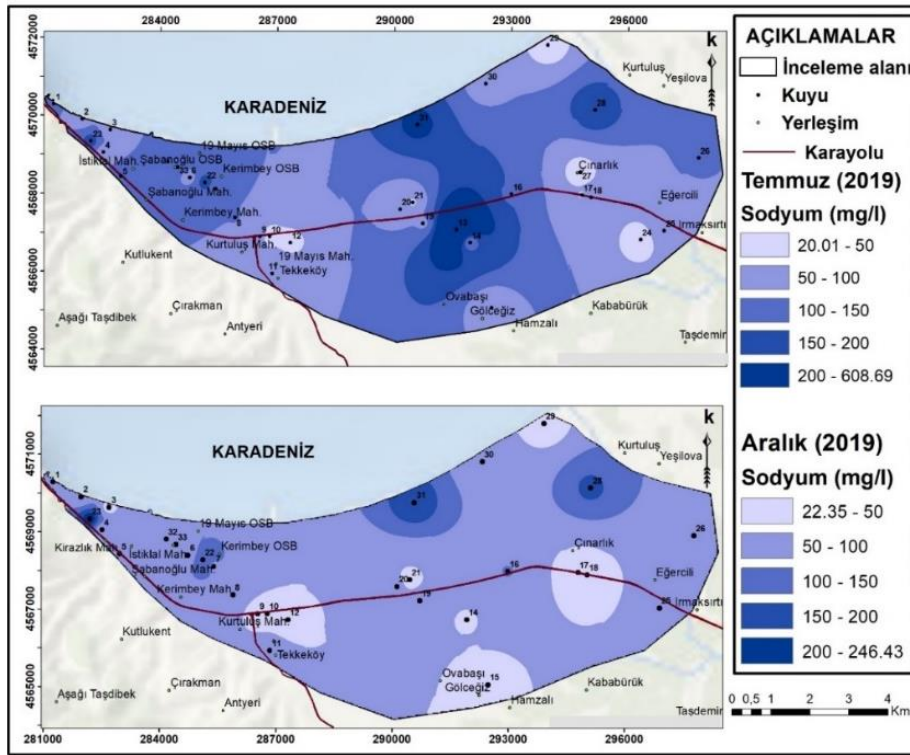
5.2. Majör anyon ve katyonlar

5.2. Major anion and cations

Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun kimyasal analiz sonuçları majör katyonlar açısından değerlendirildiğinde; suların Na^+ içeriklerinin Temmuz (2019) ayında 20,01 ile 609,04 mg/l arasında, Aralık ayında ise 22,31 ile 246,79 mg/l arasında; Ca^{+2} içeriklerinin Temmuz ayında 52,91 ile 186,77 mg/l arasında, Aralık ayında ise 21,84 ile 238,68 mg/l arasında; Mg^{2+} içeriklerinin Temmuz ayında 16,65 ile 114,21 mg/l arasında, Aralık ayında ise 11,42 ile 81,41 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 2). Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Na^+ içerikleri açısından Temmuz ayında inceleme alanındaki yeraltısularının %78,79'u I. ve II. sınıf, %18,18'u III. sınıf ve %3,03'ü IV. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır. Aralık ayında ise örneklerin %86,67'si I. ve II. sınıf ve %13,33'ü III. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır. Na^+ iyonu için hazırlanan dağılım haritası incelendiğinde Temmuz ayında bölgenin orta kesimlerinde ve güneydoğusunda yüksek değerler görülürken Aralık ayında bu kısımlarda Na^+ değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 3).

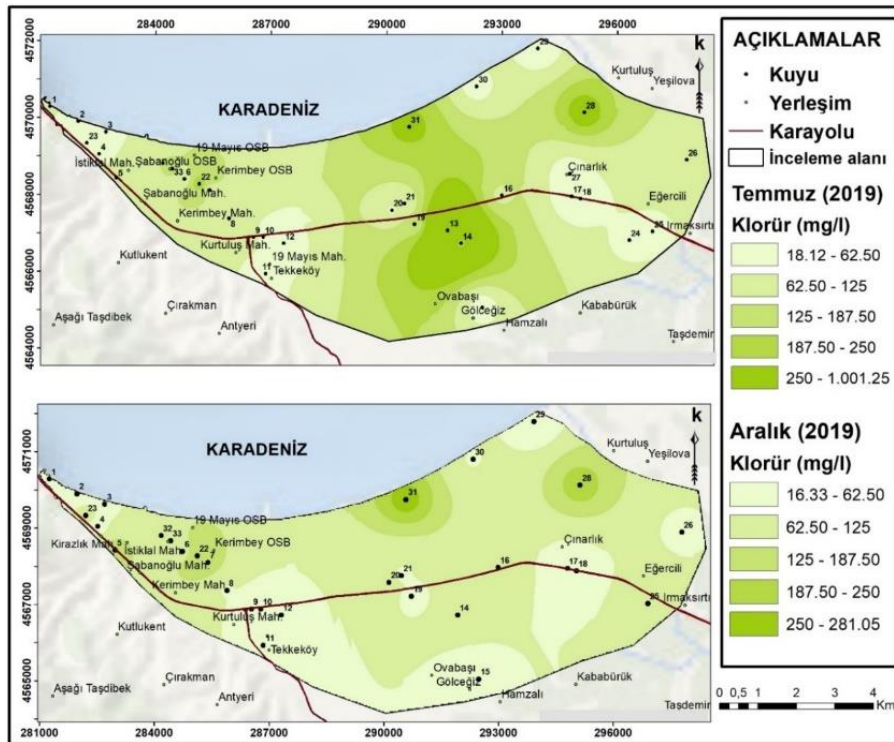
Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun kimyasal analiz sonuçları majör anyonlar açısından değerlendirildiğinde; suların Cl^- içeriklerinin Temmuz ayında 18,08 ile 1001,82 mg/l arasında, Aralık ayında ise 16,31 ile 281,12 mg/l arasında; SO_4^{2-} içeriklerinin Temmuz ayında 19,69 ile 504,80 mg/l arasında, Aralık ayında ise 19,69 ile 382,32 mg/l arasında; HCO_3^- içeriklerinin Temmuz ayında 248,92 ile 822,41 mg/l arasında, Aralık ayında ise 272,71 ile 860,24 mg/l arasında değiştiği görülmektedir.

Cl^- değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında Temmuz ayında inceleme alanının orta kesimlere doğru ve güneydoğusunda yüksek değerleri görülürken Aralık ayında bu kısımlarda Cl^- değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4). Temmuz ayında en yüksek Cl^- değeri inceleme alanındaki orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda görülüp aynı kuyuda en yüksek Na^+ değeri de gözlenmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2011) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayındaki 13, 28 ve 31 nolu ve Aralık ayındaki 31 nolu su örnekleri hariç tüm yeraltısuyu örneklerinin Cl^- değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait Na^+ iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Figure 4. Distribution map of Na^+ ion concentrations of the waters in the study area in July and December



Şekil 5. Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait Cl^- iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Figure 5. Distribution map of Cl^- ion concentrations of the waters in the study area in July and December

Temmuz ayında yüksek SO_4^{2-} değerlerine sahip olan 7, 10 ve 13 nolu kuyular ve Aralık ayında yüksek değerlerine sahip olan 10 ve 31 nolu kuyular İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değerini aştığından dolayı standarda uygun değildir (Tablo 2).

Tablo 2. Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz ve 2019-Aralık dönemine ait kimyasal analiz sonuçları
Table 2. Chemical analysis results for the period of 2019-July and 2019-December in the Çarşamba aquifer

Kuyu No	Temmuz-2019						
	Katyonlar (mg/l)				Anyonlar (mg/l)		
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
1	55.51	21.99	104.42	6.24	70.9	289.8	84.05
2	123.25	25.27	73.6	6.24	22.69	305.05	192.12
3	87.17	21.87	63.25	13.26	33.68	284.31	96.06
4	76.35	31.83	74.75	3.51	33.32	427.68	115.27
5	101.8	43.86	109.25	3.12	102.45	386.8	144.09
6	95.79	28.55	80.5	7.41	90.4	405.11	49.95
7	141.68	31.71	130.64	5.46	101.03	366.67	264.17
8	111.82	46.9	101.66	7.8	65.94	542.99	148.89
9	139.08	35.6	69.92	1.95	94.65	436.22	98.46
10	186.77	57.71	27.6	1.95	31.91	496.62	284.34
11	98	46.53	93.38	2.73	41.48	585.7	98.46
12	116.43	20.53	40.94	1.56	24.46	378.26	96.06
13	154.51	114.21	609.04	25.35	1001.82	611.93	504.8
14	114.83	47.02	110.63	12.48	230.43	430.12	126.32
15	78.16	19.68	51.75	2.73	29.42	375.21	50.43
16	65.33	37.79	146.28	9.75	109.9	608.27	55.23
17	149.3	35.11	47.84	6.24	29.78	793.13	19.69
18	167.13	32.08	68.31	6.24	30.13	722.97	70.6
19	96.99	28.07	89.93	5.07	132.94	397.18	132.08
20	127.65	42.77	64.4	3.9	56.72	411.82	134.48
21	133.27	30.74	44.85	3.9	56.37	377.65	124.88
22	130.66	38.27	175.03	14.43	235.03	415.48	120.08
23	52.91	18.95	176.41	3.12	54.95	513.09	103.74
24	167.53	29.77	20.01	1.95	49.98	639.38	76.37
25	180.56	54.07	89.01	1.95	49.98	822.41	124.4
26	91.38	66.34	108.79	18.72	91.46	733.95	118.15
27	126.45	26.97	23.69	5.07	27.65	464.29	105.19
28	93.59	42.16	199.87	14.04	299.2	502.72	150.33
29	81.16	16.65	23.23	3.12	18.08	248.92	82.13
30	64.33	31.95	78.43	11.31	41.48	310.54	72.53
31	132.46	34.87	217.12	8.97	275.09	385.58	175.31
32	133.67	44.83	103.27	6.63	125.85	485.03	169.07
33	132.06	33.53	114.77	9.75	132.94	396.57	171.95

Tablo 2'nin devamı

Table 2 continued

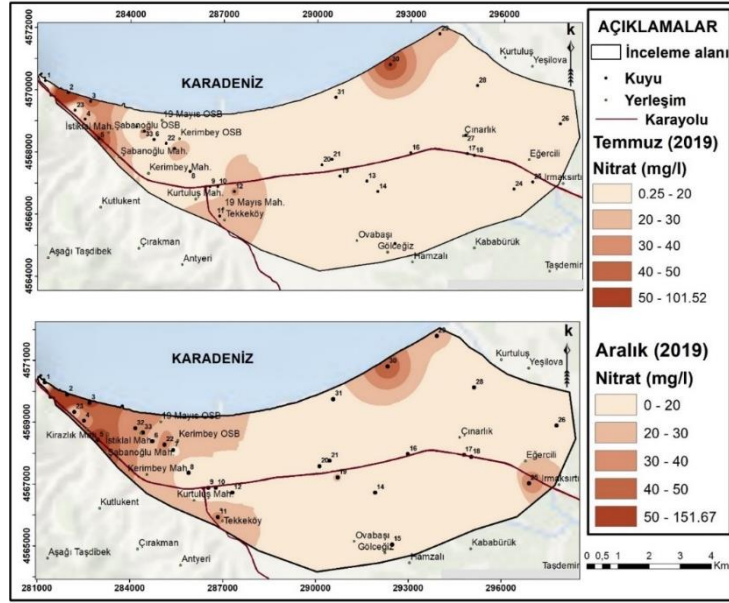
Kuyu No	Aralık-2019						
	Kasyonlar (mg/l)				Anyonlar (mg/l)		
	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²
1	81.96	33.05	74.75	8.19	56.72	388.63	48.03
2	187.37	39.61	48.07	10.14	26.94	375.82	190.2
3	89.18	37.3	28.75	23.4	30.49	272.71	93.66
4	101.8	45.56	67.16	4.68	40.41	321.52	67.24
5	143.09	46.41	99.13	3.9	161.3	364.84	113.83
6	135.87	41.55	51.98	11.31	92.88	409.99	76.37
7	178.96	32.81	93.61	10.53	144.64	355.69	237.27
8	119.44	64.4	77.28	9.75	58.85	541.16	136.89
9	134.07	32.32	33.12	17.16	30.84	435	61
10	238.68	53.82	38.64	1.95	29.42	527.74	382.32
11	132.66	65.85	78.43	3.51	51.76	568	86.93
12	118.44	26.73	22.31	1.95	22.33	363.01	68.68
14	138.4	26.48	46.92	7.02	79.05	413.64	49
15	99.4	27.46	33.35	3.51	30.49	367.28	38.9
16	146.69	81.41	101.43	9.75	83.66	860.24	19.69
17	199.4	45.08	32.43	8.58	36.16	771.78	19.69
18	217.03	43.13	28.52	7.8	31.55	817.53	19.69
19	78.36	35.96	62.1	2.73	47.15	341.66	51.87
20	121.24	27.09	63.48	5.85	105.29	358.74	48.03
21	117.84	24.42	36.8	5.07	51.76	342.88	64.36
22	139.88	44.47	155.94	20.28	199.23	382.53	223.34
23	21.84	11.42	246.79	3.51	84.37	483.81	74.45
25	166.53	49.82	55.89	5.46	101.39	781.54	53.31
26	53.91	47.63	95.45	16.77	52.82	463.68	21.13
28	115.23	47.75	162.15	11.7	221.56	533.84	91.74
29	75.55	22.11	23	6.24	16.31	278.21	33.14
30	95.19	50.06	72.45	19.5	59.91	428.9	72.53
31	170.74	48.48	197.34	22.62	281.12	447.81	300.19
32	159.72	32.32	100.28	14.82	124.78	414.26	123.44
33	159.72	32.32	100.28	14.82	124.78	414.26	123.44

5.3. Kirlilik parametreleri

5.3. Pollution parameters

Çarşamba akiferinde yeraltısuyunun kimyasal analiz sonuçları kirlilik açısından değerlendirildiğinde; suların NO₃⁻ içeriklerinin Temmuz ayında 0,248 ile 101,68 mg/l arasında; Aralık ayında ise 0 ile 151,90 mg/l arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3). Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları nitrat için üst sınır değerini 50 mg/l olarak belirlemiştir. Temmuz ayında 2, 5 ve 30 nolu kuyularda ve Aralık ayında 2, 3 ve 5 nolu kuyularda ölçülen nitrat değeri sınır değeri aştığından dolayı standartlara uygun değildir.

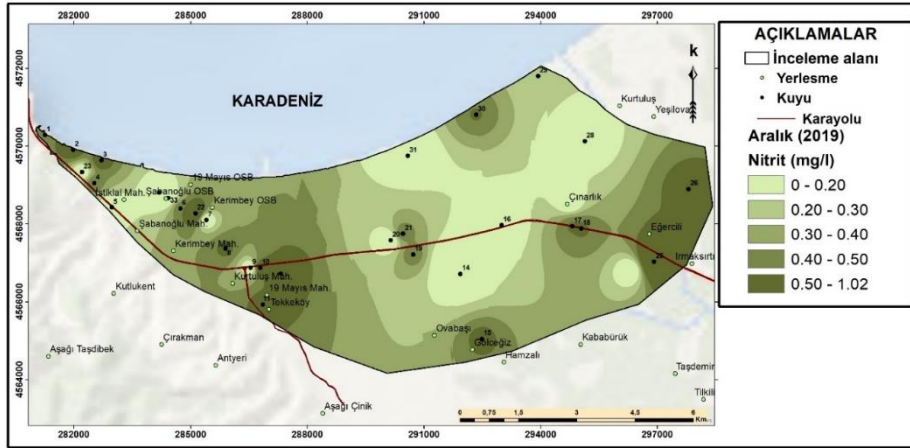
Nitrat dağılım haritası incelendiğinde, inceleme alanının batısında ve güneydoğusunda bulunan kuyuların yüksek nitrat değerleri görülürken orta kısmında, güneyinde ve doğusunda bulunan çoğu kuyularda düşük değerler görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait NO_3^- iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Figure 6. Distribution map of NO_3^- ion concentrations of the waters in the study area in July and December

İnceleme alanında NO_2^- içeriklerinin Temmuz ayında 0,05 mg/l'den küçük; Aralık ayında ise 0 ile 1,02 mg/l arasında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayında örneklenen tüm yeraltısularının nitrit değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise sadece örneklerin %43,33'ü uygun sınırlar içerisindedir. Aralık ayına ait nitrit iyonlarının dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının büyük kısımlarda bulunan kuyularda yüksek nitrit değerleri görülmektedir (Şekil 7). En yüksek nitrit değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda gözlenmektedir.

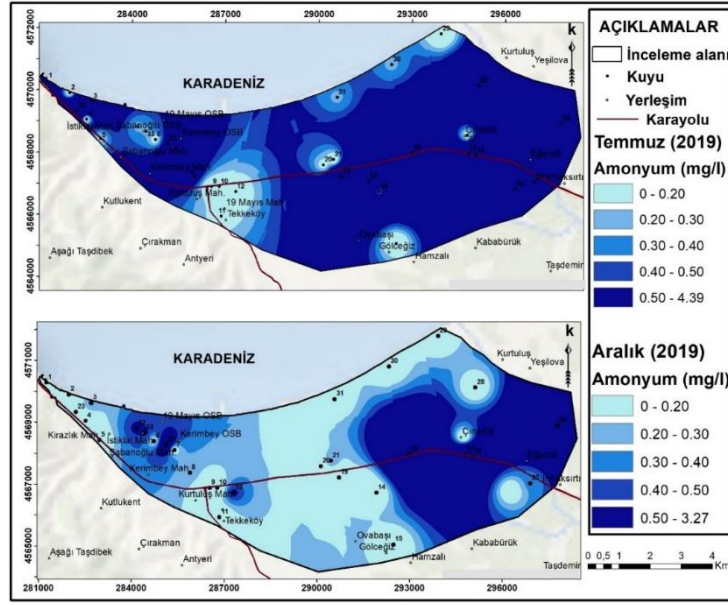


Şekil 7. Çalışma alanındaki suların Aralık aylarına ait NO_2^- iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Figure 7. Distribution map of NO_2^- ion concentrations of the waters in the study area in July and December

İnceleme alanında NH_4^+ içerikleri Temmuz ayında 0 ile 4,39 mg/l arasında; Aralık ayında ise 0 ile 3,27 mg/l arasındadır (Tablo 3). Temmuz ve Aralık aylarında amonyum değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında mevsimsel olarak belirgin değişim gözlenmektedir (Şekil 8). En yüksek NH_4^+ değeri Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanının doğusunda bulunan 26 ve 16 nolu kuyularda izlenmektedir. İçme suyundaki nitrat miktarının üst sınırını Dünya Sağlık Örgütü 1,5 mg/l olarak belirlerken TS-266 bu sınırı daha da düşürerek 0,5 mg/l ile sınırlandırmıştır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Temmuz ayında incelenen suların %54,55'i; Aralık ayında ise %73,33'ü uygun sınır içerisinde olduğu göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre ise değerlendirildiğinde Temmuz ayında incelenen örneklerin

%72,73'ü amonyum değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak Aralık ayında sadece örneklerin %20'sinin uygun sınırlar içerisinde olduğu gözlenmektedir.



Şekil 8. Çalışma alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait NH_4^+ iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Figure 8. Distribution map of NH_4^+ ion concentrations of the waters in the study area in July and December

Tablo 3. Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz ve 2019-Aralık dönemine ait kirlilik parametreleri

Table 3. Pollution parameters in the Çarşamba aquifer for the period 2019-July and 2019-December

Kuyu No	Temmuz 2019			Aralık 2019		
	NH_4^+ (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)
1	1.07	0.25	< 0.05	0	13.02	0.49
2	0.08	101.68	< 0.05	0	151.90	0.66
3	2.01	46.62	< 0.05	0.32	52.02	0.64
4	0.09	21.82	< 0.05	0.05	31.99	0.51
5	0.17	54.75	< 0.05	0	62	0
6	0.09	14.14	< 0.05	0.12	17.98	0.50
7	1.96	29.95	< 0.05	0.10	16	0
8	0.98	14.69	< 0.05	0.24	13.89	0.55
9	0	18.91	< 0.05	0	18.04	0
10	0.09	15.44	< 0.05	0.05	13.21	0.67
11	0.14	25.17	< 0.05	0	31.99	0.56
12	0	31.43	< 0.05	0.54	18.41	0.67
13	2.08	0.25	< 0.05			
14	0.45	< 0.248	< 0.05	0.49	23.56	0.55
15	0	< 0.248	< 0.05	0	19.41	0.55
16	1.38	< 0.248	< 0.05	3.27	13.21	0
17	0.84	< 0.248	< 0.05	1.14	0	0.52
18	2.04	< 0.248	< 0.05	1.27	12.90	0.54
19	2.36	< 0.248	< 0.05	0	21.02	0.50
20	0.12	16.74	< 0.05	0	19.53	0
21	0	13.95	< 0.05	0.28	13.52	0.52
22	0.56	< 0.248	< 0.05	1.14	43.03	0.94
23	2.76	< 0.248	< 0.05	0	16	0
24	2.11	< 0.248	< 0.05			
25	2.11	< 0.248	< 0.05	0.31	39	1.02

Tablo 3'ün devamı

Table 3 continued

Kuyu No	Temmuz 2019			Aralık 2019		
	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)
26	4.39	< 0.248	< 0.05	2.73	17.42	0.59
27	0.12	14.14	< 0.05			
28	1.19	< 0.248	< 0.05	< 0.05	< 0.248	< 0.05
29	0	24.06	< 0.05	0	21.39	0.23
30	0.28	52.20	< 0.05	0	46	0.51
31	0.28	< 0.248	< 0.05	0	18.97	0
32	0.26	< 0.248	< 0.05	0.54	33.98	0
33	0.28	30.19	< 0.05	0.54	33.976	0

5.4. İz elementler

5.4. Trace elements

Çarşamba akiferi yeraltısuyunda bulunan iz elementlerin durumunu belirlemek amacıyla Temmuz-2019'da örnekleme ve analiz çalışmaları yürütülmüştür. Bu kapsamda yeraltısuyu örneklerinde Ni, Mn, As, Al ve Cr analizleri yaptırılmıştır. İz element analizlerinden elde edilen sonuçlar Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4).

İnceleme alanında yeraltısularının Ni²⁺ değerleri 2,23 ile 63,61 µg/l arasında değişmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları Ni²⁺ üst sınır değerini 20 µg/l olarak belirlemiştir. Suların yüksek Ni²⁺ konsantrasyonu inceleme alanının güneydoğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 24 ve 25 nolu kuyularda 63,61 µg/l ve kuzeydoğusunda deniz kıyısında Yalı mahallesinde bulunan 29 nolu kuyuda 33,94 µg/l olarak ölçülmüştür. Bu yüksek Ni²⁺ değerlerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnceleme alanında yeraltısularının Mn²⁺ değerleri 2,85 ile 1469,68 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyundaki Mn²⁺ miktarının üst sınırını Dünya Sağlık Örgütü 100 µg/l olarak belirlerken İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) bu sınırı daha düşürerek 50 µg/l ile sınırlandırmıştır. En yüksek Mn²⁺ değerleri inceleme alanının güneybatısında bulunan 10 nolu kuyuda 1469,68 µg/l, güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda 1446,58 µg/l ve doğusunda bulunan 18 nolu kuyuda 1036,13 µg/l olarak ölçülmüştür. Gözlenen yüksek Mn²⁺ konsantrasyonu inceleme alanında bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre 2, 5, 7, 24, 30 ve 33 nolu kuyular hariç bütün su örneklerinin Mn değeri sınır değeri aştığından dolayı standarda uygun olmadığı belirlenmiştir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının As konsantrasyonu 0 ile 113,61 µg/l arasında değişmektedir. Dünya Sağlık Örgütü As için sınır değeri 10 µg/l olarak belirlemiştir. Buna göre 24, 25, 26 ve 28 nolu kuyular hariç bütün su örneklerinin As değerlerinin standartlar açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. İnceleme alanında gözlenen yüksek As değerlerinin sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek arsenik konsantrasyonu fosil yakıtların yanmasından ve tarımsal arazilerde kullanılan pestisitlerden de kaynaklanabilmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Al³⁺ değerleri 38,94 ile 11014,83 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyundaki alüminyum miktarının limit değeri Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 tarafından 200 µg/l olarak belirlenmiştir. Buna göre örneklenen yeraltısuyu örneklerinin %54,55'inin alüminyum konsantrasyonu açısından kirlenmiş olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının Cr³⁺ konsantrasyonu 0 ile 286,54 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyundaki krom miktarının limit değeri TS-266 tarafından 50 µg/l olarak belirlenmiştir. En yüksek Cr³⁺ değerleri inceleme alanının batısında tıbbi alet fabrikasında bulunan 33 nolu kuyuda 286,54 µg/l olarak ölçülmüştür.

Tablo 4. Çarşamba akiferinde 2019-Temmuz dönemine ait iz element analiz sonuçları
Table 4. Trace element analysis results of the Çarşamba aquifer for the 2019-July period

Kuyu No	Ni ⁺²	Mn ⁺²	As	Al ⁺³	Cr ⁺³
1	8.07	325.21	0.85	59.83	0
2	4.25	2.85	0	38.94	0
3	2.79	87.37	4.32	45.25	0
4	3.4	83.41	0.73	605.5	0
5	5.99	20.15	0	616.14	0
6	4.38	181.78	2.22	46.81	0
7	4.96	41.99	2.16	85.89	0
8	3.61	256.17	2.05	50	0
9	3.72	487.38	0	44.43	0
10	13.91	1469.68	0.9	2286.44	3.84
11	5.23	323.26	0	1920.62	2.82
12	3.25	196.78	0	48.01	0
13	6.68	454.74	6.05	136.55	0
14	11.3	451.91	4.27	2005.41	6.17
15	2.23	115.04	0	55.99	0
16	2.59	332.23	8.6	51.68	0
17	4.62	639.37	0.36	47.74	0
18	10.53	1036.13	3.5	631.15	1.92
19	6.35	396.41	2.26	864.06	1.52
20	6.86	181.21	0	509.81	0.4
21	7.62	79.09	2.68	300.88	0
22	7.74	488.9	6.67	296.54	0
23	4.76	92.03	1.3	313.02	0
24	63.61	27.8	113.61	44.93	0
25	63.61	1446.58	22.5	11014.83	37.19
26	7.53	255.55	23.56	676.72	0.68
27	10.42	761.01	0	927.36	3.21
28	27.6	538.82	78.7	7098.83	17.85
29	33.94	202.81	1.54	7360.66	22.39
30	2.83	34.86	2.78	79.42	0
31	4.23	299.85	9.6	160.17	0
32	8.59	237.55	4.45	332.64	0
33	20.88	7.46	3.76	587.28	286.54
TS-266	20	50		200	50
WHO	20	100	10	200	

Çalışma alanında örneklenen yeraltısularının kirlilik seviyelerini belirlemek için ağır metal kirliliği indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) hesaplanmıştır. Ağır metal kirliliği indeksi ve ağır metal değerlendirme indeksi yöntemleri, yüzey ve yeraltısularının ağır metal içeriklerine göre kalitesini değerlendirmek için kullanılan en etkili yöntemlerden biridir (Mohan vd., 1996). Bu çalışmada ağır metal kirliliği ve değerlendirme indekslerinin hesaplanmasında As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, B, Mo, Se ve Al elementleri kullanılmıştır.

Ağır metal kirliliği indeksi (HPI) aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

Burada W_i her bir metalin birim ağırlığını, n toplam metal sayısını ve Q_i her bir metalin alt indeksini temsil etmektedir.

Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir:

$$HEI = \sum_{i=1}^1 \frac{H_c}{H_{mac}} \quad (2)$$

Burada H_c her metal için ölçülen konsantrasyon değeri ve H_{mac} her metal için sulara kabul edebilen maksimum değeri temsil etmektedir. Bu çalışmada her metal için sulara kabul edilen maksimum değerler İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarında tanımlanan değerler kullanılmıştır.

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Ağır metal kirliliği indeksi (HPI) ve Ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) hesaplanarak Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin HPI ve HEI değerleri
Table 5. HPI and HEI values of groundwater samples sampled in July

Kuyu No	$\sum W_i$	$\sum W_i Q_i$	HPI	HEI
1	0.41	16.35	39.64	7.35
2	0.41	1.29	3.12	0.56
3	0.41	8.67	21.01	2.59
4	0.41	6.46	15.65	4.97
5	0.41	5.97	14.46	4.02
6	0.41	11.37	27.56	4.41
7	0.41	6.12	14.83	1.86
8	0.41	13.45	32.61	5.86
9	0.41	20.55	49.81	10.18
10	0.41	70.78	171.56	41.92
11	0.41	20.37	49.36	16.61
12	0.41	9.36	22.68	4.40
13	0.41	36.56	88.62	11.80
14	0.41	33.45	81.07	20.53
15	0.41	5.34	12.94	2.77
16	0.41	24.20	58.67	8.09
17	0.41	27.22	65.98	13.37
18	0.41	49.24	119,35	24,82
19	0.41	24.27	58,82	13,14
20	0.41	10.62	25,75	6,63
21	0.41	9.12	22,12	3,86
22	0.41	31.17	75,55	12,66
23	0.41	7.63	18,50	3,93
24	0.41	134.12	325,09	15,73
25	0.41	129.41	313,68	90,81
26	0.41	39.31	95,29	11,59
27	0.41	35.50	86,06	20,56
28	0.41	130.19	315,59	56,44
29	0.41	38.87	94,23	43,40
30	0.41	5.10	12,37	1,54
31	0.41	23.45	56,84	8,05
32	0.41	17.61	42,69	7,46
33	0.41	22.25	53,94	10,35
En düşük değer			3.12	0.56
En yüksek değer			325.09	90.81
Ortalama değer			75.32	14.92

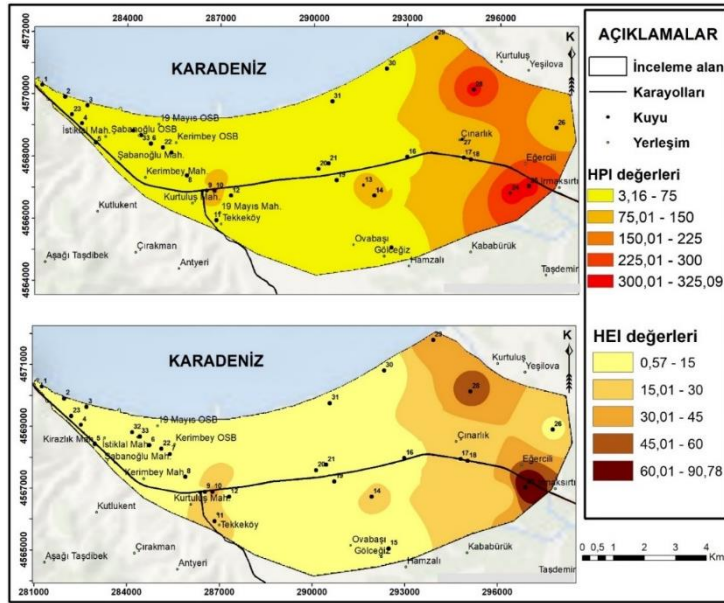
Tablo 5 incelendiğinde örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağır metal kirlilik indeksi (HPI) değerlerinin 3,12 ve 325,09 arasında değiştiği görülmektedir. Suların en kritik HPI değeri 100 olarak kabul edilmektedir. Bu kritik değere göre suların HPI değerleri değerlendirildiğinde inceleme alanında örneklenen suların yaklaşık %85'inin kritik değerinin altında olduğu görülmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin ortalama HEI ve HPI değerlerin katları kullanılarak yüksek, orta ve düşük kirlilik seviyeleri olmak üzere 3 sınıfa ayrılabilir (Edet ve Offiong, 2002; Prasanna vd., 2012). Böylece örneklerin ortalama HPI değerine göre oluşturulan 3 grup Tablo 6'da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde örneklerin %66,66'sı, %21,22'si ve 12,12'sinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek kirlilik seviye sınıflarına düştüğü görülmektedir.

Tablo 6. Yeraltısuyu örneklerinin kirlilik seviyelerine göre sınıflanması

Table 6. Classification of groundwater samples according to pollution levels

Kirlilik indeksleri	Sınıf	Kirlilik seviyesi	Örnek sayısı	Örneklerin oranı (%)
HPI	< 75	Düşük	22	66.66
	75 - 150	Orta	7	21.22
	> 150	Yüksek	4	12.12
HEI	< 15	Düşük	24	72.73
	15 - 30	Orta	5	15.15
	> 30	Yüksek	4	12.12

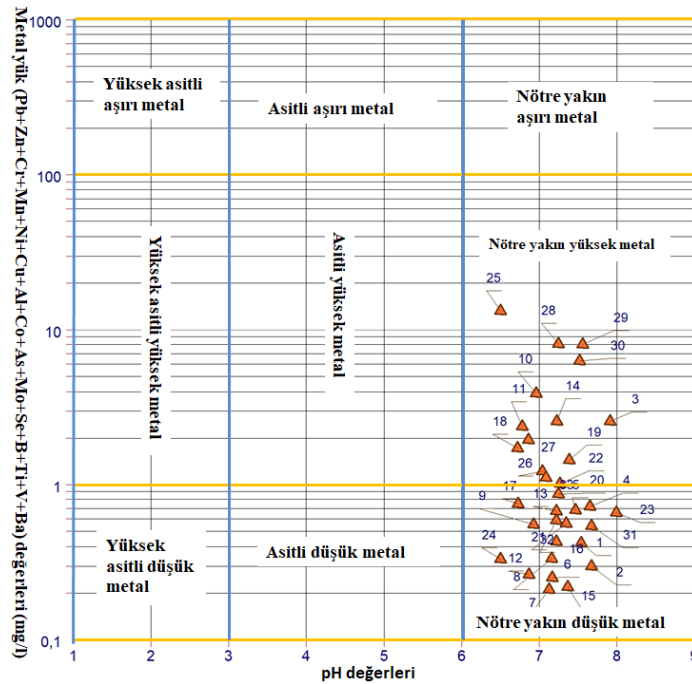
Yeraltısuyu örneklerinin hesaplanan HPI ve HEI değerlerine göre dağılım haritaları hazırlanmıştır (Şekil 9). Ağır metal indeks değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yüksek HPI değerleri görülürken batısında ve orta kısmında düşük değerler izlenmektedir (Şekil 9). Suların değerlendirme indeks değerleri ise 0,51 ile 90,81 arasında değişmektedir. En yüksek HEI değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük değer ise inceleme alanının güneybatısında bulunan 2 nolu kuyuda görülmektedir. Tablo 5 incelendiğinde örneklerin %72,73'ü, %15,15'i ve %12,12'sinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek kirlilik seviye sınıflarına düştüğü görülmektedir. Ağır metal değerlendirme indeksinin dağılım haritasına da bakıldığında yüksek HEI değerlerinin inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 9).



Şekil 9. Çalışma alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının HPI ve HEI değerlerinin dağılım haritası
Figure 9. Distribution map of HPI and HEI values of groundwater sampled in July in the study area

İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin ağır metal içeriklerine göre sınıflandırılması için Ficklin-Caboi diyagramı kullanılmıştır. Bu yöntem ilk olarak Ficklin (1992) daha sonra Caboi (1999) tarafından geliştirilmiştir. Bu diyagram suların pH değerleri dikey eksen ve metal yük değerleri yatay eksende yerleştirilerek oluşturmaktadır. Temmuz ayında analizi yapılan yeraltısuyu örnekleri Ficklin-Caboi diyagramı

üzerine yerleştirildiğinde, örneklerin %45,45'i ve %54,55'inin sırasıyla “nötre yakın yüksek metal” ve “nötre yakın düşük metal” sınıflarına düştüğü görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Çalışma alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının Ficklin-Caboi diyagramında gösterimi
Figure 10. Ficklin-Caboi diagram of groundwater sampled in July in the study area

6. Sonuçlar ve öneriler

6. Conclusions and recommendations

Bu çalışmada Çarşamba akiferi yeraltısuyunun fizikokimyasal özellikleri belirlenerek potansiyel deniz suyu girişimi araştırılmış ve kirlilik açısından değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin orta Karadeniz bölümünde Çarşamba Ovası'nda Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu bölge Türkiye'nin tektonik birliklerinden olan Doğu Pontidler'in batısında bulunmaktadır. Çarşamba Ovası'ndaki alüvyonun kuzeyinden Karadeniz, güneyinden de Eosen yaşlı fliş ve volkanik kökenli kayalar ile Neojen yaşlı detritik seri tarafından çevrelenmektedir. Bu ovada yer alan litolojik birimlerine göre sadece Kuvaterner yaşlı alüvyonlar iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Çarşamba ovası'nın jeolojik birimlerin litolojik ve petrografik özellikleri nedeniyle yağıştan, yüzey akıştan ve akarsu yatağından alüvyona süzülme yoluyla beslenmektedir.

Analiz sonuçları pH değerleri açısından incelendiğinde, Temmuz ve Aralık ayları için pH değerlerinin Çarşamba akiferinin kıyı kesimlerinde yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Bu yüksek pH değerleri, kıyı kesimlere doğru sıcaklık değerlerinin yükselmesi ve yeraltısuyu seviyelerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Temmuz ayında ölçülen düşük pH değerleri çoğunlukla bölgenin güneydoğusunda ve güneyinde görülmektedir.

Çalışma alanında Temmuz ayında 13, 14, 22, 26 ve 29 nolu kuyularda ve Aralık ayında 16, 22, 25 ve 28 nolu kuyularda ölçülen yüksek EC ve TDS değerleri bu kuyulardan elde edilen suların Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarına göre uygun olmadığını göstermektedir. Yüksek EC ve TDS değerleri, sanayi tesisleri ve tarım arazilerinde bulunan kuyularda görülmekte ve bu kuyularda yeraltısuyunun aşırı çekiminin yapılması nedeniyle denizi suyu girişimi olduğu düşünülmektedir.

SO₄²⁻, Cl⁻ ve Na⁺ içeriklerinin İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarında verilen sınır değerlerin üzerinde olup içme ve kullanım için uygun değildir. İnceleme alanındaki yüksek Cl⁻ ve Na⁺ değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda gözlenmektedir. İnceleme alanındaki yüksek Cl⁻ değerleri Na⁺ değerleri gibi sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda

gözlenmektedir. Bu kuyulardan endüstriyel faaliyetler ve sulama amacıyla aşırı yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle deniz suyu girişimi olduğuna işaret etmektedir. Yüksek NO₃ ve NH₄ değerleri Çarşamba ovasındaki çok elverişli olan alüvyonların oluşturduğu geniş arazilerde tarımsal faaliyetlere bağlı olarak yüksek olmaktadır. Ayrıca yüksek nitrat konsantrasyonu endüstriyel atıklarından ve lağım sularından da kaynaklanabilmektedir.

Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Ni, Mn, As, Al ve Cr içeriklerinin bazı kuyu sularında İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO, 2011) standartlarına uygun olmadığı belirlenmiştir. Yüksek iz element içeriklerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden, tarımsal faaliyetlerden ve fosil yakıtların yanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma alanında deniz suyu girişimi etkisinde olduğu düşünülen ve kıyıya yakın konumda bulunan kuyularda yeraltısuyu çekimi kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca yüksek nitrat, nitrit ve amonyum değerleri nedeniyle, tarımsal faaliyetlerde gübre kullanımında sınırlamalar getirilmeli ve uygun sulama teknikleri yapılmalıdır. İz elementler açısından riskli olan bölgede sanayi tesisleri ve tarımsal faaliyetler ile oluşan noktasal ve yayılı kirliliği önlemeye yönelik programların oluşturularak hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Teşekkür / Katkı belirtme

Acknowledgement

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2019-8168 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Ayrıca yazarlar Devlet Su İşleri 7. Bölge Müdürlüğü çalışanlarına saha ve laboratuvar çalışmaları konusunda yapmış oldukları katkılardan dolayı teşekkür ederler. Yazarlar makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederler.

Kaynaklar

References

- Al Farrah, N., Martens, K. & Walraevens, K. (2011). *Hydrochemistry of the upper miocene-pliocene-quaternary aquifer complex of Jifarah plain, NW-Libya*. Geologica Belgica
- Barlow, P. M. (2003). *Ground water in freshwater-saltwater environments of the Atlantic coast*, US Geological Survey, No. 1261, Virginia
- Caboi, R., Cidu, R., Fanfani, L., Lattanzi, P. & Zuddas, P. (1999). Environmental mineralogy and geochemistry of the abandoned pb-zn montevecchio-ingurtosu mining district, Sardinia, Italy, *Chronicle of mineral research and exploration*, 534, 21–28.
- Devlet Su İşleri. (1993). *Çarşamba Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu*
- Edet, A. E. ve Offiong, O. E. (2002). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria), *Geology Journal*, 57,4, 295-304.
- Fırat Ersoy, A., Ayyıldız Turan, N., Yıldız Özgül, H. (2020). Kızılırmak delta kıyı alanındaki tuzlanma sürecinin Stuyfzand hidrojeokimyasal modelleme sistemi ile değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 10,4. 949-960
- Ficklin, WH., Plumlee, GS., Smith, KS. & McHugh, JB. (1992). *Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas*. International symposium on water-rock interaction (ss. 381–384). Netherlands.
- Hooda, P.S. & Alloway, B. J. (1998). Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils, *Geoderma*, 84, 1-3, 121-134.
- Hopkins, B.G., Horneck, D. A., Stevens, R. G., Ellsworth, J. W. & Sullivan, D. M. (2007). Managing irrigation water quality for crop production in the Pacific Northwest, s 24.

- Maman Hassan, A. (2021). *Çarşamba akiferi yeraltı suyunun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri araştırması* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü].
- Mohan, S. V., Nithila, P. & Reddy, S. J. (1996). Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 31,2, 283-289.
- Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R. & Elayaraja, A. (2012). Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia, *Environmental Earth Sciences*, 67,7, 1987-2001.
- SKKY. (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Kıta içi su kaynaklarının sınıflandırılması. Ankara.
- TSE 266. (2005). Türk içme suyu standardı. Ankara
- WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality, Fourth Edition
- Yılmaz, Y., & Tüysüz, O. (1984). *Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi (Ilgaz-Kargı masiflerinin etüdü)*, MTA Raporu No 7838