

Çerkezköy (Tekirdağ) İlçesi Yeraltı Su Kalitesi ve Kirlenme Potansiyelinin Araştırılması

***Makale Bilgisi / Article Info**

Alındı/Received: 20.09.2024

Kabul/Accepted: 07.01.2025

Yayımlandı/Published: 10.06.2025

Investigation of Groundwater Quality and Pollution Potential in Çerkezköy (Tekirdağ) District

Beyza ARAL¹ , Ali Rıza DİNÇER² , İbrahim Feda ARAL^{3*} ¹ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği ABD, Tekirdağ, Türkiye² Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye³ Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, Türkiye

© 2025 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Bu çalışmada Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinin yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Bu özelliklerin insan ve canlı yaşamına etkisi incelenmiştir. Yeraltı suları, doğal kaynaklar arasında en büyük tatlı su kaynağıdır ve insanlar tarafından birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılır. Yeraltı suyu, dünya nüfusunun çoğunluğu için birincil su kaynağı olarak kabul edilir. Bu çalışma, Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (TESKİ) kontrolündeki Çerkezköy içme suyu kuyularını kapsamlı bir şekilde değerlendirmiştir. Jeolojik yapı, yeraltı suyu seviyeleri ve kimyasal analizler incelenmiştir. Yapılan analizlerde bazı kuyularda arsenik konsantrasyonları 10 µg/L üst sınır değerini aşmaktadır. Tarımsal kirliliğin bir belirtisi olarak ÇRK 2, ÇRK 8 ve ÇRK 24 kuyularında amonyum konsantrasyonu limit üst sınır (0.5 mg/l) değerlerini aşmaktadır. Bulgular, yeraltı su seviyelerinin sürekli düştüğünü, bazı kuyularda kirlenme belirtileri olduğunu ve mevcut su kaynaklarının uzun vadede içme suyu açısından yetersiz kalacağını göstermektedir. Bu durum, enerji tüketimi ve yeni su kaynakları yaratma gerekliliği açısından önemli ekonomik ve çevresel sonuçlar doğuracaktır.

Abstract

In this study, the physical and chemical properties of groundwater in Çerkezköy district of Tekirdağ province were investigated. The effects of these features on human and living life have been examined. Groundwater is the largest freshwater source among natural resources and is widely used by people in many areas. Groundwater is considered as the primary water source for the majority of the world's population. This study comprehensively evaluated Çerkezköy drinking water wells under the control of Tekirdağ Water and Sewerage Administration (TESKİ). Geological structure, groundwater levels and chemical analyses were examined. In the analyses, arsenic concentrations in some wells exceeded the upper limit value of 10 µg/L. As an indication of agricultural pollution, ammonium concentration exceeded the upper limit (0.5 mg/l) values in ÇRK 2, ÇRK 8 and ÇRK 24 wells. The findings show that groundwater levels are continuously decreasing, there are signs of pollution in some wells and that the existing water resources will be insufficient for drinking water in the long term. This will have significant economic and environmental consequences in terms of energy consumption and the need to create new water resources.

Anahtar Kelimeler Yeraltı Suyu; Fiziksel ve Kimyasal Özellikler; İçme Suyu Kalitesi; Kirlilik

Keywords Groundwater; Physical and Chemical Properties; Drinking Water Quality; Pollution.

1. Giriş

Yeraltı suyu kirliliği, endüstriyel atıkların deşarjı, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirleticiler, kentsel gelişim ve fosil yakıtların kullanımı gibi insan etkileriyle giderek artmaktadır. Bu durum, yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve içme suyu kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Çerkezköy gibi yerlerde içme suyu kaynaklarının yönetimi, özellikle sanayileşme ve nüfus artışı gibi baskılar altında zorlu bir süreçtir. Bu tür yerlerde, yeraltı suyu kaynaklarının sürdürülebilirliğini sağlamak için bölgesel özellikler ve su kaynaklarının durumu dikkate alınmalıdır. Bu çerçevede, yeraltı suyu kaynaklarının izlenmesi ve yönetimi için entegre bir yaklaşım benimsenmelidir. Dünya genelinde yeraltı suyu

kirliliğini belirlemeye yönelik çalışmalar giderek hız kazanmaktadır. Pakistan'ın Bhimber, Azad Jammu ve Kashmir bölgelerinde 12 adet yeraltı su kuyusundan numune alınarak yaptıkları çalışmalarında, pH, bulanıklık gibi çeşitli fizikokimyasal ve biyolojik parametreler için analiz edilmiştir. Değerler büyük ölçüde patojenik sularla kontamine olduğunu ve bazı fizikokimyasal değerler Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) tavsiye ettiği sınırlarından sapsmış olduğu tespit edildiği için devletin tüm bölgelere filtre tesisi sağlaması gerektiği belirtilmiştir (Alsalmeh vd., 2021). Gujarat eyaletindeki Satlasana Taluka'nın kırsal çevresinin yeraltı suyu kalitesini incelemişlerdir. Ağırlıklı Aritmetik Su Kalitesi Endeksi (WAWQI) ve Kanada Su Kalitesi Endeksi uygulanarak 9

köyden alınan su numuneleri 6 ay boyunca değerlendirilmiştir. Kaynakların % 46'sı iyi su kalitesinde bulunurken, CCMEWQI (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index) kullanılarak kaynakların %54'ünün iyi su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir (Khatrı vd., 2020). Bu parametrelerin uygun geleneksel stratejilerle arıtılması, yeraltı suyunu içme amaçlı güvenli, bölgedeki yeraltı suyu kalitesinin bozulmamış durumuna ışık tutmaktadır (Kamboj vd., 2020).

Harran civarında ve genel olarak Harran Havzası'nın güney kesiminde derin akiferden beslenen çok sayıda kuyunun yeraltı suyu kalitesinin kötüleştiğini, kirlenmiş yeraltı suyu kuyularının birçoğunun uygunsuz sulama uygulamaları sonucu kullanılamaz hale geldiğini tespit etmişlerdir (Yeşilnacar vd., 2011). Harran ovası genelinde EC ve NO_3^- değerleri 2005 (maks. 8235 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 720 mg/L) ile 2015 (maks. 2510 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 327 mg/L) yılları arasında azalmıştır (Yetiş vd., 2021). Yeşilnacar ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada: Güneydoğu Anadolu bölgesinde dört köyün yeraltı sularındaki florür konsantrasyonlarının 1,20 mg/L'den fazla olduğu ve bu köylerdeki çocuklarda diş florozuna neden olduğu belirlendi (Yeşilnacar vd. 2016). Arkoç (2005), çalışmada, Ergene Havzası, Çorlu – Çerkezköy kesiminin jeolojisi, hidrojeolojisi, bölgedeki akiferin jeohidrolik özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Akiferi geometrisi, akifere ait karakteristik özellikler ve sayısal değerleri, hidrokimyasal fasiyesi ve yeraltı suyunun kirlilik durumu ortaya koymaya çalışmıştır. Sonuçta Ergene Formasyonunun araştırma alanındaki ana akifer olduğu, yarı geçirimsiz ve geçirimli ortamlardan oluştuğu belirtilmektedir. Yeraltı suyu, yer altındaki geçirimli jeolojik ortamın doymuş bölgesinde bulunan kuyuları, kaynakları ve akarsu, göl, deniz gibi kütlelerini besleyen sudur, bütün yeraltı sularının kaynağı yağıştır, yüzeye düşen yağış zemini ıslatarak yerçekimi etkisi ile doymamış bölgeden geçerek aşağıya doğru hareket eder, su seviyesi olarak adlandırılan doymuş bölgenin üst sınırına ulaşarak akifer dediğimiz su taşıyan tabakalarda depolanmış olan yeraltı sularını besler, yüzey ve yeraltı sularının kaynağı yağışlar olmasına rağmen, yeraltı suları yüzey sularından daha fazla miktarda mineral madde içerir, yağmurun yere düşmesi, süzülmenin başlaması ve suyun toprak ve kayaların boşluklarından geçmesiyle su temas ettiği bazı maddeleri eritir, böylece, yerçekimine bağlı olarak aşağıya doğru süzülen suya mineraller eklenir, yeraltı sularının kimyasal bileşimi; temas ettiği maddelerin fiziksel özelliklerine, bileşimlerine ve temas süresine bağlı olarak tayin edilir, suyun söz konusu maddelerle temas süresi uzadıkça suda daha fazla miktarda mineral çözünmektedir (Sargın, 2010). Kırşehir'in Kaman

bölgesindeki yeraltı suyu kalitesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve sudaki kirliliğin insan sağlığı üzerindeki etkilerinin anlaşılması üzerine yapılan arazi çalışmaları ve ArcGIS programında işlenen veriler sonucu, yeraltı suyu kalitesini en çok etkileyen faktörlerin kaya litolojisi, maden yatakları oluşumları ve tarım arazilerinde kullanılan gübreler olduğu tespit edilmiştir. Bu faktörlerin su kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, bölgedeki su yönetimi ve çevre koruma stratejileri açısından büyük önem taşımaktadır (Salman, 2019).

Bu çalışma kapsamında Tekirdağ Su Kanalizasyon İdaresi'nin kontrolündeki 26 adet Çerkezköy içme suyu kuyuları ile ilgili bilgiler dahilinde ve 11. Bölge Müdürlüğü'nün bölgeye ait çalışmaları ve teknik elemanlar ile yapılan sözlü görüşmeler çerçevesinde, genel bir çalışma yapılarak gerek kuyuların kimyasal içeriği ve kirlilik değerlendirilmesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Çerkezköy içme suyu temininin sağlandığı sondaj kuyularının verimleri ile yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri değerlendirilerek (içme suyu kalite standartları açısından) sağlık etkileri ve riskleri incelenmiştir. İlçe sınırları içerisinde kalan Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi Su Kanalizasyon Genel Müdürlüğü (TESKİ) sorumluluğu içerisindeki toplam 26 kuyunun verileri değerlendirilmiştir. 26 adet sondaj kuyusundan 5 adeti Kızılıpınar mahallesinde, 3 adeti Veliköy mahallesinde olmak üzere 18 adeti Çerkezköy merkezde bulunmaktadır (Şekil 1). Şekil 1'de kuyu lokasyonları verilmiştir. Kuyu derinlikleri ve statik su seviyeleri birbirinden farklıdır. Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeybatısında, 27° 55' 7" - 28 04'15" D boylamları ile 41 13' 15" – 41 22' 8" K enlemleri içerisinde yer almaktadır.



Şekil 1. İçme suyu temin edilen sondaj kuyularının yerleşim yerlerindeki konumları.

Bu çalışma kapsamında, Çerkezköy ilçesine içme suyu sağlayan 26 adet sondaj kuyusuna ait yeraltı sularında 19 adet fiziksel ve kimyasal kirlenme analizi yapılmış ve Sağlık Bakanlığı'na ait "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (URL 1, 2005)" başta olmak üzere birçok farklı yönetmelik doğrultusunda içme suyu kalitesi irdelenmiştir. Ayrıca, kirlenme parametrelerinin muhtemel insan sağlığına etkileri de tartışılmıştır. Fiziksel özellikler olarak sıcaklık (T, C°), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) parametreleri yerinde ölçülmüştür. Su örnekleri asitle

temizlenmiş polietilen numune kaplarında toplanmıştır. Su analizleri Çevre Bakanlığı tarafından akredite olan laboratuvarlarda (AEM Laboratuvarı) gerçekleştirilmiştir. Katyonlar Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi (AAS) ile anyonlar yüksek verimli sıvı kromatografisi ile belirlenmiştir. Ölçüm yöntemleri standartlara (APHA, Standard Methods, 1989) uygun olarak yapılmıştır. Sulardaki temel anyon ve katyonlar meq/L kullanılarak piper diyagramı oluşturulmuştur.

Çizelge 1. Kuyulardan alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları ve yüzde miliekiyalen değerleri

Kuyu No	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	% rCa	% rK	% rMg	% rNa	% rCl	% rSO ₄	% rHCO ₃	Toplam Sertlik (F°)
ÇRK-1	41,8	2	13,5	37,85	109	13	40	42,48	1,02	22,96	33,54	76,75	6,75	16,5		16,1-Tatlı Su
ÇRK-2	46,8	2	12,5	63,8	56	29	48	37,74	0,81	16,77	44,67	53,20	20,20	26,60		64,6-Çok Fazla Sert Su
ÇRK-3	22	2	4,79	100	32	25	52	18,64	0,85	6,78	73,73	39,65	22,91	33,44		
ÇRK-4	27,9	2	8,96	79,2	44	20	46	24,82	0,89	13,30	60,99	51,45	17,43	31,12		10,75-Tatlı Su
ÇRK-5	4,62	1	1	127	22	24	16	3,92	0,51	1,36	94,20	44,93	36,23	18,84		1,55-Memba Suyu
ÇRK-6	44,90	3	13,70	52,10	60	18	50	39,20	1,39	19,86	39,54	58,48	12,98	28,37		16,95-Tatlı Su
ÇRK-7	44,8	3	12,2	55,4	53	20	48	45,62	1,63	3,67	49,08	55,19	15,55	29,26		12,1-Tatlı Su
ÇRK-8	32	3	16,6	31,1	106	28	40	36,28	1,81	31,29	30,61	70,68	13,71	15,60		14,9-Tatlı Su
ÇRK-9	20,7	2	5,81	86,5	33	20	34	19,51	0,94	9,01	70,54	48,69	21,99	29,32		7,6-Memba Suyu
ÇRK-10	34,70	3	19,20	34,20	76	19	28	35,40	1,56	32,64	30,40	71,33	13,33	15,33		16,7-Tatlı Su
ÇRK-11	7,84	1	1,42	116	29	21	14	6,99	0,54	2,15	90,32	55,03	29,53	15,44		2,55-Memba Suyu
ÇRK-12	48	2	12,9	53,2	65	17	36	41,10	0,86	18,49	39,55	66,06	12,64	21,30		17,4-Tatlı Su
ÇRK-13	8,77	2	2	107	37	19	20	8,29	0,94	3,20	87,57	58,76	22,60	18,64		3,05-Memba Suyu
ÇRK-14	48,5	2	14	46,9	62	20	44	42,71	0,88	20,56	35,85	60,55	14,53	24,91		18-Tatlı Su
ÇRK-15	28,7	2	12,3	30,4	78	24	30	37,5	1,30	26,82	34,38	68,97	15,67	15,36		12,35-Tatlı Su
ÇRK-16	29	2	17,4	38,2	74	22	60	31,44	1,11	31,45	36	59,03	13,07	27,88		14,5-Tatlı Su
ÇRK-17	45,8	2	16,7	35,9	10,1	30	44	43,29	0,96	26,26	29,49	17,17	38,65	44,17		18,4-Tatlı Su
ÇRK-18	41,6	2	9,77	52,5	42	18	38	39,85	0,96	15,52	43,68	54,13	17,43	28,44		14,45-Tatlı Su
ÇRK-19	48,4	3	17,7	42,8	164	25	36	48,4	1,6	12,8	37,2	80,62	9,08	10,30		15,3-Tatlı Su
ÇRK-20	44,7	2	17,3	33,7	106	16	46	43,08	0,96	27,69	28,27	73,46	8,11	18,43		18,4-Tatlı Su
ÇRK-21	47	2	17,6	36,8	118	17	44	42,96	0,91	26,87	29,25	75,63	7,97	16,40		19,1-Tatlı Su
ÇRK-22	40,3	2	13,2	33,2	103	12	38	43,82	1,08	23,86	31,23	76,92	6,63	16,45		15,6-Tatlı Su
ÇRK-23	42,6	2	10,4	61,6	66	23	40	37,17	0,87	15,18	46,77	62	16	22		15-Tatlı Su
ÇRK-24	25,7	2	9,23	30,7	61	11	26	37,5	1,45	22,38	38,66	72,27	9,66	18,07		10,3-Memba Suyu
ÇRK-25	45,7	2	16,4	33,8	119	17	44	44,21	0,96	26,44	28,38	75,79	7,92	16,29		18,3-Tatlı Su
ÇRK-26	7,61	2	2,06	108	46	20	24	7,17	0,94	3,21	88,68	61,32	19,81	18,87		2,75-Memba Suyu

3. Bulgular

3.1.Hidrojeolojik Değerlendirme

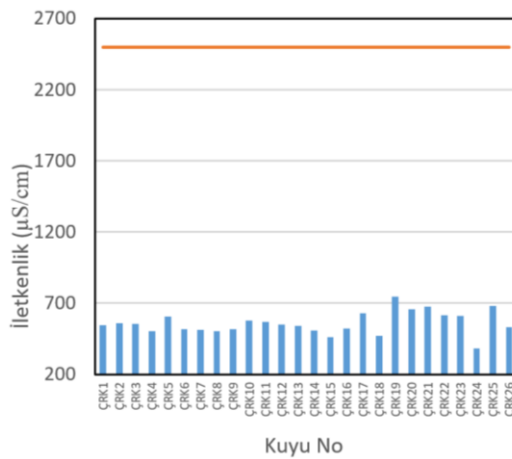
İnceleme alanındaki DSİ 11. Bölge Müdürlüğü tarafından 1960'lı yıllarda açılan sondaj kuyularının derinlikleri genellikle 200-250 m'dir. Ancak sonraki yıllarda açılan kuyularda bu derinlikler giderek artmıştır ve günümüzde derinliklerin 600-650 m seviyelerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu kuyulardan elde edilen DSİ 11. Bölge Müdürlüğü verilerine göre, kuyuların beslenme miktarı, iklimsel değişikliklerden kaynaklanan nedenlerden dolayı azalmıştır ve aşırı çekim nedeniyle su seviyesinde önemli miktarlarda düşüşler yaşanmıştır. Bu

değişimin 1976 yılından sonra başladığı DSİ yetkilileri tarafından belirtilmektedir. Farklı kuyularda zaman zaman farklı seviye düşüşleri gözlenmiştir (100-150 m), bu durum yağış ve yüzey suyunun akifere ulaşma şekline veya akım yönüne bağlı olarak değişebilir. Tekirdağ Su ve Kanalizasyon İdaresi (TESKİ)'nin ve DSİ'nin kuyularına ait tüm kuyu loglarına erişilemediği için jeolojik bir profil oluşturulamamıştır. Ancak, mevcut raporlar ve ilgili literatürlerle bölgenin jeolojisi yorumlanmaya çalışılmıştır. Bölgesel hidrojeolojik değerlendirmede, derinlikleri 200 m üzerinde olan sondaj kuyularının litolojisinin genellikle üstte Ergene formasyonu ile başlayıp altta Danişmen formasyonu ile son bulduğu

gözlemlenmektedir. Ergene formasyonunun ortalama olarak 300 m kalınlık gösterdiği ve altında Danişmen formasyonunun killi birimlerle geçirimsiz bir taban oluşturduğu bilinmektedir. Ergene formasyonunun Danişmen formasyonu killi seviyesine ulaşmadan önce çakıllı ve kumlu seviyeleri bulunmaktadır. Mevcut açılan kuyuların genel profili, Ergene formasyonu ile başlayıp altında Danişmen Formasyonunun killi seviyeleri ile son bulmaktadır. Kuzey kesimlerde Ergene formasyonunun kalınlığının 300-350 m civarında olduğu, doğuda 320m, batıda ise 370 m civarında olduğu DSİ belgelerinde belirtilmektedir (URL 2, 2024).

3.2.Hidrojeokimyasal Değerlendirme

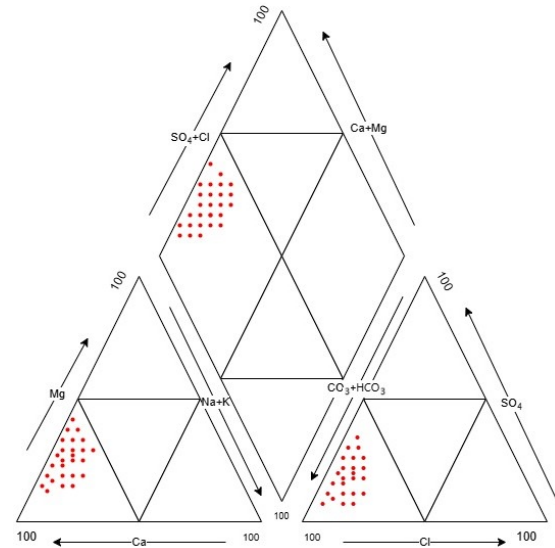
Çerkezköy ilçesine içme suyu sağlayan yaklaşık 26 adet kuyuda 19 adet fiziksel, kimyasal ve kirlenme analizleri (Çizelge 1) yapılarak Sağlık Bakanlığı'na ait "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (URL 1, 2005)" ve farklı yönetmelikler doğrultusunda içme suyu kalitesi irdelenmiştir. Uluslararası standartlar dikkate alınarak grafiklerde sınır değerler turuncu yatay çizgi ile gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında bu kirlenme parametrelerinin muhtemel insan sağlığına etkileri de tartışılmıştır. Fransız sertliğine göre sular genel olarak "tatlı su" olarak sınıflandırılmıştır. Ancak 7 adet. su kuyusu "memba suyu" 1 adet su kuyusu "çok fazla sert su" olarak nitelendirilmiştir (Çizelge 1).



Şekil 2. Çerkezköy ilçesi su örneklerinin elektriksel iletkenlik değişimi

Şekil 2'de çalışma alanındaki su örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC-µS/cm) değerlerinin dağılım grafiği görülmektedir. Elektriksel iletkenlik, suyun elektriği iletme kabiliyetini ölçerek bir su kütlesindeki iyonik içeriktir (klorür, nitrat, sülfat, sodyum, magnezyum, kalsiyum veya demir gibi) (referans). Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik ve Avrupa Birliği içme suyu direktifleri yönetmeliklerine (URL 1, 2005; URL 3, 2023) göre elektriksel iletkenlik üst sınır değeri 2500 µS/cm (20 °C'de) dir. Suyun iletkenliği, su

kalitesini ölçmek için çok önemli bir indekstir ve sudaki dielektrik derecesini yansıtabilir. Su inorganik asit, alkali veya tuz içerdiğinde iletkenliği artar. İyon konsantrasyonu, belirli bir matematiksel ilişki yoluyla iletkenliğe eşdeğerdir (Aral, B., 2024). Su örneklerindeki toplam çözünmüş katı madde (TDS) içeriği ile elektriksel iletkenliği arasında bir ilişki vardır. 26 adet kuyuda tespit edilen elektriksel iletkenlik değerleri mevcut yönetmeliklerde belirtilen sınır değerinin altında ölçülmüştür. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri ÇRK 19 nolu kuyuda 747 µS/cm, en düşük elektriksel iletkenlik değeri ÇRK 24 nolu kuyuda 382 µS/cm bulunmuştur. Diğer kuyularda elektriksel iletkenlik değerleri 400-600 µS/cm aralığında değişmektedir. Tüm değerler dikkate alındığında mevcut kuyu sularında çözünmüş madde ve iyon konsantrasyonlarının düşük olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak ifade etmek gerekirse iletkenlik distile sularda 0.5-3 µS/cm, çeşme sularında 50-800 µS/cm, taze su akıntılarında 100-1000 µS/cm, endüstriyel atık sularda 10.000 µS/cm, deniz suyunda 55000 µS/cm'dir (Lang vd., 2006). Lang vd.'nin yapmış olduğu bir çalışmada, yeraltı suyunun kış ve yaz aylarındaki ortalama TDS değerleri sırasıyla 614 ve 564 mg/L olarak bulundu. Bu da yeraltı suyunun TDS değerlerinin yağışlardan dolayı kış aylarında daha yüksek olduğunu göstermektedir (Lang vd., 2006) .

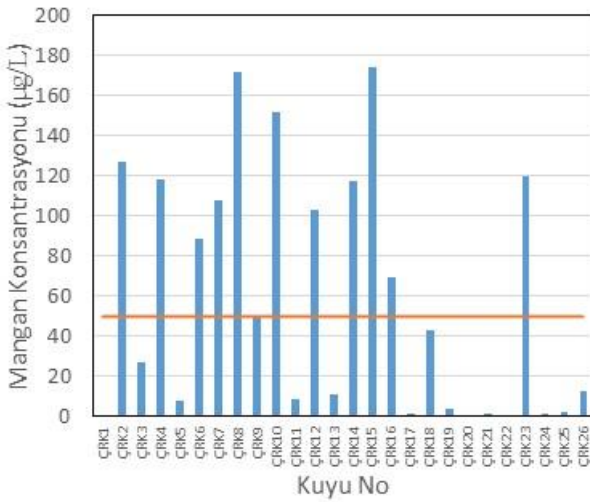


Şekil 3. Kuyu sularının kimyasal analizlerine ait Piper diyagramı (26 adet kuyunun kimyasal verilerine göre numaralandırılmadan kırmızı noktalar şeklinde verilmiştir).

Alınan su örneklerinde toplam anyon, katyon analizleri yapılmıştır. Piper (1944) diyagramına göre tüm su örnekleri kimyasal açıdan değerlendirilmiştir. Piper diyagramında; katyon oranlarına göre sular, sodyum (Na⁺), potasyum (K⁺) ve kalsiyum (Ca) iyonları açısından zengindir. Anyon oranlarına göre ise bikarbonat (HCO₃⁻) ve yer yer klor (Cl⁻) açısından zengin sular olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Anyonlar; HCO₃⁻>Cl⁻>SO₄²⁻ ve

Katyonlar; $Na^+ > Ca^{+2} > K^+ > Mg^{+2}$ şeklinde dizildiği belirlenmiştir.

Ağır metaller, temel ve temel olmayan ağır metaller olmak üzere iki gruba ayrılır. Temel ağır metallere örnek olarak mangan (Mn), demir (Fe), bakır (Cu) ve çinko (Zn) verilebilirken temel olmayan ağır metallere örnek olarak kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve cıva (Hg) verilebilir (Hazrat vd., 2019). Mangan (Mn), yerkabuğunda en çok bulunan metallerden biridir ve genellikle demir ile birlikte bulunur. Mangan konsantrasyonlarının kuyu lokasyonlarına bağlı olmadan arttığı ve azaldığı görülmektedir (Şekil 4).



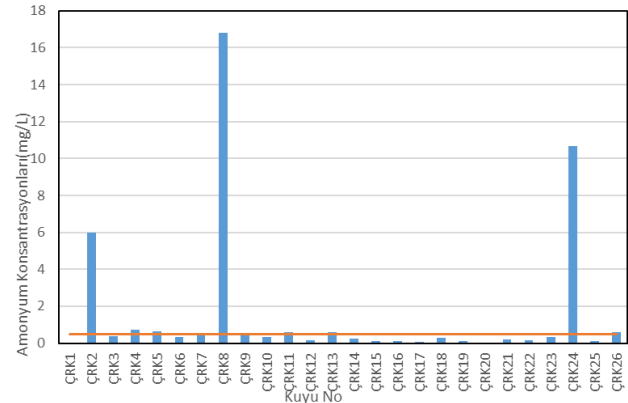
Şekil 4. Çerkezköy ilçesi su örneklerinin mangan konsantrasyonu değişimi

Kuyu lokasyonlarına yakın mesafede sanayi bulunmamaktadır. Bazı kuyu lokasyonlarına yakın mesafeden dere akıntısı mevcuttur. Kuyulardan alınan su örneklerindeki mangan konsantrasyon değerleri 1.0-174 µg/L arasında değişmektedir (Çizelge 1). Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik ve Avrupa Birliği içme suyu direktifleri yönetmeliklerine (URL 1, 2005; URL 3, 2023) göre içme sularında mangan konsantrasyonunun sınır değeri 50 µg/L dir. ÇRK 2, ÇRK 4, ÇRK 6, ÇRK 7, ÇRK 8, ÇRK 10, ÇRK 12, ÇRK 14, ÇRK 15, ÇRK 16, ÇRK 23 nolu kuyularda mangan konsantrasyonları sınır değerleri aşmaktadır. ÇRK 1, ÇRK 5, ÇRK 11, ÇRK 13, ÇRK 17, ÇRK 19, ÇRK 20, ÇRK 21, ÇRK 22, ÇRK 24, ÇRK 25, ÇRK 26 kuyularında çok düşük mangan konsantrasyonları ölçülmüştür. 20 µg/L kadar düşük konsantrasyonlarda, mangan su boruları üzerinde daha sonra siyah bir çökelti olarak dökülebilecek kaplamalar oluşturabilir.

Mangan için 0,05 mg/L (50µg/L) limit değeri standartlarda (URL 1, 2005; URL 3, 2023) belirlemiştir. Bu değerin üzerindeki konsantrasyonlarda sulara renk bozulması sorunları meydana gelebilir. Mangan, esas olarak demir ve çelik alaşımlarının ve mangan bileşiklerinin imalatında ve çeşitli ürünlerde bir bileşen

olarak kullanılır. Mangan dioksit ve diğer mangan bileşikleri pil, cam ve havai fişek gibi ürünlerde kullanılmaktadır (IPCS, 2004). 20 µg/L'lik ortalama içme suyu seviyesinde, günlük 2 litre su alımı varsayıldığında, bir yetişkin için mangan alımı 40 µg/gün olacaktır. Oksijen konsantrasyonu düşük yeraltı suyu genellikle yüksek seviyelerde çözünmüş mangan içerir. Divalent form (Mn^{+2}) pH 4-7'de çoğu suda baskındır, ancak daha yüksek oranda oksitlenmiş formlar daha yüksek pH değerlerinde meydana gelebilir veya mikrobiyal oksidasyondan kaynaklanabilir (ATSDR, 2000).

Son yıllarda, içme suyu kaynağı olarak hizmet veren bazı yüzey sularındaki amonyum konsantrasyonu, büyük miktarda endüstriyel ve evsel atık suların mevcut su kaynaklarına deşarj edildiğinden, izin verilen standarttan çok daha yüksektir (0.5 mg/L). Şekil 5'de Çerkezköy yerleşim merkezi mevcut içme suyu kuyularında amonyum iyonu konsantrasyonları gösterilmiştir. Amonyum konsantrasyonları genel olarak 0.5 mg/L'nin altında ölçülmüştür. ÇRK 2, ÇRK 8, ÇRK 24 kuyularında çok yüksek amonyum konsantrasyonları ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Çerkezköy ilçesi su örneklerinin amonyum konsantrasyon değişimi (mg/L, ÇRK 2, ÇRK 8, ÇRK 24 örneklerinin konsantrasyonları 100 kat küçültülmüştür.)

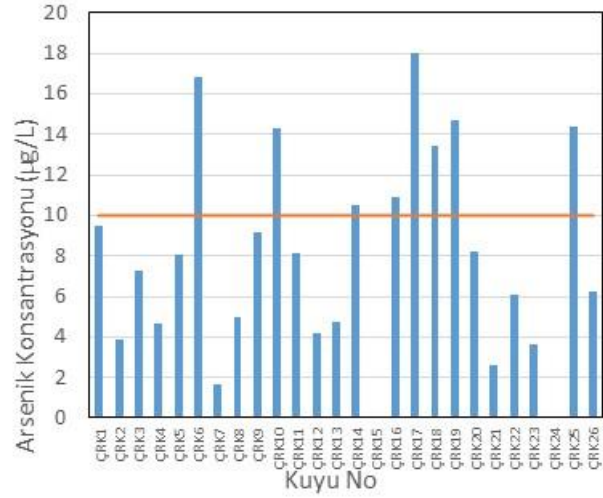
ÇRK 2, ÇRK 8 ve ÇRK 24 kuyularına ait su örneklerinin amonyum konsantrasyonları sırasıyla 5.98×10^2 mg/L, 16.82×10^2 mg/L ve 10.67×10^2 mg/L olarak ölçülmüştür. Kuyu lokasyonları dikkate alındığında sistematik bir azalma ya da artış tespit edilememiştir. Kuyu çevrelerinde fabrika bulunmamaktadır. Bölgenin tarım alanı olması kuyularda benzer sonuçların ölçülmesini gerektirirdi. Kuyuların paralelinde kirli bir akarsuyun mevcudiyeti kontaminasyon ihtimalini akla getirmektedir. Amonyum iyonu genel olarak taze kirlenmenin bir belirtisi olarak kullanılmaktadır. Azotlu bileşikler öncelikle amonyum/amonyak, nitrit ve nitrat sıralamasında bir dönüşüme uğramaktadır. "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te (URL 1, 2005)" amonyum sınır konsantrasyonu 0.5 mg/L olarak verilmiştir. Avrupa birliği içme suyu standartlarına (URL 3, 2023) göre de amonyum

üst sınır değeri 0.5 mg/L'dir. 0,5 mg/L'ye kadar olan amonyum konsantrasyonları, su şebekelerinde dağıtım sisteminde amonyum nitrite dönüşmüyorsa kabul edilir (Schullehner vd., 2018). Çalışma alanındaki su örneklerinin amonyum konsantrasyon miktarları: ÇRK 2 (598 mg/L), ÇRK 4 (0.721 mg/L), ÇRK 5 (0.622 mg/L), ÇRK 8 (1682 mg/L), ÇRK 11 (0.612 mg/L), ÇRK 13 (0.599 mg/L), ÇRK 24 (1067 mg/L), ÇRK 26 (0.577 mg/L) 0.5 mg/L sınır değerinden yüksektir. Kuyularda ölçülen yüksek amonyum konsantrasyonlarının tarımsal kökenli (gübre kullanımı) olduğu düşünülmektedir. Amonyum formundaki nitrojenin jeojenik seviyelerinden daha yüksek seviyelerde bulunması, son zamanlarda kanalizasyondan kaynaklanan kirliliğin önemli bir göstergesidir ve halk sağlığına ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu, amonyumun gübrelerden de kaynaklanabileceği gerçeğine atfedilebilir, ancak bu durumda amonyum toprakta nispeten kolaylıkla nitritlere ve son olarak nitratlara oksitlenir (Karavoltos vd, 2008).

Arsenik doğada inorganik ve organik formda oluşan bir elementtir. Yeraltı ve yerüstü sularında bulunan arseniğin inorganik formları en toksik olanıdır. Son zamanlarda yapılan izleme çalışmaları, yüzey ve yeraltı sularında arsenik konsantrasyonunda < 0,1 µg/L ile 21.000 µg/L arasında değişen bir artış olduğunu ortaya koydu (Haldar vd., 2020; Aral, 2024). Arsenik cilt kanseri, kalp ve damar hastalıkları, nörolojik rahatsızlıklar oluşturduğu bilinmektedir. Doğal birikintilerin erozyonu, meyve bahçelerinden akış, cam ve elektronik üretim atıklarından meydana gelen akışlar, içme suyunda arsenik açısından kirlenici kaynağı olabilir (Haldar vd., 2020).

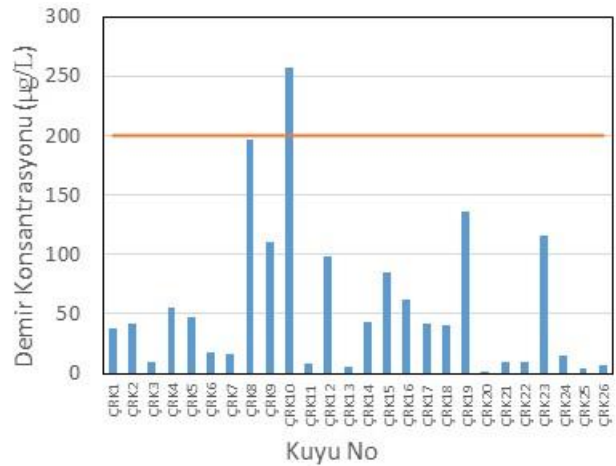
Şekil 6'da Çerkezköy belediyesi su kuyularında arsenik konsantrasyonlarının değişimi verilmiştir. Grafiğe göre yedi kuyuda arsenik konsantrasyonlarının pik değere ulaştığı görülmektedir. ÇRK 6 (16.8 µg/L), ÇRK 14 (10.5 µg/L), ÇRK 16 (10.9 µg/L), ÇRK 18 (13.4 µg/L), ÇRK 19 (14.7 µg/L) ve ÇRK 25 (14.4 µg/L) kuyularında Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik (URL 1, 2005) ve Avrupa Birliği içme suyu direktifleri yönetmelikleri (URL 3, 2023) üst sınır değerlerini (10 µg/L) aşmaktadır. Harita üzerinde kuyu lokasyonları incelendiğinde ÇRK 15 ve ÇRK 19 lokasyonlarında arsenik konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Arsenik genel olarak maden yatakları, cevher alanlarında noktasal olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kuyu loglarının olduğu alanlar dikkatlice incelenmelidir. Gerekirse kuyular kapatılarak yeni noktalarda kuyular açılmalıdır. Diğer 20 kuyuda arsenik konsantrasyonları limit değerlerin altında ölçülmüştür. 1999 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde içme suyunda arsenik için mevcut maksimum kirlenici madde seviyesi 50 µg/l olarak ayarlanmıştır. İlgili kanser

riskleri nedeniyle, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (URL 4,2024), arsenik üst sınır değerini önemli ölçüde düşürmek amacıyla arsenik için izin verilen mevcut seviyeyi 10 µg/L'ye düşürmüştür.



Şekil 6. Çerkezköy ilçesi su örneklerinin arsenik konsantrasyonu

Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik (URL 1, 2005) ve Avrupa Birliği içme suyu direktifleri yönetmeliklerine (URL 3, 2023) göre, demir konsantrasyonunun üst sınır değeri 200 µg/L dir. ÇRK 1-ÇRK 7 kuyu sularında demir konsantrasyonları 10 µg/L-55.7 µg/L arasında değişmektedir (Şekil 7). ÇRK 8, ÇRK 9 ve ÇRK 10 kuyularında demir konsantrasyonları diğer kuyulara göre çok yüksektir. ÇRK 8, ÇRK 9 ve ÇRK 10 kuyularında demir konsantrasyonları sırasıyla 196 µg/L, 110 µg/L ve 257 µg/L ölçülmüştür. ÇRK 12 (97.8 µg/L), ÇRK 15 (84.6 µg/L), ÇRK 19 (136 µg/L) ve ÇRK 23 (116 µg/L) kuyularında demir konsantrasyonları yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer kuyularda demir konsantrasyonları 10 µg/L-62 µg/L arasında bulunmuştur. ÇRK 3, ÇRK 20, ÇRK 21, ÇRK 22, ÇRK 24, ÇRK 25 ve ÇRK 26 kuyuları demir konsantrasyonları 10 µg/L civarında ölçülmüştür.

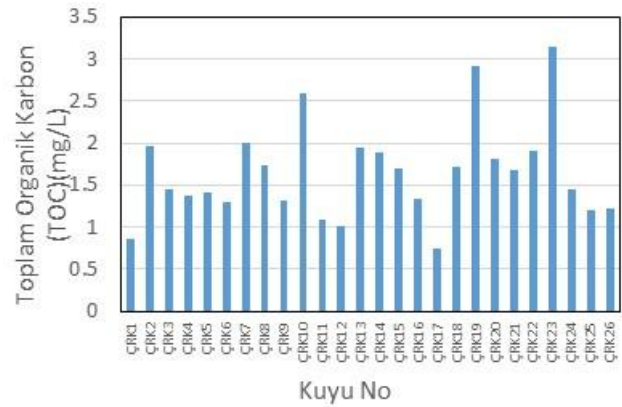


Şekil 7 . Çerkezköy ilçesi su örneklerinin demir konsantrasyonu değişimi

Demir konsantrasyonu sadece ÇRK 10 nolu kuyu suyunda sınır değeri aşmaktadır. Diğer kuyularda içme suları açısından bir problem mevcut değildir. Demir, yer kabuğunda en bol bulunan ikinci element olarak kabul edilir ve bu aynı zamanda dünyadaki mevcut elementler arasında dördüncü sırada yer alır. Çözülmüş demir, görünür kırmızımsı renk görünümü ve nahoş metalik tat ile su kalitesini düşürdüğünden, suda demirin varlığı kritik bir endişe kaynağıdır (Kamboj vd., 2020). Öncelikle sulu ortamda bulunan demir, çözünür formlar (Fe (II)) ve çözünmeyen formlar (Fe (III)) olarak sınıflandırılır. Sonuç olarak, ortamın pH'ı, doğal suda demir oluşumu için çok önemli bir rol oynar. Demir hidroksit (Fe(OH)₂(aq)) pH 6'nın altında var olduğu ve bunun ötesinde ferrik hidroksite (Fe(OH)₃(aq)) oksitlendiği bilinmektedir (Aral, 2024). Madencilik, demir ve çelik endüstrilerinden üretilen kontamine atıkların oluşumu da dahil olmak üzere çeşitli antropojenik kirleticiler, su kütlelerinde yüksek konsantrasyonda demirin salınmasına yol açar. Yağmurun toprak, kayalar ve minerallerden süzülerek geçmesi gibi doğal süreçler de yüzey sularında potansiyel doğal demir kirliliği kaynakları olarak kabul edilmektedir (Haldar vd., 2020). Kuyu sularında demir konsantrasyonuna bağlı olarak sanayi kirliliği ilişkisi tespit edilememiştir.

Toplam organik karbon analizi, sudaki partikül organik kirleticilerin çevresel etkisini değerlendirmek (şebeke içerisinde bakteriyolojik büyümeyi kontrol etmek) ve karbon döngüsü kütle dengesini hesaplamak için kritik öneme sahiptir. TOC değişiminin kuyu lokasyonlarına bağlı olmadan çok farklı değerler aldığı tespit edilmiştir. Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik ve Avrupa Birliği içme suyu direktifleri yönetmelikleri (URL 1, 2005; URL 3, 2023) kapsamında günde 10.000 m³'ten az su verilmesinde bu parametrenin ölçülmesine gerek olmadığı belirtilmiştir. Çerkezköy ilçesinde nüfusa bağlı su tüketimi günlük bu değer çok üzerinde olduğundan TOC ölçümü gereklidir. Sudaki karbon içeren bileşiklerin miktarı, suda bulunan doğal organik maddenin bir göstergesi olan toplam organik karbon (TOC) olarak ifade edilir. Hem doğal olarak bulunan organik maddeleri hem de insan yapımı organik kimyasalları içerir TOC mevcudiyetinde içme suyu sistemlerindeki büyüme, örneğin mikrobiyal kaynaklı korozyon veya aşırı biyofilm, tortu veya omurgasızlar nedeniyle su hatlarının veya su sayaçlarının tıkanması gibi teknik şikayetlere neden olabilir. Bir içme suyu sisteminin biyolojik stabilitesini belirleyen en önemli faktör, içme suyu sistemindeki besin konsantrasyonudur, çünkü diğer faktörlerin mikrobiyal büyüme için uygun olup olmadığına bakılmaksızın, besin konsantrasyonları yeterince düşük

olduğunda mikrobiyal büyüme sınırlı olacaktır (Van der Kooij & Van der Wielen, 2014). İçme sularında TOC'nin sifıra yakın bir değer olması istenen bir durumdur. Mevcut yönetmeliklerde TOC parametresi üst sınır değeri belirtilmemiştir. En yüksek TOC konsantrasyonları ÇRK 10 (2.598 mg/L), ÇRK 19 (2.923 mg/L) ve ÇRK 23 (3.133 mg/L) kuyularında ölçülmüştür. Mevcut mevzuat incelendiğinde tüm kuyularda su kalitesi A1 grubuna girmektedir. En düşük TOC konsantrasyonu ÇRK 17 (0.754 mg/L) kuyusunda ölçülmüştür. Koley vd. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, ham sudaki ortalama TOC seviyesi 3,80 ile 3,90 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Çerkezköy ilçesi su örneklerinde toplam organik karbon konsantrasyonu (TOC) değişimi

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışması kapsamında, Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (TESKİ) kontrolündeki 26 adet Çerkezköy içme suyu kuyusu hakkında bilgiler ile DSİ Edirne 11. Bölge Müdürlüğü'nün bölgedeki çalışmaları ve ilgili kişiler ile 2024 yılında yapılan sözlü görüşmeler çerçevesinde kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır.

Çalışmalarımız sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. İnceleme alanı jeolojik yapı ve yeraltı suyu açısından değerlendirildiğinde, yeraltı suyunun batı-kuzeybatı yönünde hareket ettiği tespit edilmiştir. Ergene Formasyonu, bölgenin en önemli akiferi olarak belirlenmiş ve Danişmen Formasyonu ise akiferi tabandan sınırlayan geçirimsiz bir birim olarak tespit edilmiştir. İlk verilerin alındığı 1969 yılında, statik su seviyesinin 32 m olduğu, 1982'de 44 m, 1992'de 50 m, 2002'de 80 m ve 2023'te 150 m olduğu belirlenmiştir. Sürekli düşen su seviyeleri, ileriki yıllarda kuyulardaki pompaların güncellenmesi ve daha derine indirilmesini gerektirecektir. Bu, enerji tüketimini artırarak ekonomik yük oluşturacaktır. Ayrıca, sanayi sektörünün uzun vadede yeni su kaynakları yaratması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Çünkü mevcut yeraltı suyu bu ihtiyacı karşılayacak yeterlilikte değildir.

26 kuyuda tespit edilen elektriksel iletkenlik değerleri mevcut yönetmeliklerde belirtilen üst sınır değerinin altında ölçülmüştür. Kuyularda genellikle iletkenlik değerleri 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin altındadır. En yüksek elektriksel iletkenlik değeri ÇRK 19 kuyusunda 747 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en düşük elektriksel iletkenlik değeri ÇRK 24 kuyusunda 382 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bulunmuştur.

ÇRK 6 (16.8 $\mu\text{g}/\text{L}$), ÇRK 14 (10.5 $\mu\text{g}/\text{L}$), ÇRK 16 (10.9 $\mu\text{g}/\text{L}$), ÇRK 18 (13.4 $\mu\text{g}/\text{L}$), ÇRK 19 (14.7 $\mu\text{g}/\text{L}$) ve ÇRK 25 (14.4 $\mu\text{g}/\text{L}$) kuyularında arsenik konsantrasyonları Sağlık Bakanlığı insani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik ve Avrupa Birliği İçme Suyu Direktifleri yönetmelikleri üst sınır değerlerini (10 $\mu\text{g}/\text{L}$) aşmaktadır. Diğer kuyularda içme suyu açısından bir problem bulunmamaktadır.

Piper diyagramına göre bu sular sodyum, potasyum, kalsiyum, bikarbonat ve klorür açısından zengin sulardır. Sular Fransız sertlik derecesine göre genel olarak "tatlı su" sınıfındadır.

İçme sularında TOC'nin sifıra yakın olması istenmektedir. Mevcut yönetmeliklerde TOC parametresi için üst sınır değeri belirtilmemiştir. Kuyuların çoğunda toplam organik karbon konsantrasyonunun 0,5 mg/l'nin üstünde ölçülmesi, su dağıtım şebekelerinde bakteriyolojik büyüme riskini taşımaktadır. En yüksek TOC konsantrasyonları ÇRK 10, ÇRK 19 ve ÇRK 23 kuyularında ölçülmüştür.

Genel olarak 0.5 mg/L'nin altındadır. ÇRK 2, ÇRK 8 ve ÇRK 24 kuyularında yüksek amonyum konsantrasyonları bulunmuştur. Kirli bir akarsu varlığı kontaminasyon olasılığını düşündürmektedir. Amonyum iyonu genellikle taze kirlenmenin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Amonyum konsantrasyonları ÇRK 2, ÇRK 8 ve ÇRK 24 kuyuları dışında limit değerinin altında ölçülmüştür.

Demir konsantrasyonu ÇRK 10 kuyusunda sınır değeri aşmaktadır. ÇRK 8 kuyusunda demir konsantrasyonu sınır değere yakın bulunmuştur. Demir konsantrasyonları ile sanayi kirliliği arasında bir ilişki tespit edilmemiştir.

Toplam 11 adet kuyuda mangan konsantrasyonları sınır değerinin üstünde ölçülmüştür. Bu durum içme su şebekelerinde renk oluşumuna neden olacaktır. ÇRK 2, ÇRK 4, ÇRK 6, ÇRK 7, ÇRK 8, ÇRK 10, ÇRK 12, ÇRK 14, ÇRK 15, ÇRK 16 ve ÇRK 23 kuyularında mangan konsantrasyonları sınır değerleri (50 $\mu\text{g}/\text{L}$) aşmaktadır. Mangan sularda renk ve bulanıklığa sebep olur. Kuyu lokasyonları ve sanayi tesisleri yerleşimleri dikkate alındığında, kuyularda sanayiden kaynaklanan kirlilik ilişkisi bulunamamıştır.

Arsenik konsantrasyonları toplam 26 kuyunun 8'inde 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ sınır değerinin üstünde bulunmuştur. Arsenik kirliliği,

genellikle maden yataklarına yakın alanlarda ortaya çıkmaktadır.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Bu çalışma Prof. Dr. Ali Rıza DİNÇER danışmanlığında Beyza ARAL tarafından 2024 tarihinde tamamlanan "Çerkezköy İlçesi Yeraltı Suları Potansiyeli ve Eysel Su Kullanım Kalitesi" başlıklı yüksek lisans (Tez no: 881598) tezinden türetilmiştir.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak
Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deneyleme, Biçimsel analiz, Doğrulama, Metodoloji, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak,

Yazar 3: Araştırma, Fikir Sahibi, Deney tasarımı, Proje Yöneticisi, Görselleştirme, Yazma – orijinal taslak

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Bu makale Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir. Tezin üretilmesi esnasında gerekli desteklerini sözlü ya da belge olarak almış olduğumuz Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresine (TESKİ), DSİ. Edirne 11. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç biliriz.

5. Kaynaklar

- Alsalmeh, A., Al-Zaqri, N., Ullah, R., & Yaqub, S. (2021). Approximation of ground water for microbial and chemical. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 1757-1762. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.017>
- Aral, B., 2024, Çerkezköy ilçesi Yeraltı Suları Potansiyeli ve Eysel Su Kullanım Kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorlu, 68 s.
- APHA (1989) Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. 17.th Edition, American Public Health Association, Washington DC.
- Arkoç, O., 2005, Ergene Havzası Çorlu-Çerkezköy arasındaki kesiminin hidrojeolojisi. İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi, 144 s. (yayınlanmamış).
- ATSDR. (2000). *Toxicological profile for manganese*. Atlanta: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry Atlanta, Georgia 30333.
- Haldar, D., Duarah, P., & Purkait, M. (2020). *MOFs for the treatment of arsenic, fluoride and iron contaminated drinking water*. *Chemosphere*, 251, 126388.

- <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126388>
- Hazrat, A., Khan, E., Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation, J. Chem., 2019, 6730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>.
- IPCS. (2004). Manganese and its compounds Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety. *Concise International Chemical Assessment document 63, Geneva 2004*.
- Karavoltsos, S., Sakellari, A., Mihopoulos, N., & Dassenaki, M. (2008). *Evaluation of the quality of drinking water in regions of Greece*. Desalination, 224, 317-329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.06.013>.
- Khatri, N., Tyagi, S., Rawtani, D., Tharmavaram, M., Kamboj, R.D. (2020). Analysis and assessment of ground water quality in Satlasana Taluka, Mehsana district, Gujarat, India through application of water quality indices. Groundwater for Sustainable Development, 10, 100321. <https://doi.org/10.1080/21553769.2014.933716>
- Koley, S., Rao, K.B., Khwirakpam, M., Kalamdhad, A.S., (2024). Identification and assesment of critical parameters affecting drinking water quality: A case study of water treatment plants of India. Graundwater for Sustainable Development, 26, 101221. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gds.2024.101221>
- Lang, Y-C., Liu, C-Q., Zhao, Z-Q., Li, S-L., Han, G-L., (2006), Geochemistry of surface and graund water in Guiyang, Chine: Water/Rock interaction and pollution in a karst hydrological system. Applied Geochemistry, 21, 887-903. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.03.005>
- Piper, A. M., (1944), A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Transactions American Geophysical Union, 25 (6), pp: 914-928
- Salman, G. İ. (2019). *Kaman (Kırşehir) bölgesi yeraltı suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak değerlendirilmesi*. Kırşehir: Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Ana Bilim Dalı, 57s.
- Sargın, A.H (2010). Yeraltı Suları. *Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Dairesi Başkanlığı*. (s. 200), Ankara.
- Schullehner, J., Hansen, B., Thygesen, M., Pedersen, C., & Sigsgaard, T. (2018). *Nitrate in drinking water and colorectal cancer risk: A nationwide population-based cohort study*. International Journal of Cancer, 143, 73-79. <https://doi.org/10.1002/ijc.31306>
- Van der Kooij, D., Van der Wielen, P.W.J.J. (2014). *Microbial Growth in Drinking Water Supplies*, IWA Publishing Alliance House London, UK.
- Yeşilnacar, M.İ., Yenigün, İ., (2011), Effect of irrigation on a deep aquifer: a case study from the semi arid Harran plain, GAP Project, Turkey. Bull Eng. Geol. Environ. 70, 213-221.
- Yeşilnacar, M.İ., et all, (2016), Geomedical assesment of an area having high-fluoride groundwater in southeastern Turkey, Environ Earth Sci. 75, 162.
- Yetiş, A.D., Kahraman, N., Yeşilnacar, M.İ., Kara, H., (2021), Groundwater Qality Assesment Using GIS Based on some Pollution Indicators over the past 10 years (2005-2015): A Case Study from Semi Arid Harran Plain, Turkey, Water Air Soil Pollution, 232, 1-17, <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04963-7>

İnternet Kaynakları

1. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/02/20050217-3.htm>, Erişim Tarihi: 17.02.2005,
2. <https://bolge11.dsi.gov.tr>, Erişim Tarihi: 20.02.2024,
3. <https://www.irishstatutebook.ie>, Erişim Tarihi: 17.12.2023
4. www.epa.gov/groundwater-and-drinkingwater, Erişim Tarihi: 14.03.2024.