



İzmit Körfezi İle Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akiferin Hidrojeokimyasal Özellikleri

Hydrogeochemical Properties of Granular Aquifer Between Izmit Gulf and Sapanca Lake

Meral Erdoğan Topçuoğlu ^{1*}, Remzi Karagüzel ²

¹ DSİ 2. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik ve YAS Şube Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: erdoganmer@itu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 13.08.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 27.12.2021

DOI:10.21205/deufmd.2022247117

Atıf şekli/How to cite: ERDOĞAN TOPÇUOĞLU, M., KARAGÜZEL, R. (2022). İzmit Körfezi İle Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akiferin Hidrojeokimyasal Özellikleri. DEUFMD, 24(71), 529-540.

Öz

Bu çalışmada; İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasındaki Kuvaterner yaşlı taneli akiferin hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Taneli akiferdeki yeraltı suyunun kalitesini belirlemek amacıyla 14 adet kuyu-kaynak seçilerek, örnekler alınmış ve arazide pH, Özgül Elektriksel İletkenlik (EC: $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve T ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ölçülmüştür. İzmit Havzası, Körfez Alt Havzası ve Sapanca Gölü Alt Havzası olmak üzere iki ayrı alt havzaya ayrılmıştır. Körfez Alt Havzasında EC değerleri 479-2870 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Sapanca Gölü Alt Havzasında ise EC değerleri 385-560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişim göstermektedir. İzmit Havzası'nın batısında ölçülen göreceli yüksek EC değerlerinin tuzlu su girişi ve antropojen kökenli olduğu düşünülmektedir. İzmit Havzası'nda taneli akiferden alınan yeraltı suyu örneklerinde genel olarak Ca-HCO₃ ve kıyı kesimde ise Na-Cl iyonlarının baskın olduğu tespit edilmiştir. Ağır metal derişimleri genel olarak İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirtilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Ancak alınan örnekler arasından M33 nolu önekte sınır değerinin üzerinde As (44,2 ppb), B (111,0 ppb) ve Mn (421,4 ppb); M30 nolu önekte sınır değerinin üzerinde As (17,9 ppb) ve Mn (344,4 ppb) derişimleri tespit edilmiştir. Yeraltı sularında yüksek derişimli bor, mangan ve arsenik bulunması kirlilik belirtisi olarak değerlendirilmektedir. İzmit Havzası'nın batısında, Kuzey Anadolu Fayı etkisi alanındaki yeraltı sularında yüksek bor değerine rastlanılmaktadır. İnceleme alanında NO₃ değerleri 0,10-13,45 mg/l arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: İzmit Havzası, Hidrojeokimya, Hidrojeokimyasal Fasiyeler, Yeraltı Suyu Kirliliği

Abstract

In this study, hydrogeochemical characteristics of the Quaternary aged granular aquifer between Izmit Gulf and Sapanca Lake have been investigated. In order to determine the quality of the groundwater in the granular aquifer, groundwater samples were taken from 14 wells and springs which were representative, and pH, Electrical Conductivity (EC: $\mu\text{S}/\text{cm}$) and T ($^{\circ}\text{C}$) were measured. The Izmit Basin is divided into two subbasins as Körfez Subbasin and Sapanca Lake Subbasin. The EC values in the Körfez Subbasin vary between 479-2870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and in the Sapanca Lake Subbasin vary between 385-560 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Relatively high EC values measured in the west of the Izmit Basin are

thought to be associated with salt water intrusion and anthropogenic origin. In the Izmit Basin, Ca-HCO₃ ions were dominant in the groundwater samples taken from the granular aquifer and Na-Cl ions were dominant in the coastal part. In the study area, heavy metal concentrations are generally below the limit values specified in the Regulation on Waters for Human Consumption. Above the limit value concentrations of As (44,2 ppb), B (111,0 ppb) and Mn (421,4 ppb) were identified at sample locations M33 and above the limit value concentrations of As (17,9 ppb) and Mn (344,4 ppb) were identified at sample locations M30 in the Körfez Subbasin. High concentrations of boron, manganese and arsenic in groundwater is considered as a sign of pollution. In the western part of the Izmit Basin, high boron values are found in the groundwater which is influenced by the Northern Anatolian Fault. NO₃ values in the study area vary between 0,10-13,45 mg/l.

Keywords: Izmit Basin, Hydrogeochemistry, Hydrogeochemical facies, Groundwater pollution

1. Giriş

Kocaeli İli'nde 1970'li yıllardan günümüze çok hızlı bir şekilde nüfus artışı yaşanmıştır. Bu artışa bağlı olarak gelişen endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucunda Kocaeli İli'nde önemli çevresel sorunlar oluşmuştur. Bu çevre sorunları su kaynakları üzerinde hem miktar hem de kalite açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

Kocaeli İli, geçmiş dönemlerde birçok araştırmacının dikkatini çektiğinden; havzanın jeolojik özelliklerini kapsayan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bölgenin jeolojisini kapsayan ilk çalışmalarda; Abdüsselamoğlu [1] tarafından MTA Enstitüsü adına Kocaeli Yarımadasının jeolojisini 1/100.000 ölçeğinde incelenmiş ve Bulut [2] tarafından da İzmit-Sapanca-Gölcük Ovaları'nın hidrojeolojik etüt araştırması yapılmıştır. Göncüoğlu ve diğ. [3], Erendil ve diğ. [4], Çakır [5], Bayrak ve Öztürk [6], Dikbaş [7], Kurtuluş ve Bozkurt [8], Mutlu [9], Başol [10], Barka ve diğ. [11] ve Özmen [12] tarafından da gerek bölgede bulunan kaya toplulukları gerekse bölgenin yapısal ve tektonik özellikleri detaylı olarak ortaya koymuştur.

Türkiye'de arıtma tesisi olan sanayi kuruluşlarının oranının az oluşu veya sanayi kuruluşlarının çoğunun arıtma tesislerinin olmaması ya da var olanların da etkin olarak işletilememesi gibi sebeplerle de yüzeysularında kirlenmenin boyutları artmaktadır (Burak ve diğ. [13]; Yıldırım ve diğ. [14]; Akman ve diğ. [15]). Hızla artan çarpık yapılaşmanın sonucu olarak kanalizasyon sistemlerinden ve çöp depolama sahalarından kaynaklanan kirli sızıntı suları da yeraltı suyu kirliliğinde önemli bir faktör olarak göze çarpmaktadır (Mansuroğlu [16]; Yüksel ve diğ. [17]). Sapanca Gölü'nü ve onu besleyen dereleri geçmiş dönemlerde kirlettiği

tespit edilen kaynaklar; evsel, endüstriyel, tarımsal ve karayolu kökenli kirleticiler olarak sınıflandırılmıştır (Açıkgöz [18]). Sapanca Gölü üzerinde yürütülen ilk kapsamlı çalışma Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından [19,20] gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda Gölün kirlenme düzeyinin yüksek olmadığı, su kalitesinin ölçülen parametreler açısından içme-kullanma, endüstri suyu sağlanması ve su ürünleri üretimi amaçlarıyla kullanıma uygun olduğu ve halen oligotrofik yapıya sahip olduğu saptanmıştır. Sapanca Gölü havzasının hidrojeolojisi hakkında detaylı çalışmalar; Ceylan [21], Esenli [22], Oktaş ve diğ. [23], Sandalcı ve diğ. [24], Bayrak [25], Ay [26], Gündüz [27] tarafından yapılmıştır.

İçme-kullanma suyu temin edilen veya edilmesi planlanan yeraltı suyu kütlelerinin kalite durumu 17/02/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik [28] eklerinde yer alan parametre listesi ve standartları dikkate alınarak 07/04/2012 tarihli ve 28257 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren Yeraltı Sularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelikte belirtilen esaslara göre değerlendirilir. İzmit Havzası'ndaki yeraltı suyu potansiyelini ve kalitesini belirlemek ve havzanın kirlilik problemlerini ortaya koymak amacıyla yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Varol [29], Kahveci [30], Şimsek [31], Karaman [32], Coruk [33-34]). Ayrıca havzada farklı kullanımlara yönelik (Tarım, hayvancılık, sanayi, içme-kullanma vb.) su güvenliğini sağlamak amacıyla; DSİ, İlbank (eski İller Bankası) ve Köy Hizmetleri, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM), yerel yönetimler, üniversiteler ve özel sektör

tarafından başlatılan araştırmalar halen sürdürülmektedir.

İzmit Havzası, sanayi potansiyeli açısından en önemli kentlerin bulunduğu havzalardan biridir. Sanayi suyu ihtiyaçlarının bir kısmı Sapanca Gölü'nden karşılanmaktadır. İzmit Havzası'ndaki mahalle ve ilçelerin içme suyu ihtiyacı Yuvacık Barajı yanısıra havzanın güneyinde bulunan doğal kaynak suları ve kısmen de ovadaki kuyulardan karşılanmaktadır.

İzmit Havzası'nda taneli akiferin güncel hidrojeokimyasal durumunu ortaya koyan kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple önceki çalışmalardan farklı olarak İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasındaki Kuvaterner yaşlı taneli akiferin güncel hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmış ve yeraltı sularının akış yönündeki fasiyes değişimleri incelenmiştir. Sonuç olarak, İzmit Havzası'ndaki yeraltı suyunun geleceğe yönelik kalitatif ve kantitatif olarak güvence altına alınması önem taşımaktadır. Bu çalışmada, İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasında kalınlığı 300 m'ye ulaşan taneli akiferin hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

Kocaeli İli, Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde, 29° 22' ile 30° 21' doğu boylamı, 40° 31' ile 41° 13' kuzey enlemi arasında yer alır. Doğu ve güneydoğusunda Sakarya İli, güneyinde Bursa İli, batısında İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve İstanbul İli, kuzeyde de Karadeniz ile çevrilidir. Yaklaşık 1370 km² alana sahip İzmit Havzası'nda yükselti aralığı 0 ile 1606 m (Kartepe) arasında değişmektedir (Şekil 1). Sapanca Gölü, Kuzey Anadolu Fay (KAF) segmentlerindeki sağa atıma bağlı olarak gelişmiş, doğu-batı uzanımlı olup, deniz seviyesinden 34 m yükseklikte bir tatlı su gölüdür. Sapanca Gölü'nün doğu-batı doğrultusunda uzunluğu 16 km, kuzey-güney yönünde ise en geniş yeri 5 km ve yüzölçümü 40 km² 'dir.

2.2. Örnekleme, Ölçüm ve Analiz Yöntemleri

İzmit Havzası'nda arazi çalışmaları sonucunda konumları belirlenen 14 adet lokasyondan su örneği alınmıştır. Çakıl, kum, silt, kil ve bunların

değişik kombinasyonlarının ardalanmasından oluşan taneli akiferde yeraltı suyunun kalitesini belirlemek amacıyla örnek alınabilen kuyular seçilmiştir.



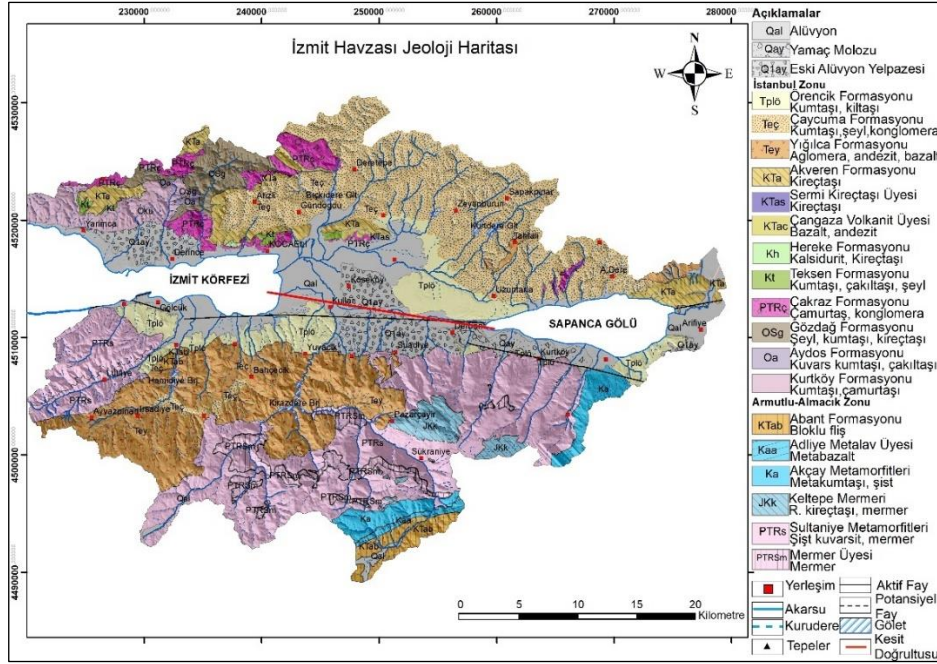
Şekil 1. İzmit Havzası yerbulduru haritası.

Örnek alımı sırasında arazide T (°C), pH, Özgül Elektriksel İletkenlik (EC: $\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri ölçülmüştür. Laboratuvar çalışmaları, kapsamında, yeraltısu örneklerine ait anyon-kasyon iyonları, kirlilik parametreleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizler ACME Laboratuvarlarında; NO₃ ve SO₄ analizleri ise İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrojeoloji laboratuvarında yapılmıştır. Su numunelerinden kirlilik parametreleri (NO₃, SO₄) analizleri için Hach DR 3900 spektrofotometre cihazı kullanılarak yapılmıştır. pH ölçümü için pH elektrodu, EC için iletkenlik elektrodu, kullanılmıştır. Ayrıca inceleme alanında yer alan 67137, 67138, 67139, 67140, 67141, 6782, 18981 nolu araştırma kuyularından alınan YAS örneklerinin kimyasal analizleri Devlet Su İşleri tarafından yapılmış olup, yerinde ölçülen sıcaklık değerleri bulunmamaktadır.

3. Bulgular

3.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji

İzmit Havzası'nın kuzeyinde; İstanbul Paleozoyik ile Kocaeli Triyas İstifini içeren İstanbul Zonu, güneyinde ise Sakarya Zonunun bir bölümü olan Armutlu-Almacık Zonu bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Kocaeli İli'nden geçtiği kesimde bu iki farklı jeolojik yapıyı karşı karşıya getirmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanına ait jeoloji haritası (MTA, [35,36]'den yararlanarak).

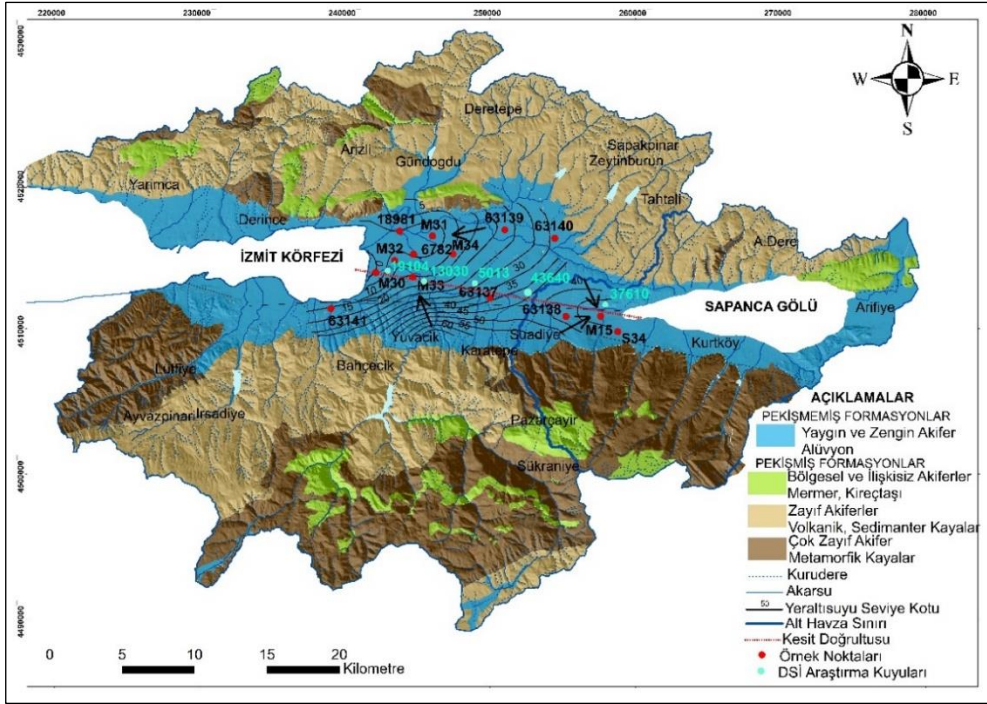
İzmit Havzası'nın kuzey ve güneyinde kalan alanların yükseklik farkı dikkat çekicidir. Havzanın kuzeyinde kırıntılı ve volkanik kayalardan oluşan İstanbul Zonu ile güneyde magmatik-metamorfik ve tortul kayalardan oluşan Armutlu-Almacık Zonu yükseltileri Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda oluşan çöküntü havzası ile ayrılmaktadır. İzmit Havzası'nda bulunan taneli akifer 195 km² büyüklüğünde olup, Doğu- Batı doğrultuda yayılım göstermektedir. Alüvyon alanlar, akarsu yataklarındaki ve eski çukurluklar üzerine gelişmiş düz alanlardaki çakıl, kum, silt ve kil çökelleri olarak tanımlanabilir. İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasında taneli akifer kalınlığı 300 m'ye kadar çıkabilmektedir (TÜBİTAK, [37]).

Hazırlanan Hidrojeoloji Haritası'nda hidrojeolojik ortamlar önce pekişmiş ve pekişmemiş ortamlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu ortamlar sayısal hidrojeoloji haritasında dünya yeraltı suyu haritalarında kullanılan üç temel renk (Mavi-Yeşil-Kahverengi) ve bunların türevleri ile gösterilmiştir. İzmit Havzası'nda en önemli akifer kil, silt, kum, çakıl ve bloklardan oluşan alüvyonlardır. Bu özellikleri malzemenin boyutuna, dizilişine, biçimine, homojen veya heterojen oluşuna kil ve silt boyutlu tanelerin azlığına ve sıklık yüzdesine bağlı

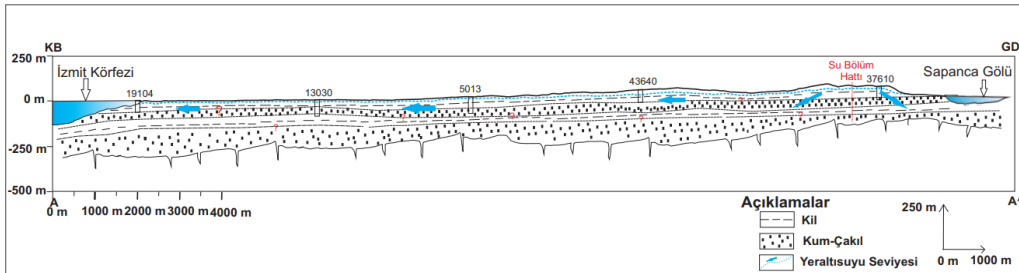
olarak değişmektedir. Alüvyon alanlar, özgül debi değerlerine göre Yaygın ve Zengin Akifer olarak tanımlanmış olup, hidrojeoloji haritasında mavi renkle gösterilmiştir (Şekil 3.). İzmit Havzası, Körfez Alt Havzası ve Sapanca Gölü Alt Havzası olmak üzere iki ayrı alt havzaya ayrılarak incelenmiştir. Körfez Alt Havzasında yeraltı suyu akım yönü İzmit Körfezi'ne, Sapanca Gölü Alt Havzasında ise yeraltı suyu akım yönü Sapanca Gölü'ne doğrudur (Şekil 3-Şekil 4).

3.2. Hidrojeokimya

İzmit Havzası'nda, taneli akiferde yeraltı suyunun kalitesini belirlemek amacıyla Mayıs-2017 döneminde 14 adet lokasyonda pH, EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve T ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ölçülmüş ve yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Bölge maksimum kotu 60 m olan bir yüzey suyu drenaj hattı ile Körfez ve Sapanca Gölü alt havzaları olarak ayrılmıştır. Körfez Alt Havzasında EC değerleri 479-2870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. En yüksek EC 2870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değeri kıyıya uzaklığı yaklaşık 600 m olan (M30) nolu kuyuda ölçülmüştür. Sapanca Gölü Alt Havzasında ise EC değerleri 385-560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişim göstermektedir (Tablo 1). İnceleme alanında NO_3 değerleri 0,10-13,45 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 1).



Şekil 3. Çalışma alanına ait hidrojeoloji haritası (MTA, [35,36]'den yararlanılarak) ve örnek lokasyonları.



Şekil 4. Çalışma alanında bulunan taneli akifere ait hidrojeoloji kesiti.

Araştırma alanına ait yeraltı suları fasiyesleri kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak farklı yöntemlere göre belirlenmiştir. Bu yöntemlerden, kıyı bölgeler için de uygun olduğu düşünülen Jäckli [38] sınıflaması kullanılmıştır. Jäckli sınıflama sistemine göre altı çizili olanlar > %50, normal yazılanlar > %20, 10-20 % olanlar ise parantez içinde yazılır (Tablo 1). İzmit Havzası'nda taneli akiferdeki baskın yeraltı suyu

Ca-HCO₃ baskın sular olmakla beraber, ayrıca Na-HCO₃ ve Na-Cl iyonlarının baskın olduğu sular da görülmektedir. Buna göre deniz suyu girişiminin olmadığı bölgelerde Ca-HCO₃ iyonlarının, denize en yakın ve tuzlu su girişiminin bulunduğu bölgelerde ise Na ve Cl iyonlarının baskın olduğu tespit edilmiştir. (Şekil 5). Körfeze yakın noktalarda bulunan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde göreceli olarak yüksek Na derişimine rastlanılmıştır.

DEÜ FMD 24(71), 529-540, 2022

Tablo 1. Çalışma alanındaki kuyuların derinlik ve denize uzaklık bilgileri ile alınan yeraltı suyu örneklerine ait anyon-katyon değerleri, NO₃ değerleri ve Jäckli Sınıflaması.

No	Derin. m	Denize Uzaklık km	pH	T °C	EC µS/cm	Na mek/l	K mek/l	Ca mek/l	Mg mek/l	HCO ₃ mek/l	Cl mek/l	SO ₄ mek/l	NO ₃ mek/l	Jäckli	Alt Havza
63141*	60	0,4	7,9	-	697	5,88	0,11	3,25	0,74	8,17	1,38	0,21	5,43	Na Ca HCO ₃ (Cl)	Körfez
M30	72	0,6	7,7	19	2870	13,81	0,13	12,10	3,73	6,22	23,55	0,00	2,08	Na Ca (Mg) Cl (HCO ₃)	Körfez
M32	60	1,5	7,1	19	1078	1,59	0,19	7,03	3,67	10,09	0,96	1,42	0,1	Ca Mg (Na) HCO ₃ (SO ₄)	Körfez
18981*	76	2,5	7,2	-	2165	18,50	0,18	10,84	4,01	22,19	11,27	0,16	4,51	Na Ca (Mg) HCO ₃ Cl	Körfez
6782*	50	3	7,9	-	479	2,97	0,03	3,41	0,68	6,65	0,38	0,04	0,28	Na Ca HCO ₃	Körfez
M33	100	3	7,6	19	1010	8,66	0,02	3,50	1,22	12,60	0,73	0,06	0,8	Na Ca HCO ₃	Körfez
M34	80	4,5	7,1	18	729	2,82	0,03	4,81	1,44	7,93	0,62	0,54	0,6	Ca (Mg) Na HCO ₃	Körfez
M31	112	4,5	7,3	14	1170	3,49	0,04	6,05	3,45	8,33	2,34	2,35	1	Mg Na Ca HCO ₃ (Cl) (SO ₄)	Körfez
63137*	100	8,5	7,2	-	839	5,08	0,02	4,18	1,36	8,98	1,72	0,04	0,55	Na Ca (Mg) HCO ₃ (Cl)	Körfez
63139*	84	9,5	7,2	-	1185	2,80	0,01	11,12	2,95	13,04	0,95	2,98	13,4 5	Ca (Mg) (Na) HCO ₃ (SO ₄)	Körfez
63140*	68	13	7,2	-	1684	6,5	3,6	3,6	6,9	14,5	3,9	2,3	1,31	Mg Na (Ca) (K) HCO ₃ (Cl) (SO ₄)	Körfez
63138*	100	14	8,0	-	385	2,74	0,03	2,62	0,45	4,91	0,49	0,49	0,27	Na Ca HCO ₃	Sapanca Gölü
S34	Kay nak	17,5	7,5	16	560	0,4	0	4,30	0,5	4,7	0,3	0,20	2,3	Ca HCO ₃	Sapanca Gölü
M15	85	16,5	7,2	15	475	0,28	0,02	4,47	0,77	5,06	0,23	0,25	1,8	Ca (Mg) HCO ₃	Sapanca Gölü

* Kuyuların kimyasal analizleri Devlet Su İşleri tarafından yapılmıştır.

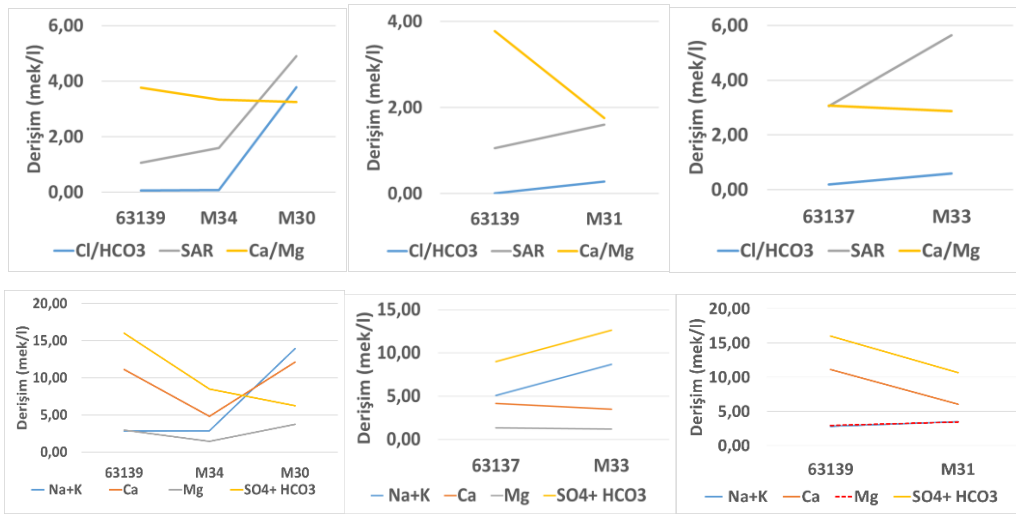
Deniz suyu girişiminin olmadığı bölgelerde HCO₃+SO₄ iyonlarının, kıyıya yakın ve girişimin bulunduğu bölgelerde ise Na-Cl iyonlarının baskın olduğu tespit edilmiştir. Suyun hidrokimyasal davranışı Ca/Mg, SAR, Cl/HCO₃+CO₃ oranları arasındaki ilişkiye bakılarak yorumlanmaktadır. Yeraltı suyu akış yönü (Körfez Alt Havzasında; Doğudan Batıya doğru; Sapanca Gölü Alt Havzasında Batıdan

Doğuya doğru) doğrultusunda Ca/Mg değerlerinde azalma ile SAR, Cl/HCO₃+CO₃ değerlerinde artma görülmektedir. Ca/Mg oranı kireçtaşı veya dolomit baskın kayaların etkisini göstermektedir (Babu ve diğ. [39]). Cl/HCO₃+CO₃ değerinin artması Cl'ün artmasını gösterir ki bu durumda tuzlanmaya işaret eder. Ayrıca % Na oranı hesaplanmış olup, SAR değerine paralel olarak artış göstermektedir.

Hidrojeokimyasal fasiyelerde Ca-HCO₃, Na-Ca-HCO₃ ve Na-Cl yeraltı suyu akım yönünde değişim gözlenmiştir. Taneli akiferde sodyumca zengin killerin kalsiyumca zengin sularla etkileşimi sonucunda Na'un zenginleşmesine (Na-Ca-HCO₃ tipi) neden olduğu düşünülmektedir. Yeraltısularında Na zenginleşmesine neden olan jeolojik-litolojik, hidrolojik, biyolojik, ve antropojenik etmenler bulunmaktadır. İnceleme alanında yeraltısularında Na zenginleşmesine neden olan tüm bu etmenler bulunmaktadır. Ayrıca deniz kıyılarında ve yerleşim alanlarındaki yağışlarda sodyum miktarı fazladır (Şahinci, [40]). Dolayısıyla, deniz kıyısında bulunan ve sanayi, tarım yoğun ve cephe yağışlarının da etkin olduğu bir büyük şehirde yeraltı sularında Na zenginleşmesine beklenen bir durumdur. Kıyı kesimde ise Na-Cl tipi girişim veya yükselim konisi ile tatlı ve tuzlu su karışımının olabileceğini göstermektedir. Ayrıca Na/Cl, Cl/SO₄+HCO₃+CO₃ ve Ca/Mg oranları hesaplanarak deniz suyu girişimi olan noktalar (M30) belirlenmiştir (Tablo 2.)

Tablo 2. Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerine ait Na/Cl, Cl/SO₄+HCO₃+CO₃ ve Ca/Mg oranları.

Örnek No	Na/Cl <0,86	Cl/SO ₄ +HCO ₃ +CO ₃ >1	Ca/Mg >1
63140	1,67	0,23	0,52
63141	4,26	0,16	4,39
6782	7,82	0,06	5,01
63137	2,95	0,19	3,07
63139	2,95	0,06	3,77
63138	5,59	0,09	5,82
18981	1,64	0,50	2,70
M15	1,24	0,04	5,81
M30	0,59	3,79	3,24
M31	1,49	0,22	1,75
M32	1,66	0,08	1,92
M33	11,82	0,06	2,88
M34	4,55	0,07	3,34
S34	1,33	0,06	8,60



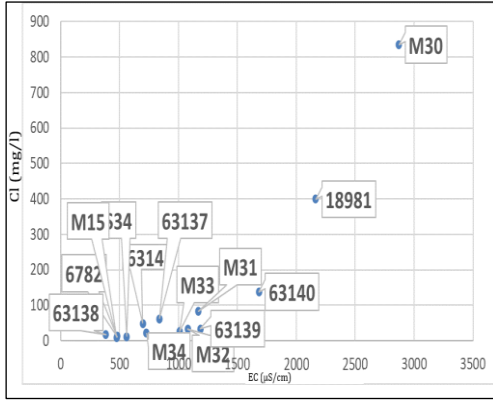
Şekil 5. Yeraltı suyu akış doğrultusunda (Doğudan Batıya) iyon değişimi.

Kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak Jäckli [38] sınıflamasına ek olarak suların tip ve fasiyelerini belirlemek için Piper Diyagramı [41] ve Schoeller Diyagramı [42] da hazırlanmıştır (Şekil 7-8.).

İzmit Havzası'nda taneli akiferden alınan yeraltı suyu örneklerinin genel olarak Ca-HCO₃ baskın olduğu tespit edilmiştir. Ancak, deniz suyu girişiminin etkisi alanında olduğu düşünülen

M30 nolu kuyu Na-Cl baskındır. Ayrıca, kıyıya yakın kesimde yer alan iki adet (63141 ve 18981 nolu) kuyudan alınan yeraltı suyu örnekleri de Na-HCO₃ baskındır (Tablo 1.). Piper diyagramının üst kısmında bulunan paralel kenara göre M30 nolu kuyuda karbonatlı olmayan alkaliler % 5'den fazladır (Şekil 7). Yani karbonatlı alkalilerden büyüktür. Bu alana düşen su tipleri NaCl, NaSO₄ ve KCl'li sularlardır. Sadece

M30 nolu kuyu da Na Ca (Mg) Cl (HCO₃) fasiyesindeki sulara rastlanmış olması yüksek debi ile yapılan üretimin tuzlu su yükselim konisinin neden olduğuna işaret etmektedir. Deniz suyu girişiminin muhtemel olduğu noktalarda (M30) EC değerlerinin de artması bu sonuçları desteklemektedir. Çalışma alanına ait örnek lokasyonlarının EC/Cl ilişkisi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Çalışma alanına ait örnek lokasyonlarının EC/Cl ilişkisi.

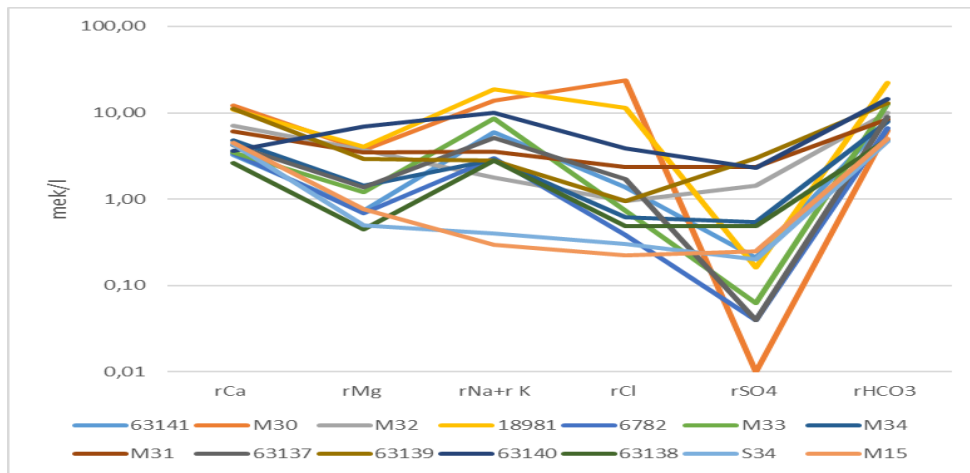
İnceleme alanındaki yeraltı suları Scholler diyagramına göre M30 ve 18981 görece yüksek Na ve Cl değerleri ile diğerlerinden ayrılmaktadır (Şekil 8).

Havzadaki su örneklerinin Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal derişimleri incelenmiştir (Tablo 3). Ağır metal derişimleri genel olarak

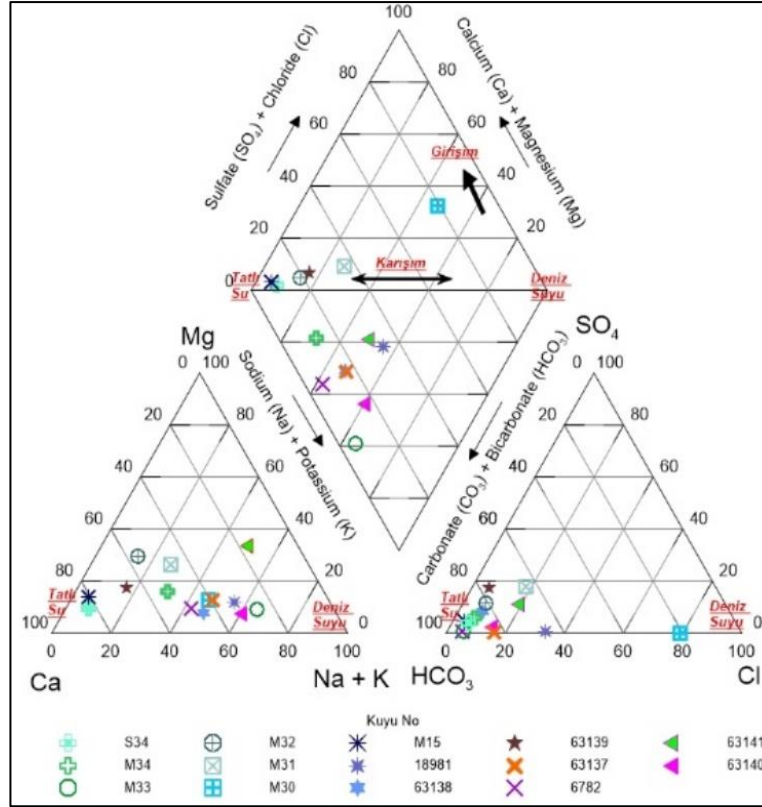
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirtilen sınır değerlerin altında kalmaktadır. Toplam 14 adet örnekten M30 ve M33 nolu örneklerde sınır değerinin üzerinde As (17,9 ppb-44,2 ppb) ve Mn (344,4 ppb-421,4 ppb) derişimi tespit edilmiştir. Ayrıca M32 nolu örneklerde sınır değerinin üzerinde Mn (71,28 ppb) bulunmuştur.

Arsenik kirliliği minerallerden çözünerek doğal yollardan ya da çeşitli endüstriyel işletmeler, tarımsal uygulamalar ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan atıksuların, yeterli arıtma işlemlerine tabi tutulmadan doğaya verilmeleri sonucu oluşur (Smedley ve Kinniburgh, [43]; Choong ve diğ. [44]). Ancak, arsenik kirliliğine aynı bölgede (M30-M33) rastlanılmış olması, kirliliğin antropojen kaynaklı olduğuna işaret etmektedir.

Mangan değerinin yüksek olması sağlık açısından olumsuz bir etki yaratmasa da oksitlendiğinde suyun renginin koyulaşmasına ve temas noktalarında kabuklaşmaya neden olmaktadır. Bu nedenle suyun estetik kalitesini bozan element olarak tanımlanmaktadır. Batı Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı volkanik kayalar ile kilitaşlarından ve Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarında Mn nödüllerinden kaynaklanan ve yeraltısularında yaygın olduğu rastlanan jeolojik kökenli bir kirliliktir (MAM, [45]). Dolayısıyla İzmit havzasında da yeraltısuyunda yer yer rastlanılan yüksek mangan derişimi jeolojik kökenli olarak yorumlanabilir.



Şekil 7. Çalışma alanından alınan örneklere ait Schoeller Diyagramı.



Şekil 8. Çalışma alanından alınan örneklere ait Piper Diyagramı.

Tablo 3. Çalışma alanından alüvyon akiferden alınan yeraltı suyu örneklerine ait ağır metal değerleri (ppb).

Örnek No	Al	As	B	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
TS266	200	10	1000	50	2000	200	50	20	10	5000
M15	<1	6,8	9	8,0	0,2	<10	1,00	<0,2	<0,2	<0,5
M30	<1	17,9	42	6,2	0,3	<10	344,4	<0,2	<0,2	<0,5
M31	<1	5,6	56	10,0	1,5	<10	0,35	1,4	<0,2	0,8
M32	<1	0,9	96	14,3	0,7	<10	71,28	<0,2	<0,2	9,1
M33	<1	44,2	111	16,2	0,5	<10	421,41	0,8	<0,2	268,9
M34	<1	8,7	39	13,7	0,7	<10	1,14	<0,2	<0,2	6,8
S34	3	<0,5	17	14,1	4,2	<10	<0,05	0,5	<0,1	<0,5

Havzanın batısında Körfez Alt Havzası'nda Kuzey Anadolu Fayı etki alanındaki yeraltı sularında yüksek (39 -111 ppb arasında) bor değerlerine rastlanılmaktadır (Tablo 3.). Özellikle sapanca Gölü havzasındaki M15 (9 ppb) ve M34 (17 ppb) nolu örneklerde düşük bor değerleri, İzmit

havzasındaki yeraltısularında görece yüksek bor konsantrasyonlarının denizel kökenli olduğunu göstermektedir. Sapanca Gölü Alt Havzası'ndaki yeraltı sularında içmesuyu sınır değerleri aşan ağır metal derişimine rastlanılmamıştır. İnceleme alanında sadece M33 nolu kuyuda As, Mn ve Zn elementlerinin zenginleşmesi ve

çevresindeki su noktalardan farklılık göstermesi anlık bir antropojen kirliliğe işaret etmektedir. Bu noktanın kimya fabrikasının yakın civarından alınan bir örnektir.

Yoğun kentsel yerleşim, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü inceleme alanında içmesuyu sınır değerlerini aşan ağır metal derişimine rastlanılmaması yüzeye yakın kesimlerde kil oranının yüksek olması ile açıklanmaktadır (Şekil 4.). Yüzeye yakın kısımlarda bulunan tabakaların kil oranının yüksek olması havzada yoğun bir şekilde bulunan kirletici kaynaklarından yayılan kirletici yüklerinin yeraltı sularına ulaşmasını engelleyen bariyer görevindedir. Yeraltı sularının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla Artıksal Sodyum Karbonat (RSC) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri hesaplanmıştır. RCS değeri eşitlik (1) ile hesaplanmakta ve Tablo 4'e göre sınıflandırılmaktadır.

$$RSC = (rCO_3^{2-} + rHCO_3^-) - (rCa^{+2} + rMg^{+2}) \quad (1)$$

Tablo 4. RCS sulama suyu sınıflaması (USEPA, [46]).

RSC	Sulama suyu sınıfı
<1,25	Sulama için uygun sular
>1,25	Sulama için uygun olmayan sular

MT değeri eşitlik (2) ile hesaplanmakta ve Tablo 5'e göre sınıflandırılmaktadır.

$$MT = 100 \times [rMg^{+2} / (rMg^{+2} + rCa^{+2})] \quad (2)$$

Tablo 5. MT sulama suyu sınıflaması (USEPA, [46]).

MT	Sulama suyu sınıfı
>50	Sulama suyu olarak kullanıma uygun değil
<50	Sulama suyu olarak kullanıma elverişli

İnceleme alanında yeraltı sularının RCS değerleri -23,06 ile 7,88 ve MT değerleri 10,23 ile 69,66 arasında değişmektedir (Tablo 6).

RSC sınıflamasına göre inceleme alanından alınan su örnekleri genel olarak (63141, 63140, 6782, 63137, M33 ve M34 Hariç) sulama suyuna elverişli sular sınıfına girmektedir.

MT sınıflamasına göre inceleme alanından alınan su örnekleri genel olarak (63140 Hariç) sulama suyuna elverişli sular sınıfına girmektedir (Tablo 6).

Tablo 6. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait RSC ve MT değerleri.

Örnek No	RSC	MT	Örnek No	RSC	MT
63141	1,66	27,21	18981	-5,99	18,06
63140	6,03	69,66	M15	-0,18	14,69
6782	1,48	22,06	M31	-1,17	36,30
63137	1,68	23,08	M32	-0,60	34,29
63139	-7,60	25,45	M33	7,88	25,78
M30	-23,06	18,33	M34	1,68	23,05
63138	0,98	15,83	S34	-0,12	10,23

4. Tartışma ve Sonuç

İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü (su kotu 34 m) arasındaki bölgede yürütülmekte olan bu çalışmada, birbirinden uzaklığı 18 km olan tuzlu su kütlesi ile tatlı su kütlesi arasındaki taneli akiferin hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. İncelenen alanda KAF'n etkisinde oluşan çöküntü bölgede kalınlığı 300 m'ye ulaşan gevşek veya zayıf tutturulmuş taneli akifer önemli akiferi oluşturmaktadır. Bölge maksimum kotu 60 m olan bir yüzey suyu drenaj hattı ile Körfez ve Sapanca Gölü alt havzaları olarak ayrılmıştır. Yeraltı suyu akış yönü batıda İzmit Körfezine ve doğuda Sapanca Gölüne doğrudur. Bu akış yönleri göz önüne alınarak toplam 14 adet yeraltı suyu örneği alınmış ve bu örneklerdeki hidrojeokimyasal değişimler incelenmiştir.

a. Genel olarak; Körfez Alt Havzasının doğusundan batıya olan yeraltı suyu akışı ile birlikte fasiyes değişiminin olduğu görülmektedir. Körfeze yakın kesimlerde ölçülen yüksek EC değerleri 479-2870 $\mu S/cm$ olup, tuzlu su girişim riskine işaret etmektedir. Havza sınırında Ca-Mg-HCO₃ baskın suların akış yönünde kıyıya yakın kesimlerde tatlı ve tuzlu su karışımının etkisinde Na-Cl baskın sulara evrildiği tespit edilmiştir.

b. Sapanca Gölü Alt Havzası'nda ise EC değerleri 385-560 $\mu S/cm$ arasında değişim göstermektedir. Ayrıca, Sapanca Gölü Alt Havzasında Ca-Mg-HCO₃ tipindeki yeraltı sularında akış yönünde fasiyes değişimi tespit edilmemiştir.

c. Toplam 14 adet yeraltı suyu örneğinden M33 ve M30 nolu örneklerde içme suyu sınır değerinin üzerinde As ve Mn derişimleri, ayrıca yüksek B derişimi tespit edilmiştir. Örnekleme

yapılan noktalarda nitrat kirliliğine rastlanılmamıştır.

d. RSC sınıflama yöntemine göre 63141, 63140, 6782, 63137, M33 ve M34 nolu su örnekleri sulama suyuna elverişli değildir. MT sınıflamasına göre ise 63140 nolu örnek dışında sulamaya elverişli sular sınıfına girmektedir.

e. Noktasal ve alansal kirleticilerin yoğun olduğu inceleme alanında yeraltı suyu kirliliğine rastlanmaması yüzeye yakın kesimlerde kil oranının yüksek olması, dolayısıyla hem göreceli

düşük geçirimsizlik değeri hem de killerin iyon tutma kapasitesi ile açıklanmaktadır.

f. Su kıtlığı çekilen Marmara Bölgesinde İstanbul'dan sonra tarım, sanayi ve aşırı nüfus artışının yüksek olduğu inceleme alanında, su kaynaklarına olan talep ve kirlilik baskısını da artırmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin ülkemizdeki etkileri de dikkate alındığında inceleme alanında su güvenliğinin sağlanması acil bir çözüm beklemektedir. Bu çalışmanın da su güvenliğinin sağlanmasına önemli bir katkı sağlaması beklenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından 39618 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, değerli görüş ve önerileri için editörlere ve hakemlere teşekkürlerini sunar.

Kaynakça

- [1] Abdüsselamoğlu, Ş. 1963. Kocaeli Yarımadasının Jeolojisi, MTA Raporu, No:3249 (Yayınlanmamış).
- [2] Bulut, A. 1963. İzmit-Sapanca-Gölcük Civarının Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSI Raporu, No:202/4-HJ (Yayınlanmamış).
- [3] Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Ürgün, B.M., Aksay, A., Kuşçu, İ. 1986. Armutlu Yarımadasının Doğu Kesiminin Jeolojisi: MTA Raporu, No:7786 (Yayınlanmamış).
- [4] Erendil, M., Aksay, A., Oral, A., Tunay, G., Temren, A., Kuşçu, İ. 1991. Bolu Masifi Ve Çevresinin Jeolojisi, MTA Raporu, No: 9425, 55s (Yayınlanmamış).
- [5] Çakır, Ş. 2000. Demirciler-Sadıklar-Gündoğdu-Tütüncütlük (Kocaeli) Bölgesinin Jeolojisi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Anabilim Dalı: Jeoloji, Doktora tezi, Kocaeli (Yayınlanmamış).
- [6] Bayrak, Y., Öztürk, S. 2005. 1999 İzmit ve Düzce Depremlerinin Artçı Şok Dizilerinin Zamanla Azalma Oranlarının Bölgesel Jeoloji ve Topoğrafya İle İlişkisi, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, s. 1450-1455.
- [7] Dikbaş, A. 2009. Kuzey Anadolu Fay Zonunun İzmit-Gölyaka (Düzce) Arasındaki Segmentlerinin Paleosismolojisi ve Morfolojik Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı, Yer Sistem Bilimi Bilim Dalı, 288s, İstanbul.
- [8] Kurtuluş, C., Bozkurt, A. 2010. Başiskele-Kocaeli Civarında Yeraltısu Akiferlerinin Tespiti Jeofizik ve Sondaj Araştırmaları, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, Cilt 9, Sayı 2, s. 1-9.
- [9] Mutlu, Y.E. 2014. Kirazdere Havzası (Kocaeli) ve Çevresinin Jeomorfolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, 96s. Kocaeli.
- [10] Başol, E. 2016. Sapanca (Sakarya) Yöresinin Jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 69s. Sivas.
- [11] Barka, A. A., Akyüz, H. S., Altunel, E., Sunal, G., Çakır, Z., Dikbaş, A., Yerli, B., Armijo, R., Meyer, B., De Chabaliere, J. B., Rockwell, T., Dolan, J. R., Hartleb, R., Dawson, T., Christofferson, S., Tucker, A., Fumal, T., Langridge, R., Stenner, H., Lettis, W., Bachhuber, J., Page, W. 2002. The Surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 İzmit earthquake (M 7.4), North Anatolian Fault. Bulletin of the Seismological Society of America, 92, s. 43-60.
- [12] Özmen, B. 2000. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle). Türkiye Deprem Vakfı, 132s, İstanbul.
- [13] Burak, S., Duranyıldız, İ., Yetiş, Ü. 1997. Ulusal Çevre Eylem Planı: Su Kaynaklarının Yönetimi, Odak Noktası Kurulu: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- [14] Yıldırım, S., Algan, M., Alkaranlı, T.F. 2004. Yeraltı Sulamaları. I. Yeraltısu Ulusal Sempozyumu. s. 23-24 Aralık, s. 3-8, Konya.
- [15] Akman, Y., Ketencioğlu, O., Kurt, L., Düzenli, S., Güney, K., Kurt, F. 2004. Çevre Kirliliği (Çevre Biyolojisi) Ankara: Palme Yayıncılık.
- [16] Mansuroğlu, S. 2004. Kentleşmeden Kaynaklanan Çevre Sorunlarının Yeraltısularına Etkileri. Yeraltısu Ulusal Sempozyumu, s. 323-331, Konya.
- [17] Yüksel, S., Nalbantçılar, M.T., Balkaya, N., Onar, A.N. 1997. Samsun İli İçmesuyu Kuyularındaki Çevresel Kirliliğin Araştırılması. 50. Jeoloji Kurultayı Etkinlikleri, Yeraltısu Sempozyumu Bildiri Özleri, 2-4 Nisan, Ankara.
- [18] Açıkgöz, S. 2008. Sapanca Gölünü Besleyen Derelerin Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 46s. Kocaeli.
- [19] DSI, 1983. Sapanca Gölü Hidrolojisi, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri III. Bölge Müdürlüğü, s. 1-20.
- [20] DSI, 1984. Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, s. 2-7.
- [21] Ceylan, M.A. 1990. Sapanca Gölü'nün Hidrojeolojik Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul (Yayınlanmamış).
- [22] Esenli, V. 1995. Sapanca Gölü ve Havzasının Hidrojeokimyası ile Dip Sedimanlarının Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 146s. İstanbul.

- [23] Oktaş, Ş., İyigün, E., Gündüz, B., Koçbuğ, Z. 2002. Sapanca Havzasında 1986 ve 1999 Yılı Su Kalite Değerlendirmeleri, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, s. 2-34.
- [24] Sandalci, M., Sünbül, F., Sandalci, M., Saltabaş, L. 2005. KAF Üzerinde Arifiye-Sapanca İzmit Körfezi Kolunda 1955-1995 Yılları Arası Meydana Gelen Depremlerin Sapanca Gölüne Etkisi, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli. s. 91-93.
- [25] Bayrak, A. 2008. Sapanca Gölünün Hidrojeolojik, Hidrolojik ve Hidrolik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Su Bütçesinin Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 38s. Kocaeli.
- [26] Ay, M., 2012. Sapanca Gölü Havzası'nın Coğrafi Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Coğrafya Bilim Dalı, 381s. İstanbul.
- [27] Gündüz, Ö. 2015. Sapanca (Sakarya) Göl Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi ve Kavramsal Yer Altı Suyu Modellemesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 228s. Kocaeli.
- [28] Türk Standartları Enstitüsü, (TS266) 2013. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik, Resmi Gazete. Sayı:28580, Standart. Ankara.
- [29] Varol, S. 2019. Kocaeli İlindeki İçme Suyu Kaynak Sularının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 75s. Nevşehir.
- [30] Kahveci, E. 2015. Sapanca Gölü Su Bütçesi, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 74s. Ankara.
- [31] Şimşek, E. 2011. Yazlıkköy (Gölcük-Kocaeli) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı, 99s. Ankara.
- [32] Karaman, N.S. 2010. Gebze ve Dilovası'nın (Kocaeli) hidrojeolojik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 161s. İstanbul.
- [33] Coruk, Ö., 2009a. İzmit Havzasının Hidrojeolojisi, Su Tüketimi, Arıtma, Yeniden Kullanım Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 3-5 Eylül, Bursa.
- [34] Coruk, Ö. 2009b. Kocaeli Bölgesinin Yeraltısu Potansiyeli, Su Tüketimi, Arıtma, Yeniden Kullanım Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 3-5 Eylül, Bursa.
- [35] Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2002. 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:31, Adapazarı G24 Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- [36] Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2005. 1/50 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:17, Bursa G23b Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- [37] TÜBİTAK, 2008. Kocaeli İli için Zemin Sınıflaması ve Sismik Tehlike Değerlendirme Projesi. 190s. Kocaeli.
- [38] Jäckli, H. 1970. Kriterien zur Klassifikation von Grundwasservorkommen. *Ecologiae Geologicae Helvetiae*, 63, s. 389-434.
- [39] Babu M.M., Viswanadh G.K., Rao S.V. 2013. Assessment of Saltwater Intrusion Along Coastal Areas of Nellore District, A.P. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 4, Issue 7, July-2013. ISSN 2229-5518.
- [40] Şahinci A. 1991. Doğalsuların jeokimyası, Reform Matbaası, İzmir, s.548.
- [41] Piper, A.M. 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis, *Trans.Amer.Geophys. Union*, 25, s. 914-923.
- [42] Schoeller, H. 1962. *Les eaux souterraines*. Mason, Paris.
- [43] Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. 2002. A Review of the Source, Behavior and Distribution of Arsenic in Natural Waters. *Applied Geochemistry*, 17, s. 517-568. DOI:10.1016/S0883-2927 (02) 00018.
- [44] Choonga, T.S.Y., Chuaha, T.G., Robiaha, Y., Koaya, F.L.G., Aznib, I. 2007. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. *Desalination*, 217, s. 139-166.
- [45] MAM, 2019. Melen Havzası Özel Hüküm Belirleme Projesi, İTÜ Maden Vakfı (Yayımlanmamış rapor).
- [46] USEPA, 1999. National Primary Drinking Water Regulations, <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> (Erişim Tarihi: 27.03.2022)