





Yazır Gölü (Çavdır/Burdur) Sulak Alan Havzasının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi

Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigation of Yazır Lake (Çavdır/Burdur) Wetland Basin

Simge Varol^{1*} , İlknur Köse² 

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Su Enstitüsü, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Öz

Bu çalışmada Yazır Gölü Sulak alan havzasının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Çalışma alanında alttan üstte doğru Yeşilbarak napı, Likya napları, paraallokton ve neotokton konumlu kaya birimleri yer almaktadır. Alüvyon ve kireçtaşı birimleri akifer birimlerdir. Yeraltısuyunun yüzeyden derinliği 3.70-34.00 m arasında ölçülmüştür. Çalışma alanında kaynak sularının genel olarak Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-CO₃ tipi sular olduğu, Yazır Gölü'ne ait örneğin ise Ca-Mg-HCO₃-CO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Çalışma alanında ortaya çıkan farklı su tipleri bölgedeki kayalarla temas süresi, suyun miktarı, sıcaklığı ve ortamın basıncı gibi faktörlere bağlı olarak yeraltısuyunun bileşiminde değişiklikler olduğunun göstergesidir. İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006 ve 2011) standartları kullanılmış ve bölgedeki tüm suların içilebilir özellikte olduğu belirlenmiştir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. Havzada yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Bölgede yeraltısuları için en önemli kirletici unsur tarımsal faaliyetlerdir. Bu nedenle, çalışma alanındaki yeraltısularında nitrat içerikleri artmıştır. Ayrıca, havzadaki su kaynaklarında Al, As, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Çalışma alanındaki tüm sulara kaya su etkileşimi ile ilişkili olarak As artışı tespit edilmiştir. Ayrıca, bölgesel olarak Al, Cr, Fe, Ni ve Zn artışları gözlenmiştir. Bu artışların jeojenik ve antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Bu değerler yersel ölçekte içme suyu standartlarında verilen sınır değeri aşmaktadır.


Anahtar Kelimeler: Burdur, Hidrojeokimya, Hidrojeoloji, Sulak alan, Yazır gölü


Abstract

In this study, it has been investigated as detailed geological, hydrogeological and hydrochemical features of Yazır Lake Wetland basin. Yeşilbarak napı, Lycian nappes, paraallokton and neotokton rock units are located from top to bottom in the region. Groundwater supplied from alluvium and limestone units. In the study area, it is seen that the groundwaters generally have Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-CO₃ waters. In addition, the lake water is Ca-Mg-HCO₃-CO₃ facies. The composition of the groundwater varies depending on such factors as the time of contact with the rocks, the amount of water, the temperature and the pressures of the environment in the region. The waters in the study area were evaluated as drinking water, firstly were used the standards of Turkish Drinking Water (TSE 266) and World Health Organization (WHO, 2006 and 2011) and All the waters in the region were determined to be drinkable. The US salinity diagram, Wilcox diagram, residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI) and Magnesium hazard (MH) are used to assess the suitability of groundwater for agricultural purposes. Groundwaters are suitable for usage as irrigation water in the basin. Agricultural activity is most important pollution in the plain. Nitrate content is increased as locally because of agricultural activity in the research area. In addition, heavy metal contents of groundwater such as Al, As, Cu, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn were also researched. Increase of as is related to water rock interaction as dominant in the basin. Locally increases of Al, Cr, Fe, Ni and Zn concentrations are originated from geogenic and antropogenic factors. These concentrations are exceeded to drinking water standards as locally.

Keywords: Burdur, Hydrogeochemistry, Hydrogeology, Wetland, Yazır lake

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: simgevarol@sdu.edu.tr

Simge Varol  orcid.org/0000-0002-1905-9454

İlknur Köse  orcid.org/0000-0002-6788-7318

1. Giriş

Su, canlıların yaşamını sürdürebilmesi için en önemli ve kaçınılmaz gereksinimlerden biridir. Sulak alanlar ise gerek ekolojik dengenin sağlanmasında, gerekse biyolojik çeşitliliğin korunmasında büyük önem taşımalarının yanı sıra bölge ve ülke ekonomisine büyük katkıları olan su kaynakları ve ekosistemlerdir. Ekosistem içinde bulunan ve belirli işlevleri olan her öge kendi içinde ve diğer öğelerle karşılıklı uyum içindedir. Bu uyumun çeşitli şekillerde bozulması tüm sistemlerin bozulmasına yol açabilir ve varlığını tehdit edebilir. Havzalar, doğal ve insani girdileri olan üretim sistemleridir. Sulak alanlar bu sistemin bir parçası olup, en verimli biyolojik üretim sistemleri olarak bilinmektedir. Ancak sulak alanlar ve ekosistemleri hakkındaki yetersiz bilgiler nedeniyle genellikle atıl alanlar olarak tanımlanmışlar ve bu nedenle de özellikle endüstri devriminin başlamasıyla oldukça büyük miktarlarda kayba uğramışlar ve/veya tahrip edilmişlerdir.

Ülkemizde de sulak alanların büyük bir kısmında iklim değişikliği, plansız barajların yapılması gibi nedenlerle suyun bilinçsizce kullanımından dolayı su miktarlarında azalmalar yaşanmakta ve sulak alanlar yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle sulak alanların sürdürülebilir kullanımının sağlanması için havza bazında ayrıntılı hidrojeolojik çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada Burdur Gölü kapalı havzası içerisinde bulunan ve kendisi de yarı kapalı havza özelliği taşıyan Yazır Gölü sulak alanı alt havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Söz konusu araştırma alanı ile ilgili olarak detaylı ve güncel hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmalar bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma sürdürülebilir sulak alan yönetimi ve yeraltısu kullanımı açısından önem taşımaktadır.

2. Gereç ve Yöntemler

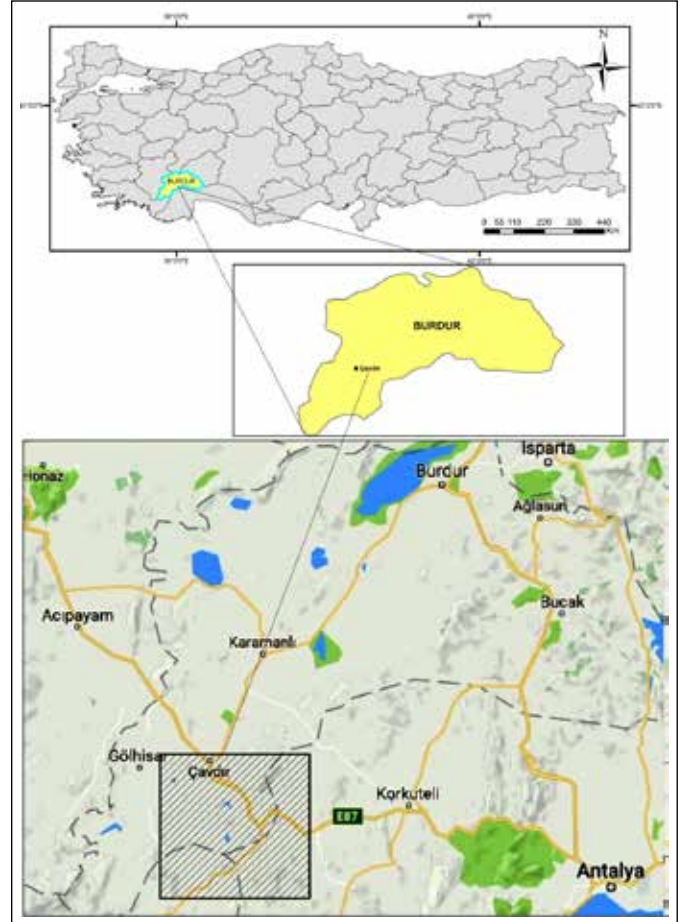
Yazır Gölü beslenme havzası sınırı 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde belirlenmiş ve havza sınırı içerisinde kalan alanın jeoloji haritası önceki araştırmalar ve arazi çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre hidrojeolojik sınıflaması yapılarak akifer birimler tanımlanmıştır. Akiferlerin hidrolik parametrelerinin tespit edilmesi için temsili lokasyonlarda seçilen kuyularda akifer türü ve pompaj deney verilerine göre hidrolik iletkenlik (K, permeabilite katsayısı), transmisibilite katsayısı (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri *Jacob Yöntemi* ile belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma

alanında yeraltısu seviyesinin belirlenmesi amacıyla Ekim-2016'da statik seviye ölçümleri yapılmıştır. Havzada yüzey ve yeraltısularının kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çift kapaklı polietilen şişelere asitli (HNO_3) ve asitsiz olarak su örnekleri alınmıştır. Örnek alımı işlemleri sırasında YSI marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen (DO), redoks potansiyeli (Eh) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon (Cl , SO_4 , HCO_3 , CO_3), nitrat ve nitrit analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında, katyon (Na, K, Ca, Mg) ve ağır metal analizleri ACME (Kanada) laboratuvarında APHA, AWWA ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı grafik ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. Sonuçlar

3.1. Jeoloji

Çalışma alanındaki litolojik birimler özellikleri ve



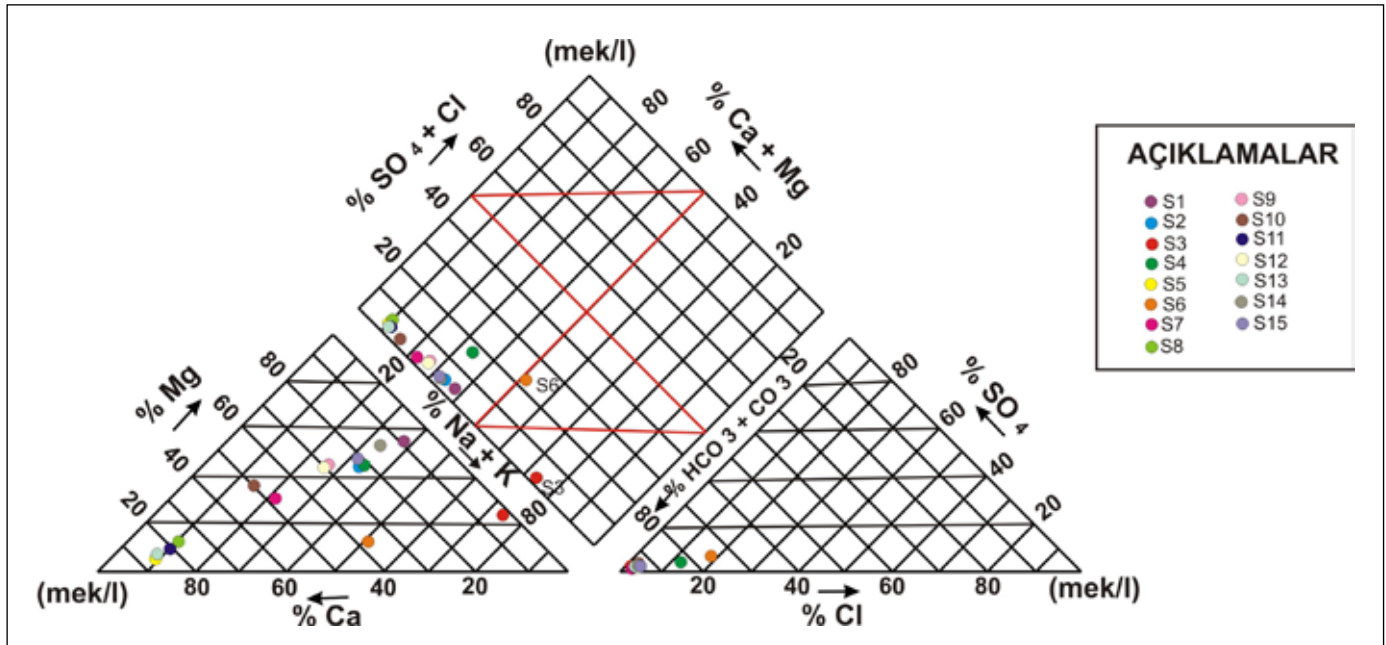
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

3.2. Hidrojeoloji

Çalışma alanı içerisinde yer alan litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Çalışma alanında yer alan alüvyon ve yamaç molozu güncel akarsuların ve yamaç döküntülerinin oluşturduğu tutturulmamış tortullardan oluşmakta ve 'Taneli ortam akiferini' temsil etmektedir. Kireçtaşları, çatlak ve erime boşluklarında önemli miktarlarda yeraltı suyu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren yapılarıdır. Rekrystalize ve dolomitik kireçtaşlarının oluşturduğu Dutdere kireçtaşı, Karanasıflar formasyonu, Yuvaadağ formasyonu ve Çatlıca formasyonu yayılımı ve verimi fazla olan 'Erimeli çatlaklı kaya ortam akiferi' olarak tanımlanmıştır. Dutdere kireçtaşı birimi, inceleme alanında daha çok güney ve doğu kesimler ile yükseltelerin fazla olduğu lokasyonlarda yüzeye çıkarken diğer karstik birimler olan Karanasıflar, Yuvaadağ formasyonu ve Çatlıca formasyonu ise çalışma alanının kuzey kesiminde ve daha küçük alanlarda yüzeylediği görülmektedir. Çalışma alanında çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı, marn, konglomera vb., kaya türlerinden oluşan Çameli formasyonu litolojisi ve yayılımı dikkate alınarak 'Akitard ortam-1' olarak sınıflandırılmıştır. Bu birim içerisinde bulunan kiltası, marn seviyelerinin geçirimsiz özellikte olması, birimin akifer olabilme kapasitesini kısıtlamaktadır. Çalışma alanında Orhaniye formasyonu, içerisinde kalsitürbidit seviyeleri ve dolomitik kireçtaşları az miktarda su bulundurabilenler de volkanitler, radyolarit-çört-şeyl ara düzeyli çörtlü mikritler su bulundurma özelliğine sahip değildir. Bu nedenle Orhaniye

formasyonu ve tabakalı çört üyesi 'Akitard ortam-2' olarak sınıflandırılmıştır. Bu formasyon, daha çok ovanın güney ve güneydoğu bölümlerinde yüzeylemektedir. Kızılcadağ ofiyolitleri ve Marmaris peridotitleri ise geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmışlardır. Ofiyolitik malzemeler içerisindeki kireçtaşlarında yeraltı suyu bulunabilirken genel yapı itibarıyla bu birimler yeraltı suyunu iletebilecek kapasitede değildirler. Bu nedenle Kızılcadağ ofiyolitleri ve Marmaris peridotitleri 'Akitard ortam'ı temsil etmektedir (Köse 2017).

Akiferlerin hidrojeoloji parametreleri, çalışma alanında DSİ 13. ve 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 7 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Alüvyon kesilen kuyularda hesaplanan permeabilite katsayısı (K) 1.43×10^{-5} - 5.56×10^{-5} m/s, Alüvyon ve kireçtaşı kesilen kuyularda K değeri 2.94×10^{-5} m/s, Kireçtaşı akiferinde bulunan kuyuda permeabilite katsayısı 1.28×10^{-5} m/s, tüm kuyularda transmisibilite katsayısı (T) ise 9.98×10^{-4} ile 1×10^{-3} m²/s arasında ve depolama katsayısı (S) değerleri 1×10^{-4} dür (Köse 2017). Alüvyon akiferde yeraltı suyu seviyesinin belirlenmesi amacıyla ölçüm yapılabilecek durumda olan 4 adet kuyuda Kasım-2016'da yeraltı suyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Havzada yeraltı suyunun yüzeyden derinliği 3.70-34.00 m arasında ölçülmüştür (Köse, 2017). Havzada yeterli sayıda sondaj kuyusunda yeraltı suyu seviyesi ölçümü yapılamadığından yeraltı suyunun akım yönü net olarak belirlenmemiştir.



Şekil 3. Piper diyagramı.

3.3. Hidrojeokimya

Havzada bulunan yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının tespiti için bölgeyi temsil edecek sondaj kuyuları, kaynak suları, dere suyu ve Yazır Gölü suyundan Ekim-2016 döneminde 15 adet su örnekleri alınmış ve iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla da yerinde ölçümler (T, EC, pH, Eh, DO) yapılmıştır. (Çizelge 1). Çalışma alanındaki suların pH değeri 7.67- 8.91 arasında değiştiği için *Bazik karakterli*, Yazır Gölü suyu ise

8.27 pH değeri ile *Bazik su* olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanındaki yüzey ve yeraltısularının EC değerleri 119.2-988 $\mu\text{ohm/cm}$ arasında, göl suyunun EC değeri ise 241.8 $\mu\text{ohm/cm}$ olarak ölçülmüştür. Çalışma alanındaki suların sertliği 13.78-65.29 Fr° ve göl suyunun sertliği ise 18.94 Fr° 'dir (Çizelge 1, Köse, 2017). Ekim-2016 döneminde alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Havzada yüzey ve yeraltısularına ait kimyasal analiz sonuçları Piper diyagramı ile değerlendirilmiştir

Çizelge 1. Çalışma alanındaki suların insitu ölçüm değerleri (Ekim-2016)

Örn.Yeri	Türü	No	EC ($\mu\text{ohm/cm}$)	T ($^\circ\text{C}$)	pH	Eh mV	DO mg/l	DO%	Sertlik (F°)
Kızıllar	K.	S1	390.8	14.2	8.10	355.4	0.25	2.70	27.55
Kızıllar	SK.	S2	329.9	15.5	8.14	320.2	0.25	2.90	22.26
Ambarcık	K.	S3	434.6	17.3	8.15	338.7	0.27	3.2	30.18
Ambarcık	SK.	S4	988.0	14.8	7.67	355.2	0.26	2.7	65.29
Kozağaç	K.	S5	270.1	17.3	8.12	327.0	0.27	3.3	17.73
Kozağaç	SK.	S6	119.2	17.5	8.05	370.1	0.24	3.0	59.70
Gölcük (Yazır)	K.	S7	242.0	13.5	8.18	343.3	0.29	3.3	17.38
Gölcük (Yazır)	SK.	S8	336.9	12.4	7.68	347.2	0.35	3.8	24.99
Küçükklü	K.	S9	351.2	12.8	8.37	619.7	0.28	3.1	26.56
Küçükklü	SK.	S10	327.2	11.4	8.20	352.7	0.23	2.5	25.71
Kayabaş	K.	S11	200.0	13.4	8.41	513.1	0.29	3.3	14.11
Kayabaş	K.	S12	401.0	11.9	8.28	389.6	0.24	2.6	31.94
Çıvgalar	K.	S13	183.4	12.3	8.61	620.9	0.28	3.1	13.78
Çıvgalar	D.S	S14	214.0	12.4	8.91	410.9	0.28	3.1	22.21
Yazır Gölü	G.S.	S15	241.8	11.8	8.27	338.9	0.28	3.8	18.94

Çizelge 2. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait majör iyon (mg/l) analiz sonuçları.

Örn.Yeri	Türü	No.	Na	K	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	%Hata
Kızıllar	K.	S1	10.94	0.68	44.84	39.77	6.22	313.71	0.00	16.33	3.24
Kızıllar	SK.	S2	9.76	1.44	45.72	26.39	5.61	249.81	0.00	14.40	4.71
Ambarcık	K.	S3	5.07	0.38	51.04	42.41	4.56	325.33	0.00	5.99	3.10
Ambarcık	SK.	S4	32.06	1.50	129.05	80.43	47.47	505.43	0.00	54.32	3.67
Kozağaç	K.	S5	2.91	0.41	65.75	3.23	2.04	203.33	0.00	3.17	-3.01
Kozağaç	SK.	S6	63.40	52.52	134.88	63.31	71.14	406.67	0.00	70.99	4.01
Gölcük (Yazır)	K.	S7	3.47	0.36	45.62	14.60	2.60	203.33	0.00	4.15	-0.47
Gölcük (Yazır)	SK.	S8	3.72	0.41	86.75	8.15	4.17	278.86	0.00	5.00	2.17
Küçükklü	K.	S9	5.84	0.46	58.03	29.38	5.67	255.62	22.86	6.11	3.69
Küçükklü	SK.	S10	5.01	0.79	62.23	24.77	4.46	296.29	0.00	5.45	3.68
Kayabaş	K.	S11	3.29	0.46	50.87	3.46	2.21	139.43	17.14	3.11	-2.88
Kayabaş	K.	S12	7.14	0.80	70.10	35.13	6.36	284.67	17.14	9.60	4.41
Çıvgalar	K.	S13	2.31	0.34	50.64	2.79	2.14	115.61	22.86	2.19	-2.14
Çıvgalar	D.S	S14	5.53	0.33	38.56	30.61	2.14	156.86	22.86	5.79	-2.64
Yazır Gölü	G.S.	S15	5.07	0.53	37.56	23.26	3.09	156.86	22.86	3.42	0.45

K: Kaynak, SK: Sondaj kuyusu, DS: Dere suyu, GS: Göl suyu.

(Şekil 3.). Piper diyagramına göre genel olarak çalışma alanındaki su örneklerinde Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-CO₃ tipi suların hakim olduğu görülmektedir. Bu durum su örneklerinin alüvyon birim altında yer alan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit birimleri ile kayas-su etkileşimi ile ilişkilidir. Ayrıca, piper diyagramına göre S6 no'lu örnek Ca-Na-Mg-K-HCO₃-Cl-SO₄'lu sular fasiyesindedir. Yine çalışma alanında en önemli yüzey suyu olan Yazır Gölü suyu ise (S15) ise Ca-Mg-HCO₃-CO₃'lu sular fasiyesindedir. Çalışma alanında ortaya çıkan farklı su tipleri bölgedeki kayalarla temas süresi, suyun miktarı, sıcaklığı ve ortamın basıncı gibi faktörlere bağlı olarak yeraltısuyunun bileşiminde değişiklikler gerçekleşmesine neden olmaktadır.

3.3.1. Suların İçme Suyu Özellikleri

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006 ve 2011) standartları kullanılmıştır. Havzadan alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikler ve anyon-kasyon içerikleri açısından değerlendirildiğinde sadece S4 no'lu örnekte HCO₃ iyonu konsantrasyonunu bakımından sınır değerleri aştığı görülmektedir. Çalışma alanındaki diğer tüm sular içme suyu standartlarıncaya içilebilir özelliktedir. Ayrıca, çalışma alanındaki sular Schoeller içilebilirlik diyagramına göre değerlendirildiğinde tüm sular 'içilebilir özellikte sular' sınıfında yer almakla birlikte S4 ve S6 örnekleri sertlik değerleri bakımından 'orta kalitede içilebilir sular' sınıfında, diğer tüm sular 'iyi-çok iyi kalitede içilebilir sular' sınıfındadır (Şekil 4, Köse 2017).

3.3.2. Suların Sulama Suyu Olarak Kullanım Özellikleri

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır.

ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre çalışma alanındaki sular genelde C1S1 (Az tuzlu ve Az sodyumlu) ve C2S1 (Orta tuzlulukta ve Az sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular içerisinde sadece S4 örneği C3S1 (Fazla tuzlu ve Az sodyumlu) sular sınıfındadır. Bu örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır. Wilcox diyagramına göre ise çalışma alanındaki tüm sular 'Çok İyi Kullanılabilir Sular' sınıfında yer aldığı görülmüştür (Şekil 5). Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanıma uygunluğunun belirlenmesinde en çok yararlanan ölçütlerden biridir. İnceleme alanında SAR değerleri 0.44

ile 6.36 arasında değişmektedir. Buna göre çalışma alanı genelindeki sular "Çok iyi özellikte sulama suları" sınıfındadır.

Artıksal sodyum karbonat (RSC); RSC sulamada kullanılan suyun karbonat ve bikarbonat içeriğinin tehlike etkisinin tespiti için kullanılmaktadır (Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Eaton, 1950). RSC <1.25 ise sulama için uygun, 2.5'dan büyük değerler ise uygun olmayan sular olarak tanımlanmaktadır (USEPA 1999).

$$RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg) \quad (1)$$

Çalışma alanındaki tüm sular RSC değerlerine göre, 'çok iyi kalitedeki I. Sınıf su' sınıfında yer almaktadır (Çizelge 3).

Geçirgenlik indeksi (PI): PI değeri sulama suyu için uygunluğunun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. PI değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Doneen, 1964; WHO 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir. >%75 sınıf I, %25-75 sınıf II ve <%75 değerleri sınıf III olarak değerlendirilmektedir. I ve II sınıf sular iyi sulama sularıdır (Ragunath 1987, Aghazadeh ve Mogaddam 2011, Ramesh ve Elango 2012).

$$PI = 100 \times [(rNa + r\sqrt{HCO_3}) / (rNa + rCa + rMg)] \quad (2)$$

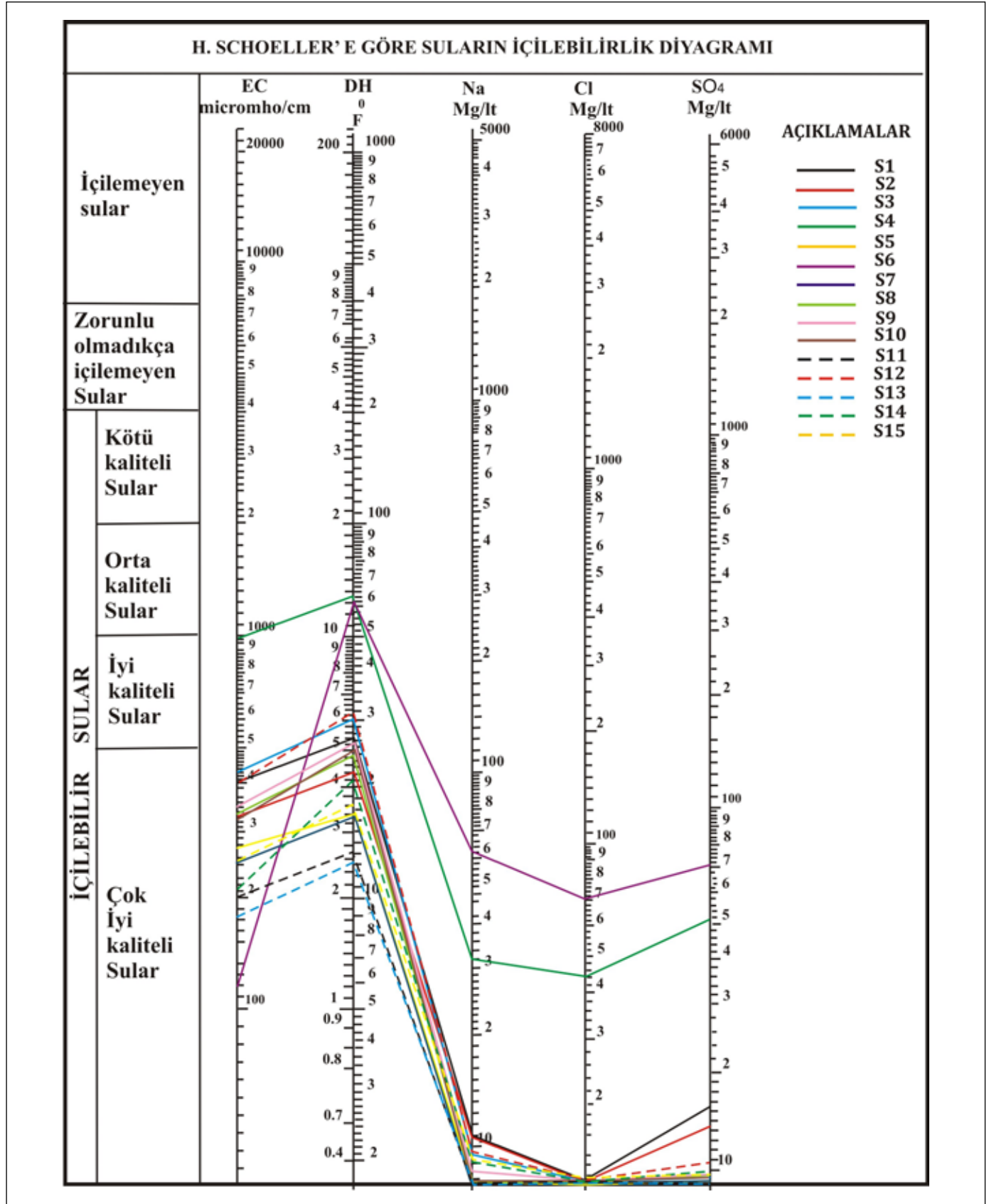
Çalışma alanındaki sular PI değerleri hesaplandığında S4, S6, S12, S13, S14 ve S15 no'lu örnekler II. Sınıf su iken, diğer su örnekleri III. Sınıf su özelliği taşımaktadır (Çizelge 3).

Magnezyum Tehlikesi (MT): Sulama suyunda Mg artışı toprak kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Szabolcs ve Darab (1964)'a göre magnezyum tehlikesinin belirlenmesinde elde edilen MT katsayısının >50 olması durumunda sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. MT <50 olan sular sulamaya elverişli sulardır. Magnezyum tehlikesi (MT) değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Szabolcs ve Darab 1964).

Çalışma alanındaki sular MT açısından değerlendirildiğinde S2, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13 no'lu örneklerin sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu, diğer suların ise içeriğindeki yüksek Mg iyon konsantrasyonunu nedeni ile sulama suyu olarak kullanıma elverişli olmadığı görülmüştür (Çizelge 3).

3.3.3. Suların Endüstride Kullanım Özellikleri

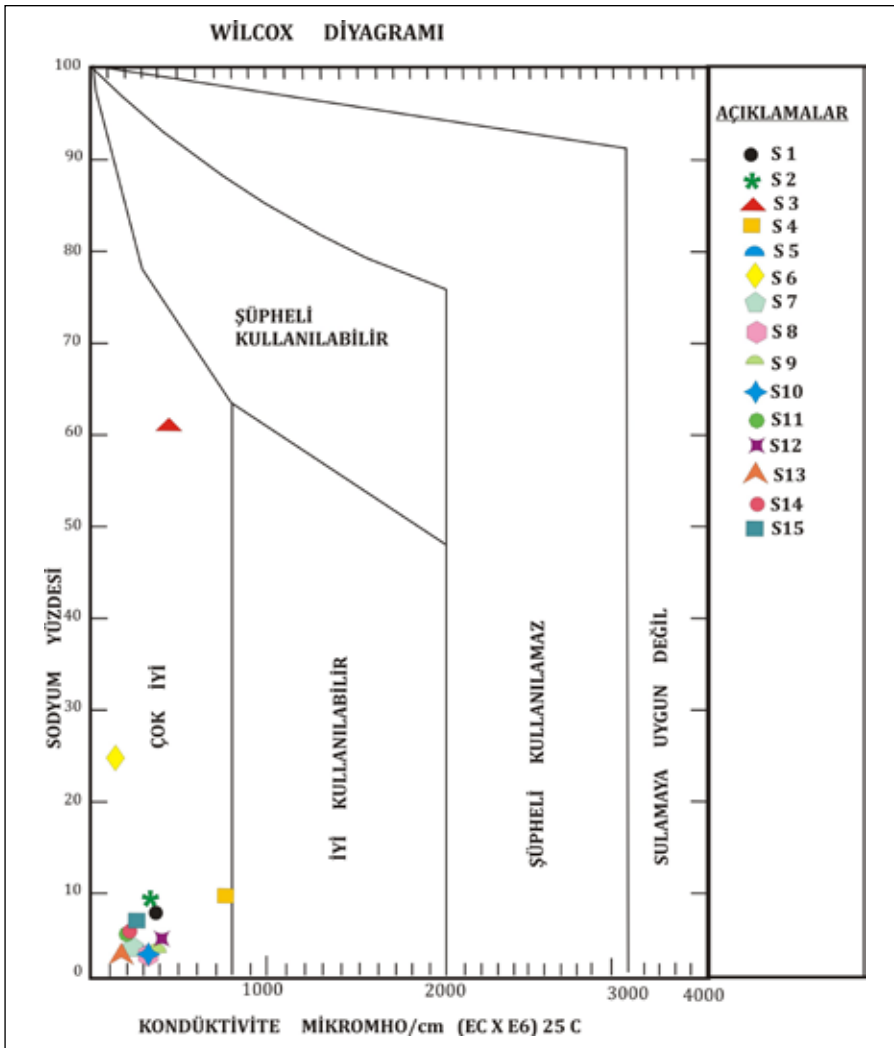
Suların içme ve sulama amaçlı kullanımları yanında endüstri alanında da kullanımları söz konusudur. Endüstride kullanılacak sularda aranan özellikler de kullanım yerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle inceleme



Şekil 4. Schoeller içilebilirlik diyagramı (Ekim- 2016).

Çizelge 3. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri.

Örnek No	RSC	PI	% Na	SAR	MT	DI	F
S1	-0.37	93.84	8.21	1.68	59.39	1.91	30.85
S2	-0.36	92.64	9.39	1.62	48.76	1.58	29.19
S3	-0.70	88.73	62.21	0.74	57.81	1.75	771.75
S4	-4.77	66.96	9.89	3.13	50.68	1.29	89.45
S5	-0.21	94.16	3.72	0.49	7.49	1.50	8.65
S6	-5.28	64.11	25.57	6.36	43.63	1.61	275.77
S7	-0.15	95.99	4.40	0.63	34.54	1.61	10.07
S8	-0.43	91.68	3.33	0.54	13.41	1.39	10.84
S9	-0.74	79.81	4.76	0.88	45.50	1.72	16.66
S10	-0.29	94.63	4.42	0.75	39.63	1.45	15.09
S11	-0.25	81.86	5.20	0.63	10.08	1.63	9.78
S12	-1.44	74.27	4.92	0.98	45.25	1.55	20.84
S13	-0.48	69.83	3.80	0.44	8.33	2.19	6.90
S14	-1.49	60.02	5.30	0.94	56.69	2.22	15.57
S15	-0.84	69.63	5.82	0.91	50.52	1.59	14.72



Şekil 5. Wilcox diyagramı (Ekim- 2016).

alanındaki suların içme ve sulama suyu özellikleri yanı sıra endüstride kullanılması durumunda çürütme, kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

3.3.4. Suların Çürütme ve Kireçlendirme Özellikleri

Çalışma alanında suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier (1942) tarafından sunulan 'Kalsiyum Denge Diyagramı' kullanılmıştır. Diyagram üzerinden okunan denge pH'sı (pHs) ile yerinde ölçümlerle belirlenen suyun pH değeri karşılaştırılarak DI denge endeksi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. DI değeri $> + 0.1$ değeri '*karbonat çökmesi*', $DI < -0.1$ değeri ise '*karbonat çözünmesi*' izlenebileceğini temsil etmektedir. '

$$DI = pH - pHs \quad (4)$$

Buna göre çalışma alanındaki suların tamamı '*karbonat çökmesinin görüleceği*' sular sınıfında yer almaktadır.

3.3.5. Suların Köpürme Özelliği

Su içerisindeki potasyum ve sodyum tuzları suların kaynarken köpürmesine ve bu durum makinelerin kazan ve borularının cidarlarında çökme ve kabuklanmaya neden olmaktadır. Buna ek olarak çökme ve kabuklanma sonucunda ısı iletkenliği azalarak yakıt masrafını arttırmaktadır ve suda istenmeyen bir özelliktir. Suların köpürme özelliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$F = 62 r Na^+ + 78 r K^+ \quad (5)$$

Çalışma alanındaki sular köpürme özelliği bakımından değerlendirildiğinde suların büyük bir çoğunluğunun (S1, S2, S5, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14 ve S15) '*kaynarken köpürmeyen sular*' sınıfında yer aldığı, S4 no'lu örneğin '*kaynarken köpüren sular*' sınıfında yer aldığı ve S3 ve S6 no'lu örneklerin ise '*kaynarken çok köpüren sular*' sınıfında olduğu görülmüştür.

3.3.6. Suların Beton Üzerine Etkisi

Suların beton üzerinde etkisi içerisindeki sülfat miktarına bağlıdır. Sülfatlı suların çimento üzerindeki etkinliği oldukça büyüktür. Sülfatlı sular, çimento içerisinde önemli miktarlarda CaO, MgO, SO₃ bulunması halinde, bu bileşiklerin su ile birleşmesi durumunda önemli miktarda hacim artışına ve betonun parçalanmasına neden olabilmektedir. Sudaki SO₄ miktarı 3.12 mek/l'den fazla ise olumsuz etki başlamakta, 20.82 mek/l'den fazla ise önemli etki gözlenmektedir (Şahinci 1991). Buna göre çalışma alanındaki suların sülfat miktarı 0.02-0.74 mek/l arasındadır. Sınıflamaya göre bölgedeki suların beton üzerinde olumsuz etkisi bulunmamaktadır.

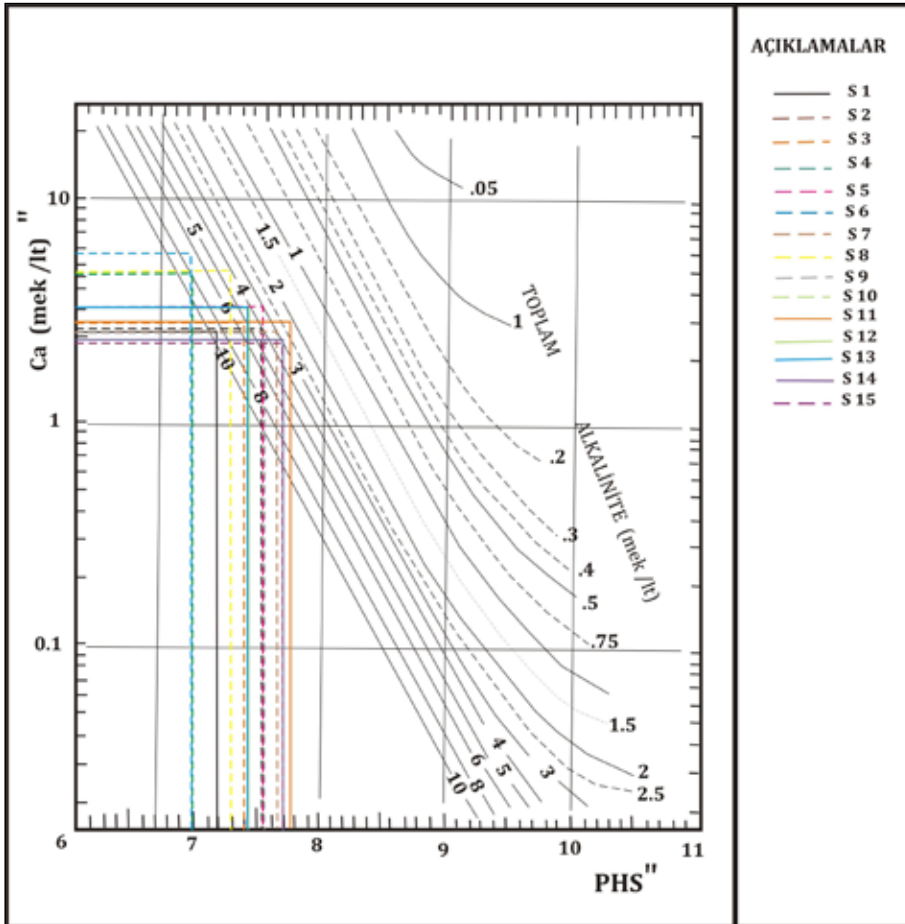
3.4. Sularda Kirlilik Araştırmaları

Su kaynaklarında kirlenmeye neden olan en önemli kirlenme unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; suların içerisinde geçtikleri kayaçlarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Antropojenik kökenli kirlilik ise, katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir. Su kaynaklarında en çok rastlanan kirlenme maddeleri azot bileşikleri olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman 1987). Çalışma alanında en önemli kirlilik kaynağı tarımsal aktivitelerden (seracılık başta olmak üzere) ve hayvancılıktan kaynaklanan kirliliktir. Evsel katı ve sıvı atıklar ile endüstriyel atıklar ise bölgedeki diğer önemli kirlenme kaynaklarıdır. Çalışma alanında su kaynaklarındaki kirlilik durumunun tespiti için (Ekim- 2016) döneminde azot türleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Çizelge 4). Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirlenme kaynaklarından kirlendiğini göstermektedir. Türk içme suyu (TS 266 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO 2006, 2008, 2011) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin tamamında nitrit 0.00-0.35 mg/l, nitrat 0.56-263.80 mg/l ve amonyak 0.00-2.56 mg/l arasındaki değerlerde tespit edilmiştir. Özellikle S2 (157.76 mg/l), S4 (263.80 mg/l) ve S15 (157.76 mg/l) no'lu örneklerde nitrat konsantrasyonu diğer örneklerle göre daha yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra S2 ve S15 no'lu örneklerin nitrit (0.35 mg/l) içerikleri de diğer örneklerle göre çok daha yüksek olup TS 266 (2005) standartlarıncı belirlenen sınır değeri aşmaktadır. Çalışma alanında yer alan Yazır Gölü'nden alınan su örneğinde (S15: 2.56 mg/l), S1 (0.59 mg/l) kaynağı, S2 sondaj kuyusu (2.56 mg/l), S6 sondaj kuyusu (0.57 mg/l) ve S14 (0.59 mg/l) no'lu dere suyundan alınan örnekte amonyak konsantrasyonunun da TS 266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO 2006, 2008, 2011) standartlarıncı belirlenen sınır değeri aştığı belirlenmiştir. Bu durum, çalışma alanında yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeniyle yeraltısuyunun ve havzadaki sulak alan statüsünde yer alan Yazır Gölü suyunun kirlendiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 4). Çalışmada su kaynaklarında gözlenebilecek ağır metal kirliliğinin araştırılması amacıyla ağır metal analizleri (Al, As, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) yaptırılmıştır. Çalışma alanında Al, Fe, Mn ve Ni artışlarının jeojenik ve

Çizelge 4. Yazır Gölü havzası su kaynaklarının ağır metal ve azot türevleri analizleri.

Örnek No	*NO ₂	*NO ₃	*NH ₄	**Al	**As	**Cu	**Cr	**Fe	**Mn	**Ni	**Pb	**Zn
S1	0.04	6.32	0.59	3	30.6	17.2	4.8	<10	0.48	1.5	3.4	124.1
S2	0,35	157.76	2.56	144	23.1	0.8	3.4	190	353.15	8.7	<0.1	0.8
S3	0.00	2.33	0.16	4	65.4	0.9	11.5	14	3.34	1.9	<0.1	0.8
S4	0.00	263.80	0.00	2	85.5	2.6	6.6	<10	0.27	1.0	0.7	1.2
S5	0.00	3.65	0.04	80	85.3	1.1	7.5	115	6.86	0.9	0.1	1.7
S6	0.02	5.31	0.57	<1	32.9	2.5	6.2	<10	5.52	0.8	<0.1	1.5
S7	0.00	5.57	0.36	2	83.7	7.6	9.3	<10	0.38	<0.2	0.3	5.6
S8	0.00	4.37	0.26	54	76.0	0.9	7.1	23	4.02	1.1	<0.1	1.0
S9	0.00	2.80	0.25	3	81.2	2.2	8.4	<10	0.54	0.7	0.2	1.3
S10	0.00	21,62	0.38	3	85.1	1.0	10.1	<10	0.40	0.8	<0.1	0.7
S11	0.00	3.64	0.19	8	77.8	0.6	6.2	<10	0.60	<0.2	<0.1	1.2
S12	0.00	0.56	0.20	3	89.9	1.6	15.7	<10	0.28	<0.2	<0.1	0.8
S13	0.00	8.12	0.20	3	66.7	1.	5.5	<10	0.29	<0.2	<0.1	3.5
S14	0.04	6.32	0.59	5664	68.4	14.8	35.1	5529	119.65	85.3	0.2	7.2
S15	0.35	157.76	2.56	11	70.6	1.3	16.8	<10	0.96	0.7	0.1	4.1
TS 266 2005	0.05	50	0.05-0.50	200	10	2000	50	200	50	20	10	-
WHO 2011	3	50	0.05-0.50	900	10	2000	50	-	-	70	10	-

* mg/l, ** µg/l.



Şekil 6. Kalsiyum denge diyagramı.

antropojenik etkenlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanındaki suların As konsantrasyonu 23.1-89.9 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyu olarak da kullanılan bazı örneklerde As içeriği sınır değeri aşmaktadır. Çalışma alanındaki sulara As artışının volkanik kayalarla ilişkili olarak jeojenik kökenli ve tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

4. Tartışma

Yazır Gölü sulak alan havzası Burdur Gölü Kapalı Havzasının bir alt havzası olup çoğunluğu Burdur ili Çavdır ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanındaki litolojik birimler alttan üstte doğru Yeşilbarak napı, Likya napları, paraallokton ve neotokton konumlu kaya birimlerinden oluşmaktadır. Çalışma alanındaki litolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme özelliklerine göre taneli ortam akiferi (Akf-1), erimeli-çatlaklı kaya ortam akiferi (Akf-2), akıtar ortam-1 (Akt-1) ve akifij ortam (Akj) olarak ayrılmıştır. Bölgede en önemli akifer birim alüvyon ve kireçtaşlarıdır. Alüvyon kesilen kuyularda hesaplanan permeabilite katsayısı (K) 1.43×10^{-5} - 5.56×10^{-5} m/s, alüvyon ve kireçtaşı kesilen kuyularda K değeri 2.94×10^{-5} m/s, Kireçtaşı akiferinde bulunan kuyuda permeabilite katsayısı 1.28×10^{-5} m/s, ve transmisibilite katsayısı (T) ise 9.98×10^{-4} ile 1×10^{-3} m²/s arasında ve depolama katsayısı (S) değerleri 1×10^{-47} dür (Köse, 2017). Piper diyagramına göre kaynak sularında genel olarak Ca-Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-CO₃ tipi suların hakim olduğu görülmektedir. Ayrıca, S6 no'lu örnek Ca-Na-Mg-K-HCO₃-Cl-SO₄' lı sular fasiyesindedir. Yazır Gölü suları Ca-Mg-HCO₃-CO₃' lı sular fasiyesindedir. Çalışma alanında tespit edilen farklı su tipleri bölgedeki kayalarla temas süresi, suyun miktarı, sıcaklığı ve ortamın basıncı gibi faktörlere bağlı olarak kayasu etkileşimi ile ilişkilidir. İnceleme alanındaki sular Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2006, 2011) standartları ile Schoeller içilebilirlik diyagramına göre değerlendirildiğinde tüm sular fiziksel özellikler ve anyon-kasyon içerikleri bakımından içme suyu standartlarıncaya içilebilir özelliktedir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır ve çalışma alanında yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

İnceleme alanındaki suların endüstride kullanım özelliklerinin tespiti için çürütme-kireçlendirme ve köpürme

özellikleri ile beton üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla "Kalsiyum Denge Diyagramı" kullanılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki suların tamamı 'Karbonat çökelmesinin görüleceği' sular sınıfında yer almaktadır. Çalışma alanındaki sular köpürme özelliği bakımından değerlendirildiğinde suların büyük bir çoğunluğunun 'kaynarken köpürmeyen sular' sınıfında yer aldığı, S4 no'lu örneğin 'kaynarken köpüren sular' sınıfında ve S3 ve S6 no'lu örneklerin ise 'kaynarken çok köpüren sular' sınıfında olduğu görülmüştür. Ayrıca, bölgedeki suların beton üzerinde olumsuz etkisi bulunmamaktadır. İnceleme alanında yeraltısularının ova genelinde yoğun tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktan kaynaklanan azot türevleri bakımından kirlilik düzeyinin tespit edilmesi amacıyla sulara nitrit (NO₂) nitrat (NO₃) ve amonyum (NH₄) analizleri yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sulara nitrat artışları görülmüştür. Bu durum çalışma alanında yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeniyle yeraltısuyunun ve havzada sulak alan statüsünde yer alan Yazır Gölü suyunun kirlendiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, su kaynaklarında tespit edilen bölgesel ölçekte Al, Fe, Mn ve Ni artışları, jeojenik ve antropojenik etkenlerle ilişkilidir. İnceleme alanında yeraltısularının As içeriği 23.1-89.9 µg/l arasında değişmektedir. Bütün su örneklerinin As içeriği sınır değeri aşmaktadır. İnceleme alanında yeraltısularında As artışının volkanik kayalarla ilişkili olarak jeojenik kökenli ve tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Yazarlar, 4455-YL1-15 no'lu proje ile araştırmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederler.

6. Kaynaklar

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A. 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *EMAS*, 176:183-195.
- Bilgin, ZR., Karaman. T., Öztürk. Z., Şen, MA., Şenel, M. 1990. Yeşilova-Acıgöl Civarının Jeolojisi Raporu. *MTA Rap*: 9071. Ankara.
- Çapan, U. 1980. Toros Kuşağı Ofiyolit Masiflerinin(Marmaris, Mersin, Pozantı, Pınarbaşı ve Divriği) İç Yapıları, Petrolojisi ve Petrokimyalarına Yaklaşımlar. *Hacettepe Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi*, 400s., Ankara
- Doneen, LD. 1964. Water quality for agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.

- Eaton, FM., 1950.** Significance of Carbonates in Irrigation Water. *Soil Science*, 69:123–133. DOI:10.1097/ 00010694-195002000-00004
- Erakman, B., Meşhur, M., Gül, MA., Alkan, H., Öztaş, Y., Akpınar M. 1982.** Toros projesine bağlı Kalkan-Köyceğiz-Çameli-Tefenni arasında kalan alanın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları raporu. *TPAO Rap: 1732*
- Köse, İ. 2017.** Yazır Gölü (Çavdır/Burdur) Sulak Alan Havzasının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi*, 117 sayfa, Isparta
- Langelier, WF., Ludwig, HF. 1942.** Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. *AWWA*, 34:335 – 352.
- Meşhur, M., Yoldemir, O., Akpınar, M., Öztaş, Y., Alkan, H. 1989.** Batı Toroslar'ın Jeolojisi ve Petrol Olanakları Raporu: *TPAO Rap.* Ankara
- Poisson, A. 1977.** Recherces geologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). These Univ. Paris- Sud. Orsay. 795s.
- Ragunath, H.M., 1987.** Groundwater. New Delhi: Wiley.
- Ramesh, K., Elango, L. 2012.** Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. *EMAS*, 184:3887–3899.
- Szabolcs, I., Darab, C. 1964.** The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. In I. Szabolcs (Ed.), *Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils*, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, 1964, 802–812
- Şahinci, A. 1991.** Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası. Bölüm 2. s.33. İzmir.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, ZR., Şen, AM., Karaman, T., Dinçer, MA., Durukan, E., Arbas, A., Örçen, S., Bilgi, C. 1989.** Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. *MTA Rap: 9429* (yayımlanmamış), Ankara
- TSE, 2005.** İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart-*Türk Standartları Enstitüsü* –Ankara.
- USEPA, 1999.** National Primary Drinking Water Regulations, Available at <http://www.epa.gov/OGWD/hfacts.html>.
- Uslu, O. ve Türkman, A., 1987.** Su Kirliliği ve Kontrolü. *T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi*, 364 s., Ankara
- WHO, 1989.** Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: *Report of a WHO scientific group: technical report series 778*, WHO, Geneva, p 74
- WHO, 2006.** Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (3rd ed.), chapter 9: radiological aspects. Geneva: World Health Organization.
- WHO, 2011.** Guidelines for drinking-water quality. *4th edition*, World Health Organization.