Yazır Gölü Havzası (Çavdır/BURDUR) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi

Simge VAROL^{1*} , İlknur KÖSE¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Böl., 32260 Isparta-Türkiye

ÖZ

Bu çalışmada Yazır Gölü havzası su kaynaklarındaki fizikokimyasal, majör iyon, ağır metal ve kirlilik parametreleri ile su kalitesinin mevsimsel değişimi incelenmiştir. Çalışma alanında alttan üstte doğru Yeşilbarak napı, Likya napları, paraallokton ve neotokton konumlu kaya birimleri yer almaktadır. Alüvyon ve kireçtaşı birimleri akifer birimlerdir. Kurak ve yağışlı mevsimlerde bölgeden toplam 30 su örneği toplanmıştır. Çalışma alanında Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ baskın su türleridir. Çalışma alanında ortaya çıkan farklı su tipleri ve kimyasal özelliklerindeki mevsimsel değişimlerde bölgedeki kayalarla temas süresi, suyun miktarı, sıcaklığı ve ortamın basıncı gibi faktörlerin etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve kalitesini etkileyen diğer bir önemli faktörün tarımsal faaliyetlerle ilişkili antropojenik kirlenme olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada kurak ve yağışlı dönem analiz sonuçları istatistiksel olarak da değerlendirilmiş ve parametrelerin birbirleri ile ilişkisi ortaya konmuştur. Çalışma alanındaki sulardan S4 ve S6 nolu örnekler WHO (2011), TSE266 (2005) standartlarına ve Schoeller diyagramına göre içilebilir özellik taşımamaktadır. Aynı şekilde çalışma alanındaki sular sulama suyu olarak değerlendirildiğinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramı sınıflamalarına göre de her iki dönemde de S4 ve S6 nolu örneklerin kullanımı sınırlıdır.

Anahtar kelimeler: Hidrojeoloji, hidrojeokimya, su kalitesi, Yazır Gölü

MAKALE BİLGİSİ

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Geliş : 18.03.2020
Düzeltilme : 31.05.2020
Kabul : 03.06.2020
Yayın : 29.12.2020

DOI:10.17216/LimnoFish.705947

* SORUMLU YAZAR

simgevarol@sdu.edu.tr
Tel : +90 246 211 19 90

Investigation of Seasonal Changes of the Hydrogeochemical Properties and Water Quality of Water Resources within the Yazır Lake Basin (Çavdır / BURDUR)

Abstract: In this study, the physicochemical, major ion, heavy metal, and pollution parameters of the Yazır Lake basin water resources and the seasonal variation of the water quality were investigated. Yeşilbarak nappe, Lycian nappes, paraallokton and neotokton rock units are located from top to bottom in the region. Groundwater supplied from alluvium and limestone units. Thirty water samples were collected from the area in dry and wet seasons. Ca-Mg-HCO₃ and Ca-HCO₃ were the dominant water types. 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. It has also been determined that another important factor affecting the hydrochemical and quality of water resources is anthropogenic pollution associated with agricultural activities. In this study, the results of the arid and rainy period analysis were evaluated statistically and the relationship of the parameters with each other was revealed. S4 and S6 samples from the waters in the study area are not potable according to WHO (2011), TSE266 (2005) standards, and Schoeller diagram. Similarly, when the waters in the study area are evaluated as irrigation water, according to the US Salinity Laboratory and Wilcox diagram classifications, the use of samples S4 and S6 is limited in both periods.

Keywords: Hydrogeology, hydrogeochemistry, water quality, Yazır Lake

Alıntılama

Varol S, Köse İ. 2020. Yazır Gölü Havzası (Çavdır/BURDUR) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi. LimnoFish. 6(3): 201-214. doi: 10.17216/LimnoFish.705947

Giriş

Nüfusun hızlı artışı ve buna paralel olarak artan tarımsal, içme kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçları nedeni ile su kaynaklarına duyulan talep giderek artmaktadır. Talebin hızla artışına rağmen toprak ve

su kaynakları kalite ve kantite olarak giderek daha çok kısıtlanmaktadır (Karadavut 2009; Akkan vd. 2018). Su kaynaklarının kirlenmesi önemli sosyo-ekonomik kayıplar getirmesinin yanı sıra, kirlilik türü ile kirliliğin yoğunluğuna bağlı olarak doğrudan

insan ve ekosistem yaşamını tehdit etmektedir. Önümüzdeki yıllarda su varlığının daha da kısıtlı hale gelecek olması, aynı zamanda mevcut suyun kalitesi ile ilgili problem ve maliyetlerin de artması beklenmektedir (WWAP 2012; Kıymaz vd. 2016). Bu nedenle su kalitesi, insan ve ekosistemin temel ihtiyaçlarının karşılanması için suyun miktarı kadar önemlidir. Bu amaçla kullanılan yeraltı ve yerüstü sularının kalitelerinin belirlenmesi, değişimlerinin izlenmesi ve çevreye olan etkilerinin bilinmesi toprak ve su kaynaklarının sürdürülebilirliği yönünden havza bazında su kaynakları yönetiminin önemini arttırmıştır. Havza yönetimi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanması için toprak, bitki örtüsü, diğer doğal kaynaklar ve insan kullanımlarının bütüncül bir yaklaşım içerisinde herkesin yararına uygun olacak şekilde korunması, geliştirilmesi ve yararlanılmasının sağlanmasıdır (Davraz vd. 2016; Mutlu ve Verep 2018). Bu amaçla su kaynaklarının korunması ve yönetimine ilişkin 23 Ekim 2000 tarihli ve 2000/60/EC sayılı “Su Çerçeve Direktifi” yürürlüğe girmiştir. Bu direktifle (SÇD 2000) kirlilik kaynaklarının kaynaklarında engellenmesini ve tüm kirlilik kaynaklarının sürdürülebilir kontrolü için bir mekanizma oluşturulmasını gerektirmektedir. Direktif, yeraltı sularını da korumakta ve kalite ve kantitesi için kesin hedefler getirmektedir. Nehirler, göller ve kıyı suları için de kesin ekolojik hedefler getirmektedir (Chave 2001). Gerek direktifin ana hedefleri gerekse ortaya çıkan problemler su kaynakları yönetiminde suyun miktarının yanında, suyun kalitesine de önem verilmesi, su kalitesi izleme ve değerlendirilmesi çalışmalarına hız verilmesini gerektirmektedir. Özellikle son yıllarda endüstrileşmenin ve sanayinin gelişi ile beraber tarımsal mücadelede pestisit ve kimyasal ilaç kullanımından dolayı bu su kalitesindeki bozulmalara sıkça rastlanmaktadır. Sanayi atıkları, tarımsal ilaç atıkları ve endüstri, petrol, deri, deterjan atıkları su kimyasında özellikle balıklar ve su canlıları aleyhine önemli değişiklikler yapmakta ve bunların ölümlerine sebep olmaktadır (Sönmez vd. 2008; Sönmez vd. 2012). Bu tip kirlenme sonucunda yeraltı ve yer üstü suları kullanılamaz durumu gelmektedir. Özellikle yüzey sularında oksijen azlığına bağlı olarak su canlılarının ölümü, azot ve fosfor çoğalmasına bağlı olarak ötrofikasyon veya buna sebebiyet, suların yüzeylerinde biriken deterjan, yağ vb. gibi maddeler sonucunda suyun havalanmasını engellenir, güneş ışınlarına engel olduğundan dolayı fotosentez düşer, kokuşma meydana gelir, estetik sorunlar ortaya çıkarır. Bulanıklık meydana getirdiği için balıkların besin bulmasını zorlaştırır, dolayısıyla büyümelerini yavaşlatır. Ağır metal birikimine sebebiyetten dolayı zehirlenmelere neden olabilir. Hiç şüphesiz ki

kimyasal su kirliliğinin en tehlikeli boyutunu ağır metal birikimi oluşturur ve ağır metal birikimi canlı organizmalar için potansiyel birer tehliktir (Rainbow 1995; Sönmez vd. 2012).

Bu çalışmada Burdur Gölü kapalı havzası içerisinde bulunan Yazır Gölü sulak alan alt havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı suyu kaynakları bölgede başta içme suyu olmak üzere sulama ve kullanma gibi farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu nedenle çalışmada havzadaki suların kalitesindeki mevsimsel değişimler incelenmiş ve bu değişimler istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir.

Materyal ve Metot

Çalışma Alanı

Yazır Gölü sulak alanı (Çavdır/Burdur) Türkiye'nin güneybatısında yer almakta ve (Şekil 1) ve 194,78 km² lik havza alanına sahiptir (Köse 2017). Genel olarak, sulak alan ve çevresinin iklimi, Orta Anadolu iklimi ve Akdeniz iklim bölgesinden etkilenmektedir. Çalışma alanına düşen ortalama yağış miktarı 406,08 mm, ortalama buharlaşma miktarı ise 337,55 mm'dir (Köse 2017). Kocadere deresi çalışma alanındaki en önemli yüzey akışıdır. Ayrıca Yazır Gölü çalışma alanının ortasında yer almakta ve gölden sulama suyu temin edilmektedir. Çalışma alanı içerisinde bulunan yerleşim alanlarının içme suyu, çalışma alanındaki kaynak sularından temin edilmektedir. Ayrıca, sulama suları kuyu suyu ve yüzeysel akışlardan sağlanmaktadır (Varol ve Köse 2018a).

Jeoloji-Hidrojeoloji

Litolojik formasyonlar ve bu formasyonlarla suyun temas süresi, yüzey ve yeraltı sularının kimyasal bileşimini belirlemektedir. Bu nedenle öncelikle çalışma alanındaki jeolojik birimlerin litolojik özellikleri ve bunların hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma alanındaki litolojik birimler iki grupta incelenmiştir. Bu birimler bölgeye otokton ve allohton olarak yerleşmiş birimlerdir (Köse 2017; Şekil 1; Tablo 1). Allohton birimler Marmaris peridotiti (Çapan 1980); Kızılcadağ ofiyolit ve melanji (Poisson 1977); Dolomitik kireçtaşları ve katmanlı çört üyelerinden oluşan Orhaniye formasyonu (Meşhur vd. 1989); Dutedere kireçtaşı (Şenel vd. 1989; Bilgin vd. 1990); Kireçtaşı, kilaşı ve kumtaşından oluşan Karanasıflar formasyonları (Şenel vd. 1989); Neritik ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan Yuvaldağ formasyonu; kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından oluşan Çatlıca formasyonudur. Çalışma alanındaki otokton birimler ise kilaşı, kumtaşı, konglomera ve kireçtaşından oluşan Çameli formasyonu (Erakman vd. 1982), alüvyon, yamaç molozu ve birikinti

konisidir. Yazır Gölü sulak havzasının jeolojik yapısının oluşumu genel olarak tektonik

faaliyetlerle ilişkilidir (Koçyiğit vd. 2000; Varol ve Köse 2018a).

Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeoloji haritası.

Figure 1. Location and geology map of the study area.

Çalışma alanındaki litolojik birimler farklı hidrojeolojik özelliklere sahiptir. Bu birimler su tutma kabiliyetine göre geçirimsiz (akifüj), yarı geçirimli (akitard-1, akitard-2, akitard-3), geçirimli-1 (taneli akifer) ve geçirimli-2 (karstik akifer) olarak gruplandırılmıştır. Çalışmada benzer hidrojeolojik özelliklere sahip birimler aynı grupta toplanmıştır. Bu birimler ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Havzada önemli bir akifer olduğu düşünülen alüvyon, yaklaşık 34,84 km²'lik bir alana sahiptir ve taneli akifer olarak adlandırılmıştır. Karstik akifer ise çalışma alanındaki diğer önemli akifer türüdür. Çalışma alanındaki su kaynaklarının çoğu Kızılcaadağ ofiyolit ve melanj içindeki olistolitlerden boşalmaktadır (Şekil 1) (Köse 2017). Çalışma alanındaki yeraltı suyu seviyesinin mevsimsel değişimi iki tür faktörle ilgilidir. Bunlar yağış, buharlaşma, yüzeysel akış gibi doğal faktörler ile yeraltı suyunun kuyulardan çekilmesi ve Kozacı barajından sulama ile beslenme gibi yapay

faktörlerdir. Çalışma alanındaki yeraltı suyunun ana beslenme kaynağı yağış sularıdır. Yeraltı suyunun statik seviyesi yapılan ölçümlerde Kasım 2016'da 3,70 ile 75,00 m ve Nisan 2017'de 1,00 ve 40,00 m arasında değiştiği tespit edilmiştir (Köse 2017; Varol ve Köse 2018a).

Örnekleme ve Analizler

Çalışma alanında Ekim 2016 (kurak dönem) ve Nisan 2017'de (yağışlı dönem) kuyulardan (5 örnek), kaynaklardan (8 örnek), dere (1 örnek) ve göl suyundan (1 örnek) olmak üzere toplam 30 su örneği başlıca kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için analiz edilmiştir (Şekil 1). Havzada yüzey ve yeraltı sularının kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çift kapaklı polietilen şişelere asitli (HNO₃) 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), çözünmüş oksijen (DO),

redoks potansiyeli (Eh) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon (Cl, SO₄, HCO₃, CO₃), nitrat ve nitrit analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında, katyon (Na, K, Ca, Mg) ve ağır metal analizleri (As, Mn, Fe) ACME (Kanada) laboratuvarında APHA (1998) ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde

yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı grafik ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Bunun yanı sıra tüm matematiksel hesaplamalar Excel 2007 (Microsoft Office) kullanılarak fizikokimyasal değişkenler için hesaplanmıştır. Temel bileşenler istatistiksel analizi, SPSS yazılımı sürüm 15 kullanılarak analiz edilmiştir.

Tablo 1. Jeolojik birimlerin litostratigrafik ilişkileri ve hidrojeolojik özellikleri.

Table 1. Lithostratigraphic relations and hydrogeological properties of geological units.

Yaş	Formasyon	Litoloji	Hidrojeolojik Özellikler
Kuvaterner	Alüvyon (Qal)	Çakıl, kum ve çamurtaşı	Geçirimli-1 (Taneli Akifer)
Kuvaterner	Yamaç Molozu (Qym)	Tutturulmuş Çakıl, kum ve çamurtaşı	Geçirimli-1 (Taneli Akifer)
Pliyosen (Neojen)	Çameli formasyonu (Plç)	Konglomera, kumtaşı, kilitaşı, killi kireçtaşı, marn	Yarı Geçirimli (Akitard-1)
Apsiyen-Albiyen (Kretase)	Marmaris peridotiti (Kmo)	Peridotite, serpantin ve serpantinize peridotit	Geçirimsiz (Akifüj)
G. Senoniyen (Kretase)	Kızılcaadağ Ofiyolit ve Melanjı (Kkzm)	Çört, diyabaz, bazalt, sipilit, tüf, tüfit, gabro, ve ofiyolitik matriks içinde serpantin blokları, olistolitler içinde kireçtaşları,	Yarı Geçirimli (Akitard-3)
O.-G. Triyas	Dutdere Kireçtaşı (TrJd)	Rekristalize kireçtaşları	Geçirimli-2 (Karstik Akifer)
Jura- Kretase	Orhaniye formasyonu (JKo)	Kalsitürbidit, çörtlü kireçtaşı	Yarı Geçirimli (Akitard-2)
G. Eosen	Karanasiflar formasyonu (Kkn)	Neritik kireçtaşı ve çörtlü breş	Geçirimli-2 (Karstik Akifer)
Triyas-	Yuvadağ formasyonu (TRJy)	Neritik kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı	Geçirimli-2 (Karstik Akifer)
Kretase	Çatlıca formasyonu (JKçt)	Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşı	Geçirimli-2 (Karstik Akifer)

Bulgular

Hidrojeokimya

Yeraltısuyu kalitesi suyun içerisinde yer aldığı akifer kayaçların özellikleri ile ilişkilidir (Subramani vd. 2005; Kumar vd. 2016). Suyun kimyasal özellikleri ise evsel, endüstriyel veya tarımsal faaliyetlerde kullanım durumunu belirler. Günümüzde birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede görülen su kirliliği, hastalıkların ve bebek ölümlerinin en önemli faktörlerinden birisidir (Kumar vd. 2016). Bu çalışmada, Yazır Gölü havzasındaki yüzey ve yeraltı sularının fizikokimyasal, majör iyon ve kalite değerlendirmeleri yapılmış ve aşağıda başlıklar altında detaylandırılmıştır.

Fizikokimyasal Parametrelerin Mevsimsel Değişiminin Değerlendirmesi

Çalışma alanındaki kaynak sularının pH'ı kurak ve yağışlı dönemler için sırasıyla 8,96 (S12)-9,61 (S13) ve 8,93 (S12)-9,80 (S13) arasında değişmektedir. Kuyulardan alınan su örneklerinin pH' ları kurak mevsimde 8,56 (S6)-9,22 (S2) ile yağışlı dönemde 8,54 (S6)-10,07 (S2) arasında ölçülmüştür. Ayrıca, yüzey sularından göl suyunun pH'ı kurak dönemde 9,27 (S15), dere suyunun pH'ı 9,91 (S14)'dir. Yağışlı dönemde ise göl suyunun pH'ı 9,53 (S15) dere suyunun pH'ı 9,62 (S14) 'dir. Suların pH değerleri için yağışlı dönemde arttığı görülmektedir (Tablo 2). Bu artış kayaçlar ile yağmur suyu arasındaki yüksek

etkileşime bağlıdır (Makwe ve Chup 2013; Ngabirano vd. 2016).

Kaynak sularının EC değerleri kurak dönemde 183,4 (S13)-434,6 (S3) $\mu\text{S/cm}$ ile yağışlı dönemde 139,3 (S13)-394,00 $\mu\text{S/cm}$ (S12) arasında ölçülmüştür. Kuyu sularının EC değerleri kurak dönemde 119,2 (S6)-988,00 (S4) $\mu\text{S/cm}$ ve yağışlı dönemde ise 293,7 (S10)-968,00 (S6) $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir. Ayrıca, yüzey sularından göl suyunun EC değerleri kurak dönemde (S15) 241,8 $\mu\text{S/cm}$, dere suyunun 253,7 $\mu\text{S/cm}$ 'dir. Göl suyunun yağışlı dönemde EC değeri 253,7 $\mu\text{S/cm}$ ve dere suyunun EC değeri 297,8 $\mu\text{S/cm}$ aralığındadır (Tablo 2). Hem kurak hem de yağışlı dönemde sulardaki yüksek EC değerleri, yağmuru ile beslenmeyle ilişkili zenginleşme ve seyreltmenin mekansal değişkenliğini göstermiştir. Ayrıca, yağışlı dönemde suların daha yüksek EC değerine sahip olması, kimyasal ayrışmanın yüksek olmasına ve akiferlerde yeraltı suyunun daha uzun kalış süresine bağlanabilir (Oinam vd. 2011; Alam vd. 2016; Varol ve Köse 2018b).

Suların kalitesini belirleyen fizikokimyasal parametrelerden biri olan sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimleri de bu çalışmada incelenmiştir. Buna göre kaynak sularının T ($^{\circ}\text{C}$) değerleri kurak dönemde 11,9 (S12)-17,3 $^{\circ}\text{C}$ (S3) ve yağışlı dönemde 9,2 (S13)-13,4 $^{\circ}\text{C}$ (S7) aralığında ölçülmüştür. Kuyu sularının T ($^{\circ}\text{C}$) değerleri ise kurak dönemde 11,4 (S10)-17,5 $^{\circ}\text{C}$ (S6) ve yağışlı dönemde 11,0 (S8)-12,5 $^{\circ}\text{C}$ (S4) arasında değişmiştir. Çalışma alanındaki yüzey sularından göl suyunun T ($^{\circ}\text{C}$) değerleri kurak dönemde 11,8 $^{\circ}\text{C}$ (S15) ve dere suyunun 12,4 $^{\circ}\text{C}$ (S14)'dir. Yağışlı dönemde ise göl suyu 9,4 $^{\circ}\text{C}$ (S15) ve dere suyu 11,2 $^{\circ}\text{C}$ (S14) olarak ölçülmüştür (Tablo 2). Çalışma alanındaki suların kurak ve yağışlı dönemlerdeki sıcaklık değişimleri meteorolojik koşullarla ilişkilidir.

Yükseltgenme-indirgeme potansiyeli (ORP), bir maddenin başka bir maddeyi oksitleme veya azaltma derecesini gösteren bir ölçümdür. Buna bağlı olarak su kimyası ve Arsenik türlerini suda ölçülen ORP değerleri ile belirlemek de mümkündür (APHA 1998). Bu çalışmada, kaynak sularında ORP değerleri kurak dönemde 327,00 mV (S5)-620,90 mV (S13) yağışlı dönemde ise 240,3 mV (S1) ile 348,00 mV (S3) arasında bulunmuştur. Kuyu sularından alınan örneklerin ORP değerleri kurak dönemde 320,2 mV (S2)-370,1 mV ve yağışlı dönemde ise 208 mV (S2)-325,6 mV

(S6) arasında değişmektedir. Ayrıca, yüzey sularından göl suyunun ORP değeri kurak dönemde 338,9 mV (S15) dere suyunun 410,9 mV (S14) ölçülmüştür. Yağışlı dönemde ise göl suyunun ORP değeri 288,9 mV (S15) ve dere suyunun ORP değeri 295,5 mV (S14) olarak ölçülmüştür (Tablo 2) (Varol ve Köse 2018b).

Majör İyonların Mevsimsel Değişiminin Değerlendirmesi

Çalışma alanındaki yeraltısularında en yaygın iyon Ca iyonudur. Daha sonra ise, bileşiminde daha az miktarda Mg, Na ve K iyonları bulunur (Tablo 3). Buna göre, su örneklerine ait majör iyonların mevsimsel dizilimleri Tablo 3' de sunulmuştur. Sudaki Ca ve Mg iyonu kaynakları genellikle kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı gibi karbonat bakımından zengin kayalardır. Bu tür kayalardaki karbonatlar, yeraltısuyuna sulama ve yağış gibi çeşitli yollarla karışmaktadır. Mg iyonundaki artış kurak ve yağışlı dönemlerde, özellikle Kızılıcağ ofiyolit ve melanji içerisinde boşalan kaynak sularında (S1, S4 ve S15) gözlenmiştir. Yeraltısularındaki Mg iyonu kaynağı, su ile kayaların bileşiminde bulunan minerallerin iyon değişimidir. K iyonu açısından kurak dönemde sadece Kızılıcağ ofiyolit ve melanji ile tabakalı çört üyesi dokanağından boşalmakta olan Ambarcık kaynak suyunda (S3) bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, kayaç-su etkileşimine bağlı iyon değişiminden kaynaklanmaktadır.

Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin majör anyonik bileşeni olan Bikarbonat (HCO_3) iyon konsantrasyonu kurak dönemde 115,61-505,43 mg/L, yağışlı dönemde ise 148,05-538,93 mg/L arasında değişmektedir. Alkalinitenin ana kaynağı olan HCO_3 genellikle CO_2 ve karbonatların çözünmesi, silikatların karbonik asit ile reaksiyonu (Ranjan vd. 2013) ve organik maddenin oksidasyonu (Jeong 2001) ile ilişkilidir. Dutedere kireçtaşı ve Kızılıcağ ofiyolit ve melanji dokanağından boşalım gösteren yeraltısuyu örneklerinin çoğunda Cl konsantrasyonlarının kurak dönemde arttığı görülmektedir. Cl konsantrasyonlarındaki bu artış Kızılıcağ ofiyolit ve melanji ile yağmur suyu arasındaki kaya-su etkileşimi ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma alanındaki örneklerdeki sülfatin oksidasyonundan kaynaklanan sülfat (SO_4) (Ranjan vd. 2013) kurak dönemde 3,11-70,99 mg/L ve yağışlı dönemde ise 2,13-83,79 mg/L arasında değişmektedir.

Tablo 2. Kurak ve yağışlı dönemler için su örneklerinin fizikokimyasal, majör iyon ve ağır metal konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistiksel analiz sonuçları.**Table 2.** Descriptive statistical analysis results of physicochemical, major ion and heavy metal concentrations of water samples for dry and wet periods.

T	Birim	Kurak Dönem					Yağışlı Dönem				WHO (2011)	TSE 266 (2005)
		N	Min.	Mak.	Ort.	Std. Sap.	Min.	Mak.	Ort.	Std. Sap.		
T	°C	15	11,40	17,50	13,90	2,11	9,20	13,40	11,20	1,15		
pH		15	8,56	9,91	9,14	0,36	8,54	10,07	9,29	0,41	6,5–8,5	6,5–9,5
ORP	mV	15	320,20	620,90	400,19	100,85	208,00	348,00	297,22	34,50		
EC	µS/cm	15	119,20	988,00	335,34	201,44	139,30	968,00	382,32	248,21		
TDS	mg/L	15	77,48	642,20	217,97	130,93	90,55	629,20	248,51	161,33	500	
Ca	mg/L	15	37,56	134,88	64,77	30,17	35,99	130,82	62,09	27,93	300	200
Mg	mg/L	15	2,79	80,43	28,51	22,13	1,51	79,71	30,84	25,81	30	150
Na	mg/L	15	2,31	63,40	11,03	16,20	1,03	54,87	10,24	14,59	200	200
K	mg/L	15	0,33	52,52	4,09	13,40	0,22	43,53	3,48	11,08		12
HCO₃	mg/L	15	115,61	505,43	259,45	105,01	148,05	538,93	302,82	110,68	500	
CO₃	mg/L	15	0,00	22,86	8,38	10,77	0,00	23,30	5,82	8,80		
Cl	mg/L	15	2,04	71,14	11,32	20,04	1,41	79,96	12,91	22,366	250	250
SO₄	mg/L	15	2,19	70,99	14,00	20,40	2,13	83,79	16,97	23,52	250	250
NO₃	mg/L	15	0,00	263,80	32,53	75,26	0,77	258,49	35,59	78,66	50	50
NO₂	mg/L	15	0,00	0,35	0,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0,05
NH₄	mg/L	15	0,00	2,56	0,49	0,63	0,00	0,12	0,02	0,04	0,05-0,50	0,05-0,50
As	mg/L	15	0,02	0,08	0,06	0,02	0,04	0,13	0,09	0,02	0,01	0,01
Mn	mg/L	15	0,00	0,35	0,03	0,09	0,01	0,09	0,05	0,02	-	0,05
Fe	mg/L	15	0,00	5,52	0,39	1,42	0,01	0,30	0,05	0,07	-	0,2
N		15										

Tablo 3. Su örneklerinin yeri ve ana iyon dizileri (Köse 2017).**Table 3.** Location of water samples and main ion sequences (Köse 2017).

Örnek Yeri	No	Örnek Tipi	Kurak Dönem (Ekim 2016)		Yağışlı Dönem (Nisan 2017)	
			Katyon Dizisi	Anyon Dizisi	Katyon Dizisi	Anyon Dizisi
Kızıllar	S1	Kaynak	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >CO ₃ >Cl
Kızıllar	S2	S.Kuyu	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄
Ambarcık	S3	Kaynak	K>Mg>Ca>Na	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄
Ambarcık	S4	S.Kuyu	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃
Kozağacı	S5	Kaynak	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>CO ₃
Kozağacı	S6	S.Kuyu	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃
Gölcük (Yazır)	S7	Kaynak	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃
Gölcük (Yazır)	S8	S.Kuyu	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>CO ₃
Küçükklü	S9	Kaynak	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃
Küçükklü	S10	S.Kuyu	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>CO ₃
Kayabaş	S11	Kaynak	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>CO ₃
Kayabaş	S12	Kaynak	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>CO ₃
Çıvgalar	S13	Kaynak	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl>CO ₃
Çıvgalar	S14	Dere	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >SO ₄ >Cl
Yazır Gölü	S15	Göl	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >Cl>SO ₄	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >CO ₃ >SO ₄ >Cl

Ağır Metal ve Kirlilik Parametrelerinin Mevsimsel Değişiminin Değerlendirmesi

Çalışma alanındaki su kaynaklarından alınan örneklerde sulara özellikle kirlilik göstergesi olan ve belirli miktarlardan fazla olması durumunda kullanılmasını sınırlandıran kimyasal parametrelerden NO₃, NO₂, NH₄ yanı sıra As, Fe ve Mn analizleri de yaptırılmıştır. NO₃⁻ konsantrasyonları kurak dönemde 0-263,80 mg/L ve yağışlı dönemde 0,77-258,49 mg/L arasında değişmektedir. NO₂ konsantrasyonları kurak dönemde 0-0,35 mg/L ve yağışlı dönemde sulara

bulunmamaktadır. NH₄ konsantrasyonları ise 0-2,56 mg/L ve yağışlı dönemde 0-0,12 mg/L arasında değişmektedir. Sularda NO₃, NO₂ ve NH₄ tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğin göstergesidir. Özellikle içme suyu olarak kullanılan sulara WHO (2011) ve TSE266 (2005) tarafından belirlenen sınır değerler NO₃ için 50 mg/L, NO₂ için WHO (2011)'a göre 3 mg/L ve TSE266 (2005)'e göre 0,05 mg/L'dir. Aynı şekilde NH₄ için WHO (2011) ve TSE266 (2005) tarafından belirlenen sınır değer 0,05-0,50 mg/L'dir. NO₃, NO₂ ve NH₄ konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişim incelendiğinde kurak dönemde

yağışlı döneme göre artış söz konusudur. Bu durum yağışların azalması ile birlikte tarımsal faaliyetler sonrasında toprak ve yeraltısularında gübre kaynaklı kirleticilerin birikimini göstermektedir (Varol ve Köse 2018b).

Çalışma alanına ait su örneklerinin As konsantrasyonu kurak dönemde 0,02-0,08 mg/L ve yağışlı dönemde ise 0,04-0,13 mg/L arasında değişmektedir. As için WHO (2011) ve TSE266 (2005) tarafından belirlenen sınır değer 0,01 mg/L'dir. İçme suyu standartlarına göre çalışma alanındaki suların hepsi sınır değerinin üzerinde Arsenik konsantrasyonlarına sahiptir. Bu durumda As içeriği bakımından bu suların içilmesi uygun değildir. As konsantrasyonlarındaki mevsimsel değişim incelendiğinde yağışlı dönemde kurak dönem ile karşılaştırıldığında konsantrasyonlarda artış gözlemlenmektedir. Bu durum bölgede geniş bir yayılıma sahip Kızılcadağ ofiyolit ve melanji ile Marmaris peridotitleri içerisindeki Arsenik bulundurabilen kayaç türlerinin yeraltısuyu ile etkileşimine bağlı olduğu düşünülmektedir. Sulardaki bir diğer ağır metal Fe'dir. Kurak dönemde suların Fe konsantrasyonları 0-5,52 mg/L ve yağışlı dönemde ise 0,01-0,30 mg/L arasında değişim göstermektedir. Sulardaki Fe iyonlarının varlığı hem jeojenik kökenli hem de antropojenik kökenli olabilmektedir. Çünkü Fe elementi doğal ortamda ve kayaçlarda bol miktarda bulunan bir elementtir. Sondaj kuyularından alınan örneklerdeki Fe

iyonunun yüksek oluşu ise yine sondaj kuyusu ile su etkileşimine bağlı metal artışı olarak söylenebilmektedir. Kurak dönemde Fe iyon konsantrasyonlarında bir artış dikkati çekmektedir. Çalışma alanındaki sularda karşılaşılan bir diğer ağır metal ise Mn'dır. Mn konsantrasyonları kurak dönemde 0-0,35 mg/L ve yağışlı dönemde 0,01-0,09 mg/L arasındadır. Aynı şekilde kurak dönemde yağışlı döneme göre artış söz konudur.

Hidrojeokimyasal Fasiyesler

Hidrojeokimyasal fasiyesler, yeraltısuyunun kimyasal geçmişini ve kökenlerini belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Yeraltısuyu örneklerinin kimyasında baskın katyonlara ve anyonlara dayalı benzerlik ve farklılıkları göstermek için Piper (1944) tarafından geliştirilmiştir. Kurak ve yağışlı dönemlerde çalışma alanından toplanan su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyeslerini belirlemek için Piper (1944) diyagramı hazırlanmıştır. Piper diyagramına göre, kurak ve yağışlı dönemlerde Ca-Mg-HCO₃ ve Ca-HCO₃ baskın su türleridir (Şekil 2). Çalışma alanında kurak dönemde sadece bir numune (S6) Ca-Na-HCO₃-Cl-SO₄ su tipindedir. Bu örnek Dolomitik kireçtaşı ve Kızılcadağ ofiyolit ve melanjından oluşan Yuvaldağ formasyonundan su alan sondaj kuyusuna aittir. Bu su örneğindeki Na ve SO₄ iyonlarının artışı ofiyolitler ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Varol ve Köse 2018b).

Şekil 2. Piper (1944) diyagramı üzerinde kurak ve yağışlı dönemlerde su tipleri.

Figure 2. Water types in dry and wet periods on the Piper (1944) diagram.

İstatistiksel Analiz

Su örneklerinin fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için korelasyon analizi uygulandı. Korelasyon analizi ile suyun mineraller ve kimyasal bileşenler arasındaki kimyasal prosesleri hakkında bilgi edinmek mümkündür (Varol ve Davraz 2015). Korelasyon analizinin sonuçları değerlendirilirken, korelasyon katsayısı 1 veya 1'e yakınsa, iki değişken arasında iyi bir pozitif ilişki olduğu anlamına gelmektedir. Sıfıra yakın değerler $p < 0,05$ ise önemlidir. Yani, r değeri $> 0,7$ olan parametreler arasında güçlü bir korelasyon olduğu varsayılırken, r değerinin 0,5 ile 0,7 arasında orta derecede korelasyonlu olduğu söylenir (Kumar vd. 2006). Bu çalışmada da fizikokimyasal değişkenler ile eser elementler arasındaki potansiyel ilişkiyi değerlendirmek için "Pearson Korelasyon Analizi" (PCA) yapılmıştır. Tüm işlemler Windows için SPSS yazılım sürümü 15,0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca parametreler arasındaki ilişkilerdeki değişiklikleri incelemek için kurak ve yağışlı dönemler için Pearson korelasyon matrisi ayrı ayrı uygulanmıştır (Tablo 4 ve 5).

Fizikokimyasal PCA sonuçlarına göre, T (°C) yağışlı dönemde EC-TDS-K-Cl ile pozitif korelasyon gösterirken ve NH_4 ile negatif korelasyon göstermiştir. Ek olarak, T (°C) parametre kurak dönemde CO_3 iyonu ile negatif korelasyon göstermiştir. EC ve TDS yağışlı döneme Mg-Na- HCO_3 -Cl- SO_4 - NO_3 ile pozitif güçlü korelasyon gösterirken, kurak dönemde NH_4 ile pozitif güçlü korelasyon göstermiştir. pH, yağışlı dönemde arsenik (As) ile pozitif güçlü korelasyon göstermiştir. pH kurak dönemde ise CO_3 ve As ile pozitif güçlü korelasyon göstermiştir. Yağışlı ve kurak dönemlerin her ikisinde de ORP ile herhangi bir parametre arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir (Tablo 4 ve 5). Buna göre fizikokimyasal PCA sonuçları, çalışma alanındaki su kaynaklarında kaya-su etkileşiminin yanı sıra evsel ve tarımsal atıklardan kaynaklanan noktasal ve yayılı kaynak kirliliğinin katkısını göstermektedir (Varol ve Köse 2018b).

Majör iyon PCA sonuçlarına göre Mg, yağışlı dönemde Na- HCO_3 -Cl- SO_4 - NO_3 ile pozitif ve güçlü korelasyon göstermiştir. Kurak dönemde ise Mg, Na-K- HCO_3 -Cl- SO_4 ile pozitif ve güçlü korelasyon göstermiştir. Mg iyonunun diğer iyonlarla korelasyonu, Kızılcaadağ ofiyolit ve melanji içindeki dolomitik kireçtaşı ve magnezyum sülfatlı mineraller ile suyun etkileşimi ve çalışma alanındaki tarımsal süreçlerden etkilendiğini göstermektedir. Na yağışlı dönemde HCO_3 -Cl- SO_4 - NO_3 ile pozitif ve güçlü korelasyon gösterirken, kurak dönemde K- HCO_3 -Cl- SO_4 ile pozitif ve güçlü korelasyon göstermiştir. Su içerisindeki Na iyonunun yüksekliği, kayaç oluşturan

minerallerin doğal olarak ayrışmasını ve yeraltısuyu sistemindeki çeşitli iyon değişim süreçlerini göstermektedir (Davraz ve Özdemir 2014; Varol ve Davraz 2016; Varol ve Köse 2018b). Buna ek olarak, Na iyonunun Cl- SO_4 - NO_3 iyonları ile korelasyonu ise çalışma alanında antropojenik bir kirliliğin varlığını göstermektedir. Su örneklerindeki K iyonu yağışlı dönemde HCO_3 -Cl- SO_4 - NO_3 ile pozitif korelasyon gösterirken, NH_4 ile negatif korelasyon göstermiştir. Ayrıca bu parametre kurak dönemde HCO_3 -Cl- SO_4 ile yine pozitif korelasyon göstermektedir (Tablo 4). Su içerisindeki K iyonlarının yüksekliği Na iyonlarında olduğu gibi, kayaç oluşturan minerallerin doğal olarak ayrışmasını ve yeraltısuyu sistemindeki çeşitli iyon değişim süreçlerini göstermektedir. Buna ek olarak, K iyonlarının Cl- SO_4 - NO_3 iyonları ile korelasyonu ise ortamdaki antropojenik kirliliği göstermektedir. Çalışma alanındaki sulara majör anyonların PCA sonuçlarına göre HCO_3 , kurak ve yağışlı dönemlerde Cl- SO_4 - NO_3 ile pozitif ve güçlü korelasyon göstermektedir. Cl iyonu da kurak ve yağışlı dönemlerde SO_4 - NO_3 ile pozitif ve güçlü korelasyon göstermiştir. SO_4 yağışlı dönemde NO_3 ile pozitif korelasyon gösterirken, kurak dönemde SO_4 ile herhangi bir parametre arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir (Tablo 4 ve 5). Bu durum çalışma alanındaki antropojenik kirlilik ile açıklanabilir (Varol ve Davraz 2016; Varol ve Köse 2018b).

Ağır metal ve kirlilik parametrelerine göre PCA sonuçları, As yağışlı dönemde Mn ile pozitif ve güçlü korelasyon gösterirken Fe ile orta derecede korelasyon göstermiştir. Bu durum, yeraltısuyu-kaya etkileşimi ile suyun doğal hidrojeokimyasal evrimi ile açıklanabilir. Özellikle çalışma alanındaki litolojik birimlerden Kızılcaadağ ofiyolit ve melanjına ait kaya ve minerallerin kimyasal ayrışma ve çözülmesi buna neden olabilir. Buna ek olarak suda arsenik, ortamdaki demirin indirgeyici çözünmesinden ve organik maddenin mikrobiyal oksidasyonundan da kaynaklanabilmektedir. Yağışlı dönemde NO_3 ve herhangi bir parametre arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. Benzer şekilde, yağışlı dönemde NO_2 'in ve Mn'in diğer herhangi bir parametre arasında anlamlı bir ilişki gözlenmemiştir. Ancak kurak dönemde NO_2 , NH_4 ile pozitif ve güçlü korelasyon göstermiştir (Tablo 4 ve 5). NO_2 iyonunun NH_4 ile korelasyonu, çalışma alanındaki tarımsal kökenli antropojenik kirliliği desteklemektedir.

İstatistiksel PCA analiz sonuçlarına göre, çalışma alanındaki su kaynaklarının kimyasal bileşiminde, iklim koşulları, iyon değişim süreçlerine bağlı olarak kaya-su etkileşiminin ve su kaynaklarındaki antropojenik etkilerin önemli bir rolü bulunmaktadır.

Tablo 4. Çalışma alanındaki suların kurak dönemde PCA sonuçları.**Table 4.** PCA results of the waters in the study area in dry period.

		T	pH	ORP	EC	TDS	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	CO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	NO ₂	NH ₄	As	Mn	Fe
T	r	1,00	-,28	-,35	,10	,10	,26	,35	,30	,18	,39	-,58	,24	,41	-,02	,37	,06	-,33	,088	,27
	p		,31	,19	,71	,71	,33	,19	,26	,51	,14	,02	,37	,12	,91	,16	,83	,22	,75	,31
pH	r		1,00	,31	-,40	-,40	-,75	-,47	-,47	-,67	-,84	,73	-,66	-,58	-,53	-,34	-,26	-,12	,34	,14
	p			,24	,13	,13	,00	,07	,07	,00	,00	,00	,00	,02	,04	,20	,34	,66	,20	,59
ORP	r			1,00	-,27	-,27	,05	,00	,00	-,12	-,20	,63	,04	-,04	,09	-,47	-,20	,03	-,16	-,45
	p				,32	,32	,85	,98	,97	,66	,46	,01	,87	,87	,74	,07	,47	,89	,54	,08
EC	r				1,00	1,00	,25	,50	,38	,25	,62	-,34	,51	,48	,22	,57	,83	,28	-,12	,03
	p						,36	,05	,15	,35	,01	,20	,05	,06	,42	,02	,00	,31	,66	,89
TDS	r					1,000	,25	,50	,38	,25	,62	-,34	,51	,48	,22	,57	,83	,28	-,12	,03
	p						,36	,05	,15	,35	,01	,20	,05	,06	,42	,02	,00	,31	,66	,89
Ca	r						1,00	,25	,20	,46	,59	-,41	,46	,33	,58	,27	,10	,32	-,39	-,11
	p							,36	,46	,08	,01	,12	,08	,21	,02	,32	,70	,23	,14	,67
Mg	r							1,00	,89	,53	,81	-,25	,82	,91	,45	,33	,44	-,18	,08	-,10
	p								,00	,04	,00	,36	,00	,00	,08	,21	,09	,50	,76	,71
Na	r								1,00	,72	,70	-,20	,87	,96	,34	,29	,42	-,29	,23	-,10
	p									,00	,00	,47	,00	,00	,21	,28	,11	,28	,39	,72
K	r									1,00	,61	-,35	,80	,68	,42	,23	,33	-,04	-,05	-,34
	p										,01	,19	,00	,00	,11	,40	,22	,88	,84	,20
HCO ₃	r										1,00	-,64	,83	,81	,53	,44	,47	,01	-,23	-,15
	p											,00	,00	,00	,03	,10	,07	,96	,39	,58
CO ₃	r											1,00	-,32	-,37	-,02	-,47	-,25	,05	,10	-,15
	p												,238	,16	,93	,07	,35	,85	,72	,58
Cl	r												1,00	,89	,58	,32	,47	-,09	-,13	-,37
	p													,00	,02	,23	,07	,72	,62	,16
SO ₄	r													1,00	,32	,37	,46	-,24	,19	-,04
	p														,23	,17	,07	,37	,49	,86
NO ₃	r														1,00	,11	,01	,33	-,59	-,52
	p															,68	,97	,22	,02	,04
NO ₂	r															1,0	,75	-,17	,26	,38
	p																,00	,53	,34	,15
NH ₄	r																1,00	-,09	,18	,15
	p																	,73	,51	,57
As	r																	1,00	-,51	-,31
	p																		,04	,25
Mn	r																		1,00	,69
	p																			,00
Fe	r																			1,00
	p																			

Su Kalite Parametrelerinin Mevsimsel Değişimi

Suların İçme Suyu Özellikleri

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2011) standartları kullanılmıştır (Tablo 2). Havzadan alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve majör iyon içerikleri değerlendirildiğinde kurak ve yağışlı dönemde su örneklerinin tamamında pH değerleri içme suyu standartları tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. TDS değerlerine göre yağışlı dönemde S4 ve S6 numaralı örnekler içme suyu standartlarınca belirlenen sınır değeri aşarken kurak dönemde sadece S4 numaralı örnekte sınır değeri aşımıştır. Su örneklerinin K iyonu konsantrasyonu içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında kurak ve yağışlı dönemlerin her

ikisinde de sadece S6 numaralı örnekte sınır değeri aşmaktadır. Aynı şekilde kurak ve yağışlı dönemlerde sadece S4 numaralı örnekte HCO₃ iyonu konsantrasyonu bakımından sınır değerleri aştığı görülmektedir.

Majör iyonlar yanı sıra su örneklerinin diğer kirlilik parametreleri ile ağır metal içerikleri de Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO 2011) standartları ile değerlendirilmiştir (Tablo 2). Buna göre çalışma alanındaki su kaynaklarının NO₃ ve NO₂ konsantrasyonları sadece S4 sondaj kuyusundan alınan örnekte her iki dönemde sınır değerleri aşmaktadır. NH₄ konsantrasyonu ise yine S4 sondaj kuyusundan alınan örnekte sadece kurak dönemde sınır değeri üzerindedir (Varol ve Köse 2018a). Arsenik (As) konsantrasyonları yağışlı ve kurak dönemlerin her ikisinde de tüm su örneklerinde Türk İçme Suyu

Şekil 3. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre kurak ve yağışlı dönemlerde su örneklerinin sınıflandırılması.

Figure 3. Classification of water samples in dry and wet periods according to the Schoeller diagram.

Suların Sulama Suyu Olarak Kullanım Özellikleri

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi ve mevsimsel değişiminin değerlendirilmesinde kurak ve yağışlı dönemler için ayrı ayrı hazırlanan ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır (Şekil 4 ve 5). ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı suların EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri ile SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı) arasındaki ilişkiye bağlı olarak oluşturulmaktadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre çalışma alanındaki suların çoğu kurak dönemde C1S1 (Az tuzlu ve Az sodyumlu) ve

C2S1 (Orta tuzlulukta ve Az sodyumlu) sular sınıfında sadece S4 no'lu örnek C3S1 (Yüksek tuzlu ve Az sodyumlu) sınıfındadır (Varol ve Köse 2018a). Yağışlı dönemde ise S4 no'lu örnek C3S1 (Yüksek tuzlu ve Az sodyumlu), S6 no'lu örnek C3S2 (Yüksek tuzlu ve Orta sodyumlu) sular sınıfında bulunmaktadır. Diğer tüm örnekler yağışlı dönemde de C1S1 (Az tuzlu ve Az sodyumlu) ve C2S1 (Orta tuzlulukta ve Az sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 4). Bu diyagrama göre her iki dönemde de S4 ve S6 no'lu örneklerin sulama suyu olarak kullanımı sınırlıdır.

Şekil 4. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre kurak ve yağışlı dönemlerde suların sınıflandırılması.

Figure 4. Classification of waters in dry and wet periods according to the U.S.A. Salinity Laboratory diagram.

Şekil 5. Wilcox diyagramına göre kurak ve yağışlı dönemde suların sınıflandırılması.

Figure 5. Classification of waters in dry and wet periods according to Wilcox diagram.

Wilcox diyagramı da sulama suyu sınıflandırmasında kullanılmakta olan bir başka yöntemdir. Bu diyagramda ise suların EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri ile %Na değerleri kullanılmakta ve bu iki parametre arasındaki ilişkiye bağlı olarak bir sınıflandırma yapılmaktadır. Wilcox diyagramına göre kurak dönemde çalışma alanındaki tüm sular ‘Çok İyi Kullanılabilir Sular’ sınıfında yer almaktadır (Şekil 5) (Varol ve Köse 2018a). Yağışlı dönemde ise S4 ve S6 no’lu örnekler ‘İyi Kullanılabilir Sular’ sınıfındadır.

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanıma uygunluğun belirlenmesinde en çok yararlanılan ölçütlerden biridir. Bu sınıflandırmada $\text{SAR} < 10$ ise ‘çok iyi özellikte sulama suları’, 10-18 arasında ise ‘İyi özellikte sulama suları’, 18-26 arasında ise ‘Orta özellikte sulama suları’ ve $\text{SAR} > 26$ ise ‘Kötü özellikte sulama suları’ sınıfında yer almaktadır (Şahinci 1991). İnceleme alanında SAR değerleri kurak dönemde 0,44 ile 6,36 arasında değişmektedir (Varol ve Köse 2018a). Yağışlı dönemde ise 0,22 ile 5,92 arasındadır. Buna göre çalışma alanı genelindeki sular her iki dönemde de ‘Çok iyi özellikte sulama suları’ sınıfındadır.

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Yazır Gölü havzasındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve kalite özelliklerinin mevsimsel değişimi ve kullanılabilirliği incelenmiştir. Yazır Gölü sulak alan havzası Burdur Gölü Kapalı Havzasının bir alt havzası olup çoğunluğu Burdur ili Çavdır ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. Söz konusu araştırma alanı ile ilgili olarak detaylı ve güncel

hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmalar bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma, aynı zamanda bir sulak alan özelliğine sahip Yazır Gölü havzasında sürdürülebilir su yönetimi ve su kalitesine bağlı kullanımı açısından önem taşımaktadır.

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 olabilmek özelliklerine göre taneli ortam akiferi (Akf-1), erimeli-çatlaklı kaya ortam akiferi (Akf-2), akitard ortam-1 (Akt-1) ve akifüj ortam (Akj) olarak ayırtlanmıştır. Bölgede en önemli akifer birim alüvyon ve kireçtaşlarıdır.

Çalışmada kurak ve yağışlı dönemlerde kuyu, kaynak, dere ve göl suyundan alınan toplam 30 su örneği analiz edilmiştir. Su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri ve su tiplerini belirlemek için bir Piper diyagramı kullanılmıştır. Buna göre, çalışma alanında Ca-Mg-HCO_3 ve Ca-HCO_3 kurak ve yağışlı dönemlerde gözlenen hakim su türleridir. Genel olarak, çalışma alanında su örneklerinde kalsiyum ve bikarbonat iyonları hakimdir. Su örneklerinin kimyasal bileşimi kaya-su etkileşiminden güçlü bir şekilde etkilenmektedir. Çalışma alanında, sadece bir örnekte Na ve SO_4 iyonlarının artışı belirlenmiştir. Bu artış çalışma alanında geniş alanlarda yüzeyleyen Kızılcadağ ofiyolitleri ile ve su kaynaklarına tarımsal kökenli antropojenik girdilerle ilişkilendirilmiştir. Çalışmada ayrıca su örneklerine ait Hidrojeokimyasal parametreler arasındaki ilişkiyi tanımlamak için Pearson Korelasyon Analizi (PCA) yapıldı. Buna göre, bazı parametreler arasında orta-güçlü korelasyon olduğu

belirlenmiştir ($r < 0,7$). PCA sonuçlarına göre çalışma alanındaki suyun jeokimyasal bileşimini etkileyen iki ana proses olduğu belirlenmiştir. Bunlar ayrışma süreçleri ve antropojenik girdilerdir. İstatistiksel analizlere göre, su örneklerinin EC ve TDS değerlerindeki artışlar, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan azot türevleri ile ilişkilidir. Ayrıca Na, Fe, SO_4 ve Mg arasında da pozitif korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum, özellikle Mg artışının Kızılcadağ ofiyolitik melanjı ile ilişkili olarak kayasu etkileşiminden kaynaklandığını düşündürmektedir.

Su örneklerinin analiz sonuçları WHO (2011) ve TSE266 (2005) tarafından belirlenen içme suyu standartlarıyla karşılaştırıldığında, özellikle S4 ve S6 numaralı sondaj kuyusuna ait örnekte her iki dönemde majör iyonlardan HCO_3 , kirlilik parametrelerinden NO_3 , NO_2 ve NH_4 iyonlarının kritik değerlerin üzerinde olduğu bunun yanı sıra ağır metal konsantrasyonları (As, Fe ve Mn) bakımından ise As konsantrasyonları yağışlı ve kurak dönemlerin her ikisinde de tüm su örneklerinde belirlenen sınır değerlerin üzerindedir. Mn konsantrasyonları ise kurak dönemde sadece S2 numaralı örnekte sınır değeri aşarken, yağışlı dönemde S4, S6, S7, S11, S12 ve S14 numaralı örneklerde sınır değerleri aşmaktadır. Fe konsantrasyonları ise kurak ve yağışlı dönemlerde sadece S14 numaralı örnekte sınır değeri aşmaktadır. Bu durum göstermektedir ki su kaynaklarının içme suyu olarak kullanımı ağır metaller açısından sağlığa zararlı etkiler yaratabilecektir. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre de çalışma alanındaki S4 ve S6 numaralı örnekler içme suyu olarak kullanıma uygun değildir.

Çalışma alanındaki suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi ve kalitesinin belirlenmesi için ABD Tuzluluk Laboratuvarı, Wilcox diyagramları ve SAR sınıflaması kullanılmıştır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre her iki dönemde de S4 ve S6 numaralı örneklerin sulama suyu olarak kullanımı sınırlıdır. Wilcox diyagramına göre kurak dönemde çalışma alanındaki tüm sular ‘Çok İyi Kullanılabilir Sular’ sınıfında yer almaktadır. Yağışlı dönemde ise S4 ve S6 numaralı örnekler ‘İyi Kullanılabilir Sular’ sınıfındadır. Ayrıca sulama suyu kriterlerinden biri olan SAR değerlerine göre yapılan değerlendirmeye göre ise çalışma alanı genelindeki sular her iki dönemde de ‘Çok iyi özellikte sulama suları’ sınıfındadır.

Sonuç olarak bu çalışmada Yazır Gölü havzası yüzey ve yeraltı su kaynaklarındaki ağır metal ve azot ve türevi bileşenlerle ilişkili kirlilik nedeni ile içme suyu olarak kullanımı sağlığa etkisi açısından uygun olmayıp sadece sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar, 4455-YL1-15 numaralı proje ile araştırmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Akkan T, Yazicioglu O, Yazici R, Yilmaz M. 2018. Assessment of irrigation water quality of Turkey using multivariate statistical techniques and water quality index: Siddıklı Dam Lake. Desalin Water Treat. 115:261-270.
doi: 10.5004/dwt.2018.22302
- Alam MO, Shaikh WA, Chakraborty S, Avishek K, Bhattacharya T. 2016. Groundwater arsenic contamination and potential health risk assessment of Gangetic Plains of Jharkhand, India. Expos Health. 8(1):125-142.
doi: 10.1007/s12403-015-0188-0
- APHA 1998. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington DC: American Public Health Association 1325 p.
- Bilgin ZR, Karaman T, Öztürk Z, Şen MA, Şenel M. 1990. Yeşilova-Acıgöl Civarının Jeolojisi Raporu. Ankara: MTA. Rapor No: 9429
- Chave P. 2001. The EU water framework directive. London: IWA publishing 208 p.
- Çapan U. 1980. Toros Kuşağı Ofiyolit Masiflerinin(Marmaris, Mersin, Pozantı, Pınarbaşı ve Divriği) İç Yapıları, Petrolojisi ve Petrokimyalarına Yaklaşımlar. [Doktora Tezi]. Hacettepe Üniversitesi. 400 s.
- Davraz A, Özdemir A. 2014. Groundwater quality assessment and its suitability in Çeltikçi plain (Burdur/Turkey). Environ Earth Sci. 72:1167-1190.
doi: 10.1007/s12665-013-3036-1
- Davraz A, Şener Ş, Şener E. 2016. Su Kaynaklarının Kullanma Ve Koruma Metodolojisinin Geliştirilmesi: Eğirdir Gölü Havzası Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4(3):227-238.
doi: 10.21923/jesd.71639
- 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. Akara: TPAO. Rapor No: 1732.
- Jeong CH. 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea. J Hydrol. 253(1-4):194-210.
doi: 10.1016/S0022-1694(01)00481-4
- Karadavut S. 2009. Aksaray bölgesi yer üstü ve yeraltı su kaynaklarının potansiyeli kalitesi ve etkin sulama açısından değerlendirilmesi. [Doktora Tezi]. Namık Kemal Üniversitesi. 77 s.
- Kıymaz S, Karadavut U, Ertek A. 2016. Seyfe gölü havzası yer altı suyu kalitesinin zamana göre değişimin incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 30(1):21-31.
- Koçyiğit A, Ünay E, Saraç G. 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west

- central Anatolia and the Isparta angle: a case study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey. *Geol Soc Spec Publ.* 173:405-421.
doi: [10.1144/GSL.SP.2000.173.01.19](https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.19)
- Köse İ. 2017. Yazır Gölü (Çavdır/Burdur) Sulak Alan Havzasının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. [Yüksek Lisans Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi. 117 s.
- Kumar M, Ramanathan AL, Rao MS, Kumar B. 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environ Geol.* 50:1025-1039.
doi: [10.1007/s00254-006-0275-4](https://doi.org/10.1007/s00254-006-0275-4)
- Kumar SK, Babu SH, Rao PE, Selvakumar S, Thivya C, Muralidharan S, Jeyabal G. 2016. Evaluation of water quality and hydrogeochemistry of surface and groundwater, Tiruvallur District, Tamil Nadu, India. *Applied Water Science.* 7:2533-2544.
doi: [10.1007/s13201-016-0447-7](https://doi.org/10.1007/s13201-016-0447-7)
- Makwe E, Chup CD. 2013. Seasonal variation in physico-chemical properties of groundwater around Karu Abattoir. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management.* 6(5):489-497.
doi: [10.4314/ejesm.v6i5.6](https://doi.org/10.4314/ejesm.v6i5.6)
- Meşhur M, Yoldemir O, Akpınar M, Öztaş Y, Alkan H. 1989. Batı Toroslar'ın Jeolojisi ve Petrol Olanakları Raporu. Ankara: TPAO.
- Mutlu T, Verp B. 2018. The Water Quality of Streams Flowing Into South Eastern Black Sea Coasts In Terms Of Physico-Chemical Properties. *Fresen Environ Bull.* 27(5A):3752-3758.
- Ngabirano H, Byamugisha D, Ntambi E. 2016. Effects of seasonal variations in physical parameters on quality of gravity flow water in Kyanamira Sub-County, Kabale District, Uganda. *Journal of Water Resource and Protection.* 8(13):1297-1309.
doi: [10.4236/jwarp.2016.813099](https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.813099)
- Oinam JD, Ramanathan AL, Linda A, Singh G. 2011. A study of arsenic, iron and other dissolved ion variations in the groundwater of Bishnupur District, Manipur. India. *Environ Earth Sci.* 62:1183-1195.
doi: [10.1007/s12665-010-0607-2](https://doi.org/10.1007/s12665-010-0607-2)
- Piper AM. 1944. A graphic procedure in the chemical interpretation of water analysis. *EOS T Am Geophys Un.* 25(6):914-928.
doi: [10.1029/TR025i006p00914](https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914)
- Poisson A. 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). [PhD Thesis]. Paris-Sud University. 795 p.
- Rainbow PS. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. *Mar Pollut Bull.* 31(4-12):183-192.
doi: [10.1016/0025-326X\(95\)00116-5](https://doi.org/10.1016/0025-326X(95)00116-5)
- Ranjan RK, Ramanathan AL, Parthasarthy P, Kumar A. 2013. Hydrochemical characteristics of groundwater in the plains of Phalgu River in Gaya, Bihar, India. *Arab J Geosci.* 6:3257-3267.
doi: [10.1007/s12517-012-0599-1](https://doi.org/10.1007/s12517-012-0599-1)
- EPC 2000. European Parliament and Council 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities.* L327:1-73.
- Sönmez AY, Hisar O, Karataş M, Arslan G, Aras MS. 2008. Sular Bilgisi. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık 202 s.
- Sönmez A, Hisar O, Yanık T. 2012. Karasu Irmağında ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi.* 43(1): 69-77.
- Subramani T, Elango L, Damodarasamy SR. 2005. Groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use chithar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environ Geol.* 47:1099-1110.
doi: [10.1007/s00254-005-1243-0](https://doi.org/10.1007/s00254-005-1243-0)
- Şahinci A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası. İzmir: Reform Matbaası 548 s.
- Şenel M, Selçuk H, Bilgin ZR, Şen AM, Karaman T, Dinçer MA, Durukan E, Arbas A, Örcen S, Bilgi C. 1989. Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. Ankara: MTA. Rapor No: 9429.
- TSE266 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart-*Türk Standartları Enstitüsü* -Ankara.
- Varol S, Davraz A. 2015. Evaluation of the groundwater quality with WQI (water quality index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environ Earth Sci.* 73:1725-1744.
doi: [10.1007/s12665-014-3531-z](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3531-z)
- Varol S, Davraz A. 2016. Evaluation of potential human health risk and investigation of drinking water quality in Isparta city center (Turkey). *J Water Health.* 14(3):471-488.
doi: [10.2166/wh.2015.187](https://doi.org/10.2166/wh.2015.187)
- Varol S, Köse İ. 2018a. Yazır Gölü (Çavdır/Burdur) Sulak Alan Havzasının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. *Karaelmas Science and Engineering Journal.* 8(1):156-167.
doi: [10.7212/2Fzkufbd.v8i1.924](https://doi.org/10.7212/2Fzkufbd.v8i1.924)
- Varol S, Köse İ. 2018b. Effect on human health of the arsenic pollution and hydrogeochemistry of the Yazır Lake wetland (Çavdır-Burdur/Turkey). *Environ Sci Pollut R.* 25(16):16217-16235.
doi: [10.1007/s11356-018-1815-7](https://doi.org/10.1007/s11356-018-1815-7)
- WHO 2011. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition. Geneva, Switzerland: World Health Organization 541 p.
- WWAP 2012. World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris: UNESCO 357. p.