



BAFA GÖLÜ HAVZASI YÜZEY VE YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASI VE KİRLİLİĞİ

Ayşen DAVRAZ*, Şamil YILDIZ

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

Anahtar Kelimeler

Yeraltı Suyu,
Yüzey Suyu,
Hidrojeokimya,
Kalite,
Bafa Gölü Havzası.

Öz

Bafa Gölü, Büyük Menderes Nehri deltasının güneydoğu kesiminde, Büyük Menderes'in taşıdığı alüvyonlar ile birlikte kıyıda uzaklaşmış doğal bir set gölüdür. Bafa Gölü doğusunda bulunan alüvyon taneli akifer özelliği taşımaktadır. Gölün güneyinde bulunan Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ise karstik akiferdir. Çalışmada, havzada bulunan yüzey ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri incelenmiştir. Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan alınan su örnekleri NaCl su sınıfındadır. Bu sulardaki Na⁺ ve Cl⁻ artışı antropojenik kökenli kirleticilerden kaynaklanmaktadır. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında kuyu ve derelerden alınan sular ise karışım sularını yansıtmaktadır. Gölyaka ve Bafa civarındaki dere ve kuyu sularında baskın katyon ve anyon Ca²⁺ ve HCO₃⁻'dir. Bafa Gölü ve kanal sularının iz element ve azot türevi içeriklerine göre genel olarak IV. su kalite sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında sığ kuyulardan alınan yeraltı suları ise sıcaklık, toplam çözünmüş katı madde, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından I. su kalite sınıfındadır. Havzada, Bafa Gölü ve kanal sularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadıkları, dere ve yeraltı sularının sulamaya uygun oldukları tespit edilmiştir.

HYDROGEOCHEMISTRY AND POLLUTION OF LAKE BAFA BASIN SURFACE AND GROUND WATERS

Keywords

Groundwater,
Surface Water,
Hydrogeochemistry,
Quality,
Bafa Lake Basin.

Abstract

A Lake Bafa is a natural barrier lake in the southeastern part of the Büyük Menderes River delta, away from the shore with the alluviums carried by the Büyük Menderes. The alluvium where in the east of Lake Bafa has grained aquifer properties. Mesozoic aged limestones in the south of the lake are karstic aquifers. In the study, the hydrogeochemical and quality characteristics of the surface and ground waters in the basin were examined. The water samples taken from Lake Bafa and the channels reaching the lake are in the NaCl water class. The increase in Na⁺ and Cl⁻ in these waters is due to anthropogenic pollutants. The waters taken from wells and streams around Gölyaka, Bafa and Kapıkırı villages reflect mixing waters. The predominant cation and anion in stream and well waters around Gölyaka and Bafa are Ca²⁺ and HCO₃⁻. According to the trace element and nitrogen derivative contents of Lake Bafa and its canal waters, IV. It has been determined that it is in the water quality class. Groundwater taken from shallow wells around Gölyaka, Bafa and Kapıkırı villages is in I. water quality class in terms of temperature, total dissolved solids, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba and Al parameters. In the basin, it has been determined that Lake Bafa and canal waters are not suitable for use as irrigation water, and stream and ground waters are suitable for irrigation.

Alıntı / Cite

Davraz, A., Yıldız, Ş., (2023). Bafa Gölü Havzası Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyası ve Kirliliği, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(1), 145-159.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Davraz, 0000-0003-2442-103X
Ş. Yıldız, 0000-0002-2295-779XA.

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	20.09.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.10.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	24.10.2022
Yayın Tarihi / Published Date	27.03.2023

* İlgili yazar / Corresponding author: aysendavraz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1326

HYDROGEOCHEMISTRY AND POLLUTION OF LAKE BAFA BASIN SURFACE AND GROUND WATERS

Ayşen Davraz[†], Şamil Yıldız

Süleyman Demirel University, Engineering Faculty, Department of Geological Engineering, Isparta, Türkiye

Highlights

- Lake Bafa is one of the important wetlands of the Aegean Region.
- Na and Cl increase in waters is related to anthropogenic pollutants.
- The waters of Lake Bafa are generally IV. water quality class.

Purpose and Scope

Lake Bafa, one of the bird sanctuaries with its rich flora and ecological value, is a salty lake separated from the sea. There are no geology, hydrogeology, hydrogeochemistry and pollution studies on the basis of the Bafa Lake Basin. Accurate identification and sustainable use of natural and artificial elements that control the quantity and quality of any water resource or wetland is possible by conducting research on a basin basis. Within the scope of this study, it is aimed to carry out detailed hydrogeological, hydrogeochemical and pollution studies of the Bafa Lake Basin.

Design/methodology/approach

Water samples were taken from surface and ground waters in the Bafa Lake Basin in April 2022. The electrical conductivity (EC), hydrogen ion concentration (pH) and temperature (T) values of the water samples were measured in the field with a multi-parameter device. Major anion (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-}), major cation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), trace element and nitrogen derivative analyzes of surface and groundwater samples were performed. The analysis results obtained were evaluated and interpreted with different graphics.

Findings

The water samples taken from Lake Bafa and the channels reaching the lake were determined to be in the NaCl water class. The high Na^+ and Cl^- content in the waters reflects the possible impact of geothermal waters and anthropogenic sources used in industrial facilities discharged into the canals. In the stream and well waters around Gölyaka and Bafa, the dominant cation is Ca^{2+} and the dominant anion is HCO_3^- . This situation reflects the relationship between waters and marbles in this region. High nitrate content in the surface waters of Lake Bafa basin is associated with industrial and domestic wastewater. The nitrate increase in groundwater taken from shallow wells is due to chemical fertilizers and animal wastes. In addition, Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn analyzes of water samples were made. It is observed that all trace element contents are quite high in the waters of the Channel and Lake Bafa. The increases in these heavy metals are generally due to the wastewater discharged into the Dalyan channel, which is within the basin and reaches Bafa Lake from Söke Sub-basin. The high Fe and Mn contents detected in the well waters of Kapıkırı and Gölyaka are also thought to be of anthropogenic origin. Surface and ground waters in the basin have been classified using "Quality Criteria According to Classes of Inland Water Resources". It can be said that the waters of Lake Bafa are generally in the IV water quality class. Stream, well and canal waters in the basin are used as irrigation water. The usability of these waters as irrigation water was evaluated using Wilcox and USA Salinity diagrams and Sodium Adsorption Rate (SAR), Permeability Index (PI), Kelly Ratio (KR) and Magnesium Hazard (MT) parameters. In general, it has been determined that the canal waters are not suitable for use as irrigation water.

Practical implications (if applicable)

Some of the well waters in the Bafa Lake basin are also used for drinking water purposes. High Fe and Mn contents were detected in the well waters of Kapıkırı and Gölyaka, which are used for drinking water purposes. Long-term use of these waters for drinking water purposes may cause health problems. In this region and throughout the basin, chemical analyzes of the wells used for drinking water should be carried out and continuous monitoring should be ensured and measures should be taken against pollution. In addition, it is seen that the canal waters in the basin are used for irrigation water purposes. In the evaluations made using different irrigation water graphics and empirical formulas, it was determined that the use of canal waters as irrigation water is not suitable. Necessary measures should be taken in this regard.

[†] Corresponding author: aysendavraz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1326

Originality

This study was carried out within the scope of the master's thesis. The research is an original study in which hydrogeochemical evaluations and pollution analyzes of surface and groundwater in the basin are made first.

1. Giriş (Introduction)

Sulak alanlar hidrolojik özelliklerine bağlı olarak buldukları alanda yeraltı suyu beslenme-boşalım ilişkileri, su kalitesi, sel ve erozyon kontrolü, ekolojik dengenin sağlanması, besin çeşitliliği, yabancı hayatın devamlılığı ve bölgeye mikro-klima özelliğinin sağlanması gibi konularda önemli katkıları olan doğal ekosistemlerdir. Hemen hemen bütün su kaynaklarında iklim koşullarındaki olumsuz değişiklikler ve insan kaynaklı kirlilikler nedeniyle problemlere rastlanmaktadır. Ülkemizde yer alan sulak alanların büyük bir kısmında iklim değişikliği, plansız yapılaşma, suyun plansız kullanımı, insan faaliyetleri kaynaklı etkenler nedeniyle miktar ve kalite açısından sorunlar yaşanmaktadır. Sulak alanlarda karşılaşılan problemler günümüzde ayrıntılı araştırmaları gerektirmiştir.

Ege Bölgesi'nin önemli sulak alanlarından biri olan Bafa Gölü zengin florası ile ekolojik değere sahip kuş cennetlerinden biridir. Toplamda 261 kuş türü saptanan Bafa Gölü 1989 yılında "Doğal Sit Alanı" ve 1994 yılında "Tabiat Parkı" ilan edilmiştir (<http://www.wwf.org.tr>; Algül ve Beyhan, 2018). Bafa Gölü'nün konumu, hidrolojik yapısı, büyüklüğü ve kullanım alanları gibi özellikleri, gölün ekolojik yapısı, su ve sediment kimyasına yönelik konularda farklı araştırmalar yapılmasını sağlamıştır. Bu araştırmalarda Bafa Gölü su ve sedimentleri ile Büyük Menderes Nehri suları ön plana çıkmakta olup Bafa Gölü Havzası bazında jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve kirlilik araştırmaları bulunmamaktadır. Herhangi bir su kaynağının veya sulak alanın miktar ve kalitesini denetleyen doğal ve yapay unsurların doğru bir şekilde tespiti ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması araştırmaların havza bazında gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Bu çalışma kapsamında Bafa Gölü Havzası'nın ayrıntılı hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve kirlilik araştırmalarının yapılması amaçlanmaktadır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Hakyemez vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada Holosen dönemi boyunca Büyük Menderes grabeninin alüvyonal delta oluşuklarıyla Bafa Gölü'nün önünün kapatıldığı ve iç lagünel göl oluşum modeli açıklanmıştır. Knipping, vd. (2008) araştırmalarında Bafa Gölü çevresinin palinolojik ve sedimentolojik özelliklerini dikkate alarak Büyük Menderes Deltası'nın ve alüvyon ovanın paleocoğrafik evrimini incelemişlerdir. Bafa Gölü havzası ve çevresinde jeolojik amaçlı olarak Menderes Masifi'nin yaşının tespiti, Büyük Menderes Grabeni'nin sedimentolojisi ve tektoniğine yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Mckenzie, 1978; Erol, 1996).

Batı Anadolu'da yüksek entalpiye sahip jeotermal alanların bulunması nedeniyle jeotermal potansiyel açısından bölgede çok sayıda araştırma yapılmıştır. Jeotermal alanlar ağırlıklı olarak Büyük Menderes, Gediz, Simav, Bakırçay, İzmir, Gönen ve Edremit grabenlerinde yer almaktadır (Şimşek, 2003). Batı Anadolu'da denizel olmayan sıcak sulara farklı kökene ve derin dolaşıma sahip üç ayrı kimyasal bileşimli jeotermal su bulunduğu tespit edilmiştir (Vengosh, vd. 2002). Somay ve Gemici (2012), Büyük Menderes Deltası kuzey kesimde bulunan karstik kaynakları ve güneyde yeraltı suyu kuyularında tuzlanmadan bahsetmişlerdir. Bölgedeki tuzlanma sorununun sebeplerini deltanın geçirimsiz kısmından deniz suyu girişimi, tuz içerikli zeminden süzülen kış yağışlarının akiferi tuzlandırması ve alüvyon altında bulunan Holosen denizel tortullarının etkisi olarak özetlenmişlerdir.

Yılğör (2012) tarafından yapılan doktora tezinde Bafa Gölü sedimentlerinde Fe, Cr, Mn, Pb, Ni, Zn, Cu, Hg metallerinin konsantrasyonları saptanmış ve radyometrik yöntemler kullanılarak sediment çökelim hızı araştırılmıştır. Bu çalışmada Hg elementi açısından kirlilik olduğu belirlenmiştir. Süer (2017) tarafından yapılan çalışmada Bafa Gölü'ne ait genç çökellerin ve çevre florasının karbon, hidrojen, azot izotopik bileşimi incelenmiştir. Elde edilen izotopik değişimler denizel ortamın gölsel koşullara geçişini göstermiştir. Denizel evrede bentik türdeki organik maddenin baskınlığı, gölsel evrede ise planktonik organik madde baskınlığı tespit edilmiştir. Küçüksümbül (2018) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde Söke Ovası ve Bafa Gölü çevresinde jeotermal potansiyel ile toprak ve su kirliliği çalışılmıştır. Araştırmada jeotermal akışkanda deniz suyu girişimi belirlenmiş ve bu girişimin denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan Akköy Fayı ile denetlendiği tespit edilmiştir. İçme sularında bazı katyon ve ağır metal içeriklerinin yüksek olduğu ve Büyük Menderes nehri ile sulanan alanlardaki topraklarda kirlenme olduğu görülmüştür. Algül ve Beyhan (2020) yaptıkları çalışmada ise Bafa Gölü sığ sedimanlarında ağır metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Araştırmada sediman örneklerinde saptanan Co, Cu, Fe, Mn, Pb ve Zn kaynaklarının tamamının doğal kökenli, Cd kaynaklarının antropojenik kökenli, Ni ve Cr kaynaklarının ise hem antropojenik hem de doğal kökenli olduğu tespit edilmiştir.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Bafa Gölü havzası, Büyük Menderes Havzası'nın Söke-Aydın Alt Havzası içerisinde Bafa alt bölümü olarak tanımlanmaktadır. Havza içerisindeki en önemli yüzey suyu Bafa Gölü'dür. Bafa Gölü yaklaşık 68.7 km² yüzey alanı ve 73 km kıyı uzunluğuna sahip ve Menderes Masifi'nin metamorfik kompleksi içinde bulunan tektonik graben bölgesinde yer almaktadır (Yılmaz ve Koç, 2014; Küçüksümbül vd., 2020). Gölün Büyük Menderes deltasının ilerlemesi sonucunda Ege Denizi'nin bir koyu iken denizle bağlantısı kesilerek oluştuğu bilinmektedir. Bafa Gölü'nün maksimum derinliği mevsimsel olarak 20 ile 25 m arasında değişmektedir. Gölün kuzeybatısındaki sığ kesimi Serçin Gölü olarak adlandırılmakta olup kurak dönemlerde Bafa Gölü'nden ayrılan bu bölümde su derinliği 2 ile 3.90 m arasındadır (Yılmaz ve Koç, 2014). Bafa gölünün beslenimi büyük oranda Büyük Menderes Nehri, yağış suları, yağışlı dönemlerde Beşparmak Dağları'ndan göle ulaşan küçük dereler ve yeraltı suyu akımı ile sağlanmaktadır. Boşalımı ise Bafa Çayının yine Büyük Menderes nehrine bağlantısı ile gerçekleşmektedir.

Büyük Menderes Nehri'nin suları günümüzde yapılan seddeler ve su alma yapıları ile kontrollü olarak Bafa Gölü'ne verilmekte ve göl seviyesi +2 m kotunda tutulmaya çalışılmaktadır. Doğal durumda Serçin ve Dalyan kanallarından beslenen Bafa Gölü günümüzde bir lastik şişme savaklı regülatör ve bu kanallar üzerindeki kapak yapıları ile kontrol edilmektedir. Bafa Gölü'ne kontrolsüz su girişi nedeniyle oluşabilecek etkilerin önlenmesi amacıyla sahil seddesi tasarlanmıştır. Kurak dönemde Büyük Menderes Nehri suları Bafa Gölü'nü beslemektedir (Küçüksümbül vd., 2020).

Havza gölün güneydoğu kesiminde daha geniş alana sahip olup bu bölgede Pınarcık, Bafa, Gölyaka gibi yerleşim alanları bulunmaktadır. Bu alanlarda içme ve sulama ihtiyacı yeraltı sularından sağlanmaktadır. Bafa Gölü havzasında mevsimlik akışa sahip çok sayıda dere bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri Karcılık ve Uluslu dereleridir.

Ege Bölgesindeki hızlı nüfus artışına bağlı antropojenik etkilerin fazlalığı nedeniyle günümüzde Büyük Menderes Nehri'nde kalite açısından önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu nehir aynı zamanda Bafa Gölü için de önemli bir kirlilik kaynağıdır. Göl çevresinde bulunan alt yapı sistemleri olmayan yerleşim yerleri kaynaklı evsel atık sular, göl kıyısındaki balık yetiştirme çiftlikleri, havza içerisindeki tarımsal alanlar ve hayvancılık faaliyetleri ile zeytin işleme tesislerinden gelen atık sular Bafa Gölü'nün diğer kirleticisi unsurlarıdır.

3.2. Örnekleme ve Analiz Yöntemi (Sampling and Analysis Method)

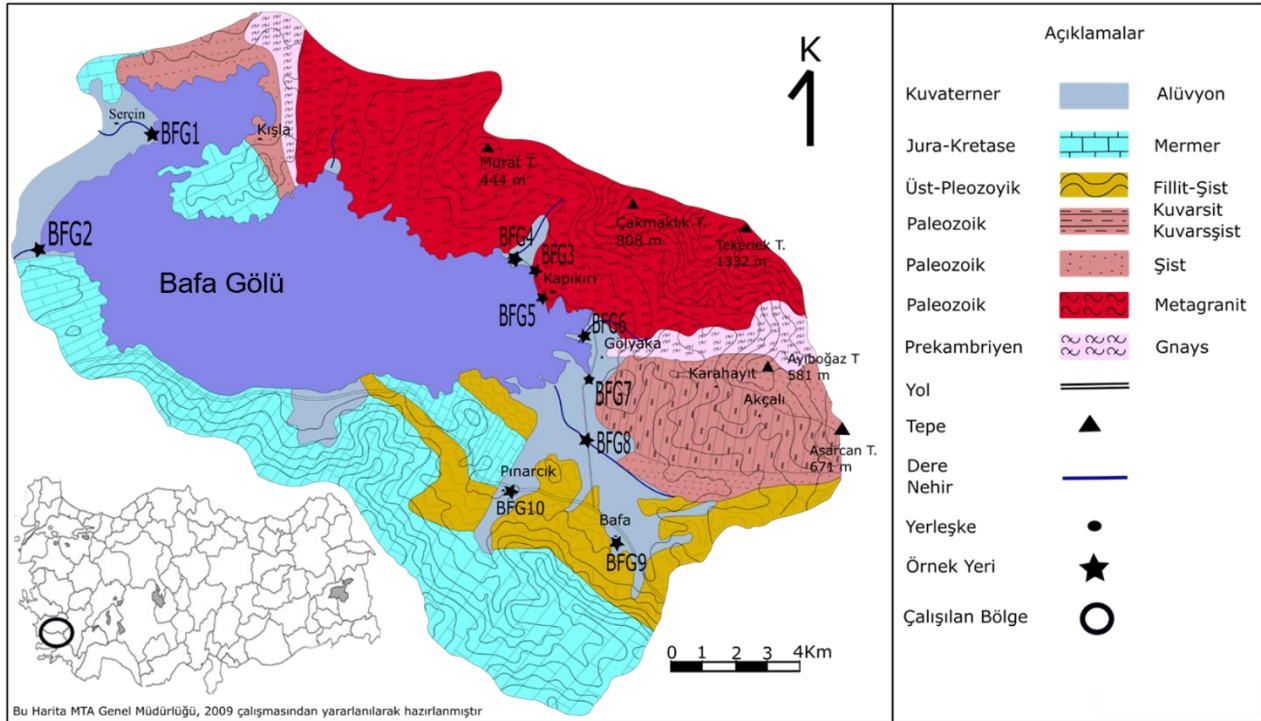
Bafa Gölü Havzası içerisinde bulunan yüzey ve yeraltı sularından Nisan-2022 döneminde su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin fiziksel parametreleri olan elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve sıcaklık (T) değerleri Hanna (HI 991301) marka çok parametrelili cihaz ile sahada ölçülmüştür. Örnek noktalarının lokasyonları GPS kullanılarak tespit edilmiştir. Su örneklerinin katyon analizi için alınan numunelere nitrik asit (HNO₃) eklenerek pH 2'nin altına düşürülmüştür. Anyon ve azot türevi analizleri için örnekler asitleştirilmemiştir. Yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin majör anyon (HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻²) ve azot türevi analizleri SDÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Su, Kayaç ve Mineral Analiz Laboratuvarında; majör katyon (Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², K⁺) ve iz element analizleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

Bafa Gölü Havzası'nda Menderes Masifi'ne ait litolojiler ile Kuvaterner yaşlı çökeller bulunmaktadır. Menderes, Gediz ve Bakırçay çöküntülerinin temelini oluşturan ve en yaşlı birim olarak yüzeyleyen Menderes metamorfikleri gnays, mermer, şist, kuvarsit, kalkşist ve meta-serpantinlerden oluşmaktadır. Havzada yüzeyleyen bu metamorfik birimlere farklı araştırmacılar tarafından adlandırmalar yapılmıştır. Bölgede Prekambriyen yaşlı gözlü gnayslar Beşparmak formasyonu (Öztürk ve Koçyiğit, 1983), Paleozoyik yaşlı şistler Bafa formasyonu (Akat vd., 1975) ve Jura-Kretase yaşlı mermerler ise Bozdağ grubu olarak (Boray vd., 1973; Akat vd., 1975) adlandırılmıştır. Menderes Masifi'nin temelini oluşturan Beşparmak formasyonu gözlü gnays, granitik gnays, bantlı gnays ve migmatitten yapıldır (Dora vd., 1992). Araştırmacıların tamamına yakınına göre gnayslar çekirdek serisi olarak kabul edilmektedir. Mineralojik olarak kuvars, mika ve feldispatlardan oluşan gözlü gnayslarda çok iyi gelişmiş yapraklı yapılar, ince tabakalı ve yönlü mineral uzantıları gözlenmektedir (Akçer Ön, 2011; Dürr, 1975). Prekambriyen-Kambriyen yaşlı gnayslar masifin çekirdeğini oluşturan temel birimdir (Hetzl ve Reischmann, 1996). Beşparmak formasyonu Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil 1).

Bafa formasyonu, taze kırık yüzeyi grimsi yeşilimsi renkli, altere yüzeyi turuncumsu kahve renkli fillit ve şist birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon yer yer ince mermer bantları ve serpantinleşmiş peridotit seviyeleri içermektedir. Formasyon tümü ile yeşil şist metamorfizmasına uğramıştır. Masifin örtü kayaları şist ve mermerler olarak belirtilmiştir. Şist; mika şist, kuvarsit, fillit ve kireçtaşlarından meydana gelmiştir (Başarı, 1970, 1975). Bafa formasyonu altında Prekambriyen yaşlı Beşpamak formasyonu üstünde ise Jura-Kretase yaşlı Bozdağ grubu bulunmaktadır. Bafa formasyonunun yaşı stratigrafik ilişkilerine göre Paleozoik olarak belirlenmiştir (Ercan vd., 1985). Menderes Masifi örtü kayalarının en üst düzeyini oluşturan Bozdağ grubunun alt düzeyleri gri renkli dolomitik kireçtaşları, üstlere doğru ise rekristalize kireçtaşları ve mermerlerden oluşmaktadır. Tabanda şistler ile ardalanmalı ve iyi katmanlanmaya sahip mermerler, üstte kaba taneli ve masif bir görünüm sunmaktadır. Bozdağ grubuna ait mermer ve rekristalize kireçtaşlarının Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı oldukları bildirilmektedir (Akat vd., 1975; Ercan vd., 1985).



Şekil 1. Bafa Gölü Havzası jeoloji haritası ve örnek alım lokasyonları
(Geological map of Lake Bafa Basin and sampling locations)

4.2. İnceleme Alanının Hidrojeolojisi (Hydrogeology of the Study Area)

Bafa Gölü havzasında alüvyon ve mermer birimleri akifer özelliği taşımaktadır. Havzada bulunan farklı kayaların çakıl, kum, kil ve silt boyutundaki kırıntılarında oluşan alüvyonlar gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip akiferdir. Bafa Gölü doğusunda alüvyon akiferde sulama ve içme suyu amaçlı açılmış sondaj kuyuları bulunmaktadır. Pınarcık, Bafa, Akçalı, Gölyaka, Karahayıt ve Kapıkırı köyleri civarında açılan kuyuların derinlikleri 12-106 m, debileri ise 2-3 l/s arasında değişmektedir. Bu kuyulardan en derini Karahayıt civarında açılmış olup Karahayıt ve Akçalı köyü civarında gnays, şist ve kuvarşşist birimlerinden yeraltı suyu alınmıştır. Diğer bölgelerdeki kuyularda ise alüvyon birim kesilmiştir. Havzada sınırlı bir alanda yayılım gösteren alüvyonlardan Bafa Gölü'ne yeraltı suyu beslenimi de olmaktadır.

Bafa Gölü güneyinde yer alan Menderes Masifi mermerleri karstik akifer özelliği taşımaktadır. Mermerlerin kırık-çatlak düzlemleri ve kırık hatları üzerinde ılık ve tuzlu su çıkışları mevcuttur (Küçüksünbül, 2018). Havzada tamamen mermerleri temsil edecek şekilde açılmış bir sondaj bulunmamaktadır. Ayrıca, bu mermerler göl tabanından içe akışla Bafa Gölü'nü de beslemektedir. Göl çevresindeki birimlerde yeraltı suyu akım yönü göle doğrudur.

Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen gnays ve granodiyorit birimleri geçirimsizdir. Şist birimleri ise kırık ve çatlaklarında gelişen ikincil gözeneklilik nedeniyle bir miktar yeraltı suyu bulundurabilmektedir. Şist birimi ve şist-gnays dokanağı boyunca bazı noktalarda düşük debili yeraltı suyu boşalmaları gözlenmektedir.

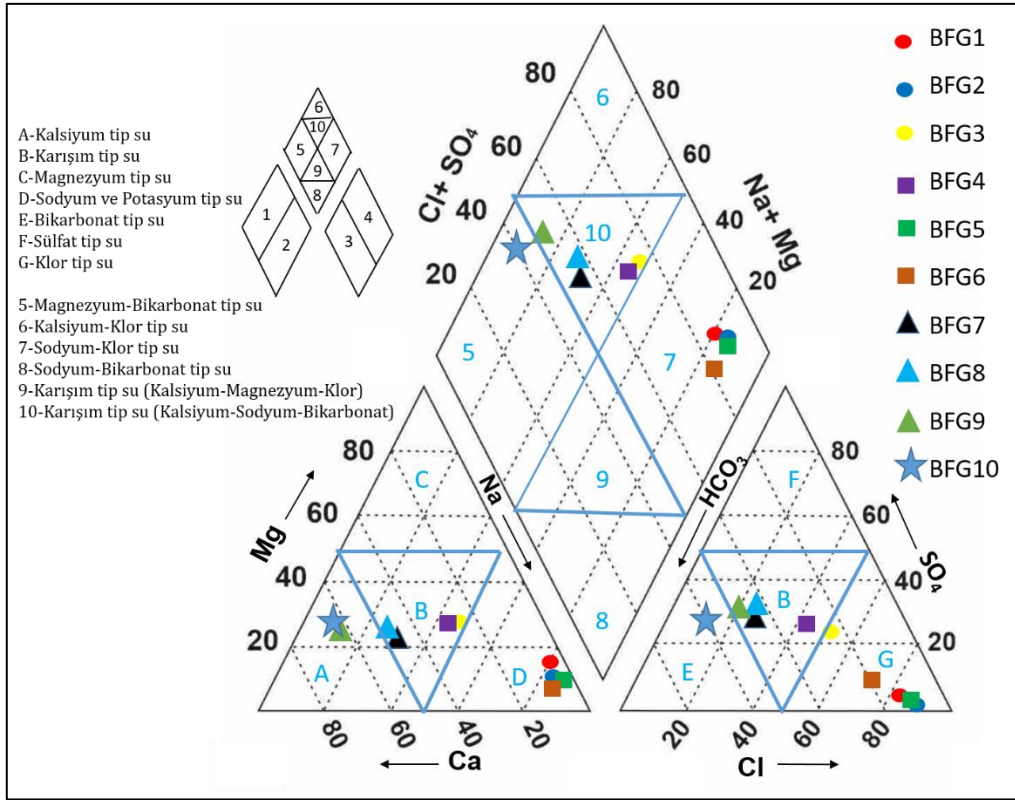
4.3. Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri (Hydrogeochemical Properties of Surface and Ground Waters)

Çalışmada havzada bulunan kuyu, dere, kanal ve Bafa Gölü'nden su örnekleri alınmıştır. Su örneklerine ait analiz sonuçlarının hata yüzdesi % 5'den düşük olup kabul edilebilir değer aralığındadır. Havzada pH değeri dere sularında 5.88-7.37, kuyu sularında 5.82-7.56, kanal sularında 6.67-8.06 ve göl suyunda 8.20 olarak ölçülmüştür. EC değerleri dere sularında 270-530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kuyu sularında 360-1010 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kanal sularında 5290- <20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve göl suyunda 19830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ölçülmüştür (Tablo 1). Kanal sularındaki yüksek EC değeri kanal sularına karışan balık çiftliklerinin atık suları, hayvan çiftliklerinin atıkları ve Büyük Menderes nehir sularının kanala ulaşması ile ilişkilidir.

4.3.1. Major İyon İçerikleri (Major Ion Contents)

Bafa Gölü havzasında majör iyon içeriklerinin tamamının kanal sularında oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kanal sularının Na^+ içerikleri 1181-9050 mg/l, Ca^{+2} değerleri 126.6-612.4 mg/l, Mg^{+2} içerikleri 148-981 mg/l, Cl^- içerikleri 1949-17318 mg/l, SO_4^{-2} değerleri 302.9-2333 mg/l ve HCO_3^- değerleri 298.9-408.7 mg/l arasındadır (Tablo 1). Serçin civarında kanaldan alınan suların iyon içeriklerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki yüksek iyon içeriklerinin antropojenik kökenli olup bölgedeki balık üretim tesislerinin atık sularının kanala ulaşması ile ilgilidir. Bölgedeki balık üretim tesislerinde sıcaklıkları 24 °C ile 27 °C arasında değişen jeotermal su kullanılmaktadır. Tesislerden sadece birinde arıtma havuzu olup mevcut arıtma havuzlarında ilkel çözümlerden çökertme yöntemi uygulanmaktadır (Küçüksümbül, 2018). Bu arıtma havuzlarındaki jeotermal kökenli yeraltı suları Dalyan kanalı vasıtasıyla mevsimsel şartlara bağlı olarak Bafa Gölü'ne veya Büyük Menderes Nehrine ulaşmaktadır.

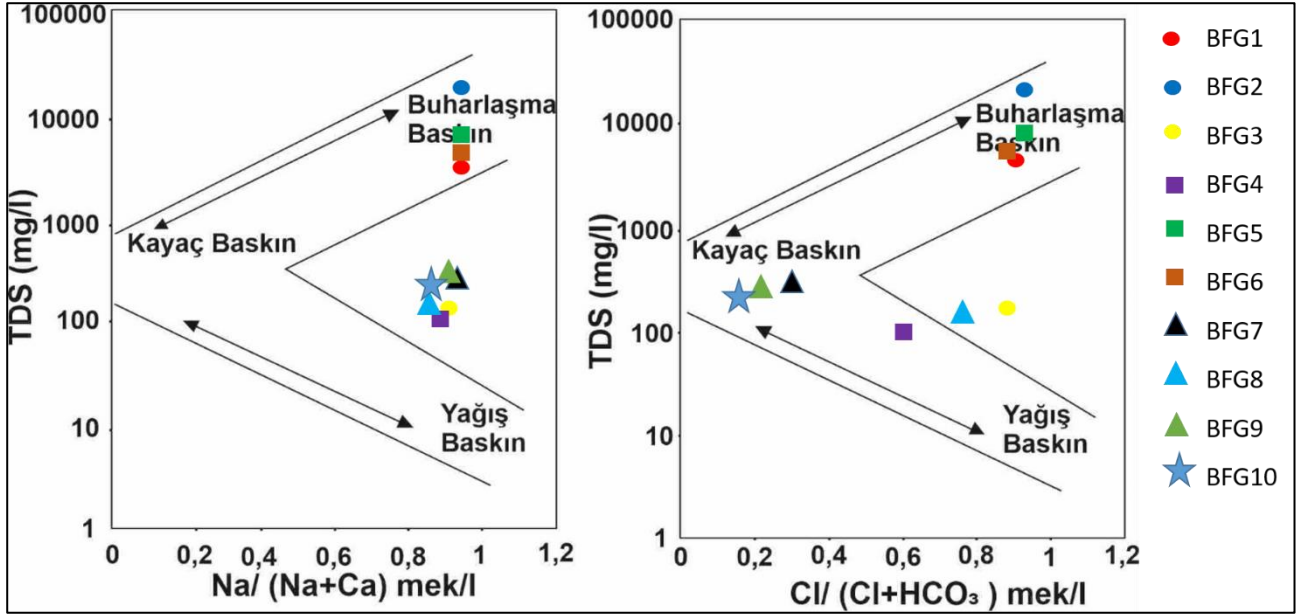
Havzada Bafa, Kapıkırı, Gölyaka ve Pınarcık köylerinde açılan kuyulardan alınan su örneklerinin Na^+ içerikleri 26.09-96.050 mg/l, Ca^{+2} değerleri 17.75-161.31 mg/l, Mg^{+2} içerikleri 11.39-34.95 mg/l, Cl^- içerikleri 57.54-87.38 mg/l, SO_4^{-2} değerleri 26.85-77.97 mg/l ve HCO_3^- değerleri 42.7-494.1 mg/l arasındadır. En düşük iyon miktarı Kapıkırı bölgesinde derinliği 15 m civarında olan kuyudan alınan yeraltı sularında tespit edilmiştir. Kuyu sularında Cl^- ve SO_4^{-2} parametrelerindeki artışların zirai mücadele ilaçları ve tarımsal gübre kullanımı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yüzey ve yeraltı sularının kimyasal yapısı suyun etkileşim halinde olduğu kayalar içindeki mineraller ve su arasında meydana gelen kimyasal süreçlerin etkilerini yansıtan "hidrojeokimyasal fasiyes" kavramı ile tanımlanabilmektedir (Back, 1966). Suların hidrokimyasal fasiyeslerinin tespitinde çoğunlukla Piper diyagramı kullanılmaktadır. Bafa Gölü havzasından alınan su örneklerinin majör iyon içerikleri Piper diyagramı üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2). Bu diyagrama göre Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan alınan su örnekleri NaCl su sınıfında olup karbonat olmayan alkalinitesi % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Sulardaki Na^+ ve Cl^- artışı jeotermal kökenli sular ve antropojenik kaynakların olası etkisini yansıtmaktadır. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında kuyu ve derelerden alınan sular ise karışım sularını yansıtmaktadır. Kapıkırı bölgesinde Na^+ baskın katyon Cl^- baskın anyon iken Gölyaka ve Bafa civarındaki dere ve kuyu sularında baskın katyon Ca^{+2} , baskın anyon ise HCO_3^- 'dir. Bu durum bu bölgede suların Bozdağ formasyonuna ait mermerler ile ilişkisini yansıtmaktadır. Pınarcık köyünde açılan kuyudan alınan yeraltı suyu ise CaHCO_3 hidrojeokimyasal fasiyeste olup karbonat akiferini temsil etmektedir.



Tablo 1. Yüze ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri (Hydrogeochemical properties of surface and ground waters)

Bölge		Örnek No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁻² mg/l	EC µS/cm	pH	T °C	TDS mg/l	Su Sınıfı	%denge
Serçin	Kanal	BFG1	2818	107	223.9	365	5150	867.5	378.2		11820	8.06	18.9	5900	NaCl	-0,91
Serçin	Kanal	BFG2	9050	338	612.4	981	17318	2333	298.9		>20000	7.13	23.5	>10000	NaCl	-2,70
Kapıkırı	Kuyu	BFG3	30.28	1.03	17.75	11.39	58.54	26.85	42.70		360	5.82	14	200	NaMgCaClHCO ₃	4,21
Kapıkırı	Dere	BFG4	21.19	0.93	16.49	9.62	38.79	29.73	38.60		270	5.88	17.4	130	NaCaMgClHCO ₃ SO ₄	4,35
Kapıkırı	Göl	BFG5	4568	171	281.9	550	8502	1280	201.3	30.0	19830	8.20	18.9	9670	NaCl	-1,58
Gölyaka	Kanal	BFG6	1181	52	126.6	148	1949	302.9	408.7		5290	6.67	21.1	5290	NaCl	2,30
Gölyaka	Kuyu	BFG7	94.09	1.97	133.34	34.95	153.5	69.60	488.0		1070	7.56	17	530	CaNaMgHCO ₃ Cl	-0,39
Bafa	Dere	BFG8	28.53	7.58	68.37	18.56	55.26	42.77	244.0		530	7.37	21	270	CaMgHCO ₃ Cl	-0,59
Bafa	Kuyu	BFG9	43.67	2.43	161.31	34.67	87.38	77.97	494.1		1010	6.91	20.4	520	CaMgHCO ₃ Cl	2,70
Pınarcık	Kuyu	BFG10	26.09	5.90	122.89	31.16	57.54	44.47	427.0		780	6.60	17.9	400	CaHCO ₃	2,22

Gibbs (1970) diyagramında suda bulunan bazı iyonların oranları kullanılarak suyun bileşimi ve kökeni tanımlanabilmektedir. Bu diyagramda su kimyasını kontrol eden kayaç, buharlaşma ve atmosferik yağış gibi fonksiyonel kaynaklar hakkında bilgi edinilebilmektedir. Gibbs diyagramında kanal ve Bafa Gölü sularının “**Buharlaştırma Baskın**” bölgede yer aldığı görülmektedir (Şekil 3). Bu durum yaz aylarının kurak geçtiği bu bölgede yüzey sularının buharlaştırma baskısı altında da olduğunu ve tuzluluk artışının bununla ilişkili olabileceğini de göstermektedir. İnceleme alanındaki diğer su örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde “**Kayaç Baskın**” bölgede bulunmaktadır. Bu durum, inceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının kimyasal yapısını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Gibbs diyagramı (Gibbs diagram)

4.3.2. Azot Türevleri (Nitrogen Derivatives)

Doğal sularda azot çoğunlukla nitrat (NO_3), amonyum (NH_4), nitrit (NO_2), azot oksit (N_2O), organik azot ve çözülmüş azot şeklinde bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Dünyada, tarımsal verimliliği artırmak için azotlu gübrelerin yoğun olarak kullanıldığı bütün bölgelerde yeraltı sularında yüksek nitrat içeriği tespit edilmiştir. Nitrat, kimyasal gübreler, hayvan atıkları, evsel-endüstriyel atık sular ve septik tanklar gibi çeşitli antropojenik kaynaklardan ve ayrıca topraktaki organik nitrojenden kaynaklanabilir (Cheong vd., 2012). Nitrat kaynaklı yeraltı suyu kirlenmesi sorunu esas olarak sığ yeraltı suyu sistemlerinde ortaya çıkar. Ancak bazı durumlarda, akış sisteminin daha derin kısımlarında da kontaminasyon meydana gelebilir. Sularda 10 mg/l'den fazla nitrat bulunması antropojenik kökenli kirleticilerin etkisini yansıtır. Nitrat için içme suyu standartlarında verilen (TS266, 2005; WHO, 2017) sınır değer 50 mg/l'dir. Bafa Gölü havzasında kanal ve göl sularının nitrat içerikleri 5.23-134.2 mg/l, kuyu sularında 3.94-72.26 mg/l arasında değiştiği tespit edilmiştir (Tablo 2). Yüzey sularındaki yüksek nitrat içeriği endüstriyel ve evsel atık sular ile ilişkilidir. Bafa Gölü havzasında açılan kuyular genellikle sığ olup yüksek nitrat içeriği kimyasal gübre ve hayvan atıklarının kullanımı ile ilişkilendirilebilir.

Amonyum yeraltı ve yüzey sularında doğal olarak 0.2 mg/l'nin altında olup anaerobik yeraltı suları 3 mg/l'ye kadar içerebilir (WHO, 2017). Sudaki amonyum, olası bakteri, kanalizasyon ve hayvan atıkları kirliliğin bir göstergesidir. Bafa Gölü havzasında yüzey ve yeraltı sularındaki amonyum içeriği <0.06-1.06 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). Yüksek değerler kanal ve dere sularında tespit edilmiştir.

4.3.4. Toksik Ağır Metaller (Toxic Heavy Metals)

Ağır metaller veya iz elementler yeryüzünde doğal olarak bulunurlar. Ancak, insan faaliyetleri ve kaya-su etkileşimine bağlı olarak toprak ve sularda yoğunlaşarak toksik etki oluşturabilirler. Ağır metal artışları çoğunlukla madencilik, endüstriyel atıklar, gübreler, tarım ilaçları, boyalar vb. antropojenik etkenlerle toprak veya suya karışırlar. Bu çalışmada su örneklerinin Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn analizleri Tablo 2'de verilmiştir. Kanal ve Bafa Gölü sularında bütün iz element içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 2. İnceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının ağır metal ve azot türevleri
(Heavy metal and nitrogen derivatives of surface and ground waters in the study area)

Bölge		Örnek No	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	PO ₄ mg/l	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Br µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Serçin	Kanal	BFG1	63.72	<0.01	0.77	<0.05	<600	<3000	1823	87		<300	<300	<80	<10000	257	<300	<4000	<300
Serçin	Kanal	BFG2	90.46	<0.01	0.09	<0.05	<600	<3000	4164	<80		<300	<300	<80	<10000	509	<300	<4000	<300
Kapıkırı	Kuyu	BFG3	3.94	0.04	<0.06	<0.05	43	3.3	34	30.86	186	2.99	1.4	2.7	4293	382.97	3.6	0.4	142
Kapıkırı	Dere	BFG4	20.05	<0.01	0.09	<0.05	14	4.5	25	18.97	101	0.13	0.6	0.9	39	9.08	2.5	<0.2	3
Kapıkırı	Göl	BFG5	134.2	<0.01	0.07	<0.05	<600	<3000	2529	<80		<300	<300	<80	<10000	<50	<300	<4000	<300
Gölyaka	Kanal	BFG6	5.23	<0.01	1.06	0.47	<600	<3000	851	83		<300	<300	<80	<10000	456	<300	<4000	<300
Gölyaka	Kuyu	BFG7	5.84	0.09	0.06	<0.05	6	8.5	40	67.33	506	0.14	1.0	1.4	9096	155.48	<0.2	0.9	19.3
Bafa	Dere	BFG8	10.49	0.21	0.61	<0.05	23	11.3	58	31.26	137	1.01	0.8	1.2	862	248.35	1.7	<0.2	3.5
Bafa	Kuyu	BFG9	47.07	<0.01	0.07	<0.05	22	8.7	35	103.96	296	0.13	2.6	1.3	37	2.09	0.3	0.3	48.2
Pınarcık	Kuyu	BFG10	72.26	<0.01	0.10	<0.05	16	8.0	32	42.92	134	0.08	0.9	0.9	41	2.34	0.5	<0.2	5.1
TS266, 2005			50	0.50	0.50	--	200	10	1000	--	--	--	50	2000	200	50	20	10	--
WHO, 2017			50	3	--	--	--	10	2400	1300	--	--	50	2000	--	--	70	10	--

Kapıkırı ve Gölyaka'daki kuyu sularının Fe ve Mn içeriklerinin de TS266 (2005) ve WHO (2017) standartlarından yüksektir. Fe ve Mn yeraltı sularında kaya-su etkileşimine bağlı olarak yaygın şekilde bulunan ağır metallere aittir. Havzada Gölyaka ve Kapıkırı köyleri civarında bulunan kuyularda yüksek konsantrasyonlarda Fe ve Mn tespit edilmiştir. Alüvyon akiferde açılmış olan bu kuyuların derinlikleri düşüktür. Bölgede yeraltı sularında yüksek Fe ve Mn içeriklerinin antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Yeraltı sularında yüksek oranda çözülmüş Fe ve Mn jeotermal kökenli su etkileşimi, kanalizasyon ve depolama suyu sızıntıları, endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetler vb. etkileşimler ile ilişkilidir.

Bafa Gölü ve göle ulaşan kanal sularında yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Ni ve Pb elementlerinin göl kirliliği ve kalitesi üzerinde yüksek derecede olumsuz etki oluşturduğu söylenebilir. Bu ağır metallerdeki artışların genel olarak havza içerisinde bulunan ve Söke Alt havzasından Bafa Gölü'ne ulaşan Dalyan kanalına boşaltılan endüstriyel atık sular, jeotermal kökenli sular, kanalizasyon suları ve yağ üretim tesislerinin atık sularının kanallar vasıtasıyla göle ulaşması ile ilgilidir.

4.4. Suların Sınıflandırılması ve Kalite Özellikleri

Bafa Gölü havzasında yüzey ve yeraltı suları genel olarak sulama suyu amacıyla kullanılmaktadır. Havzada yüzey ve yeraltı sularının sınıflandırılması ve kalite özelliklerinin belirlenmesinde 2004 yılında 25687 sayılı resmi gazete ile yürürlüğe giren "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği"nde verilen "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu kriterler ile Bafa Gölü suyu, göle ulaşan kanal suları, dere suları ve kuyulardan elde edilen yeraltı suları için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Bafa Gölü suları sıcaklık, pH, amonyum, nitrit, cıva, baryum ve alüminyum parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfında olmasına rağmen, Çinko ve mangan parametreleri açısından **II. su kalite**, bakır parametresi açısından **III. su kalite** sınıflarında yer almaktadır. Ancak, Bafa Gölü toplam çözülmüş madde, Cl, SO₄, NO₃, Na, Cd, Pb, As, Cr, Ni, Fe ve B parametreleri için **IV. su kalite** sınıfındadır (Tablo 3). Göle ulaşan kanal suları sıcaklık, pH, nitrit, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfında, amonyum, nitrat, Zn ve Mn parametreleri için **II. su kalite**, bakır parametresi açısından **III. su kalite**, toplam çözülmüş madde, Cl, SO₄, NO₃, Na, Cd, Pb, As, Cr, Ni, Fe ve B parametreleri için **IV. su kalite** sınıfında yer almaktadır.

Havzada bulunan ve Bafa Gölü'ne ulaşan derelerden alınan sular sıcaklık, pH, toplam çözülmüş katı madde, NO₂, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfındadır. Derelerde farklı değerlerin tespit edilmesi nedeniyle SO₄, Fe ve Mn parametreleri için **I. ve II. su kalite sınıfları**, B parametresi için **I. II. ve III. su kalite** sınıfları gözlenmiştir. Derelerde sadece nitrit değeri için **IV. su kalite** sınıfı limit değerlerini yansıtmaktadır.

Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında sığ kuyulardan alınan yeraltı suları ise sıcaklık, toplam çözülmüş katı madde, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfındadır. Sülfat ve Mn parametreleri açısından **I. ve II. su kalite** değerleri tespit edilmiştir. Nitrit için **I., III. ve IV. su kalite**, nitrat için **I. ve IV. su kalite**, Fe için **I., II. ve IV. su kalite**, Mn için **I. ve II. su kalite** sınıfları ile B elementi için **I., II. ve III. su kalite** sınıfını temsil eden değerler tespit edilmiştir. Yeraltı sularının pH değeri **IV. su kalite** sınıfındadır.

Bafa Gölü havzasında kuyu ve dere suları sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bu suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramları, Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Geçirgenlik İndeksi (PI), Kelly Oranı (KR) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) değerleri kullanılarak yapılmıştır.

Wilcox diyagramına göre Kapıkırı ve Pınarcık kuyu suları ile Kapıkırı ve Bafa dere suları "Çok iyi kullanılabilir" sular sınıfında, Gölyaka ve Bafa kuyu suları "İyi kullanılabilir" sulama suları sınıfında yer almaktadır. Kanal ve göl suları ise "Şüpheli kullanılabilir ve Sulamaya uygun değil" sınıflarındadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre Kapıkırı kuyu ve dere suları ile Bafa Dere suları **C₂S₁** (Orta tuzlulukta, Az sodyumlu su) sınıfında, Gölyaka, Bafa ve Pınarcık kuyu suları **C₃S₁** (Fazla tuzlu, Az sodyumlu su) sınıfında, Serçin kanal suyu **C₃S₄** (Fazla tuzlu, Çok fazla sodyumlu) ve Serçin kanal-dere karışımı olan 2 nolu örnek ile Bafa Gölü suyu ve Gölyaka kanal suyu **C₄S₄** (Çok fazla tuzlu, Çok fazla sodyumlu) sınıfı suları temsil etmektedir (Şekil 4a, 4b).

Sulama sularında Na⁺ artışı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmaktadır. SAR değeri ile sulama suyuna uygunluk değerlendirilebilmektedir. SAR değeri 10'un altında olan sular "Çok iyi özellikte sulama suları", SAR değeri 10-18 arasında "İyi özellikte sulama suları", 18-26 arasında olanlar "Orta özellikte sulama suları" ve 26'dan büyük değerler "Kötü özellikte sulama suları" olarak tanımlanmaktadır (Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Bafa Gölü havzasında Serçin civarı kanal ve Bafa Gölü sularının SAR değeri 26'dan büyük olup "Kötü özellikte sulama suları" sınıfındadır. Gölyaka kanal suyu "İyi özellikte sulama suları", diğer kuyu ve dere suları ise "Çok iyi özellikte sulama suları" sınıfında yer almaktadır.

Tablo 3. Su kalite sınıfları (Water quality classes)

PARAMETRELER	Bafa Gölü				Dereler				Yeraltısuları				Kanal suları			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
<i>Fiziksel ve inorganik- kimyasal</i>																
Sıcaklık (°C)																
pH																
Toplam çözülmüş madde (mg/L)																
Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L)																
Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁻ /L)																
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)																
Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)																
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)																
Sodyum (mg Na ⁺ /L)																
<i>Inorganik kirlenme parametreleri^d</i>																
Civa (µg Hg/L)																
Kadmiyum (µg Cd/L)																
Kurşun (µg Pb/L)																
Arsenik (µg As/L)																
Bakır (µg Cu/L)																
Krom (toplam) (µg Cr/L)																
Nikel (µg Ni/L)																
Çinko (µg Zn/L)																
Demir (µg Fe/L)																
Mangan (µg Mn/L)																
Bor (µg B/L)																
Baryum (µg Ba/L)																
Alüminyum (mg Al/L)																

PI değeri suların Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ ve HCO₃⁻ değerleri kullanılarak ampirik formül ile hesaplanan ve sulama suyu sınıflamasında kullanılan bir parametredir. PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmekte olup I. ve II. sınıf sular iyi sulama sularıdır (WHO, 1989; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). Bafa Gölü havzasında göl ve kanal sularının PI değeri %75'den büyük olup III. sınıf suları temsil etmektedir. Kuyu ve dere sularının PI değerleri %25-75 arasındadır (Tablo 4) ve II. sınıf suları yansıtır.

MT suların Mg²⁺ ve Ca²⁺ değerlerine göre hesaplanan bir değerdir. MT değeri 50 mek/l'den küçük ise sulamaya elverişli suları, büyük ise sulama suyu olarak kullanıma uygun olmayan suları temsil etmektedir (Szabolcs ve Darab, 1964). Kapıkırı ve Bafa dere suları ile Gölyaka, Bafa ve Pınarcık kuyu suları 50 mek/l'nin altında olup magnezyum tehlikesi açısından sulamaya uygun sulardır (Tablo 4). Kanal ve göl suları ise sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir.

KR oranı suların Mg²⁺, Ca²⁺ ve Na⁺ içeriklerine göre belirlenmektedir. KR değeri 1'in altında ise sulama suyuna uygun sular olarak tanımlanmaktadır (Kelley, 1963). Suda yüksek miktarda Na⁺ bulunursa bu oran 1'den büyük değerler almaktadır. Havzada kanal ve Bafa Gölü sularının KR değerinin 1'den büyük olduğu görülmektedir (Tablo 4). Diğer dere ve kuyu sularını KR değeri 1'den küçük olup sulamaya elverişlidir.

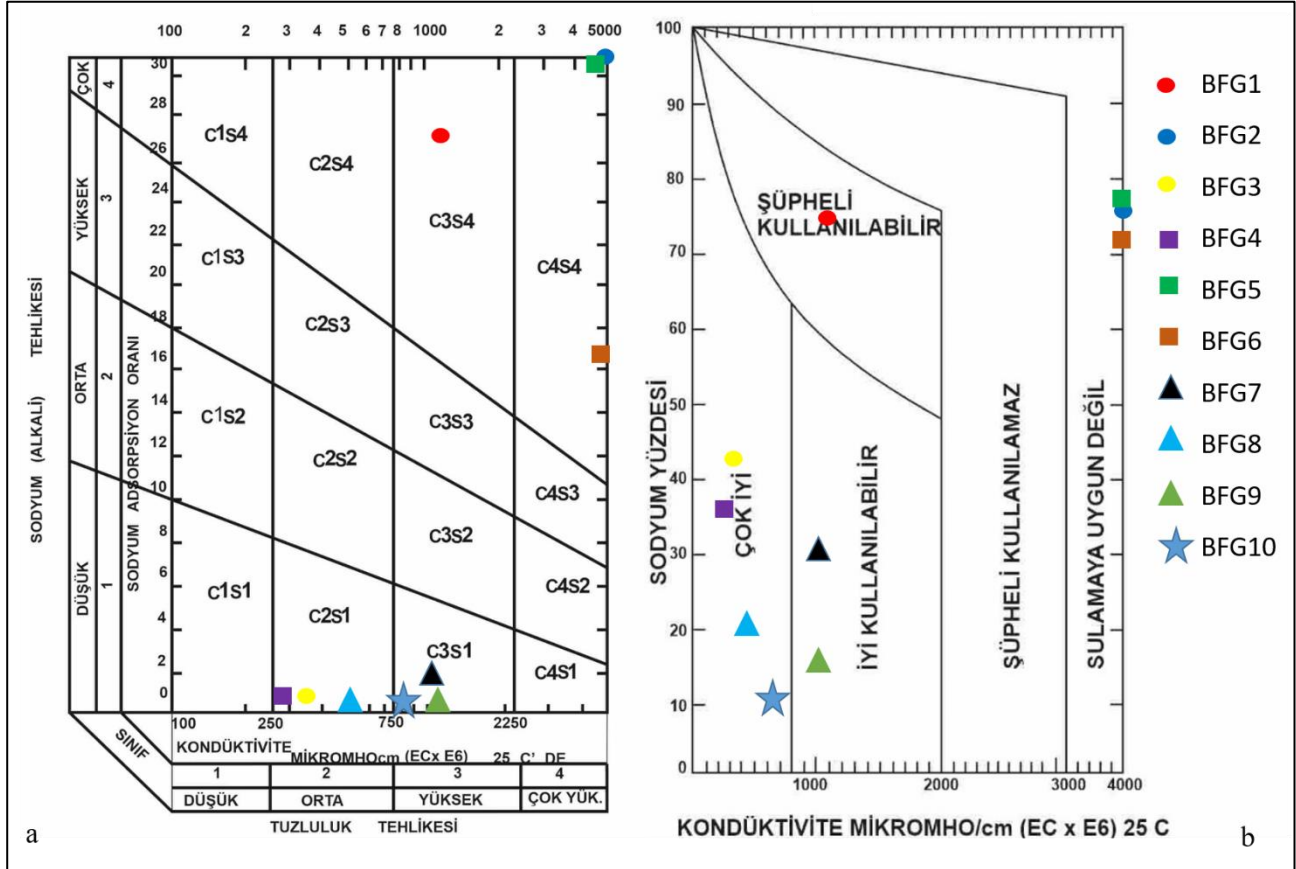
5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bafa Gölü havzası, Büyük Menderes Havzası'nın Söke-Aydın Alt Havzası içerisinde yer almaktadır. Havzada Menderes metamorfiklerine ait gnays, mermer, şist, kuvarsit, kalkşist ve meta-serpantinitle yüzeylenmektedir. Dere yatakları ve ovalık alanlarda Kuvaterner yaşlı alüvyon gözlenir. Havzada sınırlı bir alanda yayılım gösteren alüvyonlar gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip akifer özelliği taşımaktadır. Alüvyon akiferde sulama ve içme suyu amaçlı açılmış sondaj kuyuları bulunmaktadır. Bafa Gölü güneyinde yer alan Menderes Masifi mermerleri ise karstik akifer özelliği taşımaktadır. Şist birimleri ise kırık ve çatlaklarında gelişen ikincil gözeneklilik nedeniyle bir miktar yeraltı suyu bulundurabilmektedir. Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzeyleyen gnays ve granodiyorit birimleri ise geçirimsizdir.

Havzada Bafa Gölü, göle ulaşan kanal ve dere suları ile kuyu sularından örnekler alınmıştır. EC değerleri dere sularında 270-530 µS/cm, kuyu sularında 360-1010 µS/cm, kanal sularında 5290-<20000 µS/cm ve göl suyunda 19830 µS/cm ölçülmüştür. Bafa Gölü ve göle ulaşan kanallardan alınan su örnekleri NaCl su sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Sulardaki yüksek Na⁺ ve Cl⁻ içeriği kanallara boşaltılan endüstri tesislerinde kullanılmış jeotermal kökenli sular ve antropojenik kaynakların olası etkisini yansıtmaktadır. Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında kuyu ve derelerden alınan sular ise karışım sularını yansıtmaktadır. Gölyaka ve Bafa civarındaki dere ve kuyu

sularında baskın katyon Ca^{+2} , baskın anyon ise HCO_3^- 'dir. Bu durum bu bölgede suların mermerler ile ilişkisini yansıtmaktadır.

Bafa Gölü havzasında yüzey sularındaki yüksek nitrat içeriği endüstriyel ve evsel atık sular ile ilişkilidir. Sığ kuyulardan alınan yeraltı sularındaki nitrat artışı ise kimyasal gübre ve hayvan atıklarından kaynaklanmaktadır. Çalışma kapsamında su örneklerinin Al, As, B, Ba, Br, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn analizleri yapılmıştır. Kanal ve Bafa Gölü sularında bütün iz element içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu ağır metallerdeki artışlar genel olarak havza içerisinde bulunan ve Söke Alt havzasından Bafa Gölü'ne ulaşan Dalyan kanalına boşaltılan atık sulardan kaynaklanmaktadır. Kapıkırı ve Gölyaka'daki kuyu sularında tespit edilen yüksek Fe ve Mn içeriklerinin de antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4a. ABD Tuzluluk Laboratuvarı 4b. Wilcox diyagramı (4a. U.S. Salinity Laboratory Diagram, 4b. Wilcox diagram)

Tablo 4. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler (Parameters used in irrigation water classification)

Örnek No	SAR	%Na	PI	MT	KR
BFG1	27.00	73.61	76.36	72.87	2.97
BFG2	52.76	76.65	78.40	72.53	3.54
BFG3	1.38	41.59	68.59	51.40	0.72
BFG4	1.03	36.00	67.71	49.02	0.57
BFG5	36.48	75.72	77.71	76.28	3.35
BFG6	16.89	72.15	77.23	65.83	2.78
BFG7	1.87	29.93	50.80	30.17	0.43
BFG8	0.79	19.47	52.44	30.91	0.25
BFG9	0.81	14.76	37.07	26.16	0.17
BFG10	0.54	11.37	38.45	29.47	0.13

Havzada yüzey ve yeraltı sularının "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" kullanılarak sınıflandırılmıştır. Farklı parametrelere göre farklı su tipleri tespit edilmiş olup kanal ve Bafa Gölü sularının genel olarak IV. su kalite sınıfında olduğu söylenebilir. Havzada dere, kuyu ve kanal suları sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bu suların sulama suyu olarak kullanılabilirliği Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramları ile Sodyum

Adsorpsiyon Oranı (SAR), Geçirgenlik İndeksi (PI), Kelly Oranı (KR) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Genel olarak kanal sularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2022-8632 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 183–195
- Akat, U., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Çağlayan, A., 1975. Menderes Masifi Güneyi GB Toros Kuşağı İlişkisi: MTA Raporu, No. 5488, 58s., Ankara
- Akçer Ön, S., 2011. Küçükçekmece Lagünü, Yeniçağa, Uludağ Buzul Ve Bafa Gölleri'nin (Batı Türkiye) Geç Holosen'deki İklim Kayıtları: Avrupa ve Orta Doğu İklim Kayıtları İle Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora tezi, 199 s
- Algül, F., Beyhan, M., 2018. Bafa Gölü'nde Sediman ve Su Kalitesinin Ağır Metaller Açısından Değerlendirilmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 2(2), 128–138, https://doi.org/10.30516/bilge_sci.41382_4
- Algül, F., Beyhan, M., 2020. Concentrations and Sources of Heavy Metals in Shallow Sediments in Lake Bafa, Turkey. *Scientific Reports*, 10:11782, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68833-2>.
- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.
- Başarır, E., 1970. Bafa Gölü Doğusunda Kalan Menderes Masifi Güney Kanadının Jeolojisi ve Petrografisi, Ege Üniversitesi Yayınları, 102, İzmir.
- Başarır, E., 1975. Çine Güneyindeki Metamorfitlelerin Petrografisi ve Bireysel İndeks Minerallerin Doku İçerisindeki Gelişimleri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Boray, A., Akat U., Akdeniz, N., Akçaören, Z., Çağlayan, A., Günay, E., Korkmazer, B. Öztürk, E. M., Sav, H., 1973. Menderes Masifinin Güney Kenarı Boyunca Bazı Önemli Sorunlar ve Bunların Muhtemel Çözümleri, Cumhuriyetin 50 Yılı Yerbilimleri Kongresi, 11-20, Ankara.
- Cheong, J.Y., Hamm, S.Y., Lee, J.H., Lee, K.S., Woo, N.C., 2012. Groundwater Nitrate Contamination and Risk Assessment in an Agricultural Area, South Korea. *Environmental Earth Sciences*, 66:1127–1136
- Dora, O.Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin Metamorfik Tarihçesi ve Jeotektonik Konumu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C35: 1-14.
- Dürr, S., 1975. Über Alter und geotektonische Stellung des Menderes– Kristallins /SW-Anatolien und seine Aequivalente in der mittleren Aegaeis. PhD Thesis, Univ. Marburg/Lahn, Germany. 106 pp.
- Ercan, T., Akat, U., Günay, E., Savaşçın, Y., 1985. Söke-Selçuk-Kuşadası Dolaylarının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrokimyasal Özellikleri. *Maden Teknik ve Arama Dergisi*, 105/106, 15-38.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltıları Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Erol, O., 1996. Büyük Menderes Deltasının Foto-Jeomorfolojik İncelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 9, 1–42.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanism Controlling World Water Chemistry. *Science*, 170, 795-840.
- Hakyemez, H. Y., Erkal, T., Göktas, F., 1999. Late Quaternary Evolution of the Gediz and Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia, Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 18(4-5), 549-554.
- Hetzl, R., Reischmann, T., 1996. Intrusion Age of Pan-African Augen Gneisses in the Southern Menderes Massif and the Age of Cooling After Alpine Ductile Extensional Deformation. *Geological Magazine*, 133(5), 565-572.
- Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation Water *Soil Science*, 95(4), 355-391
- Knipping, M., Müllenhoff, M., Brückner, H., 2008. Human Induced Landscape Changes Around Bafa Gölü (Western Turkey). *Vegetation History and Archaeobotany*, 17(4), 365-380.
- Küçüksümbül, A., 2018. Söke Ovası ve Bafa Gölü Çevresinin Hidrojeolojik İncelenmesi: Jeotermal Potansiyeli, Toprak ve Su Kirliliği. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 193 s., İzmir.
- Küçüksümbül, A., Toygar, Akar., Tarcan, G., 2020. Bafa Gölü'nün Hidrokimyasal ve Hidrojeolojik İncelenmesi: Sürdürülebilir Su Kaynak Yönetimi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(2), 195-222.

- McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal International*, 55(1), 217-254.
- MTA, 2009. 1/500000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Denizli paftası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Öztürk, A., Koçyiğit, A., 1983, Menderes Grubu Kayalarının Temel-Örtü İlişkisine Yapısal Bir Yaklaşım (Selimiye-Muğla), *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 26, 99-106.
- Somay, M. A., Gemici, U., 2012. Groundwater Quality Degradation in the Büyük Menderes River Coastal Wetland. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223(1), 15-27.
- Süer, S., 2017. Bafa Gölü'ne Ait Genç Çökellerin ve Çevre Florasının Karbon, Hidrojen, Azot İzotopik Bileşimi ve Holosen Ekosistemi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans tezi, 113 s., İstanbul
- 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, 546, İzmir.
- Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological and Isotopic Survey of Geothermal Fields in the Buyuk Menderes Graben, Turkey. *Geothermics* 32, 669-678.
- TS266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü -Ankara.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlar Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.
- Vengosh, A., Helvacı, C., Karamanderesi, I. H., 2002. Geochemical Constraints for the Origin of Thermal Waters from Western Turkey. *Applied Geochemistry*, 17(3), 163-183.
- 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, 2017. Guidelines for Drinking-Water Quality, Fourth Edition Incorporating the First Addendum, World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978-92-4-154995-0
- Yılğör, S., 2012. Bafa Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 75 s., İzmir
- Yılmaz, E., Koç, C., 2014. Research on Water Quality of Lake Bafa in Turkey. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 13(1).