

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAFA GÖLÜ HAVZASININ HİDROLOJİ VE
HİDROJEOLJİ İNCELENMESİ**

Şamil YILDIZ

**Danışman
Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2023**



©2023 [Şamil YILDIZ]

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-------|
| İÇİNDEKİLER..... | i |
| ÖZET..... | iii |
| ABSTRACT | iv |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | viii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 2 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 5 |
| 3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması | 5 |
| 3.2. Çalışma Yöntemleri | 5 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA..... | 8 |
| 4.1. Stratigrafi..... | 8 |
| 4.1.1. Beşparmak Formasyonu | 8 |
| 4.1.2. Bafa Formasyonu..... | 9 |
| 4.1.3. Bozdağ Grubu..... | 11 |
| 4.1.4. Alüvyon | 12 |
| 4.2. Hidrojeoloji..... | 12 |
| 4.2.1. Su noktaları | 12 |
| 4.2.1.1. Akarsular..... | 12 |
| 4.2.1.2. Kaynaklar..... | 12 |
| 4.2.1.3. Göller | 13 |
| 4.2.1.4. Kuyular | 14 |
| 4.2.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri..... | 15 |
| 4.2.2.1. Geçirimli Birim-1 (Gç1) | 15 |
| 4.2.2.2. Geçirimli Birim-2 (Gç2) | 17 |
| 4.2.2.3. Az Geçirimli Birim-1 (Ga1) | 17 |
| 4.2.2.4. Az Geçirimli Birim-2 (Ga2) | 17 |
| 4.3. Su Kimyası..... | 18 |
| 4.3.1. Sularının genel kimyasal özellikleri | 18 |
| 4.3.1.1. Sıcaklık..... | 18 |
| 4.3.1.2. Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)..... | 20 |
| 4.3.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)..... | 20 |
| 4.3.2. Suların majör iyon içerikleri..... | 21 |
| 4.3.2.1. Sodyum (Na ⁺)..... | 24 |
| 4.3.2.2. Kalsiyum (Ca ⁺²)..... | 25 |
| 4.3.2.3. Magnezyum (Mg ⁺²)..... | 25 |
| 4.3.2.4. Potasyum (K ⁺)..... | 26 |
| 4.3.2.5. Klorür (Cl ⁻) | 26 |
| 4.3.2.6. Sülfat (SO ₄ ⁻²) | 27 |
| 4.3.2.7. Karbonat (CO ₃ ⁻²)-Bikarbonat (HCO ₃ ⁻) | 27 |
| 4.3.3. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması | 28 |
| 4.3.3.1. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflandırılması | 28 |
| 4.3.3.2. Piper diyagram ile suların sınıflaması | 29 |
| 4.3.3.3. Toplam çözünmüş madde (TDS)..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 4.3.4. Suların azot türevi içerikleri..... | 31 |
| 4.3.5. Suların ağır metal içerikleri | 35 |
| 4.3.6. Suların kullanım özellikleri..... | 38 |
| 4.3.6.1. Suların içilebilirlik özellikleri | 38 |
| 4.3.6.2. Suların sulamada kullanım özellikleri | 39 |
| 4.3.7. Suların kalite özellikleri..... | 44 |
| 4.4. Hidroloji | 47 |
| 4.4.1. Yağış | 48 |
| 4.4.2. Sıcaklık | 51 |
| 4.4.3. Buharlaşma | 52 |
| 4.4.4. Akış | 54 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 56 |
| KAYNAKLAR..... | 59 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 63 |



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAFA GÖLÜ HAVZASININ HİDROLOJİ VE HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ

Şamil YILDIZ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

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. Bu çalışmada ülkemizde önemli sulak alanlardan biri olan Bafa Gölü havzasının hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemeleri yapılmıştır. Havzada Menderes Masifi'ne ait litolojiler ile Kuvaterner yaşlı çökeller bulunmaktadır. Bölgede Menderes metamorfikleri gnays, mermer, şist, kuvarsit, kalkşist ve meta-serpantinlerden oluşmaktadır. Bafa Gölü doğusunda bulunan alüvyon taneli akifer özelliği taşımaktadır. Gölün güneyinde bulunan Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ise karstik akiferdir.

Havzada Bafa Gölü, göle ulaşan kanal ve dere suları ile kuyu sularından örnekler alınmıştır. 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. 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. 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. Bu bölgelerde yeraltı sularının kimyasal yapısını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğu tespit edilmiştir. 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, NH_4 , Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından *I. su kalite* sınıfındadır. Yüzey sularında tespit edilen yüksek nitrat içeriği endüstriyel ve evsel atık sular ile ilişkilidir. Havzada, Bafa Gölü ve kanal sularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadıkları, dere ve yeraltı sularının sulamaya uygun oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bafa Gölü havzası, hidrojeoloji, hidroloji, hidrojeokimya
2023, 75 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROLOGY AND HYDROGEOLOGY INVESTIGATION OF LAKE BAFA BASIN

Şamil YILDIZ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

The Bafa Lake basin is defined as the Bafa subdivision within the Söke-Aydın Sub-Basin of the Büyük Menderes Basin. The most important surface water in the basin is Lake Bafa. In this study, hydrological, hydrogeological and hydrogeochemical investigations of the Bafa Lake basin, which is one of the important wetlands in our country, were carried out. In the basin, there are lithologies belonging to the Menderes Massif and Quaternary sediments. Menderes metamorphics in the region consist of gneiss, marble, schist, quartzite, calcschist and meta-serpentinites. The alluvial in the east of Lake Bafa has the characteristics of grained aquifer. Mesozoic aged limestones in the south of the lake are karst aquifers.

Samples were taken from Bafa Lake, canal and stream waters reaching the lake, and well waters in the basin. EC values were measured as 270-530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in stream waters, 360-1010 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in well waters, 5290- <20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in canal waters and 19830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in lake waters. The water samples taken from Lake Bafa and the canals 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 Ca^{+2} and HCO_3^- . This situation reflects the relationship of the waters in this region with the marbles of the Bozdağ formation. The groundwater taken from the well drilled in Pınarcık village is in CaHCO_3 hydrogeochemical facies and represents the carbonate aquifer. It has been determined that the main factor controlling the chemical structure of groundwater in these regions is the rock-water interaction. Lake Bafa and its canal waters are in IV. water quality class according to their trace element and nitrogen derivative contents. Groundwater taken from shallow wells around Gölyaka, Bafa and Kapıkırı villages is in the I. water quality class in terms of temperature, total dissolved solids, NH_4 , 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.

Keywords: Bafa Lake basin, hydrogeology, hydrology, hydrogeochemistry

2023, 75 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlık seviyesinden sonuçlanmasına kadar her aŐamasında tüm bilgi ve tecrübeleriyle bana ışık tutan ve desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ'a (Süleyman Demirel Üniversitesi) en içten dileklerle teşekkürü bir borç bilirim.

FYL-2022-8632 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca benden esirgemedikleri yardımları ve manevi destekleri için aileme teşekkür ederim.

Şamil YILDIZ
ISPARTA, 2023

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası | 6 |
| Şekil 4.1. Bafa Göl Havzası jeoloji haritası | 10 |
| Şekil 4.2. Bafa Gölü havzası hidrojeoloji haritası | 16 |
| Şekil 4.3. Hidrojeokimya haritası | 23 |
| Şekil 4.4. Gibbs diyagramı üzerinde su örneklerinin gösterimi | 24 |
| Şekil 4.5. Su örneklerinin Piper diyagramı üzerinde gösterimi..... | 30 |
| Şekil 4.6. a. ABD Tuzluluk Laboratuvarı, b.Wilcox diyagramı | 41 |
| Şekil 4.7. Bafa Gölü Havzası Hidroloji Haritası..... | 47 |
| Şekil 4.8. Milas DMİ yıllık toplam yağış verileri..... | 50 |
| Şekil 4.9. Söke-17291 nolu DMİ yıllık toplam yağış verileri | 50 |
| Şekil 4.10. Söke-17291 nolu DMİ yıllık toplam yağış verileri..... | 50 |
| Şekil 4.11. Milas DMİ eklenik sapma grafiği..... | 51 |
| Şekil 4.12. Milas DMİ aylık ortalama sıcaklık değerleri (1960-2022) | 51 |
| Şekil 4.13. Söke-17881 nolu DMİ aylık ortalama sıcaklık değerleri | 52 |
| Şekil 4.14. Milas DMİ yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği..... | 54 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 4.1. Bafa Gölü havzasında bulunan muhtarlık kuyularına ait bilgileri..... | 15 |
| Çizelge 4.2. Sularının hidrojeokimyasal özellikleri | 19 |
| Çizelge 4.3. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması | 20 |
| Çizelge 4.4. Su örneklerinde tespit edilen iyon dizilimleri | 22 |
| Çizelge 4.5. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması | 29 |
| Çizelge 4.6. Suların TDS değerine göre sınıflaması | 31 |
| Çizelge 4.7. İçme suyu standartları (TS266, 2005; WHO, 2017) | 32 |
| Çizelge 4.8. İnceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının ağır metal ve azot türevleri | 34 |
| Çizelge 4.9. ABD Tuzluluk Lab. diyagramı sınıflama kategorileri | 40 |
| Çizelge 4.10. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması | 42 |
| Çizelge 4.11. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler | 42 |
| Çizelge 4.12. Su kalite sınıfları | 46 |
| Çizelge 4.13. Milas ve Söke DMİ'na ait yağış verileri | 49 |
| Çizelge 4.14. Milas DMİ Thornthwaite buharlaşma- terleme bilançosu | 53 |
| Çizelge 4.15. Bafa Gölü Serçin ve Dalyan giriş akım ölçümleri | 55 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|-------------------------------|---|
| Ca ⁺⁺ | Kalsiyum |
| Cl ⁻ | Klorür |
| CO ₃ ⁼ | Karbonat |
| DMİ | Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü |
| EC | Elektriksel İletkenlik |
| ETa | Gerçek Buharlaşma-Terleme |
| ETp | Potansiyel Buharlaşma-Terleme |
| HCO ₃ ⁻ | Bikarbonat |
| K ⁺ | Potasyum |
| mek | miliekivalen |
| Mg ⁺⁺ | Magnezyum |
| mg | Miligram |
| µS | Mikrosiemens |
| MTA | Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü |
| Na ⁺ | Sodyum |
| NH ₄ | Amonyum |
| NO ₃ | Nitrat |
| P | Yağış |
| pH | Hidrojen İyonu Aktivitesi |
| PO ₄ | Fosfat |
| Q | Debi |
| SO ₄ ⁼ | Sülfat |
| T | Sıcaklık |
| TSE | Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü |
| WHO | World Health Organization |

1.GİRİŞ

Sulak alanlar ekolojik dengenin sağlanması, su kalitesi, yabani hayatın devamlılığı, yeraltısuyu beslenme-boşalım ilişkileri ve mikro-klima özelliğinin denetlenmesi konularında hidrolojik özelliklere bağlı olarak önemli katkılar sağlamaktadırlar. Sulak alanların çoğunluğunda iklim değişikliği, kirlilik, plansız kullanımlar ve insan faaliyetlerine bağlı olarak problemler gözlenmektedir. Bu problemlerin başında miktar ve kalite açısından yaşanan sıkıntılar gelmektedir. Sulak alanlara yapılan müdahaleler ile son yıllarda pek çok sulak alanın doğal koşulları bozulmuştur.

Bafa Gölü sulak alanı Ege Bölgesi'nin önemli sulak alanlarından birisidir. 1989 yılında "Doğal Sit Alanı" ve 1994 yılında "Tabiat Parkı" ilan olarak ilan edilmiş olan Bafa Gölü'nde 261 kuş türü saptanmıştır (<http://www.wwf.org.tr>; Algül ve Beyhan, 2018). Bafa Gölü'nün konumu nedeniyle özellikle gölün ekolojik yapısı, su ve sediment kimyası konularında araştırmalara konu olmuştur. Yapılan araştırmalarda havza bazında hidrojeoloji ve hidrojeokimya amaçlı araştırmalar kısıtlı kalmıştır. Havza bazında yapılan araştırmalar herhangi bir su kaynağının miktar ve kalitesini kontrol eden hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin doğru bir şekilde tespitini sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında Bafa Gölü Havzası'nın ayrıntılı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmalarının yapılması amaçlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Hakyemez vd. (1999) yaptıkları araştırmada Bafa Gölü'nün önünün holosen dönemi boyunca alüvyonal delta oluşuklarıyla kapatıldığını açıklamış ve iç lagünel göl oluşum modelini anlatmışlardır.

Özel vd. (2011) tarafından yapılan Tübitak projesinde Bafa Gölü'nün jeolojisi-jeofiziği ve oşinografisi araştırılmıştır. Gölün en dersen yerinin 20 m civarında olduğu ve gölde etkin fayların bulunmadığı tespit edilmiştir. Göl tabanında tarihsel döküntüler ve arkeolojik kalıntılar izlenmiştir. Bafa Gölü'nden 4 adet kor örneği alınmıştır. Örneklerdeki ²¹⁰Po aktivite konsantrasyonlarının derinliğe bağılı değişimleri izlenerek tarihlendirme yapılmıştır.

Akçer Ön (2011), tarafından yapılan doktora tezinde Uludağ Buzul, Küçükçekmece Lagünü (İstanbul), Bafa (Muğla-Denizli) ve Yeniçağa (Bolu) Gölleri'nden çökel karotları alınarak Türkiye'nin batısında son 6000 yıldaki iklim değişim kayıtları araştırılmıştır. Çalışmada Sr/Ca, Ca/Ti element oranları, toplam inorganik (TIC) – organik (TOC) karbon analizleri, çoklu belirteç (multi-proxy) parametreler MS, Sr ve Ti, bentik foraminifer ve ostrakod kalıntılarından elde edilen $\delta^{18}O$ - $\delta^{13}C$ verileri birlikte değerlendirilerek Türkiye'nin batısında geçmiş dönemlerde gerçekleşmiş olan buharlaşma/yağış değişimleri tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda batı Türkiye'de Küçük Buz Çağının son evresi öncesinde yağışlı, ilk evresinde ise göreceli kurak yaşandığı belirlenmiştir. Günümüz öncesi 1200-600 yılları arasında yağışlı, 1200-1400 yılları arasında ve 1700-2350 yılları arasında ise kurak dönemin yaşandığı tespit edilmiştir. Demir Çağ Soğuk Dönemi'nde 3000-2600 yılları arasında kurak, 2600-2350 yılları arasında yağışlı dönemin gözleendiğı belirlenmiştir.

Yılgör (2012)'ün doktora tezinde Bafa Gölü'nden yüzey ve karot sediment örnekleri alınarak, yüzey ve dip sedimanlarının Pb, Fe, Mn, Cr, Zn, Ni, Cu, Hg metallerinin içerikleri tespit edilerek ve radyometrik yöntemler (kurşun ikiyüzon) ile sediment çökelim hızı araştırılmıştır. Çalışmada Hg dışında çalışılan ağır metal içeriklerinde önemli sapmalara rastlanmamıştır. Bafa Gölü'nde 65 cm'lik karot örneğinden alınan dip sedimentlerin yaklaşık olarak

120 yıl öncesinde depolandıkları tespit edilmiştir. Çalışmada Metal zenginleşme faktörleri (EF) ve NIgeo indeksi değerleri kullanılarak kirlilik sınıflamaları yapılmıştır. Sediment örneklerinde rastlanan yüksek Cr ve Ni içeriklerinin göl çevresindeki mafik- ultramafik kayalardan kaynaklandığı bildirilmiştir. Diğer ağır metal artışlarının antropojenik kökenli olduğu belirtilmiştir.

Süer (2017) yaptığı çalışmada Bafa Gölü'nden alınan genç çökellerin hidrojen, karbon ve azot izotop içeriklerini incelemiştir. Elde edilen sonuçlara göre denizel ortamın gölsel koşullara geçtiği tespit edilmiştir. Gölsel evrede planktonik organik maddelerin baskın olduğunu, denizel evrede ise bentik organik maddelerin baskın olduğunu belirlemiştir.

Küçüksümbül (2018) Bafa Gölü'nün içerisinde bulunduğu Bafa Gölü çevresi ile Söke Ovasının hidrojeokimyasal ve hidrojeolojik incelemelerini yaparak yüzey ve yeraltı suları ile topraktan alınan örneklerde inorganik kirliliği araştırmıştır. Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada bölgede bulunan Jeotermal akışkanda %70 fazla deniz suyu girişi olduğunu tespit etmiştir. Deniz suyu girişiminin Ege Denizi'nden Bafa Gölü'ne uzanan Akköy Fayı'nın etkin olduğunu öne sürmüştür. İçme-kullanma amaçlı kullanılan sularda sınır değerlerin üzerinde K, Ca, Mg, Cl, SO₄, B, As, Fe, Mn, Al, Ce, Ni, Pb, U belirlenmiştir. Büyük Menderes Nehri suları ile sulanan tarım alanlarında kirlenme olduğunu tespit etmiştir.

Bulkan vd. (2019) Bafa Gölü'nün Orta-Geç Holosen gölsel arşivinin paleolimnolojik incelemesini iki karot örneğinden elde edilen jeokimyasal ve sedimantolojik değerlendirmeler ile gerçekleştirmişlerdir. Bölgenin ekosistem değerlendirmelerinde IV. evrede deniz ağırlıklı (Ö. 4,5-2.7 cal. ka yıl); aşama III, deniz-nehir etkileşimi (2,7-1,75 cal. ka yıl BP); evre II, lagün (1.75-0.8 bin yıl BP); ve evre I'de yakın zamanda izole edilmiş bataklık gölü (son 0.8 cal. ka) değişimleri tespit edilmiştir. Çalışmada bölgede ekosistem özelliklerinin hidroiklim ve jeotektonik süreçlerin kombinasyonu tarafından kontrol edildiği bildirilmiştir.

Küçüksümbül vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada Bafa Gölü çevresinden alınan yeraltısuyu örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri ve deniz suyu girişim durumu belirlenmiştir. Çalışmada, Bafa Gölü'nün farklı derinliklerde pH, EC, çözünmüş oksijen, sıcaklık ölçümleri ve majör katyon analizleri yapılmıştır. Bu veriler ile Bafa Gölü'ne deniz suyu ve karstik sistemden soğuk yeraltısuyu girişinin olduğunu tespit etmiştir. Bafa Gölü çevresinde akifer özelliği taşıyan birimlerin gölsel karbonat, mermer ve alüvyon olduğu tespit edilmiştir. Bafa Gölü'ne olumsuz etki gösteren organik kirlilik kaynaklarının balık üretim tesisi atık sularındaki yüksek amonyum içeriği, kanalizasyon sistemi bulunmayan Kapıkırı civarında göle ulaşan fosfat içeriği, zeytin işleme tesisleri ile ilişkili nitrit birikimi olduğu belirlenmiştir.

Algül ve Beyhan (2018, 2020) yaptıkları çalışmada Bafa Gölü ve gölü besleyen derelerde alınan su ve sediment örneklerinde kirliliğe neden olması beklenen ağır metal türlerini Co, Cd, Al, Cr, Cu, Mn, Fe, Pb, Ni ve Zn olarak belirlemiştir. Sediman örneklerinde belirlenen Cu, Fe, Co, Mn, Zn ve Pb içeriklerinin doğal kökenli, Cd'un antropojenik kökenli, Ni ve Cr içeriklerinin ise hem antropojenik hem de doğal kökenli olduğunu belirlemişlerdir. Ni, Cd, Cr, Cu ve Fe içeriklerinin Bafa Gölü'nü en yüksek seviyede etkileyen ağır metaller olduğunu söylemişlerdir.

Tomay (2020) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde Bafa Gölü'nde bulunan 3 lokasyondan alınan su ve sediman örneklerinin fiziko-kimyasal parametreler (pH, EC, sıcaklık, tuzluluk, toplam sertlik, toplam azot, toplam fosfor, klorofil-a ve KOİ) ve bentik makro-omurgasız çeşitliliği değerlendirilmiştir. Gölde ortalama Makro-omurgasız sayısı 89363 ve toplam taksa (familya) sayısı 14 olarak tespit edilmiştir. Bütün örneklerde makro-omurgasızların kirliliğe toleranslı olan türler olduğu ve göl kirliliğinin fiziko-kimyasal parametre sonuçları ile de desteklendiği bildirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

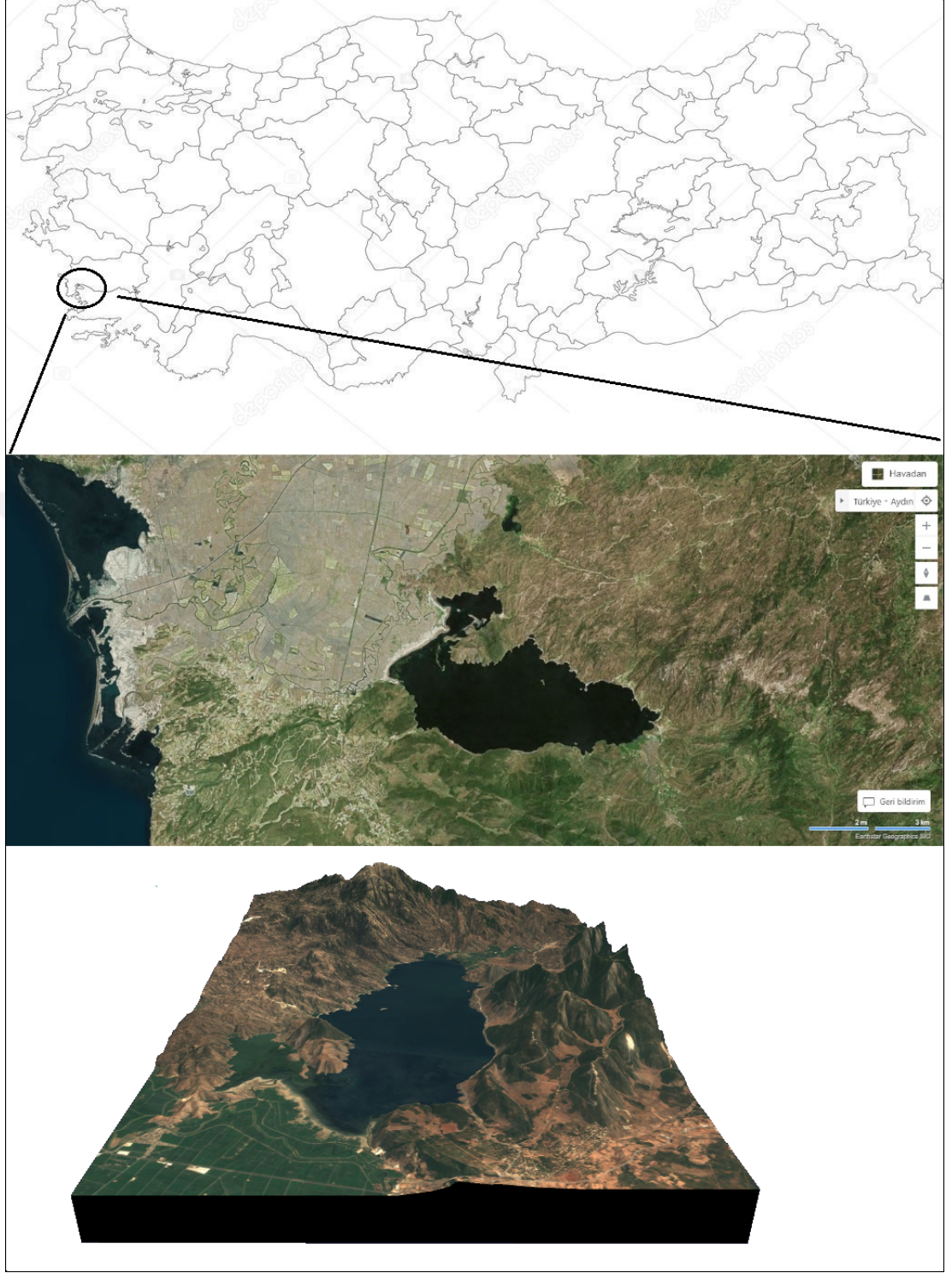
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

Bafa Gölü havzası, Büyük Menderes Havzası içerisinde bulunan Söke-Aydın Alt Havzası'nın Bafa alt bölümünü oluşturmaktadır. Havza'da en önemli yüzey suyu olan Bafa Gölü 73 km kıyı uzunluğu ve 68.7 km² yüzey alanı ile tektonik bir göldür (Yılmaz ve Koç, 2014; Küçüksümbül vd., 2020). Bafa Gölü'nün Ege Denizi'nin bir koyu iken Büyük Menderes deltasının ilerlemesi sonucunda denizle bağlantısı kesilerek oluştuğu bilinmektedir. Gölün kuzeybatısında bulunan sığ kesim Serçin Gölü olarak adlandırılmaktadır. Bafa Gölü'nün beslenimi yağış suları, yüzeysel akışlar, yeraltısuyu akımı ve Büyük Menderes Nehri suları ile gerçekleşmektedir. Bafa Çayı'nın Büyük Menderes Nehri'ne bağlantısı ile gölden boşalım sağlanmaktadır.

Büyük Menderes Nehri'nin suları seddeler ve su alma yapıları ile kontrollü bir şekilde Bafa Gölü'ne verilerek göl seviyesi +2 m kotunda tutulmaya çalışılmaktadır. Doğal koşullarda Dalyan ve Serçin kanallarından beslenen Bafa Gölü, mevcut durumda şişme bir lastik savaklı regülatör ve bu kanallarda bulunan kapaklar ile kontrolü sağlanmaktadır. Bafa Gölü'ne olası su girişinin sebep olabileceği olumsuz etkilerin önlenmesi için sahil seddesi yapılmıştır. Büyük Menderes Nehri suları kurak dönemde Bafa Gölü'nü beslemektedir (Küçüksümbül vd., 2020). Bafa Gölü havzasının güneydoğu kesiminde Bafa, Gölyaka ve Pınarcık yerleşim alanları mevcuttur (Şekil 3.1). Bu bölgelerde içme-kullanma ve sulama suyu olarak yeraltısularından yararlanılmaktadır.

3.2. Çalışma Yöntemleri

Bafa Gölü havzası hidrolojik ve hidrojeolojik incelemesinin yapıldığı çalışmada aşağıda verilen araştırma yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (ölçeksiz)

Jeoloji: Havzadaki jeolojik birimler kurum ve şahıslar tarafından yapılan önceki araştırmalar ile bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Birimlere ait litolojik tanımlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Hidroloji: Çalışmanın bu bölümünde, bazı meteorolojik hesaplamalar (ortalama yağış, gerçek buharlaşma vb.) Devlet Meteoroloji İstasyonlarından elde edilen veriler (yağış, sıcaklık vb.) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Söke ve Milas DMI'larında ölçülen veriler kullanılmıştır. Bölgede yıllık yağışların zamansal değişimlerinin belirlenmesi ve iklim değişikliği trendinin tespiti için eklenik sapma analizleri yapılmıştır. Bafa Gölü havzası buharlaşma hesabı için Milas DMI'den alınan aylık sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Bu veriler Thornthwaite yöntemi ile değerlendirilerek potansiyel ve gerçek buharlaşma miktarları hesaplanmıştır.

Hidrojeoloji: Havzada bulunan litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre tanımlanarak akifer birimler tespit edilmiş ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

Hidrojeokimya: İnceleme alanında Bafa Göl suları, gölü besleyen dere ve kanal suları ile yeraltı sularından 10 adet örnek alınmış ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Arazide su örneği alımı sırasında sıcaklık (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Hanna marka cihaz ile ölçülmüştür. Su örneklerinin majör anyon içerikleri (HCO_3 , CO_3 , Cl , SO_4) ve azot türevi analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Su, Kayaç ve Mineral Analiz Laboratuvarında yaptırılmıştır. Major katyon (Ca, Mg, Na, K) ve ağır metal içerikleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında analiz edilmiştir. Analiz sonuçları farklı grafik ve standartlar ile değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Stratigrafi

Bafa Gölü Havzası'nda Menderes Masifi'ne ait birimler ve Kuvaterner örtü kayaçları yüzeylemektedir. Gediz, Menderes ve Bakırçay çöküntülerinin temelinde bulunan Menderes metamorfikleri şist, gnays, mermer, kalkşist, kuvarsit ve meta-serpantinitle içermektedir. Menderes Masifi güneyde Likya napları, kuzeybatıda İzmir - Ankara Zonu'na ait litolojiler tarafından üzerlenmekte, doğuda ise Neojen birimler tarafından örtülmektedir. Menderes Masifi D-B uzanımlı graben sistemleriyle Eğrigöz, Demirci-Gördes, Ödemiş-Kiraz ve Çine olmak üzere 4 aşamaya ayrılmaktadır (Dora vd., 2005).

Bafa Gölü havzasında bulunan metamorfik birimler farklı araştırmacılar tarafından farklı isimler ile anılmıştır. Bunlar, Prekambriyen yaşlı gözlü gnayslar Beşparmak formasyonu (Öztürk ve Koçyiğit, 1983), Jura-Kretase yaşlı mermerler Bozdağ grubu (Boray vd., 1973; Akat vd., 1975) ve Paleozoyik yaşlı şistler Bafa formasyonu (Akat vd., 1975) olarak isimlendirilmiştir. Masifin çekirdeğini oluşturan temel birimler Prekambriyen-Kambriyen yaşlı gnayslardır (Hetzl ve Reischmann, 1996).

4.1.1. Beşparmak Formasyonu

Beşparmak formasyonu başkalaşım kayaçlarının temelini oluşturan gözlü gnayslarla temsil edilmekte olup, adını en iyi tanındığı Beşparmak dağlarından almıştır. Beşparmak formasyonu Menderes Masifi'nin temelini oluşturmakta olup granitik-gözlü-bantlı gnayslar ve migmatitler oluşmaktadır (Dora vd., 1992). Formasyonu Bafa Gölü kuzeyinde geniş alanlarda gözlenmektedir (Şekil 4.1). Menderes masifi üzerine yapılan araştırmalarda gnayslar çekirdek serisi olarak tanımlanmıştır. Gözlü gnayslar mika, kuvars ve feldispatlardan oluşmakta olup ince tabakalı, yapraksı yapılar ve yönlü mineral uzantıları içermektedir (Akçer Ön, 2011; Dürr, 1975).

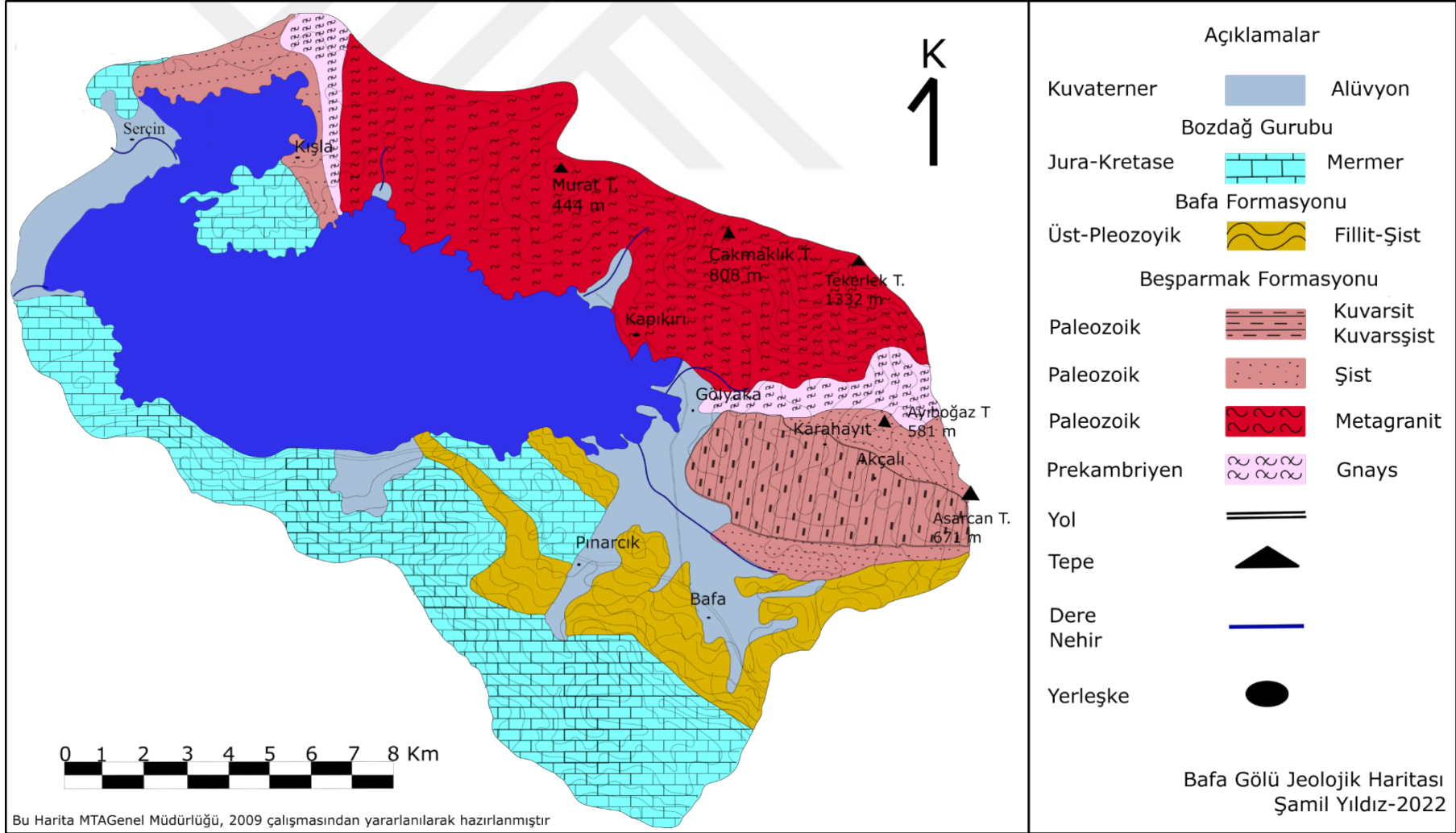
Masif granitik gnayslar ince-orta taneli ve gri renkli olup feldspat, kuvars, biyotit ve muskovitten oluşmaktadır. Migmatitler ise klorit, biyotit ve az miktarda granat ve kuvars seviyeleri ile feldspat ve kuvars içeren açık renkli kesimlerden oluşmaktadır (Akkök, 1981).

Gözlü gnayslar, sarımsı renkli, sert kuvarsitlerle ara katmanlıdır. Kuvarsitlerde seyrek de olsa dereceli ve çapraz katmanlanma yapıları oldukça belirgindir (Öztürk ve Koçyiğit, 1982). Kuvars ve muskovit içeriklerine göre saf kuvarsit ile kuvars-şist arasında değişim gösteren bu kayalar Paleozoik serinin en alt düzeylerini oluşturmaktadır (Yılğör, 2012). Kuvarsitler yanal ve düşey yönde kısa mesafelerde fillit ve kuvarsça zengin şistlere geçişler göstermektedir. Kuvarsitler uyumlu ve geçişli bir dokanakla fillitler tarafından üzerlenmektedir.

Kaaden (1954), Schuiling (1962), Brinkmann (1966)'a tarafından yapılan çalışmalara göre Beşparmak Formasyonunu oluşturan gözlü gnayslar Prekambriyen yaşındadır. Saha ve laboratuvar verilerinin radyometrik yaş bulgularıyla birlikte değerlendirilmesinde de Beşparmak formasyonu için Prekambriyen yaşı öngörülmektedir (Öztürk ve Koçyiğit, 1981).

4.1.2. Bafa Formasyonu

Bafa Gölü çevresinde gözlenen birim Akat vd., (1975) tarafından Bafa Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon, yeşil şist metamorfizması sınırları içinde başkalaşım geçirmiş pelitik ve bazik-ultrabazik kayalardan oluşmaktadır.



Şekil 4.1. Bafa Göl Havzası jeoloji haritası

Formasyonu oluşturan metamorfikler kuvarsit, klorit şist, kalkşist, serisit şist, aktinolit şist, amfibolit, serpantin, muskovit şist, tremolit şist, biyotit şist, granat şist vb. türlerden oluşmaktadır. Formasyonda Bölgesel olarak serpantinleşmiş peridotitler ve ince mermer bantları izlenmektedir (Ercan vd., 1986). KB-GD uzanımlı Bafa formasyonunun üst düzeyleri karbonatça zenginleşmekte olup regresif karakter göstermektedir. Formasyonun üst kısımlarında geçişli olarak Bozdağ grubu bulunmakta ve alt kesimlerinde ise Orta-Üst Triyas yaşlı karbonatlar gözlenmektedir. (Ercan, vd., 1986).

Bafa formasyonu içerisinde fosil bulunmamaktadır. Formasyonun üstünde bulunan Bozdağ grubu'nun yaşının Orta-Üst Triyas olması nedeniyle, alt-üst ilişkilerinden Bafa formasyonunun yaşı Permiyen-Alt Triyas olarak belirlenmiştir (Ercan, vd., 1986).

4.1.3. Bozdağ Grubu

Bozdağ grubu, Bafa formasyonu üzerinde geçişli olarak bulunmaktadır. Bozdağ grubu karbonatlarının ana uzanım yönü BKB-DGD'dir. Bozdağ grubunun alt düzeylerinde beyaz, gri, koyu gri, siyaha yakın renkli dolomit ve dolomitik kireçtaşları egemendir. Dolomitler yer yer çok ince şist ara katkıları içermektedir. Grubun üst düzeylerinde granoblastik dokuda ince-orta-kalın katmanlı rekristalize kireçtaşı, mermer, ikincil olarak kuvars ve muskovit içeren kumlu rekristalize kireçtaşı düzeyleri bulunur. Daha üst düzeylerde ise çört ara katkıları ve çört budinleri gözlenmektedir. Bozdağ grubu mermerleri içinde metamorfik boksitler de yer alır. Grupta yer yer de bitümlü düzeyler yaygın olup, boksit cevherleşmelerine yakın yerlerde silisleşme gelişmiştir (Ercan vd., 1986).

Bozdağ grubu karbonatlarında fosile az rastlanılmakta olup Orta-Üst Triyas ve Jura ve Kretase yaşlı fosiller tespit edilmiştir. Bu fosiller *Trochammina* (Orta-Üst Triyas), *Solongorocea* (Mesozoyik), *Textulariidae* (Jura Kretase), *Valvulinidae* (Jura-Kretase), *Verneulinidae* (Orta-Üst Jura) ve *Protopeneroplis sîrîata* (Orta-Üst Jura)'dır (Akat vd., 1975). Bu fosil kapsamına göre Bozdağ grubunun yaşı Orta, Üst Triyas-Alt Kretase olarak belirlenmiştir (Ercan vd., 1986).

4.1.4. Alüvyon

Havzada Pınarcık, Bafa ve Serçin köyleri civarında yüzeyleyen birim kil, kum, çakıl, silt boyutundaki malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzeme Büyük ve Küçük Menderes nehirlerinin taşıdığı ve çökelttiği birikintilerdir. Bölgede en genç birim olan alüvyon Kuvaterner yaşlıdır.

4.2. Hidrojeoloji

Bu bölümde Bafa Gölü havzasında bulunan su noktaları açıklanmıştır. Ayrıca, havzada yüzeyleyen litolojik birimler hidrojeolojik özellikleri açısından yeniden değerlendirilerek sınıflandırılmış ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

4.2.1. Su noktaları

4.2.1.1. Akarsular

Bafa Gölü havzasında gölü besleyen mevsimlik özellikte yüzeysel akışlar bulunmaktadır. Bunların en önemlileri Karcılılık ve Ulusluk Deresi'dir. Ulusluk deresi Akçalı köyü civarından doğarak güneybatı yönünde hareket eder ve Pınarcık köyü civarında Bafa Gölü'ne ulaşır. Karaçalılık deresinin bir kolu Kapıkırı kuzeyinde Kayıkaya Tepeleri ve diğer kolu Gökkaya Tepe eteklerinden doğar ve Kapıkırı köyü batısında düzlük alanda Kale harabeleri civarında Bafa Gölü'ne boşalır. Bafa Gölü'nü besleyen en önemli akarsu olan Büyük Menderes Nehri'nin suları, doğal durumda Bafa Gölü'ne giriş-çıkış yapmakta iken son yıllarda yapılan seddeler ve su alma yapıları ile günümüzde kontrol edilmektedir.

4.2.1.2. Kaynaklar

Havzada mevsimlik özellikte kaynak boşalımları bulunmaktadır. Bu boşalımlar Menderes Masifi'nin kaya birimlerinden ve Neojen yaşlı birimlerden gerçekleşmekte olup düşük debilidir. Bafa Gölü güneydoğusundaki mermer birimleri bünyesindeki yeraltısuyu göl tabanında göle boşalmaktadır. Ayrıca,

Bafa Gölü kuzeyinde bulunan mermer ve şist birimleri dokanağından sürekli akışa sahip kaynak boşalımları (Bitli çeşme, asırlık çeşme) mevcuttur.

4.2.1.3. Göller

Havzada en önemli yüzey suyu kaynağı Bafa Gölü'nün yüzölçümü 65 km²'dir. Büyük Menderes deltasının güney doğusunda bulunan Bafa Gölü deltasının jeomorfolojik gelişimine bağlı olarak Ege Denizi'nin bir koyu iken göl halini almıştır. Gölün kuzeybatısındaki daha sığ olan bölümü Serçin Gölü olarak adlandırılmakta olup bu kesim kurak dönemlerde Bafa Gölü'nden ayrılmaktadır. Gölün derinliği kuzey kesimlerinde ortalama 2 m, orta kesimlerinde ise 21 m'ye kadar ulaşmaktadır.

A Sınıfı Sulak Alan statüsünde olan göl 08.07.1994 tarihinde Tabiat Parkı ilan edilerek koruma altına alınmıştır. Gölün beslenimi, göl alanına düşen yağışlar, mevsimlik akarsular, kıyı ve dip kaynak boşalımları ve Büyük Menderes Nehri bağlantı kanalı ile gerçekleşmektedir. Gölü besleyen nehir sularının azaltılması, kirletilmesi ve sazlıkların kuruması gibi sebeplerle göl sularının kimyasal yapısı değişmiş ve gölün ekolojik dengesi bozulmuştur. Doğal set gölü olan Bafa Gölü'nde antik kalıntıların bulunduğu 4 ada bulunmaktadır. Gölün kuzey bölümü oldukça dağlıktır.

1989 yılında yaşanan kuraklığı takiben Bafa Gölü'nün Büyük Menderes Nehrinden beslenmesi için nehir yatağında toprak dolgu üzerinde şişirilen su göle ulaştırılmıştır. Büyük Menderes Nehri ile Dalyan Kanalı arasına yapılan 100 m³/sn kapasiteli kapaklı yapı ile bu su Bafa Gölü'ne verilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda Bafa Gölü'nün deniz seviyesinden 2 m yükseklikte su seviyesine sahip olması gerekliliği anlaşılmış ve Bafa Gölü'nde su bu seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. Herhangi feyez anında göl su seviyesi +3 kotunu aşarsa lastik regülatör otomatik sönmleme gösterip suyun boşalmasına izin vermektedir (Anonim, 2021).

Doğal koşullarda Bafa Gölü'ne mevsimsel yağışlar ve Büyük Menderes taşkınları ile su girişi olmakta ve Dalyan kanalı ile gölden su çıkışı gerçekleşmekte idi.

Ancak, 2003 yılında yapılan lastik şişme savaklı regülatör yapısı ile Bafa Gölü'ne su girişi sağlanması ve bölgede sulama suyu ihtiyacının karşılanması amaçlanmıştır. Lastik regülatör şişirildiğinde DSİ savak yapısı ile Büyük Menderes Nehri'nin suyu geri döndürülmekte ve Dalyan Kanalı kapatılarak Serçin Priz yapısından Bafa Gölü'ne verilmektedir. Üç gözlü olarak inşa edilmiş olan bu priz yapısının kapasitesi toplam 30 m³/s'dir (Anonim, 2021). Serçin Priz yapısından girişi sağlanan suyun devir daimi için Dalyan Kanalı'ndan su çıkışına izin verilmektedir Ancak göl suyu tuzlu olduğundan sulama dönemlerinde Bafa Gölü'nden su çıkışına izin verilmemektedir. Sonuç olarak, günümüzde Bafa Gölü'ne su giriş çıkışı insan eliyle kontrol edilmektedir.

4.2.1.4. Kuyular

Bafa gölü havzası içerisinde İller Bankası, muhtarlık, belediye ve şahıslara ait sondaj kuyuları bulunmaktadır. Havzada içme-kullanma amaçlı 10 adet kurumlara ait ve 14 adet belgeli şahıs kuyusu bulunmaktadır. Şahıs kuyularından 8 adedi içme-kullanma, 6 adedi ise sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. İçme-kullanma amaçlı kuyuların tamamı her zaman çalışmamaktadır. Kuyuların bir bölümü yedek amaçlı olup, çalışma saatleri depo doluluk oranlarına göre ayarlanmaktadır. Havzada sanayi amaçlı kuyu bulunmamaktadır (Anonim, 2021).

Muhtarlık tarafından işletilen içme-kullanma amaçlı 7 adet sondaj kuyusunun bazı özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bafa, Pınarcık, Gölyaka, Akçalı, Kapıkırı ve Karahayıt köyleri civarındaki kuyuların debileri ise 2-3 l/s, derinlikleri ise 12-106 m arasında değişmektedir. Bölgede en derin kuyu Karahayıt civarında olup gnays, şist ve kuvars-şist birimlerinden yeraltısuyu alınmıştır. Diğer bölgelerdeki kuyularda ise alüvyon birim kesilmiştir.

Çizelge 4.1. Bafa Gölü havzasında bulunan muhtarlık kuyularına ait bilgiler

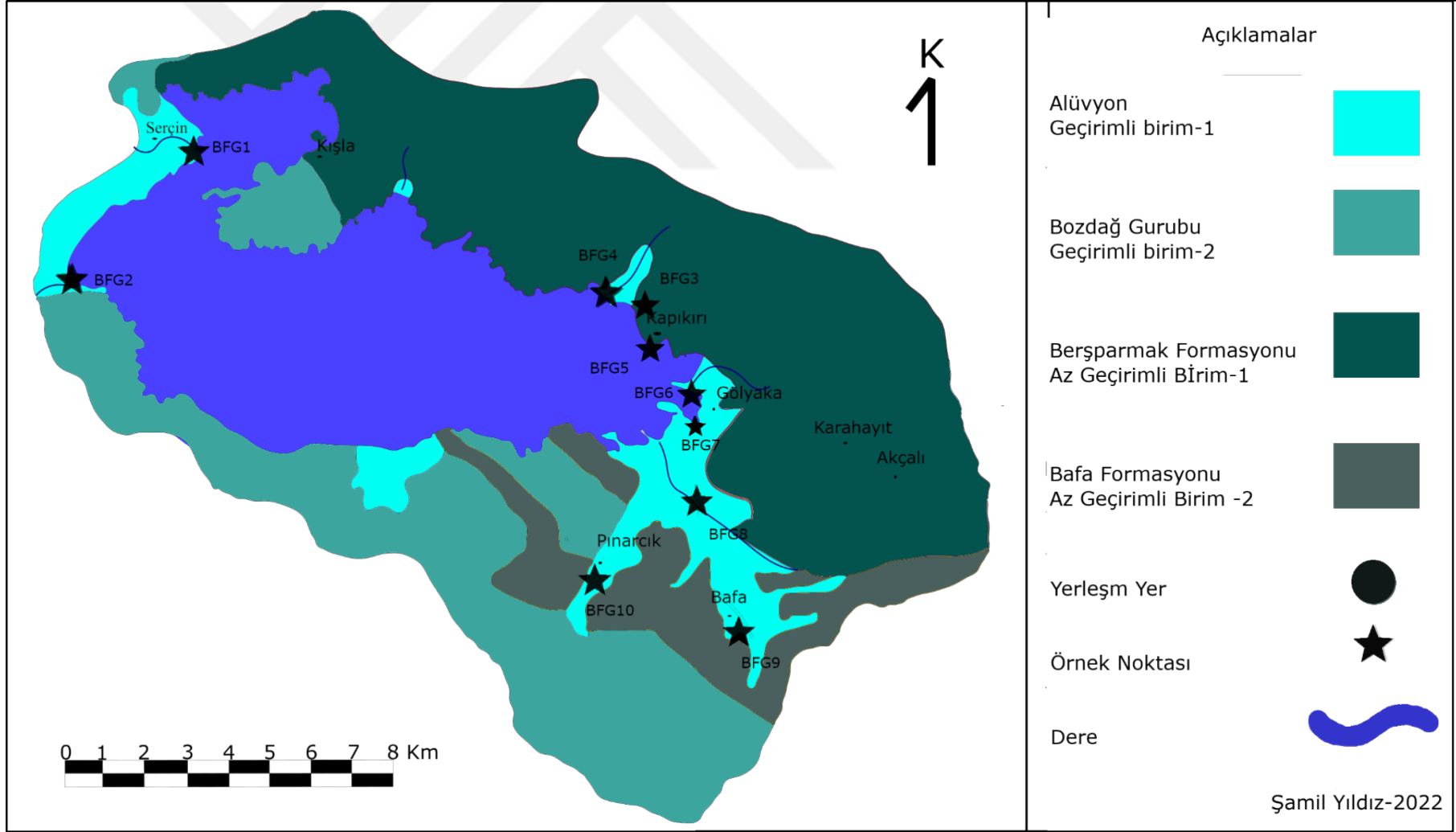
| Koordinat | | | İl /İlçe | Köy | Derinlik m | Pompa tecrübe debisi (l/s) |
|-----------|---------|-----|-------------|-----------|---------------|-------------------------------|
| X | Y | Z | | | | |
| 546350 | 4147599 | 16 | Muğla/Milas | Pınarcık | 65 | |
| 545997 | 4147859 | 13 | Muğla/Milas | Pınarcık | 60 | |
| 547637 | 4146926 | 15 | Muğla/Milas | Bafa | 50 | 3 |
| 548302 | 4144671 | 27 | Muğla/Milas | Bafa | 50 | |
| 552605 | 4147670 | 383 | Muğla/Milas | Akçalı | 68 | 2 |
| 551316 | 4148170 | 327 | Muğla/Milas | Karahayıt | 106 | 2 |
| 546050 | 4152495 | 14 | Muğla/Milas | Kapıkırı | 20 | 2 |

4.2.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

Havzada yeraltısu bulunduran en önemli birimler alüvyon ve kireçtaşı-mermer birimleridir. Bafa Gölü havzası için hazırlanan hidrojeoloji haritası Şekil 4.2’de verilmiştir.

4.2.2.1. Geçirimli Birim-1 (Gç1)

Havzada Pınarcık, Bafa ve Serçin köyleri civarında geniş alanlarda gözlenen alüvyon içerisinde bulunan çakıl ve kum seviyeleri yeraltısu içermektedir. Alüvyonlar gözenekli ve yüksek geçirgenliğe sahip olup taneli akifer özeliği taşımaktadır. Bu birim içerisinde açılmış sondaj kuyularından içme ve sulama suyu amaçlı faydalanılmaktadır. Havzada alüvyon birimde açılmış olan kuyularda Anonim (2021) tarafından yapılan çalışmada statik seviyenin 5.6-15.5 m arasında olduğu belirtilmiştir. Alüvyon birimin bölgede yayılımının kısıtlı olması ve derinliğinin düşük olması gibi nedenlerle mevsimsel yağışlardan doğrudan etkilenmektedir. Alüvyon akiferde yeraltısu akım yönü Bafa Gölü’ne doğru olup Bafa Gölü’nü beslemektedir.



Şekil 4.2. Bafa Gölü havzası hidrojeoloji haritası

4.2.2.2. Geçirimli Birim-2 (Gç2)

Havzada dolomit ve dolomitik kireçtaşlarının egemen olduğu rekrystalize kireçtaşı ve mermer düzeylerinden oluşan Bozdağ grubu *Geçirimli Birim-2* olarak adlandırılmıştır. Bozdağ grubu kireçtaşı ve mermerleri kırık ve çatlakları boyunca su taşıyan karstik, orta-yüksek verimli akifer özelliği taşımaktadır. Bozdağ grubuna ait mermerler Bafa Gölü'nün güney ve güneydoğusunda geniş alanlarda yüzeylemekte ve denize kadar devam etmektedir. Bu bölgede mermerler bünyelerindeki nispeten tuzlu suyu yeraltı akışı ile göle ulaştırmaktadır. Bu mermerlerde bulunan yeraltısuyu Bafa Gölü'ne göl su kotu altından boşalmakta olup görünür bir kaynak mevcut değildir.

Bozdağ grubuna ait mermer seviyelerinde açılmış sondaj kuyularından tuzlu, ılık ve yüksek debide (50-100 l/s) yeraltısuyu alınmaktadır. Bafa Gölü çıkışında Dalyan Kanalı civarında bulunan balık üretim çiftlikleri tarafından kullanılan bu sondaj kuyuları denizden Bafa Gölü'ne kadar uzanan Akköy Fayı ile ilişkilidir (Anonim, 2021). Söz konusu kuyulardan tuzlu su alınması deniz suyu girişiminin bu bölgede mermer birimi vasıtasıyla gerçekleştiğini göstermektedir.

4.2.2.3. Az Geçirimli Birim-1 (Ga1)

Beşparmak formasyonu olarak adlandırılan Bafa Gölü'nün kuzeyindeki şist, gnays birimleri ile Beşparmak dağlarını kaplayan gözlü gnays ve metagranit birimleri geçirimsiz özelliktedir. Ancak, formasyonda tektonizma ile oluşan kırık ve çatlaklar boyunca sınırlı miktarda yeraltısuyu bulunabilmektedir. Bu yeraltısuyu bölgede yer yer debisi 0.1 l/s'den düşük olan su sızıntıları şeklinde boşalmaktadır. Birimin kırık çatlaklarında bir miktar yeraltısuyu bulunması ve yeraltısuyunu mevsimlik kaynaklar şeklinde boşaltması nedeniyle formasyon *Az Geçirimli Birim-1* olarak adlandırılmıştır.

4.2.2.4. Az Geçirimli Birim-2 (Ga2)

Klorit şist, kuvarsit, serisit şist, kalkşist, aktinolit şist, serpantin, amfibolit, muskovit şist, biyotit şist, tremolit şist, granat şist vb. metamorfitlerden oluşan

Bafa formasyonunu oluşturan litolojiler akifer özelliği taşımamaktadır. Ancak, bu birimler kırık ve çatlaklarında bir miktar yeraltısuyu bulundurabilir ve bunların hareketine izin verebilirler. Bu nedenle Bafa formasyonu *Az Geçirimli Birim-2* olarak adlandırılmıştır. Bölgede, formasyon içerisinden boşalan sürekli akışa sahip kaynak ve formasyonda açılmış sondaj kuyusu bulunmamaktadır.

4.3. Su Kimyası

Bafa Gölü havzasında yüzey suları (göl, dere) ve yeraltı sularından Nisan-2022 tarihinde 10 adet su örneği alınmıştır. Su örneği alınan lokasyonlar Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

4.3.1. Sularının genel kimyasal özellikleri

Bu bölümde havzadan alınan yüzey ve yeraltı sularının elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve sertlik parametreleri sunulmuştur. Havzada yüzey ve yeraltısularından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

4.3.1.1. Sıcaklık (°C)

Sıcaklık, suların önemli fiziksel özelliklerinden birisidir. Suların sıcaklığı yoğunluk, basınç, tuzluluk, viskozite gibi pek çok özelliğini de etkilemektedir. Ayrıca, gazların ve tuzların suda erime -çözünme koşulları büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Suların sıcaklığı hem içerisinde yaşayan canlı türlerini ve hem de

Çizelge 4.2. Sularının hidrojeokimyasal özellikleri (Nisan -2022)

| 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 |

kullanım alanlarını etkilemektedir. İçme suyu için en uygun sıcaklık 10-12 °C civarındadır. Bafa Gölü suyunun sıcaklığı 18.9 °C, dere sularının sıcaklığı 17.4-21 °C arasında, kanal sularının sıcaklığı 18.9-23.5 °C ve yeraltısularının sıcaklığı 17-20.4 °C arasında ölçülmüştür (Çizelge 4.2).

4.3.1.2. Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)

PH sudaki hidronyum ve OH⁻ iyonu içeriklerine bağlı olarak değişir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Hidrojen iyonu artışı pH'ın düşmesine, hidrojen iyonunun azalışı veya hidroksit iyonlarının artışı ise pH'ın yükselmesine sebep olur. Genel olarak yeraltısularının pH'ı 7'den küçük olup asidik özellikte, yerüstü sularının ise pH'ı 8'den büyük olup bazik özellikte suları temsil etmektedir. Suların pH'sı su içindeki bikarbonat, karbonat ve serbest karbondioksit derişimine bağlıdır. PH 7-9 arasında olan sularda bikarbonat (HCO₃) iyonu baskın iken, pH 9.5-10 civarında ise karbonat (CO₃) iyonu yüksektir.

PH değerlerine göre suların sınıflandırılması Çizelge 4.3'de verilmiştir. Havzada pH değeri kuyu sularında 5.82-7.56, dere sularında 5.88-7.37, göl suyunda 8.20 ve kanal sularında 6.67-8.06 olarak ölçülmüştür. Havzada dere ve kuyu sularının "Asit karakterli", göl sularının ise "Bazik karakterli" sular olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

| pH | |
|---------|------------------|
| >8.5 | Bazik |
| 8.5 – 7 | Bazik karakterli |
| 7 | Nötr |
| 7 – 4.5 | Asit karakterli |
| 4.5 | Asidik |

4.3.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Sudaki çözünmüş maddelerin göstergesi olan iletkenlik suda inorganik çözünmüş maddelerin varlığı ile sağlanır. Suların elektriksel iletkenliği +25 °C'deki 1 cm³ suyun iletkenliği olarak tanımlanır (Erguvanlı ve Yüzer. 1987) ve

iyon varlığına, suda çözülmüş iyonların toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağı olarak değişir (Şahinci, 1991). Bu nedenle EC değeri içme ve sulama suları sınıflandırmasında bir ölçüt olarak kullanılır. Havzada EC değerleri kanal sularında 5290-<20000 µS/cm, dere sularında 270-530 µS/cm, kuyu sularında 360-1010 µS/cm ve göl suyunda 19830 µS/cm ölçülmüştür (Çizelge 4.2). Kanal sularında tespit edilen yüksek EC değeri kanal sularına karışan hayvan çiftliklerinin atıkları, balık çiftliklerinin atık suları ve Büyük Menderes nehir sularının kanala ulaşması ile ilişkilidir.

4.3.2. Suların majör iyon içerikleri

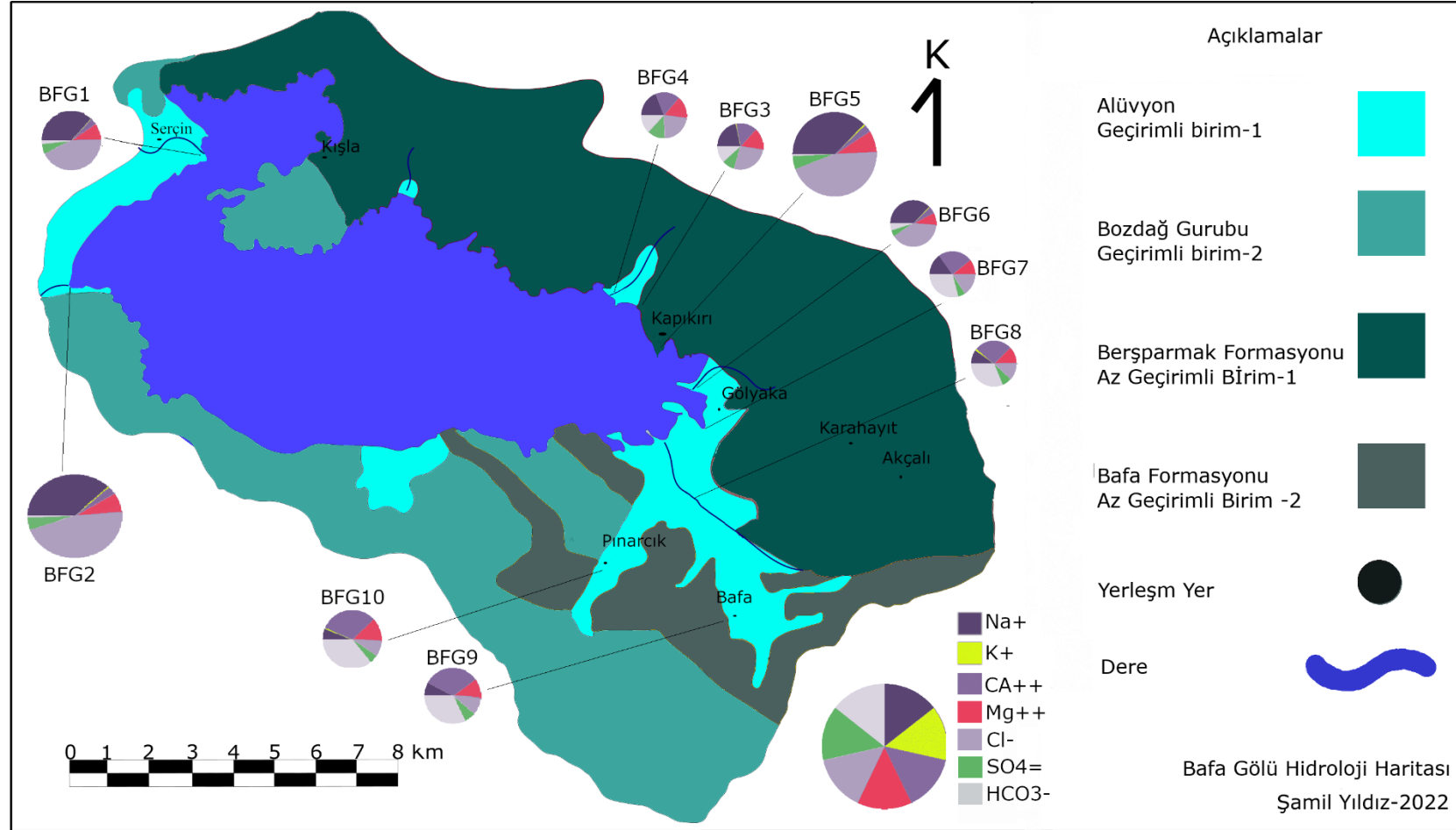
Havzada yüzey ve yeraltısularından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Su örneklerine ait analiz sonuçlarının hata yüzdesi %5'den düşük olup kabul edilebilir değerdedir. Havzada bulunan yüzey ve yeraltısularından alınan örneklerde tespit edilen majör iyon dizilimleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Yüzey ve yeraltı sularının majör iyon içerikleri dairesel diyagramlar üzerinde gösterilerek hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır. Bu diyagramlarda her su örneğine ait toplam iyon konsantrasyonlarına (meq/l) göre belirlenen çap değerleri kullanılmıştır (Şekil 4.3). Serçin civarında kanaldan alınan suların iyon içerikleri daha yüksek olup antropojenik kökenlidir. İyon artışı balık üretim tesisleri kaynaklı atık suların kanala ulaşması ile ilişkilidir. Bu tesislerde 24 °C ile 27 °C sıcaklıklara sahip jeotermal su kullanılmaktadır. Tesislerden sadece birinde arıtma havuzu bulunmaktadır ve bu havuzlarda çökertme yöntemi kullanılmaktadır (Küçüksümbül, 2018).

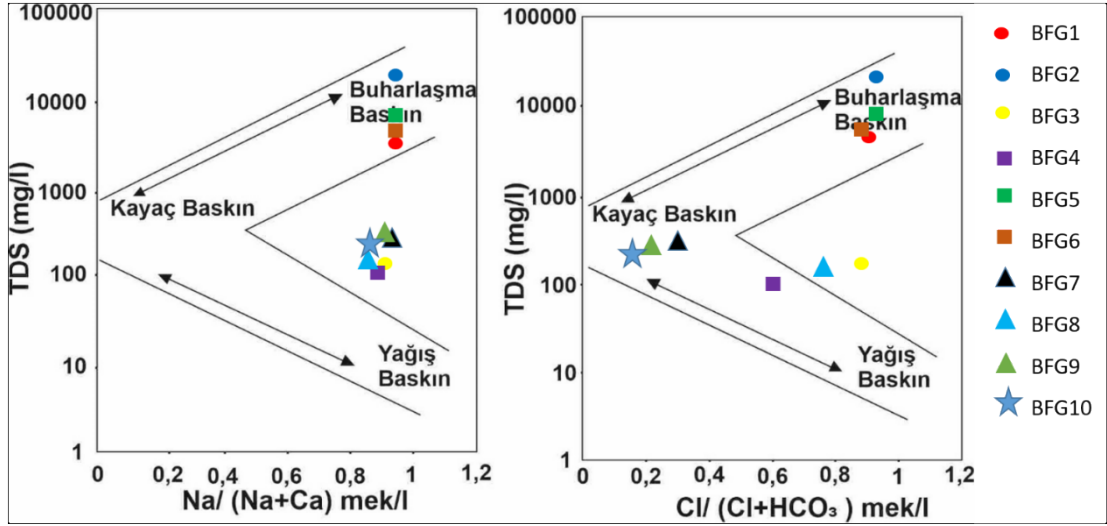
Çizelge 4.4. Su örneklerinde tespit edilen iyon dizilimleri

| Bölge | | Örnek No | Katyon Dizilimi | Anyon Dizilimi |
|----------|-------|--------------|-----------------|---|
| Serçin | Kanal | BFG1 | Na>Mg>Ca>K | Cl>SO ₄ >HCO ₃ >CO ₃ |
| Serçin | Kanal | BFG2 | Na>Mg>Ca>K | Cl>SO ₄ >HCO ₃ >CO ₃ |
| Kapıkırı | Kuyu | BFG3 | Na>Ca>Mg>K | Cl>HCO ₃ >SO ₄ >CO ₃ |
| Kapıkırı | Dere | BFG4 | Na>Ca>Mg>K | Cl>HCO ₃ >SO ₄ >CO ₃ |
| Kapıkırı | Göl | BFG5 | Na>Mg>Ca>K | Cl>SO ₄ >HCO ₃ >CO ₃ |
| Gölyaka | Kanal | BFG6 | Na>Mg>Ca>K | Cl>HCO ₃ >SO ₄ >CO ₃ |
| Gölyaka | Kuyu | BFG7 | Ca>Na>Mg>K | Cl>HCO ₃ >SO ₄ >CO ₃ |
| Bafa | Dere | BFG8 | Ca>Na>Mg>K | HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃ |
| Bafa | Kuyu | BFG9 | Ca>Na>Mg>K | HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃ |
| Pınarcık | Kuyu | BFG10 | Ca>Mg>Na>K | HCO ₃ >Cl>SO ₄ >CO ₃ |

Gibbs (1970) diyagramının ile suda mevcut bazı iyon oranları kullanılarak bileşim ve köken hakkında bilgi verilebilmektedir. Gibbs diyagramında Bafa Gölü ve kanal sularının “*Buharlaştırma Baskın*” bölgede olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). Bu durum yaz aylarının kurak geçmesi nedeniyle yüzey sularının buharlaştırma baskısı altında olduğunu ve tuzluluk artışının da bununla ilişkili olabileceğini göstermektedir. İnceleme alanında diğer su örnekleri diyagramda “*Kayaç Baskın*” bölgede yer almaktadır. Bu açıklamalar, bölgede yüzey ve yeraltı sularının kimyasal yapısını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Hidrojeokimya haritası (Nisan-2022)



Şekil 4.4. Gibbs diyagramı üzerinde su örneklerinin gösterimi

4.3.2.1. Sodyum (Na⁺)

Sodyum bir alkali metal olup yer kabuğunda en fazla bulunan elementtir. Sodyumun doğal kaynakları evaporitler (NaCl gibi), kil mineralleri, feldispatlar, magmatik kayalar ve feldispatoidlerdir. Sularda Na⁺ içeriği etkileşimde olduğu kayaç veya mineral türüne ve miktarına, yeraltı suyu akım hızına ve dolaşım süresine, bozunum süresine, suyun pH'a, doğal kirlenme (deniz suyu girişi vb.) gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Sularda Na⁺ antropojenik etkenlere bağlı olarak da yüksek değerlerde bulunabilir. Bu etkenler kanalizasyon suları, endüstriyel atık sular, tarımsal gübreler vb.dir.

Havzada Bafa, Kapıkırı, Gölyaka ve Pınarcık köylerinde açılan kuyulardan alınan su örneklerinin Na⁺ içerikleri 26.09-96.050 mg/l, dere sularının 21.19-28.53 mg/l, kanal sularının Na⁺ içerikleri 1181-9050 mg/l ve Bafa Gölü suyunun Na⁺ içeriği 4568 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bafa Gölü ve kanal sularındaki yüksek Na⁺ içeriği antropojenik kökenlidir. Bafa Gölü çevresinde bulunan balık üretim çiftliklerinde açılan sondaj kuyularından jeotermal kökenli su alınmaktadır. Balık üretim çiftliklerinde kullanılan atık sular bekletme havuzlarından sonra Dalyan kanalına verilmektedir. Dalyan kanalı Bafa Gölü'nün su döngüsünü sağlarken balık üretim tesislerinin atık sularını da uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Jeotermal kökenli atık suların kanal ve göle ulaşması sonucu bu suların Na⁺ içeriği artmaktadır. Ayrıca, Bafa Gölü'nün

güneyinde bulunan mermerler vasıtasıyla yeraltı akışı ile deniz suyu girişimi olan yeraltı suları göle ulaşmakta ve göl sularının Na^+ içeriğini artırmaktadır.

4.3.2.2. Kalsiyum (Ca^{+2})

Ca^{+2} soğuk yüzey ve yeraltı sularında genel olarak yüksek miktarda bulunmaktadır. Doğal sularda Ca^{+2} varlığı etkileşimde olunan kireçtaşı, mermer gibi karbonatlı kayalar, metamorfik ve magmatik kaya mineralleri veya bazı feldispatların bozunumu ile ilişkilidir. Ca^{+2} içeren mineraller kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jips, amfibol ve piroksen grupları, florit, apatit gibi minerallerdir. Doğal sularda Ca^{+2} çözünürlüğü karbondioksit varlığı ile ilişkilidir. Normal koşullar altında kalsiyum karbonat suda çözünmez. Ancak, karbondioksit mevcut olduğunda, kalsiyum bileşiklerini etkileyen karbonik asit oluşur. Suyun pH'ı çözünme ve çökelme koşullarını doğrudan etkiler.

Ca^{+2} içeriği kuyu sularında 17.75-161.31 mg/l, dere sularında 16.49-68.37, kanal sularında 126.6-612.4 mg/l ve Bafa Gölü'nde 281.9 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Bafa Gölü ve kanal sularındaki yüksek iyon içerikleri kanallara bırakılan atık sular ile ilişkilidir. Kuyu sularında tespit edilen yüksek kalsiyum değeri karbonatlı kayalar ile etkileşimden kaynaklanmaktadır.

4.3.2.3. Magnezyum (Mg^{+2})

Doğal koşullarda sularda magnezyumun dolomit (kalsiyum magnezyum karbonat; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ve manyezit (magnezyum karbonat; MgCO_3) gibi minerallerle ilişkili olarak bulunabilir. Ayrıca, magmatik kaya mineralleri (olivin, hornblend, biyotit, ojit), evaporit ve metamorfik kaya mineralleri de (serpantin, talk, diopsid) doğal sulardaki Mg^{+2} varlığını sağlayabilir. Mg^{+2} gübre, hayvan atıkları, kimya endüstri atık suları vb. faaliyetlere bağlı antropojenik kökenli olarak da sulara karışabilmektedir.

Mg^{+2} içeriği kuyu sularında 11.39-34.95 mg/l, dere sularında 9.62-18.56, kanal sularında 148-981 mg/l ve Bafa Gölü'nde 550 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Mg^{+2} artışı kuyu sularında dolomitik kireçtaşı düzeyleri içeren

Bozdağ grubu ile ilişkilidir. Bafa Gölü ve kanal sularındaki yüksek iyon içerikleri kanallara bırakılan atık sular ile ilişkilidir.

4.3.2.4. Potasyum (K⁺)

K⁺ genel olarak Na⁺ ile bulunan bir element olup sedimanter kayalarda sodyuma göre daha yüksek oranlarda bulunabilir. Ayrıca, magmatik ve metamorfik kaya mineralleri olan feldispat, mika, lösit ve nefelin minerallerinde bol miktarda potasyum bulunur. Soğuk sulara K⁺ düşük oranlardadır. Bazı kil mineralleri de potasyum içerir (Şahinci, 1991). Potasyum nitrat başta olmak üzere bir dizi potasyum bileşiği popüler sentetik gübrelerdir. Ticari olarak uygulanan potasyumun %95'i sentetik gübrelere eklenir. Ayrıca, deniz suyu girişimi de doğal sulara K⁺ içeriğini artırır.

K⁺ içeriği kuyu sularında 1.03-5.90 mg/l, dere sularında 0.93-7.58, kanal sularında 52-338 mg/l ve Bafa Gölü'nde 171 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Kuyu ve dere sularında yüksek K⁺ değerleri tarımsal gübre kullanımı, kanal ve göl sularında ise jeotermal ve endüstriyel kökenli atık sular ile ilişkilidir.

4.3.2.5. Klorür (Cl⁻)

Sularda kaya-su etkileşimine bağlı olarak evaporitler, mikalar, klorapatit, hornblend ve feldispatoyid grubu mineraller kaynaklı Cl⁻ bulunur. Klorür, çoğunlukla tuzun (NaCl) bir bileşeni olarak veya bazı durumlarda potasyum veya kalsiyum ile kombinasyon halinde bulunan doğal olarak oluşan bir elementtir. Sıcak sulara Cl⁻ iyonu soğuk sulara nazaran daha baskındır. Antropojenik kökenli yüksek Cl⁻ değerleri tuzlu su girişi, çöp sızıntı suyu, gübreler, septik sistem atıksuları, yol tuzu depolaması, tuz madenciliği, petrol/doğal gaz sondajı ve buz çözücü maddeler ile ilişkilendirilebilir. Yeraltı suyunda klorür varlığı, toprakların aşınması, tuz içeren jeolojik oluşumlar, tuz spreinin birikmesi, yol buzunun çözülmesi için kullanılan tuz, atık suların ve kıyı bölgelerinden katkılar, tuzlu okyanusun girmesi gibi bir dizi kaynaktan kaynaklanabilir.

Cl⁻ içeriği kuyu sularında 57.54-87.38 mg/l, dere sularında 38.79-55.26, kanal sularında 1949-17318 mg/l ve Bafa Gölü'nde 8502 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Kuyu sularında yüksek Cl⁻ içeriği tarımsal faaliyetler, septik sistem suları ve çöp sızıntı suları, kanal ve göl sularındaki yüksek Cl⁻ ise evsel ve endüstriyel atık sular, jeotermal kökenli sular ve deniz suyu girişimi ile ilişkilendirilebilir.

4.3.2.6. Sülfat (SO₄⁻²)

SO₄⁻² hemen hemen tüm doğal sularda bulunur. Çoğu sülfat bileşiğinin kaynağı, sülfid cevherlerinin oksidasyonu, şeyllerin varlığı veya endüstriyel atıklardır. Yeraltısularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidrit kaynaklıdır. Sodyum, potasyum ve magnezyum sülfatların tümü suda yüksek oranda çözünürken, kalsiyum ve baryum sülfatlar ve birçok ağır metal sülfat daha az çözünür. Fosil yakıtların yanması ve metalurjik yakma işlemlerinde oluşan atmosferik kükürt dioksit, yüzey sularının sülfat içeriğine katkıda bulunabilir (WHO, 2004). Yeraltısuları için antropojenik kökenli sülfat kaynakları kimyasal ilaçlar, yapay gübre, evsel ve endüstriyel atıklardır (Şahinci, 1991).

SO₄⁻² içeriği kuyu sularında 26.85-77.97 mg/l, dere sularında 29.73-42.77, kanal sularında 302.9-2333 mg/l ve Bafa Gölü'nde 1280 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Kuyu sularında SO₄⁻² içeriğindeki artışların zirai mücadele ilaçları ve tarımsal gübre kullanımı ile ilişkili olduğu düşünölmektedir. Bafa Gölü ve kanal sularındaki artışlar ise endüstriyel atık sular, jeotermal kökenli sular ve deniz suyu girişimi ile ilişkilendirilebilir.

4.3.2.7. Karbonat (CO₃⁻²)-Bikarbonat (HCO₃⁻)

Bikarbonat ve karbonat iyonları yüzey ve yeraltı sularında önemli miktarlarda bulunabilmektedir. Sularda bikarbonat ve karbonat iyonu varlığı suyun pH ve CO₂ miktarına bağlı olarak değişmektedir. Düşük pH değerlerinde karbonik asit, orta pH değerlerinde bikarbonat ve yüksek pH değerlerinde karbonat baskın türdür. pH 8.2'nin üzerinde bikarbonat iyonları karbonat ve hidrojen iyonlarına

ayrılır. Bu nedenle pH 8.2'nin üzerinde CO_3^{2-} egemen anyon iken bu değerin altında HCO_3^- egemendir (Şahinci, 1991).

Havzada kuyu sularından alınan yeraltısularının HCO_3^- içerikleri 42.7-494.1 mg/l, dere sularının HCO_3^- içerikleri 38.6-244 mg/l, kanal sularının HCO_3^- değerleri 298.9-408.7 mg/l olarak ölçülmüştür. Kuyu, dere ve kanal sularında CO_3^{2-} içeriği tespit edilmemiştir. Bafa Gölü sularının HCO_3^- içeriği 201.3 mg/l ve CO_3^{2-} içeriği 30 mg/l olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

4.3.3. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması

Yüzey ve yeraltı sularında tespit edilen majör iyon içerikleri dikkate alınarak farklı sınıflandırmalar yapılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar içerisinde en yaygın olarak kullanılanları Schoeller ve Piper diyagramlarıdır.

4.3.3.1. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflandırılması

Schoeller (1955) sınıflamasında suların karbonat-bikarbonat, klorür ve sülfat miktarları kullanılmaktadır (Çizelge 4.5). Havzada karbonat-bikarbonat içerikleri kuyu sularında 0.70-8.10 mek/l arasında, dere sularında 0.63-4.0 mek/l arasında, kanal sularında 4.90-6.7 mek/l arasında ve Bafa Gölü suyunda 3.3 mek/l'dir. Karbonat-bikarbonat içeriklerine göre Bafa Gölü, dere ve kanal sularının '**Olağan karbonatlı sular**', kuyu sularının ise '**Olağan ve Hiper karbonatlı sular**' sınıflarında yer aldığı görülmektedir. Klorür miktarı ise kuyu sularında 1.62-4.33 mek/l, dere sularında 1.09-1.56 mek/l arasında, göl ve kanal sularında ise 54.96-488.38 mek/l arasında değiştiği görülmektedir. Klorür içeriklerine göre kuyu ve dere suları '**Olağan klorürlü sular**', göl ve kanal suları ise '**Orta Klorürlü**' ile '**Klorotalasik sular**' arasında değişmektedir. Sülfat miktarı ise kuyu sularında 0.56-1.62 mek/l, dere sularında 0.62-0.89 mek/l, kanal ve göl sularında 6.31-48.57 mek/l arasında değişmektedir. Sülfat içeriklerine göre dere ve kuyu suları suları '**Olağan sülfatlı sular**', kanal ve göl suları ise '**Oligosülfatlı**' ile '**Sülfatlı sular**' sınıflarında yer almaktadır.

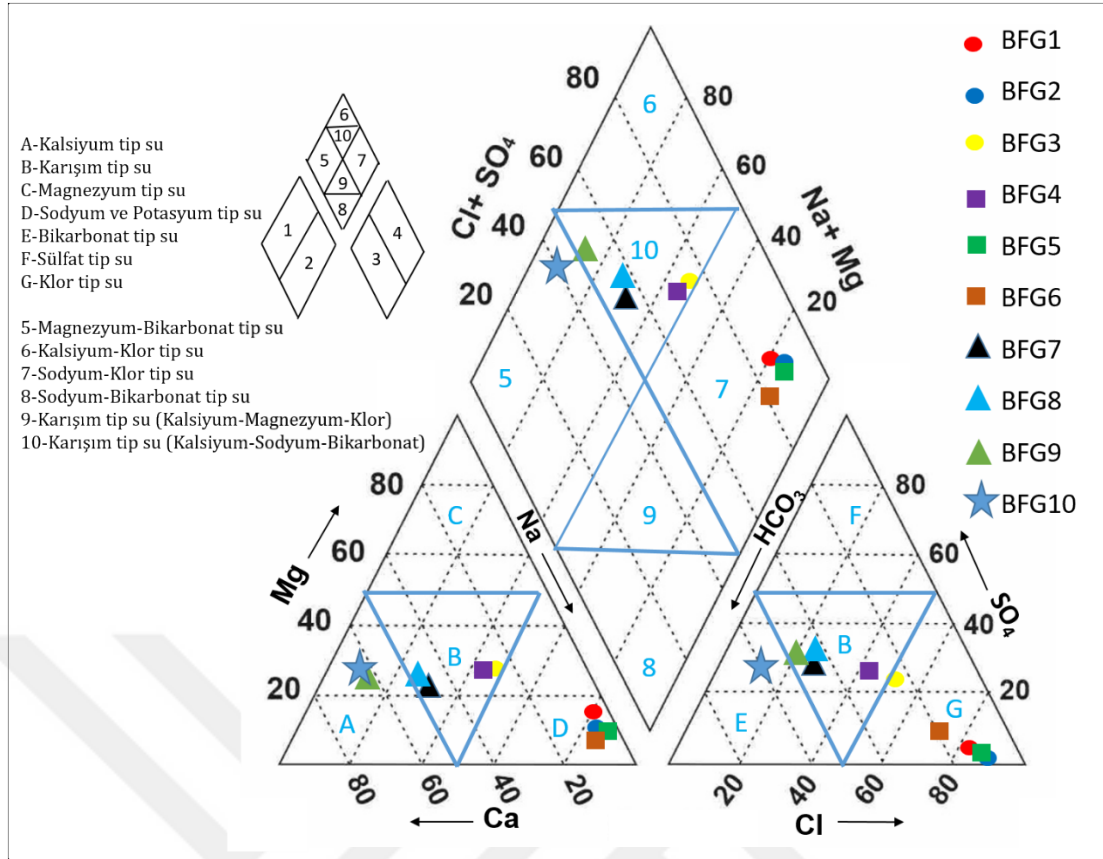
Çizelge 4.5. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması

| Klorür Sınıflaması | | Sülfat Sınıflaması | | Karbonat-Bikarbonat Sınıf. | |
|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Su sınıfı | Klorür miktarı (mek/l) | Su sınıfı | Sülfat miktarı (mek/l) | Su sınıfı | Karbonat-Bikarbonat miktarı (mek/l) |
| Hiperklorürlü Sular | >700 | Hiposülfatlı Sular | >58 | Hiperkarbonatlı Sular | >7 |
| Klorotalasik Sular | 420-700 | Sülfatlı Sular | 24-58 | Olağan Karbonatlı Sular | 2-7 |
| Klorürce zengin sular | 140-120 | Oligosülfatlı Sular | 6-24 | Hipokarbonatlı Sular | <2 |
| Orta Klorürlü Sular | 40-140 | Olağan Sülfatlı Sular | <6 | | |
| Oligoklorürlü Sular | 15-40 | | | | |
| Olağan Klorürlü Sular | <15 | | | | |

4.3.3.2. Piper diyagram ile suların sınıflaması

Hidrojeokimyasal fasiyes, yüzey ve yeraltısularının etkileşim halinde olduğu kayaçlar ve su arasında meydana gelen kimyasal süreçlerin tanımlanmasında kullanılan bir kavramdır (Back, 1966). Suların hidrokimyasal fasiyeslerinin tespitinde genel olarak Piper diyagramı kullanılmaktadır. Piper diyagramına 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. (Şekil 4.5).

Kapıkırı, Gölyaka ve Bafa yerleşim alanları civarındaki kuyu ve dere suları ise karışım sularını temsil etmektedir. Kapıkırı bölgesinde Cl⁻ baskın anyon, Na⁺ baskın katyon iken Bafa ve Gölyaka civarında dere ve kuyu sularında baskın katyon Ca⁺², baskın anyon ise HCO₃⁻'dir. Bu durum bu bölgede suların Bozdağ formasyonuna ait mermerler ile ilişkisini yansıtmaktadır. Pınarcık köyünde açılan kuyudan alınan yeraltısuyu ise CaHCO₃ hidrojeokimyasal fasiyeste olup karbonat akiferini temsil etmektedir.



Şekil 4.5. Su örneklerinin Piper diyagramı üzerinde gösterimi

4.3.3.3. Toplam çözülmüş madde (TDS)

Toplam çözülmüş madde (TDS) parametresi, su içerisinde çözülmüş halde bulunan anyon, katyon, inorganik tuzlar, ağır metaller ve az miktardaki organik madde toplamını yansıtmaktadır. Sularda tespit edilen TDS değeri suların etkileşim halinde buldukları ortam şartları, sıcaklık, etkileşim zamanı ve minerallerin çözünürlük dereceleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. TDS değeri özgül elektriksel iletkenlik değeri ile de ilişkilendirilerek suyun tuzluluğu, iyon yükü ve kirliliğinin değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Suların TDS değerine göre sınıflaması Çizelge 4.6'de verilmiştir. Havzada yeraltısularının TDS değeri 200-530 mg/l arasında olup '**Acımsı su**' sınıfındadır. Dere suları 170-200 mg/l arasında '**Tatlı su**' sınıfında, kanal ve göl suları ise 5290->10000 mg/l arasında '**Çok tuzlu su**' sınıfındadır.

Çizelge 4.6. Suların TDS değerine göre sınıflaması (USSL, 1954)

| TDS (mg/l) | Sınıf |
|------------|--------------|
| <200 | Tatlı Su |
| 200-500 | Acımsı Su |
| 500-1500 | Tuzlu Su |
| >1500 | Çok Tuzlu Su |

4.3.4. Suların azot türevi içerikleri

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 yeraltısuyu kirlenmesi sorunu esas olarak sığ yeraltısuyu 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 (Çizelge 4.7). 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 (Çizelge 4.8). 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 yeraltısuları 3 mg/l'ye kadar içerebilir (WHO, 2017). Sudaki amonyum, olası bakteri, kanalizasyon ve hayvan atıkları kirliliğinin bir göstergesidir. Bafa Gölü havzasında yüzey ve yeraltı sularındaki amonyum içeriği <0.06-1.06 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Yüksek değerler kanal ve dere sularında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. İçme suyu standartları (TS266, 2005; WHO, 2017)

| | TS266 (2005) | WHO (2017) |
|---|--------------|---------------------------------------|
| MİKROBİYOLOJİK PARAMETRELER | | |
| İçme ve kaynak suları için | | |
| Escherichia coli (E.coli) | 0/250 ml | |
| Enterococci | 0/250 ml | |
| Koliform bakteri | 0/250 ml | |
| Pseudomonas aeruginosa | 0/250 ml | |
| Koloni sayısı, 22°C'ta | 20/ml | |
| Koloni sayısı, 37°C'ta | 5/ml | |
| KİMYASAL PARAMETRELER | | |
| | | Maks. izin veril. Kons. (mg/l) |
| Akrilamid | 0.1 µg/l | |
| Antimon | 5.0 µg/l | 0.02 |
| Arsenik | 10 µg/l | 0.01 |
| Baryum | -- | 1.3 |
| Benzen | 1.0 µg/l | 0.01 |
| Bor | 1.0 mg/l | 2.4 |
| Bromat | 10 µg/l | 0.01 |
| Kadmiyum | 5.0 µg/l | 0.003 |
| Krom | 50 µg/l | 0.05 |
| Bakır | 2 mg/l | 2.0 |
| Siyanür | 50 µg/l | - |
| Florür | 1.5 mg/l | 1.5 |
| Kurşun | 10 µg/l | 0.01 |
| Civa | 1.0 µg/l | 0.006 |
| Nikel | 20 µg/l | 0.07 |
| Nitrat | 50 mg/l | 50 ¹ |
| Nitrit | 0.50 mg/l | 3 |
| Toplam pestisit^a | 0.50 µg/l | |
| Polisiklik aromatik hidrokarbonlar | 0.10 µg/l | |
| Pestisitler | 0.10 µg/l | |
| Selenyum | 10 µg/l | 0.04 |
| Tetrakloreten ve | 10 µg/l | |
| Trihalometanlar-toplam | 100 µg/l | |
| Vinil Klorür | 0.5 µg/l | |
| Endirin | | 0.0006 |
| Lindan | | 0.002 |
| Metoksiklorür | | 0.02 |
| 2,4-D | | 0.03 |
| 2,4,5-T | | 0.009 |
| Stiren | | 0.04 |
| Etilbenzen | | 0.3 |
| DDT | | 0.001 |

Çizelge 4.7.'in devamı

| GÖSTERGE PARAMETRELERİ | | |
|--|--|---|
| | | Maks. izin veril. Kons. (mg/l) |
| Toplam çöz. katı madde | | 500 (2006 yılı) |
| Alüminyum | 200 µg/l | |
| Amonyum | 0.50 mg/l | |
| Demir | 200 µg/l | 0.3 (2006 yılı) |
| Mangan | 50 µg/l | 0.4 (2006 yılı) |
| Sülfat | 250 mg/l | 250 (2006 yılı) |
| Sodyum | 200 mg/l | |
| Klorür | 250 mg/l | 250 (2006 yılı) |
| C.perfringens (sporlular dahil) | 0 sayı/100 ml | |
| Renk | Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok | |
| Bulanıklık | Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok | |
| Tat | Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim yok | |
| pH | ≤ 9,5-6,5≤ | |
| Koliform bakteri | 0 sayı/100 ml | 1 sayı/100 ml |
| E.iletkenlik, 20°C'de | 2500 µS/cm | |
| Oksitlenebilirlik | 5 mg/l O ₂ | |
| Radyoaktivite | | Maks. izin veril. aktivite (pCi/l) |
| Radyum 226 | | 1 Bq/l |
| Stronsiyum 90 | | 10 Bq/l |
| Uranyum-238 | | 10 Bq/l |
| Tritiyum | 100 Bq/l | 10000 Bq/l |
| Uranyum-234 | | 1 Bq/l |
| Toryum-230 | | 1 Bq/l |
| Iyot-131 | | 10 Bq/l |
| Toplam gösterge dozu | 0.10 mSv/yıl | |

Çizelge 4.8. İnceleme alanında yüzey ve yeraltı sularının ağır metal ve azot türevleri

| Bölge | | Örne k 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 | 63.7 2 | <0.0 1 | 0.77 | <0.0 5 | <60 0 | <300 0 | 182 3 | 87 | | <30 0 | <30 0 | <80 | <1000 0 | 257 | <30 0 | <400 0 | <30 0 |
| Serçin | Kanal | BFG2 | 90.4 6 | <0.0 1 | 0.09 | <0.0 5 | <60 0 | <300 0 | 416 4 | <80 | | <30 0 | <30 0 | <80 | <1000 0 | 509 | <30 0 | <400 0 | <30 0 |
| Kapıkırı | Kuyu | BFG3 | 3.94 | 0.04 | <0.0 6 | <0.0 5 | 43 | 3.3 | 34 | 30.86 | 186 | 2.99 | 1.4 | 2.7 | 4293 | 382.9 7 | 3.6 | 0.4 | 142 |
| Kapıkırı | Dere | BFG4 | 20.05 | <0.0 1 | 0.09 | <0.0 5 | 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 | <0.0 1 | 0.07 | <0.0 5 | <60 0 | <300 0 | 252 9 | <80 | | <30 0 | <30 0 | <80 | <1000 0 | <50 | <30 0 | <400 0 | <30 0 |
| Gölyaka | Kanal | BFG6 | 5.23 | <0.0 1 | 1.06 | 0.47 | <60 0 | <300 0 | 851 | 83 | | <30 0 | <30 0 | <80 | <1000 0 | 456 | <30 0 | <400 0 | <30 0 |
| Gölyaka | Kuyu | BFG7 | 5.84 | 0.09 | 0.06 | <0.0 5 | 6 | 8.5 | 40 | 67.33 | 506 | 0.14 | 1.0 | 1.4 | 9096 | 155.4 8 | <0.2 | 0.9 | 19.3 |
| Bafa | Dere | BFG8 | 10.49 | 0.21 | 0.61 | <0.0 5 | 23 | 11.3 | 58 | 31.26 | 137 | 1.01 | 0.8 | 1.2 | 862 | 248.3 5 | 1.7 | <0.2 | 3.5 |
| Bafa | Kuyu | BFG9 | 47.07 | <0.0 1 | 0.07 | <0.0 5 | 22 | 8.7 | 35 | 103.9 6 | 296 | 0.13 | 2.6 | 1.3 | 37 | 2.09 | 0.3 | 0.3 | 48.2 |
| Pınarcık | Kuyu | BFG10 | 72.2 6 | <0.0 1 | 0.10 | <0.0 5 | 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 | 200 0 | 200 | 50 | 20 | 10 | -- |
| WHO, 2017 | | | 50 | 3 | -- | -- | -- | 10 | 2400 | 1300 | -- | -- | 50 | 200 0 | -- | -- | 70 | 10 | -- |

4.3.5. Suların ağır metal içerikleri

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 Çizelge 4.8’de verilmiştir. Kanal ve Bafa Gölü sularında bütün iz element içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Alüminyum (Al): Yerkabuğunda % 8.6 oranında bulunan alüminyum çözünürlüğünün düşük olması nedeni ile yüzey ve yeraltısularında düşük oranlarda gözlenir. PH 5-9 arasında olan yeraltısularının Al içeriği 1 mg/l’den azdır (Şahinci, 1991). Alüminyum, feldispatlar, feldispatoidler, mikalar ve birçok amfibol gibi birçok silikat magmatik kaya mineralinde önemli miktarlarda bulunur (Hem, 1985). Alüminyumun suda az bulunması nedeniyle maden yatakları ve suyun kökeni hakkında bilgi vermesi açısından önemli bir elementtir. TS266 (2005) içme suyu standardında Al için verilen sınır değer 5 µg/l, dir. Havzada Bafa Gölü ve kanal sularında Al içeriği <600 µg/l ile oldukça yüksek değerdedir. Bu Al artışı antropojenik kökenli olup endüstriyel tesis atık su kaynaklıdır. Kuyu sularının Al içeriği 3.3-22 µg/l ve dere sularının 14-23 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8).

Arsenik (As): Arsenik elementi doğada 200’den fazla mineralde bulunmaktadır. As kumtaşları, bakırlı şeyl, fosfatlı kayalar, Ni-Cu sülfid yatakları, hidrotermal damarlar ve volkanik gazlarda bulunabilir (Şahinci, 1991). Element olan arsenik suda çözünmezken inorganik arsenik tuzları (arsenat, arsenit), pH ve ortam şartlarına bağlı olarak çözünebilir. Kaya-su etkileşimine bağlı olarak yeraltısularında As içeriği kayaların ayrışma süreci, etkileşim zamanı, reaktif organik madde varlığı gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Mukherjee vd., 2009). Arsenik, pestisitlerin bir bileşeni olarak kullanılmıştır ve bu nedenle atık bertarafı veya tarımsal drenaj yoluyla akarsulara veya yeraltı sularına karışabilir. Arsenik volkanik gazlarda da bulunur ve jeotermal suyun ortak bir bileşenidir.

TS266 (2005) ve WHO (2017) içme suyu standartlarında As için verilen limit değeri 10 µg/l'dir. Bafa Gölü ve kanal sularında As içeriği <3000 µg/l olarak belirlenmiştir. Yüksek As içeriği antropojenik etkenler ile ilişkilidir. Kuyu sularının As içeriği 3.3-8.7 µg/l ve dere sularının 4.5-11.3 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Kuyu ve dere sularındaki As artışları tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve zirai mücadele ilaçları ile ilişkili olup antropojenik kökenlidir.

Bor (B): Metamorfik ve magmatik kayalarda B bor silikatları veya iz element olarak bulunur. Magmatik kayalarda en yaygın bor minerali turmalindir. Turmalin minerali tipik olarak granitik kayalar ve pegmatitlerin bir bileşenidir. Bununla birlikte bor, biyotit ve amfibollerin yardımcı bir bileşeni olarak da bulunabilir. Yeraltı suyunda B kaya-su etkileşimi ve jeotermal sular kaynağıdır. Yüzeysel sularında ise tarımsal yüzeysel akışlar, endüstriyel tesis suları ve çürüyen bitki kaynaklı olabilir (Uygun ve Çetin, 2004). İçme suları için B içeriğinin 1000 µg/l (TS266, 2005) ve 2400 µg/l'nin (WHO, 2017) altında olması istenmektedir. Havzada kuyudan alınan yeraltısularının B içeriği 34-40 µg /l, dere sularının 25-58 µg /l, göl ve kanal sularının ise 1823-4164 µg /l arasındadır (Çizelge 4.8). Göl ve kanal sularındaki B artışı balık üretme çiftliklerinde kullanılan jeotermal kökenli atık suların ve diğer endüstriyel tesis atık suları kaynağıdır.

Krom (Cr): Ultramafik magmatik kayaların krom içeriği diğer kaya türlerine göre daha yüksektir. Kromit ($FeCr_2O_4$), ultramafik kayaların üzerinde bulunan lateritik tortuda konsantre olabilir. Kromit, hava koşullarına karşı oldukça dayanıklıdır (Hem, 1985). Doğada oksitlenmiş ortamlarda Cr^{+3} ve Cr^{+6} olarak bulunur. Cr^{+6} tuzları kanserojen olmasına karşın Cr^{+3} daha az toksiktir. Cr, pH değeri düşük doğal sulara eser miktarda bulunabilir (Şahinci, 1991). Krom elementi için belirlenmiş sınır değeri TS266 (2005) ve WHO (2017) 50 µg/l'dir. Kuyu ve dere sularında Cr içeriğinin 0.6-2.6 µg/l, kanal ve göl sularında ise <300 µg/l olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). Yüksek Cr içeriği endüstriyel atık sular ile ilişkilidir.

Demir (Fe): Demir, Dünya'nın dış kabuğunda en bol bulunan ikinci metalik element olmasına rağmen, suda bulunan konsantrasyonlar genellikle küçüktür. Demirin kimyasal davranışı ve sudaki çözünürlüğü, olduğu sistemdeki

oksidasyon yoğunluğuna büyük ölçüde bağlıdır; pH da güçlü bir etkiye sahiptir. Demir içeriği nispeten yüksek olan magmatik kaya mineralleri arasında piroksenler, amfiboller, biyotit, manyetit ve özellikle nezosilikat olivin bulunur (Hem, 1985). Fe için TS266 (2005) standardında belirlenen sınır değer 200 µg/l'dir. Havzada kuyu sularında belirlenen Fe değer 37-9096 µg/l ve dere sularının 39-862 µg/l'dir (Çizelge 4.8). Bafa Gölü ve kanal sularından alınan örneklerin Fe içerikleri ise oldukça yüksek olup <10000 µg/l olarak tespit edilmiştir. Aşırı yüksek Fe içerikleri jeotermal kökenli su etkileşimi, depolama suyu sızıntıları, endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetler vb. faktörler ile ilişkilidir.

Mangan (Mn): Mangan, en bol bulunan metalik elementlerden biri olmasına rağmen, yer kabuğunda demirin sadece ellide biri kadar manganez bulunmaktadır. Manganez, yaygın silikat kaya minerallerinin hiçbirinin temel bir bileşeni değildir, ancak silikat yapılarında demir, magnezyum veya kalsiyumun yerini alabilir. Çok sayıda metamorfik ve magmatik mineral küçük bir bileşen olarak iki değerli manganez içermektedir. Mangan bazalt, piroksen, amfibol ve olivinin bileşeni olarak bulunabilir. Mangan karbonat ve sülfat içeriği yüksek olan sularda (1000 mg/l) MnSO₄ veya MnHCO₃ bileşikleri şeklindedir (Hem, 1985). Yeraltısuyunda Fe ve Mn bileşenleri genel olarak kaya-su etkileşimine bağlı olarak bulunur. Demir içeriği yüksek olan sularda mangan içeriği de genel olarak yüksektir. TS266 (2005) standardında Mn için sınır değer 50 µg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Havzada kuyulardan alınan yeraltısularının Mn içeriği 2.09-382.97 µg/l arasında tespit edilmiştir. Alüvyon akiferde açılmış olan bu kuyuların derinlikleri düşüktür. Bölgede yeraltısularındaki yüksek Mn içeriklerinin antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Dere sularının Mn içeriği 9.08-248.35 µg/l, kanal ve göl sularının Mn içeriği 257-509 µg/l arasındadır (Çizelge 4.8). Yüksek Mn içerikleri jeotermal kökenli su etkileşimi, depolama suyu sızıntıları, endüstriyel atıklar, tarımsal faaliyetler vb. faktörler ile ilişkilidir.

Nikel (Ni): Nikel, arduvaz, kumtaşı, kil mineralleri ve bazaltta bulunabilir. Ana nikel kaynağı pentlandittir. Element tortularda birikir ve çeşitli biyolojik döngülerin bir parçasıdır. Nikel önemli bir endüstriyel metaldir. Paslanmaz çelik ve diğer korozyona dayanıklı alaşımlarda yaygın olarak ve diğer

amaçlar için daha az ölçüde kullanılır. Nikel bileşikleri tarımda da uygulanmaktadır. Fosfatlı gübreler eser miktarda nikel içerir. Ni için belirlenen sınır değer TS266 (2005)'de 20 µg/l, WHO (2017)'de 70 µg/l'dir (Çizelge 4.7). Kuyu ve dere sularının Ni içeriği 0.2-3.6 µg/l, göl ve kanal sularının Ni içeriği ise <300 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8). Ni artışı endüstriyel atık su kaynaklıdır.

Kurşun (Pb): Kurşun magmatik ve tortul kayalarda farklı oranlarda bulunabilmektedir. Başlıca kurşun içeren mineral galendir (PbS). Tortul kayalarda K-feldispat ve mika minerallerinin bozunması Pb iyonunun ana kaynağıdır (Şahinci, 1991). Doğada kurşun kirliliği araçların fabrika ve konutlarda yakılan kömürler ile egsoz gazlarından kaynaklanabilmektedir. Kurşun içeren su borularının kullanımı kaynaklı sağlık sorunları tespit edilmiştir. Ayrıca kurşun, solunum sistemi veya besinlere hava, su ve toprak aracılığı ile de karışabilmektedir (Kahvecioğlu vd., 2004). Kurşun için TS266 (2005) ve WHO (2017) içme suyu standartlarında belirlenmiş olan sınır değer 10 µg/l'dir (Çizelge 4.7). Havzada kuyu ve dere sularında tespit edilen Pb içeriği >0.2-0.9 µg/l arasındadır. Kanal ve göl sularındaki Pb içeriği ise >4000 µg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.8). Yüksek Pb içeriği antropojenik kaynaklıdır.

4.3.6. Suların kullanım özellikleri

Havzada yüzey ve yeraltı suları içme ve sulama suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde suların bu amaçlara yönelik kullanılabilirlik özellikleri diyagramlar ve standartlar ile değerlendirilmiştir.

4.3.6.1. Suların içilebilirlik özellikleri

Su kaynaklarının içme suyu amacı ile kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ülkeler standartlar oluşturmuştur. Ancak, bu standart değerler genel olarak Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenmiş olan değerler ile uyum sağlamaktadır.

Ülkemizde halen “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” (Resmî Gazete Tarihi: 17.02.2005 Resmî Gazete Sayısı: 25730) yürürlüktedir. 2005 yılında resmi gazetede yayınlanan TS266 içme suyu standartları yönetmeliğın ilk halinde su kaynakları Sınıf 1 (Kaynak (memba) suları), Sınıf 2 (Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular) olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştı. Yönetmelikte belirlenen sınır değerler tanımlanan bu sınıflara göre verilmişti. Ancak, değişikliklerle TS266’da verilen su sınıfları kaldırılmıştır. 7/3/2013 tarihinde 28580 sayılı Resmi Gazete’de yapılan değişiklikle bazı parametreler ve sınır değerleri yeniden düzenlenmiştir.

Havzada kanal ve göl sularından alınan örneklerde pek çok parametrenin yüksek değerlerde olduğu TS266 (2005) ve WHO (2006, 2017) standart değerleri aştığı görülmektedir. Kapıkırı ve Gölyaka köyleri civarındaki kuyulardan alınan sularda Fe ve Mn içeriklerinin, Pınarcık köyünde kuyudan alınan sularda nitrat içeriklerinin içme suyu standartlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. Bafa köyü çevresinden alınan dere sularının ise NH₄, As, Fe ve Mn içerikleri yüksektir (Çizelge 4.8).

4.3.6.2. Suların sulamada kullanım özellikleri

Havzada kuyu, dere ve kanal suları sulama suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yüzey ve yeraltı sularının 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.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında SAR ve Elektriksel İletkenlik (EC) değerlerine göre 16 ayrı kategori tanımlanmıştır. Bu kategoriler tuzluluğa göre C1, C2, C3, C4 ve sodyum miktarına göre S1, S2, S3, S4 alt sınıflarından oluşturulmuştur (Çizelge 4.9). 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 4.x).

Çizelge 4.9. ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı sınıflama kategorileri (Şahinci, 1991)

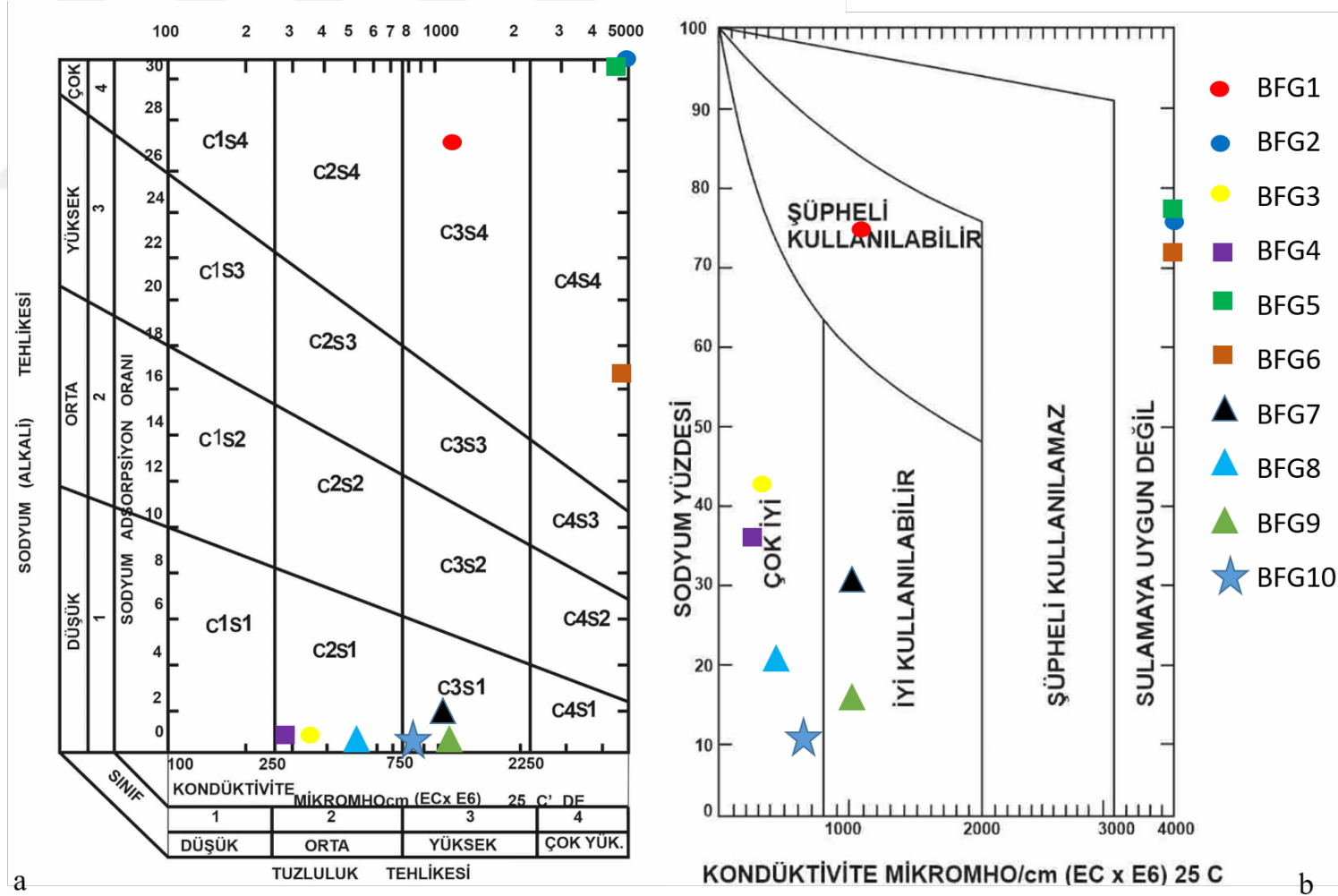
| | |
|------------|---|
| C 1 | Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir |
| C 2 | Orta tuzlulukta su. Orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilir. |
| C 3 | Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir. |
| C 4 | Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetişebilir. |
| S1 | Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun |
| S2 | Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun. |
| S3 | Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir |
| S4 | Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz |

Wilcox diyagramı

Wilcox diyagramında suların EC ve % Na değerleri kullanılarak sınıflama yapılmaktadır. 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 (Şekil 4.6).

Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değeri suların Na⁺, Ca⁺² ve Mg⁺² içeriklerine bağlı olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. Sodyum miktarı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmakta olup bu etkileşim SAR değeri ile ilişkilendirilmektedir (Richards, 1954; Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Suların SAR değerine bağlı olarak sulama suyu kalite değerlendirmeleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.6a. ABD Tuzluluk Laboratuvarı b. Wilcox diyagramı

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{++} + rMg^{++})/2}} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.10. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması
(Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

| SAR | Su sınıfı |
|--------|---------------------------------|
| <10 | Çok iyi özellikte sulama suları |
| 10- 18 | İyi özellikte sulama suları |
| 18- 26 | Orta özellikte sulama suları |
| > 26 | Kötü özellikte sulama suları |

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 (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler

| Örne k No | SAR | %Na | PI | MT | KR |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| BFG1 | 27.0 0 | 73.6 1 | 76.3 6 | 72.8 7 | 2.97 |
| BFG2 | 52.7 6 | 76.6 5 | 78.4 0 | 72.5 3 | 3.54 |
| BFG3 | 1.38 | 41.5 9 | 68.5 9 | 51.4 0 | 0.72 |
| BFG4 | 1.03 | 36.0 0 | 67.7 1 | 49.0 2 | 0.57 |
| BFG5 | 36.4 8 | 75.7 2 | 77.7 1 | 76.2 8 | 3.35 |
| BFG6 | 16.8 9 | 72.1 5 | 77.2 3 | 65.8 3 | 2.78 |
| BFG7 | 1.87 | 29.9 3 | 50.8 0 | 30.1 7 | 0.43 |
| BFG8 | 0.79 | 19.4 7 | 52.4 4 | 30.9 1 | 0.25 |
| BFG9 | 0.81 | 14.7 6 | 37.0 7 | 26.1 6 | 0.17 |
| BFG10 | 0.54 | 11.3 7 | 38.4 5 | 29.4 7 | 0.13 |

Sodyum İyon Yüzdesi (%Na)

Na⁺ içeriği yüksek olan suların sulama suyu olarak kullanılması durumunda toprak yüzeyinde sert bir tabaka oluşur ve toprağın geçirgenliği azalmış olur. Dolayısıyla bitki kökleri havalanamaz ve bitkiler için zehirli bir ortam oluşur. %Na değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\%Na = \frac{rNa^+}{rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++} + rK^+} \times 100 \quad (4.2)$$

Havzada kanal ve Bafa Gölü sularının %Na değeri 72.15-76.75 arasında dere sularının 19.47-36 ve kuyu sularının %Na değeri 11.37-41.59 arasında değişmektedir (Çizelge 4.11).

Geçirgenlik İndeksi (PI)

Geçirgenlik indisi (PI) değeri suların Na⁺, Ca⁺², Mg⁺² ve HCO₃⁻ değerleri kullanılarak ampirik formül ile hesaplanan ve sulama suyu sınıflamasında kullanılan bir parametredir (Doneen, 1964; WHO, 1989). Bu parametre sulama suyuna uygunluk değerlendirmelerinde Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989) tarafından yapılan çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$PI = 100 \times [(rNa^+ + r\sqrt{HCO_3^-}) / (rNa^+ + rCa^{+2} + rMg^{+2})] \quad (4.3)$$

PI değerine göre üç ayrı sınıf tanımlanmıştır. PI değeri <25 olan sular I. sınıf, %25-75 arasında olanlar içi II. sınıf ve >%75 olanlar ise III. sınıf sular olarak tanımlanmaktadır. 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 (Çizelge 4.11) ve II. sınıf suları yansıtır.

Magnezyum Tehlikesi (MT)

MT değeri suların Mg⁺² ve Ca⁺² değerlerine göre aşağıdaki formül ile hesaplanan bir değerdir. Szabolcs ve Darab (1964) tarafından önerilen bu değer sulama suyu değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. 50 mek/l'den büyük MT

değerlerinin sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirtilmektedir. 50 mek/l'den küçük MT değerine sahip olan sular ise sulamaya elverişli sulardır (Szabolcs ve Darab, 1964).

$$MT=100x [rMg^{+2} / (rMg^{+2} + rCa^{+2})] \quad (4.4)$$

Kapıkırı ve Bafa dere suları ile Gölyaka, Bafa ve Pınarcık kuyu suları 50 mek/l'nin altında olup magnezyum tehlikesi açısından sulamaya uygun sulardır (Çizelge 4.11). Kanal ve göl suları ise sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir.

Kelly Oranı (KR)

KR oranı suların Mg^{+2} , Ca^{+2} ve Na^{+} içeriklerine göre aşağıda verilen ve Kelly (1963) tarafından önerilen formül ile hesaplanmaktadır. KR değeri 1'in altında ise sulama suyuna uygun sular olarak tanımlanmaktadır. 1'den büyük değerleri suda yüksek miktarda sodyum olduğunu göstermektedir ve sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir.

$$KR=rNa^{+}/(rCa^{+2}+rMg^{+2}) \quad (4.5)$$

Havzada kanal ve Bafa Gölü sularının KR değerinin 1'den büyük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.11). Diğer dere ve kuyu sularını KR değeri 1'den küçük olup sulamaya elverişlidir.

4.3.7. Suların 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 “*Kitaiçi 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 yeraltısuları 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 çözünmüş madde, Cl, SO₄, NO₃, Na, Cd, Pb, As, Cr, Ni, Fe ve B parametreleri için **IV. su kalite** sınıfındadır (Çizelge 4.12).

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 çözünmüş 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 çözünmüş 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.

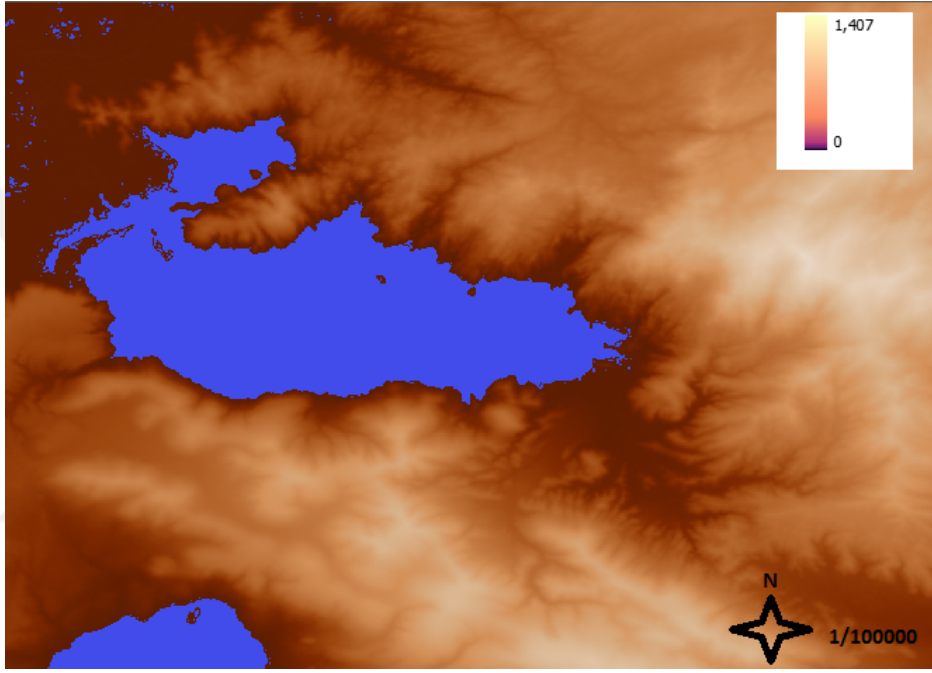
Gölyaka, Bafa ve Kapıkırı köyleri civarında sığ kuyulardan alınan yeraltısuları ise sıcaklık, toplam çözünmüş katı madde, NH₄, Na, Hg, Cd, Pb, As, Cu, Cr, Ni, Zn, Ba ve Al parametreleri açısından **I. su kalite** sınıfındadır. Sülfat ve Mn parametreleri açısından **I. ve II. su kalite** değerleri tespit 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. Yeraltısularının pH değeri **IV. su kalite** sınıfındadır.

Çizelge 4.12. Su kalite sınıfları

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

4.4. Hidroloji

Hidrolojik sistemin doğru tanımlanması sürdürülebilir yönetim planlarının gerçekleştirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Hidrolojik döngü elemanları yağış, akış, buharlaşma ve sızma olup bu parametreler bütün havzaların özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, bütün havzalarda havzanın özelliklerine bağlı olarak hidroloji araştırmaları yapılmalıdır (Şekil 4.7)



Şekil 4.7 Bafa Gölü Havsazı Hidroloji Haritası

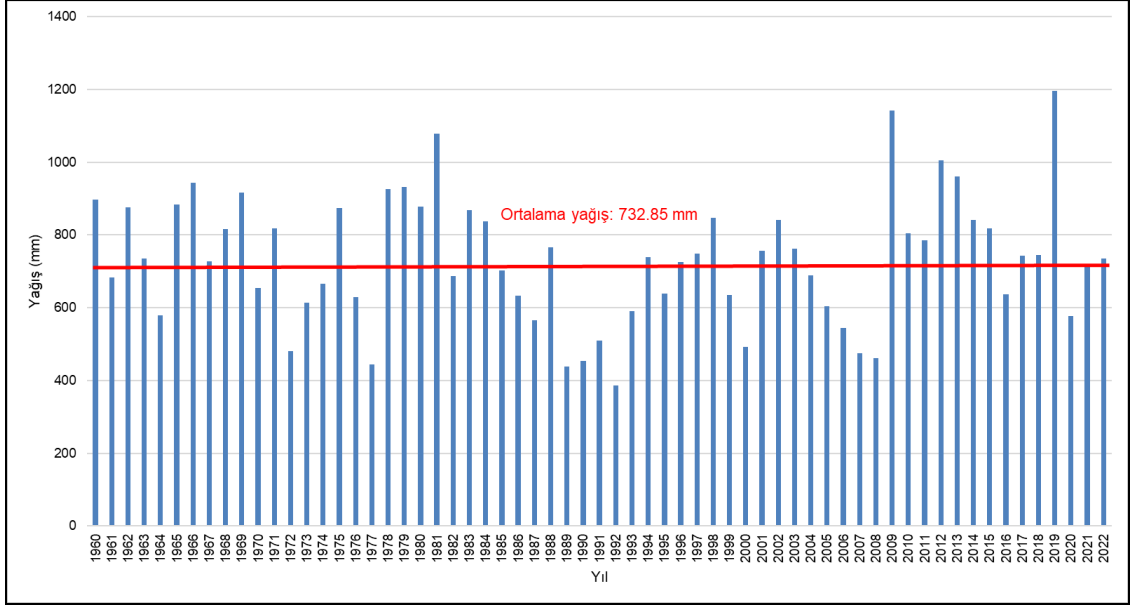
4.4.1. Yağış

Yağış bütün su kaynaklarının en önemli beslenme elemanıdır. 07-006 nolu Bafa (Çamiçi) meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bafa (Çamiçi) meteoroloji gözlem istasyonunun kotu 110 m'dir. İstasyon DSİ tarafından 1966 yılında açılmış ve 2014 yılına kadar çalışmıştır. 1966-2014 arasında ortalama yıllık yağış 867.3 mm'dir. Havzada ayrıca, Milas ve Söke Devlet Meteoroloji İstasyonları (DMİ) bulunmaktadır. Bu istasyonlara ait elde edilebilen veriler Çizelge 4.13'de sunulmuştur. Milas 17884 nolu DMİ istasyonunda 1960-2022 yılları arası 63 yıllık ortalama yağış değeri 732.85 mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.8). Söke 17881 nolu DMİ'de 2005-2022 yılları arasındaki 18 yıllık ortalama yağış değeri 845.93 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.9). Söke 17291 nolu DMİ'de ise 2006-2021 yılları arasında 16 yıllık ortalama yağış değeri 605.41 mm'dir (Şekil 4.10).

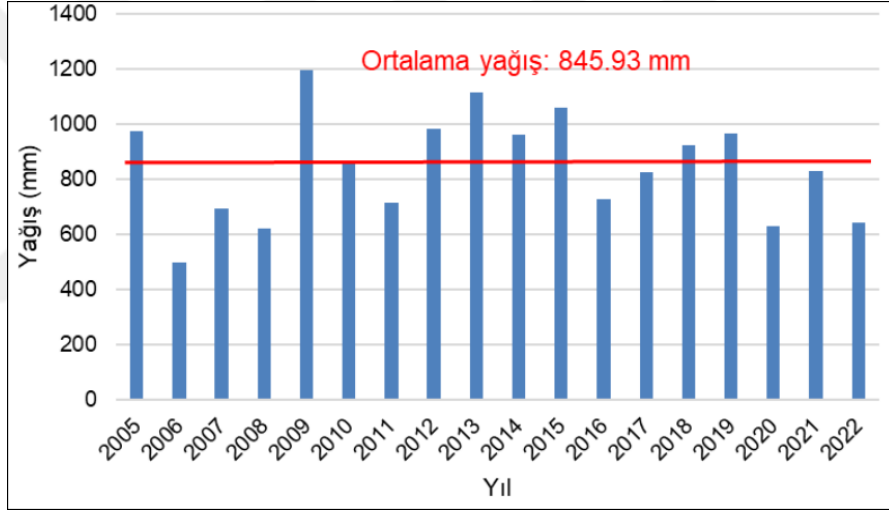
Uzun yıllar verisi olan Milas DMİ için eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır. Eklenik sapma grafiği ölçüm yılları boyunca yağış trendinde gözlenen değişiklikleri yansıtmaktadır. Milas DMİ'ye ait eklenik sapma grafiğinde 1960-1977 yılları arası kararlı dönem, 1977-1984 yılları arası yağışlı dönem, 1984-2008 yılları arası kurak dönem ve 2008-2022 yılları arası yağışlı dönem gözlenmiştir (Şekil 4.11).

Çizelge 4.13. Milas ve Söke DMİ'na ait yağış verileri

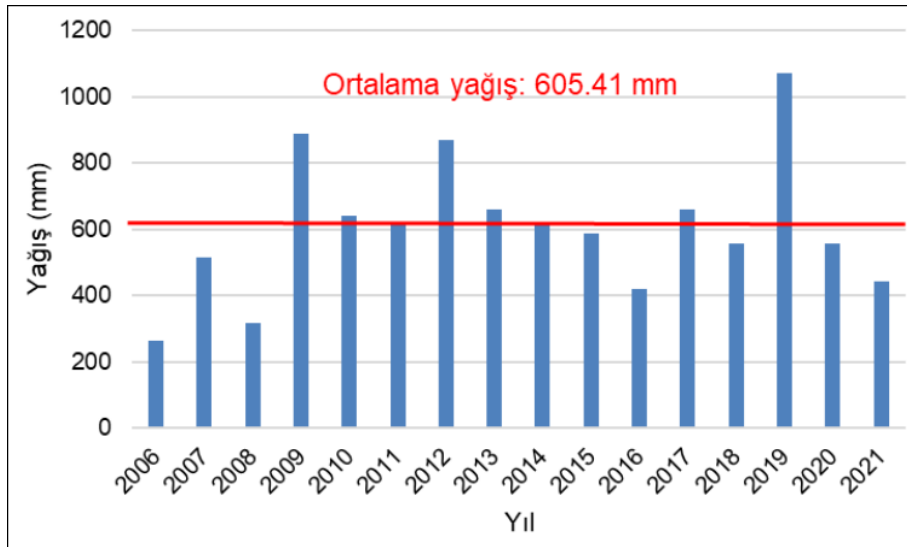
| Milas DMİ (No: 17884) | | | | Söke DMİ (No:17881) | Söke DMİ (No:17291) |
|-----------------------|---------------|------|---------------|------------------------|------------------------|
| Yıl | Yağış (mm) | Yıl | Yağış (mm) | Yağış (mm) | Yağış (mm) |
| 1960 | 897,3 | 1991 | 509,1 | | |
| 1961 | 683,5 | 1992 | 387,2 | | |
| 1962 | 876,7 | 1993 | 590,9 | | |
| 1963 | 735,9 | 1994 | 739,4 | | |
| 1964 | 579 | 1995 | 638,3 | | |
| 1965 | 883,8 | 1996 | 724,9 | | |
| 1966 | 942,6 | 1997 | 749,6 | | |
| 1967 | 728,3 | 1998 | 848,1 | | |
| 1968 | 815,6 | 1999 | 634,9 | | |
| 1969 | 916,6 | 2000 | 491,9 | | |
| 1970 | 654,1 | 2001 | 755,7 | | |
| 1971 | 818,1 | 2002 | 842,3 | | |
| 1972 | 479,9 | 2003 | 762,7 | | |
| 1973 | 613,9 | 2004 | 689,7 | | |
| 1974 | 665,8 | 2005 | 604 | 974,6 | |
| 1975 | 874,8 | 2006 | 544,8 | 498,6 | 265,3 |
| 1976 | 629,7 | 2007 | 475 | 694 | 515,1 |
| 1977 | 445 | 2008 | 462,4 | 619 | 318,7 |
| 1978 | 927 | 2009 | 1141,4 | 1196,4 | 888,9 |
| 1979 | 932 | 2010 | 804,8 | 867 | 639,9 |
| 1980 | 877,6 | 2011 | 784,6 | 712,8 | 620,5 |
| 1981 | 1079,3 | 2012 | 1005,8 | 984,6 | 871 |
| 1982 | 686,3 | 2013 | 960,4 | 1114,6 | 658,2 |
| 1983 | 868,5 | 2014 | 841,9 | 961,5 | 614,8 |
| 1984 | 838,3 | 2015 | 818,1 | 1059,9 | 586 |
| 1985 | 702,1 | 2016 | 637,1 | 728,8 | 420 |
| 1986 | 633 | 2017 | 743,2 | 825,6 | 661,8 |
| 1987 | 565,7 | 2018 | 744,8 | 923,4 | 556,7 |
| 1988 | 765,7 | 2019 | 1196,6 | 965,2 | 1071,6 |
| 1989 | 437,8 | 2020 | 577,6 | 630,6 | 555,4 |
| 1990 | 454,6 | 2021 | 719,8 | 829,4 | 442,8 |
| | | 2022 | 734,6 | 640,8 | |



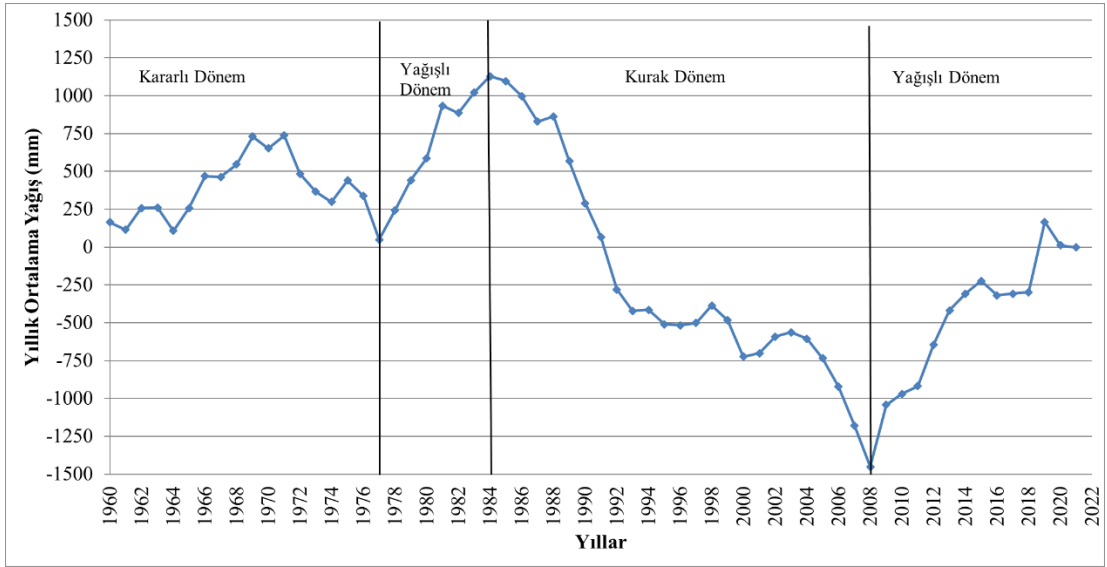
Şekil 4.8. Milas DMİ yıllık toplam yağış verileri



Şekil 4.9. Söke-17881 nolu DMİ yıllık toplam yağış verileri



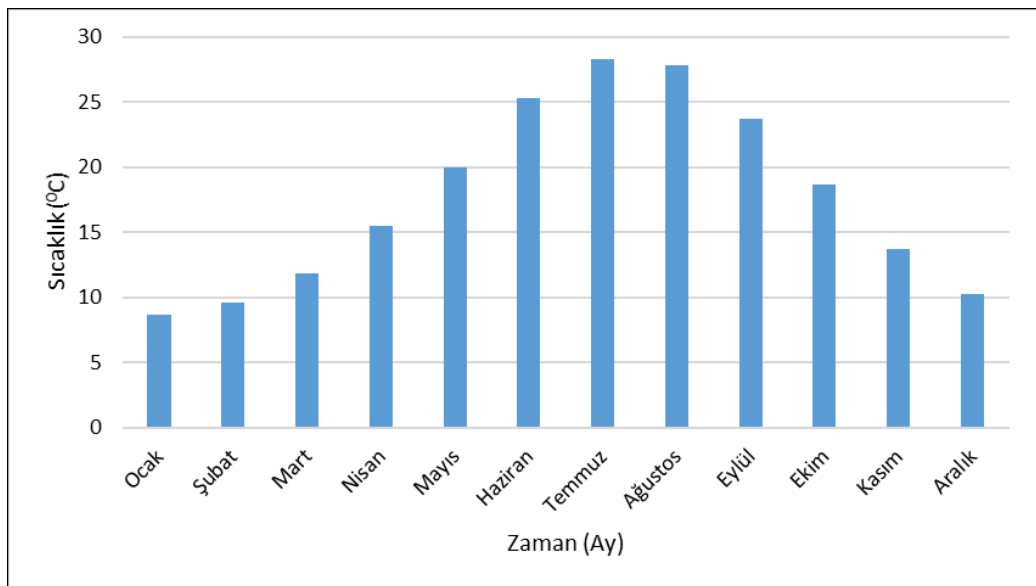
Şekil 4.10. Söke-17291 nolu DMİ yıllık toplam yağış verileri



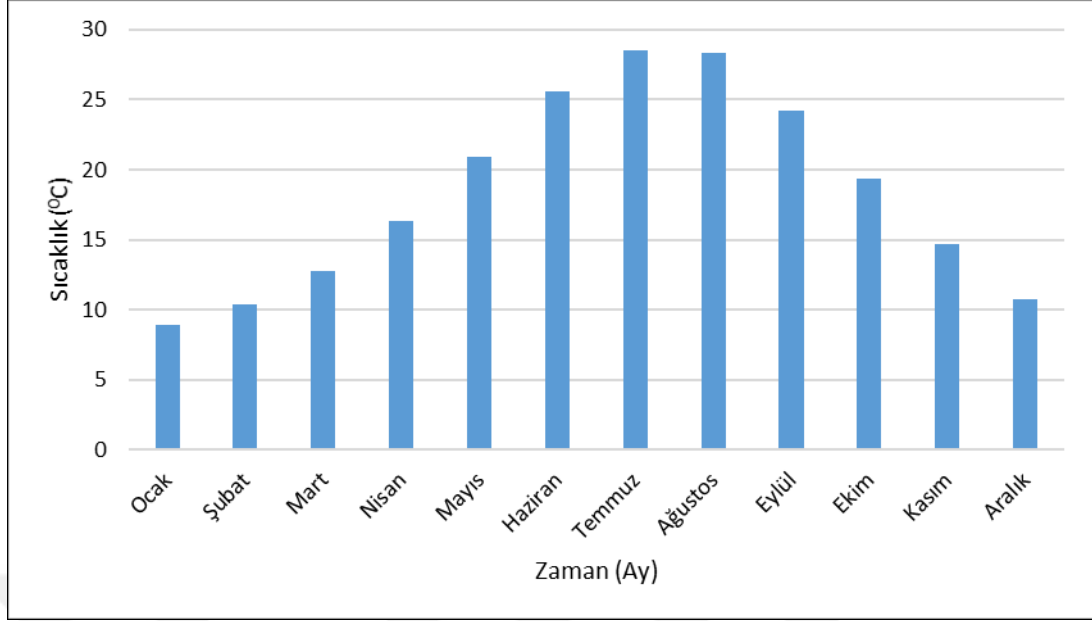
Şekil 4.11. Milas DMİ eklenik sapma grafiği

4.4.2. Sıcaklık

Milas DMİ’de uzun yıllar sıcaklık ortalamalarına bakıldığında en sıcak ayların 28.3 °C ile Temmuz ve 27.8 °C ile Ağustos olduğu görülmektedir (Şekil 4.12). En soğuk aylar ise Ocak ve Şubat aylarıdır. Bu istasyonda ölçülen uzun yıllar ortalama yıllık sıcaklık değeri 17.7 °C’dır. Söke-17881 nolu DMİ’de en sıcak aylar 28.5 °C ile Temmuz ve 28.3 °C ile Ağustos’tur. Bu istasyon için en soğuk ay 8.9 °C ile Ocak ayı ve ortalama yıllık sıcaklık ise 18.4 °C olarak ölçülmüştür (Şekil 4.13).



Şekil 4.12. Milas DMİ aylık ortalama sıcaklık değerleri (1960-2022)



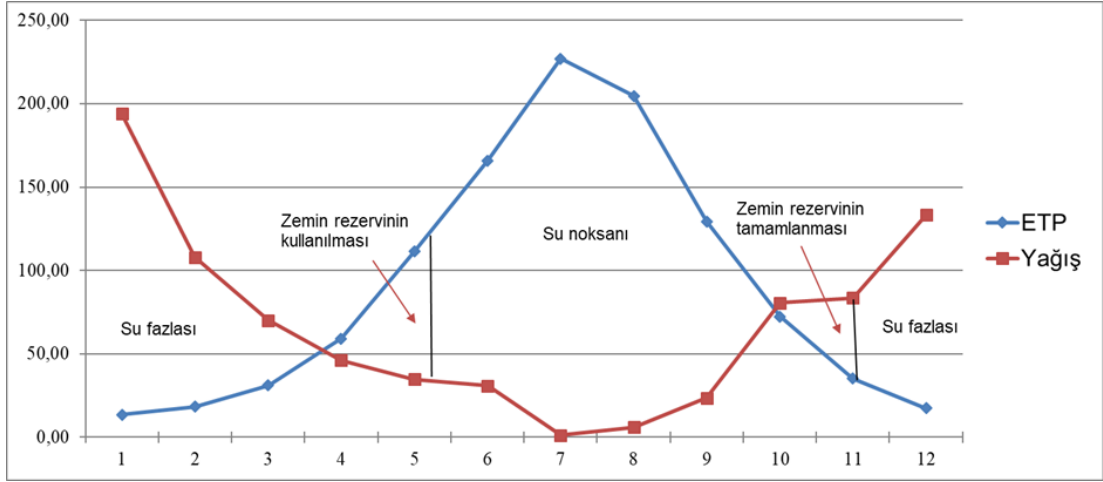
Şekil 4.13. Söke-17881 nolu DMİ aylık ortalama sıcaklık değerleri (2005-2022)

4.4.3. Buharlaşma

Bafa Gölü havzasında buharlaşma kayıplarının tespiti için Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. 1960-2022 yılları arasında ölçüm verileri kullanılarak Milas DMİ'na ait Thornthwaite su bilançosu verilerine göre, toplam ortalama yıllık yağış miktarı (P) 812.11 mm, potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 1085.59 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 431.68 mm olarak hesaplanmıştır. Milas istasyonunda yağış miktarları Nisan ayı sonuna kadar Etp değerlerinden fazladır (Şekil 4.14). Bu nedenle, bu dönemde Etp, Etr'e eşittir ve gerçekleşen buharlaşmalardan sonra geriye kalan miktar su fazlasıdır. Mayıs-Eylül ayları arasında Etp yağış miktarından fazla olup su noksanı oluşmaktadır ve Mayıs ayından itibaren 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervinden kullanılmaya başlanmıştır. Kasım ayından itibaren zemin rezervi tamamlanmaya başlamıştır (Çizelge 4.14; Şekil 4.14).

Çizelge 4.14. Milas DMİ Thornthwaite buharlaşma- terleme bilançosu

| Yalvaç | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Toplam |
|-----------------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|----------|--------|-------|-------|--------|---------|
| Aylık Sıcaklık Ort. | 9,8 | 11,37 | 13,25 | 17,28 | 22,11 | 26,5 | 30,43 | 29,9 | 25,65 | 20,13 | 15,33 | 11,2 | |
| Aylık Sıcaklık İndisi | 2,77 | 3,47 | 4,37 | 6,54 | 9,49 | 12,49 | 15,40 | 14,99 | 11,89 | 8,24 | 5,45 | 3,39 | |
| Etp (mm) | 13,61 | 18,31 | 31,21 | 59,06 | 111,37 | 165,85 | 227,01 | 204,59 | 129,46 | 72,35 | 35,26 | 17,51 | 1085,59 |
| Yağış (mm) | 194,02 | 107,95 | 70,08 | 46,10 | 34,70 | 30,80 | 1,26 | 6,14 | 23,57 | 80,54 | 83,61 | 133,34 | 812,11 |
| Zemin Rezervi (mm) | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 87,05 | 10,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,19 | 48,35 | 115,83 | |
| Etr (mm) | 13,61 | 18,31 | 31,21 | 59,06 | 111,37 | 42,03 | 1,26 | 6,14 | 23,57 | 72,35 | 35,26 | 17,51 | 431,68 |
| Zemin Rezerv Değişimi (mm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -12,95 | -76,67 | -10,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8,19 | 40,16 | 75,67 | |
| Su Noksanı (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 123,82 | 225,75 | 198,4519 | 105,89 | 0 | 0 | 0 | 653,91 |
| Su Fazlası (mm) | 180,4 | 89,65 | 38,87 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 308,92 |
| Enlem Düzeltme Kat. | 0,86 | 0,84 | 1,03 | 1,10 | 1,22 | 1,23 | 1,25 | 1,17 | 1,03 | 0,97 | 0,85 | 0,83 | |



Şekil 4.14. Milas DMİ yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği

4.4.4. Akış

Bafa Gölü havzasında gölü besleyen mevsimlik özellikte çok sayıda dere bulunmaktadır. Bunların en önemlileri Karcalık ve Ulusluk Deresi'dir. Bafa Gölü'nün besleniminde büyük önemi olan Büyük Menderes Nehri'nin suları, doğal durumda Bafa Gölü'ne giriş-çıkış yapmakta iken son yıllarda yapılan seddeler ve su alma yapıları ile günümüzde kontrollü olarak verilmekte ve göl seviyesi +2 m kotunda tutulmaya çalışılmaktadır. Gölde su seviyesinin düştüğü ve Büyük Menderes Nehri'nden göle su alındığı tarihlerde iki kanal üzerinde akım ölçümleri yapılmaktadır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Bafa Gölü Serçin ve Dalyan giriş akım ölçümleri (DSİ 21. Bölge Md.)

| Akarsu | Büyük Menderes | Akarsu | Büyük Menderes |
|---------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|
| İst. yeri | Bafa Gölü | İst. yeri | Bafa Gölü |
| | Serçin Girişi | | Dalyan Girişi |
| Koordinatlar | X:534350, Y:4155090 | Koordinatlar | X:531863, Y:4151606 |
| Tarih | Q(m³/s) | Tarih | Q(m³/s) |
| 21.11.2008 | 5,50 | 27.12.2012 | 10,52 |
| 25.11.2008 | 14,82 | 18.01.2013 | 1,2 |
| 28.11.2008 | 16,96 | 11.02.2013 | 0,89 |
| 02.12.2008 | 11,38 | 22.03.2013 | 2,83 |
| 05.12.2008 | 9,88 | 22.04.2013 | 10,3 |
| 16.12.2008 | 10,36 | 04.11.2013 | 5,03 |
| 19.12.2008 | 10,24 | 09.12.2013 | 4,78 |
| 22.12.2008 | 19,11 | 14.01.2014 | 0,568 |
| 26.12.2008 | 11,97 | 03.02.2014 | 0,756 |
| 30.12.2008 | 19,64 | 07.03.2014 | 0,986 |
| 30.09.2009 | 2,84 | 15.04.2014 | 1,23 |
| 16.09.2009 | 12,65 | 22.05.2014 | 1,53 |
| 15.10.2009 | 1,45 | 29.05.2014 | 1,26 |
| 22.10.2009 | 12,77 | 23.06.2014 | 1,86 |
| 30.10.2009 | 12,29 | 22.07.2014 | 1,13 |
| 06.11.2009 | 17,94 | 25.08.2015 | 1,38 |
| 12.11.2009 | 16,11 | 30.06.2016 | 0,89 |
| 20.11.2009 | 5,37 | 28.06.2017 | 0,52 |
| 24.11.2009 | 11,82 | 21.07.2017 | 1,20 |
| 04.12.2009 | 6,14 | 22.08.2017 | 1,41 |
| 11.12.2009 | 8,99 | 27.09.2017 | 2,93 |
| 08.11.2010 | 8,10 | 26.10.2017 | 1,90 |
| 06.01.2010 | 8,12 | 22.11.2017 | 5,66 |
| 25.03.2011 | 3,78 | 24.09.2018 | 1,06 |
| 21.07.2011 | 11,19 | 17.10.2018 | 0,91 |
| 27.05.2011 | 5,26 | 24.12.2018 | 1,15 |
| 07.06.2011 | 2,26 | 11.03.2019 | 10,6 |
| 04.07.2012 | 4,77 | 07.10.2019 | 2,89 |
| 14.12.2012 | 6,67 | | |
| 11.02.2013 | 0,43 | | |
| 22.05.2014 | 4,06 | | |
| 29.05.2014 | 3,16 | | |
| 06.11.2014 | 3,63 | | |
| 21.05.2015 | 12,5 | | |
| 21.10.2015 | 7,74 | | |
| 27.11.2015 | 6,95 | | |
| 25.05.2016 | 4,45 | | |
| 31.08.2016 | 2,85 | | |
| 27.09.2017 | 5,89 | | |
| 26.10.2017 | 7,42 | | |
| 22.11.2017 | 15,10 | | |
| 11.03.2019 | 15,0 | | |
| 07.10.2019 | 4,14 | | |

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bafa Gölü Havzasının jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemelerinin yapıldığı çalışmada tespit edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Bafa Gölü, Büyük Menderes Nehri deltasının güneydoğu kesiminde, Büyük Menderes'in taşıdığı alüvyonlar ile birlikte kıydan uzaklaşmış doğal bir set gölüdür. A Sınıfı Sulak Alan statüsünde olan göl 08.07.1994 tarihinde Tabiat Parkı ilan edilerek koruma altına alınmıştır. Bafa Gölü havzasında gölü besleyen mevsimlik özellikte çok sayıda dere bulunmaktadır. Bunların en önemlileri Karcalık ve Ulusluk Deresi'dir. Bafa Gölü'nü besleyen en önemli akarsu olan Büyük Menderes Nehri'nin suları, doğal durumda Bafa Gölü'ne giriş-çıkış yapmakta iken son yıllarda yapılan seddeler ve su alma yapıları ile günümüzde kontrol edilmektedir. Havzada mevsimlik özellikte kaynak boşalmaları bulunmaktadır. Bu boşalmalar Menderes Masifi'nin kaya birimlerinden ve Neojen yaşlı birimlerden gerçekleşmekte olup düşük debilidir. Bafa Gölü güneydoğusundaki mermer birimleri bünyesindeki yeraltısuyu göl tabanında göle boşalmaktadır. Gölü besleyen nehir sularının azaltılması, kirletilmesi ve sazlıkların kuruması gibi sebeplerle göl sularının kimyasal yapısı değişmiş ve gölün ekolojik dengesi bozulmuştur.

Bafa Gölü Havzası'nda Menderes Masifi'ne ait litolojiler ile Kuvaterner yaşlı çökeller bulunmaktadır. Menderes Masifi'nin temelini oluşturan Beşparmak formasyonu gözlü gnays, granitik gnays, bantlı gnays ve migmatitten yapılıdır. Bu formasyonu Bafa Gölü'nün kuzeyinde geniş alanlarda yüzylemektedir. Gözlü gnayslar, sarımsı renkli, sert kuvarsitlerle ara katmanlıdır. Kuvarsitlerde seyrek de olsa dereceli ve çapraz katmanlanma yapıları oldukça belirgindir. Kuvars ve muskovit içeriklerine göre saf kuvarsit ile kuvars-şist arasında değişim gösteren bu kayalar Paleozoik serinin en alt düzeylerini oluşturmaktadır. Kuvarsitler yanal ve düşey yönde kısa mesafelerde fillit ve kuvarsça zengin şistlere geçişler göstermektedir. Bafa Gölü çevresinde gözlenen Bafa formasyonu pelitik ve bazik-ultrabazik kayalardan oluşmaktadır. Bozdağ grubu karbonatları Menderes masifi örtü kayalarının üst düzeylerini oluşturmakta olup mermer, dolomit, dolomitik kireçtaşı ve rekristalize kireçtaşı

seviyelerinden oluşmaktadır. Havzada Pınarcık, Bafa ve Serçin köyleri civarında yüzeyleyen alüvyon Büyük ve Küçük Menderes nehirlerinin taşıdığı ve çökeltiği birikintilerden oluşmaktadır.

Havzada yeraltısuyu bulunduran en önemli birimler alüvyon ve kireçtaşı-mermer birimleridir. Havzada Pınarcık, Bafa ve Serçin köyleri civarında geniş alanlarda gözlenen alüvyon içerisinde bulunan çakıl ve kum seviyeleri yeraltısuyu içermektedir. Bu birim içerisinde açılmış sondaj kuyularından içme ve sulama suyu amaçlı faydalanılmaktadır. Pınarcık, Bafa, Gölyaka ve Kapıkırı köyleri civarında açılan kuyularda alüvyon akiferden yeraltısuyu alınmaktadır. Alüvyon akiferde yeraltısuyu akım yönü Bafa Gölü'ne doğru olup Bafa Gölü'nü beslemektedir. Bozdağ grubuna ait mermerler Bafa Gölü'nün güney ve güneydoğusunda geniş alanlarda yüzeylemekte ve denize kadar devam etmektedir. Bu bölgede mermerler bünyelerindeki nispeten tuzlu suyu yeraltı akışı ile göle ulaştırmaktadır. Bu mermerlerde bulunan yeraltısuyu Bafa Gölü'ne göl su kotu altından boşalmakta olup görünür bir kaynak mevcut değildir. Beşparmak formasyonuna ait şist ve gnays birimleri ile şist, kuvarsit, kalkşist, serpantin, amfibolit vb. metamorfitlelerden oluşan Bafa formasyonu az geçirimli birimler olarak ayırtlanmıştır.

Havzada Bafa Gölü, göle ulaşan kanal ve dere suları ile kuyu sularından örnekler alınmıştır. 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. 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 yeraltısuyu ise CaHCO_3 hidrojeokimyasal fasiyeste olup karbonat akiferini temsil etmektedir.

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. Yüzeysel 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. 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.

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.

Milas 17884 nolu DMİ istasyonunda 1960-2022 yılları arası 63 yıllık ortalama yağış değeri 732.85 mm olarak tespit edilmiştir. Milas DMİ'ye ait eklenik sapma grafiğinde 1960-1977 yıllar arası kararlı dönem, 1977-1984 yılları arası yağışlı dönem, 1984-2008 yılları arası kurak dönem ve 2008-2022 yılları arası yağışlı dönem gözlenmiştir. Milas DMİ'na ait Thornthwaite denestirmeli su bilançosu verilerine göre, potansiyel buharlaşma değeri 1085.59 mm ve gerçek buharlaşma değeri 431.68 mm olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- 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, 199s, İstanbul.
- Akkök, R., 1981. Menderes Masifinin Gnayslarında ve Şistlerinde Metamorfizma Koşulları, Alaşehir – Manisa. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 11-20.
- 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.
- Algül, F., Beyhan, M., 2020. Concentrations and Sources of Heavy Metals in Shallow Sediments in Lake Bafa, Turkey. Scientific Reports, 10, 11782.
- Anonim, 2021. Bafa Alt Bölümü Nihai Hidrojeolojik Etüt Raporu. Tarım Ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 21. Bölge Müdürlüğü, 153s, Aydın.
- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.
- 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.
- Brinkmann, R., 1966, Geotektonische Gliederung von West Anatolien: M.T.A. Dergisi, 66, 61-74.
- Bulkan, Ö., Ediş, B. T., Çağatay, M.N., 2019. Geo-archives of a Coastal Lacustrine Eco-system: Lake Bafa (Mediterranean Sea). In Sedimentary Processes- Examples from Asia, Turkey and Nigeria. IntechOpen.,
- 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.
- Doneen, L.D., 1964. Water Quality for Agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.

- Dora, O.Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin Metamorfik Tarihçesi ve Jeotektonik Konumu. Türkiye Jeoloji Bülteni, C35: 1-14.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, S., Oberhänsli, R., Akal, C., 2005. Menderes Masifi Çine Asması'ndeki Koçarlı- Bafa Yatağan Karacasu arasında uzanan gnays/şist dokanağının niteliği: Jeolojik, tektonik, petrografik ve jeokronolojik bir yaklaşım. YDABÇAG - 101 Y 132 nolu Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi, 197s.
- 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. ve Savaşçın, Y., 1986. Söke - Selçuk - Kuşadası Dolaylarının Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrokimyasal Özellikleri, MTA Dergisi, 105-106, 15-38.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltısuları Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi yayınları, İstanbul.
- 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.
- Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. In: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. U.S. Geological Survey, Alexandria, VA22304, USA, 263p.
- 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.
- Kaaden, G., Metz, K., 1954, Datça- Muğla- Dalaman Çayı Arasındaki Bölgenin Jeolojisi: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 5/1-2, 71-170.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-I. Metalurji Dergisi, 136, 47-53.
- Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation Water Soil Science, 95(4), 355-391
- 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.
- Mukherjee, A., Bhattacharya, P., Shi, F., Fryar, A.E., Mukherjee, A.B., Xie, Z.M., Sracek, O., Jacks, G., Bundschuh, J., 2009. Chemical Evolution in the High

Arsenic Groundwater of the Huhhot Basin (Inner Mongolia, PR China) and its Difference from the Western Bengal Basin (India). *Applied Geochemistry*, 24, 1835–1851.

Özel, E., Yaşar, D., Eftelioğlu, M., Günay, C., Sert, İ., 2011. Bafa Gölü'nün Jeolojisi-Jeofiziği ve Oşinografisinin Araştırılması Projesi Sonuç Raporu. TÜBİTAK Proje no:110Y002

Öztürk, A., Koçyiğit, A., 1983, Menderes Grubu Kayalarının Temel-Örtü İlişkisine Yapısal Bir Yaklaşım (Selimiye-Muğla), *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 99-106.

Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline Alkaline Soils*, US Department of Agriculture, HandBook 60 (160).

Schuiling, R.D., 1962, Türkiye'nin Güneybatısındaki Menderes Migmatit Kompleksinin Petrolojisi, Yaşı ve Yapısı Hakkında: *Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg.*, 58, 71-85, Ankara.

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.

Tomay, A., 2020. Bafa Gölü Su Kalitesinin Bentik Makroomurgasız Fauna Çeşitliliği Kullanılarak Tahmini, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 57 s., Aydın.

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.

USSL, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA, Handbook, vol. 60, p. 147.

Uygan, D. ve Çetin, Y., 2004. Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Eylül 2004 Eskişehir.

Yılgor, S., 2012. Bafa Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 75 s., İzmir

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, 2004. Sulfate in Drinking-water, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/SDE/WSH/03.04/114

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

