

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KESİKKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ (ANKARA VE KIRŞEHİR) CİVARINDAKİ
TARIM VE MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN YÜZEY VE YERALTI SUYU
KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Olgu YURTTAŞ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KESİKKÖPRÜ BARAJ GÖLÜ (ANKARA VE KIRŞEHİR) CİVARINDAKİ TARIM VE MADENCİLİK FAALİYETLERİNİN YÜZEY VE YERALTI SUYU KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Olgu YURTTAŞ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şebnem ARSLAN

Bu çalışmada, Kesikköprü Barajı civarındaki yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi yapılmış, tarım ve madencilik faaliyetlerinin su kaynaklarına etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bölgenin jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik yapısı araştırılmış olup, hidrojeokimyasal karakteristiğinin ortaya konması için gerekli bulgular ortaya konmuştur. Bu doğrultuda bölgeyi tanımak için yapılan ön arazi çalışmaları sonrasında tespit edilmiş 21 örnek noktasından yağışlı ve kurak dönemde örnek alınmıştır. Elektriksel İletkenlik, pH, sıcaklık, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli ve çözünmüş oksijen içerikleri yerinde tespit edilmiş, major anyon, katyon ve iz elementler ile kararlı izotop içerik analizleri ise akredite edilmiş laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar PhreeqC ve ArcMap programında irdelenmiş, gerekli veri ve haritalara dönüştürülmüştür. Analiz sonuçları ise farklı diyagramlar yardımıyla yorumlanmıştır. Major iyon analiz sonuçlarına göre suların kimyası su-kayaç etkileşim ile şekillenmiş; bazı örneklerde kimyasal evrim evaporitlerin çözünmesi şeklinde gerçekleşirken, bazı örneklerdeki kimyasal form katyon değişimi ile tuzlanma sonucu kazanılmıştır. Örnekler genel olarak dolomit, kalsit ve aragonit minerallerine doygundur. Suların kararlı izotop içeriklerine göre bazı örnekler (özellikle maden gölleri ve Kesikköprü Baraj Gölü) Ankara Meteorik Su Doğrusu'ndan sapma göstermektedir ve buharlaşma etkisi altındadır. Analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan buharlaşma doğrusu eğimi bölgedeki bağıl nem ile uyumludur. Bazı örnek noktalarında sodyum, sülfat, nitrat ve arsenik Dünya Sağlık Örgütü ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'e göre verilen sınır değerlerin üzerindedir. Bu örneklerin içme suyu amaçlı kullanımının sakıncalı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar bölgedeki kirliliğin tarımsal ve jeojenik kaynaklı olduğunu göstermiştir.

Ağustos 2023, 129 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Kesikköprü Barajı, hidrojeokimya, kararlı izotop, yeraltı suyu, su kirliliği

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AGRICULTURAL AND MINING ACTIVITIES ON SURFACE WATER AND GROUNDWATER QUALITY IN THE VICINITY OF KESİKKÖPRÜ DAM (ANKARA AND KIRSEHIR)

Olgu YURTTAŞ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Department

Advisor: Assoc. Dr. Sebnem ARSLAN

In this study, hydrogeochemical and isotopic analyses of surface water and groundwater resources located around Kesikköprü Dam were carried out. The primary aim of this study is to determine the effects of agricultural and mining activities on water resources in the study area. For that purpose, the geological, hydrological and hydrogeological structure of the region have been investigated, and the necessary findings have been presented to reveal the hydrogeochemical characteristics of the water resources in the area. Hereby, samples were taken during the wet and dry periods from 21 sample points, which were identified after the preliminary field studies. The physico-chemical parameters (electrical conductivity, pH, temperature, oxidation-reduction potential and dissolved oxygen contents) of the water samples were determined in situ, and major ion and trace element analyses and stable isotope content determinations were carried out in accredited laboratories. The results obtained were analyzed by using PhreeqC and ArcMap programs and those results were converted into necessary data and maps. The results of analysis were interpreted with the help of different diagrams. According to the results of the major ion analysis, the chemistry of the waters was shaped by the water-rock interaction, in some samples the chemical evolution took place as a result of the dissolution of the evaporites, while the existing chemical form in some other samples was acquired as a result of salinization by cation exchange. The samples are generally saturated with dolomite, calcite and aragonite minerals. According to the stable isotope contents of the waters, some samples (especially mine pit lakes and Kesikköprü Dam Lake) deviate from the Ankara Meteoric Water Line and are under the effect of evaporation. The slope of the evaporation line is compatible with the relative humidity in the region. At some sampling points, sodium, sulfate, nitrate and arsenic are above the limit values given by the World Health Organization and Turkish Regulations on Water Intended for Human Consumption. It has been determined that the use of some of the samples for drinking water purposes is undesirable. Studies have shown that the pollution in the region is mainly of agricultural and geogenic origin.

August 2023, 129 pages

Keywords: Kesikköprü Dam, hydrogeochemistry, stable isotope, groundwater, water pollution

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, ‘Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğü (BAP)’ tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: FHD-2022-2440). Tez çalışmalarımı destekleyen Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri Koordinatörlüğü’ne saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalar kapsamında zorlu arazi şartlarında yanımda olan, çalışmaların her aşamasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ayrıca maddi-manevi desteğini her daim gösteren Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi değerli hocam Doç. Dr. Şebnem ARSLAN’a teşekkürlerimi sunuyorum. Bu süreçte birçok fedakârlıkta bulunan sevgili aileme ve hep yanımda olan arkadaşlarıma en derin duygularıyla teşekkür ediyorum. Ayrıca çalışmalar kapsamında ziyaret ettiğimiz tüm köylerde bizlerden yardımlarını esirgemeyen köy muhtarlarına ve yöre halkına da teşekkürü borç bilirim. Ön arazi çalışmaları sırasında alınmış su örneklerinde City University of New York Brooklyn College’da yapılan iz element analizleri için Prof. Dr. Zhongqi CHENG’e teşekkür ederim.

Olgu YURTTAŞ
Ankara, Ağustos 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Önceki Çalışmalar	3
1.3 Coğrafi Konum.....	9
1.4 Çalışma Alanının Tanıtılması	10
1.5 Topografya.....	13
1.6 İklim ve Meteoroloji	14
1.6.1 Yağış	14
1.6.2 Sıcaklık.....	17
1.6.3 Buharlaşma.....	18
2. HİDROLOJİ	20
2.1 Su Noktaları.....	20
2.1.1 Akarsular	20
2.1.2 Kaynaklar	22
2.1.3 Çeşmeler.....	22
2.1.4 Kuyular	22
2.1.5 Maden Gölleri.....	23
3. JEOLOJİ.....	28
3.1 Bölgesel Jeoloji	28
3.1.1 Kalkanlıdağ formasyonu (Pzk)	29
3.1.2 Kervansaraydağ formasyonu (Pzke)	30
3.1.3 Bozçaldağ formasyonu (Pzb).....	30
3.1.4 Ankara melanji (Kç)	30
3.1.5 Karaboğazdere gabrosu (Kk)	31
3.1.6 Kötüdağ volkaniti (Kkö).....	31
3.1.7 Çayraz formasyonu (Teç).....	31
3.1.8 İç Anadolu grubu (Ti).....	32
3.2 Yerel Jeoloji	32
3.2.1 Paleozoyik yaşlı birimler	34
3.2.1.1 Metamorfik seri (Pzk-Pzke)	34
3.2.1.2 Mermer (Pzb)	34
3.2.2 Mesozoyik yaşlı birimler.....	34
3.2.2.1 Ofiyolitik melanj (Kç).....	34
3.2.2.2 Granitoyitler (Kog)	35
3.2.2.3 Gabro (Kk).....	36
3.2.2.4 Volkanitler (Kkö)	37
3.2.3 Tersiyer yaşlı birimler	37
3.2.3.1 Fliş (Teç).....	37
3.2.3.2 Ayrılmamış karasal çökeller (Ti).....	37
3.2.3.3 Kireçtaşı (Tmük)	38
3.2.4 Kuvaterner yaşlı birimler	38

3.2.4.1 Traverten (Qtr).....	38
3.2.4.2 Alüvyon (Qal)	38
3.3 Yapısal Jeoloji	38
4. HİDROJEOLOJİ	41
4.1 Hidrostratigrafik Birimler	42
4.1.1 Geçirimli birimler	43
4.1.2 Yarı geçirimli birimler.....	46
4.1.3 Az geçirimli-geçirimsiz birimler	47
5. MATERYAL VE YÖNTEM	48
5.1 Büro Çalışmaları.....	48
5.2 Arazi Çalışmaları.....	49
5.2.1 Ön arazi çalışmaları.....	49
5.2.2 Yağışlı dönem arazi çalışmaları.....	51
5.2.3 Kurak dönem arazi çalışmaları	56
5.3 Laboratuvar Çalışmaları.....	60
6. ARAŞTIRMA BULGULARI	64
7. TARTIŞMA VE SONUÇ	69
7.1 Major İyon Kimyası.....	69
7.2 Doygunluk İndisi (SI).....	88
7.3 İstatistiksel Değerlendirmeler	89
7.4 Analiz Sonuçlarının Standartlara Göre Değerlendirilmesi ve Sınır Değerleri Aşan Parametreler	93
7.5 İz Element Jeokimyası.....	94
7.6 Sularda Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum (δD) İlişkisi.....	98
7.7 Mevcut Kirletici Kaynakların Su Kimyasına Etkilerinin Değerlendirilmesi..	104
7.7.1 Tarımsal faaliyetler	104
7.7.2 Madencilik faaliyetleri.....	105
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	108
KAYNAKLAR	113
EKLER.....	120
EK 1 Yağışlı Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon ve İz Element Konsantrasyonları.....	121
EK 2 Kurak Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon İz Element Konsantrasyonları.....	124
EK 3 Yağışlı Dönemde Sınır Değerleri Aşan Parametreler	127
K 4 Kurak Dönemde Sınır Değerleri Aşan Parametreler	128

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ag	Gümüş
As	Arsenik
Al	Aliminyum
AMSD	Ankara Meteorik Su Doğrusu
Ba	Baryum
Be	Berilyum
B	Bor
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
cm	Santimetre
Ca	Kalsiyum
CO ₃	Karbonat
Cu	Bakır
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cl ⁻	Klorür
Cr	Krom
ÇO	Çözünmüş Oksijen
D	Döteryum
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
Eİ	Elektriksel İletkenlik
EN	Elektronötralite
Fe	Demir
HCO ₃	Bikarbonat
Hg	Cıva
K ⁺	Potasyum
km ²	kilometrekare
KMSD	Küresel Meteorik Su Doğrusu
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
K	Potasyum
l/s	Litre/saniye
m	Metre
m ²	Metrekare
Mg ⁺⁺	Magnezyum
mg	Miligram
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Na ⁺	Sodyum
Na-Cl	Sodyum-Klorür
NH ₄ -N	Amonyum-Azot
NH ₃	Amonyak
Ni	Nikel
NO ₃ ⁻	Nitrat

NO ₂ ⁻	Nitrit
ORP	Yükseltgenme – İndirgenme Potansiyeli
¹⁸ O	Oksijen 18 izotopu
PO ₄ ³⁻	Fosfat
Pb	Kurşun
pH	Hidrojen İyonu Aktivitesi
Sn	Kalay
Sb	Antimon
SAR	Sodyum Adsorpiyon Oranı
Se	Selenyum
SI	Doygunluk İndisi
Sr	Stronsiyum
SO ₄ ²⁻	Sülfat
Tl	Talyum
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
Ti	Titanyum
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TP	Toplam Fosfor
U	Uranyum
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
WHO	World Health Organization
YAS	Yeraltı Suyu
YÜS	Yüzey Suyu
Zn	Çinko
µS	Mikrosiemens
%	Yüzde
(δ)	Del Notasyonu
°C	Santigrat Derece

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	10
Şekil 1.2	Çalışma alanı içerisinde ruhsatlandırılmış 4. grup maden sahaları.	12
Şekil 1.3	Çalışma alanının topoğrafik haritası.....	13
Şekil 1.4	Çalışma alanı civarında bulunan meteoroloji istasyonları ve Thiessen poligonları.....	15
Şekil 1.5	Kaman – Çelebi – Bala meteoroloji istasyonları aylık ortalama yağış verileri.....	15
Şekil 1.6	Bala meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma	16
Şekil 1.7	Çelebi meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma.....	17
Şekil 1.8	Kaman meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma.....	17
Şekil 1.9	Kaman – Çelebi – Bala meteoroloji istasyonları aylık ortalama sıcaklık verileri.....	18
Şekil 1.10	Kaman – Çelebi meteoroloji istasyonları aylık ortalama buharlaşma verileri	19
Şekil 2.1	Çalışma alanının hidroloji haritası.....	21
Şekil 2.2	Çalışma alanı içerisindeki maden gölleri ve hidrostratigrafik birimler üzerindeki konumları.....	24
Şekil 3.1	Çalışma alanının ölçeksiz stratigrafik istifi.	29
Şekil 3.2	Çalışma Alanının Jeoloji Haritası.....	33
Şekil 3.3	Çalışma Alanında Kargınyenice maden gölü çevresinde yüzeylenen ofiyolitik birim içerisinde bir görünüm	35
Şekil 3.4	Çalışma sahasında Kargınyenice köyü civarında yüzeylenen granitoyitler; a. granitoyitlerin uzaktan görünümü, b. granitoyitlerin yakından görünümü	36
Şekil 3.5	Çalışma alanının jeolojik enine kesitleri	40
Şekil 4.1	Alandaki birimlerin geçirimsizlik özellikleri.....	45
Şekil 4.2	Çalışma alanının hidrojeoloji haritası.....	46
Şekil 5.1	12 Eylül 2021 tarihli ön arazi çalışması örnek noktalarının jeolojik birimler üzerindeki konumu	50
Şekil 5.2	Mayıs 2022 yağışlı dönem örnek noktalarının jeolojik birimler üzerindeki konumu	53
Şekil 5.3	Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) İkizler kuyu, b) Kargınyenice hayrat, c) KB çeşme, d) Büğüz çeşme	54
Şekil 5.4	Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) Ağapınar maden gölü 1, b) Halildede kuyu, c) Karahacılı eski kuyu, d) Karahacılı yeni kuyu.....	54
Şekil 5.5	Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) Müsellim sığ kuyu 1, b) Müsellim derin kuyu, c) Müsellim içme suyu, d) KK sulama	55
Şekil 5.6	Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) Büyükcemili sığ kuyu 1, b) Küçükbüyük sığ kuyu, c) Camisağır maden gölü, d) Kesikköprü Barajı.....	55
Şekil 5.7	Ekim 2022 kurak dönem örnek noktalarının hidrojeolojik birimler üzerindeki konumu	58
Şekil 5.8	İkizler kuyu örnek noktası	59
Şekil 5.9	Kurak dönem örneklem lokasyonları a) KB çeşme, b) Karamıstıklar çeşme, c) Karamıstıklar çeşmeden gelen sularla göllenen alan.....	59

Şekil 5.10	Kurak dönem örnekleme lokasyonları a) Kuru Ağapınar maden gölü 1 eski örnek noktası, b) Ağapınar maden gölü 2 yeni örnek noktası	60
Şekil 5.11	Kurak dönem örnekleme lokasyonları a) Karahacılı Yeni Kuyu, b-c) Camisağır maden gölü, d) Kesikköprü barajı.....	60
Şekil 5.12	ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda Bulunan İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) Cihazı.....	62
Şekil 7.1	Yağışlı dönem analiz sonuçlarına göre tüm örnek noktaları için oluşturulan Schoeller diyagramı.....	70
Şekil 7.2	Kurak dönem analiz sonuçlarına göre tüm örnek noktaları için oluşturulan Schoeller diyagramı.....	71
Şekil 7.3	Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre sığ kuyular için oluşturulan Schoeller diyagramı.....	72
Şekil 7.4	Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre derin kuyular için oluşturulan Schoeller diyagramı.....	72
Şekil 7.5	Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre çeşmeler için oluşturulan Schoeller diyagramı.....	73
Şekil 7.6	Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre maden gölleri ve yüzey suyu için oluşturulan Schoeller diyagramı	73
Şekil 7.7	Yağışlı dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi.....	75
Şekil 7.8	Kurak dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi	76
Şekil 7.9	Yağışlı dönem verileri ile oluşturulmuş Chadha Diyagramı	77
Şekil 7.10	Kurak dönem verileri ile oluşturulmuş Chadha Diyagramı	77
Şekil 7.11	Yağışlı dönem (a) ve kurak dönem (b) analiz sonuçlarının Gibbs diyagramında gösterimi.....	79
Şekil 7.12	Yağışlı dönem analiz sonuçlarının modifiye edilmiş Gibbs diyagramında gösterimi.....	81
Şekil 7.13	Yağışlı dönem için tüm örneklerde Ca (meq/l) ve HCO ₃ (meq/l) ilişkisi....	83
Şekil 7.14	Yağışlı dönem için tüm örneklerde Ca (meq/l) ve Mg (meq/l) ilişkisi	83
Şekil 7.15	Yağışlı dönem için tüm örneklerde Ca + Mg (meq/l) ile HCO ₃ +SO ₄ ilişkisi	84
Şekil 7.16	Yağışlı dönem için tüm örneklerde Na (meq/l) ve Ca (meq/l) ilişkisi.....	84
Şekil 7.17	Yağışlı dönem için tüm örneklerde HCO ₃ (meq/l) ve Na (meq/l) ilişkisi....	85
Şekil 7.18	Yağışlı dönem için tüm örneklerde Na (meq/l) ve Cl (meq/l) ilişkisi.....	85
Şekil 7.19	Kurak ve Yağışlı Dönem Analizlerine Göre Örneklerin ABD Tuzluluk Diyagramındaki dağılımı	86
Şekil 7.20	Yağışlı dönem için örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modunda hazırlanmış dendrogramı.....	91
Şekil 7.21	Kurak dönem için örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modunda hazırlanmış dendrogramı.....	91
Şekil 7.22	Yağışlı dönem için örneklerin birbirleriyle olan istatistiksel ilişkisinin Q-modunda hazırlanmış dendrogramda gösterimi.....	92
Şekil 7.23	Kurak dönem için örneklerin birbirleriyle olan istatistiksel ilişkisinin Q-modunda hazırlanmış dendrogramda gösterimi.....	92
Şekil 7.24	Yağışlı dönem analiz sonuçları ile arsenik için hazırlanmış Pourbaix diyagramı.....	95
Şekil 7.25	Arsenik- pH ilişkisi	96
Şekil 7.26	Arsenik- çözülmüş oksijen ilişkisi	96
Şekil 7.27	Arsenik- bikarbonat ilişkisi	97
Şekil 7.28	Arsenik- karbonat ilişkisi	97

Şekil 7.29	Arsenik- potasyum ilişkisi.....	98
Şekil 7.30	Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının δD - $\delta^{18}O$ grafiği.	101
Şekil 7.31	Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının δD - $\delta^{18}O$ grafiği ve buharlaşma etkisi gösteren iki örnek için hazırlanmış buharlaşma doğrusu.....	102
Şekil 7.32	Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının δD - $\delta^{18}O$ grafiği ve hazırlanmış buharlaşma doğruları	103



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Baraj havzasında ölçülen debi değerleri (ASKİ, 2022).....	22
Çizelge 2.2 Sahada mevcut kuyuların koordinatları.....	23
Çizelge 5.1 Ön arazi çalışmalarında örneklenen noktalar	51
Çizelge 5.2 Mayıs 2022 tarihli örnekleme noktalarına ait bilgiler	52
Çizelge 5.3 Ekim 2022 kurak dönem örnekleme noktalarına ait bilgiler.....	57
Çizelge 6.1 Ön arazi çalışmalarında alınan örneklerde yerinde ölçüm parametreleri ve analiz sonuçları	64
Çizelge 6.2 Mayıs 2022 tarihli örnekleme noktaları ve yerinde ölçüm parametrelerine ait bilgiler	65
Çizelge 6.3 Ekim 2022 kurak dönem örnekleme noktaları ve yerinde ölçüm parametrelerine ait bilgiler	65
Çizelge 6.4 Yağışlı ve kurak dönemde alınan örneklerin major iyon sonuçlarına göre hesaplanmış elektronötralite (%) değerleri	68
Çizelge 7.1 IAH (1979)'a göre belirlenen su tipleri, Elektriksel İletkenlik değerleri kullanılarak hesaplanmış Toplam Çözünmüş Katı ve bu hesaplamada kullanılan K katsayıları	78
Çizelge 7.2 Sulama suyu kalite sınıflandırılması (Richards, 1954)	87
Çizelge 7.3 Kurak dönem numuneleri için PhreeqC programı ile hesaplanmış doygunluk indisleri ve her bir numunenin doygun olduğu mineraller...88	
Çizelge 7.4 Farklı dönemlerde alınmış örnekler için $\delta^{18}\text{O}$, δD ve döteryum fazlalığı.....	99

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Günümüzde yeraltı ve yüzey sularının yanlış kullanımı, kirletici kaynakların kontrol edilememesi ve kurumsal-yasal-ekonomik sorunlar gibi etmenlerden dolayı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi üzerindeki baskılar devamlı artmaktadır. Sürdürülebilir su kaynakları yönetimi prensibi çerçevesinde; yeraltı ve yerüstü sularının etkileşim halinde olduğu hidrojeolojik sistemde havza bazlı çalışmaların yapılarak, su kaynaklarını tehdit eden sorunların belirlenmesi ve önlenmesi, su ve suya bağlı ekosistemlerin korunması büyük önem arz etmektedir.

Bölgesel ölçekteki faaliyetlere göre değişse de su kaynaklarını en çok tehdit eden kirletici unsurlar; zirai ilaç ve gübre kullanımı, evsel atık sular-evsel katı atıklar ve hayvan yetiştiriciliği, daha sonra ise sanayi ve maden faaliyetleri şeklinde sıralanmaktadır

(T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019). Bu kirletici unsurlar, özellikle içme suyu olarak kullanılan baraj ve göletlerin drenaj alanında bulunan yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının kalitesini bozmaktadır. Dolayısıyla su kaynaklarının korunması ve gelecekte miktar-kalite açısından güvenli bir şekilde kullanılması amacıyla hidrojeolojik çalışmaların yapılması çok önemlidir.

Bu çalışma, son yıllarda Ankara'ya içme suyu sağlayan Kesikköprü Barajı çevresindeki yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik değerlendirilmesini içermekle birlikte, tarım ve madencilik faaliyetlerinin su kaynaklarına etkisini belirlemeye yönelik çalışmaları kapsamaktadır. Bu doğrultuda amaç; bölgenin jeolojik-hidrojeolojik perspektifte değerlendirilmesi ve hidrojeokimyasal yapının ortaya konarak, su kalitesinin tespit edilmesidir. Çalışmanın amacını genişletecek olursak, özellikle bu bölgenin seçilme nedenleri aşağıda verilmiş olup, çalışmanın önemini destekleyen çalışmalardan bir kısmı bölüm 1.2 önceki çalışmalar başlığı altında açıklanmıştır.

1. Bölgede baraj havzası ölçeğinde yapılmış detaylı bir hidrojeolojik çalışma mevcut değildir. Altta verilen diğer konuları da kapsamı altına alan bu madde ile ilişkili olarak en güncel çalışmalar ASKİ tarafından “Kesikköprü Baraj Havza Koruma Planı ve Özel Hüküm Belirleme Projesi” adı altında 2022 yılında başlamış olup, henüz çalışma tamamlanmamış ve sonuçları yayınlanmamıştır.

2. Alanda tarım ve hayvancılık faaliyetlerin su kaynaklarına etkisinin araştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Öncel çalışmalarda yüzey suları üzerinde değerlendirmeler bulunmakta olup yeraltı sularına ilişkin bir araştırma yapılmamıştır. Dolayısıyla yoğun olarak tarım yapılan bu bölgede tarımsal gübre ve ilaçların yeraltı sularına etkisi bilinmemektedir.

3. Türkiye’nin en zengin demir yataklarının işletildiği Kesikköprü Barajı çevresinde, madencilik faaliyetlerinin yeraltı sularına etkisinin araştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Aynı şekilde sahada madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde yeraltı sularının cevherleşmeye bağlı olarak hidrojeokimyasal yapısında meydana gelmesi muhtemel değişiklikler bilinmemektedir.

4. Kızılırmak Havzası’nda yapılan çalışmalarda yeraltı suyunun kısıtlı olduğundan bahsedilmesine rağmen (DSİ, 2016) bu alanda birçok maden gölü oluşumu mevcuttur. Alandaki yeraltı suyu potansiyelinin kanıtları olan bu maden göllerinin kimyasına ilişkin herhangi bir araştırma mevcut olmamakla birlikte, bölgedeki yeraltı suyu varlığının ortaya konmasına ilişkin bir değerlendirme de bulunmamaktadır.

5. Bölgede oluşan maden göllerinin kökenine ilişkin oksijen ve hidrojenin kararlı izotopları kullanılarak yapılan izotopik bir değerlendirme mevcut değildir.

Sonuç olarak; Ankara iline içme-kullanma suyu sağlamak amacıyla kullanılan ve gelecekte de kullanılmaya devam edilecek olan Kesikköprü Barajı’nın bulunduğu ortamın hidrojeolojik karakterizasyonunun ortaya konması ve çevredeki muhtemel kirlenici kaynakların (tarım, hayvancılık, madencilik vb.) su kaynaklarının kalitesine

etkisinin araştırılmasının önemi büyüktür. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında yukarıda bahsedilen maddelere ilişkin yapılan değerlendirilmeler sunulmuştur. Araştırmanın bölgedeki su kaynaklarının durumu ile ilgili gelecek çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Bu başlık altında, çalışmanın önemini vurgulamak adına, bölgede yapılmış jeolojik, hidrojeolojik ve kimyasal çalışmalar derlenmiştir. Jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar ile ilgili detaylı bilgiler ise tez içerisindeki alt başlıklarda verilmiştir.

Bölgede bulunan demir cevherleşmelerine bağlı olarak günümüze kadar birçok araştırmacı alanda jeolojik araştırmalar yapmıştır. Kara ve Dönmez (1983) yaptığı çalışmalarda bölgedeki birimleri Baranadağ Plütonu, Ankara Karışığı, Kalkanlıdağ Formasyonu, Tamadağ ve Bozçaldağ Formasyonu olarak gruplandırmıştır. Öztürk vd. (1983) birbirleriyle yanall ve düşey geçişli olarak altta gnays, amfibol şist, amfibolit, kuvars şist, kuvarsit, piroksen şist, kalsilikatik şist ve biyotit şistler; ortada, mermer, gnays, kalkışist, amfibolit şist, amfibolit, piroksen şist; en üstte ise mermer ve sileksitli mermerlerden oluşan bir seri olarak izlenen metamorfik kayaların, düşük ile orta basınç ve yüksek sıcaklık koşullarında metamorfizma geçirdiğini belirtmiştir.

Kraeff (1962), Boroviczeny (1964), Sözen (1970), Öztürk vd. (1983) doğrudan granitik kayalara bağlı skarn tipi yatakların Kesikköprü demir yataklarını oluşturduğunu bildirmiş, sonraki yıllarda yapılan çalışmalarda ise demir yatak oluşum modellerinde granitik kayaların dolaysız etkileri sonucu ofiyolitik kayalardan türemiş demir element zenginleşmesine yönelik yorumlarda bulunmuşlardır. Bunun üzerine yapılan çalışmalarda ise bahsedilen ofiyolitik kayalar üzerinde yer alan volkanosedimanter istifler içerisindeki volkanojen-sinsedimanter veya sedimanter-eksalatif oluşumlu yatakların demir element kökeninin temelde yer alan ofiyolitik kayalardan kaynaklanmış olabileceğine dair yorumlar da yapılmıştır (Ünlü 1983, Stendal vd. 1995, Çiftçi vd. 1996, Ünlü vd. 1996).

Bilgin vd. (1998) Kesikköprü Demir yataklarının araştırılmasına yönelik yaptığı çalışmalarda bölgenin Kırşehir Masifi'ne ait birimlerin oluşturduğu temel üzerinde Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanj ile geçişli volkanik-sedimanter kayaçların bulunduğu ve hepsinin üzerinde Tersiyer yaşlı sedimanter birimlerin yer aldığını bildirmiştir.

Işık vd. (2014) Kırşehir Savcılı Fay Zonu'nun yapısal analizi üzerine yaptığı çalışmalarda bölgede gnays, amfibolit, mermer ve şist malzemelerini içeren metamorfiklerin Kırşehir bloğunun en eski tektonostratigrafik birimlerini temsil ettiğinden bahsetmiştir.

Dönmez vd. (2008) tarafından yapılan çalışmalarda bölgedeki birimlerin 1:100000 ölçekli haritası oluşturulmuş ve bölgedeki Geç Kretase yaşlı Karaboğazdere Gabrosu, Kötüdağ Volkaniti, Çiçekdağ Formasyonu ve Orta Anadolu Granitoyitleri Kırşehir Bloğu içerisinde tanımlamıştır. Bu bloğun üzerine çökelen diğer birimleri ise Çayraz Formasyonu, İç Anadolu Grubu, Kuvaterner alüvyonlar olarak ayırtlamışlardır. Akçay vd. (2008) bölgede Kırşehir Masifi kayaçlarının en üst kesimini oluşturan formasyonun Bozçaldağ mermerleri olduğundan bahsetmiştir.

Orta Kızılırmak Havzası'nda yapılan çalışmalarda bölgede yer alan jeolojik birimlerin akifer özelliği göstermediği bu nedenle yeraltı suyu beslenim ve su kimyası çalışmaları yapılamadığı belirtilmiştir (DSİ 2016). Aynı çalışmada, bölgedeki geçirimli birimlerin; Kuvaterner alüvyonlar, Neojen kireçtaşları, Paleozoyik mermerler, yarı geçirimli birimlerin; Neojen karasal çökelleri ile Mesozoyik volkanikler, geçirimsiz birimlerin ise; Eosen flişler, Mesozoyik gabbro-granit ve ofiyolitik melanj ile Paleozoyik metamorfik seri olduğu belirlenmiştir (DSİ 2016).

Kesikköprü dolaylarında yapılan çalışmalarda; özellikle bölgede cevherleşme görülen kayaçların diyabaz ve gabrolardan oluşan mafik kayaçlar ile piroksenit, peridotit ve serpantinitlelerden oluşan ultramafik kayaçlar olduğu ifade edilmiştir (Doğan vd. 1998). Cevher; esas olarak manyetit, daha az pirit, kromit, kalkopirit, ankerit, siderit çok az oranlarda ise pirotin, pentlandit, ilmenit, gerstorfit ve sfenden oluşmaktadır. Cevher örneklerinde yapılan jeokimyasal çalışmalarda demir elementinin ultramafik

kayaçlardan kaynaklanmış olabileceği vurgulanmıştır. Doğan vd. (1998)'e göre serpantinleşme sonucu demir elementince zenginleşen ultramafik kayaçlar, granitik kayaçların oluşturduğu dolaysız etkiler ile yıkanmakta ve bunun sonucunda yan kayaçlar toplam demir konsantrasyonu bakımından fakirleşirken, açığa çıkan demir elementi uygun Eh ve pH koşullarında demir yataklarını oluşturacak mineral birlikteliklerini meydana getirmektedir.

Büğüz çevresinde yapılan çalışmalarda; Paleozoyik yaşlı mermerler ile Kretase yaşlı granitler arasındaki skarn zonu ve mermerlerin kırık ve çatlaklarının içerisinde hidrotermal eriyiklerin dolaşımı ile demir cevher oluşumlarının gözlemlendiği ifade edilmiştir. Granit ve gabro arasındaki dokanakta yer alan skarn zonu boyunca yoğun demir cevherleşmesi; skarn zonundan yukarı doğru gidildikçe, mermerler içerisindeki kırık ve çatlaklara uyumlu yerleşmiş daha az ve ince demir cevheri izlendiği belirtilmiştir. Aynı şekilde gabrolar ile granitler arasındaki faylı dokanak boyunca demir cevheri olduğu da gözlemlenmiştir (Demirtaş vd. 2015).

Ağapınar ve Kesikköprü dolaylarında yapılan sondajlar sonrası alınan örneklerin petrografik-minerolojik incelemeleri sonucunda cevher minerallerinin baskın olarak manyetit, hematit, mangan daha az oranda spekülait, pirit, kalkopirit, pirotin, sfalerit, galenit, rutil, ikincil mineral olarak ise markazit, enarjit, fahlerz, kovellin ve limonitten oluştuğu tespit edilmiştir. Bölgedeki cevher oluşumu makroskobik ve mikroskobik verilere göre üç evrede incelenmiş ve birinci evrenin manyetit cevherleşmesinin oluştuğu ana cevher oluşum evresi, ikinci evrenin piritçe zengin sülfürlü çözeltilerin cevher içerisine yerleşmesi ve üçüncü evrenin ise oksit evresi olup ana cevher minerali olan manyetitlerin hematite, piritlerin markazite, kalkopiritlerin ise kovelline dönüştüğü ifade edilmiştir (Mercan vd. 2019, 2020).

Acar (2018) Büğüz demir yatağının mineralojik-petrografik ve jeokimyasal yöntemler ile incelemesi üzerine yaptığı çalışmalarda bölgede alınan kayaç örneklerinde, özellikle cevherleşmenin görüldüğü bölgelerde, arsenik elementinin zenginleştiğini belirlemiştir. Terzi (2018) Kesikköprü demir yatağından aldığı kayaç örneklerinde yaptığı

incelemelerde özellikle granat±piroksen skarn ve epidot skarn numunelerinde arsenik zenginleşmesi tespit etmiştir.

Çalışma alanının içerisinde bulunan Kesikköprü Barajı büyük oranda Hirfanlı Barajı'ndan beslenmektedir. Her iki baraj da Kızılırmak Nehri yatağında inşa edilmiş olup, bu nehrin sularını taşımaktadırlar. Kızılırmak Nehri membadan mansaba doğru Sivas ilinden başlayarak Kayseri, Yozgat, Nevşehir, Niğde, Çorum, Kırıkkale, Kırşehir, Ankara, Kastamonu, Çankırı, Sinop illerinden geçmekte olup, Samsun'da son bulmaktadır. Bu illerdeki kentsel ve endüstriyel atık sular Kızılırmak Nehri'ne boşaltılmaktadır (DSİ 2005). Bölgede su kaynakları ile ilgili en eski çalışmalar 2005 yılında DSİ tarafından “Hirfanlı ve Kesikköprü Baraj Gölleri ve Havzalarında Kirlilik Araştırması” isimli raporda sunulmuş olup, bu raporda Hirfanlı ve Kesikköprü Barajlarının başlıca kirlilik kaynaklarının; Kızılırmak Nehri üzerinde Kayseri'nin tüm atıklarını taşıyan Karasu çayı ve Kırşehir'in atıklarını taşıyan Kılıçözü (Kırşehir) çayı olduğu belirtilmiştir (DSİ 2005).

2010 yılında Kızılırmak Havzasında yapılan su kalitesi ölçümlerinde; Kılıçözü (Kırşehir) Çayı KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ve BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) ile NH₄-N (Amonyum-Azot), TP (toplam fosfor) parametreleri açısından IV. sınıf olan çok kirlenmiş su sınıfında yer alırken, Karasu Çayı NH₄-N, SO₄ (Sülfat), TÇM (Toplam Çözünmüş Madde) parametreleri bakımından III-IV. sınıf, Na-Cl (Sodyum-Klorür) parametreleri açısından IV. sınıf çok kirlenmiş su sınıfında yer almıştır (TÜBİTAK MAM 2010).

Kızılırmak Havzası Su Kalitesi Raporu (2016) kapsamında, havzada yapılan yüzey suyu kalite analizlerinde Kesikköprü için kirlilik kaynaklarından biri olan Karasu Çayı'nın EI (elektriksel iletkenlik) ve Fe (demir) parametreleri bakımından III. sınıf kalitede olan 'kirlenmiş su' sınıfında yer aldığı, Kırşehir Çayı'nın ise ÇO (Çözünmüş Oksijen), NH₄-N (Amonyum Azotu), TKN (Toplam Kjeldahl Azotu), Toplam Fosfor parametreleri açısından IV. sınıf kalitede olan 'çok kirlenmiş su' sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Ayrıca, Kesikköprü Barajı girişinde yapılan ölçümlerde, evsel atık sular

sebebiyle B (bor) parametresinin IV. sınıf kalitede çok kirlenmiş su sınıfında olduğu görülmüştür.

Aynı şekilde, Kesikköprü Barajı çıkışında yapılan ölçümlerde istasyon çevresinde yer alan ve taş ocaklarını kapsayan sanayi tesislerindeki atık suların arıtmaya tabi tutulmadan nehre boşaltılması sebebiyle Eİ değerinin III. Sınıf kalitede kirlenmiş su sınıfında yer aldığı bildirilmiştir (DSİ 2016).

Kızılırmak-Kesikköprü Baraj Çıkışı istasyonunda 01.01.1998 tarihinden itibaren su analizleri yapılmaktadır. Bu analizlerin sonuçları değerlendirildiğinde istasyonun Eİ parametresi açısından III. sınıf (Kirlenmiş Su) su kalitesi özelliği taşıdığı belirtilmiştir. Kızılırmak-Kesikköprü Baraj Çıkış istasyonunun yer aldığı su kaynağı Kızılırmak Nehri üzerinde olup Kesikköprü köyünden geçmektedir. İstasyonun yer aldığı alan çevresinde yerleşim yerleri bulunmakta, hayvancılık ve tarım faaliyetleri yürütülmektedir (DSİ 2016).

Kesikköprü Baraj Gölü'nde yapılan mikrobiyolojik ölçümlerde suyun ötrofik düzeyde olduğu görülmüş ve ötrofikasyon durumu incelendiğinde kritik fosfor yükünün iki katından fazla fosfor yükünün geldiği ifade edilmiştir. Dolayısıyla, bu barajın içme-kullanma suyu planlamalarında kullanılamayacağı ve Ankara için başka seçeneklerin değerlendirilmesinin yararlı olacağı vurgulanmıştır (DSİ 2005).

Orman ve Su İşleri Bakanlığı "Hassas Su Kütleleri ile Bu Kütleleri Etkileyen Alanların Belirlenmesi ve Su Kalitesinin İyileştirilmesi Hakkında 23 Aralık 2016 Cuma Tarihli ve 29927 Sayılı Yönetmeliği" kapsamında, çalışma alanı sınırları içerisinde yer alan Kesikköprü Barajı ile bu barajın kuzey ve güney kesiminde yer alan Kapulukuya Barajı, Hirfanlı Barajı, Kızılırmak Nehri ve Kılıçözü (Kırşehir) Çayı'nın yönetmelikte bahsedilen nitrata hassas alanlar içerisinde yer aldığını bildirmiştir.

Dünyada madencilik faaliyetlerinden kaynaklı yeraltı suyu kirliliğine örnek olarak; Johannesburg-Güney Afrika (Naicker vd. 2003), Kuzey Anhui Eyaleti - Çin (Qiu vd.,

2018), Bangladeş (Khan vd. 2017) – Barapukuria’da bulunan kömür madenleri, Zlatna altın madeni - Romanya (Papp vd. 2017), Huogeqi bakır madeni, -Moğolistan (Chen vd., 2018), Kohistan kromit madeni - Pakistan (Nawab vd., 2016) bölgelerinde yapılan çalışmalar verilebilir. Bu çalışmalarda, yeraltı sularının yoğun bir şekilde kirlendiği ve yüksek iz element konsantrasyonlarına sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle Çin’de madencilik faaliyetleri nedeniyle sığ akiferlerin neredeyse %90’ının kirlendiği belirtilmiştir (Qiu vd. 2018).

Türkiye’de cevherleşme bölgelerinde yapılan madencilik faaliyetleri sonucu oluşan su kirliliğine bakıldığında ise; Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin bulunduğu Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) maden sahasında cevherleşmeden kaynaklanan olası kirliliğin boyutlarının ve yayılımının belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda bölgede yüzey ve yeraltı sularında alüminyum (Al), demir (Fe), mangan (Mn), kurşun (Pb) ve sülfat (SO_4) zenginleşmesi tespit edilmiştir. Akarsulara ve bu alanların yakınlarına bırakılan madencilik atıklarının, bölgedeki suların (özellikle yüzey sularının) kirlenmesine neden olduğu belirtilmiştir (Keskin vd., 2013). Bir diğer örnek çalışma Kütahya ilinde bulunan Köprüören Havzasındaki gümüş madeni civarında gerçekleştirilmiştir (Arslan vd. 2013; Arslan ve Çelik 2015; Arslan 2017). Bölgede maden faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan ve özellikle siyanürce zengin maden atıklarının depolandığı atık barajlarından sızıntı sonucu yüzey suları ve yeraltı sularında arsenik (As), çinko (Zn) ve antimon (Sb) elementlerinin insan sağlığını tehdit eden seviyelerde olduğu belirlenmiştir (Arslan vd. 2013). Ayrıca, toprak örnekleme noktalarından alınan numunelerde, madencilik faaliyetlerinde kaynaklı olarak As, Pb, Sb ve Zn iz elementlerin toprakta da yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu görülmüş ve bu elementlerin büyük olasılıkla yağmur suları ile yüzeyden taşındığı ifade edilmiştir (Arslan ve Çelik 2015).

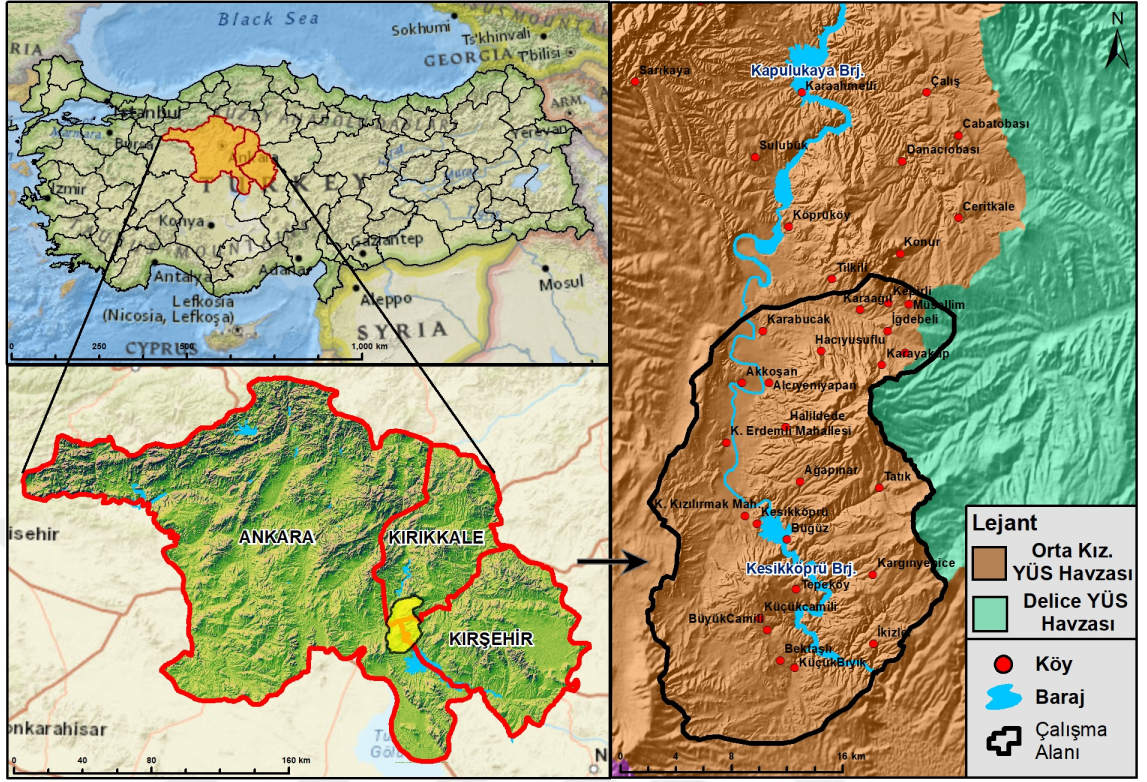
Madencilik faaliyetlerinin yanı sıra dünyada ve Türkiye’de tarımsal su kirliliği üzerine yapılmış farklı çalışmalar da incelenmiştir. Bu çalışmalardan biri Chen vd. (2005) tarafından Kuzey Çin Ovası’nda gerçekleştirilmiş ve çalışma kapsamında 295 su örneğinden toplanan verilerle, nitratin yeraltı suyu akış sistemi ile biriktiği bölgeler incelenmiştir. Çalışma sonucunda nitratin kaynağı jeolojik yapı ile aşırı azotlu gübre

kullanımı ile ilişkilendirilmiştir. Buna göre özellikle Pekin civarında son 20- 30 yılda genişleyen kentleşmeye bağlı olarak arazi kullanımındaki yoğun değişiklikler nedeniyle su kuyusu alanlarında 70-80 m derinliğe kadar nitrat kirliliği görüldüğü saptanmıştır. Gallardo vd. ise 2007 yılında yaptığı çalışmalarda, Japonya'nın en büyük havzası olan Kanto Ovası'nın merkezinde yer alan Tsukuba şehrinde, nüfus ve tarımsal üretimdeki artışa paralel olarak, zirai ilaç ve gübre kullanımının arttığını bildirmiştir. Bu artış sebebiyle; sığ yeraltı suyunun kimyasal analizlerinde, gübre kirliliği saptandığı ve ekili alanlardan toplanan örneklerin yaklaşık %75'inin Japonya'nın içme suyu standartlarını aştığı görülmüştür.

Marmara Bölgesi'nde tarım sektöründe yaygın olarak gübre ve kimyasal ilaç kullanımının artması sonucu yüzey sularının hemen hemen tümünün, NO₂-N parametresi açısından III. ya da IV. sınıf düzeyinde kirli veya çok kirlenmiş olduğu araştırmalarda tespit edilmiştir. Alibeyköy, Elmalı, Küçükçekmece ve Terkos Göllerinde endüstriyel atık, evsel atık ve tarımsal aktiviteler sonucu azot ve fosfor yüklerinin arttığı ifade edilmektedir (Akın ve Akın 2007). Marmara Bölgesi'nde yer alan Meriç-Ergene Havzası'nda arıtma tesislerinin yetersizliği ile tarım alanlarında kimyasal ve tabii gübre kullanımlarından kaynaklanan azot ve fosfor yüklerinin fazla olduğu belirtilmiştir. (Akın ve Akın 2007). Akdeniz Bölgesi'ndeki Seyhan, Ceyhan ve Asi Nehri havzalarının özellikle aşağı bölgelerinde sanayi, insan ve tarımsal aktivitelerden kaynaklanan kirlilik III. ve IV. sınıf düzeyinde görülmüştür (Akın ve Akın 2007). Mersin ilinde yapılan bir çalışmada tarımsal faaliyet amaçlı kullanılan zirai ilaçlar nedeniyle su kalitesinin değiştiğinden, bölgede 32 noktadan alınan su örneklerinde bazı parametrelerde içme suyu standartlarının üstünde değerler görüldüğünden ve tarımsal faaliyetlerin su kalitesinin büyük oranda etkilendiğinden söz edilmiştir (Kumbur vd. 2008).

1.3 Coğrafi Konum

Çalışma alanı Ankara ili Bala ilçesi, Kırıkkale ili Çelebi ilçesi ve Kırşehir ili Kaman ilçesi sınırları içerisinde kalmakta olup; 1/25000 ölçekli J30 b4, J30 b3, J30 b2, J30 b1, J31 a1, J31 a4, I31 d4, I31 c3 paftalarını kapsamaktadır.



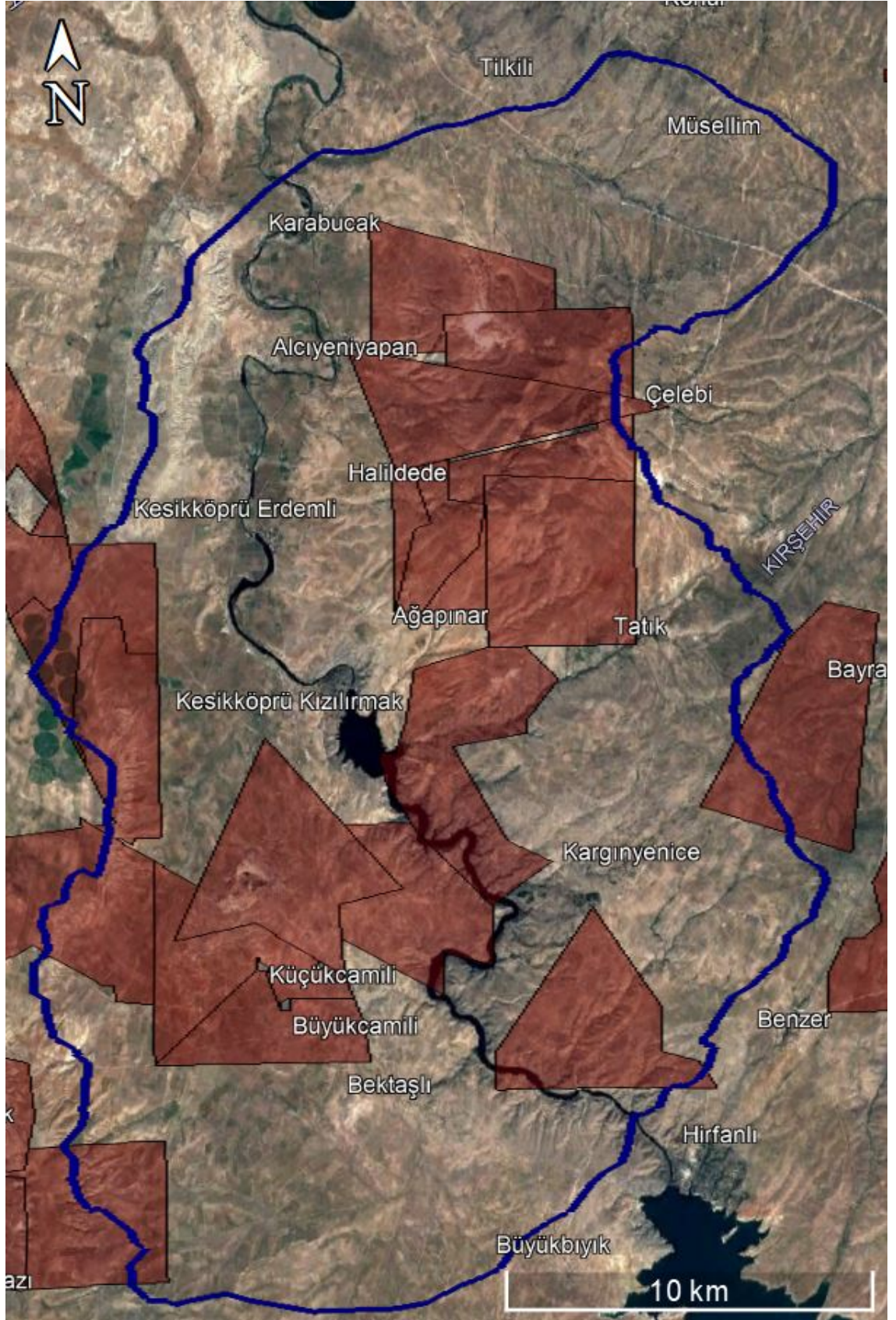
Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (YÜS: Yüzey suyu)

1.4 Çalışma Alanının Tanıtılması

Bala, Çelebi ve Kaman ilçelerinin sınırları içerisinde kalan (Şekil 1.1) çalışma alanı, Orta Kızılırmak Yüzey Suyu Havzası ve kuzeydoğu ucunda Delice Yüzey Suyu Havzası'nın küçük bir kesimini kapsamakta olup, yaklaşık 52000 ha'lık (520 km²) bir alanı temsil etmektedir. Bölgede Kesikköprü Barajı dışında herhangi bir su yapısı bulunmamaktadır. Kesikköprü Barajı 1959-1966 yılları arasında başta sulama amaçlı inşa edilmiş olsa da Ankara'nın su ihtiyacı doğrultusunda dönem dönem içme suyu sağlanması amacıyla kullanılmış ve son yıllarda bu durum düzenli olarak devam etmiştir. Kesikköprü Barajı'ndan ekstrem kurak dönemlerde ve özel durumlarda Ankara'ya ilave içme suyu temini maksadıyla yaklaşık 270×10^6 m³/yıl kapasiteli bir su iletim hattı mevcuttur (TÜBİTAK MAM 2010). Bölgede sulama kanalları, dereler, kaynak, çeşme ve kuyu noktaları ile maden gölleri yer almaktadır. Bölgedeki maden gölleri, alan içerisinde yapılan madencilik faaliyetleri sonrasında oluşmuştur. Kesikköprü Barajı çevresinde 1950 yılından bu yana işletilen demir yatakları mevcuttur.

İç Anadolu Bölgesi'nin hala işletilmekte olan en büyük demir yatağı Kesikköprü Demir Yatağı'dır. Sadece bu alanda 10-15 milyon ton rezerv demir potansiyelinin bulunduğu ve güncel olarak bölgede yer alan maden şirketleri tarafından 300000 ton/yıl demir cevheri üretimi yapıldığı bilinmektedir (Mercan vd. 2020, <https://www.ozcemaden.com/demir-cevheriuretimi> 2023). Kesikköprü Demir Yatağı dışında, bölgede işletilen ve dönem dönem cevher fiyatlarına bağlı olarak işletilen ocaklarda bulunmaktadır. Bölgede ruhsatlandırılmış '4. Grup Maden Sahaları' incelendiğinde çalışma alanı içerisinde 20 ruhsat sahasının olduğu görülmüştür (Şekil 1.2).

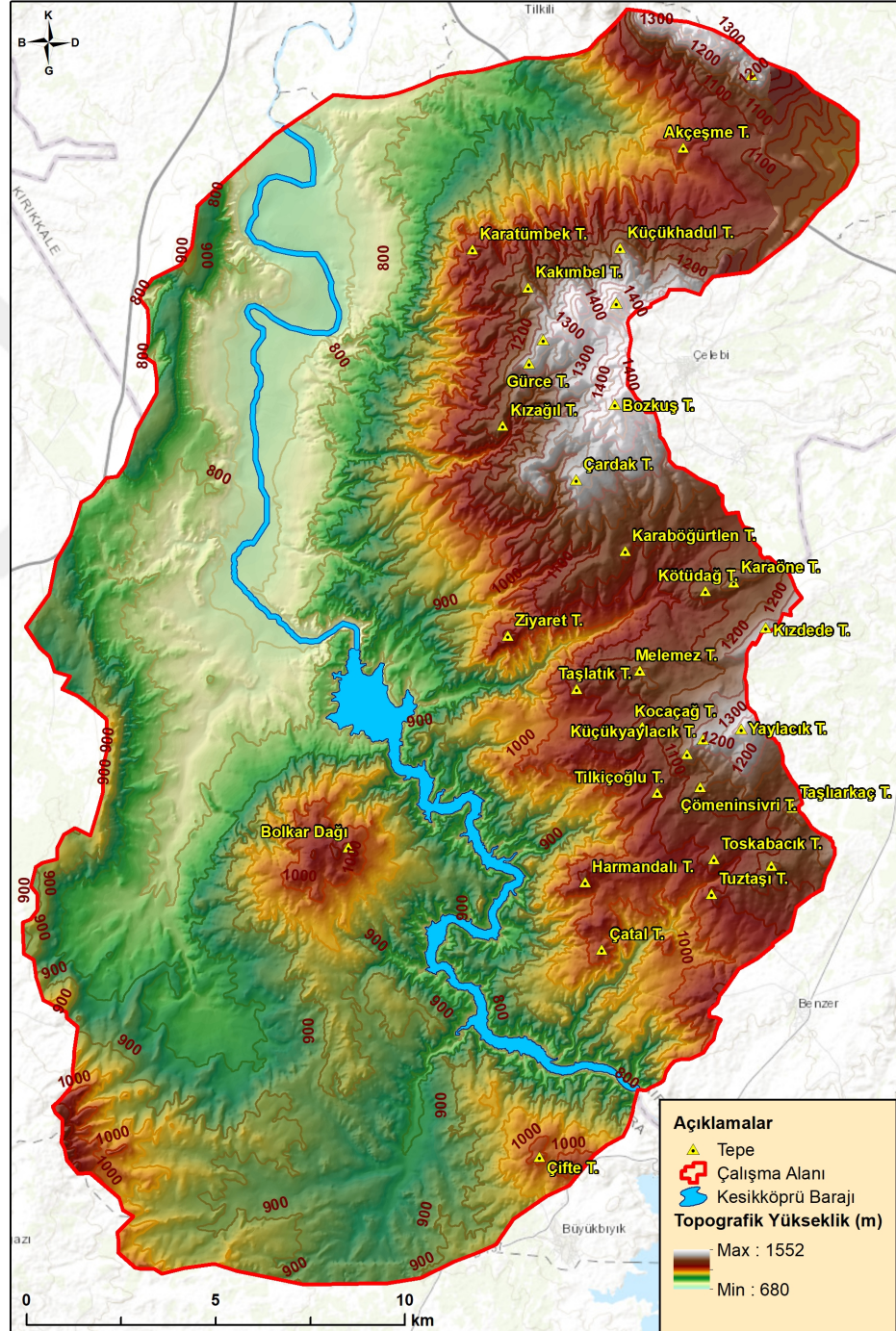
Bölgede tarımsal faaliyetlerin su kalitesine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılacak olan örnekleme ve analiz çalışmaları öncesinde tarımsal faaliyetler hakkında bilgi almak için 2021 yılı ön arazi çalışmaları kapsamında, Kesikköprü Tarım Kredi Kooperatifi sorumlusu Bahri Yiğit ile bir sözlü görüşme yapılmıştır. Bu görüşme sırasında, bölgede yoğun olarak arpa, buğday, dane mısır ve soğan ekimi yapıldığı bilgisi edinilmiş ve bu doğrultuda kullanılan gübrelerin (20.20.0+ZN süper kompoze, DAP-18-46-0: Diamonyum Fosfat, 13.24.12 + 14 (SO₃) + Zn, azotlu gübre, azot ihtiva eden sıvı gübre, hümkik asit) bileşiminde azot, fosfor, çinko, potasyum, kükürt, amonyum nitrat olduğu belirlenmiştir. Bölgede gübrelerin yanı sıra alanda bitki koruma ürünleri kapsamında çeşitli pestisitlerin kullanıldığı da öğrenilmiştir. Bu bağlamda herbisitler ile mücadele amacıyla ESTER'H ve SAFA marka Corvette ilaç kullanıldığı ve bu ilaçların 480 g/l 2,4-D Asite eşdeğer Isooctylester içerdiği belirlenmiştir. Herbisitlerin yanı sıra fungusit (pas ve külleme hastalıkları) ve insektisitler ile mücadele için (süne,kımıl ve zabrus) de bitki koruma ürünleri kullanıldığı bilgisine ulaşılmıştır (Yiğit 2021).



Şekil 1.2 Çalışma alanı içerisinde ruhsatlandırılmış 4. grup maden sahaları (MAPEG, 2022).

1.5 Topografya

Çalışma alanının topoğrafik yapısı incelendiğinde barajın doğu-kuzeydoğu yakasının batı yakasına göre nispeten daha yüksek kesimleri oluşturduğu görülmüştür. Alanda en yüksek kot 1552 m iken en düşük kot ise 680 m olarak tespit edilmiştir (Şekil 1.3).



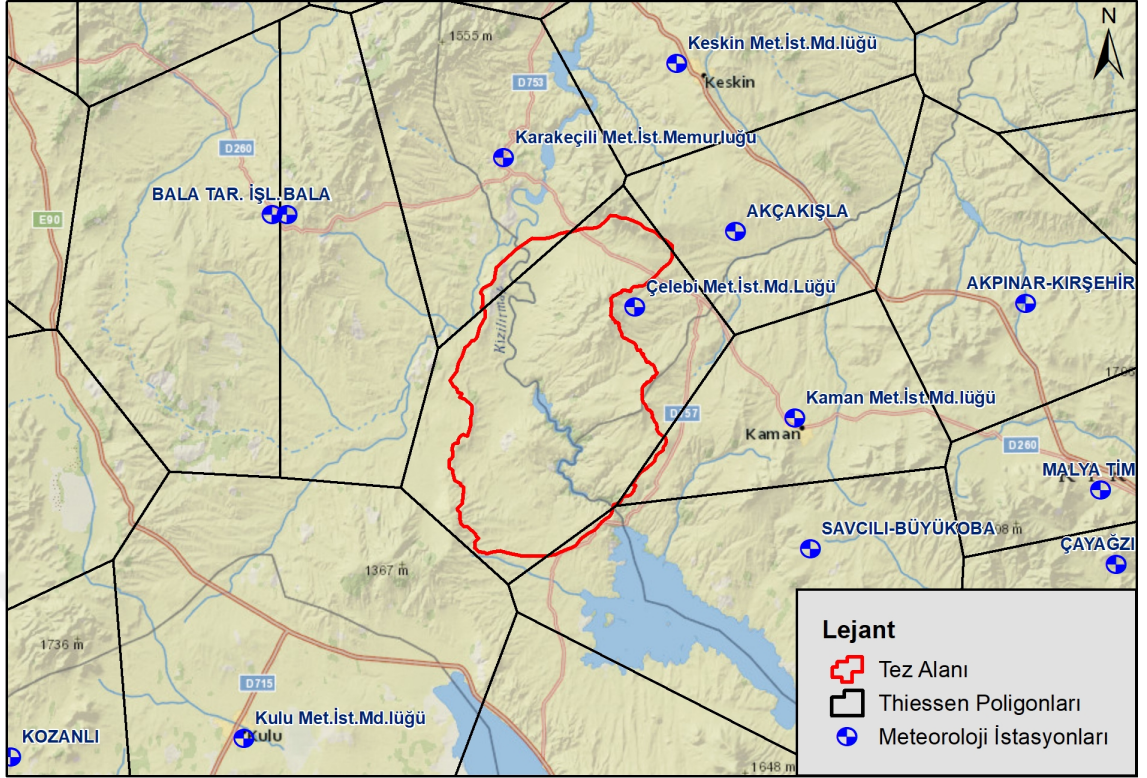
Şekil 1.3 Çalışma alanının topoğrafik haritası

1.6 İklim ve Meteoroloji

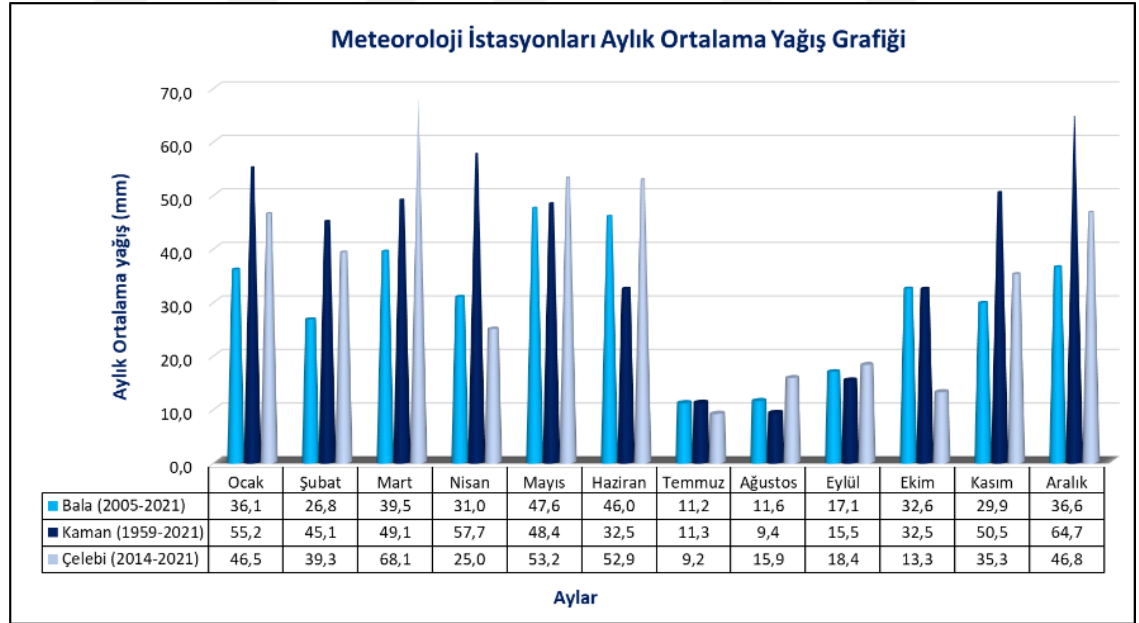
Çalışma alanının iklimsel ve meteorolojik özelliklerinin değerlendirilmesinde, Ankara ili Bala ilçesi, Kırşehir ili Kaman ilçesi ve Kırıkkale ili Çelebi ilçesinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait meteoroloji istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Her üç bölgenin iklimsel özellikleri İç Anadolu'nun karasal iklim özellikleri ile uyumludur. Genel olarak çalışma alanında yazlar kurak ve sıcak, kışlar yağışlı ve soğuk olarak izlenmektedir. Meteorolojik değerlendirmelerin yapılması amacıyla öncelikle çalışma alanını temsil eden yağış istasyonları belirlenmiştir. İstasyonları belirlemede; bir alana düşen ortalama yağışın hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri olan "Thiessen Poligon Yöntemi" kullanılmıştır (Şekil 1.4). Bunun için Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri kullanılarak ArcMap programında poligonlar oluşturulmuştur ve çalışma alanının Çelebi Meteoroloji İstasyonu'nun bulunduğu poligon içinde kaldığı görülmüştür. Ancak Çelebi Meteoroloji İstasyonu 2014-2021 yılları arasında ölçülmüş 7 yıllık veriye sahip olduğundan, çalışma alanı iklim koşullarının uzun yıllar verileri ile değerlendirilmesi amaçlı Kaman Meteoroloji İstasyonu 1959-2021 yılları arası 62 yıllık verileri ve Bala Meteoroloji İstasyonu'nda 2005-2021 yılları arasında mevcut 16 yıllık verileri de kullanılmıştır.

1.6.1 Yağış

Çalışma alanının yağış rejiminin tespit edilmesinde kullanılan yağış verileri Şekil 1.5'te, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma ve toplam yıllık yağış ortalaması Bala, Çelebi ve Kaman için sırasıyla Şekil 1.6, 1.7 ve 1.8'de verilmiştir. Uzun yıllar verileri incelendiğinde Bala için en çok yağış alan ay Mayıs ayı olup, en kurak ay ise Temmuz ayıdır. Bu durum Kaman için incelendiğinde; Ocak ayında en yüksek yağış ortalamasına sahipken en az yağış ise Temmuz ayında görülmektedir. Çelebi'de ise en çok yağış Mart ayında gözlenirken en düşük yağış ise Temmuz ayında görülmüştür. Bala Meteoroloji istasyonunun 2005-2011 yılları arası verilerine göre yıllık yağış ortalaması 30,5 mm, Kaman Meteoroloji istasyonunun 1959-2021 yılları arası verilerine göre 39,3 mm ve Çelebi Meteoroloji istasyonunun 2014-2021 yılları arası verilerine göre ise 35,3 mm olarak görülmektedir.



Şekil 1.4 Çalışma alanı civarında bulunan meteoroloji istasyonları ve Thiessen poligonları



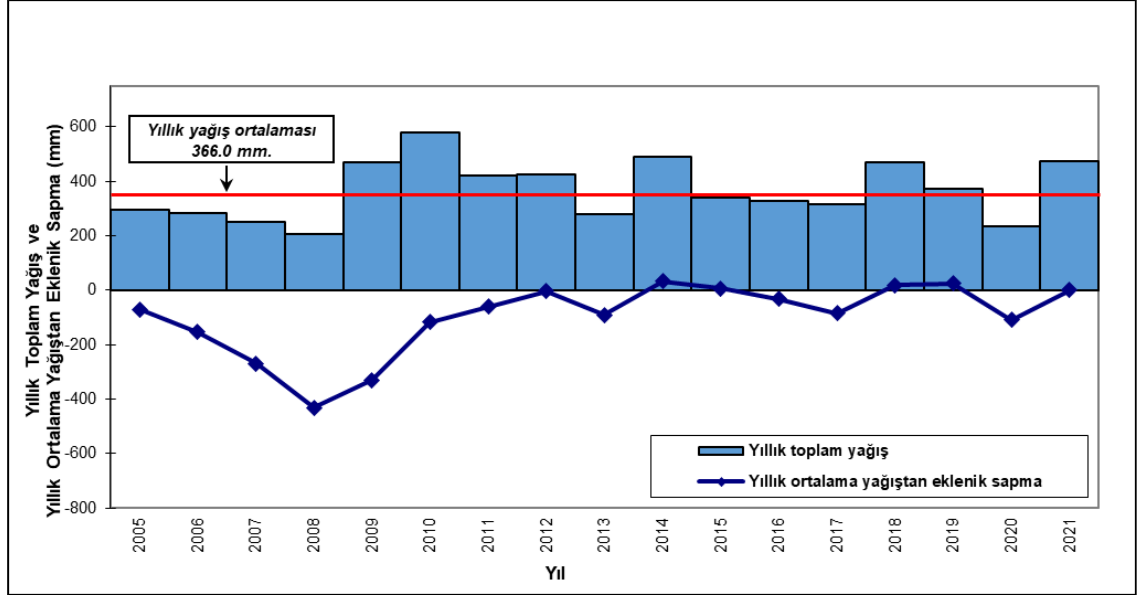
Şekil 1.5 Kaman – Çelebi – Bala meteoroloji istasyonları aylık ortalama yağış verileri

Bala Meteoroloji İstasyonu’nun uzun yıllar verilerine göre 2005-2008 yılları arası kurak dönem, 2008-2012 yağışlı dönem ve 2012’den günümüze kadar ise nispeten kararlı bir

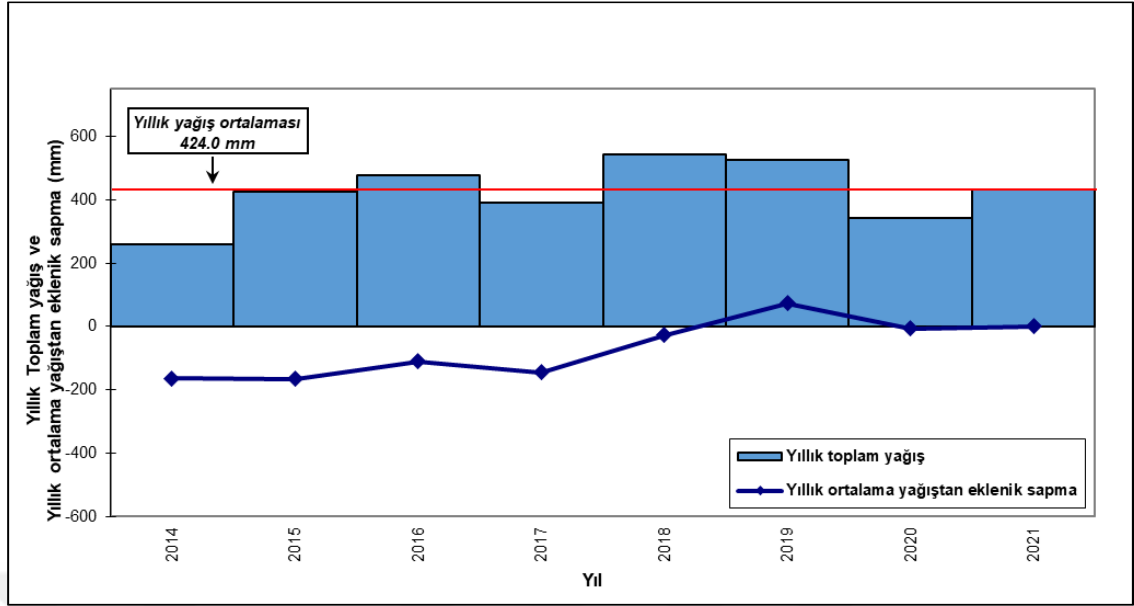
dönem gözlenmiştir. Bu istasyonda daha uzun bir veri aralığı bulunmasına rağmen 1959-2002 bazı eksiklikler gözleendiği için sadece OMGİ verileri kullanılarak eklenik sapma grafiğı oluşturulmuştur. Bala için yıllık yağış ortalaması 366 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.6).

Çelebi Meteoroloji İstasyonu verilerine göre 2014-2019 yılları arası yağışlı ve 2019-2021 yılları arası kararlı dönem olarak tanımlanabilir. Çelebi istasyonunda yıllık yağış ortalaması 424 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.7).

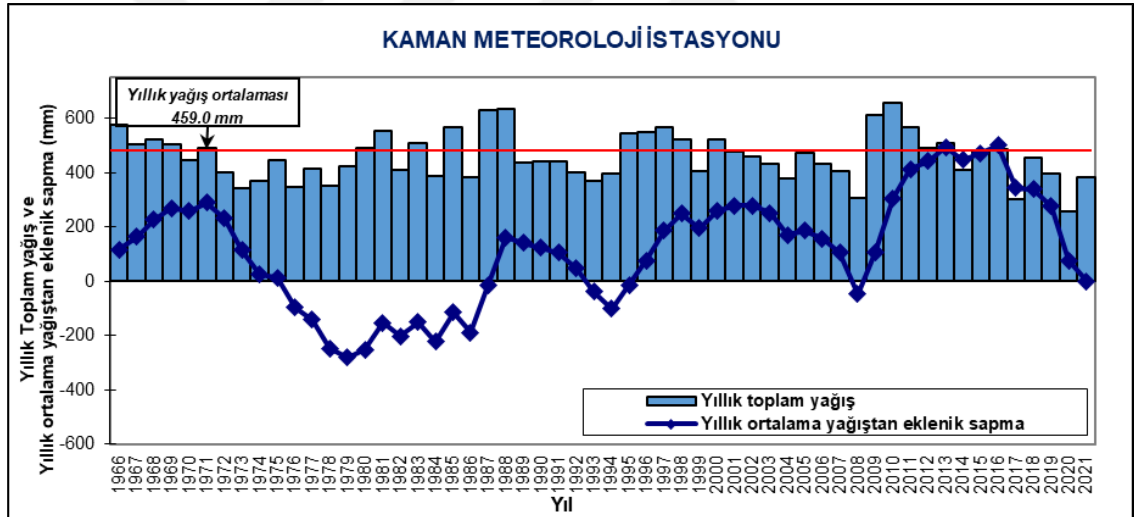
Kaman Meteoroloji İstasyonu uzun yıllar verilerinin değerlendirilmesi amacıyla elde edilen veriler ile Şekil 1.8’de oluşturulmuş olup, 1966-2011 yılları arasında ölçülmüş manuel ölçümler ile 2012-2021 yılları arası OMGİ ölçüm verileri kullanılmıştır. Buna göre yıllık yağış ortalamasının 459,0 mm olduğu tespit edilmiştir. Şekil 1.8’e göre 1966-1971, 1978-1987, 1994-2001 ve 2008-2016 yılları arası yağışlı dönem olarak gözlenirken 1971-1979, 1988-1994, 2001-2008 ve 2016-2021 yılları arası ise kurak dönem olarak nitelendirilebilir.



Şekil 1.6 Bala meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma



Şekil 1.7 Çelebi meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma

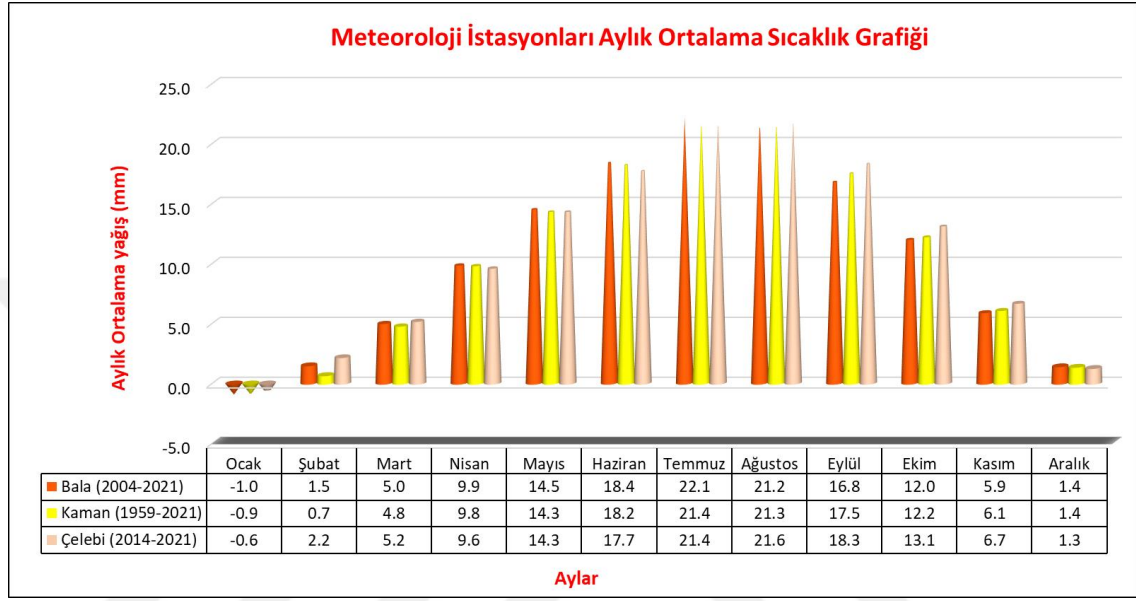


Şekil 1.8 Kaman meteoroloji istasyonu yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma

1.6.2 Sıcaklık

Bölgede sıcaklık verileri mevcut olan meteoroloji istasyonları Bala Meteoroloji İstasyonu (2004-2021 yılları arası), Kaman Meteoroloji İstasyonu (1959-2021 yılları arası) ve Çelebi Meteoroloji İstasyonu (2014-2021 yılları arası)'dur. Bu istasyonlardaki verilerden yararlanılarak Şekil 1.9 oluşturulmuştur. Uzun yıllar verileri incelendiğinde Bala ve Kaman istasyonlarında en düşük sıcaklık değeri Ocak ayında, en yüksek sıcaklık değeri ise Temmuz ayında kaydedildiği gözlenmiştir. Çelebi istasyonunda ise

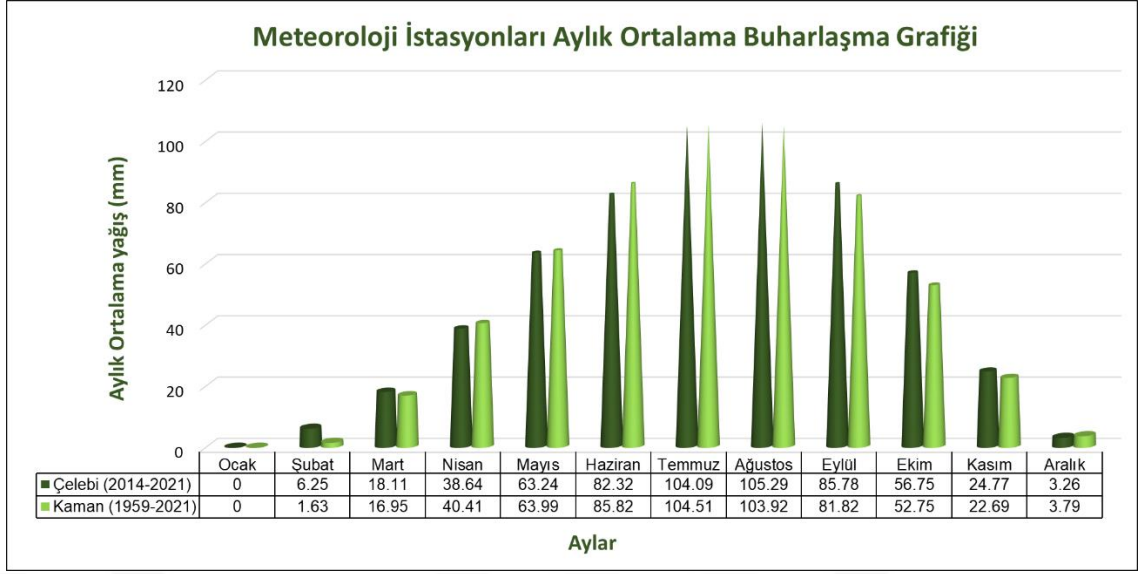
en düşük sıcaklık Ocak ayında iken, en yüksek sıcaklık değeri Ağustos ayında gözlenmiştir. Bala, Kaman ve Çelebi Meteoroloji istasyonlarında yukarıda belirtilen zaman aralıklarında kaydedilen yıllık sıcaklık ortalamaları sırasıyla 10,9 °C, 10,5 °C ve 10,6 °C'dir.



Şekil 1.9 Kaman – Çelebi – Bala meteoroloji istasyonları aylık ortalama sıcaklık verileri

1.6.3 Buharlaşma

Alandaki meteoroloji istasyonlarından Çelebi Meteoroloji İstasyonu'nun 2014-2021 ve Kaman Meteoroloji İstasyonu'nun 1959-2021 yılları arası verileri kullanılarak buharlaşma değerleri ortaya konmuştur (Şekil 1.10). Bala Meteoroloji İstasyonu'nda yağış ve sıcaklık verileri bulunmasına rağmen bu istasyon için buharlaşma verilerine ulaşılamamıştır. Çelebi ve Kaman istasyonlarında ölçülen uzun yıllar buharlaşma verileri incelendiğinde en düşük buharlaşmanın Ocak ayında, en yüksek buharlaşmanın ise Çelebi için Ağustos ve Kaman için Temmuz ayında gerçekleştiği görülmüştür. Çelebi Meteoroloji istasyonunun 2014-2021 yılları arası verilerine göre yıllık buharlaşma ortalaması 49,0 mm, Kaman Meteoroloji istasyonunun 1959-2021 yılları arası verilerine göre ise 59,3 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1.10 Kaman – Çelebi meteoroloji istasyonları aylık ortalama buharlaşma verileri

2. HİDROLOJİ

Çalışma alanındaki hidrolojik unsurlar belirlenirken MTA tarafından hazırlanmış 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları ve yapılan önceki çalışmalar ile saha çalışmaları sırasında tespit edilen su noktalarından yararlanılmıştır. Topoğrafik haritalardan edinilen bilgilere göre bölge zengin kaynak, kuyu, çeşme noktalarını içermekte olup, topoğrafik harita üzerinde baraj havzasında çok sayıda su noktasının olduğu görülmüştür. Bu su noktalarının bölgenin mevcut durumuna bakıldığında, zamanla kuruyup kaybolduğu belirlenmiştir. Bu nedenle topoğrafik haritadan görülen bu noktaları gösterir bir harita güncelliğini kaybetmiş olduğundan çalışma kapsamında sunulmamıştır. Bunun yerine, sahada önceki çalışmalar ile bu çalışmada tespit edilen su noktaları gösterilmiştir.

2.1 Su Noktaları

Yapılan çalışmalarda bölgede yer alan su noktaları tespit edilmiş olup, bu noktalar aşağıda ayrı başlıklar altında detaylı irdelenmiştir. Su noktalarının konumlarını gösterir harita şekil 2.1’de sunulmuştur.

2.1.1 Akarsular

Çalışma alanı içerisinde mevsimsel ve akar dereler bulunmakta olup bu dereler şekil 2.1’de gösterilmiştir. Topoğrafik haritadan çizilen akar derelerin varlığı saha çalışmaları ve yapılan önceki çalışmaların verilerinden yararlanılarak belirlenmiş olup mevsimsel dereler ise sadece 1/25000 ölçekli bölgeye ait topoğrafik harita kullanılarak çizilmiştir. Bu mevsimsel dereler yağışlı dönemlerden itibaren akış gösteren kurak dönemlerde kuru olan derelerdir. Saha çalışmaları sırasında genel olarak sulama kanalları ve dere yataklarına rastlanmış olup, mevsimsel derelerin zamanla kuruyup yok olduğu düşünülmektedir. Havzanın en güney ucundaki derelerden Cenger ve Uluçayır Deresi arasında kalan kesim sızıntı şeklinde görülmektedir. Bunun nedeninin; Uluçayır Deresi sularının bulunduğu litolojinin yüksek gözenek ve geçirimsizliğe sahip olması

dolayısıyla, yatak boyunca yeraltına süzülmesi ve Cenger Deresi'ne bir kaynak olarak boşalması olarak düşünülmektedir. Genel olarak geçmiş yıllardaki uydu görüntüleri de incelendiğinde bölgede yüzey suyu drenajının mevcut olduğu ve yüzey sularının baraj beslenimine katkıda bulunduğu görülmektedir. Bölgedeki dereler ve derelerdeki debi ölçüm noktalarını gösteren harita şekil 2.1'de verilmiştir. Bu haritada verilen ölçüm noktalarına ait debi değerleri ASKİ (2022) tarafından belirlenmiştir (Çizelge 2.1). Bu ölçümlere göre en yüksek debi Büyüköz Deresi'nde 2022 yılının Mayıs ayında 0,027 m³/s olarak belirlenmiştir.

Şekil 2.1 Çalışma alanının hidroloji haritası

Çizelge 2.1 Baraj havzasında ölçülen debi değerleri (ASKİ, 2022)

Ölçüm Noktası	Dere İsmi	Nisan 2022 (m ³ /sn)	Mayıs 2022 (m ³ /sn)	Haziran 2022 (m ³ /sn)
1	Cenger Deresi	0,015	Ölçüm yok	Ölçüm yok
2	-	0,01	0,006	0,001
3	-	0,012	0,005	0,00125
4	-	0,0075	Ölçüm yok	0,0016
5	Melegirmez Deresi	0,0005	0,0024	Akış Yetersiz
6	Büyüköz Deresi	0,024	0,027	0,01
7	-	0,007	0,0054	Akış Yetersiz

2.1.2 Kaynaklar

MTA tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde geçmişte tespit edilmiş üç yüzden fazla kaynak noktasının olduğu bilinmektedir. Sahada birkaç örnek noktası gözlenmesine karşın, arazi koşullarında ulaşımı zor lokasyonlarda olması nedeniyle değerlendirmelere katılmamış ve örnek alınmamıştır.

2.1.3 Çeşmeler

Baraj havzasında, topoğrafik harita üzerinde, zamanla kurduğu düşünülen yaklaşık 73 adet çeşme bulunmaktadır. Yapılan önceki çalışmalarda ASKİ (2022) tarafından 14 çeşme noktası daha tespit edilmiştir. Saha çalışmalarında ise bunlar dışında tespit edilen 4 adet çeşmeden örnekleme yapılmıştır (Şekil 2.1).

2.1.4 Kuyular

Tarımın yaygın olduğu bu bölgede sulama daha çok yüzey suyu ile yapılıyor olsa da saha çalışmaları sırasında farklı lokasyonlarda köylülere ait birçok kuyunun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2.2). Bu kuyular içme-kullanma ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. Aynı zamanda önceki çalışmalarda tespit edilmiş 19 adet DSİ belgeli kuyusu ile 7 adet ASKİ (2022) tarafından tespit edilmiş kuyu noktası olduğu bilinmektedir. Tez çalışması kapsamında alanı en iyi şekilde temsil edeceği düşünülen 14 adet kuyudan örnek alınmıştır (Şekil 2.1).

Çizelge 2.2 Sahada mevcut kuyuların koordinatları

Nokta	X	Y	Nokta	X	Y	Nokta	X	Y
Bu Çalışmada Saptanan Kuyular			ASKİ Tarafından Saptanmış Kuyular			Kuyu-7	539835	4370605
Kuyu-1	544305	4351216	Kuyu-1	536676	4358270	Kuyu-8	541500	4367125
Kuyu-2	538606	4363216	Kuyu-2	538416	4351970	Kuyu-9	540200	4375691
Kuyu-3	536924	4366305	Kuyu-3	537495	4350020	Kuyu-10	533794	4360439
Kuyu-4	537328	4366945	Kuyu-4	544195	4366540	Kuyu-11	534366	4359880
Kuyu-5	537196	4366860	Kuyu-5	544265	4366320	Kuyu-12	535767	4356164
Kuyu-6	547240	4371568	Kuyu-6	532415	4360570	Kuyu-13	546953	4372570
Kuyu-7	546479	4372718	Kuyu-7	532515	4360520	Kuyu-14	535581	4357046
Kuyu-8	546299	4375848	DSİ Tarafından Saptanmış Kuyular			Kuyu-15	534521	4369813
Kuyu-9	549118	4374266	Kuyu-1	545044	4373980	Kuyu-16	535130	4373004
Kuyu-10	548149	4374239	Kuyu-2	540309	4373361	Kuyu-17	536343	4375391
Kuyu-11	536305	4351848	Kuyu-3	540324	4372191	Kuyu-18	544310	4358050
Kuyu-12	538008	4348573	Kuyu-4	543933	4371669	Kuyu-19	543838	4356830
Kuyu-13	535608	4356551	Kuyu-5	543763	4371922			
Kuyu-14	534186	4358111	Kuyu-6	540415	4370287			

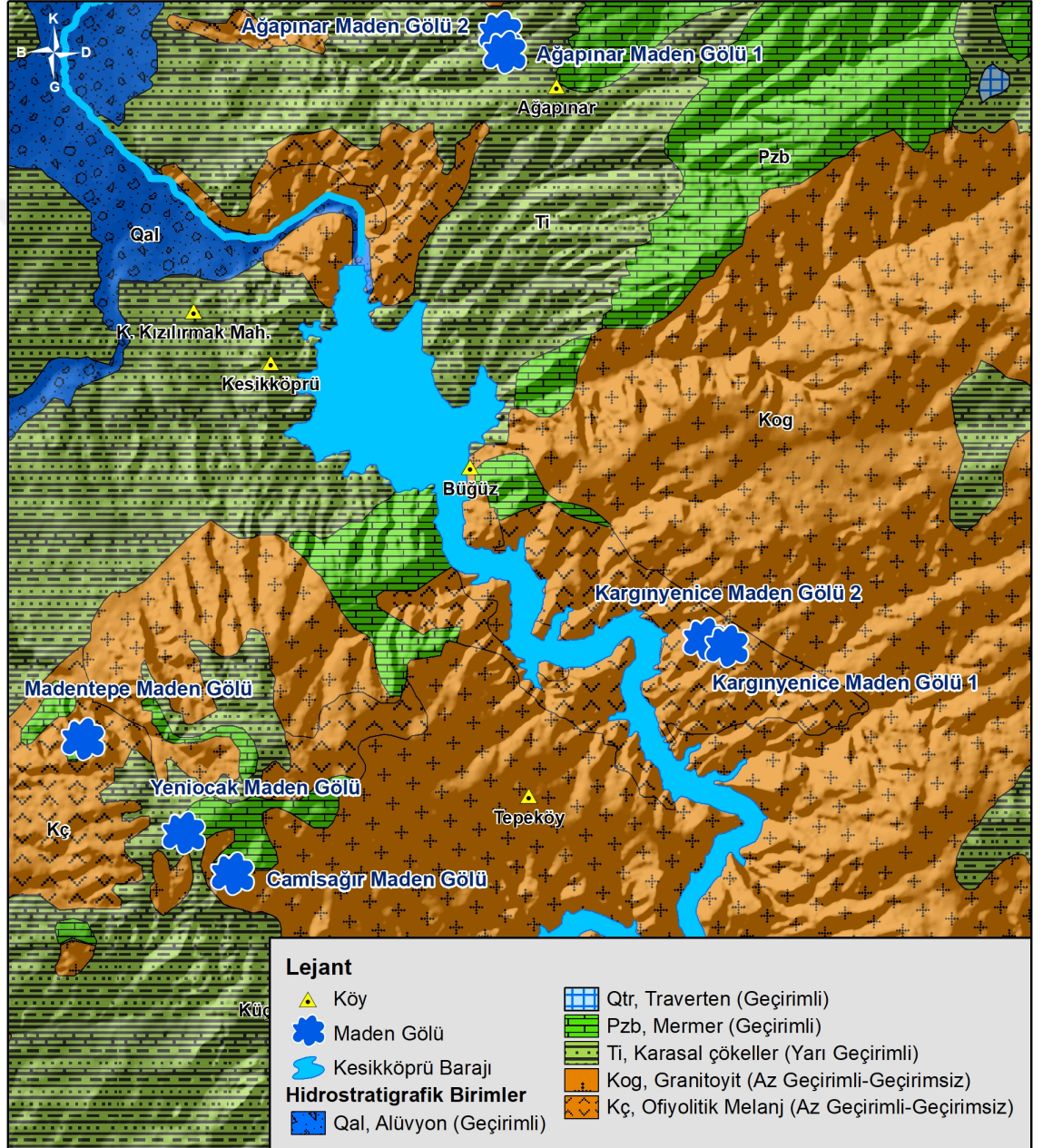
2.1.5 Maden Gölleri

Çalışma kapsamında sahada 7 adet maden gölü tespit edilmiştir. Bunlar Kargınyenice Maden Gölü 1, Kargınyenice Maden Gölü 2, Ağapınar Maden Gölü 1, Ağapınar Maden Gölü 2, Madentepe Maden Gölü, Yeniocak Maden Gölü ve Camisağır Maden Gölü'dür. Kargınyenice Maden Gölü 1-2 geçirimsiz granitoyitler üzerinde yer alırken, Ağapınar Maden Gölü 1-2 yarı geçirimli karasal çökeller içinde yüzeylemiştir. Camisağır Maden Gölü ise geçirimli mermer birimi ile geçirimsiz granitoyit biriminin dokanak noktasında yer almaktadır. Aynı şekilde Yeniocak Maden Gölü'de geçirimli mermer ve yarı geçirimli karasal çökellerin dokanağında yüzeylemiştir. Madentepe Maden Gölü ise ofiyolitik melanjin içerisinde yer almaktadır. (Şekil 2.2).

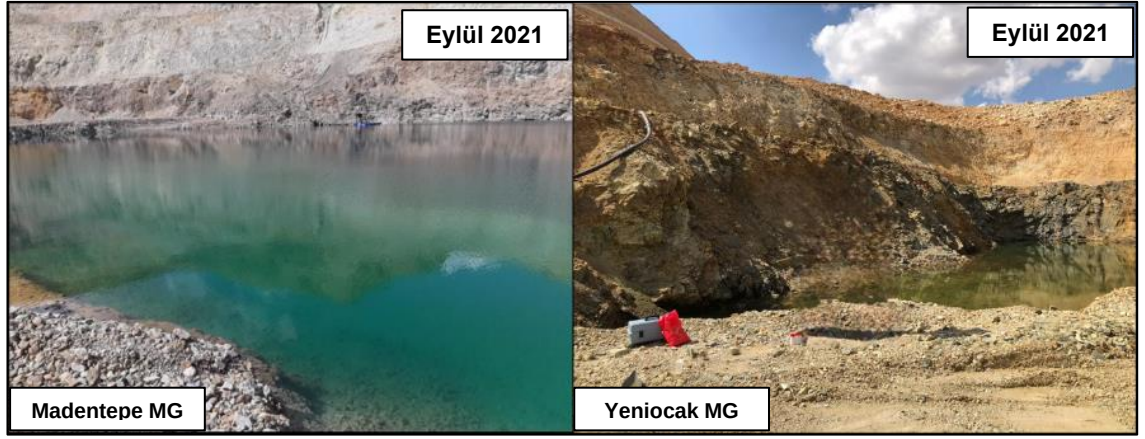
2021 yılı ön arazi çalışmaları kapsamında tespit edilen Madentepe ve Yeniocak Maden Gölleri (Şekil 2.3) aktif ocak sahası içinde bulunduğundan 2022 yılı örnekleme dönemlerinde incelenememiş olup, şu anki durumları ile ilgili net bilgi edilememiştir. Uydu görüntülerinde Madentepe Maden Gölü'nün varlığı net olarak görülmektedir. Bu göllere ilişkin elde edilen bilgiler, Bölüm 5 Materyal ve Metot içerisinde arazi çalışmaları kapsamında değerlendirilmiştir.

Ekim ayı kurak dönem arazi çalışmaları yapılırken Ağapınar Maden Gölü 1 noktasında Mayıs ayında örneklenen gölün kuru olduğu görülmüştür. Bu gölde Mayıs ayı yağışlı

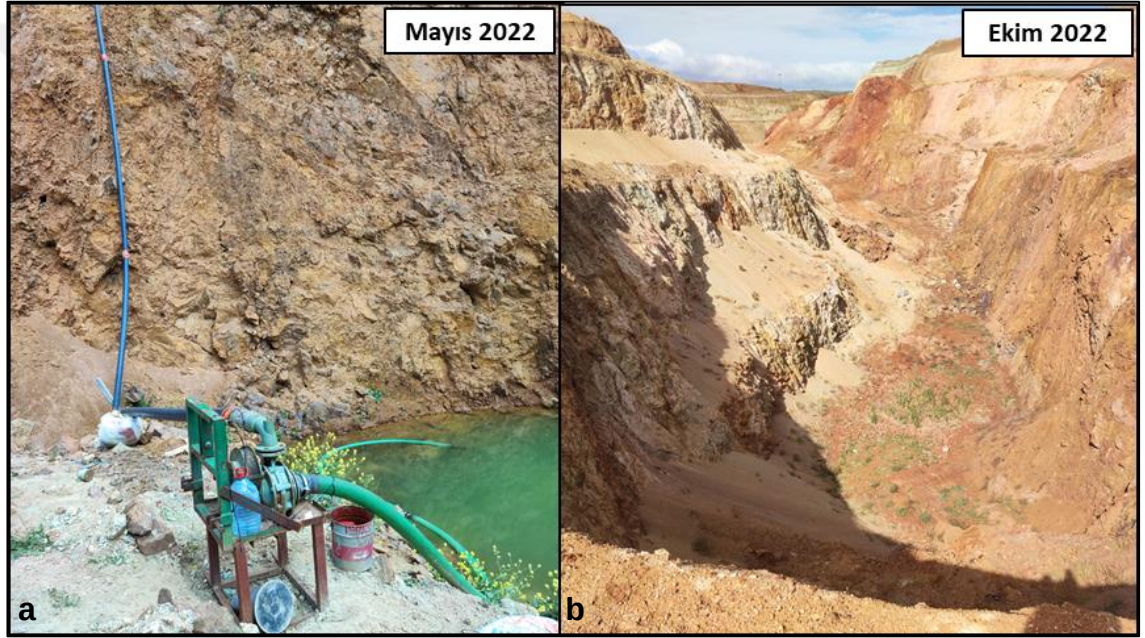
dönem örnekleme çalışmaları yapılırken suyun göl yakınındaki mısır tarlalarını sulama amacıyla çekilmeye başlandığı bilgisi Ağapınar köy muhtarından edinilmiş (Şekil 2.4a) ve Ekim ayına kadar gölün tamamen kurutulduğu tespit edilmiştir (Şekil 2.4b). Ağapınar’a benzer şekilde Ekim ayında Camisağır Maden Gölü’nde de su seviyesinin azaldığı ve suyun çekilerek kullanıma verildiği gözlemlenmiştir (Şekil 2.5).



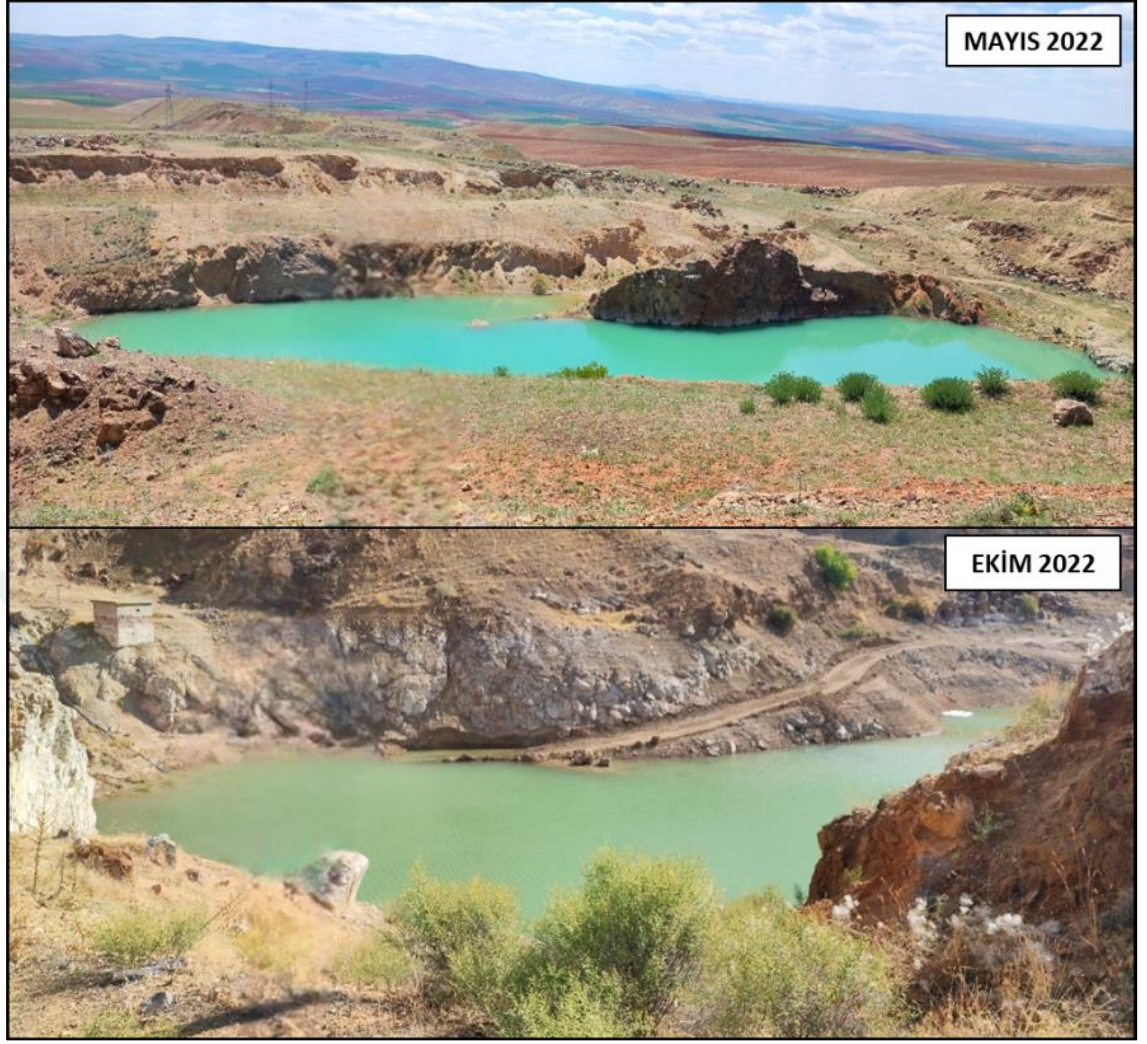
Şekil 2.2 Çalışma alanı içerisindeki maden gölleri ve hidrostratigrafik birimler üzerindeki konumları



Şekil 2.3 2021 yılı ön arazi çalışmalarında maden sahası içerisinde tespit edilen maden gölleri



Şekil 2.4 Ağapınar Maden Gölü 1 noktasında Mayıs ve Ekim ayı görüntüleri



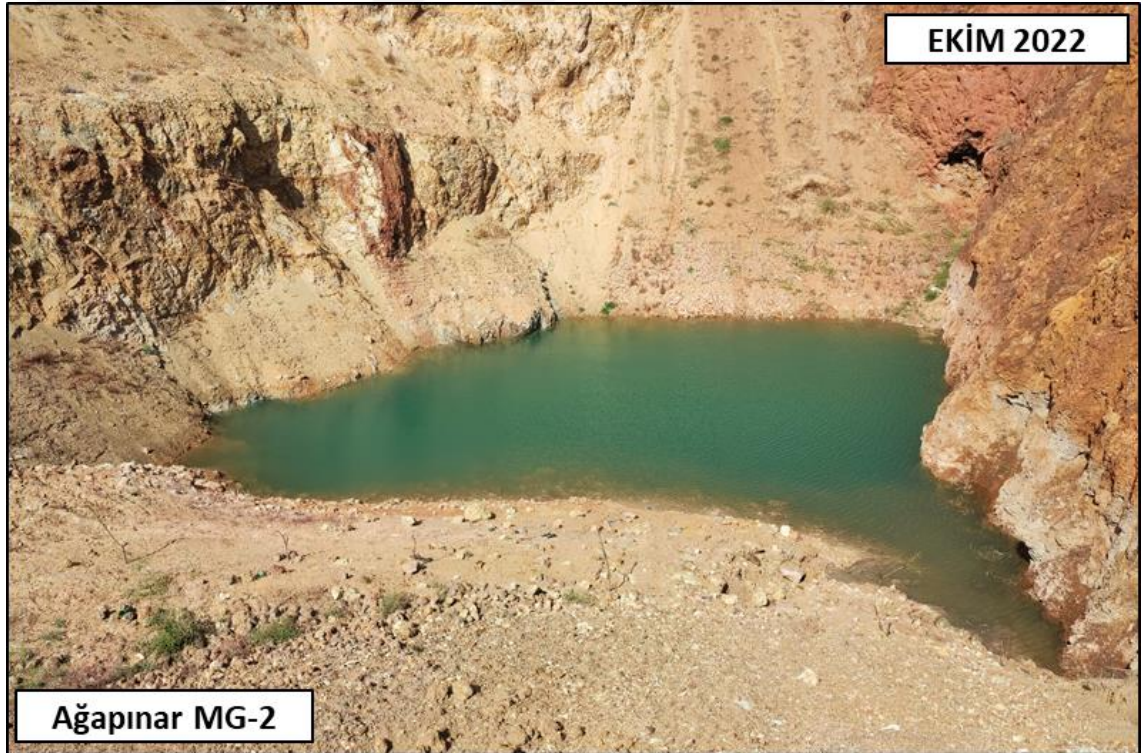
Şekil 2.5 Camisağır Maden Gölü Mayıs ve Ekim ayı görüntüleri

Kargınyenice Maden Gölü 1 örnek noktasında Ağapınar ve Camisağır maden göllerinden farklı olarak Mayıs ve Ekim aylarında göl yüzey alanında gözle görülür bir değişiklik izlenmemiş olup, göl çevresinde suyun çekildiğine dair herhangi bir ekipman gözlenmemiştir (Şekil 2.6).

Kurak dönem arazi çalışmaları sırasında Ağapınar Maden Gölü 1 örnek noktasındaki suyun çekilmesi nedeniyle, bu gölü temsil edecek diğer bir maden gölü olan Ağapınar Maden Gölü 2 noktası çalışma kapsamında incelenmiştir (Şekil 2.7). Bu maden gölü 1. örnek noktasının yaklaşık 300 m kuzeyinde yer almaktadır.



Şekil 2.6 Kargınyenice Maden Gölü Mayıs ve Ekim ayı görüntüsü



Şekil 2.7 Ağapınar Maden Gölü 2 Ekim ayı görüntüsü

3. JEOLojİ

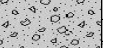
Tez çalışması kapsamında, çalışma alanının jeolojik yapısı incelenmiş ve bölgesel, yerel, yapısal kapsamda değerlendirilmiştir. Çalışma alanını oluşturan formasyonların stratigrafik istifi şekil 3.1’de verilmiştir.

3.1 Bölgesel Jeoloji

Çalışma sahası Orta Anadolu'nun kuzey kesiminde Kuzey Anadolu Ofiyolitik Kuşağı ve güneyinde İç Torid Kenedi ile sınırlanan, Türkiye'nin ana tektonik birimlerinden biri olan Kırşehir Masifi içerisinde yer almaktadır. Kırşehir Masifi'nin metamorfik, magmatik ve ofiyolitik kayaç toplulukları Orta Anadolu Kristalin Kompleksi (OAKK) olarak adlandırılmıştır (Göncüoğlu vd. 1991, 1993). OAKK içerisinde yer alan metamorfik kütleler yüzeyledikleri coğrafik alanlar gözetilerek; Akdağ Masifi (Baykal 1947), Kırşehir Kristalin Masifi (Bailey ve McCallien 1950; Egeran ve Lahn 1951), Orta Anadolu Masifi, Kızılırmak Masifi (Ketin, 1955, 1963; Erkan ve Ataman, 1981), Niğde grubu, Niğde Masifi (Göncüoğlu 1977, 1981), Kaman grubu (Seymen 1981a, b) ve Orta Anadolu Kristalin Kompleksi (Erler ve Bayhan 1995) olarak farklı isimlerle tanıtılmıştır.

Bölgede Kırşehir Masifi'nin tabanı olan metamorfik seriyi oluşturan Kalkanlıdağ Formasyonu üzerine mermer, şist, gnays, amfibolit, kuvarsit içeren Kervansaraydağ Formasyonu gelmiştir (Şekil 3.1). Kıvrımlanma ve yapraklanmanın iyi geliştiği bu formasyon üste doğru; çört amfibolit-amfibolit şist ara yüzeyleri içeren mermer biriminden oluşan Bozçaldağ Formasyonu ile düşey – yanal yönde geçişlidir. Bu mermerleri, Bozçaldağ Formasyonu üzerine gelen ve ofiyolitik melanji temsil eden Ankara Melanji bir diğer adıyla Çiçekdağ Formasyonu tektonik olarak üzerlemiştir. Bu formasyon üzerine ise bölgedeki volkanik kayaçları oluşturan Baranadağ Granitoyidi, Karaboğazdere Gabrosu ve metamorfik-plütonik kayaları sil-dayk şeklinde kesen Kötüdağ Volkaniti gelmektedir. İstifin hemen üstünde ise altta Baranadağ, bir diğer adıyla Kesikköprü granitoyidi üzerine uyumsuzlukla yerleşen ve bölgedeki flišleri temsil eden Çayraz Formasyonu yer alır. Çayraz Formasyonu bölgede alüvyonlardan

sonraki en genç birimleri oluşturan Kızılırmak Formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. İstifin en tepesinde ise Kuvaterner alüvyon-traverten birimleri yer almaktadır (Şekil 3.1) (Seymen 1981, Kara ve Dönmez 1990, Doğan vd. 1998, Dönmez vd. 2008, Karadenizli vd. 2005, DSİ 2016, Beyazpırınç vd. 2022).

ZAMAN	SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KAYA TÜRÜ	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner			İç Anadolu Grubu	Kızılırmak		Qal		Alüvyon Traverten
			Qtr				Karasal Çökeller (Çakıtaşı Kumtaşı, Çamurtaşı, İgnimbirit, Kireçtaşı, Jips, Anhidrit)		
	Neojen	Pliyosen				Ti		Kireçtaşı	
		Üst Miyosen	Messiniyen Tortoniyen			Kozaklı Kireçtaşı Üyesi	Tmük		Fliş (Kireçtaşı, Mam, Kongomera Çakıtaşı, Kumtaşı, Çamurtaşı)
	Paleojen	Eosen				Çayraz Formasyonu	Teç		Volkanitler (Riyolit, Riyodasit, Siyenit Porfir, Kuvarsalı Monzonitporfir)
MESOZOYİK	Kretase	Üst	Maastrichtiyen		Kötüdağ Volkaniti		Kkö		Gabro, Amfibolit, Metadiyabaz
					Karaboğazdere Gabrosu		Kk		Granitoidler (Granit-Granodiyorit-Monzonit)
					Baranadağ Granitoidi		Kog		Ofiyolitik Melanj (Bazalt, Mikrogabro, Diyabaz, Tuf, Radyolarit, Çört,Kireçtaşı, Çamurtaşı)
					Ankara Melanjı	Kç		Mermer, Dolomit	
	PALEOZOYİK	Permiyen	Üst	KİRŞEHİR MASIFI	Bozçaldağ		Pzb		Metamorfik Seri (Şist, Gnays, Amfibolit, Kuvarsit)
Alt									
Karbonifer		Üst	Kervansaraydağ		Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi	Pzke Pzk (Pzkk)			
Devoniyen		Üst	Kalkanıdağ						

Şekil 3.1 Çalışma alanının ölçeksiz stratigrafik istif (Seymen 1981, Kara ve Dönmez 1990, Doğan vd. 1998, Dönmez vd. 2008, Karadenizli vd. 2005, DSİ 2016, Beyazpırınç vd. 2022'den yararlanılarak düzenlenmiştir).

3.1.1 Kalkanlıdağ formasyonu (Pzk)

Kırşehir Masifi'nin tabanını oluşturan ve Seymen (1982) tarafından isimlendirilen Kalkanlıdağ Formasyonu çoğunlukla gnays ve daha az oranda şist, kuvarsit, amfibolitten oluşan metamorfik kayalar içermektedir. Birim, birbirleriyle farklı oranlarda ardalanma gösteren gnays, şist ve bunların türevlerinden oluşur. Kuvarsit, gnays, amfibolit ve yer yer demirli kuvarsit seviyeleri; Kalkanlıdağ Formasyonu içerisinde yer alan Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi'ni (Pzkk) oluşturur. Stratigrafik konumu gözetilerek ve Toroslar'daki benzer fasiyeslerle korele edilerek birime Geç Devoniyen yaşı verilmiştir.

3.1.2 Kervansaraydağ formasyonu (Pzke)

Kırşehir Masifi'nin tabanını oluşturan Kalkanlıdağ formasyonu üzerinde geçişli olarak yer alan Kervansaraydağ Formasyonu (Şekil 3.1) Kara ve Dönmez (1990) tarafından isimlendirilmiştir. Genel olarak sarımsı gri renkli olup, kuvars mikaşist, mikaşist, kuvarşist, kuvarsit, kalkışist, mermer ve dolomit ile bitümlü şist aralanmalı, yer yer kuvarsit ve mermerden oluşmaktadır. Bu birime stratigrafik konumu dikkate alınarak Karbonifer - Erken Permiyen yaşı verilmiştir (Kara ve Dönmez 1990).

3.1.3 Bozçaldağ formasyonu (Pzb)

Seymen (1982) tarafından adlandırılan Bozçaldağ Formasyonu; mermer, dolomitik mermer ve dolomitten oluşmaktadır. Mermer ve dolomitlerin ayrışma yüzeyleri gri, yeni kırılmış yüzeyler beyaz, yer yer gri, siyahımsı renkli, ince-orta-kalın ve genellikle düzenli tabakalanmalı, orta-iri kristallidir. Mermerler arasında amfibolit-amfibolitşist-ince çört malzemeli ara seviyeleri görülür. Tamamen metakarbonatlarla temsil edilen birim kıvrımlı ve oldukça kırıklı bir yapı arz eder. Stratigrafik konumu ve Toros Dağları'ndaki benzer fasiyeslerle korelasyonu dikkate alınarak, birim için Geç Permiyen yaşı önerilmiştir.

3.1.4 Ankara melanji (Kç)

Çalışma alanındaki ofiyolitik kayaçlar inceleme alanına nap şeklinde yerleşmiş olup, bu birimler Dönmez ve Akçay (2016) tarafından Çiçekdağı napı; Seymen (1981, 1982, 1983, 1984, 2000) tarafından Ankara Karışığı; Kara ve Dönmez (1990) tarafından ise Çiçekdağ Formasyonu olarak tanımlanmıştır. Çiçekdağ Formasyonu bazalt, diyabaz, lav, spilit, spilitik bazalt, bazik tüf, pelajik kireçtaşı, çamurtaşı ve kalınlığı 5 metreden az radyolarit çört bant ve merccekler ile volkanik kumtaşlarından meydana gelen volkano-tortul kayaçlardır. Değişen boyutlarda yüzeylemeleri olan ofiyolitli melanj kayaları bölgesel çalışmalarda farklı adlamalarla incelenmiştir. Güncel çalışmalarda

jeokronolojik yaşlandırma amacıyla ofiyolitik seriye ait alınan örneklerde birimin Erken Jura - Maastrichtiyen döneminde oluştuğu ifade edilmiştir (Beyazpirinç vd. 2022).

3.1.5 Karaboğazdere gabrosu (Kk)

Siyahımsı yeşil, yeşil renkli metadiyabaz, masif metagabro ve amfibolitten oluşan bazik kayalar Karaboğazdere Gabrosu ismiyle tanımlanmaktadır. Birim Kırşehir Masifi kayaları oluşurken sedimanter ve/veya post-sedimanter olarak dayk ve sil şeklinde alana yerleşerek metamorfizmaya uğramıştır. Birimin dayk ve sil kesimlerini amfibol şistleri ve amfibol oluşturur. Metagabrolarda sıklıkla uranitleşme, nadir olarak da serpantinitleşme görülmektedir. Bölgedeki gabrolar kimi çalışmalarda Hacıselimli Formasyonu olarak da tanımlanmıştır (Keskin vd. 2020).

3.1.6 Kötüdağ volkaniti (Kkö)

Orta Anadolu granitoyitlerinin kenar zonlarında gelişmiş dasit, riyodasit, riyolit, siyenit porfir ve kuvarslı monzonitporfir kaya türlerini kapsayan bu birim Seymen (1982) tarafından Kötüdağ Volkaniti olarak adlandırılmıştır. Jeokronolojik yaşlandırma amacıyla alınan örneklerden Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşı elde eden Beyazpirinç vd. (2020) Kötüdağ volkanitlerini, inceleme alanında yer alan granit, monzonit ve siyenit bileşimli plütonik kayaları yüzey ve sığ sokulum/yarı derinlik kayaları olarak yorumlamıştır. İç Anadolu Kristalen Karmaşığı içerisindeki volkanik kayaları başlıca Kötüdağ volkaniti oluşturmaktadır (Tolluoğlu 1993).

3.1.7 Çayraz formasyonu (Teç)

Havzanın güneybatısında Bala ilçesi sınırlarında kalan ve filiş birimini kapsayan Çayraz Formasyonu; kireçtaşı ve marn aralanmasından oluşur. Çayraz Formasyonu fosilli, kalın tabakalı ve aralarda kumlu kireçtaşı, marn aralanmasından oluşur. Ayrıca ara ara konglomera bantları da bulunmaktadır. Filiş karakterli birimler çökelirken diğer birimler ile yanal ve düşey yönde ilişkide bulundukları gözlenmiştir. Bu formasyon

Kesikköprü granitoyidi üzerine uyumsuzlukla gelmekte, üst dokanağı ise Kızılırmak formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 3.1). Çayraz Formasyonunun yaşı Eosen olarak kabul edilmiştir (Bilgin vd. 1986).

3.1.8 İç Anadolu grubu (Ti)

Kırmızı-kahve çakıltası, jips, anhidrit, çamurtaşı ile kireçtaşı ve ignimbirit ara seviyelerinden oluşan bu birim İç Anadolu Grubu olarak adlanmıştır. Miyosen yaşlı birimleri uyumsuzlukla örten bu formasyon Kuvaterner çökelleri tarafından uyumsuzlukla örtülür. İçerdiği fosil bulgusuna göre yaşı Orta - Üst Miyosen – Pliyosen olarak tespit edilmiştir. Ancak daha önceki çalışmalar bu birimin yaşının içerdiği volkanik kayalardan elde edilen yaş bulgusuna göre Erken Miyosen'e kadar inebileceğini göstermiştir. Bu birim yapılan çalışmalarda Kızılırmak Formasyonu adı altında da incelenmiştir (Keskin vd. 2020, DSİ 2016).

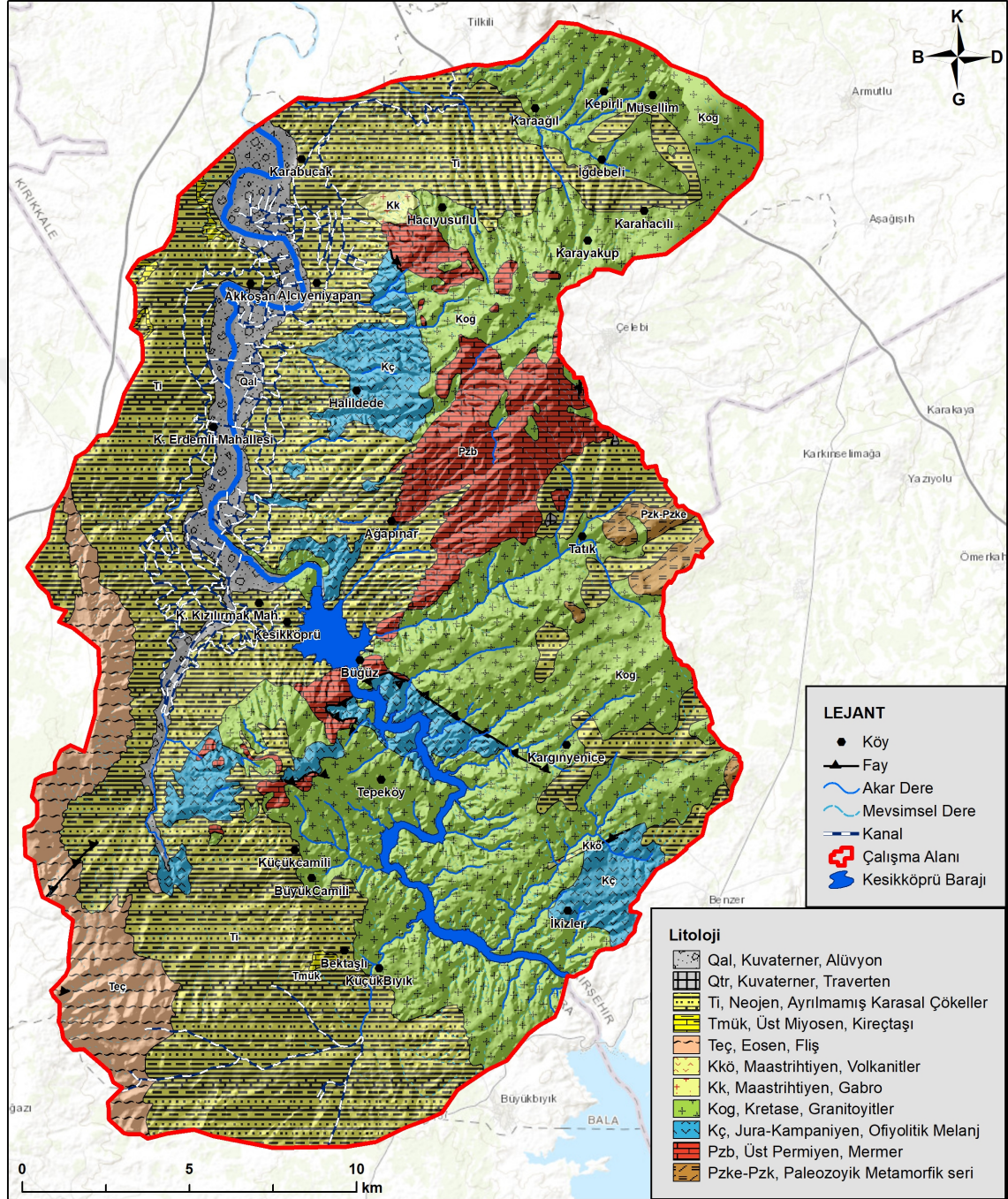
- **Kozaklı Kireçtaşı Üyesi (Tmük)**

İç Anadolu Grubu göl çökelleri içerisinde bant ve mercekler şeklinde masif, çok sert, ara ara mikritik ve kırıntılı, killi, boşuklu olarak yüzeylenmiş kireçtaşı düzeyleri Kara ve Dönmez tarafından (1990) Kozaklı Kireçtaşı Üyesi olarak tanımlanmıştır. Bu birimin Bala-Karakeçili kara yolunun güneyi ile Kızılırmak Vadisi arasında kalan alanlarda yaygın olarak yüzeylendiği, kalınlığının ise 1 – 8 m arasında değiştiği ifade edilmiştir (Dönmez vd. 2008).

3.2 Yerel Jeoloji

Çalışma alanı 518 km²'lik bir alanı kapsamakta olup, Paleozoyik'ten günümüze kadar uzanan bir zaman aralığında oluşmuş sedimanter, magmatik ve metamorfik birimleri içermektedir. Bu birimler Paleozoyik metamorfik seri (Pzke-Pzk) ve mermerler (Pzb), Mesozoyik yaşlı ofiyolitler (Kç), granitoyitler (Kog), gablo (Kk) ve volkanitler (Kkö),

Tersiyer yaşı Eosen flişler (Teç) ve kireçtaşları (Tmük) ile ayrılmamış karasal çökeller (Ti), Kuvaterner yaşı traverten (Qtr) ve alüvyonlardan (Qal) oluşmaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Çalışma alanının jeoloji haritası (Seymen 1981, Kara ve Dönmez 1990, Doğan vd. 1998, Dönmez vd. 2008, Karadenizli vd. 2005, DSİ 2016, Beyazpırınç vd. 2022'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

3.2.1 Paleozoyik yaşı birimler

3.2.1.1 Metamorfik seri (Pzk-Pzke)

Çalışma alanındaki en yaşlı birimleri oluşturan metamorfik birimler, Kesikköprü Barajı'nın doğu kesimlerinde Tatık Köyü çevresinde yüzeylenmektedir (Şekil 3.2). Bu birim Kırşehir Masifi içerisinde kalan Kalkanlıdağ Formasyonu (Pzk), Kervansaraydağ Formasyonu (Pzke) ve Kalkanlıdağ Formasyonu içerisindeki kuvarsitleri temsil eden Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi (Pzkk) ile temsil olunur. Birim başlıca granülit, gnays, amfibolit, şist, kuvarsit, mermer, klorit ve talk şistten oluşmaktadır (Öztürk vd. 1983, DSİ 2016, Beyazpınar vd. 2022).

3.2.1.2 Mermer (Pzb)

Çalışma alanının Permian yaşlı mermerleri Kesikköprü Barajı'nın kuzeydoğusunda geniş bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 3.2). Ayrıca Kesikköprü ve Büğüz Köyü civarında da gözlenen bu birim Bozçaldağ Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında mermerler; gri-beyaz renklerde, bol kırıklı-çatlaklı ve karbonat-kalsedonik kuvars mineralleri ile dolgulu, şeker dokulu ve yer yer dolomitik bileşimde olup birimde yoğun silisleşme gözlenmektedir (Doğan vd. 1998; Dönmez vd. 2008, Terzi 2014, DSİ 2016; Beyazpınar vd. 2022).

3.2.2 Mesozoyik yaşı birimler

3.2.2.1 Ofiyolitik melanj (Kç)

Havzanın orta kesimlerinde; Tepeköy, Büğüz ve Kargıyence köyü arasında kalan bölgede ve Halildede Köyü, İkizler köyü ile batıdaki maden ocakları çevresinde yüzlek veren bu kayalar, alanın yaklaşık 19 km²'lik bir kısmını kaplamaktadır (Şekil 3.2). Ankara Melanjı içerisinde kalan bu birim genel olarak diyabaz, bazalt, tuf, pelajik kireçtaşı, lav, çamurtaşı ve çört bant ve merccekler ile volkanik kumtaşlarından oluşan

volkano-sedimanter kayalardan oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı metamorfiklerin uştune tektonik olarak gelen bu birim içerisinde Fe-Mn cevherleşmesi görüldüğü ifade edilmiştir (Dönmez vd. 2008). şekil 3.3 Kargınyenice köyü civarında bulunan maden göllerinin çevresindeki ofiyolitik birimleri göstermektedir.



şekil 3.3 çalışma alanında Kargınyenice Maden Gölü çevresinde yüzeylenen ofiyolitik birim içerisinden bir görünüm

3.2.2.2 Granitoyitler (Kog)

Çalışma alanının yaklaşık 110 km²'lik bir kısmını kaplayan ve Tepeköy, Tatık, Büyükcamili, Kkcamili, Camisağır, Bğz, Kargınyenice köyleri ile alanın kuzeydoğu ucu civarında yüzlek veren bu kayalar (şekil 3.2) Baranadağ Granitoyiti içerisinde yer almaktadır. Granitoyit, kuvars ve siyenit türü kayalardan oluşmakta olup, kırık ve çatlaklı olarak kısmen parçalanmış ve bozuşmaya maruz kalmıştır. Beyaz, gri, açık gri, pembemsi gri renklerde görülen bu birim bölgedeki mermerler ile ofiyolitleri magmatik dokanakla kesmektedir (Doğan vd. 1998; Dönmez vd. 2008). şekil 3.4 Kargınyenice köyü civarında yer alan granitoyitleri göstermektedir.

3.2.2.3 Gabro (Kk)

Karaboğazdere Gabrosu çalışma alanında Hacıyusuflu Köyü civarında çok küçük bir alanda yüzeylenmiştir (Şekil 3.2) Koyu yeşil-siyah renklerde, masif görünümlü olan gabrolar, orta-iri taneli, plajiyoklaslardan, orta-iri taneli klinopiroksenlerden, turmalinlerden, küçük-orta taneli opak minerallerden oluşmaktadır. Bölgede cevherleşmenin gablo sokulumu ile oluştuğundan bahsedilmektedir (Sözen 1970). Gabro, granitik kayalar ultramafik–mafikleri kesmiş, kırılmış ve hidrotermal alterasyona uğramıştır (Bilgin vd.1986, Kara ve Dönmez 1990, Dönmez vd. 2008).



Şekil 3.4 Çalışma sahasında Kargınyenice Köyü civarında yüzeylenen granitoyitler; a. granitoyitlerin uzaktan görünümü, b. granitoyitlerin yakından görünümü

3.2.2.4 Volkanitler (Kkö)

Çalışma alanının güney doğu kesiminde, İkizler Köyü çevresindeki ufak bir alanda ($\sim 0.2 \text{ km}^2$) yüzeylenmiş olan bu birim Kötüdağ Volkanitleri içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.2). Açık gri, bej yer yer de pembe renkli olarak görülen riyolit, dasit, riyodasit, siyenit porfir, kuvarslı monzonitporfir kayaçlarını içeren bu birim kırık ve çatlaklarından itibaren altere olmuşlardır. (DSİ 2011). Bu birim silisleşmiş ve yüksek miktarda kuvars riyolit riyodasit ve tuf içermektedir (Doğan vd. 1998; Dönmez vd. 2008).

3.2.3 Tersiyer yaşlı birimler

3.2.3.1 Fliş (Teç)

Havzanın batı sınırını oluşturan flişler, 19 km^2 'lik bir alanda yüzlek vermişlerdir (Şekil 3.2). Tabanda konglomera ve marnlarla başlar, üste doğru kireçtaşları ile devam ederler. Bunların üzerinde türbiditik çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı yer alırken üst kesimlerde ise çakıltaşı-kumtaşı ara katkılı çamurtaşları bulunur (Dönmez vd. 2008). DSİ (2016) Flişlerin Orta Kızılırmak Havzası'nda kalınlığının 400-500 metreden fazla olduğunu, Dönmez vd. (2008) ise bölgedeki kalınlığının 100 – 550 m arasında değiştiğinden bahsetmiştir.

3.2.3.2 Ayrılmamış karasal çökeller (Ti)

Havzada hâkim kayaç olan Neojen karasal çökeller (Şekil 3.2); çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, jips ve anhidrit ile kireçtaşı ve ignimbirit aralanmalı olarak görülmektedir. Karasal koşullarda yamaç molozu olarak görülür. Kanal fasiyeslerini oluşturan kesimler ise bant ve mercekleri şeklindedir. Gölsel fasiyesler gevşek ara düzeylerden oluşmaktadır (Dönmez vd. 2008).

3.2.3.3 Kireçtaşı (Tmük)

Bölgede ayrılmamış karasal çökeller içerisinde, yaklaşık 0,4 km²'lik bir alanda yüzlek veren bu birim (Şekil 3.2), Kozaklı Kireçtaşı Üyesi olarak tanımlanmış olup, gölsel kireçtaşları ve alt seviyelerde kıltaşı, killi kireçtaşı şeklinde görülür. İnce tabakalı, gri-boz beyazımsı renkli, sert ve kırıklı bir yapıya sahip olan kireçtaşları yatay ve yataya yakın tabakalanmaya sahiptir (Bilgin vd. 1986).

3.2.4 Kuvaterner yaşlı birimler

3.2.4.1 Traverten (Qtr)

Kesikköprü Baraj Havzası'nda Tatık Köyü çevresinde yer alan bu birim, 0,09 km²'lik bir alanda yüzlek vermiştir (Şekil 3.2). Traverten birimi Neojen yaşlı karasal çökeller içerisinde görülmekte olup, bu birimler üzerine uyumsuzlukla çökelmiştir (DSİ 2016).

3.2.4.2 Alüvyon (Qal)

Kızılırmak Nehri boyunca ve Kızılırmak Nehri'ne karışan yan derelerdeki vadilerde çökelen Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, alanda en geniş yüzleklerini Kesikköprü Barajı'nın kuzeyinde vermiştir (Şekil 3.2). Alüvyonlar; çok ince, yayılımı oldukça az, pekişmemiş kum, silt ve çakıllardan oluşmaktadır (Doğan vd. 1998; Dönmez vd. 2008).

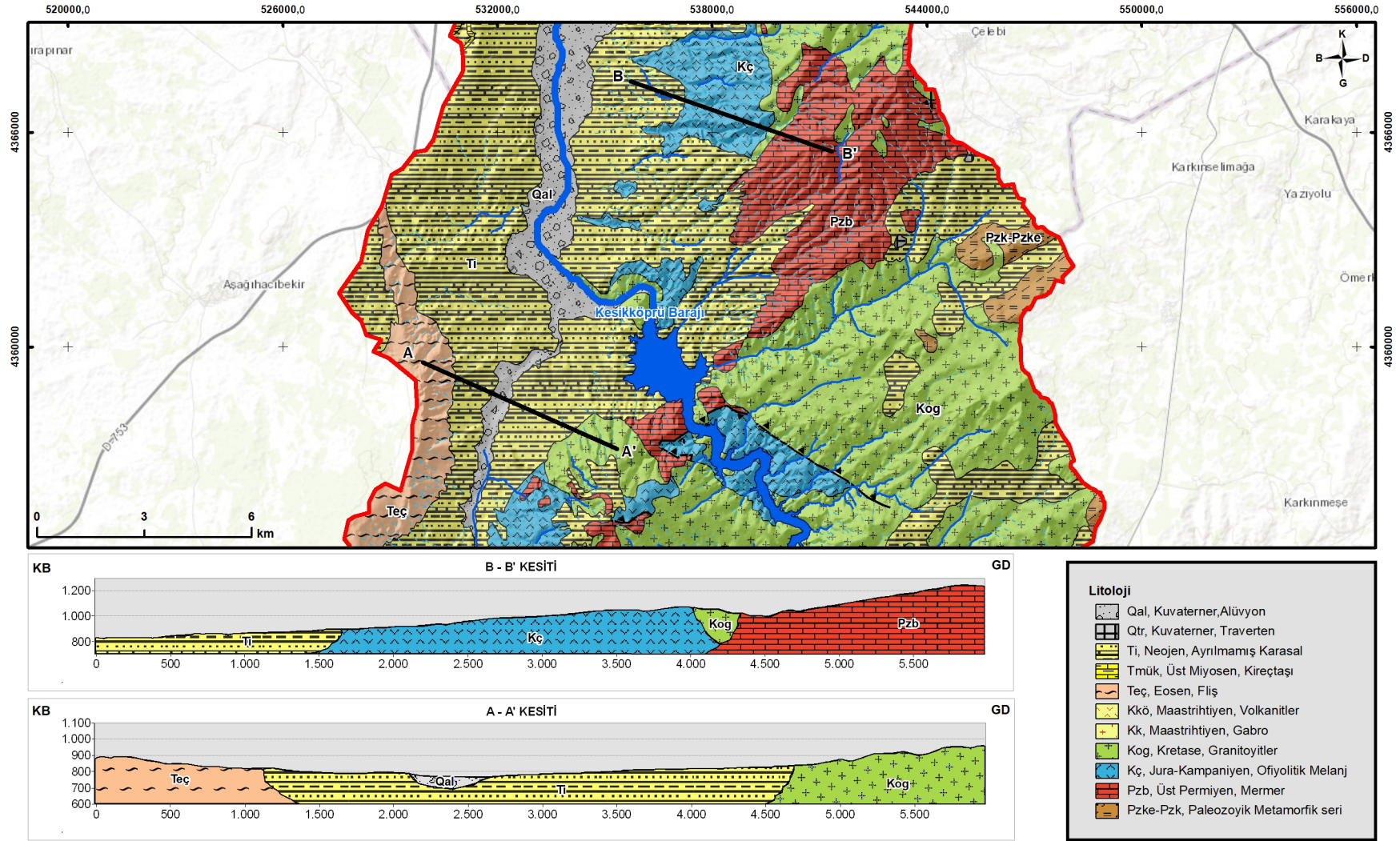
Yukarıda detaylandırılan birimlerin iki farklı hat boyunca enine dağılımlarını gösteren kesitler şekil 3.5 a ve b'de sunulmuştur.

3.3 Yapısal Jeoloji

Alpin orojenizi içerisinde bulunan bölge neotektonik ve paleo-tektonik olarak iki dönemde incelenmektedir. Neotektonik dönemi Üst Miyosen sonrası temsil ederken, Üst Miyosen öncesi ise paleo-tektonik dönem içerisinde incelenir. Neotetis'in açılması

ve kapanması ile temsil edilen dönem özellikle paleo-tektonik dönemdir. Çalışma alanının Anatolid kuşağında yer aldığı ve Alpin Orojenezi ile Hersiniyen etkilerinin gözlemlendiği bölgede kayaçların kırılmasına neden olan Laramiyen safhasının etkin olduğu bilinmektedir. Bu hareket deformasyona uğramış ve bunun sonucunda bölge sıkışarak fay, kıvrım, bindirme ve açılma çatlakları oluşmuştur. Neojen ve Kuvaterner'de gerçekleşen gerilme tektoniğine bağlı olarak alanda normal atımlı faylar gelişmiştir. Bu faylar Üst Miyosen-Pliyosen sonrası oluşmuş yeni tektonik dönem (neotektonik) yapılarıdır (Göncüoğlu 1997). Çalışma alanının batısında Kaman grubu olarak adlandırılmış birim Ankara Karışığı tarafından tektonik dokanakla örtülmektedir. Çalışma alanı içerisinde Savcılı Fay Zonu da yer almakta olup, bu zon sığ derinliklerde kuzey-güney doğrultulu bir sıkışma sonucunda oluşmuştur (Çağlayan 2010).

Öztürk vd. (1983) yaptığı çalışmalarda, çalışma alanının batı kesiminde yer alan Madentepe ve Büyükocak Maden sahaları civarından geçen güney ucu kalkık ve granitik kayaca dayalı, kuzeye doğru dalımlı doğu ve batıya eğimli, antiklinallerin olduğunu ve bu iki ocak arasında senklinal görünümde bir yapının mevcut olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu yapının mermerlere ait ilksel bir yapı olmadığı, asidik kayaçların sokulum sırasında alttan ve yandan uyguladığı baskı sonucu meydana geldiği belirtilmiştir. Çalışma alanı içerisinde bulunan maden ocaklarında yapılan bir çalışmada cevherli zonları ve alterasyonları kesen ve/veya kesmeyen yaklaşık 70 adet kırık-çatlak ölçümleri alınmış ve bu ölçümlere göre, işletme sahası içerisindeki yapısal unsurların KB-GD doğrultularında baskın olmak üzere K-G ve KD-GB doğrultularında da oldukları tespit edilmiştir. Sahadaki en büyük yapısal unsurun, barajın batısında bulunan bu maden ocaklarının güneybatısında yaklaşık 350-400 metre uzunluğunda K60B, 80KD gidişli bir fay olduğu belirtilmiştir. Alandaki hematit cevherleşmesinde rol oynayan fayların ise baskın olarak KB-GD şeklinde sahada izlendiği ifade edilmiştir (Terzi 2014).



Şekil 3.5 Çalışma alanının jeolojik enine kesitleri

4. HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanı, DSİ (2016) tarafından oluşturulmuş 3 yeraltı suyu alt havzasını kapsamaktadır. Bu alt havzalar; Hirfanlı-Kesikköprü Yeraltı Suyu Alt Havzası, Karakeçili Yeraltı Suyu Alt Havzası ve Savcılı Yeraltı Suyu Alt Havzası'dır.

Hirfanlı-Kesikköprü Yeraltı Suyu Alt Havzası: Hirfanlı ve Kesikköprü baraj göllerinin Ankara tarafında kalan yağış alanıdır. DSİ (2016) bu alt havzada yaygın ve zengin akifer formasyonlarının olmadığını ve Neojen yaşlı karasal çökellerin kumlu-çakıllı seviyelerinden yer yer zayıf debili yeraltı suyu alınabileceğini belirtmiştir. Ayrıca aynı çalışmada alt havzada DSİ tarafından açılmış su temin amaçlı sondaj kuyusu bulunmadığından akifer tanımlamalarının yapılamadığı açıkça ifade edilmiştir. Bu nedenle alandaki birimlerin akifer özellikleri temsildir. DSİ tarafından bu alt havzada yeraltı suyu seviye ölçümü alınan kuyu verisi bulunamamıştır. Çalışma alanı içerisinde 4 adet belgeli kuyu bulunmaktadır ve bu kuyulara ilişkin bir bilgi raporlarda bulunmamaktadır. Bazı özel kuyular haricinde yoğun bir yeraltı suyu kullanımı olmadığı ve Master Plan kapsamında arazide yapılan incelemelerde alt havzanın kuzey bölgesinde evaporitlerden kaynaklanan tuzluluk sorunu bulunduğu belirtilmiştir. Tuzluluk sorunu olan yerlerde yeraltı suyunun da kısıtlı olduğu ifade edilerek kayda değer bir sondaj kuyusu açılmadığı belirtilmiştir (DSİ 2016).

Karakeçili Yeraltı Suyu Alt Havzası: Bu alt havza Kesikköprü barajının mansabında kalan kısmı temsil eder. DSİ (2016) alt havzada zengin ve yaygın akifer kayacık olmadığını belirtmiştir. Paleozoyik yaşlı mermerlerin, karstik özellikleri sayesinde potansiyel akifer kayacık olduğu ancak bu birimin alt havzada yayılımının sınırlı olmasından ötürü akifer özelliği taşımadığı belirtilmiştir. Alt havzada Eosen yaşlı flişlerin kumtaşı seviyelerinin, Neojen yaşlı karasal çökellerin kumtaşı-çakıltası ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı detritik çökellerin kumlu-çakıllı seviyelerinin yer yer yerel ölçekte akifer özelliği gösterebileceğinden bahsedilmiştir. Çalışma alanı içerisinde yeraltı suyu kullanma belgeli sondaj kuyularının mevcut olduğu belirtilirken, Kesikköprü Barajı için Kızılırmak Nehri sağ sahilinde açılmış sadece bir adet su temin amaçlı sondaj kuyusu mevcut olduğu ve 53070 numaralı bu kuyudan ancak 0,05 l/s/m

özgül verim alınabildiği raporlanmıştır (DSİ 2016). Alt havzada Master Plan çalışmaları kapsamında akifer özelliği gösteren jeolojik formasyon görülmediğinden yeraltı suyu beslenim ve su kimyası çalışmaları yapılamadığı belirtilmiştir.

Savcılı Yeraltı Suyu Alt Havzası: Kesikköprü Barajı'nın Batı yakasında kalan kısmı temsil eder. DSİ (2016)'ye göre bu alt havzada akifer özellikli olabilecek kayaçların; Paleozoyik yaşlı mermerler ve Neojen karasal çökellerdeki kumtaşı-çakıltası düzeyleri ile granit-granodiyoritlerin ayrılmış seviyeleri olabileceği belirtilmiştir. Bu birimlerde açılmış az da olsa yeraltı suyu kullanma belgeli sondaj kuyuları mevcut olduğu ancak yeterli veri olmadığı için akiferler ile ilgili değerlendirme yapılamadığı belirtilmiştir (DSİ 2016).

Sonuç olarak önceki çalışmalarda, alanda yer alan birimlere ait ayrıntılı bir hidrojeolojik karakterizasyonun ortaya konmadığı görülmüştür. Bu nedenle hidrojeolojik değerlendirmelerin Orta Kızılırmak Havzası verilerine göre temsili olduğu anlaşılmaktadır. Bölgede yer alan çok sayıda kaynak, kuyu, çeşme vb. su noktalarının varlığı ile özellikle maden gölleri bölgedeki yeraltı suyu potansiyeline dair ipucu vermektedir.

Çalışma alanında yer alan jeolojik birimlerin hidrojeolojik açıdan detaylı olarak incelemesi aşağıda yer almaktadır.

4.1 Hidrostratigrafik Birimler

Bölgedeki birimler hidrojeolojik karakteristiklerine göre akifer, akitard, akiklud ve akifüj olarak 4 grup altında değerlendirilmiştir.

“Akifer” suyu taşıyabilen ve iletebilen geçirimli jeolojik birimdir. Su taşıyabilen ancak yavaş/düşük miktarda suyu iletebilen yarı geçirgen birimler ise “akitard” olarak adlandırılır. Bunun yanı sıra, su taşıyabilen ancak iletemeyen birimler “akiklud”, su

taşıyamayan ve iletemeyen birimler ise “akifüj” olarak tanımlanır ve literatürde akiklud ve akifüj geçirimsiz oluşumlar olarak ifade edilmektedir (Bear 1972).

Çalışma alanında geçirimli birimler; Bozçaldağ Formasyonu’na ait Permien yaşlı mermerler, İç Anadolu Grubu’nun Kozaklı Kireçtaşı Üyesi olan Üst Miyosen yaşlı kireçtaşları, Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon birimleridir. Yarı geçirimli birimler ise; Kızılırmak Formasyonu’na ait Neojen karasal çökeller ile Maastrihtiyen yaşlı Kötüdağ Volkanitleridir. Az geçirimli-geçirimsiz olarak tanımlanan birimler ise; Kalkanlıdağ-Kervansaraydağ Formasyonları’nı oluşturan Paleozoyik metamorfik seri, Jura-Kampaniyen yaşlı Ankara Melanji’nı oluşturan Ofiyolitler, Kretase yaşlı Baranadağ Granitoyitleri ve Çayraz Formasyonu’na ait Eosen yaşlı flişlerdir.

Birimlerin geçirimlilik özellikleri şekil 4.1’de belirtilmiştir. Mavi renkli birimler birincil gözenekliliğe sahip geçirimli birimleri, yeşil renkli birimler ikincil gözenekliliğe sahip geçirimli ve yarı geçirimli birimleri, kahverengi birimler ise az geçirimli-geçirimsiz birimleri temsil etmektedir. Birincil gözeneklilik kayacın oluşumundan itibaren sahip olduğu gözenekliliktir. İkincil gözeneklilik ise kayacın zaman içerisinde kırık, çatlak gibi fiziksel ve kayacın meydana gelen çözünmeler gibi kimyasal süreçler sebebiyle oluşan gözeneklilik yapısıdır (Freeze and Cherry 1979).

Çalışma alanındaki birimlerin hidrojeolojik incelemesi aşağıda yer almakta olup, alanın hidrojeoloji haritası şekil 4.2’de sunulmuştur.

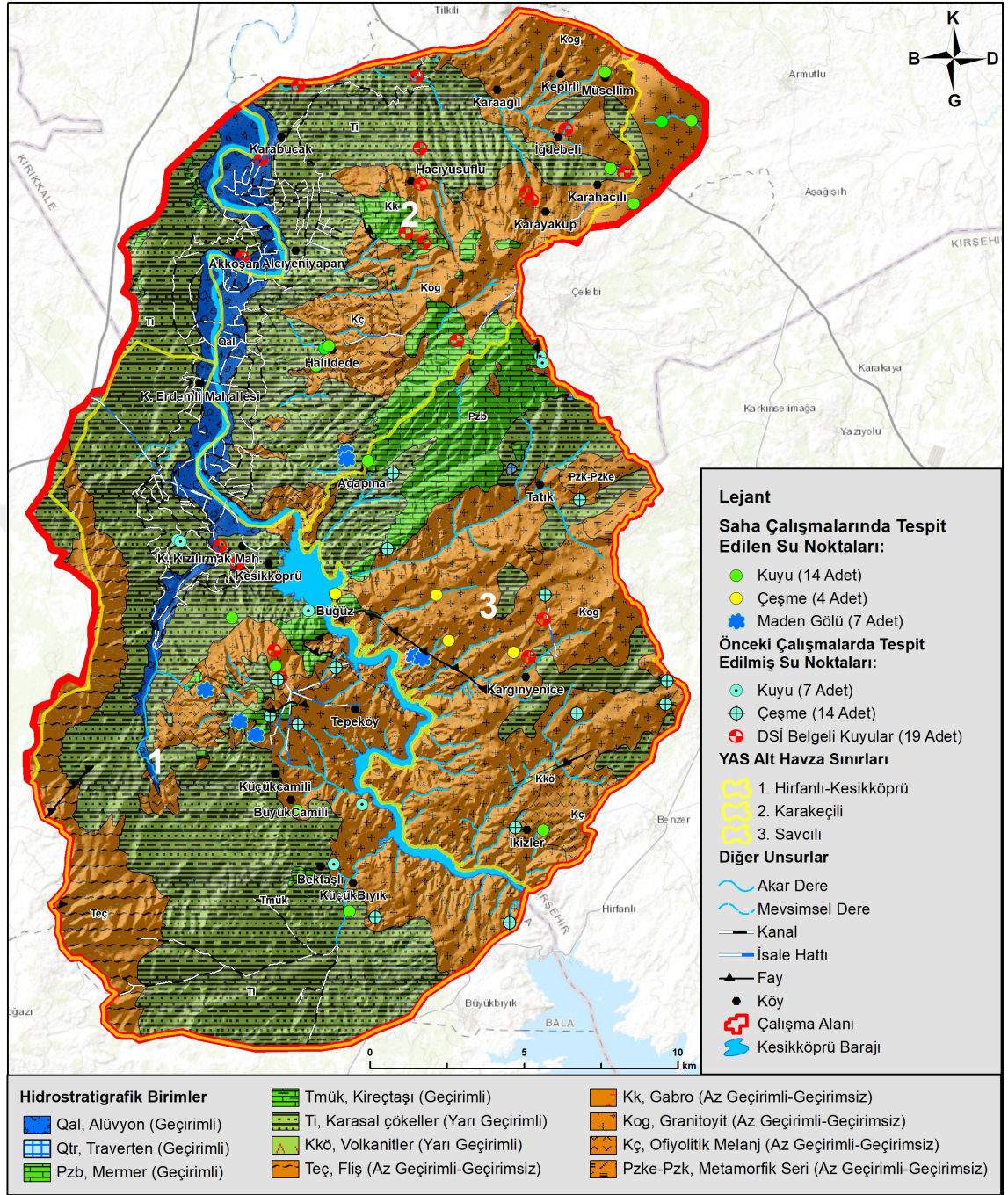
4.1.1 Geçirimli birimler

Alandaki geçirimli birimler Permien yaşlı mermerler (Pzb), Miyosen yaşlı kireçtaşları (Tmük), Kuvaterner yaşlı traverten (Qtr) ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar (Qal)’dır (DSİ 2016). Permien yaşlı mermerler; bol kırıklı-çatlaklı ve karbonat-kalsedonik kuvars mineralleri ile dolgulu ve yer yer dolomitik bileşimde gözlenmektedirler. Mermerler bu özellikleri ile geçirimli kayalar olarak tanımlanırken, yayılımlarının geniş olduğu alanlarda az debili veya mevsimlik kaynak boşalımlarının görüldüğü

belirtilmiştir (Terzi 2014, DSİ 2016). Miyosen yaşlı kireçtaşları; kırıklı-çatlaklı, karstik özellikli bir birim olmasından dolayı geçirimli birimler olarak tanımlanmıştır. Ancak çalışma alanında görüleceği gibi, havzada küçük alanlarda yayılım gösterdiğinden bu birimin ekonomik olarak akifer özelliği göstermedikleri ifade edilmiştir. Ancak bu birimler ilişkili oldukları volkanik kayalar için iyi bir yeraltı suyu beslenim kayacı olarak tanımlanmıştır (DSİ 2016). Kuvaterner yaşlı travertenler; havzada geçirimli kayalar olarak tanımlanmıştır ancak havzada çok küçük alanlarda gözlendiğinden ekonomik olarak akifer özelliği göstermedikleri belirtilmiştir (DSİ 2016). Kuvaterner yaşlı alüvyonlar; iri taneli kum-çakıl malzemesinden oluştuklarından yüksek poroziteli, geçirimli-çok geçirimli birimlerdir. Yer yer killi, siltli ince taneli malzeme seviyeleri içermekle birlikte Kuvaterner alüvyonların havzada en önemli akifer kayaç olduğu ifade edilmiştir (DSİ 2016).

ZAMAN	SISTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KAYA TÜRÜ	Açıklamalar	Geçirimsizlik Özelliği
SENOZOYİK	Kuvaterner			İç Anadolu Grubu	Kızılırmak	Kozaklı Kireçtaşı Üyesi	Qal		Alüvyon Traverten	Geçirimli
							Qtr			
	Neojen	Pliyosen					Ti		Karasal Çökeller (Çakıltası Kumtaşı, Çamurtaşı, İgnimbirit, Kireçtaşı, Jips, Anhidrit)	Yarı Geçirimli
		Üst Miyosen	Messiniyen Tortoniyen				Tmük		Kireçtaşı	Geçirimli
	Paleojen	Eosen			Çayraz Formasyonu		Teç		Fliş (Kireçtaşı, Marn, Kongomera Çakıltası, Kumtaşı, Çamurtaşı)	Az Geçirimli Geçirimsiz
MESOZOYİK	Kretase	Üst	Maastrichtiyen	KIRŞEHİR MASIFI	Kötüdağ Volkaniti	Kargasekmezdağ Kuvarsit Üyesi	Kkö		Volkanitler (Riyolit, Riyodasit, Siyenit Porfir, Kuvarslı Monzonitporfir)	Yarı Geçirimli
					Karaboğazdere Gabrosu		Kk		Gabro, Amfibolit, Metadiyabaz	Az Geçirimli Geçirimsiz
					Baranadağ Granitoyidi		Kog		Granitoyitler (Granit-Granodiyorit-Monzonit)	Az Geçirimli Geçirimsiz
					Ankara Melanjı		Kç		Ofiyolitik Melanj (Bazalt, Mikrofabro, Diyabaz, Tüf, Radyolarit, Çört, Kireçtaşı, Çamurtaşı)	Az Geçirimli Geçirimsiz
	Jura	Üst								
PALEOZOYİK	Permien	Üst			Bozçaldağ		Pzb		Mermer, Dolomit	Geçirimli
		Alt								
	Karbonifer	Üst			Kervansaraydağ		Pzke Pzk (Pzkk)		Metamorfik Seri (Şist, Gnays, Amfibolit, Kuvarsit)	Az Geçirimli Geçirimsiz
	Devoniyen	Üst			Kalkanlıdağ					

Şekil 4.1 Alandaki birimlerin geçirimsizlik özellikleri (DSİ 2016 verilerine göre düzenlenmiştir)



Şekil 4.2 Çalışma alanının hidrojeoloji haritası (DSİ 2016 verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır).

4.1.2 Yarı geçirimli birimler

DSİ'nin 2016 yılında yaptığı çalışmalarda bölgedeki yarı geçirimli birimler, Neojen yaşlı karasal çölkeller (Ti) ve Mesozoyik Volkanitler (Kkö) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2).

Neojen yaşı karasal çökeller marn, çamurtaşı, kumtaşı, killi kireçtaşı yer yer konglomeratik ve volkano-sedimanter seviyeler içerdiklerinden az-yarı geçirimli olarak tanımlanmışlardır. Karasal çökellerin killi kireçtaşı, kumtaşı ve konglomeratik seviyelerinin, düşük-orta özellikte yeraltı suyu verimliliği olduğu da belirtilmiştir. Birimde yer alan çakıltası ve kumtaşı seviyelerinin yeterli kalınlıkta olduğu sahalarda bu birimlerin yerel olarak akifer özelliği gösterebileceği fakat birimlerin üstünde-altında genellikle marn, çamurtaşı, kiltası gibi geçirimsiz birimler yer aldığından düşük beslenime sahip olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenlerden dolayı zamanla birimde açılan kuyularda debinin azaldığı, bazı kuyuların ise kuruduğu gözlemlenmiştir (DSİ 2016). Mesozoyik Volkanitler ile ilgili olarak bu birimin kırık ve çatlaklarından itibaren altere (DSİ 2011) ve litolojik ve yapısal olarak heterojen özellikte olduğu, bazı bölgelerde çok gözenekli (tuf, aglomera seviyeleri), kırıklı-çatlaklı (bazalt-andezitler) bazı yerlerde ise daha az gözenekli ve kırıklı-çatlaklı yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla, bu kayalar yarı geçirimli olarak sınıflandırılmıştır (DSİ 2016).

4.1.3 Az geçirimli-geçirimsiz birimler

Havzada geçirimsiz olarak tanımlanan jeolojik birimler; Paleozoyik metamorfik seri (Pzke-Pzk), Maasthtiyen gabro (Kk), Kretase yaşı granitoyitler (Kog), Jura Kampaniyen yaşı ofiyolitler (Kç) ve Eosen flişler (Teç)'dir (DSİ 2016) (Şekil 4.2). Paleozoyik yaşı metamorfik birimler havzadaki en yaşı birim olup ince taneli ve az gözenekli, yüzeyden 15 metre derinliğe kadar az olsa da kırık çatlak yapısı mevcuttur (DSİ 2016). Gabro ve granitoyitler Kesikköprü Havzası'nda geniş yayılım gösterirler ve kırık - çatlak yapıları çok az ve bağlantısızdır. Ultramafik kayalara sokulum yapan bu birimler, az geçirimli-geçirimsiz özellikte kayalar olarak tanımlanmıştır. Ancak granitoyitlerin kırıklı-çatlaklı kumlu seviyelerinin yerel ölçekte akifer özelliği gösterebileceği ifade edilmiştir (DSİ 2016). Jura-Kampaniyen yaşı ofiyolitik melanj; havzada az-geçirimli/ geçirimsiz olarak sınıflandırılmış kayalardan biri olup, özellikle kloritlemiş serpantin ve kırıklı olmayan volkanik malzemeler nedeniyle sert ve masif yapıda olduğu, dolayısıyla düşük iletkenlik ve geçirimsizlik özelliği gösterdiği ifade edilmiştir (DSİ 2016). Eosen yaşı flişler yoğun olarak marn-kiltası ve kumtaşı ara seviyeleri içermektedir, yeraltı suyunu taşıma ve iletme kapasiteleri zayıftır. Bu nedenle az geçirimli-geçirimsiz kayalar olarak sınıflandırılmıştır (DSİ 2016).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1 Büro Çalışmaları

Arazi Çalışmaları Öncesinde: Saha çalışması yapılmadan önce, bölge detaylı olarak araştırılmış ve literatür taramaları ile sahanın jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik yapısı ortaya konmuştur. 2021 yılında bölgede yer alan köylerdeki muhtarlar ile iletişime geçilerek, alandaki su kaynakları, bu su kaynaklarının kullanım durumu, köydeki su problemleri gibi konularda bilgi alınmıştır. Hem literatür taramaları hem de bölgede yaşayanlardan alınan bilgiler ışığında, alanda su kaynaklarını etkileyen-etkileyebilecek unsurlar ortaya konmuştur. Bunların dışında arazide gidilecek maden sahalarının olması dolayısıyla, bölgede çalışan maden şirketi ile iletişime geçirilerek, çalışma hakkında bilgi verilmiş ve sahaya girebilmek için gerekli izinler alınmıştır. Elde edilen literatür bulguları neticesinde gerekli haritalar oluşturulmuş, sahaya çıkılmadan evvel bölge hakkında planlamalar yapılmış ve dolayısıyla belirli bir program çerçevesinde hareket edilmiştir. Tez kapsamında çalışılacak alan belirlenirken; bölgedeki madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlar, maden göllerinin konumları, bölgedeki kuyu, kaynak, çeşme noktalarının dağılımı, jeolojik-hidrojeolojik yapı, tarım alanları, yerleşim yerlerindeki su kalitesi problemleri, DSİ Yeraltı Suyu Alt Havza sınırları ve Kesikköprü Barajı drenaj alanı dikkate alınmıştır. Dolayısıyla tez çalışmasının ilerleyen zamanlarında örnek noktalarının yerleri belirlenirken bu hususlar göz önünde bulundurulmuş ve alandaki hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal yapıyı temsil edecek şekilde uygun örnekleme noktaları belirlenmiştir.

Arazi Çalışmaları Sonrasında: Saha çalışmalarını takiben analiz edilmek üzere laboratuvara teslim su örneklerinin analiz ve yorumlanması ile ilgili çalışmalar yapılmış, bu kapsamda hidrojeokimyasal değerlendirmeler için gerekli hesaplamalar yapılmış ve çizimler oluşturulmuştur. Ayrıca sahadaki bulgulara yönelik değerlendirmeler ile çalışmanın amacı ortaya konmuştur.

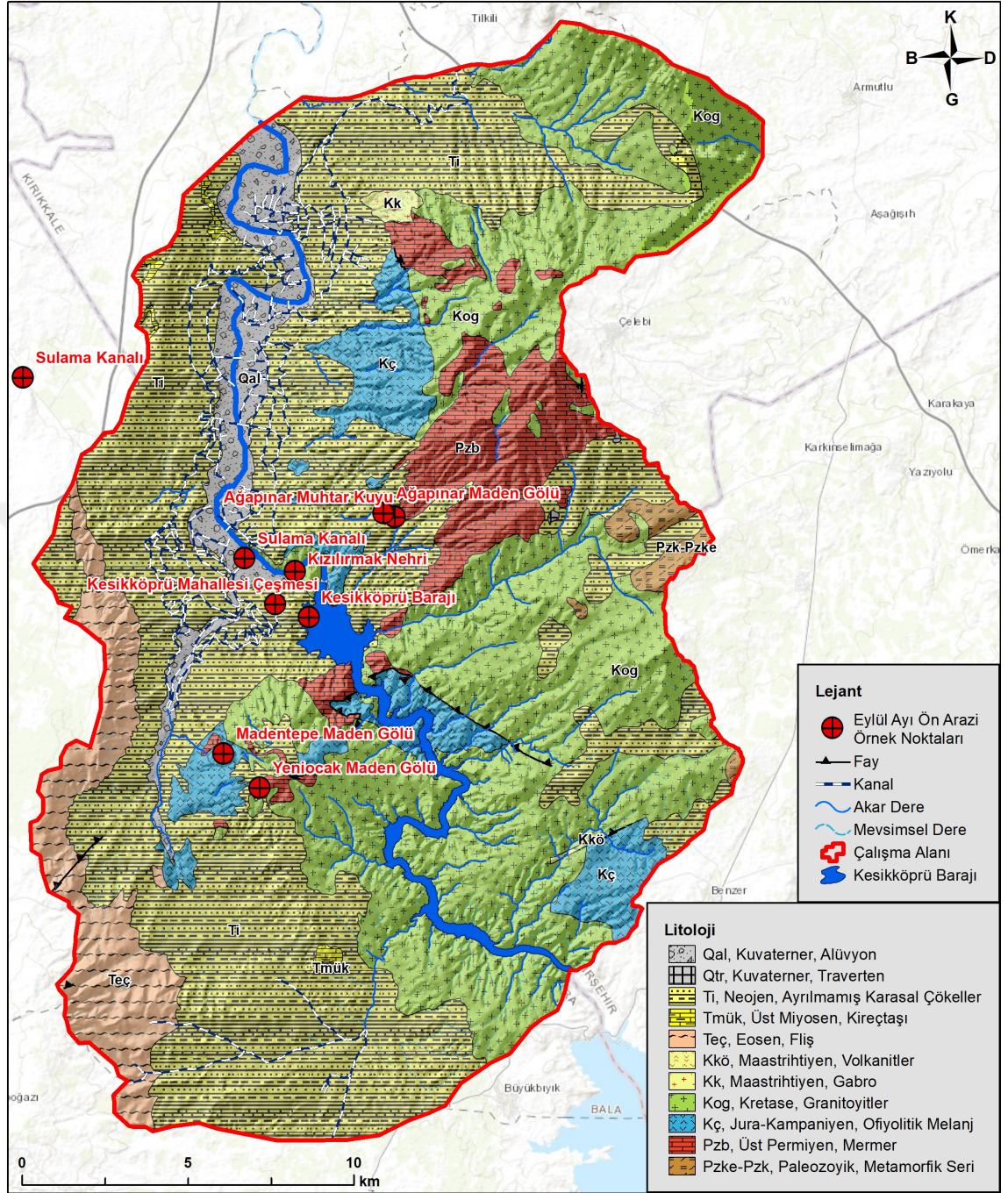
5.2 Arazi Çalışmaları

Saha çalışmaları 3 aşamada gerçekleştirilmiş olup aşağıda kapsamlı olarak sunulmuştur.

1. 12 Eylül 2021 tarihli ön arazi çalışmaları: Ön arazi çalışmaları kapsamında, bölge yerinde incelenmiş ve daha yakından tanınmıştır. Ayrıca belli lokasyonlarda örnekleme yapılmış, analiz sonuçları bölgenin kimyasal yapısı hakkında ön araştırma niteliğinde gelecek çalışmalara referans olmuştur.
2. 24-25 Mayıs 2022 tarihli yağışlı dönem arazi çalışmaları: Ön arazi çalışmaları neticesinde elde edilen bulgular çerçevesinde, tüm alanı temsilen madencilik ve tarım faaliyetlerinin yağışlı dönemde su kaynakları üzerindeki etkisini görmek amacıyla örnekleme çalışmaları yapılmıştır.
3. 17-18 Ekim 2022 tarihli kurak dönem arazi çalışmaları: Kurak dönemde madencilik ve tarım faaliyetlerinin su kaynakları üzerindeki etkisini görmek amacıyla yapılan arazi çalışmasıdır.

5.2.1 Ön arazi çalışmaları

Büro çalışmaları ile elde edilen bulgular neticesinde, çalışma alanını yerinde incelemek ve gelecek çalışmalar için daha doğru adımlar atabilmek amacıyla 12 Eylül 2021 tarihinde ön arazi çalışması yapılmıştır. Ön arazi çalışmalarında Kesikköprü Baraj çevresi incelenmiş, köyler ziyaret edilmiş, muhtarlardan bilgi alınmış ve biri alan dışında olmak üzere toplam 9 noktadan izotop ve seçili iz element analizlerinin yapılması amacıyla su örneği alınmıştır. Örnekleme lokasyonlarına ilişkin harita şekil 5.1'de, örnek noktalarına ilişkin bilgiler ise çizelge 5.1'de sunulmuştur. Ön arazi çalışmalarında, alanda cevherleşme ve madencilik faaliyetlerine ilişkin etkilerin anlaşılması amacıyla, öncelikli olarak maden sahası ve çevrelerindeki lokasyonlar dikkate alınmıştır. Ön arazi çalışmaları sırasında karşılaşılan bir sulama kanalından su örneği alınmıştır. Bu örnek noktası daha sonra belirlenen çalışma alanı sınırları dışarısında kalmıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 12 Eylül 2021 tarihli ön arazi çalışması örnek noktalarının jeolojik birimler üzerindeki konumu

Madentepe ve Yeniocak Maden Gölü sahadaki madencilik faaliyetleri sonucu, kazı taban kotunun yeraltı suyu seviyene ulaşması neticesinde oluşmuştur. Sahada alınan bilgiye göre Madentepe Maden Gölü 20-25 m derinliğinde bir rezervuara sahiptir. Yeniocak Maden Gölü sahasında ise sondajlar 2017 yılında başlamış ve sahada 2020-2021 yılları arasında yeraltı suyu çıkışının olduğu görülmüştür. Bu gölden saatte 150 ton su çekimi yapıldığı, çekilen suyun hayvancılık ve sulama faaliyetlerinde kullanıldığı

ve çekim sonrasında gölün 1-2 gün içerisinde yeniden dolduğu bildirilmiştir (Kurtuluş Cemaloğlu, Güncem Madencilik, sözlü görüşme 2021).

Çizelge 5.1 Ön arazi çalışmalarında örneklenen noktalar

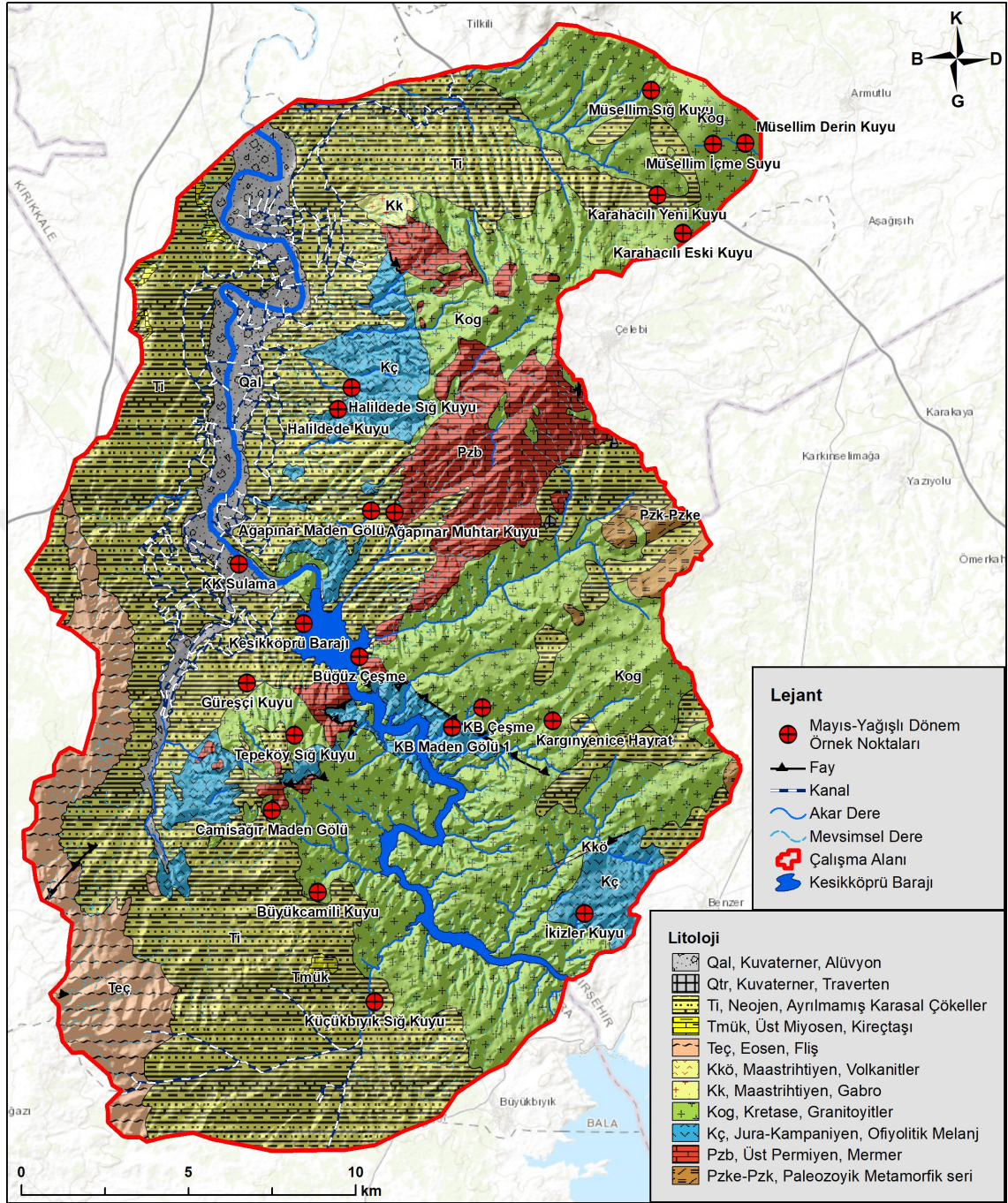
Örnek No	Örnekleme Lokasyonu	Örnek Cinsi	Su Kütlesi	KOORDİNAT		Kot (m)	Açıklama
				X	Y	Z	
1	Kesikköprü'ye 19 km Alan Dışı Örnek Noktası	Su	Yüzey suyu	527268	4367116	779	Sulama Kanalı
2	KK Sulama	Su	Yüzey suyu	533950	4361671	745	Sulama Kanalı
3	Yeniocak Maden Sahası	Su	Yeraltı suyu	534412	4354740	955	Maden Gölü
4	Madentepe Ocağı	Su	Yüzey +Yeraltı suyu	533307	4355774	775	Maden Gölü
5	Kesikköprü Mahallesi	Su	Yeraltı suyu	534871	4360275	770	Çeşme Debi= 0,003 l/sn
6	Kesikköprü Baraj Kenarı	Su	Yüzey suyu	535888	4359883	790	Baraj Gölü
7	Kızılırmak Nehri - Köprü	Su	Yüzey suyu	535470	4361277	742	Dere
8	Ağapınar Muhtar Kuyusu	Su	Yeraltı suyu	538606	4363216	945	Kuyu/ Sulama,İçme-Kullanma
9	Ağapınar Maden Gölü	Su	Yüzey + yeraltı suyu	538140	4363020	925	Maden Gölü

5.2.2 Yağışlı dönem arazi çalışmaları

Yağışlı dönem örnekleme çalışmaları 24-25 Mayıs 2022 tarihlerinde yapılmış olup, bu tarihlerde yapılan çalışmalara ilişkin bilgiler aşağıda verilmiştir. Araziye gidilmeden önce; ön arazi çalışmalarında toplanan veriler derlenmiş, muhtarlarla iletişime geçilmiş ve gerekli araç-gereç temin edilmiştir. Bu kapsamda etkin bir şekilde arazide örnek toplanması amaçlı örnekleme güzergâhı belirlenmiş ve arazide bu rota doğrultusunda ilerlenmiştir. Örnek noktalarına ilişkin bilgiler çizelge 5.2'de, örnekleme noktalarının jeolojik birimler üzerindeki konumuna ilişkin harita şekil 5.2'te verilmiştir. Sahada örnekleme yapılan noktalara ilişkin görseller ise şekil 5.3, şekil 5.4, şekil 5.5, şekil 5.6'da sunulmuştur.

Çizelge 5.2 Mayıs 2022 tarihli örnekleme noktalarına ait bilgiler

No	Adı	X	Y	Z	Kuyu Derinliği	Açıklamalar	
					(m)		
1	İkizler Kuyu	544305	4351216	943	50	İçme Suyu	Yeraltı su seviyesi yüzeyden 5,1 m derinlikte ölçülmüştür.
2	Kargınyenice Hayrat	543345	4356979	1008	-	İçme Suyu	Debi: 0,16 l/sn
3	KB Maden Gölü 1	540343	4356785	856	-	Kargınyenice Büğüz arasında yer alan bir terkedilmiş maden gölüdür. Yaklaşık 30 m kazı sonrası yüzeylendiği düşünülmektedir	
4	KB Çeşme	541233	4357374	974	-	İçme Suyu	Maden gölüne yakın, debisi 0,12 l/sn
5	Büğüz Çeşme	537553	4358897	793	-	İçme Suyu	Büğüz köyünde tarımsal sulama Kızılırmak Nehri'nden yapılmakta olup köyde kuyu bulunmadığı saptanmıştır
6	Ağapınar Muhtar Kuyu	538606	4363216	945	48	Tarımsal ve hayvansal sulama amaçlı kullanılıyor.	
7	Ağapınar Maden Gölü	537913	4363266	905	-	Burada maden faaliyetleri sonrasında 2 göl oluşmuştur. Bu göllerden birinde örnekleme yapılmıştır. Bu lokasyonda tarımsal sulama amaçlı kullanılmak üzere pompaj yapıldığı görülmüştür	
8	Halildedede Kuyu	536924	4366305	886	44	Köylülerin yaptırdığı analizlerde Al, Fe ve Cl elementlerinin insani tüketim amaçlı sınır değerlerden yüksek olduğu belirtilmiştir.	
9	Halildedede Sığ Kuyu	537328	4366945	894	25	Sulama	10 yıl önce açılmış.
10	Karahacılı Eski Kuyu	547240	4371568	1083	80	Bahçe sulaması, ev kullanımı gibi ihtiyaçlarda kullanıldığı ancak içilmediği belirtilmiştir.	
11	Karahacılı Yeni Kuyu	546479	4372718	1051	25	Yeraltı su seviyesi yüzeyden 1,07 m, kuyuda pompa olmadığı için elimizde mevcut pompa ile çekim yapılmış, kuyu içinde beklemiş olan su boşaltılmış ve ideal koşullara ulaştıktan sonra örnek alınmıştır.	
12	Müsellim Sığ Kuyu	546299	4375848	1151	8	100 yıllık, ölçülen yeraltı su seviyesi yüzeyden 1 m, genellikle seviyenin 3-5 m aralığında değiştiği belirtilmiştir.	
13	Müsellim Derin Kuyu	549118	4374266	1060	108	Verim düşük, örnekleme sırasında bir süre çekim yapılmış ve su seviyesinin hızla düştüğü gözlenmiştir	
14	Müsellim İçme Suyu	548149	4374239	1058	7	Kuyu kullanımdadır.	
15	KK Sulama	533951	4361668	747	-	Kesikköprü sulama kanalı suyudur.	
16	Büyükcamili Kuyu	536305	4351848	897	8	50 yıllık, içme suyu olarak kullanılmıyor. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 2,55 m olarak ölçülmüştür. Kuyunun hemen yanında hayvansal gübre depolandığı görülmüştür.	
17	Küçükbıyık Sığ Kuyu	538008	4348573	854	25	25 m'den sonra granit kayacına gelindiği ve sondaja devam edilemediği ifade edilmiştir. Yeraltı su seviyesi 3 m	
18	Camisağır Maden Gölü	534944	4354296	978	-	Terkedilmiş geniş alanda yüzeylenen göl	
19	Tepeköy Yayla Mah.	535608	4356551	990	8	Yeraltı suyu seviyesi yüzeyden 4 m derinlikte	
20	Güreşçi Kuyu	534186	4358111	821	10	8. aya kadar iyi miktarda su alındığı ifade edilmiştir.	
21	Kesikköprü Barajı	535893	4359885	790	-	Kesikköprü Mahallesi yakasında kalan nokta	



Şekil 5.2 Mayıs 2022 yağışlı dönem örnek noktalarının jeolojik birimler üzerindeki konumu



Şekil 5.3 Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) İkizler kuyu, b) Kargınyenice hayrat, c) KB çeşme, d) Büğüz çeşme



Şekil 5.4 Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) Ağapınar maden gölü 1, b) Halildede kuyu, c) Karahacılı eski kuyu, d) Karahacılı yeni kuyu



Şekil 5.5 Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) Müsellim sığ kuyu 1, b) Müsellim derin kuyu, c) Müsellim içme suyu, d) KK sulama



Şekil 5.6 Saha çalışmalarında örneklenen noktalar; a) Büyükcamili sığ kuyu 1, b) Küçükbıyık sığ kuyu, c) Camisağır maden gölü, d) Kesikköprü Barajı

5.2.3 Kurak dönem arazi çalışmaları

Kurak dönem örneklemelerinin yapılması için 17-18 Ekim 2022 tarihlerinde saha çalışması yapılmış olup, bu çalışma sırasında önceki arazi çalışmalarındaki rota izlenmiştir. Yine önceki çalışmalarda olduğu gibi gerekli araç-gereç temin edilmiş ve köy muhtarları ile iletişime geçilerek gidilecek lokasyonlar için hazırlık yapılmıştır. Bu dönemde arazide örnek alınan noktalara ilişkin bilgiler çizelge 5.3'te, örnek lokasyonlarının hidrojeolojik birimler üzerindeki konumuna ilişkin harita ise şekil 5.7'de verilmiştir.

Kurak dönem örneklerinin alınması için yapılan arazi çalışmalarında, Mayıs ayında tespit edilmiş 3 lokasyondan örnek alınamamıştır. Bu lokasyonlar KB Çeşme, Ağapınar Maden Gölü ve Halildede Sığ Kuyu örneklemeye noktalarıdır. KB Çeşme örneklemeye noktasının kurumuş olduğu tespit edilmiş ve KB Çeşme yerine bu çeşmenin kuzeyinde bulunan Karamistiklar Çeşmesi'nden örnek alınmıştır.

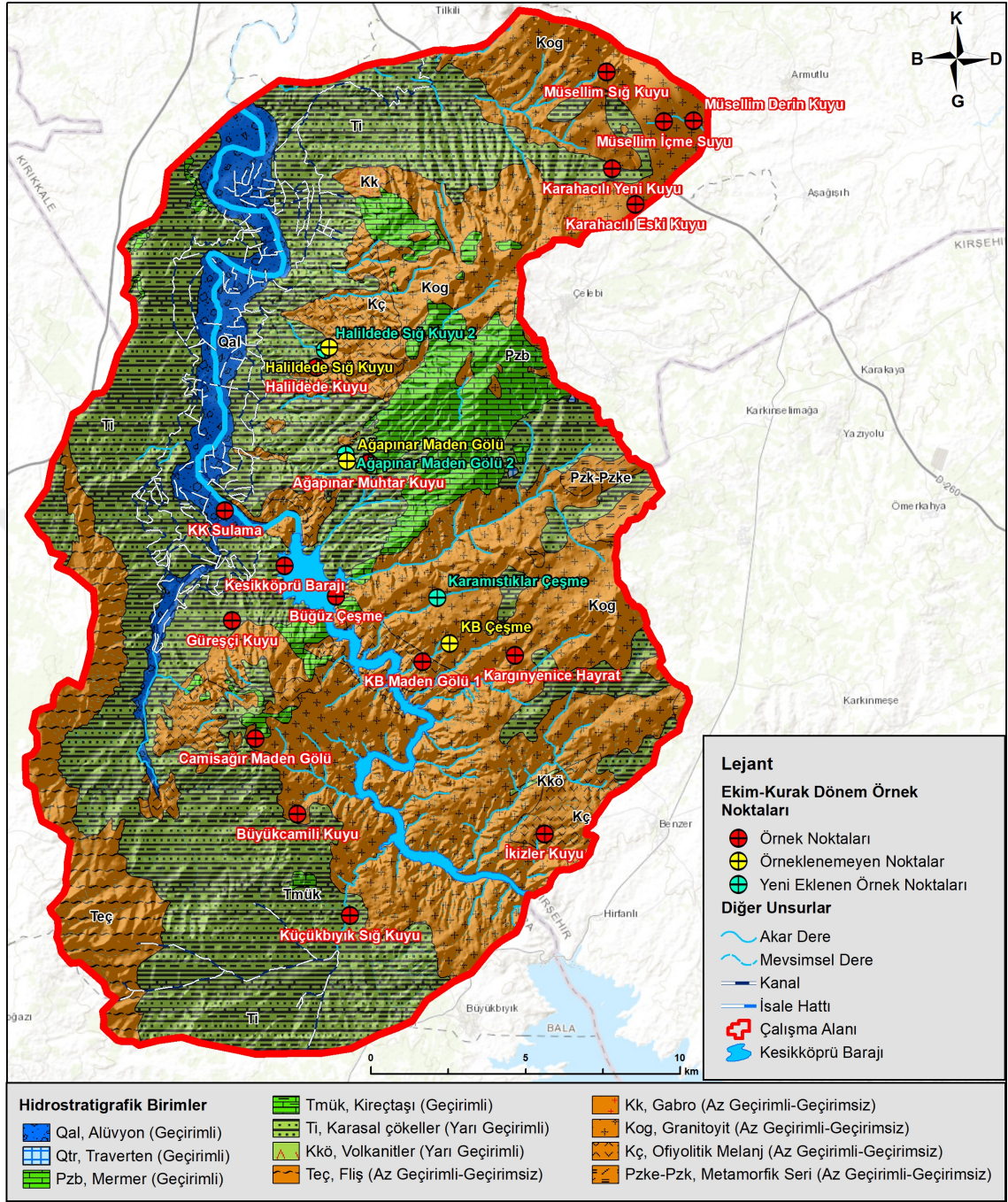
Ağapınar Maden Gölü örneklemeye noktasında ise; gölün suyunun mısır sulaması için çekildiği ve gölün kuruduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu noktadan da örnek alınamamış ve aynı lokasyonda bulunan 2. göl olan Ağapınar Maden Gölü 2 noktasından örnek alınmıştır.

Halildede Sığ Kuyu örneklemeye noktasında, kuyu dinamosunun bozulduğu ve bu nedenle su çekilemediği görülmüştür. Kuyuya pompa indirilemediği için de bu nokta yerine yine aynı köyde bulunan ve benzer derinliğe sahip olan Halildede Sığ Kuyu 2 noktasından örnek alınmıştır.

Sahada örneklenen noktalara ilişkin görseller şekil 5.8, şekil 5.9, şekil 5.10 ve şekil 5.11'de yer almaktadır.

Çizelge 5.3 Ekim 2022 kurak dönem örnekleme noktalarına ait bilgiler

No	Adı	X	Y	Z	Kuyu Derinliği	Açıklamalar
					(m)	
1	İkizler Kuyu	544305	4351216	943	50	Kuyunun düzenlenerek kullanıma geçtiği görülmüştür.
2	Kargıyence Hayrat	543345	4356979	1008	-	Debi 0,009804 l/s
3	KB Maden Gölü 1	540343	4356785	856	-	Yağışlı dönemden farklı bir durum gözlenmemiştir
4	KB Çeşme	541233	4357374	974	-	Kuru - örnek alınamadı
4	Karamistiklar Çeşme	540827	4358855	975	-	KB çeşme noktası yerine örneklenmiştir, debi 0,2 l/s, göllenmiş.
5	Bügüz Çeşme	537553	4358897	793	-	Debi 0,17 l/s
6	Ağapınar Muhtar Kuyu	538606	4363216	945	48	Suda azalma olmadığı muhtar tarafından belirtilmiştir.
7	Ağapınar Maden Gölü	537913	4363266	905	-	Kuru - örnek alınamadı.
7	Ağapınar Maden Gölü 2	537869	4363482	918	-	Ağapınar MG 1 noktası yerine örneklenen 300 m ilerideki göl
8	Halildedede Kuyu	536924	4366305	886	44	Suda azalma olmadığı belirtildi
9	Halildedede Sığ Kuyu	537328	4366945	894	25	Kuyu dinamosu bozuk- örnek alınamadı
9	Halildedede Sığ Kuyu 2	537196	4366860	882	30	Halildedede Sığ Kuyu 1 noktası yerine örneklenen nokta
10	Karahacılı Eski Kuyu	547240	4371568	1083	80	Kurak dönemde su miktarında değişiklik olmamış.
11	Karahacılı Yeni Kuyu	546479	4372718	1051	25	Kuyunun düzenlenerek kullanıma geçtiği görülmüştür
12	Müsellim Sığ Kuyu	546299	4375848	1151	8	Yağışlı dönemden farklı bir durum gözlenmemiştir
13	Müsellim Derin Kuyu	549118	4374266	1060	108	Yeraltı su seviyesi 1,54 m
14	Müsellim İçme Suyu	548149	4374239	1058	7	Yağışlı dönemden farklı bir durum gözlenmemiştir
15	KK Sulama	533951	4361668	747	-	Sulama kanalındaki suyun azaldığı gözlemlenmiştir
16	Büyükcamili Kuyu	536305	4351848	897	8	Yeraltı su seviyesi 2,79 m olarak ölçülmüştür. Yağışlı döneme göre su seviyesinin 24 cm düştüğü gözlemlenmiştir. Hala kuyu yanında gübre depolanmaktadır
17	Küçükbrıyk Sığ Kuyu	538008	4348573	854	25	Yeraltı su seviyesi 3,50 m olarak ölçülmüştür. Yağışlı dönemden bu yana su seviyesi 50 cm düşmüştür.
18	Camisağır Maden Gölü	534944	4354296	978	-	Su seviyesi azalmış, bölgeden geçen yüzey suyunun yönünün değiştirilerek göle bağlandığı ve bu lokasyonda yeraltı suyu ile yüzey suyunun birbirine karıştığı tespit edilmiştir. Gölde daha önce bulunmayan bir kokunun hâkim olduğu ve göl içerisinde plastik atık bulunduğu gözlemlenmiştir
19	Tepeköy Yayla Mah.	535608	4356551	990	8	Yeraltı su seviyesi 4,06 m, yağışlı döneme göre 6 cm azalma olmuştur
20	Güreşçi Kuyu	534186	4358111	821	10	Suyun azaldığı bildirilmiştir
21	Kesikköprü Barajı	535893	4359885	790	-	Su seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir



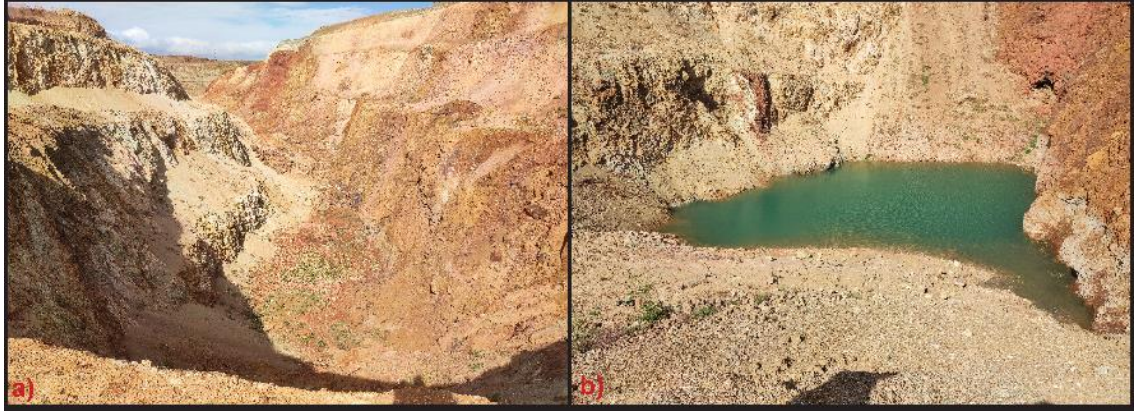
Şekil 5.7 Ekim 2022 kurak dönem örnek noktalarının hidrojeolojik birimler üzerindeki konumu



Şekil 5.8 İkizler kuyu örnek noktası



Şekil 5.9 Kurak dönem örnekleme lokasyonları a) KB çeşme, b) Karamıstıklar çeşme, c) Karamıstıklar çeşmeden gelen sularla göllenen alan



Şekil 5.10 Kurak dönem örnekleme lokasyonları a) Kuru Ağapınar maden gölü 1 eski örnek noktası, b) Ağapınar maden gölü 2 yeni örnek noktası



Şekil 5.11 Kurak dönem örnekleme lokasyonları a) Karahacılı Yeni Kuyu, b-c) Camisağır maden gölü, d) Kesikköprü barajı

5.3 Laboratuvar Çalışmaları

Ön arazi çalışmaları sırasında alınmış örnekler için iz element analizleri City University of NewYork'a bağlı Brooklyn College'da ICP-MS kullanılarak standart yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Kurak ve yağışlı dönem laboratuvar çalışmaları TÜRKAK

tarafından akredite edilmiş ÇINAR Çevre Laboratuvarı A.Ş.'de TS EN ISO/IEC 17025 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda; Hg, Fe, Pb, B, Ba, Cu, K, Be, P, Cd, Mg, Ni, Na, Sn, An, Ca, Se, Zn, TP, Ag, Co, Cr, Tl, Ti, U, As, Al, Sr, NO₃, Cl⁻, SO₄²⁻ ve alkalinite (mg CaCO₃/L) değerleri ölçülmüştür.

Nitrat, klorür ve sülfat iyonları “İyon Kromatografi” cihazıyla ölçülmüş olup, iyonların sıvı kromatografik ayrılmaları, ayırma kolonları ile yapılmıştır. Dedektör olarak iletkenlik dedektörü kullanılmıştır. Bu sistemde anyonlar, kolon içindeki alıkonma sürelerine göre birbirlerinden ayrılarak dedektöre ulaşmaktadırlar. Kantitatif analiz her bir iyonun vermiş olduğu pik alanları üzerinden çizilen kalibrasyon eğrileri kullanılarak yapılmıştır.

Alkalinite değerleri titrasyon metodu ile otomatik büret yardımıyla ölçülmüştür. 100 mL’lik erlen içerisinde alınan 50 mL numune karbonat içeriğini belirlemek için fenolftalein indikatörü (H₂SO₄ standart çözeltisi) kullanılarak önce pembe renkten renksize dönünceye kadar titre edilmiştir. Bikarbonat içeriğini belirlemek amacıyla aynı numune üzerine bu kez metil oranj indikatörü damlatılarak H₂SO₄ standart çözeltisi (portakal renginden pembe renge dönülen noktadaki sarfiyat toplam alkalinite sarfiyatıdır) ile titre edilmiştir. Fosfat spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Orta fosfat analiz metodunda erlen içerisinde 50 mL numune alınmış üzerine gerekli reaktifler (kırmızı renk oluşması durumunda renk gidene kadar H₂SO₄ çözeltisi) ile kombine reaktif ilave edilip, karıştırılmış ve 880 nm’de numunenin absorpsiyonu okunmuştur.

Pb, Ni, Se, Sr, U, Mg, Ca, Al, An, As, Cu, Ba, Be, B, Hg, Zn, Fe, Ag, Na, Kd, Sn, Co, Cr, K, Agilent 7700 serisi ICP-MS cihazı ile ölçülmüştür. Cihaz İndüklenmiş Çifte Plazma (ICP) ve Kütle Spektrometresi (MS)’den oluşmaktadır. Analiz sırasında ön işlem olarak Mikrodalga ile Özütleme Metodu kullanılmıştır. Analizi yapılan numunedeki elementler ICP-MS cihazında iyonlaştırıldıktan sonra kütle spektrometresine gönderilmiş ve burada kütle/yük (m/z) oranlarına göre ayrılarak detektörde ölçülmüştür.

Tez çalışması kapsamında alınan örneklerin kararlı izotop içeriğinin belirlenmesi amacı ile örnekler ODTÜ Merkez Laboratuvarı'na teslim edilmiştir. Laboratuvarda bulunan İzotop Oranı Kütle Spektrometresi cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.12 ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda Bulunan İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) Cihazı

Sularda izotop oranı tayini analizlerinde, oksijen için $\delta^{18}\text{O} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, hidrojen için ise $\delta^2\text{H} - ^2\text{H}/^1\text{H}$ oranlarının ölçümü yapılmaktadır. Bu izotopların bileşimleri referans standart bileşimden permil (‰) sapma şeklinde δ notasyonu ile ifade edilmektedir. Bu bağlamda, sularda $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ analizlerinde, referans standart olarak Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), Viyana tarafından temin edilen Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) uluslararası su standardı kullanılmaktadır. VSMOW'a ek olarak, analizlerde normalizasyon ve kalibrasyon işlemlerinin yapılması amacıyla, GISP (Greenland Ice Sheet Precipitation) ve SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation) uluslararası su standartları da bulundurulmaktadır.

Bu bilgilere göre aşağıda verilen formüller bolluk oranını ifade etmektedir.

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}} \times 10^3 \quad \delta^2\text{H} (\text{‰}) = \frac{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{örnek}} - (^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{VSMOW}}}{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{VSMOW}}} \times 10^3$$

Buradan elde edilen değer oldukça küçüktür, bu nedenle elde edilen değer 1000 ile çarpılarak kullanım kolaylığı sağlanır. Böylece bolluk oranı permil değerinden ifade edilmiş olur. Laboratuvarda yapılan izotop analizi işlemi sırasıyla şu şekilde gerçekleşmektedir;

ODTÜ Duraylı İzotop Laboratuvarı (DİL)’nda analizler, taşıyıcı gaz akışı (Helyum) içerisinde örnek gazı analizini içeren Sürekli Akış Tekniğine dayanmaktadır. Bu teknikte kullanılan Gas Bench nitesi, suda $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ belirlenmesi için kütle spektrometresine bağlı halde bulunan bir sürekli akış ara birimidir. Su örneklerinde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ analizi iki ayrı analiz olarak yapılmaktadır. Bu izotopların analizinde, su örneğine ait izotop oranı, kütle spektrometresine yollanacak bir gaza, su-gaz izotopik dengesi yolu ile transfer edilmektedir. Bu amaçla, ilk aşamada, ölçülecek gaz (Denge Gazı), numuneyi içeren örnek şişesine bir iğne vasıtasıyla enjekte edilmektedir. Belirli bir süre sonra şişede bulunan gaz ile sıvıya ait moleküller arasında izotopik dengenin kurulmasını takiben örnek gazı, örnek şişesinden yine bir iğne vasıtası ile çekilmekte ve Gas Bench birimine saflaştırma ve farklı gaz bileşimlerinden ayırırma işlemleri için yollanmaktadır. Daha sonra örnek gazı, yüksek saflıktaki referans gazlar eşliğinde, kütle spektrometresine ölçüm için giriş yapmaktadır. Kütle spektrometresine giriş yapan gazlar, iyon kaynağı içerisinde “electron impact ionization” yöntemi ile iyonlaştırılmaktadır. Oluşan iyonlar yüksek voltaj ile hızlandırılmakta ve ardından kütle/yük-(m/z) oranlarına göre ayrıldıkları manyetik alan içerisine girmektedir. Daha sonra iyonlar ilgili Faraday toplayıcıları (iyon dedektörleri) tarafından toplanmaktadır. Son olarak dedektörlerden çıkan sinyaller sayısallaştırılmakta ve veri sistemi tarafından kaydedilmektedir. DİL’da, uluslararası standartlara (VSMOW, GISP ve SLAP) ek olarak, rutin analizlerde her örnek seti ile kullanılmak üzere, laboratuvar-ii standartlar bulundurulmaktadır. Farklı izotopik bileşimlere sahip bu standartlar, uluslararası standartlara göre, periyodik aralıklarla kalibre edilmektedir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma kapsamında örneklenen su numunelerinin analiz sonuçlarına ilişkin veriler bu kısımda paylaşılmış olup, değerlendirmeler ise bir sonraki bölüm olan Tartışma ve Sonuçlar başlığı altında irdelenmiştir. Arazi çalışmaları daha önce bahsedildiği gibi 3 dönemde yapılmış olup; ön arazi çalışmalarından elde edilen analiz sonuçları ve yerinde ölçüm parametreleri çizelge 6.1’de; yağışlı dönem analiz sonuçları EK-1’de ve kurak dönem analiz sonuçları ise EK-2’de sunulmuştur. Yerinde ölçülen fiziko-kimyasal parametreler ise yağışlı dönem için çizelge 6.2, kurak dönem için çizelge 6.3’de verilmiştir. Elde edilen bulgular özetle şöyledir:

Çizelge 6.1 Ön arazi çalışmalarında alınan örneklerde yerinde ölçüm parametreleri ve analiz sonuçları

Örnek No	Örnekleme Lokasyonu	Yerinde Ölçüm Parametreleri							
		Eİ $\mu\text{S/cm}$	ORP (mV)	pH	Sıcaklık (C°)	Çözülmüş Oksijen (DO mg/L)			
1	Kesikköprü'ye 19 km Alan Dışı Örnek Noktası	4510	189,3	8,19	18,4	7,23			
2	KK Sulama	3280	221,9	8,04	20,9	6,89			
3	Yeniocak Maden Sahası	1399	204	8,15	22	6,73			
4	Madentepe Ocağı	4470	213	8,35	22	7,26			
5	Kesikköprü Mahallesi	-	92	7,29	26,1	5,27			
6	Kesikköprü Baraj Kenarı	1926	224,4	8,67	23	9,22			
7	Kızılırmak Nehri - Köprü	1939	177	8,37	23,8	11,74			
8	Ağapınar Muhtar Kuyusu	670	228,6	7,54	20,4	7,5			
9	Ağapınar Maden Gölü	1577	181,9	8,21	22	8,6			
Örnek No	2	3	4	5	6	7	8	9	
İz Element ($\mu\text{g/l}$)	Al	20,9	14,7	21,1	23,5	11,5	12,1	24,9	14,6
	P	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
	Cr	8,1	2,4	2,0	23,6	9,1	7,9	4,8	3,3
	Mn	20,3	14,2	2,2	12,8	4,8	12,4	5,5	1,9
	Fe	0,7	0,3	0,7	1,3	0,3	0,3	0,4	0,3
	Co	0,4	0,5	0,3	0,6	0,1	0,2	0,1	0,2
	Ni	10,1	3,4	7,6	13,5	4,0	4,0	2,1	2,9
	Cu	63,0	7,7	6,2	17,6	1,9	2,2	3,2	2,9
	Zn	22,3	32,5	88,1	46,1	24,9	35,3	231,0	18,8
	As	10,5	4,6	13,9	11,5	10,3	15,3	4,4	2,7
	Se	6,4	42,7	247,8	17,5	1,2	1,1	0,5	9,3
	Cd	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ba	48,5	12,1	11,2	67,9	45,1	54,0	25,4	48,6
	Hg	34,0	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1
	Pb	0,3	0,4	0,3	0,6	0,4	0,5	1,3	0,4
Sb	1,4	0,4	1,3	0,5	0,4	0,5	0,3	0,2	

Çizelge 6.2 Mayıs 2022 tarihli örnekleme noktaları ve yerinde ölçüm parametrelerine ait bilgiler

No	Adı	Eİ μS/cm	ORP (mV)	Ph	Sıcaklık (C°)	Çözülmüş Oksijen (DO mg/L)
1	İkizler Kuyu	730	113	7,42	17,6	3,97
2	Kargınyenice Hayrat	1461	131,4	7,34	15,5	7,02
3	KB Maden Gölü 1	883	113,1	8,58	21,6	8,04
4	KB Çeşme	828	153,1	7,62	17,6	6,23
5	Büğüz Çeşme	608	140,4	7,6	18,8	5,99
6	Ağapınar Muhtar Kuyu	421	183,2	7,76	18,9	7,14
7	Ağapınar Maden Gölü	1283	167,1	8,47	21,5	8,6
8	Halildedede Kuyu	1060	108,9	7,59	18,8	2,25
9	Halildedede Sığ Kuyu	1315	172,5	7,54	19,3	4,7
10	Karahacılı Eski Kuyu	493	197,4	7,67	17,4	4,32
11	Karahacılı Yeni Kuyu	635	152,1	7,71	13,5	7,35
12	Müsellim Sığ Kuyu	1161	139,2	7,53	14,6	5,63
13	Müsellim Derin Kuyu	475	114,8	7,95	14,9	2,24
14	Müsellim İçme Suyu	561	158,5	7,68	13,5	6,41
15	KK Sulama	3690	115	8,24	17	8,67
16	Büyükcamilili Kuyu	6020	199,5	7,21	17,9	2,18
17	Küçükbiyık Sığ Kuyu	1503	215,3	7,99	16,2	5,59
18	Camisağır Maden Gölü	2500	167,2	8,51	22,4	9,52
19	Tepeköy Yayla Mah.	856	202,8	7,43	18	4,39
20	Güreşçi Kuyu	994	81,2	7,86	21,6	6,63
21	Kesikköprü Barajı	1840	151,9	8,93	21,1	10,95

Çizelge 6.3 Ekim 2022 kurak dönem örnekleme noktaları ve yerinde ölçüm parametrelerine ait bilgiler

No	Adı	Eİ (μS/cm)	ORP (mV)	pH	Sıcaklık (C°)	DO (mg/L)
1	İkizler Kuyu	1004	55,7	7,29	17,6	6,95
2	Kargınyenice Hayrat	1237	110,3	7,47	16,1	7,71
3	KB Maden Gölü 1	1067	136,2	8,49	14,4	8,42
4	KB Çeşme					
4	Karamistiklar Çeşme	759	173,4	7,58	16,8	7,19
5	Büğüz Çeşme	650	174,4	7,53	18,2	6,36
6	Ağapınar Muhtar Kuyu	838	190,1	7,58	17,7	7,48
7	Ağapınar Maden Gölü	1283	167,1	8,47	21,5	8,6
7	Ağapınar Maden Gölü 2	1139	142,6	8,21	16,7	8,66
8	Halildedede Kuyu	959	155,6	7,54	17,5	6,63
9	Halildedede Sığ Kuyu					
9	Halildedede Sığ Kuyu 2	1216	147,1	7,37	16,4	3,86
10	Karahacılı Eski Kuyu	741	163,5	7,57	14,9	6,52
11	Karahacılı Yeni Kuyu	729	155,9	7,55	14,9	6,96
12	Müsellim Sığ Kuyu	1100	227,7	7,34	15,8	5,24
13	Müsellim Derin Kuyu	480	256,7	7,87	14,4	1,82
14	Müsellim İçme Suyu	617	166,6	8	14,5	8,21
15	KK Sulama	5410	207,6	8,16	14,6	8,47
16	Büyükcamilili Kuyu	6170	179,3	7,13	18,3	1,93
17	Küçükbiyık Sığ Kuyu	1473	192,7	7,83	17,2	5,32
18	Camisağır Maden Gölü	2490	177,7	8,45	15,7	8,11
19	Tepeköy Yayla Mah.	787	186,2	7,33	16,5	2,27
20	Güreşçi Kuyu	729	247,9	7,49	17,7	5,95
21	Kesikköprü Barajı	1951	151,9	8,53	18,8	8,59

Elde edilen bulgular özetle şöyledir:

Ön arazi çalışması sırasında tespit edilen yerinde ölçüm parametrelerine göre tüm örnekler için pH 7,29 - 8,67 ve sıcaklık 18,4 C° - 26,1 C° arasında, elektriksel iletkenlik değerleri ise 670 - 4510 µS/cm arasında, çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Ön arazi çalışmalarında toplanan su örneklerinden elde edilen analiz sonuçlarına göre; alüminyum konsantrasyonları 11,5 ile 24,9 µg/l, krom konsantrasyonları 2 ile 23,6 µg/l, mangan 1,9 ile 20,3 µg/l, demir 0,3 ile 1,3 µg/l, nikel 2,1 ile 3,13 µg/l, bakır 1,9 ile 63 µg/l arasında, çinko 18,8 ile 231 µg/l, arsenik 2,7 ile 15,3 µg/l, selenyum 0,5 ile 247,8 µg/l, cıva konsantrasyonları ise 0,1 ile 34,0 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 6.1).

Yağışlı dönemde 21 örnek noktasında tespit edilen yerinde ölçüm parametrelerinden pH 7,21 ile 8,93 arasında, sıcaklık 13,5 ile 22,4 C° arasında, çözünmüş oksijen 2,18 ile 10,95 mg/l arasında, elektriksel iletkenlik 421 ile 6020 µS/cm arasında, yükseltgenme indirgenme potansiyeli ise 81,2 ile 215,3 mV arasında değişmiştir (Çizelge 6.2)

Yağışlı dönem majör iyon kimyasına göre kalsiyum değerleri 27,4-368 mg/l arasında, magnezyum 7,68-272 mg/l, sodyum 9,87-775 mg/l, potasyum 0,092-64 mg/l, klorür 6,29-1049 mg/l, karbonat 0,15-5,46 mg/l, bikarbonat 97,47-506,78 mg/l, sülfat 10,6-2460 mg/l, nitrat 0,75-353 mg/l arasında değişirken fosfat deteksiyon limiti altında kalmış olup, sadece Müsellim Sığ Kuyusu'nda 1,72 mg/l olarak izlenmiştir (EK-1).

Yağışlı dönem iz element içeriği analizlerine göre; arsenik 0,001-0,12 mg/l, bakır 0,003-0,004 mg/l, baryum 0,008-0,177 mg/l, bor 0,039-2,9 mg/l, çinko 0,003-0,023 mg/l, demir 0,007-0,079 mg/l, kurşun 0,001-0,014 mg/l, selenyum 0,001-0,126 mg/l, stronsiyum 0,232-11 mg/l ve uranyum ise 0,001-0,095 mg/l arasında değerler almıştır. Kadmiyum, alüminyum, antimon, kobalt, berilyum, cıva, gümüş, kalay, krom, nikel, talyum, titanyum parametreleri deteksiyon limiti altında kalmıştır (EK-1).

Kurak dönemde örneklenmiş 21 numune noktasında elde edilen yerinde ölçüm parametrelerine göre pH 7,13 ile 8,53 arasında, sıcaklık 14,4 C ile 21,5 arasında, çözünmüş oksijen 1,82 ile 8,66 mg/l arasında, elektriksel iletkenlik 480 ile 6170 µS/cm

arasında ve yükseltgenme indirgenme potansiyeli 55,7 ile 256,7 mV arasında değişmiştir (Çizelge 6.3).

Kurak dönem majör iyon kimyasına göre Ca^{+2} değerleri 34,5-342 mg/l arasında, Mg^{+2} 6,73-278 mg/l, Na^{+1} 8,32-768 mg/l, K^{+1} 0,08-58,5 mg/l, Cl^- 4,66-987 mg/l, CO_3^{-2} 0,3-2,82 mg/l, HCO_3^- 116,69-481,16 mg/l, SO_4^{2-} 9,66-2550 mg/l, NO_3^- 12-374 mg/l arasında değişirken PO_4^{3-} deteksiyon limiti altında kalmış olup, sadece Müsellim Sığ Kuyusu'nda 2,66 mg/l olarak izlenmiştir (EK-2).

Kurak dönem iz element içeriğine göre Al, Be, Hg, Ag, Cd, Sn, Ni ve Tl elementleri deteksiyon limiti altında kalmıştır. As konsantrasyonları 0,001-0,095 mg/l, Cu 0,002-0,006 mg/l arasında, Ba 0,02-0,156 mg/l, B 0,044-3,31 mg/l, Zn 0,006-0,031 mg/l, Fe 0,009-0,051 mg/l, Pb 0,001-0,012 mg/l, Se 0,001-0,102 mg/l, Sr 0,229-12,8 mg/l ve U 0,001-0,094 mg/l arasında değişmiştir. Numuneler arasında en yüksek Ti konsantrasyonu 0,001 mg/l olarak belirlenmiştir. Cr Küçükbyık Sığ Kuyu (0,002 mg/l) noktası hariç diğer tüm örneklerde deteksiyon limiti altında kalmıştır. Co ve Sb ise Camisağır Maden Gölü (0,001 mg/l) örnek noktası hariç diğer tüm örneklerde deteksiyon limiti altındadır (EK-2).

EK-1 ve EK-2'de sunulan tüm verilerin değerlendirilmesi için PHREEQC programı (Parkhus ve Appelo, 1999) kullanılmış ve hidrojeokimyasal hesaplamalar (sulu türlerin dağılımı ve doygunluk indisi hesaplamaları) sözü geçen program yardımıyla yapılmıştır. Programa tanıtılan fiziko-kimyasal parametreler pH, sıcaklık, redoks potansiyeliyken major iyon ve iz element verilerinden kullanılan parametreler alkalinite, arsenik, bor, kalsiyum, sodyum, potasyum, magnezyum, klorür, sülfat ve nitrat konsantrasyonları olarak belirlenmiştir. Program karbonat türlerini belirlemiş ve bu şekilde tüm örnekler için CO_3^{-2} ve HCO_3^- konsantrasyonları elde edilmiştir. Ayrıca program aracılığıyla tüm örnekler için elektronötralite (EN) hesaplamaları da yapılmıştır (Eşitlik 6.1).

$$E.N (\%) = \frac{\sum \text{katyon} - \sum \text{anyon}}{\sum \text{katyon} + \sum \text{anyon}} \times 100$$

Eşitlik 6.1

Bu verilere göre kurak ve yağışlı dönem analizlerinde Camisağır Maden Gölü ve KK Sulama örnek noktalarında kabul edilebilir hata payı %10 üzerinde çıktığı için bu noktalara ait major iyon analizleri değerlendirme dışı bırakılmıştır (Çizelge 6.4). Diğer örneklerin hepsinde elektronötralite sonuçlarına göre analiz hata payının kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir (<%10, Prof. Dr. Serdar Bayarı Hidrojeokimya Notları)

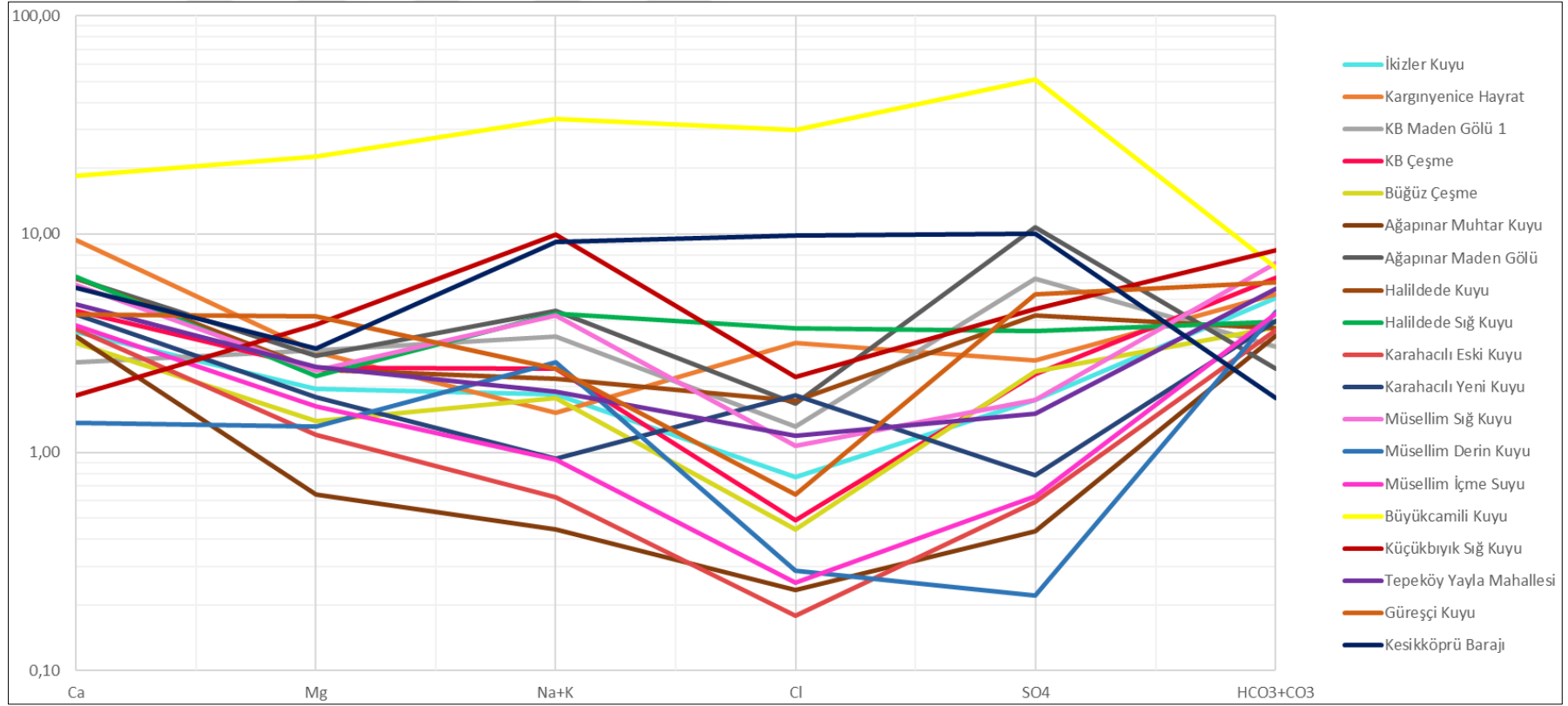
Çizelge 6.4 Yağışlı ve kurak dönemde alınan örneklerin major iyon sonuçlarına göre hesaplanmış elektronötralite (%) değerleri

Örnek No	Örnekleme Dönemi	ÖRNEK NOKTASI	EN (%)	Örnekleme Dönemi	ÖRNEK NOKTASI	EN (%)
1	Yağışlı	İkizler Kuyu	-1,81	Kurak	İkizler Kuyu	1,99
2		Kargıyence Hayrat	-9,9		Kargıyence Hayrat	-3,99
3		KB Maden Gölü 1	-8,55		KB Maden Gölü 1	-1,25
4		KB Çeşme	-0,14		Karamistiklar Çeşme	0,93
5		Bügüz Çeşme	-1,67		Bügüz Çeşme	0,04
6		Ağapınar Muhtar Kuyu	0,65		Ağapınar Muhtar Kuyu	-0,19
7		Ağapınar Maden Gölü	-4,73		Ağapınar Maden Gölü 2	-0,97
8		Halildede Kuyu	-4,51		Halildede Kuyu	-4,35
9		Halildede Sığ Kuyu	-6,87		Halildede Sığ Kuyu 2	-1,96
10		Karahacılı Eski Kuyu	0,47		Karahacılı Eski Kuyu	-1,02
11		Karahacılı Yeni Kuyu	-1,90		Karahacılı Yeni Kuyu	-0,96
12		Müsellim Sığ Kuyu	-0,01		Müsellim Sığ Kuyu	-1,72
13		Müsellim Derin Kuyu	1,65		Müsellim Derin Kuyu	3,49
14		Müsellim İçme Suyu	0,38		Müsellim İçme Suyu	0,71
15		KK Sulama	-13,53		KK Sulama	-11,22
16		Büyükcami Kuyu	-8,26		Büyükcami Kuyu	-9,14
17		Küçükbiyık Sığ Kuyu	0,53		Küçükbiyık Sığ Kuyu	1,27
18		Camisağır Maden Gölü	-14,23		Camisağır Maden Gölü	-12,87
19		Tepeköy Yayla Mahallesi	-3,95		Tepeköy Yayla Mahallesi	2,13
20		Güreşçi Kuyu	-4,64		Güreşçi Kuyu	3,79
21		Kesikköprü Barajı	-9,63		Kesikköprü Barajı	-5,57

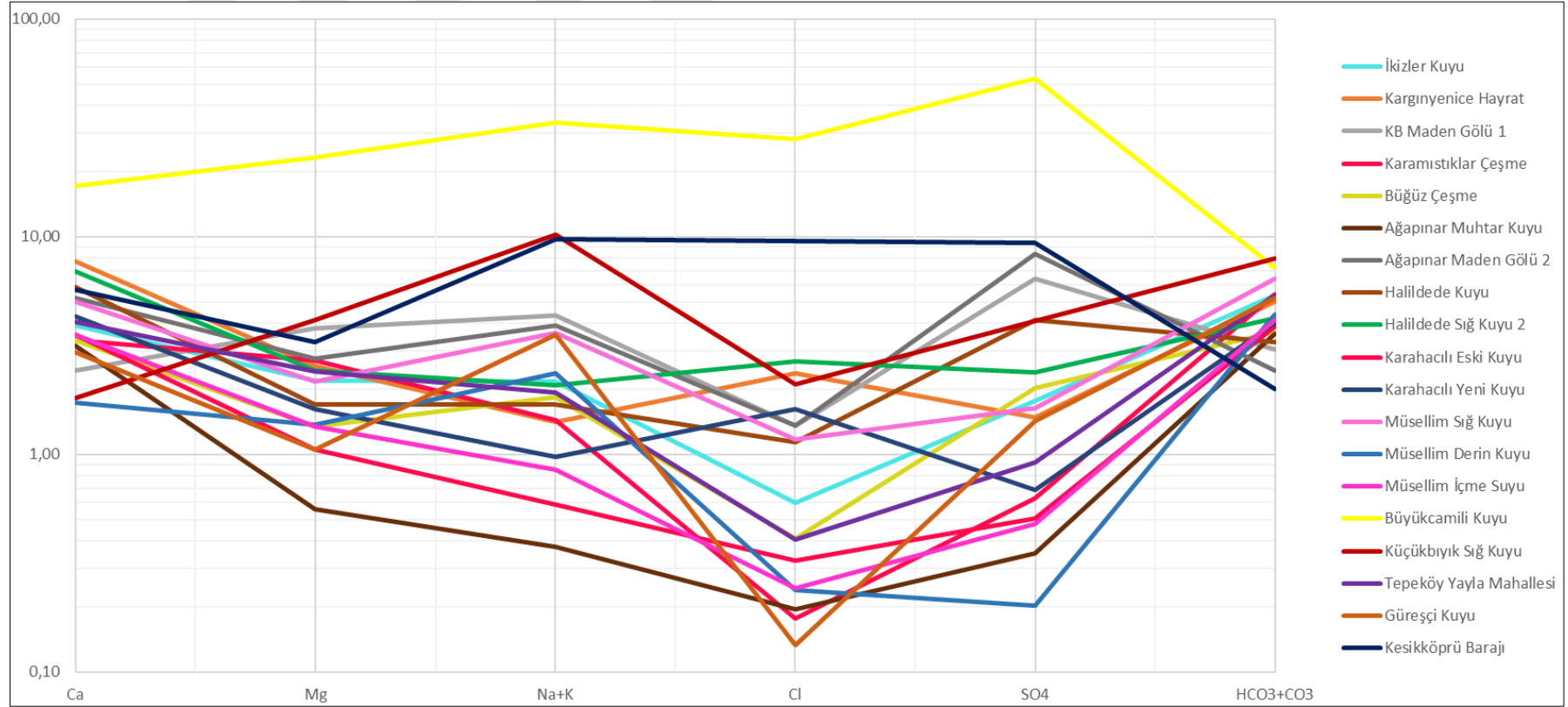
7. TARTIŞMA VE SONUÇ

7.1 Major İyon Kimyası

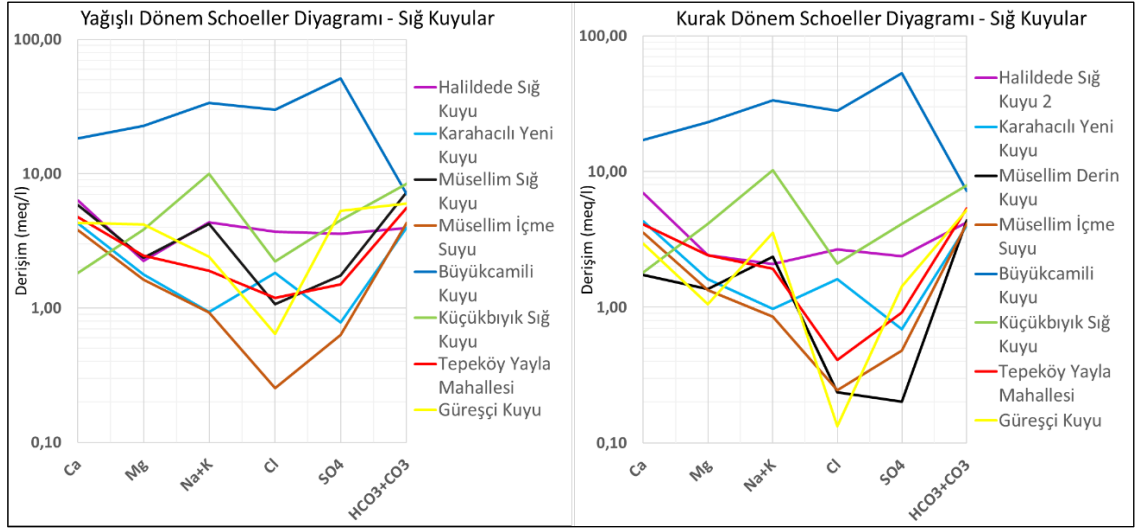
Önceki bölümde sunulan major iyon kimyası verilerinin detaylı incelemesi farklı diyagramlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu diyagramlardan literatürde en sık kullanılanı Schoeller (1955) tarafından geliştirilen ve yatay eksenle sırasıyla Ca, Mg, Na+ K, Cl, SO₄, CO₃+ HCO₃ iyonlarına ait meq/l konsantrasyonların yarı logaritmik grafik üzerine çizimi ile elde edilen Schoeller diyagramıdır. Schoeller diyagramında ortak beslenme alanına sahip olan aynı akifere ait suların iyon dağılımlarının paralellik göstermesi beklenmekte olup düşük iyon miktarının görece sığ dolaşımı, yüksek iyon miktarının ise nispeten daha derin dolaşımı ifade edebileceği söylenebilir. Tez kapsamında analizi yapılan numunelerin yağışlı ve kurak dönemlerdeki analiz sonuçları Schoeller diyagramında verilmiş (Şekil 7.1 ve Şekil 7.2), sonuçların anlaşılabilirliğinin artması amacıyla; her iki örnekleme dönemi için sığ kuyu, derin kuyu, çeşmeler, maden gölleri ve yüzey suları olarak ayrı ayrı kategorilerde incelenmiştir (Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6). Şekil 7.1 ve Şekil 7.2 kurak ve yağışlı dönemler için benzer niteliktedir ve her iki şekil çalışma alanında farklı kökene ve muhtemelen farklı dolaşım süresine sahip yeraltı sularının bulunduğu işaret etmektedir. Şekil 7.3 incelendiğinde; sığ kuyularda her iki dönemde de en yüksek iyon miktarına sahip kuyunun Büyükcamili Sığ Kuyu olduğu görülmüştür. Bu örnek noktası için baskın katyon Na, baskın anyon ise SO₄'dır. Bölgede Neojen ayrılmamış karasal çökellerin jips ihtiva ettiği bilinmektedir. Büyükcamili kuyu Kretase yaşlı granitoyitler ile Neojen ayrılmamış karasal çökellerin sınır bölgesinde yer almakta olan sığ bir kuyudur. Granitoyitlerin kırıklı çatlaklı bölgeleri yeraltı suyu içerebileceği için bu kuyudaki yüksek Na ve SO₄, jips içeren karasal çökeller ile yeraltı suyunun etkileşimi sonucu suya geçmiş olabilir. Sülfatın kaynağı olarak bu kuyunun oldukça yakınında bulunan bir gübre yığınının (Şekil 5.6a) sızıntı da gösterilebilir. Bunun nedeni bu kuyuda aynı zamanda yüksek oranda nitrat da tespit edilmiş olmasıdır (EK-1 ve EK-2). Dolayısıyla Büyükcamili kuyundaki yeraltı suyunun kimyasal yapısının hem jeojenik ortamdaki su-kayaç etkileşimi ile hem de antropojenik olarak etkilendiği düşünülmektedir.



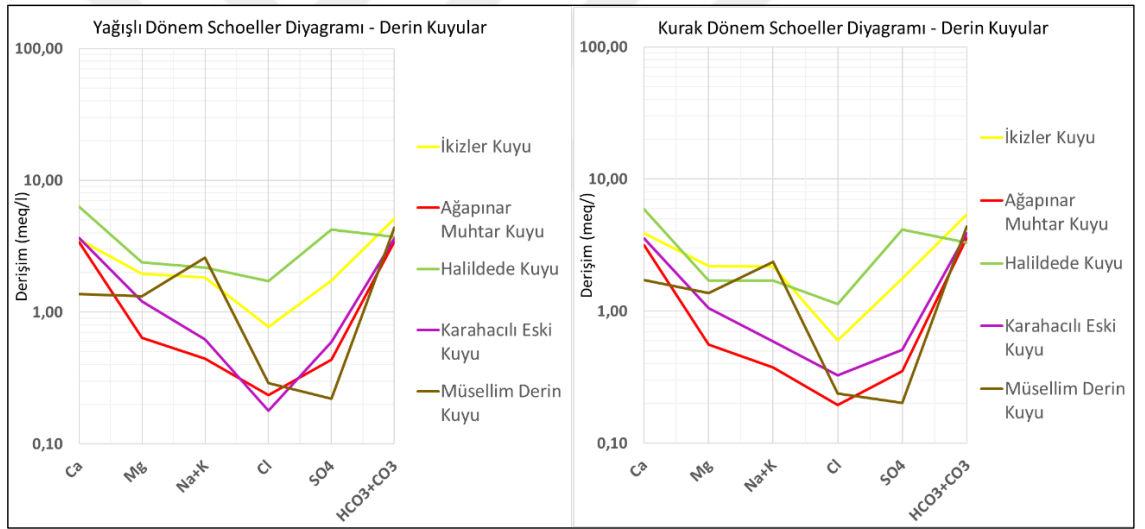
Şekil 7.1 Yağışlı dönem analiz sonuçlarına göre tüm örnek noktaları için oluşturulan Schoeller diyagramı



Şekil 7.2 Kurak dönem analiz sonuçlarına göre tüm örnek noktaları için oluşturulan Schoeller diyagramı

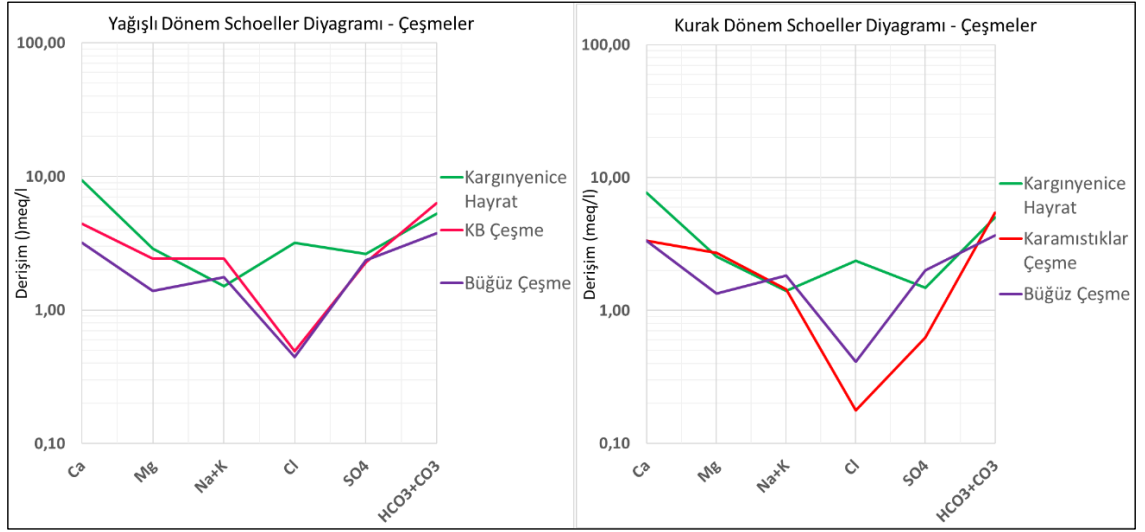


Şekil 7.3 Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre sığ kuyular için oluşturulan Schoeller diyagramı

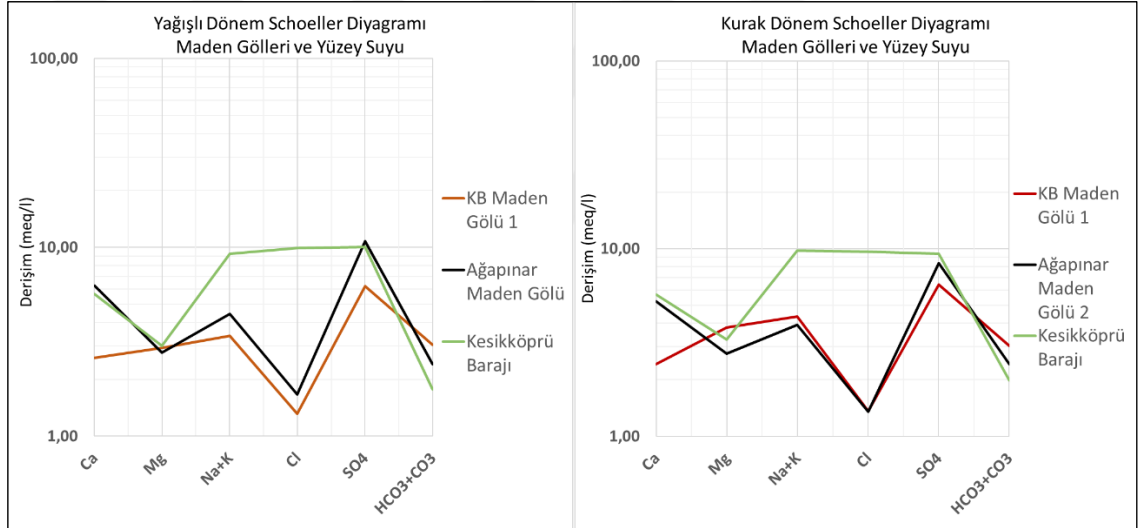


Şekil 7.4 Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre derin kuyular için oluşturulan Schoeller diyagramı

Derin kuyular incelendiğinde ise; en yüksek iyon derişiminin Halildede Kuyu noktasında olduğu görülmüştür. Diğer derin kuyulardan farklı olarak en yüksek klorür içeriğine sahip olan kuyu Halildede Kuyu'dur. Yağışlı dönemde tüm örnekler arasında en düşük klorür içeriğine sahip olan örnek derin bir kuyu olan Karahacılı Eski kuyudur (Şekil 7.4). Çeşmelerden alınan örnekler için hazırlanan Schoeller diyagramı incelendiğinde; Büğüz Çeşme ve KB Çeşme'nin ortak beslenme alanı ve muhtemel olarak yeraltında benzer dolaşım süresine sahip olduğu anlaşılmıştır. Kargıyence Hayrat ise özellikle yüksek klorür içeriği ile diğer örneklerden farklı bir kökene işaret etmektedir (Şekil 7.5).



Şekil 7.5 Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre çeşmeler için oluşturulan Schoeller diyagramı



Şekil 7.6 Kurak (a) ve yağışlı (b) dönem sonuçlarına göre maden gölleri ve yüzey suyu için oluşturulan Schoeller diyagramı

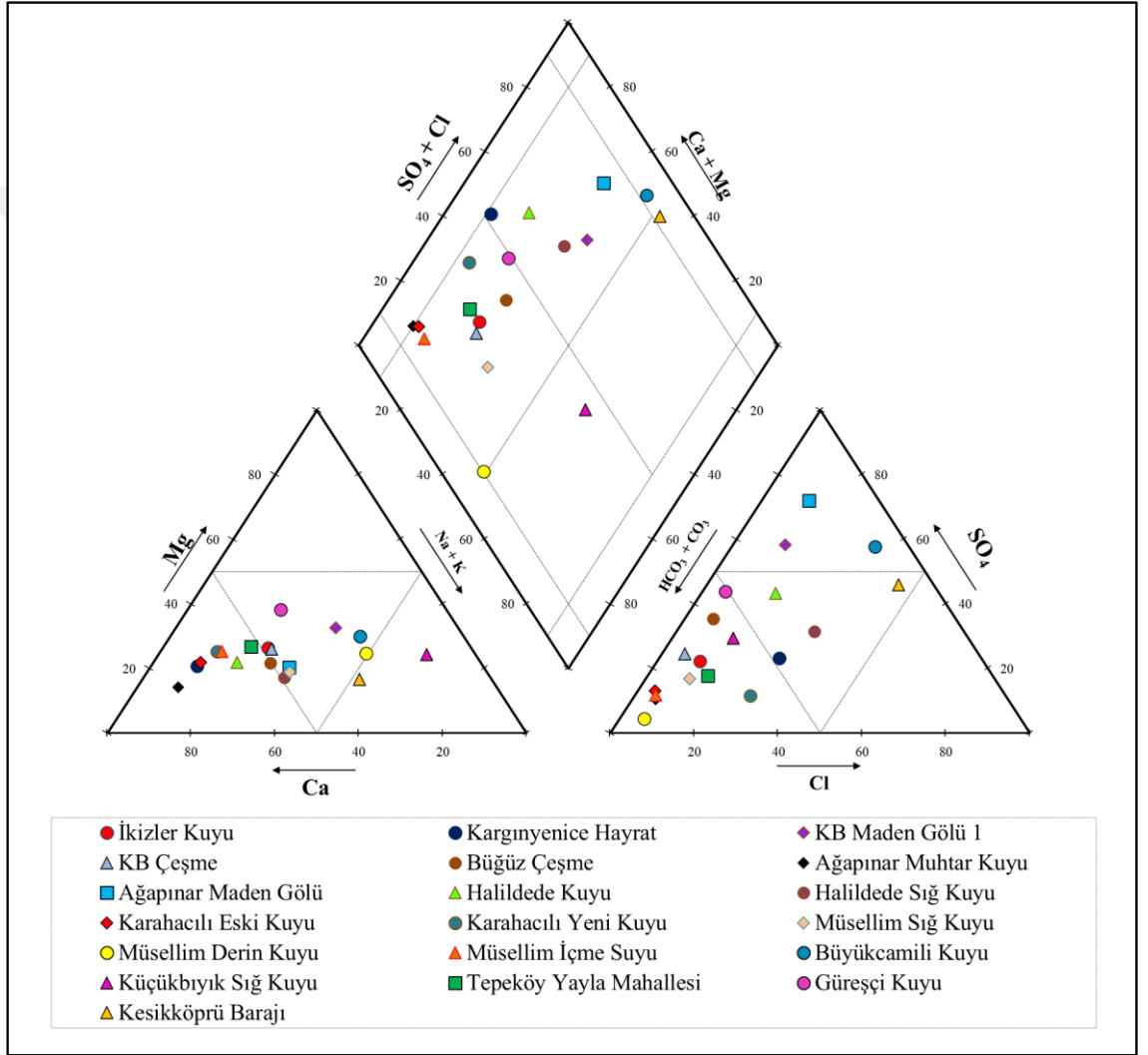
Maden gölleri ve yüzey suyu örneklerinin major iyon içerikleri kullanılarak hazırlanmış Schoeller diyagramına göre (Şekil 7.6); KB Maden Gölü ve Ağapınar Maden Gölü 1-2 örnek noktalarının benzer kökene sahip olduğu ancak Kesikköprü Barajı'nın Na ve Cl açısından yüksek iyon derişimi ile maden göllerinden ayrıldığı görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur çünkü maden göllerinin sığ bir yeraltı suyu sistemi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 7.6).

Majör iyon kimyasını görselleştirmenin bir başka yaygın yolu Piper üçgen diyagramıdır (Piper 1944). Bu su kimyası temsil aracı, su numunelerindeki ortak iyonların nispi

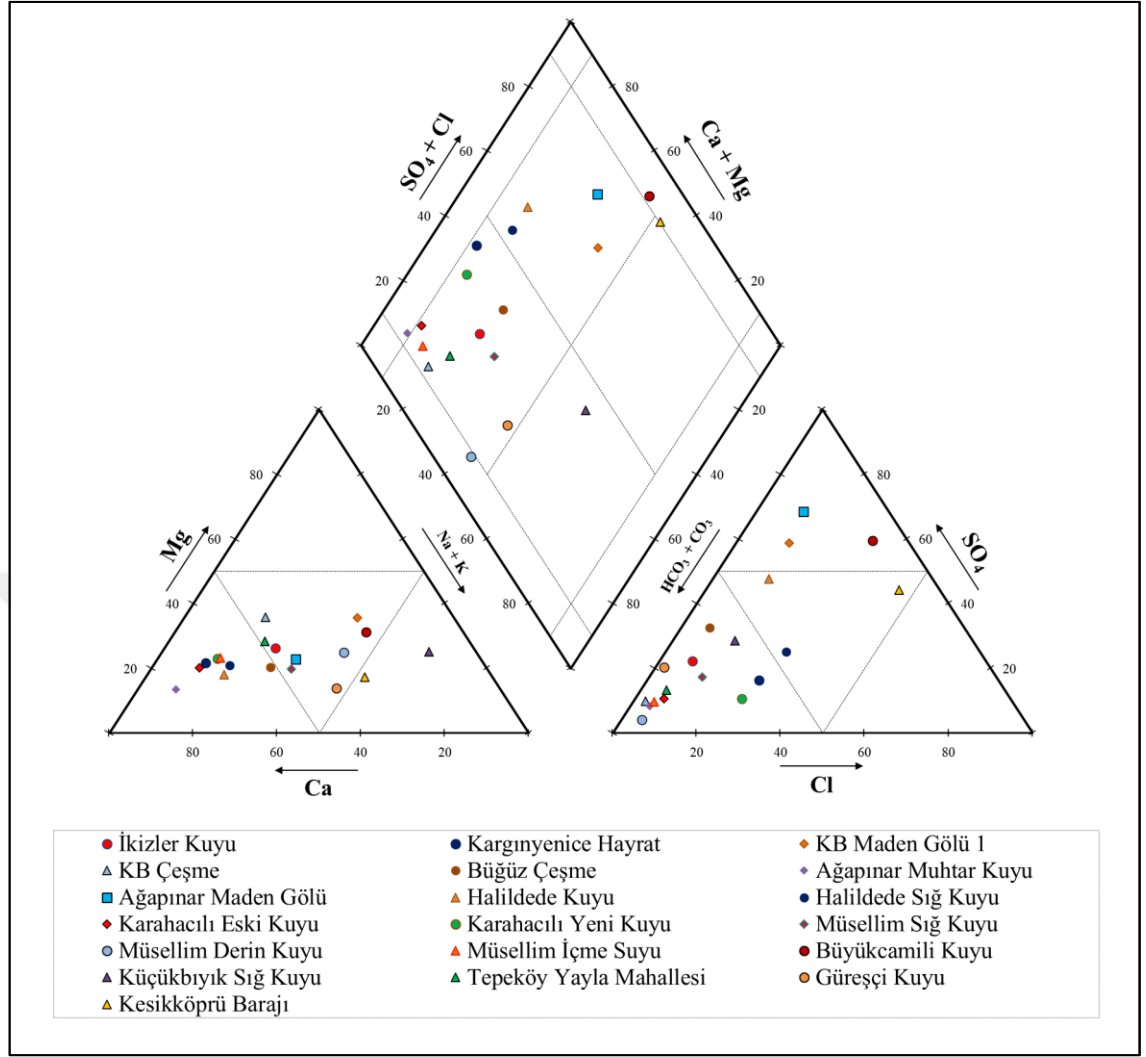
bolluğunu görselleştirmek için çok kullanışlıdır. Bu diyagramda solda bulunan katyon ve sağda bulunan anyon üçgenleri içindeki her bir örnek bir nokta ile temsil edilir (Şekil 7.7 ve Şekil 7.8). Bu noktalar ortada bulunan alanda kesiştirilir ve bu nokta değerinin diyagramdaki yeri su tipini belirler. Katyon üçgeninde sol altta bulunan üçgen Ca, sağ altta bulunan üçgen Na+K, üstteki üçgen ise Mg baskın katyonların bulunduğu örnekleri göstermektedir. Ortada kalan ters üçgen içerisine düşen örnekler karışık bileşimli sulardır. Aynı şekilde, anyonlar için sol altta bulunan üçgen HCO_3 sağ altta bulunan üçgen Cl, üstte bulunan üçgen SO_4 baskın anyonların bulunduğu örnekleri göstermektedir. Şekil 7.7 ve şekil 7.8’de sunulan Piper diyagramlarına göre çalışma alanındaki örneklerin farklı kimyasal bileşime sahip oldukları anlaşılmıştır. Buna göre her iki dönemde de, bazı örnekler için baskın katyon Ca ve baskın anyon HCO_3 olarak görülürken diğer bir kısım örneklerin ise karışık bileşimli sular bölgesinde yer aldığı belirlenmiştir. Kesikköprü Barajı ile Küçükbüyük Sığ Kuyu örneklerinde baskın katyonun Na+K olduğu görülmektedir. Ağapınar Maden Gölü, KB Maden Gölü 1 ve Büyükcamil Kuyu noktasında baskın anyon ise SO_4 ’tür. Diyagrama göre örneklerin genel olarak Ca- SO_4 -Cl ve Ca- HCO_3 tipinde olduğu gözlenmiştir.

Suların karakteristik özelliklerini anlamak için önerilen diyagramlardan biri de Piper ve Durov diyagramının bir modifikasyonu olan Chadha Diyagramı’dır. Chadha (1999) Piper diyagramının, diğer üçgen diyagramlarda olduğu gibi, gerçek iyon konsantrasyonunu tanımlayamadığını belirtmiş ve fazla veri olması durumunda bu diyagramın kullanımının zor olabileceğine dikkat çekerek yeni bir diyagram oluşturmuştur. Bu diyagramda Piper’den farklı olarak eşkenar dörtgen yoktur ve eksenler yüzde cinsinden gösterilir. Chadha diyagramında X ekseninde toprak alkali (Ca+Mg) ve alkali metallerin (Na+K) % miliekivalan farkları, Y ekseninde ise CO_3+HCO_3 yani zayıf asidik anyonların ve Cl+ SO_4 yani güçlü asidik anyonların yüzde miliekivalan olarak farkları çizilmektedir. Bu diyagram içinde bulunan dört alt bölüm için farklı su tipleri tanımlanabilir (Şekil 7.9 ve Şekil 7.10). Bu alt bölümler 1) Na- HCO_3 tipli (alkali metaller> alkali topraklar ve zayıf asidik anyonlar> güçlü asidik anyonlar bölgesi), 2) Ca-Mg- HCO_3 tipli yani alkali toprak ve zayıf asidik anyonlar > alkali metaller ve güçlü asidik anyonlar), 3) Ca-Mg-Cl tipli yani alkali topraklar> alkali metaller ve güçlü asidik iyonlar> zayıf asidik iyonlar) ve son olarak 4) Na-Cl tipli sular yani alkali metaller > alkali topraklar ve güçlü asidik anyonlar > zayıf asidik anyonlar

olarak verilmiştir. Birinci bölümdeki sular sulama suyu olarak kullanıldığı zaman köpürme problemleri ve kalıntı sodyum karbonat çökelişi olabilir, ikinci bölümdeki sular geçici sertliği olan sulardır, üçüncü bölümdeki sular kalıcı sertliği olan sulardır, dördüncü bölümdeki sular ise içme veya sulama amaçlı kullanıldıklarında tuzluluk sorunu yaratabilecek olan sulardır. Chadha (1999) diyagramı ile tuzlu su girişi, baz kasyon değişimi, sülfat indirgenmesi gibi hidrojeokimyasal süreçler araştırılabilir.



Şekil 7.7 Yağışlı dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi

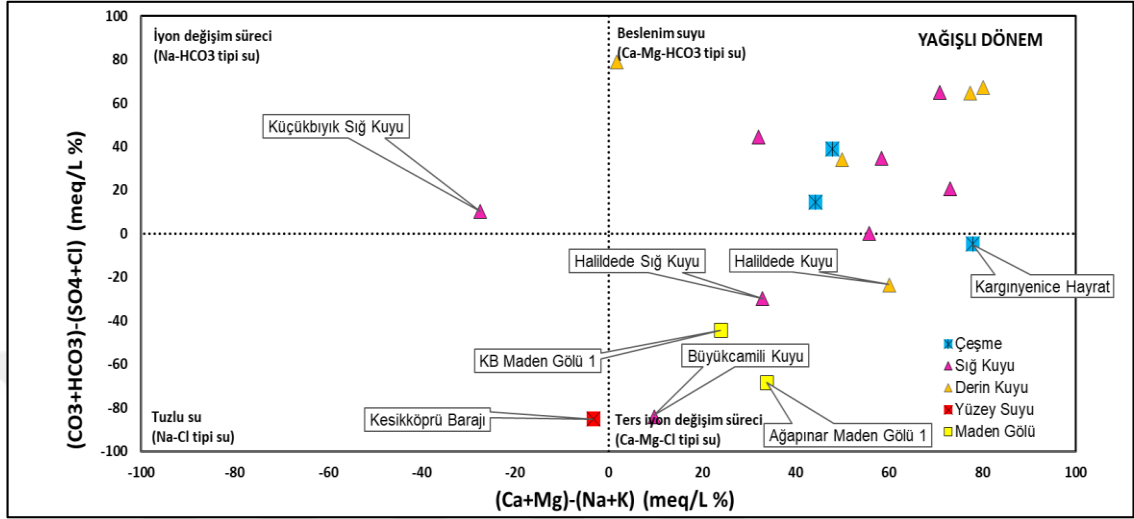


Şekil 7.8 Kurak dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi

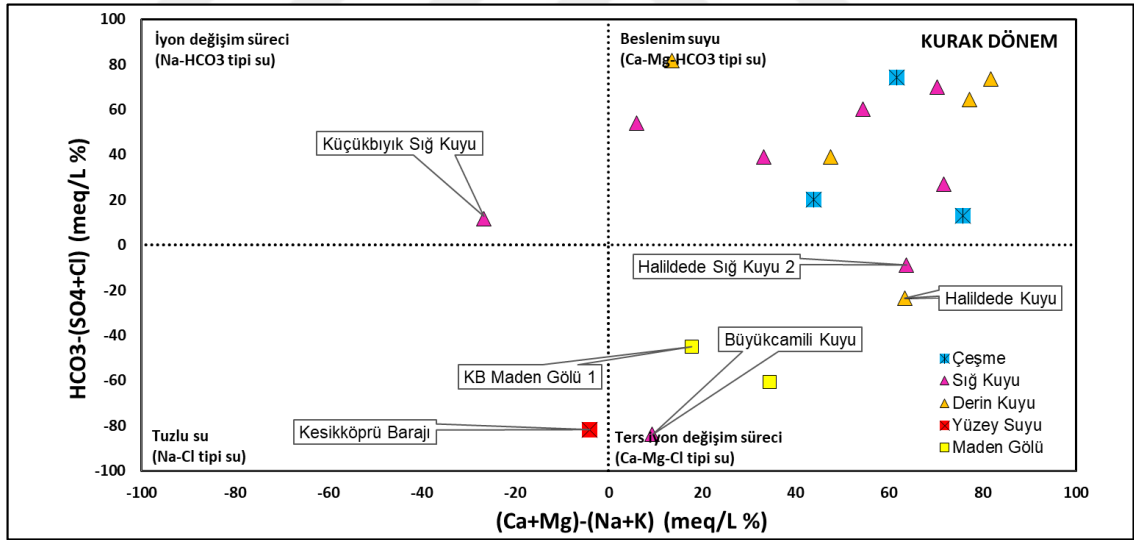
Tez çalışması kapsamında yağışlı dönemde elde edilen veriler ile oluşturulmuş olan Chadha grafiğine göre Kargınyenice Hayrat örneği ters iyon değişim sürecinin etkili olduğu Ca-Mg-Cl su tipi bölgesinde konumlanmışken, diğer çeşmeler beslenim suyu (Ca-Mg-HCO₃ tipi sular) bölgesinde yer almıştır (Şekil 7.9). Kurak dönem verileri ile hazırlanmış Chadha grafiğinde ise tüm çeşmeler beslenim suyu (Ca-Mg-HCO₃ tipi sular) bölgesindedir (Şekil 7.10). İki dönemde diyagramda farklı bölgelerde çıkan örnekler olduğu tespit edilmiştir.

Sığ kuyular incelendiğinde; her iki dönemde de Küçükbüyük Sığ Kuyusu'nun iyon değişim sürecinin etkili olduğu bölgede, Büyükcamili Kuyu ve Halildede Sığ Kuyu 1-2 örneklerinin ise ters iyon değişim sürecinin etkili olduğu bölgede yer aldığı görülmüştür. Maden göllerinden alınan örnekler ise her iki dönemde de ters iyon

değişim süreci etkisi altındadır. Bu durum KB maden gölü ile Ağapınar maden gölünün benzer kökene sahip olduğuna ilişkin ipucu vermektedir. Kesikköprü Barajı her iki dönemde tuzlu su bölgesi olan Na-Cl tip su bölgesinde yer almıştır.



Şekil 7.9 Yağışlı dönem verileri ile oluşturulmuş Chadha Diyagramı



Şekil 7.10 Kurak dönem verileri ile oluşturulmuş Chadha Diyagramı

Su tiplerini belirlemek amacıyla Uluslararası Hidrojeologlar Birliğinin (IAH 1979) tarafından önerilen biçimde katyon ve anyonların ayrı ayrı toplamı %100 olacak şekilde %meq/l olarak analiz sonuçları değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda %20 üzerindeki iyonlar katyonlar önce, anyonlar sonra gelecek şekilde yazılarak su tipleri belirlenmiştir (Çizelge 7.1). Çizelge 7.1'e göre örneklerin su tipi diğer diyagramları destekler nitelikte olup, kurak ve yağışlı dönemdeki su tiplerinde değişiklik olmamıştır.

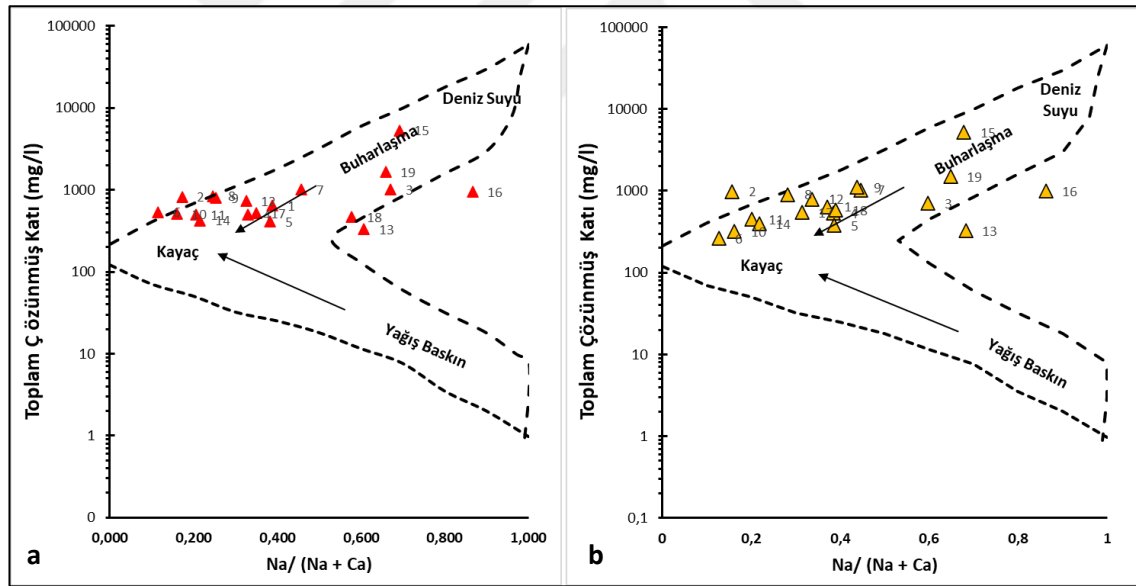
Ayrıca, çoğu örnek için, Piper diyagramından da görülebileceği üzere, baskın bir katyon veya anyon bulunmamakla birlikte çoğu örnekte Ca, Na, HCO₃, SO₄, Cl iyonlarının baskın olduğu görülebilir.

Çizelge 7.1 IAH (1979)'a göre belirlenen su tipleri, Elektriksel İletkenlik değerleri kullanılarak hesaplanmış Toplam Çözülmüş Katı ve bu hesaplamada kullanılan K katsayıları

Örnek No		ÖRNEK NOKTASI	Su Tipi	K Katsayısı	Eİ (25 C°)	Toplam Çözülmüş Katı (mg/l)
1	Yağışlı	İkizler Kuyu	Ca-Mg-Na-SO ₄	0.75	850.16	638
2		Kargınyenice Hayrat	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	0.55	1784.86	982
3		KB Maden Gölü 1	Na- Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃	0.75	944.32	708
4		KB Çeşme	Ca-Na- Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	964.29	530
5		Büğüz Çeşme	Ca-Na- Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	689.67	379
6		Ağapınar Muhtar Kuyu	Ca-HCO ₃ -SO ₄	0.55	476.52	262
7		Ağapınar Maden Gölü	Ca-Na- Mg-SO ₄	0.75	1374.91	1031
8		Halildedede Kuyu	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	0.75	1202.39	902
9		Halildedede Sığ Kuyu	Ca-Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄	0.75	1475.65	1107
10		Karahacılı Eski Kuyu	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	576.72	317
11		Karahacılı Yeni Kuyu	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl	0.55	813.74	448
12		Müsellim Sığ Kuyu	Ca-Na-HCO ₃	0.55	1448.79	797
13		Müsellim Derin Kuyu	Na-Ca-Mg-HCO ₃	0.55	588.53	324
14		Müsellim İçme Suyu	Ca-Mg-HCO ₃	0.55	718.91	395
15		KK Sulama	Na-Ca-Mg-SO ₄ -Cl	0.75	4355.52	3267
16		Büyükcamili Kuyu	Na-Mg-Ca-SO ₄ -Cl	0.75	6964.45	5223
17		Küçükbiyık Sığ Kuyu	Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	1806.66	994
18		Camisağır Maden Gölü	Na-Ca-Mg-SO ₄	0.75	2630.64	1973
19		Tepeköy Yayla Mahallesi	Ca-Mg-Na-HCO ₃	0.55	988.11	543
20		Güreşçi Kuyu	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄	0.55	1063.03	585
21		Kesikköprü Barajı	Na-Ca-SO ₄ -Cl	0.75	1988.09	1491
1	Kurak	İkizler Kuyu	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄	0.55	1169.26	643
2		Kargınyenice Hayrat	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	1490.34	820
3		KB Maden Gölü 1	Na-Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃	0.75	1337.86	1003
4		Karamistiklar Çeşme	Ca-Mg-HCO ₃	0.55	899.95	495
5		Büğüz Çeşme	Ca-Na- Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	747.02	411
6		Ağapınar Muhtar Kuyu	Ca-HCO ₃	0.55	973.77	536
7		Ağapınar Maden Gölü 2	Ca-Na- Mg-SO ₄	0.75	1353.58	1015
8		Halildedede Kuyu	Ca-SO ₄ -HCO ₃	0.75	1119.35	840
9		Halildedede Sığ Kuyu 2	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	0.55	1455.00	800
10		Karahacılı Eski Kuyu	Ca-Na-HCO ₃	0.55	918.11	505
11		Karahacılı Yeni Kuyu	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl	0.55	903.24	497
12		Müsellim Sığ Kuyu	Ca-HCO ₃	0.55	1334.50	734
13		Müsellim Derin Kuyu	Na-Ca-Mg-HCO ₃	0.55	601.85	331
14		Müsellim İçme Suyu	Ca-Mg-HCO ₃	0.55	771.78	424
15		KK Sulama	Na-Ca-SO ₄ -Cl	0.75	6751.02	5063
16		Büyükcamili Kuyu	Na-Mg-Ca-SO ₄ -Cl	0.75	7075.44	5307
17		Küçükbiyık Sığ Kuyu	Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄	0.55	1730.86	952
18		Camisağır Maden Gölü	Na-Ca-Mg-SO ₄	0.75	3027.83	2271
19		Tepeköy Yayla Mahallesi	Ca-Mg-Na-HCO ₃	0.55	939.53	517
20		Güreşçi Kuyu	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	0.55	847.11	466
21		Kesikköprü Barajı	Na-Ca-SO ₄ -Cl	0.75	2213.07	1660

Gibbs (1970), dünya çapında toplanan yağmur, nehir, göl ve okyanus örneklerinden alınan kimyasal verileri kullanarak dünya yüzey suyu kimyasını kontrol eden ana mekanizmaları gösteren bir diyagram oluşturmuştur. Bu mekanizmalar atmosferik yağış, su-kayaç etkileşimi ve buharlaşma-fraksiyonel kristalleşme süreçleridir. Çalışma

alanı için oluşturulan diyagramlar şekil 7.11 a ve b’de yer almaktadır. Todd ve Mays (2005)’e göre Gibbs diyagramı, suyun genel kalitesini etkileyen ana süreçleri yorumlamak için oldukça yararlıdır. Bu bağlamda suyun kimyasını değiştirebilen ve numunelerin grafik üzerinde kaymasına yol açabilen jeokimyasal ve biyolojik süreçlerin varlığına dikkat etmek önemlidir. Gibbs diyagramında, bu tür değişiklikler, birden fazla 'baskınlık' bölgesine yayılmış aynı akiferden alınan örneklerle gösterilebilir. Suyun kimyasını değiştirebilen süreçlerin örnekleri şunları içerir: Kimyasal çökeltme; bu işlem sırasında, çözeltideki iyonlar çözünmeyen bileşikler oluşturarak uzaklaştırılır. Örnekler: kalsiyum karbonatın çökeltmesi. İyon değişimi; bu işlem sırasında akiferlerdeki ince taneli malzemelerin (kil gibi) yüzeyinde adsorbe edilen iyonlar, çözeltideki iyonlarla değiştirilir. Bu değişim sürecine katyonlar dahil olduğu için, bu süreç katyon değişimi olarak bilinir (Şekil 7.12). Kimyasal indirgenme; oksitlenmiş kükürt iyonları sülfat iyonlarına indirgenir. Bu reaksiyon, belirli bakteriler varsa gerçekleşir (Hem, 1970).



Şekil 7.11 Yağışlı dönem (a) ve kurak dönem (b) analiz sonuçlarının Gibbs diyagramında gösterimi. Örnek numaraları Çizelge 7.1’de sunulmuştur

Önceki bölümlerde arazide tüm numuneler için Elektriksel İletkenlik ölçümlerinin yapıldığı belirtilmiştir. Elektriksel İletkenlik (Eİ) ile Toplam Çözünmüş Katı (TÇK) birbirleriyle ilişkilidir ve Özgül Eİ (ÖEİ) yeraltı suyu örnekleri için genel olarak TÇK’dan %50 kadar daha fazladır. Clark (2015)’a göre ÖEİ değerleri kullanılarak TÇK hesaplamaları Eİ değerlerinin bir K katsayısı ile çarpılması ile belirlenebilir. Bu K katsayısı bikarbonat baskın sularda 0,55; yüksek sülfat içeren sularda 0,75; yüksek

klorür içeren sularda ise 0,9 olarak verilmiştir (Clark 2015). Özgül elektriksel iletkenlik değerleri her bir örnek noktası için aşağıdaki eşitlik (7.1) kullanılarak hesaplanmıştır (APHA vd. 1989).

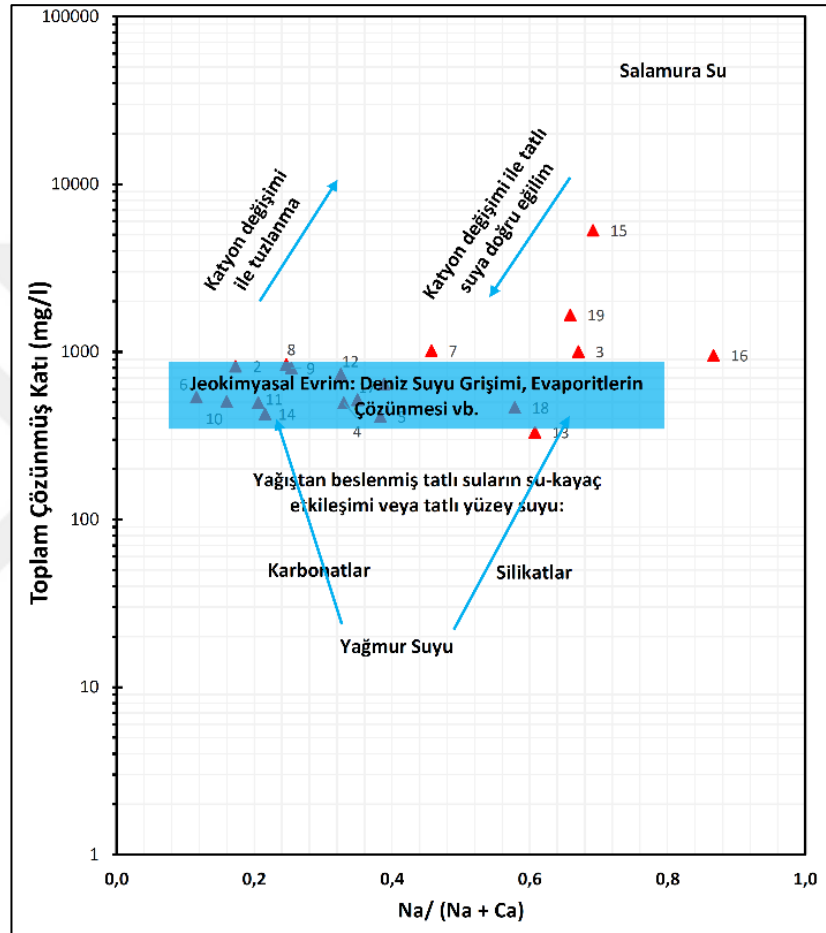
$$E\dot{I} (25^{\circ}\text{C}) = (E\dot{I} \times K) / [1 + (0.0191 \times (t - 25))] \quad \text{Eşitlik 7.1}$$

Bu eşitlikte $E\dot{I} (25^{\circ}\text{C})$: 25°C 'deki özgül elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$); $E\dot{I}$: arazide ölçülen elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$); K: sabit (iletkenlik ölçer hücre sabiti 1 cm^{-1}) ve T arazide ölçülen sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) ifade eder.

Bu çalışmada Şekil 7.11'de sunulan kurak ve yağışlı dönem Gibbs diyagramlarının hazırlanması için gerekli olan TÇK verileri Çizelge 7.1'de her bir örnek için kullanılan K katsayısı ve ÖEİ değerleri ile birlikte sunulmuştur. Şekil 7.11'e göre gerek kurak gerekse yağışlı dönemde örneklenen numunelerin kimyasını etkileyen süreçler en basit hali ile kayaç aşınması ve buharlaşmadır. Gibbs diyagramı üzerinde görülen örnek numaraları çizelge 7.1'e göre numaralandırılmıştır. Buna göre 15, 19, 3 ve 18 numaralı örneklerde buharlaşma baskındır. Özellikle bu durum açık yüzey teması olan Kesikköprü Barajı ve maden gölleri için beklenen bir göstergedir. Bölgenin yüksek sıcaklığa maruz kalan yarı-kurak bir iklimdeki konumundan dolayı suyun buharlaşması sebebiyle yüksek TDS oranı gözlenebilir. Genel olarak çalışma alanında yüksek TDS kayaç aşınması ve buharlaşma ile ilgilidir.

Marandi ve Shand (2018) Gibbs diyagramının yeraltı suyu örneklerinin kimyasının değerlendirilmesinde kullanılırken dikkat edilmesi gerektiğini çünkü bu suların yüzey sularından farklı olarak yer altında farklı zaman aralıklarında oldukça farklı süreçlerden geçtiklerini belirtmiş ve yeraltı suyunun başlangıç kimyasının yağış ile ilişkili olduğuna, daha sonra jeokimyasal evrimin su-kayaç etkileşimi ile başlayıp deniz suyu girişimi veya farklı süreçlerle ilerlediğine dikkat çekmiştir. Bu çalışmada Marandi ve Shand (2018) tarafından önerilen şekli ile modifiye edilmiş Gibbs diyagramından da yararlanılmıştır. Bu diyagram kurak ve yağışlı dönemler için benzer olduğundan sadece yağışlı dönem için hazırlanan diyagram şekil 7.12'da sunulmuştur. Bu diyagrama göre çalışma alanından alınan örneklerde yeraltı suyunun geçirimli birimlerde ilerlerken su-kayaç etkileşimine maruz kaldığı ortaya çıkmıştır. Şekil 7.12'ye göre örnek no. 15

Büyükcamili kuyu, 19'nolu örnek (Kesikköprü Baraj Gölü) dışında tüm örnekler için jeokimyasal evrim süreci hakimdir. Çalışma alanında deniz suyu girişi mümkün olmadığı için bu evrimin evaporitlerin çözünmesi şeklinde gerçekleştiği düşünülebilir. Büyükcamili kuyu ve Kesikköprü Baraj Gölü için ise bu örneklerin mevcut kimyasal formunun katyon değişimi ile tuzlanma sonucu kazanıldığı söylenebilir.



Şekil 7.12 Yağışlı dönem analiz sonuçlarının modifiye edilmiş Gibbs diyagramında (Marandi ve Shand 2018) gösterimi (Örnek numaraları Çizelge 7.1’de sunulmuştur).

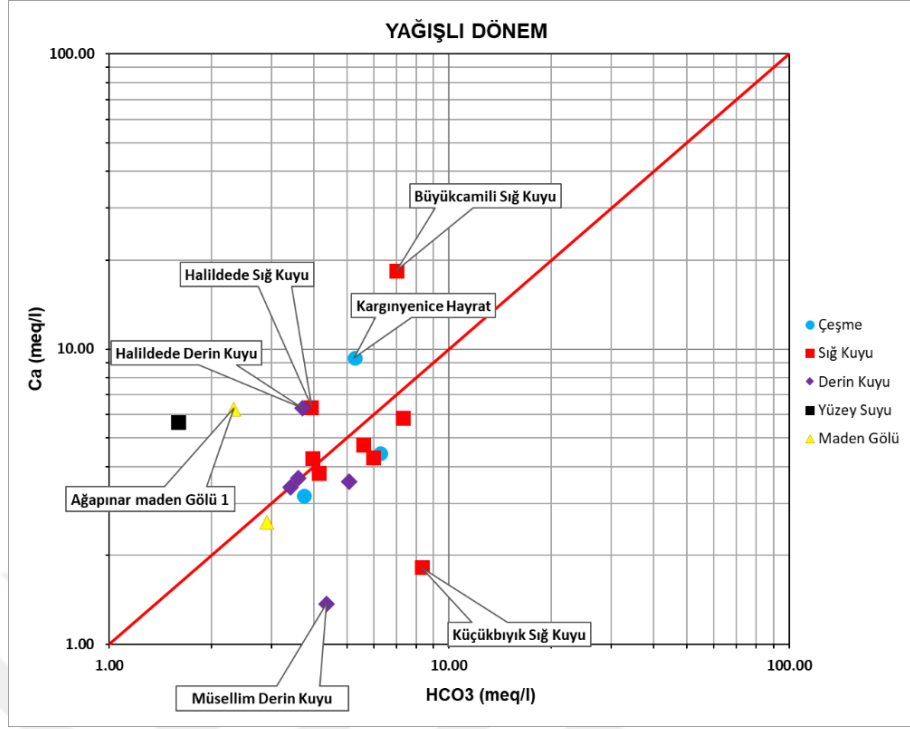
Numunelere ait analiz sonuçları Schoeller, Piper ve Chadha diyagramlarının yanı sıra yağışlı dönem verileri kullanılarak hazırlanmış olan ve şekil 7.13, şekil 7.14, şekil 7.15, şekil 7.16, şekil 7.17 ve şekil 7.18’de verilmiş farklı diyagramlarla da değerlendirilmiştir. Şekil 7.13’e bakıldığında örneklerin büyük çoğunluğu $x=y$ doğrusunun altında kalmıştır. Bu durumda örneklerde karbonat çözünmesinin su kimyasını etkileyen önemli bir süreç olduğu söylenebilir. Şekil 7.14’te ise örneklerde Ca baskın olarak gözlenmiştir. En yüksek iyon derişimi Büyükcamili Sığ Kuyusunda, en düşük derişim ise Müsellim Derin Kuyu noktasında gözlenmiştir. Şekil 7.15’e göre

kalsit, dolomit ve jips çözünmesinin baskın olduğu sucul ortamlarda Ca^{+} Mg ve HCO_3+SO_4 ilişkisi 1:1 çizgisine yakındır (Sonkamble vd. 2012, Chung vd. 2015, Gao vd. 2019). İyon değişimi bu grafik üzerinde noktaları kaydıracak yönde etkide bulunur. Bu grafik üzerinde noktalar ters iyon değişimi sonucunda sola doğru kayar, bu durumda kayalarından alınan Ca ve Mg ile bu iyon konsantrasyonlarında artış meydana gelir. Bu çalışma kapsamında alınan bazı örneklerin 1:1 doğrusu altında konumlanmış oldukları görülmektedir. Bu durumda örneklerde Ca ve Mg eksikliği bulunmaktadır ve Na fazlalık halinde bulunan anyonları dengelemek durumundadır.

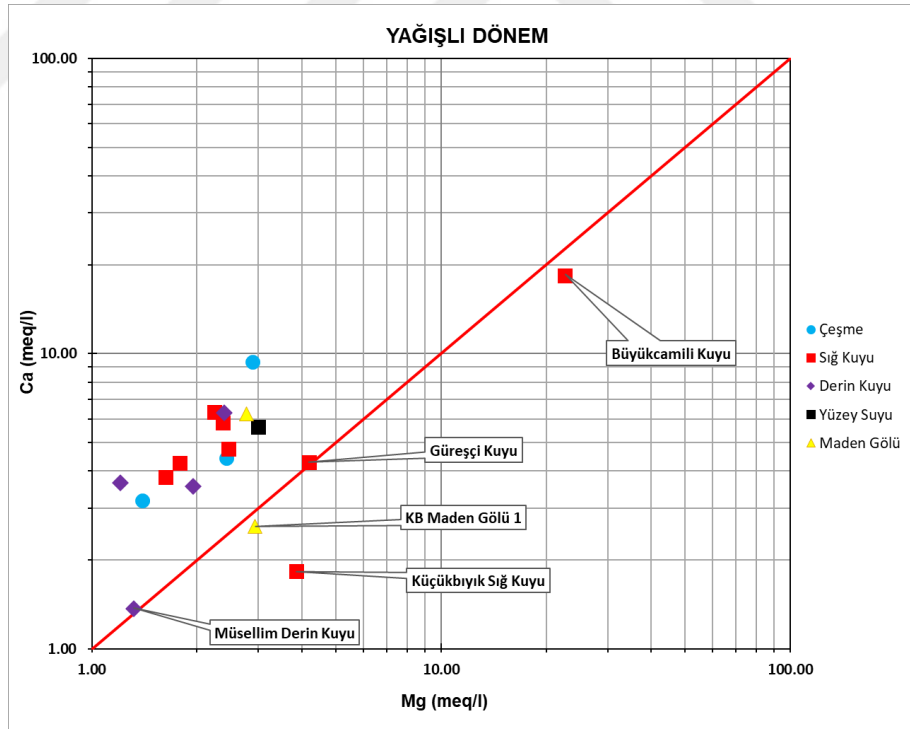
Şekil 7.16'ya göre örneklerin çoğu $x=y$ doğrusu altında yani Na'a göre Ca fazlalığı olan bölgede kalmıştır. Bu kısımda karbonat çözünmesinin hakim olduğu görülmektedir. Doğrunun üst kısmında ise Na iyonu kaynağını, bölgede halit bulunmadığı için silikat bozunması ve ters iyon değişimi süreçlerinden alabilir. İyon değişimi en yüksek olan örneğin Büyükcamili Sığ Kuyusu olduğu görülmektedir.

Şekil 7.17'ye göre su örneklerinin çoğunda Na'a oranla HCO_3 fazlalığı bulunduğu görülmekte olup, $x=y$ doğrusu üstünde kalan örneklerde karbonat minerallerinin (kalsit ve dolomit gibi) çözünmesinin baskın olduğu söylenebilir. Maden göllerinden ve Kesikköprü Baraj Gölü'nden alınan örneklerin yanı sıra Büyükcamili sığ kuyu ve Küçükbiyık sığ kuyu bu genellemenin dışında kalmıştır ve bu örneklerde HCO_3 'a göre Na fazlalığı bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, $x=y$ doğrusu altında kalan örneklerde silikat bozunması baskındır (Goswami vd. 2022).

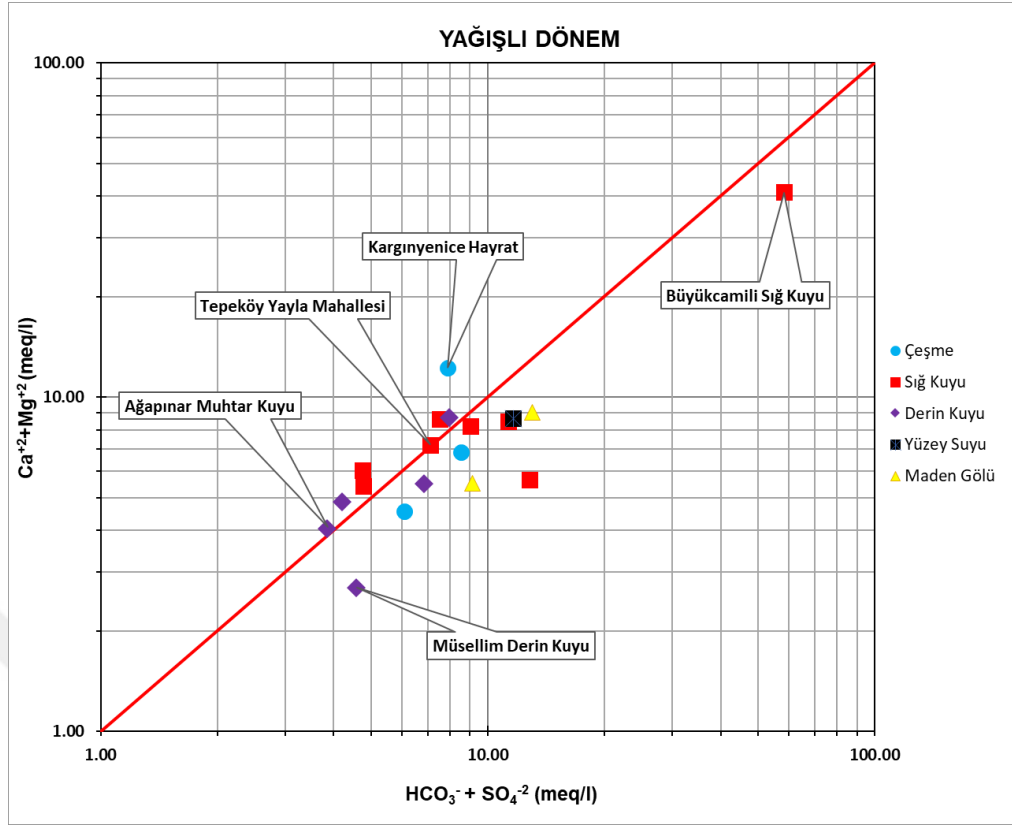
Şekil 7.18'e göre Halildedede Sığ Kuyu, Büyükcamili Sığ Kuyu ve Kesikköprü Barajı evaporit çözünmesinin etkisi altında kalmıştır. Bu üç nokta için evaporitlerin çözünmesinin su kimyasını etkileyen bir faktör olduğu diğer grafiklerle de ortaya konmuştur. Özellikle Büyükcamili Sığ Kuyu noktasında yüksek Na ve Cl değişimi gözlenmektedir. Karahacılı Yeni Kuyu ve Kargınyenice Hayrat örnekleri ise ters iyon değişim süreçlerinden etkilenmiş olup Cl iyonu bakımından zenginleşmiştir. Geri kalan örneklerin ise iyon değişimi süreci geçirdiği görülmüştür (Gao vd. 2019, Goswami vd. 2022).



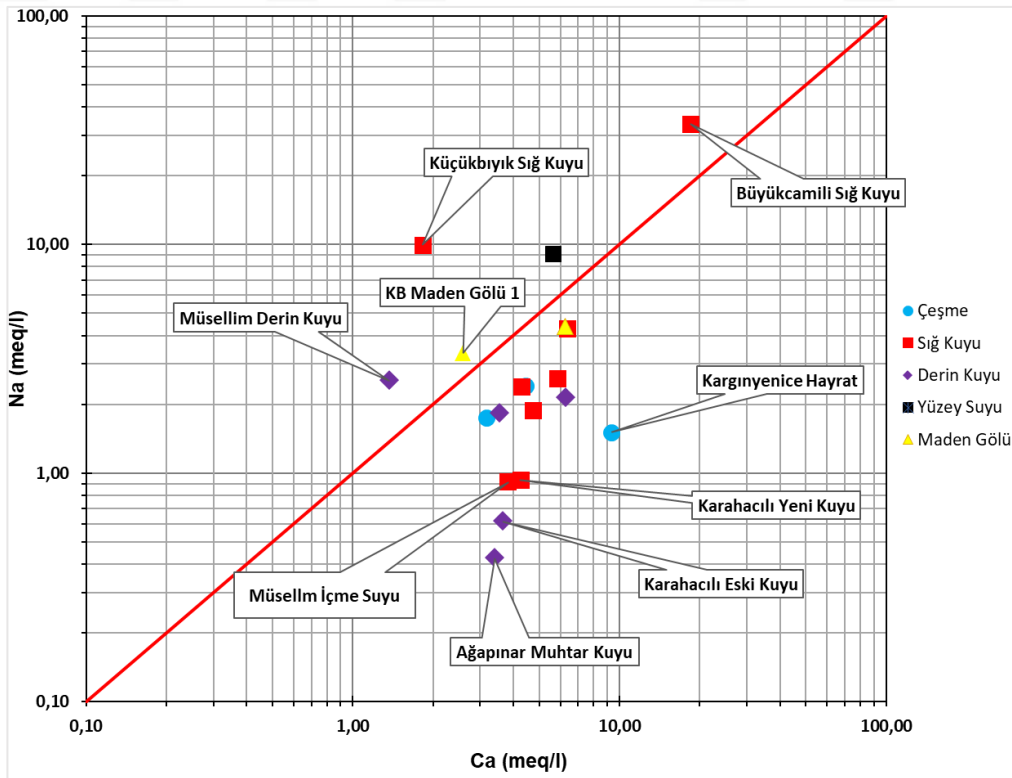
Şekil 7.13 Yağışlı dönem için tüm örneklerde Ca (meq/l) ve HCO₃ (meq/l) ilişkisi



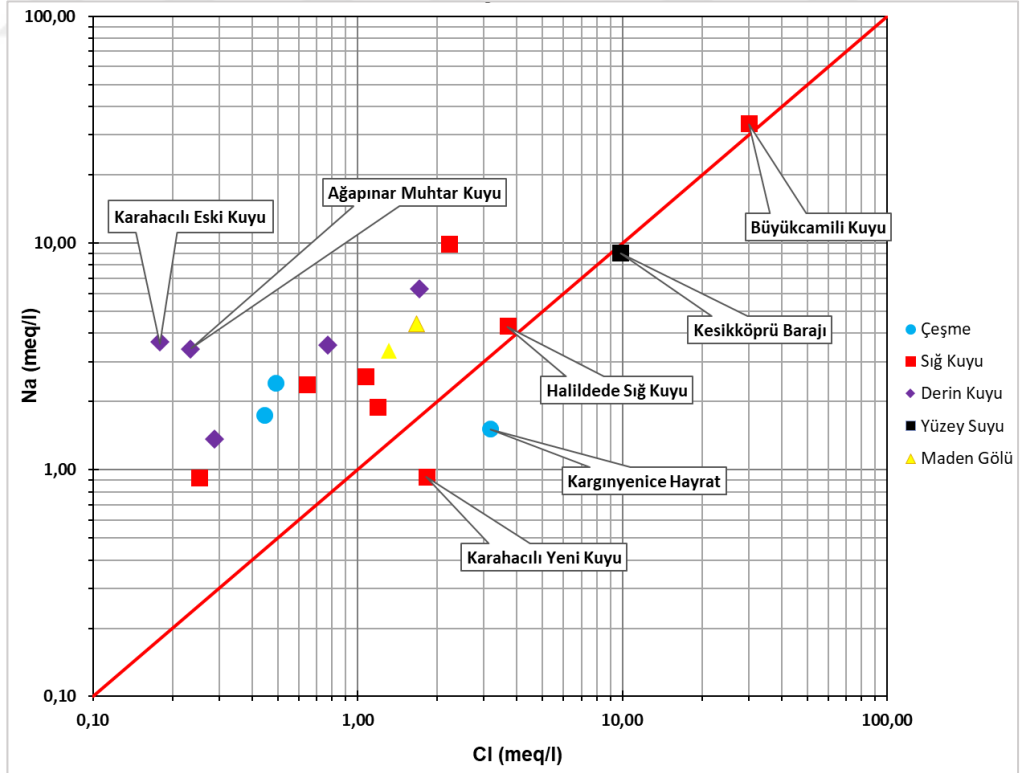
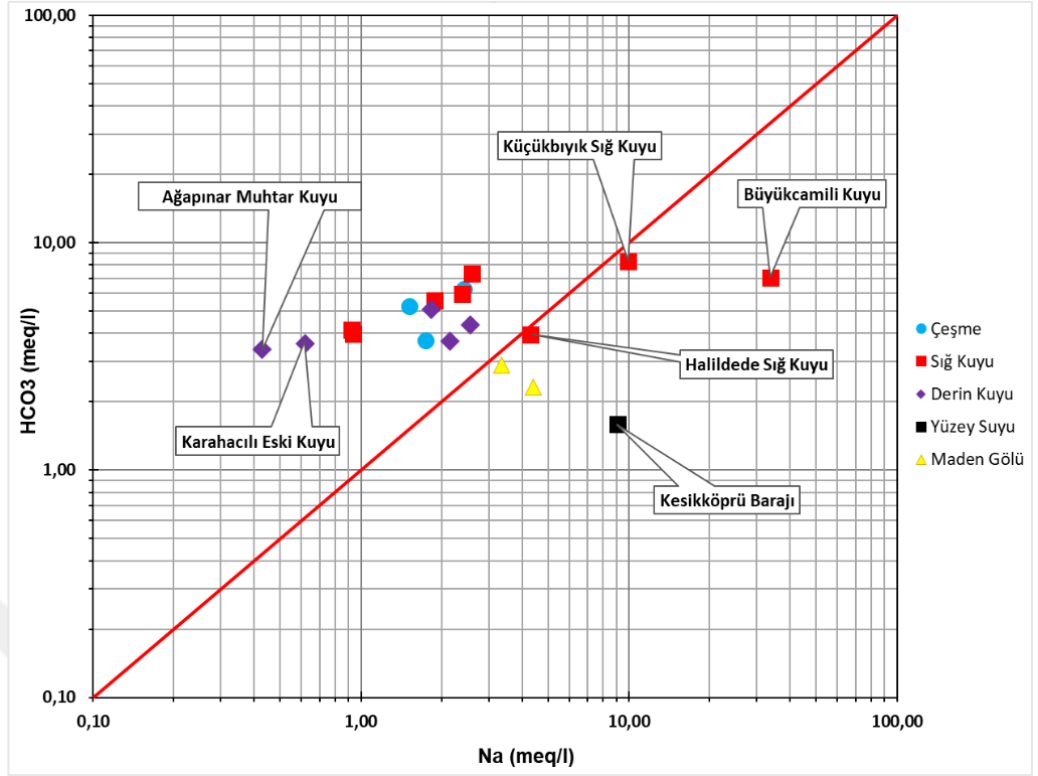
Şekil 7.14 Yağışlı dönem için tüm örneklerde Ca (meq/l) ve Mg (meq/l) ilişkisi



Şekil 7.15 Yağışlı dönem için tüm örneklerde Ca + Mg (meq/l) ile $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ilişkisi



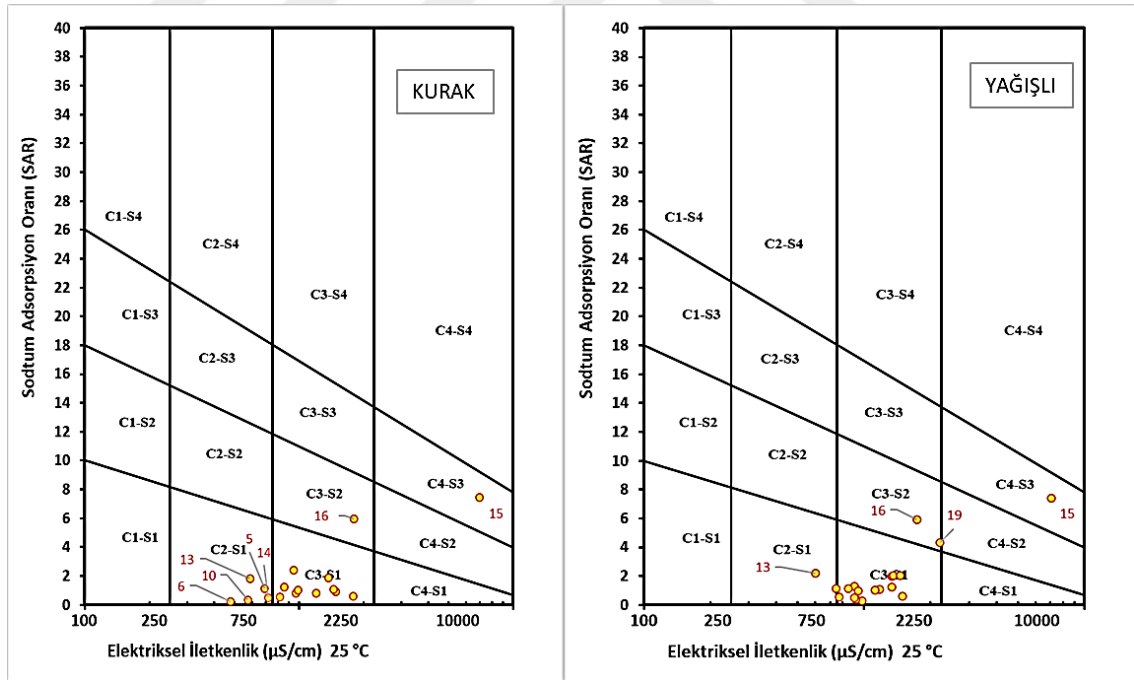
Şekil 7.16 Yağışlı dönem için tüm örneklerde Na (meq/l) ve Ca (meq/l) ilişkisi



Yeraltı sularının kalitesi uygunluğu, bu sular tuz gibi istenmeyen maddeleri fazla miktarda içerebileceğinden, sulama amaçlı kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Sulama suyu kalitesini etkileyen birçok parametre bulunmakla birlikte bu parametrelerin kimi bazı bitkileri etkilemezken bazısında ise olumsuz etkilere yol açabilir. Bu nedenle sulama suyu kalitesinin bilinmesi ürün veriminin sağlanması açısından önemlidir. Bu çalışmada numunelerin kalite standartlarının sınıflandırılması amacıyla Richards (1954) tarafından geliştirilen “ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı” kullanılmıştır (Şekil 7.19 ve Çizelge 7.2). Bu diyagramların çiziminde Özgül Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$ 25°C) ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) kullanılır. Çalışmada SAR değerleri hesaplanmış (Eşitlik 7.2) ve şekil 7.19’da oluşturulan diyagram kapsamında değerlendirilmiştir.

$$SAR = \left| \frac{Na^+}{\sqrt{((Ca^{++} + Mg^{++})/2)}} \right|$$

Eşitlik 7.2



Şekil 7.19 Kurak ve Yağışlı Dönem Analizlerine Göre Örneklerin ABD Tuzluluk Diyagramındaki dağılımı (1:İkizler Kuyu, 2: Kargıyenice Hayrat, 3: KB Maden Gölü 1, 4: KB Çeşme/Karamistiklar Çeşme, 5:Büğüz Çeşme, 6:Ağapınar Muhtar Kuyu, 7: Ağapınar Maden Gölü 1-2, 8: Halildede Kuyu, 9: Halildede Sığ Kuyu 1-2, 10: Karahacılı Eski Kuyu, 11: Karahacılı Yeni Kuyu, 12: Müsellim Sığ Kuyu, 13: Müsellim Derin Kuyu, 14:Müsellim İçme Suyu, 15: Büyükcamilı Kuyu, 16: Küçükbiyık Sığ Kuyu, 17: Tepeköy Yayla Mahallesi 18: Güreşçi Kuyu, 19: Kesikköprü Barajı)

Çizelge 7.2 Sulama suyu kalite sınıflandırılması (Richards, 1954)

Açıklamalar		SINIF	Özellik
EC (µs/cm)	C1 Düşük Tuzluluk Tehlikesi	C4-S1	Kötü Kalite
	C2 Orta Tuzluluk Tehlikesi	C1-S2	İyi Kalite
	C3 Yüksek Tuzluluk Tehlikesi	C2-S2	İyi Kalite
	C4 Çok Yüksek Tuzluluk Tehlikesi	C3-S2	Kötü Kalite
SAR	S1 Düşük Sodyum Tehlikesi	C4-S2	Kötü Kalite
	S2 Orta Sodyum Tehlikesi	C1-S3	Orta Kalite
	S3 Yüksek Sodyum Tehlikesi	C2-S3	Orta Kalite
	S4 Çok Yüksek Sodyum Tehlikesi	C3-S3	Çok Kötü Kalite
		C4-S3	Çok Kötü Kalite
SINIF	Özellik	C1-S4	Kötü Kalite
C1-S1	Çok İyi Kalite	C2-S4	Kötü Kalite
C2-S1	İyi Kalite	C3-S4	Çok Kötü Kalite
C3-S1	Orta Kalite	C4-S4	Çok Kötü Kalite

ABD Tuzluluk Diyagramı'na göre çalışma alanından alınan örneklerin kurak dönemdeki dağılımı incelendiğinde; Büğüz Çeşme, Ağapınar Muhtar Kuyu, Karahacılı Eski Kuyu, Müsellim Derin Kuyu ve Müsellim İçme Suyu örneklerinin C2-S1 sınıfında yani iyi kalitede (Çizelge 7.2) olduğu görülmüştür. Küçükbüyük Sığ Kuyu örneği C3-S2 kötü kaliteli olarak sınıflanmıştır. Büyükcamili Kuyu C4-S3 sınıfında çok kötü kaliteli su olarak değerlendirilirken geri kalan örneklerin ise C3-S1 orta kaliteli sular sınıfında yer aldığı görülmüştür. Bu durum yağışlı dönem analizleri için incelendiğinde ise; Müsellim Derin Kuyu örneğinin C2-S1 sınıfında iyi kalitede yer aldığı, Büyükcamili Kuyu örneğinin C4-S3 sınıfında çok kötü kaliteli su olduğu, Küçükbüyük Sığ Kuyu örneğinin C3-S2 kötü kaliteli olarak sınıflandığı, Kesikköprü Barajı'nın C3-S2 ve C4-S2 sınırında kötü kaliteli olarak sınıflandığı ve diğer tüm örneklerin ise C3-S1 sınıfında yani orta kalitede olduğu saptanmıştır. Bu durumda Müsellim Derin Kuyu, Büyükcamili Kuyu ve Küçükbüyük Sığ Kuyu her iki dönemde de aynı sınıfta yer alırken, Büğüz Çeşme, Ağapınar Muhtar Kuyu, Karahacılı Eski Kuyu ve Müsellim İçme Suyu örneklerinin kurak dönemde C2-S1 sınıfında yani iyi kalitede iken yağışlı dönemde C3-S1 sınıfında yani orta kalite özelliğinde görülmüştür. Bu durum yağışlarla birlikte suyun kayalarındaki bileşenleri içine katıp, süzülerek sudaki tuzluluk derişimini arttırdığına işaret etmektedir. Kesikköprü Barajını temsil eden 19 numaralı örnek ise kurak dönemde C3-S1 orta kalite sınıfında görülürken, yağışlı dönemde C3-S2 ve C4-S2 sınırında kötü kaliteli olarak görülmektedir. Dolayısıyla yağışlarla birlikte kaya-toprak etmenlerinin yıkanarak Kesikköprü Barajı'na katılan yüzey sularının derişimini arttırdığı düşünülebilir. Diğer örnekler ise kurak ve yağışlı dönemde aynı kalitede görülmüştür.

7.2 Doygunluk İndisi (SI)

PHREEQC program çıktıları ile suların farklı minerallere göre satürasyon indisleri (doygunluk durumları) kaydedilmiştir (Çizelge 7.3). Ekim ayında alınan örneklerin satürasyon indisleri incelendiğinde suların sırasıyla daha çok dolomit, kalsit ve aragonit minerallerine doymun olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra KK Sulama, Camisağır Maden Gölü ve Kesikköprü Barajı'nda monohidrokalzit gözlemlenmiştir. Bazı örnek noktalarında ise manyezit ve huntit minerali ile azot gazı mevcuttur (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3 Kurak dönem numuneleri için PhreeqC programı ile hesaplanmış doymunluk indisleri ve her bir numunenin doymun olduğu mineraller

Örnek Noktası	Mineraller	Doygunluk İndisi (SI)	Örnek Noktası	Mineraller	Doygunluk İndisi (SI)
İkizler Kuyu	Kalsit	0,11	Karahacılı Yeni Kuyu	Aragonit	0,12
	Dolomit	1,10		Kalsit	0,27
Kargınyenice Hayrat	Aragonit	0,36		Dolomit	1,23
	Kalsit	0,51	Müsellim Sığ Kuyu	Aragonit	0,15
	Dolomit	1,66		Kalsit	0,30
	N ₂ (g)	0,39		Dolomit	1,35
KB Maden Gölü 1	Aragonit	0,58		N ₂ (g)	0,12
	Kalsit	0,72	Müsellim Derin Kuyu	Aragonit	0,10
	Dolomit	2,74		Kalsit	0,25
	Huntit	0,06		Dolomit	1,52
	Manyezit	0,33	Müsellim İçme Suyu	Aragonit	0,51
Kamustıklar Çeşme	Aragonit	0,20		Kalsit	0,65
	Kalsit	0,34		Dolomit	2,01
	Dolomit	1,73	Büyükcamlı Kuyu	Aragonit	0,20
Büğüz Çeşme	Kalsit	0,14		Kalsit	0,34
	Dolomit	1,02		Dolomit	1,91
Ağapınar Muhtar Kuyu	Aragonit	0,05		N ₂ (g)	0,62
	Kalsit	0,20	Küçükbüyük Sığ Kuyu	Aragonit	0,25
	Dolomit	0,79		Kalsit	0,40
Ağapınar Maden Gölü	Aragonit	0,56		Dolomit	2,28
	Kalsit	0,70		N ₂ (g)	0,04
	Dolomit	2,23		Manyezit	0,21
Halildedede Kuyu	Aragonit	0,15	Tep eköy Yayla Mahallesi	Aragonit	0,02
	Kalsit	0,29		Kalsit	0,16
	Dolomit	1,17		Dolomit	1,23
	N ₂ (g)	0,03	Güreşçi Kuyu	Aragonit	0,04
Halildedede Sığ Kuyu	Aragonit	0,14		Kalsit	0,19
	Kalsit	0,29		Dolomit	1,07
	Dolomit	1,25	Kesikköprü Barajı	Aragonit	0,81
	N ₂ (g)	0,24		Kalsit	0,95
Karahacılı Eski Kuyu	Aragonit	0,07		Dolomit	2,79
	Kalsit	0,21		Manyezit	0,17
	Dolomit	1,02		Monohidrokalzit	0,12

7.3 İstatistiksel Değerlendirmeler

Bu çalışmada diyagramların yanı sıra su kimyasını analiz etmede farklı bir yaklaşım olan çok değişkenli istatistikler kullanılmış ve örnekler arasındaki istatistiksel bağlantı araştırılmıştır. Bu analizler neden-sonuç ilişkisi vermese bile kimyasal süreçlerin işleyişinin anlaşılması için önemli bir göstergedir. İstatistiksel değerlendirmeler yapılırken deteksiyon limiti altında kalan değerler için Sanford vd. (1993) tarafından önerilen şekilde değerlendirme yapılmış ve ilgili parametre için deteksiyon limitinin 0,50 katı büyüklüğünde değerler atanmıştır.

Yapılan değerlendirmelerde kümeleme analizi (HCA) kullanılmış olup, bu analiz ile değişkenlerin benzerliğine dayalı olarak su örneklerinin kimyası gruplandırılmıştır. Kümeleme analizi tekniklerinin varsayımları, eş varyans ve değişkenlerin normal dağılımını içerir (Alther 1979). Tüm değişkenlerin katkısının eşit olması verilerin log dönüşümünü ve standardizasyonunu (z-skorları) gerektirir. Farklı numunelerden çoklu parametrelere dayalı karşılaştırmalar yapılır ve numuneler birbirine “benzerliklerine” göre gruplandırılır. Değişkenlerin standart puanları (z-puanları) aşağıda verilen Eşitlik 7.3 kullanılarak hesaplanmış ve standardize edilmiştir:

$$z_i = (x_i - x_{ort})/s$$

Eşitlik 7.3

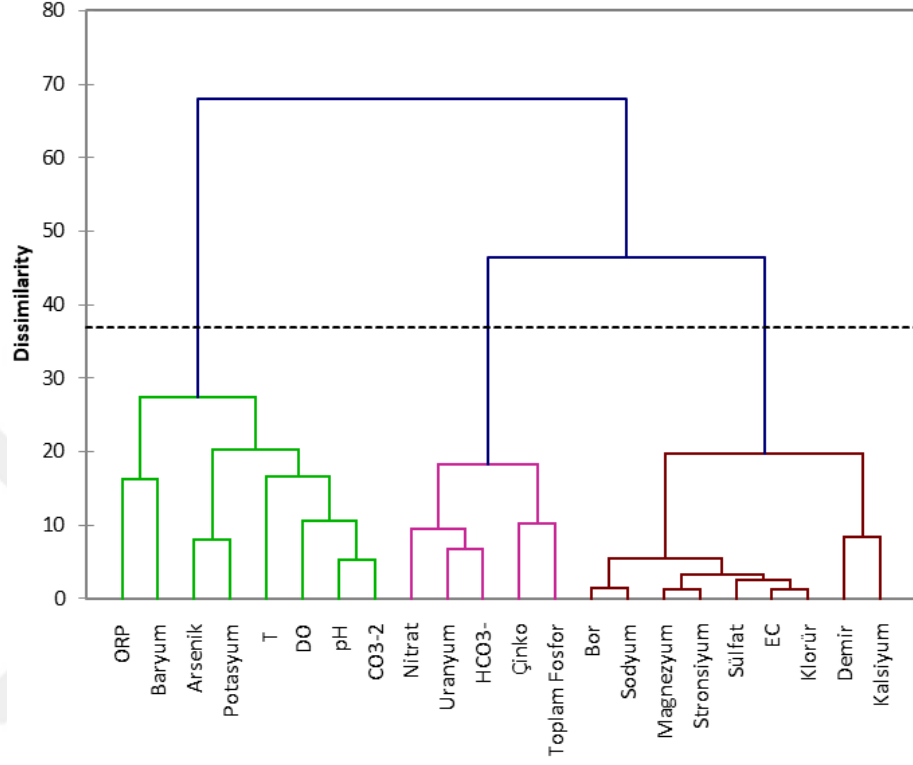
Burada z_i = i örneğinin standart puanı; x_i = i örneğinin değeri; x_{ort} = ortalama; s = standart sapma. Standardizasyon, log-dönüştürülmüş verileri, ortalama sıfır merkezli, yaklaşık -3 ila +3 standart sapma aralığına ölçeklendirir. Böylece istatistiksel analizlerde her bir değişken eşit ağırlığa sahip olur. Aksi takdirde, öklid mesafeleri en büyük büyüklüğe sahip değişken tarafından en güçlü şekilde etkilenecektir (Judd 1980; Berry 1995). Bu dönüşümler, aykırı değerleri normalleştirmenin ve azaltmanın yanı sıra, dağılımın varyansını da homojenleştirme eğilimindedir (Rummel 1970). HCA analizi iki farklı şekilde yapılabilir; R-modunda, değişken kümeleri elde edilir, Q-modunda, örneklem kümesi elde edilir. Bu çalışmada iki modda da inceleme yapılmıştır. Q modu, benzer kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip numune gruplarını tanımlamak için genellikle su kimyası incelemelerinde kullanılır, çünkü farklı su türleri arasında ayırım yapmak için nadiren tek bir parametre yeterli olur. Bu çalışmada kullanılan bağlantı kuralı Ward'ın

yöntemidir (Ward 1963). Bağlantı kuralları, benzerlik matrisini kullanarak yakın numuneleri yinelemeli olarak bağlar. İlk küme, en büyük benzerliğe sahip iki örneğin bağlanmasıyla oluşturulur. Ward'ın yöntemi, diğer tüm yöntemlerden farklıdır çünkü kümeler arasındaki mesafeleri değerlendirmek için bir varyans analizi (ANOVA) yaklaşımı kullanır. HCA, verileri basit bir şekilde sınıflandırır ve sonuçları kolayca anlaşılan bir diyagram olan dendrogram ile sunulur (Davis 1986).

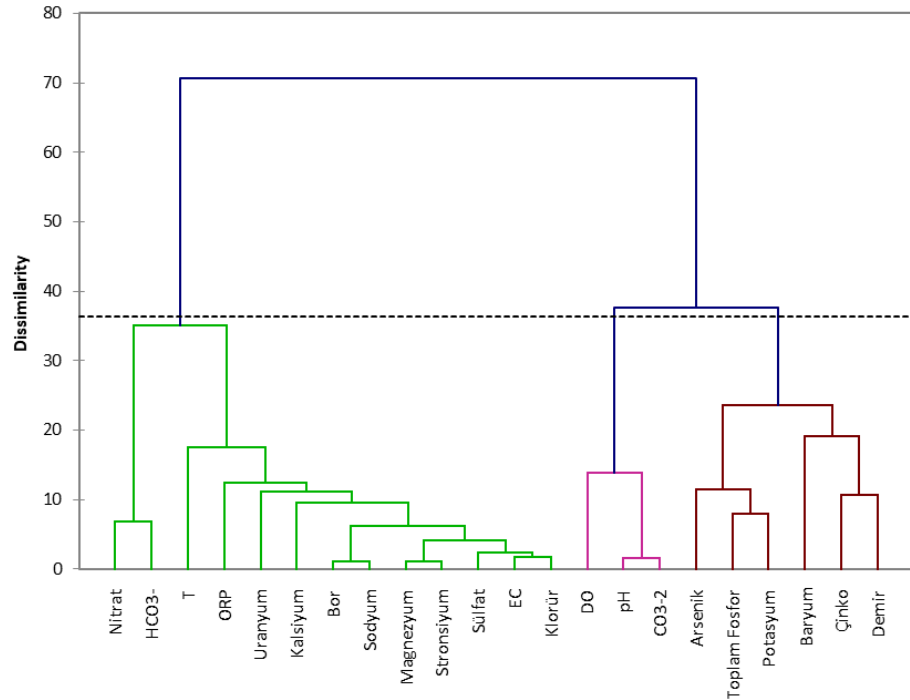
Çalışma kapsamında R-modda oluşturulmuş ve şekil 7.20 ve şekil 7.21'de sunulmuş dendrogramlar incelendiğinde yağışlı ve kurak dönemde yeşil, pembe ve kahverengi renklerde olmak üzere 3 ana kümelenme görülmüştür. Yağışlı dönemde arsenik ve potasyum birlikte hareket ederken, kurak dönemde arseniğin potasyum ve fosforun yanı sıra demir, çinko, baryum, gibi elementlerle de istatistiksel olarak bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. Yağışlı dönemde kalsiyum demirle ilişkili görülürken kurak dönemde ise uranyum, bor gibi elementlerle bağlantılı olarak görülmektedir.

Q-mod ile oluşturulan dendrogramların sunulduğu şekil 7.22 ve şekil 7.23 incelendiğinde yağışlı dönemde Kesikköprü Barajı, Ağapınar Maden Gölü 1 ve KB maden gölü bir kümeyi oluştururken, bu üç örneğin kimyasal içeriğinin benzerlik gösterdiği görülmüştür. Aynı şekilde Karahacılı Eski Kuyu, Müsellim İçme Suyu, Büğüz Çeşme, Ağapınar Muhtar Kuyu ve Karahacılı Eski Kuyu örnek noktaları da birbiri ile ilişkilidir. Bu durum, bu noktaların aynı beslenme mekanizmasına sahip olabileceğinin göstergesidir. Son kümeyi oluşturan örnek noktaları için de aynı durumun söz konusu olduğu söylenebilir. Bu küme içinde özel olarak ayrılan Müsellim Derin Kuyu ve Küçükbiyık Sığ Kuyu noktasıdır. Neredeyse çalışma alanının kuzey ve güney uçlarında uzak mesafelerde bulunan bu iki örneğin benzer kimyasal kökene sahip olduğu görülmektedir. Tüm örneklerden farklı bir kimyasal içeriğe sahip olan Büyükcamili kuyu yağışlı dönemde istatistiksel olarak diğer tüm örneklerden ayrılarak farklı bir bölümde yer almıştır. Kurak dönemde de yüzey suyu kapsamında değerlendirilen maden gölleri ile Kesikköprü Barajı'nın ilişkisi görülmüş olup bu noktaların benzer karakteristikte olduğu anlaşılmıştır.

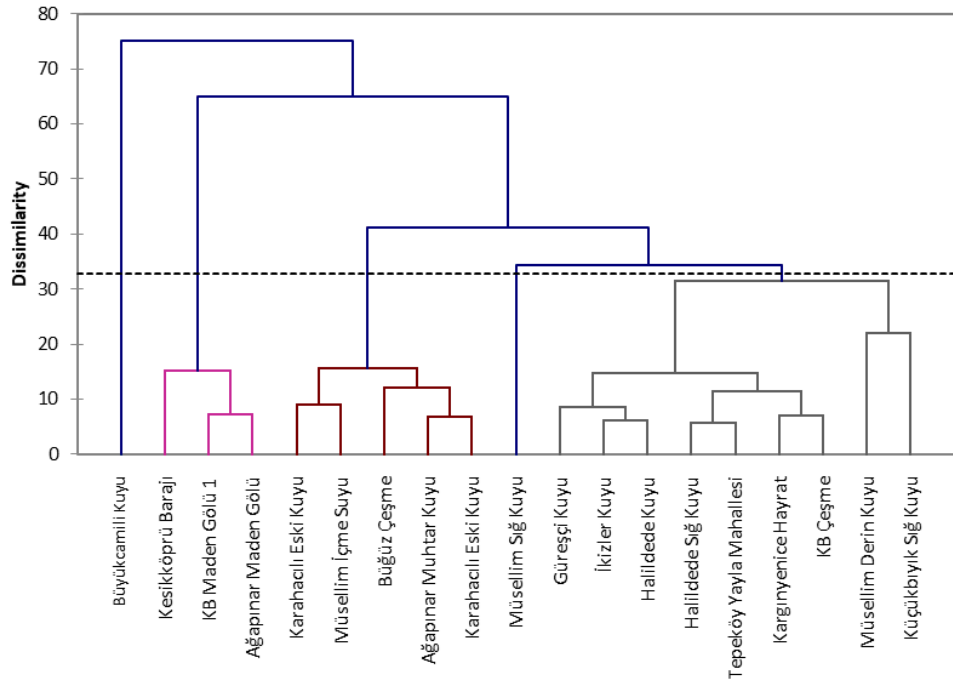
Sonuç olarak bu dendrogramlar çalışma alanında biribiri ile bağlantılı akifer sistemlerinin olabileceğini ve bu sistemler içerisinde bulunan yeraltı sularının su-kayaç etkileşimi ile tarımsal faaliyetlerden benzer oranlarda etkilendiklerini göstermiştir.



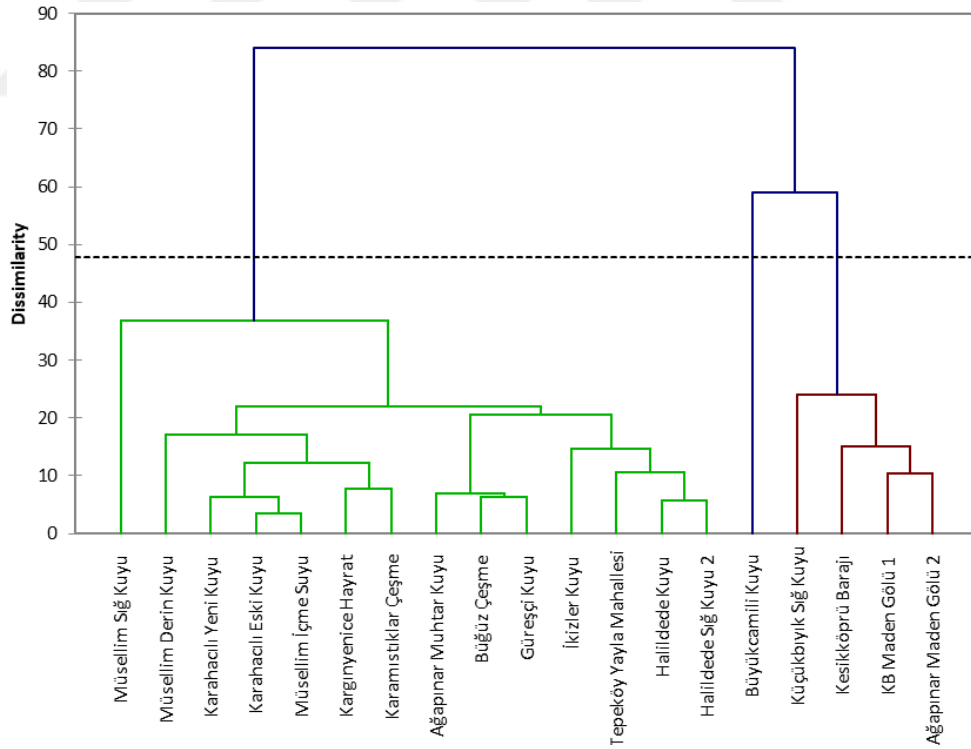
Şekil 7.20 Yağışlı dönem için örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modunda hazırlanmış dendrogramı



Şekil 7.21 Kurak dönem için örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modunda hazırlanmış dendrogramı



Şekil 7.22 Yağışlı dönem için örneklerin birbirleriyle olan istatistiksel ilişkisinin Q-modunda hazırlanmış dendrogramda gösterimi



Şekil 7.23 Kurak dönem için örneklerin birbirleriyle olan istatistiksel ilişkisinin Q-modunda hazırlanmış dendrogramda gösterimi

7.4 Analiz Sonuçlarının Standartlara Göre Değerlendirilmesi ve Sınır Değerleri Aşan Parametreler

Çalışma kapsamında elde edilen analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2022) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2016) Standartlarına göre değerlendirilmiş ve ilgili çizelgeler EK-3 ile EK-4'te sunulmuştur. Buna göre:

Sülfat, yağışlı ve kurak dönemde; KB Maden Gölü 1, Ağapınar Maden Gölü 1-2, Güreşçi Kuyu, Büyükcamili Sığ Kuyu, Camisağır Maden Gölü, KK Sulama ve Kesikköprü Barajı örnek noktalarında standartlara göre verilen sınır değer (250 mg/l) üzerinde kalmıştır.

Klorür, yağışlı ve kurak dönemde; Büyükcamili Sığ Kuyu, KK Sulama ve Kesikköprü Barajı örnek noktalarında standartlara göre verilen sınır değer (250 mg/l) üzerinde kalmıştır.

Nitrat, yağışlı dönemde; Kargınyenice Hayrat, Ağapınar Maden Gölü 1, Halildede Kuyu, Halildede Sığ Kuyu, Karahacılı Eski Kuyu, Müsellim Sığ Kuyu, Müsellim İçme Suyu, Büyükcamili Sığ Kuyu, Tepeköy Yayla Sokak, Camisağır Maden Gölü, Küçükbiyık Sığ Kuyu örnek noktalarında standartlara göre verilen sınır değer (50 mg/l) üzerinde kalmıştır. Kurak dönemde ise Kargınyenice Hayrat, Karamistiklar Çeşme, Halildede Kuyu, Halildede Sığ Kuyu, Müsellim Sığ Kuyu, Büyükcamili Sığ Kuyu, Tepeköy Yayla Sokak, Camisağır Maden Gölü, Küçükbiyık Sığ Kuyu örnek noktalarında standartlara göre verilen sınır değer (50 mg/l) üzerinde kalmıştır.

Bor, yağışlı ve kurak dönemde; Büyükcamili Sığ Kuyu örnek noktasında standartlara göre verilen sınır değer [2,4 mg/l (WHO, 2022) ve 1 mg/l (İTASHY,2016)] üzerinde kalmıştır.

Sodyum, yağışlı ve kurak dönemde; Büyükcamili Sığ Kuyu, Camisağır Maden Gölü, Küçükbiyık Sığ Kuyu, KK Sulama ve Kesikköprü Barajı örnek noktalarında standartlara göre verilen sınır değer (200 mg/l) üzerinde kalmıştır.

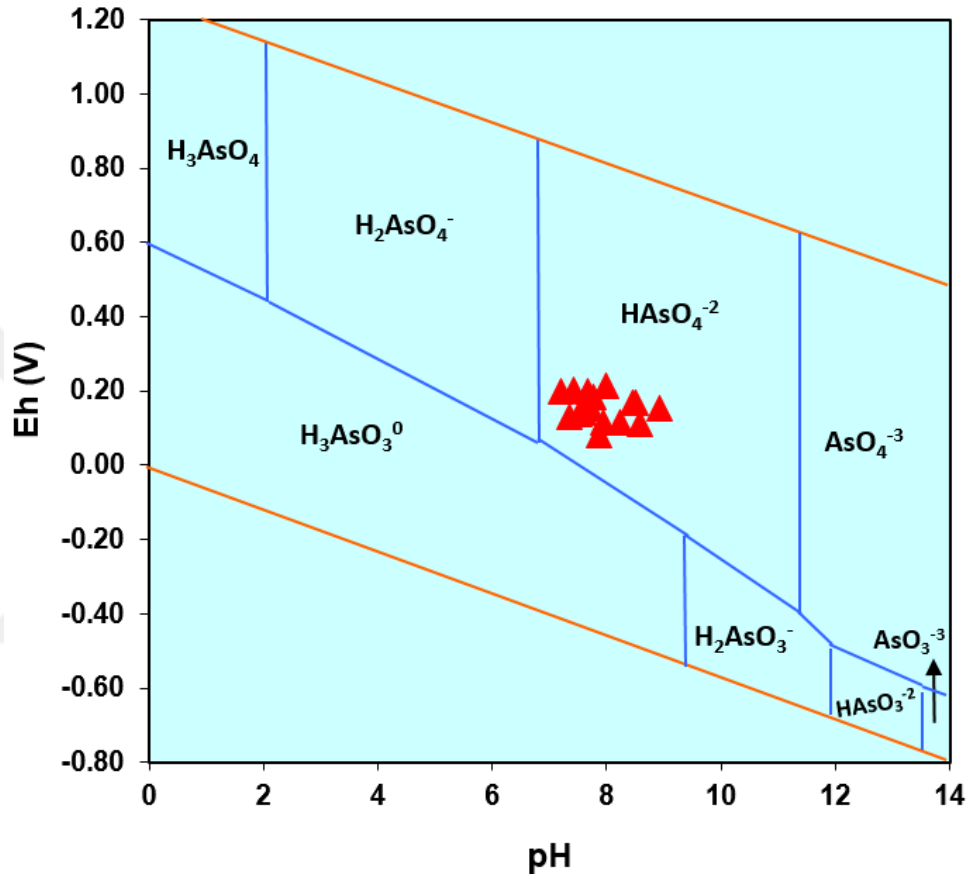
Uranyum, yağışlı dönemde; Büyükcamili Sığ Kuyu, Küçükbyık Sığ Kuyu ve KB Çeşme örnek noktalarında standartlara göre verilen sınır değeri (0,03 mg/l) üzerinde kalmıştır. Kurak dönemde ise Büyükcamili Sığ Kuyu, Küçükbyık Sığ Kuyu ve KB Maden Gölü örnek noktaları sınır değeri aşmıştır. Cıva parametresi (0,006 mg/l) ve demir parametresi hiçbir noktada sınır değeri (0,2 mg/l) aşmamıştır.

Arsenik parametresi değerlendirildiğinde ise yağışlı ve kurak dönemde alınan örneklerden KB Maden Gölü 1 (16 - 36 µg/l), Büğüz Çeşme (50 - 44 µg/l), Müsellim Sığ Kuyu (120 - 95 µg/l) ve Kesikköprü Barajı (12 - 13 µg/l) örnek noktalarında arsenik için içme sularında verilen sınır değeri (10 µg/l) aşıldığı görülmüştür. Maden gölü hariç, içme suyu olarak da kullanılan bu noktaların sağlık açısından tehdit oluşturduğu ve özellikle Ankara'ya içme suyu sağlayan Kesikköprü Barajı'nın arsenik açısından da bir tehdit oluşturduğu görülmüştür.

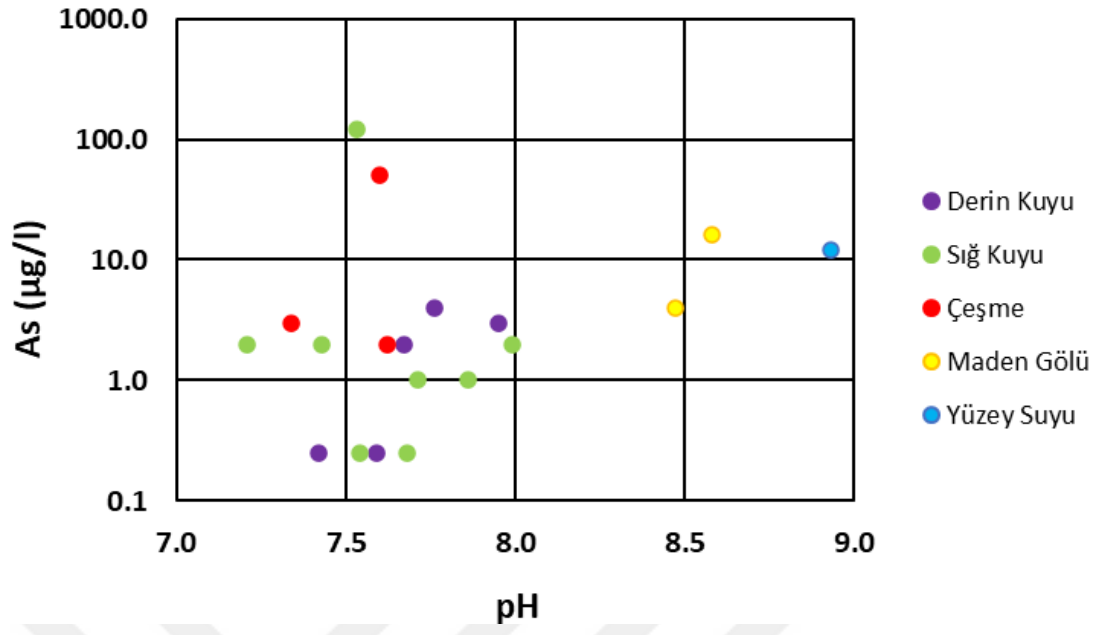
7.5 İz Element Jeokimyası

İz element içeriği analiz sonuçlarına göre elde edilen en önemli bulgu bir önceki bölümde bahsedilen örneklerde arsenik kirliliğinin mevcut olmasıdır. Suda arsenik çözünmesini kontrol eden parametreler arasında pH, ortamın çözünmüş oksijeni ve yükseltgenme-indirgenme potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle örneklerdeki arsenik derişimi ile pH, Eh (yükseltgenme-indirgenme potansiyeli), çözünmüş oksijen, potasyum, karbonat ve bikarbonat derişimlerinin ilişkileri incelenerek şekil 7.24-25-26-27-28-29'da sunulmuştur. Kurak dönem için hazırlanan grafikler benzer özellik gösterdiğinden bu grafikler yalnızca yağışlı dönem için oluşturulmuştur. Şekil 7.24'te çözünmüş arsenik içeren örneklerin Pourbaix diyagramındaki konumları görülmektedir. Bu grafiğe göre örneklerdeki arseniğin hidrojen arsenat (HAsO_4^{2-}) yani As +5 formunda olduğu belirlenmiştir. Şekil 7.25 ve şekil 7.26'da sunulan grafiklerde iki örnek noktası dışında artan pH ile arsenik konsantrasyonu artarken çözünmüş oksijen ile As konsantrasyonları arasında tam bir ilişki gözlenememiştir. Şekil 7.27 ve şekil 7.28'de sırasıyla arsenik- bikarbonat ve arsenik- karbonat ilişkisi incelenmiştir. Bu grafiklere göre arsenik ve karbonat iyonları arasında tam bir ilişki gözlenememiş olsa da bu iyonlar arasında farklı adsorpsiyon/ desorpsiyon reaksiyonları sonucu arseniğin suya geçişi mümkündür. Öte yandan, potasyum ile arseniğin istatistiksel olarak ilişkili

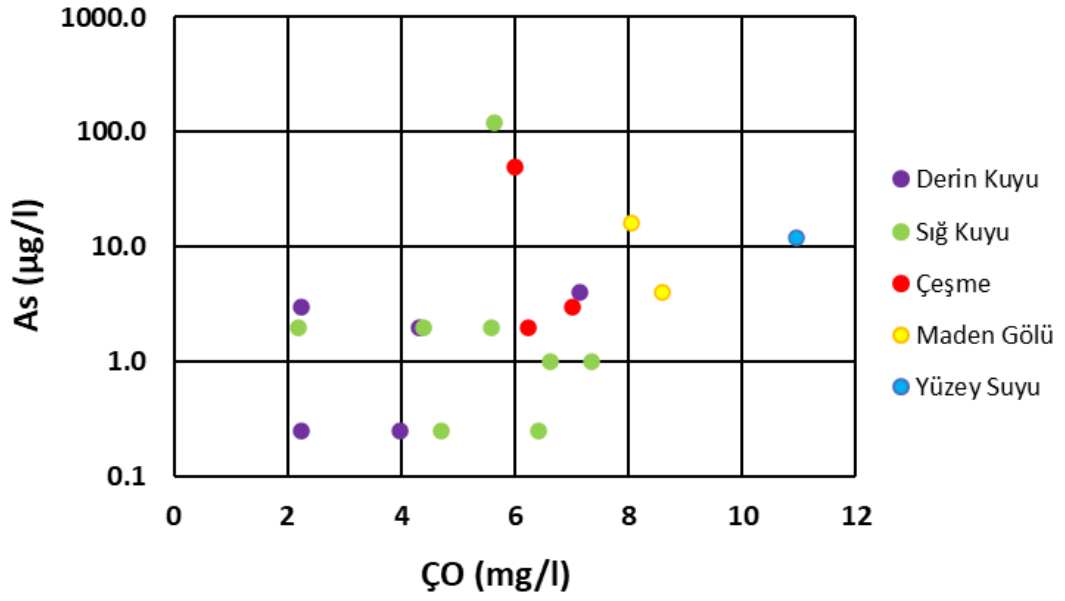
olduğu dendrogramlar ile ortaya konmuştur. Bu ilişki şekil 7.29’da sunulan grafikte de görülmektedir. Bu aşamada elde edilen veriler ile yapılabilecek değerlendirmeler kısıtlı kalmaktadır. Arseniğin çalışma sahasında suya geçiş mekanizmalarının örnek sayısının artırılarak daha detaylı bir şekilde incelenmesi yerinde olacaktır.



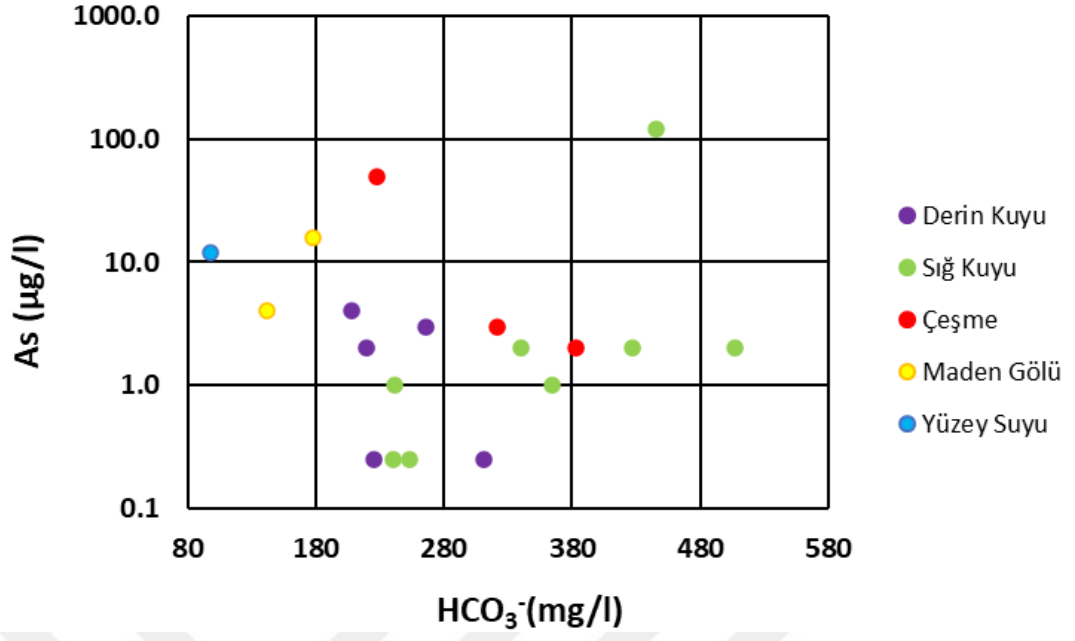
Şekil 7.24 Yağışlı dönem analiz sonuçları ile arsenik için hazırlanmış Pourbaix diyagramı

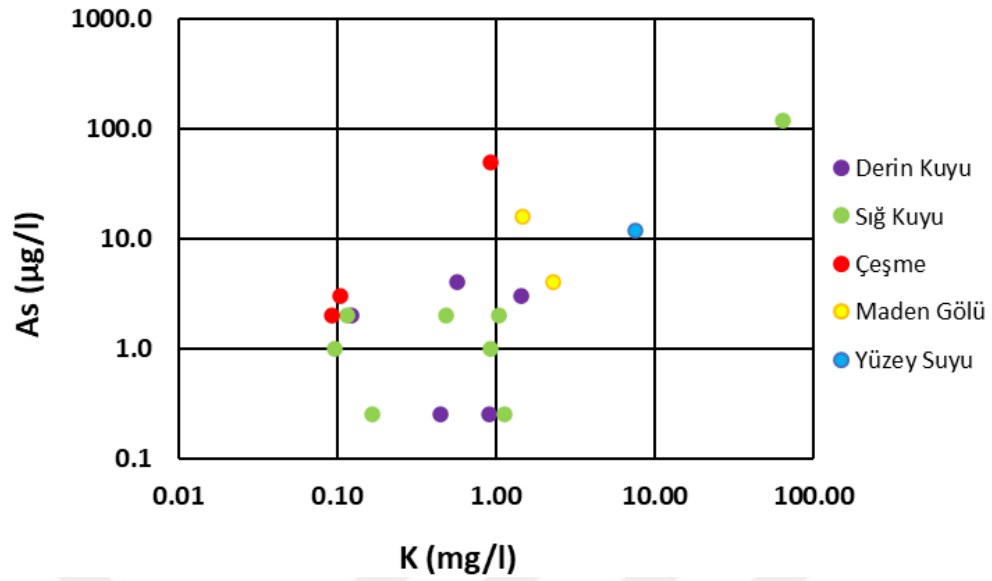


Şekil 7.25 Arsenik- pH ilişkisi



Şekil 7.26 Arsenik- çözünmüş oksijen ilişkisi





Şekil 7.29 Arsenik- potasyum ilişkisi

7.6 Sularda Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum (δD) İlişkisi

Bu çalışma kapsamında major iyon ve iz element analizlerinin yanı sıra seçilen bazı su örnekleri için kararlı izotop analizleri de yaptırılmıştır (Çizelge 7.4). Kararlı izotoplar çekirdeklerinde bir değişiklik meydana gelmediği için yer altında kimyasal reaksiyonlardan etkilenmezler ve hidrolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılırlar. Oksijen-18 ve döteryum yeraltı sularının kökeni, karışım mekanizmaları, beslenme yüksekliği ve alanı gibi farklı bilgilerin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Su döngüsü sırasında meydana gelen termodinamik reaksiyonlarda farklı molekül türleri için reaksiyon sürelerinin farklı olması nedeniyle reaksiyonların farklı evrelerinde aynı elementin izotoplarının oranları farklı olur ve bu yüzden daha güçlü bağlara sahip olan ağır izotoplar buharlaşma sırasında suda kalır (Clark ve Fritz, 1997).

Yeraltı sularında bu ağır izotopların oranları araştırılırsa suyun kaynağındaki bağıl nem oranı gibi farklı bilgiler elde edilebilir. Yeraltı sularının izotopik içeriği yağışın izotopik içeriği ile yakından ilişkilidir. Yağışların kararlı izotop içerikleri ise sıcaklık, enlem, yükseklik, mevsim, miktar ve karasalılıktan etkilenirler (Clark ve Fritz 1997).

Çizelge 7.4 Farklı dönemlerde alınmış örnekler için $\delta^{18}\text{O}$, δD ve döteryum fazlalığı

Örnek Adı	Örnekleme Tarihi	$\delta^{18}\text{O}$	δD	d-fazlalığı
Ağapınar maden gölü	9/11/2021	-0.85	-27.92	-21.12
Madentepe Ocağı maden gölü	9/11/2021	-4.06	-41.82	-9.34
Yeniocak maden gölü	9/11/2021	-7.85	-60.3	2.5
KB Maden Gölü 1	5/24/2022	-1.34	-27.28	-16.56
İkizler Kuyu	5/24/2022	-8.5	-63.2	4.8
KB Çeşme	5/24/2022	-8.27	-57.36	8.8
Musellim Derin	5/24/2022	-9.26	-62.19	11.89
Ağapınar Muhtar Kuyu	5/24/2022	-10.47	-72.4	11.36
Halildedede Kuyu	5/24/2022	-8.35	-61.5	5.3
Ağapınar Maden Gölü	5/24/2022	-6.37	-55.15	-4.19
Karahacılı Eski Kuyu	5/24/2022	-9.19	-65.32	8.2
Halildedede Sığ kuyu	5/24/2022	-9.52	-68.19	7.97
Karahacılı Yeni kuyu	5/24/2022	-8.83	-62.08	8.56
Musellim İçme suyu	5/24/2022	-8.76	-65.27	4.81
Tepeköy Yayla Mah.	5/25/2022	-7.7	-55.72	5.88
Camisağır Maden Gölü	5/25/2022	-5.66	-48.16	-2.88
Kesikköprü Barajı	5/25/2022	-5.78	-43.24	3

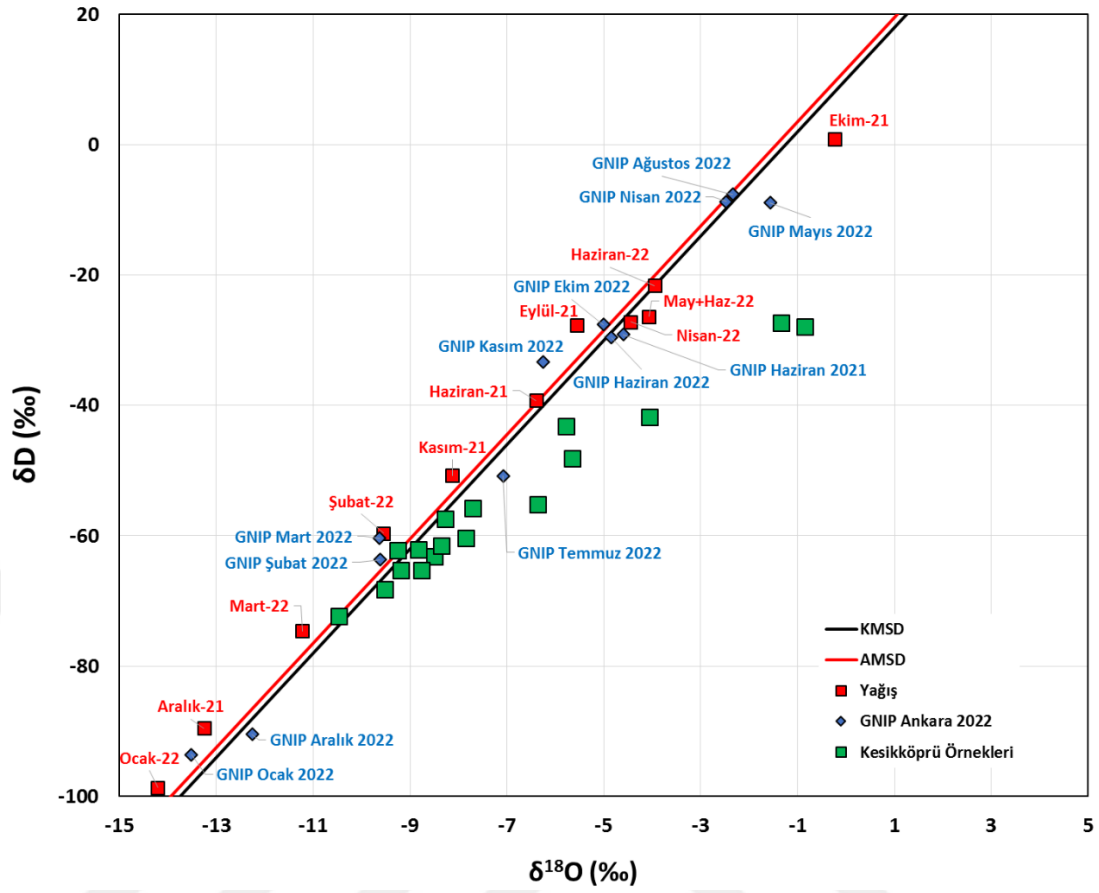
Küresel Meteorik Su Doğrusu Craig (1961) tarafından oluşturulmuş bir doğrudur ve küresel ölçekte $\delta^{18}\text{O}$ ile $\delta^2\text{H}$ 'in ilişkisini ortaya koymaktadır. Bu doğru için belirlenmiş döteryum fazlalığı değeri +10‰'dir. Craig (1961)'in gözlemlerine göre ağır izotoplarca fakirleşmiş sular soğuk bölgelerde yer alırken ağır izotoplarca zenginleşmiş sular sıcak bölgelerde bulunmaktadır. Buna göre kış yağışları yaz yağışlarına nazaran izotopik olarak daha fakirdir. Aynı şekilde daha yüksek kotlara ve enlemlere düşen yağışlar ile denizden uzaklaşıp kara içlerine doğru hareket eden yağışlar izotopik olarak fakirleşmektedir. Küresel Meteorik Su Doğrusu'nun yanı sıra farklı bölgeler için yerel meteorik su doğruları oluşturulabilir. Bu doğruların döteryum fazlalıkları, yağışa kaynak oluşturan nemin rotasındaki iklim koşullarına bağlı olarak farklı olabilir. Ankara için bu değer yaklaşık +11‰ iken Antalya için +16‰ olarak belirlenmiştir.

Döteryum fazlalığı Meteorik Su Doğruları'nda yağış kaynak bölgesinin kurak olduğu bölgelerde +10'dan büyük, nemli olduğu bölgelerde ise +10'dan küçüktür (Clark ve Fritz 1997). Yağıştan buharlaşmanın yoğun olarak gerçekleştiği bazı bölgeler dışında dünya çapında Yerel Meteorik Su Doğrularının eğimi 8'dir. Buharlaşma sonucunda küresel/ yerel meteorik su doğrusundan bir sapma meydana gelir ve tez çalışması kapsamında alınan örnekler ile oluşturulmuş olan şekil 7.31'de görülebileceği gibi

eğimi 8’den farklı bir doğru oluşur. Buharlaşıma doğrusunun eğimini belirleyen buharlaşma sırasındaki bağıl nemdir. Gonfiantini (1986)’ya göre bağıl nemin 0 olduğu ortamlarda buharlaşma doğrusu eğimi 3,9 iken, bağıl nemin %75 olduğu ortamlarda buharlaşma doğrusunun eğiminin 5.2 olması beklenmektedir.

Tez çalışmaları kapsamında 2021 yılı ön arazi çalışması sırasında alınmış 3 örnek ve yağışlı dönemi temsilen yapılan arazi çalışmalarında alınmış 14 örnek için elde edilen analiz sonuçları ile şekil 7.30 oluşturulmuştur Bu şekilde aynı zamanda Craig (1961) tarafından tanımlanmış olan Dünya Meteorik Su Doğrusu ve Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu’nun Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) programı kapsamında Ankara istasyonunda toplanmış yağış örnekleri kullanılarak hazırlanmış Ankara Meteorik Su Doğrusu ile üniversitemizde yürütülmüş ve bir tez çalışması kapsamında (Karademir 2023) üniversitemiz Gölbaşı kampsünden aylık bazda alınan yağış örnekleri için farklı aylarda elde edilen yağışın izotopik içerikleri de sunulmuştur.

Bu kapsamda çizelge 7.4’e göre sularda $\delta^{18}\text{O}$ -0,85‰ ile -10,47‰ arasında değişirken $\delta^2\text{H}$ -27,28‰ ve -72,4‰ arasında değişmiştir. Şekil 7.30’a göre bazı örnekler meteorik su doğruları üzerinde yer almışken, bazı örnekler bu doğrulardan sapma göstermiştir. Bu örnek noktalarını daha detaylı inceleyebilmek amacıyla şekil 7.31 hazırlanmıştır. Bu şekile göre maden göllerinden ve Kesikköprü Baraj gölünden alınmış örnekler buharlaşma etkisi altında altındadır.

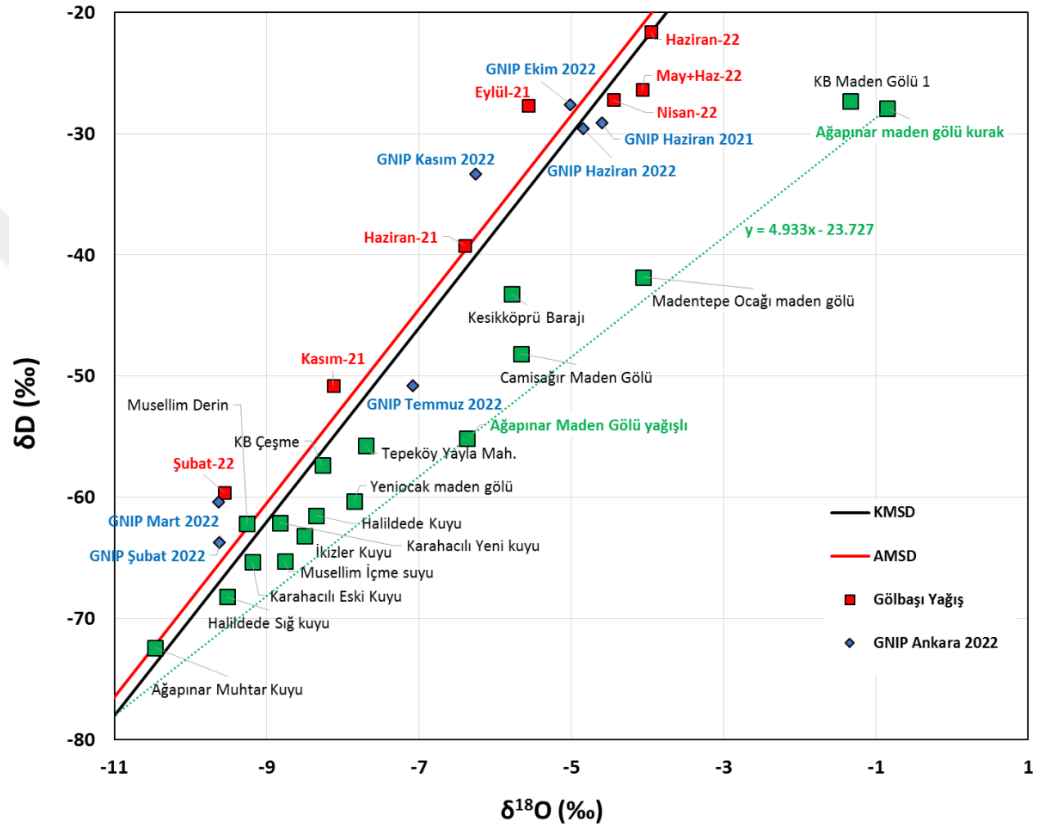


Şekil 7.30 Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının δD - $\delta^{18}O$ grafiği (Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMDS) $\delta D = 8\delta^{18}O+10$ (‰ SMOW) Craig (1961), IAEA/GNIP istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Ankara Meteorik Su Doğrusu (AMSD) ve üniversitemiz Gölbaşı kampüsünden aylık bazda alınan yağış örneklerinin izotopik içerikleri de (Karademir 2023) bu grafikte verilmiştir.

Açık yüzeyleri buharlaşmaya maruz kalan göllerde buharlaşma etkisi görülmesi beklenen bir durumdur. Maksimum buharlaşma gösteren örnekler kurak dönemde alınmış KB ve Ağapınar maden gölleri örnekleridir. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere Yeniocak maden gölü diğer maden gölü örneklerine oranla daha az beklemiş ve açık yüzey buharlaşmasına nispeten daha az maruz kalmıştır. Bu bulgu izotop örnekleri ile desteklenmiştir. Yeniocak maden gölü Halildede kuyu, Tepeköy Yayla mahallesi örneklerine yakın bir şekilde buharlaşma göstermiştir.

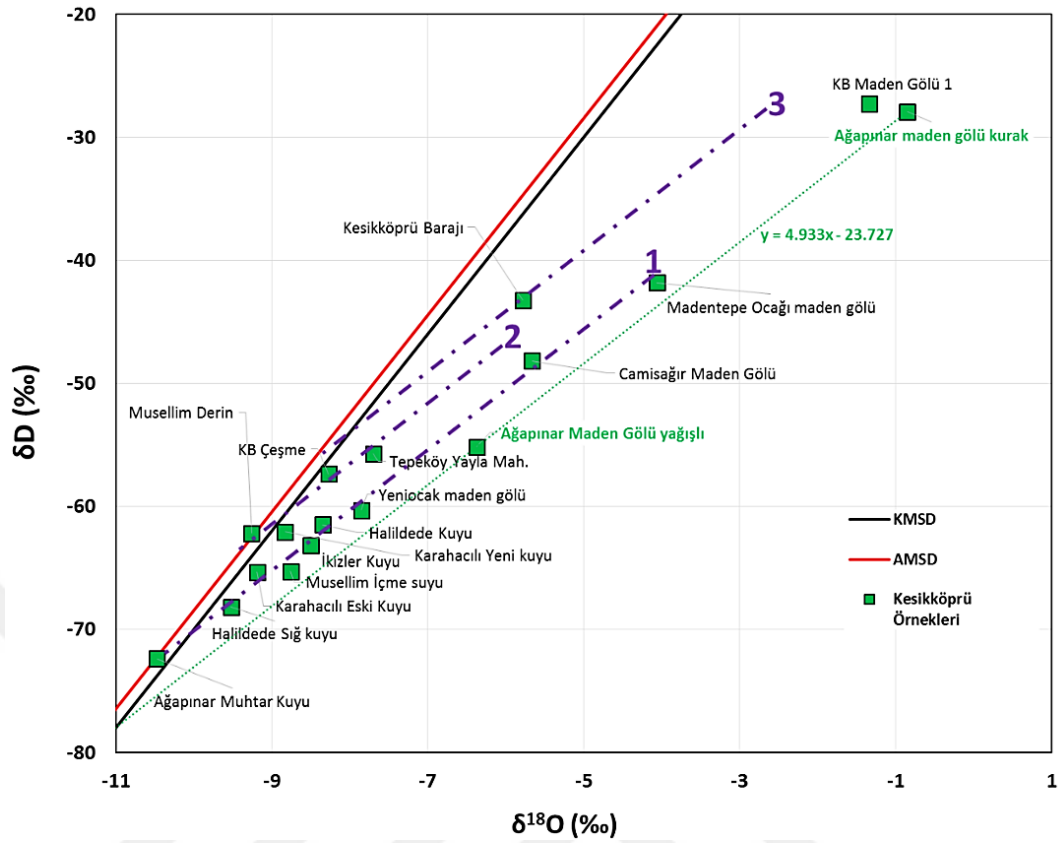
Ağapınar maden gölünden kurak ve yağışlı dönemlerde alınmış iki örneğin izotopik kompozisyonunda meydana gelen değişim dikkat çekicidir. Yağışlı dönem örneği kurak dönem örneğine oranla daha az buharlaşma etkisi altındadır. Bu iki örnek kullanılarak çizilmiş olan buharlaşma doğrusunun eğimi 4,93 olarak bulunmuştur. Bu eğim değeri buharlaşmanın gerçekleştiği ortamda yani çalışma sahasında bağıl nemin yüzde 60-65

civarında olması beklenmektedir (Gonfiantini 1986). Şekil 1.4'te yerleri verilen Bala, Çelebi ve Kaman meteoroloji istasyonları için Bala istasyonunda 2006-2022 yılları arasında, Çelebi istasyonunda 2013-2022 yılları arasında, Kaman istasyonunda ise 1964-2022 yılları arasında ölçülmüş aylık nispi nem uzun yıllar ortalamaları sırasıyla %62,7, %61,96, %59,21 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ile kararlı izotoplardan elde edilmiş bağıl nem oranları uyumludur.



Şekil 7.31 Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının δD- δ18O grafiği ve buharlaşma etkisi gösteren iki örnek için hazırlanmış buharlaşma doğrusu (yeşil çizgi ile gösterilmiştir)

Ağapınar muhtar kuyusundan ve Musellim derin kuyudan alınmış örnekler buharlaşma etkisi altında değildir ve bu iki örnek Şekil 7.32'de Ankara Meteorik Su Doğrusu üzerinde konumlanmıştır. Ağapınar muhtar kuyusu ağır izotoplarca en çok fakirleşme gösteren örnektir ve diğer örneklerle oranla daha soğuk aylarda ve daha yüksek kotlara düşen yağışlar ile beslenmiş olması muhtemeldir. Ne yazık ki saha için kot ile δ18O ilişkisini oluşturabilmek için kullanılabilecek farklı yüksekliklere düşen yağış temsil edecek düzeyde örnek bulunmamaktadır.



Şekil 7.32 Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının δD - $\delta^{18}O$ grafiği ve hazırlanmış buharlaşma doğruları (yeşil ve mor çizgi ile gösterilmiştir)

Bu nedenle farklı su numunelerinin beslenme yükseklikleri ile ilgili bir yorum yapılamamıştır. Yeraltı suyu örneklerinden en fazla buharlaşma gösteren örnekler nispeten sığ kuyulardan alınmıştır (Tepeköy Yayla Mah., 44 m derinliğindeki Halildede kuyu, 50 m derinlikteki İkizler kuyu gibi). Bu örnekler için buharlaşma yağış sırasında veya sığ sistem içerisinde suyun vadoz kuşaktan doygun kuşağa geçişi arasında gerçekleşmiş olabilir. Tez çalışması kapsamında kuyu içlerinde beklemiş su örneği almamak için gerekli önlemler alındığı için örnekleme ile ilgili bir sorun sonucu buharlaşma beklenmemektedir. Sonuç olarak, kararlı izotop verileri bazı yeraltı suyu örneklerinin kış yağışları ile ve/veya yüksek kotlardan beslendiğine işaret etmektedir. Buharlaşma etkisi gösteren örnekler için buharlaşma öncesi izotopik kompozisyon Ağapınar maden gölü örnekleri için çizilmiş buharlaşma doğrusuna paralel başka doğrular çizerek bulunabilir. Örneğin, Kesikköprü Baraj Gölü'nden alınmış örnek için buharlaşma sonrası izotopik içerik $\delta^{18}O$ için -5,78‰ δ^2H -43,24‰ iken buharlaşma öncesi izotopik içerik $\delta^{18}O$ - 8,3‰ ve -55‰ olmalıdır. Aynı şekilde farklı örnekler için buharlaşma doğruları 1 ve 2 ile buharlaşma öncesi yani orijinal izotopik içerikler tayin

edilebilir. Buna göre örneklerin bazıları Ağapınar muhtar kuyusuna yakın izotopik içeriğe, bazıları ise Müsellim derin kuyuya benzer izotopik içeriğe sahiptir.

7.7 Mevcut Kirletici Kaynakların Su Kimyasına Etkilerinin Değerlendirilmesi

Bu bölümde tez çalışmaları kapsamında elde edilen tüm veriler birlikte incelenmiş ve farklı kirletici kaynakların su kimyasına etkileri değerlendirilmiştir. Bu bağlamda değerlendirilen antropojenik kirletici kaynaklar tarımsal faaliyetler ve madencilik faaliyetleri olarak genelleştirilebilir.

7.7.1 Tarımsal faaliyetler

Kesikköprü Baraj Havzası'nın tarımsal faaliyetler açısından zengin olması, tarımsal gübre ve zirai ilaçların kullanımına bağlı olarak su kalitesinin etkilenmesi olasıdır. Yeraltı suyunun kalitesini etkileyen en önemli unsurlardan birisinin tarım faaliyetleri olduğu ve yeraltı suyu kalitesinin bozulmasının gübre ve böcek ilacı kullanımı ile hayvansal atıklardan kaynaklandığı bilinmekte olup konuyla ilgili sayısız çalışma mevcuttur. Özellikle azot, fosfor ve potasyum içeriğine göre sınıflandırılan gübrelerin en yaygın kirleticiler olduğu bilinmektedir (Freeze and Cherry, 1979).

Çözünmüş haldeki azot bileşikleri yeraltı suyunu kirleten başlıca unsurdur. Nitrat (NO_3^-) çözünmüş haldeki azotun en çok rastlanan formudur ve diğer formları olan nitrit (NO_2^-), amonyum (NH_4^+), azot oksit (N_2O) ve organik azot şeklinde de görülmektedir. Nitrit veya nitrat iyonu aerobik ortamlarda bulunan bakteriler tarafından amonyağın dönüştürülmesi ile ortaya çıkarlar. Oksijen gibi yükseltgenlerin bulunduğu ortamlarda kararsız olan nitrit iyonu ise yükseltgenerek nitrat iyonuna dönüşür. Endüstriyel kimyasal atıklar, hayvan ve insan atıkları ve azotlu gübrelerin tarımda yoğun olarak kullanılması sebebiyle su, tahıl, bitki ve toprak içeriğindeki azot miktarının giderek arttığı görülmektedir. Bu durum içme ve kullanma sularının da nitrat ve nitritle kirlenmesine neden olmaktadır (Halberg, 1989).

Tarım ve Orman Bakanlığı (2019) yapılan çalışmalarda Türkiye’de su kaynakları kirliliğine sebebiyet veren en önemli unsurun tarımsal faaliyetler olduğu dolayısıyla tarımda kullanılan zirai ilaç ve gübrelerin kirlletici rolü üstlendiğini vurgulamıştır.

Yapılan çalışmalarda sulardaki nitrat derişimi incelendiğinde Bölüm 7.4’te bahsedilen örneklerin kurak ve yağışlı dönemde standart değerler üzerinde kaldığı görülmüş ve bu durumun nedeninin Bölüm 1.4’te bahsedildiği gibi, Kesikköprü Barajı çevresinde yapılan tarımsal faaliyetlerde kullanılan zirai ilaç ve gübrelerden kaynaklı olabileceği anlaşılmıştır.

7.7.2 Madencilik faaliyetleri

Bölgede bir diğer kirlilik unsurunun madencilik faaliyetleri olabileceği düşünüldüğünden bu kapsamda etkilerinin ortaya konmasına yönelik araştırmalar yapılmıştır.

Madencilik faaliyetlerinde atık/ürün oranı ile değişebilen miktarlarda atık oluşabilmektedir. Bu atıkların çevreye zarar verdiği durumlar gözlenebilmekte ve atıklar farklı alıcı unsurlarda (örneğin toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu) farklı elementlerce zenginleşme meydana gelmesine neden olabilmektedir. Yağmur sularının veya madencilik faaliyetleri sonucu oluşan suların atığa sızması çözünmeye neden olabilir. Bu yolla oluşan özüt (liç), sülfid oksidasyonuna ve asit oluşumuna ve böylece iz elementlerin çevreye yayılmasına neden olur (Çetiner vd., 2006). Dolayısıyla bu tip faaliyetler sırasında atık yönetimi doğru ve yeterli bir şekilde planlanmalı ve yapılmalıdır. Aksi takdirde alıcı unsurlarda kirlilik görülebilir.

Maden atıkları sonucu su kirliliğine sebep olan bir diğer etmen asit maden drenajı (AMD)’dır. Asit maden drenajı/asit kaya drenajı (AMD/AKD), yaygın olarak bulunan demir sülfür minerallerinin (pirit, pirotin vb.) atmosferik oksidasyonu (su, oksijen ve karbondioksit vb.), katalizör görevindeki bakterilerin (Acidithiobacillus ferrooxidans, Acidophilic bacterium vb.) varlığı ve sonradan diğer metallerin (Fe, Zn vb.) sürece katılımıyla gelişen tepkimeler sonucunda oluşmaktadır.

Bir maden alanında pirit, pirotin ve markazit gibi demir minerallerinin nemli ortamda oksitlenmeye maruz kalmasıyla gelişen tepkimeler sonucu sulu ortama proton (H^+ iyonu) vermesi ve çözeltinin asidik niteliğe dönüşmesi olayı AMD olarak tanımlamıştır (Baba ve Yücel, 2013). Asit maden drenajı, doğal yüzey ve yeraltı sularının açık maden işletmesinin neden olduğu bir çöküntü içerisinde birikmesi sonucu asit maden gölleri (AMG) oluşabilir. Bu göller büyük hacimli su kütlelerini içermesi nedeniyle AMD'ye nazaran çevresel açıdan daha büyük risk taşımaktadır. Ülkemizde AMG örneği olarak Çanakkale Çan havzası gösterilebilir. Bu alanda yapılan madencilik faaliyetleri sonucu oluşan asit maden göllerinin yüzey sularına karışması sonucunda balık ölümleri gerçekleşmiş ve bu durum yerel basında uzun süre tartışılmıştır (Baba ve Yücel, 2013).

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda bölgede Bölüm 7.4'te bahsedilen örnek noktalarında uranyum, bor ve arsenik kirliliğinin mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu elementlerin madencilik faaliyetlerinden kaynaklı oluşan bir sızıntı, atık vb. sebebler ile ilgili değil jeolojik yapıdan kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Çünkü Kesikköprü çevresinde yoğun bir cevherleşme görülmekte olup, Bölüm 1.2'de bahsedilen; Ağapınar, Büğüz, Kesikköprü civarlarında yapılan önceki çalışmalar neticesinde litolojik yapının sahip olduğu cevherleşme yapısı tanımlanmıştır. Buna ek olarak metallerin kayaç-su etkileşim sürecine, litolojik birimlerin metal içeriklerine ve çözünme kapasitelerine bağlı olarak sucul ortamlara taşınabileceği, söz konusu doğal ve antropojenik kökenli ağır metallerin, kırıntılı alüminosilikatlar ve oksit mineraller, ikincil kil mineraller, ikincil Fe-Mn oksihidroksitler, metal sülfidler ve karbonatlar halinde, adsorbsiyon ve kimyasal bağlarla bu minerallerin bir kısmında ve organik maddelerde birikebileceği görülmüştür (Güven ve Öztürk, 2005). Dolayısıyla su kaynaklarının cevherleşme görülen bu zonlarda dolaşırken bünyesine bu iz elementleri alması olasıdır. Bunun dışında ortamda (As_2S_3 , FeS_2 gibi) arsenikçe zengin sülfürlü bileşiklerin oksijen eşliğinde reaksiyona girdiğinde sülfürün ayrılarak sülfata dönüştüğü ve nitratın ise FeS_2 ile reaksiyona girerek (piriti) çözdüğü ve bunun sonucunda da arseniğin suda serbest kaldığı bilinmektedir. Ayrıca uygun pH aralığında katı arsenik formları çözünerek suda yayılır (Freeze and Cherry, 1979; Welch vd., 2006). Arsenik elementi magmatik kayalarda ve diyabazlarda ortalama 1,5 - 2 ppm civarında bulunurken fosfatlı kayalarda 21 ppm, göl çökellerinde ise ortalama 15 ppm civarında bulunmaktadır. Antropojenik kökenli olarak ise tarımda kullanılan insektisit, herbisit ve

pestisitler ile endüstriyel atık sular arsenik açısından çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Vural, 1993; Şener, 2010).

Sonuç olarak, bölgede madencilik çalışmaları sırasında yapılan kazma, delme ve patlatma gibi faaliyetler sonucu akifer sisteminin kirlenmesini önleyebilecek/geciktirebilecek örtü birimlerin (vadoz kuşağın) yok edildiği ve sistemin kirlenmeye açık hale getirildiği görülmüştür. Bu durum açık yüzey maruziyetini artırdığı için su-kayaç etkileşimini hızlandıracak yönde etki yaratabilir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda madencilik faaliyetlerinin günümüzde su kalitesine ayırt edilebilecek düzeyde bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Fakat, zaman içerisinde değişebilecek ve gelişebilecek farklı koşullar ile bu etkilerin belirgin hale gelebileceği düşünülmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile son yıllarda Ankara'ya içme suyu sağlayan Kesikköprü Barajı çevresindeki yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri incelenmiş, tarım ve madencilik faaliyetlerinin su kaynaklarına etkisini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda amaç; bölgenin jeolojik-hidrojeolojik perspektifte değerlendirilmesi ve hidrojeokimyasal yapının ortaya konarak, su kalitesinin tespit edilmesidir. Bu bölgenin çalışma alanı olarak seçilmesinde; alanda tarım ve madencilik faaliyetlerinin su kaynaklarına etkisinin araştırıldığı, maden göllerinin kökenine ilişkin oksijen ve hidrojenin kararlı izotopları ile izotopik bir değerlendirmenin yapıldığı ve baraj havzası ölçeğinde yapılmış detaylı hidrojeolojik çalışmaların bulunmadığının görülmüş olması etkindir. Tez çalışması kapsamında yapılmış olan tüm çalışmalar ile varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Bölgede hidrolojik unsurların belirlenmesi amacıyla MTA 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları ve yapılan önceki çalışmalar ile saha çalışmaları sırasında tespit edilen su noktalarından yararlanılmıştır. Buna göre; bölgenin zengin kaynak, kuyu, çeşme yapılarına sahip olduğu ancak bu su noktalarının zamanla kuruyup kaybolduğu anlaşılmıştır. Dereler için de aynı durum söz konusudur. Saha çalışmaları sırasında genel olarak sulama kanalları ve kuru dere yataklarına rastlanmış olup, derelerin zamanla kuruyup yok olduğu görülmüştür. Bunların dışında sahada madencilik faaliyetleri sonucu oluşmuş 7 adet maden gölü tespit edilmiştir.
2. Bölgenin jeolojik, hidrojeolojik ve hidrolojik yapısının yakından incelenmesi sonucu, daha önce Kızılırmak Havzası'nda çalışmalarda belirtilenin aksine bölgenin sığ ve derin akifer sistemlerine sahip olduğu ve yeraltı suyu potansiyelinin yüksek olduğu görülmüştür. Dolayısıyla gelecekte hidrojeolojik çalışmaların daha küçük alt havza ölçeğinde yapılması önem taşımaktadır.
3. Tez çalışması kapsamında belirlenmiş noktalardan yağışlı ve kurak dönemde toplam 21 adet örnek alınmıştır. Bu noktalardan 13 tanesi kuyu, 3 tanesi çeşme, 3

tanesi maden gölü 2 tanesi yüzey suyudur. Yapılan analizler sonucunda Kesikköprü Baraj Gölü civarında bulunan su kaynaklarının kimyasal karakterini etkileyen farklı unsurların mevcut olduğu saptanmıştır. Bu bağlamda, çalışma alanında farklı kökene ve farklı dolaşım süresine sahip yeraltı sularının bulunduğu belirlenmiştir. Farklı unsurların etkisindeki sular için baskın bir su tipi gözlenememiştir. Belirlenen su tipleri bazı örnekler için CaHCO_3 , $\text{NaMgHCO}_3\text{SO}_4$, CaNaHCO_3 , bazıları için CaMgHCO_3 ve başka örnekler için NaCaSO_4 olarak belirlenmiştir. Genel olarak, sulara baskın bir katyon veya anyon bulunmamakla birlikte çoğu örnekte Ca, Na, HCO_3 , SO_4 , Cl iyonlarının ağırlıklı olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu iyonlar sahadaki karbonatlı kayalar ile ilişkili olarak gözlenmektedir.

4. Farklı diyagramlar ile değerlendirilmiş kimyasal analiz sonuçlarına göre bazı örnekler için kimyasal evrimin evaporitlerin çözünmesi şeklinde gerçekleştiği düşünülebilir. Büyükcemili kuyu ve Kesikköprü Baraj Gölü için ise bu örneklerin mevcut kimyasal formunun katyon değişimi ile tuzlanma sonucu kazanıldığı söylenebilir. Örneklerde Na iyonu kaynağını silikat bozunması ve ters iyon değişimi süreçlerinden alabilir. Karahacılı Yeni Kuyu ve Kargıyenice Hayrat örnekleri ise ters iyon değişim süreçlerinden etkilenmiş olup Cl iyonu bakımından zenginleşmiştir. Geri kalan örneklerin ise iyon değişimi süreci geçirdiği görülmüştür.
5. İstatistikler değerlendirmeler kapsamında 3 ana kümelenme görülmüş olup, yağışlı dönemde arsenik ve potasyum birlikte hareket ederken, kurak dönemde arseniğin potasyum ve fosforun yanı sıra demir, çinko, baryum, gibi elementlerle de istatistiksel olarak bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda çalışma alanında birbiri ile bağlantılı akifer sistemlerinin olabileceği ve su kimyasının su-kayaç ilişkisi ile tarımsal faaliyetlerden benzer oranlarda etkilendiklerini göstermiştir.
6. İz element içeriği analiz sonuçlarına göre elde edilen en önemli bulgu bazı örneklerde arsenik kirliliğinin mevcut olduğudur. Arsenik tüm örneklerde +5 formundadır (hidrojen arsenat (HASO_4^{-2}) ve tüm örnekler için potasyum

konsantrasyonları ile arsenik konsantrasyonları arasında bir doğru orantı tespit edilmiştir. Arseniğin çalışma sahasında suya geçiş mekanizmalarının örnek sayısının artırılarak daha detaylı bir şekilde incelenmesinin doğru olacağı kanısına varılmıştır.

7. Çalışma kapsamında elde edilen analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2022) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2016) Standartlarına göre değerlendirilmiştir. Buna göre: sülfat, klorür, sodyum, uranyum, bor, arsenik ve nitrat parametreleri bazı örnek noktalarında kurak ve yağışlı dönemlerde sınır değerlerin üzerinde görülmüştür. Özellikle içme suyu amaçlı kullanılan Büğüz Çeşme ve Ankara'ya içme suyu sağlayan Kesikköprü Barajı'nın arsenik açısından önemli bir tehdit oluşturduğu görülmüştür. Büğüz çevresinde yapılan çalışmalarda kayaçların arsenikçe zenginleştiği önceki çalışmalar kısmında ifade edilmiştir. Dolayısıyla Büğüz Çeşme noktasında suda arsenik zenginleşmesinin bununla ilişkili olduğu düşünülmektedir.
8. İki dönemde alınan bazı örnekler için yaptırılan kararlı izotop analizleri ile örnekler için $\delta^{18}\text{O}$ ve δD arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Analiz sonuçlarına göre bazı örnekler (özellikle maden göllerinden ve Kesikköprü Baraj Gölü'nden alınan örnekler) Ankara Meteorik Su Doğrusu'ndan buharlaşma etkisi ile sapma göstermektedir. Havadaki neme bağlı olan buharlaşma doğrusu eğimi bu çalışma için 4,93 olarak belirlenmiştir. Bu eğimin çalışma alanına yakın konumda yer alan meteoroloji istasyonları için (Bala, Çelebi ve Kaman) için belirlenen ortalama bağıl nem ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.
9. ABD Tuzluluk Diyagramı'na göre çalışma alanından alınan örneklerin sulama suyu kalitesi incelenmiş ve örnekler iyi kalite, orta kalite, kötü kalite, çok kötü kalite olmak üzere 4 sınıfta yer almakla birlikte genel olarak orta kalite sınıfında yer almıştır. Dolayısıyla, sahada bulunan bazı suların sulama suyu olarak kullanımı sakıncalıdır. Bu konuda halk bilgilendirilmeli, gerekirse alandaki ürün deseni sulama suyu kalitesine göre düzenlenmeye çalışılmalıdır.

10. Sahada olası kirlilik kaynakları araştırılmış, bu bağlamda tarımsal faaliyetler, jeojenik kirlilik ve madencilik faaliyetleri olmak üzere 3 unsur üzerinde durulmuştur. Buna göre kirliliğin tarımsal faaliyetler ile jeolojik yapıdan kaynaklandığı, madencilik çalışmalarının ise sadece yapılan kazma, delme ve patlatma gibi faaliyetler sonucu açık yüzey maruziyetini arttırdığı, dolayısıyla da su-kayaç etkileşimi sürecini hızlandırdığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, madencilik faaliyetlerinin gerçekleştirildiği bölgelerde akiferi koruyucu örtü birimin kaybolması nedeniyle akifer olası kirleticilere karşı savunmasız bırakılmaktadır. Bu konu üzerinde yetkililerin alınabilecek önlemler üzerine çalışma yapması yerinde olacaktır. Su-kayaç etkileşiminin yeraltı suyu kimyasını etkilemesi uzun yıllar süreceği için gelecek çalışmalarda daha detaylı incelenmesi önerilmektedir.

Sahada ilerleyen zamanlarda yapılması önerilen çalışmalar nitrat ve arseniğin suya geçiş mekanizmalarını ortaya koymak için daha detaylı incelemeler yapılması, daha fazla örnek noktasında değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmesidir. Aynı zamanda yoğun olarak maden gölü oluşumu izlenen bu sahada geçirimsiz olarak nitelendirilen birimlerin akifer testleri ile hidrojeolojik parametrelerinin araştırılması ve yeraltı suyu varlığının ortaya konması gerekmektedir. Böylece sahadaki yeraltı-yüzey suyu etkileşiminin anlaşılması, kaynakların beslenme mekanizmalarının belirlenmesine katkı sağlayacaktır. Bunların dışında yeraltı suyunun doğru ve yeter miktarda kullanılması, madencilik faaliyetlerinde yapılan kazılarda yeraltı suyuna seviyesine inilmemesi için de önemli bilgiler verecektir.

Bölgede madencilik faaliyetleri sonucu oluşan maden göllerine bakıldığında, yeraltı suyu kaynaklarının yüzeye boşalması, açık yüzey maruziyetinden dolayı atık vd. unsurlardan kirlenmesi söz konusu olabilir. Aynı zamanda bu göllerin oluşumu yeraltı suyu akış mekanizmasını da değiştirmektedir. Bunun yanı sıra oluşan maden gölleri bölgedeki iklim yapısına bağlı olarak, yeraltı suyunun buharlaşarak kaybolmasına neden olabilir. İklim değişikliği ile iyice önem kazanan temiz su kaynaklarımızın hidrolojik sistemde korunması gerekmektedir.

Bölgede tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapılması neticesinde görülen kirliliğe ilişkin olarak; gübre ve zirai ilaç kullanımının kontrol altına alınması, yeraltı suyunu

doğrudan etkileyebilecek alanlarda bu ilaçların kullanımının kısıtlanması ve gereğinden fazla tarım ilacı ve gübre kullanımının üretimi artırmadığı, aksine su kaynaklarını kirlettiği bilgisinin üreticiye verilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda 23.07.2016 tarihli ve 29779 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği” hükümlerine göre faaliyetler yürütülmeli ve iyi tarım uygulamaları hayata geçirilmelidir. Ayrıca organik tarıma teşvik yapılmalı, kullanılacak gübrelerin ise kimyasal değil hayvansal kaynaklı olması kapsamında üretim desteği verilmesi önemlidir.

İnsan hayatının en önemli unsuru olan suyun her geçen gün farklı nedenlerden ötürü kirlenmesi gelecekte temiz ve yeterli suya ulaşmak açısından sıkıntı yaratacaktır. Özellikle artan nüfus ve su ayak izinin artması neticesinde suyun sürdürülebilir kullanımı hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir olarak geleceğe taşınması kapsamında havza bazında çalışmaların yapılması, su kaynaklarını etkileyen faktörlerin ortaya konması ve bu etkilerin ortadan kaldırılması büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla Ankara’ya içme suyu sağlayan Kesikköprü Barajı ve çevresinde tespit edilen kirlilik durumunun takip edilmesi, bu kirliliğin giderilmesi için önlemler alınması gerekmektedir. Bu kapsamda yürürlükte bulunan yeraltı ve yüzey sularının korunmasına yönelik mevzuatlara uyulmalı, sahada bu yönetmelikler kapsamında tarım ve madencilik faaliyetleri yürütülmelidir.

KAYNAKLAR

- Acar, B. 2018. B     (Kesikköprü-Bala/Ankara) Demir Yatağının Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Yöntemlerle   ncelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 115 sf., Ankara.
- Akçay, A. E., Dönmez M., Kara, H., Yergök, A. F. ve Esentürk, K. 2008. 1:100000   l  ekli Türkiye Jeoloji Haritalar Serisi, Kırşehir J-30 Paftası, No: 91, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Akın, M. ve Akın G. 2007. Suyun   nemi, Türkiye’de Su Potansiyeli, Su Havzaları ve Su Kirliliği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2, 105-118.
- Alther, G.A. 1979. A simplified statistical sequence applied to rou tine water quality analysis: a case history. Ground Water 17:556–561.
- Ankara Su ve Kanalizasyon   daresi (ASK  ). 2022. Kesikköprü Barajı Havza Koruma Planı ve   zel Hüküm Belirleme Projesi   alı  maları, Ankara (yayımlanmamış).
- APHA, AWWA ve WPCF. 1989. Standard methods for the Examination of Water and Wastewater. 17th Edition. Washinngton DC.
- Arslan, S., Celik, M., Dokuz, U., E., Berhe, B., A., Cheng, Z. 2013. “K  pr  oren Havzasında (Kütahya)   nsan Kaynaklı Su Kirliliği”, 2.Tıbbi Jeoloji   alı  tayı, sayfa 212-220, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Arslan, S., Celik, M. 2015. “Assessment of the Pollutants in Soils and Surface Waters around G  m       Silver Mine (Kütahya, Turkey)”, Bull Environ Contam Toxicol, 95:499–506.
- Arslan, S. 2017. “Assessment of groundwater and soil quality for agricultural purposes in Kopr  oren basin, Kutahya, Turkey”, Journal of African Earth Sciences, 131: 1-13.
- Baba, A., Yücel, D.,   . 2013. “Türkiye’de asit maden g  llerine   an (Çanakkale) Havzası’ndan Güncel birkaç   rnek. Mavi Gezegen Dergisi”, sayı 18.
- Bailey, E. B. and Mc Callien, W.J., 1950. Ankara Melanjı ve Anadolu   ariyajı: MTA Bull., 40, 17 - 21, Ankara.
- Bayar  , S. Hidrojeokimya Ders Notları, Erişim Tarihi: 20.07.2023 <https://yunus.hacettepe.edu.tr/~serdar/ders.html>
- Baykal, E. 1947. Zile-Tokat-Yıldızeli bölgesinin jeolojisi.   stanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi Seri B, 12 (3), 191-209.
- Bear, J., 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. Environmental Science Series, page: 796, New York-USA.
- Berry JK (1995) Spatial reasoning for effective GIS. GIS World Books, Fort Collins, Colorado.

- Beyazpirinç, M., Akçay, A. E., Özkan, M. K., Sönmez, M. K., Dönmez, M. 2020. Kırşehir Masifi'nin tektono-stratigrafik özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 13934, Ankara (yayımlanmamış).
- Beyazpirinç, M., Akçay, A. E., Özkan, M. K., Sönmez, M. K. Ve Dönmez, M. 2022. Kırşehir Masifi'nin Paleojen Öncesi Stratigrafisi ve Yaş Bulguları, Orta Anadolu. Maden Tetkik ve Arama Bülteni, 167, 1-23.
- Bilgin, Z.R., Akarsu, B., Erbaş, A., Elibol, E., Yaşar, T., Esentürk, K., Güner, E. ve Kara, H. 1986, Kırıkkale - Kesikköprü - Çiçekdağı Alanının Jeolojisi: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rap., 7876, Ankara (yayımlanmamış).
- Boroviczeny, F., 1964a. 200/240 No'lu Ruhsat Sahasının Kesikköprü Yakınındaki Demir Yatağı Hakkındaki Rapor: MTA Rap., 3481, Ankara (yayımlanmamış).
- Boztuğ, D., Jonckheere, R. C., Heizler, M., Ratschbacher, L., Harlavan, Y., Tichomirova, M. 2009. Timing of post-obduction granitoids from intrusion through cooling to exhumation in central Anatolia, Turkey. Tectonophysics 473 (1-2, 20), 223-233.
- Chadha, D.K. 1999. A Proposed New Diagram for Geochemical Classification of Natural Waters and Interpretation of Chemical Data. Hydrogeology Journal, 7, 431-439.
- Chen, J., Tang, C., Sakura, Y. 2005. Nitrate pollution from agriculture in different hydrogeological zones of the regional groundwater flow system in the North China Plain. Hydrogeol J 13, 481-492.
- Chen, L., Wu, J., Lu, J., Xia, C., Urynowicz, M.A., Huang, Z., Gao, L., Ma, M. 2018. "Speciation, Fate and Transport, and Ecological Risks of Cu, Pb and Zn in Tailings from Huogeqi Copper Mine , Inner Mongolia , China" , J. Chem. 2018, 1-8.
- Chung, S.Y., Venkatramanan, S., Kim, T.H., Kim, D.S., Ramkumar, T.. 2015. Influence of hydrgeochemical processes and assessment of suitability uses in Busan City, Korea. Environ Dev Sustain 17: 423-441.
- Clark, I., 2015. Groundwater Geochemistry and Isotopes, Taylor and Francis Group, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Clark, I. And Fritz, P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. CRC Press, page:342.
- Çağlayan, A., Işık, V., Seyitoğlu, G., Uysal, T., Zhao, J., Esat, K. ve Sözeri, K. 2010. Savcılı Fay Zonunun Gevrek Deformasyon Özellikleri (Kırşehir, Orta Anadolu). 63. TJK Bildiri Özleri Kitabı, 348-349.
- Çetiner, E. G., Ünver, B. Ve Hindistan, M. A., 2006. Maden Atıkları İle İlgili Mevzuat : Avrupa Birliği Ve Türkiye. Madencilik Dergisi, Cilt 45, Sayı 1, syf 23-24.
- Çiftçi, D., Ünlü, T. ve Sayılı, I.S., 1996. Otluklisse (Gürün- Sivas) Demir Yatağının Kökenine Bir Yaklaşım: MTA Bülteni, 118, 65-92, Ankara.
- Davis, J.C., 1986. Statistics and data analysis in geology, 2nd edn. Wiley, New York

- Demirtaş, R., Özdemir, A. ve Arabacı, F. 2015. Kırşehir, Kaman, Büğüz 75644 Nolu Demir Madeni Ruhsat Alanı Jeolojik Araştırma Raporu, 140 sf, Ankara.
- Doğan, B., Ünlü, T. ve Sayılı, S. 1998. Kesikköprü (Bâlâ - Ankara) Demir Yatağının Kökenine Bir Yaklaşım. MTA Dergisi, 120, 1-33.
- Dönmez M., Akçay, A. E., Kara, H., Yergök, A. F. ve Esentürk, K. 2008. 1:100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritalar Serisi, Kırşehir İ-30 Paftası, No: 90, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Dönmez, M., Akçay, A. E. 2016. Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, 1/250.000 ölçekli Kırşehir Paftası, No: 6. MTA Yayını, Ankara.
- DSİ. 2005. Hirfanlı ve Kesikköprü Baraj Gölleri ve Havzalarında Kirlilik Araştırması, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ. 2016. Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu Hazırlanması İş, Havza Çevre ve Su Kalitesi Nihai Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Egeran, N. and Lahn, E., 1951. Note on the tectonic position of the northern and central Anatolia: MTA Bull., 41,23-27, Ankara.
- Erkan, Y. ve Ataman, G., 1981, Orta Anadolu Masifinin (Kırşehir Yöresi) Metamorfizma Yaşı Üzerinde K/Ar Yöntemi İle Bir İnceleme: TJK 35. Kurultay, Bildiri Özetleri, 33, Ankara.
- Erlor, A; and Bayhan, H., 1995, Orta Anadolu Granitoidlerinin Genel Değerlendirilmesi ve Sorunları: Yerbilimleri, 17, 49-67, Ankara.
- Freeze, R.A. and J.A. Cherry. 1979. Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 604 pp.
- Gallardo, A.H., Tase, N. 2007. Hydrogeology and geochemical characterization of groundwater in a typical small-scale agricultural area of Japan, Journal of Asian Earth Sciences, Volume 29, Issue 1, Pages 18-28.
- Gao, Z., Liu, J., Feng, J., Wang, M. And Wu., G., 2019. Hydrogeochemical Characteristics and the Suitability of Groundwater in the Alluvial-Diluvial Plain of Southwest Shandong Province, China, Water, 11-1577.
- Gibbs, J.R., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. Science, 170, 1088-1090
- Gonfiantini, R. 1986. Environmental Isotopes in Lake Studies. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, In P. Fritz, & J.-Ch. Fontes (Eds.), Elsevier. page 113-168. Amsterdam.
- Goswami, R., Neog., N. and Thakur, R., 2022. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in Biswanath and Sonitpur district of the Central Brahmaputra Plain, India. Water 4:889128.
- Göncüoğlu, M.C., 1977, Geologie des westlichen Massivs: Bonn Üniv., Ph. D. Thesis, 181 s. Ankara.
- Göncüoğlu, M.C. 1981. Niğde Masifinin jeolojisi. TJK 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 16-19.

- Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kuşçu, İ., Erler, A. ve Olgun, E. 1991. Orta Anadolu Masifi'nin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 1: Güney Kesim. TPAO Rap., No. 2909,140.
- Göncüoğlu, M.C., Erler, A., Toprak, V., Olgun, E., Yalınız, K., Kuşçu, İ., Köksal, S. Ve Dirik, K. 1993. Orta Anadolu Masifinin Orta Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseninin Jeolojik Evrimi. TPAO Rapor No: 3313, 104.
- Güven, K.C., Öztürk, B., 2005. Deniz Kirliliği. Tüdev Yayınları, No: 21, 512 s, İstanbul.
- Hem, J. D., 1970. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, 2nd ed., USGS Water-Supply paper 1473, 363 p.
- IAH (International Association of Hydrogeologists) (1979). Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500,000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- Isik, V., I. T. Uysal, A. Caglayan, and G. Seyitoglu (2014), The evolution of intraplate fault systems in central Turkey: Structural evidence and Ar-Ar and Rb-Sr age constraints for the Savcili Fault Zone, Tectonics, 33, 1875–1899.
- Judd AG (1980) The use of cluster analysis in the derivation of geotechnical classifications. Bull Assoc Eng Geol 17:193– 211.
- Kara, H. ve Dönmez, M. 1990. 1/100.000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Kırşehir-G17 Paftası, No: 34. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Karademir, B. 2023. Mogan Gölü Havzası (Ankara) Yüzey ve Yeraltı Sularının Kararlı İzotop İçeriklerinin ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Karadenizli, L., Seyitoglu, G., Sen, S., Arnaud, N., Kazancı, N., Sarac, G. ve Alcicek C. 2005. Mammal bearing lateMiocene tuffs of the Akkasdagi region: Distribution, age, petrographical and geochemical characteristics, Geodiversitas, 27(4), 553–566.
- Keskin, T.E., Subaşı, B., Girişen, F. ve Başbüyük Z. 2020. Groundwater Pollution Connected to Multiple Effect: A Case Study Kaman (Kırşehir, Turkey), Sakarya University Journal of Science 24(5), 1008-1022, Sakarya.
- Ketin, İ., 1955, Yozgat Bölgesi'nin jeolojisi ve Orta Anadolu Masifi'nin tektonik konumu: TJK Bull., 6,1 - 40, Ankara.
- Ketin, İ.,1963, 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Kayseri Paftası izahnamesi: MTA Bull., Ankara.
- Khan, H.R., Seddique, A.A., Rahman, A., Shimizu, Y. 2017. “Heavy Metals Contamination Assessment of Water and Soils in and Around Barapukuria Coal Mine Area” , Bangladesh. Am. J. Environ. Prot. 6, 80–86.
- Kraeff, A., 1962. Kesikköprü Konsesyonu: MTA Gen. Müd., Derleme Rep., 3349, Ankara (yayımlanmamış).

- Kumbur, H., Özsoy, H.D., Özer, Z. 2008. Mersin İlinde Tarımsal Alanlarda Kullanılan Kimyasalların Su Kalitesi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi. *Ekoloji Dergisi* 17, 68, 54-58.
- Mandal, B.K., Suzuki, K.T. 2002. Arsenic round the World. A Review. *Talanta*, 58 (1); 201-235.
- Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG), 2022. <https://www.mapeg.gov.tr/>
- Marandi, A., Shand, P. 2018. Groundwater Chemistry and The Gibbs Diagram, 97, 209-212.
- Mercan, M., Tiringa, D., Canıgür, C. 2019. Ankara-Bala-Kesikköprü yöresindeki Ar: 201600230 (Er: 3326626) No'lu IV. Grup Ruhsat Sahasına Ait Demir Madeni Buluculuk Talebine Esas Maden Jeolojisi Ve Kaynak Tahmin Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Arşiv No:45924, Ankara.
- Mercan, M., Tiringa, D., Canıgür, C. ve Taştan, M. 2020. Ankara-Bala-Kesikköprü Demir Sahası Yeni Bulgular. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 29: 125-129.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Kaman Meteoroloji İstasyonu Verileri, 2023.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Çelebi Meteoroloji İstasyonu Verileri, 2023.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Bala Meteoroloji İstasyonu Verileri, 2023.
- Naicker, K., Cukrowska, E., Mccarthy, T.S. 2003. "Acid mine drainage 588 from gold mining activities in Johannesburg, South Africa and environs", *Environ. Pollut.*, 122, 29-40.
- Nawab, J., Khan, S., Amjad, M., Hassan, K., 2016. "Potentially Toxic Metals and Biological Contamination in Drinking Water Sources in Chromite Mining-Impacted Areas of Pakistan : A Comparative Study", Expo.
- Öztürk, K., Kurt, M., Öztürk, M., Sarı, İ. 1983. Ankara-Bala-Kesikköprü Madentepe, Büyükocak, Çataldere, Camiisağır Demir Yatakları Jeoloji Ve Rezerv Raporu. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:1871, Ankara (yayımlanmamış).
- Öztürk, K. ve Öztürk, M., 1983, Ankara-Bala-Yukarıtepeköy- Kartalkaya Demir Cevherleşmesi Jeoloji Etüt ve Arama Raporu, MTA Gen. Müd., Rap. 7357, Ankara (yayımlanmamış).
- Özce Madencilik Web Sitesi, 2023. <https://www.ozcemaden.com/demir-cevheri-uretimi> , Erişim Tarihi: 27.06.2023
- Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. (1999) User's Guide to PHREEQC (Version 2): A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. USA Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 99-4259.
- Papp, D.C., Cociuba, I., Baci, C., Cozma, A. 2017. "Origin and Geochemistry 622 of Mine Water and its Impact on the Groundwater and Surface Running Water in

- Post- mining Environments: Zlatna Gold Mining Area”, *Aquat Geochem* 23, 247–270.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6), pp.914–928.
- Qiu, H., Gui, H., Song, Q. 2018. “Human health risk assessment of trace elements in shallow groundwater of the Linhuan coal- mining district, Northern Anhui Province, China”, *Human and Ecological Risk Assessment*, 7039, 1549–7860.
- Richards LA (1954) Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook No.60*. United States Department of Agriculture, Washington DC. http://www.ars.usda.gov/sp2userfiles/place/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf
- Rummel RJ (1970) *Applied factor analysis*. Northwestern University Press, Evans.
- Sanford RF, Pierson CT, Crovelli RA (1993). An objective replacement method for censored geochemical data. *Math Geol* 25:59–80.
- Schmidt, C.G., 1960, Mem. 365-367 Numaralı Ruhsat Sahalarının Nihai Terk Raporu: Petrol İşleri Gen. Müd., (yayımlanmamış), Ankara.
- Schoeller, H., 1955, *Gechemie des eaux souterranes*. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Seymen, İ. 1981. Kaman (Kırşehir) Dolayısında Kırşehir Masifi'nin Stratigrafisi ve Metamorfizması. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, C. 24, 7 -14.
- Seymen, İ. 1981a. Kaman (Kırşehir) Dolayında Kırşehir Masifinin Stratigrafisi ve Metamorfizması. *TJK*, 24, 7–14.
- Seymen, İ. 1981b. Kaman (Kırşehir) Dolayında Kırşehir Masifinin Metamorfizması. *TJK* 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 12–15.
- Seymen, İ. 1982. Kaman dolayında Kırşehir Masifinin jeolojisi. *İTÜ Maden Fakültesi, Doktora Tezi*, 164.
- Seymen, İ. 1983. Tamadağ (Kaman-Kırşehir) Çevresinde Kaman Grubunun ve Onunla Sınırdış Oluşukların Karşılaştırılmalı Tektonik Özellikleri. *TJK*, 26, 89–98.
- Seymen, İ. 1984. Kırşehir Masifi Metamorfitlerinin Jeoloji Evrimi. *Ketin Sempozyumu, Türkiye Jeoloji Kurumu Yayını*, 133–48.
- Seymen, I. 2000. Geology of the Kırşehir massif between Savcılıbeyit (Kaman) and Yeşilli (Kırşehir) villages. *Congress of Geosciences and Mining for the 75th Anniversary of the Turkish Republic, Proceedings*, 67–91.
- Sonkamble, S., Sahya, A., Mondal, N.C., Harikumar, P., 2012. Appraisal and evolution of hydrochemical processes from proximity basalt and granite areas of Deccan Volcanic Province (DVP) in India, *Journal of Hydrology*, 438–439, 181-193
- Sözen, A., 1970. Kesikköprü, Madentepe Manyetit Zuhur Hakkında Rapor: MTA Genel Müdürlüğü, Rap. 4212, Ankara (yayımlanmamış).

- Stendal, H. ve Konnerup-Madsen, J. 1995. Geological Setting of Iron Deposits of Hekimhan Province, Malatya, Central Anatolia, Turkey: Trans. Instn Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth sci.), 104,46 - 54, London.
- Şener, Ş., 2010. Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 348s, Isparta
- Terzi, M.H. 2014. Kesikköprü (Bala-Ankara) Demir-Oksit Cevherleşmelerinin Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 168 sf., Ankara.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevresel Etki Değerlendirilmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri ve Bilgi Yönetimi Daire Başkanlığı Veri Değerlendirme Şube Müdürlüğü. 2019. Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu (2017 yılı verileriyle), Ankara
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı, 2016. Kızılırmak Havzası Master Plan Raporu Hazırlanması İşi, Havza Çevre ve Su Kalitesi Nihai Raporu, Ankara.
- Todd, D.K ve Mays, L.W., 2005. Groundwater Hydrology. 3rd edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken
- Tübitak MAM. 2010. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması - Kızılırmak Havzası Eylem Plan Raporu, Ankara.
- Ünlü, T., 1983, Die Genese der Siderit-Lagerstätte Deveci in der Hekimhan-Provinz Malatya/Turkei und ihre wirtschaftliche Bewertung: Doktora çalışması, Berlin Teknik Üniversitesi, 84 p., Almanya.
- Ünlü, T., Sayılı, I.S. and Çiftçi, D., 1996, An Approach On Genesis of Otluklisse Iron Deposit Gürün - Sivas, Middle Anatolia - Turkey: UNESCO, IGCP, Project No 356, Alpine Metallogeny And Plate Tectonics in the Carpatho - Balkanides, v. 2,15-22, Sofya, Bulgaristan.
- Vural, H., 1993. Ağır Metal İyonlarının Gıdalarda Oluşturduğu Kirlilikler. Çevre Dergisi, 8, 3-8.
- Ward JH (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. J Am Stat Assoc 69:236–244.
- Welch, Alan H., Oremland, Ronald S., Davis, James A., Watkins, Sharon A. 2006. Arsenic in Groundwater: A Review of Current Knowledge and Relation to the CALFED Solution Area with Recommendations for Needed Research, San Francisco. Estuary and Watershed Sci., 4, 2.
- Yiğit, B. 2021. Sözlü Görüşme, Kesikköprü Tarım Kredi Kooperatifi, Bala.

EKLER

EK 1 Yağışlı Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon ve İz Element Konsantrasyonları

EK 2 Kurak Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon İz Element Konsantrasyonları

EK 3 Yağışlı Dönemde Sınır Değerleri Aşan Parametreler

EK 4 Kurak Dönemde Sınır Değerleri Aşan Parametreler



EK 1 Yağışlı Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon ve İz Element Konsantrasyonları

MAYIS 2022 Analiz Sonuçları		İkizler Kuyu	Kargınyenice Hayrat	KB Maden Gölü 1	KB Çeşme	Bügüz Çeşme	Ağapınar Maden Gölü 1	Halildede Kuyu
Parametre	Birim	Analiz Sonucu						
Kalsiyum (Ca)	mg/L	71,2	187	51,9	88,7	63,6	125	126
Magnezyum (Mg)	mg/L	23,4	34,6	35,2	29,2	16,7	33,2	28,7
Sodyum (Na)	mg/L	42	34,8	77	55,6	40,1	101	49,4
Potasyum (K)	mg/L	0,446	0,104	1,46	0,092	0,926	2,31	0,915
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	27,1	111	46	17,2	15,6	58,3	60
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	mg/L	0,417	0,372	3,890	0,830	0,468	2,564	0,484
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/L	310,795	321,409	177,327	382,653	228,079	141,825	225,639
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	mg/L	< 0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	83,3	126	299	109	113	515	204
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/L	33,4	353	11,4	34,8	27,4	69,4	137
Alüminyum (Al)	mg/L	< 0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antimon (Sb)	mg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsenik (As)	mg/L	< 0,0005	0,003	0,016	0,002	0,05	0,004	<0,0005
Bakır (Cu)	mg/L	< 0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,003
Baryum (Ba)	mg/L	0,029	0,045	0,064	0,062	0,038	0,051	0,043
Berilyum (Be)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bor (B)	mg/L	0,256	0,113	0,326	0,161	0,122	0,581	0,375
Civa (Hg)	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Çinko (Zn)	mg/L	0,005	0,004	0,003	0,005	<0,001	<0,001	0,013
Demir (Fe)	mg/L	0,008	0,009	0,007	0,079	<0,005	0,007	0,021
Toplam Fosfor (P)	mg/L	< 0,005	0,011	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	0,012
Gümüş (Ag)	mg/L	< 0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum (Cd)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kalay (Sn)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kobalt (Co)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	mg/L	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kurşun (Pb)	mg/L	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Nikel (Ni)	mg/L	< 0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	mg/L	0,003	<0,0005	0,005	0,002	0,002	0,007	<0,0005
Stronsiyum (Sr)	mg/L	0,654	1,8	0,953	1,28	0,407	1,29	1,65
Talyum (Tl)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanyum (Ti)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	0,002	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Uranyum (U)	mg/L	0,004	0,029	0,027	0,03	0,006	0,005	0,019
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	262,4	277	164,2	326,2	192,6	133,8	193,6

EK 1 Yağışlı Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon ve İz Element Konsantrasyonları (Devamı)

MAYIS 2022 Analiz Sonuçları	Halildedede Sığ Kuyu	Karahacılı Eski Kuyu	Karahacılı Yeni Kuyu	Müsellim Sığ Kuyu	Müsellim Derin Kuyu	Müsellim İçme Suyu	Ağapınar Muhtar Kuyu
Parametre	Analiz Sonucu						
Kalsiyum (Ca)	127	73,1	85,3	117	27,4	76,2	68
Magnezyum (Mg)	26,9	14,5	21,4	28,4	15,8	19,5	7,68
Sodyum (Na)	99	14,2	21,5	59,5	58,8	21,2	9,87
Potasyum (K)	1,14	0,122	0,097	64	1,43	0,167	0,566
Klorür (Cl ⁻)	129	6,27	63,7	37,5	10,1	8,84	8,19
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	0,471	0,500	0,572	0,760	1,073	5,463	0,592
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	240,035	219,966	241,987	445,544	266,082	252,723	208,376
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	<0,31	<0,31	<0,31	1,72	<0,31	<0,31	<0,31
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	172	28,4	37,6	83,5	10,6	30,2	20,9
Nitrat (NO ₃ ⁻)	224	64,4	41,3	143	12,5	68,6	19,9
Alüminyum (Al)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antimon (Sb)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsenik (As)	<0,0005	0,002	0,001	0,12	0,003	<0,0005	0,004
Bakır (Cu)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Baryum (Ba)	0,071	0,092	0,093	0,122	0,008	0,073	0,029
Berilyum (Be)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bor (B)	0,236	0,045	0,039	0,198	0,123	0,073	0,077
Civa (Hg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Çinko (Zn)	0,003	0,006	<0,001	0,011	0,007	0,004	0,006
Demir (Fe)	0,01	<0,005	<0,005	0,027	<0,005	0,021	0,025
Toplam Fosfor (P)	<0,005	0,008	<0,005	0,899	<0,005	0,013	0,008
Gümüş (Ag)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum (Cd)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kalay (Sn)	<0,0005	0,003	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kobalt (Co)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kurşun (Pb)	<0,0005	0,003	<0,0005	<0,0005	0,014	<0,0005	<0,0005
Nikel (Ni)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Stronsiyum (Sr)	1,25	0,542	0,954	0,715	0,498	0,785	0,232
Talyum (Tl)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanyum (Ti)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005
Uranyum (U)	0,005	0,003	0,005	0,019	0,015	0,006	0,001
Alkalinite	206	186,4	206	380,6	224,8	214,4	176,6

EK 1 Yağışlı Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon İz Element Konsantrasyonları (Devamı)

MAYIS 2022 Analiz Sonuçları	Güreşçi Kuyu	Büyükcamili Sığ Kuyu	Tepeköy Yayla Sokak	Camisağır Maden Gölü	Küçükbüyük Sığ Kuyu	KK Sulama	Kesikköprü Barajı
Parametre	Analiz Sonucu						
Kalsiyum (Ca)	85,9	368	95	150	36,6	177	113
Magnezyum (Mg)	50,2	272	29,5	79,9	46,2	68,8	36
Sodyum (Na)	54,8	775	43,4	295	229	489	208
Potasyum (K)	0,92	1,05	0,116	4,07	0,486	8,62	7,55
Klorür (Cl ⁻)	22,5	1049	41,7	47	77,8	696	346
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	0,155	0,589	0,482	3,497	2,736	2,178	5,257
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	365,024	427,671	340,624	149,694	506,788	173,728	97,478
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	255	2460	72,3	1544	217	1178	482
Nitrat (NO ₃ ⁻)	27,3	283	96	50	107	15,6	0,753
Alüminyum (Al)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antimon (Sb)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsenik (As)	0,001	0,002	0,002	0,005	0,002	0,008	0,012
Bakır (Cu)	0,004	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Baryum (Ba)	0,062	0,022	0,177	0,032	0,024	0,049	0,056
Berilyum (Be)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bor (B)	0,203	2,9	0,305	0,768	1,23	0,95	0,428
Civa (Hg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Çinko (Zn)	0,007	0,005	0,005	0,004	0,023	0,006	0,003
Demir (Fe)	0,007	0,062	<0,005	0,016	<0,005	0,009	0,054
Toplam Fosfor (P)	<0,005	0,027	<0,005	0,009	0,017	0,04	0,013
Gümüş (Ag)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum (Cd)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kalay (Sn)	<0,0005	<0,0005	0,002	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kobalt (Co)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kurşun (Pb)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Nikel (Ni)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	0,003	0,025	<0,0005	0,126	0,003	0,008	<0,0005
Stronsiyum (Sr)	1,15	11	1,66	2,01	1,72	3,83	2,25
Talyum (Tl)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanyum (Ti)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	<0,0006	<0,0005	<0,0005
Uranyum (U)	0,021	0,095	0,006	0,024	0,052	0,012	0,002
Alkalinite	314	387	289,6	144,4	437	159,8	108,6

EK 2 Kurak Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon İz Element Konsantrasyonları

EKİM 2022 Analiz Sonuçları		İkizler Kuyu	Kargıyenice Hayrat	KB Maden Gölü 1	Karamıstıklar Çeşme	Büğüz Çeşme	Ağapınar Muhtar Kuyu	Ağapınar Maden Gölü 2
Parametre	Birim	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu
Kalsiyum (Ca)	mg/L	78	154	48,5	67	66,8	63,4	105
Magnezyum (Mg)	mg/L	26,3	30,5	45,5	32,5	16,1	6,73	33,1
Sodyum (Na)	mg/L	49,6	32,2	98,8	33	41,5	8,32	88,5
Potasyum (K)	mg/L	0,51	0,233	1,53	0,084	0,909	0,532	2,47
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	21	82,7	47,6	6,2	14,4	6,83	47,4
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	mg/L	0,329	0,468	2,760	0,840	0,540	0,360	1,260
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/L	327,692	305,061	179,706	330,498	222,101	217,465	145,241
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	mg/L	< 0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	84,6	71	308	30,1	96,6	16,8	402
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/L	12	233	<0,45	68,6	26,1	16,9	40
Alüminyum (Al)	mg/L	< 0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antimon (Sb)	mg/L	<0,0005	<0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsenik (As)	mg/L	< 0,0005	0,002	0,036	0,007	0,044	0,003	0,003
Bakır (Cu)	mg/L	< 0,001	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Baryum (Ba)	mg/L	0,054	0,043	0,083	0,112	0,063	0,055	0,036
Berilyum (Be)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bor (B)	mg/L	0,355	0,094	0,456	0,1178	0,147	0,073	0,434
Civa (Hg)	mg/L	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Çinko (Zn)	mg/L	0,021	0,011	0,01	0,009	0,012	0,019	<0,017
Demir (Fe)	mg/L	0,051	0,014	0,017	0,016	0,009	0,015	0,016
Toplam Fosfor (P)	mg/L	0,009	0,035	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,006
Gümüş (Ag)	mg/L	< 0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum (Cd)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kalay (Sn)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kobalt (Co)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	mg/L	< 0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kurşun (Pb)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Nikel (Ni)	mg/L	< 0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	mg/L	0,002	<0,0005	0,003	0,001	0,002	<0,0005	0,008
Stronsiyum (Sr)	mg/L	0,675	1,15	0,904	1,21	0,388	0,229	1,11
Talyum (Tl)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanyum (Ti)	mg/L	< 0,0005	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005	0,001	0,001
Uranyum (U)	mg/L	0,005	0,027	0,031	0,016	0,006	0,001	0,009
Alkalinite	mgCaCO ₃ /L	276,8	262,4	161,8	280,6	187,4	182,9	128,8

EK 2 Kurak Dönemde Alınan Örneklerin Majör İyon İz Element Konsantrasyonları (Devamı)

EKİM 2022 Analiz Sonuçları	Halildedede Kuyu	Halildedede Sığ Kuyu	Karahacılı Eski Kuyu	Karahacılı Yeni Kuyu	Müsellim Sığ Kuyu	Müsellim Derin Kuyu	Müsellim İçme Suyu
Parametre	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu
Kalsiyum (Ca)	118	139	70,8	86,4	101	34,5	70,8
Magnezyum (M)	20,4	29,1	12,6	19,3	25,9	16,4	16,1
Sodyum (Na)	38,6	47,3	13,5	22,4	48,8	53,4	19,5
Potasyum (K)	0,926	1,02	0,08	0,135	58,5	1,19	0,189
Klorür (Cl ⁻)	39,8	93,5	11,4	56,3	41	8,31	8,54
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	0,360	0,300	0,402	0,408	0,420	0,900	1,200
Bikarbonat (HCO ₃)	199,897	258,091	235,704	243,695	389,790	265,533	250,710
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	2,66	<0,31	<0,31
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	199	114	24,5	33	78,4	9,66	23
Nitrat (NO ₃ ⁻)	97,7	163	35,5	45,6	124	15,8	48,4
Alüminyum (Al)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,022	<0,02
Antimon (Sb)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsenik (As)	<0,0005	<0,0005	0,001	0,001	0,095	0,002	0,001
Bakır (Cu)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001
Baryum (Ba)	0,0404	0,099	0,114	0,115	0,113	0,048	0,092
Berilyum (Be)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bor (B)	0,233	0,169	0,044	0,057	0,189	0,145	0,068
Civa (Hg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Çinko (Zn)	0,017	0,01	0,008	0,021	0,022	0,017	0,008
Demir (Fe)	0,019	0,013	0,01	0,018	0,034	0,02	0,012
Toplam Fosfor (P)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,788	0,009	0,02
Gümüş (Ag)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum (Cd)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kalay (Sn)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kobalt (Co)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kurşun (Pb)	<0,0005	<0,0005	0,002	0,001	<0,0005	0,012	<0,0005
Nikel (Ni)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Stronsiyum (Sr)	1,14	1,07	0,507	0,909	0,595	0,573	0,64
Talyum (Tl)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanyum (Ti)	<0,0005	<0,0005	0,001	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005
Uranyum (U)	0,005	0,008	0,003	0,005	0,013	0,016	0,005
Alkalinite	170,4	220,8	198,8	206,6	330,6	224,2	215

EK 2 Kurak dönemde alınan örneklerin majör iyon iz element konsantrasyonları (Devamı)

EKİM 2022 Analiz Sonuçları	KK Sulama	Büyükcamili Sığ Kuyu	Küçükbyık Sığ Kuyu	Camisağır Maden Gölü	Tepeköy Yyala Sokak	Güreşçi Kuyu	Kesikköprü Barajı
Parametre	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu	Analiz Sonucu
Kalsiyum (Ca)	309	342	36,2	160	81,7	58,8	114
Magnezyum (M)	115	278	49,6	90,3	29	12,6	39,4
Sodyum (Na)	731	768	236	279	44	80,6	220
Potasyum (K)	7,37	1,08	0,535	4,39	0,179	1,56	7,39
Klorür (Cl ⁻)	883	987	73,3	53,4	14,3	4,66	336
Karbonat (CO ₃ ²⁻)	2,280	0,468	1,800	2,820	0,348	0,480	2,400
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	229,970	437,004	481,168	162,382	327,143	318,298	116,693
Fosfat (PO ₄ ³⁻)	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31	<0,31
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	2032	2550	198	1521	44,1	68,1	449
Nitrat (NO ₃ ⁻)	31	374	102	50,9	84,7	12,3	<0.45
Alüminyum (Al)	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,021
Antimon (Sb)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Arsenik (As)	0,008	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002	0,013
Bakır (Cu)	<0,001	0,002	0,004	0,003	0,006	0,004	<0,001
Baryum (Ba)	0,036	0,02	0,04	0,031	0,156	0,071	0,052
Berilyum (Be)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Bor (B)	1,83	3,31	1,44	0,881	0,366	0,221	0,463
Civa (Hg)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Çinko (Zn)	0,006	0,012	0,007	0,012	0,028	0,031	0,013
Demir (Fe)	0,012	0,017	0,012	0,018	0,013	0,013	0,02
Toplam Fosfor (P)	<0,005	0,014	<0,005	0,009	0,006	<0,005	0,013
Gümüş (Ag)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Kadmiyum (Cd)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kalay (Sn)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Kobalt (Co)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Toplam Krom (Cr)	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kurşun (Pb)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,008
Nikel (Ni)	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Selenyum (Se)	0,015	0,019	0,003	0,102	0,001	0,002	<0,0005
Stronsiyum (Sr)	7,89	12,8	1,59	3,01	1,4	0,348	2,78
Talyum (Tl)	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanyum (Ti)	0,001	0,001	0,001	<0,0005	0,001	<0,0005	0,001
Uranyum (U)	0,028	0,094	0,052	0,029	0,006	0,006	0,002
Alkalinite	215,8	393,6	413	152,6	277	268	111

EK 3 Yağışlı Dönemde Sınır Değerleri Aşan Parametreler

MAYIS 2022 Analiz Sonuçları	Parametre Birim	Sodyum (Na) mg/L	Klorür (Cl⁻) mg/L	Sülfat (SO₄²⁻) mg/L	Nitrat (NO₃⁻) mg/L	Arsenik (As) mg/L	Bor (B) mg/L	Uranyum (U) mg/L
İkizler Kuyu	Analiz Sonucu	42	27.1	83.3	33.4	< 0,0005	0.256	0.004
Kargınyenice Hayrat		34.8	111	126	353	0.003	0.113	0.029
KB Maden Gölü 1		77	46	299	11.4	0.016	0.326	0.027
KB Çeşme		55.6	17.2	109	34.8	0.002	0.161	0.03
Büğüz Çeşme		40.1	15.6	113	27.4	0.05	0.122	0.006
Ağapınar Maden Gölü		101	58.3	515	69.4	0.004	0.581	0.005
Halildedede Kuyu		49.4	60	204	137	<0,0005	0.375	0.019
Halildedede Sığ Kuyu		99	129	172	224	<0,0005	0.236	0.005
Karahacılı Eski Kuyu		14.2	6.27	28.4	64.4	0.002	0.045	0.003
Karahacılı Yeni Kuyu		21.5	63.7	37.6	41.3	0.001	0.039	0.005
Müsellim Sığ Kuyu		59.5	37.5	83.5	143	0.12	0.198	0.019
Müsellim Derin Kuyu		58.8	10.1	10.6	12.5	0.003	0.123	0.015
Müsellim İçme Suyu		21.2	8.84	30.2	68.6	<0,0005	0.073	0.006
Ağapınar Muhtar Kuyu		9.87	8.19	20.9	19.9	0.004	0.077	0.001
Güreşçi Kuyu		54.8	22.5	255	27.3	0.001	0.203	0.021
Büyükcemili Sığ Kuyu		775	1049	2460	283	0.002	2.9	0.095
Tepeköy Yayla Sokak		43.4	41.7	72.3	96	0.002	0.305	0.006
Camisağır Maden Gölü		295	47	1544	50	0.005	0.768	0.024
Küçükbiyık Sığ Kuyu		229	77.8	217	107	0.002	1.23	0.052
KK Sulama		489	696	1178	15.6	0.008	0.95	0.012
Kesikköprü Barajı (İTASHY, 2016)		208	346	482	0.753	0.012	0.428	0.002
(WHO, 2022)		200	250	250	50	0.01	2.4	0.03

K 4 Kurak Dönemde Sınır Değerleri Aşan Parametreler

EKİM 2022 Analiz Sonuçları	Parametre	Sodyum (Na)	Klorür (Cl ⁻)	Sülfat (SO ₄ ²⁻)	Nitrat (NO ₃ ⁻)	Arsenik (As)	Bor (B)	Uranyum (U)
	Birim	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
İkizler Kuyu	Analiz Sonucu	49.6	21	84.6	12	< 0,0005	0.355	0.005
Kargınyenice Hayrat		32.2	82.7	71	233	0.002	0.094	0.027
KB Maden Gölü 1		98.8	47.6	308	<0,45	0.036	0.456	0.031
Karamistiklar Çeşme		33	6.2	30.1	68.6	0.007	0.1178	0.016
Büğüz Çeşme		41.5	14.4	96.6	26.1	0.044	0.147	0.006
Ağapınar Muhtar Kuyu		8.32	6.83	16.8	16.9	0.003	0.073	0.001
Ağapınar Maden Gölü 2		88.5	47.4	402	40	0.003	0.434	0.009
Halildedede Kuyu		38.6	39.8	199	97.7	<0,0005	0.233	0.005
Halildedede Sığ Kuyu		47.3	93.5	114	163	<0,0005	0.169	0.008
Karahacılı Eski Kuyu		13.5	11.4	24.5	35.5	0.001	0.044	0.003
Karahacılı Yeni Kuyu		22.4	56.3	33	45.6	0.001	0.057	0.005
Müsellim Sığ Kuyu		48.8	41	78.4	124	0.095	0.189	0.013
Müsellim Derin Kuyu		53.4	8.31	9.66	15.8	0.002	0.145	0.016
Müsellim İçme Suyu		19.5	8.54	23	48.4	0.001	0.068	0.005
KK Sulama		731	883	2032	31	0.008	1.83	0.028
Büyükcamili Sığ		768	987	2550	374	0.002	3.31	0.094
Küçükbiyık Sığ		236	73.3	198	102	0.002	1.44	0.052
nisağır Maden Gölü		279	53.4	1521	50.9	0.006	0.881	0.029
Tepeköy Yyala Sokak		44	14.3	44.1	84.7	0.002	0.366	0.006
Güreşçi Kuyu		80.6	4.66	68.1	12.3	0.002	0.221	0.006
Kesikköprü Barajı		220	336	449	<0.45	0.013	0.463	0.002
(İTASHY, 2016)		200	250	250	50	0.01	1	
(WHO, 2022)		200	250	250	50	0.01	2.4	0.03