

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAZAN HAVZASI (ANKARA) SU KAYNAKLARINDA ARSENİK
KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

SEVDA CANBAZ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAZAN HAVZASI (ANKARA) SU KAYNAKLARINDA ARSENİK KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ

Sevda CANBAZ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şebnem ARSLAN

Bu çalışmanın amacı, Kazan Havzası'nda bulunan su kaynaklarında yapılan hidrojeokimyasal çalışmalar ile sulara arsenik kirliliğinin mevcut durumunun ortaya konması ve arseniğin suya geçiş mekanizmalarının belirlenmesidir. Çalışma kapsamında alanda bulunan kuyu, kaynak ve çeşme sularından mevsimsel değişimleri de gözlemleyebilmek adına yağışlı ve kurak dönemlerde örnekler alınmıştır. Kurak dönemde toplam 34 örnek, yağışlı dönemde ise toplam 25 örnek alınmıştır. Hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında suların majör anyon, katyon ve iz element içerikleri incelenmiştir. Böylelikle bölgenin hidrojeokimyasal karakteristiği ortaya konmuştur. Örneklerin elektriksel iletkenlik, pH, sıcaklık, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli ve çözünmüş oksijen içerikleri yerinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Phreeqc programında değerlendirilmiş, analiz hata payları hesaplanmış, suların farklı minerallere göre doygunluk durumları belirlenmiştir. Ayrıca analiz sonuçları farklı diyagramlar kullanılarak elde edilen grafiklerle incelenmiş su türleri ve su kimyasını etkileyen farklı süreçler tespit edilmiştir. Suların birkaç örnek dışında hepsinde Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) belirlediği sınır değer olan 10µg/L nin üstünde arsenik tespit edilmiştir. Bölgede bulunan litolojik birimler, faylar, bölgenin iklim koşulları incelenmiş ve yapılan hidrojeokimyasal çalışmalar ışığında arseniğin kaynağının jeojenik olduğu, suya geçiş mekanizmasının ise karbonat iyonları ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir.

Ocak 2023, 89 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kazan Havzası, Ankara, arsenik, kirlilik, hidrojeokimya, yeraltı suları

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF ARSENIC POLLUTION IN WATER RESOURCES OF KAZAN BASIN (ANKARA)

Sevda CANBAZ

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

Advisor: Doç. Dr. Şebnem ARSLAN

The aim of this study is to reveal the current situation of arsenic pollution and the mobilization mechanisms of arsenic in the water resources of Kazan Basin with hydrogeochemical studies. In this study, samples were taken from the wells, springs and fountains in the area during wet and dry seasons in order to observe the seasonal changes. A total of 34 samples were collected in the dry period, and 25 samples were collected in the rainy period. Within the scope of hydrogeochemical studies, major anions, cations and trace elements were investigated and the hydrogeochemical characteristics of the region were revealed. Discharge rates of the fountains, electrical conductivity, pH, temperature, oxidation-reduction potential and dissolved oxygen contents of the samples were determined in situ. All of the results obtained were evaluated in the Phreeqc program, the charge balance errors of the analyses were calculated, and the saturation indices of the waters with respect to different minerals were determined. In addition, the results of the analysis were evaluated using different diagrams and water types and possible geochemical processes affecting water chemistry were determined. In all except for a few samples, arsenic concentrations are above 10µg/L, which is the limit value determined by the World Health Organization (WHO). The lithological units of the region, faults, climatic conditions of the region were examined and in the light of hydrogeochemical studies, the source of arsenic was found out to be geogenic and the mobility mechanism is found out to be related to the carbonate ions.

January 2023, 89 pages

Keywords: Kazan Basin, Ankara, arsenic, contamination, hydrogeochemistry, groundwater

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu proje 21L0443011 proje numarası ile Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (A.Ü. B.A.P.) tarafından desteklenmiştir. İnsan sağlığını yakından ilgilendiren bir sorun olan içme sularında arsenik kirliliği konusunda yapılan bu değerli çalışmaya finansal destek sağlayarak literatüre kazandırılmasına katkıda bulunan üniversitemiz BAP Koordinatörlüğü birimine en derin teşekkürlerimizi sunarız.

Tez konusunun belirlenmesini sağlayan ve tez çalışmam boyunca arazide ve çalışmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Şebnem ARSLAN'a ve Yüksek lisans tezim boyunca ders aldığım bu yolda gelişmemi sağlayan bütün hocalarıma, arazi çalışmalarımda su numuneleri alma aşamasında yardımcı olan Beyza KARADEMİR ve Hazal BARUTÇU, çalışma arkadaşım Dr. Refika Pelin Bilgehan'a destekleri için teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim hayatım boyunca olduğu gibi tez aşamasında da desteğini esirgemeyen anneme manevi katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sevda CANBAZ
Ankara, Ocak 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1 Arseniğin Kimyası ve Mineralojisi	2
2.2 Arseniğin Kaynakları	5
2.2.1 Jeojenik kaynaklar.....	6
2.2.2 Biyojenik kaynaklar.....	7
2.2.3 Antropojenik kaynaklar	8
2.3 Yeraltı Sularında Arsenik	8
2.4 Önceki Çalışmalar.....	13
2.5 Dünyada Yeraltı Sularında Çözünmüş Arsenik	15
2.6 Türkiye’de Yeraltı Sularında Çözünmüş Arsenik	17
2.7 Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgi	18
2.7.1 İklim	19
2.7.2 Bitki örtüsü ve toprak yapısı.....	20
2.7.3 Genel jeoloji.....	21
2.7.4 Hidrojeoloji.....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	33
3.1 Saha Çalışması.....	33
3.2 Laboratuvar Çalışması	42
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	44
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	55
5.1 Major İyon Kimyası.....	55
5.2 İstatistiksel Değerlendirmeler	67
5.3 Arsenik Jeokimyası	71
5.4 Sonuç ve Öneriler.....	79

KAYNAKLAR	81
EKLER.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	92



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
As	Arsenik
AsS	Realgar
As ₂ S ₃	Orpiment
B	Bor
Ba	Baryum
Be	Berilyum
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cl	Klorür
Co	Kobalt
CoAsS	Kobaltit
CO ₃	Karbonat
Cr	Krom
Cu	Bakır
EC	Elektriksel İletkenlik
Fe	Demir
FeAsS	Arsenopirit
Fe(S,As) ₂	Arsenikli pirit
FeAsO ₄ .2H ₂ O	Skorodit
H	Hidrojen
HCO ₃	Bikarbonat
Hg	Cıva
HNO ₃	Nitrik asit
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
Na	Sodyum

Ni	Nikel
NiAS	Nikolit
NO ₃	Nitrat
O	Oksijen
ORP	Yükseltgenme İndirgenme Potansiyeli
P	Fosfor
Pb	Kurşun
PO ₄	Fosfat
S	Kükürt
Sb	Antimon
Se	Selenyum
Sn	Kalay
Sr	Stronsiyum
Tl	Talyum
Ti	Titanyum
U	Uranyum
SO ₄	Sülfat
Zn	Çinko

Kısaltmalar

ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
EPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Arseniğin periyodik tabloda yeri	3
Şekil 2.2 Orpimentin arazideki görünümü (Arslan 2013).....	3
Şekil 2.3 Arsenik minerallerinin moleküler yapılarına iki örnek (O'Day 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)	5
Şekil 2.4 Toprak ve sucul ekosistemlerdeki başlıca arsenik kaynakları (Mahimairaja vd. 2005'ten değiştirilerek alınmıştır)	5
Şekil 2.5 Arseniğin Eh ve pH diyagramı (Smedley ve Kinnuburg 2002).....	10
Şekil 2.6 Doğal arsenik kirliliğine meyilli yeraltı suyu ortamlarının sınıflandırılması (Smedley ve Kinnuburg 2002)	12
Şekil 2.7 Kazan ilçesi yer bulduru haritası	19
Şekil 2.8 Meteoroloji Genel Müdürlüğü 17130 nolu Ankara istasyonu için yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.....	20
Şekil 2.9 Çalışma alanına ait jeoloji haritası (Altun vd. 2002 ve Duru ve Aksay 2002'den değiştirilerek alınmıştır)	23
Şekil 2.10 Kazan Havzasında akarsu yataklarında oluşmuş alüvyon birimlerde yapılan kum- çakıl madenciliğinden görünüm.....	30
Şekil 2.11 Kazan Ovasında bulunan Kuvaterner kum-çakıl akiferine ait su tablası seviye haritası (Apaydın 2011'den değiştirilerek alınmıştır).....	31
Şekil 3.1 Kurak dönemde alınan örnek lokasyonlarını gösterir uydu görüntüsü	34
Şekil 3.2 Yağışlı dönemde alınan örnek lokasyonlarını gösterir uydu görüntüsü	35
Şekil 3.3 a) Arazide yerinde ölçümde kullanılan HACH HQ-40d marka dijital multimetre cihazı b) Dijital multimetre cihazı ile arazide yerinde ölçüm yapılması (Yazıbeyli kaynak noktası).....	35
Şekil 3.4 a) Major katyon iyonlarını ve ağır metalleri tayin etmek için örnek alımında kullanılan 100ml'lik şişe ve major anyon iyonlarını tayin etmek için örnek alımında kullanılan 1lt'lik şişe b) Major katyon ve iz elementleri belirlemek için alınan su numunelerine filtreleme işleminin uygulanması c) Katyon ve ağır metal analizi numunelerinde pH'ı 2'ye düşürmek için kullanılan ultra saf nitrik asit (HNO ₃)	36
Şekil 3.5 Yassıören Kuyu noktasından su numunesi alınması.....	39
Şekil 3.6 a) Yakup Hasan kuyusunda düdüklü şerit metre ile statik seviye ölçümü alınması b) Yakup Hasan kuyusundan pompa ile su numunesi alınması	39
Şekil 3.7 Kahramankazan havzasındaki trona sahası.....	40

Şekil 5.1 Kurak dönem analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterimi	56
Şekil 5.2 Yağışlı dönem analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterimi.....	57
Şekil 5.3 Kurak dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi	58
Şekil 5.4 Yağışlı dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi	59
Şekil 5.5 Kurak dönemi temsilen alınmış örnekler ile hazırlanmış Chadha grafiği (Chadha 1999)	61
Şekil 5.6 Yağışlı dönemi temsilen alınmış örnekler ile hazırlanmış Chadha grafiği (Chadha 1999)	61
Şekil 5.7 Na (meq/l)'a karşı Ca (meq/l) grafiği	62
Şekil 5.8 Ca (meq/l)'a karşı HCO ₃ (meq/l) grafiği	65
Şekil 5.9 HCO ₃ (meq/l)'a karşı Na (meq/l) grafiği	65
Şekil 5.10 Na (meq/l)'a karşı Cl (meq/l) grafiği	66
Şekil 5.11 Ca + Mg (meq/l)'a karşı HCO ₃ + SO ₄ (meq/l) grafiği	67
Şekil 5.12 Kurak dönemdeki örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modu HCA ile elde	70
Şekil 5.13 Yağışlı dönemdeki örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modu HCA ile elde.....	70
Şekil 5.14 Kurak dönem analiz sonuçları ile arsenik için hazırlanmış Pourbaix diyagramı.....	71
Şekil 5.15 Yağışlı dönem analiz sonuçları ile hazırlanmış Pourbaix diyagramı.....	70
Şekil 5.16 Kurak dönem As'e karşı CO ₃ ⁻² grafiği.....	72
Şekil 5.17 Kurak dönem As'e karşı HCO ₃ grafiği.....	72
Şekil 5.18 Kurak dönem As'e karşı pH grafiği.....	75
Şekil 5.19 Kurak dönem As'e karşı çözünmüş oksijen grafiği	75
Şekil 5.20 Kurak dönem As'e karşı yükseltgenme-indirgenme potansiyeli grafiği	76
Şekil 5.21 Kurak dönem As'e karşı B grafiği	76
Şekil 5.22 Yağışlı dönem As'e karşı CO ₃ ⁻² grafiği	77
Şekil 5.23 Yağışlı dönem As'e karşı HCO ₃ ⁻ grafiği.....	77
Şekil 5.24 Yağışlı dönem As'e karşı pH grafiği	78
Şekil 5.25 Yağışlı dönem As'e karşı çözünmüş oksijen grafiği	78
Şekil 5.26 Yağışlı dönem As'e karşı yükseltgenme-indirgenme potansiyeli grafiği	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Yaygın kayaç oluşturan minerallerin tipik arsenik konsantrasyonları.....	4
Çizelge 2.2 Doğadaki Arsenik konsantrasyonları (US-EPA 2000)	6
Çizelge 3.1 Arazi çalışmaları sırasında multimetre cihazı ile kurak dönemi temsilen	36
Çizelge 3.2 Arazi çalışmaları sırasında multimetre cihazı ile yağışlı dönemi temsilen.....	37
Çizelge 4.1 Kurak dönemde alınan örneklerin major iyon konsantrasyonları	44
Çizelge 4.2 Kurak dönemde alınan örneklerin iz element konsantrasyonları.....	46
Çizelge 4.3 Yağışlı dönemde alınan örneklerin major iyon konsantrasyonları	48
Çizelge 4.4 Yağışlı dönemde alınan örneklerin iz element konsantrasyonları	48
Çizelge 4.5 Kurak dönemde alınan örneklerin major iyon analiz sonuçlarına göre	50
Çizelge 4.6 Yağışlı dönemde alınan örneklerin major iyon analiz sonuçlarına göre.....	51
Çizelge 4.7 Kurak dönemde alınan örneklerin satürasyon indisleri	52
Çizelge 4.8 Yağışlı dönemde alınan örneklerin satürasyon indisleri.....	52
Çizelge 5.1 Kurak dönemde alınan su numunelerinin su tipleri	60
Çizelge 5.2 Yağışlı dönemde alınan su numunelerinin su tipleri.....	61

1.GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Dünyada gün geçtikçe artan nüfusa bağlı olarak insanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli en önemli kaynağa yani temiz suya talep gittikçe artmaktadır. Tatlı suya olan talebin karşılanması için dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye’de de yüzey suyu kaynaklarının yanı sıra yeraltı suları yoğun olarak tüketilmektedir. Bu durum yeraltı suları üzerindeki baskıyı arttırmakta ve yeraltı suyu kalitesi ile ilgili problemlere neden olmaktadır. Yeraltı sularında en önemli kirleticilerden biri olan arsenik için Dünya Sağlık Örgütü tarafından içme suyunda izin verilebilir değer 10 µg/L olarak belirlenmiştir (WHO 2003). Hindistan, Pakistan, Çin, Bangladeş ve Tayvan gibi bazı ülkelerde arsenik eşik seviyesi hala 50 µg/L'dir.

Yüksek konsantrasyonlardaki arsenik ile kirlenmiş içme sularının kullanımının çok çeşitli sağlık sorunlarına yol açabileceği dünyada birçok çalışmayla kanıtlanmıştır (Smedley ve Kinniburgh 2002, Rahman vd. 2021). Günümüzde Dünya’da 40 milyon kadar insanın yaşadığı farklı bölgelerde yeraltı sularındaki arsenik konsantrasyonlarının “tehlikeli boyutlarda” olarak tabir edilen 50 µg/l seviyelerinin üzerinde olduğunu belirtmiştir. Smith vd. (2000) Bangladeş’in birçok kısmı için yeraltı sularında ölçülen yüksek miktardaki arseniğin neden olduğu sağlık problemlerini “bir nüfusun tarihteki en büyük toplu zehirlenmesi” olarak tanımlamıştır. Bu tanımlama bizlere arseniğin toksitesi hakkında bir fikir vermekle birlikte arsenik araştırmalarının önemini de ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Kazan Havzası’nda bulunan yeraltı su kaynaklarında arsenik kirliliğinin ve arseniğin suya geçiş mekanizmalarının incelenmesidir. Çalışma kapsamında yapılan arazi ve analiz çalışmalarını takiben elde edilen veriler incelenmiştir. Bu çalışmada öncelikle arseniğin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri, arseniğin kaynakları, doğal arsenik kirliliğine meyilli yeraltı suyu ortamlarının sınıflandırılması ile ilgili arseniği anlamamızı sağlayacak özet bilgilerden sonra Kazan havzası su kaynaklarında arsenik kirliliği, arsenik kirliliğinin nedenleri, arseniğin kaynağı ve kirlilik mekanizmalarına değinilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Arseniğin Kimyası ve Mineralojisi

Arsenik (As) doğada organik ve inorganik halde bulunur.

- **Organik arsenik:** arsenobetain, arsenokolin ve trimetil arsenik tetrametilarsonyum katyondur (Atabey 2009). Örnek: Deniz yosunları, balıklar, midye ve istiridyeler.
- **İnorganik arsenik:** Periyodik tablonun VA grubunda (Şekil 2.1) yer alan arsenik metal olmayan ya da metaloid olarak sınıflandırılmaktadır.

Arsenik (As) elementi periyodik cetvelin dördüncü periyodunun 5A grubunda yer alır (Şekil 2.1), atom numarası 33'tür ve standart atom ağırlığı 74.9216 gr/mol'dür (JLAB Science Education, 2022). Yerkabuğunun yaklaşık %0.0005'ini oluşturan As yer kabuğunda en bol bulunan 20. elementtir (Smedley ve Kinniburgh 2002). Arsenik -3, 2, 3 ve 5 oksidasyon durumlarında bulunabilen, nadiren saf halde olan ve yoğunluğu 5.73 g/cm³ olan katı halde bir metalloiddir.

Arsenik sülfürler, oksitler, arsenatlar ve arsenitleri de kapsayan 200'den fazla mineralde esas bileşen olarak bulunur ve yüksek toksitise gösteren bir özelliğe sahiptir (Atabey 2009). Arsenik, kovalent bileşikler oluşturmak için diğer birçok elementle birleşebilirken, en yaygın olarak doğada oksijen ve kükürt ile bağlandığından başta pirit olmak üzere sülfür minerallerinin bileşiminde bulunma eğilimindedir (Çizelge 2.1).

Cevher kuşaklarında en yaygın karşılaşılan arsenik içeren mineraller arsenik içeren pirit (Fe(S,As)₂), arsenopirit (FeAsS), realgar (AsS), orpiment (As₂S₃) (Şekil 2.2), kobaltit (CoAsS), nikolit (NiAs) ve skorodittir (FeAsO₄.2H₂O). Cevher kuşaklarında en önemli olan arsenik kaynağı arsenik içeren piritir. Arsenikli piritte As konsantrasyon aralığı 100-77000 mg/kg olarak rapor edilmiştir (Çizelge 2.1, Smedley ve Kinniburgh 2002). Arsenik cevher mineralleri kadmiyum, kurşun, gümüş, altın, antimon, fosfor, volfram ve molibdenle birlikte yüksek oranda geçiş metallerini de barındırır (Atabey 2009).

1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.002602	3 Li Lithium 6.94	4 Be Beryllium 9.0121831	5 B Boron 10.81	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.99840323	10 Ne Neon 20.1797	11 Na Sodium 22.98976928	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.9815385	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973761998	16 S Sulfur 32.06	17 Cl Chlorine 35.45	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955912	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938044	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933194	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.38	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.630	33 As Arsenic 74.921595	34 Se Selenium 78.9718	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90584	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90637	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.414	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.293
55 Cs Caesium 132.90545196	56 Ba Barium 137.327	57 - 71 Lanthanoids	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.94788	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.222	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966569	80 Hg Mercury 200.592	81 Tl Thallium 204.38	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98040	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 - 103 Actinoids	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (261)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Cn Copernicium (285)	113 Nh Nihonium (286)	114 Fl Flerovium (289)	115 Mc Moscovium (289)	116 Lv Livermorium (293)	117 Ts Tennessine (294)	118 Og Oganesson (294)

57 La Lanthanum 138.90547	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.90766	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92535	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93033	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93422	70 Yb Ytterbium 173.046	71 Lu Lutetium 174.9668
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0377	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)

Şekil 2.1 Arseniğin periyodik tabloda yeri

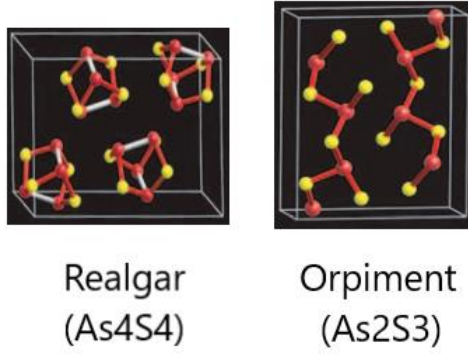


Şekil 2.2 Orpimentin arazideki görünümü (Arslan 2013)

Çizelge 2.1 Yaygın kayaç oluşturan minerallerin tipik arsenik konsantrasyonları (Smedley ve Kinniburgh 2002)

Mineral	Arsenik Konsantrasyon Aralığı (mg/kg)
Sülfid Mineralleri	
Pirit	100-77.000
Pirotit	5-100
Markasit	20-126.000
Galen	5-10.000
Sfalarit	5-17.000
Kalkopirit	10-5.000
Oksit Mineralleri	
Hematit	160'a kadar
Fe oksit (ayrıt edilmemiş)	2000'e kadar
Fe (III) oksihidroksit	76.000'e kadar
Magnetit	2,7-4,1
Limenit	<1
Silikat Mineralleri	
Kuars	0,4-1,3
Feldspat	<0,1-2,1
Biyotit	1,4
Olivin	0,08-0,17
Piroksen	0,05-0,8
Karbonat Mineralleri	
Kalsit	1-8
Dolomit	<3
Siderit	<3
Sülfat Mineralleri	
Jips/ anhidrit	<1,6
Barit	<1,12
Jarosit	34-1.000
Diğer mineraller	
Apatit	<1-1.000
Halit	<3-30
Fluorit	<2

Şekil 2.3'te arsenik minerallerinin moleküler yapılarına örnekler verilmiştir. Atom renkleri: kırmızı – As; sarı – S; beyaz – O. Yaygın olan iki arsenik sülfid minerali, realgar ve orpiment; realgar'daki moleküler kafesler As-As ve As-S dimerlerine sahipken, orpimentteki zincir benzeri yapı sadece As-S bağlarına sahiptir (O'day 2006)

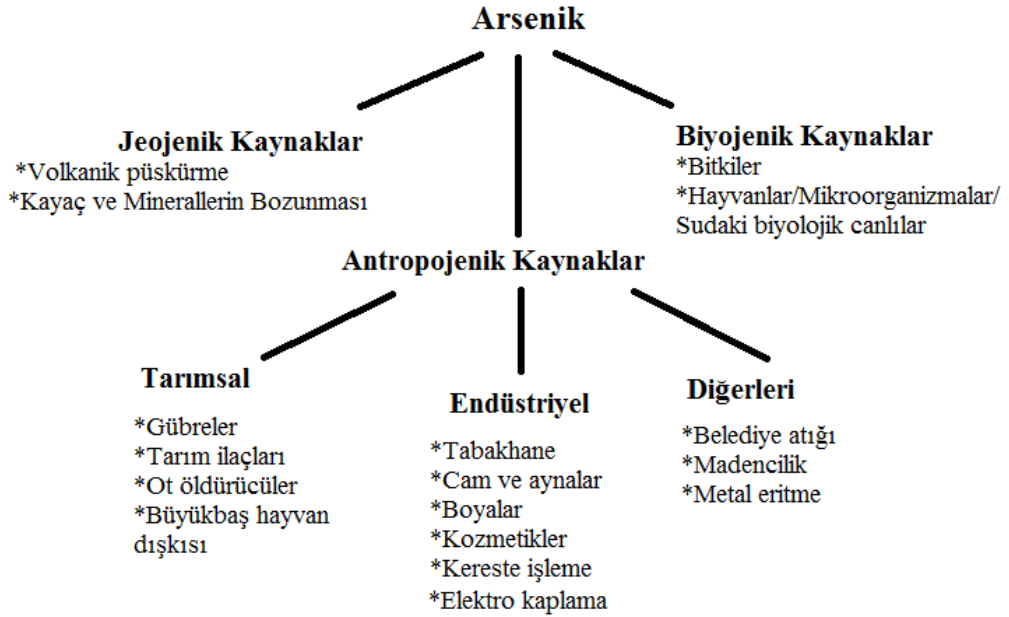


Şekil 2.3 Arsenik minerallerinin moleküler yapılarına iki örnek (O'Day 2006'dan değiştirilerek alınmıştır)

2.2 Arseniğin Kaynakları

Arseniğin kaynaklarını üçe ayırabiliriz (Şekil 2.4).

- 1-) Jeojenik Kaynaklar
- 2-) Biyogenik Kaynaklar
- 3-) Antropojenik Kaynaklar



Şekil 2.4 Toprak ve sucul ekosistemlerdeki başlıca arsenik kaynakları (Mahimairaja vd. 2005'ten değiştirilerek alınmıştır)

2.2.1 Jeojenik kaynaklar

Arsenik toprakta, bazı kaya türlerinde, yaygın olarak sülfürce zengin mineral kuşaklarında, kurşun ve bakır içeren mineral ve cevherlerde, epitermal altın yatakları içinde, jeotermal alanlarda, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yeraltı suyu hazne kayalarında, kıtasal açılma zonlarında bulunmaktadır. Doğada farklı ortamlardaki arsenik konsantrasyonları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Arseniğin doğal kaynakları arasında kaplıcalar, ılıcalar, volkanik kayalar, çöküntü kayaları (organik/inorganik killeri), başkalaşım kayaları, deniz suyu ve mineral çökeller yer alır (EPA 2003). Ayrıca volkanik hareketler, kaya erozyonu ve orman yangınları da arseniğin doğal kaynakları arasındadır (EPA 2003a).

Çizelge 2.2 Doğadaki Arsenik konsantrasyonları (US-EPA 2000)

Çevresel Ortam	Arsenik Konsantrasyon Aralığı
Hava (ng/m ³)	1.5-53
Kirlenmemiş okyanus havasından yağmur [µg/L]	0.019
Karasal havadan yağmur (µg/L)	0.46
Nehirler (µg/L)	0.20-264
Gölleri (µg/L)	0.38-1000
Yeraltı suyu (kuyu) (µg/L)	<1.0 ve >1000
Deniz suyu (µg/L)	0.15-6.0
Toprak (mg/kg)	0.1-1000
Nehir Sedimanları (mg/kg)	5.0-4000
Göl Sedimanları (mg/kg)	2.0-300
Magmatik Kayaç (mg/kg)	0.3-113
Metamorfik kayaç (mg/kg)	0.0-143
Sedimanter Kayaç (mg/kg)	0.1-490

Arsenik yaygın olarak doğada oksijen ve kükürt ile bağlandığından başta pirit (FeS_2) olmak üzere sülfür minerallerinin bileşiminde bulunma eğilimindedir. Pirit cevher kütlelerinin önemli bir bileşenidir ve indirgen koşullar altındaki düşük sıcaklık ortamlarında oluşmaktadır. Oksijenli ortamda duraylı olmayan pirit önemli oranda sülfat ve arseniği de içine alan bağlantılı eser bileşenleri açığa çıkararak demir oksitlere yükseltgenir. Sülfür mineralleri dışında arseniğin diğer bir önemli kaynağı ise arsenik içeren demir oksitlerdir. (Atabey 2009).

Sedimanter kayalarda arsenik konsantrasyonları magmatik ve metamorfik kayalara kıyasla daha yüksektir çünkü yüksek soğurmalı arsenik yüklerine sahip minerallerden daha çok miktarda içermektedir. Karbonat kayaları tipik olarak düşük konsantrasyonlarda As içerir ancak bazı kalkerler As içeren pirit içerebilir (Atabey 2009).

Arsenat minerallerde fosfatın yerini alabildiğinden, fosforit birikintileri önemli miktarlarda (yaklaşık 400 mg/kg'a kadar rapor edilen) As içerebilir. (Smedley ve Kinniburgh 2002). Denizel şeyller daha çok kükürt içirme eğilimine sahip olduğundan dolayı daha çok pirit içerirler ve yüksek arsenik konsantrasyonlarına sahiptirler. Kömür sahaları da yüksek oranda sülfür mineralleri içerdiğinden yüksek miktarda arsenik konsantrasyonları görülür. As içeriği yüksek kömürlerde As'ın ana kaynağı pirit iken, düşük As'lı kömürlerde As, organik madde ile ilişkili olma eğilimindedir. Genel olarak, konsolide olmayan sedimanter sistemlerde inorganik arseniğin varlığı, oksidasyon-redüksiyon, çökelme-çözünme, adsorpsiyon ve desorpsiyon gibi jeokimyasal reaksiyonlarla yakından ilişkilidir (Nickson vd. 2000).

2.2.2 Biyojenik kaynaklar

Bitkilerin, hayvanların, mikroorganizmaların ve sucul bitkilerin bünyelerinde arsenik bulunabilir.

2.2.3 Antropojenik kaynaklar

Doğadaki arsenik konsantrasyonu insan kaynaklı kirlenmeden de oluşabilir (Smedley ve Kinnuburg 2004, Arslan ve Çelik 2015). Bu kaynaklar yoğun gübreleme, tarım ilaçları, madencilik faaliyeti yapılan alanlar, sanayi atıkları, kimyasal atıklar, jeotermal işletme ve kaplıcaların atık suyundan oluşabilir.

Arsenik oluşumuna neden olan en önemli insan aktiviteleri arasında zararlı bitki ve böcekleri yok eden tarım ilaçlarının kullanımı ve madencilik faaliyetleri gelmektedir (Mandal ve Suzuki 2002, Moore 2005). Arsenik içeren pestisitlerin kullanımı arseniğin noktasal olmayan antropojenik kaynakları arasında yer almaktadır. Dünyada en çok kullanılan arsenik içeren pestisitler arasında kurşun arsenat ($Pb_3(AsO_4)_2$), kalsiyum arsenat ($Ca_3(AsO_4)_2$), magnezyum arsenat ($Mg_3(AsO_4)_2$), çinko arsenat ($Zn_3(AsO_4)_2$) ve çinko arsenit ($Zn(AsO_2)_2$) yer almaktadır (Wang ve Mulligan 2006).

2.3 Yeraltı Sularında Arsenik

Arsenikçe zengin yeraltı suları genel anlamda 4 farklı ortamda bulunabilir.

1-) Sülfür minerallerinin ayrışması ve maden alanlarındaki sülfürce zengin mineraller

Sülfür minerallerinin ayrışması ve toprak ortamına geçme mekanizmasını kontrol eden faktörler toprak nemi, pH, sıcaklık, çözünürlük, türlerin redoks özellikleri, türlerin CO_2/H_2O ile reaksiyon durumlarıdır (Ahuja 2008). Arsenopiritin oksijen ve suyun bulunduğu ortamlarda ayrışması reaksiyonu sülfürün (S) sülfata (SO_4^{-2}) ve arsenitin (As(III)) arsenata (As(V)) yükseltgenmesi aşağıdaki gibidir:



2-) Jeotermal alanlar

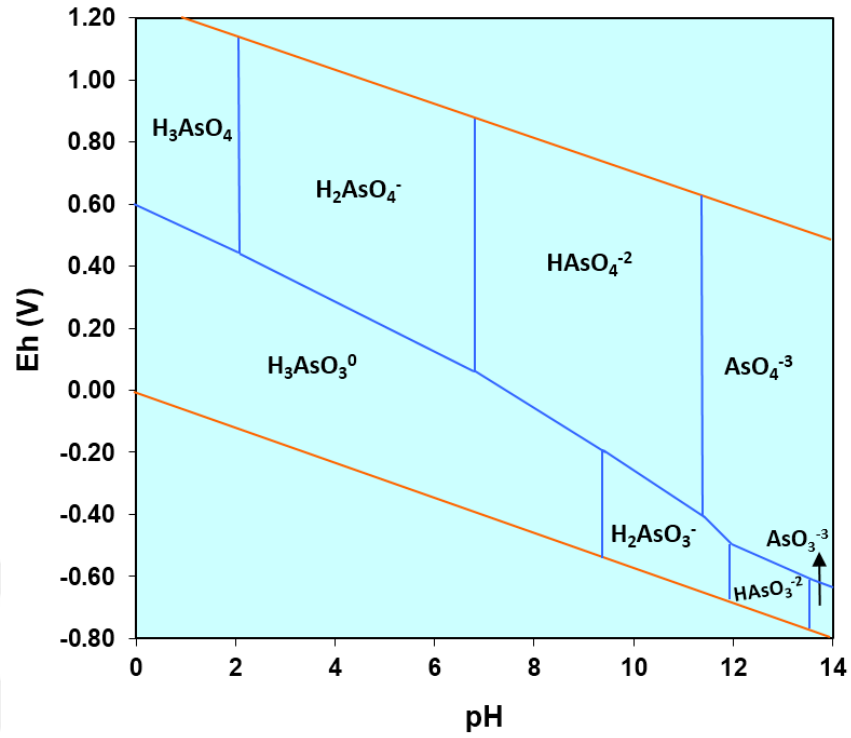
3-) Alüvyon düzlükleri ve deltadaki genç akiferlerden gelen anaerobik yeraltı suları

4-) Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki iç havzalar olmak üzere genç akiferlerdeki yüksek pH'lı yeraltı suyu ortamları

Maden sahalarında demir sülfür minerallerinin atmosferik oksidasyonu, katalizör görevindeki bakterilerin varlığı ve sonradan diğer metallerin (Fe, Zn vb.) sürece katılımıyla gelişen tepkimeler sonucunda asit maden drenajı oluşmaktadır. Asit maden drenajı ile birlikte yeraltısularında ağır metal kirliliği (As, Pb, Hg, Cd, Sb, Zn) oluşabilir. (Yücel ve Baba 2013).

As ve diğer metallerin canlı organizmalar üzerindeki toksisitesi, kimyasal türlerine bağlıdır. Arsenik, -3 (arsin), 0 (arsenik), +3 (arsenit) ve +5 (arsenat) olmak üzere dört oksidasyon durumuna sahiptir. Ancak, suda arsenik büyük çoğunlukla iki oksidasyon durumunda, yani As^{+3} ve As^{+5} olarak bulunur. As^{+3} (arsenit) As^{+5} 'ten (arsenat) daha toksiktir. Çünkü As^{+3} bazı proteinlere kolaylıkla bağlanıp hücre içerisine ilerleyebilmektedir. As^{+5} bu mekanizma ile hücre içine ulaşamadığı için As^{+5} +3 oksidasyon durumuna indirgenirse bu taşınım gerçekleşebilmektedir. Her zaman için daha kolay absorbe edilen formlar daha toksiktir (Molin vd. 2015).

Smedley ve Kinnuburg (2002)'e göre; Eh-pH sucul sistemlerde arsenik türlerini denetleyen en önemli etmendir. Yükseltgen (oksidasyon) koşullar altında düşük pH'ta (6,9 dan daha az) $H_2AsO_4^-$ egemen, yüksek pH'da $HAsO_4^{2-}$ egemendir. Aşırı asidik koşullarda $H_3AsO_4^0$ önemli olurken, bazik koşullarda AsO_4^{3-} bulunabilir. pH'ın 9,2'den daha az olduğu indirgen koşullarda ise yüksüz arsenit türü olan $H_3AsO_3^0$ egemendir. Aşırı indirgen koşullarda doğal arsenik bulunabilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Arseniğin Eh ve pH diyagramı (Smedley ve Kinnuburg 2002)

Akiferlerde arsenik mobilitesini kontrol eden süreçler incelendiğinde, bu süreçlerin başlıca iki kategoride toplandığı görülür. Bu kategoriler;

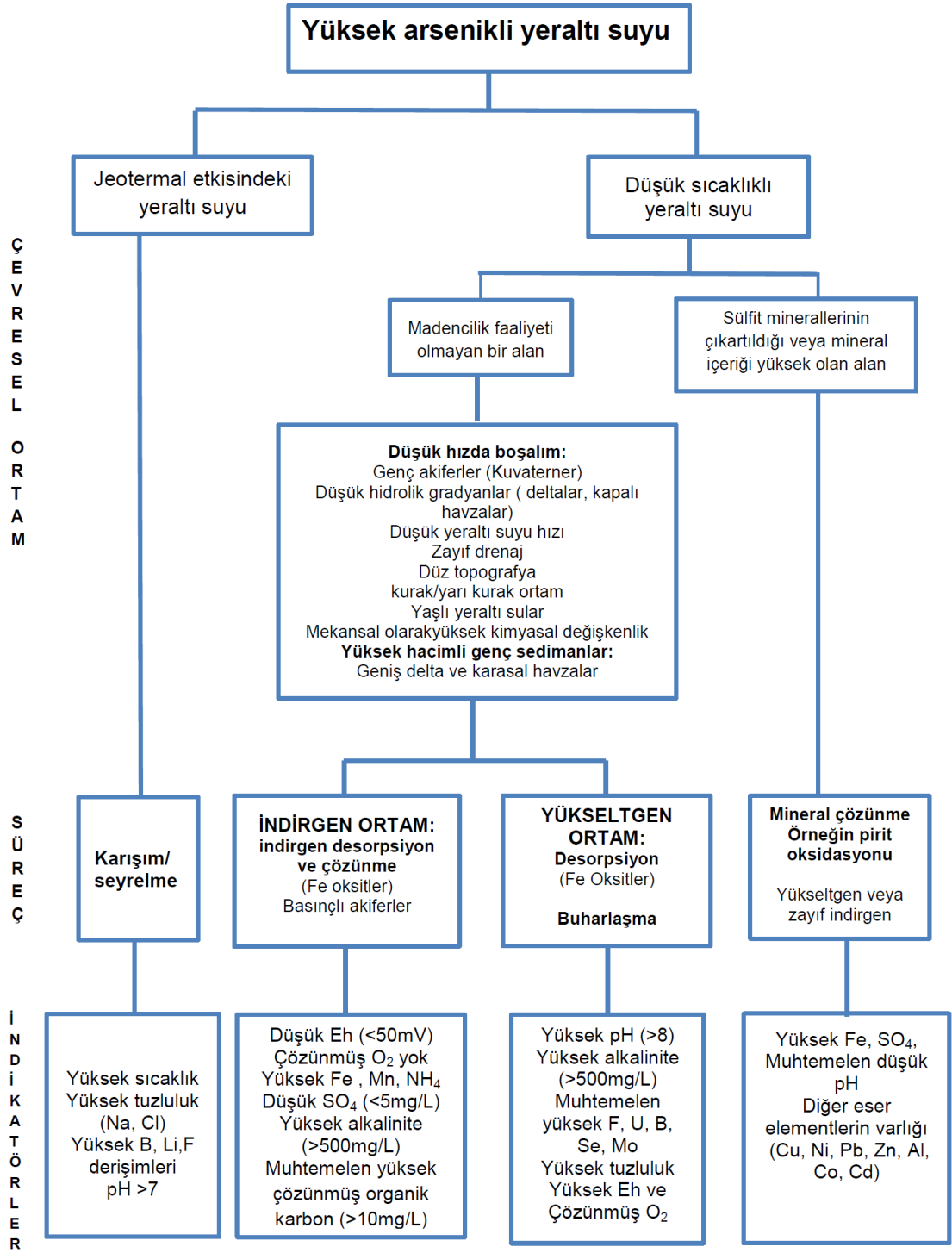
- 1) Adsorpsiyon ve desorpsiyon reaksiyonları
- 2) Katı faz çökelme/çözünme reaksiyonlarıdır.

Birinci kategorideki reaksiyonlar genellikle pH değişiklikleri, redoks reaksiyonları oluşumu, atomik düzeyde katı faz yapı değişiklikleri gibi durumlardan etkilenirler. Dzombak ve Morel (1990) ve Waychunas vd. (1993) tarafından yapılan çalışmalarda, arsenat ve arsenitin akifer materyelinin (demir oksitler, alüminyum oksitler, kil mineralleri) yüzeyine tutunabildiği görülmüş ve arsenat ve demir oksit yüzeyleri arasındaki adsorpsiyon ve desorpsiyon reaksiyonlarının demir oksitlerin hidrojeolojik ortamda yaygın olarak kayaçları kaplamaları nedeniyle oldukça önemli kontrol edici reaksiyonlar olduğu belirtilmiştir. Bunun yanı sıra arsenatın asidik ve nötr pH ortamında demir oksit yüzeylerine kuvvetle tutunurken alkalın koşullarda yüzeyden ayrılarak suya karıştığı tespit edilmiştir (Fuller ve Davis 1989, Dzombak ve Morel 1990). Arsenik mobilitesini kontrol eden süreçlerden ikinci kategoride yer alanların genellikle çözelti

kimyası (pH, redoks durumu, ve kimyasal bileşim) tarafından kontrol edildikleri belirlenmiştir. Bu kategoride arsenik genellikle demir oksitle birlikte çöktüğünden dolayı belli durumlarda (örneğin, demir oksitler kuvvetli asidik ve kuvvetli indirgen ortamlarda çözünürler) demir oksitin yeraltı sularında arsenik konsantrasyonlarının artmasına veya azalmasına neden olabildiği belirtilmiştir (Waychunas vd. 1993).

Smedley ve Kinniburgh (2002) tarafından doğal arsenik kirliliğine meyilli yeraltı suyu ortamlarının sınıflandırılması Şekil 2.6'da verilen şemadaki gibidir. Bu şemada farklı çevresel ortamlar, farklı süreçler ve yeraltı sularında arsenik kirliliği tespit edilmiş bölgelerdeki çarpıcı ortak özellikler verilmiştir.

Endüstriyel atıklar, tarım ilaçları ve pestisitlerin kullanımıyla arsenik yeraltı sularına sızar ve bir kısmı bitkiler tarafından bünyelerine alınır. Volkanların püskürmeleri, kayaçların bozulması ve orman yangınları ile birlikte arsenik yeraltı sularına ve atmosfere karışır, atmosferden yağışlarla birlikte tekrar yeryüzüne gelerek yüzey ve yeraltı sularına katılır. Antropojenik ve doğal kaynaklar ile kirlenen yeraltı suları, yüzey suları ve yiyeceklerin tüketilmesi sonucu insanlar arsenik kirliliğine maruz kalır.



Şekil 2.6 Doğal arsenik kirliliğine meyilli yeraltı suyu ortamlarının sınıflandırılması (Smedley ve Kinnuburg 2002)

2.4 Önceki Çalışmalar

Erol (1961) Ankara civarının jeolojisini çalışmış ve 1963'te "Ankara ve Mürted Ovalarında alüvyal morfoloji ile yeraltı suları arasındaki ilgi" isimli bir çalışma yapmıştır (Erol 1963).

MTA adına Serruya tarafından hazırlanmış 1961 tarihli "Mürted Ovası Hidrojeolojik Etüdü" adlı raporda, ovanın yeraltı suyu imkanları araştırılmış ve özellikle alüvyon akiferin rezervi üzerinde durulmuştur. Bu çalışma inceleme alanının bir kısmını kapsamaktadır (Serruya 1961).

DSİ tarafından hazırlanan 1976 tarihli "Mürted Ovası Hidrojeoloji Etüd Raporu" içerisinde inceleme alanının Genel Hidrojeoloji özelliklerine değinilmiştir (DSİ 1976).

1980 yılında MTA tarafından hazırlanan "Ankara-Çubuk-Kızılcahamam-Kazan Alanının jeolojisi ve jeotermal Enerji olanakları" adlı raporda, inceleme alanını da kapsayan geniş bir jeoloji çalışması yapılmıştır.

Demirkıran (2002), Ankara ili, Kazan ilçesinde yer alan Ovaçay havzasının güney-batı bölümünde bulunan 654 km²'lik bir alanda yeraltı sularının kirliliğe karşı duyarlılığını DRASTIC yöntemi ile incelemiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen hidrojeolojik araştırmalar ile bölgede akifer niteliği taşıyan iki birimin bulunduğu ve Kuvaterner alüvyon birimlerin serbest akifer, Pliyosen birimlerin ise basınçlı akifer özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında yapılan kirliliğe karşı duraylılık haritalama çalışmasının yeraltı su seviyelerindeki değişimleri de değerlendirerek iki farklı dönem için gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada DRASTIC metodu için gerekli olan verilerden vadoz kuşak ve hidrolik iletkenlik katmanları kuyu logları ve kuyu testleri kullanılarak oluşturulmuştur. Akiferler için yıllık beslenme miktarları SCS-CN yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bu yöntemle elde edilen sonuçlara göre akiferlere yıllık ortalama yağışın %9'u ile %25'i arasında beslenme gerçekleştiği ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında 2001 yılı için yeraltı suyu

derinliğine bağılı olarak hazırlanan potansiyel kirlenebilirlik haritasına göre bölgede kirlenebilirlik indisinin 13-182 arasında değiştiği saptanmıştır.

Kavaklı (2002), inceleme alanının iklim tipini Thorntwaite yöntemi ile belirlemiş, akiferin hidrojeoloji karakteristiklerini yapılan pompa deneyleri ile belirlemiş, akiferin beslenme ve boşalım koşullarını incelemiş, suların kimyasal bileşimlerini belirlemiş ve bölgede yapılan kum-çakıl madenciliğine dikkat çekmiştir. Bölgede yapılan kum çakıl madenciliğinin Ova çayının akış rejimini bozduğunu, verimli tarım alanlarının tahrip edildiğini ovadaki yeraltı suyu rezervinin korunması ve doğal çevreye verilen zararın engellenmesi için bu ocakların ruhsatlarının iptal edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca bölgedeki atık problemlerinden bahsedilmiştir.

Kazan Havzası'nda İncirlik ve Fethiye köyleri civarında bulunan ve 1998 yılında Rio Tinto tarafından keşfedilmiş doğal bir mineral olan trona rezervi üstünde oluşmuş akifer sisteminin detaylı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemesi Yazıcıgil (2001), SRK (2001) ve SRK (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Arslan (2008) Kahramankazan havzasındaki kompleks akifer sisteminin beslenme ve boşalım mekanizmalarını oksijen, hidrojen ve karbon elementlerinin çevresel izotopları, kloroflorokarbonlar ve asal gazlar aracılığıyla belirlemiştir. Bu kompleks sistemin sığ, orta ve derin olmak üzere üç akifere oluştuğunu, orta ve derin akifer sistemlerine farklı iklim koşullarında beslenme olduğunu, bu beslenimin günümüz koşullarından daha soğuk bir ortamda gerçekleştiğini, sığ akifer sisteminde günümüz koşullarında beslenme olduğunu belirtmiştir. Sığ akifer sisteminde ölçülen toplam helyum konsantrasyonlarında manto katkısı bulunduğundan dolayı bu gazın mantodan kaçışı ve sığ akiferde gözlenmesi nedeniyle derin bir fay sisteminin varlığından bahsetmiştir.

Apaydın (2011), Ankara Kazan Ovası'nda kum-çakıl madenciliği ve aşırı yeraltı suyu çekiminin etkisini ve yeraltı suyu sisteminin tepkisini açıklamak için çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, 1970'lerde ova yüzeyinden itibaren yeraltı suyu seviyesinin 0 ile 5 m arasında değişmekte olduğunu, son 25-30 yılda kum-çakıl ocaklarının geniş ve derin

kazıları nedeniyle, akiferin bazı yerlerde incelmesini ve tamamen kalktığını ayrıca aşırı çekimin son yıllarda özellikle ovanın orta ve üst kesimlerinde yeraltı suyu seviyesinin düşüşünü hızlandırdığını belirtmiştir. 2009 yılı itibarıyla ocaklar tarafından kaldırılan akifer alanının toplam hacminin yaklaşık %12'sinin ve yeraltı suyu tablasının 5 ila 20 m arasında azaldığını, su tablasının düşüşünün, aşırı çekimin gerçekleştiği bölgelerde 15-20 m'ye ulaşmakta olduğunu yeraltı suyu sistemine yönelik tehlikeleri azaltmak için kum-çakıl ocaklarının derhal yasaklanması, bu bölge için bir ıslah projesi uygulanması ve su çekiminin azaltılması gerektiğini belirtmiştir.

Apaydın vd. (2021), Ankara Kahramankazan Havzasında 1980'lerde başlayan kum çakıl madenciliğinin Kazan Ovası kum çakıl akiferine zarar verdiğini ve üretim kuyularının aşırı kullanımının özellikle 2000'li yıllarda yeraltı su seviyelerinde kayda değer düşüşlere neden olduğunu belirtmiştir. Ovanın orta ve mansap bölgesinde, alüvyal akiferin etrafındaki evaporit içeren göl oluşumundan tuzlu suların geldiğini ancak alüvyal akiferin aşırı kullanım ve kum-çakıl madenciliğine maruz kalmadan önce, su kalitesinin günümüzden daha iyi olduğunu belirtmiştir. Ova çayı ve Kurtderesi nehirlerinin, havzanın yüksek kotlarından beslenerek ovaya tatlı su getirdiğini ancak Kurtboğazı Baraj Gölü'nde tatlı suyun depolanmasının, özellikle ovanın mansap bölgesinde yeraltı suyu kalitesini olumsuz etkilediğini belirtmiştir.

2.5 Dünyada Yeraltı Sularında Çözünmüş Arsenik

Dünyanın çeşitli yerlerindeki çok sayıda akiferde, 50 µg/lt 'in üzerinde konsantrasyonlarda As'ten kaynaklanan sorunlar tespit edilmiştir. As problemlerinin en çok görüldüğü ülkeler; Arjantin, Bangladeş, Şili, Çin, Macaristan, Hindistan (Batı Bengal), Meksika, Romanya, Tayvan, Vietnam ve ABD (özellikle GB)'dir.

Alüvyon ve delta akiferindeki yeraltı sularında arsenik kirliliğinin görüldüğü ülkeler; Bangladeş, Batı Bengal, Kuzey Çin, Tayvan, Vietnam, Nepal, Macaristan ve Romanyadır. Bu ülkelerdeki arsenik sorunu (Bangladeş, Batı Bengal) genellikle alüvyon akifere açılan sığ kuyulardan kaynaklanmaktadır. Sülfür mineralizasyonu ve madenciliğe bağlı arsenik sorunu yaşayan ülkeler; ABD'nin bir kısmı, Kuzey Meksika, Güneybatı

İngiltere, Tayland, Yunanistan, Brezilya, Portekiz, Gana, Avustralya sayılabilir. Jeotermal alanlarda arsenik kirliliğinin görüldüğü ülkeler arasında Japonya, Yeni Zelanda, Batı ABD (Yellowstone) vardır.

Dünyadan bazı örnekler;

Kuzey Arjantin'de Cordoba eyaletindeki Monte Quemado'da arsenik kirliliği rapor edilmiştir (Astolfi vd. 1981). Arseniğe bağlı deri hastalığı ve kanser oluşumu ilk olarak 1955'te fark edilmiş, yaklaşık 10.000 nüfuslu Cordoba'daki gözlemlerden, içme suyu yoluyla düzenli olarak alınan arsenik miktarının 100 $\mu\text{gAs/l}$ 'i aşması ile zehirlenme belirtilerinin ortaya çıktığı ve bünyeye arsenik alımının cilt kanserine neden olduğu sonucuna varılmıştır (Astolfi vd. 1981, Hopenhayn-Rich vd. 1998).

Macaristan'da yapılan çalışmalarda 1941 ile 1983 yılları arasında kuyu suyunda 60–4000 $\mu\text{g/L}$ arasında değişen arsenik gözlenmiştir (Egyedi ve Pataky 1978, Nagy ve Korom 1983). Birkaç bin kişide arsenik zehirlenmesi belirtileri ve melanoz, hiperkeratoz, cilt kanseri, bronşit, gastroenterit veya hematolojik anomalliler görülmüştür (Pataky ve Lusztig 1958).

Sheikhi vd. (2020)'nin İran'ın Hashtroud kentinin kırsal kesimlerinde yeraltı suyunda arsenik dağılımının ve sağlık risklerinin inceledikleri çalışmada 37 köyde 51 lokasyondan alınan numunelerin % 78'inde (51 numunenin 40'ı) arsenik tespit edildiği bildirilmiştir. Arsenik ile kirlenmiş bölgelerin % 40'ından alınan örneklerde 10 $\mu\text{g/L}$ 'lik kılavuz değerin üzerinde çözünmüş arsenik tespit edildiği, en yüksek değerin 245 $\mu\text{g/L}$ olduğu ve çalışma alanındaki su kaynaklarının içme ve hijyenik amaçlara uygun olmadığı belirtilmiştir (Sheikhi vd. 2020).

Mukherjee vd. (2021) tarafından Random forest model kullanarak Hindistan'daki yeraltı suyunda arseniğin modellenmesi yapılmış ve tahminen ~ 90 milyon insanın içilebilir limitin üzerinde ($\geq 10 \mu\text{g/L}$) arsenik içeren bölgelerde yaşadığı ancak model tahminlerine göre çok daha yüksek bir nüfusun (268 milyon) risk altında olabileceği öne sürülmüştür.

Sahada gözlemlenen verilere göre, en yüksek tehlikeye sahip beş eyalet; Batı Bengal, Bihar, Uttar Pradesh, Assam ve Punjab olarak belirlenmiştir.

2.6 Türkiye’de Yeraltı Sularında Çözünmüş Arsenik

Ülkemizde doğal inorganik arsenik saptanan yerler çoğunlukla jeotermal kaynaklar ve madencilik faaliyetlerinin bulunduğu alanlardır.

İç Anadolu ve İç Ege Bölgelerindeki kapalı havzalar arsenik oluşumuna uygun alanlardır. Batı ve Orta Anadolu graben sistemlerine ve kırık hatlarına bağlı jeotermal kaynaklardan tatlı yeraltı sularına arsenik katılımı olmaktadır. Metalik madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlar da yüksek arsenik konsantrasyonlarının görüldüğü yerlerdir (Atabey 2009).

Kütahya-Emet ve Bursa-Orhaneli akarsu havzalarının, bölgedeki ana borat minerali olan kolemanit madenciliği ile karakterize olduğu ve diğer küresel borat yataklarının aksine, bu bölgenin kolemanitinin arsenik mineralleri (realgar ve orpiment) içerdiği ve Emet çayında arsenik konsantrasyonlarının 1,88–1907 µg /L, Orhaneli çayı için ise 5,17 ile 116 µg /L arasında değiştiği tespit edilmiştir (Omwene vd. 2019). Kütahya Simav ovasında yüzey akiferinde açılan 27 kuyudan alınan örneklerde maksimum 561,5 µg/L olmak üzere ortalama 99,1 µg/L arsenik konsantrasyonuna rastlanmış olup, bölgedeki metamorfik kayaçların içinde arsenik içeren mercceklerin bulunduğu önemli miktarda sülfür mineralleri içerdiği görülmüştür. Ayrıca geçmişte aynı formasyonda bir Cu – Pb – Zn madeninin işletildiği de tespit edilmiştir (Gündüz vd. 2010).

Balıkesir Bigadiç ilçesindeki bor madenlerinin çevresel etkilerini belirlemek için yapılan çalışmada maden çevresindeki yeraltı sularında bor ve arsenik tespit edilmiş, yeraltı suyu örneklerindeki arsenik miktarı 33 ile 911 µg /L arasında bulunmuştur (Gemici vd. 2008).

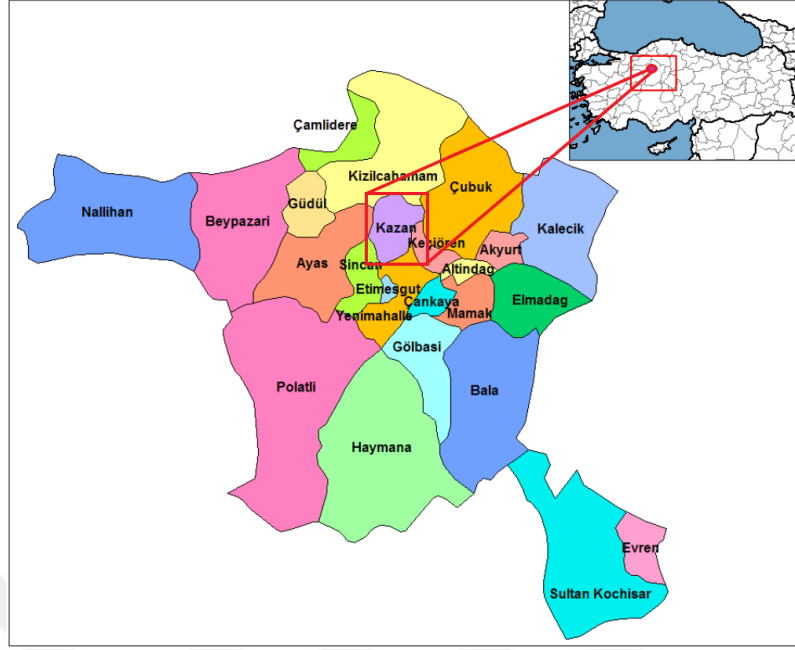
Arslan vd. (2013) Köprüören Havzası’da (Kütahya) yapılan çalışmada Gümüşköy’de bulunan gümüş madeni faaliyetleri sonucunda yüzey ve yeraltı sularında As, Cd, Pb, Sb

ve Zn kirliliği meydana geldiğini ve kaynak noktalarında 47 µg/l'ye kadar, kuyularda ise 33 µg/l'ye kadar çözünmüş arsenik bulunmuştur.

Kayseri'de bulunan Develi Kapalı Havzası yeraltı sularında belirlenen maksimum arsenik konsantrasyonları kurak dönemde 593 µg/l, yağışlı dönemde ise 774 µg/l olarak belirlenmiş ve kirliliğin volkanik kayaların doğal olarak bünyelerinde barındırdıkları arsenik dahil bazı ağır metallerin su-kayaç etkileşimi sonucunda suya geçtiği ve kirliliğin jeojenik kökenli olduğu belirtilmiştir (Arslan vd. 2017).

2.7 Çalışma Alanı Hakkında Genel Bilgi

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesi'nde Sakarya Havzası içinde Ankara ilinin kuzeybatısında yer alan Kazan Havzası'nın tümünü kapsamaktadır (Şekil 2.7). 1988 yılında ilçe olan Kahramankazan'ın doğusunda Keçiören ve Çubuk ilçeleri, batısında Ayaş ilçesi, güneyinde Sincan ve Yenimahalle ilçeleri kuzeyinde ise Kızılcahamam ilçesi ile çevrili olup, 48 mahallesi mevcuttur. Kazan Havzası'nın alanı yaklaşık 1.550 km²'dir. (Apaydın vd. 2021). İlçe arazi yapıları bakımından genellikle düz arazilere sahiptir. Ankara ilinin en büyük ovalarından biri olan Akıncı ovası ilçe sınırları içerisinde yer almaktadır. İlçenin tek akarsu kaynağı olan Ova çayı bu ovanın içinden geçmektedir. Ancak çay üzerinde bulunan kum ocakları, akarsu yatağını toprak seviyesinin çok altına düşürmesi sebebi ile akarsudan sulama amaçlı yararlanmak imkansız hale gelmiştir.



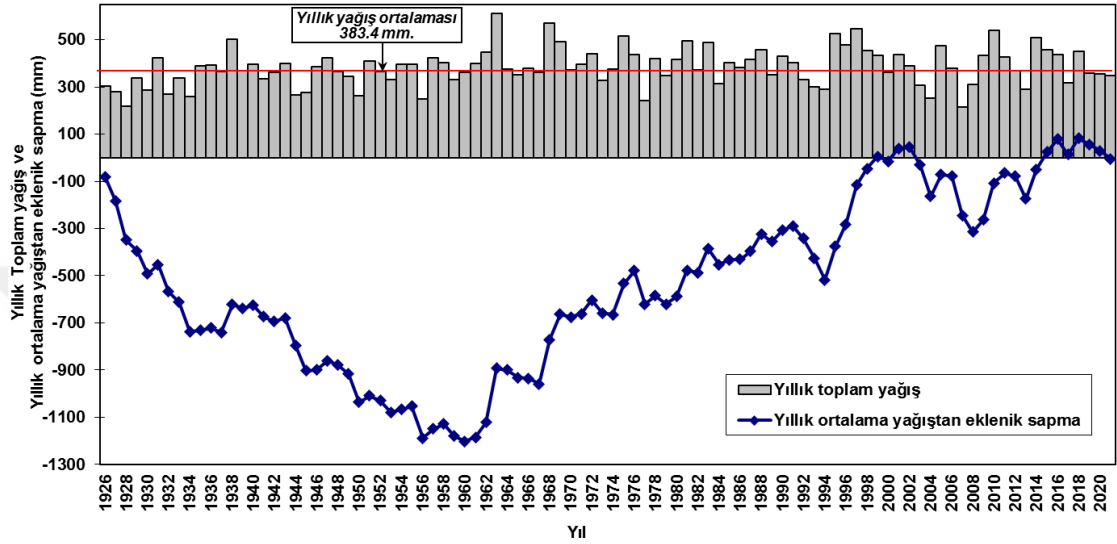
Şekil 2.7 Kazan ilçesi yer bulduru haritası

Bölgede 1998 yılında Ankara'nın Kazan ve Sincan ilçe sınırları içerisinde trona cevheri keşfedilmiştir. Değerli bir maden olan tronayı çıkarmak, işletmek ve ekonomiye kazandırmak amacıyla Ciner Grubuna ait Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş 11 Şubat 2011 tarihinde kurulmuştur. Kazan Soda tesisinde çözelti madenciliği kullanılarak trona madeninden ağır soda külü ve sodyum bikarbonat üretilmektedir (<https://www.cinergroup.com.tr/cam-ve-kimyasallar/kazan-soda-elektrik>).

2.7.1 İklim

Kazan İlçesi iç Anadolu bölgesinde yer aldığından bu bölgenin yarı kurak iklim karakteristiğini göstermektedir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk geçmektedir. Yağış genelde kış ve bahar aylarında düşmektedir (Kahramankazan Kaymakamlığı İlçe, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Brifing Raporu 2017). Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Ankara istasyonu (17130 nolu istasyon) için temin edilen uzun yıllar (1926-2021) sıcaklık, buharlaşma, nispi nem ve yağış verilerine göre nispi nem %60 civarında, yıllık toplam buharlaşma 1213 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 11.71°C'dir.

Uzun yıllar yıllık ortalama yağış ise 383.4 mm'dir (Şekil 2.8). Yıllık ortalama yağıştan eklenik sapmaya göre (Şekil 2.8) Ankara'da 1926- 1960, 1990-1994 ve 1998-2004 yılları arasında kurak dönem, 1960-1990 ve 1994-1998 yılları arasında yağışlı dönem, 2004 yılından günümüze ise nispeten kararlı bir dönem yaşanmıştır.



Şekil 2.8 Meteoroloji Genel Müdürlüğü 17130 nolu Ankara istasyonu için yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği

2.7.2 Bitki örtüsü ve toprak yapısı

Arazinin tarım yapılan kesimlerinde toprak yapısı değişmekle birlikte Ova çayının çevresi kumlu, hafif toprak yapısına sahiptir. Bazı yerlerde ise killi-kumlu ağır topraklara rastlanmaktadır. İlçe toprakları organik madde bakımından fakirdir. Buna bağlı olarak özellikle azot ve fosfor eksikliği görülmekteyken potasyum toprakta yeterli miktardadır. Toprakta kireç miktarı yüksek olup buna bağlı olarak da Fe (Demir) eksikliği kendini göstermektedir. Toprağın pH'ı 7 ve üzerinde olup alkali karakterlidir. Bitki örtüsü bozkırdır. (Kahramankazan Kaymakamlığı İlçe, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü Brifing Raporu 2017).

2.7.3 Genel jeoloji

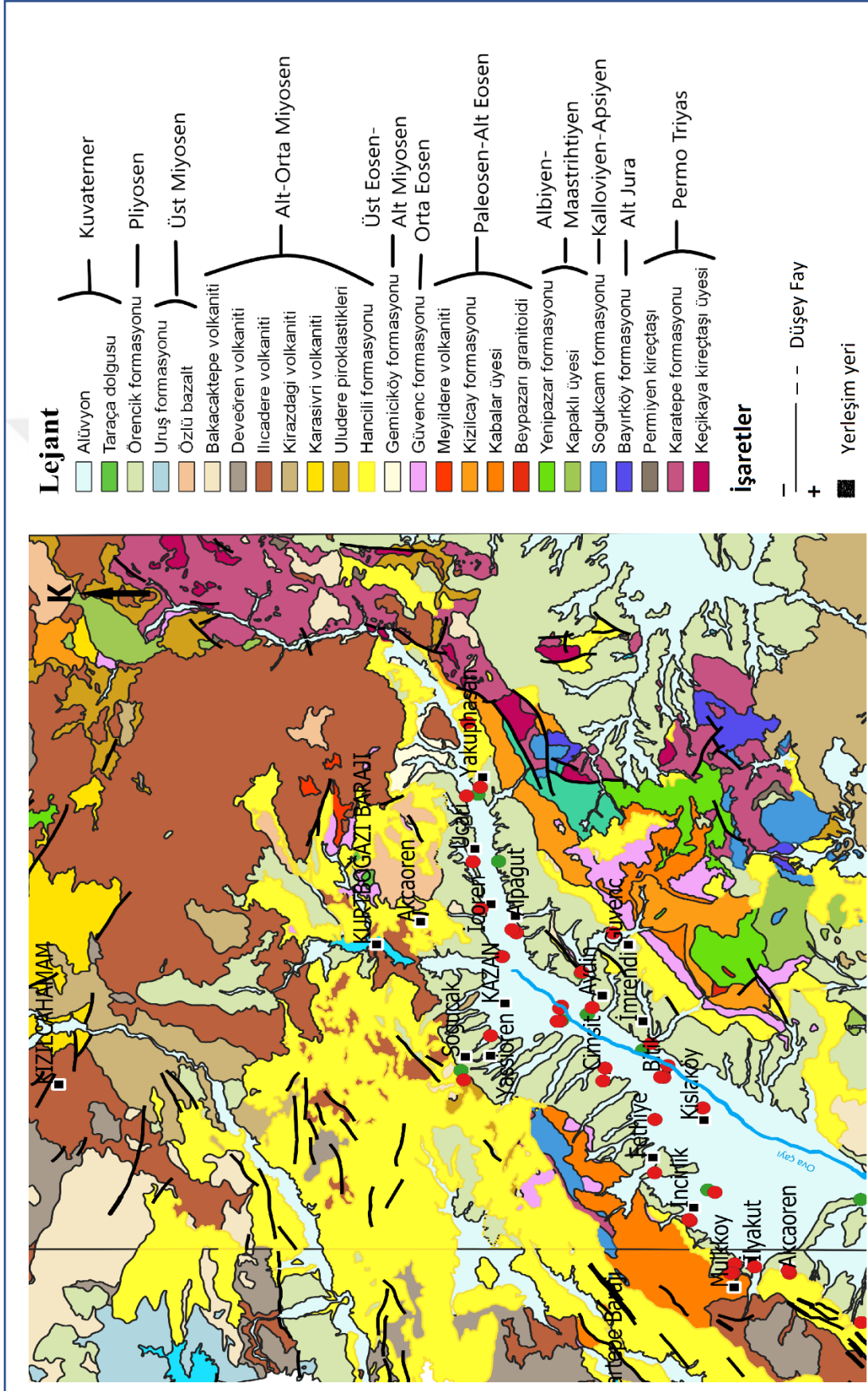
Çalışma bölgesindeki stratigrafik birimler Sakarya zonu ve genç örtülere aittir ve Permo-Triyas-Kuvaterner yaş aralığındaki birimler yayılım göstermektedir (Şekil 2.9; Altun vd. 2002, Duru ve Aksay 2002).

KB Orta Anadolu’da yer alan Ankara’nın batısındaki Neojen öncesi temel birimler, kabuktaki daralmanın etkisiyle yükselerek Neojen ve daha genç sedimanter birimlerin deforme olduğu bir tektonik kama yapısı oluşturur. Eş yaşlı olarak doğu kenarı bindirme/ters, batı kenarı ise normal faylarla sınırlı bu yapı Abdüsselam Kısıtlanmış Tektonik Kaması (AKTK) olarak adlandırılmıştır. AKTK’nin çevresinde ve kuzey ve güney devamında yer alan Neojen ve daha genç birimlerdeki daralmayla ilişkili deformasyon yapıları, bölgede Orta Pliyosen’den günümüze KB-GD yönlü bir daralma rejiminin etkin olduğunu gösterir (Esat vd. 2017). Ankara’nın batı bölümü ve yakın çevresinde yapılmış önceki çalışmalarda neotektonik rejimin niteliğiyle ilgili farklı görüşler bulunmaktadır. Rojay ve Karaca (2008) Galatya volkanik bölgesinin güneyinde gerçekleştirdikleri çalışmada, Pliyosen’den itibaren bölgede genişlemeli bir rejimin etkin olduğunu; Esat vd. (2017) Orta Pliyosen sonrasında bölgede KB-GD yönlü bir daralma rejiminin etkin olduğunu ve Ankaranın batısında yer alan bu kama yapısının aktif faylarla ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Tezin bu kısmında verilen tüm bilgiler MTA (Altun ve diğ. 2002, Duru ve Aksay 2002) tarafından hazırlanmış 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Bolu- H28 ve Bolu H29 paftaları raporlarından yararlanılmıştır. Stratigrafi istifinin temelinde Karakaya grubu bulunmaktadır. Karakaya grubu Permo-Triyas yaşlı olup Karatepe formasyonu ve bu formasyona ait Orta-Üst Triyas yaşlı Keçikaya kireçtaşı üyesi ve Permian-Karbonifer yaşlı kireçtaşı bloklarından oluşur. Karatepe formasyonu üzerine transgresif karasal-sığ denizel Liyas yaşlı Bayırköy formasyonu uyumsuz olarak gelir (Şekil 2.9). Bayırköy formasyonu üzerine Soğukçam formasyonu paralel uyumsuzlukla gelmektedir. Soğukçam formasyonu Kalloviyen-Apsiyen yaşlı ve yarı pelajik kireçtaşlarından oluşur. Bu birimlerin üzerinde Apsiyen-Maastrichtiyen yaşlı Yenipazar formasyonu gelir. Bu birim yamaç-havza çökellerinden oluşur ve üste doğru sığlaşır. İçinde ofiyolitik kayalar

olistolit ve olistostromları taşır. Olistostramal seviyeler Kapaklı üyesi olarak adlandırılmıştır. Bu birimlerin üzerine Beypazarı granitoyidi onun üzerine de karasal, Paleosen yaşlı Kızılçay formasyonu gelir. Kızılçay formasyonunun gölsel kireçtaşı ve kilaşlarından oluşan üst seviyeleri Kabalar üyesi olarak ayırtlanmıştır. Kızılçay formasyonunun üzerine andezitik volkanik faaliyet ürünü olan Meyildere volkanitleri gelmektedir (Şekil 2.9). Bu birimlerin üzerine sığ denizel kireçtaşlarını içeren Üst Lütésiyen yaşlı Güvenç formasyonu gelir.





Şekil 2.9 Çalışma alanına ait jeoloji haritası (Altun vd. 2002 ve Duru ve Aksay 2002’ den değiştirilerek alınmıştır)

Lütesiyenden sonra karasallaşmaya başlayan bölgede, ilk karasal birim olan Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı Gemiciköy formasyonu gelir. Galatya masifi olarak adlandırılan Alt-Orta Miyosen yaşlı volkanitler alttan üste doğru Karasivri, Kirazdağı, Ilıcadere, Deveören ve Bakacaktepe volkanitleridir. Bu volkanitler birbirleriyle iç içe geçmiş durumdadır. Bu volkanitlerin piroklastik malzemeleri Uludere piroklastiklerini oluşturur. Uludere piroklastikleri ve volkanitlerin üzerinde yer alan gölssel ortam ürünleri Hançili formasyonunu oluşturmaktadır. Üst Miyosen yaşlı Özlü bazaltı alttaki volkanitleri de kesen bazaltik volkanitleri oluşturur. Karasal-gölssel çökellerden oluşan Örencik formasyonu Pliyosen yaşlıdır ve kendisinden önce gelen tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Örencik formasyonu üzerinde Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimi bulunmaktadır (Şekil 2.9).

Çalışma alanında yer alan birimler ve özellikleri aşağıda kısaca özetlemiştir. Bu özet Altun ve diğ. 2002 ve Duru ve Aksay 2002 raporlarından alınmıştır. Raporlardaki öncel çalışmalara burada değinilmemiştir.

Karatepe Formasyonu: Bu birim kahverengi konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl, aglomera, tuf, spilitik bazalt ve kireçtaşı aralanmalıdır. İstif içerisinde Karbonifer ve Permian yaşlı farklı boyutta kireçtaşı blokları vardır. Tektonik faaliyetlerden oldukça etkilenmiş olan birim içerisinde başlıca tektonik hatlara yakın olan yerlerde metamorfizma etkileri mevcuttur. Formasyonun üst kısımlarını temsil eden orta- kalın tabakalı kireçtaşları Keçikaya kireçtaşı üyesi olarak ayırtlanmıştır.

Keçikaya Kireçtaşı Üyesi: Karatepe formasyonunun üst kısımlarında bulunan rekristalize kireçtaşları Keçikaya kireçtaşı üyesi olarak adlandırılmıştır. Keçikaya kireçtaşı üyesi gri, pembemsi, beyaz renkli, kırıklı ve kalsit dolgulu çatlaklı rekristalize kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları alttaki Karatepe formasyonu volkanitleri ile girift haldedir. Daha üst seviyelerde iri taneli rekristalize kireçtaşları görülmektedir. Bu kireçtaşları içerisinde dolomitik kireçtaşları da bulunmaktadır. Birimin alt sınırı Karatepe formasyonu ile geçişliken üst sınırı Bayırköy formasyonu ile aşıl uyumsuzlukla

örtölmüş durumdadır. Üye içerisinde fosiller barındırır ve Orta Triyas yaşlıdır. Birimin kalınlığı 80-100 m arasında değışmektedir.

Permien Yaşı Kireçtaşı Blokları: Karatepe formasyonu içerisinde farklı boyutlarda (metre- birkaç kilometre) beyaz, bej ve gri renkli, fosil içeren kireçtaşları yer almaktadır. Bu kireçtaşlarında Alt-Üst Permien yaş aralığında çok sayıda fosile rastlanmıştır. Görünür kalınlığı 600-1000 m arasında değışen bu formasyonun üst sınırı Bayırköy formasyonu tarafından açısal uyumsuzlukla örtölmektedir.

Bayırköy Formasyonu: Liyas yaşlı formasyon kırmızı, yeşilimsi gri, kahverengimsi renkli, ince-orta-kalın tabakalı ve/veya masif, bol çapraz tabakalı kumtaşlarından oluşur. Konglomera, çamurtaşı, silttaşı ve şeyller istifte ara katkılar olarak görölmekle birlikte, yer yer de hakim kaya türlerini oluşturmaktadır. Bayırköy formasyonu tabanında düzensiz tane boyu dağılımlı, köşeli ve iri boyutlu (2 cm – 40 cm) konglomeralar görölmektedir. Beyaz, kırmızı pembe renkli içerisinde fosil bulunduran yumrulu kireçtaşları formasyonda mercekler halinde bulunur. Bayırköy formasyonunun kalınlığı yer yer değışmektedir, istifin kalınlığı en fazla 300 m'dir. Birim alttaki Karatepe formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmişken üstteki Soğukçam formasyonu tarafından paralel uyumsuzlukla örtölmüş durumdadır. Fosil açısından oldukça zengindir.

Soğukçam Formasyonu: Kalloviyen Apsiyen yaşlı olan yamaç havza ortamında çökelen Soğukçam formasyonu beyaz, krem, pembemsi renkli, porselenimsi görünümlü, ince-orta tabakalı, bol kıvrımlı yarı pelajik kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları içinde çökelmiş çört yumruları ve ara bantları mevcuttur. Formasyonun üst seviyelerinde kil oranındaki artışa bağılı olarak birim marn-killi kireçtaşı ardalanması dönüşmektedir. Formasyon Bayırköy formasyonunun üzerinde paralel uyumsuz olarak bulunmaktadır ve üstte Yenipazar formasyonu ile uyumsuz dokanaklıdır. Takriben 150-200 m kalınlığına sahip olan formasyon bol miktarda planktonik ve bentik fosil içerir.

Yenipazar Formasyonu: Yenipazar formasyonu grimsi yeşil renkli, ince-orta tabakalı kumtaşı-şeyl ardalıanması ile yeşil ve kahverenkli volkanit, yeşil renkli marn ve beyaz, bej, kırmızı, pembe renkli, ince tabakalı mikritik (pelajik-yarı pelajik) kireçtaşı ve az miktarda konglomeralardan oluşmaktadır. Yenipazar formasyonu altta Soğukçam formasyonu ile uyumsuz, üstte Kızılçay formasyonu ile geçişli durumdadır. Yanal olarak değişim gösteren birimin kalınlığı yaklaşık 500-600 m civarındadır. Yenipazar formasyonu içerisinde ofiyolitik kayaların yoğunlukta bulunduğu düzeyler Kapaklı üyesi olarak ayırtlanmıştır.

Kapaklı Üyesi: Bu üye Yenipazar formasyonu içinde bulunan kökenleri ofiyolitik kayalar olan olistostromlardan ve olistolitlerden oluşmuştur. Büyük oranda ofiyolitik kayalardan gelen serpantinit, diyabaz, gabro, bazalt, radyolarit ve kireçtaşlarından meydana gelmiştir.

Beypazarı Granitoyidi: Paleosen yaşlı olan Beypazarı Granitoyodi pembemsi gri ve açık pembe renklerde, ekseriyetle alterasyona uğramış kuvars diyorit, granodiyorit, granit, monzonit ve siyenit gibi açık renkli magmatik kayalardan oluşur.

Kızılçay Formasyonu: Kırmızı, alacalı renkli, ince-kalın tabakalı, kötü boylanmalı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardalıanmasından oluşmaktadır. Formasyonun üst bölümünde yer alan şeyl, marn, kıltaşı, killi kireçtaşı, kumtaşı ardalıanması ve bitümlü şeyller Kabalar üyesi olarak ayırtlanmıştır. Birimde nadiren ince seviyeler halinde kömür ve yer yer de jipslere rastlamak mümkündür.

Kabalar Üyesi: Üst Paleosen yaşlı gölsel ortamda çökelen Kabalar üyesi beyaz ve yeşilimsi renkli bitümlü şeyl, ince-orta tabakalı killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalıanmasından oluşmaktadır. Birimin üst seviyelerinde silisli kireçtaşı bulunmaktadır. Birim, altta Kızılçay formasyonu ile kademeli geçişlidir. Güvenç formasyonu ile keskin bir dokanağa sahip olup, uyumlu ya da paralel uyumsuzdur. Fosil içermeyen birimin kalınlığı 20-300 m'dir.

Meyildere Volkaniti: Üst Paleosen-Alt Eosen yaşı birim andezit kökenli piroklastik ve lavlardan oluşur. Lavların bileşimi andezit ve andezit bazalttır. Birimde mor, yeşil ve kahverenkli, kalın tabakalı ve masif aglomera, kirli beyaz, yeşil renkli, ince-orta tabakalı tüf, tüfit ve çamurtaşları görülür. Aglomeralarda volkanojenik kumtaşları olağandır. Meyildere volkanitinin üzerine Güvenç formasyonu uyumlu ya da paralel uyumsuz olarak gelmektedir. Kalınlığı 700 m' yi bulmaktadır.

Güvenç Formasyonu: Üst Lütésiye yaşı şelf ortamında çökelen birim kireçtaşı, marn, konglomera, kumtaşı, ve volkanitlerden oluşur. Bu birim alt kısımlarda çakıllı kumtaşları içerdiği halde üste doğru kireçtaşı-marn ardalanması şeklinde devam etmektedir. Üst kesimlerdeki konglomera ve volkanit ara katkılı birim ise ince-orta tabakalı kumtaşı-şeyl şeklinde devam eder. Yer yer kalın tabakalı türbiditik ve olistostromal konglomera düzeyleri kireçtaşı, serpantin, magmatit çakılları içerir. Volkanitler dasitik, andezitik ve bazaltik lav, tüf ve aglomeralardan oluşur. Güvenç formasyonu altta Kızılçay formasyonunun Kabalar üyesi ile, üstte Gemiciköy formasyonu ile paralel uyumsuzluk içindedir. Kalınlığı yaklaşık 200 m'dir.

Gemiciköy Formasyonu: Üst Eosen-Alt Miyosen yaşı karasal ve gölsel ortamda çökelen birim konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşur. Konglomera, kumtaşı çamurtaşı ardalanması kırmızı, turuncu, boz renkli olup orta-kalın tabakalıdır. Konglomeralar kötü boylanmış ve gevşek tutturulmuştur. Kumtaşları yer yer çapraz tabakalanma gösterir. Kireçtaşları, beyaz-boz renkli, orta-kalın tabakalı, seyrek fosilli mikrit, dismikrit karakterdedir. Gemiciköy formasyonu altta Güvenç formasyonu ile paralel uyumsuz üstte, Neojen yaşı volkanitler ve Kuvaterner yaşı birimler tarafından aşıl uyumsuz olarak örtölür. Birimin kalınlığı yaklaşık 225 m'dir.

Karasivri Volkaniti: Alt Miyosen yaşı dasit, riyolit, tüf ve aglomeralardan oluşur. Lavlar gri, beyaz pembe renkli, akma yapılı, yer yer blok lav şeklindedir. Tüfler ise pembe, beyaz renklerde olup yer yer perlitleşmişlerdir. Volkanizmadan çıkan ürün yakınlarda bulunan göllerle temas ederek ani soğuma ile perlitleri oluşturmuşlardır.

Kirazdağı Volkaniti: Andezit ve piroklastiklerle temsil edilen birim Alt Miyosen yaşlıdır ve karasal ortamda oluşmuştur. Siyah, gri, pembe, grimsi yeşil renklerdeki lavlar, ince-kalın katmanlı, akma yapılı, çatlaklı ve porfirik dokuludur. Çatlaklar silisli oluşuklar ile doludur.

Ilıcadere Volkaniti: Göreceli olarak Orta Miyosen yaşlı olduğu düşünülen birim bazaltik, andezitik lav ve agromeralardan oluşmuştur. Siyah, gri, kırmızı, kahverengi renklerde, bloklu, masif, cüruf biçimlerinde görünen lavlar, bazaltik andezit ve bazalt türündedir. Lavların içindeki boşluklar silisli oluşuklar ile doludur. Aglomeralar kırmızı, sarı, gri ve kahverengidir ve yer yer küçük blok ve çakılların sarı renkli tüfle, yer yer de iri blokların gri renkli tüfle tutturulmasından oluşmuştur.

Deveören Volkaniti: Orta Miyosen yaşlı birim dasit, andezit türü lavlar ile tüf ve aglomerallardan oluşur. Gri, siyah, yeşil, kahverengi renkli, genelde levhamsı akmalı, yer yer masif görümlü kriptokristalen dokulu olan lavlar, hamurlarında bol cam içermekte olup dasitik bir volkanizma karakterindedir. Beyaz, pembe renkli tüfler ile kırmızı renkli aglomeralar birimin diğer litolojilerini oluşturur.

Bakacaktepe Volkaniti: Birim göreceli olarak Üst Miyosen yaşlı andezit, dasit lav, tüf ve agromeralardan oluşur. Birimde gözlenen beyaz renkli, iri feldspatlar sayesinde Deveören volkanitlerinden ayrılır. Aglomeralar gri, siyah, pembe, kahverengi renkli, yuvarlak, yarı köşeli, 1-30 cm arasında değişen boyutlardaki dasit, andezit parçaların tüfle tutturulmasından oluşur.

Uludere Piroklastikleri: Andezitik, dasitik, tüf, breş, aglomera, volkanik konglomera ile aralarında ince lav akıntılarında oluşan birim Alt-Orta Miyosen yaşında olup göl ve karasal ortamda depolanmıştır. Tüfler beyaz ve pembemsi renkli, genelde masif, yer yer tabakalı olup volkanik bomba ve breş parçaları içerir. Aglomeralar ise, andezitik-dasitik parçalar ile bu parçaları bağlayan tüften oluşur.

Hançili Formasyonu: Alt Orta Miyosen yaşında olan ve geniş bir yayılım sunan Hançili formasyonu kumtaşı, kilaşı, şeyl, tüf ve kireçtaşıdan oluşur. Gölsel ortamda çökelen

birimde kömür düzeyleri ve killi seviyelerde yaprak ve makrofosil bulunur. Birim alttaki formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelir, yanal yönde Uludere piroklastikleri ile girintili haldedir, üstte bulunan Örencik formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür.

Özlü Bazaltı: Alt Pliyosen yaşlı kabul edilen bazaltlardan oluşan birim gri, siyah, koyu kahverengi ve kızıl kahve renklidir. Birimde yer alan gaz boşlukları ve soğuma eklemlerinin ikinci materyalle dolduğu gözlemlenir.

Örencik Formasyonu: Akarsu ve göl ortamında çökelmiş olan Örencik formasyonu kırmızı, sarımsı kırmızı, kahve renkli konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı ardalanması ile temsil edilir. Pliyosen yaşlı olan formasyonun kalınlığı 50-100 m'dir. Kendinden önce gelen tüm yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

Taraça Dolgusu: Yamaç yükseltilerinin başladığı kesimlerde yer yer yamalar halinde görülen çakıl, kum ve çamurdan oluşan eski alüviyal çökellerdir.

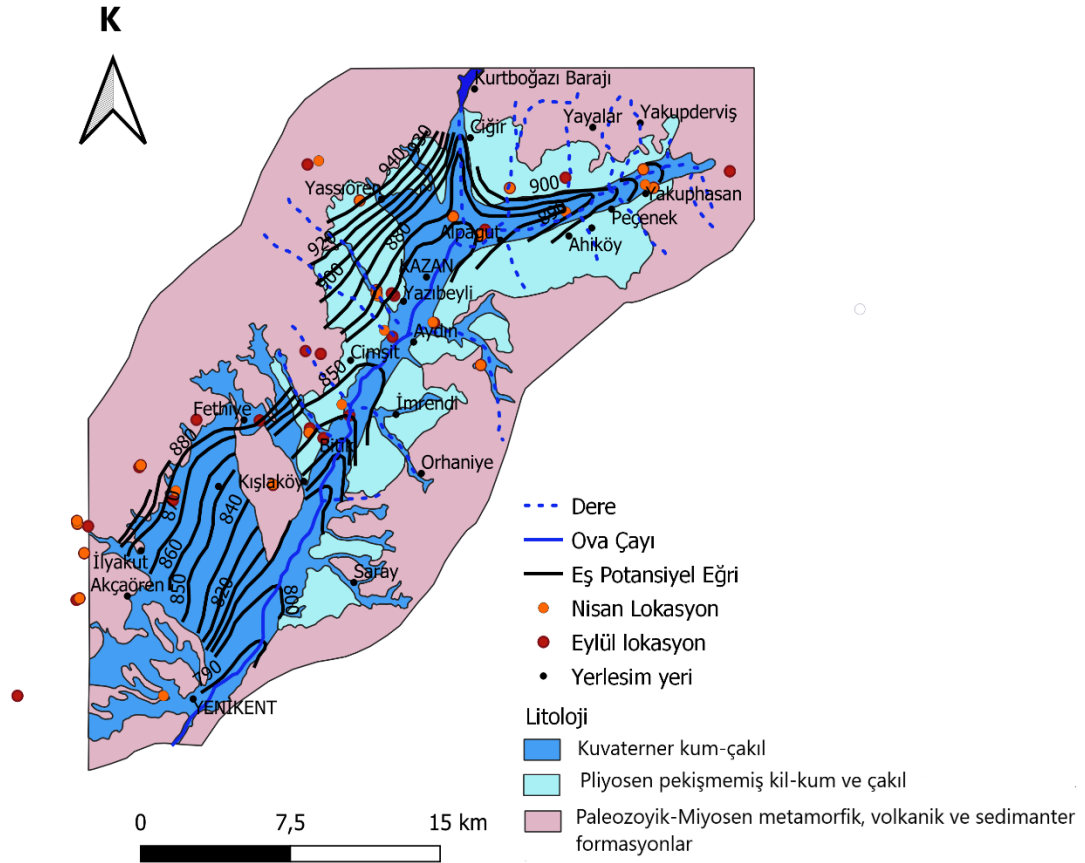
Alüvyon: Akarsu yataklarındaki çakıl, kum ve çamur çökelleridir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Kazan Havzasında akarsu yataklarında oluşmuş alüvyon birimlerde yapılan kum- çakıl madenciliğinden görünüm

2.7.4 Hidrojeoloji

Havza kuzeydoğuda Çubuk Havzası'na bağlanır ve güneyde diğer Neojen Havzalara boşalır. Kazan Havzası morfolojik olarak ovalık ve dağlık olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Ovalık bölge 320 km²'lik bir alana sahip Mürted Ovası'dır. Ovada ortalama yükselti 875 m civarındadır (SRK 2004). Ova çayı havzada sürekli akan en önemli yüzey sularından biridir ve kuzeydoğu- güneybatı yönünde akmaktadır (Şekil 2.11). Çalışma alanının kuzeyinde Kurtboğazi barajı, kuzeydoğusunda Ovaçayı regülatörü ve Kavşakkaya Barajı bulunmaktadır. Ovaçayı deresi ve Kurtboğazi deresinin boşalımı buraya depolanmakta ve önemli miktarda dere boşalımı ovaya ulaşmamaktadır.



Şekil 2.11 Kazan Ovasında bulunan Kuvaterner kum-çakıl akiferine ait su tablası seviye haritası (Apaydın 2011'den değiştirilerek alınmıştır)

Bölgede sığ yeraltı suyu sistemi, konsolide olmayan Kuvaterner yaşlı akarsu kum-çakıl çökelleri ile Pliyosen yaşlı kırmızımsı kahverengi kil ve marn ara tabakalı gevşek çimentolu çakıllar içerisinde oluşmuştur. Kum ve çakıldan oluşan alüvyon kalınlığı havzada yaklaşık 25-30 m olup bölgedeki sığ akiferi temsil eder. Alüvyon birimlerden oluşan sığ akifer yağışlardan ve kısmen dere akışından yalnızca yağışlı mevsimlerde beslenir. Ovaçayı Deresi boyunca uzanan akifer malzemesinin çoğu inşaat malzemesi olarak kullanılabilir. Bu nedenle 1980'li yıllarda bu bölgede kum-çakıl madenciliği başlamıştır. Bölgede yapılan madencilik akifere ciddi oranda zarar vermiş akiferin bazı kısımları incelmış, bazı kısımları ise neredeyse yok olmuştur. Ayrıca, bölgede son yıllarda aşırı su çekimi yeraltı suyu seviyesini düşürmüştür. En yoğun yeraltı suyu çekimi 2000 yılından sonra Kazan çevresinde ovanın üst kısmında meydana gelmiştir. 2008 yılında toplam 15 milyon m³lük su çekiminin 12 milyon m³'ü ovanın üst kısmında (özellikle İçören-Uçarı bölgesi) yer alan kuyulardan çekilmiştir. Ayrıca ocakların geçirimsiz killi malzeme ile doldurulmasıyla akiferin doğal durumu ve vadinin topografyası değişmiştir. (Apaydın 2011).

Apaydın (2011) tarafından oluşturulmuş olan alüvyon birim içerisindeki yeraltı suyu eş yükselti eğrileri Şekil 2.11'de gösterilmektedir. Bu eğrilere göre sığ sistemde yeraltı suyu akış yönü Ova çayına doğrudur. SRK (2004) tarafından yapılan pompa testleri ile sığ yeraltı suyu sisteminin hidrolik iletkenliğinin 10^{-6} m/s ile 7.7×10^{-5} m/s arasında değiştiği, Pliyosen birimlerde hidrolik iletkenliğin 5.4×10^{-7} 'ye kadar düştüğü gözlenmiştir.

Havza genelinde oluşmuş sığ yeraltı suyu sisteminin yanı sıra daha derin sistemlerinin (Miyosen- Eosen birimler içinde) varlığı Fethiye köyü civarında bulunan trona minerali ile ilgili yapılan detaylı öncel çalışmalarda ortaya konmuştur (Yazıcıgil vd. 2001; SRK 2004). Havzada sınırlı bir alanda yürütülmüş detaylı öncel çalışmalara göre Neojen birimler içindeki akifer sisteminin hidrolik iletkenlik değerleri 9.4×10^{-9} m/s ile 4.9×10^{-8} m/s arasında, depolama katsayısı değerleri 6.7×10^{-6} ile 9.9×10^{-5} arasında değiştiği rapor edilmiştir (SRK 2004). Trona sahası civarında yüzeyden 500 m kadar derinlere kadar uzanan Eosen akifer sisteminde hidrolik iletkenlik değerlerinin 2×10^{-10} m/s (matriks kayaç kısımlarında) ile 3×10^{-4} m/s (kırıklı-çatlaklı kısımlarda) arasında değiştiği bildirilmiştir (SRK 2004). Bu çalışmada da arazi çalışmaları sırasında alüvyon akiferin

kalınlığından daha derin kuyuların varlığı tespit edilmiştir. Havza genelinde derin akifer sistemlerinin yayılımının detaylandırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Fakat bu çalışma kapsamında belirlenen havzada açılmış mevcut kuyu derinliklerine bakıldığında (maksimum 100 m) daha çok alüvyon ve Neojen birimlerden yeraltı suyu çekimi gerçekleştiği sonucu çıkarılmaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Proje çalışmaları kapsamında hedeflere üç aşamada ulaşılması planlanmıştır. Bu aşamalar sırasıyla: saha çalışmaları, laboratuvar analizleri ve elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesidir.

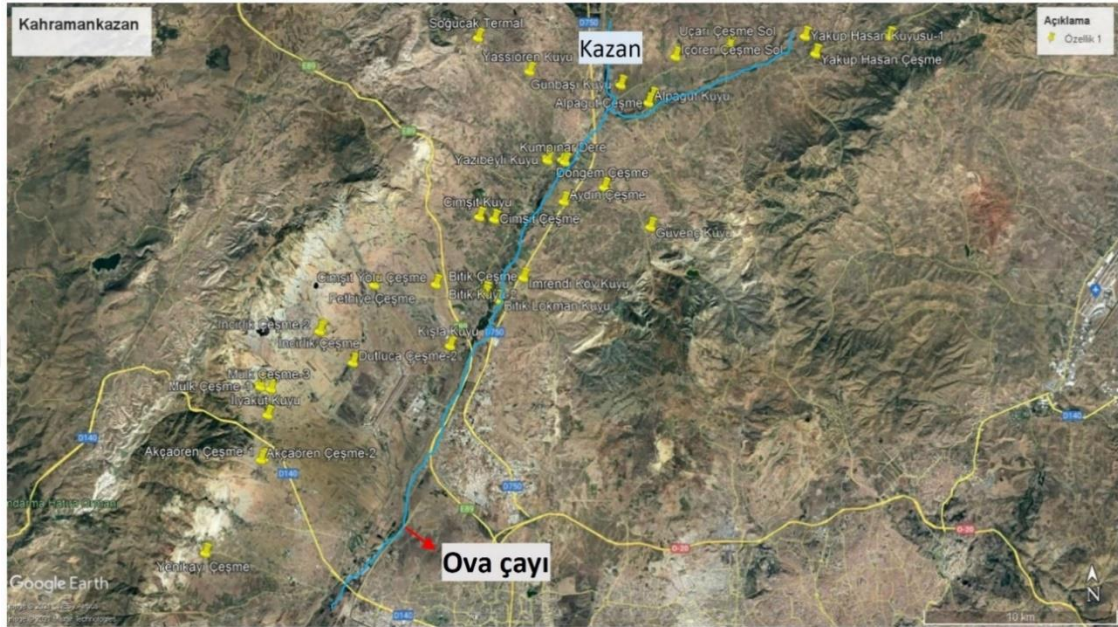
3.1 Saha Çalışması

Sahada bulunan farklı akiferlerin hidrojeokimyasal özelliklerinin mevsimsel değişimini inceleyebilmek için kurak ve yağışlı dönemde Kazan Havzasında kuyulardan ve kaynak sularından örnekler alınmış ve yerinde ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). İlk arazi çalışması kurak dönem için 15.09.2021 -17.09.2021 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu dönemde toplam 34 örnek alınmıştır (Şekil 3.1). Bu örneklerin 14 tanesi kuyulardan, 1 tanesi termal kuyudan, 17 tanesi çeşmelerden, 1 tanesi kaynak noktalarından ve 1 tanesi Ova çayından alınmıştır. Hach EZ Arsenik Test Kitleri ile sulardaki çözünmüş inorganik arsenik miktarı kabaca belirlenmiştir. Arazide kalibrasyonu önceden sağlanmış HACH HQ40d marka dijital multimetre cihazla (Şekil 3.3a ve Şekil 3.3b) elektriksel iletkenlik (EC), pH, Yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), sıcaklık, çözünmüş oksijen (DO) değerleri her iki dönem için yerinde belirlenmiştir (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2).

Arazide yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

Öncelikle numune şişeleri çeşmeden ve kuyudan örnekleme sırasında kirliliği önlemek amacıyla örnek ile en az üç kere çalkalanmak suretiyle temizlenmiştir. Örneklerin major anyon içeriklerini tayin etmek için 1lt'lik şişelerle örnek alınmıştır. Major katyon ve ağır metalleri tayin etmek için ise 100ml'lik şişeler kullanılmıştır (Şekil 3.4a) ve örnek alırken filtreleme (Şekil 3.4b) ve asitleme yapılmıştır. Asitleme yaparken ultra saf nitrik asit (HNO₃) (Şekil 3.4c) kullanılıp örneğin pH'ının 2'ye düşmesi sağlanmıştır. Buna ek olarak çeşmelerden alınan örneklerde debi ölçümü yapılmıştır. Debi ölçümü yapılırken bu işlem en az üç defa tekrarlanıp verilerin ortalaması alınmıştır. Örnek alınan her noktanın koordinat bilgileri GPS ile belirlenmiştir. Çeşme ve kuyulardan örnek alırken

fotoğraf çekimleri yapılmıştır. Araziden alınan örneklerin yerini, tarihini ve saatini göstermek için etiketleme yapılmıştır ve laboratuvara gönderilene kadar numuneler 5 ± 3 °C sıcaklığında güneş ışığından korunarak buz kalıpları ile muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1 Kurak dönemde alınan örnek lokasyonlarını gösterir uydu görüntüsü



Şekil 3.2 Yağışlı dönemde alınan örnek lokasyonlarını gösterir uydu görüntüsü



Şekil 3.3 a) Arazide yerinde ölçümde kullanılan HACH HQ-40d marka dijital multimetre cihazı b) Dijital multimetre cihazı ile arazide yerinde ölçüm yapılması (Yazıbeyli kaynak noktası)



Şekil 3.4 a) Major katyon iyonlarını ve ağır metalleri tayin etmek için örnek alımında kullanılan 100ml'lik şişe ve major anyon iyonlarını tayin etmek için örnek alımında kullanılan 1lt'lik şişe b) Major katyon ve iz elementleri belirlemek için alınan su numunelerine filtreleme işleminin uygulanması c) Katyon ve ağır metal analizi numunelerinde pH'ı 2'ye düşürmek için kullanılan ultra saf nitrik asit (HNO_3)

Çizelge 3.1 Arazi çalışmaları sırasında multimetre cihazı ile kurak dönemi temsilen belirlenen fiziko-kimyasal parametreler

	Örnek Adı	Tarih	Kuyu Derinlik (m)	X	Y	Z	Eİ (µS/cm)	pH	T (°C)	ORP (mV)	DO (mg/l)
1	Soğucak Çeşme	16.09.2021	—	4454791	4681835	1065	464	7.88	18.6	166.6	7.48
2	Döngem Kuyu	16.09.2021	60	4442354	469720	872	1244	7.52	16.5	192.1	6.36
3	İmrendi Köy Kuyu	16.09.2021	70				965	7.55	15.9	250.7	5.32
4	Aydın Çeşme	16.09.2021	—	4446193	471872	867	1475	7.55	20.7	630	5.82
5	Bitik Lokman Kuyu	16.09.2021	80	4441251	468415	847	1210	7.69	17.1	169.3	6.81
6	Soğucak Termal	16.09.2021	480	4454612	467620	1066	2900	6.58	49.8	-11.7	0.76
7	Kışla Kuyu	16.09.2021	25	443896	465890	832	6740	7.58	16.2	174.9	6.07
8	Yassı Ören Kuyu	16.09.2021	?	4452848	470232	941	691	7.63	17.9	193.8	6.34
9	Güvenç Kuyu	16.09.2021	100	4444814	476294	968	1474	7.42	16	191.8	1.13
10	Bitik Kuyu-2	16.09.2021	12	4441524	467714	840	1761	7.46	18.3	85.2	3.40
11	Mülk Çeşme-1	17.09.2021	—	4437064	456102	968	1018	7.85	21.9	189.9	6.63
12	Mülk Çeşme-3	17.09.2021	—	4436945	456637	931	744	7.7	19.5	198.7	3.45
13	İlyakut Kuyu	17.09.2021	?	4435625	456442	943	919	7.59	16.5	196.1	6.52
14	Dutluca Çeşme	17.09.2021	—				1107	7.72	19.8	194.6	2.47
15	İncirlik Çeşme-2	17.09.2021	—	4439834	459200	898	706	7.63	18	181.6	6.56
16	İncirlik Çeşme	17.09.2021	—	4439917	459273	902	3240	7.37	17.9	172.2	5.15
17	Cimşit Kuyu	17.09.2021	83	4445499	467519	912	486	7.77	16.8	-2	7.51
18	Dutluca Çeşme-2	17.09.2021	—	4438202	460881	853	1420	7.82	21.4	30.7	1.73
19	Mülk Çeşme-2	17.09.2021	—	4437199	456074	976	570	8.03	23	154.3	7.37
20	Akçaören Çeşme-1	17.09.2021	—	4433420	456206	930	466	8.06	19.6	156.6	7.58
21	Dutluca Kaynak	17.09.2021	—				1158	7.83	15.4	160.3	5.59
22	Fethiye Çeşme	17.09.2021	—	4442141	462058	900	803	7.68	18.6	-3.2	6.81
23	Günbaşı Kuyu	15.09.2021	75	4452076	474908	893	737	7.56	16.2	171.6	6.73
24	İçören Sol Çeşme	15.09.2021	—	4453462	477747	911	612	7.62	17.3	195.1	6.18
25	Uçarı Çeşme Orta	15.09.2021	—	4453966	480532	936	533	7.42	16.7	206	7.31
26	Yazıbeyli Kaynak	15.09.2021	—	4448473	471071	878	1022	8.92	20.5	148.1	0.97
27	Ovaçayı	15.09.2021	—	4448316	471836	857	1683	7.83	16.7	236.4	3.38
28	Alpagut Kuyu	15.09.2021	50	4451140	476320	896	922	7.36	15.2	161.5	3.58
29	Çeltik Leğen	15.09.2021	—	471090	4448213		1175	7.59	16.1	198	5.65
30	Y.Hasan Çeşme	15.09.2021	—	4453477	484947	994	532	7.12	18.7	226.3	5.14
31	Y.Hasan Çeşme-2	15.09.2021	—	4453625	484526	962	912	7.23	17.0	223.0	2.16
32	Yazıbeyli Kuyu	15.09.2021	—	4448308	471076	875	1018	7.71	16.0	177.7	4.17
33	Yakup Hasan Kuyusu-1	15.09.2021	70	4454376	484428.8	944	512	7.73	16.3	190.7	4.61
34	Alpagut Çeşme	15.09.2021	—	4451423	476509	900	911	7.72	18.6	210.1	7.41

Çizelge 3.2 Arazi çalışmaları sırasında multimetre cihazı ile yağışlı dönemi temsilen belirlenen fiziko-kimyasal parametreler

	Örnek Adı	Tarih	Kuyu Derinlik (m)	X	Y	Z	Eİ (µS/cm)	pH	T (°C)	ORP (mV)	DO (mg/l)
1	Ahi Kuyu	25.04.2022	—	480553	4452291	955	659	7.57	16.9	208.4	6.32
2	Akçaören Çeşme-1	27.04.2022	—	456205	4433420	929	452	7.98	13.40	-17.6	8.13
3	Alpagut Kuyu	25.04.2022	50	476327	4451147	893	810	7.41	16.7	211.2	2.73
4	Aydın Kuyu-2	26.04.2022	—	471471	4446512	869	4670	6.72	18.7	-100.7	1.03
5	Bitik Kuyu-2	26.04.2022	—	467714	4441524	840	1636	7.24	17.5	-106.1	1.07
6	Çeltik Leğen	25.04.2022	—	471128	4448183	872	684	7.6	14.3	213.1	5.38
7	Çoğlu	27.04.2022	—	460408	4428662	800	4530	7.64	15.5	-28.2	2.98
8	Döngem Kuyu	27.04.2022	60	473894	4446906	910	1257	7.61	14.8	244.7	5.38
9	Dutluca Kaynak Noktası	27.04.2022	—	461025	4438668	856	1126	7.8	16.9	-84.2	5.91
10	Günbaşı Kuyu	25.04.2022	75	474914	4452060	888	776	7.58	20.8	207.9	4.39
11	Güvenç Kuyu	26.04.2022	100	476294	4444814	966.8	1493	7.42	17.5	238.4	3.29
12	İçören Çeşme - Sol	25.04.2022	—	477750	4453459	912	620	7.61	14.5	214.1	5.67
13	İlyakut Kuyu	27.04.2022	?	456440	4435632	937	798	7.65	16.2	-21.2	7.43
14	İmrendi Altınışık Çiftliği	26.04.2022	—	469340	4442888	857	1208	7.6	17	-93.3	5.41
15	İncirlik Çeşme	27.04.2022	—	459273	4439917	899	2930	7.44	17	-104	5.55
16	Kışla Kuyu	26.04.2022	25	465889	4438989	833	2770	8.23	17.5	-82.8	7.42
17	Mülk Çeşme-1	27.04.2022	—	456100	4437078	967	964	7.65	13.2	-32.4	6.88
18	Mülk Çeşme-2	27.04.2022	—	456083	4437206	977	533	7.98	15.5	-40.6	6.46
19	Soğucak Çeşme	26.04.2022	—	468183	4454791	1065	464	7.64	16.6	111.9	7.29
20	Yakup Hasan Çeşme	25.04.2022	—	484945	4453469	999	515	7.29	14.3	209.3	5.56
21	Yakup Hasan Çeşme-2	25.04.2022	—	484523	4453625	964	882	7.27	12.9	214.6	1.33
22	Yakup Hasan Kuyusu-1	25.04.2022	70	484428.5	4454376	943	463	7.7	17.1	143	4.3
23	Yassören Kuyu	26.04.2022	?	470232	4452848	941	481	7.72	21	53.9	5.14
24	Yazbeyli Kaynak	25.04.2022	—	471068	4448474	877	1023	8.92	23.1	160.6	0.82
25	Yazbeyli Kuyu	25.04.2022	7	471064	4448313	876	811	7.6	16	200.7	5.04

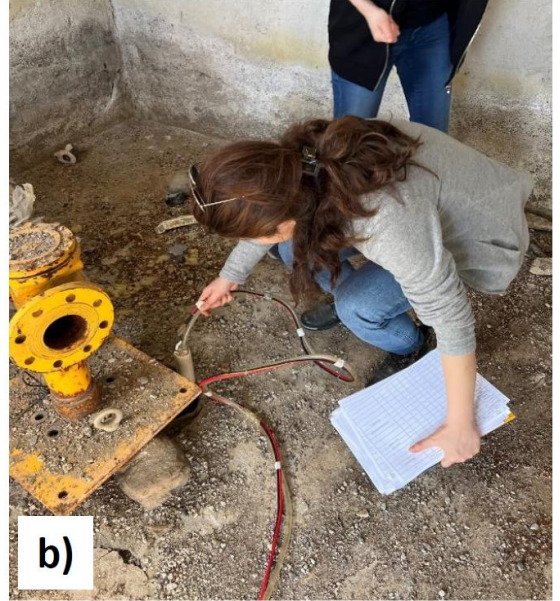
Havzada açılan şahsi kuyuların büyük bir çoğunluğunun ruhsatsız olduğu bilgisine ulaşılmıştır. Bu kuyuların bahçe sulama, tarım ürünlerini sulama ve hayvancılıkta kullanıldığı görülmüştür (Şekil 3.5). Bazı örnekleme noktalarında kuyularda pompa bulunmadığı/ mevcut pompa elektrik sistemlerindeki sorunlardan dolayı çalışmadığı için kuyu başında statik seviye ölçümü yapmak mümkün olabilmıştır (Şekil 3.6a Yakup Hasan kuyusu). Bu kuyularda örnekleme öncesinde bir akü yardımıyla el pompası ile çekim yapılmış, kuyu içerisinde beklemiş suyun boşalması sağlanmıştır (Şekil 3.6b).



Şekil 3.5 Yassören Kuyu noktasından su numunesi alınması



a)



b)

Şekil 3.6 a) Yakup Hasan kuyusunda düdüklü şerit metre ile statik seviye ölçümü alınması
b) Yakup Hasan kuyusundan pompa ile su numunesi alınması

Yağışlı dönem için 25.04.2022 -27.04.2022 tarihinde toplam 25 örnek alınmıştır (Şekil 3.2). Bu örneklerden 15 tanesi kuyulardan, 9 tanesi çeşmelerden, 1 tanesi de kaynak noktalarından alınmıştır. Arazide yerinde ölçüm aynı işlemler uygulanarak tamamlanmıştır. Bunun yanı sıra bölge halkı ile görüşmeler de yapılmıştır. Kurak dönem sonuçları yağışlı dönem için araziye gidildiğinde bölge halkı ile paylaşılmış arsenik tespit edilen yerlerde gerekli uyarılarda bulunulmuştur. Halka çeşme ve kuyu sularını hangi amaçla kullandıkları sorulmuştur (tarımsal sulama, içme suyu, hayvancılık vs.). Bölge halkında ortak görülen herhangi bir sağlık problemine sahip olup olmadıkları sorulmuştur. Genellikle kuyu suyularının tarımsal sulama amaçlı kullanıldığı görülmüş, çeşme sularının ise içme suyu olarak bölge halkı tarafından kullanıldığı tespit edilmiştir. Bölgede ayrıca içme suyu problemi olduğu da tespit edilmiştir. Bazı köylere içme suları Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ASKİ) tarafından tankerlerle sağlanmaktadır. Sağlık problemi bakımından belirli bir şikayete rastlanmamıştır. Ayrıca arseniğin zararları ve sağlık üzerindeki yan etkileri bakımından bölgede yaşayan insanların çoğunda bilgi eksikliği görülmüştür.

Çalışma sahasında Ciner Grubuna ait Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş tarafından işletilen trona sahası mevcuttur (Şekil 3.7). Trona, tabiatta doğal olarak bulunan soda minerallerinden en yaygın olanıdır. Ancak trona çok kolay eridiği için yüzeyde hiç mostra vermemektedir. Oluşumu çok özel şartlar gerektiren trona yataklanmalarının hemen hemen hepsi başka amaçla yapılan arama çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Ülkemiz ABD'den sonra ikinci büyük fosil Trona yataklarına sahiptir. Trona, esas itibari ile ticari bir mal değildir. Ancak, işlenip soda külüne dönüştürülerek, ticari bir değer kazandırılmaktadır. Tronanın başlıca kullanım alanları cam, kimya sektörü, sabun ve deterjan endüstrisi, kağıt üretimi, baca gazı arıtması, su ve atık su arıtmasıdır. Trona, monoklinal ve prizmatik sistemde kristalleşen, doğal olarak oluşmuş sodyum seskikarbonatın ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) saf olmayan şeklidir. Cevherin içerdiği organik maddeye bağlı olarak rengi kahverengiden koyu sarıya kadar değişir. Saf numunelerinde ise renk beyazdan şeffafa kadar değişmektedir. Tronanın sertliği; Mohs ölçeğine göre 2,5-3,0, yoğunluğu 2,14 gr/cm³'dür. Suda çözünür, asitte köpürür, ısının etkisi ile Na_2CO_3 'e dönüşür. Saf Trona % 70,4 Na_2CO_3 içerir. 1 ton soda külü üretmek için 1.8 ton Trona gerekmektedir. Doğada Tersiyer öncesi trona yataklarına bugüne kadar

rastlanmamıştır. Beypazarı Hırka Formasyonu'nda yer alan Trona yatağı ise Orta ve Üst Miyosen yaşlıdır.



Şekil 3.7 Kahramankazan havzasındaki trona sahası

Trona yataklarının oluşumu esnasındaki etkenler şu şekilde sıralanabilir:

- 1-) Kapalı göl havzalarında, sodyumca zengin küller ve göl civarında volkanik faaliyetler esnasında oluşan sıcak su kaynaklarının göle boşalması ve bol sodyum iyonu taşınması,
- 2-) Göl toplanma havzasına yayılan volkanizma ürünlerinden gelen yerüstü sularının sodyumca zengin birimlerden geçerken iyon alışverişini esas alan kimyasal tepkimeler,
- 3-) Bu olayların gerçekleştiği sırada ortamdaki iklimin yarı kurak olması,
- 4-) Gölün içinde trona yataklanmasını sağlayacak fay ve kıvrımla oluşan, setlerin sağladığı paleocoğrafik çukurluğun olması,
- 5-) Tronanın çökmesi ve kristallenebilmesi için gerekli jeokimyasal şartlar; suyun pH'nın 12'den büyük olması, su derinliğinin az olması, su sıcaklığının ılık olması. (<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/trona>)

3.2 Laboratuvar Çalışması

Laboratuvar çalışmaları TÜRKAÇ tarafından akredite edilmiş ÇINAR Çevre Laboratuvarı A.Ş. de TS EN ISO/IEC 17025 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda major iyonlar (Magnezyum (Mg), Sodyum (Na), Kalsiyum (Ca), Potasyum (K), Sülfat (SO₄), Klorür (Cl), Nitrat (NO₃), Alkalinite (mgCaCO₃/L), Fosfat (PO₄)), iz elementler (Aluminyum (Al), Antimon (Sb), Arsenik (As), Bakır (Cu), Baryum (Ba), Berilyum (Be), Bor (B), Civa (Hg), Çinko (Zn), Demir (Fe), Toplam Fosfor (P), Gümüş (Ag), Kadmiyum (Cd), Kalay (Sn), Kobalt (Co), Toplam Krom (Cr), Kurşun (Pb), Nikel (Ni), Selenyum (Se), Stronsiyum (Sr), Talyum (Tl), Titanyum (Ti), Uranyum (U)) ölçülmüştür.

Klorür, Nitrat ve Sülfat iyonları İyon kromatografi cihazıyla ölçülmüştür. İyonların sıvı kromatografik ayrılmaları, ayırma kolonları ile yapılmaktadır. Dedektör olarak iletkenlik dedektörü kullanılmıştır. Anyonlar, kolon içindeki alıkonma sürelerine göre birbirlerinden ayrılarak dedektöre ulaşırlar. Kantitatif analiz her bir iyonun vermiş olduğu pik alanları üzerinden çizilen kalibrasyon eğrileri kullanılarak yapılmıştır.

Alkalinite; Otomatik Büret ile ölçülmüştür. 100 mL'lik erlen içerisine alınan 50 mL numune üzerine fenolftalein indikatörü (H₂SO₄ standart çözeltisi ile önce fenolftalein indikatörü (5 damla) eşliğinde kırmızı renkten renksiz dönüşmeye kadar titre edilmiş ve sarfiyatı fenolftalein (alkalinitesi sarfiyatı olarak kaydedilir) damlatılmıştır. Aynı numune üzerine bu kez metil oranj indikatörü damlatılarak H₂SO₄ standart çözeltisi (Portakal renginden kırmızıya dönüşen noktadaki sarfiyat toplam alkalinite sarfiyatıdır) ile titre edilmiştir.

Alüminyum, Antimon, Arsenik, Bakır, Baryum, Berilyum, Bor, Civa, Çinko, Demir, Gümüş, Kadmiyum, Kalay, Kobalt, Toplam Krom, Kurşun, Nikel, Selenyum, Stronsiyum, Uranyum, Magnezyum, Kalsiyum, Sodyum, Potasyum ICP-MS cihazı ile ölçülmüştür. Cihaz İndüklenmiş Çifte Plazma (ICP) ve Kütle Spektrometresi (MS)'den oluşmaktadır. Ağır metallerin tespitinde Agilent 7700 serisi analitik cihaz olarak ICP/MS

cihazı kullanılmıştır. Ön işlem olarak Mikrodalga ile Özütleme Metodu kullanılmıştır. Analizi yapılan örnekteki elementler ICP-MS’de iyonlaştırıldıktan sonra kütle spektrometresine gönderilmiş ve burada kütle/yük (m/z) oranlarına göre ayrılıp detektörde ölçülmüştür.

Fosfat Spektrofotometre cihazı ile ölçülmüştür. Orta fosfat analiz metodunda erlen içersine 50 mL numune alınmış üzerine gerekli reaktifler (kırmızı renk oluşması durumunda renk gidene kadar H_2SO_4 çözeltisi) ile kombine reaktif ilave edilip, karıştırılmış ve 880 nm ’de numunenin absorbansı okunmuştur.

Laboratuvar analizi sonucunda örneklerin anyon, katyon ve iz element değerleri mg/L cinsinden elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yağışlı ve kurak mevsimde toplanan örnekler için arazide yerinde ölçüm ve laboratuvar çalışmaları tamamlandıktan sonra verileri değerlendirme aşamasına geçilmiştir. Çizelge 4.1’de kurak dönemde alınan örneklerin major iyon konsantrasyonları bir özet tablo halinde verilmiştir. Bu sonuçlara göre kurak dönemde alınan örneklerde Ca konsantrasyonları tüm örneklerde 1,73-244 mg/L aralığında, Mg 0,089-259 mg/L aralığında, Na 5,88-1424 mg/L aralığında K 0,058-61,3 mg/L aralığında, SO₄ 5-3089 mg/L aralığında, Cl 1,88-757 mg/L aralığında, NO₃ 0,44-1054 mg/L aralığında, CO₃ 0,19-23,83 mg/L aralığında, HCO₃ 246-1379,2 mg/L aralığındadır.

Çizelge 4.1 Kurak dönemde alınan örneklerin major iyon konsantrasyonları

Örnek Cinsi (mg/L)		Kaynak	Sığ Kuyu	Derin Kuyu	Kuyu	Çeşme	Termal	Dere
	n	1	4	8	2	17	1	1
Ca	Minimum-Maksimum	51,60	48,2-244	1,73-117	51,5-87,2	15-172	128,00	96,80
	Ortalama	51,60	143,10	81,35	69,35	67,01	128,00	96,80
	Standart sapma	–	101,71	36,64	25,24	35,49	–	–
Mg	Minimum-Maksimum	57,40	12,5-259	0,089-89,6	21,6-70,4	15,3-156	48,70	33,20
	Ortalama	57,40	96,20	42,37	46,00	46,89	48,70	33,20
	Standart sapma	–	114,07	31,86	34,51	36,77	–	–
Na	Minimum-Maksimum	109,00	41,3-1424	17,5-289	35,3-45,4	5,88-306	615,00	141,00
	Ortalama	109,00	422,08	109,31	40,35	62,29	615,00	141,00
	Standart sapma	–	668,79	90,61	7,14	78,62		
K	Minimum-Maksimum	1,39	4,61-12,1	1,02-50,5	5,37-11,8	0,058-57,2	61,30	14,40
	Ortalama	1,39	8,29	13,12	8,59	9,21	61,30	14,40
	Standart sapma	–	3,34	17,55	4,55	15,38	–	–
SO ₄	Minimum-Maksimum	131,00	20-3089	19,2-209	23,4-46,6	5-485	60,00	72,60
	Ortalama	131,00	897,58	80,75	35,00	83,48	60,00	72,60
	Standart sapma	–		64,02	16,40	118,02	–	–

Çizelge 4.1 Kurak dönemde alınan örneklerin major iyon konsantrasyonları (devam)

Örnek Cinsi (mg/L)		Kaynak	Sığ Kuyu	Derin Kuyu	Kuyu	Çeşme	Termal	Dere
	n	1	4	8	2	17	1	1
Cl	Minimum-Maksimum	85,00	7,44-757	11,1-39,8	24,1-29,6	1,88-309	139,00	92,10
	Ortalama	85,00	212,69	20,40	26,85	42,78	139,00	92,10
	Standart sapma	–	364,14	10,08	3,89	75,20	–	–
NO ₃	Minimum-Maksimum	11,10	7,8-43,4	0,44-125	28-88,6	0,44-1054	0,44	9,64
	Ortalama	11,10	24,05	54,13	58,30	74,61	0,44	9,64
	Standart sapma	–	14,73	47,78	42,85	268,56	–	–
CO ₃	Minimum-Maksimum	0,58	0,65-1,44	0,55-23,83	0,61-1,03	0,19-2,24	0,58	1,64
	Ortalama	0,58	1,10	3,69	0,82	1,11	0,58	1,64
	Standart sapma	–	0,33	8,14	0,29	0,60	–	–
HCO ₃	Minimum-Maksimum	465,31	255,71-678,32	246,01-568,03	282,37-507,01	269,74-576,02	1379,21	453,47
	Ortalama	465,31	463,34	444,80	394,73	409,48	1379,21	453,47
	Standart sapma	–	173,54	108,76	158,90	111,10	–	–

Çizelge 4.2'deki tabloda kurak dönemde alınan örneklerin iz element konsantrasyonları verilmiştir. Bu sonuçlara göre kurak dönemdeki iz element konsantrasyonları tüm örnekler için Sb <0,5-13 µg/L, As <0,5-1910 µg/L, Cu <1-2 µg/L, Ba 4-625 µg/L, Be <0,5 µg/L, B 10-7000 µg/L, Hg <0,1 µg/L, Zn <0,1-3570 µg/L, Fe 4-289 µg/L, Ag <5 µg/L, Cd <5 µg/L, Sn <0,5-25 µg/L, Co <0,5-7 µg/L, Cr <1-10 µg/L, Pb <0,5-11 mg/L, Ni <5-90 mg/L, Se <0,5-19 mg/L, Sr 18-7710 mg/L, U <0,5-82 mg/L aralığındadır.

Çizelge 4.2 Kurak dönemde alınan örneklerin iz element konsantrasyonları

	Örnek Cinsi	Kaynak	Sığ Kuyu	Derin Kuyu	Kuyu	Çeşme	Termal	Dere
	n	1	4	8	2	17	1	1
Sb µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	13	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	13	< 0,5
As µg/L	Minimum-Maksimum	96	10-286	< 0,5-534	42-48	9-206	1910	33
	Ortalama	96	86,25	93,8	45	73,88	1910	33
Cu µg/L	Minimum-Maksimum	< 1	< 1	<1-2	<1-1	<1-1	< 1	< 1
	Ortalama	< 1	< 1	1,04	0,95	0,91	< 1	< 1
Ba µg/L	Minimum-Maksimum	57	30-211	42-308	252-442	4-625	257	213
	Ortalama	57	118,75	154,13	247	164,71	257	213
Be µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
B µg/L	Minimum-Maksimum	1250	112-5470	81-1270	143-259	10-1740	7000	309
	Ortalama	1250	1646,5	552,5	201	423,71	7000	309
Hg µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Ortalama	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zn µg/L	Minimum-Maksimum	18	0,9-3570	1-26	6-15	< 1-21	< 0,1	4
	Ortalama	18	901,72	8,12	10,5	4,06	< 0,1	4
Fe µg/L	Minimum-Maksimum	10	6-115	4-21	4-10	4-40	289	30
	Ortalama	10	46,25	8	7	8,06	289	30
Ag µg/L	Minimum-Maksimum	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	Ortalama	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cd µg/L	Minimum-Maksimum	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	Ortalama	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Sn µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5-25	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	3,48	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Co µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5-2	< 0,5	< 0,5	< 0,5-7	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	0,8	< 0,5	< 0,5	0,79	< 0,5	< 0,5
Cr µg/L	Minimum-Maksimum	3	< 1-10	< 1-10	< 1-2	< 1-6	< 1	< 1
	Ortalama	3	3,73	3,74	1,45	1,64	< 1	< 1
Pb mg/L	Minimum-Maksimum	3	1-4	< 0,5-11	3	< 0,5-3	< 0,5	2
	Ortalama	3	2,75	2,68	3	1,55	< 0,5	2
Ni mg/L	Minimum-Maksimum	< 5	< 5-90	< 5	< 5	< 5-9	< 5	< 5
	Ortalama	< 5	25,5	< 5	< 5	4,29	< 5	< 5
Se mg/L	Minimum-Maksimum	2	< 0,5-7	< 0,5-19	< 0,5	< 0,5-4	< 5	< 0,5
	Ortalama	2	2,7	4,1	< 0,5	1,17	< 5	< 0,5
Sr mg/L	Minimum-Maksimum	1030	630-7710	18-2950	1050-2160	133-3040	2270	945
	Ortalama	1030	2883,25	1387,13	1605	943,94	2270	945
U mg/L	Minimum-Maksimum	6	3-82	4-11	6-10	2-17	< 0,5	7
	Ortalama	6	28,25	6,88	8	5,59	< 0,5	7

Çizelge 4.3'te yağışlı dönem major iyon konsantrasyonları bir özet tablo halinde verilmiştir. Bu sonuçlara göre yağışlı dönemde alınan örneklerde Ca konsantrasyonları tüm örneklerde 1,37-218 mg/L aralığında, Mg 0,11-161 mg/L aralığında, Na 6,17-696 mg/L aralığında K 0,51-49,7 mg/L aralığında, SO₄ 5,66-990 mg/L aralığında, Cl 3,12-1213 mg/L aralığında, NO₃⁻ 0,44-824 mg/L aralığında, CO₃ 0,24-25,21 mg/L aralığında ve HCO₃ 4,11-25,84 mg/L aralığındadır. Çizelge 4.4'teki tabloda yağışlı dönemde alınan örneklerin iz element konsantrasyonları verilmiştir. Bu sonuçlara göre yağışlı dönemdeki iz element konsantrasyonları tüm örnekler için Sb <0,5 µg/L, As 4-493 µg/L, Cu <1-4 µg/L, Ba <5-324 µg/L, Be <0,5 µg/L, B 10-2060 µg/L, Hg <0,1 µg/L, Zn <1 -203 µg/L, Fe <5-661 µg/L, Ag <5 µg/L, Cd <0,5 µg/L, Sn <0,5 -1 µg/L, Co <0,5 µg/L, Cr <1-6 µg/L, Pb <0,5-2 mg/L, Ni <5 mg/L, Se <0,5-13 mg/L, Sr 17-4280 mg/L, U 1-36 mg/L, aralığındadır.

Çizelge 4.3 Yağışlı dönemde alınan örneklerin major iyon konsantrasyonları

Örnek Cinsi (mg/L)		Kaynak	Sığ Kuyu	Derin Kuyu	Kuyu	Çeşme
	n	1	6	6	3	9
Ca	Minimum-Maksimum	53,10	46,6-177	1,37-218	44,2-64,9	15,2-151
	Ortalama	53,10	93,20	89,26	52,57	70,47
	Standart sapma	—	45,16	70,69	10,91	39,26
Mg	Minimum-Maksimum	62,10	10,8-161	0,11-98,3	10,5-66,9	14,6-143
	Ortalama	62,10	64,12	43,14	33,33	46,14
	Standart sapma	—	53,18	36,63	29,05	45,31
Na	Minimum-Maksimum	115,00	26,2-686	38,3-696	29-47,9	6,17-205
	Ortalama	115,00	255,50	211,37	36,57	42,25
	Standart sapma	—	298,06	247,24	10,00	61,87
K	Minimum-Maksimum	1,45	2,29-9,45	0,99-41,6	3,94-6,92	0,51-49,7
	Ortalama	1,45	5,77	16,31	5,09	13,48
	Standart sapma	—	2,83	17,05	1,60	18,75
SO ₄	Minimum-Maksimum	156,00	20,4-990	27,4-325	13,6-64,7	5,66-351
	Ortalama	156,00	419,82	124,90	40,97	75,34
	Standart sapma	—	438,33	113,86	25,74	110,81
Cl	Minimum-Maksimum	99,70	7,65-711	13,8-1213	10,3-19	3,12-234
	Ortalama	99,70	171,41	224,28	13,37	38,52
	Standart sapma	—	269,99	484,49	4,89	74,59
NO ₃	Minimum-Maksimum	14,50	7,34-146	0,44-144	4,83-30,4	1,13-824
	Ortalama	14,50	51,71	55,22	16,04	102,09
	Standart sapma	—	55,34	68,19	13,07	271,03
CO ₃	Minimum-Maksimum	1,66	0,60-3,42	0,61-25,21	0,59-1,11	0,24-1,52
	Ortalama	1,66	1,49	4,87	0,83	0,82
	Standart sapma	—	1,20	9,97	0,26	0,43
HCO ₃	Minimum-Maksimum	7,95	250,71-885,72	420,83-1576,24	295,12-486,60	263,58-548,70
	Ortalama	7,95	482,59	678,91	365,98	374,53
	Standart sapma	—	233,86	444,29	104,99	97,60

Çizelge 4.4 Yağışlı dönemde alınan örneklerin iz element konsantrasyonları

	Örnek Cinsi	Kaynak	Sığ Kuyu	Derin Kuyu	Kuyu	Çeşme
	n	1	6	6	3	9
Sb µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
As µg/L	Minimum-Maksimum	93,00	5-143,4	4-493	8-58	13-179
	Ortalama	93,00	62,73	160,50	38,33	76,50
Cu µg/L	Minimum-Maksimum	< 1	< 1-2	< 1-4	< 1	< 1-2
	Ortalama	< 1	1,08	1,42	0,90	1,02
Ba µg/L	Minimum-Maksimum	54,00	21-205	36-201	116-219	< 5-324
	Ortalama	54,00	110,33	100,57	183,33	119,78
Be µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
B µg/L	Minimum-Maksimum	1230,00	104-2060	189-1560	156-284	10-891
	Ortalama	1230,00	826,00	764,00	207,33	176,89
Hg µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Ortalama	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Zn µg/L	Minimum-Maksimum	2,00	3-203	3-19	11-24	< 1-6
	Ortalama	2,00	48,00	10,67	15,67	3,20
Fe µg/L	Minimum-Maksimum	< 5	< 5-59	< 5-661	< 5	< 5
	Ortalama	< 5	22,67	116,50	< 5	< 5
Ag µg/L	Minimum-Maksimum	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	Ortalama	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Cd µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Sn µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5-1	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	0,50	< 0,5	< 0,5
Co µg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cr µg/L	Minimum-Maksimum	2,00	< 1-3	< 1-6	< 1-6	< 1
	Ortalama	2,00	1,60	2,62	2,60	< 1
Pb mg/L	Minimum-Maksimum	< 0,5	< 0,5	< 0,5-2	< 0,5	< 0,5
	Ortalama	< 0,5	< 0,5	0,67	< 0,5	< 0,5
Ni mg/L	Minimum-Maksimum	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	Ortalama	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Se mg/L	Minimum-Maksimum	3,00	< 0,5-11	< 0,5-13	< 0,5	< 0,5-5
	Ortalama	3,00	4,80	3,03	< 0,5	1,11
Sr mg/L	Minimum-Maksimum	964,00	735-2790	17-4280	616-1810	121-2460
	Ortalama	964,00	1885,17	1714,00	1044,00	859,56
U mg/L	Minimum-Maksimum	7,00	36-102	1-10	3-9	2-14
	Ortalama	7,00	17,00	5,67	6,00	5,89

Verilerin değerlendirilmesi sırasında gereken hidrojeokimyasal hesaplamalarda PHREEQC programı (Parkhus ve Appelo 1999) kullanılmıştır. PHREEQC; doğunluk endekslerini, sulu türlerin dağılımını ve belirli bir    zelti bileşiminin yoğunluğunu ve spesifik iletkenliğini hesaplamak için kullanılan bir programdır. Laboratuvar analizi sonucunda örneklerin anyon, katyon ve iz element değerleri mg/L cinsinden elde edilmiştir. PHREEQC programına veriler   g/L cinsine çevrilerek girilmiştir. PHREEQC programına girilen veriler şu şekildedir: Sıcaklık, pH, pe, redox, arsenik, alkalinite, kalsiyum, klorür, potasyum, magnezyum, sodyum, sülfat, bor, ve nitrat. Programda alkalinite verilerinden CO₃ ve HCO₃ değerleri mmol/L cinsinden elde edilmiştir. Bunun yanısıra elekton tralite değeri ile analiz sonuçlarının hata payı incelenmiş, kurak dönemde Soğucak termal kuyusundan alınan örnek ile yağışlı dönemde alınan Aydın-2 kuyusu analiz sonuçları kabul edilebilir hata payı %10 üzerinde çıktığı için değerlendirme dışı bırakılmıştır ( izelge 4.7-  izelge 4.8). Diğer örneklerin hepsinde elektron tralitenin hata payı kabul edilebilir olan %10'un altında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca her bir örneğin toplam katyon ve anyon verileri meq/L cinsinden aşağıda verilen formüle göre hesaplanarak programda elde edilen elektron tralite değerlerinin sağlaması yapılmıştır.

$$\text{meq/L} = (\text{mg/L}) / (\text{formül ağırlığı/ iyon değerliği})$$

$$\text{Elektro-nötralite (EN \%)} = [(\Sigma \text{katyon} - \Sigma \text{anyon}) / (\Sigma \text{katyon} + \Sigma \text{anyon})] \times 100$$

Çizelge 4.5 Kurak dönemde alınan örneklerin major iyon analiz sonuçlarına göre hesaplanmış Elektronötralie (%) değerleri

Örnek adı	Kaynak Tipi	Örnekleme Dönemi	Elektronötralie (%)
Akçaören Çeşme-1	Çeşme	EYLÜL 2021	-2.32
Alpagut Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	3.55
Alpagut Kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	7.32
Aydın Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	7.31
Bitik Kuyu-2	Sığ Kuyu	EYLÜL 2021	1.56
Bitik Lokman Kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	10.33
Cimşit Kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	-1.79
Yazıbeyli Köy Çeşmesi (Çeltik Leğen)	Çeşme	EYLÜL 2021	6.68
Döngem Kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	11.85
Dutluca Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	-5.09
Dutluca Çeşme-2	Çeşme	EYLÜL 2021	-1.92
Dutluca Kaynak	Kaynak	EYLÜL 2021	-3.4
Fethiye Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	-5.39
Günbaşı kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	9.32
Güvenç Kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	10.35
İçören Çeşme Sol	Çeşme	EYLÜL 2021	7.48
İlyakut Kuyu	Kuyu	EYLÜL 2021	-0.21
İmrendi Köy Kuyu	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	9.95
İncirlik Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	4.72
İncirlik Çeşme-2	Çeşme	EYLÜL 2021	-2.45
Kışla Kuyu	Sığ Kuyu	EYLÜL 2021	0.7
Mülk Çeşme-1	Çeşme	EYLÜL 2021	-4.73
Mülk Çeşme-2	Çeşme	EYLÜL 2021	-3.89
Mülk Çeşme-3	Çeşme	EYLÜL 2021	-3.94
Ova Çayı	Dere	EYLÜL 2021	8.55
Soğucak Köy Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	6.99
Soğucak Termal	Termal	EYLÜL 2021	15.21
Uçarı Çeşme Orta	Çeşme	EYLÜL 2021	6.87
Yakup Hasan Çeşme	Çeşme	EYLÜL 2021	4.31
Yakup Hasan Çeşme-2	Çeşme	EYLÜL 2021	3.88
Yakup Hasan Kuyusu-1	Sığ Kuyu	EYLÜL 2021	3.95
Yassıören Kuyu	Kuyu	EYLÜL 2021	4.94
Yazıbeyli Kaynak	Derin Kuyu	EYLÜL 2021	9.23
Yazıbeyli Kuyu	Sığ Kuyu	EYLÜL 2021	7.34

Çizelge 4.6 Yağışlı dönemde alınan örneklerin major iyon analiz sonuçlarına göre hesaplanmış Elektronötralie (%) değerleri

Örnek adı	Kaynak Tipi	Örnekleme Dönemi	Elektronötralie (%)
Ahi Kuyu	Kuyu	NİSAN 2022	-0.24
Akçaören Çeşme-1	Çeşme	NİSAN 2022	-1.54
Alpagut Kuyu	Derin Kuyu	NİSAN 2022	-3.1
Aydın Kuyu-2	Derin Kuyu	NİSAN 2022	15.08
Bitik Kuyu Noktası	Sığ Kuyu	NİSAN 2022	-10.92
Çeltik Leğen	Çeşme	NİSAN 2022	-0.94
Çoğlu	Sığ Kuyu	NİSAN 2022	-6.09
Döngem Kuyu	Derin Kuyu	NİSAN 2022	-4.36
Dutluca Kaynak Noktası	Kaynak	NİSAN 2022	-4.49
Günbaşı Kuyu	Derin Kuyu	NİSAN 2022	0.16
Güvenç Kuyu	Derin Kuyu	NİSAN 2022	-4.21
İçören Çeşme - Sol	Çeşme	NİSAN 2022	-2.42
İlyakut Kuyu	Kuyu	NİSAN 2022	-1.56
İmrendi Altınışık Çiftliği	Sığ Kuyu	NİSAN 2022	1.64
İncirlik Çeşme	Çeşme	NİSAN 2022	-8.75
Kışla Kuyu	Sığ Kuyu	NİSAN 2022	8.03
Mülk Çeşme-1	Çeşme	NİSAN 2022	-3.55
Mülk Çeşme-2	Çeşme	NİSAN 2022	-0.74
Soğucak Çeşme	Çeşme	NİSAN 2022	-1.79
Yakup Hasan Çeşme	Çeşme	NİSAN 2022	-1.49
Yakup Hasan Çeşme-2	Çeşme	NİSAN 2022	-1.29
Yakup Hasan Kuyu	Sığ Kuyu	NİSAN 2022	0.42
Yassıören Kuyu	Kuyu	NİSAN 2022	-0.91
Yazıbeyli Kaynak	Derin Kuyu	NİSAN 2022	0.42
Yazıbeyli Kuyu	Sığ Kuyu	NİSAN 2022	-1.71

PHREEQC program çıktıları ile suların farklı minerallere göre satürasyon indisleri (doymuluk durumları) kaydedilmiştir (Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10). Yağışlı ve kurak mevsimde alınan örneklerin satürasyon indisleri incelendiğinde suların sırasıyla daha çok dolomit, kalsit ve aragonit minerallerine doymun olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra bazı sularda manyezit minerali, huntit minerali, azot gazı ve monohidrokalzit gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.7 Kurak dönemde alınan örneklerin satürasyon indisleri

		SATURASYON İNDİSİ								
	ÖRNEK NOKTASI	Aragonit (CaCO ₃)	Kalsit (CaCO ₃)	Dolomit CaMg(CO ₃) ₂	Dolomite-dis CaMg(CO ₃) ₂	Dolomite-ord CaMg(CO ₃) ₂	N ₂ (g)	Manyezit MgCO ₃	Monohidrokalzit CaCO ₃ ·H ₂ O	Huntit CaMg ₃ (CO ₃) ₄
1	Soğucak Çeşme Noktası	0,39	0,54	2,06	0,48	2,07				
2	Döngem Kuyu Noktası	0,31	0,46	1,83	0,23	1,84	0,13			
3	İmrendi Köy Kuyu Noktası	0,41	0,55	2,23	0,62	2,23				
4	Aydın Çeşme Noktası	0,06	0,20	1,69	0,12	1,70				
5	Bitik Lokman Kuyu Noktası	0,64	0,78	2,72	1,12	2,73	0,01	0,26		
6	Soğucak Termal Noktası	0,38	0,53	2,15	0,77	2,16		0,13		
7	Kışla Kuyu Noktası	0,47	0,62	2,57	0,97	2,58		0,27		
8	Yassı Ören Kuyu Noktası	0,31	0,46	1,68	0,09	1,69				
9	Güvenç Kuyu Noktası	0,38	0,52	2,29	0,68	2,30	0,06	0,08		
10	Bitik Kuyu Noktası	0,75	0,89	2,76	1,17	2,76		0,20	0,06	
11	Mülk Çeşme-1 Noktası	0,55	0,69	3,03	1,47	3,04		0,70		1,19
12	Mülk Çeşme-3 Noktası	0,26	0,41	2,36	0,78	2,37		0,29		
13	İlyakut Kuyu Noktası	0,23	0,38	2,24	0,64	2,25		0,19		
14	Dutluca Çeşme Noktası	0,46	0,60	2,61	1,03	2,62		0,35		0,05
15	İncirlik Çeşme-2 Noktası	0,18	0,33	1,89	0,30	1,89				
16	İncirlik Çeşme Noktası	0,46	0,61	2,52	0,93	2,53	1,06	0,25		
17	Cimşit Kuyu Noktası	0,28	0,42	1,25		1,26				
18	Dutluca Çeşme-2 Noktası	0,73	0,87	3,11	1,54	3,12		0,59	0,03	1,04
19	Mülk Çeşme-2 Noktası	0,10	0,24	2,47	0,92	2,48		0,59		0,42
20	Akçaören Çeşme-1 Noktası	0,43	0,58	2,29	0,71	2,30		0,05		
21	Dutluca Kaynak Noktası	0,39	0,53	2,46	0,85	2,47		0,24		
22	Fethiye Çeşme Noktası	0,27	0,41	2,11	0,53	2,12		0,04		
23	Günbaşı Kuyu Noktası	0,23	0,38	1,60		1,61				
24	İçören Sol Çeşme Noktası	0,36	0,50	1,80	0,20	1,81				
25	Uçarı Çeşme Orta Noktası	0,07	0,21	1,08		1,09				
26	Yazıbeyli Kaynak Noktası	0,05	0,20	0,55		0,56				
27	Ovaçayı Noktası	0,68	0,82	2,54	0,94	2,55		0,04		
28	Alpagut Kuyu Noktası	0,22	0,36	1,85	0,24	1,86				
29	Çeltik Leğen Noktası	0,27	0,42	1,76	0,16	1,77				
30	Y.Hasan Çeşme Noktası			0,60		0,61				
31	Y.Hasan Çeşme-2 Noktası	0,17	0,31	1,23		1,24				
32	Yazıbeyli Kuyu Noktası	0,39	0,54	1,97	0,36	1,98				
33	Yakup Hasan Kuyu Noktası	0,12	0,27	1,30		1,31				
34	Alpagut Çeşme Noktası	0,39	0,54	2,03	0,44	2,04				

Çizelge 4.8 Yağışlı dönemde alınan örneklerin satürasyon indisleri

		SATURASYON İNDİSİ									
		Aragonit (CaCO3)	Kalsit (CaCO3)	Dolomit CaMg(CO3)2	Dolomite-dis CaMg(CO3)2	Dolomite-ord CaMg(CO3)2	N2 (g)	Manyezit MgCO3	Monohidrokalzit CaCO3.H2O	Huntit CaMg3(CO3)4	O2
1	ÖRNEK NOKTASI	0,15	0,30	1,56		1,57					
2	Ahi Kuyu	0,15	0,30	1,56		1,57					
2	Akçaören Çeşme-1	0,31	0,45	2,02	0,39	2,03					
3	Alpagut Kuyu	0,20	0,35	1,77	0,17	1,78					0,38
4	Aydın Kuyu-2	0,28	0,43	1,88	0,29	1,89					
5	Bitik Kuyu Noktası	0,37	0,52	1,94	0,35	1,95					
6	Çeltik Leğen	0,25	0,40	1,64	0,02	1,65					
7	Çoğlu	0,43	0,58	2,81	1,21	2,82		0,55		0,60	
8	Döngem Kuyu	0,34	0,48	1,80	0,18	1,81	0,17				
9	Dutluca Kaynak Noktası	0,40	0,55	2,51	0,92	2,52		0,29			
10	Günbaşı Kuyu	0,38	0,53	1,92	0,36	1,93					
11	Güvenç Kuyu	0,35	0,50	2,26	0,66	2,26	0,19	0,09			
12	İçören Çeşme - Sol	0,32	0,46	1,65	0,03	1,65					
13	İlyakut Kuyu	0,25	0,40	2,29	0,68	2,29		0,21			
14	İmrendi Altınışık Çiftliği	0,52	0,67	2,39	0,80	2,40	0,20	0,05			
15	İncirlik Çeşme	0,42	0,57	2,46	0,86	2,47	0,95	0,22			
16	Kışla Kuyu	0,67	0,82	2,90	1,31	2,91		0,41		0,43	
17	Mülk Çeşme-1	0,24	0,38	2,37	0,74	2,37		0,28			
18	Mülk Çeşme-2		0,08	2,12	0,51	2,13		0,36			
19	Soğucak Çeşme	0,08	0,23	1,35		1,36					
20	Yakup Hasan Çeşme			0,63		0,64					
21	Yakup Hasan Çeşme-2	0,10	0,24	1,02		1,03					
22	Yakup Hasan Kuyu	0,08	0,23	1,18		1,19					
23	Yassören Kuyu	0,21	0,35	1,46		1,47					
24	Yazıbeyli Kaynak		0,14	0,63		0,64					
25	Yazıbeyli Kuyu	0,27	0,41	1,68	0,08	1,69					

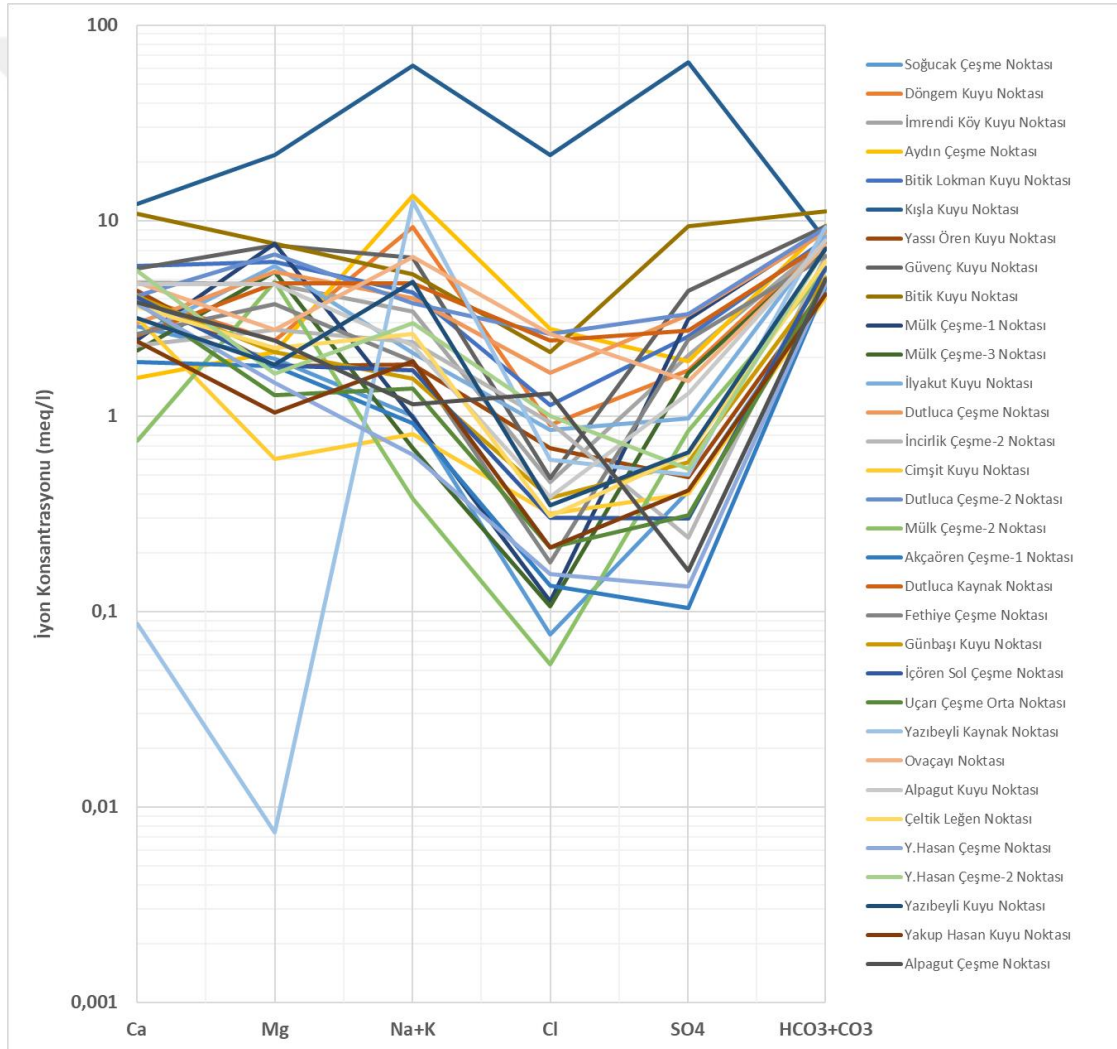
5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 Major İyon Kimyası

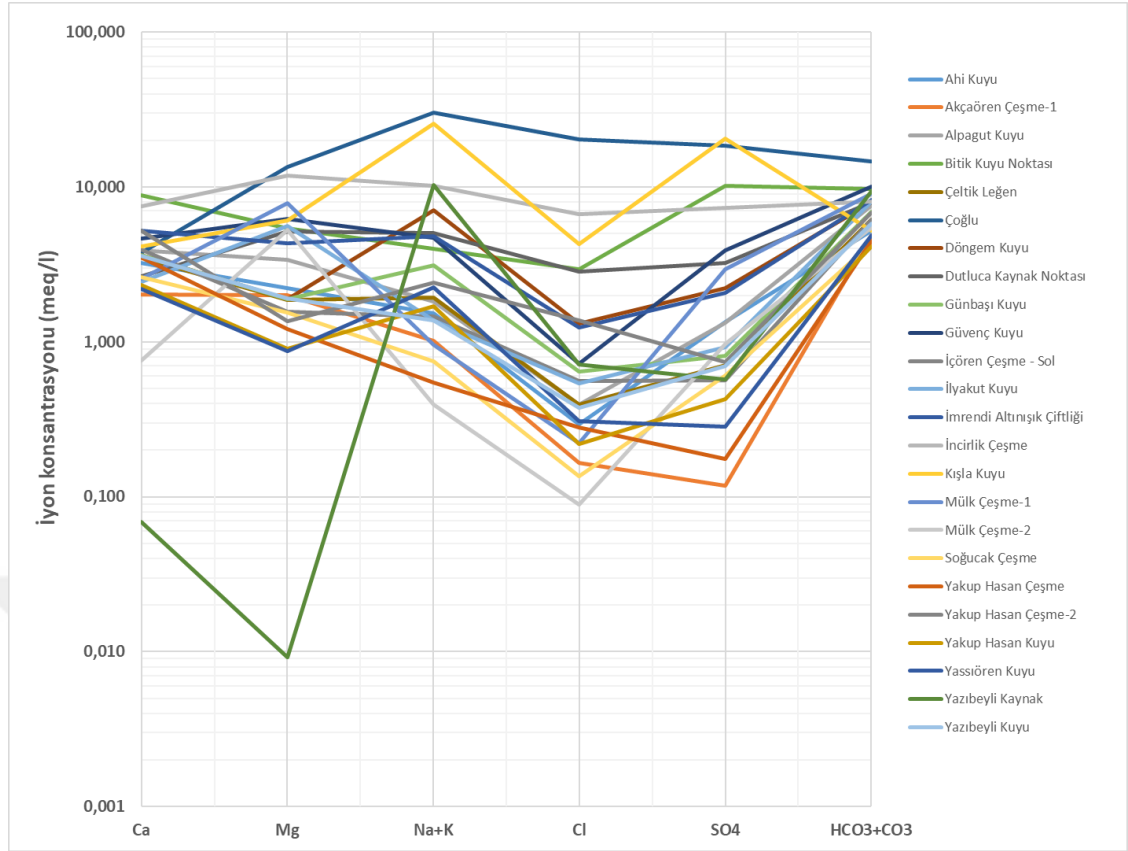
Major iyon kimyası inceleme aşamasında analiz sonuçları meq/L'ye çevrilmiş ve Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 5.1 ve 5.2). Schoeller diyagramında yarı logaritmik grafik üzerine yatay eksenle sırasıyla Ca, Mg, Na+K, Cl, SO₄, CO₃+HCO₃ değerleri meq/L cinsinden girilmiştir. Diyagram üzerinde su örneklerine ait doğruların paralel olup olmamasına göre sular köken bakımından incelenmiştir. Kurak dönem analiz sonuçları ile hazırlanmış Schoeller diyagramına göre (Şekil 5.1) havzada farklı kökene ve muhtemelen farklı dolaşım süresine sahip yeraltı suları bulunmaktadır. Bu sulardan en belirgin olanları Kışla kuyu noktası, Soğucak termal suyu ve Yazıbeyli kaynak suyudur. Yazıbeyli kaynak noktasının 120 m derinlikte bir kuyudan gelen yeraltı suyudur. Bu örnekte dikkat çekici olan Ca ve Mg içeriğinin oldukça düşük, Na içeriğinin yüksek olmasıdır. Bu örnek noktası yağışlı dönem Schoeller diyagramında da benzer bir şekilde diğer örneklerden farklı bir kimyasal karakterde olduğu görülmektedir (Şekil 5.2). Şekil 5.2'deki diyagram yağışlı dönem analiz sonuçları ile hazırlanmıştır. Schoeller diyagramında diğer örneklerden belirgin şekilde ayrılan örnekler Çoğlu ve Kışla Kuyu'dur.

Major iyon analiz sonuçları % meq/L şeklinde ifade edilerek Piper diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 5.3 ve 5.4). Bu yöntemde anyon ve katyon üçgenlerine işaretlenen örnekler kesiştirilerek birer nokta değeri ile temsil edilir. Bu nokta değerlerinin diyagramdaki yerlerine göre su tipleri tespit edilmiştir. Bu şekillerde major katyon küçük üçgen A bölgesi Ca, C bölgesi Mg, D bölgesi Na+K baskın katyonların bulunduğu örnekleri göstermektedir. B bölgesi hem major katyon hem de major anyon üçgenlerinde baskın türün olmadığı bölgeyi göstermektedir. Kurak dönem analiz sonuçlarına göre Ca baskın katyon bölgesinde yer alan örnekler Cimşit köyü kuyu örneği, Yakuphasan köyü çeşmeler, Uçar ve İçören köyleri çeşmeler, Yassıören köyü kuyu, Günbaşı köyü kuyu ve Alpagut köyü çeşmedir. Bu bölgede yer alan örneklerde arsenik konsantrasyonları 8-62 µg/l arasında değişmektedir. C bölgesinde (Mg baskın katyon) Mülk köyündeki çeşmeler ve İlyakut köyündeki kuyu örneği yer almaktadır. Bu bölgedeki örneklerde arsenik

konsantrasyonları Ca bölgesine oranla daha yüksektir ve 48- 181 $\mu\text{g/l}$ arasında değişmektedir. D bölgesinde (Na+K baskın bölge) Döngem kuyu, Kışla kuyu, Aydın çeşme ve Soğucak termal örnekleri bulunmaktadır. Bu bölgedeki sularda arsenik konsantrasyonları 28-1910 $\mu\text{g/l}$ arasında değişmektedir. Bu örnekler dışındaki örneklerde baskın bir katyon bulunmamaktadır. Yağışlı dönem örnekleri de Piper diyagramında dört bölgeye dağılmış şekildedir (Şekil 5.4). Elbette su örneklerinde çözünmüş arsenik konsantrasyonları ile su tipi ilişkili olabilir. Bu ilişkiyi sağlıklı bir şekilde ortaya koymak için hem katyon, hem de anyon verilerini birlikte değerlendirmek gereklidir.



Şekil 5.1 Kurak dönem analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterimi



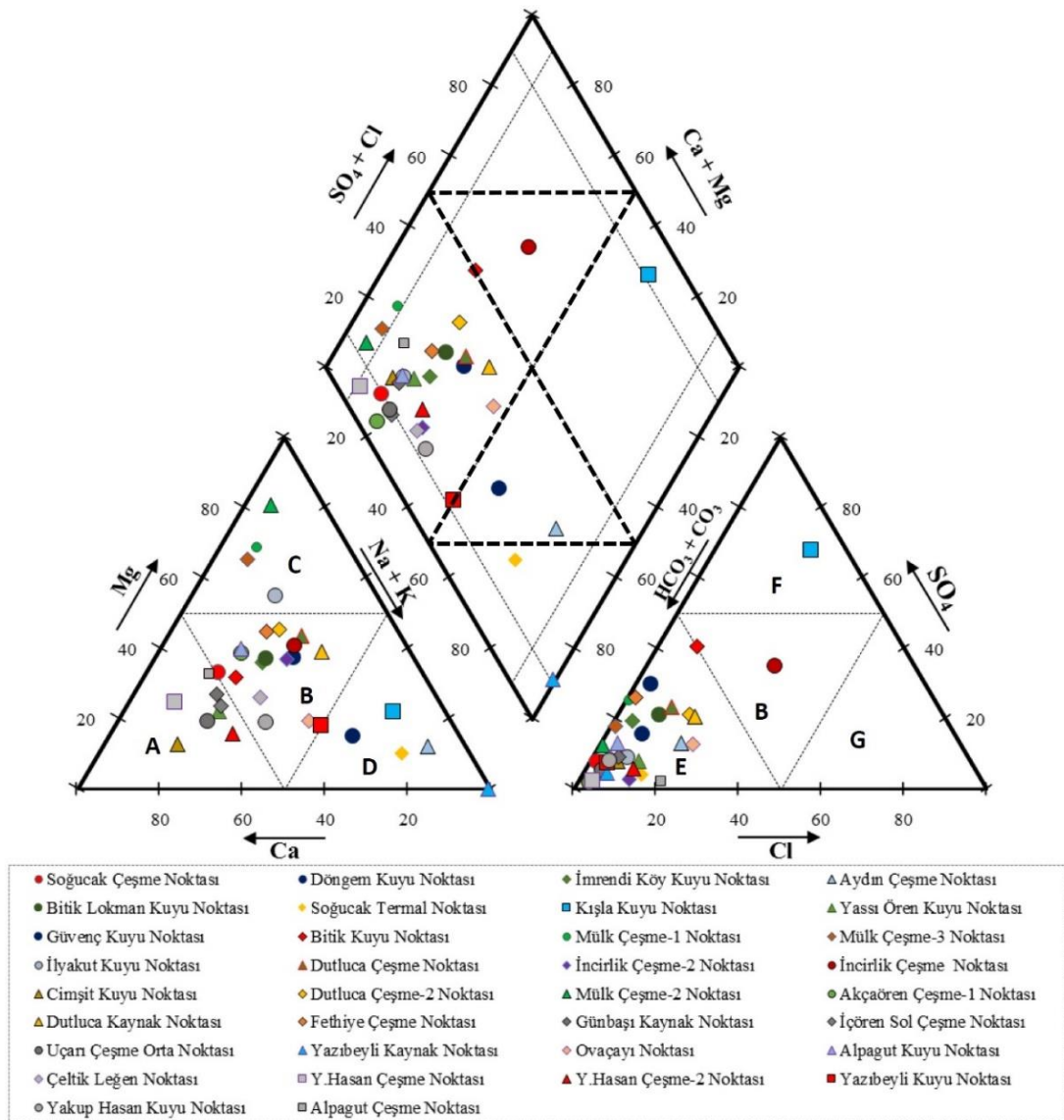
Şekil 5.2 Yağışlı dönem analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterimi

Major katyonların yanı sıra Piper diyagramında sağ alt kısımda bulunan major anyon küçük üçgende E bölgesi HCO_3 baskın bölge, F bölgesi SO_4 baskın bölge, G bölgesi ise Cl iyonunun baskın olduğu örneklerin bulunduğu bölgeyi göstermektedir. Şekil 5.3'e göre çalışma sahasındaki iki örnek dışında tüm örneklerde baskın anyon HCO_3 'tür. Kışla kuyu örneğinde baskın anyon SO_4 iken, İncirlik çeşmede baskın bir anyon türü yoktur. Yağışlı dönem örneklerinde Piper diyagramına göre Kışla kuyu (kurak dönemde de olduğu üzere) SO_4 baskın bölgede, Bitik kuyu, İncirlik çeşme ve Çoğlu örnekleri ise baskın anyon türünün olmadığı bölgededir.

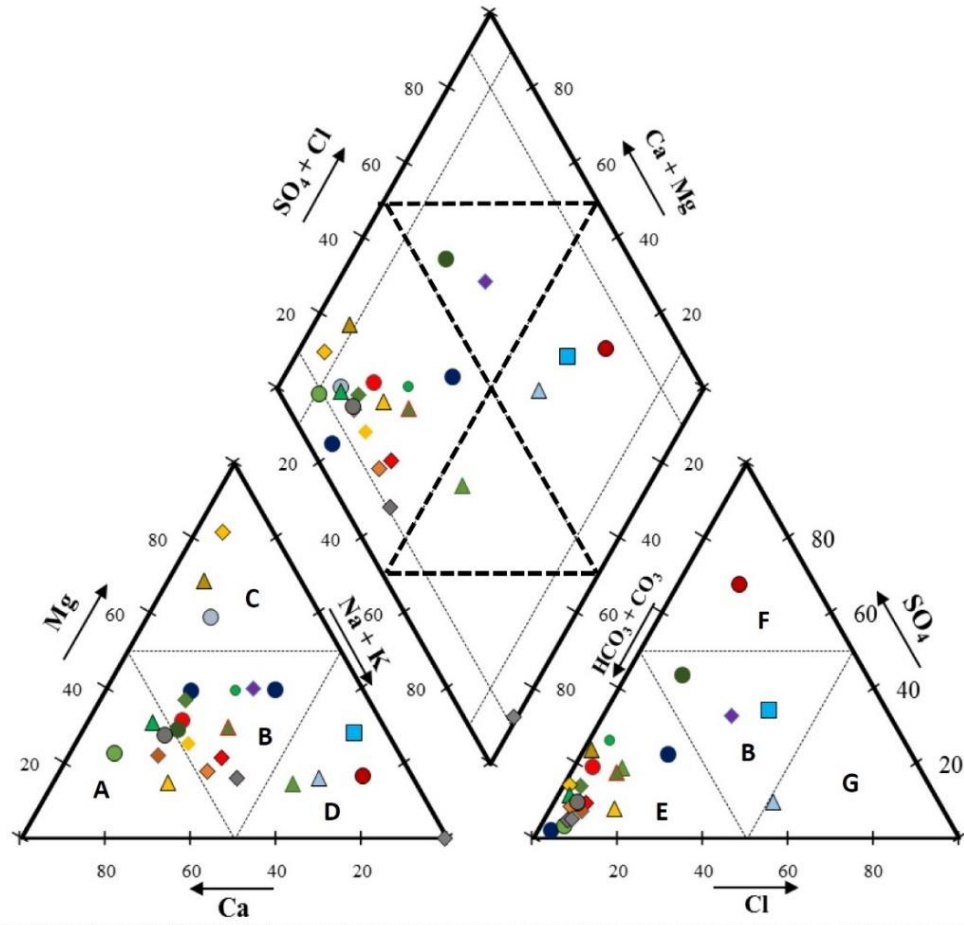
Kurak dönem örneklerinde İmrendi köy kuyu noktası, Bitik lokman kuyu noktası, Güvenç kuyu noktası, Günbaşı kuyu noktası ve Uçarı çeşme orta noktasında Dünya Sağlık Örgütünün belirlediği arsenik içme suyu sınır değeri olan $10 \mu\text{g/L}$ nin altında çıkmıştır.

Diğer 30 örneğin tamamında sınır değerinin çok üstünde arsenik tespit edilmiştir. Yazıbeyli Kaynak noktasında bu değer 534 $\mu\text{g/L}$ 'ye kadar ulaşmıştır (EK-1).

Su tiplerini belirlemek için analiz sonuçlarındaki major katyonlar ve majör anyonlar mg/L 'den % meq/L'ye çevrilmiştir ve % 20 üzerindeki iyonlar su tipini belirlemede kullanılmıştır (Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4). Su tipleri ayrıca Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilen Chadha diyagramıyla da incelenmiştir.



Şekil 5.3 Kurak dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi



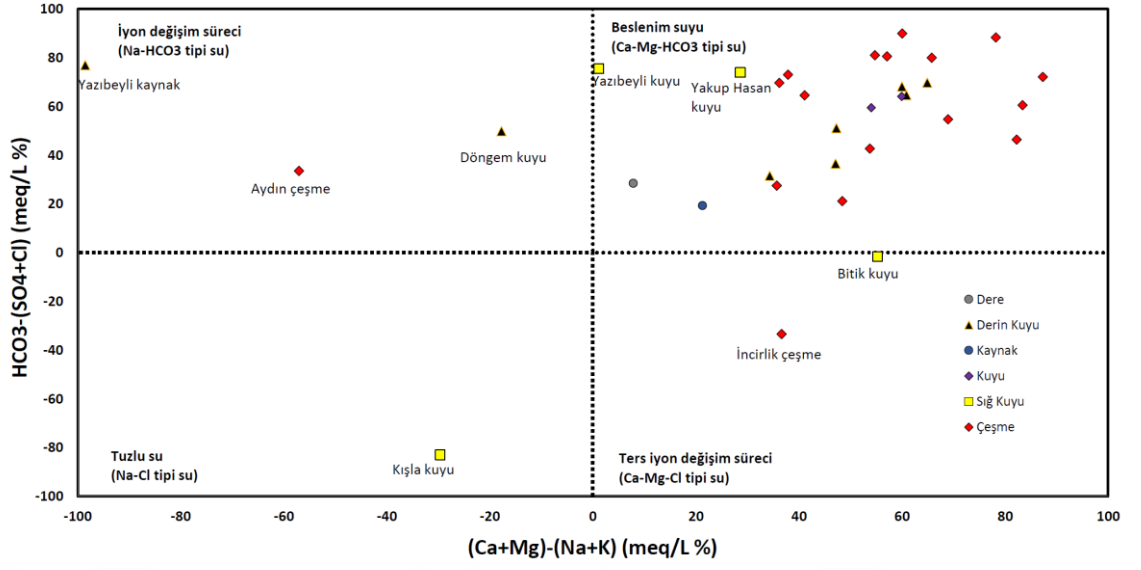
● Ahi Kuyu	● Akçaören Çeşme-1	◆ Alpagut Kuyu	△ Aydın Kuyu-2
● Bitik Kuyu Noktası	● Çeltik Leğen	■ Çoğlu	△ Döngem Kuyu
● Dutluca Kaynak Noktası	● Günbaşı Kuyu	● Güvenç Kuyu	● İçören Çeşme - Sol
● İlyakut Kuyu	● İmrendi Altınışık Çiftliği	● İncirlik Çeşme	● Kışla Kuyu
▲ Mülk Çeşme-1	● Mülk Çeşme-2	▲ Soğucak Çeşme	● Yakup Hasan Çeşme
▲ Yakup Hasan Çeşme-2	● Yakup Hasan Kuyu	◆ Yassıören Kuyu	◆ Yazıbeyli Kaynak
● Yazıbeyli Kuyu			

Şekil 5.4 Yağışlı dönem analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterimi

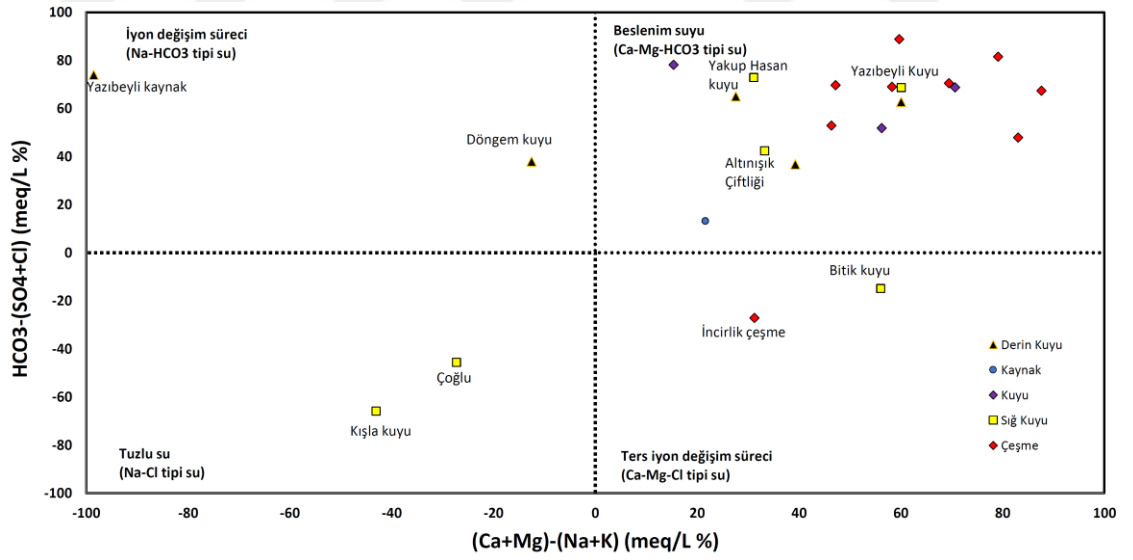
Chadha (1999) Piper diyagramı ile su kimyası verileri üzerinden yapılabilen analizler ile farklı karşılaştırmalar yapılabileceğini belirtmiş fakat bu diyagramın, tüm üçgen diyagramlar gibi, gerçek iyon konsantrasyonunu tanımlamadığını ve bunun bir dezavantaj olduğuna dikkat çekmiştir. Ayrıca, verilerin fazla olduğu durumlarda Piper diyagramının kullanımının zorluk yaratabileceğini de belirten Chadha (1999) yeni bir diyagram önermiştir. Bu diyagram Piper ve Durov diyagramlarının değiştirilmiş bir versiyonudur ve toprak alkali (kalsiyum artı magnezyum) ve alkali metallerin (sodyum artı potasyum)

yüzde miliekivalan farklarının X eksenine, zayıf asidik anyonlar (karbonat artı bikarbonat) ve güçlü asidik anyonların (klorür artı sülfat) yüzde miliekivalan farklarının Y eksenine çizilmesi ile oluşturulur. Bu diyagramda dört alt bölüm vardır ve bu bölümlere düşen örnek noktaları Ca-Mg-HCO₃ tipli (alkali toprak ve zayıf asidik anyonların alkali metaller ve güçlü asidik anyonlardan fazla olduğu bölge- geçici sertliği olan su), Ca-Mg-Cl tipli (alkali toprakların alkali metallerden fazla, güçlü asidik iyonların ise zayıf asidik iyonlardan fazla olduğu bölge- kalıcı sertliği olan su), Na-Cl tipli (alkali metallerin alkali topraklardan ve güçlü asidik anyonların zayıf asidik anyonlardan fazla olduğu bölge- bu bölgedeki sular hem içme hem de sulama amaçlı kullanımda tuzluluk problemleri yaratır), Na-HCO₃ tipli (alkali metallerin alkali topraklardan, zayıf asidik anyonların güçlü asidik anyonlardan fazla olduğu bölge- bu bölgedeki sular sulama suyu olarak kullanıldığında kalıntı sodyum karbonat çökelimine yol açacakları için köpürme problemleri oluşabilir). Chadha diyagramı ile baz katyon değişimi, karışım, sülfat indirgenmesi, tuzlu su girişi gibi farklı hidrojeokimyasal süreçler incelenebilir.

Piper diyagramı üzerinde yapılan incelemelerde ortaya konduğu üzere Şekil 5.5'te ve Şekil 5.6'da verilen kurak ve yağışlı dönem Chadha diyagramlarına göre örneklerin büyük çoğunluğu Ca-Mg-HCO₃ tipli su bölümünde bulunmaktadır. Bu bölümde yer alan yeraltı suları için Ca+Mg'un Na+K'a göre baskın olduğu söylenebilir. Bu bölümdeki sular için alanda bulunan kireçtaşları ile etkileşimde bulundukları sırada bünyelerine Ca aldıkları ve/veya Na'un mineral yüzeylerine tutunmaları sonucunda gerçekleşen ters katyon değişim reaksiyonları neticesinde Ca'nin suya salınımı süreçlerinden geçmiş olabilecekleri söylenebilir. Yazıbeyli kaynak noktası (100 m derinliğinde bir kuyu) ve yine derin bir kuyu olan Döngem kuyu noktası her iki dönemde de NaHCO₃ tipli sular bölümünde konumlanmış ve her iki örnek iyon değişim sürecinden etkilenmiştir. Yine her iki dönemde İncirlik çeşme ve sığ bir kuyu olan Bitik kuyu örnekleri Chadha diyagramında Ca-Mg-Cl tipi su bölümünde yer almışlardır. Bu iki örnek ters iyon değişim sürecinden etkilenmiştir.



Şekil 5.5 Kurak dönemi temsilen alınmış örnekler ile hazırlanmış Chadha grafiği (Chadha 1999)



Şekil 5.6 Yağışlı dönemi temsilen alınmış örnekler ile hazırlanmış Chadha grafiği (Chadha 1999)

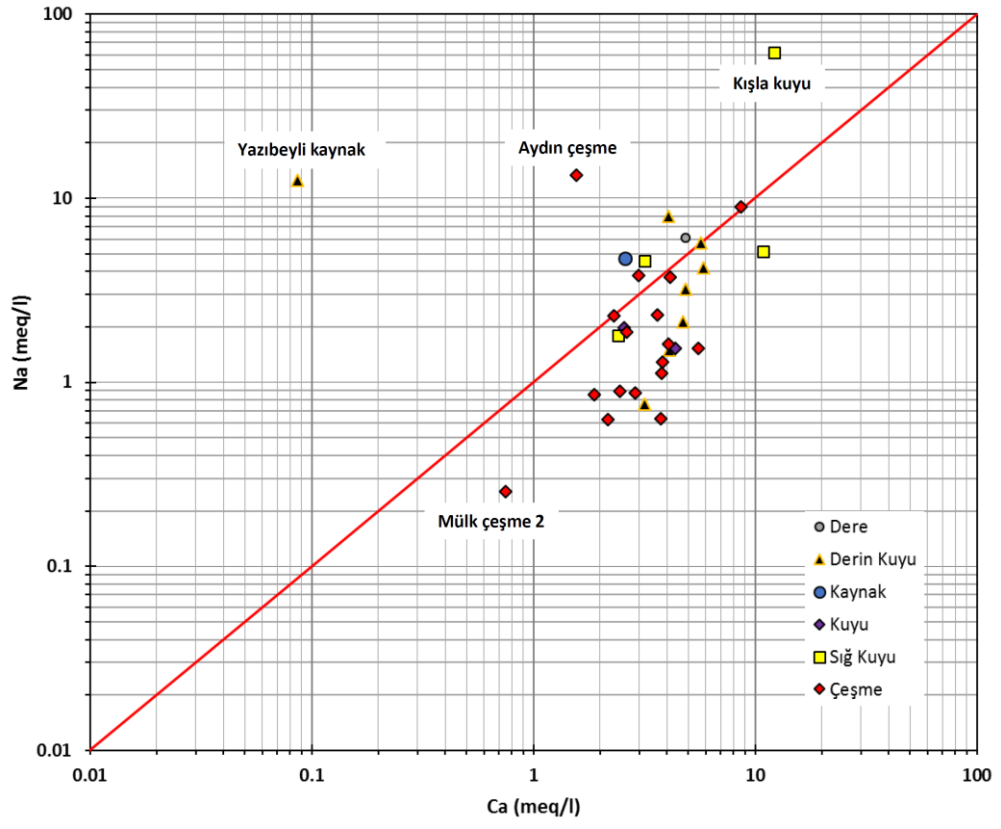
Çizelge 5.1 Kurak dönemde alınan su numunelerinin su tipleri

	ÖRNEK NOKTASI	SU TİPİ
1	Soğucak Çeşme Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
2	Döngem Kuyu Noktası	Na-Ca-HCO ₃
3	İmrendi Köy Kuyu Noktası	Ca-Mg-Na-HCO ₃
4	Aydın Çeşme Noktası	Na-HCO ₃
5	Bitik Lokman Kuyu Noktası	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
6	Kışla Kuyu Noktası	Na-Mg-SO ₄ - Cl
7	Yassı Ören Kuyu Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
8	Güvenç Kuyu Noktası	Mg-Ca-Na-HCO ₃
9	Bitik Kuyu Noktası	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄
10	Mülk Çeşme-1 Noktası	Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄
11	Mülk Çeşme-3 Noktası	Mg-Ca-HCO ₃
12	İlyakut Kuyu Noktası	Mg-Ca-HCO ₃
13	Dutluca Çeşme Noktası	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
14	İncirlik Çeşme-2 Noktası	Mg-Ca-Na-HCO ₃
15	İncirlik Çeşme Noktası	Mg-Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
16	Cimşit Kuyu Noktası	Ca-HCO ₃
17	Dutluca Çeşme-2 Noktası	Mg-Ca-Na-HCO ₃
18	Mülk Çeşme-2 Noktası	Mg-HCO ₃
19	Akçaören Çeşme-1 Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
20	Dutluca Kaynak Noktası	Mg-Na-Ca-HCO ₃
21	Fethiye Çeşme Noktası	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
22	Günbaşı Kuyu Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
23	İçören Sol Çeşme Noktası	Ca-Mg-Na-HCO ₃
24	Uçarı Çeşme Orta Noktası	Ca-HCO ₃
25	Yazıbeyli Kaynak Noktası	Na-HCO ₃
26	Ovaçayı Noktası	Na+Ca-HCO ₃ -Cl
27	Alpagut Kuyu Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
28	Çeltik Leğen Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
29	Y.Hasan Çeşme Noktası	Ca-Mg-HCO ₃
30	Y.Hasan Çeşme-2 Noktası	Ca-HCO ₃
31	Yazıbeyli Kuyu Noktası	Na-Ca-HCO ₃
32	Yakup Hasan Kuyu Noktası	Ca-Na-HCO ₃
33	Alpagut Çeşme Noktası	Ca-Mg-HCO ₃

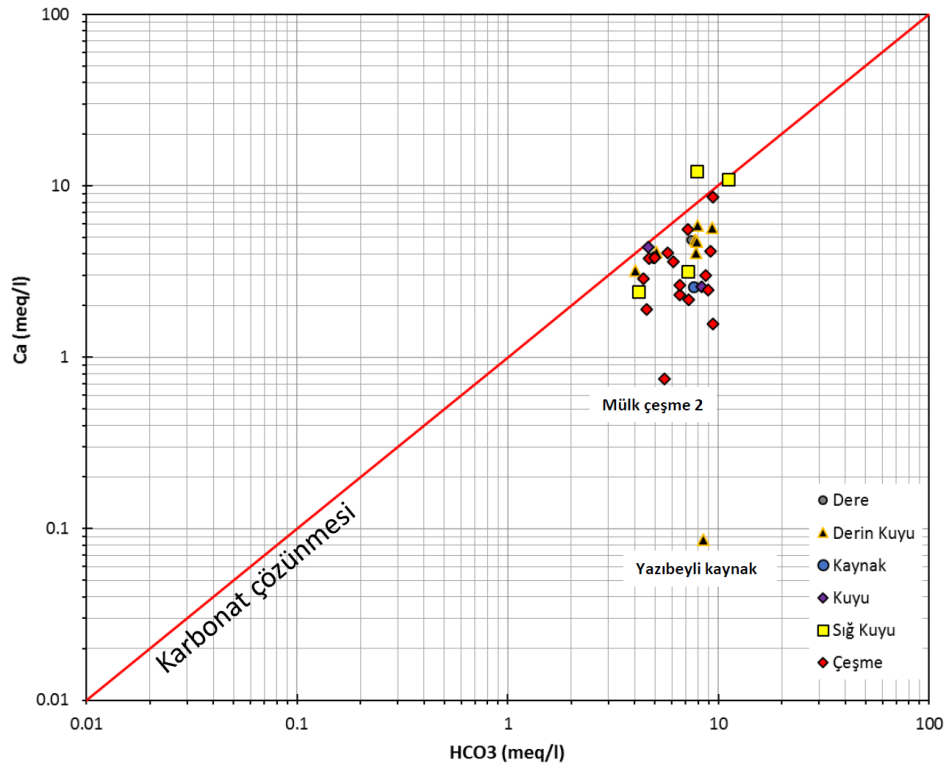
Çizelge 5.2 Yağışlı dönemde alınan su numunelerinin su tipleri

	ÖRNEK NOKTASI	SU TİPİ
1	Ahi Kuyu	Ca-Mg-Na-HCO ₃
2	Akçaören Çeşme-1	Ca-Mg-HCO ₃
3	Alpagut Kuyu	Ca-Mg-HCO ₃
4	Bitik Kuyu Noktası	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃
5	Çeltik Leğen	Ca-Mg-Na-HCO ₃
6	Çoğlu	Na-Mg-Cl-SO ₄ -HCO ₃
7	Döngem Kuyu	Na-Ca-HCO ₃
8	Dutluca Kaynak Noktası	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
9	Günbaşı Kuyu	Ca-Na-Mg-HCO ₃
10	Güvenç Kuyu	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
11	İçören Çeşme – Sol	Ca-Mg-HCO ₃
12	İlyakut Kuyu	Mg-Ca-HCO ₃
13	İmrendi Altınışık Çiftliği	Ca-Na-Mg-HCO ₃
14	İncirlik Çeşme	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
15	Kışla Kuyu	Na-SO ₄
16	Mülk Çeşme-1	Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄
17	Mülk Çeşme-2	Mg-HCO ₃
18	Soğucak Çeşme	Ca-Mg-HCO ₃
19	Yakup Hasan Çeşme	Ca-Mg-HCO ₃
20	Yakup Hasan Çeşme-2	Ca-HCO ₃
21	Yakup Hasan Kuyu	Ca-Na-HCO ₃
22	Yassıören Kuyu	Ca-Na-HCO ₃
23	Yazıbeyli Kaynak	Na-HCO ₃
24	Yazıbeyli Kuyu	Ca-Mg-HCO ₃

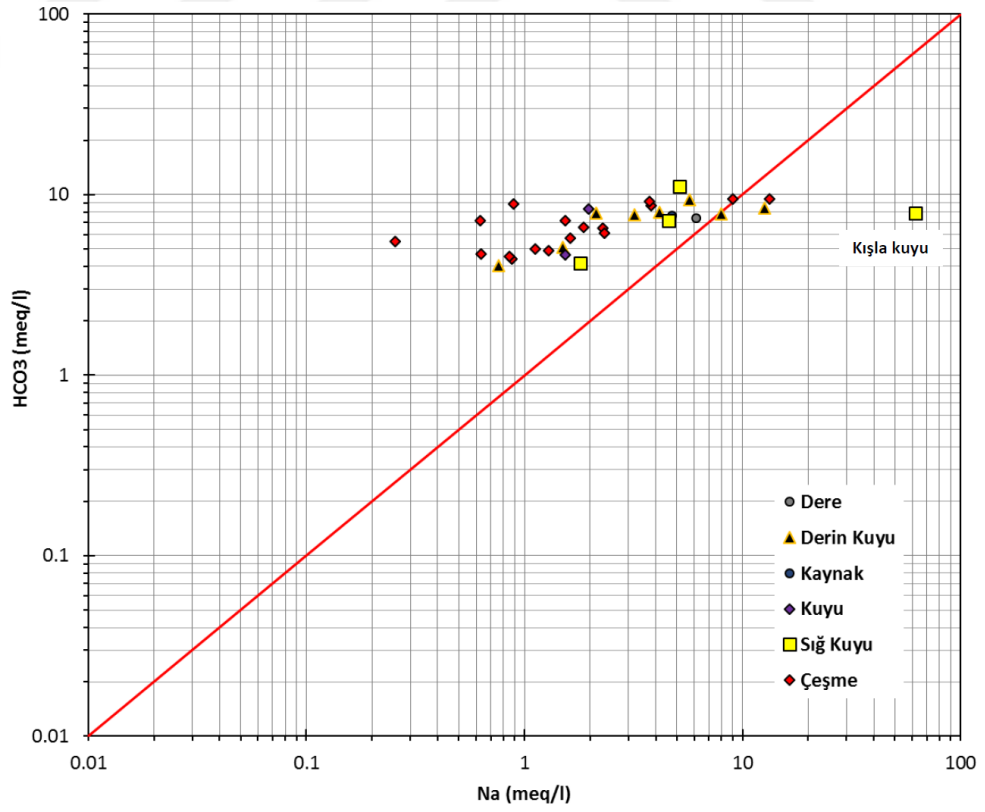
Kurak dönem analiz sonuçları kullanılarak hazırlanmış olan Şekil 5.7'ye göre örneklerin çoğunda Na'a göre Ca fazlalığı olduğu ortaya konmuştur. Yazıbeyli kaynak, Aydın çeşme ve Kışla kuyu bu genellemenin oldukça dışında olan örnek noktalarıdır. Şekil 5.8'e göre yine kurak dönemde örneklerin neredeyse tümünde Ca'a göre HCO₃ fazlalığı vardır. Bu şekile göre bazı örnekler için karbonat çözünmesi su kimyasını etkilemiştir. Şekil 5.9'a göre örneklerde Na'a göre HCO₃ fazlalığı bulunmaktadır. Bu durum da yine kalsit ve dolomit gibi farklı karbonat minerallerinin çözünmesi ile açıklanabilir. Şekil 5.10'a göre ise tüm örneklerde Cl'a göre Na fazlalığı bulunmaktadır ve örnekler halit çözünmesini işaret eden doğrudan uzakta bulunmaktadır. Alanda halit mineralleri ve/veya tuzlu su girişi oluşturabilecek bir süreç olmadığı için bu beklenen bir bulgudur. Yağışlı dönem için hazırlanmış grafiklerde de benzer şekilde sonuçlar çıktığı için burada verilmemiştir.



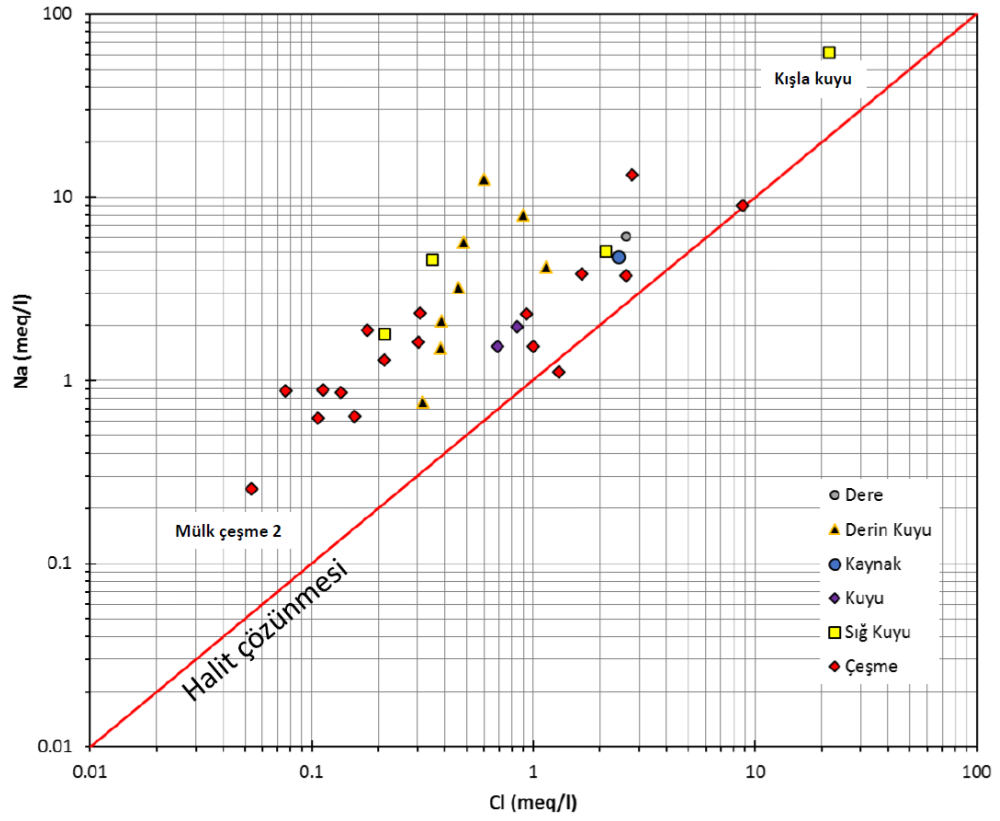
Şekil 5.7 Na (meq/l)'a karşı Ca (meq/l) grafiği



Şekil 5.8 Ca (meq/l)'a karşı HCO₃ (meq/l) grafiği

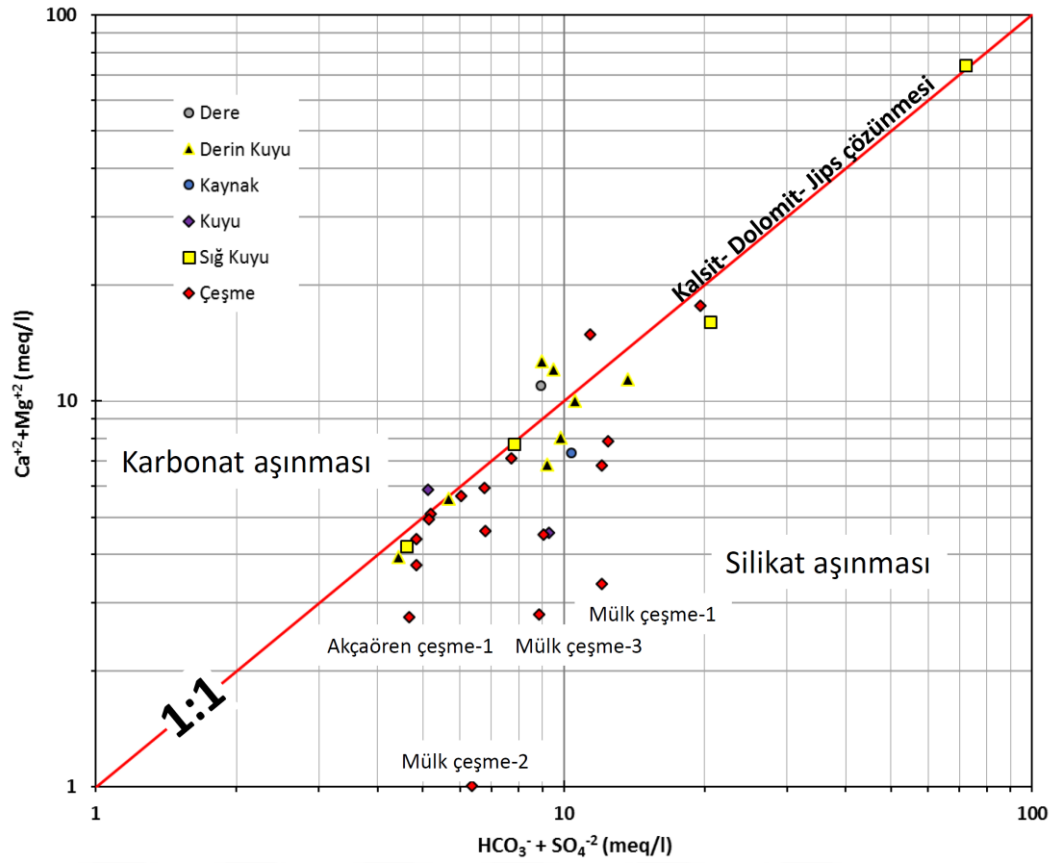


Şekil 5.9 HCO₃ (meq/l)'a karşı Na (meq/l) grafiği



Şekil 5.10 Na (meq/l)'a karşı Cl (meq/l) grafiği

Şekil 5.11'de $\text{Ca} + \text{Mg}$ 'a karşı $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4$ grafiği sunulmuştur. Kalsit, dolomit ve jips çözünmesinin baskın olduğu sucul ortamlarda, $(\text{Ca} + \text{Mg})$ ve $(\text{HCO}_3 + \text{SO}_4)$ ilişkisi 1:1' yakındır (Chung vd. 2015; Sonkamble vd. 2012). İyon değişimi bu grafikte noktaları kaydıracak yönde bir etki yaratır (bu durumda $\text{Ca} + \text{Mg}$ 'a göre $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ fazlalığı oluşur. Ters iyon değişim süreci ise noktaları sola doğru kaydırır. Çünkü bu durumda kayaçlardan alınan Ca ve Mg ile bu iyon konsantrasyonlarında artış meydana gelir. Şekil 5.11'e göre kurak dönem örneklerinin çoğu 1:1 doğrusu altında konumlanmıştır. Bu durum Ca ve Mg eksikliğine işaret etmektedir ve Na fazlalık halinde bulunan anyonları dengelemek durumundadır (Wu vd. 2015). Bu grafikte 1:1 çizgisi üzerinde yer alan örneklerde ters iyon değişimi etkilerinin olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 5.11 Ca + Mg (meq/l)'a karşı $\text{HCO}_3 + \text{SO}_4$ (meq/l) grafiği

5.2 İstatistiksel Değerlendirmeler

Su örneklerinin kimyasını anlamak için başka bir yaklaşım, çok değişkenli istatistikler kullanarak, çözülmüş bileşenleri ve litoloji gibi çevresel parametreler arasındaki istatistiksel ilişkileri araştırmaktır (Drever 1997). İstatistiksel değerlendirmeler zorunlu olarak neden-sonuç ilişkisi kurmaz ancak, verilerin eksiksiz analizinde ilk adım olarak bilgileri bütün bir biçimde sunar ve hidrokimyasal süreçlerin yorumlanması için yardımcı olabilir.

Küme analizi gibi istatistiksel teknikler, su kimyası verilerini analiz etmek için güçlü bir araç sağlayabilir. Bu yöntemler, su kalitesi verilerini test etmek ve numunelerin, istatistiksel bir bakış açısının yanı sıra jeolojik bağlamda önemli olabilecek farklı popülasyonlara (hidrokimyasal gruplar) gruplanıp gruplandırılmayacağını belirlemek için kullanılabilir.

İstatistiksel değerlendirmeler öncesinde laboratuvarda kullanılan cihazın deteksiyon limitinin altında kalan değerler ile ilgili işlem yapılması gerekmektedir. Su kimyası verileri bazen laboratuvarda kullanılan cihazın deteksiyon limitinin altında kalır, yani bazı elementlerin konsantrasyonları tespit edilmemiş, küçüktür veya büyüktür şeklinde rapor edilir. Bu değerler, kullanılan aletin veya yöntemin alt veya üst tespit limiti tarafından oluşturulur. Deteksiyon limitinin altında kalan veriler çok değişkenli farklı istatistiksel teknikler için uygun değildir. Bu nedenle, tespit edilemeyen, küçüktür ve büyüktür değerlerinin yerine bir değer atanır. (Farnham ve ark. 2002).

Deteksiyon limitinin altında kalan değerler için farklı araştırmacılar tarafından farklı değerler atanmıştır. Bu çalışmada deteksiyon limitinin altında kalan değerler için 0,50 katı büyüklüğündeki değerler atanmıştır. (Sanford ve ark. 1993). Çalışmada deteksiyon limitinin üstünde kalan değer yoktur.

Değişkenlerin standart puanları (z-puanları) aşağıdaki şekilde hesaplanarak standardize edilmiştir:

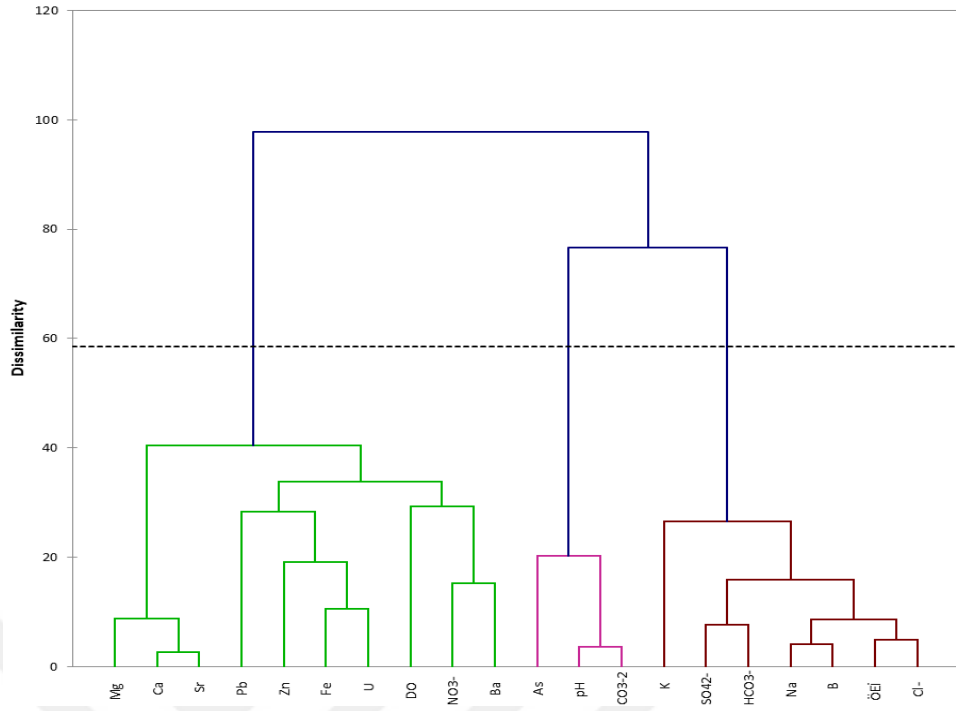
$$Z_i = (X_i - X_{ort}) / S$$

Burada z_i = i örneğinin standart puanı; x_i = i örneğinin değeri; x_{ort} = ortalama; s = standart sapma. Standardizasyon, log-dönüştürölmüş 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). Grafik analizler için ham veriler kullanılırken, dönüştürölmüş (log-dönüştürölmüş ve standardize edilmiş) veriler için hiyerarşik kümeleme analizi (HCA) kullanılmıştır.

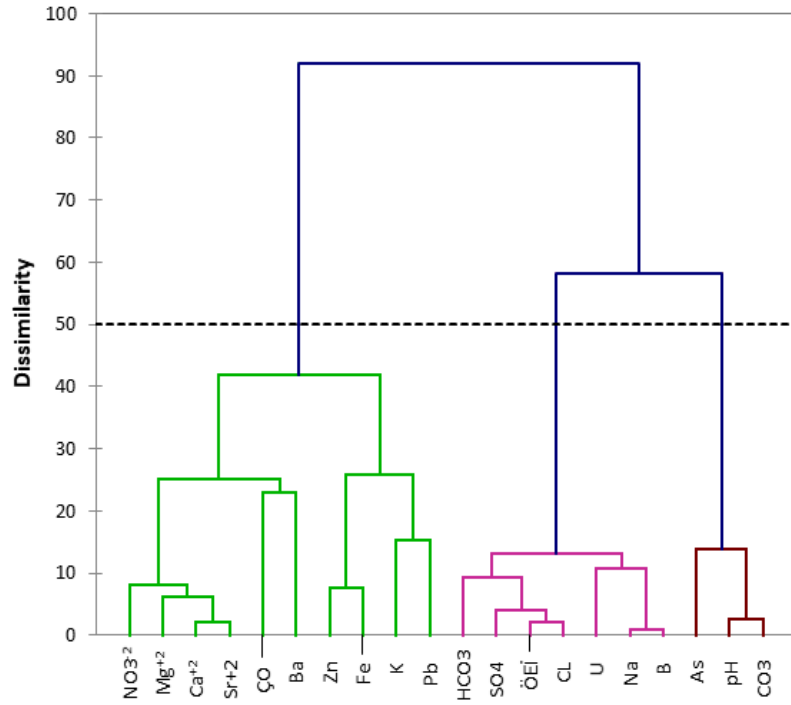
Kümeleme analizi tekniklerinin varsayımları, eş varyans ve değişkenlerin normal dağılımını içerir (Alther 1979). Tüm değişkenlerin katkısının eşit olması verilerin log dönüşümünü ve standardizasyonunu (z-skorları) gerektirir. Farklı numunelerden çoklu parametrelere dayalı karşılaştırmalar yapılır ve numuneler birbirine “benzerliklerine” göre gruplandırılır.

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 noktaları (örnekleri) 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).

Bu çalışmada elde edilen veriler yukarıda anlatıldığı şekilde düzenlenmiş ve değerlendirmeler sonucunda Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'te sunulan dendrogramlar elde edilmiştir. Bu şekillere göre arsenik pH ve karbonat ile ilişkilidir. pH ve karbonatın ilişkili olması beklenen bir sonuçtur çünkü karbonat kimyası tamamen suyun pH'ına bağlı olarak değişiklik gösterir. Her iki dönemde de özgül Elektriksel İletkenlik klorür ile, sülfat bikarbonat ile ilişkilidir. Benzer kimyasal davranış gösteren kalsiyum stronsiyum ile yakın ilişkide, bu ikili magnezyum ile ilişkilidir. Sodyum bor ile, nitrat kurak dönemde baryum ile ilişkiliyken yağışlı dönemde magnezyum, kalsiyum ve stronsiyum üçlüsü ile yakın ilişkidir. Çözülmüş oksijen her iki dönemde de baryum ile ilişkilidir.



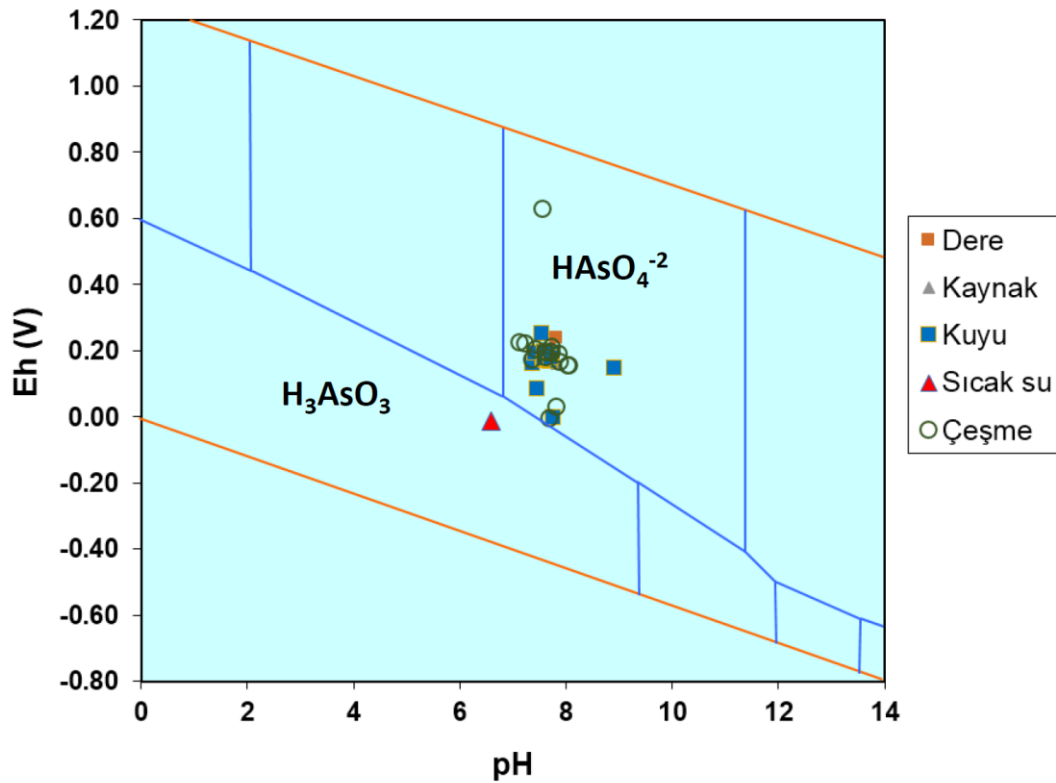
Şekil 5.12 Kurak dönemdeki örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modu HCA ile elde edilen dendrogramı



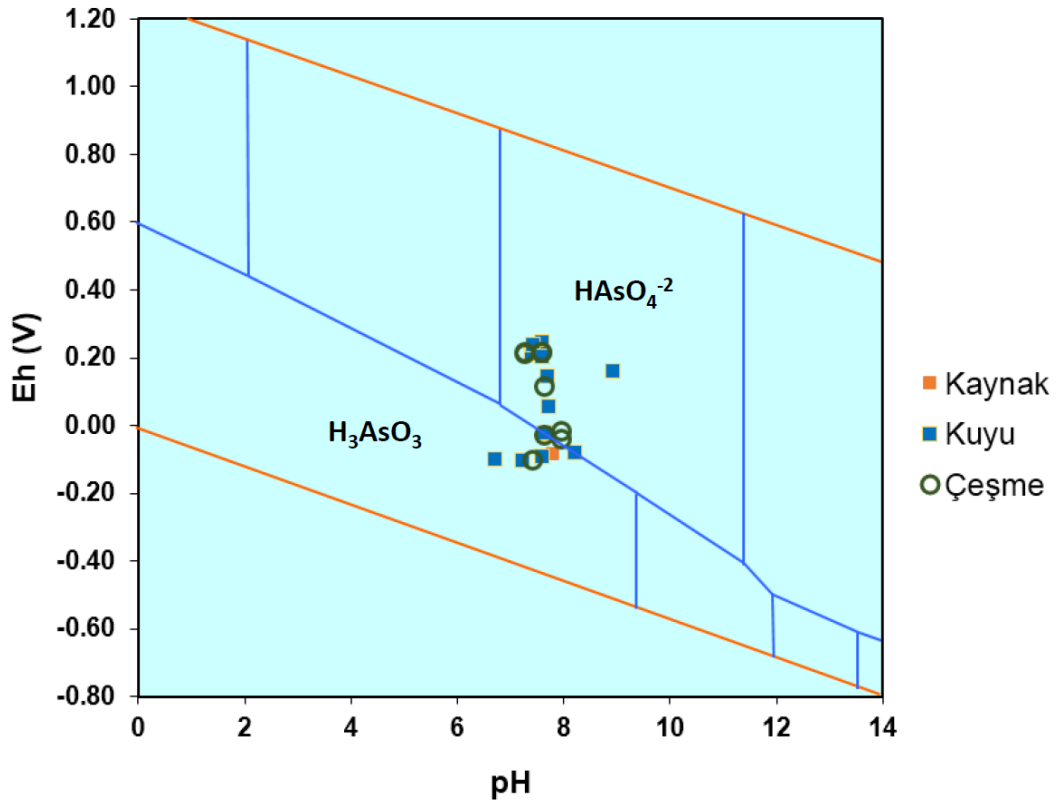
Şekil 5.13 Yağışlı dönemdeki örneklerin kimyasal bileşenlerinin R-modu HCA ile elde edilen dendrogramı

5.3 Arsenik Jeokimyası

Kurak dönem pH- Eh (ORP) (Çizelge 3.1) verileri kullanılarak hazırlanmış olan Pourbaix diyagramında (Şekil 5.14) Soğucak termal kuyusundan alınan örnek dışındaki tüm örneklerde arseniğin hidrojen arsenat (As +5) formunda olduğu (HAsO_4^{-2}), Soğucak termal kuyusunda ise arsenöz asit (As +3) formunda (H_3AsO_3) olduğu görülmüştür. Yağışlı dönemde yapılan incelemelerde tüm örneklerde arseniğe rastlanmıştır. Ahi Kuyu, Güvenç Kuyu, İmrendi Altınışik Çiftliğinde arsenik içme suyu sınır değeri olan $10 \mu\text{g/L}$ nin altında çıkmıştır. Bunun dışında kalan 22 örneğin tamamında sınır değerinin çok üstünde arsenik tespit edilmiştir. Yazıbeyli Kaynak noktasında $493 \mu\text{g/L}$ arseniğe rastlanmıştır. Şekil 5.15'te sunulan yağışlı dönem arsenik Pourbaix diyagramında kurak dönemin aksine birçok çeşme, kaynak ve kuyu örneğinin arsenöz asit (As +3) formunda (H_3AsO_3) olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14 Kurak dönem analiz sonuçları ile arsenik için hazırlanmış Pourbaix diyagramı

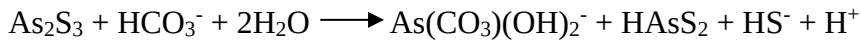


Şekil 5.15 Yağışlı dönem analiz sonuçları ile hazırlanmış Pourbaix diyagramı

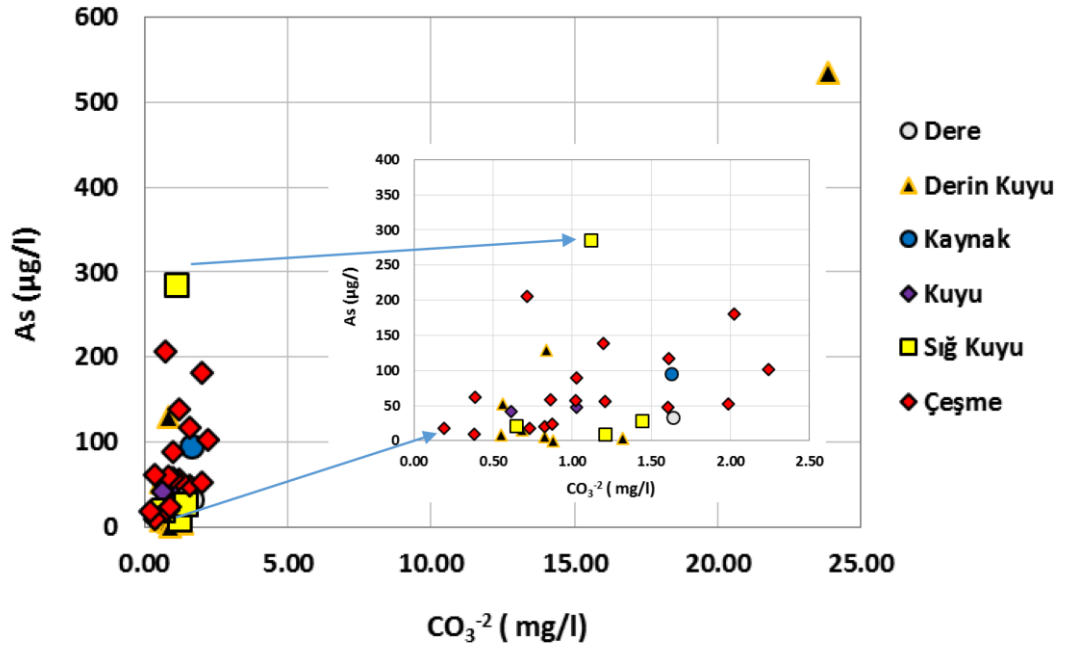
Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de kurak dönem için arseniğe karşı sırasıyla CO_3^{2-} , HCO_3^- , pH, çözülmüş oksijen, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli ve bor grafikleri sunulmuştur. Kurak dönemi yansıtan grafiklerde As, pH ve CO_3^{2-} ile ilişkili görünmektedir. Öte yandan, arsenik ile çözülmüş oksijen, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli ve bor arasında belirli bir ilişki saptanamamıştır (Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21).

Şekil 2.6’da verilen bilgilerden hareketle madencilik faaliyeti olmayan alanlar için genel olarak düşük hızda boşalım gerçekleşen akiferlerde kurak/yarı kurak ortamda yükseltgen ortamda demir oksitlerden desorpsiyon ile suya geçen arseniğin yüksek pH (>8), yüksek alkalinite, muhtemelen yüksek F, U, B, Se ve Mo, yüksek tuzluluk, Eh ve çözülmüş oksijen ile karakterize edilebileceği söylenebilir (Smedley ve Kinniburgh 2002). Kazan Havzası yeraltı sularında artan pH ve elbette artan karbonat ile sularda arsenik konsantrasyonunda bir artış olduğu söylenebilir. Yapılan bazı çalışmalarda (Kim vd. 2000

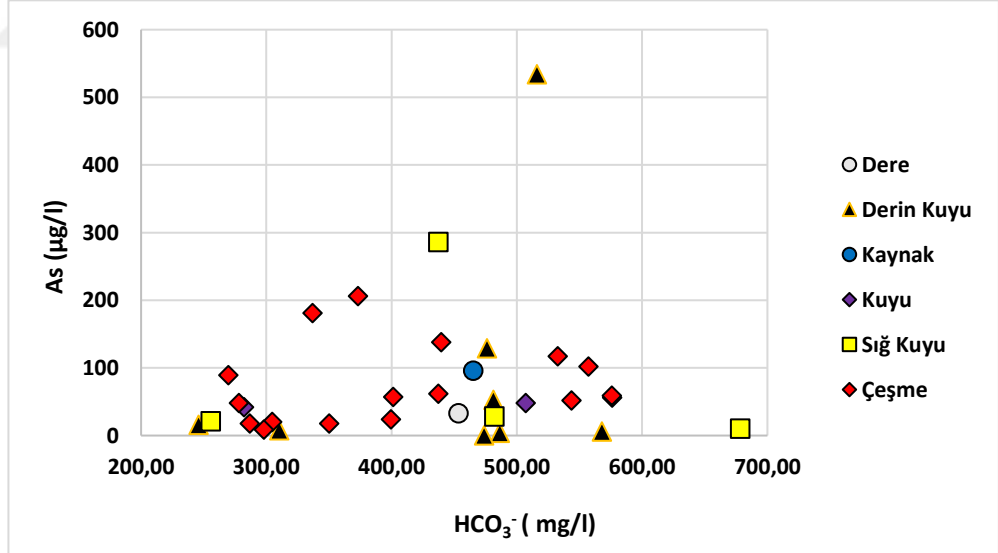
ve Radu vd. 2005) çözünmüş karbonatın arsenik adsorpsiyon ve mobilitesini etkilediği ortaya konmuştur. Kim vd. (2000) akifer kayalardan arseniğin serbest kalmasının kayaların yıkanmasına neden olan solüsyondaki bikarbonat konsantrasyonu ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koydukları çalışmalarında orpiment minerali kullanarak oluşturdıkları çözünme reaksiyonunu aşağıdaki şekilde vermişlerdir.



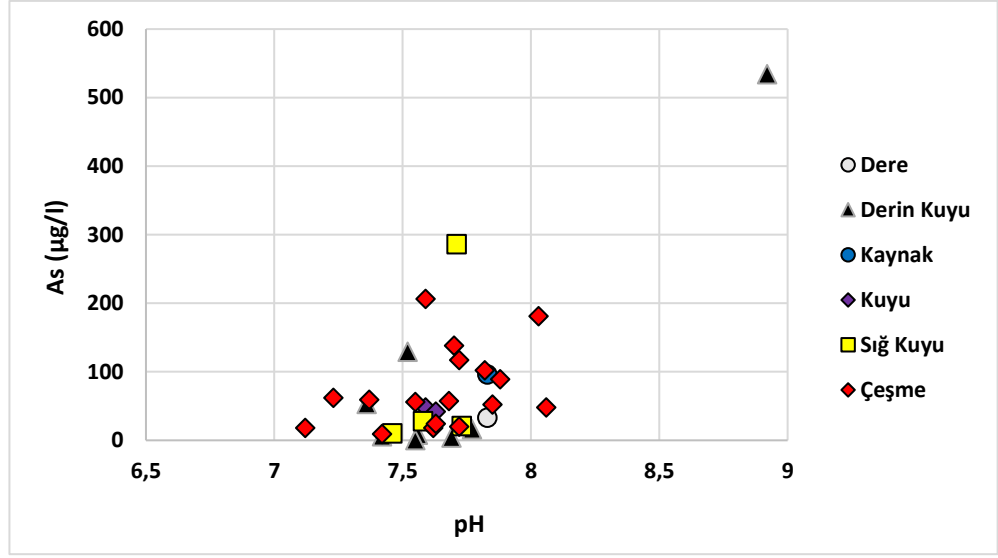
Çalışma alanının kuzeyinde bulunan Kızılcahamam Volkanik Bölgesi ile ilişkili Soğucak'ta bulunan termal su çıkışının çözünmüş arsenik konsantrasyonu 1910 µg/l'dir. Kazan Havzası'nda derin dolaşımli suların ve manto kaynaklı gazların (helyum vb.) derin gömülü fay sistemleri ile yüzeye taşındığı ortaya konmuştur (Arslan 2008). Derin termal sistemde yüksek sıcaklıkta kayalardan ayrılıp suda çözünür hale gelen arsenik ve bor gibi diğer iz elementler farklı akım yolları boyunca havza içerisindeki suların bünyelerine katılmaktadır. Dolayısıyla, Kazan Havzası yeraltı sularında bulunan çözünmüş arsenik, herhangi bir antropojenik kaynak olmadığından, jeojenik kökenlidir. Arseniğin suya geçiş mekanizması komplekstir ve jeolojisi bu denli karmaşık bir havzada farklı bölgelerde yeraltı sularında farklı oranlarda bulunmaktadır. Elde edilen verilere göre arsenik ve karbonat iyonları arasındaki farklı adsorpsiyon/ desorpsiyon reaksiyonları ile arseniğin suya geçişi mümkün olmaktadır. Çözünmüş karbonat sadece arsenik değil diğer iz metallerin adsorpsiyonunu etkileyebilecek ölçüde mineral yüzeylerindeki konumlar için yarış içerisinde girebilmektedir (Radu vd. 2005). Suların major iyon kimyasını etkileyen farklı süreçlerin varlığından önceki bölümde bahsedilmiştir. Bu kısımda ise iyon değişim süreçlerinin yanı sıra adsorpsiyon/desorpsiyon reaksiyonlarının da su kimyasını etkileyici yönde etki yaptığı sonucuna varılmıştır.

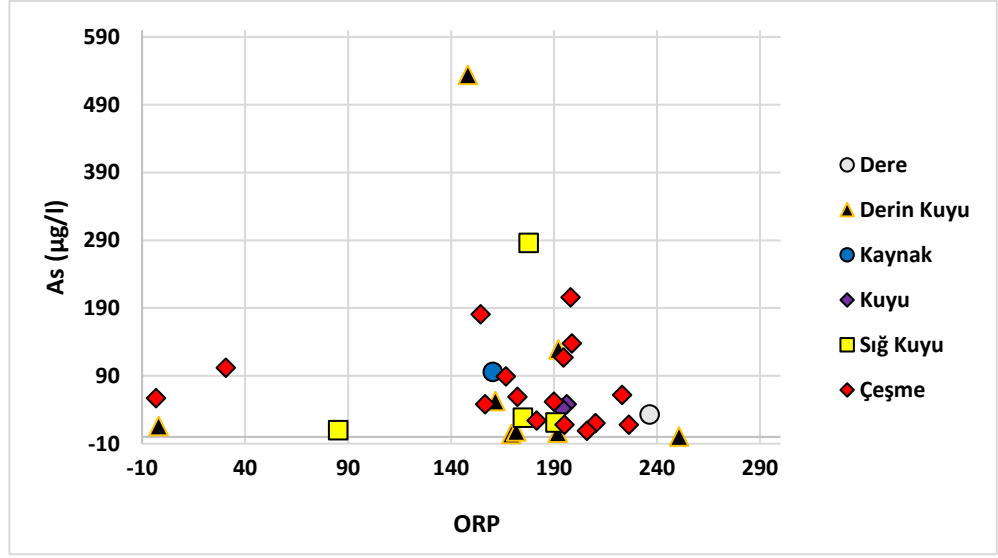


Şekil 5.16 Kurak dönem As'e karşı CO₃²⁻ grafiği

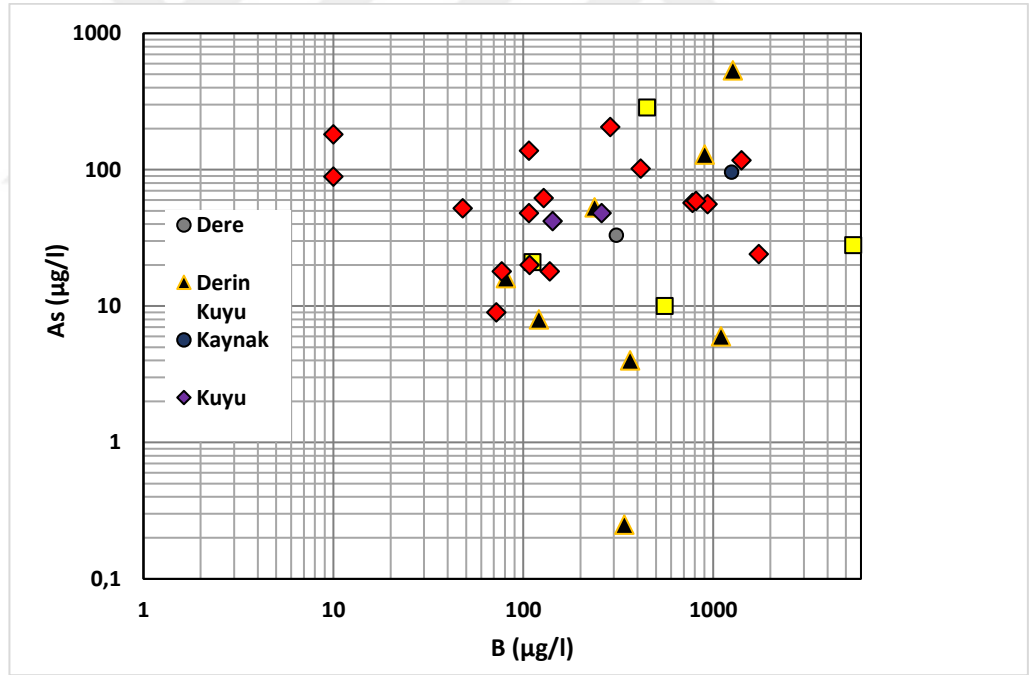


Şekil 5.17 Kurak dönem As'e karşı HCO₃ grafiği





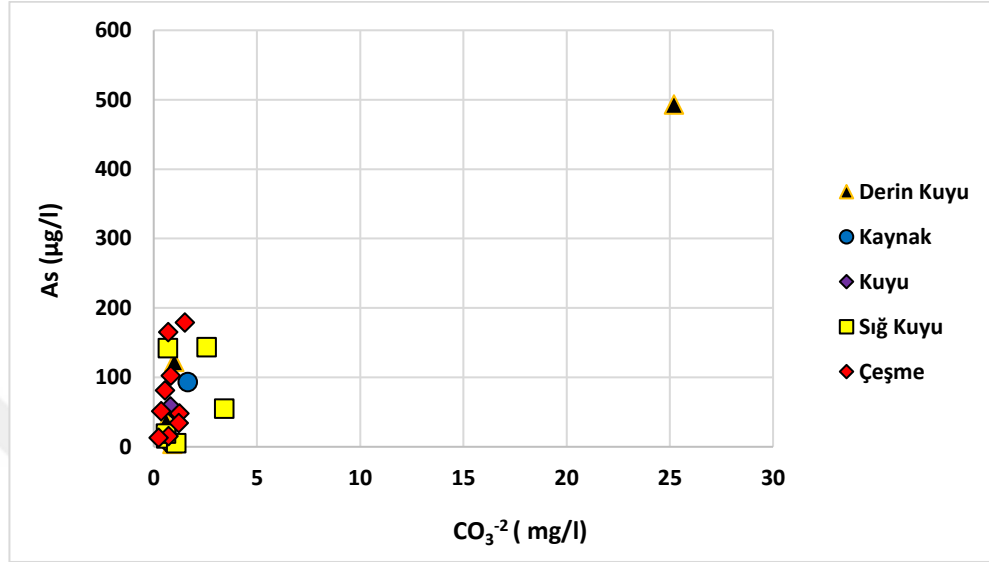
Şekil 5.20 Kurak dönem As'e karşı yükseltgenme-indirgenme potansiyeli grafiği



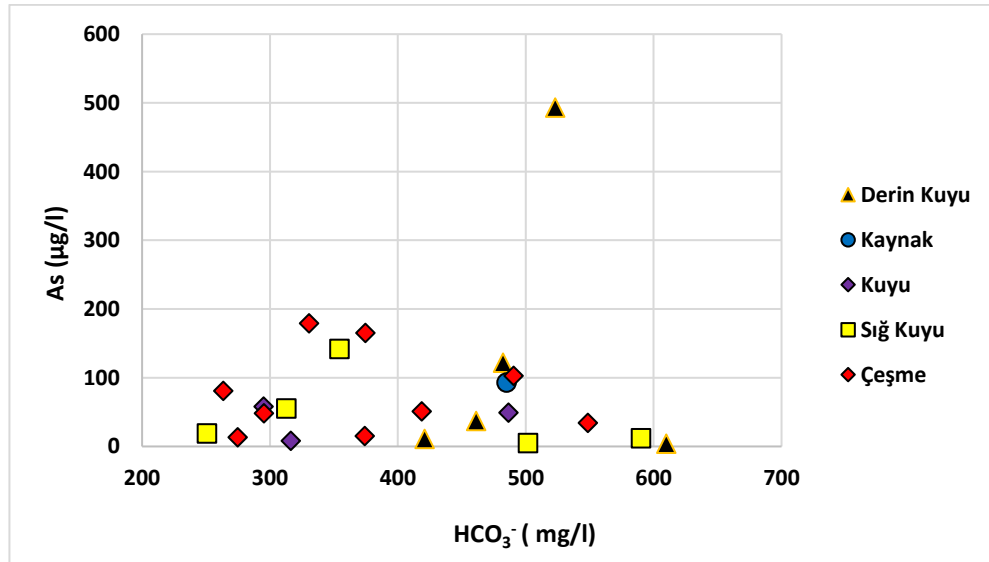
Şekil 5.21 Kurak dönem As'e karşı B grafiği

Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da yağışlı dönem için arseniğe karşı sırasıyla CO_3 , HCO_3 , pH, çözünmüş oksijen, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli grafikleri sunulmuştur. Yağışlı dönemi yansıtan grafiklerde As, pH ve CO_3 ile ilişkili

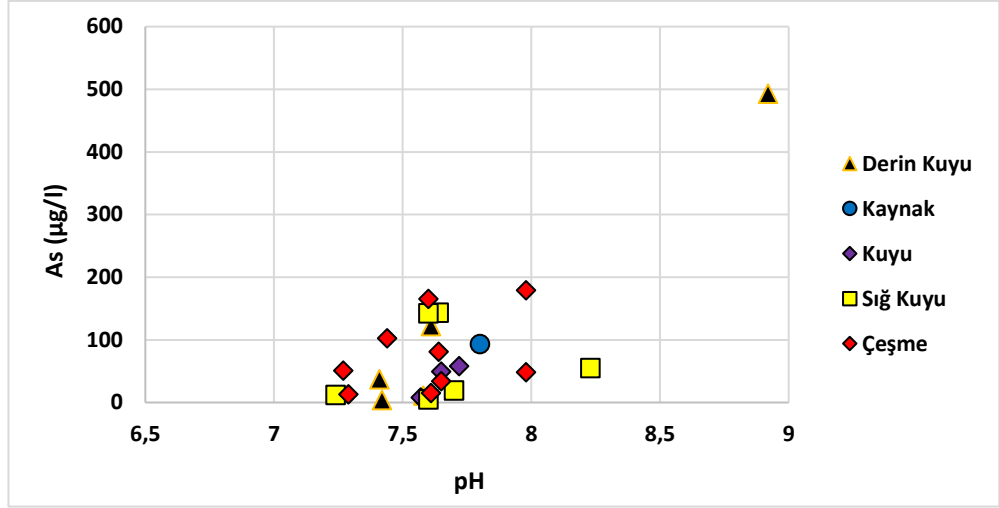
görülmektedir. Öte yandan, arsenik ile çözülmüş oksijen, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli arasında belirli bir ilişki saptanamamıştır (Şekil 5.25 ve Şekil 5.26).



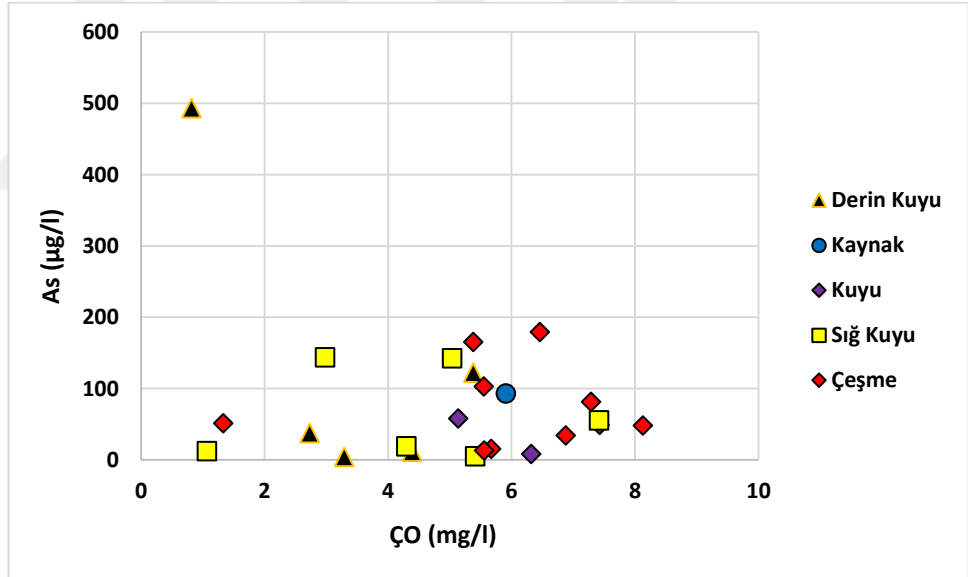
Şekil 5.22 Yağışlı dönem As'e karşı CO₃²⁻ grafiği



Şekil 5.23 Yağışlı dönem As'e karşı HCO₃⁻ grafiği



Şekil 5.24 Yağışlı dönem As'e karşı pH grafiği



Şekil 5.25 Yağışlı dönem As'e karşı çözünmüş oksijen grafiği

- Soğucak termal kuyusundan alınan örnek dışındaki tüm örneklerde arseniğin hidrojen arsenat ($\text{As} +5$) formunda olduğu (HAsO_4^{-2}), Soğucak termal kuyusunda ise arsenöz asit ($\text{As} +3$) formunda (H_3AsO_3) olduğu görülmüştür.
- Arseniğin suya geçiş mekanizması komplekstir ve jeolojisi bu denli karmaşık bir havzada farklı bölgelerde yeraltı sularında farklı oranlarda bulunmaktadır.
- Arseniğin kaynağı volkanizma ile ilişkilidir.
- Sahada özellikle çeşmeler yöre halkı tarafından içme suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Halk arseniğin zararları konusunda bilgi sahibi değildir.

Ankara- Kahramankazan havzasında kaynak, kuyu ve çeşmelerden alınan örneklerde yapılan analizlerde WHO (Dünya Sağlık Örgütü) tarafından belirlenen içme suyu sınır değeri olan $10 \mu\text{g/L}$ 'nin çok üzerinde arsenik tespit edilmiştir. Bölgede bazı köylerde içme suyuna ulaşmada sıkıntı olduğu için buradaki sular bölge halkı tarafından içme suyu olarak kullanıldığı bilgisi yöre halkı ile yapılan görüşmelerden elde edilmiştir. Halkın arsenik konusunda bilgisiz olduğu görülmüştür. Kahramankazandaki bazı köylerde içme suyu ASKİ tarafından tankerlerle sağlanmakta ve çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Aynı zamanda buradaki sular tarım ve hayvancılıkta da kullanılmaktadır. Arseniğin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri yapılan çalışmalar ile bilinmektedir. Yüksek seviyede arseniğin vücuda alınması sonucunda sinir sistemi bozuklukları, kalp rahatsızlıkları, yüksek tansiyon, karaciğer kanseri, akciğer kanseri, böbrek kanseri, deri kanseri, deride lezyonlar ve pigmentasyonların görüldüğü cilt rahatsızlıklarına neden olduğu bilimektedir. (Shahid vd. 2008). Toksik olan bu arsenikli suların kullanılmaması için yöre halkı bilinçlendirilmeli ve bölgenin içme suyu sorunu ilgili kuruluşlar tarafından çözümlenmelidir. Arıtma yöntemlerini kullanmak da başka bir çözüm yolu olabilir. Maliyet analizleri yapılarak arseniksiz suya ulaşmada en iyi yöntem seçilmelidir.

KAYNAKLAR

- Ahuja, S. 2008. The problem of arsenic contamination of groundwater. In “Arsenic Contamination of Groundwater Mechanism, Analysis and Remediation” ed. Ahuja, S. John Wiley and Sons. New Jersey, USA.
- Alther, G.A. 1979. A simplified statistical sequence applied to routine water quality analysis: a case history. *Ground Water*, 17, 556–561.
- Altun, İ.E., Kadıncık, G., Aksay, A. 2002. Türkiye Jeoloji Haritaları Bolu H-28 Paftası. Ankara: Maden Tetkik Arama, Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Anonim 2022. Web Sitesi: <https://www.cinergroup.com.tr/cam-ve-kimyasallar/kazan-soda-elektrik> Erişim Tarihi: 22.12.2022
- Anonim 2022. Web Sitesi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kahramankazan> Erişim Tarihi: 22.12.2022
- Anonim 2022. Web Sitesi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/trona> Erişim Tarihi: 22.12.2022
- Apaydın, A. 2011. Dual impact on the groundwater aquifer in the Kazan Plain (Ankara, Turkey): sand–gravel mining and over-abstraction. *Orginal Article*.
- Apaydın, A., Salman Akın B., Kaya, E. 2021. The Hydrochemical Characteristics of a Stressed Sand-Gravel Aquifer: Kazan Plain, Ankara, Turkey. *Scientific Research Pupliching*.
- Arslan, Ş. 2008. Investigation of the Recharge and Discharge Mechanisms of a Complex Aquifer System by Using Environmental Isotopes and Noble Gases. *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arslan, Ş. ve Çelik, M. 2015. Assessment of the Pollutants in Soils and Surface Waters Around Gümüşköy Silver Mine (Kütahya, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 499-506.
- Arslan, Ş., Çelik, M., Dokuz, U.E., Berhe, B.A. 2013. Köprüören Havzasında (Kütahya) insan kaynaklı su kirliliği, 2. Tıbbi Jeoloji çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı sayfa 213-220 , 4-6 Aralık 2013, Antalya.
- Arslan, Ş., Yücel, Ç., Çallı, S.S., Çelik, M., 2017. Assessment of Heavy Metal Pollution in the groundwater of the northern Develi Closed Basin, Kayseri, Turkey, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99 (2); 244-252.
- Astolfi, E., Maccagno A., Fernandez, JCG., Vaccaro, R., Stimola, R. 1981. Relation between arsenic in drinking water and skin cancer. *Biol. Trace Elem. Res*, 3(2); 133–143.
- Atabey, E. 2009. Arsenik ve Etkileri. MTA, 91, Ankara.
- Berry, J.K. 1995. Spatial reasoning for effective GIS. GIS World Books, Fort Collins, Colorado.
- Chadha, D.K. 1999. A Proposed New Diagram for Geochemical Classification of Natural Waters and Interpretation of Chemical Data. *Hydrogeology Journal*, 7, 431-439.
- Davis, J.C. 1986. Statistics and data analysis in geology, 2nd edn. Wiley, New York.

- Demirkıran, O. 2002. Ovaay Havzası akiferlerinin kirliliğe duyarlılık haritalama alışması.
- DSİ. 1976. Mürted Ovası Hidrojeolojik Ett Raporu. Ankara: Devlet Su İşleri.
- Drever, J.I 1997. The geochemistry of natural waters, 3rd edn. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Duru, M., ve Aksay, A. 2002. Türkiye Jeoloji Haritaları Bolu H-29 Paftası. Ankara: Maden Tetkik Arama, Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Dzombak, D.A. ve Morel, F.M.M. 1990. Surface Complexation Modeling: Hydrous Ferric Oxide. John Wiley & Sons, New York.
- Erol, O. 1961. Ankara Bölgesinin Tektonik Gelişmesi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 7 (2) , 57-85.
- Erol, O. 1963. Ankara ve Mürted ovalarında alüvyal morfoloji ile yeraltı suları arasındaki ilgi. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 21 (3-4), 67-78.
- Esat, K., Seyitoğlu G., Ecevitoglu, B., Kaypak, B. 2017. Abdüsselam Kısıtılmış Tektonik Kaması: KB Orta Anadolu’da daralma rejimiyle ilişkili bir Geç Senozoyik yapısı. Yer Bilimleri, 38 (1), 33-56.
- Farnham, I.M., Stetzenbach, K.J., Singh, A.S., Johannesson, K.H., 2002. Treatment of nondetects in multivariate analysis of ground water geochemistry data. Chemometrics Intelligent Lab Sys 60, 265–281.
- Fuller, C. C., ve Davis, J. A. 1989. Influence of coupling of sorption and photosynthetic processes on trace element cycles in natural waters. Nature, 340(6228), 52-54.
- Gemici, ., Tarcan, G., Helvacı, C., Somay, A. 2008. High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadi borate deposits (Western Turkey). Applied Geochemistry, 2462-2476.
- Gunduz, O., Simsek, C., Hasozbek, A. 2010. Arsenic Pollution in the Groundwater of Simav Plain, Turkey: Its Impact on Water Quality and Human Health. Water Air Soil Pollut, 205, 43.
- Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M.L., Smith, A.H. 1998. Lung and kidney cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Córdoba. Argentina, International Journal of Epidemiology, 27(4), 561–569.
- JLAB Science Education. It's Elemental -The Element Arsenic. <https://education.jlab.org/itselemental/ele033.html> Alındığı Tarih: 3 Aralık 2022.
- Judd, A.G. 1980. The use of cluster analysis in the derivation of geotechnical classifications. Bull Assoc Eng Geol, 17, 193– 211.
- Kahramankazan Kaymakamlığı İle, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Mdrlğ. 2017. Brifing Raporu. Ankara.
- Kavaklı, T. 2002. Ankara-Kazan kuzeydoğusu Ovaay havzasının hidrojeoloji incelemesi.
- Kim, M.J., Nriagu, J., Haack, S. 2000. Carbonate ions and arsenic dissolution by groundwater, Environmental Science and Technology, 34, 3094-3100.

- Mahimairaja, S., Bolan, N., Adriano, D.C., & Robinson, B. H. 2005. Arsenic Contamination and its Risk Management in Complex Environmental Settings. *Advances in Agronomy*.
- Mandal, B.K., Suzuki, K.T. 2002. Arsenic round the World. A Review. *Talanta*, 58 (1); 201-235.
- Molin, M., Ulven, S. M., Meltzer, H. M., and Alexander, J. 2015. Arsenic in the human food chain, biotransformation and toxicology--Review focusing on seafood arsenic. *Journal of trace elements in medicine and biology: organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)*, 31, 249.
- Moore, K. 2005. Treatment of arsenic contaminated groundwater using oxidation and membrane filtration (Master's thesis, University of Waterloo).
- Mukherjee, A., Sarkar, S., Chakraborty, M., Duttagupta, S., Bhattacharya, A., Saha, D., Bhattacharya, P., Mitra, A., Gupta, S. 2021. Occurrence, predictors and hazards of elevated groundwater arsenic across India through field observations and regional-scale AI-based modeling. *Science of the Total Environment*, 759, 143511.
- Maden Tetkik Arama. 1961. Mürted Ovası Havzasının Hidrojeolojik Etüdü. Ankara, MTA.
- Maden Tetkik Arama. 1980. Ankara-Çubuk; Kızılcahamam-Kazan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. Ankara: MTA.
- Nickson, R.T., McArthur, J.M., Ravenscroft, P., Burgess, W.G., Ahmed, K.M. 2000. Mechanism of arsenic release to groundwater, Bangladesh and West Bengal. *Applied Geochemistry*, 403-413.
- O'Day, P.A. 2006. Chemistry and mineralogy of arsenic. *Elements*, 2, 77-83.
- Omwene, P.I., Öncel, M.S., Çelen, M., Koby, M. 2019. Influence of arsenic and boron on the water quality index in mining stressed catchments of Emet and Orhaneli streams (Turkey). *Environmental Monitoring And Assessment*, 191, 199.
- 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. U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 99-4259, Washington DC.
- Pataky, J., Lusztig, G. 1958. Arsenic liver cirrhosis in several members of a family. *J. Inner Med.* 17, 668– 671.
- Radu, T., Subacz, J.L., Phillippi, J.M., Barnett, M.O. 2005. Effects of dissolved carbonate on arsenic adsorption and mobility. *Environmental Science and Technology*, 39, 7875-7882.
- Rahman, A., Mondal, N.C. and F. Fauzia. 2021. Arsenic enrichment and its natural background in groundwater at the proximity of active floodplains of Ganga River, northern India. *Chemosphere*, 265, 129096.
- Rojay, B., Karaca, A. 2008. Post-Miocene Deformation in the South of the Galatean Volcanic Province, NW of Central Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 653-672.
- Rojay, B., Toprak, V., ve Bozkurt, E. 2002. Core Sample Analysis in Kazan soda project area, Ankara, Turkey, Middle East Technical University.

- Rummel, R.J. 1970. Applied factor analysis. Northwestern University Press, Evans.
- Sanford, R.F., Pierson, C.T., Crovelli, R.A. 1993. An objective replacement method for censored geochemical data. *Math Geol* 25, 59–80.
- Serruya, S., 1961, Mürted Ovası Havzasının Hidrojeolojik Etüdü, MTA Rapor No. 2825
- Shahid, M., Dumat, C., Niazi, N., Khalid, S., and Natasha. 2018. Global scale arsenic pollution : increase the scientific knowledge to reduce human exposure. *Vertigo*.
- Sheikhi, S., Faraji, Z., Aslani, H. 2020. Arsenic health risk assessment and the evaluation of groundwater quality using GWQI and multivariate statistical analysis in rural areas, Hashtroud, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 3617–3631.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, 17, 517-568.
- Smith, H.A., Lingas, E.O., Rahman, M., 2000. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 78 (9), 1093- 1103.
- SRK 2001. Hydrogeology, Conceptual Understanding, Kazan Trona Project Ankara, Turkey.
- SRK 2004. Hydrogeological Modeling Kazan Trona Project, Ankara, Turkey.
- S. Y. Chung, S. Venkatramanan, T. H. Kim, D. S. Kim, and T. Ramkumar, 2015. Influence of hydrogeochemical processes and assessment of suitability for groundwater uses in Busan City, Korea. *Environment, Development and Sustainability*, 17(3), 423–441.
- S. Sonkamble, A. Sahya, N. C. Mondal, and P. Harikumar. 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.
- Şanlıyüksel Yücel, D. ve Baba, A. 2013. Türkiye’de asit maden göllerine Çan (Çanakkale) havzası'ndan güncel birkaç örnek. *Mavi Gezegen*.
- Toprak, V. ve Rojay, B. 2000. Geology Baseline Study for the Kazan Soda Project Area, Ankara, Turkey, Middle East Technical University.
- Toprak, V. ve Rojay, B. 2001. Geological Investigation in Kazan Soda Project Area, Ankara, Turkey, Middle East Technical University.
- U.S. EPA. 2000. Arsenic occurrence in public drinking water supplies.
- U.S. EPA. 2003. Workshop on Managing Arsenic risks to the Environment: Characterization of Waste, Chemistry, and Treatment and Disposal.
- U.S. EPA. 2003a. Design Manual: Removal of arsenic from drinking water by ion exchange.
- Wang, S., Mulligan, C.N. 2006. Occurrence of arsenic contamination in Canada. Sources, Behaviour and Distribution. *Sci. Tot. Env.* 366, 701- 721.
- Ward, J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Stat Assoc*, 69, 236–244.

- Waychunas, G.A., Rea, B.A., Fuller, C.C., Davis, J.A. 1993. Surface chemistry of ferrihydrite: Part 1. EXAFS studies of the geometry of coprecipitated and adsorbed arsenate. *Geochimica et Cosmochimica*, 57, 2251-2269.
- WHO, 2003. Arsenic in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization, (WHO/SDE/WSH/03.04/75.).
- Wu, H., Chen, J., Qian, H., Zhang, X. 2015. Chemical Characteristics and Quality Assessment of Groundwater of Exploited Aquifers in Beijiao Water Source of Yinchuan, China: A Case Study for Drinking, Irrigation, and Industrial Purposes, *Journal of Chemistry* ID 726340, 14.
- Yazıcıgil, H., Doyuran, V., Çamur, M.Z., Duru, U., Şakıyan, J., Yılmaz, K.K., Toprak, F.Ö., Pusatlı, T. 2001. Hydrogeology-Hydrogeochemistry Baseline Study of the Kazan Trona Project Area, Ankara, Turkey. Middle East Technical University, 355, Ankara.



EKLER

EK 1 KURAK DÖNEM MAJOR ANYON, KATYON VE İZ ELEMENT ANALİZ SONUÇLARI

EK 2 YAĞIŞLI DÖNEM MAJOR ANYON, KATYON VE İZ ELEMENT ANALİZ SONUÇLARI

EK 1

	ÖRNEK NOKTASI	Sülfat (SO ₄ ²⁻) mg/L	Klorür (Cl ⁻) mg/L	Nitrat (NO ₃) mg/L	Alüminyum (Al) mg/L	Antimon (Sb) mg/L	Arsenik (As) mg/L	Bakır (Cu) mg/L	Baryum (Ba) mg/L	Berilyum (Be) mg/L	Bor (B) mg/L	Cıva (Hg) mg/L	Çinko (Zn) mg/L	Demir (Fe) mg/L	Gümüş (Ag) mg/L
1	Soğucak Çeşme Noktası	19,8	2,66	1,59	<0,02	<0,0005	0,089	<0,001	0,088	<0,0005	<0,02	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
2	Döngem Kuyu Noktası	82,1	31,4	125	<0,02	<0,0005	0,129	<0,001	0,109	<0,0005	0,904	<0,0001	0,008	0,007	<0,005
3	İmrendi Köy Kuyu Noktası	98,4	16,1	22,7	<0,02	<0,0005	<0,0005	<0,001	0,131	<0,0005	0,341	<0,0001	0,001	<0,005	<0,005
4	Aydın Çeşme Noktası	92,00	97,5	40,3	<0,02	<0,0005	0,056	<0,001	0,039	<0,0005	0,934	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
5	Bitik Lokman Kuyu Noktası	123	39,8	95,7	<0,02	<0,0005	0,004	0,002	0,123	<0,0005	0,366	<0,0001	0,01	0,021	<0,005
6	Soğucak Termal Noktası	60	139	<0,45	<0,02	0,013	1,91	<0,001	0,257	<0,0005	7	<0,0001	<0,001	0,289	<0,005
7	Kışla Kuyu Noktası	3089	757	43,4	<0,02	<0,0005	0,028	<0,001	0,03	<0,0005	5,47	<0,0001	0,005	0,055	<0,005
8	Yassı Ören Kuyu Noktası	23,4	24,1	88,6	<0,02	<0,0005	0,042	<0,001	0,442	<0,0005	0,143	<0,0001	0,015	<0,005	<0,005
9	Güvenç Kuyu Noktası	209	16,9	109	<0,02	<0,0005	0,006	<0,001	0,127	<0,0005	1,1	<0,0001	0,003	<0,005	<0,005
10	Bitik Kuyu Noktası	450	74,1	24,5	<0,02	<0,0005	0,01	<0,001	0,088	<0,0005	0,556	<0,0001	3,57	0,115	<0,005
11	Mülk Çeşme-1 Noktası	151	3,95	<0,45	<0,02	<0,0005	0,052	<0,001	0,026	<0,0005	0,048	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
12	Mülk Çeşme-3 Noktası	79,7	3,74	<0,45	<0,02	<0,0005	0,138	<0,001	<0,005	<0,0005	0,107	<0,0001	0,002	<0,005	<0,005
13	İlyakut Kuyu Noktası	46,6	29,6	28	<0,02	<0,0005	0,048	0,001	0,252	<0,0005	0,259	<0,0001	0,006	0,01	<0,005
14	Dutluca Çeşme Noktası	158	58,2	5,53	<0,02	<0,0005	0,117	<0,001	0,045	<0,0005	1,41	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
15	İncirlik Çeşme-2 Noktası	11,5	32,5	6,23	<0,02	<0,0005	0,024	<0,001	0,014	<0,0005	1,74	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
16	İncirlik Çeşme Noktası	485	309	1054	<0,02	<0,0005	0,059	0,001	0,08	<0,0005	0,813	<0,0001	<0,001	0,009	<0,005
17	Cimsit Kuyu Noktası	19,2	11,1	21,5	<0,02	<0,0005	0,016	<0,001	0,308	<0,0005	0,081	<0,0001	0,026	0,007	<0,005
18	Dutluca Çeşme-2 Noktası	159	91,9	3,7	<0,02	<0,0005	0,102	<0,001	0,354	<0,0005	0,416	<0,0001	0,008	0,04	<0,005
19	Mülk Çeşme-2 Noktası	40,2	1,88	0,702	<0,02	<0,0005	0,181	<0,001	<0,005	<0,0005	<0,02	<0,0001	0,009	<0,005	<0,005
20	Akçaören Çeşme-1 Noktası	5	4,76	3,56	<0,02	<0,0005	0,048	<0,001	0,113	<0,0005	0,107	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
21	Dutluca Kaynak Noktası	131	85	11,1	<0,02	<0,0005	0,096	<0,001	0,057	<0,0005	1,25	<0,0001	0,018	0,01	<0,005
22	Fethiye Çeşme Noktası	118	6,25	20,1	<0,02	<0,0005	0,057	<0,001	0,081	<0,0005	0,778	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
23	Gunbaşı Kuyu Noktası	27,8	13,4	24,2	<0,02	<0,0005	0,008	<0,001	0,242	<0,0005	0,121	<0,0001	0,009	0,009	<0,005
24	İçören Sol Çeşme Noktası	14,3	10,6	3,63	<0,02	<0,0005	0,018	<0,001	0,357	<0,0005	0,138	<0,0001	0,021	<0,005	<0,005
25	Uçarı Çeşme Orta Noktası	14,9	7,47	13,9	<0,02	<0,0005	0,009	<0,001	0,233	<0,0005	0,072	<0,0001	0,011	<0,005	<0,005
26	Yazıbeyli Kaynak Noktası	24	21	<0,45	<0,02	<0,0005	0,534	<0,001	0,042	<0,0005	1,27	<0,0001	0,004	<0,005	<0,005
27	Ovaçayı Noktası	72,6	92,1	9,64	<0,02	<0,0005	0,033	<0,001	0,213	<0,0005	0,309	<0,0001	0,004	0,03	<0,005
28	Alpagut Kuyu Noktası	62,5	13,5	34,5	<0,02	<0,0005	0,053	<0,001	0,151	<0,0005	0,237	<0,0001	0,004	0,008	<0,005
29	Çeltik Leğen Noktası	30,8	10,8	21,5	<0,02	<0,0005	0,206	<0,001	0,257	<0,0005	0,287	<0,0001	<0,001	0,011	<0,005
30	Y.Hasan Çeşme Noktası	6,44	5,45	23,3	<0,02	<0,0005	0,018	<0,001	0,625	<0,0005	0,077	<0,0001	0,006	0,006	<0,005
31	Y.Hasan Çeşme-2 Noktası	25,8	35,1	44,3	<0,02	<0,0005	0,062	<0,001	0,224	<0,0005	0,128	<0,0001	0,002	<0,005	<0,005
32	Yazıbeyli Kuyu Noktası	31,3	12,2	20,5	<0,02	<0,0005	0,286	<0,001	0,211	<0,0005	0,448	<0,0001	0,031	0,006	<0,005
33	Yakup Hasan Kuyu Noktası	20,00	7,44	7,80	<0,02	<0,0005	0,021	<0,001	0,146	<0,0005	0,112	<0,0001	<0,001	0,009	<0,005
34	Alpagut Çeşme Noktası	7,74	45,5	25,2	<0,02	<0,0005	0,02	<0,001	0,256	<0,0005	0,108	<0,0001	0,002	0,023	<0,005

	ÖRNEK NOKTASI	Kadmıyım (Cd) mg/L	Kalay (Sn) mg/L	Kalsıyım (Ca) mg/L	Kobalt (Co) mg/L	Toplam Krom (Cr) mg/L	Kurşun (Pb) mg/L	Magnezyum (Mg) mg/L	Sodyum (Na) mg/L	Nıkel (Ni) mg/L	Potasyum (K) mg/L	Selenyum (Se) mg/L	Stronsıyım (Sr) mg/L	Uranyum (U) mg/L	Alkalınite mgCa CO3/L	Fosfat (PO ₄ ³⁻) mg/L
1	Soğucak Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	57,6	<0,0005	<0,001	0,002	23,7	20,2	<0,005	4,82	0,001	0,606	0,009	230,4	<0,31
2	Dongem Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	81,3	<0,0005	0,001	<0,0005	29,2	184	<0,005	50,5	0,001	1,78	0,005	406,6	<0,31
3	İmrendi Köy Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	96,7	<0,0005	0,005	0,002	57	73,7	<0,005	8,8	0,002	1,34	0,007	407	<0,31
4	Aydın Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	31,30	<0,0005	0,006	<0,0005	25,4	306	<0,005	6,46	0,003	0,8	0,007	488,8	<0,31
5	Birik Lokman Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	117	<0,0005	0,005	0,001	73,6	96	<0,005	5,2	0,007	2,22	0,011	423,8	<0,31
6	Sogucak Termal Noktası	<0,0005	<0,0005	128	<0,0005	<0,001	<0,0005	48,7	615	<0,005	61,3	<0,005	2,27	<0,0005	1185	<0,31
7	Kıgla Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	244	0,002	0,01	0,001	259	1424	0,09	9,85	0,007	7,71	0,082	443,6	<0,31
8	Yassa Ören Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	87,2	<0,0005	0,002	0,003	21,6	35,3	<0,005	11,8	<0,0005	1,05	0,01	240,6	<0,31
9	Güvenç Kuyu Noktası	<0,0005	0,025	114	<0,0005	0,002	0,011	89,6	131	<0,005	28,7	0,002	2,95	0,007	491,6	<0,31
10	Birik Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	217	<0,0005	<0,001	0,003	91,3	118	<0,005	6,58	0,003	2,45	0,018	593,8	<0,31
11	Malik Çeşme-1 Noktası	<0,0005	<0,0005	49,2	<0,0005	<0,001	0,002	91,9	20,5	<0,005	3,63	<0,0005	0,564	0,003	472	<0,31
12	Malik Çeşme-3 Noktası	<0,0005	<0,0005	43,5	<0,0005	<0,001	0,002	65,4	14,4	<0,005	2,4	<0,0005	0,524	0,002	375,8	<0,31
13	İlyakut Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	51,5	<0,0005	<0,001	0,003	70,4	45,4	<0,005	5,37	<0,0005	2,16	0,006	433,6	<0,31
14	Dutluca Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	59,7	<0,0005	0,003	0,003	65,7	87,6	<0,005	7,71	0,003	1,13	0,004	457,8	<0,31
15	İncirlik Çeşme-2 Noktası	<0,0005	<0,0005	46,1	<0,0005	<0,001	0,001	33,3	52,8	<0,005	3,25	0,001	0,608	0,008	338,6	<0,31
16	İncirlik Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	172	<0,0005	<0,001	0,002	156	207	<0,005	39,8	0,004	3,04	0,017	507	<0,31
17	Cıngır Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	63,7	<0,0005	0,002	0,004	7,24	17,5	<0,005	1,74	0,001	0,784	0,007	208	<0,31
18	Dutluca Çeşme-2 Noktası	<0,0005	<0,0005	82,7	0,007	<0,001	0,003	80,4	85,8	0,009	1,23	0,002	1,52	0,004	486	<0,31
19	Malik Çeşme-2 Noktası	<0,0005	<0,0005	15	<0,0005	<0,001	0,001	58,2	5,88	<0,005	4,76	0,001	0,133	0,002	290,4	<0,31
20	Alcaören Çeşme-1 Noktası	<0,0005	<0,0005	37,8	<0,0005	<0,001	0,001	21,6	19,7	<0,005	2,49	<0,0005	0,779	0,002	238,2	<0,31
21	Dutluca Kaynak Noktası	<0,0005	<0,0005	51,6	<0,0005	0,003	0,003	57,4	109	<0,005	1,39	0,002	1,03	0,006	399,8	<0,31
22	Fethiye Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	52,6	<0,0005	0,003	0,002	44,9	43,1	<0,005	1,63	0,001	0,788	0,002	341,4	<0,31
23	Günbaşı Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	81,9	<0,0005	0,004	0,001	25,5	34,4	<0,005	2,25	<0,0005	0,765	0,004	263,6	<0,31
24	İçiren Sol Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	81,1	<0,0005	0,002	0,001	21,9	37,2	<0,005	3,97	<0,0005	0,899	0,005	297,8	<0,31
25	Uran Çeşme Orta Noktası	<0,0005	<0,0005	76,2	<0,0005	0,002	0,001	15,3	29,7	<0,005	3,73	<0,0005	0,8	0,005	251,4	<0,31
26	Yazıbeyli Kaynak Noktası	<0,0005	<0,0005	1,73	<0,0005	<0,001	0,001	0,089	289	<0,005	1,02	<0,0005	0,018	0,006	474,2	0,738
27	Ovacıyü Noktası	<0,0005	<0,0005	96,8	<0,0005	<0,001	0,002	33,2	141	<0,005	14,4	<0,0005	0,945	0,007	392,2	1,23
28	Alpagut Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	94,5	<0,0005	0,01	0,001	56,7	48,9	<0,005	6,75	0,019	1,24	0,008	411,4	<0,31
29	Çetlik Leğen Noktası	<0,0005	<0,0005	72,4	<0,0005	<0,001	0,001	26,8	53,4	<0,005	12,3	0,007	0,719	0,011	317	<0,31
30	Y. Hasan Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	74,9	<0,0005	<0,001	0,001	17,7	14,6	<0,005	0,058	<0,0005	1,13	0,004	241,2	<0,31
31	Y. Hasan Çeşme-2 Noktası	<0,0005	<0,0005	111	<0,0005	<0,001	0,001	19,7	35,3	<0,005	57,2	<0,0005	0,777	0,002	370,6	0,950
32	Yazıbeyli Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	63,2	<0,0005	0,002	0,004	22	105	<0,005	12,1	<0,0005	0,63	0,01	372	0,459
33	Yakup Hasan Kuyu Noktası	<0,0005	<0,0005	48,2	<0,0005	0,002	0,003	12,5	41,3	<0,005	4,61	<0,0005	0,743	0,003	215,6	<0,31
34	Alpagut Çeşme Noktası	<0,0005	<0,0005	76,1	<0,0005	0,002	0,002	29,2	25,7	<0,005	1,07	<0,0005	1,23	0,008	260,4	<0,31

EK 2

	ÖRNEK NOKTASI	Sülfat (SO ₄ ²⁻) mg/L	Klorür (Cl ⁻) mg/L	Nitrat (NO ₃) mg/L	Alüminyum (Al) mg/L	Antimon (Sb) mg/L	Arsenik (As) mg/L	Bakır (Cu) mg/L	Baryum (Ba) mg/L	Berilyum (Be) mg/L	Bor (B) mg/L	Cıva (Hg) mg/L	Çinko (Zn) mg/L	Demir (Fe) mg/L	Toplam Fosfor (P)
1	Ahi Kuyu	64,7	10,3	30,4	<0,02	<0,0005	0,008	<0,001	0,116	<0,0005	0,156	<0,0001	0,011	<0,005	0,021
2	Akçaören Çeşme-1	5,66	5,8	3,73	<0,02	<0,0005	0,048	<0,001	0,111	<0,0005	0,153	<0,0001	0,002	<0,005	0,011
3	Alpagut Kuyu	64,10	13,8	24,8	<0,02	<0,0005	0,037	<0,001	0,114	<0,0005	0,189	<0,0001	0,008	<0,005	0,096
4	Aydın Kuyu-2	325	1213	3,97	<0,02	<0,0005	0,296	<0,001	0,072	<0,0005	1,56	<0,0001	0,016	0,661	0,161
5	Brlik Kuyu Noktası	486	103	26,3	<0,02	<0,0005	0,012	<0,001	0,073	<0,0005	0,411	<0,0001	0,203	0,059	0,054
6	Çeltik Leğen	33,8	13,7	17,7	<0,02	<0,0005	0,165	<0,001	0,221	<0,0005	0,17	<0,0001	0,002	<0,005	0,128
7	Çoğlu	889	711	92,2	<0,02	<0,0005	0,1434	<0,001	0,064	<0,0005	2,06	<0,0001	0,003	<0,005	0,17
8	Döngem Kuyu	107	46,2	144	<0,02	<0,0005	0,122	<0,001	0,0964	<0,0005	0,7	<0,0001	0,008	0,009	0,064
9	Dutluca Kaynak Noktası	156	99,7	14,5	<0,02	<0,0005	0,093	<0,001	0,054	<0,0005	1,23	<0,0001	0,002	<0,005	0,023
10	Günbaşı Kuyu	38,9	22,6	17,1	<0,02	<0,0005	0,011	0,004	0,201	<0,0005	0,399	<0,0001	0,01	<0,005	0,036
11	Güvenç Kuyu	187	25,2	141	<0,02	<0,0005	0,004	<0,001	0,084	<0,0005	0,596	<0,0001	0,019	0,017	0,006
12	İçören Çeşme - Sol	27,1	19,6	3,92	<0,02	<0,0005	0,015	<0,001	0,324	<0,0005	0,099	<0,0001	0,006	<0,005	0,022
13	İlyakut Kuyu	44,6	19	12,9	<0,02	<0,0005	0,049	<0,001	0,219	<0,0005	0,182	<0,0001	0,024	<0,005	0,026
14	İmrendi Altınışik Çiftliği	99,8	43,6	146	<0,02	<0,0005	0,005	<0,001	0,169	<0,0005	0,42	<0,0001	0,026	<0,005	0,026
15	İncirlik Çeşme	351	234	824	<0,02	<0,0005	0,1025	<0,001	0,076	<0,0005	0,891	<0,0001	<0,001	<0,005	0,251
16	Kılla Kuyu	990	150	24,4	<0,02	<0,0005	0,055	0,002	0,021	<0,0005	1,85	<0,0001	0,021	0,011	0,027
17	Mülk Çeşme-1	141	7,8	1,13	<0,02	<0,0005	0,034	<0,001	0,024	<0,0005	0,092	<0,0001	0,004	<0,005	<0,005
18	Mülk Çeşme-2	46,4	3,12	1,56	<0,02	<0,0005	0,179	<0,001	<0,005	<0,0005	<0,02	<0,0001	0,004	<0,005	0,018
19	Soğucak Çeşme	29,3	4,77	1,51	<0,02	<0,0005	0,081	<0,001	0,082	<0,0005	0,044	<0,0001	0,003	<0,005	0,058
20	Yakup Hasan Çeşme	8,44	9,81	28,8	<0,02	<0,0005	0,013	<0,001	0,49	<0,0005	0,053	<0,0001	<0,001	<0,005	<0,005
21	Yakup Hasan Çeşme-2	35,4	48,1	36,5	<0,02	<0,0005	0,051	0,002	0,187	<0,0005	0,08	<0,0001	0,006	<0,005	0,326
22	Yakup Hasan Kuyu	20,4	7,65	7,34	<0,02	<0,0005	0,019	<0,001	0,13	<0,0005	0,111	<0,0001	0,031	0,054	0,015
23	Yassören Kuyu	13,6	10,8	4,83	<0,02	<0,0005	0,058	<0,001	0,215	<0,0005	0,284	<0,0001	0,012	<0,005	0,014
24	Yazıbeyli Kaynak	27,4	24,9	<0,45	<0,02	<0,0005	0,493	<0,001	0,036	<0,0005	1,14	<0,0001	0,003	<0,005	0,247
25	Yazıbeyli Kuyu	33,7	13,2	14	<0,02	<0,0005	0,142	<0,001	0,205	<0,0005	0,104	<0,0001	0,004	<0,005	0,08

	ÖRNEK NOKTASI	Gümüş (Ag) mg/L	Kadmiyum (Cd) mg/L	Kalay (Sn) mg/L	Kalsiyum (Ca) mg/L	Kobalt (Co) mg/L	Toplam Krom (Cr) mg/L	Kurşun (Pb) mg/L	Magnezyum (Mg) mg/L	Sodyum (Na) mg/L	Nikel (Ni) mg/L	Potasyum (K) mg/L	Selenyum (Se) mg/L	Stronsiyum (Sr) mg/L	Talyum (Tl) mg/L	Uranyum (U) mg/L	Alkalinite mgCaCO ₃ /L	Fosfat (PO ₄) mg/L
1	Ahi Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	64,9	<0,0005	<0,001	<0,0005	26,6	32,8	<0,005	3,94	<0,0005	0,706	<0,0005	0,003	267,6	<0,31
2	Alcaören Çeşme-1	<0,005	<0,0005	<0,0005	40,6	<0,0005	<0,001	<0,0005	24	21,7	<0,005	2,82	<0,0005	0,731	<0,0005	0,002	251	<0,31
3	Alpagut Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	78,00	<0,0005	0,006	<0,0005	40,8	38,3	<0,005	5,88	0,013	1,11	<0,0005	0,006	391,4	<0,31
4	Aydın Kuyu-2	<0,005	<0,0005	<0,0005	218	<0,0005	<0,001	<0,0005	98,3	696	<0,005	13,1	<0,0005	4,28	<0,0005	0,001	1384	<0,31
5	Bitik Kuyu Noktası	<0,005	<0,0005	<0,0005	177	<0,0005	<0,001	<0,0005	65	89,5	<0,005	4,48	0,005	2	<0,0005	0,016	507,2	<0,31
6	Çeltik Leğen	<0,005	<0,0005	<0,0005	70,4	<0,0005	<0,001	<0,0005	22,5	38,6	<0,005	9,96	<0,0005	0,701	<0,0005	0,011	317,2	<0,31
7	Çoğlu	<0,005	<0,0005	<0,0005	75,7	<0,0005	0,003	<0,0005	161	686	<0,005	9,45	0,008	2,3	<0,0005	0,023	784,4	<0,31
8	Dönem Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	72,8	<0,0005	<0,001	<0,0005	22,7	139	<0,005	41,6	0,002	1,76	<0,0005	0,005	409,8	<0,31
9	Dutluca Kaynak Noktası	<0,005	<0,0005	<0,0005	53,1	<0,0005	0,002	<0,0005	62,1	115	<0,005	1,45	0,003	0,964	<0,0005	0,007	417	<0,31
10	Günbaşı Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	72,7	<0,0005	0,002	<0,0005	22,6	70,1	<0,005	3,11	<0,0005	0,817	<0,0005	0,01	357,4	<0,31
11	Güvenç Kuyu	<0,005	<0,0005	0,001	92,7	<0,0005	0,005	0,002	74,3	88,8	<0,005	33,2	0,002	2,3	<0,0005	0,007	523,4	<0,31
12	İçören Çeşme - Sol	<0,005	<0,0005	<0,0005	79,3	<0,0005	<0,001	<0,0005	18,8	31,4	<0,005	3,5	<0,0005	0,876	<0,0005	0,005	317	<0,31
13	İlyakur Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	48,6	<0,0005	<0,001	<0,0005	66,9	29	<0,005	4,4	<0,0005	1,81	<0,0005	0,006	415,8	<0,31
14	İmrendi Atrınışık Çiftliği	<0,005	<0,0005	<0,0005	105	<0,0005	0,003	<0,0005	52,1	109	<0,005	2,29	0,011	2,79	<0,0005	0,012	432,4	<0,31
15	İncirlik Çeşme	<0,005	<0,0005	<0,0005	151	<0,0005	<0,001	<0,0005	143	205	<0,005	49,7	0,005	2,46	<0,0005	0,014	431,8	<0,31
16	Kılla Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	82,9	<0,0005	<0,001	<0,0005	72,8	586	<0,005	4,92	0,004	2,75	<0,0005	0,036	282,8	<0,31
17	Mülk Çeşme-1	<0,005	<0,0005	<0,0005	51	<0,0005	<0,001	<0,0005	94,2	20	<0,005	3,41	0,001	0,518	<0,0005	0,003	470,8	<0,31
18	Mülk Çeşme-2	<0,005	<0,0005	<0,0005	15,2	<0,0005	<0,001	<0,0005	63,3	61,7	<0,005	4,97	0,001	0,121	<0,0005	0,003	283,2	<0,31
19	Söğücek Çeşme	<0,005	<0,0005	<0,0005	52,6	<0,0005	<0,001	<0,0005	18,5	14,9	<0,005	3,99	0,001	0,552	<0,0005	0,009	222,2	<0,31
20	Yakup Hasan Çeşme	<0,005	<0,0005	<0,0005	70,1	<0,0005	<0,001	<0,0005	14,6	12,3	<0,005	0,507	<0,0005	1,04	<0,0005	0,004	230,8	<0,31
21	Yakup Hasan Çeşme-2	<0,005	<0,0005	<0,0005	104	<0,0005	<0,001	<0,0005	16,4	30,2	<0,005	42,5	<0,0005	0,737	<0,0005	0,002	353,8	0,647
22	Yakup Hasan Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	46,6	<0,0005	<0,001	<0,0005	10,8	36,3	<0,005	4,48	<0,0005	0,735	<0,0005	0,003	211	<0,31
23	Yassören Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	44,2	<0,0005	0,006	<0,0005	10,5	47,9	<0,005	6,92	<0,0005	0,616	<0,0005	0,009	248,8	<0,31
24	Yazıbeyli Kaynak	<0,005	<0,0005	<0,0005	137	<0,0005	<0,001	<0,0005	0,111	236	<0,005	0,985	<0,0005	0,017	<0,0005	0,005	480,4	<0,31
25	Yazıbeyli Kuyu	<0,005	<0,0005	<0,0005	72	<0,0005	<0,001	<0,0005	23	26,2	<0,005	9	<0,0005	0,736	<0,0005	0,012	300,2	<0,31