



T.C

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

"NİĞDE BÖLGESİ İÇME VE SULAMA SUYU KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASAL, SU KALİTESİ VE İÇİLEBİLİRLİK AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ"

GÖKHAN ERTAN

AĞUSTOS 2019

T.C
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

"NİĞDE BÖLGESİ İÇME VE SULAMA SUYU KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASAL, SU KALİTESİ VE İÇİLEBİLİRLİK AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ"

GÖKHAN ERTAN

Yüksek Lisans Tezi

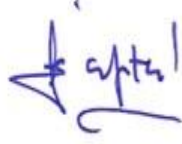
Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ

AĞUSTOS 2019

Gökhan ERTAN tarafından Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ danışmanlığında hazırlanan “Niğde Bölgesi İçme ve Sulama Suyu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal, Su Kalitesi ve İçilebilirlik Açısından Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Emin ÇİFTÇİ, İstanbul Teknik Üniversitesi



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun .../.../20... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Gökhan ERTAN

ÖZET

" NİĞDE BÖLGESİ İÇME VE SULAMA SUYU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASAL AÇIDAN İNCELENMESİ, SU KALİTESİ VE İÇİLEBİLİRLİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ "

ERTAN, Gökhan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ

TEMMUZ 2019, 118 sayfa

Bu çalışma, Niğde Bölgesinde jeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik çalışmaların eşliğinde içme ve kullanma sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi, su-kayaç etkileşimi, su kalitesinin incelenmesi ve elde edilecek bulgular yardımıyla içilebilirlik değerlendirilmesinin yapılması, içme suyu kalitesinin yağışlı ve kurak dönemlerde zamansal değişimi, izotop jeokimyasal çalışmalarla bölgede bulunan kuyu ve kaynak sularının kökeninin ve yaş ilişkilerinin ortaya konmasını amaçlamaktadır. 2016 yılının mayıs ve aralık dönemlerinde toplanan 37 kuyu ve kaynak suyu numunesinde hidrojeokimyasal, çok değişkenli istatistiksel ve duraylı izotop analizleri yapılmıştır. Yeraltı suyunda ana iyon bolluğu $Ca^{2+} > Na^{+} > Mg^{2+} > K^{+}$ ve $HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$ şeklindedir. Bu, Ca-SO₄-HCO₃ su tipinin, diğer karma su tiplerine göre baskın olması karbonatlı kayaç litolojisinin zengin olduğu bölge jeolojisini yansıttığı görülmüştür. Tüm fiziko-kimyasal parametreler, genel olarak TDS, Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} ve As hariç, içme suyu için WHO ve Türkiye ulusal kılavuz değerlerine uygundur. Yüksek miktarda TDS, SO_4^{2-} ve NO_3^{-} değerlerinin antropojenik kaynaklardan meydana geldiği düşünülmektedir

Anahtar Sözcükler: Hidrojeokimya · Çevresel izotoplar · Yeraltı suyu · Arsenik · Su-kaya etkileşimi · Kirlilik kaynakları · Niğde İli

SUMMARY

" HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF DRINKING AND IRRIGATION WATER RESOURCES IN NIGDE REGION"

ERTAN, Gökhan

Niğde ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor : Assistant Professor Dr. Abdurrahman LERMİ

JUNE 2019, 118 pages

This study aims to decipher the hydrochemistry, recharge sources, and the possible factors controlling the chemistry of groundwater in Niğde Province of central Turkey. This was done by conducting hydrochemical, multivariate statistical, and stable isotope analysis on 37 well and spring water samples collected in the wet and dry seasons of 2016. The major ion abundance in the groundwater is in the order $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ ve $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$. This accounted for the dominance of Ca-SO₄-HCO₃ water type with other mixed water types, reflecting the geology of the area, which is predominated by carbonate lithologies. All the physico-chemical parameters generally comply with the WHO and Turkish national guideline values for drinking water except TDS, Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- and As. The elevated amounts of TDS, SO_4^{2-} , and NO_3^- were largely from anthropogenic sources.

Key words: Hydrochemistry · Environmental isotopes · Groundwater · Arsenic · Water-rock interaction · Pollution sources · Niğde Province.

ÖN SÖZ

Su, bütün canlıların yaşamı için temel bir madde olma özelliği taşıırken insan ve doğa ilişkisinin de en önemli belirleyenlerinden/belirlenenlerinden birisidir. İnsanın yaşam sürecinin her döneminde beslenme, dolaşım, solunum, boşaltım, üreme gibi hayatsal faaliyetlerin gerçekleşebilmesi için su, gerekli bir maddedir. Öte yandan su, yaşam ortamının oluşmasında temel öğelerden biri olduğu gibi aynı zamanda kendisi bir yaşam ortamıdır. Yaşam için olmazsa olmaz ön koşullardan biri olması nedeniyle, suyun yaşam ortamında bulunması ve kalitesi son derece önem taşır.

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (BAP) birimi tarafından FEB2015/09 numaralı “Niğde Bölgesi İçme Ve Sulama Suyu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Açidan İncelenmesi, Su Kalitesi Ve İçilebilirlik Açısından Değerlendirilmesi” isimli proje olarak yürütülen bu yüksek lisans tezinin her aşamasında çalışmalarımı yönlendiren değerli bilgi ve önerilerinden yararlandığım danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahman LERMİ’e, jeokimyasal analizlerin yapılmasında desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL’a, Prof. Dr. Mustafa AFŞİN’e, Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ ’ye, ve Bay Emmanuel Daanoba SUNKARI’ye en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi yardımlarını esirgemeyerek her zaman desteklerini hissettiğim bana sonsuz sevgi ve güç veren annem Şengül ERTAN’a, babam Saadettin ERTAN’a en içten duygularıyla teşekkürü bir borç bilirim. Sadece çalışmam boyunca değil bir ömür boyu bana katlanan ve daima destek olan biricik eşim, meslektaşım Şerife ERTAN’a, sevgili kızım Şengül Beril ERTAN’a minnet ve şükran duygularımı belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
FOTOĞRAF DİZİNİ	xii
SİMGE VE KISALTMALAR	xiii
BÖLÜM I.....	1
GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu	2
1.4. Çalışma Alanının İklim Özellikleri.....	4
1.5. Çalışma Alanının Su Kaynakları ve Potansiyeli	6
1.5.1. Sektörel su kullanımları ve yapılan su tahsisleri	8
1.5.1.1. İçme ve kullanma suyu	8
1.5.1.2. Sulama suyu.....	9
1.6. İnceleme Alanında Yapılan Önceki Çalışmalar	9
1.7. Bölgesel Jeolojisi	14
1.8 Stratigrafi.....	16
1.8.1 Niğde grubu	16
1.8.1.1 Gümüşler metamorfiti.....	16
1.8.1.2 Kaleboynu metamorfiti	17
1.8.1.3 Aşıgediği formasyonu.....	19
1.8.1.4 Üçkapılı granodiyoriti.....	19
1.8.1.5 Kızılkaya ignimbiriti.....	19
1.8.1.6 Çanaktepe formasyonu	20
1.8.1.7 Gökbez formasyonu	20
1.8.2. Melendizdağ volkanitleri.....	21
1.8.2.1 Melendizdağ aglomerası	21

1.8.2.2 Melendizdağ tüfü	21
1.8.2.3 Melendizdağ andeziti	22
1.8.2.4 Bor bazaltı	22
1.8.3 Yapısal jeoloji	22
BÖLÜM II	24
MATERYAL VE METOD	24
2.1 Materyal ve Yöntemler	24
2.1.1 Arazi çalışmaları	24
2.1.1.1 Jeolojik harita alımı	24
2.1.1.2 Örnek alımı ve arazide yapılan ölçümler	24
2.2 Laboratuvar Çalışmaları	28
2.2.1 Analitik yöntemler	28
2.2.1.1 İz element analizleri	28
2.2.1.2 Anyon analizleri	29
2.2.1.3 İzotop analizleri	29
2.3 Verilerin Değerlendirilmesi	29
BÖLÜM III	33
BULGULAR ve TARTIŞMA	33
3.1. Giriş	33
3.2. İnceleme Alanının Jeolojisi	33
3.3. İnceleme Alanının Hidrojeolojisi	36
3.4. Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi	37
3.4.1. Fiziksel özellikler	37
3.4.1.1. Sıcaklık	37
3.4.1.2. Renk	40
3.4.1.3. Elektriksel iletkenlik	41
3.4.2. Kimyasal Parametreler	42
3.4.2.1. pH	42
3.4.2.2. Çözülmüş oksijen	43
3.4.2.3. Sertlik	43
3.4.2.4. Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{2-})	45
3.4.2.5. Klorür	45
3.4.2.6. Sülfat ve sülfür	47

3.4.2.7. Nitrit.....	47
3.4.2.8. Nitrat	48
3.4.2.9. Toplam çözülmüş madde miktarı (TDS)	49
3.4.2.10. Sodyum (Na).....	50
3.4.2.11. Kalsiyum(Ca) ve magnezyum (Mg)	50
3.4.2.12. Yeraltı sularının iz element içerikleri	51
3.4.2.13. Yeraltı sularının çevresel izotop değerleri	52
3.4.2.14. Suların iyon dağılımları ve sınıflandırılması	52
3.4.2.15. Hidrojeokimyasal fasiyes.....	53
3.4.2.16. Piper diyagramlarının değerlendirilmesi	55
3.4.2.17. Schoeller diyagramının değerlendirilmesi	56
3.4.2.18. Wilcox diyagramının değerlendirilmesi	57
3.4.2.19. Yeraltı suyu kalitesinin kontrol eden faktörler	59
3.4.2.20. Yeraltı sularının doygunluk indeksleri	66
3.4.2.21. Yeraltı sularının içme ve kullanım için uygunluğu	70
3.4.2.22. Yeraltı sularının kökeni	71
3.4.2.23. Yeraltı suyu kimyasının zamansal ve mekansal değişimi	75
3.4.2.24. Yeraltı suyunda ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi.....	78
3.4.2.25. Yeraltı suyunda toplam metal kirliliğinin değerlendirilmesi.....	79
3.4.2.26. Yeraltı suyunda arseniğin kökeni	82
3.4.2.27. Arsenik için alınması gereken önlemler	92
BÖLÜM IV	93
SONUÇLAR.....	93
KAYNAKÇA.....	100
Ek Çizelge 1	114
Ek Çizelge 2	115
Ek Çizelge 3	116
Ek Çizelge 4.....	117
ÖZ GEÇMİŞ	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Niğde ilinin akarsuları.....	7
Çizelge 1.2	Niğde ilinde mevcut sulama göletleri.....	7
Çizelge 1.3	Niğde ilinin yer altı suyu potansiyeli.....	7
Çizelge 2.1	Örnekleme noktaları kısaltmaları ve konumları.....	25
Çizelge 3.1	Hidrojeokimyasal verilere ait temel istatistiki parametreler.....	38
Çizelge 3.2	Suların özgül elektriksel iletkenliğine göre yapılan sınıflandırma.....	41
Çizelge 3.3	Suların sertlik değerlerine göre sınıflandırma.....	44
Çizelge 3.4	Çözünmüş toplam katı madde miktarına göre su sınıflaması.....	49
Çizelge 3.5	Mayıs ve Aralık dönemi iyon dağılımı ve su türleri.....	54
Çizelge 3.6	Sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesi için kriterler.....	58
Çizelge 3.7	Suların Mayıs döneminde hesaplanan doygunluk indeksleri.....	68
Çizelge 3.8	Suların Aralık döneminde hesaplanan doygunluk indeksleri.....	69
Çizelge 3.9	Aralık döneminde Oksijen-18, döteryum ve trityum analizlerinin sonuçları.....	73
Çizelge 3.10	Yer altı suyunda hesaplanan ağır metal kirliliği ve metal kirliliği endeksleri ve kabul edilebilir sınırlardan sapma değerleri.....	83
Çizelge 3.11	Bu çalışmayla karşılaştırılabilir küresel yer altı suyu arsenik kirliliği değerleri.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	4
Şekil 1.2.	Niğde ili yıllık yağışlar grafiği.....	5
Şekil 1.3.	Niğde ili 2015-16 yılı aylık yağış durumu.....	6
Şekil 1.4.	Bölgesel jeoloji ve tektonik haritası.....	15
Şekil 1.5.	Niğde bölgesi genelleştirilmiş stratigrafik kesit.....	18
Şekil 2.1.	İnceleme alanı lokasyon haritası.....	26
Şekil 3.1.	İnceleme alanı jeoloji haritası.....	35
Şekil 3.2.	Box ve Whisker grafiği.....	46
Şekil 3.3.	Suların piper diyagramları.....	55
Şekil 3.4.	Suların Schoeller şeması.....	56
Şekil 3.5.	Suların Wilcox diyagramı.....	58
Şekil 3.6.	Su-kaya etkileşim grafiği.....	59
Şekil 3.7.	Yer altı suyu kimyası için mineral çözünmesini gösteren ana iyon ilişkileri grafiği.....	62
Şekil 3.8.	Su örneklerine ait R-Mod faktörü (PCA) bileşen grafiği.....	63
Şekil 3.9.	Yer altı sularına ait majör iyon ve TDS arasındaki ilişki grafiği.....	65
Şekil 3.10.	Doygunluk indeks grafikleri.....	67
Şekil 3.11.	Niğde yer altı sularının değişim grafiklerindeki yerleri.....	74
Şekil 3.12.	Yer altı sularının TDS ile EC bileşenleri arasındaki korelasyon grafiği.....	76
Şekil 3.13.	Yer altı suyunda yüksek konsantrasyonlara sahip ana anyonların ve iz elementlerin mekânsal dağılım grafiği.....	77
Şekil 3.14.	Yer altı sularındaki kirlilik endeksinin mekânsal dağılımı.....	81
Şekil 3.15.	Bazı kimyasal parametrelerle arseniklerin değişim grafikleri.....	86
Şekil 3.16.	Ficklin diyagramı.....	88
Şekil 3.17.	As, Cl ve $\delta^{18}O$ değerleri arasındaki ilişki.....	90
Şekil 3.18.	Yer altı suyunda arseniğin derinliğe göre değişimi.....	91

FOTOĞRAF DİZİNİ

Fotoğraf 2.1.	Arazide su örneği alımı ve fizikokimyasal parametrelerin ölçülmesi.....	27
----------------------	---	----



SİMGE VE KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklama
T.S.	Türk Standartları
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
U.S. EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı
DMİGM	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri
ICP MS	İndüklenmiş çiftli plazma-kütle spektrometresi
TDS	Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
EC	Elektriksel İletkenlik
Eh	Yükseltgenme İndirgenme Potansiyeli
SAR	Sodyum Absorbsiyon Oranı
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde
HPI	Ağır metal kirliliği endeksi
SMOW	Viyana Standart Ortalama Okyanus Suyu
GMWL	Genel Meteorik Su Hattı
AMWL	Ankara Meteorik Su Hattı
MMWL	Konya Meteorik Su Hattı
MPI	Metal kirliliği endeksi
PCA	Temel bileşen analizi
MYST	Mehmetler yurdu Sivri Tepe
NFZ	Niğde fay zone

BÖLÜM I

GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hayatın en önemli maddelerinden olan su, canlı yaşamının sürdürebilmesi için gerekli en temel kaynaklardan biridir. Dünyayı bekleyen en büyük tehlikelerden biride su kıtlığıdır. Ülkemizde son yıllarda yaşanmaya başlanan su sıkıntıları bu tehlikeyi düşündürürken su kalitesi ve susuzluğun halk sağlığına olan etkileri de tartışılmaya başlanmıştır. Su, insan bedeninin temel yapı taşıdır. Su canlıların tüm metabolik olayları ile de doğrudan ilgilidir. Gıda maddelerinin ve artıklarının çözelti şekline dönüştürülmesi, bunların vücutta kullanılıp atılması suya bağlıdır. Oksijenin dokulara, dokulardan karbondioksitin akciğerlere taşınması kanın olağan akım hızı ile ilgili olup, bu da suyun varlığına bağlıdır. Kanın yaklaşık % 80 i, gelişen bir embriyonun % 90'ı sudur. Yaşamın devamı, çeşitli yollarla yitirilen suyun geri alınmasına bağlıdır. Bir insan yılda ağırlığının yaklaşık 5 katı kadar su içer. Bu nedenledir ki; su insanların vazgeçilmez ve başka bir madde ile ikame edilemez temel tüketim maddelerinden birisidir. Kısaca su olmasa insanın yaşaması olanaksızdır ve su hayattır. Temel tüketim maddesi olan içme-kullanma suyunun kesinlikle sağlıklı olması gerekir. Aksi takdirde bedendeki ve toplumdaki işlevlerini yerine getiremediği gibi, insan ve toplum yaşamı için bir tehdit haline gelir. Sağlıklı su denildiği zaman, genellikle suyun temizliği anlatılmak istenir. İçme-kullanma suyunun temizliği ise biyolojik, fiziksel ve kimyasal olarak temiz olmasıdır. Biyolojik temizlik; içme-kullanma suyunda canlı (mikropların) ve canlı ürünlerinin bulunmaması ya da belli ölçülerin altında bulunması anlamına gelmektedir. Fiziksel olarak suyun temizliği; suyun renginin, bulanıklığının/berraklığının, sıcaklığının elektrik iletkenliğinin belli ölçüler içinde olması, içme ve kullanmaya uygun olmasıdır. Kimyasal olarak temizliği ise; suyun kimyasal maddelerle kirlenmemiş olması, belli sertlik derecesinde olması ve biyolojik oksijen ihtiyacının belli değerlerde olmasıdır. Bir toplumun sağlıklı olabilmesi için içme-kullanma suyunun mutlaka ve mutlaka bu üç başlık altında değerlendirilen temizlik özelliklerine sahip olması gerekir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Hızlı nüfus artışı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler gibi etkenler suya olan gereksinimi artırmakta bu durumda da mevcut su kaynaklarının daha dikkatli kullanılması ve kirlenmeye karşı gerekli tedbirlerin bir an önce alınmasını gerektirmektedir. Artan ihtiyacın karşılanabileceği tek potansiyel doğal su kaynaklarıdır. Basit tedbirlerin alınması ile su kaynaklarımızın tükenmesi ve kirlenmesi önlenabilir. Su kaynaklarının kalitesinin izlenmesi bu anlamda büyük önem taşımaktadır. Yeraltı ve yüzey sularının kalitesi (fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik özellikleri) suların içme, kullanma ve sulamaya uygunluğunun belirlenmesinde, kalitesinin korunmasında en önemli kriterlerdir. Doğal suların içme, sulama veya kullanma suyu olarak kullanılabilmesi için, suyun içinde bulunan maddelerin belirli limitler arasında olması istenir. Birçok ülkede içme, kullanma, sulama suları ile ilgili standartlar ve kabul edilebilir sınır değerler belirlenmiştir.

Bu nedenle, su analizlerinin çeşitli alanlardaki kullanımına ilişkin standartlarla karşılaştırılması ve bu sınırlar aşıldığında ortaya çıkabilecek olumsuz veya zararlı etkilerinin belirlenmesi gereklidir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standartları kullanılmaktadır (TS 266). Bunun yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Amerika Çevre Koruma Ajansı (U. S. EPA) ve Avrupa Birliği (EU) standartları da içme suyu sınıflamasında kullanılan diğer standartlardır. Ayrıca yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde yer alan, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre suların kalite kriterleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada, (i) Niğde Bölgesinde jeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik çalışmaların eşliğinde içme ve kullanma sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi, (ii) su-kayaç etkileşimi, su kalitesinin incelenmesi ve elde edilecek bulgular yardımıyla içilebilirlik değerlendirilmesinin yapılması, içme suyu kalitesinin yağışlı ve kurak dönemlerde zamansal değişimi, (iii) izotop jeokimyasal çalışmalarla yörede bulunan yeraltı ve yerüstü sularının kökeninin ve yaş ilişkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

Coğrafi koordinatlar sistemine göre Niğde ili, 37° 25' - 38° 58' kuzey enlemleri ile 33° 10' - 35° 25' doğu boylamları arasındadır. İç Anadolu Bölgesinin Orta Kızılırmak

Bölümünde yer alan ilin bir kısmı Akdeniz Bölgesinin Adana bölümünde yer alır. Altunhisar ve Çiftlik ilçelerinin tamamı İç Anadolu Bölgesinde kalırken Merkez ilçe ve Bor ilçesinin ise her iki bölgede de toprakları bulunmaktadır. Çamardı ve Ulukışla ilçelerinin tamamı da Akdeniz Bölgesinde yer tutar. İl arazisinin yüzölçümü 7 400 km² (7 365km²) olup, İç Anadolu Bölgesi topraklarının (151 176 km²) %4.87'sini, ülke topraklarının (814 578 km²) ise %0.90'sini kaplamaktadır. (Şekil: 1.1).

Niğde il arazisi, kuzeybatıda Aksaray ilinin Gülağaç ve Güzelyurt ilçesi, kuzeyde Nevşehir ilinin Derinkuyu ve Acıgöl ilçesi, kuzeydoğuda Kayseri ilinin Yahyalı ve Yeşilhisar, batı ve güneybatıda Konya ilinin Emirgazi, Ereğli ve Halkapınar, güneyde Mersin ilinin Çamlıyayla ve Tarsus, güneydoğu ve doğuda Adana ilinin Aladağ ve Pozantı ilçeleri ile komşudur.

Deniz seviyesinden yaklaşık 1300 m yükseklikte bulunan Niğde'nin (Niğde kenti 1229 m) batı kesimi dalgalı düzlükler, kuzey, güney ve doğu kesimleri ise dağlık alanlarla kaplıdır. Kuzeydeki yüksek kesimi 2963 m zirvesi ile Melendiz Dağı oluşturur. Güney ve güneydoğu sınırlarını Orta Torosların, temeli niteliğindeki Bolkar Dağları (3002 m) ve onun uzantısı biçiminde olan Aladağlar (3734 m) kuşatır.

Niğde İlinin nüfusu 2015 TUİK verilerine göre 346.114 olup 172.643'ü erkek, 173.471'i ise kadınlardan oluşur. Bir önceki yıla göre % 0.64'lük bir nüfus artışı gözlenmiştir.

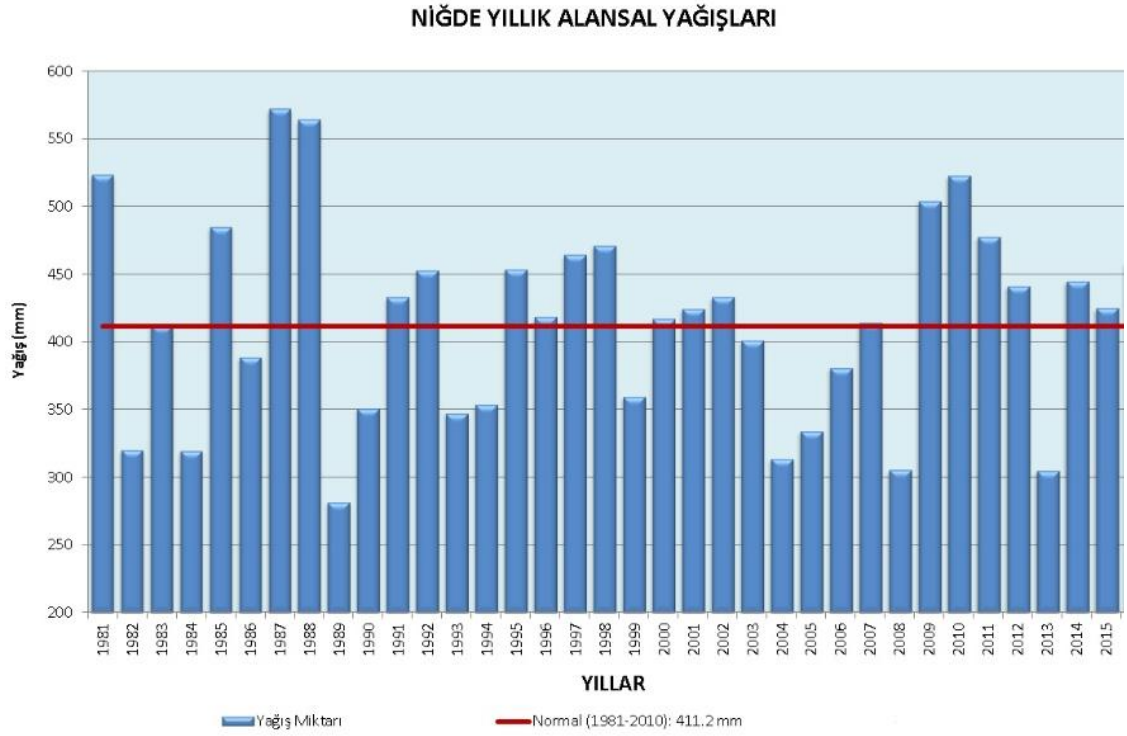


Şekil 1. 1 Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası.

1.4. Çalışma Alanının İklim Özellikleri

Çalışmada kullanılan iklimsel veriler, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden (DMİGM, 2016) sağlanmıştır.

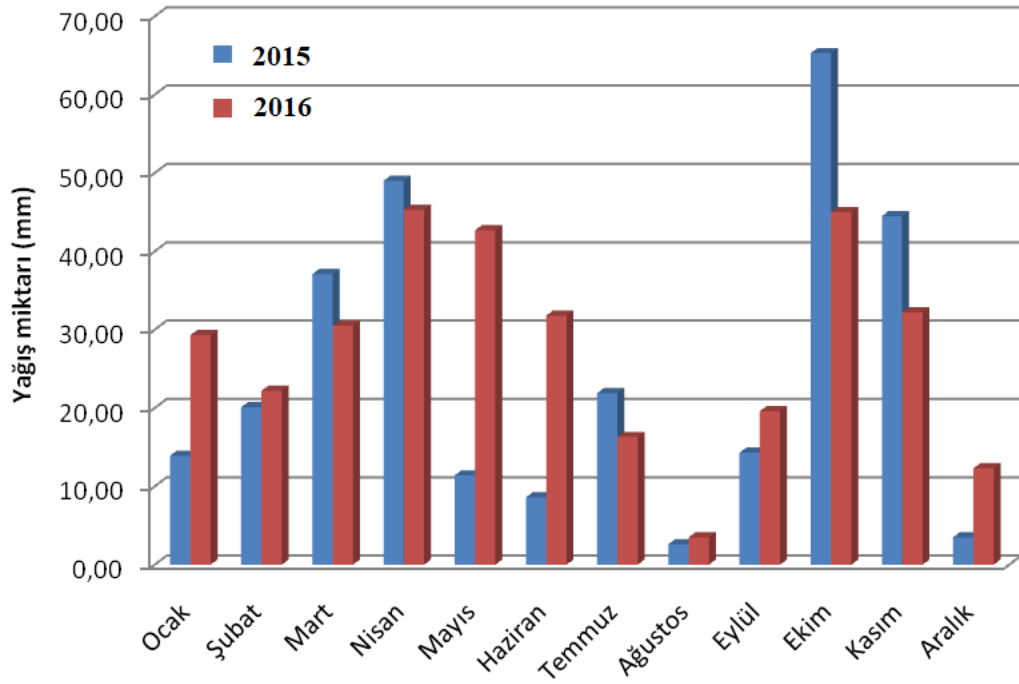
Niğde’de kara iklimi görülür. Kara iklimi nedenleri ise; etrafının dağlarla çevrili olması, deniz seviyesinden 1200 m. yükseklik göstermesi, denizin bunaltıcı etkilerini ve denizden gelen rüzgarları alamaması, kuzeyden gelen soğuk rüzgarlara açık olmasındandır. Bu durumda Niğde’nin genel iklim özelliği; yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Yağışlara kar halinde kışın, yağmur halinde ilkbaharda rastlanmaktadır.



Şekil 1.2. Niğde ili yıllık alansal yağışlar grafiği (DMİGM, 2016).

Niğde kuzey yarımkürenin orta kuşağında bulunmaktadır, en sıcak ay ortalaması Temmuz ayına, en soğuk ay ortalaması ise Ocak ayına rastlar. Gerek mevsimler arasındaki sıcaklık farkı, gerekse gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı karasal iklimin en açık örneğidir.

Kış aylarında yüksek basıncın etkisiyle Niğde’de değişik bir yağış rejimi görülür. İlkbaharda yüksek basıncın etkisi altında ve batıdan gelen alçak basınç merkezleri Niğde’yi etkisi altında bırakır. Bu nedenle yılın on iki ayında en yüksek yağış mart, nisan, mayıs aylarında en az yağış ise Temmuz, ağustos ve Eylül aylarında görülür (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Niğde ili 2015-16 yılı aylık yağış durumu (DMİGM, 2016).

1.5. Çalışma Alanının Su Kaynakları ve Potansiyeli

Bütün yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi suya bağlıdır. Bu nedenle bir sahanın su potansiyelinin ortaya konulması son derece önemlidir. Bu bölümde Niğde ilinin hidrografik özellikleri kapsamında geçici ve sürekli akışlı akarsuların akım rejim özellikleri, drenaj biçimleri ve vadi yoğunlukları ve ayrıca içme ve kullanma suyu olarak kaynaklara değinilecektir.

Niğde ili göller bakımından zengin olmamakla beraber oluşum ve gelişimleri birbirinden farklı göllere de sahiptir. Aladağlar ve Bolkar dağları üzerinde buzul aşınması ile oluşmuş sirk gölleri yer almaktadır. Akgöl, Alagöl, Çinigöl, Yedigöl, Karagöl bunlardan başlıcalarıdır. Hasan dağı göllü dağ üzerinde volkanik krater gölleri yer alırken, Kuzeyde ki Narlı göl ise volkanik çöküntü Nar gölü olarak oluşmuştur. Volkanik menşeli bu göller, göl çanaklarına volkanik kayalardan oluşması nedeni ile acı su karakterindedir.

Narlı göl yeraltından sıcak su kaynakları ile beslenmesi nedeni ile mineralce zengin suları acı bir göldür. Diğer taraftan akarsu yatakları önüne sulama amacı ile inşa edilen setlerin gerisinde de suların toplanması ile de baraj gölleri oluşmuştur. Melendiz dağlarından gelen Kırkpınar ve Baldıra dereleri ile beslenen Gebere barajı 1939-1941

yılları arasında inşa edilmiş olup, Kırkpınar, Yeşilburç, Kayaardı bağlarını sulamaktadır.

Çizelge 1.1 Niğde İlinin Akarsuları (DSİ, 2016)

AKARSU İSMİ	Toplam Uzunluğu (km)	İl Sınırları İçindeki Uzunluğu (km)	Debisi (m ³ /sn)	Kolu Olduğu Akarsu	Kullanım Amacı
Tabakhane Deresi	39,7 hm ³ yıl	27	1,258		
Uzandı Deresi	4,6 hm ³ yıl	20	0,145		
Ören Deresi	4,8 hm ³ yıl	18	0,152		
Ömerli Deresi	21,8 hm ³ yıl	17	0,690		
Murtaza Suyu	5,7 hm ³ yıl	12	0,180		
Uluağaç Deresi	4,9 hm ³ yıl	22	0,155		
Kovalık Deresi	4,1 hm ³ yıl	10	0,129		
Melendiz Çayı	59,2 hm ³ yıl	33,4	1,875	Uluırmak	
Karapınar Deresi	14,1 hm ³ yıl	29	0,446	Kızılırmak	
Ecemiş Çayı	248,6 hm ³ yıl	30	7,887	Seyhan	
Çakıt Suyu	222,1 hm ³ yıl	36	7,038	Seyhan	
Diğerleri	134,2 hm ³ yıl				

Çizelge 1.2 Niğde İlinde Mevcut Sulama Göletleri (DSİ, 2016)

Göletin Adı	Tipi	Göl hacmi, m ³	Sulama Alanı (net), ha	Çekilen Su Miktarı, (m ³)	Kullanım Amacı
GEBERE	Toprak Dolgu	2.400.000	340	1.932.000	Sulama
GÜMÜŞLER	Toprak Dolgu	3.700.000	350	-	Sulama
AKKAYA	Toprak Dolgu	5.800.000	2.000	-	Sulama
MURTAZA	Kaya Dolgu	7.700.000	1.120	4.700.000	Sulama
ALTUNHİSAR	Homojen Dolgu	1.700.000	232	-	Sulama
YEŞİLBURÇ	Kaya Dolgu	3.240.000	600	-	Sulama
DARBOĞAZ	Kil Zonlu Kaya Dolgu	1.100.000	196	-	Sulama
AZATLI	Kil Çekirdekli Kaya Dolgu	430.000	292	-	Sulama
HANÇERLİ	Kaya Dolgu	470.000	90	-	Sulama
POSTALLI	Zonlu Toprak Dolgu	3.300.000	658	2.300.000	Sulama
ULUAĞAÇ	Toprak Dolgu	4.940.000	690	3.764.520	Sulama
KOYUNLU	Homojen Dolgu	800.000	146	-	Sulama

Çizelge 1.3 Niğde İlinin Yer Altı Suyu Potansiyeli (DSİ, 2014)

Hesaplanan Rezerv	394,000,000.00
Tahsis Edilen Su Miktarı (m ³ /yıl)	210.717.577,53
İzin Verilen Emniyetli Rezerv Miktarı (m ³ /yıl)	394,000,000.00
Kullanılan İçme Suyu Miktarı (m ³ /yıl)	50.741.154,00
Kullanılan Sulama Suyu Miktarı (m ³ /yıl)	572,592,750.00
Kullanılan Toplam Yeraltısuyu Miktarı (m ³ /yıl)	623.333.904,00
Yeraltısuyu kaynakları ile sulanan toplam alan (ha)	114,518.55
DSİ tarafından açılan kuyu sayısı ve su miktarı ve sulama alanı	516-20230ha
Ruhsatlı Kuyu Sayısı	2125
Ruhsatsız Kuyu Sayısı	12041
Sulama Birliği Sayısı ve Sulama Alanı	-
Sulama Kooperatifi Sayısı ve Sulama Alanı	58-20230
Planlanan açılacak (2023'e kadar) Kuyu Sayısı ve Sulama Alanı	-
Tahsis Edilen İçme Suyu Miktarı (m ³ /yıl)	50.741.154,00
Tahsis Edilen Sulama Suyu Miktarı (m ³ /yıl)	159.976.423,53

Gümüşler barajı ise hemen gerisinde dağlık alandan inen suların toplandığı, Gümüşler çevresinde elma bahçelerinin sulanması amacı ile inşa edilmiştir. İçinde bol miktarda Aynalı sazan balığı yaşamaktadır. Karasu'nun aşığı mecrası üzerinde kurulu olan Akkaya barajı ise Bor ovasını sulamaktadır. Baraj, bu gün ciddi bir ekolojik kirlenmeyle karşı karşıyadır. Koyunlu, Dikilitaş, Azatlı, Hacıbeyli, Murtaza gölleri de sulama amacı ile yapılmış diğer göletlerdir.

1.5.1. Sektörel su kullanımları ve yapılan su tahsisleri

1.5.1.1. İçme ve kullanma suyu

Niğde İl Merkezine verilen içme suyunun tamamı yer altı kaynaklarından sağlanmaktadır (Niğde İli 2015 yılı Çevre Durum Raporu).

Altunhisar İlçe merkezine verilen içme suyunun tamamı yer altı kaynaklarından sağlanmaktadır. Faal durumda 6 adet kuyu ve 3 adet su deposu bulunmaktadır.

Niğde İli Çiftlik İlçesi su ihtiyacı; 2 adet sondaj kuyusu ve 1 adet doğal su kaynağından sağlanmaktadır. Avlayan Kaptajından alınan doğal su kaynağının debisi 4 lt/sn I. Kuyu 6 lt/sn II. Kuyu 20 lt/sn Debi su kapasitesine sahiptirler. İlçeye su ; ilçenin güneyinde Altunhisar yolunun 4. Km'sinde mevcut bulunan 1620 m Rakımlı depodan sağlanmaktadır. Merkeze 3850 metre uzunluğunda Q 150 mm AÇP Boru ile gelmekte bu noktadan sonra 1200 metre Q 125 PVC, 8000 metre Q100 AÇP ve 15000 metre Q 65 PVC borularla dağıtım yapılmaktadır (Niğde İli 2015 yılı Çevre Durum Raporu).

Niğde İli Çamardı İlçesi İçme Su Kaynaklarının kapasiteleri 2010 yılı ve 2011 yılı itibarıyla normal olup saniyede 14 litre su taşımaktadır. Suların ilettiği boru PVC ve Espas ve bir kısmı ise demir boru ile sağlanmaktadır. İçme suların ilçeye 16 ve 4 km uzaklıktaki yerlerden gelmektedir ve ilçeye dağılımı 50 km yi bulmaktadır.

Niğde İli Ulukışla İlçesi Yeraltı içme suyu isale hatları 80'lik 3 inç 10 atü, 100'lük 4 inç 10 atü ve 150'lik 6 inç asbestli borular olmak üzere toplam 90.000 metredir. Derin kuyu pompalarından temin edilen içme suları, cazibeli kaynak suları, drenaj ve kastajlardan sağlanan sular olmak üzere ilçeye 3 ayrı sistemden su sağlanmaktadır. Derin kuyu pompalarından yazları tam kapasiteli olmak üzere 9 adet pompadan saniyede 3 inçlik olmak üzere günlük 6000 ton su sağlanmaktadır.

Niğde İli Bor İlçesi Bor İlçe Merkezine verilen içme suyunun tamamı yer altı kaynaklarından sağlanmaktadır. Faal durumda 4 adet kuyu ve 10 adet su deposu bulunmaktadır (Niğde İli 2015 yılı Çevre Durum Raporu).

1.5.1.2. Sulama suyu

Niğde bölgesinde toplam 275.783 hektar alanın 117.804 hektarı sulanmaktadır. Sulama yapılan alanlarda salma, yağmurlama ve damlama sulama yöntemleri uygulanmaktadır. 29.804 hektar alanda salma sulama yapılmaktadır. 12.000 hektar alanda damlama sulama, 76.000 hektar alanda yağmurlama sulama yapılmaktadır. Kullanılan su miktarı belli değildir.

1.6. İnceleme Alanında Yapılan Önceki Çalışmalar

Tchihatcheff (1867), Bolkardağlarının ilk jeolojik incelemesini yapmıştır. Bolkardağları stratigrafisinde metamorfik serilerde yer alan şistleri ve mermerleri ayırtlayarak metamorfik olmayan Tersiyer birimleri hakkında bilgiler vermiştir.

Schaffer (1903), Bolkardağlarının genel olarak bir antiklinal yapısında olduğunu vurgulamış ve Bolkardağlarını ayrı bir tektonik birlik olarak ayırtlamıştır.

Blumenthal (1941), Niğde Masifini ilk kez jeolojik bir birim olarak tanımlamıştır. Tektonik çöküntülerden meydana gelen iç havzaların, lagüner malzeme ile doldurulduğunu belirtmiştir. Üst bölgelerde ise, volkanik faaliyetin geniş bir yayılım gösterdiğini saptamıştır.

Tromp (1942), Beyaz mermer, mika ve granatlı şist, kuvarsitlerden oluşan ve tam yaşı bilinmeyen serileri Niğde serisi olarak ayırtlamıştır. Bölgede bulunan Devoniyen ve sonrasına ait çökellerin Niğde serisindekilerle bir benzerlik göstermediğini ileri süren araştırmacıya göre bu seri Devoniyen'den daha yaşlıdır.

Blumenthal,(1952), Niğde masifini ilk kez jeolojik bir birim olarak ayırtladığı önceki çalışmalarında belirtmiş olduğu metamorfizma kavramına açıklık getirerek, Paleozoyik yaşlı Niğde Masifini oluşturan metamorfik kayaçlarını tüm kütle olarak ele almış ve bu kütleyi de “Niğde Kompleksi” olarak adlandırmıştır.

Okay (1955), Niğde-Çamardı-Ulukışla civarını da kapsayan Kayseri-Niğde-Aksaray bölgesinin 1/100 000 ölçekli jeolojik haritası yapılmıştır. Araştırmaya göre, Niğde Masifi; en üstte çok kalın mermerler olmak üzere alta doğru gnays, mikaşist, ikincil mermer damarları, fillat, kuvarsit, kuvarşist ve amfibol şistlerden oluşmuş olup, bazik ve asidik plütonları da içermektedir. Bu çalışmada “Kırşehir Masifi” ile birlikte Orta Anadolu’nun temelini teşkil eden Niğde Masifinin dokanakları tektonik dokanak olarak tanımlanmıştır.

Metz (1956), İlk kez Aladağ Mesozoyik kalker kompleksinin taban seviyelerinde yer alan kalkerlerin Triyas yaşında olduğunu ileri sürmüştür.

Abdüsselamoğlu (1962), S., Ecemiş Fayı ve yakın çevresinin 1/100 000 ölçekli jeolojik haritasını yapmıştır. Araştırmacı, Paleozoyik-Kretase zaman aralığında çökelen birimlerin üzerine uyumsuz olarak Eosen birimlerinin geldiği belirtilmiştir.

Beekman (1966), Hasandağ-Melendizdağ ve Keçiboyduran dağlarını kapsayan alanda Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı volkanizma faaliyetlerini araştırmıştır. Bölgede yaygın olarak görülen ignimbiritlerin oluşumunun Tuz Gölünün doğusundaki fayla ilintili olduğunu belirterek riyodasitik lavların meydana çıkmasıyla ignimbiritleri oluşturan volkanik faaliyetlerin sona erdiğini belirtmiştir. Bu oluşumu andezit-hornblend türü bazaltların takip ettiğini ve bazalt volkanizmasının olivinli bazalt akıntıları ile sona erdiğini belirtmiştir.

Oktay (1973), Sansartepe çevresinde trakiandezit bileşimli yastık lavlar ile monzonitik sıg sokulumlardan oluşan birimi Sansartepe formasyonu olarak adlandırmıştır.

Yoldaş (1973), Ulukışla bitümlü şeyl alanının ekonomik değerini saptamak amacıyla yaptığı çalışmada, Eosen yaşlı Güney formasyonunu volkanik arakatkıları kapsayan kumtaşışeylardenlanması olarak belirtmiştir. Bunun üzerine Üst Miyosen yaşlı gölsel birimlerin diskordan olarak geldiğini belirtmiştir, volkanik ara katkılı kumtaşı – şeylardenmasında oluşan Eosen yaşlı Güney Formasyonu üzerine ise Üst Miyosen yaşlı gölsel çökellerin uyumlu olarak geldiğini belirtmiştir.

Arpat vd. (1975), Ecemiş Fayının (Çamardı’nın 10 km doğusunda) diri bir fay olduğunu ve fay düzleminin Aladağlara doğru eğimli olduğunu saptamıştır. Net atımın gözlemlendiği fayın çok genç olduğunu ve yamaç molozu üzerinde gelişmiş akarsuların yollarını değiştirdiğini belirtmiştir.

Özgöl (1976), Tüm Toros bölgesindeki çökel istifi incelemiş ve Toros kuşağını; Bolkar Birliği, Aladağ Birliği, Geyikdağı Birliği, Antalya Birliği ve Alanya Birliği olmak üzere beş farklı birliğe ayırmıştır. Araştırma; bu birliklerin kendine has ayırtman özelliklerini yitirmeden kuşak boyunca yüzlerce kilometre süreklilik gösterdiklerini ve çoğu zaman birbirleri üzerine allokton olarak yerleştiklerini belirtmiştir.

Batum (1978), Göllüdağ ve Acıgöl yöresi volkanitlerinin jeolojisi ve petrografisinin incelendiği bu çalışmalarda İncesu ignimbiritlerinin püskürme merkezi olarak Nevşehir güneydoğusundaki Kaymaklı yöresi belirtilmiştir. Temelini yer yer ofiyolitler, yer yer pembe tüfler ve yer yerde Gelveriignimbiritinin oluşturduğu belirtilen çalışmada İncesu ignimbiriti biyotitlerinde yapılan K/Ar yöntemli yaş tayininde $4,9-5,5 \pm 0,2$ m.y. yıllık yaşlar saptamıştır.

Yetiş (1978), Niğde Metamorfiklerinin gnays, mermer ve kuvarsitten oluştuğu belirtilen çalışmada Maden kireçtaşı, “Aladağ Grubu”, Demirkazık kireçtaşı ve Mazmılıhofiyolitini ise “Ulukışla Grubu” altında toplamış ve Çamardı formasyonu, Çukurbağ formasyonu, Körpınaralçitaş üyesi ile Burç formasyonu ayırtlanmıştır.

Özgüneyli (1978), Niğde masifi içerisindeki cevherleşmelerin kökenlerini ve oluşum koşullarını incelemiştir. Masif içerisindeki formasyonları; Maden, Ilıca, Kılavuz ve Çamardı formasyonları olarak adlandırmış ve en genç birim olarak da Kretase-Tersiyer arasında intrüzyon yapan bölgesel olarak granit ve siyenite değişim gösteren granitoit kütlelerinin bulunduğunu saptanmıştır.

Göncüoğlu (1986), Niğde masifinin batısında yaptığı çalışmada gnays, amfibol, kuvarsit ve mermerlerden oluşan Aşıgediği, Gümüşler ve Kaleboynu formasyonlarını ayırtlanmıştır. Sineksiz yayla metagabrosunun karmaşıkla birlikte kıvrımlanarak metamorfizmaya uğradığını, Üçkapılı granit-granitoitlerinin “Niğde Grubu”na ait olan tüm kayaçları kestiğini saptayan araştırmacı metamorfizmanın ilk aşamada orta basınç-yüksek sıcaklık, ikinci aşamada ise düşük basınç-yüksek sıcaklık tipinde geliştiğini yer yer de kısmi ergimeye kadar ulaştığını belirtmiştir.

Göncüoğlu (1993), Niğde grubunu oluşturan kayalar, temelde olası kırıntılı kökenli gnayslar ile üste doğru kalın bir karbonat istifi içerir. Masifin üst bölümünde, Niğde grubu kayaları ile birlikte deformasyon ve metamorfizma geçirmiş ofiyolitli bir karışık yer almaktadır. Niğde grubu kayaları, Üçkapılıgranodiyoriti tarafından kesilmiş ve

kontak metamorfizmaya uğratılmıştır. Metamorfitler ile ilişkili başkalaşmamış en yaşlı birim, fosil içeren Üst Mestrihtiyen yaşlı kireçtaşlarıdır.

Göncüoğlu (1993), Niğde Masifi içerisinde yer alan para gnayslarda zirkon U/Pb yöntemi ile yapılan yaşlandırma “Niğde Grubu”nun en alt bölümünü oluşturan gnaysların 2000 m.y. yaşlı bir temelden kırıntı aldığını belirtmiştir. Yine bu çalışmada 460 m.y. öncesinde kırıntı zirkonlarda Pb sistematikini bozan bir olayın geliştiğini ortaya koymuştur.

Göncüoğlu (1993), Niğde Masifi’nin batı kesiminde “Niğde Grubu”nu formasyonlar ve kayaç türleri açısından incelemiştir. Buna göre: Gümüşler metamorfiklerinin büyük bir bölümünün kırıntılılardan, Kaleboynu metamorfiklerinin volkanik arakatkılı kırıntılı-karbonat ardalanmasından, Aşıgediği metamorfiklerinin ise, karbonatlardan meydana geldiğini belirtmiştir. “Niğde Grubu” ile birlikte deformasyon geçirmiş ofiyolitli bir karışığın varlığını saptayan araştırmacı, çalışmasında ayrıca Niğde Grubunun bir platform istifini yansıttığını da belirlemiştir.

Yalçın (1995), Doktora tezi olarak yapılan çalışmada Niğde Masifi birimlerini gnays, sist, mermer, kuvarsit, amfibolitlerden oluşan, Gümüşler, Kaleboynu, Aşıgediği formasyonları, ayrıca, bu metamorfikler ile birlikte kıvrılmış ve metamorfizmaya uğramış Sineksizyayla Metagabrosu ve tüm birimleri kesen Üçkapılıgrandiyoridi olarak tanımlanmış ve ayırtlanmıştır.

Ağadayı (1997), Niğde yöresinde bulunan perlitlerin; Hasandağ-Melendizdağ volkanizmasına bağlı olarak Kuvaterner’de aktivite kazanan Büyük Göllüdağ ve Bozdağ volkanizmasının bir ürünü olduğunu belirtmiştir. Perlitlerle birlikte bulunan diğer ürünlerin ise, riyoitik, bazaltik ve andezitik lavlar ile piroklastik malzemeler ve bunların üzerinde, ince taneli, kül boyutlarındaki çapraz tabakalı çökellerin bulunduğu ortaya konmuştur.

Keskin (1998), Çamardı formasyonu’nda dokuz, Çanaktepe formasyonunda ise altı litofasiyes ayırtlamış, bu litofasiyeslere göre birimlerin çökme ortamları ortaya konmuştur.

Afşin vd. (2000), Dertalan, Kemerhisar ve Çiftehan kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik açıdan incelemiş olup su türlerinin Dipsiz’de Ca-HCO₃, Dertalan’da Ca-SO₄, Kemerhisar’da Na-Cl ve Çiftehan’da ise Na-SO₄ şeklinde olması sığdan derine doğru

süren yeraltı suyu dolaşımının ve hidrojeokimyasal değişiminin göstergesi olarak yorumlanmıştır.

Temel (2007), Çiftehane, Kemerhisar ve Dertalan (Niğde) bölgelerindeki sıcak ve mineralli suları su kimyası ve izotropik yöntemlerle karşılaştırmış, tıbbi jeoloji yönünden değerlendirmiştir. Çalışmada Çiftehane sıcak ve mineralli sularının faylarla açığa çıktığı, Dertalan sularının $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$, Kemerhisar sularının Na-Cl-HCO_3 , Çiftehane sularının ise $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-Cl}$ bileşiminde olduğunu ve tüm suların meteorik kökenli olduğunu belirtmiştir.

Özbilge (2008), Misli Ovası (Niğde) Yer altı sularının incelediği çalışmasında, ova yüzeyinde yayılan alüvyon ve bunun altında bulunan volkano-sedimanter ve volkanik birimler ana akiferi oluşturduğunu, ovada özel kooperatifler ile şahıslara ait yaklaşık 5000 adet derin yeraltısuyu üretim kuyusu bulunup; bunların işletme debilerinin 5 ile 60 l/s arasında olduğunu, yıllık 64 milyon m³ dolayındaki beslenime karşılık, 50 milyon m³ suyun kaynaklar aracılığı ile doğal olarak, 150 milyon m³ suyun ise kuyular aracılığı ile yapay olarak boşaltıldığını, aşırı yeraltısuyu kullanımına bağlı olarak su tablası son yirmi yılda ortalama 12 m kadar alçalmış olduğunu, yeraltısuyunun genelde kalsiyum ve magnezyum karbonat niteliğine sahip olduğunu, alüvyon akiferin yoğun çekimin yapıldığı orta bölümlerindeki yeraltısuyu iyonik acıdan daha zengin olduğunu, yeraltısuyunun trityum içeriği 1970’li yılların ortası ile günümüz arasında 260 TU’dan 9 TU’ya kadar azaldığını belirtmiştir.

Özkan (2009), Bor-Niğde Yöresi Traverten Yataklarının Jeolojik Özelliklerini incelediği çalışmasında Bor-Niğde alanında Miyosen yaşlı Gökbez Formasyonun geniş alanlarda yüzeyletiğini, Gökbez Formasyonun karbonatlı seviyelerinin tabaka konumlarının uygun olmasından dolayı traverten çökelimlerinin meydana geldiğini belirtmiş ve görsel karbonatlarla traverten çökelimlerinin stratigrafik konum ve morfolojik özelliklerle Kuvaterner yaşlı teras tipi travertenlerden ayrıldığını söylemiştir.

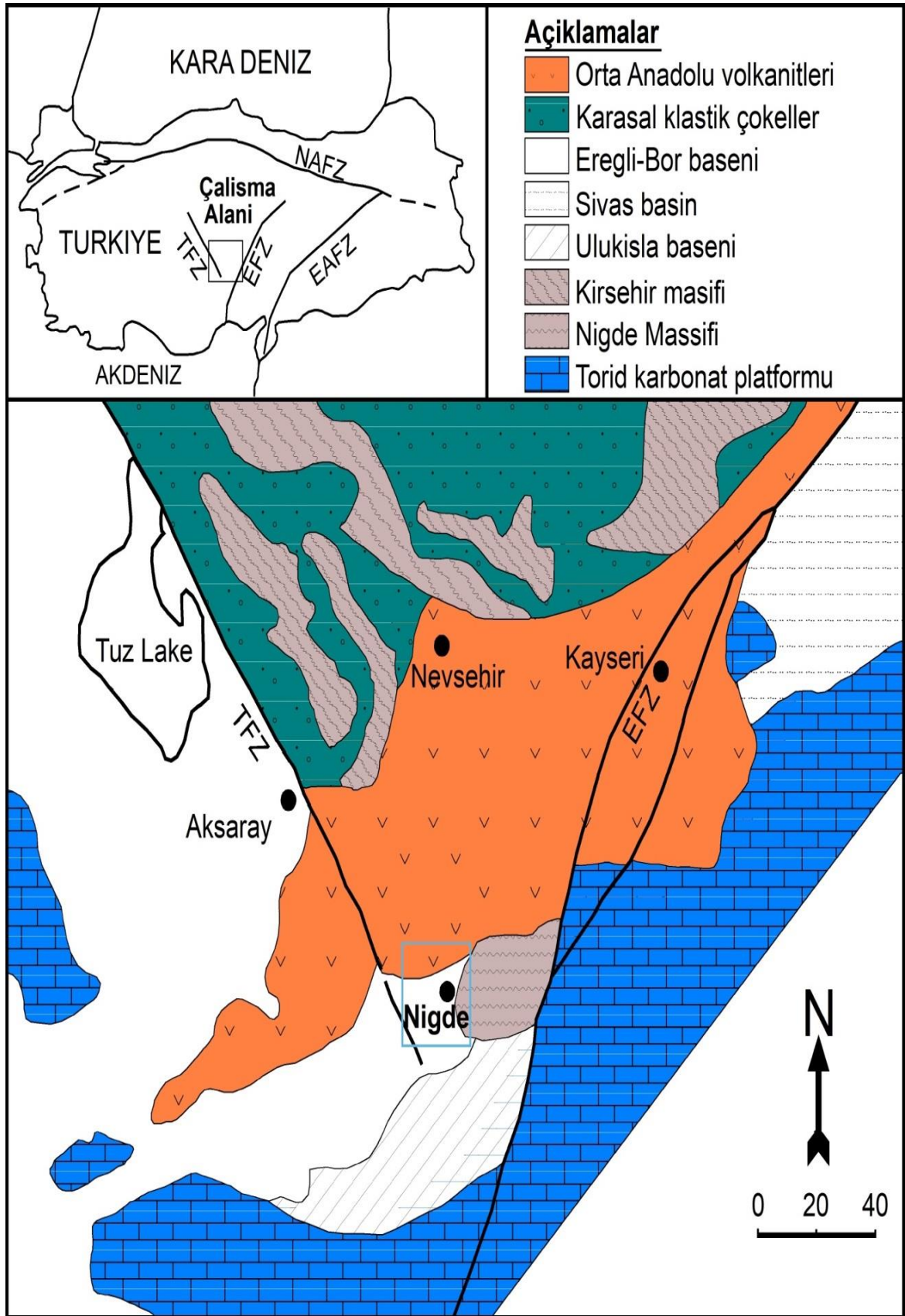
Korkanç vd. (2017), çalışma alanından geçen Akkaya barajında suyun kalitesi üzerinde çalışmıştır. Barajın önceden arıtılmadan veya arıtılmadan sürekli sisteme salınan evsel ve endüstriyel atık sular tarafından ciddi şekilde kirlendiğinden bahsetmişlerdir. Alandaki bu tür yüzey suyu kaynaklarının kirlenmesi yer altı suyu kalitesinde değişikliğe neden olabileceğini belirtmişlerdir.

1.7. Bölgesel Jeolojisi

İç Anadolu bölgesinin güneydoğusunda yer alan çalışma alanını kapsayan ve literatürde Orta Anadolu Kristalin masifi (Şekil 1.4) olarak adlandırılan bölgede en yaşlı birim Ecemiş Fay Kuşağı'nın batısında yer alan, Duraylı bir kıta kenarını temsil eden Niğde Grubu kayalarından oluşur. Alttan üste doğru Paleoziyik yaşlı meta kırıntılardan oluşan Gümüşler Formasyonu, meta karbonat ve kırıntılı aralanmasından oluşan Kaleboynu Formasyonu, en üstte ise metakarbonat ve/veya mermerlerden oluşan Aşıgediği Formasyonu yüzeylenir.

Niğde grubu olarak adlandırılan bu dizinin üstünde, onunla birlikte deformasyon ve metamorfizma geçirmiş ofiyolitli karışık yer almaktadır (Şekil 1.5; Göncüoğlu, 1977; Batum 1978).

Niğde masifini oluşturan kayaçların üzerine Paleosen – Eosen yaşlı yer yer düşük dereceli metamorfizma geçiriş kırıntılardan oluşan Çamardı Formasyonu açısız uyumsuz olarak gelmektedir. Paleosen birimleri üzerine yine açısız uyumsuzlukla Üst Miyosen – Alt Pliosen yaşlı karasal ortam çökelleri gelir. Alt kesimlerinde evaporitik kayaçlarla başlayıp stramotolitlerle devam eden bu karasal çökeller üzerine Pliosen yaşlı Melendizdağı Volkanitleri gelir. Alt Senoniyen yaşlı Niğde grubu kayaçları, post tektonik Üç kapılı Granadiyoriti tarafından kesilmiştir (Batum, 1978).



Şekil 1.4 İnceleme alanının da içinde bulunduğu bölgesel jeoloji ve tektonik haritası

(Toprak, 1994)

1.8 Stratigrafi

Niğde masifi; Orta Anadolu volkanik provensi, Toroslar ve Ereğli-Ulukışla baseninin kesişim yerinde bulunmaktadır. Bölgenin K-KB-KD sınırı Orta Anadolu volkanik provensi ile doğu ve GD sınırı Toroslar, B ve GB'sı Ereğli-Ulukışla baseni ile sınırlıdır, çalışma alanı içerisinde Niğde masifi birimleri bulunmaktadır.

Çalışma alanı, Niğde bölgesini kapsamakta olup, güneydoğusunda Niğde Grubu, Kuzeyinde ve batısında Melendizdağ volkanitleri, güney kesimlerinde ise Gökbez Formasyonu yüzeylenmektedir.

1.8.1 Niğde grubu

Niğde Grubu alttan üste doğru Gümüşler, Kaleboyunu ve Aşıgediği formasyonu olarak ayırtlanmaktadır. Üçkapılı Granadiyoriti tarafından kesilen bu birimler aşağıda özet olarak sunulmuştur.

1.8.1.1 Gümüşler metamorfiti

İlk kez (Göncüoğlu, 1985) tarafından adlandırılan birim, Niğde Metamorfitlerinin görünür en alt bölümünü oluşturmakta ve kısmi ergime gösteren sillimanit-biyotit gnays ile başlamaktadır (Şekil 1.5). Minerolojik bileşim ve dokusal özellikleri göz önüne alınarak sillimanit-biyotit-muskovit gnays, kordiyerit-muskovit gnays, almandinsillimanit-biyotit gnays, bantlı ganys, piroksen-amfibol-granat gnays ve gözlü ganys tiplerinin ayırtlandığı belirlenmiştir. Gnayslar ile birlikte amfibolit, metamorfikamfibolit, amfibollü mermer ve kuvarsit arabantları görülmektedir.

Litolojik olarak, Toros otokton istifindeki Alt-Orta Kambriyen yaşlı birimlerle benzerliklerinin bulunması nedeniyle, Niğde grubu kayalarının yaşını, Kambriyen yaşlı olarak kabul etmek mümkündür. Ancak otokton istifteki birimlerin metamorfizma geçirmemiş olması, Niğde grubu kayalarının Kambriyenden de yaşlı olabileceği ihtimalini düşündürmektedir. Bu nedenle Niğde Grubu'nun yaşı Alt Paleozoyik olarak verilmektedir (Atabey ve Ayhan, 1986).

1.8.1.2 Kaleboynu metamorfiti

İlk kez (Göncüoğlu, 1977) tarafından adlandırılmıştır (Şekil 1.5). Gnays, mermer ve kuvarsit ar dalanmasından oluştuğu belirlenmiştir. Gümüşler formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Kuvars feldispatik gnays ve kırmızı kuvarsitler ile başlayan birim gnays, mermer ve kalsilikatlı amfibolit ar dalanmasından oluşur. Çalışma alanında mermerlerle temsil edilen birimde yer yer karstlaşmaların olduğu gözlenmektedir.

Zirkon U/Pb yöntemi ile yapılan çalışmada (Göncüoğlu, 1982), Niğde Grubu'nun en alt bölümünü oluşturan gnaysların 2000 m.y. yaşlı bir temelden kırıntı aldıklarını belirlemiştir.



ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	GRUP	FORMASYON	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOYİK	TERSIYER	MIYOSEN - PLİYOSEN	Melendizdağ Volkanitleri	Alüvyon		Alüvyon, yamaç molozu
				Halaç Formasyonu		Akarsu çökelleri, çapraz tabakalı, iri taneli, tane destekli, açık renkli kumtaşı.
				Bor Bazaltı		Siyah, boşluklu, sert, kompakt, soğuma çatlaklı ve yer yer cüruf özellikli.
				Melendizdağ Andeziti		Yer yer volkanik breş ve algomera içeren lav akıntılarında oluşur.
				Melendizdağ Tüfü		Gri, sarımsı, beyazımsı; bazik volkanik kayalar parçalarından (plajiyoklas, proksen, olivin), volkanik cam bağlayıcıları ve tuf'den oluşur.
				Melendiz Algomerası		Genellikle andezit çakıllı tuf matrislidir.
				Gökbez Formasyonu		Yeşil, beyazımsı marn ve kireçtaşı ardalanması, Çalışma alanının doğusunda iyi laminali, gri, kahverengi bitümlü çamurtaşı arakatlıları kapsar.
				Havuzlu İgnimbiriti-Tüfü		Açık- koyu gri renkli kaynaklaşmış-kaynaklaşmamış ignimbirit, açık gri renkli tuf.
				Çanaktepe Formasyonu		Çakıltaşı, Kumtaşı ve Siltaşından oluşur.
				Çamardı Formasyonu		Birim; yer yer düşük derecede metamorfizmaya uğramış çakıltaşı, kumtaşı, çakıllı kumtaşı ve siltaşı ardalanmasından oluşur.
MESOZOYİK	KRETASE	Niğde Grubu		Üçkapılı Granodiyotiri		Orta ince taneli, granobilastik dokulu az ayrışmalıdır. Gnayslar ile dokanığında kordiyerit-muskovit-granat hornfels, karbonatlar ile dokanığında ise diyopsit-hedenberjit-hornfels ve epidot-granat-skapolit hornfelse rastlanır.
				Sineksizayla Metagabrosu		Metagabro; plajiyoklas, amfibol ve klinopiroksenden oluşan birim, diğer formasyonlarla birlikte metamorfizma geçirmiş olup gabro ile pegmatide kadar değişim gösterir.
				Aşıgediği Formasyonu		Orta kalın katmanlı beyazımsı dış görünümlü, eklemlili, iri kristalli, mermer. Meta - Karbonat bölümünün üst seviyelerde pembe, ince taneli mermerler ve gnayslar yer alır.
				Kaleboynu Formasyonu		Genel olarak; mermer, kuvarsit ve gnays ardalanmasından oluşur.
				Gümüşler Formasyonu		Egemen kaya birimini gnayslar oluşturur. Gnayslar içerisinde mermer, amfibolit, kuvarsit bant ve mercekleri gözlenir.
PALEOZOYİK						

Şekil 1.5 Niğde Bölgesi geliştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Özkan, 2009)

1.8.1.3 Aşığediği formasyonu

İlk kez (Atabey ve Ayhan, 1986) tarafından ayırtılan birim Kaleboynu Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer almaktadır (Şekil 1.5). Çalışma alanı da Niğde Masifinin güneybatı ve batı kesimlerinde yüzeylendiği gözlemlenmiştir. Birimin litolojisi, orta-kalın katmanlı, beyazımsı-gri, eklemlili, iri kristalli mermerdir.

Kaleboynuformasyonu ile geçişli olan birimin alt kesimlerinde yaklaşık 400 m kalınlıkta masif dolomitik mermerlerin yüzeylenmekte, üst kesimlerinde ise kalınlığı 1000 m varan kuvars şist bantlı mermerler yüzeylenir. 8Meta-karbonatlı bölümün en üstünde pembe, ince taneli mermerler ve mangan içeriği yüksek, alacalı şist ve gnaysların yüzeylendiği belirlenmiştir. (Atabey ve Ayhan, 1986).

1.8.1.4 Üçkapılı granodiyoriti

En iyi mostrası Üçkapılı Köyü'nde görüldüğünden ilk kez (Göncüoğlu, 1977) tarafından Üçkapılı Granodiyoriti diye adlandırılmıştır. Niğde Grubunu kesen granitik kayaların tümü ÜçkapılıGranodiyoriti adı altında toplanmıştır (Şekil 1.5). Mostra dağılımından hareketle, Üçkapılı köyü ve yakın yöresinde büyük bir yerleşime sahip olan birim, genelde orta-ince taneli, granoblastik dokulu ve düşük derecede ayrışma göstermektedir.

Üçkapılı granodiyoritinde yapılan Rb/Sr tüm kaya, Rb/Sr mineral ve K/Ar mineral yaş tayinleri, birimin intrüzyon yaşının 95 ± 11 m.y olarak belirlenmiştir ve birimin yaşı Senomaniyen olarak belirlenmiştir. (Göncüoğlu, 1977). Niğde Grubu kayalar içine postmetamorfik ve posttektonik olarak yerleşmiştir (Göncüoğlu, 1986).

1.8.1.5 Kızılkaya ignimbiriti

Çalışma alanında gözlenen ignimbiritler ilk olarak (Pasquarè, 1968)tarafından İncesu İgnimbiriti olarak tanımlanmıştır (Şekil 1.5). Birim çalışma alanının batı kesimlerinde paleotopoğrafya ile çukurları doldurmuş olarak gözlenmektedir.

İgnimbiritler, uzaktan bakıldığında yatay konumlu bazalt akıntılarını andırmaları ile karakteristiktirler. Eklemlili ve çatlaklı bir yapıya sahip olan ignimbiritler kirli beyaz, sarımsı, kahverenkli dış görünümlü, kırılma yüzeyleri ise sarımsı beyazdır. Petrografik olarak vitroklastik dokulu olan ignimbiritlerde, volkanik cam parçaları plajiyoklaz ve

biyotit tanelerinin volkanik külden oluşmuş bir hamur maddesi içinde yer almaktadır. İnceleme alanında temel kayaçların üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır (Batum,1978). İçerdikleri biyotitler üzerinde K/Ar yöntemiyle yapılan yaş tayini çalışmasında $4,9-5,5 \pm 0,2$ m.y. 'lık Alt Pliyosen yaşı belirlenmiştir (Batum, 1978).

1.8.1.6 Çanaktepe formasyonu

Birim çalışma alanının güneyinde, Bahçeli Kasabası dolaylarında yayılım sunmaktadır (Şekil 1.5). İlk kez (Atabey ve Ayhan, 1986) tarafından adlandırılmıştır. Genel olarak çakıltaşı, kumtaşı ile silttaşından oluşmaktadır. Çakıltaşları gevşek tutturulmuş, karbonat çimentolu ve çapraz tabakalı olup, kumtaşları gevşek tutturulmuş, mercek şeklinde ya da tabakalı ve kanal dolgusu çökellerinden oluşmaktadır. Çakıltaşı ve kumtaşları batıya doğru yanal olarak göl kalkerlerine geçiş gösterirler (Atabey ve Ayhan, 1986). Tabanda İncesu İgnimbiriti ile açısal uyumsuz ve üstte Gökbezformasyonu bulunmaktadır.

Birimin yaşı; Gökbez Formasyonuna göre Üst Miyosen-Pliyosen olup kalınlığı 50100 m arasında değişmektedir (Atabey ve Ayhan, 1986).

1.8.1.7 Gökbez formasyonu

İlk kez (Atabey ve Ayhan, 1986) tarafından adlandırılan birim; Bor, Kemerhisar, Kılavuz ve Postallı köyleri arasında geniş yayılım göstermektedir (Şekil 1.5). Birim adını, en iyi görüldüğü yer olan Gökbez Köyünden almıştır. Birim orta-kalıntabakalı canlı izli, gözenekli, gastropodalı kireçtaşından oluşmuştur. Batıda iyi laminalı, gri kahverenkli bitümlü şeyl ara katkıları içermektedir (Atabey ve Ayhan, 1986).

Alt sınırı Çanaktepe formasyonu ile uyumlu olarak gelen birimin üst sınırı Melendiz Aglomerası ile uyumsuz olarak gözlenmektedir. Tabaka eğimleri yatay ve yataya yakındır ve yörede düz bir topografya görünümü sunar (Atabey ve Ayhan, 1986). Gökbez formasyonu Miyosen-Pliyosen yaşta olup kalınlığı 50-150 m arasında değişmektedir (Dirik, 1996).

1.8.2. Melendizdağ volkanitleri

Orta Anadolu bölgesinde Aksaray ve Niğde illeri arasında bulunan Hasandağı Melendiz dağı yöresi 50 km uzunlukta ve ortalama 20 km genişlikte bir volkan alanıdır (Ketin, 1983).

İçinde çok sayıda volkan konilerinin, kraterlerin, tuf örtülerinin ve lav akıntılarının yer aldığı volkanizma, Orta Miyosen'de başlamış ve Kuvaterner sonuna değin etkin olduğu bilinmektedir.. Büyük ve Küçük Hasandağı, Melendizdağı ve aralarında yer alan Keçiboyduran dağı, 3300 metreye erişen yükseklikleri ve düzgün koni şekilleriyle Orta Anadolu' ya şekil vermektedir. Bölgedeki volkanizma Orta Miyosende ignimbrit püskürmesiyle başlamış, bunu volkanik kül, lapilli, tuf ve aglomeralar izlemiş, daha sonra bazaltik andezit, andezit, dasit, riyodasit ve en son Hasandağ'ın Kuvaterner yaşlı bazaltik lavlarıyla volkanizma sona ermiştir (Pasquare, 1966). Bu nedenle Melendiz Volkanitleri üç ayrı formasyon şeklinde incelenmektedir.

1.8.2.1 Melendizdağ aglomerası

Birim ilk kez (Beekman, 1966) tarafından adlandırılmıştır. Melendizdağ güneyinde yüzeylenmektedir. Çakıl boyutundaki köşeli klastiklerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 1.5). Çakıllar andezitik özellikte ve matriksi oluşturan taneler kum boyutundadır (Atabey ve Ayhan, 1986). Birimin alt dokanağı Gökbez Formasyonu ile üst dokanağında ise Melendizdağ Tufu ile geçişlidir. Birimde dolgu yapılarının olduğu görülmektedir. Orta büyüklükteki lav çakıllarında derecelenme gözlemlenir (Atabey ve Ayhan, 1986).

1.8.2.2 Melendizdağ tufu

Melendizdağ tufu Melendiz dağı ile Keçiboyduran dağının oyuntuları derinlere ulaşan volkanik merkezlerinde veya kalderalarda bulunur. Tuf formasyonları tüften başka tuf breşi, aglomeralar ve breşlerden meydana gelmektedir (Şekil 3.2).

Birimin tümü limonitleşmiş olup, yer yer ince tuf tabakaları içinde silisleşmeler meydana gelmiştir. Hidrotermal getirimlerle oluşan limonitleşme ve silisleşmeden başka cevherleşmeler gelişmiştir. Büyük kükürt çökelimleri limonit ve mangan çökelimini çatlaklarda, tabaka aralarında ve tuf içinde dağınık, serpili şekilde ve yer yer

laminalar halinde gözlemlenmektedir. Aglomeraların ve tuf-breşlerinin matriksleri bu sebeple kahverengi ve mor olarak gözlenir. Sıcak su dolaşımı aglomeralardan kopmuş kaba yapılı, iri bazaltik kaya parçaların da etkili olmuştur (Beekman, 1966).

1.8.2.3 Melendizdağ andeziti

İlk kez (Beekman, 1966) tarafından adlandırılmıştır. Melendizdağ güneyinde yüzeylenmektedir Genellikle lav akıntıları halinde görülmektedir. İçerisinde yer yer volkanik breş ve aglomera kısımları bulunmaktadır (Şekil 3.2). Aglomera, tuf ve ignimbiritlerin üzerinde yer alan andezitik lav akıntıları, andezit bazalt arası bir özellik gösterir. Birimin alt dokanağı Melendizdağ tufu ile üst dokanağı ise alüvyon, yamaç molozu ile açısız uyumsuzluk göstermektedir. Alt yüzeyler andezite, üst düzeyler bazalta daha yakındır. Andezitik kısımlar ojit andezit veya hipersten-ojit andezit niteliktedir. Andezitik lav akıntıları oldukça monoton bir görünüme sahip olduğu görülmektedir. Porfirik yapıda plajiyoklas ve klinoproksenler, zaman zaman da ortopiroksen, hornblend ve biyotitler makroskopik olarak görülebilen fenokristallerdir (Batum, 1978).

1.8.2.4 Bor bazaltı

İlk kez Türkecan vd. (2003), tarafından Bor lavı olarak nitelendirilen olivin bazalt karakterli bazaltlar; arazide grimsi siyah dış görünümlü, boşluklu, sert, kompakt, soğuma çatlaklı ve yer yer cüruf özellikli olup, Melendiz volkanitlerinin en üst lav akıntısını oluşturmaktadır (Şekil 3.2). Boyutları ani soğuma nedeniyle yer yer 1 cm'ye kadar ulaşabilen, boşlukların birbiri ile ilişkisi olmadığı belirlenmiştir. Boşluklarda yer yer ikincil kalsit oluşumları gözlenmektedir. Bölgede yer yer cüruf özellikleri ile belirgin olup, az ayrılmıştır. Olivin bazalt karakterinde olan lavların kalınlığı değişken olmakla birlikte, yer yer 20 metreyi geçtiği belirlenmiştir. Akışkanlığının yüksek olması nedeniyle bölgede yaygın olarak yüzeylendiği görülmektedir. Bu lavlar, Tuz Gölü fayı sınırında yüksek sırtlar oluşturduğu bilinmektedir.

1.8.3 Yapısal jeoloji

İnceleme alanı ve yakın dolay, Kaledoniyen-Hersiniyen ve Alp Orojenik hareketlerinin etkisiyle dağ oluşumları, kıvrımlanmalar ve kırılmalar meydana gelmiştir. Paleozoyik yaşlı Niğde Grubu kayaları, Kaledoniyen ve Hersiniyen Orojenezlerinden etkilenmiştir.

Alp Orojenezi ise hem Niğde Grubu'na ait birimleri, hem de tüm genç kayaları etkilemiştir(Göncüoğlu, 1986a).

Sağ yanal atımlı Tuzgölü ve sol yanal atımlı Ecemiş fay zonlarına ait fayların birbirine çok yaklaşık, yapısal jeoloji bakımından dikkat çekici olayların süre geldiği ve bu nedenle değişik zaman dilimlerinde değişik yapısal elemanların olduğu kritik bir bölgedir(Göncüoğlu, 1993). Bu bölge içinde gözlenen yapılar temel örtü birimleri ve birbirleriyle olan ilişkileri bakımından (1) paleotektonik döneme ait yapılar ve (2) neotektonik döneme ait yapılar olmak üzere iki ayrı grupta sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama Ecemiş ve Tuzgölü Fay zonlarının Orta Eosen-Mio-Pliyosen aralığı ve Pliyosen sonrası olmak üzere iki ayrı dönemdeki hareketlerine göre yapılmıştır. Bu iki hareketin bölge kayaçları üzerindeki deformasyon etkileri arazide çok iyi gözlenebilmekte ve kolaylıkla ayırt edilmektedir (Göncüoğlu, 1993).

BÖLÜM II

MATERYAL VE METOD

2.1 Materyal ve Yöntemler

Bu çalışmada; Niğde esas olmak üzere Niğde-Bor-Kemerhisar-Bahçeli bölgesini de kapsayacak şekilde, dönemsel değişimlerin gözlenmesi için Mayıs ve Aralık dönemleri olmak üzere, yeraltı sularını temsilen pınar ve kuyulardan alınan su örnekleri başlıca materyali oluşturmaktadır. Bu kapsamda, inceleme alanı ve çevresi hakkında ilgili makaleler, yayınlar, tezler, raporlar ve özel şirketler tarafından gerçekleştirilmiş jeolojik ve hidrojeolojik bütün verilerin toplanması ve incelenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla yapılan çalışmalar arazi, laboratuvar ve büro olmak üzere başlıca üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1.1 Arazi çalışmaları

2.1.1.1 Jeolojik harita alımı

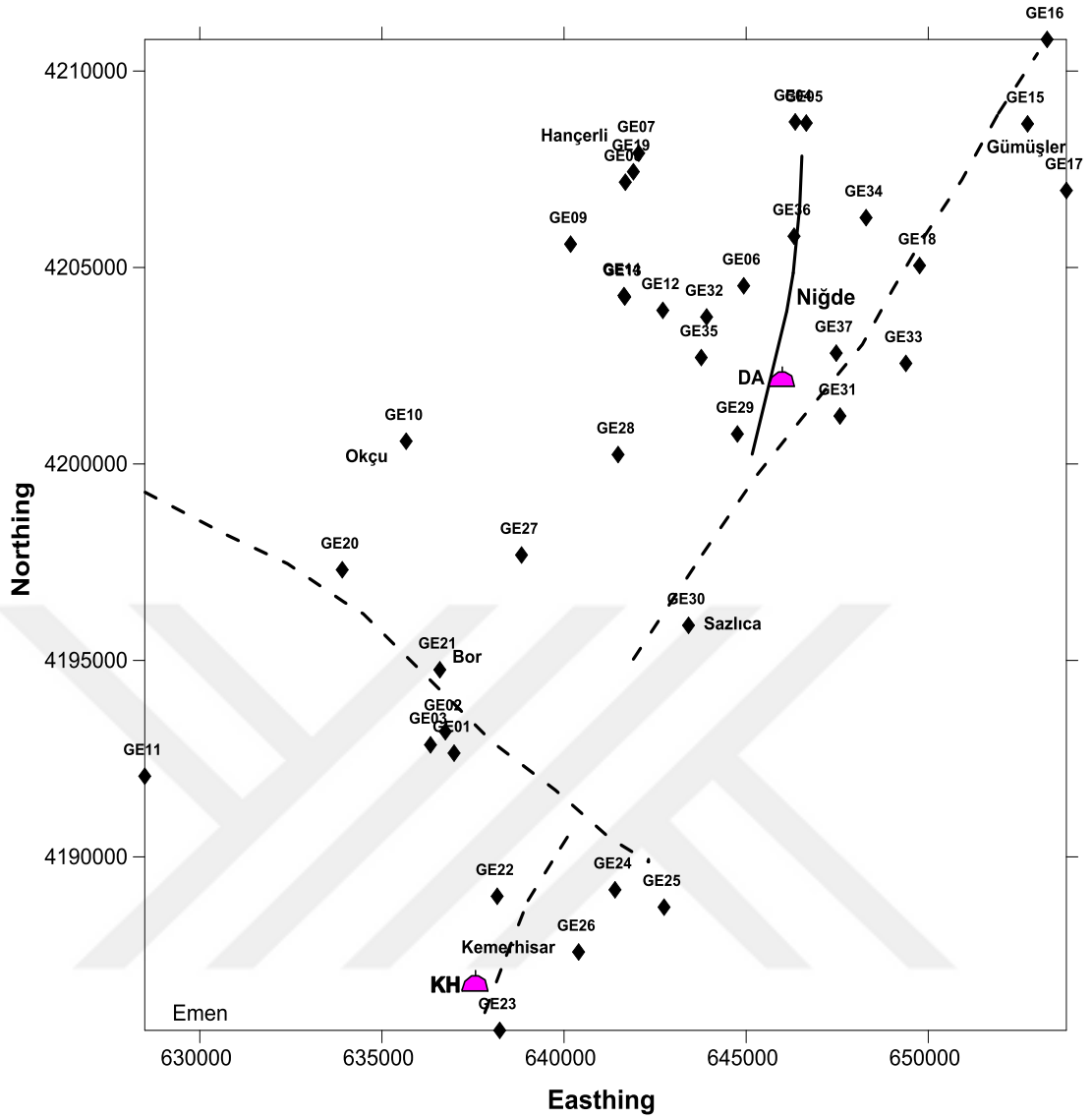
Öncelikle bölgeyi kapsayan 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaya jeolojik veriler işlenmiştir. Bölgenin jeolojisi önceki çalışmalardan faydalanılarak özellikle inceleme alanı yeniden gözden geçirilmiş, düzenlenerek kullanılmıştır. Özellikle bölge, tarım arazileri, sanayi ve yerleşim alanları, akarsuların beslenme alanlarının jeolojisi ve tektoniği detaylı olarak incelenmiştir.

2.1.1.2 Örnek alımı ve arazide yapılan ölçümler

Hedef olarak seçilen sahanın jeolojik haritası hazırlanarak sistematik örnek alımına başlanmıştır. Mayıs (yağış dönemi sonu, ıslak sezon) ve Aralık (dönem sonu, kurak sezon) dönemlerinde yapılan örnekleme sırasında Macellan marka GPS aletinden yararlanılıp, her örnek noktasının koordinatları arazide kaydedilmiş, her iki dönemde olmak üzere toplam 74 su örneği alınmıştır (Çizelge 2.1; Şekil 2.1).

Çizelge 2.1. Örneklem noktaları, kısaltmaları ve konumları

KISALTIMA	LOKASYON	YÜKSEKLİK	KOORDİNATLAR				KAYNAK/KUYU
		m	X	X UTM	Y	Y UTM	
GE01	YENİ SANAYİ SİTESİ BOR	1100	37,869391	636979,99	34,556962	4192640,7	KUYU
GE02	ESKİ DABAKHANE İÇERİSİ BOR	1101	37,874343	636740,29	34,554341	4193186,3	KUYU
GE03	ESKİ DABAKHANE İLERİSİ BOR	1099	37,871383	636332,88	34,549647	4192851	KUYU
GE04	YEŞİLBURÇ, ESKİ KİLİSE KARŞISI NIĞDE	1356	38,012665	646346,15	34,666675	4208705,6	KAYNAK
GE05	YEŞİLBURÇ KÖYÜ MEYDAN NIĞDE	1386	38,012354	646649,3	34,670121	4208676,5	KAYNAK
GE06	KUMLUCA YOLU ÜSTÜ NIĞDE	1248	37,975312	644932,35	34,649734	4204534,2	KAYNAK
GE07	HANÇERLİ KALEĞİRE KİLİSE ALTI NIĞDE	1522	38,006169	642049,43	34,61759	4207908,7	KAYNAK
GE08	HANÇERLİ CAMİ ALTI NIĞDE	1513	37,999581	641682,02	34,613261	4207171	KAYNAK
GE09	KOYUNLU 4. DURAK, HAMAM YANI NIĞDE	1490	37,985604	640179,64	34,595848	4205593,7	KAYNAK
GE10	BOR OKÇU KÖYÜ YUKARI KAYNAK	1346	37,941111	635664,11	34,5435	4200579,2	KAYNAK
GE11	BOR ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ	1074	37,865336	628488,32	34,460343	4192053,4	KUYU
GE12	FERTEK TEPE BAĞLARI MEVKİİ	1265	37,970037	642711,7	34,624336	4203909,7	KUYU
GE13	FERTEK MANDİLMOS AŞAĞI KAYNAK	1325	37,973253	641666,7	34,61251	4204248,5	KAYNAK
GE14	FERTEK MANDİLMOS YUKARI KAYNAK	1327	37,973589	641644,36	34,612263	4204285,4	KAYNAK
GE15	KAYSERİ YOLU AKTAŞ MEVKİİ	1301	38,011164	652726,23	34,739312	4208655,8	KUYU
GE16	KAYSERİ YOLU ORKS MAD. KARŞISI	1325	38,030425	653261,6	34,745867	4210803,9	KUYU
GE17	ESKİ GÜMÜŞ KASABASI NIĞDE	1321	37,995704	653791,78	34,751081	4206959,6	KUYU
GE18	ATASANAYİ ALTI DİTAŞ FAB. CİVARI NIĞDE	1246	37,979169	649760,8	34,704794	4205049,3	KUYU
GE19	HANÇERLİ KÖYÜ GİRİŞİ NIĞDE	1507	38,001948	641902,86	34,615828	4207437,6	KAYNAK
GE20	BOR İLÇESİ ŞEBEKE SUYU	1091	37,911889	633909,66	34,522932	4197306,9	KUYU
GE21	BOR İLÇESİ METKAVAK MEVKİİ	1105	37,888557	636588,96	34,552919	4194761,5	KUYU
GE22	KEMERHİSAR GİRİŞ KEMERLERİN İLERİSİ	1104	37,836386	638163,61	34,569718	4188997,3	KUYU
GE23	KEMERHİSAR KEMER MAH. TYANA CAD.	1092	37,805631	638233,02	34,569855	4185584,9	KUYU
GE24	BAHÇELİ PELİT AĞACI	1138	37,837378	641399,02	34,606505	4189162,4	KUYU
GE25	KARAMAHMUTLU	1164	37,833188	642745,84	34,621718	4188720,6	KUYU
GE26	BAHÇELİ ZAFER MAH.	1123	37,823269	640399,4	34,594842	4187579,2	KUYU
GE27	BOR ESKİ TUĞLA FABRİKASI YANI	1169	37,914532	638832,36	34,578985	4197682,2	KUYU
GE28	NIĞDE ORGANİZE SANAYİ	1225	37,937154	641483,13	34,609632	4200238,4	KUYU
GE29	SUNGURBEY KOLEJİ ARKASI NIĞDE	1193	37,941361	644759,1	34,647003	4200762,7	KUYU
GE30	SAZLICA DİPSİZ KUYU İLERİSİ BOR YOLU	1209	37,897697	643416,93	34,630765	4195892,5	KUYU
GE31	NIĞDE ÇİMENTO KARŞISI	1210	37,945025	647574,82	34,679128	4201219,6	KUYU
GE32	NIĞDE FERTEK YOLU FERAHEVLER	1236	37,968324	643913,39	34,637978	4203740,6	KUYU
GE33	NIĞDE OTOBÜS TERMİNALİ	1260	37,956801	649384,88	34,699998	4202559,6	KUYU
GE34	NIĞDE EVLERİ KENTSEL DÖNÜŞÜM SAHASI	1282	37,99039	648291,52	34,688323	4206268,1	KUYU
GE35	NIĞDE TEPE BAĞLARI	1218	37,959045	643766,51	34,6361	4202708	KUYU
GE36	NIĞDE KAYARDI BAĞLARI	1251	37,986448	646314,57	34,665722	4205794,9	KUYU
GE37	NIĞDE SELÇUK MAHALLESİ	1211	37,959459	647472,41	34,678291	4202819,9	KUYU



Şekil 2.1. İnceleme alanında su örneklerine ait lokasyon haritası

(G10: su örneği lokasyonu, DA: Dertalan Termal ve mineralli suyu, KH: Kemerhisar Termal ve mineralli suyu).

Örnekleme, standart prosedürler izlenerek 100 mL polietilen şişelerle yapıldı (Olsen ve diğ. 2012). Numune alınmadan önce tüm 100 mL polietilen şişeler, birkaç kez deiyonize su ile ve daha sonra kirlenmeyi en aza indirmek için kuyulardan ve kaynaklardan örneklenecek yeraltı suyu ile durulandı. Kuyulardan alınan numuneler, analiz için taze akifer numuneleri elde etmek üzere, akiferin durgun suyunu temizlemek için 10 dakikalık pompalamanın ardından alındı. Bu yöntem literatürde durgun suyun tamamen uzaklaştırılmasında etkili bir araç olarak bilinmektedir (Robin ve Gillham 1987).

Her bir örnekleme noktasında su kaynaklarının sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (EC) gibi fiziko-kimyasal parametreleri yerinde llm W.T.W-LT 330 marka portatif kondüktivite metre (SCT), Orion marka “pH metre” kullanılmıştır. Ana iyonlar hidrojeokimyasal analizler ve izotop jeokimyasal analizler için çift kapaklı 100 ml polietilen şişelerle su örnekleri alınmış, etiketlenmiş ve su örnekleri laboratuvara ulaştırılana kadar buzdolabında 4  C de muhafaza edilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler için alınan su örnekleri 0.45 mikron açıklıklı filtre kâğıdı kullanılmış ve vakumla süzülerek içerisinde elementler arasındaki etkileşimleri önlemek için her bir şişeeye nitrik asit HNO₃ ilave edilerek örneğın pH’ı <2’nin altına indirilerek korumaya alınmıştır. Anyon analizleri ise 24 saat içerisinde yapılmıştır.



Fotoğraf 2.1. Arazide su örneğı alımı ve fizikokimyasal parametrelerin llmesi

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Araziden alınan 74 adet su örneği 2 grupta analize hazırlanmıştır. Birinci grupta örneklerden 0.45 mikron açıklıklı filtre kâğıdı kullanılarak süzölmüş ve 100 ml alınarak içine nitrik asit ilave edilerek pH<2 olması sağlanmıştır. Asitle muamele edilen örnekler katyon alanizi için Kocaeli üniversitesi Analitik Laboratuvarları'na gönderilmiştir. Örneklerin jeokimyasal analizleri birçok elementi ppt seviyesinde ölçebilen (ultra trace) ICP-MS yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

Ayrıca su örnekleri alındıkları günden itibaren buzdolabında korunmuş, kuru buz uygulaması ile anyon analizi için aynı Laboratuvara gönderilmiş, burada sülfat, Nitrat, Nitrit, klorür, forfor ve toplam demir miktarları Uv spektrofotometre ve titrasyon yöntemiyle analiz edilmiştir.

2.2.1 Analitik yöntemler

Su kimyası analizleri Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında Perkin Elmer Elan DRC-e ICP-MS cihazı ve Merck Pharo 300 Model Spektrofotometre cihazı ile APHA-AWWA-WEF (2005) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.1.1 İz element analizleri

ICP-MS: Bu yöntemle yapılan ölçümlerde, plazma bir radyo frekansı alanı içinden geçen argon gazı tarafından oluşturulur. Burada argon kısmi iyonlaşma tarafından muhafaza edilir. Bu durum 10.000 °C ye varan sıcaklıklara ulaşılmasına olanak sağlar. Yüksek sıcaklıkta çoğu elementler, ölçülebilen ve derişim belirlenmesinde kullanılabilen karakteristik dalga boyu ışık yayar. Analiz edilecek örnek plazma içine küçük damlacıklar (aerosol) şeklinde takdim edilir. Farklı elemetlerden kaynaklanan ışık farklı dalga boylarına ayrılır ve bunlar dedektörler tarafından algılanır. Bu durum 40'a varan elementin aynı anda analizine olanak sağlamaktadır ve ICP-MS bu yüzden multi-element analiz tekniği olarak kabul edilmektedir. Tespit sınırı mikrogr/l düzeyindedirler. Araziden alınan 74 adet su numunesinin ana ve iz element içeriği bu yöntem kullanılarak tespit edilmiştir.

2.2.1.2 Anyon analizleri

Sülfat, nitrat, klorür, florür, karbonat ve bikarbonat içeren anyonların konsantrasyonları Merck Pharo 300 Model Spektrofotometre ile belirlenmiştir. Sülfat ölçümünde numunenin pH'ı 2-10 arasında olmalıdır. Doğadan alınan bütün örnekler bu şartı sağlamaktadır. Ölçümde test tüpüne 2,5 ml örnek koyulmuş ve 2 damla SO₄-1A kodlu kimyasal ilave edilip karıştırılmıştır. Daha sonra mikro kaşıkla SO₄-2A tozu ilave edilerek ve karıştırılmıştır. Test tüpü 5 dakika bekletildikten sonra 2,5 ml SO₄-3A bekletilen örneğe ilave edilmiştir. Daha sonra 0.45 µm açıklıklı filtre kağıdıyla tüpteki karışım süzölmüş ve süzöntüye 4 damla SO₄-4A kimyasalı ilave edilip karıştırılmıştır. Test tüpü 7 dakika boyunca bekletilmiş ve örneğin toplam sülfat içeriği ölçölmüştür. Toplam demir miktarı ölçümünde ise; test tüpüne 5 ml örnek konulmuş ve karıştırılmıştır. Daha sonra 3 damla Fe-1AN kodlu kimyasal ilave edilmiş ve 3 dakika bekletilmiştir. 3 dakika sonunda elde edilen karışımın toplam demir miktarı ölçölmüştür.

2.2.1.3. İzotop analizleri

Suların izotop jeokimyasal analizleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı Şube Müdürlüğü Laboratuvarlarında TS EN ISO IEC 17025 standardı kapsamında yapılmıştır. Δ18O ve δ2H izotopları, kütle spektrometrisi ve 3H, sıvı sintilasyon ile analiz edilmiştir. İzotopik değerler, NIST / IAEA referans materyalleri v-SMOW'a göre standart notasyonlar kullanılarak rapor edilmiştir. Analitik hassasiyet, sırasıyla δ18O ve δD için ±% 0.1 0 ve ±% 0.3% 'dür. Örnekleme noktalarından alınan su örnekleri analiz yapım tarihine kadar 4 ° C de muhafaza edilmiştir.

2.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Araziden 2 dönem halinde alınan örnekler analize hazırlanmış, gözlemler ve önceki çalışmalardan bölgenin jeolojik haritası çeşitli grafik programları kullanılarak oluşturulmuştur. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler kendi aralarında sınıflandırılmış ve istatistiksel açıdan dağılımları incelenmiştir. Sınıflandırılan veriler veri güvenliği açısından kendi içlerinde ve önceki çalışmalardan da faydalanılarak değerlendirilmiş ve veri güvenliği doğrulanmıştır.

Elde edilen hidrojeokimyasal sonuçlar AquaChem yazılımı versiyon 4.0 kullanılarak Piper ve Schoeller diyagramlarında gösterilmiştir. Yer altı suyunda daha yüksek konsantrasyonlara sahip parametrelerin mekansal dağılım haritaları, Surfer 13 yazılım kullanılarak yapılan enterpolasyon yöntemiyle (Kriging) oluşturulmuştur. Analiz edilen tüm su örneklerinin mineral doygunluk indeksleri ise PHREEQC programı kullanılarak hesaplanmıştır (Parkhurst ve Appelo, 1999).

İncelenen yeraltı suyu örneklerinden ölçülen fizikokimyasal parametreler arasındaki ilişkileri değerlendirmek için, hem ham veriler, hem de, ham konsantrasyonları ölçüm birimlerinden kurtararak bağımsız hale getirmek (birimsiz) için, merkezi logaritmik oranlama (central log ratio, clr) transformasyonu (2.1) (Aitchison ve Greenacre, 2002) kullanılarak dönüştürülmüş ve ardından SPSS 24 programı yardımıyla R-mod faktörü analizine (Temel bileşen analizi) tabi tutulmuştur. Temel bileşen analizi (PCA), rotasyon algoritması olarak varimax rotasyonu ile R-mod faktörü analizi yaparken kullanılan ekstraksiyon metodudur (Imbrie, 1963). Ayrıca, hidrokimyasal parametrelerin mevsimsel değişimi ve buna bağlı benzerlik ve farklılıklarını ortaya koyabilmek için tek yönlü ANOVA testi ile test edilmiştir.

$$\text{clr}(x)=(\log(x_1/g(x)),\dots,\log(x_D/g(x))) \quad (2.1)$$

Formülde, x her bir örnekten elde edilen bileşen konsantrasyonunu, $g(x)$, x 'in bileşiminin geometrik ortalamasını ve x_D , tek tek hidrokimyasal parametreler arasındaki Öklid mesafesini ifade etmektedir.

Yeraltı suyunun Niğde ili çevresindeki termal sularla karışım oranları (mixing ratio), iki uç üye olarak kabul edilen termal su (Kemerhisar termal suyu, (Afşin vd, 2000)) ve bir termal olmayan yeraltı suyu (bu çalışmada Hancerli kaynak suyu) kullanılarak hesaplandı. Karışım oranlarının belirlenmesinde yaygın olarak bor ve klorür kullanılır. özellikle klorür yüksek konsantrasyonlarda ve sıcaklıklarda bile genellikle kimyasal reaksiyonlara katılmadığından özellikle tercih edilir. Bu nedenle, bu çalışmada soğuk suyun termal suyla karışımı aşağıdaki denklem kullanılarak tahmin edilmiştir. (Khan vd., 2011)

$$R=[\text{Cl}^-_T]-[\text{Cl}^-_{\text{MIX}}]/[\text{Cl}^-_T]-[\text{Cl}^-_c]*100 \quad (2.2)$$

Formülde, R: karışım oranı, termal olmayan yer altı suyunun yüzdesi (%); Cl-MIX: karışımın klorür konsantrasyonu; Cl-C: soğuk suyun klorür konsantrasyonu; Cl-T: termal sudaki klorür konsantrasyonu'nu ifade etmektedir.

İncele alanında sulardaki kirlilik düzeylerini belirlemek için çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Bunlardan Mohan vd. (1996)'nin geliştirmiş olduğu Ağır metal kirlilik indeksi (HPL), Metal kirlilik indeksi (MPI) ve Backman vd. (1997) geliştirmiş olduğu kirlilik düzeyi indeksi (Cd), sularda izin verilen minimum ve maksimum kabul edilebilir metal düzeyleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Ağır metal kirlilik indeksi (HPI) hesaplamasında kullanılacak parametrelerin (Wi) ağırlığı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$W_i = k/S_i \quad (2.3)$$

Formülde, Wi i parametresinin ağırlığı, Si, i parametresi için önerilen standart ve k, orantı sabitidir. Diğer parametre, ağır metallerin her biri için kalite derecesi (Qi) aşağıdaki formülle hesaplanır:

Qi, parametresinin alt indeksini belirtirken, Vi, inci parametresinin izlenen değeridir ve Si, parametresi için izin verilen sınırdır. Hesaplanan parametrelere dayanarak, Ağır Metal Kirlilik Endeksi (HPI) ifadesi kullanılarak hesaplandı:

$$Q_i = (100 \times V_i) / S_i \quad (2.4)$$

Formülde, Qi, i parametresinin alt dizinini temsil eder ve Vi i parametresinin örnekte ölçülen değer, Si: Kritik kirlilik indeksi değeri. Bu çalışmada Si değeri, Türk Standartları Enstitüsü'nün içme suyu kılavuz değerlerinden alınan standart değerdir (TSE-266 2005). Hesaplanan parametrelere dayanarak, Ağır Metal Kirlilik Endeksi (HPI) aşağıdaki formül kullanılarak kullanılarak hesaplanabilir:

$$HPI = Q_i \times W_i \quad (2.5)$$

Metal Kirliliği Endeksi (MPI) ise, sudaki metallerin kirlilik yükünü değerlendirmek için alternatif bir tekniktir ve bu çalışmada HPI analizini desteklenmesi için kullanılmıştır. MPI aşağıdaki formülü kullanarak yeraltı suyunda bulunan tüm metallerin geometrik ortalama konsantrasyonları (Usero vd. 1997) belirlenerek elde edilir:

$$MPI(\mu g g^{-1}) = (C_{f1} \times C_{f2} \times \dots \times C_{fn})^{1/n} \quad (2.6)$$

Formülde, $Cf_1, Cf_2, \dots, Cf_n$ her bir ağır metale ait kirlenme faktörü (örnekteki her bir ağır metal konsantrasyonunun Türk Standartları Enstitüsü'nün içme suyu kılavuz değerlerinden alınan standart değere (TSE-266 2005) bölümüyle elde edilir.

Tez yazımında ise “Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu” esas alınmıştır.



BÖLÜM III

BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Giriş

Bu bölümde arazi çalışmalarından elde edilen jeolojik, hidrojeolojik bulgular ve araziden kurak ve yağmurlu dönemde alınan yeraltı su örneklerinden elde edilen jeokimyasal ham verilerin genel sonuçları verilecek ve bir sonraki bölümde bu sonuçlar etraflıca tartışılacaktır.

3.2. İnceleme Alanının Jeolojisi

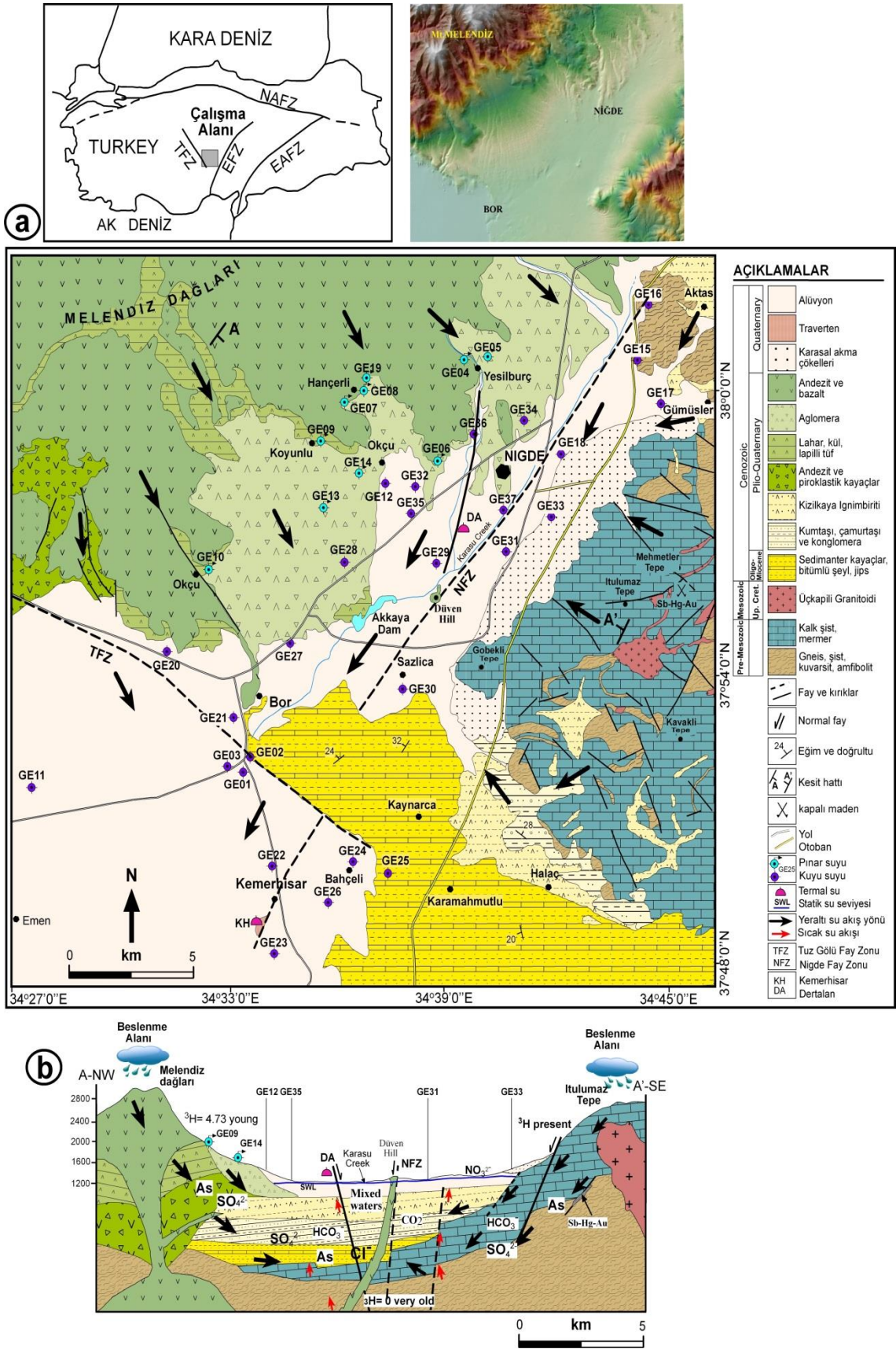
Çalışma alanında gözlenen jeolojik birimlerin yaşları Mesozoyik Öncesi'nden Kuvaterner'e kadar değişmektedir. İnceleme alanında temeli oluşturan ve Niğde Masifi'nin bir parçası olan bu kayaçlar, sadece Itulumaz, Gümüşler, Aktaş ve Göbektepe civarında mostra verirler (Şekil 3.1). Niğde Masifi, İç Katmanlı Metakarbonat ve Metapelitik Kayaçların egemen olduğu ve Geç Kretase Üçkapılı granitoyidi tarafından kesilen Orta Anadolu Kristal Kompleksinin güney kısmı olarak bilinir. Temele ait bu kayaçlar Aktaş civarında gnays, şist, amfibolit aralanması sunarken Itulumaz ve Göbekli Tepe civarında oldukça kırıklı ve çatlaklı mermer, şist ve kuvarsit aralanmasının daha yaygın hale geldiği gözlenir. İrili ufaklı birçok normal ve ters faylar tarafından atılan bu birimlerin üzerine Aktaş, Üçkapılı ve göbekli Tepe'nin güneyinde Kızılkaya ignimbiriti uyumsuz olarak gelir (Şekil 3.1).

Kemerhisar, Karamahmutlu bölgesinden Kaynarca ve Kaynarcanın kuzey ve kuzey batısına kadar olan bölgede ise, Oligo-Miyosen'den Pliyo-Kuvaterner yaş aralığında ve Ulukışla tortul havzasının bir parçası olan ve genelde volkanik ve tortul malzemelerden oluşan birimler mostra verir. Bu havza esas olarak çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kalker, dolomit, marn ve jipsli seviyeler de içeren bitümlü şeyllerin gözlendiği tortul malzemelerden oluşur (Clark ve Robertson 2002; Gürel ve Lermi 2010). Antiklinal ve snklinallerin gözlendiği bu birim, ince-orta tabaka kalınlığına sahip ve tabakalar genel olarak 20⁰-32⁰ KB ya eğimlidirler (Şekil 3.1).

İnceleme alanının kuzeybatı ve kuzey kesimlerinde ise Pliyosen'den Üst Miyosene'e kadar uzanan zaman diliminde oluşan Hasandağ ve Melendiz volkanik birimlerinin yaygın olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.1).

Bu birimler genellikle Kızılkaya ignimbiriti olarak bilinen ignimritlerle başlar ve Andezitik lav ve bunların piroklastları, volkanik akıntı çökelleri, lapilli tuf ara seviyeleri ile devam eder ve Pliyo-Quaterner sonuna doğru aglomera, bazalt ve andezitik volkanik kayalarla sona erer. Bu kayalar inceleme alanında genel olarak Bor, Koyunlu, Okçu, Hançerli, Yeşilburç ve Tepeköy civarında yüzlek verirler (Şekil 3.1). Hem temele ait metamorfikler hemde, daha genç olan volkanik kayalar Quaterner yaşlı yamaç molozleri, traverten ve güncel alüvyonlar tarafından örtülürler (Şekil 3.1).

Tepeköy ve Güllüce çevarındaki özellikle piroklastik kayalarda, başlıca alunit, natroalunit ve jarositten oluşan alterasyon minerallerinin yaygın olduğu hidrotermal alterasyon, yaygın olarak gözlenmektedir (Lermi 2016; Şener vd., 2017). İnceleme alanının Kuzeybatı ve güneydoğu kesimi ve burada yüzeyleyen birimlerin çoğunu etkileyen Niğde Fay Zonu (NFZ) ve Tuz Gölü Fay Zonu (TFZ), inceleme alanının güney ve güneydoğusunda yüzeyleyen birimlerden ayırmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. İnceleme alanının 1/50000 ölçekli jeoloji haritası (a; MTA 1/50000 jeoloji haritasından değiştirilerek alınmıştır) ve kavramsal jeolojik modeli (b)

3.3. İnceleme Alanının Hidrojeolojisi

İnceleme alanında yaygın olan mermer ve metamorfik ve özellikle metakarbonatik kayalar karstik özellikler gösterirken, Üç Kapılı graniti, çatlamış ve geçirgen özelliklere sahip, yeraltı suyu geçişi için kanallar olarak hizmet veren oldukça kırılmış ve geçirgen görünmektedir. Bölgedeki ana akiferler alüvyondan oluşan genç birimlerde barındırılmaktadır (Çelik ve Afşin 1998). Yeraltı suları, bölgedeki yükselti alanlarından, beslenme havzasına doğru kırık-çatlak ve fay gibi süreksizliklerden sızma yoluyla, akifer malzemelerini oluşturan Kuaterner çökellerinin içerisinde depolandığı düşünülmektedir. Bölgede yeraltı suları genellikle kuyulardan pompalama yoluyla ve kaynaklardan ise kendiliğinden deşarj olmaktadır. Yerel olarak, çalışma alanında iki tür akifer tanımlanmıştır: Kuaterner akiferinden oluşan Plio-Quaternary ve Quaternary yaşlı akiferler (Şekil 3.1 b).

İnceleme alanının düşük kotlarında gözlenen Kuaterner akiferinde genellikle alüvyon hakimdir. Alüvyon tutturulmamış çakıl, kum ve siltlerden oluşur ve bölgedeki serbest (unconfined) akiferi oluşturur. Bölgede yaygın olan tuf ve ignimbrit gibi kayaların yaygın olarak bulunduğu birimler de yoğun boşluklu, kırıklı ve çatlaklı olmalarından dolayı serbest akifer olarak nitelendirilebilirler. İkinci akifer ise, inceleme alanının kuzey kısımlarındaki geniş bir volkanik ürün yelpazesinden ve güney kısımlarındaki Plio-Quaternary birikintilerinden oluşan ve sınırlı akifer görevi görür (Şekil 3.1 a, b).

Alandaki akiferlere, kayalardaki faylar ve kırıklar boyunca yağmur veya kar sularının derinlere doğru sızması sonucunda depolanmakta olan suyun bir kısmı aynı yapılar boyunca tekrar yüzeye çıkmakta ve pınarları oluşturmaktadır. Önemli bir kısmının ise derinliklerde depolanmak suretiyle bölgede gözlenen termal sularla da etkileşime girmiş olabileceği düşünülmektedir (Şekil 3.1 b).

Bu akifer sistemleri, Niğde Fay Zonu ve bölgenin güneyindeki normal fay hatları tarafından kontrol edilirler (Şekil 3.1 a). Alandaki yeraltı suyunun genel akış yönü, Kemerhisar ve Dertalan termal sularının bulunduğu KB-GD ve KD-GB yönündedir (Şekil 3.1 a, b).

3.4. Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Bir bölgedeki yerel hidrolik sistemi açıklayabilmek ve sulardan verimli olarak faydalanabilmek için suların kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Sular, hidrolik sistemdeki dolaşım süresince temas ettikleri kayaçların özelliklerini taşırlar.

Çalışma kapsamında, inceleme alanında yer alan içme ve sulama suyu kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi ve hidrolik sistemdeki dolaşım süresince temas ettikleri kayaçlar ile ilişkilerinin yorumlanabilmesi amacı ile kurak ve yağışlı dönemler dikkate alınarak örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve alınan örnekler üzerinde fiziksel, kimyasal ve izotopik analizler yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar ortamında elde edilen hidrokimyasal ve fizikokimyasal veriler (ana ve iz element içerikleri, hesaplanan SAR, %Na, değerleri) ek Çizelge 1 ve ek çizelge 2’de, bu verilere ait özet ististik parametreler, tek yönlü varyans analizi sonuçları, sularda hesaplanan doygunluk indeksleri ve ulusal ve uluslar arası standartlarla karşılaştırılarak Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.4.1. Fiziksel özellikler

3.4.1.1. Sıcaklık

İklim, özellikle yüzeysel suların sıcaklıklarını belirlediği bilinmektedir. Doğada genellikle ekvatorдан uzaklaştıkça ve deniz seviyesinden yükseğe çıkıldıkça suların sıcaklıklarında düşüş olduğu kabul edilmektedir.

Çizelge 3.1 Mayıs ve Aralık dönemlerine ait su örneklerinden elde edilen hidrojeokimyasal verilere ait temel istatistik parametreler (tüm ana iyonlar mg / L, °C' sıcaklık, EC ECS / cm cinsinden, tüm iz elementler µg / L, OWA = Tek Yönlü ANOVA cinsinden ölçülür)

Parameter	n	Spring Season								Fall Season								OWA	
		Min.	Max.	Mean	STD	WHO	SASL*	TSE	SASL*	Min.	Max.	Mean	STD	WHO	SASL*	TSE	SASL*	F	P
pH	37	5.83	7.95	6.71	6.46	6.5-8.5	None	6.5-9.2	None	6	8.28	7.34	6.67	6.5-8.5	None	6.5-9.2	None	5.02	0.03
TEMP	37	12.5	23.3	16.56	2.77			25	None	12.3	22	16.04	1.86			25	None	0.89	0.35
EC	37	77.1	1178	553.68	316.34	250	31	2000	None	113.4	1013.92	544.79	271.32	250	31	2000	None	0.02	0.90
TDS	37	81.69	1705.48	448.75	444.14	1000	4	1000	4	50.04	983.29	288.63	226.24	1000	None	1000	None	3.82	0.05
DO	37	4.04	8.83	7.11	1.09					4.67	8.65	7.12	0.89					0.04	0.85
Ca ²⁺	37	7.8	257.62	98.25	62.76	200	4	200	4	8.47	217.28	68.48	43.41	200	1	200	1	5.63	0.02
Na ⁺	37	2.8	145.65	23.73	26.13	200	None	175	None	1.75	52.6	17.03	6.81	200	None	175	None	1.96	0.17
K ⁺	37	0.58	15.51	3.69	2.95	30	None	12	1	0.57	10.6	4.08	2.24	30	None	12	None	0.41	0.52
Mg ²⁺	37	2.44	26.44	13.74	6.72	150	None	50	None	0.45	26.44	11.51	6.75	150	None	50	None	2.03	0.16
Cl ⁻	37	1.41	87.12	18.01	19.06	250	None	600	None	1.2	58.9	17.25	16.41	250	None	600	None	0.03	0.85
SO ₄ ²⁻	37	3.38	717.86	298.42	196.49	400	10	250	22	5.09	694.55	209.4	143.42	400	3	250	3	0.73	0.40
HCO ₃ ⁻	37	36.53	890.68	338.55	200.56					-0.02	630.83	233.18	140.82					6.84	0.01
CO ₃ ²⁻	37	28.22	726.69	301.6	177.49					23.29	634.93	218.25	129.4						
NO ₃ ⁻	37	0.56	67.35	16.78	14.02	10	21	50	1	0.9	94.63	17.56	16.82	10	21	50	21	0.05	0.83
F ⁻	37	0.08	0.6	0.23	0.1	1.5	None	1.5	None	0.03	0.41	0.22	0.08	1.5	None	1.5	None	0.23	0.63
NO ₂ ⁻	37	0.1	0.39	0.11	0.05					0.1	0.39	0.11	0.48					0.00	1.00
Br ⁻	37	0.1	0.22	0.11	0.02					0.1	0.17	0.1	0.01					1.06	0.31
PO ₃ ²⁻	37	0.1	0.1	0.1	0					0.1	0.1	0.1	0					0.00	1.00
SAR	37	0.17	3.51	0.56	0.56					0.07	1.54	0.48	0.4					0.61	0.44
% Na	37	10.25	58.24	18.81	8.61					4.26	40.91	21	6.81						
Li	37	< 0.0001	0.14	0.02	0.03					< 0.0001	0.08	0.01	0.02					3.48	0.07
Fe	37	< 0.001	0.12	0.001	0.02	300	None	300	None	< 0.001	0.12	0.005	0.02	300	None	300	None	0.23	0.63
Mn	37	< 0.0001	0.45	0.01	0.07	50	None	50	None	0	0.45	0.01	0.07	50	None	50	None	0.00	0.10
Ba	37	1.38	210.16	47.45	42.69					1.01	210.16	31.68	37.62					2.84	0.10

Çizelge 3.1'in devamı

Cu	37	0.18	15.84	1.63	2.77	1000	None	1000	None	0.11	11.3	1.2	2.08	1000	None	1000	None	0.59	0.44
Al	37	1.07	29.03	6.14	5.63	2000	None	2000	None	0.001	9.321	0.72	1.92	2000	None	2000	None	5.17	0.03
As	37	0.69	391.14	24.78	0.06	10	18	10	18	0.29	43.64	12.9	10.9	10	12	10	12	1.44	0.23
Pb	37	0.09	1.5	0.42	0.3	50	None	50	None	0.001	69.6	2.28	0.17	50	1	50	1	0.98	0.33
Sr	37	0.06	0.82	0.35	0.18					0.05	0.8	0.3	0.17					1.64	0.20
Rb	37	0.53	55.2	10.97	9.48					0.37	55.2	8.92	9.1					0.91	0.34
Ti	37	0.15	5.11	0.86	0.88					0.15	5.17	0.85	0.89					0.00	0.97
V	37	1.4	33.12	9	6.23					0.36	26.8	9.32	5.71					0.05	0.82
Cr	37	0.03	5.19	1.22	1.2					0.1	3.53	0.67	0.83					5.36	0.02
Co	37	0.02	1.86	0.26	0.31					0.02	1.86	0.2	0.31					0.58	0.45
Ni	37	0.04	7.66	2.44	1.9					0.04	10.1	2	1.4					1.07	0.30
Zn	37	4.47	405.27	34.1	66.86	5000	None	5000	None	0.09	302.02	25.5	11.2	5000	None	5000	None	0.38	0.54
Se	37	0.01	1.31	0.51	0.32	10	None			0.05	1.31	0.39	0.31	10	None			2.55	0.11
Mo	37	0.18	11.52	1.32	2					0.1	2.96	0.87	0.6					1.67	0.20
Cd	37	0	0.45	0.03	0.07	5	None	5	None	0	0.45	0.02	0.003	5	None	5	None	0.02	0.10
Sb	37	0.07	4.39	0.66	0.91	20	None	10	None	0.07	3.45	0.57	0.74	20	None	10	None	0.23	0.63
Hg	27	0	0.46	0.07	0.08	1	None			0	0.14	0.03	0.02	1	None			8.00	0.01
U	37	0.11	7.31	2.47	1.86					0.08	5.01	1.64	1.31					4.35	0.04
SI (anhydrite)	37	-3.56	-0.85	-1.67	0.7					-3.4	-0.9	-1.85	0.56						
SI (barite)	37	1.4	4.15	3.08	0.77					1.4	4.15	2.87	0.64						
SI (calcite)	37	-1.2	1.06	0.1	0.56					-1.22	0.95	0.12	0.54						
SI (dolomite)	37	-2.62	1.71	-0.37	1.07					-3.5	1.23	-0.31	1.04						
SI (gypsum)	37	-3.32	-0.61	-1.44	0.7					-3.15	-0.66	-1.6	0.56						
SI (goethite)	37	1.54	6.73	4.61	1.4					1.11	7	5.03	1.23						
SI (hematite)	37	5.05	15.41	11.19	2.74					4.17	15.56	12.02	2.5						

Bir ortamın sıcaklığı ile kimyasal reaksiyon hızı arasında doğrusal bir orantı vardır. Sıcaklık, kimyasal ve biyokimyasal reaksiyon hızlarını doğrudan etkilediği, yüzeysel sulara su kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biri olmaktadır. Su kalitesi açısından önem taşıyan tat, koku, bulanıklık ve renk gibi fiziksel parametreler sıcaklıkla yakından ilişkilidir. Ayrıca sıcaklık azaldıkça suyun viskozitesi, çökme hızı ve süzülmede de azalma meydana gelmektedir. Kinematik viskozitenin sıcaklıkla değişimi nedeniyle suda bulunan askıdaki katı maddelerin çökme hızı etkilenmekte, 10°C sıcaklık artışı sonucunda çökme verimi 1/4 ile 1/3 artış göstermektedir (Bozyiğit ve Karaarslan 1998, Chapman, 1992).

Sıcaklığın etkisiyle yüzeysel sulardaki doğal arıtma potansiyelinin, yaz mevsiminde kış mevsimine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak alıcı ortamlarda su sıcaklığının doğal arıtım için 7-12 °C arasında olması bu doğal arıtımın en iyi şekilde gerçekleştiğini ve sıcaklığın doğal arıtım için önemli bir parametre olduğunu göstermektedir (Bozyiğit ve Karaarslan, 1998, Chapman, 1992).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TSE-266, 2005), sıcaklık değeri içme suyu için 25 °C sınır değeri olarak belirtilmiştir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularında mayıs dönemi sıcaklık değerleri 15,13-19,60 °C arasında değişmekte, aralık döneminde ise 12,30-16,30 °C arasında değişiklik göstermektedir. Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı sularında mayıs dönemi sıcaklık değerleri 12,50-23,30 °C arasında değişmekte, aralık döneminde ise 12,80-22,00 °C arasında değişiklik göstermektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre Niğde bölgesindeki kaynak ve yeraltı sularının sıcaklık değerleri uygun sınırlar içerisindedir.

3.4.1.2. Renk

Sudaki renk çözünmüş halde bulunan maddelerin meydana getirdiği “gerçek renk” (sudaki bulanıklığı oluşturan askıdaki katı madde giderildikten sonraki renk) olabileceği gibi sudaki çözülebilen veya kolloidal askı maddelerinden de ileri gelebilen “görünen renk” (yanlız suyun kendi rengi olmayıp, orijinal numune filtre veya santrifüj edilmeksizin, doğrudan doğruya ölçülen renk) de olabilir. Kısaca renk, doğal metalik iyonlar (demir, mangan vs.) humus, turba materyalleri, algler, yabancı otlar ve sanayi atıklarından meydana gelebilir.

Sudaki renk mutlaka tehlikeli ve arzu edilmeyen bir husus değildir. Ancak rengi oluşturan yabancı maddeler üzerinde bazı yabancı mikroorganizmaların yaşamlarının mümkün olabileceği düşünülerek renklilik şüphe ile karşılanmaktadır.

İnsanların çoğu 15 renk birimi üzerindeki rengin farkına varırlar. Aşırı renk klorlamayla, ozonlamayla veya diğer oksidanlarla azalır. İçme sularında kabul edilebilir limit değer 5 renk birimidir (TS 266, 2005). İncelenen yeraltı ve kuyu sularında renk ölçümü yapılmamıştır. Ancak hiçbirinde görme duyusu ile fark edilebilecek kadar renklilik gözlenmemiştir.

3.4.1.3. Elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme kapasitesidir. Bu özelliğin suda çözünmüş olarak bulunan iyonların cinsine, konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlı olduğu bilinmektedir. Sudaki iyon konsantrasyonu arttıkça iletkenlikte artmaktadır. Bu nedenle elektriksel iletkenlik, suyun içindeki iyonlaşmış halde bulunan toplam katı maddelerin konsantrasyonu hakkında bilgi vermesi açısından önem taşımaktadır.

İletkenlik birimi mho veya Siemens'tir. $1S=1/Ohm=Ohm^{-1}=1mho$ olduğundan, öz iletkenlik = $mho.cm^{-1}$ veya $S.cm^{-1}$ birimi ile ifade edilir. Doğal suların iletkenliği çok az olduğundan özgül iletkenliğin ölçüsü olarak $\mu mho/cm$ veya $\mu S/cm$ kullanılır.

Suların özgül elektriksel iletkenliği (EC) esas alınarak su sınıflandırılması yapılabildiği gibi, özgül elektriksel iletkenlik (EC) içme ve sulama suları sınıflamasında da bir ölçüt olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.2 Suların özgül elektriksel iletkenliğine göre yapılan sınıflandırılma (Erguvanlı ve Yüzer, 1980)

Elektriksel İletkenlik (EC) (25°C de $\mu mho/cm$)	Sınıf
250 den az	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
3000 den fazla	Kullanılamaz

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), EC değeri içme suyu için 2500 $\mu\text{S/cm}$ sınır değeri olarak belirtilmiştir. Çalışma alanında mayıs döneminde örneklenen kaynak sularının EC değerleri 77,1-484,0 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişirken aralık döneminde kaynak sularının EC değerleri 113,4-563,0 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişiklik göstermiştir. Çalışma alanında mayıs döneminde örneklenen yeraltı sularının EC değerleri 214,6-1178,0 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişirken aralık döneminde yeraltı sularının EC değerleri 213,0-1013,9 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişiklik göstermiştir. Bu aralığın farklı olmasının sebebi suların su-kayaç temas sürelerinin farklı olması veya suların izlediği yol boyunca çözünürlükleri ve iyon içerikleri farklı kayaçlarla temas etmesi olduğu söylenebilir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre Niğde bölgesindeki kaynak ve yeraltı sularının EC değerleri uygun sınırlar içerisinde (Çizelge 3.1).

3.4.2. Kimyasal Parametreler

3.4.2.1. pH

pH, sudaki serbest hidrojen konsantrasyonunun negatif logaritmasıdır. pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. (Doğan, 1981). Sıcaklıkla değişen pH değeri, saf sularda 25°C de 7, 0°C de 7,5' dir. Sulardaki H^+ iyonu konsantrasyonunun artmasıyla pH değeri 7 nin altında değer alır ve suya asidik karakter, OH^- iyonu konsantrasyonunun artmasıyla da pH değeri 7 nin üzerinde değer alarak suya bazik karakter kazandırır.

Sularda pH değerini belirleyen en önemli faktör, sıcaklık ve basınç değişimlerine göre kolayca değişim gösteren CO_2 , HCO_3^- ve CO_3^{2-} dengesidir. pH değeri suların temizlenmesinde, arıtılmasında büyük önem taşıdığı için sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca renk yoğunluğu da pH değerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Su kalitesi çalışmalarında renk ölçümleri pH 8,3 de yapılmalıdır (Yaramaz, 1997).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), içme suyunda pH değeri için $6.5 \leq \text{pH} \leq 9.5$ sınır değeri olarak belirtilmiştir. Niğde bölgesinde mayıs döneminde örneklenen yeraltı sularında pH değerleri 5,83- 7,83 arasında, kaynak sularında ise 7,13-7,55 arasında ölçülmüştür. Aynı çalışma alanında aralık döneminde örneklenen

yeraltı sularında pH değerleri 6,0-7,50 arasında, kaynak sularında ise 7,21-8,28 arasında ölçülmüştür. Çalışma alanındaki yeraltı sularından Mayıs döneminde GE01 (Yeni Sanayi Sitesi Bor), GE02(Eski tabakhane içerisi Bor), GE03(Eski tabakhane ilerisi Bor), GE11 (Bor Organize Sanayi Bölgesi), GE29 (Niğde Çevreyolu Sungurbey Koleji Arkası) lokasyonlarından alınan örneklerde PH değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre değerlendirildiğinde pH değerleri açısından uygun olmadığı tespit edilmiştir. Kurak dönem ve lokasyonlardan alınan su örneklerinin pH değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre değerlendirildiğinde pH değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Çizelge 3.1).

3.4.2.2. Çözünmüş oksijen

Aerobik ortamlarda yaşayan organizmaların çoğalmalarında ve bunların enerji üreten bütün faaliyetlerinde çözünmüş oksijene ihtiyaç vardır. Sudaki çözünmüş oksijen suda yaşayan bakterilerin fotosentez olayı sonucu oluşan oksijen ve havadaki oksijenden meydana gelmektedir. Sularda bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal aktivitelere bağlıdır. Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu sıcaklık ve tuzluluğun bir fonksiyonu olup bu parametrelerle ters orantılıdır (Yalçın ve Gürü, 2002).

Çözünmüş oksijen, su kirlenmesinde ve atık su tesislerinin kontrolündeki en önemli parametrelerden biridir. Ayrıca, organik madde ölçümü için kullanılan biyokimyasal oksijen ihtiyacı parametresi çözünmüş oksijen ölçümüne dayanmaktadır. Kimyasal oksijen ihtiyacı parametresi ise çözünmüş oksijen cinsinden ifade edilmektedir.

Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı sularının DO (mg/l) değerleri Mayıs döneminde 4,04-8,38 (mg/l), Aralık döneminde ise 6,89-8,02 (mg/l) arasında değişmektedir. Niğde bölgesine örneklenen kaynak sularının DO (mg/l) değerleri Mayıs döneminde 6,94-8,83 (mg/l), Aralık döneminde ise 7,01-8,65 (mg/l) arasında değişmektedir.

3.4.2.3. Sertlik

Sertlik, suların içme, kullanma ve endüstri amacıyla kullanımında önemli bir kalite özelliği olup içerisinde erimiş halde bulunan kalsiyum ve magnezyum tuzlarından

oluşmaktadır. Sudaki demir, alüminyum, çinko, stronsiyum ve mangan tuzları da sertliğe neden olsalar da bulundukları konsantrasyonlarda fazla etkili değildirler. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatları; $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ve $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ‘geçici sertliği’ veya ‘karbonat sertliğini’, kalsiyum ve magnezyumun bikarbonat dışındaki bileşikler (klörür, sülfat, nitrat, fosfat ve silikatları) ise ‘kalıcı sertliği’ veya ‘karbonat olmayan sertliği’ meydana getirirler. Karbonat sertliği ve karbonat olmayan sertlik toplamı ise ‘toplam sertliği’ vermektedir. Bikarbonatlardan ileri gelen geçici sertlik suların kaynatılması ile giderilebilir veya sönmüş kireç ilavesi ile kalsiyum veya magnezyum karbonatları halinde çöktürülür. Kalsiyum ve magnezyum klörür, sülfat ve diğer tuzlardan ileri gelen kalıcı sertlik ise Na_2CO_3 (soda) ve NaOH (sodyum hidroksit) ilave edilerek erimeyen karbonat ve hidroksitleri halinde çöktürülür (Tuncay, 1983).

Suların sertliği, 1 litre suda yaygın olarak içerdikleri sertlik veren maddelerin (kalsiyum oksit veya karbonatlarının) mg olarak miktarları ile belirlenir ve sertlik derecesi birimi, miliekvivalent/L (1mek/L = 50 mg/L CaCO_3) veya mg/L CaCO_3 (ppm CaCO_3) ile ifade edilir. Her ülkede kullanılan sertlik derecesi birimleri değişik olup bu birimler birbirine dönüştürülebilir. Ülkemizde yaygın olarak Fr (Fransız sertlik derecesi) kullanılmaktadır.

Çizelge 3.3. Suların sertlik değerlerine göre sınıflandırılması (Tuncay, 1983)

0-75 mg CaCO_3 / L	0-14 Fr	Yumuşak Sular
75-150 mg CaCO_3 / L	14-22 Fr	Orta-Sert Sular
150-300 mg CaCO_3 / L	22-54 Fr	Sert Sular
>300 mg CaCO_3 / L	>54 Fr	Çok Sert Sular

Sulardaki sertlik belli bir dereceye kadar insan sağlığı açısından fayda sağlayan özelliğidir. Ancak sertlik değerinin artması suyun tadında bozulma meydana getirmektedir. Suların sertliği çözme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Bazı sular içinde bulunan çözünmüş maddelere bağlı olarak daha fazla çözme özelliğine sahiptirler. Sert sular sabun ve temizlik maddelerinin kullanılmasını artırır, kazan ve su borularında taşlaşma oluşturabilmektedir. Ayrıca sert sular boya, meşrubat ve tekstil gibi endüstri kollarında zararlı olmaktadır. Bu yüzden sert suların yumuşatılması endüstri alanında

önemlidir. Çok yumuşak suların kullanımı da sağlık açısından uygun değildir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), içme suyunda sertlik değeri için 150 mg CaCO₃/l sınır değeri olarak belirtilmiştir.

Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı sularının sertlik değerleri mayıs ayında 136,96 - 726,69, aralık ayında 100,35-634,93 CaCO₃/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının sertlik değerleri mayıs ayında 28,22-269,93, aralık ayında 23,29-269,76 CaCO₃/l arasında değişmektedir.

3.4.2.4. Alkalinite (HCO₃⁻ ve CO₃²⁻)

Suların alkalinitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleşme kapasitesi olarak açıklanmaktadır. Hemen hemen bütün doğal sularda alkalinite, karbonat (CO₃²⁻) ve hidroksit (OH⁻) iyonlarından dolayı ortaya çıktığı bilinmektedir. Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel parametreler, atmosferik karbondioksit ile toprakta doymun olmayan bölgede üretilen gazlardır. Doğal suların alkaliniteleri nadir olarak 500 ppm CaCO₃'ü aşmaktadır (Doğan, 1981).

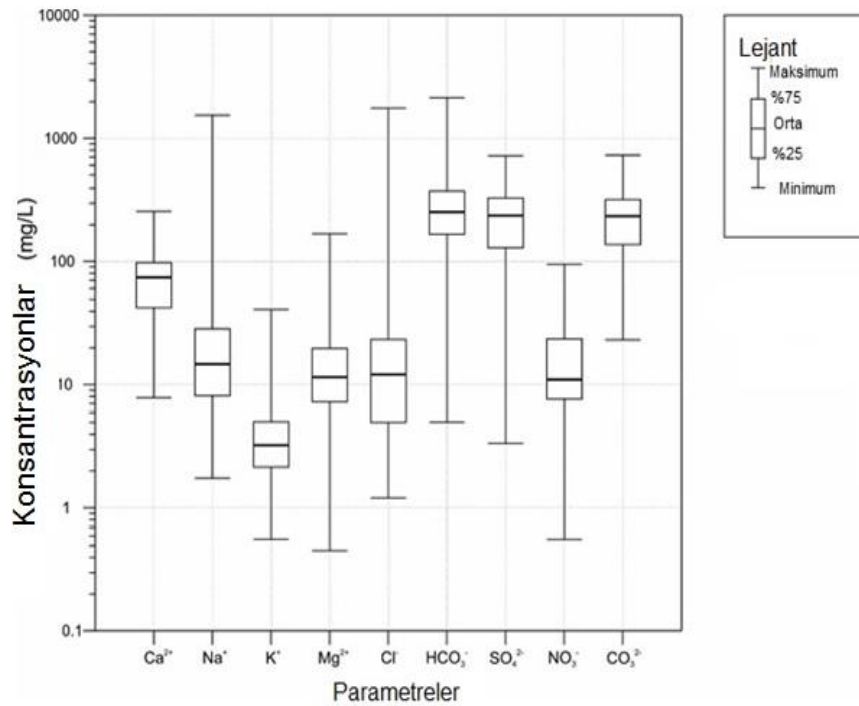
Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının HCO₃⁻ değerleri mayıs ayında 179,21- 890,68 mg/l, aralık ayında -0,02 – 630,83 mg/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının HCO₃⁻ değerleri mayıs ayında 36,53-299,86 mg/l, aralık ayında 5,03-301,07 mg/l arasında değişmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) alkalinite için bir sınır değeri verilmemiştir.

3.4.2.5. Klorür

Yer kabuğunun ortalama bileşiminin % 0,045' ni oluşturan klorürler bütün doğal sularda genellikle klor bileşikleri halinde bulunmaktadırlar. Yüksek klorür konsantrasyonunun bir kirlenme belirtisi olmakla birlikte önemli bir kalite parametresidir. Mineral tuz yataklarından süzülen sular ve deniz suyunun etkisi altında bulunan yeraltı suları yüksek oranda klorürleri içerdikleri bilinmektedir. Ayrıca bazı suni gübreler ve ahır gübreleri ile endüstri artıklarından da toprağa ve sulara klorür tuzları ilave edilmektedir. Sularda aniden görülen bir klorür konsantrasyonu yüksekliği o suyun

sanayiden kirlendiği şüphesini doğururken yeraltı suyunda klorür konsantrasyonundaki azalmanın yalnızca yağmura bağlı olduğu düşünülebilir. Buda kaynak sularının izlenmesi açısından bir önemli bir faktör olarak kabul edilebilir. Çok düşük konsantrasyonlarda bile ekonomik bitki türlerinde önemli zararlara neden olan klorür tuzlarının sulama sularındaki konsantrasyonuna özel bir önem verilmektedir (Tuncay, 1983). İçme sularında da klorür konsantrasyonunun belli sınırların üzerinde olmaması istenmektedir. Fazla miktarda olan klorür miktarı suyun tadında bozulmaya sebep olmaktadır.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), içme suyunda Cl^- değeri için 250 mg/l sınır değeri olarak belirtilmiştir. Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının Cl^- değeri Mayıs ayında 4,0-87,2 mg/l, Aralık ayında 1,2-58,9 mg/l arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3.2). Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının Cl^- değeri Mayıs ayında 1,4-12,9 mg/l, Aralık ayında 1,74-15,01 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre Niğde bölgesinde örneklenen yer altı ve kaynak sularının Mayıs ve Aralık dönemlerindeki Cl^- değerleri uygun sınırlar içerisinde.



Şekil 3.2. Yeraltı sularındaki ana iyon konsantrasyonlarını gösteren Box ve Whisker grafiği

3.4.2.6. Sülfat ve sülfür

Yeraltısularında jips ve anhidrit başta olmak üzere piritin oksidasyonu ile oluşan sülfat, çevre sularına doğal yollardan karışan en önemli iyonlardan biridir. Sülfür, inorganik kükürdün en idirgenmiş halidir. Bütün doğal sular değişen miktarlarda sülfat içermekte ve bazı endüstriyel atık suların sülfat içeriği fazla olup doğal sulara karıştıklarında onlarında sülfat miktarını arttırmaktadır. Suda yüksek sülfatın anlamı, yüksek sertlik, yüksek sodyum tuzu, yüksek asidite ve suda oluşan acımsı tattır. Sülfatlar, kazan sularında CaSO_4 ve MgSO_4 çöktürmeleri oluşturduğundan bu tip sularda çok düşük miktarlarda tutulmalıdırlar. Ayrıca sülfat değeri yüksek konsantrasyonlarda olduğunda evsel atık sularının uzaklaştırıldığı beton kanallarda, metal borularda korozyon etkisi yaparak boruların şişmesine ve parçalanmasına neden olmaktadır. Sülfat, insan bağırsaklarında az miktarda absorbe edilir. Hücre zarını çok yavaş geçerek süratle bağırsaklardan atılır. 1-2 g sülfat insanlarda müsil etkisi yapmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Sülfat arıtım yöntemleri; ters osmosis, distilasyon, oksidasyon veya anyon değiştirici olarak sayılabilir (Atabey, 2005).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), sülfat miktarı 25-250 mg/l olarak belirtilmiştir. Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının SO_4^{2-} değerleri Mayıs ayında 146,07-717,86 mg/l, Aralık ayında 76,82-684,55 mg/l arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının SO_4^{2-} değerleri Mayıs ayında 3,38-261,49 mg/l, Aralık ayında 5,09-258,34 mg/l arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3.2). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre SO_4^{2-} değerlerinin Niğde bölgesinde Mayıs ve Aralık dönemlerinde örneklenen çeşitli lokasyonlardaki kaynak ve yer altı sularında sınır değerlerin dışında olduğu görülmüştür.

3.4.2.7. Nitrit

Sularda azotun nitrit şekli, ya nitratın indirgenmesi ya da amonyum (NH_4) bileşiklerinin oksitlenmesi ile oluşur. Amonyak ve nitrit sulardaki organik kirlenmeyi gösterdiğinden sularda detaylı bir bakteriyolojik incelemenin yapılması gerektiğini düşündürmektedir. Doğal sular içinde bulunan nitrit kısa sürede nitrate dönüşmektedir. Nitrit, doğal sularda onlarca mg/l miktarında olabilmektedir (Atabey, 2005). Daha yüksek miktarları evsel

ve endüstriyel atık sularda, özellikle biyolojik olarak arıtma çözümlerinde ve kirlenmiş kaynaklarda görülmektedir. Nitrit sağlık açısından önemli bir parametre olup bebeklerde ‘mavibebek’ hastalığına ve ‘süt çocuğu siyanozu’ na sebep olduğu bilinmektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Bazı bakteriler tarafından indirgenen nitratin, nitrite dönüşmesi ile fazla miktarda nitrit açığa çıkar. Bu nitritin emilerek kandaki hemoglobini methemoglobine çevirmesi sonucunda oksijen dokulara taşınmaz ve bebek ölümleri ortaya çıkar. Ayrıca nitrit yalnız başına kanserojen olmasına rağmen kanserojen nitroaminlerin oluşmasına da olanak tanıdığından istenmeyen bir parametredir (Atabey, 2005).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), NO_2^- için önerilen en fazla değer 0.5 mg/l’dir. Niğde bölgesinde Mayıs ve Aralık dönemlerinde çeşitli lokasyonlarda örneklenen yer altı ve kaynak sularının uygun sınırlar içerisinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 3,2).

3.4.2.8. Nitrat

Azot bileşiklerinin en ileri oksitlenme ürünü olan nitratlar toprakta, suda ve sebzelerde bol miktarlarda bulunmaktadır. Sudaki nitratin kaynağı jeolojik formasyonlardan ziyade azotlu bileşiklerdir. En önemli kaynakları ekili alanlarda kullanılan kimyasal gübreler, çiftlik hayvanlarının beslenme alanlarındaki drenaj suları, lağım çamuru, bitkisel ve hayvansal maddelerin çürümesi, evsel ve endüstriyel atıklardır. Bu nedenle nitrat kırsal alanlardaki sularda, yüzey sularında ve sığ kuyularda daha çok bulunur. Kirlenmiş doğal sular bir kaç mg/l nitrat içerirler (Atabey, 2005). Yüzey sularındaki nitrat bitkiler tarafından besin olarak kullanılır ve hücrelerinde proteine çevrilir. Ötrifikasyon yosunların büyümesine neden olduğundan istenmez. İçme sularında fazla miktarlarda (50 mg/l den daha fazla) olduğunda bebekler için zararlı kabul edilmekte ve mavibebek hastalığına neden olmaktadır. WHO (World Health Organization), CEC (Commission for Environmental Cooperation) ve TSE (İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartı) 266, 50 mg/l nitrat değerini maksimum değer olarak kabul etmiştir. Sularda 5-10 mg/l dahi nitratin bulunması halinde bu sularda kirlilik tehdidi olduğu kabul edilerek içme suyu olarak kullanılması durumunda mutlaka bakteriyolojik analizler yapılmalıdır.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), NO_3^- için önerilen en fazla değer 50 mg/l'dir. Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı suyu NO_3^- değerleri mayıs döneminde 0,6-67,74 mg/l, aralık döneminde 0,9-94,6 mg/l arasında değişiklik göstermiştir (Şekil 3.2). Niğde bölgesinde örneklenen kuyu kuyu sularında NO_3^- değerleri mayıs döneminde 3,2-11,00 mg/l, aralık döneminde 4,1-11,7 mg/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen yer altı ve kaynak sularının NO_3^- değerleri, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre değerlendirildiğinde sulardaki NO_3^- miktarlarının maksimum sınır değerini aşmadıkları görülmektedir. Ancak mayıs ve aralık dönemlerinde GE 15 lokasyonundan alınan örneklerde NO_3^- değerleri maksimum sınır değerini aştığı görülmüştür (Ek çizelge 1; Ek çizelge 2).

3.4.2.9. Toplam çözünmüş madde miktarı (TDS)

Sudaki çözünmüş maddeler, suda çözünmüş az miktardaki organik madde ve anorganik tuzların varlığından kaynaklanmakta olduğu bilinmektedir. Çözünmüş maddeler içinde bulunan başlıca iyonlar, karbonat, bikarbonat, klorür, sülfat, nitrat, sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyumdur. Çözünmüş maddeler suyun tat, sertlik, korozyon gibi özelliklerini etkilerler. Toplam çözünmüş maddeler, doğal kaynaklardan, lağım atıklarından, şehir drenaj sularından ve endüstriyel sulardan kaynaklanmaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Çözünmüş maddelerin suyun lezzetine etki etmekte olduğu bilinmektedir. Fazla miktarda çözünmüş madde içeren içme suları yavan ve lezzetsizdir. Sular toplam çözünmüş madde miktarına göre sınıflandırılabilirler.

Çizelge 3.4 Çözünmüş toplam katı madde miktarına göre su sınıflaması(Freeze ve Cherry, 1979)

Katı Madde Miktarı (mg/l)	Sınıf
0-1000	Tatlı Su
1000-10000	Acı Su
10000-100000	Tuzlu Su
100000 den fazla	Deniz Suyu

Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının TDS mg/l değerleri mayıs döneminde 81,69-1705,48 mg/l, aralık döneminde 70,44-983,29 mg/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen kuyu sularının TDS mg/l değerleri mayıs döneminde

86,03-696,66 mg/l, aralık döneminde 50,04-697,24 mg/l arasında değiştiği görülmüştür. Beklenildiği gibi yer altı sularının TDS değerleri kaynak sularından daha fazladır. Ek çizelge 1'e göre mayıs döneminde GE01, GE02,GE03, GE11 lokasyonlarından alınan örnekler acı su, diğer lokasyonlardan mayıs ve aralık dönemlerinde alınan tüm örnekler tatlı su olarak belirlenmiştir.

3.4.2.10. Sodyum (Na)

Yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerden olan sodyum doğada yemek tuzu olarak bilinen sodyum klorür (NaCl), soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), sodyum sülfat (Na_2SO_4), sodyum nitrat (NaNO_3) ve sodyum silikatlar halinde bulunurlar. Sularda çok kolaylıkla çözünen sodyum bileşikler suya tuzlu bir tat verir. Kalp, böbrek, dolaşım rahatsızlığı olan kişilerde 200 mg/l den fazla sodyum içeren sular alındığı takdirde ciddi rahatsızlıklar oluşabilir. Ayrıca sodyumun toplam katyonlara oranı tarımda önemlidir. Sodyum elementi içeren sular tarımsal sulamalarda toprak ve bitkiler üzerinde zararlı etkiler yapar (Tuncay, 1983). Sodyum değerinin yüksek olması toprağın geçirgenliğinde rol oynar. Doğada Na elementini en az içeren sular kireçtaşı akiferlerindeki yeraltı sularıdır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre , Na için sınır değer 200 mg/l olarak belirtilmiştir.

Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının Na değerleri mayıs döneminde 7,84-145,65 mg/l, aralık döneminde 1,75-52,60 mg/l arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3.2). Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının Na değerleri mayıs döneminde 2,82-10,05 mg/l, aralık döneminde 3,04-14,70 mg/l arasında değişiklik göstermiştir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre incelenen tüm sularda Na değerleri uygun sınırlar içerisinde.

3.4.2.11. Kalsiyum(Ca) ve magnezyum (Mg)

Niğde bölgesinde örneklenen yer altı ve kaynak sularının sularının Ca değerleri mayıs döneminde 7,80-257,62 mg/l, aralık döneminde 8,47-217,28 mg/l arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3.2).

Niğde bölgesinde örneklenen yer altı ve kaynak sularının sularının Mg değerleri mayıs döneminde 2,44-26,43 mg/l, aralık döneminde 0,45-26,43 mg/l arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 3.2).

3.4.2.12. Yeraltı sularının iz element içerikleri

Yeraltı suyu numunelerindeki yirmi iki iz elementin konsantrasyonlarının sonuçları, iki mevsim için ek çizelge 1 ve ek çizelge 2'de gösterilmiştir. İz element konsantrasyonlarının genel olarak kabul edilebilir kılavuz değerleri içerisinde olduğu ve As ve Pb hariç her iki dönemde de farklı olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte, tek yönlü ANOVA testinin sonuçlarından (Ek çizelge 4) sadece Al, Hg ve U mayıs ve aralık döneminde önemli farklılıklar göstermektedir ($p < 0.05$). Arsenik (As), WHO ve TSE-266'nın mayıs döneminde 18 örnek için (~% 50) 10 µg / L kabul edilebilir limitini aşmış, ve aralık döneminde 12 örneğe (~% 32) düşmüştür. Bu numuneler kuyu suyu numuneleridir. Mayıs döneminde toplanan örneklerde görülen As konsantrasyonu 391.14 µg / L (aralık: 0,69-391,14 µg / L, ortalama: 24,78 µg / L) kabul edilebilir sınırın otuz dokuz katı iken, aralık döneminde maksimum konsantrasyon 43.64 µg / L'ye düşmüştür (aralık: 0.29-43.64 µg / L, ortalama: 12.9 µg / L), yine de kılavuz değerinden daha yüksek. Al konsantrasyonları, mayıs döneminde 1,07 - 29,03 µg / L aralığında olup, aralık döneminde 0,001 - 9,31 µg / L arasında değişen değerler tespit edilmiştir. Hem mayıs hem de aralık dönemindeki Pb konsantrasyonları, sonbahar mevsiminde 50 µg / L kılavuz değerinin üzerinde sadece bir numune ile sırasıyla 0.09 - 1.5 µg / L ve 0.01 - 69.6 µg / L aralığındadır. Cu konsantrasyonları mayıs döneminde 0,18 - 15,84 µg / L arasında değişirken, aralık döneminde 0,11 - 11,30 µg / L arasında azalmıştır. Örneklerdeki Zn konsantrasyonu, mayıs döneminde tespit edilen en yüksek değer olarak 405.27 µg / L ve aralık döneminde en yüksek değer olarak 302.02 µg / L ile yüksektir. Normalde silikat yıpranması sonucu yeraltı suyunda biriken Li, Sr ve Mo gibi iz elementlerin konsantrasyonları her iki mevsimde toplanan tüm örneklerde çok düşüktür. Ancak, kaynak suyu örneklerinde konsantrasyonları kuyu suyu örneklerinden çok daha düşük görünmektedir (Ek çizelge 4). Analiz edilen tüm numunelerde her iki dönemde çok düşük Fe konsantrasyonları (< 300 µg / L) tespit edilmiştir. 1,38 - 210,16 µg / L ve 1,01 - 210,16 arasında değişen yüksek Ba konsantrasyonları tespit edilmiştir. Aralık döneminde Rb, Ti, V, Cr, Co, Ni, Se, Cd, Sb, Hg ve U µg / L. içeren diğer iz elementler için düşük konsantrasyonlar tespit edilmiştir.

3.4.2.13. Yeraltı sularının çevresel izotop değerleri

Çalışma alanındaki yeraltı suyunun izotop bileşimlerinin analizi, iki kaynak suyu numunesi ve beş kuyu suyu numunesi içermiştir. Amaç, akiferlerin kaynağını belirlemek ve şarj noktaları ve su-kaya etkileşiminin süresini tespit etmektir. Bu nedenle, kararlı oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve döteryum (δD) izotoplarının yanı sıra trityum (^3H) izotopları kullanılmıştır. Kaynak suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri v-SMOW'a göre sırasıyla -11.33 ila -11.16 ‰ ve -73.85 ila -73.78 ‰ arasında değişmektedir (Çizelge 3.9). Buna karşılık, kuyu suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri, v-SMOW'a göre sırasıyla -11.73 ila -10.85 ‰ ve -77.84 ila -72.78 ‰ var arasında değişmektedir (Çizelge 3.9). Döteryum fazlalık (d excess) değerleri yeraltı suyunun $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerlerine dayanarak $d = \delta\text{D} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$ (Dansgaard 1964) formülünden hesaplanmıştır. Kaynak suyu örnekleri 15.5-16.79 arasında değişen döteryum fazlalık değerlerine sahipken, kuyu suyunun değerleri 11.59-16 (Çizelge 3.9) arasında olduğu görülmüştür. Kaynak suyu örneklerinin ^3H konsantrasyonları 0,63-4,73 TU arasında değişirken, kuyu suları 0,00-5,40 TU arasında değişen ^3H değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yeraltı suyunun hesaplanan yaşı 9.3 -> 60.2 yıl arasında değişmektedir (Çizelge 3.9).

3.4.2.14. Suların iyon dağılımları ve sınıflandırılması

Yer altı suları hidrolik çevrim evreleri boyunca temas ettikleri kayalardan pozitif ve negatif yüklü iyonları çözer. Toplam çözünmüş iyon miktarı ve bu iyonların su içerisindeki oranları suyun hidrojeolojik özelliklerini belirler. Sular sınıflandırılırken çözünmüş iyon miktarları dikkate alınır.

Niğde bölgesi içme ve sulama suyu kaynaklarından alınan yer altı ve kaynak sularının kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak hidrokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir. Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (AIH) Sınıflaması (1979)'a göre oranı %20 meq/L'den fazla olan iyonlar en büyük orana sahip olandan en küçük orana sahip olana doğru sıralanarak sınıflamaya dahil olurlar. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere litrede eşdeğer gram cinsinden toplam çözünmüşlerin %50'sinden fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. İyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

3.4.2.15. Hidrojeokimyasal fasiyes

Her iki dönemdeki ana iyonların kimyasından, Şekil 3.3 a ve b'de sunulan Piper diyagramlarında (Piper 1953) görüldüğü gibi beş (5) hidrojeokimyasal su tipi tanımlanmıştır. Bu hidrojeokimyasal fasiyesler, kuyulardaki bolluk oranına göre sırasıyla $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ (75%), Ca-HCO_3 (13%), Ca-SO_4 (8%), Ca-Mg-HCO_3 (3%) $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ (1%) olarak gözlenmiştir. $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipi, analiz edilen tüm kuyu ve kaynak suyu örneklerinde baskın olduğu görülmüştür. Çalışma alanındaki tespit edilen yeraltı suyu tipleri, alanın genel jeolojisini yansıtmaktadır.

Sudaki kimyasal parametrelerin evrimi, ana iyonları Schoeller diyagramına aktarılmasıyla daha iyi anlaşılabilir (Schoeller 1967). Bu çalışmada Schoeller şemasını kullanarak, kuyu suyu numunelerindeki tüm ana iyonların konsantrasyonunun her iki mevsimde kaynak suyu numunelerinden daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 3.4). İncelenen numunelerin, özellikle Dertalan termal-mineral kaynak suyu (Şener vd., 2017) ve Kemerhisar termal-mineral kaynak suyu (Afşin vd., 2000) alanındaki komşu termal mineral kaynaklarla karşılaştırıldığında, Dertalan termal-mineral kaynak suyu ile kuyu sularının önemli bir oranda örtüşmüş olduğunu ortaya koymaktadır. (Şekil 3.4).

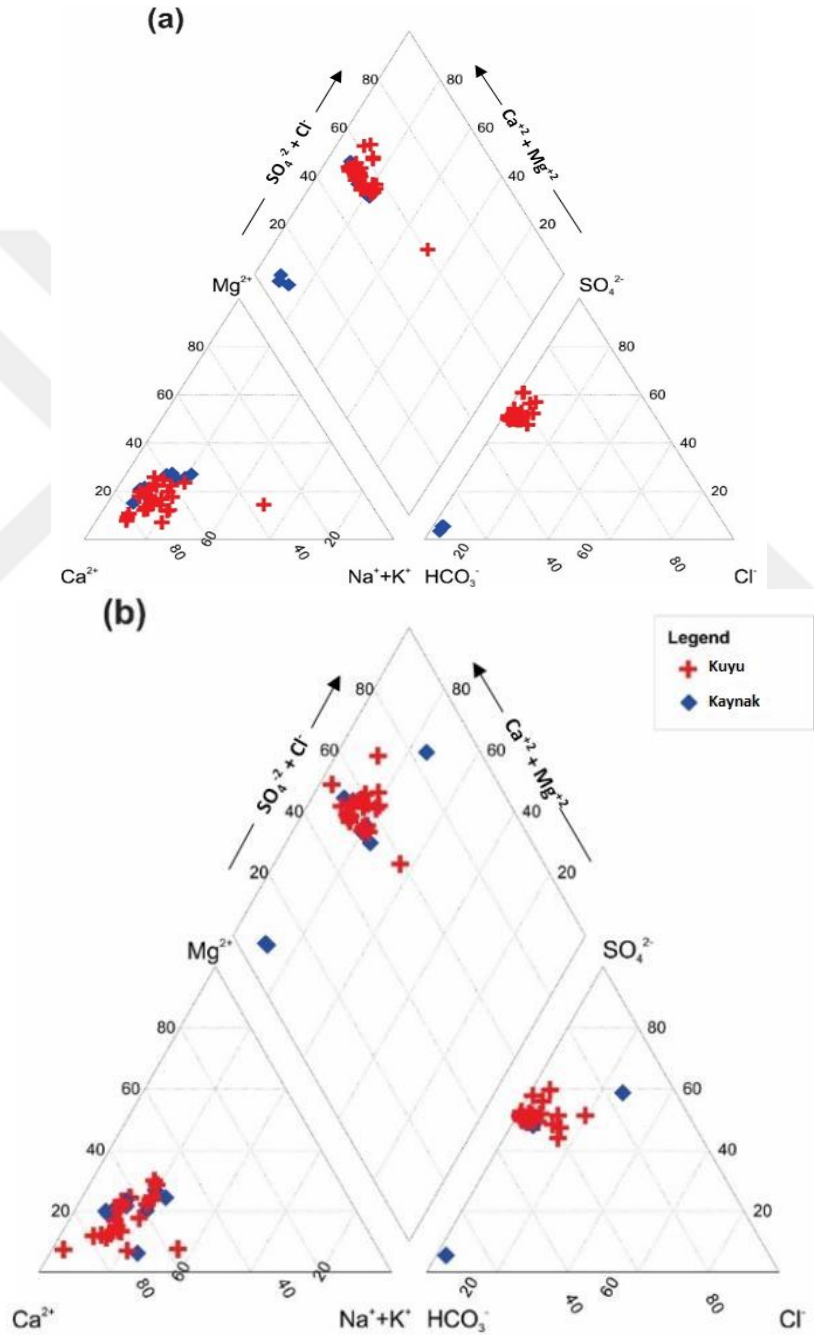
Bu çalışmada Niğde bölgesi yeraltı ve kaynak suların litolojik ilişkileri ve hidrolojik çevrim evreleri boyunca gerçekleşen hidrojeokimyasal özellik ve değişimleri belirlemek amacıyla Piper Diyagramı (1944), suların kimyasal içeriklerini karşılaştırmak amacıyla Schoeller Diyagramı, suların sulama suları açısından sınıflaması amacıyla da Wilcox Diyagramı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Mayıs ve aralık dö

[illegible]

3.4.2.16. Piper diyagramlarının değerlendirilmesi

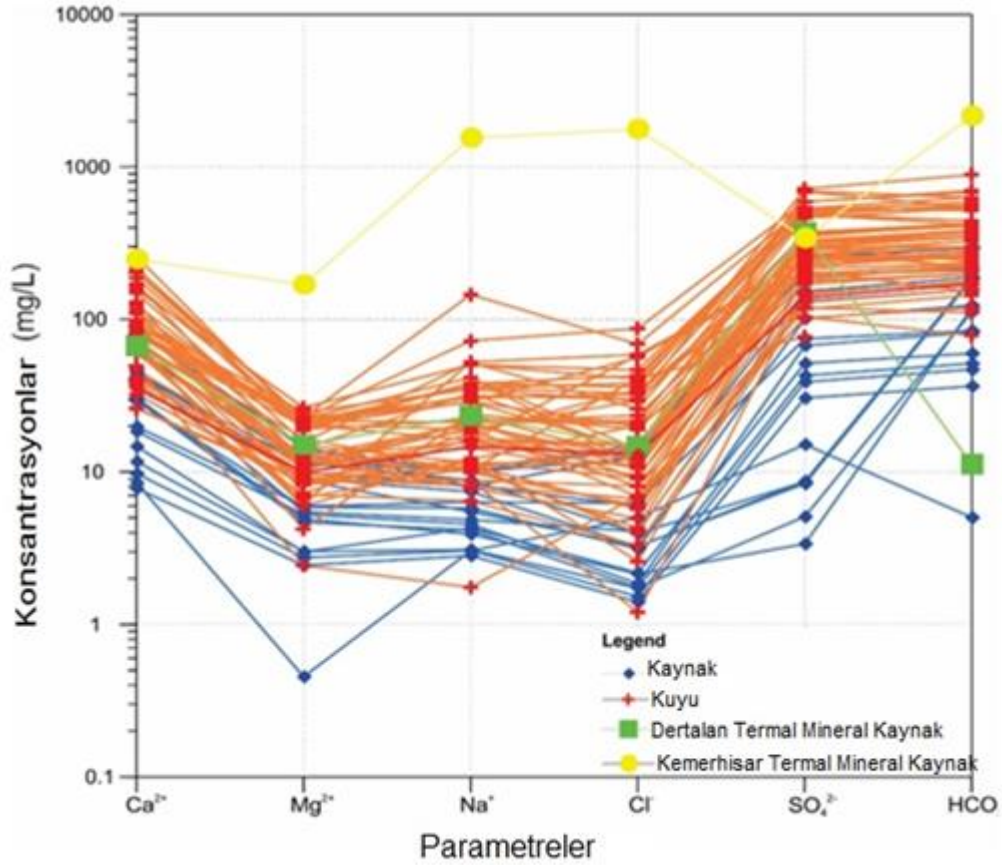
Piper Diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 3.3 (a) Mayıs 2016`da Örneklenen Suların Piper Diyagramları.
(b) Aralık 2016`da Örneklenen Suların Piper Diyagramları.

3.4.2.17. Schoeller diyagramının değerlendirilmesi

Schoeller diyagramı gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görülmesi, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması açısından oldukça sık kullanılmaktadır. Schoeller diyagramlarında aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımlarının paralellik göstermesi beklenmektedir.



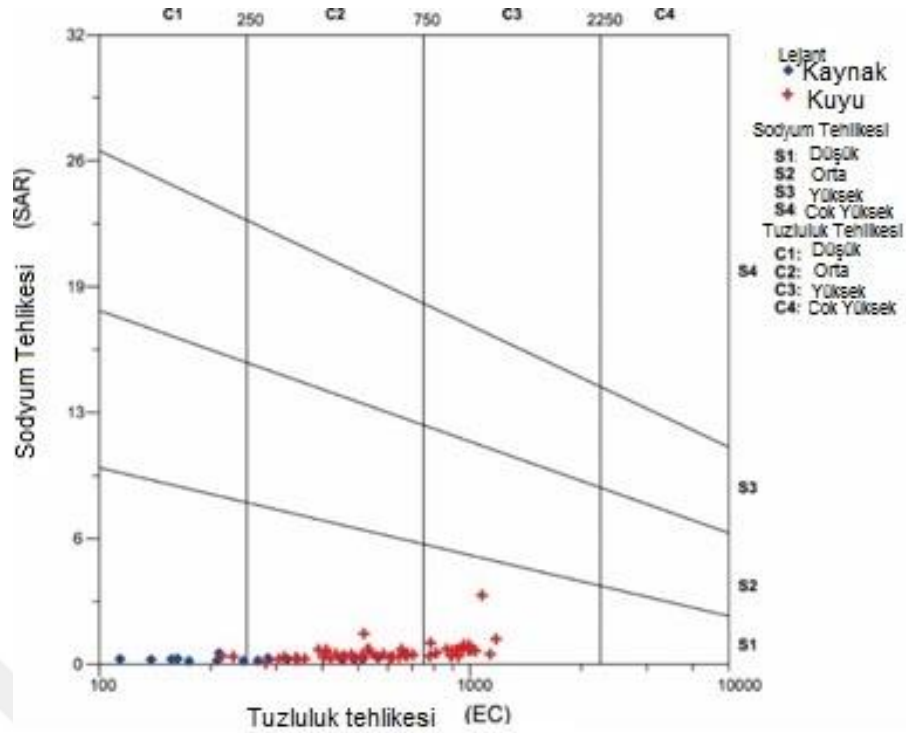
Şekil 3.4 Yer altı sularındaki ana iyon dağılım düzenlerini gösteren Schoeller şeması.

Kuyu suyu örneklerinde bütün ana iyonların konsantrasyonu her iki mevsimde kaynak suyu örneklerinden daha yüksektir. Kuyu suyu örnekleri bölgedeki Dertalan termal-mineral kaynak suyu hidrojeokimyasal verileriyle örtüşmektedir (Şener ve diğ. 2017; Afşin ve diğ. 2000).

3.4.2.18. Wilcox diyagramının değeriendirilmesi

Wilcox diyagramında; Na yüzdesi (%Na) ve EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerieleri kullanılarak suların sulama suyu olarak ‘mükemmel’, ‘iyi’, ‘izin verilebilir’, ‘şüpheli’, ‘uygunsuz’ şeklinde sınıflaması yapılmaktadır. Na yüzdesi suyun toplam majör katyonları içinde %Na değeriini ifade eder.

Sulama amacıyla kullanılan sularda yüksek miktarda çözünmüş iyon miktarı yalnızca bitkileri etkilemekle kalmaz, aynı zamanda toprak canlılığına da zarar verir. Su örneklerin SAR değerieleri, her iki mevsimde en çok kaynak suyu örneklerinde gözlenen en düşük değerielere sahiptir (Ek çizelge1; ek çizelge 2; şekil 3.5). Örnekler, SAR değerieleri bakımından mükemmel sınıfa girer ve bu nedenle SAR değerieleri bakımından sulama amaçları için uygundur. İlkbahar mevsiminde ölçülen EC değerieleri 77.1-1178.0 $\mu\text{S} / \text{cm}$ arasında değerişirken, sonbahar mevsiminde 113.40-1013.92 $\mu\text{S} / \text{cm}$ arasındadır (Ek çizelge1). Her iki mevsim için de EC değerieleri, şekil 3.10 ile ilişkilendirildiğinde suyun izin verilebilir iyi olarak sınıflandırılmasına olanak tanır ve suyun genellikle EC açısından sulama için iyi kalitede olduğunu gösterir. Ayrıca, bahar mevsiminde toplanan örnekler için hesaplanan %Na değerieleri 10.25-58.24 arasında değerişirken, sonbahar mevsiminde 4.26-40.91 arasında değerişmektedir (Ek çizelge2). Her iki mevsimde toplanan örneklerin tümü izin verilen sınıf içinde mükemmeldir (Şekil 3.5). Wilcox diyagramında (Şekil 3.5; Wilcox 1950), tüm su numuneleri düşük sodyum (alkali) tehlikesi ve mükemmel sulama suyuına işaret eden C1-S1, C2-S1 ve C3-S1 kategorisine girer. Toplamda, kaynak suyu örnekleri kuyu örneklerinden daha düşük tuzluluğa sahip olduklarından ($\text{EC} > 750 \mu\text{S}/\text{cm}$ olan 20 örnek olduğundan), kuyu örneklerinden sulama için en iyi seçenektirler. Bor çevresindeki eski ve yeni sanayi bölgesi, Niğde'nin batısındaki Kemerhisar, Bahçeli ve Sazlıca (Şekil 3.1), yüksek tuzluluklara sahiptir. Bu tür kuyuların sulama amacıyla kullanılması topraklara tuzluluk problemleri getirebilir. Dahası, kuyu suyu kaynaklarındaki yüksek As konsantrasyonları, sulama suyu olarak kullanılıyorsa, sulanabilir topraklar için bir tehdit oluşturabilirler. Çalışma alanındaki su kaynakları tarımsal sulama faaliyetlerinde kullanılıyorsa, topraktaki sulanabilir ürünlere aktarılabacak olan As içeriğini artırabilir ve bu ürünlerin tüketilmesi ile çok çeşitli sağlık sorunları ile karşılaşılmasına yol açabilir.



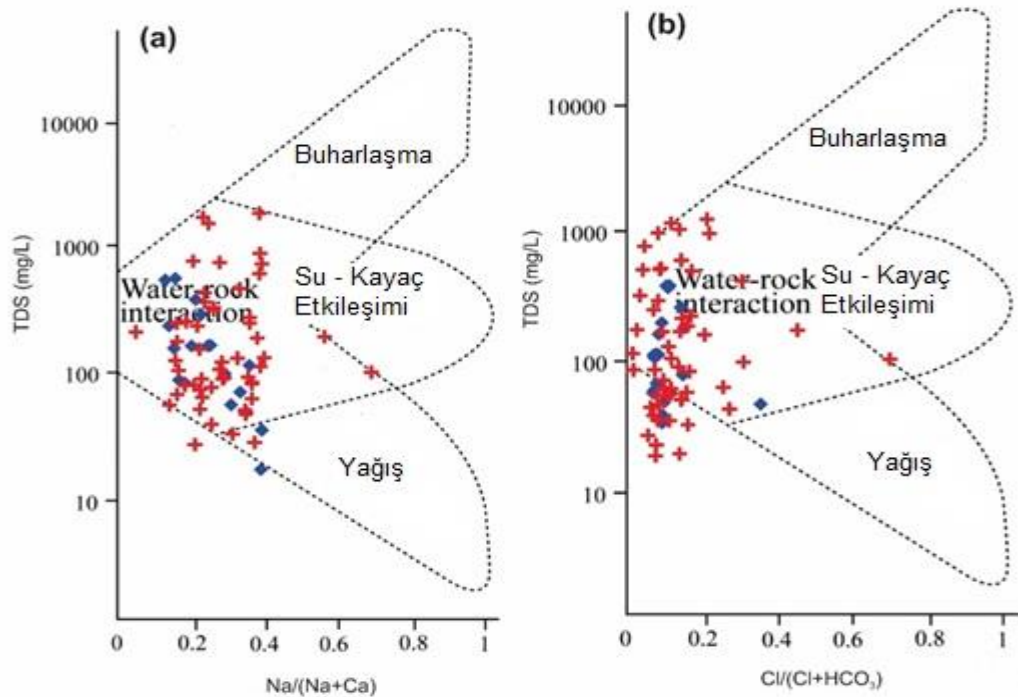
Şekil 3.5 Sulama suyu kalitesini gösteren Wilcox diyagramı.

Çizelge 3.6 Sulama Suyu Kalitesinin Değerlendirilmesi İçin Kriterler.

İndeks	İzin verilen aralık	Sınıf	Bu çalışmadaki örnekler	Kaynak
SAR	<20	Mükemmel	Tamamen	Todd (1960)
	20-40	İyi	Yok	
	40-60	İzin verilebilir	Yok	
	60-80	Şüpheli	Yok	
	>80	uygunsuz	Yok	
EC	<250	Mükemmel	13	Richards (1954)
	250-750	İyi	41	
	750-2000	İzin verilebilir	20	
	2000-3000	Şüpheli	Yok	
	>3000	uygunsuz	Yok	
%Na	<20	Mükemmel	44	Todd (1960)
	20-40	İyi	28	
	40-60	İzin verilebilir	2	
	60-80	Şüpheli	Yok	
	>80	uygunsuz	Yok	

3.4.2.19. Yeraltı suyu kalitesinin kontrol eden faktörler

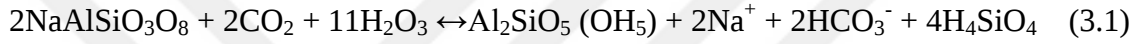
Birçok jeolojik ortamda yeraltı suyu kimyasındaki değişikliklerden çeşitli hidrojeokimyasal faktörler sorumludur. Bu faktörlerin bazıları kayaçların kimyasal olarak bozunması, kayaçlarda minerallerin çözünmesi, katyon değişim reaksiyonları, buharlaşma ve çok çeşitli antropojenik aktivitelerdir (Li ve diğerleri 2016; Sako ve diğerleri 2018). R-mod faktörü analizi ve varimax rotasyonu ile özdeğerleri >1 olan üç faktör elde edilmiştir (Şekil 3.8). Bu faktörler, bu çalışmada analiz edilen tüm hidrokimyasal parametrelerin toplam varyansının %72.8'ini açıklamıştır. Faktör 1, toplam varyansın yaklaşık % 55,4'üne sahip olduğundan, çalışma alanındaki yeraltı suyu kimyasını kontrol eden ana faktör gibi görünmektedir. EC, TDS, Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} dahil neredeyse tüm fiziko-kimyasal parametrelere kuvvetli bir şekilde yüklenmiştir. Ca^{2+} ve Mg^{2+} (Ek çizelge 3, korelasyon tablosu) ile yüksek HCO_3^- içeriği arasındaki güçlü pozitif korelasyon ($r = 0.72$) Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- 'ün karbonat minerallerinin kimyasal olarak ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir. Kalsit ve dolomit gibi mineraller suyun orijinal bileşiminde kimyasal bir değişikliğe neden olabilir ve pH değerinde değişiklik meydana getirebilir (Yidana ve Yidana 2010). Faktör 1 akiferdeki doyma bölgesinde su-kaya etkileşimi ile ilişkilendirilebilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Su Kaya Etkileşim Grafiği

Bazı ana iyonları içeren iki değişkenli grafikler, su-kaya etkileşimini daha iyi anlaşılması için kullanılmıştır (Şekil 3.6, Şekil 3.7). Ayırışması ve su-kayaç etkileşiminin yeraltı suyu kimyası üzerindeki etkisini anlamak için Gibbs grafiği (Gibbs, 1970) kullanılabilir. Bu grafiğe aktarılan tüm yeraltı suyu örneklerinin Gibbs diyagramlarının orta bölümlerine düşmesi, yan kayaçların kimyasal olarak ayrışması ve minerallerin çözünmesinin yeraltı suyu kimyasının kontrol eden ana etmen olduğunu göstermektedir.

Cl⁻'a karşı Na⁺ da (Şekil 3.7 a), tüm numunelerin 1: 1 çizgisinin altında kaldığı, bu da onların albit (NaAlSi₃O₈) gibi Na'ca zengin bir kaynaktan gelmiş olabileceğini göstermektedir. İyon değişimi bu eğilime neden olmuş olabilir. Albitin akifer bölgesinde kimyasal çözünmesi, aşağıdaki denklem ile açıklanabilir.



Doğrudan formasyonlar içerisindeki tuzun (halit) çözülmesi, su kimyasını etkilemediği veya etkisinin minimum olduğu görülmektedir. Çünkü, halit, suyun kimyasında bir kontrole sahip olsaydı, yeraltı suyuna ait örnekler 1:1 çizgisi boyunca uzanırdı (Zarei vd., 2014). Bu nedenle, denklem 3.1 deki albit (NaAlSi₃O₈) gibi silikat minerallerinin ayrışması, suyun Na⁺ içeriği üzerindeki birincil kontrol eden faktör olarak görülmektedir. Eğer Na⁺ silikat ayrışması sonucu sulara eklenmiş ise, Na miktarı daha az olacağından bu tür yeraltı sularında dominant anyon olarak HCO₃⁻ olacaktır. Bu durum, Na⁺ ve HCO₃⁻ (Ek çizelge 3) arasındaki güçlü pozitif korelasyonla ($r = 0.66$) desteklenmektedir. Bununla birlikte, ayrışma sırasında silikat minerallerinin özellikle albit (NaAlSi₃O₈), HCO₃⁻'ü serbest bırakan en doymuş bölgede karbonik asit ile reaksiyona girdiği yorumlanır. Jips (alçıtaşı) mineralinin kimyasal çözünmesi (3.2), Şekil 3.7 b'de görüldüğü gibi Ca²⁺ ve SO₄²⁻ konsantrasyonları üzerinde de birincil kontrol eden faktör olarak görülmektedir. Bu diyagramda, numunelerin çoğu, suyun Ca²⁺ ve SO₄²⁻ bileşenlerini üretmek için alçıtaşı yoğun bir şekilde çözündüğünün bir göstergesi olan 1: 1 çizgisine yakın bir şekilde yer almaktadır. Ca²⁺ ve SO₄²⁻ nin ortak kökeden gelmiş olabileceği, korelasyon matrisindeki bu iyonlar arasındaki güçlü pozitif korelasyonla ($r = 0.59$) desteklenmektedir. (Ek çizelge 3). Örnekler ayrıca bölgedeki bitişik termal mineral kaynak suları (Dertalan termal mineralli kaynak suyu ve Kemerhisar termal mineralli kaynak suyu) ile güçlü bir korelasyon göstermektedir ve bu nedenle aynı kaynaktan gelmiş olabilirler veya bir miktar karışım olmuş olabilir. (Afşin vd., 2014). Aksine, kaynak suyundan oluşan beş örnek, sudaki Ca²⁺ fazlalığı

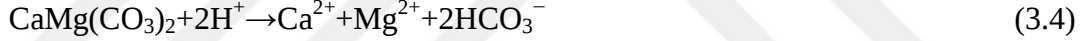
nedeniyle karbonat ayrışması gibi diğer nadir işlemlere işaret ederek 1:1 çizgisinin (Şekil 3.7 b) üstünde kalmış olabilirler.



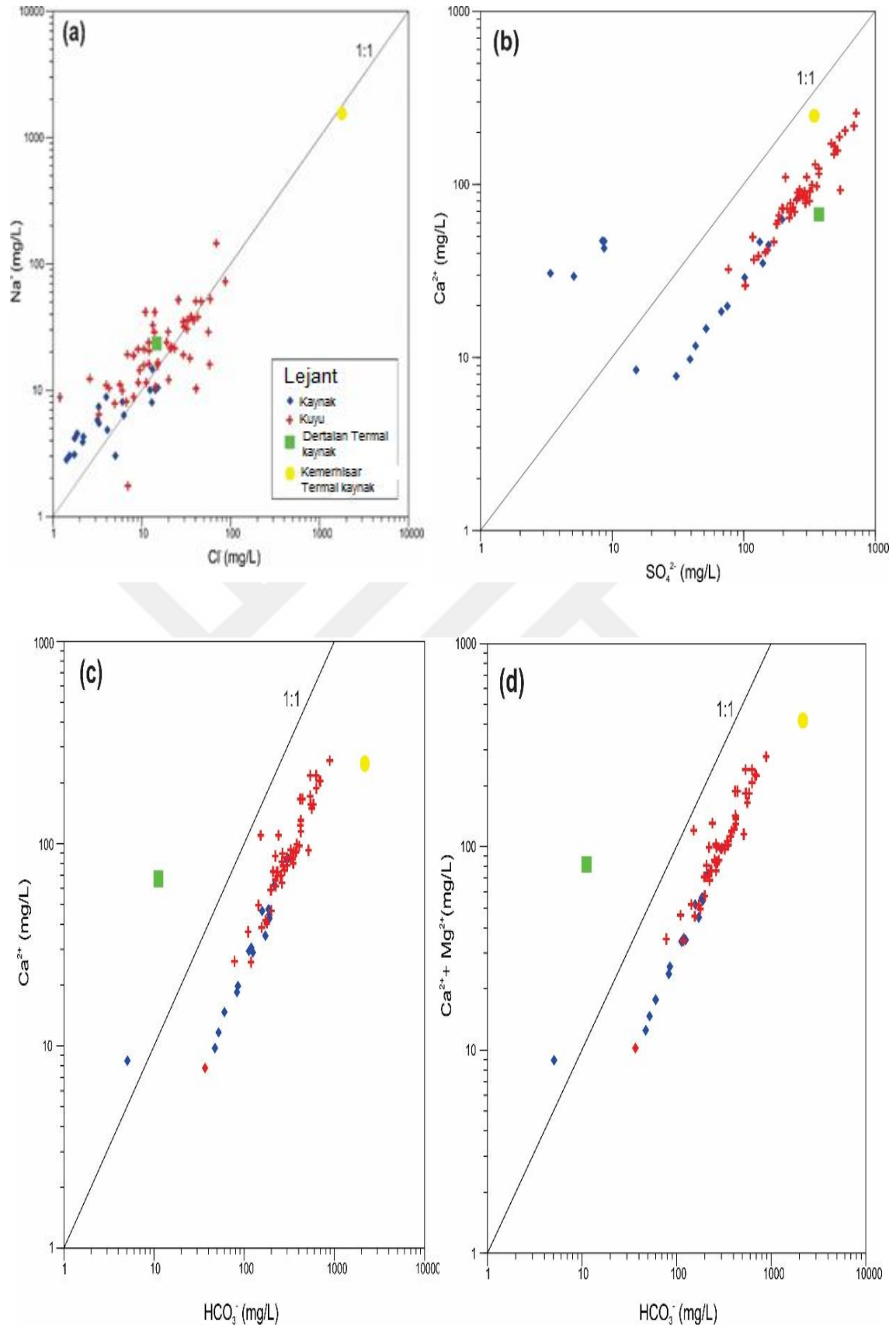
Daha önce de belirtildiği gibi, Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- bileşimi, kalsit ve dolomitin çözünmesinden etkilenmiş olabilir. Bölgedeki mermerlerden ve kalkerlerden gelen kalsit minerallerinin reaksiyon boyunca Ca^{2+} , ve HCO_3^- 'ün çoğunu serbest bırakması muhtemeldir:



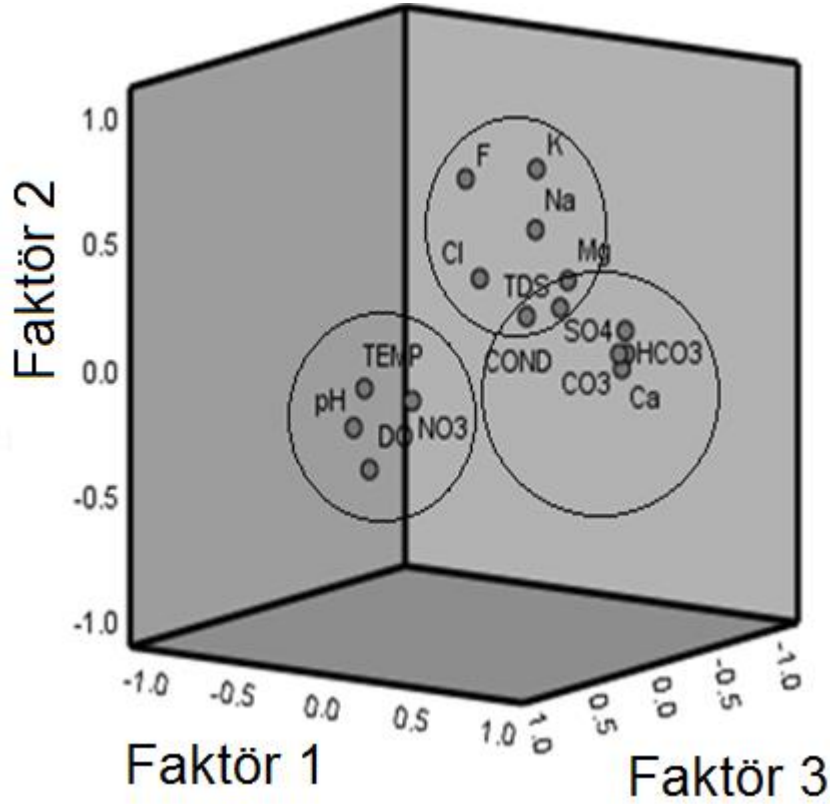
Dolomitleşmiş kireçtaşları ve dolomitlerin ayrışması sonucu (3.4) de yeraltı suyuna Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- sağlamış olabilirler. Bu işlemler Ca^{2+} 'de HCO_3^- diyagramına (Şekil 3.7 c) karşı ve Ca^{2+} , Mg^{2+} ' de HCO_3^- diyagramında (Şekil 3.7 d) açıkça gözlenmektedir ve umunelerin çoğu 1:1 çizgisine yakındır. İstatistiksel olarak, Ca^{2+} , Mg^{2+} ve HCO_3^- 'in dolomit kökenli olabileceği, Ca^{2+} ve Mg^{2+} ($r = 0.72$), Ca^{2+} ve HCO_3^- ($r = 0.95$), Mg^{2+} ve HCO_3^- ($r = 0.76$) (C) arasındaki güçlü korelasyonlar bunu destekler niteliktedir (Ek çizelge 3).



Sonuç olarak, kimyasal ayrışma, yan kayaç etkileşimi ve bunun sonucu olarak katyon değişim reaksiyonları çalışma alanında geçerli olan yeraltı suyunda Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} ve HCO_3^- gibi ana iyonların bolluğunu kontrol eden temel hidrojeokimyasal işlem olduğu söylenebilir (Şekil 3.7). Kuyu sularındaki iyonların göreceli olarak daha yüksek konsantrasyonları, doymuş bölgenin çevresinde daha uzun kalma süreleriyle birlikte daha derin derinlikteki akiferlerdeki karbonat minerallerinin mevcudiyeti ile tutarlıdır.



Şekil 3.7 Yer altı suyu kimyası için mineral çözünmesini gösteren ana iyon ilişkileri grafiği



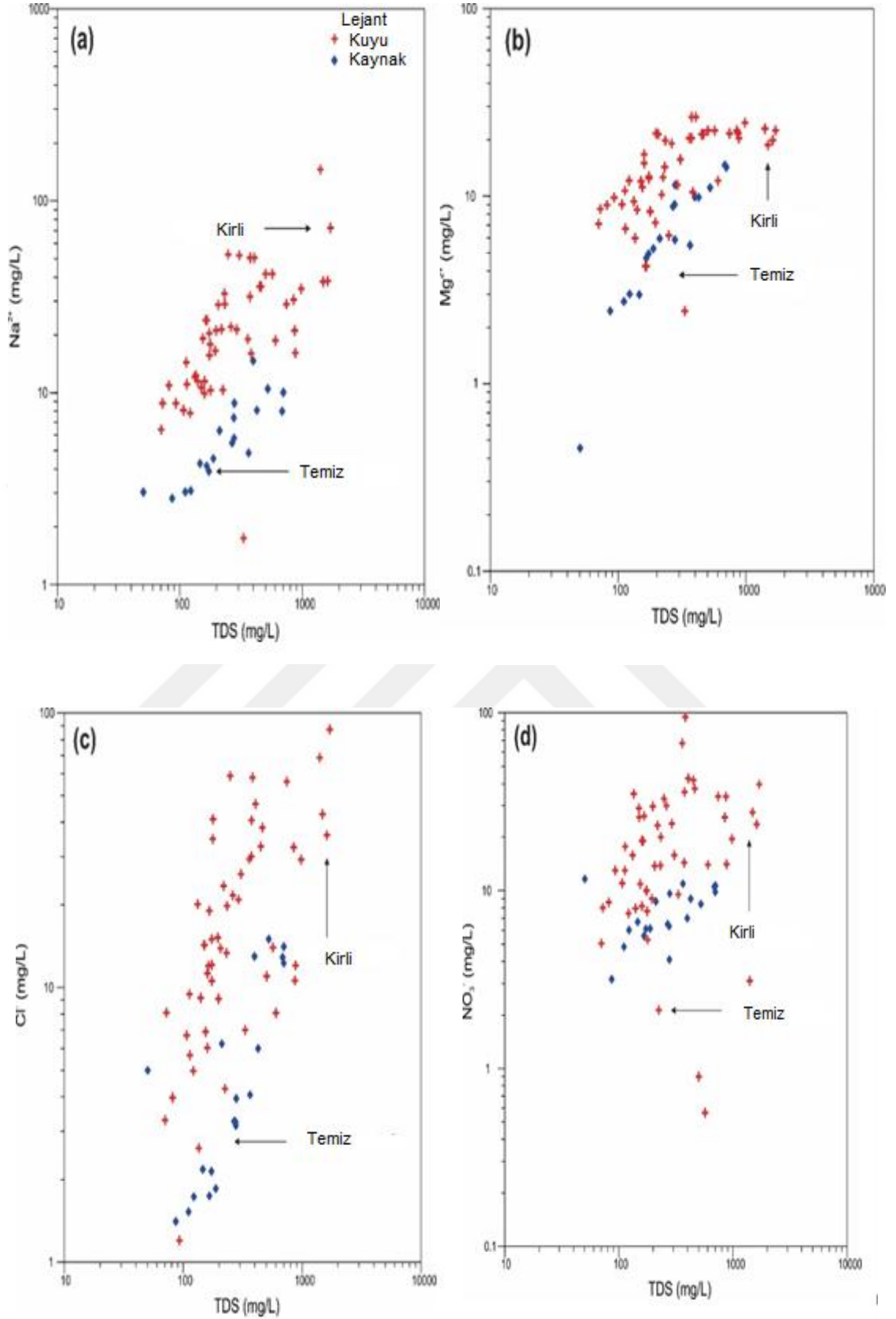
Şekil 3.8 Su örneklerine ait hidrojeokimyasal parametrelerden hesaplanan R-mod faktörü (PCA) bileşen grafiği

Faktör 2, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- ve F^- 'de güçlü pozitif yüklere sahiptir (Şekil 3.8). Bu faktör jeojenikten antropojenik girdilere karma veya geçiş faktörü olarak bilinir (Yıdana ve Yıdana 2010). Bu iyonlar arasındaki orta pozitif korelasyonlar (Ek çizelge 3), K-feldispatın çözünmesinin ve çalışma alanının bazı bölümlerinde sürekli KCl gübrelerinin kullanılmasının, K^+ ve Cl^- yüklemelerini büyük ölçüde etkilemiş olduğu anlamına gelir (Liet al., 2005). incelenen yeraltı suyu örnekleri. K^+ ve Cl^- değerleri en yüksek olan numuneler, tarımsal sanayiden imalat sanayine kadar çeşitli sanayileri içeren Bor sanayi bölgesi ve Niğde sanayi bölgesi olarak bilinen organize sanayi bölgelerindedir. Kaynak suyu örneklerinin kimyası alçı bakımından doymamış olduklarını, dolayısıyla kaynak suyu örneklerinde ($\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- > 1$) gözlenen düşük SO_4^{2-} konsantrasyonunun mikroorganizmaların neden olduğu sülfat indirgemesine işaret ettiğini gösteriyor (Datta ve Tyagi 1996). Na^+ 'daki zenginleşmenin silikat bozunmasına bağlı olmasına rağmen, Na^+ ve Cl^- ($r = 0.75$) arasındaki güçlü pozitif korelasyon

muhtemelen halit erimesinin bir işaretidir (Sako vd., 2018). Ancak, halitin çözünmesi, kaynak sularından daha yüksek TDS ve Cl konsantrasyonlarına sahip olduklarından, sadece kuyu sularıyla sınırlı gibi görünmektedir.

Faktör 3, TDS, EC, Na^+ ve Mg^{2+} 'a orta derecede pozitif faktör yükü ile sıcaklık, NO_3^- ve Cl^- ye kuvvetli bir şekilde birliktelik gösterirler (Şekil 3.8). Bu tür birliktelikler, antropojenik faaliyetlerin yeraltı suyu kimyası üzerindeki etkisinin bir göstergesi olabilir (Yidana ve Yidana 2010). Çok sayıda çalışma, TDS, NO_3^- gibi hidrojeokimyasal parametrelerin antropojenik girdilerin yeraltı suyu kalitesine etkisi olduğunu ortaya koymuştur (örneğin, Choi vd., 2005; Keesari vd., 2016; 2017). Na^+ ve NO_3^- arasındaki pozitif korelasyon, yeraltı suyu kimyası üzerindeki antropojenik etkinin olduğunu destekler niteliktedir. Yalnızca evlerde kullanılan çamaşır deterjanları vasıtasıyla birçok yeraltı suyu rezervuarına antropojenik olarak Na^+ ilavesinin yaklaşık % 40'ını oluşturur (Patterson, 1997).

Bu çalışmada, suların yüksek TDS içeriği, ve bazı kaynaklarda yüksek Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- değerleri, arıtılmamış atık su atıklarından, fabrika atıklarından ve evsel atık sızıntılarından antropojenik katkıyı destekler niteliktedir (Şekil 3.9 a, b, c, d). Yeraltı suyuna NO_3^- ilavesi yaygın olarak nitrat kirliliğine neden olan yeraltı sularına sızma eğilimi gösteren çeşitli tarımsal kimyasalların kullanımı gibi tarımsal faaliyetlerle ilişkilidir (Marghade vd., 2012). NO_3^- ve Cl^- ($r = 0.51$), K^+ ve SO_4^{2-} ($r = 0.61$) 'nin güçlü pozitif korelasyonları (Ek çizelge 3), Niğde bölgesinde bulunan hayvan çiftliklerindeki nitrat ve sülfatlı gübrelerin sürekli uygulanması yoluyla antropojenik kirlenme oluşturabileceğinden söz edilebilir.

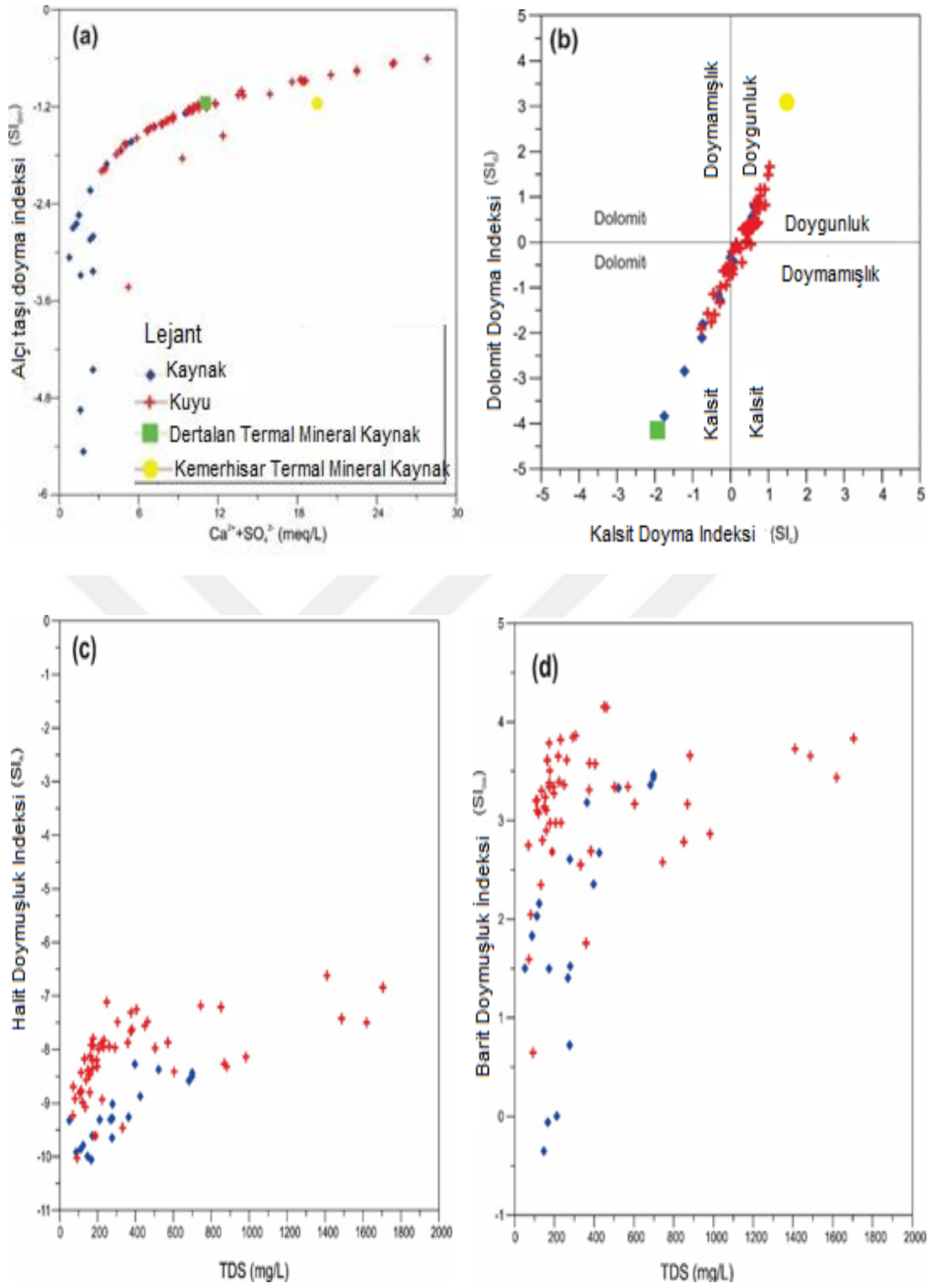


Şekil 3.9 Yer altı sularına ait majör iyon ve TDS arasındaki ilişki grafikleri (a: Na-TDS, b: Mg-TDS, c: Cl-TDS ve d: NO₃-TDS)

3.4.2.20. Yeraltı sularının doygunluk indeksleri

Yeraltı suyu dolaşım sırasında akifer sisteminde suyun etkileşime girdiği kayaç ve oluşan kimyasal tepkimeler, suların geçmiş oldukları hidrojeokimyasal ortam hakkında yorum yapma imkanı sağlamaktadır. Bu durumun belirlenmesi için suların kimyasal modellenmesi ve çeşitli mineraller bakımından doygunluk durumlarının belirlenmesiyle bu durum daha iyi anlaşılmaktadır.

Yeraltı suyunun hidrojeokimyasal modellemeleri, yeraltı suyu kimyasının temel kontrolü olarak su-kaya etkileşimi gösterir. En çok tercih edilen yöntem, su-kaya etkileşimi için sorumlu olan mineral fazlarının doyma endekslerini (SI) kullanmaktır (Ako vd., 2012). Alçıtaşının kalsitten daha yüksek çözünürlüğü nedeniyle, yeraltı suyunda Ca^{2+} ve SO_4^{2-} konsantrasyonlarını üretmek için jips mineralinin çözünmesi (3.2) artan SI değerleri vermektedir (Şekil 3.10 a). Jips minerali çözünerek ortama Ca^{2+} salması, artan konsantrasyona bağlı olarak kalsitin çökmesine neden olur ve bu da sudaki HCO_3^- konsantrasyonunu etkiler (Ako vd., 2012). Sudaki HCO_3^- 'ın azaltılması, dolomitin çözünmesine (3.4) yani de-dolomitleşmesine neden olur. Çalışılan yeraltı suyu numunelerinde, numunelerin çoğu için kalsit pozitif SI (SIc) değerleri, mevcut şartlar altında yeraltı suyunda kalsitin yüksek doygunluğa ulaştığını göstermektedir (Şekil 3.10 b). Bununla birlikte, negatif kalsit SI içeren diğer numuneler dolomitin erken çözünmesinin bir göstergesi olabilir, bu da kalsitin dolomitizasyon süreci boyunca çökmesini arttırmıştır. Örneklerden belirlenen dolomite ait pozitif SI (SI_d) değerleri, yeraltı suyunun dolomite aşırı doygunluğuna işaret etmektedir. Bununla birlikte, bu mineralin yavaş çökme kinematığı nedeniyle çözünme olasılığı düşüktür (Morse ve Arvidson, 2002). Kalan örnekler için dolomitin (SI_d) hafif negatif SI değerleri, sudaki kalsitin çözüldüğünü işaret etmektedir. Sonuç olarak, de-dolomitizasyonun ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan kalsiyum, ve diğer yandan Jips mineralinin çözünmesi yeraltı suyu kimyasını kontrol eden hidrojeokimyasal işlemlerden bazıları olduğu söylenebilir.



Şekil 3.10 Doymunluk indeks grafikleri

(a) Alçı SI (SI_{gyp}) SI, (b) kalsit SI (SI_c) ve dolomit SI'in (SI_d) SI, (c) Halit SI (SI_h) 'nin TDS'sine karşı bir çizim ($Ca + S04$) ve (d) SI'ya karşı barit (SI_b)

Çizelge 3.7 Suların mayıs dönemi hesaplanan doygunluk indeksleri.

Örnek No	anhidrit	aragonit	barit	kalsit	dolomit	jips	halit
GE01	-0.9066	-0.7995	0.494	-0.6497	-2.0696	-0.6619	-7.4777
GE02	-0.9624	-1.0351	0.7101	-0.8858	-2.5202	-0.7193	-7.4012
GE03	-0.9184	-0.65	0.8752	-0.5006	-1.7239	-0.6747	-6.819
GE04	-2.9843	-0.5881	-1.4648	-0.4399	-1.3281	-2.7443	-9.2866
GE05	-3.4933	-0.9219	-1.442	-0.772	-2.1033	-3.2473	-9.6144
GE06	-3.0147	-0.5222	-1.4525	-0.3739	-1.073	-2.7742	-9.0107
GE07	-3.045	-1.7282	-	-1.5805	-3.4869	-2.8066	-9.9272
GE08	-2.8736	-1.6476	-0.6713	-1.4979	-3.2803	-2.6285	-9.8661
GE09	-1.8498	-0.7358	0.279	-0.5848	-1.9296	-1.6011	-9.2439
GE10	-2.4472	-1.2358	-0.2058	-1.0858	-2.4953	-2.2012	-9.5984
GE11	-1.226	-1.0646	0.7557	-0.9147	-2.201	-0.9808	-6.6059
GE12	-1.317	-0.1684	0.7208	-0.0207	-0.4608	-1.0788	-8.3058
GE13	-1.4505	0.1202	0.4358	0.2685	0.059	-1.21	-8.5652
GE14	-1.4323	-0.0719	0.457	0.077	-0.3756	-1.1897	-8.4835
GE15	-1.3112	0.3676	-	0.5126	0.6069	-1.085	-7.8559
GE16	-1.3664	-0.4787	0.1712	-0.3335	-0.9674	-1.1387	-8.2509
GE17	-1.5847	0.3079	0.2507	0.4534	0.4941	-1.3558	-8.4026
GE18	-1.2089	0.4717	0.6515	0.6182	0.7219	-0.9756	-7.9244
GE19	-2.7663	-1.3369	-0.6075	-1.1858	-2.7645	-2.5172	-9.7952
GE20	-1.4395	-0.4305	0.1284	-0.2797	-0.932	-1.1916	-7.8182
GE21	-1.0513	0.1759	0.6002	0.3269	0.0911	-0.803	-7.2328
GE22	-1.1872	-0.2145	0.3562	-0.0626	-1.1969	-0.9367	-8.1815
GE23	-1.0199	0.1487	0.895	0.2998	-0.3433	-0.7713	-7.9492
GE24	-1.2212	-0.0061	0.8785	0.1451	-0.4143	-0.9721	-7.9423
GE25	-1.5727	0.2125	0.6838	0.3645	-0.3319	-1.3218	-7.9036
GE26	-1.0619	-0.1018	0.9237	0.0498	-0.6669	-0.8121	-7.4681
GE27	-1.0217	-0.1892	1.2261	-0.0381	-0.7605	-0.7731	-7.4624
GE28	-1.3863	-0.6775	0.4643	-0.5255	-1.6829	-1.1354	-8.9146
GE29	-0.8232	-1.0165	0.4392	-0.8655	-2.5099	-0.5752	-7.8453
GE30	-0.7722	-0.0592	0.4336	0.0922	-0.7185	-0.5231	-7.6397
GE31	-1.4163	-0.2523	0.479	-0.0992	-0.8792	-1.1632	-8.343
GE32	-1.5114	-0.2925	0.1328	-0.1401	-0.8865	-1.2595	-8.9699
GE33	-1.6512	0.2527	0.2434	0.4046	0.0593	-1.4006	-8.755
GE34	-1.8867	-0.7681	-	-0.6161	-1.6878	-1.6358	-8.9067
GE35	-1.6851	-0.5601	0.2349	-0.4081	-1.3148	-1.4342	-8.3763
GE36	-1.5266	-0.5961	0.1267	-0.4444	-1.2989	-1.2763	-8.7902
GE37	-1.4079	-0.5151	0.8425	-0.3636	-1.3397	-1.1581	-8.1796

Çizelge 3.8 Suların aralık dönemi hesaplanan doygunluk indeksleri.

Örnek No	anhidrit	aragonit	barit	kalsit	dolomit	jips	halit
GE01	-1.3078	-0.7579	0.164	-0.6069	-1.5969	-1.0592	-7.5785
GE02	-1.4139	-1.3883	-0.1859	-1.2379	-2.8257	-1.167	-7.5859
GE03	-1.4834	-1.5367	0.0896	-1.3854	-3.1376	-1.2345	-7.365
GE04	-2.972	-0.2794	-1.3729	-0.1281	-0.7672	-2.7228	-9.1618
GE05	-3.3364	0.1096	-1.2373	0.2605	-0.0609	-3.0879	-9.67
GE06	-2.3804	-0.9203	-0.4781	-0.7701	-1.8305	-2.1337	-8.9348
GE07	-2.1216	-0.7764	-0.39	-0.6259	-1.7197	-1.8743	-9.2842
GE08	-2.6168	-1.0623	-0.4954	-0.909	-2.3451	-2.3633	-9.5379
GE09	-3.3025	-2.3609	-	-2.2097	-5.4427	-3.0532	-9.3294
GE10	-1.9597	-0.5399	-0.3142	-0.3891	-1.11	-1.7117	-8.2681
GE11	-2.1775	-	-0.0036	-	-	-1.93	-7.9099
GE12	-1.862	-0.4089	-0.3163	-0.259	-0.9123	-1.6163	-9.5303
GE13	-1.6281	-0.4973	0.3813	-0.3454	-1.2465	-1.3775	-8.3598
GE14	-1.4389	0.0093	0.49	0.1597	-0.2295	-1.1919	-8.4194
GE15	-1.4367	-0.1897	-0.3008	-0.0393	-0.8733	-1.1896	-7.6111
GE16	-1.3663	-0.6242	0.2775	-0.4747	-1.33	-1.1221	-8.3032
GE17	-1.8625	-0.0242	-0.3035	0.1287	-0.8845	-1.6097	-9.4374
GE18	-1.9903	-0.4413	-0.4138	-0.2927	-0.9162	-1.749	-8.1681
GE19	-1.8332	0.1317	-0.2826	0.2829	0.121	-1.5841	-8.8641
GE20	-1.4103	-0.203	0.1567	-0.0517	-0.4679	-1.1611	-7.9767
GE21	-1.0427	0.263	0.6062	0.4139	0.2707	-0.7944	-7.2923
GE22	-1.5695	-0.5298	0.5649	-0.3823	-1.4271	-1.3324	-7.7794
GE23	-1.6276	-0.4699	0.3118	-0.3201	-1.4466	-1.3821	-9.0607
GE24	-1.5202	0.0344	0.4203	0.1803	-0.4304	-1.2894	-7.0991
GE25	-1.5447	0.4042	0.6846	0.5554	0.0872	-1.2958	-8.106
GE26	-1.4187	-0.5043	0.7351	-0.3542	-1.4211	-1.1725	-7.8737
GE27	-1.0193	0.0589	1.2317	0.2101	-0.2592	-0.7703	-7.5317
GE28	-1.5516	0.0829	0.037	0.2319	0.0486	-1.3085	-8.4595
GE29	-0.8271	0.0352	0.4216	0.1856	-0.3887	-0.5804	-7.9539
GE30	-1.3874	-0.0118	-0.2683	0.1359	-0.4929	-1.1491	-8.5579
GE31	-1.4258	0.3804	0.4386	0.5323	0.4251	-1.1753	-8.1966
GE32	-1.9335	-0.522	-0.3553	-0.3724	-1.2387	-1.6887	-9.2246
GE33	-1.3759	-0.0185	0.2622	0.1307	-0.3996	-1.1327	-8.459
GE34	-2.1718	-0.7034	-	-0.5526	-1.3697	-1.9235	-8.6868
GE35	-1.6894	-0.5529	0.2308	-0.4009	-1.3011	-1.4385	-8.3768
GE36	-2.1579	-1.1006	0.2198	-0.9501	-2.1421	-1.9105	-8.8049
GE37	-1.7884	-0.2698	0.2017	-0.1192	-0.6576	-1.5406	-8.4205

Kuyular ve kaynak suları tuz minerali bakımından az doygun olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.10 c). Bu durum evaporit minerallerinin ayrışmasının yeraltı suyu kimyası üzerindeki etkin rol oynadığını gösterir. Ayrıca Cl^- ve SO_4^{2-} iyonların tarımsal gübrelerden, septik tanklardan ve kanalizasyon sistemlerinden kaynaklanacağı muhtemel görülmektedir. Antropojenik aktivitelerin yaygın olduğu Bor sanayi bölgesinde bulunan kuyulardan alınan su örneklerinde bu iyonların bolluğu bunu destekler niteliktedir. Üç kaynak suyu örneği hariç tüm su numuneleri, barite minerali bakımından doygunudur (Şekil 3.10 d). Bu, mevcut ortam koşullarında baritin yeraltı sularında çökeltme eğiliminde olduğu anlamına gelir. Baritin doygunluk değerleri (SI_b), suların TDS değerleri artışına bağlı olarak artmaktadır. Bu eğilim ayrıca yeraltı suyundaki Ba^{2+} , SO_4^{2-} ve TDS'nin artışıyla paralellik göstermektedir. Barite, sondaj çalışmaları sırasında (petrol ve gaz, jeotermal ve içme suyu kuyuları) ağırlıklandırma malzemesi olarak görev yapar (Bageri vd., 2017). Bu nedenle Baryumun yeraltı sularında yüksek olması ve yüksek doygunluğa sahip olması, bölgedeki jeotermal ve içme suyu kuyusu gibi sondaj faaliyetlerinden kaynaklanan kirlenmenin olduğunu düşündürmektedir.

3.4.2.21. Yeraltı sularının içme ve kullanım için uygunluğu

Mayıs döneminde toplanan numuneler, pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, Na^+ , K^+ (WHO 2017) ve TSE-266 (2005) seviyelerinin altındaki düşük konsantrasyonları bakımından içmek için genellikle uygundur. Dört kuyu örneğinde sırasıyla TDS ve Ca^{2+} için WHO (2017) ve TSE-266 (2005) içme suyu kılavuz değerleri (1000 mg / L) ve (200 mg / L) üzerindedir. Mayıs döneminde analiz edilen numunelerin % 84'ünün çözünür bileşikler gibi yüksek iletken cisimlerin varlığını ima eden EC değerleri, WHO sınırından (250 μS / cm) daha yüksektir. Bununla birlikte, tüm bu numunelerin EC değerleri 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ TSE-266 (2005) sınırları içinde kalmaktadır. SO_4^{2-} konsantrasyonları, bahar mevsiminde toplanan örneklerin çoğunluğu için uygun değildir. Numunelerin yaklaşık % 27'si (~10 numune), içme suyunda SO_4^{2-} için WHO sınırının üstünde ve % 60'ı (~22 numune) Türkiye ulusal standardının üstündedir (Çizelge 3.1). 21 kuyu numunesi için NO_3^- konsantrasyonları, WHO (2017) içme suyu kılavuz değerinin (10 mg/L) üzerindedir. Türk ulusal standartlarına göre, yeraltı su örneklerinin çoğu 1 örnek hariç içmeye uygun olduğu, çünkü TSE-266 (2005) NO_3^- için içme suyu kılavuz değeri 50 mg / L'dir. Tüm eser element konsantrasyonları, > 10 μg / L konsantrasyonlarına sahip

As hariç, sınır değerler altında kaldığı tespit edilmiştir. Yüksek As konsantrasyonları ise sadece kuyu suyu numuneleri ile sınırlıdır.

Aralık döneminde, fiziko-kimyasal parametreler değişiklik göstermiştir. PH, sıcaklık, TDS, çözülmüş oksijen, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} ve F^- içme suyu için WHO ve Türkiye ulusal standart kılavuz değeri sınırları içinde kalmaktadır (Çizelge 3.1). Tüm iz elementlerin konsantrasyonları, mayıs döneminde olduğu gibi $> 10 \mu\text{g} / \text{L}$ konsantrasyonlarına sahip olanlar hariç, içme amaçları için kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Bor sanayi bölgesinde kuyu suyu kaynakları, Bor, Bor eski sanayi, Niğde, Niğde sanayi bölgesi, Gümüşler köyü, Bahçeli, Sazlıca, Fertek As bakımından en çok kirlenmenin olduğu alanlardır. Bu tür suların sürekli içilmesine maruz kalan kişilerin kronik hastalıklara ve çeşitli kanser türlerine yakalanmaları olasılığı mevcuttur (Ahuja, 2008).

3.4.2.22. Yeraltı sularının kökeni

Kaynak ve kuyu suyu örnekleri, kaynak suyu örneklerine göre nispeten düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerleri gösteren kuyu suyu örnekleri ile v-SMOW'a göre izotopik olarak tüketilmiş olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 3.9). Ancak kaynak suyu örneklerinin döteryum değerleri kuyu suyu örnekleriyle karşılaştırıldığında daha yüksektir (Çizelge 3.9). Şekil 3.11'de Küresel Meteorik Su hattı (GMWL), Ankara Meteorik Su Hattı (AMWL) ve Konya Meteorik Su Hattı (KMWL) ile ilgili kaynak ve kuyu suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD oranlarını göstermektedir. Bir kuyu suyu örneğiyle birlikte, kaynak suyu numunelerinin tamamı KMWL ve AMWL arasında, diğer tüm kuyu suyu numuneleri ise AMWL ve GMWL arasında kalmakta ve suların kökeninin meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir (Şek. 3.11a). Grafikten de anlaşılacağı üzere, yeraltı sularının modern yağış veya kar gibi meteorik kökenli suların Niğde'deki yeraltı sularının baskın bileşeni olduğu anlaşılmaktadır. İnceleme alanını besleyen yağmur veya kar sularının faylar ve kırıklar boyunca yeraltına sızması ve tekrar yüzeye çıkmadan bölgede baskın akifer olan alüvyon ve diğer akiferlerde depolanmıştır. Yağış ve kar sularının aynı yapılar boyunca, Melendiz volkaniklerinden ve çalışma alanının kuzeydoğu ve güneybatı alanlarına göre daha yüksek kotlarda bulunan metamorfik kayalarından sızarak akiferi beslediği görülmektedir (Şekil 3.1).

Örneklerin izotopik değerlerinin tam olarak meteorik su çizgisi ve üzerinde olması, yeraltı sularının akifere girmeden önce veya akiferin yüzeye yakın kesimlerinde buharlaşma ile izotopik zenginleşmeye maruz kaldığına işaret etmektedir (Şekil 3.11 a). Kuyu suyu ve kaynak suyu örnekleri, düşük deuterium fazlalık değerleri nedeniyle baskın bir karasal yağıştan (düşme) kaynaklanmış olduğu söylenebilir (Uras vd., 2015). Kaynak suyu örneklerinden birinde ve kuyu suyu örneklerinden dördünde gözlenen düşük ^3H değerleri (Çizelge3.9), yeraltı suyunu besleyen daha eski kaynakların varlığını göstermektedir.

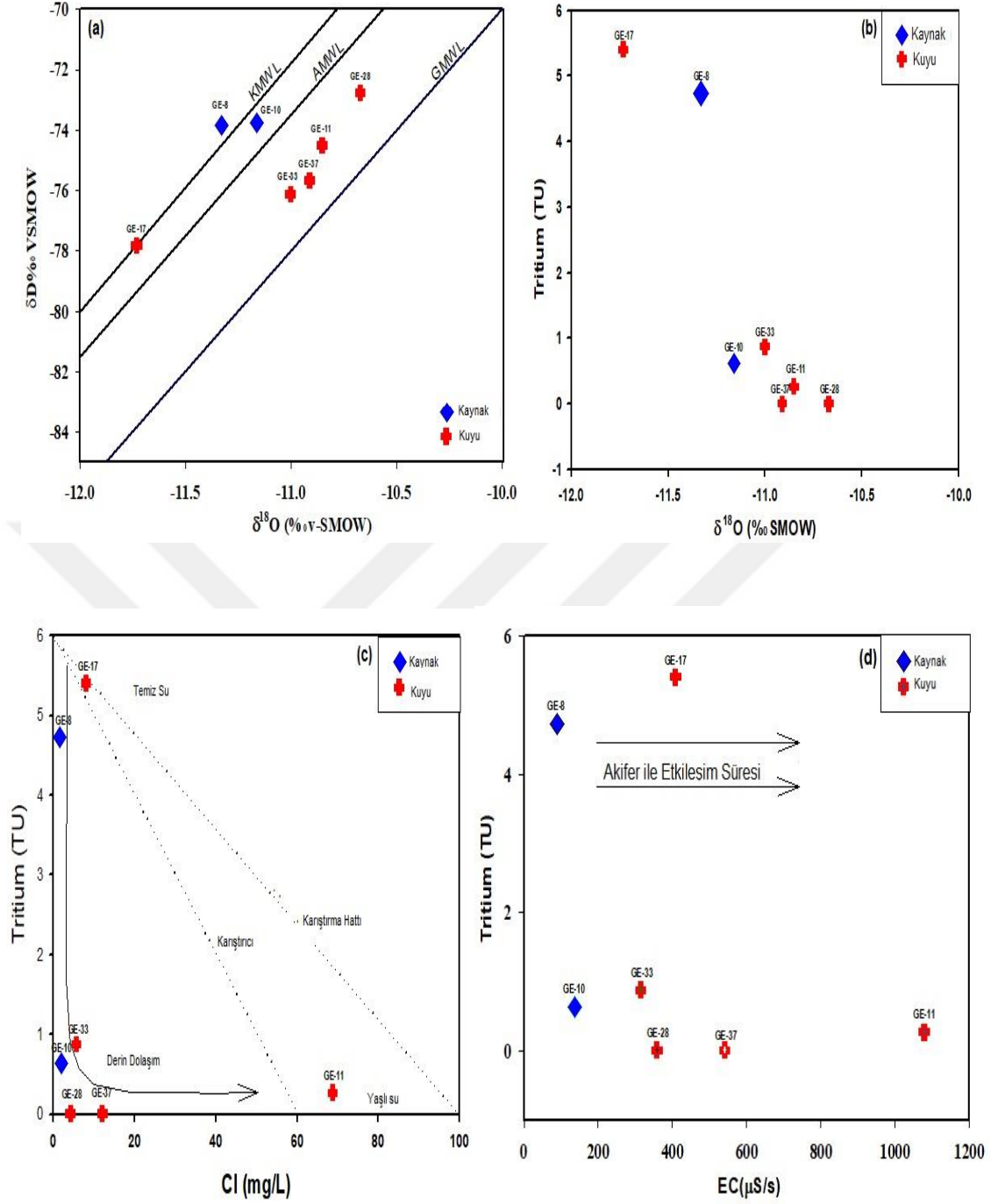
Yeraltı suyu sirkülasyon süresi ve akış yönü, ^3H değerlerine karşı $\delta^{18}\text{O}$ grafiği ile de belirlenebilir. Hazırlanan grafikte (Şekil 3.11 b) gözlenen ^3H değerlerinin soldan sağa doğru düşme eğilimi, kuvvetle ^3H değerlerine sahip olan kaynak suyu örneklerinin daha kısa dolaşım süresine sahip oldukları ve ^3H değerine sahip kuyu suyu örneklerinin ise daha uzun dolaşıma maruz kaldıkları anlamına geldiği söylenebilir. Benzer şekilde, hazırlanan ^3H 'ye karşılık Cl diyagramı (Şekil 3.11 c), yüksek ^3H değerlerine ve yüksek Cl içeriğine sahip olan kaynak suyu örneklerinin, çok kısa dolaşım süresine sahip oldukları, genç olarak nitelenen kaynak suları, yüzeyden yeraltına sızan suların kısa dolaşımdan sonra yeniden deşarj oldukları söylenebilir. Bununla birlikte, düşük ^3H ve düşük Cl içeriğine sahip kuyu suyu örneklerinin çoğu, daha uzun dolaşım süreleri olan eski yeraltı suları olduğu söylenebilir (Şekil 3.11 c). Kaynak suyu örneklerinden birinin düşük EC değeri ve yüksek ^3H konsantrasyo değerleri, bu suların sistemde daha kısa bir kalma süresine ve dolayısıyla daha kısa su-kaya etkileşimi süresinin genellikle <12 yıl olduğuna işaret etmektedir (Çizelge 3.9, Şekil 3.11 d). Ancak, yüksek ila çok yüksek EC ve düşük ^3H olan kuyu suyu örneklerinin çoğu (Şekil 3. 11d), daha uzun kalma sürelerine ve > 60 yıldan uzun su-kaya etkileşimi sürelerine maruz kalan yeraltı suyu ile tutarlıdır (Şekil 3.11).

Çizelge 3.9 Aralık döneminde Oksijen-18, döteryum ve trityum analizlerinin sonuçları

Örnek no	Örnek tipi	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{VSMOW}}(\text{‰})$	D excess (d)	Tritium (^3H)	Yaş* (yr)
GE08	kaynak	-11,33	-73,85	16,79	4.73±0.24	11.9±0.7
GE10	kaynak	-11,16	-73,78	15,5	0.63±0.23	47.3±15.1
GE11	kuyu	-10,85	-74,52	12,28	0.26±0.23	60.2±50.5
GE17	kuyu	-11,73	-77,84	16	5.4±0.24	9.3±1.1
GE28	kuyu	-10,67	-72,78	12,58	0±0.12	
GE33	kuyu	-11	-76,14	11,86	0.87±0.17	40.3±10.2
GE37	kuyu	-10,91	-75,69	11,59	0±0.12	

Yeraltı suyu yaşları $^3\text{H}_t = ^3\text{H}_0 \cdot e^{-\lambda t}$, formülü kullanılarak hesaplanmıştır (λ :bozulma sabiti TU:0.05626; Yarılanma süresi $t_{1/2}=12.32$ yıl (Lucas and Unterweger 2000). $^3\text{H}_0$ Aksaray için belirlenen 9.5 TU (IAEA Ankara GNIP data 2012) değeri olarak alındı.

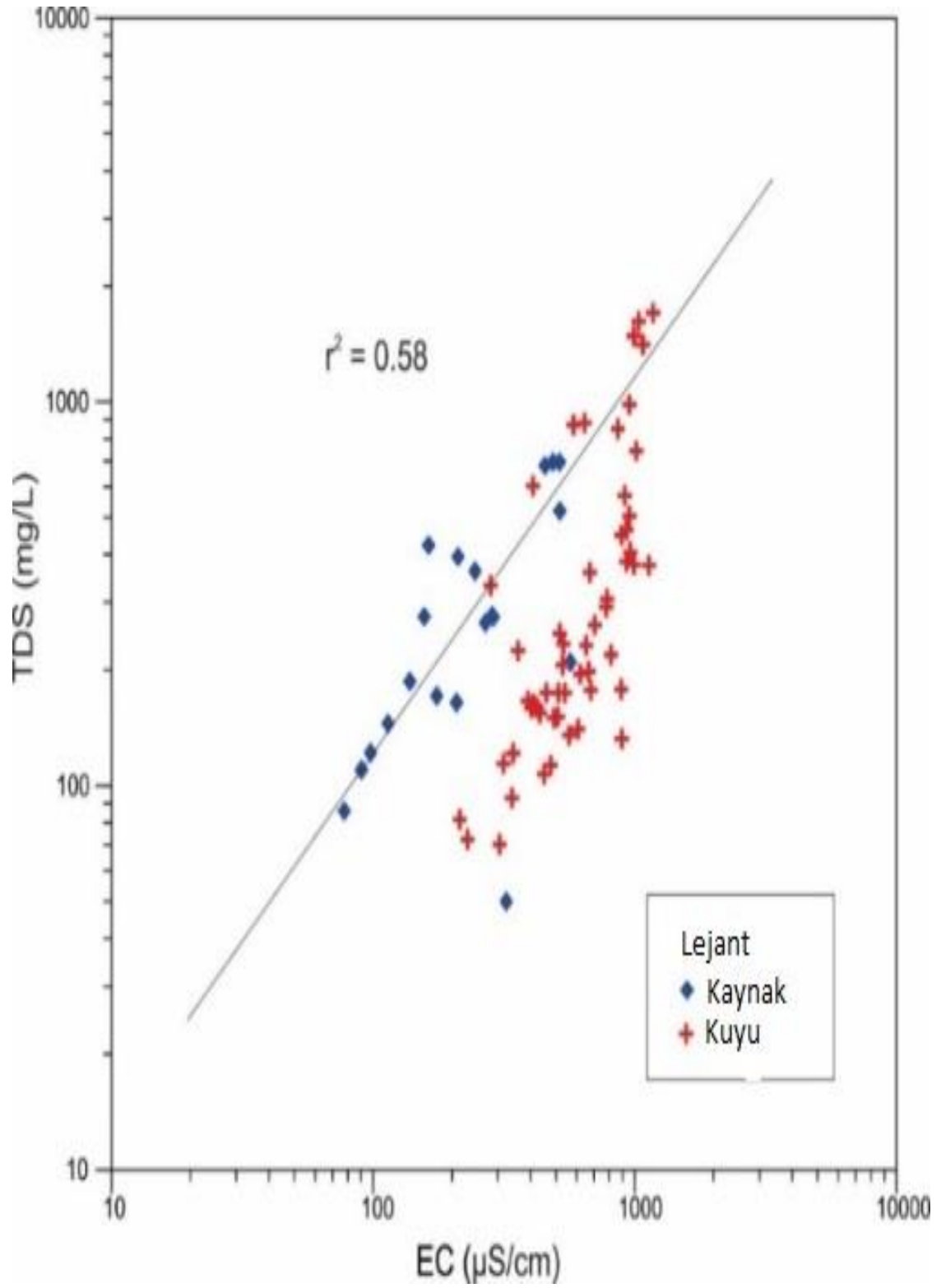
Genel olarak, Niğde İlindeki kaynak sularının, su tablasının etrafında daha kısa yeraltı suyu sirkülasyonu yapmış ve su-kaya etkileşiminin az olduğu akiferler olarak nitelenebilirler. Öte yandan, kuyu suyu, yüzey altında yeterince zaman harcayan, uzun süre dolaşımda olan sulardır. Dolayısıyla daha uzun su-kaya etkileşimi, hidrolojik sistem içerisindeki sığ meteorik ve muhtemelen jeotermal sularla karışmış olabileceği söylenebilir (Afşin vd., 2014; Şek. 3.11c, 3.1).



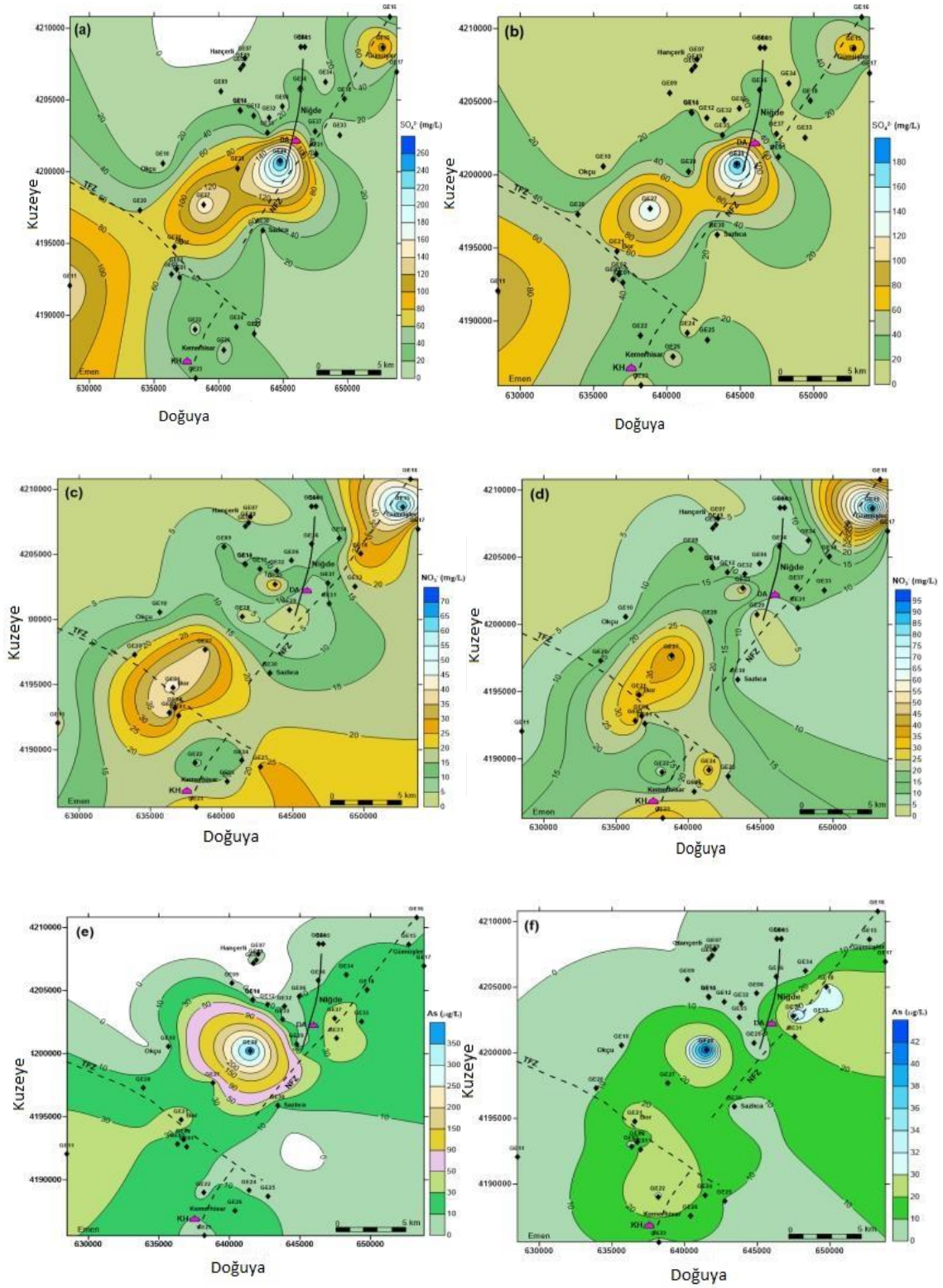
Şekil 3.11 Niğde yeraltı sularının değişim grafiklerindeki yerleri. (a) $\delta^{18}O$ -Döteryum (D), (b) Tritiyum (3H)- $\delta^{18}O$, (c) Tritiyum (3H) -Cl ve (d) Tritiyum (3H)-Elektriksel iletkenlik (EC); v-SMOW: Viyana Standart Ortalama Okyanus Suyu) Genel Meteorik Su Hattı (GMWL), Ankara Meteorik Su Hattı (AMWL) ve Konya Meteorik Su Hattı (MMWL)

3.4.2.23. Yeraltı suyu kimyasının zamansal ve mekansal değişimi

Mayıs döneminde, numunelerin çoğu, az miktarda alkaline koşullara nötr-pH'a yakındır, suların yeraltına sızması esnasında alkalinitenin artması ve alkali malzemelerin çözünmesinden kaynaklanıyor olabileceği düşünülmüştür. Mayıs döneminde kuyulardan ve kaynaklardan toplanan örneklerin bazıları acı tat vericidir, çünkü TDS değerleri 1000-10000 mg/L arasındadır, bu durum suyun aşırı tuz gibi bazı kaynaklar tarafından kirlenebileceğini gösterir. (Sako ve diğ. 2018). Ancak, aralıkta toplanan tüm numuneler tatlı su aralığına girer (Freeze ve Chery, 1979). TDS ile EC arasındaki pozitif korelasyon ($r^2 = 0.58$) (Şekil 3.12), yeraltı suyunun her iki mevsimde yüksek TDS içeriğine katkıda bulunabilecek alüminyum, manganez, demir ve silika gibi çok azı olmayan çözünür bileşikler içerdiğini göstermektedir (Prasanna vd., 2011). Yüksek TDS ve EC değerleri ayrıca yeraltı suyunun yan kayaçlarla daha uzun temas süreleri anlamına gelir. Kalsiyum (Ca^{2+}), Mayıs ve Aralık dönemlerinde toplanan hem kuyu hem de kaynak suyu örneklerinde baskın katyondur. Bu, her iki mevsimde kalsit ve dolomit veya muhtemelen alçıtaşı gibi karbonat minerallerinin yoğun çözünmesine bağlı olmalıdır. Kuyu sularının kimyası, Dertalan termal-mineral sularından etkilenmiş olabilir, bazı ana iyon konsantrasyonlarının hem termal sularda ve hem de kuyu sularında benzer trendler sunduğu göz önüne alındığında bu sular arasında bir tür karışım oluşmuş olabilir (Şekil 3.4). Ancak, Kemerhisar termal-mineral kaynağı ve civar bölgedeki kuyu ve kaynak suyu örnekleri üzerinde benzer karışım etkisi çok az olduğu düşünülmektedir. Kuyu ve kaynak sularının yalnızca Ca^{2+} ve SO_4^{2-} içerikleri, bölgedeki tanımlanmış su türlerini hesaba katan Kemerhisar termal-mineral kaynağı tarafından etkilenmiş olabilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.12 Yeraltı sularının TDS ile EC bileşenleri arasındaki korelasyon grafiği.



Şekil 3.13 Yeraltı suyunda yüksek konsantrasyonlara sahip ana anyonların ve iz elementlerin mekansal dağılımı (a) Mayıs dönemi SO_4^{2-} dağılımı (b) Aralık dönemi SO_4^{2-} dağılımı, (c) Mayıs dönemi NO_3^{2-} dağılımı, (d) Aralık dönemi NO_3^{2-} dağılımı, (e) Mayıs dönemi As dağılımı (f) Aralık dönemi As dağılımı.

Yeraltı suyunda yüksek konsantrasyonlu ana anyonların mekansal değişimi Şekil 3.13'de verilmiştir. Çalışma alanının orta kısmında Bor-Sazlıca-Niğde bölgelerinde yer alan örneklerin çoğunun, hem mayıs hem aralık dönemindeki ana anyon ve iz elementlerin mekansal dağılımlarını göstermektedir (Şekil 3.13 a, b). Bu, antropojenik aktivitelerin bu bölgeler etrafındaki etkisi olarak yorumlanmaktadır. Kuşkusuz, bu bölgelerdeki Akkaya barajı, Korkanç vd (2017) tarafında yakın zamanda yapmış oldukları çalışmada ifade edildiği gibi, yer altı sularındaki SO_4^{2-} konsantrasyonu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Korkanç vd., 2017). Tarımsal faaliyetlerden SO_4^{2-} 'ın, Akkaya barajının bulunduğu çalışma alanının orta kısmında yüksek SO_4^{2-} konsantrasyonu ile sonuçlanan temel akiferlere sızan suların olduğu düşünülmektedir. NO_3^- konsantrasyonlarının mayıs ve aralık dönemindeki değişimleri minimumdur. Yüksek NO_3^- konsantrasyonları, sadece çalışma alanının kuzeydoğu kısmındaki kuyularla Gümüşler köyüne yakın yerlerle sınırlanmaktadır (Şekil 3.13 c, d). Bu alan, Niğde bölgesindeki tarımsal verimliliğinin yanı sıra yeraltı sularındaki NO_3^- yükünün nedeni olabilecek endüstriyel faaliyetlerle (ata sanayi bölgesi) de dikkat çekmektedir.

Yeraltı suyunda olduğu gibi As elementinin mekansal dağılımı, mayıs döneminde, daha çok kuyu suyu kaynaklarında son derece yüksek As konsantrasyonlarının ($391.14 \mu g / L$ 'ye kadar) çalışma alanının orta, doğu, güney ve güneybatı kısımları çevresinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.13 e). Sazlıca, Niğde şehir merkezi, Gümüşler, Kemerhisar ve Bor'daki kuyuların çoğunun As değerleri kabul edilebilir sınır değerleri aşmaktadır. Aralık döneminde, As konsantrasyonu bazı kuyularda $43 \mu g/L$ 'ye kadar çıkmaktadır. Aralık dönemindeki bu değişim Niğde bölgesinin sadece orta, doğu ve güney kısımlarıyla sınırlı kalmıştır (Şekil 3.13f). Aralıkta kuyulardaki As kısmi azalması, bu dönemde As taşıyıcı sülfid minerallerinin daha az çözünmesinden dolayı olabileceği düşünülmektedir.

3.4.2.24. Yeraltı suyunda ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi

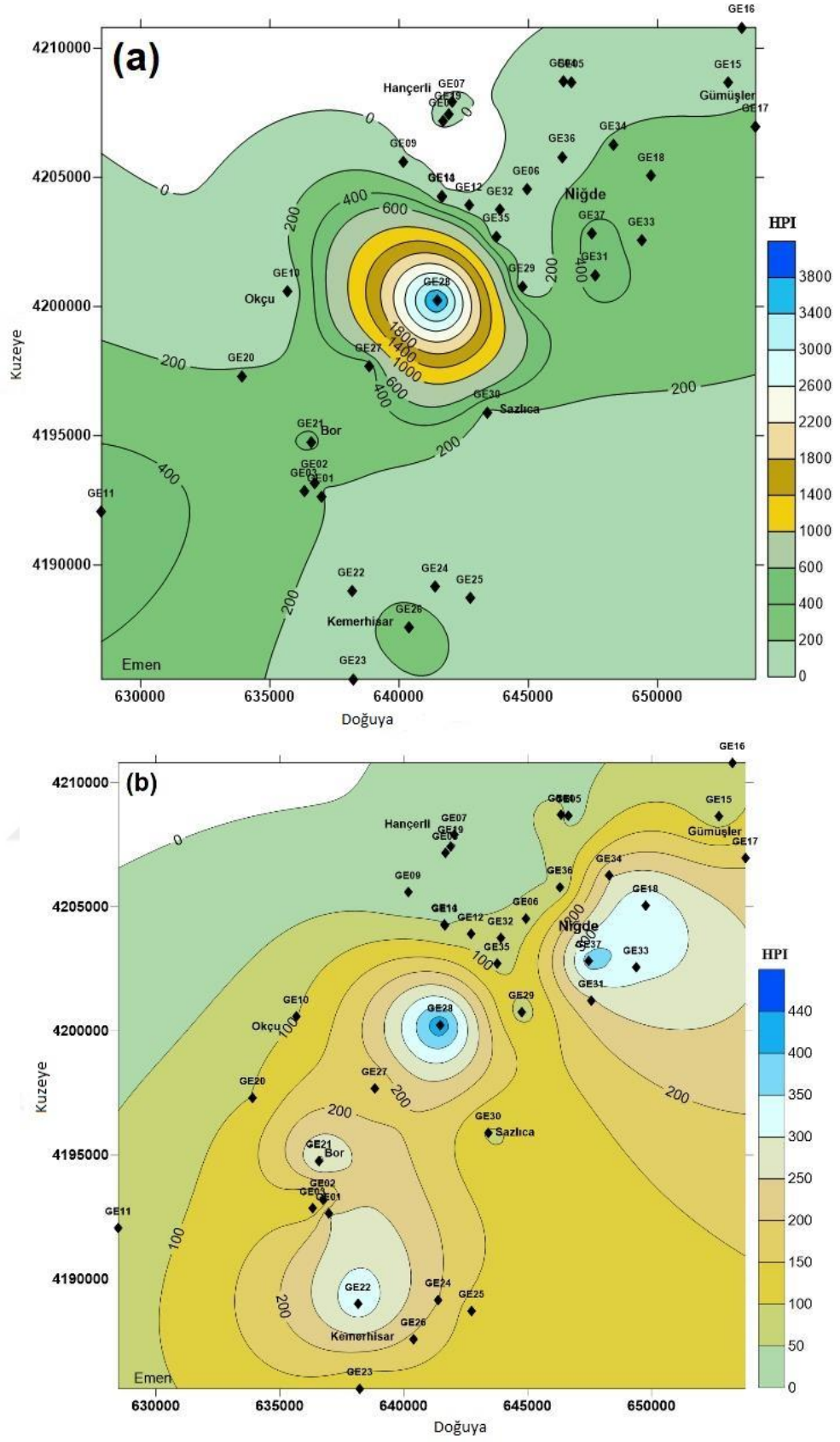
Ağır metal kirliliği endeksi (HPI), yeraltı sularındaki metal kirliliğinin seviyesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (örneğin, Lyulko vd., 2001; Ojekunle vd., 2016). HPI <200 değerlerinin kabul edilebilir olduğu söylenirken, bu değerler 200 ile 400 arasında olduğunda suların metal kirliliğinden etkilenmiş olduğu değerlendirilmektedir (Lyulko vd., 2001). Aşırı durumlarda, eğer HPI değeri > 400 ise,

araştırılan su ağır metallerden ciddi şekilde etkilenmiş, aşırı derecede kirli su olarak değerlendirilmektedir (Lyulko vd., 2001). Bu çalışmada Niğde bölgesi yeraltı sularının Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Ba, Pb, Hg ve Se için hesaplanan HPI değerleri çizelge 3.10 da verilmiştir. Mayıs döneminde toplanan örnekler 10-3940 aralığında olup, numunelerin% 41'i kabul edilebilir kirlilik derecelerine sahip (<400) ciddi şekilde kirli olarak sınıflandırılmıştır. Aksine, Aralık döneminde alınan örnekler ise HPI değerleri 6 ila 446 arasında değişen kısmen daha düşük HPI değerlerine sahiptir, bu dönemde örneklerin yalnızca %27'si ciddi şekilde kirlenmiş, etkilenmiş kategoriye girmektedir (Çizelge 3.10). Ciddi şekilde etkilenen yeraltı suları, Bor, Niğde ve Gümüşler bölgesinin sanayi bölgelerinde aktif kuyulardan toplanmıştır (Şekil 14a ve b). Ancak, ilkbahar mevsiminde son derece yüksek HPI değerine (3940) ve sonbahar mevsiminde yüksek HPI değerine (446) sahip kuyu (GE 28), ağır metal yüklemesinin olduğu anlamına gelen Akkaya barajına yakındır (Şekil 3.14; şekil 3.1). Korkanç vd. (2017)'nin çalışmaları ile tutarlı olarak yer altı suları karasu deresi ve Akkaya baraj sularından etkilenmiş olabilir. Daha yüksek HPI değerleri, evsel atık, belediye kanalizasyonu ve endüstriyel atık suları gibi antropojenik faaliyetlerin yoğunluğundan ve kuyu suyu kaynaklarının çevresindeki doğal jeojenik kaynaklardan da kaynaklanmış olabilir. Bununla birlikte, numunelerin çoğunda gözlenen düşük HPI değerleri, Reza ve Singh (2010) tarafından önerildiği gibi süzülme ve sızıntının bir sonucu olarak seyreltme etkisine bağlanmaktadır. İlkbahar mevsiminde toplanan örneklerin yaklaşık %50'sinde ve sonbahar mevsiminde toplanan örneklerin%32'sinde olduğu gibi HPI değerleri 100 kritik değerine göre, evsel su temini için kullanılabilecek bu kuyular kritik seviyenin üzerindedirler. Genel olarak, yüksek HPI değerlerine sahip kuyular, ev içi amaçlar için kullanan insanlarda ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir ve bu nedenle kullanımdan önce uygun yöntemlerle ağır metal giderimi özellikle As için yapılmalıdır.

3.4.2.25. Yeraltı suyunda toplam metal kirliliğinin değerlendirilmesi

Metal kirliliği endeksi (MPI), ağır metallerin halk sağlığı üzerindeki olası toplam etkisini vurgulayan yeraltı sularında metal kirliliğinin izlenmesinde kullanılan güvenilir endekslerden biridir (Lyulko vd., 2001; Ojekunle vd., 2016). Lyulko vd., (2001), MPI değerleri <0.3, suyun ağır metal bakımından çok temiz olduğunu, MPI değerlerinin 0.3 ve 2.0 arasında olduğunda suyun saf olduğunu, 2.0 ve 4.0 arasındaki MPI değerlerinin suyun metal kirliliğinden etkilendiğini ve 4.0 puanın üzerindeki MPI değerlerinin ise

suların aşırı derecede metallerce kirlenmiş olduğunu ifade eden göstergelerdir. İnceleme alanından Mayıs döneminde toplanan örnekler için hesaplanan MPI değerleri, ortalama 2.8 değerle 0.1-39.4 arasında değişmektedirler (Çizelge 3.10). Bu örneklerin yaklaşık %41'i, HPI değerlerinin yüksek olduğu sularda olduğu gibi, metal kirliliğinden ciddi şekilde etkilendiği tespit edilmiştir (Çizelge 3.10). Benzer şekilde, Aralık döneminde alınan örneklerde hesaplanan MPI değerlerine bakıldığında ise örneklerin %10'u, ciddi şekilde etkilenmiş olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.10). Bu numuneler için hesaplanan MPI değerleri ortalama 1,4 değerle 0,1 - 4,5 arasındadır (Çizelge 3.10). Her iki dönemde hesaplanan daha yüksek MPI değerleri, Antropojenik aktivitelerin yeraltı suyundaki metal zenginleştirmesine önemli katkılar olduğunu gösteren, Bor sanayi bölgesi, Niğde ve Gümüşler bölgesinden toplanan kuyu suyu örneklerinde de gözlenmektedir (Şekil 3.14 a ve b). Düşük MPI değerleri, Okçu, Hançerli, Koyunlu ve Yeşilburç köyleri çevresinde toplanan kuyu ve kaynak suyu örneklerinde gözlenmektedir (Şekil 3.1), buradaki sularının evsel ve tarımsal amaçlar için saf ve güvenle kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, daha yüksek arsenik (As) değerleri, antropojenik ve doğal kaynakların etkileşimi veya kombinasyonuna bağlanabilir.



Şekil 3.14 Yeraltı sularındaki kirlilik endeksinin (HPI) mekansal dağılımı (a) Mayıs dönemi (b) Aralık dönemi

3.4.2.26. Yeraltı suyunda arseniğin kökeni

Yeraltı suyunda genel olarak Arseniğin artmasına yol açan antropojenik kaynaklara ahşap koruyucular, çeşitli pestisitler, cam üretiminde kullanılan kimyasallar vb örnek gösterilebilir. Bu tür antropojenik kaynaklar izlenebilir ve önlem alınabilir nitelikte kaynaklardır. Ancak, doğadan kaynaklanan, yani jeojenik yollardan türeyen As kirliliğinin yönetilmesi ve kaynağının tam olarak belirlenmesi oldukça zordur. As, doğal olarak oluşan As içeren realgar, orpiment, arsenopirit gibi birincil sülfid minerallerinin, pH, sıcaklık, hidroliz, minerallerin CO₂/H₂O ile reaktivitesi ve redoks koşulları gibi kimyasal faktörlerle kontrol edilen (Ahuja 2008) reaksiyonlar sonucu bu minerallerin ayrışmasından kaynaklanabilmektedir.

Yeraltı suyunda yüksek miktardaki arsenik seviyesi, şeyl ve kömür gibi tortul kayaçların bölgedeki bolluğuna da bağlı olabilir (Ahuja 2008). As'ın kirlenmesinin önde gelen doğal kaynaklarından bir diğeri ise, yüksek arsenik içeren ve güncel hidrotermal sistem olarak nitendirilebilecek jeotermal sulardır (Ahuja 2008).

Yeraltı sularının As bakımından kirliliği üzerine yapılan çeşitli araştırmalar ABD (Benson ve Spencer 1983), Gana (Smedley ve diğerleri 1996), Bangladeş (Nickson vd., 2000; van Geen vd., 2003), Hindistan (Dowling vd, 2002) gibi ülkelerde alüvyonlu akifer sistemlerinde As kirliliğine işaret edilmektedir. Vietnam, Tayvan, Çin, Macaristan, Romanya, Almanya, İspanya, İngiltere (Nordstrom, 2002), Kanada (Mukherjee vd, 2006), Afganistan (Nriagu vd., 2007), Pakistan (Khan ve Ho, 2011) ve Finlandiya (Bundschuh vd., 2012). Bu ülkelerin çoğunda yer altı su kaynaklarının As değerleri bu çalışmada belirlenen değerlerle örtüşmektedir (Çizelge 3.11). Ayrıca, bu çalışmalarda açıklanan alüviyal akiferlerde As mobilizasyonu, Türkiye'deki Niğde ilinin senaryosundan farklı değildir. Niğde ilinin ana akiferleri, Kuaterner alüvyon çökeltilerinde barındırılmaktadır ve As mobilizasyonu, esas olarak As-taşıyan mineral ve kayaçların kimyasal ayrışması ile bağlantılıdır. Bu nedenle yeraltı sularının içerdiği yüksek Arsenik, inceleme alanındaki yüzey sularından itibaren kimyasal ayrışma yoluyla mobilizasyondan kaynaklanmış olabilir.

Çizelge 3.10 Yeraltı suyunda hesaplanan ağır metal kirliliği (HPI) ve metal kirliliği (MPI) endeksleri ve kabul edilebilir sınırlardan sapma değerleri

Season	Wet season						Dry season					
Sample	HPI	KD Sapma %	MPI	Deviation %	Cd	Deviation %	HPI	KD Sapma %	MPI	Deviation %	Cd	Deviation %
GE01	204	104	2.0	-0.8	-10	-0.7	254	154	2.5	1.1	-9	1.1
GE02	204	104	2.0	-0.8	-10	-0.7	104	4	1.0	-0.4	-11	-0.4
GE03	300	200	3.0	0.2	-9	0.2	106	6	1.1	-0.4	-11	-0.4
GE04	69	-31	0.7	-2.1	-11	-2.1	68	-32	0.7	-0.8	-11	-0.8
GE05	23	-77	0.2	-2.6	-12	-2.5	24	-76	0.2	-1.2	-12	-1.2
GE06	117	17	1.2	-1.6	-11	-1.6	74	-26	0.7	-0.7	-11	-0.7
GE07	10	-90	0.1	-2.7	-12	-2.7	42	-58	0.4	-1.0	-12	-1.0
GE08	13	-87	0.1	-2.7	-12	-2.6	16	-84	0.2	-1.3	-12	-1.3
GE09	23	-77	0.2	-2.6	-12	-2.5	6	-94	0.1	-1.4	-12	-1.4
GE10	34	-66	0.3	-2.5	-12	-2.4	98	-2	1.0	-0.5	-11	-0.5
GE11	534	434	5.3	2.5	-7	2.6	69	-31	0.7	-0.8	-11	-0.8
GE12	77	-23	0.8	-2.0	-11	-2.0	74	-26	0.7	-0.7	-11	-0.7
GE13	58	-42	0.6	-2.2	-11	-2.2	47	-53	0.5	-1.0	-12	-1.0
GE14	53	-47	0.5	-2.3	-11	-2.2	53	-47	0.5	-0.9	-11	-0.9
GE15	108	8	1.1	-1.7	-11	-1.7	68	-32	0.7	-0.8	-11	-0.8
GE16	87	-13	0.9	-1.9	-11	-1.9	97	-3	1.0	-0.5	-11	-0.5
GE17	263	163	2.6	-0.2	-9	-0.1	188	88	1.9	0.4	-10	0.4
GE18	339	239	3.4	0.6	-9	0.6	341	241	3.4	2.0	-9	2.0
GE19	17	-83	0.2	-2.6	-12	-2.6	54	-46	0.5	-0.9	-11	-0.9
GE20	223	123	2.2	-0.6	-10	-0.5	102	2	1.0	-0.4	-11	-0.4
GE21	442	342	4.4	1.6	-8	1.7	312	212	3.1	1.7	-9	1.7
GE22	125	25	1.3	-1.5	-11	-1.5	340	240	3.4	2.0	-9	2.0
GE23	96	-4	1.0	-1.8	-11	-1.8	104	4	1.0	-0.4	-11	-0.4
GE24	93	-7	0.9	-1.9	-11	-1.8	201	101	2.0	0.6	-10	0.6
GE25	110	10	1.1	-1.7	-11	-1.7	128	28	1.3	-0.2	-11	-0.2
GE26	309	209	3.1	0.3	-9	0.3	189	89	1.9	0.5	-10	0.5
GE27	284	184	2.8	0.0	-9	0.1	155	55	1.6	0.1	-10	0.1
GE28	3940	3840	39.4	36.6	27	36.6	446	346	4.5	3.0	-8	3.0
GE29	66	-34	0.7	-2.1	-11	-2.1	74	-26	0.7	-0.7	-11	-0.7
GE30	153	53	1.5	-1.3	-10	-1.2	93	-7	0.9	-0.5	-11	-0.5
GE31	517	417	5.2	2.4	-7	2.4	243	143	2.4	1.0	-10	1.0
GE32	141	41	1.4	-1.4	-11	-1.3	72	-28	0.7	-0.7	-11	-0.7
GE33	303	203	3.0	0.2	-9	0.3	313	213	3.1	1.7	-9	1.7
GE34	236	136	2.4	-0.4	-10	-0.4	244	144	2.4	1.0	-10	1.0
GE35	75	-25	0.7	-2.1	-11	-2.0	83	-17	0.8	-0.6	-11	-0.6
GE36	79	-21	0.8	-2.0	-11	-2.0	60	-40	0.6	-0.8	-11	-0.8
GE37	473	373	4.7	1.9	-7	2.0	379	279	3.8	2.4	-8	2.4
Average			2.8		-9.2				1.4		-11	
Acceptable	<200		0.3-2.0		<40		<200		0.3-2.0		<40	
Affected	200-400		2.0-4.0		40-80		200-400		2.0-4.0		40-80	
Seriously affected	>400		4.0-		>80		>400		4.0-		>80	

HPI = Ağır metal kirlilik indeksi, MPI = Metal kirlilik indeksi, Cd = Kirlilik derecesi

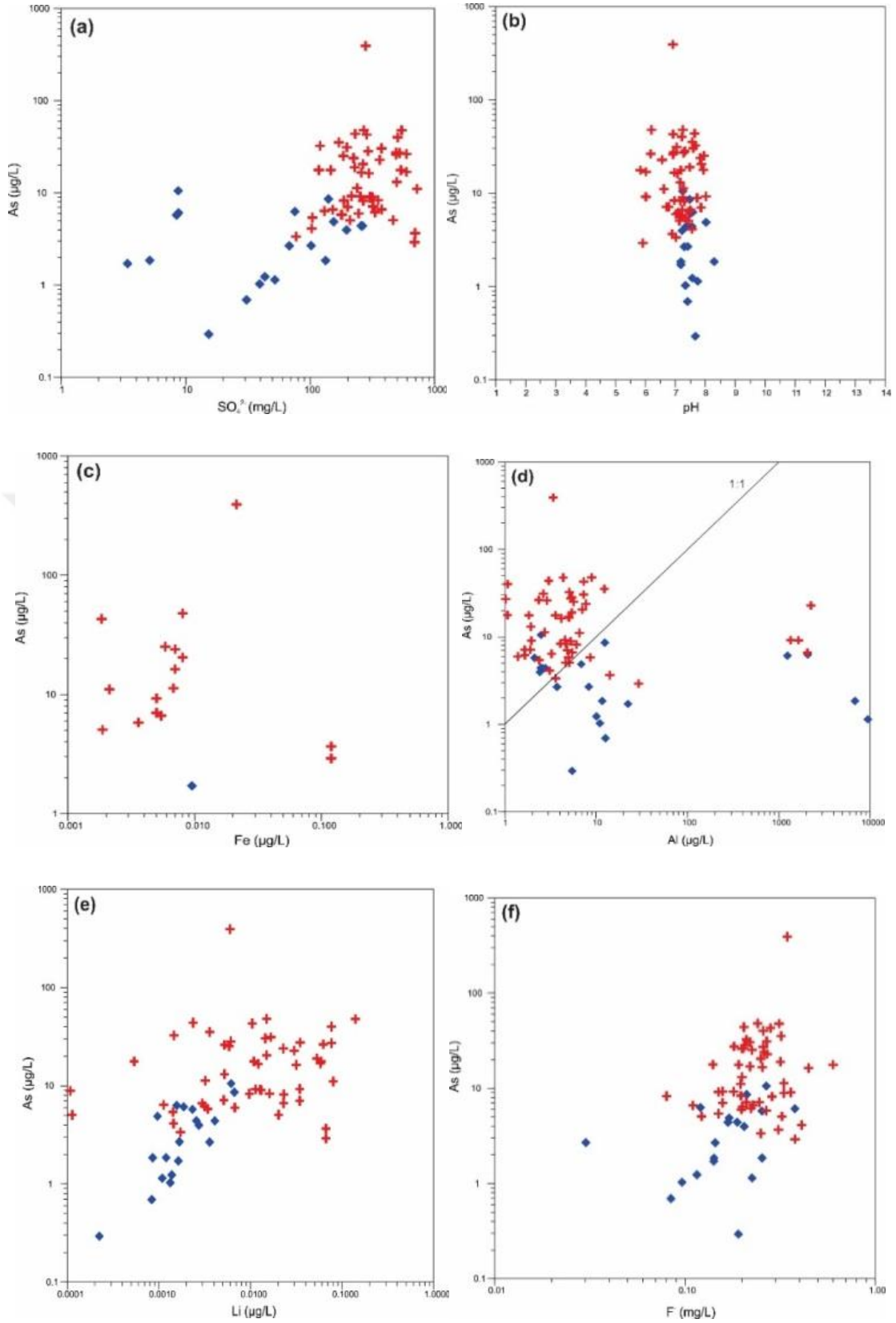
Aneorobik koşulların yoğunluğundan dolayı, bazı kaynaklarda As değerlerinin az olması, Fe (III) ve Mn(IV)'ün yüzey suyu kaynaklarından çözünmüş arseniği yeraltı sularında bahsi geçen elementlerin oksidasyonları tarafından adsorbe ettiği düşünülmektedir (Nath vd., 2008).

Bununla birlikte, alüvyal akiferlerde anaerobik koşulların azalması üzerine azalan Fe, arseniği absorbe edemeyeceğinden, yeraltı suyunda yüksek seviyelerde arsenik seviyesinin artmasına neden olabilir. Yeraltı suyunda bir diğer olası arsenik kaynağı olan pirit, kalkopirit ve arsenopirit gibi sülfid minerallerinin oksidasyonudur. İnceleme alanında sülfid oksidasyon ürünleri üzerine yapılan herhangi bir araştırma literatürde yoktur, ancak Fe (III) oksitler, ferrik arsenat ve sülfür oksidasyonunun birincil reaksiyon ürünlerinden kaynaklı As kirliliğinin yaygın olduğu farklı ortamlardaki çalışmalarda mevcuttur (Smedley vd., 2007). As ve SO_4^{2-} arasındaki pozitif korelasyon, ikisinin ortak bir sülfid kaynağından kaynaklandığını da düşündürmektedir (Şekil 3.15 a). Genel olarak, yüksek As konsantrasyonları ($> 10 \mu\text{g} / \text{L}$), yüksek SO_4^{2-} konsantrasyonlu ($> 400 \text{ mg/L}$) yeraltı suyu örnekleri ile ilişkili görünmektedir (Çizelge 3.1). Ancak jeokimyasal süreçler As- SO_4^{2-} ilişkisinde, silikat ve karbonat çözünmesi nedeniyle çözelti suyun pH'nın tamponlanması nedeniyle bazı örnekleme noktalarında yer altı suları As daha zengin hale de gelmiş olabilir. As, Al ve Fe oksitleri içeren sekonder oksitler için güçlü bir afiniteye sahip olduğu iyi bilinmektedir (Dixit ve Hering 2003). Bu durum, suların nötr pH'a yakın olduğu, SO_4^{2-} değerlerinin yüksek olan ortamlarda oksitlerin absorbe ettiği As tekrar salınmış olabileceği düşündürmektedir (Şekil 3.15b).

Çizelge 3.11 Bu çalışmayla karşılaştırılabilir küresel yeraltı suyu arsenik kirliliği değerleri

Ülke	Yer	Yeraltı suyu As değeri ($\mu\text{g/L}$)	Referans
Afghanistan	Ghazni	10-500	Nriagu et al. (2007)
Bangladesh	Dhaka city	10-332	Nickson et al. (2000)
Canada	Nova Scotia (Halifax county)	1.5-738.8	Mukherjee et al. (2006)
China	Xinjiang, Shanxi	40-750	Nordstrom (2002)
Finland	Southwest (Fairbanks)	17-980	Bundschuh et al. (2012)
Germany	-	$< 10-150$	Nordstrom (2002)
Ghana	Obuasi (Ashanti region)	$< 2-64$	Smedley et al. (1996)
Hungary, Romania	-	$< 2-176$	Nordstrom (2002)
Japan	Fukuoka Prefecture (Southern region)	1-293	Nordstrom (2002)
India	West Bengal	Up to 250	Dowling et al. (2002)
Mexico	Lagunera	8-620	
Pakistan	Muzaffargarh (Southwest Punjab)	Up to 906	Khan and Ho (2011)
Spain	-	$< 1-100$	Nordstrom (2002)
UK	Southwest England	$< 1-80$	Nordstrom (2002)
USA	Sierra Nevada	0.20-264	Benson and Spencer (1983)
Türkiye	Niğde Bölgesi	5.5- 391.4	Bu çalışma

Fe ve As arasındaki pozitif korelasyon (Ek çizelge 3; Şekil 3.15 c), çalışma alanındaki As-zengin minerallerin As-adsorpsiyondan sorumlu Fe-oksitlere yakın olduklarını ve aynı kaynaktan geldiklerini açıkça göstermektedir. Bununla birlikte, eğer As Al-oksitler tarafından adsorbe edilmiş olsaydı, As ve Al arasında pozitif bir korelasyon gözlenirdi (Şekil 3.15 d). Ancak, örneklerin bir kısmı, Şekil 3.15 d'deki 1:1 çizgisi boyunca ve yakınında gözlendiğinden, bu da Al-oksitlerin de As adsorbe ettiği ve yer altı suyuna saldığı anlamına gelebilir. Yüksek As konsantrasyonları olan örneklerde, kabul edilebilir sınırların üstünde olmasa da, bazı diğer iz elementlerden, özellikle yüksek Li ve F⁻ nin konsantrasyonları tespit edildi. As ve bu elementler arasında yeraltı sularında gözlenen pozitif korelasyon (Ek çizelge 3; Şekil 3.15 e, f) görülmesi, bu elementlerin aynı kaynaktan türediklerine işaret etmektedir.



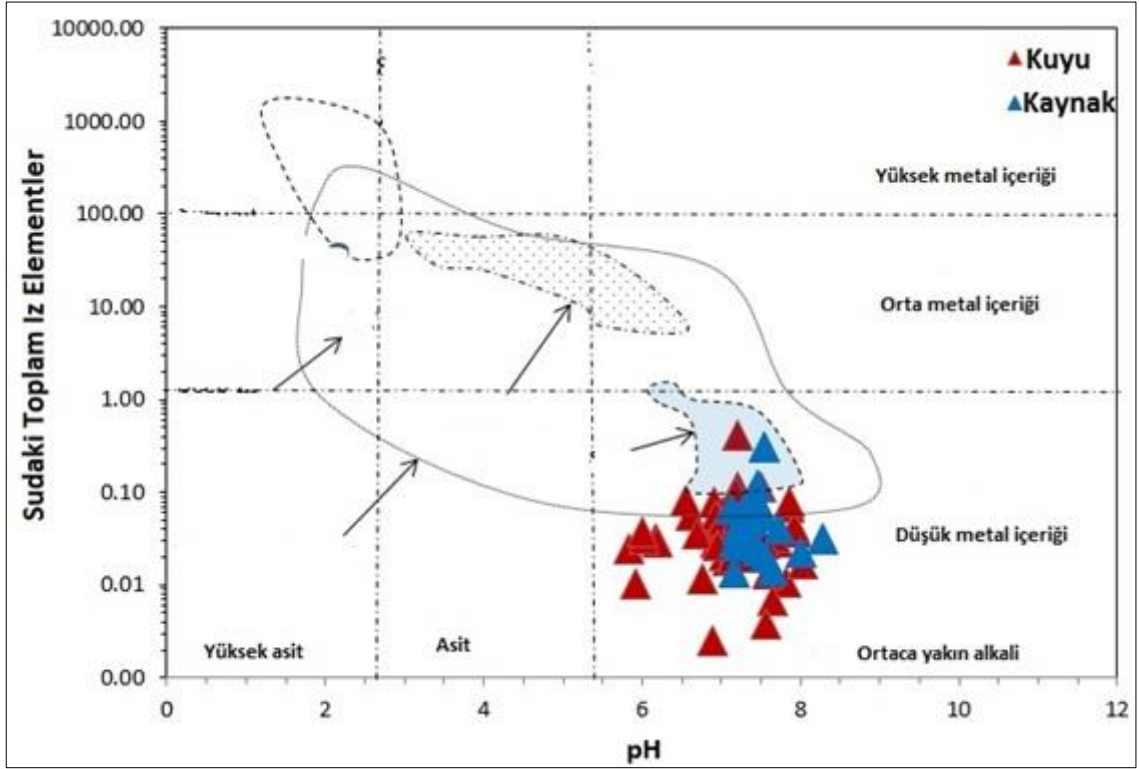
Şekil 3.15 Bazı kimyasal parametrelerle arseniklerin değişimi grafikleri (a) As - SO_4^{2-} , (b) As vs pH, (c) As-Fe, (d) As-Al, (e) As-Li ve (f) As-F⁻

Yeraltı sularındaki arsenik (As), güçlü pozitif korelasyon nedeniyle Mo ile de iyi bir ilişki göstermektedir ($r = 0.87$) (ek çizelge 3). Her iki mevsimdeki Mo konsantrasyonları $12 \mu\text{g /L}$ 'den azdır. Smedley vd., (2007), Mo, molibdenitin (MoS_2), bir sülfid minerali ve tercihen Fe oksitler tarafından adsorbe edilen ve yer altı suyunda Mo mobilizasyonunu kontrol eden önemli bir bileşendir. Hidrotermal sistemlerde, yaygın sülfid mineralleri genellikle kalkopirit (CuFeS_2), arsenopirit (FeAsS), galena (PbS), sfalerit (ZnS), hematit (Fe_2O_3) ve marcasit (FeS_2) 'dir (Guilbert ve Park 2007). Çalışma alanında bu mineralleri içeren hidrotermal aktivitelerin yoğunluğu göz önüne alındığında, hidrotermal alterasyon, bölgedeki ortak bir aktivitedir ve bu, bazı örnek lokasyonlarının çevresinde özellikle içmecelerde keskin bir kükürt kokusu ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle demir ve kükürt oksidasyonu ayrıca arsenik kirlenmesinde ve yer altı sularında Pb ve Zn gibi bazı eser elementlerin bolluğunda kritik bir rol oynamış olabilir.

Çalışma alanının kuzeydoğu bölgesinde yer alan, Toroslarda Pb ve Zn yataklarından çıkarılan ve Aktaş bölgesinde faaliyet gösteren flotasyon tesisleri, yeraltı sularındaki As, Pb ve Zn yüklerinin kaynağı olabilir. Ayrıca, Rasih-Ihsan yatağında Sb-Hg-W-Ba-Au damar tipi yataklar ve ilişkili Ba-Sb cevherleşmeleri, Gümüşler bölgesi Mehmetler Yurdu Sivrisi Tepe'de (MYST) bulunan Hg-Sb-Au barındıran breşik kayaçlar (Akçay 1994) ve bunların ayrışmasına bağlı olarak yer altı sularında yükselen As elemntinin kaynağı olabilirler. Bu tür cevherler, amorf Fe-Mn arsenatlar, goetit, hematit ve arsenopirit dahil ikincil mineralleri içermektedirler (Smedley vd., 2007). Fe-Mn arsenatları ve arsenopirit, asidik ortamlar altında nispeten dengesizdir ve genellikle Fe oksitler oluşturmak üzere uyumsuz bir şekilde çözünürler. Alandaki eski madenlerin yeraltı suyu kimyası üzerindeki etkisini anlamak için Ficklen diyagramı kullanılmıştır. Ficklin diyagramı, bir alanın tamponlama kapasitesini ve madencilik faaliyetleri sırasında salınan ilgili eser elementlerin konsantrasyonlarını belirlemede kullanılabilir (Caron vd., 2008). Suyun pH'ının toplam iz element konsantrasyonuna karşı grafiklenmesiyle elde edilir. Ficklin diyagramında, analiz edilen tüm yeraltı suyu örneklerinin neredeyse tamamı nötr-düşük metal içeriği alanına düşmektedir (Şekil 3. 16). Bu, yeraltı suyunun düşük-orta tamponlama kapasitesinin ve yeraltı sularının düşük baz metal içeriğinin bir sonucu olarak yorumlanmalıdır. Bu nedenle, madenlerin yer altı suyu kimyası üzerinde sınırlı kontrol sahibi olduğu söylenebilir.

Niğde İli'ndeki alüvyonlu akifer sistemi, bol miktarda organik malzeme, bitki kalıntıları ve sık gölsel ortamda oluşmuş karbonatlı seviyeler içermektedir (Çelik ve Afşin 1998).

Bu tortul kayçlar, geniş yüzey alanlarına sahip olduklarından As tutabilirler. İnceleme alanında yapılan birçok çalışma, bölgedeki sedimanların yüksek As içerdiğini anlaşılmaktadır (Yalçın vd., 2007, 5.5 - 345.3 mg/kg ve Keskin, 2012, 5.7 - 257.7 mg/kg). Bu nedenle, ildeki sedimanlarda belirlenen yüksek As konsantrasyonları, As'ın tortular tarafından absorbe edildiği ve muhtemelen yüzey sularının vasıtasıyla yeraltı suyuna salındığına dair yeterli kanıtlardır.

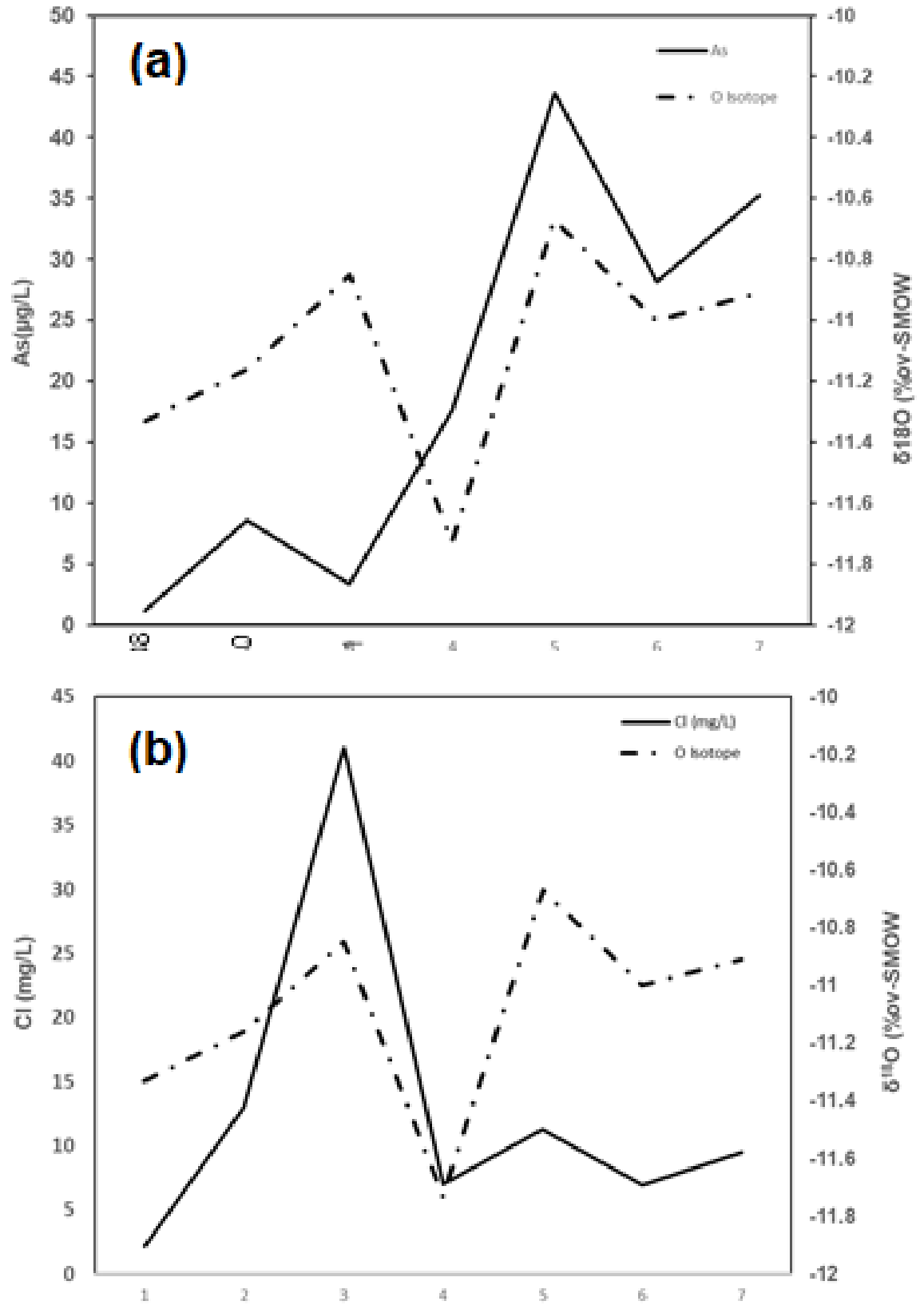


Şekil 3.16 Toplam iz element konsantrasyonlarına karşı yeraltı suyunun pH değeri (Ficklin diyagramı).

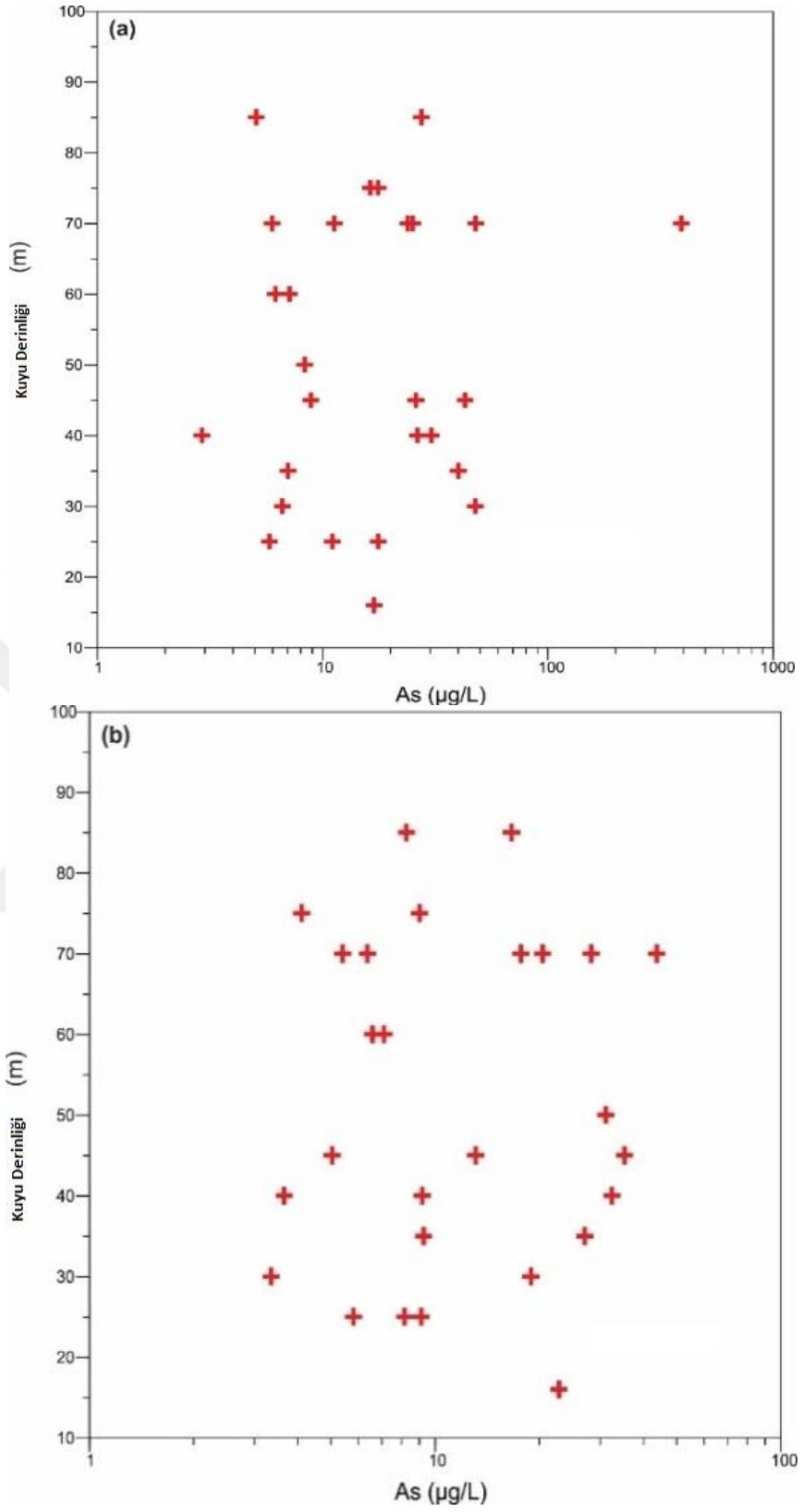
Kararlı izotop çalışmaları, bölgedeki yoğun volkanik faaliyetler yoluyla derin dolaşım sınırlarının göçü gibi olası bir başka As kaynağına da ışık tutabilirler. Diğer yandan volkanik ve diğer kayaç grupları NFZ (Niğde Fay Zonu) gibi tektonik yapılar göz önüne alındığında yoğun tektonik faaliyetlere maruz kaldığı varsayılmalıdır. As, çalışma alanının orta ve güney kısımlarında tektonik fay zonlarında gözlenen ayrışma ve / veya hidrotermal alterasyonun bir sonucu olarak volkanik faaliyetlerden de kaynaklanmış olabilir. Bölgedeki genç volkanik kayaçlar, Düven tepe gibi fay zonlarını takip ederek yüzeylenmiş olan parazit volkanik konilerin varlığı, faylar boyunca derinlere sızan yer altı sularının sıcaklığının artmasına bağlı olarak volkanitlerden ve

yukarıda sözü edilen kayaçlardan çözmüş olduğu arseniği alüvon akifere taşımasıyla sonuçlanmış olması kuvvetle muhtemeldir (Şekil 3.1). $As-^{18}O$ ve $Cl-^{18}O$ (Şekil 3.17 a, b) arasındaki meteorik su ile olan ilişkisi, arseniğin muhtemelen bir klorit kompleksi olarak Cl ile taşındığını ve tahliye sırasında kısmen buharlaşmadan da etkilendiğini göstermektedir (Taheri vd., 2017). Bölgenin güneyindeki jeotermal sular ve o bölgedeki yeraltı sularındaki arsenik kirliliği için de benzer şeyler söylenebilir. Jeotermal sularda olduğu gibi, As, daha az kararlı formdan (+3) yeraltı sularındaki en kararlı forma (+5) oksitlenebilir. Bu nedenle, bölgedeki jeotermal akışkanlarla yeraltı sularının karışımı, sülfat minerallerinin çözünmesi, yeraltı suyunun asidik doğası, bölgedeki jeotermal alanların etrafındaki yeraltı sularında yüksek arsenik konsantrasyonu olması dikkate alınması gereken bir durumdur (Şekil 3.13).

İnceleme alanındaki kuyu suyu örnekleri, kaynak suyu örneklerinden daha yüksek As içerirler. Kuyuların derinliği arttıkça, As konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.18 a, b). Genel olarak bakıldığında 65 m derinliğin üzerindeki kuyuların çoğunun As ($> 10 \mu g/L$) bakımında ciddi şekilde kirli olduğu ve derinlik artışına bağlı olarak As miktarının da arttığı görülmektedir (Şekil 3.18). Bu durum, derin kuyu sularının akiferde daha uzun kalma süreleri, derin dolaşım ve su-kaya etkileşim ile ancak açıklanabilir.



Şekil 3.17 As, Cl ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasındaki ilişki, (a) As - $\delta^{18}\text{O}$ (b) Cl - $\delta^{18}\text{O}$



Şekil 3.18 (a) Mayıs ve (b) Aralık dönemi için yeraltı suyunda arseniğin derinliğe göre değişimi.

3.4.2.27. Arsenik için alınması gereken önlemler

Niğde ilinde kuyu suyu kaynaklarında yüksek As konsantrasyonlarının tespiti nispeten yenidir ve az ya da çok özellikle yeraltı sularında tespit edilmiştir. Bu nedenle, ildeki arsenik giderimi olarak teknik bilgi neredeyse hiç bilinmemektedir. Bununla birlikte, Bangladeş gibi dünyanın her yerindeki yerel bölgelerdeki deneyimler, Niğde yeraltı suyundaki As kirliliği ile başa çıkmak için yararlı stratejiler sunmaktadır. En başarılı sonuç elde edilmiş bazı uygulamalar şöyle sıralanabilir: Şu anda Bangladeş'te sularda As azaltma önlemleri olarak, suyun ferrik klorür (veya alum) ile pıhtılaştırılması, kullanımdan önce yoğun filtrasyon yapılması, demir oksit kaplı kum veya demire doymuş kum kullanılmasıyla elimine edilmesi, işlenmiş zeolitlerin adsorpsiyonu ve sıfır değerli demire doğrudan adsorpsiyon (Ahuja 2008) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ahuja'ya (2008), yeraltı suyunda arsenik kirlenmesi konulu çalışmasında, içme suyunda olduğu gibi, doğrudan arseniği adsorbe etmek için kömürle çalışan farklı iyileştirme yöntemleri de önermektedir. Bu önlemlerin Niğde İlinde bulunan kirli kuyular çevresinde uygun şekilde uygulanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Alternatif olarak, Pınar suyu kaynakları çok düşük As konsantrasyonlarına sahip olduklarından ve sağlık riski oluşturmadıklarından, potansiyel içme suyu kaynakları olabilirler. Bununla birlikte, kaynak sularının beslenme alanları antropojenik etkilerden korunarak, düşük verimde olsa bile kullanılabileceği, kaynak suyu kaynakları etrafındaki sıhhi koşulların artırılması, yer altı suyunu tehdit eden faaliyetlerin (sanayi ve madencilikten kaynaklı atık suların yeraltına şarjı), azaltılması bir başka çözüm yolu olacaktır.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Niğde Bölgesinde jeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik çalışmaların eşliğinde içme ve kullanma sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi, su-kayaç etkileşimi, su kalitesinin incelenmesi ve elde edilecek bulgular yardımıyla içilebilirlik değerlendirilmesinin yapılması, içme suyu kalitesinin yağışlı ve kurak dönemlerde zamansal değişimi, izotop jeokimyasal çalışmalarla bölgede bulunan kuyu ve kaynak sularının kökeninin ve yaş ilişkilerinin ortaya konması amaçlanmıştır; bu amaç doğrultusunda kaynak ve kuyu sularının fiziksel, kimyasal, izotopik özellikleri ve kirlilik parametreleri tespit edilmiş, kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak kaynak ve kuyu sularının su kalitesi sınıflaması yapılmış ve suların fiziksel, kimyasal ve kirlilik parametrelerine göre kalite sınıfları belirlenerek elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- 1) Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularında Mayıs dönemi sıcaklık değerleri 15,13-19,60 °C arasında değişmekte, aralık döneminde ise 12,30-16,30 °C arasında değişiklik göstermektedir. Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı sularında Mayıs dönemi sıcaklık değerleri 12,50-23,30 °C arasında değişmekte, aralık döneminde ise 12,80-22,00 °C arasında değişiklik göstermektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre Niğde bölgesindeki kaynak ve yeraltı sularının sıcaklık değerlerinin uygun sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir.
- 2) Çalışma alanında Mayıs döneminde örneklenen yeraltı sularının EC değerleri 214,6-1178,0 µS/cm arasında değişirken aralık döneminde yeraltı sularının EC değerleri 213,0-1013,9 µS/cm arasında değişiklik göstermiştir. Bu aralığın farklı olmasının sebebi suların su-kayaç temas sürelerinin farklı olması veya suların izlediği yol boyunca çözünürlükleri ve iyon içerikleri farklı kayalarla temas etmesi olduğu söylenebilir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre Niğde bölgesindeki kaynak ve yeraltı sularının EC değerlerinin uygun sınırlar içerisinde olduğu belirlenmiştir.
- 3) Niğde bölgesinde Mayıs döneminde örneklenen yeraltı sularında pH değerleri 5,83- 7,83 arasında, kaynak sularında ise 7,13-7,55 arasında ölçülmüştür. Aynı

Çalışma alanında aralık döneminde örneklenen yeraltı sularında pH değerleri 6,0-7,50 arasında, kaynak sularında ise 7,21-8,28 arasında llmüştür. Çalışma alanındaki yeraltı sularından mayıs döneminde GE01(Yeni Sanayi Sitesi Bor). GE02(Eski tabakhane içerisi Bor), GE03(Eski tabakhane ilerisi Bor), GE11(Bor Organize Sanayi Bölgesi), GE29(Niğde evreyolu Sungurbey Koleji Arkası) lokasyonlarından alınan örneklerde PH değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre değerlendirildiğinde pH değerleri açısından uygun olmadığı tespit edilmiştir. Diğer dönem ve lokasyonlardan alınan su örneklerinin pH değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre değerlendirildiğinde pH değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

- 4) Niğde bölgesine örneklenen yeraltı sularının DO (mg/l) değerleri mayıs döneminde 4,04-8,38 (mg/l), aralık döneminde ise 6,89-8,02 (mg/l) arasında değişmektedir. Niğde bölgesine örneklenen kaynak sularının DO (mg/l) değerleri mayıs döneminde 6,94-8,83 (mg/l), aralık döneminde ise 7,01-8,65 (mg/l) arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir.
- 5) Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı sularının sertlik değerleri mayıs ayında 136,96 - 726,69, aralık ayında 100,35-634,93 CaCO₃/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının sertlik değerleri mayıs ayında 28,22-269,93, aralık ayında 23,29-269,76 CaCO₃/l arasında değişmektedir.
- 6) Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının HCO₃⁻ değerleri mayıs ayında 179,21-890,68 mg/l, aralık ayında -0,02 – 630,83 mg/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının HCO₃⁻ değerleri mayıs ayında 36,53-299,86 mg/l, aralık ayında 5,03-301,07 mg/l arasında değişmektedir.
- 7) Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının Cl⁻ değeri mayıs ayında 4,0-87,2 mg/l, aralık ayında 1,2-58,9 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının Cl⁻ değeri mayıs ayında 1,4-12,9 mg/l, aralık ayında 1,74-15,01 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre Niğde bölgesinde örneklenen yer altı ve kaynak sularının mayıs ve aralık dönemlerindeki Cl⁻ değerleri uygun sınırlar içerisindedir.
- 8) Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının So₄²⁻ değerleri mayıs ayında 146,07-717,86 mg/l, aralık ayında 76,82-684,55 mg/l arasında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının So₄²⁻

değerleri mayıs ayında 3,38-261,49 mg/l, aralık ayında 5,09-258,34 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre SO_4^{2-} değerlerinin Niğde bölgesinde mayıs ve aralık dönemlerinde örneklenen çeşitli lokasyonlardaki kaynak ve yer altı sularında sınır değerlerin dışında olduğu görülmüştür.

- 9) İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005), NO_3^- için önerilen en fazla değer 50 mg/l'dir. Niğde bölgesinde örneklenen yeraltı suyu NO_3^- değerleri mayıs döneminde 0,6-67,74 mg/l, aralık döneminde 0,9-94,6 mg/l arasında değişiklik göstermiştir. Niğde bölgesinde örneklenen kuyu sularında NO_3^- değerleri mayıs döneminde 3,2-11,00 mg/l, aralık döneminde 4,1-11,7 mg/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen yer altı ve kaynak sularının NO_3^- değerleri, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre değerlendirildiğinde sulardaki NO_3^- miktarlarının maksimum sınır değerini aşmadıkları görülmektedir. Ancak mayıs ve aralık dönemlerinde GE 15 lokasyonundan alınan örneklerde NO_3^- değerleri maksimum sınır değerini aştığı görülmüştür.
- 10) Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının TDS mg/l değerleri mayıs döneminde 81,69-1705,48 mg/l, aralık döneminde 70,44-983,29 mg/l arasında değişmektedir. Niğde bölgesinde örneklenen kuyu sularının TDS mg/l değerleri mayıs döneminde 86,03-696,66 mg/l, aralık döneminde 50,04-697,24 mg/l arasında değiştiği görülmüştür. Beklenildiği gibi yer altı sularının TDS değerleri kaynak sularından daha fazladır. Mayıs döneminde GE01, GE02, GE03, GE11 lokasyonlarından alınan örnekler acı su, diğer lokasyonlardan mayıs ve aralık dönemlerinde alınan tüm örnekler tatlı su olarak belirlenmiştir.
- 11) Niğde bölgesinde örneklenen yer altı sularının Na değerleri mayıs döneminde 7,84-145,65 mg/l, aralık döneminde 1,75-52,60 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Niğde bölgesinde örneklenen kaynak sularının Na değerleri mayıs döneminde 2,82-10,05 mg/l, aralık döneminde 3,04-14,70 mg/l arasında değişiklik göstermiştir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)' na göre incelenen tüm sularda Na değerleri uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.
- 12) İz element konsantrasyonlarının genel olarak kabul edilebilir kılavuz değerleri içerisinde olduğu ve As ve Pb hariç her iki dönemde de farklı olmadığı bulunmuştur. Bununla birlikte, tek yönlü ANOVA testinin sonuçlarından sadece

Al, Hg ve U Mayıs ve Aralık döneminde önemli farklılıklar göstermektedir ($p < 0.05$). Arsenik (As), WHO ve TSE-266'nın Mayıs döneminde 18 örnek için (~ 50) $10 \mu\text{g} / \text{L}$ kabul edilebilir limitini aşmış, ve Aralık döneminde 12 örneğe (~ 32) düşmüştür. Bu numuneler kuyu suyu numuneleridir. Mayıs döneminde toplanan örneklerde görülen As konsantrasyonu $391.14 \mu\text{g} / \text{L}$ (Aralık: $0.69-391.14 \mu\text{g} / \text{L}$, ortalama: $24.78 \mu\text{g} / \text{L}$) kabul edilebilir sınırın otuz dokuz katı iken, Aralık döneminde maksimum konsantrasyon $43.64 \mu\text{g} / \text{L}$ 'ye düşmüştür (Aralık: $0.29-43.64 \mu\text{g} / \text{L}$, ortalama: $12.9 \mu\text{g} / \text{L}$), yine de kılavuz değerinden daha yüksek. Al konsantrasyonları, Mayıs döneminde $1.07 - 29.03 \mu\text{g} / \text{L}$ aralığında olup, Aralık döneminde $0.001 - 9.31 \mu\text{g} / \text{L}$ arasında değişen değerler tespit edilmiştir. Hem Mayıs hem de Aralık dönemindeki Pb konsantrasyonları, Sonbahar mevsiminde $50 \mu\text{g} / \text{L}$ kılavuz değerinin üzerinde sadece bir numune ile sırasıyla $0.09 - 1.5 \mu\text{g} / \text{L}$ ve $0.01 - 69.6 \mu\text{g} / \text{L}$ aralığındadır. Cu konsantrasyonları Mayıs döneminde $0.18 - 15.84 \mu\text{g} / \text{L}$ arasında değişirken, Aralık döneminde $0.11 - 11.30 \mu\text{g} / \text{L}$ arasında azalmıştır. Örneklerdeki Zn konsantrasyonu, Mayıs döneminde tespit edilen en yüksek değer olarak $405.27 \mu\text{g} / \text{L}$ ve Aralık döneminde en yüksek değer olarak $302.02 \mu\text{g} / \text{L}$ ile yüksektir.

13) Kaynak suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri v-SMOW'a göre sırasıyla -11.33 ila -11.16‰ ve -73.85 ila -73.78‰ arasında değişmektedir. Buna karşılık, kuyu suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri, v-SMOW'a göre sırasıyla -11.73 ila -10.85‰ ve -77.84 ila -72.78‰ var arasında değişmektedir. Kaynak suyu örnekleri $15.5-16.79$ arasında değişen döteryum fazlalık değerlerine sahipken, kuyu suyunun değerleri $11.59-16$ arasında olduğu görülmüştür. Kaynak suyu örneklerinin ^3H konsantrasyonları $0.63-4.73 \text{ TU}$ arasında değişirken, kuyu suları $0.00-5.40 \text{ TU}$ arasında değişen ^3H değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Yeraltı suyunun hesaplanan yaşı $9.3 \rightarrow 60.2$ yıl arasında değişmektedir.

14) Her iki dönemdeki ana iyonların kimyasından, beş (5) hidrojeokimyasal su tipi tanımlanmıştır. Bu hidrojeokimyasal fasiyesler, kuyulardaki bolluk oranına göre sırasıyla $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ (75%), Ca-HCO_3 (13%), Ca-SO_4 (8%), Ca-Mg-HCO_3 (3%) $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ (1%) olarak gözlenmiştir. $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipi, analiz edilen tüm kuyu ve kaynak suyu örneklerinde baskın olduğu görülmüştür.

Çalışma alanındaki tespit edilen yeraltı suyu tipleri, alanın genel jeolojisini yansıtmaktadır.

15) Çalışma alanında toplanan tüm su numuneleri düşük sodyum (alkali) tehlikesi ve mükemmel sulama suyuna işaret eden C1-S1, C2-S1 ve C3-S1 kategorisine girer. Toplamda, kaynak suyu örnekleri kuyu örneklerinden daha düşük tuzluluğa sahip olduklarından ($EC > 750 \mu S/cm$ olan 20 örnek olduğundan), kuyu örneklerinden sulama için en iyi seçenektirler. Bor çevresindeki eski ve yeni sanayi bölgesi, Niğde'nin batısındaki Kemerhisar, Bahçeli ve Sazlıca (Şekil 3.1), yüksek tuzluluklara sahiptir. Bu tür kuyuların sulama amacıyla kullanılması topraklara tuzluluk problemleri getirebilir. Dahası, kuyu suyu kaynaklarındaki yüksek As konsantrasyonları, sulama suyu olarak kullanılıyorsa, sulanabilir topraklar için bir tehdit oluşturabilirler. Çalışma alanındaki su kaynakları tarımsal sulama faaliyetlerinde kullanılıyorsa, topraktaki sulanabilir ürünlere aktarılabilecek olan As içeriğini artırabilir ve bu ürünlerin tüketilmesi ile çok çeşitli sağlık sorunları ile karşılaşılmasına yol açabilir.

16) Mayıs döneminde toplanan numuneler, pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen, Na^+ , K^+ (WHO 2017) ve TSE-266 (2005) seviyelerinin altındaki düşük konsantrasyonları bakımından içmek için genellikle uygundur. Aralık döneminde, fiziko-kimyasal parametreler değişiklik göstermiştir. PH, sıcaklık, TDS, çözülmüş oksijen, Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} ve F^- içme suyu için WHO ve Türkiye ulusal standart kılavuz değeri sınırları içinde kalmaktadır. Tüm iz elementlerin konsantrasyonları, mayıs döneminde olduğu gibi $> 10 \mu g / L$ konsantrasyonlarına sahip olanlar hariç, içme amaçları için kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Bor sanayi bölgesinde kuyu suyu kaynakları, Bor, Bor eski sanayi, Niğde, Niğde sanayi bölgesi, Gümüşler köyü, Bahçeli, Sazlıca, Fertek As bakımından en çok kirlenmenin olduğu alanlardır. Bu tür suların sürekli içilmesine maruz kalan kişilerin kronik hastalıklara ve çeşitli kanser türlerine yakalanmaları olasılığı mevcuttur.

17) Mayıs döneminde toplanan örneklerin yaklaşık %50'sinde ve aralık döneminde toplanan örneklerin %32'sinde olduğu gibi ağır metal kirliliği endeksi değerleri 100 kritik değerine göre, evsel su temini için kullanılabilecek bu kuyular kritik seviyenin üzerindedirler. Genel olarak, yüksek ağır metal kirliliği endeksi değerlerine sahip kuyular, yaşamsal ihtiyaçlar için kullanan insanlarda ciddi

sağlık sorunlarına neden olabilir ve bu nedenle kullanımdan önce uygun yöntemlerle ağır metal giderimi özellikle As için yapılmalıdır.

18) İnceleme alanından Mayıs döneminde toplanan örnekler için hesaplanan MPI değerleri, ortalama 2.8 değerle 0.1-39.4 arasında değişmektedirler (Çizelge 3.13). Bu örneklerin yaklaşık %41'i, HPI değerlerinin yüksek olduğu sulara olduğu gibi, metal kirliliğinden ciddi şekilde etkilendiği tespit edilmiştir (Çizelge 3.13). Benzer şekilde, Aralık döneminde alınan örneklerde hesaplanan MPI değerlerine bakıldığında ise örneklerin %10'u, ciddi şekilde etkilenmiş olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.13). Bu numuneler için hesaplanan MPI değerleri ortalama 1,4 değerle 0,1 - 4,5 arasındadır (Çizelge 3.13). Her iki dönemde hesaplanan daha yüksek MPI değerleri, Antropojenik aktivitelerin yeraltı suyundaki metal zenginleştirmesine önemli katkılar olduğunu gösteren, Bor sanayi bölgesi, Niğde ve Gümüşler bölgesinden toplanan kuyu suyu örneklerinde de gözlenmektedir (Şekil 3.16 a ve b). Düşük MPI değerleri, Okçu, Hançerli, Koyunlu ve Yeşilburç köyleri çevresinde toplanan kuyu ve kaynak suyu örneklerinde gözlenmektedir (Şekil 3.1), buradaki sularının evsel ve tarımsal amaçlar için saf ve güvenle kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, daha yüksek arsenik (As) değerleri, antropojenik ve doğal kaynakların etkileşimi veya kombinasyonuna bağlanabilir.

19) İnceleme alanındaki kuyu suyu örnekleri, kaynak suyu örneklerinden daha yüksek As içerirler. Kuyuların derinliği arttıkça, As konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu gözlenmektedir Genel olarak bakıldığında 65 m derinliğin üzerindeki kuyuların çoğunun As ($> 10 \mu\text{g/L}$) bakımında ciddi şekilde kirli olduğu ve derinlik artışına bağlı olarak As miktarının da arttığı görülmektedir. Bu durum, derin kuyu sularının akiferde daha uzun kalma süreleri, derin dolaşım ve su-kaya etkileşim ile ancak açıklanabilir.

20) Niğde ilinde kuyu suyu kaynaklarında yüksek As konsantrasyonlarının tespiti nispeten yenidir ve az ya da çok özellikle yeraltı sularında tespit edilmiştir. Niğde ilinde bulunan kirli kuyular çevresinde uygun şekilde arsenik arıtma yöntemlerinin uygulanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Alternatif olarak, kaynak suyu kaynakları çok düşük As konsantrasyonlarına sahip olduklarından ve sağlık riski oluşturmadıklarından, potansiyel içme suyu kaynakları olabilirler. Bununla birlikte, kaynak sularının beslenme alanları antropojenik etkilerden korunarak, düşük verimde olsa bile kullanılabileceği,

kaynak suyu kaynakları etrafındaki sıhhi koşulların artırılması, yer altı suyunu tehdit eden faaliyetlerin (sanayi ve madencilikten kaynaklı atık suların yeraltına şarjı), azaltılması bir başka çözüm yolu olacaktır.

- 21) Niğde bölgesinde elde veriler ve su kaynaklarının nitelik ve nicelikleri dikkate alınarak, su kaynaklarının doğru kullanılması ve korunmasına ilişkin su kaynakları yönetim planı oluşturulmalıdır.



KAYNAKÇA

Abdüsselamoğlu, S., Kayseri Adana Arasındaki Doğu Toroslar Bölgesinin Jeolojisi Hakkında Rapor”, *M.T.A. Yayınları Derleme Raporu*, Ankara, No: 3264, 38s., 1962.

Afşin, M., Canik, B., ve Notsu, K., Niğde, İç Anadolu, Türkiye 'de farklı yeraltı suyu dolaşım sistemlerinin termal ve mineral sularının hidrojeokimyası. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Çalıştayı*, Özel Yayın 5: 149-160, 2000.

Afşin, M., Allen, DM., Kirste, D., Durukan, UG., Gürel, A., ve Oruc, O., Hidrotermal yay sistemlerinde karışım işlemleri ve jeokimyasal verilerin yorumlanmasında etkileri: Türkiye'nin Kapadokya bölgesinde bir durum çalışması. *Hidrojeoloji Dergisi* 22 (1): 7-23, 2014.

Ahuja, S., Yeraltı suyunun arsenik kirliliği: mekanizma, analiz ve iyileştirme. *John Wiley & Sons*, 2008.

Ağadayı, R., Niğde Yöresi Perlit Yatakları, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 1997.

Akçay M., Gumusler bölgesindeki stibnit-kainabar-skheelit yataklarının oluşumu, Niğde, Orta Türkiye ve bunların altın potansiyeli üzerine etkileri, Doktora tezi, *Leicester Üniversitesi*, İngiltere, 1994.

Ako AA., Shimada, J., Hosono, T., Kagabu, M., Ayuk, AR., Nkeng, GE., Eyong, GET., and Takounjou ALF., Kamerun Dağı bölgesinde hidrojeokimya ile ortaya çıkan kaynak suyu kalitesi ve kullanılabilirliği. *Çevresel jeokimya ve sağlık* 34 (5): 615-639, 2012.

Aksoy N., Şimşek, C., ve Gündüz, O., Jeotermal alanda yeraltı suyu kirlenme mekanizmaları: Balçova, Türkiye örneği. *Kirletici Hidroloji Dergisi* 103 (1-2): 13-28, 2009.

Arpat, E., ve Şaroğlu, F., Türkiye'deki Bazı Genç Tektonik Olaylar, **TJK Bülteni**, Ankara, No: 18, 91-101s. 1975.

Atabey, E., Tıbbi Jeoloji. **TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası**, Yayın No: 88, 2005.

Atabey, E. ve Ayhan, A., Niğde-Ulukışla-Çamardı-Çiftehan yöresinin jeolojisi, **MTA Raporu**, Ankara, Rapor No: 957, 1986.

Aydın F., Schmitt, AK., Siebel, K., Sönmez, M., Ersoy, Y., Lermi, A., Dirik, RK., ve Duncan, R., Niğde Volkanik Kompleksinde Kuaterner iki modlu volkanizma (Kapadokya, İç Anadolu-Türkiye): yaş, petrojenez ve jeodinamik uygulamalar . **Mineraloji ve Petrolojiye Katkılar** 168 (5): 1078, 2014.

Bageri, BS., Mahmoud, MA., Shawabkeh, RA., Al-Mutairi, SH., and Abdulraheem, A., Şelatlama Maddeleri ve Katalizörler Kullanılarak Barit (Baryum Sülfat BaSO₄) Kantarının Tamamen Yok Edilmesine Doğru. **Arap Bilim ve Mühendislik Dergisi** 42 (4): 1667–1674, 2017.

Batum, İ., Nevşehir Güney Batısındaki Göllüdağ ve Acıgöl Volkanitlerinin Jeokimyası ve Petrolojisi, **Yerbilimleri Dergisi**, Ankara, Cilt 4, Sayı:1-2, 70-78s., 1978.

Batum, İ., Nevşehir Güney Batısındaki Göllüdağ ve Acıgöl Volkanitlerinin Jeoloji ve Petrografisi, **Yerbilimleri Dergisi**, Ankara, Cilt 4, Sayı:1-2, 50-59s, 1978.

Beekman, P.H., Hasan Dağı-Melendiz Dağı Bölgesinde Pliosen ve Kuaterner Volkanizma Faaliyetleri, **M.T.A Dergisi**, Ankara No:66, 90-105s., 1966.

Beekman, P.H., The Pliocene and Quaternary Volkanism in The HasandağıMelendizdağı Region, **M.T.A. Bull.**, Ankara, 66, 99-106p., 1966.

Benson LV., Spencer, RJ., Walker Nehri Havzası, Kaliforniya ve Nevada'nın Hidrokimyasal Keşif Çalışması. **Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma**, Denver, USGS Open File Rep 83–740, 1983.

Berhe, BA., Dokuz, UE., ve Çelik, M., Kütahya Ovası, Türkiye'de yüzey ve yeraltı sularının hidrojeokimyası ve çevresel izotoplarının değerlendirilmesi. **Afrika Yer Bilimleri Dergisi** 134: 230-40, 2017.

Blumenthal, M.N., Niğde ve Adana Vilayetleri Dahilindeki Torosların Jeolojisine Umumi Bir Bakış, **M.T.A. Yayınları**, Ankara, Seri:B, No:6, 8-16s., 1941.

Blumenthal, M.N., Toroslarda Yüksek Aladağ Silsilesinin Coğrafyası Stratigrafisi ve Tektoniği Hakkında Yeni Etütler, **M.T.A. Yayınları**, Ankara, Seri D, No:6, 1952.

Bozyiğit, R. ve Karaarslan, T., Çevre Bilgisi Kitabı, **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, 1998.

Bundschuh, J., Litter, MI, Parvez, F., Román-Ross, G., Nicolli, HB., Jean, JS., Liu, CW., López, D., Armienta, MA., Guilherme, LR., and Cuevas, AG., Latin Amerika'da bir yüzyıl arsenik maruziyeti: tarihin gözden geçirilmesi ve 14 ülkeden oluşumu. **Toplam Çevre Bilimi** 429: 2-35, 2012.

Bursali, S., Ertan, I., Yalçın, H., Günay, G., ve Onhon, E., Niğde-Misli Ovası'ndaki yeraltı suyu özelliklerinin izotoplar ile belirlenmesi (No. IAEA-R - 958-F). **Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı** 7 (8), 1975.

Caron, ME., Grasby , SE., and Ryan, MC., Kaynak suyu iz element jeokimyası: Kaynak değerlendirme ve keşif maden araştırmaları için bir araç. **Uygulamalı Jeokimya** 23 (12): 3561-3578, 2008.

Chapman, D., Water Quality Assessment. In: Chapman D on behalf of UNESCO, **WHO and UNEP**, 58s, London, 1992.

Choi BY., Yun, ST., Yu, SY., Lee, PK., Park, SS., and Chae, GT., Seul, Güney Kore'de kentsel yeraltı suyunun hidrokimyası: arazi kullanımının ve kirletici şarjın etkisi. **Environmental Geol** 48: 979–990, 2005.

Clark, M., ve Robertson, AHF., Güney Türkiye'deki Erken Tersiyer Ulukışla Havzasının Mesozoyik Tethys okyanusunun dikilmesinde rolü: **Londra Jeoloji Derneği Dergisi**, 159: 673-690, 2002.

Celep, S., Trabzon İli Yeraltı Ve Yerüstü Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal İncelemesi Ve Su Kalitesinin İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 2009.

Çelik, M., ve Afşin, M., Hidrojeolojinin çözelti-çöküntü gelişimindeki rolü ve çevresel etkileri; Sazlıca için bir örnek çalışma (Niğde, Türkiye). **Çevresel Jeoloji** 36 (3-4): 335-342, 1998.

Çolak, M., Gemici, U., ve Tarcan, G., İğdekoy-Emet, Kütahya'da, kolemanit yataklarının arsenik toprak ve toprak su rızası üzerindeki etkileri. **Su, Hava ve Toprak Kirliliği** 149: 127–143, 2003.

Dansgaard, W., Yağışta kararlı izotoplar. **Tellus** 16 (4): 436-468, 1964.

Datta, PS., ve Tyagi, SK., Delhi bölgesindeki yeraltı suyunun başlıca iyon kimyası: kimyasal ayrışma süreçleri ve yeraltı suyu akış rejimi. **Hindistan Jeoloji Derneği Dergisi** 47: 179–188, 1996.

Demir, S., Isparta Ve Yakın Çevresi Yer altı sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal Ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi Ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi, Doktora Tezi **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, , Isparta, 2008.

Demirkesen, AC., Niğde ilinin Orta Anadolu Bölgesi'ndeki jeolojik yapılarının SRTM DEM verilerini kullanarak nicelendirilmesi. **Çevresel jeoloji** 56 (5): 865-875, 2009.

Dirik, K., and Göncüoğlu, M.C., Neotectonic characteristics of the Central Anatolia, **International Geology Review**, 38, 807-817, 1996.

Dixit, S, ve Hering, JG., Demir Oksit Mineraller Üzerine Arsenik (V) ve Arsenik (III) Emiliminin Karşılaştırılması: Arsenik Hareketliliğinin Etkileri. Environ. Sci. **Technol** 37 (18): 4182-4189, 2003.

Doğan, L., Hidrojeolojide Su Kimyası, **DSİ yayınları**, Ankara, 1981.

Dondurma, RA, ve Cherry, JA., Yeraltı suyu. Prentice Salonu, Englewood Kayalıkları, **New Jersey**, 1979

Dowling, CB., Poreda, RJ., and Basu, AR., Bengal Havzası'nın yeraltı suyu jeokimyası: Okyanusların ayrışması, emilimi ve iz metal akışı. **Geochimica ve Cosmochimica Acta** 67 (12): 2117-2136, 2003.

Dowling, CB., Poreda, RJ., Basu, AR., Peters SL., and Aggarwal PK., Bengal Havzası yeraltı suyu Su Kaynaklarında arsenik salınım mekanizmalarının jeokimyasal incelemesi. **Res** 38 (9): 1173, 2002.

DSÖ Dünya sağlık istatistikleri 2010. **Dünya Sağlık Örgütü** 2010.

DSÖ İçme Suyu Kalitesi Yönergeleri: Birinci Eki içeren Dördüncü Baskı. **Dünya Sağlık Örgütü**, Cenevre, 2017.

Elhatip, H., Afşin M., Dirik, K., Kurmaç, Y., ve Kavurmacı, M., İnsan faaliyetlerinin ve tarımın Kayseri-İncesu-Dokuzpınar kaynaklarının yer altı su kalitesine etkisi, Türkiye'nin Anadolu kesimi. **Çevresel Jeoloji** 44 (4): 490-494, 2003.

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., Yeraltı suları Jeolojisi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları** yayın no: 23, İstanbul, 339s, 1987.

Freeze, R. A. ve Cherry, J. A., Groundwater, **Prentice-Hall**, USA, 78p, 1979.

Geen, A., Zheng, Y., Versteeg, R., Stute, M, Horneman, A., Dhar, R., Steckler, M., Gelman, A., Küçük, C., Ahsan, H., and Graziano, JH., Mekansal değişken Bangladeş'in 25 km²'lik bir bölgesinde 6000 tüp kuyusunda arsenik itimi. **Su Kaynakları Araştırması** 39 (5), 2003.

Gemici, U., Tarcan, G., İşlenmemiş Terk Edilen Türkönü Civarındaki Tarımsal Topraklarda ve Sulardaki Kirletici Maddelerin Değerlendirilmesi Türkürü Merkür Madeni (Türkiye), **Bull Environmental Contam Toxicol** 79:20, 2007.

Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifinin Jeolojisi, *M.T.A. Yayınları*, Derleme Raporu, Ankara, No: 7856, 7-80s., 1977.

Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifi Batı Yarısının Jeolojisi *M.T.A. Raporları*, Ankara, Rapor No:1858, 48, 50-55, 58-61s. 1985.

Göncüoğlu, M.C., Niğde Masifi Paragnayslarında Zirkon U/Pb Yaşları, *TJK Bülteni*, Ankara, C:25, S:1, 61-66s., 1982.

Göncüoğlu, M.C., Geochronological data from the southern part (Niğde area) of the Central Anatolian Massif. Bull. *Mineral Research and Exploration*, 105/106: 8396, 1986.

Göncüoğlu, M.C., Niğde masifinin jeolojisi; *TÜBİTAK birinci jeotravers projesi bildirileri*, 1986a.

Göncüoğlu, M.C., and Toprak, V., Neogene and Quaternary volcanism of Central Anatolia, A volcano-structural evaluation, *Bulletin de La Section Volcanologie*, 26, 1-6, 1993.

Guilbert, JM, ve Park, CF., Cevher yataklarının jeolojisi. *Beklentiler Yükseklikleri*, Waveland, , 2007.

Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., Su Kalitesi, *Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, Ankara, No:43, 1997.

Gündüz, O, Şimşek, C, ve Hasözbeke, A., Simav Ovası yeraltı suyunda arsenik kirliliği: su kalitesi ve insan sağlığı üzerindeki etkileri. *Su, hava ve toprak kirliliği* 205 (1-4): 43, 2010.

Gürel, A. ve Lermi, A., Pleistosen-Holosen, Bor-Ereğli ovalarını dolduruyor (İç Anadolu): Son jeolojik arkeolojik katkılar, L. d'Alfonso-M.E. Balza-Clelia Mora (eds), Kapadokya (Türkiye) Jeo-arkeolojik Faaliyetleri, *Studia Mediterranea, Italia Üniversitesi basını, Pavia* 22: 55-69, 2010.

Hounslow A., Su kalitesi verileri: analiz ve yorum. *CRC basın*, 1995.

IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı) Küresel yağışlarda izotop ağı. https://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/IHS_resources_isohis.html. Erişim tarihi: Eylül 2017

Imbrie, J., Jeolojik verilerin analizi için faktör ve vektör analiz programları: Ofis Donanma Araştırmaları, **Coğrafya Şubesi, Teknik**. REPT. 6 [ONR Görevi No. 389-135], 83 s, 1963.

Keesari, T., Ramakumar, KL., Chidambaram, S., Pethperumal, S., and Thilagavathi, R., Pondicherry bölgesindeki yeraltı suyunun hidrokimyasal davranışını ve içme ve tarımsal amaçlara uygunluğunu anlamak, Güney Hindistan - Sürdürülebilir kalkınmaya doğru bir adım. **Sürdürülebilir Kalkınma için Yeraltı Suyu 2**: 143-53, 2016.

Keren, R., Mayzel, B., Lavy A., Polishchuk, I., Levy, D., Fakra, SC., Pokroy, B., and Ilan, M., Süngerle ilişkili bakteriler, hücre içi veziküllerde arsenik ve baryumu mineralize eder. **Doğa iletişimi** 8: 14393, 2017.

Ketin, İ., Türkiye jeolojisine genel bir bakış, **İTÜ Yayını**, 1259,595s., 1983.

Keskin, Ş., Ecemiş Fay Kuşağı Bloğundaki Çamardı ve Çanaktepe Formasyonlarının Sedimentolojik Özellikleri, **İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1998.

Keskin Ş., Niğde, Türkiye Akkaya Barajı sedimentlerinde ağır metallerin dağılımı ve birikimi. **Çevresel izleme ve değerlendirme** 184 (1): 449-460, 2012.

Khan, MA.,and Ho, YS., İçme suyunda arsenik: toksikolojik etkiler, birikme ve iyileştirme mekanizmaları üzerine bir inceleme. **Asya Kimya Dergisi** 23 (5): 1889, (2011)

Kleyn, Van Der, P.H., Recommendation in the Niğde-Çamardı Massif, **M.T.A. Raporları**, Ankara (yayımlanmamış), Rapor No: 4345, 1968.

Korkanç , SY., Kayıkçı, S., ve Korkanç, M., Akkaya baraj havzasında (Niğde, Türkiye) mekansal ve zamansal su kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetim uygulamaları. **Afrika Yer Bilimleri Dergisi** 129: 481-491, 2017.

Lee, JY., Choi, JC., Yi, MJ., Kim, JW., Cheon, JY., Choi, YK., Choi, M.J, and Lee KK., Kore'de terk edilmiş bir Zn madeninin içinde ve çevresinde toksik metallerle potansiyel yeraltı suyu kirliliği. **Su Havası Toprak Kirliliği** 165: 167–185, 2005.

Lermi, A., Gümüşköy-Maden (Ulukışla-Niğde) Bölgesinde Toprak, Su ve Bitkilerde Maden Atıklarından Kaynaklanan Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri, **1. Tıbbi jeoloji Çalışması, Bildiriler Kitabı**, Ürgüp, Nevşehir, s. 94-109, 2009.

Lermi, A., Çakıt Deresi, Ulukışla (Niğde) Türkiye Sedimanlarındaki ağır metallerin kirlilik değerlendirmesi, 16. Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Geoconference, SGEM 2016, **Albena, Bulgaristan, Konferans Bildirileri** 1: 491-498, 2016.

Li, P., Wu, J.,and Qian H., İçme ve sulama amaçlı yeraltı suyu kalitesinin hidrokimyasal değerlendirmesi ve etkileyen başlıca faktörler: Çin, Hua County ve çevresinde bir örnek olay incelemesi. **Arap Yer Bilimleri Dergisi** 9 (1): 15, 2016.

Lucas, L.,ve Unterweger, M., Trityumun yarı ömrünün kapsamlı bir incelemesi ve eleştirel değerlendirmesi. **J Res Natl Inst Stand Teknol** 105: 541–549, 2000.

Lyulko, I., Ambalova, T., and Vasiljeva, T., Letonya'da su kalitesi değerlendirmesini entegre etmek. MTM (Tailor-Made'ın İzlenmesi) **III, Sürdürülebilir Su Yönetimi Konusunda Bilgi Alanında Uluslararası Çalıştay Bildirilerinde**, Hollanda, s. 449-452, 2001.

MacDonald, AM., ve Calow, RC., Afrika'da güvenli kırsal su kaynakları için yeraltı suyunun geliştirilmesi. **Tuzdan Arındırma** 248 (1-3): 546-556, 2009.

Marghade, D., Malpe, DB., and Zade, AB., Hızlı büyüyen bir Orta Hindistan şehrinin sığ yeraltı suyunun başlıca iyon kimyası. **Environmental Monit Assessment** 184: 2405-22418, 2012.

Meffe, R., and Bustamante, I., Yüzey sularında ve yeraltı sularında ortaya çıkan organik kirleticiler: İtalya'daki duruma ilk bakış. **Toplam Çevre Bilimi** 481: 280-295, 2014.

Metz, K., Aladağ ve Karanfıldağının Yapısı ve Bulguların Klıkya Torosunu Temsil Edilen Batı Kenarları Hakkında Malumat Hulusu İçin Yapılan Jeolojik Etüt, **M.T.A. Dergisi**, Ankara, No:48, 1956.

Morse, JW., and Arvidson, RS., Büyük tortul karbonat minerallerinin çözünme kinetiği. **Yer Bilimi Değerlendirmeleri** 58: 51–84, 2002.

Mukherjee, A., Sengupta, MK., Hossain, MA., Ahamed, S., Das, B., Nayak, B., Lodh, D., Rahman, MM., and Chakraborti, D., Yeraltı suyunda arsenik kirliliği: Asya senaryosuna vurgu yapan küresel bir bakış açısı. Sağlık, **Nüfus ve Beslenme Dergisi** 142-163, 2006.

Nath, B., Jean, J., Lee, MK., Yang, HJ., and Liu, CC., Güneybatı Tayvan'ın Chia-Nan Ovası'ndaki yüksek arsenik yeraltı sularının jeokimyası: olası kaynaklar ve arsenik reaktif taşınımı. **J. Contam. Hydrol** 99: 85–96, 2008.

Nickson, RT., McArthur, JM., Ravenscroft, P., Burgess, WG., and Ahmed, KM., Yeraltı suyuna, Bangladeş'e ve Batı Bengal'e arsenik salınım mekanizması. **Uygulamalı Jeokimya** 15 (4): 403-413, 2000.

Nordstrom, DK., Dünya çapında arsenik yeraltı suyunda meydana gelmektedir. **Science** 296: 2144-2145, 2002.

Nriagu, JO., Bhattacharya, P., Mukherjee, AB., Bundschuh, J., Zevenhoven, R., and Loeppert, RH., Toprak ve yeraltı sularındaki arsenik: genel bakış. **Metaller ve Ortamdaki Diğer Kirleticileri İzlemek** 9: 3-60, 2007.

Okay, A.C., Kayseri, Niğde ve Tuzgölü Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, M.T.A. Raporları, Ankara, Rapor No: 2252, 1957.

Okay, A.C., Niğde-Çamardı (Maden) ve Ulukışla Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, M.T.A. Raporları, Ankara, Rapor No:2381, 17-20s., 1955.

Oktay, F.Y., Sedimentary and Tectonic History of The Ulukışla Area, Southern Turkey, Doctoral Thesis, **University of London**, 414s. (yayımlanmamış), 1973.

Ojekunle, OZ., Ojekunle, OV., Adeyemi, AA., Taiwo, AG., Taiwo, AM., and Adekitan, AA., Hurda bahçelerinde mahallede ağır metaller için yüzey suyu kalite endekslerinin değerlendirilmesi ve ekolojik risk değerlendirmesi. **SpringerPlus** 5 (1): 560, 2016.

Özbilge, T., Misli Ovası (Niğde) Yeraltı sularının Hidrojeokimyasal ve Çevresel İzotopik Bileşiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Hacettepe Üniversitesi Jeoloji(Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı**, Ankara, 2008.

Özgül, N., Torosların Bazı Temel Özellikleri, **TJK Bülteni**, Ankara, Cilt:19, 6575s., 1976.

Özgüneyli, A., Niğde Çamardı Kristalin Masifinin Genel Prospeksiyon Çalışması, **MTA. Raporları**, Ankara (yayınlanmamış), Rapor No: 6851, 1978.

Özkan, Y., Bor-Niğde Yöresi Traverten Oluşumlarının Jeokimyasal özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, 2009.

Pasvanoğlu, S., ve Çelik, M., Galatian volkanik ilinin Kızılcahamam jeotermal alanında yer altı suyu akışı ve termal sıvıların jeokimyasal evrimi için kavramsal bir model. **Jeotermik** 71: 88-107, 2018.

Pasquare, G., Outlines of the Neogene and Quaternary Volcanism of Asia Minor, Accad. Naz. **Die Linç.**, 40, 1077-1085, 1966.

Patterson, RA., Evsel Atıksu ve Sodyum Faktörü, saha karakterizasyonu ve sahadaki septik sistemlerin tasarımı. In: ASTM STP 1324, JS (eds) **Amerikan Test ve Malzemeler Derneği** 23–35, 1997.

Pazand, K., Khosravi, D., Ghaderi, MR., and Rezvanianzadeh, MR., Yarı kurak bir bölgede hidrojeokimyasal işlemlerin tanımlanması ve yeraltı suyunun ana iyon kimyası

kullanılarak değerlendirilmesi: Orta İran'daki Ardestan havzası örneği. ***Sürdürülebilir Kalkınma için Yeraltı Suyu*** 6: 245-254, 2018.

Piper, AM., Su analizinin jeokimyasal yorumunda grafiksel bir prosedür. ***ABD Jeolojik Araştırma***, Washington DC, 1953.

Prasanna, MV., Chidambaram, S., Shahul Hameed, A., and Srinivasamoorthy, K., Gadilam havzasında, Tamil Nadu, Hindistan'da yer altı suyu kalitesinin hidrojeokimyasal analizi ve değerlendirilmesi. ***Yer Sistem Bilimleri Dergisi*** 120: 85-98, 2011.

Reza, R., and Singh, G., Ağır metal kirliliği ve nehir suyu için endeksleme yaklaşımı. ***Uluslararası Çevre Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*** 7 (4): 785-792, 2010.

Richards, LA., Tuzlu ve alkali toprakların Teşhisi ve İyileştirilmesi. Agric. El Kitabı 60, ***USDA ve IBH Publishing Company Limited***, Yeni Delhi, Hindistan 98-99, 1954.

Sako, A., Yaro, JM., and Bamba, O., Burkina Faso kuzeybatısındaki Yukarı Precambrian tortul akiferinde hidrojeokimyasal işlemlerin ve antropojenik faaliyetlerin yeraltı suyu kalitesi üzerine etkileri. ***Uygulamalı Su Bilimi*** 8 (3): 88, 2018.

Schaffer, E. X., Peterm Mitteilgh Erganzgsh 151s, Cicilia, 1903.

Schoeller, H., Yeraltı Suyu Jeokimyası. Uluslararası Araştırma ve Uygulama Rehberi, ***UNESCO*** 15: 1e18, 1967.

Şener, MF., Şener, M., ve Uysal, BT., Kapadokya Jeotermal İlinin Anadolu (Türkiye) evrimi: jeokimyasal ve jeolojik kanıtlar. ***Hidrojeoloji Dergisi*** 25 (8): 2323-2345, 2017.

Şimşek, C., Balçova Jeotermal Sahasında bor ve arsenik kirliliği. Jeotermal enerji. ***TMMOB Makine Mühendisleri Odası Yayını E*** / 2005 / 393-2, 361-368, 2005.

Smedley, PL, Edmunds, WM, and Pelig-Ba, KB., Gana'nın Obuasi altın madenciliği alanındaki yeraltı suyunda arsenik hareketliliği: insan sağlığı için bazı çıkarımlar. Jeoloji Derneği, Londra, **Özel Yayınlar** 113 (1): 163-181, 1996.

Smedley, PL., Knudsen, J., and Maiga, D., Burkina Faso'nun mineralize Proterozoik bazik kayalarından yeraltı suyunda arsenik. **Uygulamalı Jeokimya** 22: 1074-1092, 2007

Sunkari, ED., and Danladi, IB., Gana'da seçilen şişelenmiş içme suyunda eser elementlerin değerlendirilmesi: Accra metropolü örneği. **Uluslararası Su Kaynakları ve Çevre Mühendisliği Dergisi** 8 (10): 137-42, 2016.

Sunkari, ED., Zango, MS., and Korboe, HM., Kuzey ve Güney Gana'da Yeraltı Sularındaki Florür Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Analizi: Kirletici Kaynaklarına Etkileri. **Yer Sistemleri ve Çevre** 2 (1): 103-117, 2018.

Taheri, M., Gharaie, MHM., Mehrzad, J., Afşar, R., and Datta, S., Argilleik bir alterasyon bölgesinde arsenik ile kirlenmiş suların hidrojeokimyasal ve izotopik değerlendirilmesi. **Jeokimyasal Arama Dergisi** 175: 1-10, 2017.

Tchihatcheff, P., and Asie Mineure IV, **Geologie I**, 490, 552s. Paris 1867.

T.C. Niğde Valiliği Çevre ve Şehircilik İl müdürlüğü, Niğde İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu, **ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü** 102:17-28, 2016

Temel, D., Çiftehane, Kemerhisar Ve Dertalan (Niğde) Sıcak ve Mineralli Sularının Su Kimyası ve İzotopik Yöntemlerle Karşılaştırılması, Tıbbi ve Biyoiklimsel Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, 2007.

Todd, DK., **Yeraltı Suyu Hidrolojisi**. 1. basım, John Wiley ve Sons, Inc, 336p, 1960.

Toprak,V., Keller, J. and Schumacher, R., Volcano – Tectonic Features of the Cappadocia Volcanic Province, **Middle East Technical Univ.**, Dept. Of Geol. Eng., AUCE – 94, Spec. Pub., No: 7. I – 58, 1994.

Tromp, S.W., Niğde-İncesu-Kızılırmak ve Tuzgölü Sahaları Arasının Jeolojik Etüdü, **M.T.A. Raporları**, Ankara, Rapor No: 1456, 1942.

TSE-266, İçme Suları Standardı. **Türk Standartları Enstitüsü**, Baskı TSE, TS, Ankara, 266: 1-25, 2005.

Tuncay, H., Su Kalitesi, Ders Notları, **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü**, İzmir, 1983.

Türkiye Meteoroloji Servisi (2015) Niğde İli Verileri

Türkecan, A., Akcay, A.E., Satir, M., Donmez, M., ve Ercan, T., Melendiz Dağları (Niğde) volkanizması, **56. Türkiye Jeoloji Kurultayı**, Bildiri Özleri Kitabı, 16,17s., 2003.

UNICEF İçme suyu ve sanitasyon konusunda ilerleme: sanitasyona özel odaklanma. İçme suyu ve sanitasyona yönelik ilerleme: **Sanitasyona özel odaklanma**. WHO / JMP, 2008.

Uras, Y., Uysal, Y., Arıkan, TA., Kop, A., Çalışkan, M., Derebogazi Köyü'nün (Kahramanmaraş) içme suyu kaynaklarının hidrojeokimyası ve insan sağlığına etkileri. **Çevresel jeokimya ve sağlık** 37 (3): 475-490, 2015.

Usero, J., Gonzalez-Regalado, E., Gracia, I., Çift kabuklu yumuşakçalarda metallerin izlenmesi Ruditapes, Güney İspanya'nın Atlantik Kıyısı'ndan alçalmakta ve Ruditapes phillippinarum'u delmektedir. **Environ. Int** 23 (3): 291-298, 1997.

Wilcox, LV., Sulama Suyu Sınıflaması ve Kullanımı. **Ziraat Departmanı**, Amerika Birleşik Devletleri, Washington D.C. 1950.

Yalçın, M.G., Gümüşler (Niğde) Bölgesi Polimetallik Antimuan-Cıva Cevherleşmesinin Mineralojisi ve Jeolojisi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Doktora Tezi, Adana, 1995.

Yalçın, MG., Narin, I., Soylak, ve M., Karasu dere sedimanlarının ağır metal içeriği, Niğde, Türkiye. *Çevresel izleme ve değerlendirme* 128 (1-3): 351-357, 2007.

Yalçın, H. ve Gürü, M., Su Teknolojisi, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 2002.

Yang, Q., Wang, L., Ma, H., Yu, K., and Martín, JD., Ordos Havzası, Çin'in Salawusu akifer sisteminde yer altı sularının hidrokimyasal karakterizasyonu ve kirlilik kaynaklarını belirleme. *Çevre kirliliği* 216: 340-349, 2016.

Yaramaz, Ö., Su Kalitesi, *EÜ Basımevi*, Yayın No:4, İstanbul, 1997.

Yetiş, C., Çamardı Yöresinin Stratigrafi Çalışmaları, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 91-93s. İstanbul, 1978.

Yidana, SM., ve Yidana, A., Su kalitesi indeksi ve çok değişkenli analiz kullanılarak su kalitesinin değerlendirilmesi. *Çevresel Yer Bilimleri* 59 (7): 1461-1473, 2010.

Yoldaş, R., Niğde-Ulukışla Bitümlü Şist Alanının Jeolojisi ve Ekonomik Olanakları, *M.T.A. Raporları*, Ankara (yayımlanmamış), Rapor No: 5050, 1973.

Zarei, M., Sedehi, F., and Raeisi, E., Güney İran'da yer altı suyunun kalitesini etkileyen ana faktörlerin hidrojeokimyasal karakterizasyonu, Janah Ovası. *Chem Erde* 74: 671-680, 2014.

Zhu, Y., Zhang, X., Xie, Q., Chen, Y., Wang, D., Liang, Y., and Lu, J., Baryum arsenat ve baryum hidrojen arsenatının 25 derece C'deki çözünürlüğü ve stabilitesi, *Tehlikeli Maddeler Dergisi* 120: 37-44, 2005.

Ek Çizelge 1

İnceleme alanındaki suların mayıs dönemine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Sample	Type	EC (µS/cm)	T (°C)	pH	DO	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	F	Li	Fe	Mn	Ba	Sr	Rb	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Sb	Hg	Pb	SAR	% Na	MR(%)
GE01	Well	1038.0	16.9	6.01	7.01	1619.6	38.22	5.41	203.9	19.9	35.9	23.6	700.4	591.3	<0.1	0.22	0.06	<0.001	0.000	39.7	0.37	16.14	4.97	2.22	0.63	5.71	1.16	13.19	16.87	0.92	0.39	0.07	1.50	0.68	16.3	90.6
GE02	Well	994.0	17.5	5.83	7.19	1487.6	37.93	4.43	188.0	18.7	42.9	27.6	631.6	535.3	<0.1	0.19	0.06	<0.001	<0.001	70.6	0.42	14.52	1.84	3.09	0.56	5.29	0.96	6.09	17.61	0.66	0.43	0.03	0.38	0.7	17.0	88.6
GE03	Well	1178.0	17.3	6.17	4.04	1705.5	72.47	4.91	204.2	22.4	87.2	39.7	683.2	591.0	<0.1	0.20	0.06	<0.001	<0.001	104.3	0.46	14.94	2.34	5.19	0.49	4.46	1.04	8.18	26.30	0.66	0.74	0.03	0.37	1.29	25.4	75.6
GE04	Spring	267.0	19.0	7.13	6.94	266.1	5.48	1.90	47.3	8.8	3.3	6.5	183.9	8.4	<0.1	0.25	0.00	<0.001	<0.001	8.4	0.21	8.69	2.10	0.30	0.10	0.86	0.36	5.88	5.74	1.26	0.15	0.06	0.18	0.19	11.6	100.2
GE05	Spring	174.0	16.6	7.17	7.69	171.5	3.90	1.04	30.6	4.9	2.1	6.1	118.6	3.4	<0.1	0.14	0.00	0.01	<0.001	18.8	0.15	4.62	22.09	0.22	0.08	0.58	0.64	8.48	1.71	0.29	0.11	<0.001	0.27	0.17	12.2	100.5
GE06	Spring	284.0	18.8	7.23	7.15	277.4	8.84	3.06	42.8	11.5	3.9	9.6	188.7	8.6	<0.1	0.27	0.01	<0.001	0.006	10.8	0.23	14.95	2.47	0.45	0.09	0.75	0.51	6.99	10.51	1.62	0.11	0.05	0.35	0.31	18.0	100.0
GE07	Spring	77.1	19.6	7.39	7.94	86.0	2.82	1.30	7.8	2.4	1.4	3.2	36.5	30.5	<0.1	0.08	0.00	<0.001	<0.001	4.0	0.06	6.18	12.52	<0.1	0.02	0.06	0.21	7.11	0.69	0.26	0.07	<0.001	0.28	0.23	28.7	100.7
GE08	Spring	89.8	17.0	7.32	8.24	110.1	3.05	1.62	9.8	2.7	1.5	4.8	47.0	38.9	<0.1	0.10	0.00	<0.001	<0.001	5.1	0.06	7.21	10.88	<0.1	0.02	0.04	0.18	5.33	1.03	0.34	0.09	0.01	0.09	0.21	27.2	100.7
GE09	Spring	244.0	15.3	7.17	8.24	362.3	4.86	1.31	46.5	5.5	4.1	11.0	156.8	131.7	<0.1	0.14	0.00	<0.001	<0.001	35.3	0.18	2.06	11.56	0.11	0.09	0.63	0.51	4.97	1.84	0.33	0.09	<0.001	0.18	0.18	10.6	99.9
GE10	Spring	137.4	16.6	7.28	7.98	186.9	4.54	1.28	18.5	5.3	1.9	6.1	82.3	67.4	<0.1	0.14	0.00	<0.001	0.002	16.8	0.14	6.67	3.70	0.20	0.03	0.23	0.34	7.30	2.67	0.62	0.15	0.01	1.44	0.24	19.7	100.6
GE11	Well	1079.0	16.7	6.20	4.87	1410.3	14.57	15.51	92.6	22.9	68.8	3.1	517.0	542.8	<0.1	0.31	0.14	<0.001	<0.001	72.1	0.51	11.43	4.35	2.21	0.20	2.46	2.02	79.51	47.57	5.35	2.05	0.15	0.32	3.51	20.7	81.0
GE12	Well	644.0	19.6	7.08	6.93	882.5	16.13	4.98	99.0	20.3	12.0	14.1	384.2	331.1	<0.1	0.22	0.00	<0.001	0.000	90.2	0.55	13.21	1.66	0.97	0.21	1.93	2.16	19.30	6.16	0.69	0.09	0.06	0.18	0.39	15.0	97.6
GE13	Spring	451.0	18.8	7.54	7.29	680.9	8.02	3.18	83.5	14.7	12.9	10.5	292.7	254.8	<0.1	0.19	0.00	<0.001	<0.001	47.6	0.42	10.65	2.46	0.51	0.15	1.68	0.31	6.30	4.40	0.54	0.10	0.07	0.40	0.21	10.2	97.3
GE14	Spring	484.0	18.0	7.34	7.01	696.7	10.05	3.27	84.6	14.2	12.3	9.8	299.9	261.5	<0.1	0.17	0.00	<0.001	0.000	53.9	0.46	11.33	2.57	0.40	0.16	1.54	0.47	7.08	4.39	0.47	0.11	0.01	0.38	0.27	11.9	97.5
GE15	Well	675.0	23.3	7.72	7.60	359.8	19.04	0.58	110.1	20.4	29.4	67.4	240.8	301.6	<0.1	0.33	0.00	<0.001	<0.001	1.4	0.74	0.58	5.26	1.46	0.27	2.14	1.38	19.52	8.84	0.35	0.19	0.02	0.54	0.44	13.1	92.5
GE16	Well	585.0	22.9	6.77	6.96	869.6	21.10	2.34	90.9	21.6	10.6	33.7	371.4	316.6	<0.1	0.25	0.01	<0.001	0.001	33.3	0.45	7.04	1.65	1.21	0.19	1.71	1.33	14.00	7.10	0.74	0.20	0.02	0.68	0.52	17.2	98.0
GE17	Well	409.0	22.6	7.82	7.15	604.4	18.74	1.94	64.1	12.1	8.1	14.0	262.5	222.4	<0.1	0.26	0.02	0.01	<0.001	36.7	0.28	0.53	7.72	0.63	0.12	1.20	1.61	15.25	23.85	1.66	0.80	<0.001	0.69	0.56	21.4	98.7
GE18	Well	704.0	21.2	7.59	7.73	262.0	22.04	3.97	123.3	19.1	21.7	30.0	421.8	373.0	<0.1	0.22	0.01	<0.001	<0.001	84.4	0.53	15.16	7.29	1.56	0.25	2.63	6.75	46.22	30.31	0.91	1.24	0.04	0.39	0.49	15.4	94.8
GE19	Spring	97.1	15.1	7.55	8.83	122.1	3.09	1.64	11.7	3.0	1.7	6.0	51.5	42.8	<0.1	0.12	0.00	<0.001	0.002	6.0	0.07	6.62	9.99	0.03	0.02	0.13	0.29	4.47	1.23	0.33	0.09	0.03	0.19	0.21	24.3	100.6
GE20	Well	534.0	15.6	7.07	7.48	233.7	28.96	6.72	78.0	19.8	19.8	20.0	299.8	295.1	<0.1	0.45	0.03	0.01	<0.001	15.5	0.35	24.50	4.13	1.06	0.14	1.92	4.00	27.99	16.23	2.42	0.17	0.46	0.50	0.76	26.7	95.3
GE21	Well	963.0	15.3	7.21	7.22	406.1	50.54	8.96	156.4	26.4	46.6	42.8	546.6	504.1	<0.1	0.26	0.08	<0.001	0.000	53.1	0.49	14.66	1.07	1.58	0.33	3.43	0.99	57.06	39.97	1.70	0.94	0.14	0.14	0.99	24.5	87.5
GE22	Well	620.0	14.2	6.96	6.54	195.6	16.55	1.90	130.4	7.2	15.2	9.0	425.1	349.6	<0.1	0.20	0.02	<0.001	<0.001	32.3	0.23	1.65	4.05	3.31	0.26	3.24	15.84	45.04	8.31	0.40	0.21	0.18	0.57	0.38	11.8	96.7
GE23	Well	779.0	15.2	7.13	7.30	291.8	21.32	1.98	171.9	11.5	20.9	23.8	539.9	463.7	<0.1	0.12	0.02	0.002	<0.001	102.3	0.38	2.74	5.09	2.15	0.35	4.34	0.86	22.64	5.06	0.18	0.64	0.19	0.26	0.42	11.3	95.0
GE24	Well	654.0	15.0	7.22	7.32	231.8	32.82	1.42	115.1	14.3	13.4	13.8	425.0	374.7	<0.1	0.23	0.02	0.005	<0.001	100.4	0.49	0.55	5.48	1.57	0.24	3.64	0.62	82.23	6.61	0.49	0.62	0.02	0.15	0.77	20.9	97.2
GE25	Well	391.0	14.0	7.85	8.38	166.5	23.90	1.68	72.3	4.2	19.0	26.3	229.4	199.0	<0.1	0.16	0.03	0.005	0.000	77.6	0.19	3.38	4.82	0.55	0.13	1.42	0.52	405.27	7.00	0.50	1.50	0.03	0.50	0.74	25.0	95.5
GE26	Well	784.0	14.5	6.94	6.75	306.1	51.99	2.15	149.4	15.7	25.9	15.8	563.1	487.2	<0.1	0.18	0.03	<0.001	<0.001	98.4	0.54	1.20	5.25	4.18	0.33	3.70	0.90	41.77	27.43	0.24	0.22	0.07	0.52	1.08	24.7	93.5
GE27	Well	931.0	15.2	6.92	5.98	463.6	35.87	5.07	166.2	21.4	38.2	37.5	418.4	487.6	<0.1	0.20	0.01	<0.001	0.002	210.2	0.82	7.16	2.88	1.34	0.46	4.86	0.91	29.71	25.93	1.49	0.33	0.02	0.13	0.7	17.9	89.9
GE28	Well	359.0	14.0	6.91	5.05	224.7	10.38	2.83	86.8	12.6	4.3	2.1	221.6	278.1	<0.1	0.35	0.01	0.021	<0.001	37.9	0.33	12.53	3.38	0.12	0.15	1.93	0.69	56.30	391.1	11.52	1.37	0.02	0.32	0.28	11.7	99.9
GE29	Well	917.0	15.3	5.91	4.22	570.6	41.64	10.60	217.3	22.4	14.0	0.6	540.4	688.2	<0.1	0.38	0.07	0.119	0.450	27.7	0.45	55.20	29.03	1.36	1.86	7.66	0.98	11.38	2.91	0.21	0.28	0.03	0.38	0.72	17.9	97.0
GE30	Well	1135.0	14.8	6.61	6.83	375.2	31.71	3.01	257.6	20.4	30.1	14.3	890.7	717.9	<0.1	0.20	0.08	0.002	<0.001	25.4	0.36	13.21	6.55	1.98	0.53	6.47	1.43	21.42	11.04	0.19	0.78	0.10	0.57	0.51	11.1	92.3
GE31	Well	460.0	12.5	7.25	6.58	174.5	15.73	4.36	85.3	12.4	10.6	10.0	295.8	268.7	<0.1	0.24	0.01	0.008	0.002	35.3	0.31	16.24	8.91	1.35	0.23	2.74	0.87	27.51	47.78	1.55	0.64	0.09	0.59	0.42	17.0	98.0
GE32	Well	344.0	13.4	7.26	7.81	121.6	7.85	2.85	73.9	12.1	5.0	7.4	280.9	237.7	<0.1	0.33	0.00	0.007	<0.001	18.9	0.29	11.69	2.72	0.68	0.12	1.99	0.89	89.48	11.25	2.34	0.14	0.16	0.52	0.22	11.1	99.7
GE33	Well	316.0	14.2	7.95	8.23	114.2	11.08	2.59	61.7	6.7	5.7	17.7	224.0	183.7	<0.1	0.22	0.01	0.006	<0.001	30.5	0.21	10.14	5.64	1.13	0.11	1.16	0.29	9.11	25.12	1.17	2.93	0.10	0.39	0.36	16.7	99.4
GE34	Well	214.6	14.0	7.18	7.82	81.7	10.92	3.25	40.5	9.0	4.0	8.6	179.2	146.1	<0.1	0.60	0.01	<0.001	0.001	2.2	0.14	11.02	3.58	0.24	0.06	0.82	0.24	6.17	17.60	2.57	4.39	0.07	0.17	0.41	22.3	99.9
GE35	Well	509.0	14.0	7.21	7.27	151.1	10.63	3.44	59.1	12.0	14.3	26.0	196.5	179.5	<0.1	0.27	0.00	0.004	0.002	26.5																

Ek Çizelge 2

İnceleme alanındaki suların aralık dönemine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Sample	Type	EC (µS/cm)	T (°C)	pH	DO	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	F	Li	Fe	Mn	Ba	Sr	Rb	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Sb	Hg	Pb	SAR	% Na	MR (%)
GE01	Well	956.3	15.2	6.6	6.9	983.3	34.8	7.5	97.4	24.7	29.3	19.5	408.3	361.0	<0.1	0.27	0.03	<0.001	<0.001	24.3	0.30	17.85	2.25	0.50	0.10	3.29	1.15	11.23	22.73	1.30	0.95	<0.001	0.66	0.82	25.7	92.6
GE02	Well	864.7	16.0	6.0	7.0	851.6	30.6	7.1	84.1	22.4	32.4	25.8	345.6	302.9	<0.1	0.15	0.01	<0.001	<0.001	13.0	0.36	9.43	1.64	<0.1	0.08	1.35	0.54	5.57	9.09	0.83	0.40	0.03	0.44	0.77	26.1	91.6
GE03	Well	1013.9	15.0	6.0	5.6	744.8	28.9	7.0	81.4	21.6	56.3	33.9	262.7	252.3	<0.1	0.18	0.01	<0.001	<0.001	20.6	0.42	9.23	1.35	<0.1	0.08	1.00	1.72	5.41	9.16	0.88	0.69	0.03	0.17	0.74	25.8	84.6
GE04	Spring	286.0	15.0	7.5	7.0	274.5	7.4	2.5	47.1	9.0	3.2	6.3	189.1	8.7	<0.1	0.38	0.00	<0.001	<0.001	6.8	0.18	7.75	1.23	0.35	0.10	0.88	0.24	6.52	6.08	1.18	0.14	0.02	<0.001	0.26	15.0	100.2
GE05	Spring	207.0	15.4	8.3	7.7	164.8	4.2	1.3	29.5	4.7	1.7	5.6	112.2	5.1	<0.1	0.25	0.00	<0.001	<0.001	15.8	0.14	4.08	6.77	0.17	0.09	0.72	0.62	6.30	1.85	0.26	0.15	0.01	<0.001	0.1	13.7	100.6
GE06	Spring	563.0	16.3	7.6	7.3	209.8	6.4	3.2	19.8	6.0	6.2	8.7	84.4	74.6	<0.1	0.12	0.00	<0.001	0.006	4.6	0.20	7.93	2.05	<0.1	0.10	0.97	11.30	8.15	6.27	0.48	0.11	0.05	0.94	0.32	26.9	99.3
GE07	Spring	156.0	16.0	7.4	7.8	275.6	5.8	2.3	29.0	5.9	3.1	4.1	124.0	101.1	<0.1	0.03	0.00	<0.001	<0.001	10.6	0.12	7.47	8.23	0.10	0.09	0.31	1.09	7.12	2.68	0.51	0.07	0.11	0.43	0.26	18.8	100.2
GE08	Spring	113.4	12.3	7.7	8.1	145.3	4.3	2.5	14.7	3.0	2.2	6.7	59.8	51.6	<0.1	0.22	0.00	<0.001	<0.001	10.4	0.10	6.40	9.32	0.21	0.05	0.26	0.44	0.33	1.14	0.32	0.09	0.00	<0.001	0.27	27.6	100.5
GE09	Spring	321.0	15.0	7.7	8.4	50.0	3.0	0.7	8.5	0.5	5.0	11.7	5.0	15.2	<0.1	0.19	0.00	<0.001	<0.001	3.0	0.16	2.36	5.42	<0.1	0.02	0.04	0.11	<0.1	0.29	0.10	0.09	0.02	<0.001	0.27	29.7	99.6
GE10	Spring	210.0	15.6	7.5	7.8	395.3	14.7	5.9	35.1	9.9	13.0	7.0	170.3	138.9	<0.1	0.21	0.01	<0.001	0.002	4.9	0.13	19.70	12.35	0.87	0.05	1.22	3.45	11.16	8.57	2.96	0.14	<0.001	0.52	0.56	31.4	97.3
GE11	Well	890.0	15.9	7.0	5.3	178.5	10.3	3.6	32.3	8.2	41.0	5.3	0.0	76.8	<0.1	0.25	0.00	<0.001	<0.001	32.5	0.47	6.54	3.60	0.54	0.03	0.89	6.93	42.13	3.35	1.12	1.92	<0.001	3.50	0.42	25.6	89.1
GE12	Well	340.0	16.7	7.5	6.8	93.1	8.8	3.1	41.7	9.8	1.2	13.0	173.0	151.1	<0.1	0.11	0.00	<0.001	<0.001	5.5	0.20	10.90	2.05	0.41	0.11	0.98	0.23	8.30	6.58	0.87	0.10	0.02	<0.001	0.32	18.8	100.8
GE13	Spring	514.0	14.2	7.2	7.5	520.1	10.5	3.3	62.7	11.1	15.0	8.4	214.0	194.4	<0.1	0.20	0.00	<0.001	<0.001	39.9	0.36	8.50	2.40	0.25	0.28	1.74	0.37	3.46	3.95	0.39	0.09	0.00	<0.001	0.32	15.7	96.7
GE14	Spring	512.0	16.1	7.5	7.2	697.2	10.1	3.3	84.6	14.2	14.1	10.7	301.1	258.3	<0.1	0.17	0.00	<0.001	<0.001	53.9	0.48	11.33	2.75	0.40	0.16	1.54	0.47	8.97	4.39	0.47	0.12	0.02	0.38	0.27	11.9	97.0
GE15	Well	931.0	16.0	7.4	7.4	383.7	16.0	5.3	110.0	10.5	58.2	94.6	152.7	207.9	<0.1	0.32	0.00	<0.001	<0.001	10.9	0.80	0.57	4.63	0.41	0.72	3.52	0.79	14.65	5.03	1.11	0.12	0.00	0.02	0.39	15.0	84.1
GE16	Well	667.0	17.3	6.7	6.8	198.5	21.1	2.3	90.9	21.6	9.1	29.9	377.0	319.3	<0.1	0.21	0.01	<0.001	0.001	33.3	0.48	7.04	1.90	1.21	0.19	1.71	1.33	10.94	7.10	0.74	0.22	0.12	0.68	0.52	17.2	98.4
GE17	Well	282.0	12.8	7.9	7.6	332.4	1.8	0.6	49.6	2.4	7.0	9.5	144.0	117.2	<0.1	0.14	0.00	<0.001	<0.001	7.8	0.05	0.37	1.07	0.35	0.14	1.22	0.12	0.09	17.65	0.16	0.54	0.01	<0.001	0.07	4.3	99.1
GE18	Well	895.0	18.5	7.7	7.8	132.5	12.1	5.1	36.7	9.4	20.1	15.8	110.8	119.7	<0.1	0.21	0.00	<0.001	<0.001	6.2	0.40	5.92	5.09	<0.1	0.03	0.28	0.44	53.20	32.40	1.58	1.16	0.02	0.10	0.46	27.2	95.2
GE19	Spring	162.0	15.0	8.0	8.7	423.8	8.1	3.5	44.7	9.9	6.0	9.0	188.7	153.4	<0.1	0.17	0.00	<0.001	0.002	9.8	0.12	5.29	6.81	<0.1	0.04	0.44	1.24	1.85	4.87	0.84	0.09	0.02	0.25	0.29	17.5	99.4
GE20	Well	530.0	14.9	7.2	7.3	206.5	28.7	6.9	80.0	21.4	13.9	13.8	350.5	316.7	<0.1	0.36	0.01	<0.001	<0.001	14.5	0.27	9.45	1.95	<0.1	0.08	1.41	0.91	11.03	9.00	0.87	0.16	0.04	0.29	0.74	26.0	97.0
GE21	Well	995.0	15.3	7.3	7.1	376.9	50.5	9.0	156.4	26.4	40.7	35.9	586.9	518.7	<0.1	0.26	0.08	<0.001	<0.001	53.1	0.41	14.66	1.02	1.58	0.33	3.43	0.99	55.21	27.03	1.70	0.92	0.14	0.14	0.98	24.5	89.2
GE22	Well	681.0	20.0	7.0	6.6	177.6	17.9	3.2	72.8	8.3	34.8	7.7	208.9	196.5	<0.1	0.27	0.02	<0.001	<0.001	80.9	0.26	2.80	2.64	3.33	0.26	2.61	0.24	19.92	31.10	0.17	0.53	0.00	<0.001	0.53	20.6	90.9
GE23	Well	563.0	16.8	7.2	7.2	135.5	12.3	2.0	66.2	6.0	2.6	35.0	221.9	185.5	<0.1	0.08	0.01	<0.001	<0.001	43.8	0.18	2.09	4.67	3.53	0.20	2.10	0.14	15.25	8.24	0.35	0.27	0.00	<0.001	0.39	16.5	100.4
GE24	Well	518.0	22.0	7.5	7.2	249.3	52.6	5.5	77.7	6.2	58.9	32.9	270.1	227.2	<0.1	0.32	0.05	<0.001	<0.001	58.9	0.21	7.56	5.39	0.48	0.16	1.40	0.63	49.35	18.90	0.75	0.15	0.01	<0.001	1.54	40.9	83.9
GE25	Well	410.0	15.1	8.0	8.2	163.0	23.9	1.7	72.3	4.2	12.0	19.0	235.7	214.4	<0.1	0.16	0.03	0.005	<0.001	77.6	0.25	3.38	4.55	0.55	0.13	1.42	0.52	302.02	9.24	0.50	1.27	0.03	0.50	0.74	25.0	97.6
GE26	Well	813.0	16.4	7.0	6.6	219.3	21.4	2.8	89.5	10.2	23.5	23.2	265.6	256.7	<0.1	0.25	0.01	<0.001	<0.001	85.6	0.40	1.45	5.05	2.01	0.33	3.31	0.35	53.21	16.60	0.47	0.29	0.01	<0.001	0.57	19.6	94.2
GE27	Well	892.0	15.0	7.2	6.0	450.2	35.9	5.1	166.2	21.4	32.6	41.7	443.3	494.6	<0.1	0.20	0.01	<0.001	0.002	210.2	0.79	7.16	1.92	1.34	0.46	4.86	0.91	29.23	13.08	1.49	0.28	0.02	0.13	0.7	17.9	91.6
GE28	Well	403.0	17.8	7.6	5.4	159.8	11.5	5.0	69.6	15.0	11.3	19.1	256.0	229.0	<0.1	0.20	0.00	<0.001	<0.001	16.1	0.28	12.60	3.02	0.52	0.13	1.40	0.28	44.37	43.64	0.67	0.08	0.01	<0.001	0.33	16.3	97.8
GE29	Well	956.0	16.1	6.9	4.7	503.8	41.6	10.6	217.3	22.4	11.0	0.9	630.8	694.6	<0.1	0.31	0.07	0.119	0.450	27.7	0.49	55.20	14.12	1.36	1.86	7.66	0.98	11.02	3.65	0.21	0.31	0.03	0.28	0.72	17.9	97.9
GE30	Well	609.0	19.6	7.3	6.7	140.5	11.5	2.3	93.2	8.5	9.2	8.0	328.8	265.9	<0.1	0.29	0.02	<0.001	<0.001	12.9	0.12	5.70	6.08	0.36	0.22	2.46	0.13	14.30	8.15	0.30	0.38	0.00	<0.001	0.31	12.0	98.4
GE31	Well	511.0	14.2	7.9	6.4	174.6	15.7	4.4	85.3	12.4	15.0	10.0	297.4	264.9	<0.1	0.25	0.01	0.008	0.002	35.3	0.30	16.24	7.03	1.35	0.23	2.74	0.87	26.91	20.41	1.55	0.56	0.09	0.66	0.42	17.0	96.7
GE32	Well	305.0	17.1	7.4	7.7	70.4	6.4	3.1	38.5	7.1	3.3	5.1	156.5	129.6	<0.1	0.20	0.00	<0.001	<0.001	13.8	0.19	8.94	3.24	0.68	0.10	1.28	0.99	17.96	6.36	1.38	0.14	0.01	<0.001	0.25	17.3	100.1
GE33	Well	435.0	17.7	7.3	8.1	154.4	19.2	3.4	91.1	11.2	6.9	10.9	355.1	290.4	<0.1	0.21	0.01	<0.001	<0.001	31.4	0.17	5.08	5.41	0.45	0.17	1.50	0.33	1.39	28.20	1.03	2.25	0.01	<0.001	0.51	18.1	99.1
GE34	Well	230.0	15.5	7.6	8.0	72.5	8.8	3.6	26.0	8.6	8.1	8.0	119.4	102.4	<0.1	0.41	0.00	<0.001	0.001	1.0	0.23	4.38	3.08	<0.1	0.05	1.01	0.78	22.45	4.10	2.04	3.45	0.01	69.60	0.38	26.4	98.7
GE35	Well	492.0	14.0	7.2	7.6	150.1	10.6	3.4	59.1	12.0	14.3	29.0	199.7	177.9	<0.1	0.27	0.00	0.004	0.002	26.5	0.41	12.99	4.97	0.40	0.17	2.07	0.46	19.32	5.79	0.99	0.87	0.05	0.5			

Ek Çizelge 3

İnceleme alanındaki suların hidrojeokimyasal parametreleri için korelasyon tablosu.

	EC	T (°C)	PH	DO	Li	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Ba	Sr	Rb	Al	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mo	Sb	Hg	Pb	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	F	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻	TDS
EC	1.00																															
T (°C)	0.08	1.00																														
PH	-0.65	0.00	1.00																													
DO	-0.62	-0.05	0.58	1.00																												
Li	0.63	0.01	-0.50	-0.46	1.00																											
Na	0.68	0.06	-0.53	-0.54	0.87	1.00																										
K	0.59	-0.07	-0.50	-0.53	0.68	0.73	1.00																									
Ca	0.80	0.01	-0.57	-0.56	0.65	0.57	0.42	1.00																								
Mg	0.75	0.12	-0.61	-0.55	0.52	0.61	0.67	0.72	1.00																							
Fe	0.22	-0.07	-0.29	-0.48	0.33	0.17	0.42	0.42	0.24	1.00																						
Mn	0.22	-0.05	-0.27	-0.46	0.33	0.18	0.44	0.40	0.24	0.99	1.00																					
Ba	0.46	-0.01	-0.22	-0.31	0.23	0.42	0.15	0.51	0.35	-0.05	-0.05	1.00																				
Sr	0.72	0.15	-0.36	-0.46	0.24	0.44	0.37	0.61	0.70	0.14	0.14	0.59	1.00																			
Rb	0.28	-0.11	-0.39	-0.48	0.41	0.25	0.63	0.44	0.47	0.83	0.82	-0.06	0.16	1.00																		
Al	-0.17	-0.20	0.17	0.09	-0.12	-0.13	-0.07	-0.22	-0.16	-0.06	-0.04	-0.17	-0.22	-0.06	1.00																	
Cr	0.57	0.08	-0.44	-0.44	0.50	0.53	0.14	0.64	0.36	0.07	0.07	0.48	0.35	0.07	-0.18	1.00																
Co	0.52	-0.03	-0.43	-0.56	0.48	0.35	0.47	0.73	0.44	0.88	0.88	0.21	0.42	0.74	-0.12	0.35	1.00															
Ni	0.59	-0.10	-0.45	-0.45	0.50	0.41	0.39	0.76	0.51	0.49	0.47	0.36	0.47	0.45	-0.18	0.49	0.70	1.00														
Cu	0.15	-0.02	-0.07	-0.11	0.01	0.02	0.06	0.05	0.02	-0.04	-0.02	0.01	0.05	0.02	0.00	0.18	-0.01	0.04	1.00													
Zn	0.04	-0.13	0.19	0.09	0.23	0.18	-0.03	0.05	-0.10	-0.03	-0.05	0.25	0.02	-0.12	-0.11	0.04	-0.04	0.01	0.00	1.00												
As	0.03	-0.10	-0.10	-0.31	0.06	0.08	0.08	0.08	0.09	0.06	-0.05	0.08	0.06	0.05	-0.08	0.00	-0.03	0.02	-0.02	0.07	1.00											
Mo	0.00	-0.14	-0.12	-0.28	0.14	0.22	0.27	-0.03	0.15	0.00	-0.10	0.03	0.08	0.10	-0.10	-0.09	-0.11	0.01	0.01	0.07	0.87	1.00										
Sb	0.05	-0.16	0.02	0.02	0.16	0.17	0.17	-0.02	0.00	-0.05	-0.06	0.03	-0.06	-0.03	-0.12	-0.02	-0.10	0.18	0.02	0.19	0.21	0.33	1.00									
Hg	0.16	-0.21	-0.15	-0.03	0.31	0.26	0.26	0.23	0.30	-0.01	-0.04	0.03	0.11	0.21	-0.13	0.22	0.03	0.12	0.29	0.06	0.00	0.16	0.05	1.00								
Pb	-0.12	-0.04	0.07	0.10	-0.07	-0.07	-0.01	-0.12	-0.07	-0.03	-0.02	-0.12	-0.06	-0.07	-0.04	-0.09	-0.07	0.48	-0.01	-0.01	-0.04	0.08	0.42	-0.06	1.00							
Cl	0.79	0.13	-0.51	-0.51	0.61	0.75	0.54	0.54	0.54	-0.06	-0.05	0.42	0.57	0.05	-0.13	0.51	0.24	0.36	0.06	0.10	0.02	0.07	0.09	0.11	-0.06	1.00						
NO ₃ ⁻	0.48	0.22	-0.10	-0.05	0.08	0.22	0.09	0.35	0.37	-0.19	-0.18	0.27	0.63	-0.20	-0.11	0.26	0.13	0.19	-0.06	0.10	-0.08	-0.11	-0.07	0.02	-0.08	0.57	1.00					
SO ₄ ²⁻	0.59	-0.03	-0.42	-0.68	0.44	0.51	0.61	0.59	0.56	0.69	0.69	0.39	0.66	0.60	-0.14	0.24	0.77	0.56	0.03	0.04	0.19	0.21	0.00	0.07	-0.07	0.40	0.22	1.00				
F	0.13	-0.02	-0.10	-0.22	0.20	0.20	0.36	0.14	0.29	0.24	0.22	-0.11	0.18	0.31	-0.03	-0.04	0.21	0.29	-0.02	-0.04	0.21	0.38	0.47	0.23	0.24	0.13	0.07	0.30	1.00			
PO ₄ ³⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		
HCO ₃ ⁻	0.76	0.02	-0.59	-0.49	0.73	0.66	0.47	0.95	0.76	0.30	0.28	0.46	0.49	0.40	-0.20	0.66	0.58	0.69	0.05	0.05	0.05	0.00	0.03	0.31	-0.11	0.52	0.23	0.42	0.12	0.00	1.00	
TDS	0.58	0.20	-0.65	-0.44	0.53	0.60	0.44	0.53	0.58	0.10	0.08	0.27	0.38	0.23	-0.05	0.43	0.30	0.33	-0.03	-0.10	0.00	0.05	-0.07	0.01	-0.09	0.62	0.21	0.27	0.0	0.00	0.59	1.00

Ek Çizelge 4.

İnceleme alanındaki suların hidrojeokimyasal parametreleri için tek yönlü ANOVA testi sonuçları

Parameter	n	Wet Season									Dry Season									OWA	
		Min.	Max.	Mean	Med.	STD	WHO	SASL*	TSE	SASL*	Min.	Max.	Mean	Med.	STD	WHO	SASL*	TSE	SASL*	F	P
EC (µS/cm)	37	77.1	1178	553.68	496.50	316.34	2500	None	2000	None	113.4	1013.92	544.79	512.00	271.32	2500	None	2000	None	0.02	0.90
T	37	12.5	23.3	16.56	15.47	2.77			25	None	12.3	22	16.04	15.90	1.86			25	None	0.89	0.35
pH	37	5.83	7.95	6.71	7.18	6.46	6.5-8.5	None	6.5-9.2	None	6	8.28	7.34	7.43	6.67	6.5-8.5	None	6.5-9.2	None	5.02	0.03
DO	37	4.04	8.83	7.11	7.25	1.09					4.67	8.65	7.12	7.25	0.89					0.04	0.85
TDS	37	81.69	1705.48	448.75	271.74	444.14	1000	4	1000	4	50.04	983.29	288.63	198.46	226.24	1000	None	1000	None	3.82	0.05
Na ⁺	37	2.8	145.65	23.73	15.93	26.13	200	None	175	None	1.75	52.6	17.03	12.10	6.81	200	None	175	None	1.96	0.17
K ⁺	37	0.58	15.51	3.69	2.93	2.95	30	None	12	1	0.57	10.6	4.08	3.44	2.24	30	None	12	None	0.41	0.52
Ca ²⁺	37	7.8	257.62	98.25	84.94	62.76	200	4	200	4	8.47	217.28	68.48	66.20	43.41	200	1	200	1	5.63	0.02
Mg ²⁺	37	2.44	26.44	13.74	13.44	6.72	150	None	50	None	0.45	26.44	11.51	9.87	6.75	150	None	50	None	2.03	0.16
Cl ⁻	37	1.41	87.12	18.01	12.58	19.06	250	None	600	None	1.2	58.9	17.25	11.27	16.41	250	None	600	None	0.03	0.85
NO ₃ ⁻	37	0.56	67.35	16.78	12.39	14.02	50	1	50	1	0.9	94.63	17.56	11.00	16.82	50	1	50	1	0.05	0.83
HCO ₃ ⁻	37	36.53	890.68	338.55	294.26	200.56					-0.02	630.83	233.18	208.93	140.82					6.84	0.01
SO ₄ ²⁻	37	3.38	717.86	298.42	273.41	196.49	400	10	250	22	5.09	694.55	209.4	194.42	143.42	400	3	250	3	0.73	0.40
PO ₄ ³⁻	37	0.1	0.1	0.1	0.10	0					0.1	0.1	0.1	0.10	0					0.00	1.00
F	37	0.08	0.6	0.23	0.22	0.1	1.5	None	1.5	None	0.03	0.41	0.22	0.21	0.08	1.5	None	1.5	None	0.23	0.63
Li	37	< 0.0001	0.14	0.02	0.01	0.03					< 0.0001	0.08	0.01	0.00	0.02					3.48	0.07
Fe	37	< 0.001	0.12	0.001	0.01	0.02	300	None	300	None	< 0.001	0.12	0.005	0.01	0.02	300	None	300	None	0.23	0.63
Mn	37	< 0.0001	0.45	0.01	0.00	0.07	50	None	50	None	0	0.45	0.01	0.00	0.07	50	None	50	None	0.00	0.10
Ba	37	1.38	210.16	47.45	34.32	42.69					1.01	210.16	31.68	20.60	37.62					2.84	0.10
Sr	37	0.06	0.82	0.35	0.35	0.18					0.05	0.8	0.3	0.26	0.17					1.64	0.20
Rb	37	0.53	55.2	10.97	10.83	9.48					0.37	55.2	8.92	7.16	9.1					0.91	0.34
Al	37	1.07	29.03	6.14	4.58	5.63	2000	None	2000	None	0.001	9.321	0.72	3.60	1.92	2000	None	2000	None	5.17	0.03
Cr	37	0.03	5.19	1.22	1.09	1.2					0.1	3.53	0.67	0.50	0.83					5.36	0.02
Co	37	0.02	1.86	0.26	0.17	0.31					0.02	1.86	0.2	0.11	0.31					0.58	0.45
Ni	37	0.04	7.66	2.44	1.96	1.9					0.04	10.1	2	1.40	1.4					1.07	0.30
Cu	37	0.18	15.84	1.63	0.88	2.77	1000	None	1000	None	0.11	11.3	1.2	0.62	2.08	1000	None	1000	None	0.59	0.44
Zn	37	4.47	405.27	34.1	14.62	66.86	5000	None	5000	None	0.09	302.02	25.5	11.20	11.2	5000	None	5000	None	0.38	0.54
As	37	0.69	391.14	24.78	8.58	0.06	10	18	10	18	0.29	43.64	12.9	8.15	10.9	10	12	10	12	1.44	0.23
Mo	37	0.18	11.52	1.32	0.67	2					0.1	2.96	0.87	0.83	0.6					1.67	0.20
Sb	37	0.07	4.39	0.66	0.22	0.91	20	None	10	None	0.07	3.45	0.57	0.27	0.74	20	None	10	None	0.23	0.63
Hg	27	0	0.46	0.07	0.05	0.08	1	None			0	0.14	0.03	0.02	0.02	1	None			8.00	0.01
Pb	37	0.09	1.5	0.42	0.38	0.3	50	None	50	None	0.001	69.6	2.28	0.43	0.17	50	1	50	1	0.98	0.33
SAR	37	0.17	3.51	0.56	0.42	0.56					0.07	1.54	0.48	0.39	0.4					0.61	0.44
% Na	37	10.25	58.24	18.81	17.03	8.61					4.26	40.91	21	18.77	6.81						
SI (anhydrite)	37	-3.56	-0.85	-1.67		0.7					-3.4	-0.9	-1.85		0.56						
SI (barite)	37	1.4	4.15	3.08		0.77					1.4	4.15	2.87		0.64						
SI (calcite)	37	-1.2	1.06	0.1		0.56					-1.22	0.95	0.12		0.54						
SI (dolomite)	37	-2.62	1.71	-0.37		1.07					-3.5	1.23	-0.31		1.04						
SI (gypsum)	37	-3.32	-0.61	-1.44		0.7					-3.15	-0.66	-1.6		0.56						
SI (goethite)	37	1.54	6.73	4.61		1.4					1.11	7	5.03		1.23						
SI (hematite)	37	5.05	15.41	11.19		2.74					4.17	15.56	12.02		2.5						

ÖZ GEÇMİŞ

Gökhan ERTAN 08.09.1986 tarihinde Niğde’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Niğde’de tamamladı. 2009 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2013 ‘de mezun oldu. 2013’de Niğde Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Jeoloji mühendisliği ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitime başladı. O tarihten beri yüksek lisans eğitime devam etmektedir. 2013-2017 yılları arasında özel sektörde mühendislik ve çeşitli kademelerde yönetici olarak çalıştı. 2018 yılından beri Niğde İl Milli Eğitim Müdürlüğü’nde memur olarak çalışmaya devam etmektedir.