

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



KOZLUK KAYNAĞI'NIN (MALATYA)
HİDROJEOLÖJİK İNCELEMESİ

Safa ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

JEOLÖJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı

OCAK, 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**KOZLUK KAYNAĞI'NIN (MALATYA) HİDROJEOLJİK
İNCELEMESİ**

Tez Yazarı
Safa ÇELİK

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN

OCAK, 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Kozluk Kaynağı'nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi
Yazarı: Safa ÇELİK
İlk Teslim Tarihi: 21.12.2021
Savunma Tarihi: 24.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Leyla KALENDER Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Kozluk Kaynağı’nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi” yüksek lisans tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

24.01.2022

Safa ÇELİK



ÖNSÖZ

“Kozluk Kaynağı’nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi” başlıklı bu çalışma ile Kozluk mahallesi ve yakın çevresinde bulunan su kaynaklarını besleyen akiferlerin hidrojeolojisi incelenmiştir. Yapılan hidrojeoloji çalışmaları kapsamında akiferlerin depolama ve boşalım gibi hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kaynakların gerçek boşalım hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen su kaynaklarının ayrıntılı hidrojeokimyasal incelemeleri de yapılarak, sulara bulunan majör anyon ve katyonların kökenleri belirlenmiş ve suların içme amaçlı kullanımları değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile Kozluk Kaynağı ve yakın çevresindeki su kaynaklarını besleyen akiferlerin verimliliklerinin ve bu akiferlerden beslenen kaynak sularının içme amaçlı kullanımlarındaki kalitelerinin devamlılıkları hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanması, yürütülmesi ve yönlendirilmesinde bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen ve çalışmaktan onur duyduğum Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ) yönetim ve idare ekibine, laboratuvar çalışmaları kısmında her zaman desteğini aldığım bilgi, birikim ve tecrübesini benimle paylaşan Su Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürü Kimya Mühendisi Habibe ÖZBEN’e ve ekibine teşekkürlerimi sunarım

Tezin birçok aşamasında bilgi ve birikimleri ile her zaman destek olan Jeoloji Mühendisleri Alper KARABULUT ve İlker KARABULUT’a teşekkürlerimi sunarım

Hayatımın her anında yanımda olan ve verdikleri motivasyon ile desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen başta ablam Merve ÇELİK olmak üzere sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalında yüksek lisans tez konusu olarak hazırlanmış “Kozluk Kaynağı’nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) tarafından MF.19.28 protokol numaralı proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimine teşekkür ederim.

Safa ÇELİK

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Önceki Çalışmalar.....	3
2. MATERYAL VE METOT	5
2.1. Literatür Çalışmaları	5
2.2. Arazi Çalışmaları	5
2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	8
2.4. Büro Çalışmaları	9
3. BULGULAR	10
3.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi.....	10
3.1.1. Malatya Metamorfitleri	12
3.1.2. Yapısal Jeoloji	15
3.2. Hidroloji.....	17
3.3. Hidrojeokimya	18
4. TARTIŞMA	25
4.1. Hidrojeoloji	25
4.1.1. Kozluk Kaynağı'nın Oluşumu	25
4.1.2. Kaynakların Boşalım Grafiklerinin İncelenmesi	26
4.2. Hidrojeokimya	35
4.2.1. İnceleme Alanındaki Suların Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması.....	35
4.2.2. Sularda Bulunan Başlıca İyonlar, İyonların Mevsimsel Değişimleri ve Kökenleri.....	40
4.2.3. Kimyasal Analizlerin Diyagramlarla Gösterilmesi.....	46
4.2.4. İzotop Hidrolojisi	51
4.2.5. İncelenen Suların İçme Suyu Kalitelerinin Belirlenmesi.....	53

4.3. Kozluk Kaynağı'nın Koruma Alanlarının Belirlenmesi.....	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

Kozluk Kaynağı'nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi

Safa ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak 2022, Sayfa xii+66

Kozluk Kaynağı'nın (Malatya) hidrojeolojik incelenmesini konu alan bu çalışmanın amacı, kaynak oluşumlarının açıklanması, düzenli debi ölçümleri ile gerçek rejim dönemlerinin belirlenmesi, kimyasal analizler ve izotop analizler ile suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisinin açıklanması, suların kökenlerinin belirlenmesidir. Ayrıca bu çalışma kapsamında suların kimyasal bileşimleri çeşitli standartlarla karşılaştırılmış ve içme suyu amaçlı kullanımları değerlendirilmiştir.

Yağışlı ve kurak dönemi temsil etmek için Mayıs (2020) ve Eylül (2019) aylarında yeraltı sularından numuneler alınmıştır. Her iki dönemde de yeraltı sularının kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Yeraltı sularından numuneler alınırken pH, sıcaklık (T) ve elektriksel iletkenliği (EC) arazide yerinde ölçülmüştür. Kaynak debileri dikdörtgen savaklar yardımıyla, çeşmelerin debileri ise belirli hacim yöntemiyle ölçülmüştür.

Çalışma sahasında, Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşları ve şistler geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Kaynakların akifer birimleri Malatya Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşları olup, şistler geçirimsiz temel birimleri oluşturmaktadır. İncelenen suların pH değerleri 7,30-8,04 arasında, elektriksel iletkenlik değerleri ise 233,60-535,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Schoeller diyagramı incelendiğinde yeraltı sularındaki baskın katyonun Ca^{+2} ve baskın anyonun HCO_3^- olduğu belirlenmiştir. Sular $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerine göre meteorik kökenlidir. Tritiyum içeriklerine göre suların bir kısmı derin dolaşım, bir kısmı ise sıg dolaşımlıdır. Kozluk Kaynağı ve diğer kaynakların gerçek rejimde boşalım kotu üzerindeki su depolama gücünün toplam (V_T) $172 \times 10^3 \text{ m}^3$ olduğu, boşalım katsayılarının 0,0058 ile 0,057 gün^{-1} aralığında değiştiği hesaplanmıştır.

Kaynakta debinin düşük olduğu dönemlerde laminar akım baskınken, debinin yüksek olduğu dönemlerde ise türbülans akımın baskın olduğu belirlenmiştir. Suların majör anyon, katyon, metal analizleri, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} içerikleri TSE, 266 ve WHO içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında genel olarak suların içmeye uygun olduğu belirlenmiştir. Bazı sularda içme suyu standartlarına yakın veya üzerinde tespit edilen NH_4^+ , NO_3^- ve e-koli içerikleri tarımda özellikle yaz aylarından kullanılan suni ve doğal gübrelerin doğrudan açıkta depolanması ve fosseptiklerden kaynaklanmaktadır. Yüzeysel karstlaşmanın da yoğun olarak geliştiği rekristalize kireçtaşı akiferlerinde yeraltı suyu kalitesini koruyabilmek için bu litolojik birimler üzerinde tarımsal faaliyetlerde daha az kimyasal ve hayvansal gübre kullanılmalı, hayvansal gübreler geçirimsiz seviyeler (geçirimsiz beton yüzeyler ya da geçirimsiz kalın muşambalar üzerinde) oluşturularak depolanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Kozluk Kaynağı, Karstik, Maillet Formülü, Koruma Alanı, Yeraltı Suları, Boşalım Katsayısı

ABSTRACT

The Hydrogeological Investigation of Kozluk Spring (Malatya)

Safa ÇELİK

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering
January 2022, Page xii+66

The aim of this study, which is about the hydrogeological investigation of Kozluk Spring (Malatya), is to explain the formation of the springs, to determine the real regime periods with regular flow measurements, to explain the relationship between the chemical compositions of the waters with lithology, to determine the origins of the waters with chemical analyzes and isotope analyses. In addition, within the scope of this study, the chemical compositions of the waters were compared with various standards and their use for drinking purposes was evaluated.

Groundwater samples were taken in May (2020) and September (2019) to represent the rainy and dry period. In both periods, chemical and isotope analyzes of groundwater were carried out. The pH, temperature (T) and electrical conductivity (EC) were measured in situ in the field while samples were taken from groundwater. The flow rates of the springs were measured with the help of rectangular weirs and the flow rates of the fountains were measured with the specific volume method.

In the study area, recrystallized limestones and schists of Devonian-Jurassic Malatya Metamorphics crop out in large areas. The aquifer unit of the springs are recrystallized limestones and the impermeable basement unit of the aquifer is schists belonging to Malatya Metamorphics. The pH values of the examined waters vary between 7.30-8.04, the electrical conductivity values vary between 233.60-535.00 $\mu\text{S/cm}$. When the Schoeller diagram was examined, it was observed that the dominant cation in the groundwaters was Ca^{+2} and the dominant anion was HCO_3^- . In the Piper diagram, groundwater is in the CaCO_3^- and MgCO_3^- groups. The waters are of meteoric origin according to their $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ contents. According to their tritium contents, some of the waters are deep circulated and some are shallow circulated. It has been calculated that the total water storage capacity (V_T) of Kozluk Spring and other springs above the discharge level in the real regime is $172 \times 10^3 \text{ m}^3$ and the discharge coefficients vary between 0.0058 and 0.057 day^{-1} .

It has been determined that laminar flow is dominant in the periods when the flow is low in the source, while turbulent flow is dominant in the periods when the flow is high. When the major anion, cation, metal analysis, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} contents of the waters were compared with the TSE, 266 and WHO drinking water standards, it was determined that the waters were suitable for drinking in general. NH_4^+ , NO_3^- and e-coli contents detected in some waters close to or above drinking water standards are caused by the direct outdoor storage of artificial and natural fertilizers used in agriculture, especially in summer months and from septic tanks. In order to maintain the groundwater quality in recrystallized limestone aquifers where surface karstification is also intense, less chemical and animal fertilizers should be used in agricultural activities on these lithological units and animal manures should be stored by creating impermeable levels (on impermeable concrete surfaces or thick impermeable linoleum).

Keywords: Kozluk Spring, Karst, Maillet Formula, Conservation Area, Groundwater, Discharge Coefficient

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası	2
Şekil 2.1.	M-3 kaynağı belirli hacim yöntemi ile debi ölçümü	6
Şekil 2.2.	M-5 kaynağı savakta debi ölçümü	6
Şekil 2.3.	M-9 kaynağı debi ölçüm ve numune alma çalışması	7
Şekil 2.4.	M-5 kaynağı su örnekleme çalışması.....	7
Şekil 2.5.	Laboratuvar Çalışmaları.....	9
Şekil 3.1.	Çalışma alanının jeoloji haritası.....	11
Şekil 3.2.	Çalışma alanı ve yakın dolayına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit	12
Şekil 3.3.	Malatya Metamorfitle'ne ait rekristalize kireçtaşlarının görünümü	13
Şekil 3.4.	Çalışma sahası ve yakın çevresinde gözlemlenen karstik erime boşlukları	13
Şekil 3.5.	Kaynakların oluşumunu sağlayan doğrultu atımlı fay düzlemi ve üzerindeki kayma çizikleri	14
Şekil 3.6.	Çalışma sahasında Malatya Metamorfitle'ri içerisinde gözlenen şist seviyeleri	15
Şekil 3.7.	Malatya Metamorfitle'ri'ne ait rekristalize kireçtaşları ve şistlerde ölçülen çatlak yönelimlerine ait a) gül ve b) kontur diyagramları	16
Şekil 3.8.	Thorntwaite yöntemine göre çalışma alanı için yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği	18
Şekil 3.9.	Çalışma alanından alınan su örneklerinin uydu görüntüsü üzerindeki gösterimi.....	19
Şekil 4.1.	Kozluk Kaynağı'nın oluşumunu gösteren şematik hidrojeolojik kesiti	25
Şekil 4.2.	Kaynak debisinin geçirimsizlik ve beslenme alanı ile ilgisi.....	26
Şekil 4.3.	Kaynağın boşalım kotu üzerindeki rezervi	26
Şekil 4.4.	log q: f(t) boşalım grafiği	27
Şekil 4.5.	Q: f (t) grafiği ve akım türleri	27
Şekil 4.6.	Bir kaynağın yarı log hidrogramının bileşenleri	28
Şekil 4.7.	Bir akiferin şematik gösterimi.....	29
Şekil 4.8.	M-3 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu	30
Şekil 4.9.	M-4 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu	31
Şekil 4.10.	M-5 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu	32
Şekil 4.11.	M-8 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu	33
Şekil 4.12.	Çalışma alanındaki suların pH değerlerinin mevsimsel dönemlere göre değişimleri	35
Şekil 4.13.	Çalışma alanındaki suların EC değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri.....	37
Şekil 4.14.	Toplam Fransız Sertliği'ne göre suların sertlik derecelerinin mevsimsel değişimi (d°h Fr).....	39
Şekil 4.15.	İnceleme alanındaki suların sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi	40
Şekil 4.16.	İnceleme alanındaki suların Ca ⁺² iyon konsantrasyonlarının dönemsel değişimi	41
Şekil 4.17.	İnceleme alanındaki suların Mg ⁺² iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	42
Şekil 4.18.	İnceleme alanındaki suların Na ⁺ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	42
Şekil 4.19.	İnceleme alanındaki suların K ⁺ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	43
Şekil 4.20.	İnceleme alanındaki suların Cl ⁻ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....	44

Şekil 4.21.	İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	45
Şekil 4.22.	İnceleme alanındaki suların HCO_3^- iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	46
Şekil 4.23.	Kurak dönemde incelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi	47
Şekil 4.24.	Yağışlı dönemde incelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi	47
Şekil 4.25.	Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin numaralandırılması ve bu bölgelerin özellikleri	49
Şekil 4.26.	İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi	50
Şekil 4.27.	İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi	50
Şekil 4.28.	İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı	52
Şekil 4.29.	İncelenen suların ^3H ve EC diyagramı	53
Şekil 4.30.	Çalışma alanı arazi kullanım haritası	57
Şekil 4.31.	Yukarı Kozluk Mahallesi yakın çevresinde açıkta depolanan hayvansal gübre yığınları	58
Şekil 4.32.	İncelenen suların NO_3^- değerlerinin aylara göre karşılaştırılması	58
Şekil 4.33.	Kozluk Kaynakları mutlak ve birinci derece koruma alanları	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1.	Çalışma alanının 2016-2019 yılları arası nem bilançosu.....	17
Tablo 3.2.	Çalışma kapsamında incelenen suların kurak ve yağışlı dönem kimyasal analiz sonuçları ...	20
Tablo 3.3.	Çalışma kapsamında incelenen sularının kurak dönem izotop analiz sonuçları	22
Tablo 3.4.	Çalışma kapsamında incelenen sularının yağışlı dönem izotop analiz sonuçları	22
Tablo 3.5.	Çalışma kapsamında incelenen yeraltı sularının içerdikleri metal analiz sonuçları	24
Tablo 4.1.	M-4 ve M-5 numaralı Kozluk Kaynakları'nın hesaplanan boşalım katsayıları.....	34
Tablo 4.2.	İncelenen suların dönemsel pH değerleri	35
Tablo 4.3.	Su örneklerinin EC değerleri.....	37
Tablo 4.4.	Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflaması	38
Tablo 4.5.	Toplam Fransız Sertliği'ne göre suların sertlik dereceleri (d ^o h Fr)	38
Tablo 4.6.	Çalışma alanındaki suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması.....	39
Tablo 4.7.	Yağışlı ve kurak dönemde örneklenen suların kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri ...	48
Tablo 4.8.	İncelenen suların NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , PO ₄ ⁻³ ve E.coli içerikleri.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
Cl	: Klorür
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
² H	: Döteryum
³ H	: Tritiyum
¹⁸ O	: Oksijen-18
HCO ₃	: Bikarbonat
Mg	: Magnezyum
MgCO ₃	: Magnezyum Karbonat
Na	: Sodyum
NH ₄	: Amonyum
NO ₃	: Nitrat
NO ₂	: Nitrat
Pb	: Kurşun
PO ₄	: Fosfat
SO ₄	: Sülfat
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

EC	: Elektriksel İletkenlik
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer
KD	: Kurak Dönem
TAKK	: Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
YAS	: Yeraltı Suyu
YD	: Yağışlı Dönem

1. GİRİŞ

Yaşamın devamı için vazgeçilmez bir kaynak olan su, toplumun ekonomik gelişme modelini de etkileyen doğal fakat sınırlı bir kaynaktır. Dünyamızın geleceğini tehdit eden en önemli çevre felaketlerinden biri, hızla artan dünya nüfusu karşısında tatlı su kaynaklarının hızla kirlenmesi ve tüketilmesidir. Yüzey sularının yetersiz kaldığı durumlarda tatlı su elde edebilmek için yeraltı sularının kullanımı da oldukça artmaktadır. Bununla beraber doğal ve yapay nedenlerle yeraltı suları da hızla kirlenmektedir. Geleceğimizi tehdit eden bu olumsuzluklarla birlikte kullanım, kirliliğin belirlenmesi ve önlenmesiyle ilgili bilim insanları tarafından yoğun çalışmalar yapılmaya başlanılmıştır (Yiğit, 2016).

Yerleşim bölgelerinin içme suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılan önemli kaynaklardan biri karst akiferlerlerden alınan yeraltı sularıdır. Karstik yeraltı suları, dünya nüfusunun yaklaşık %25'inin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır (Ford ve Williams, 2007). Karst akiferlerin su sağlama potansiyelini çoğunlukla, bölgesel yağış miktarı, kireçtaşı formasyonunun yapısı belirlemektedir (Şimşek vd., 2008). Karst sistemlerinin yüksek heterojen yapısı, yeraltı suyunun akış yönünü ve süresini tahmin etme imkânsızlığına yol açmakta, karmaşık ve zor bir sistem haline getirmektedir. Karst akiferinin geçirimsizliği anizotropik karaktere sahip akış halindeki sular tarafından oluşturulur. Karstik alanda yüzey ve yeraltı suyu arasındaki etkileşim çok güçlüdür (Bonacci, 1987; 2009). Genelde karst akiferlerinde yeraltı suyu döngüsü, karstik olmayan sistemlerden çok farklıdır. Su kimyası ve izotop verileri, karst suyunun hareketi ve kökeni üzerine bağımsız bilgiler edinmemizi sağlar (Dursun vd., 2016). Duraylı izotoplardan döteryum ve oksijen-18, suların olası beslenme yüksekliklerinin belirlenmesinde, trityum ise suların bağlı yaş ve geçiş sürelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılır (Payne ve ark., 1978; Yurtsever, 1978; IAEA 1981, 1983; Eftimi, 2007).

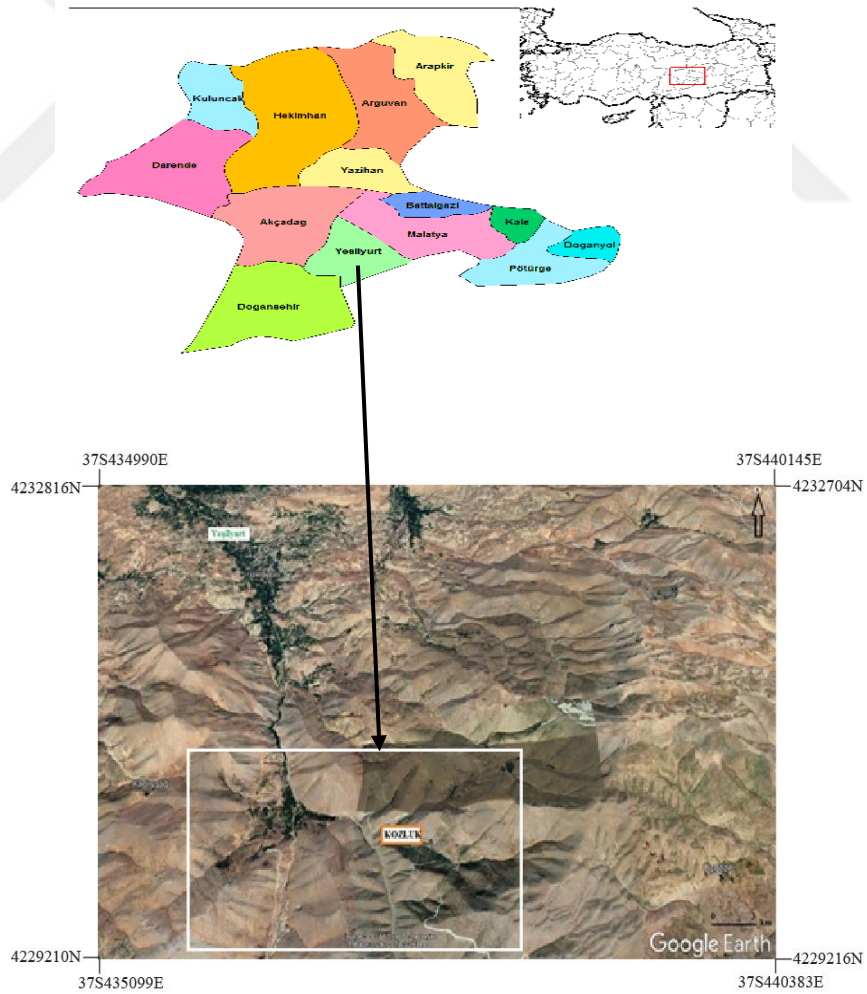
Kozluk Mahallesi'nin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan Kozluk Kaynağı'nı ve çevredeki diğer kaynakları besleyen akiferin hidrojeolojisinin incelenmesi, bu kaynakları besleyen akiferin yönetimi açısından önem taşımaktadır. İlk defa yapılacak olan bu çalışma ile kaynaklar hidrojeolojik açıdan incelenmiş olup, kaynak sularından dönemsel olarak alınan su örneklerinin kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Maillet (1905) temel formülü ile kaynakların gerçek rejimdeki boşalma grafikleri çizilerek değerlendirilmiş, yapılan kimyasal ve izotop analizleri ile yeraltı sularının kimyasal bileşimlerinin litolojiyle ilişkileri ortaya çıkarılıp suların kökenleri belirlenmiştir. Kaynak ve çeşme sularının içmeye ve kullanmaya uygunluk durumları değerlendirilip, mevcut durumdaki kirlenici faktörler belirlenerek bunların yeraltı suyu kalitesine etkileri araştırılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, Kozluk Kaynağı ve yakın çevresinde bulunan diğer kaynakların düzenli debi ölçümleri ile gerçek rejimde boşalım kotları üzerindeki rezervuar hacimlerinin belirlenmesi, kaynak koruma alanlarının oluşturulması, çalışma alanı içerisindeki yeraltı sularının ayrıntılı hidrojeokimya ve izotop çalışmaları ile kökeni, oluşum mekanizmaları ve içme amaçlı kullanıma uygunluklarını ortaya çıkarmaktır.

Coğrafik Durum

İnceleme alanı, Malatya ili Yeşilyurt ilçesi sınırları içerisinde Malatya şehir merkezine yaklaşık olarak 20 km uzaklıkta bulunan ve şehrin içme suyu ihtiyacını sağlayan Pınarbaşı Kaynağı kaptajının 2 km GD' sunda, 1/25.000 ölçekli L40C1 paftası sınırları içerisinde yer almaktadır. Karstik bir kaynak olan Kozluk Kaynağı, birkaç noktadan boşalan kaynak alanıyla Kozluk Deresi'ni oluşturmaktadır. Kozluk Deresi, Subatan Deresi'nin bir kolunu oluşturması nedeniyle, Subatan Deresi'nin beslenme alanı havza sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

1.2. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan jeoloji, jeokimya, petrografi ve hidrojeoloji çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Önal ve Şahinci (1986)'nin "Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Dolayının Hidrojeolojik İncelemesi" başlıklı çalışmalarında araştırmacılar, alandaki kaynakların oluşumunun karstlaşma ile ilişkili olup bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak faylarla denetlendiğini belirtmişlerdir.

Gözübol ve Önal (1986) Malatya-Çelikhan (Adıyaman) arasında planlanan Çat projesinin isale tüneli güzergâhının mühendislik jeolojisi ve baraj su kaçakları ile ilgili çalışmıştır. Yapılan araştırmalarda bölgenin, Doğu Anadolu Fay zone içerisinde ve yakın dolayında, yapısal özellikleriyle karmaşık bir kesim olduğu belirtilmiştir.

Önal, (1993)'ın "Derme Karst Kaynağı ve Geliştirilmesi" başlıklı çalışmasında Derme Kaynağı' nı besleyen kireçtaşlarının yayılımı, komşu yeraltı suyu havzaları ile ilişkisi, yıllık beslenme miktarı ve akiferin boşalım katsayısı tespit edilmiş ve kaynağın geliştirilebilme olanakları araştırılmıştır.

Günaydın, (2001)'in "Horata (Malatya) Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında, bölgenin jeoloji yapısı ortaya çıkarılarak, kaynağın hidrojeolojisi aydınlatılmaya çalışılmıştır. Kaynağın onaltı ay boyunca debisi ölçülerek, boşalım katsayıları hesaplanmıştır.

Revan (2003)'in "Malatya-Yeşilyurt Altınlı Fluorit Cevherleşmesinin Oluşumu ve Kökeni" başlıklı yüksek lisans tezinde, altınlı fluorit cevherleşmelerinin birbirleriyle korelasyonlarını ve jeolojik konumlarını, köken ve oluşum ortamını belirlemek için, detaylı haritalama ve örnek alımı yaparak, elde edilen bilgiler ışığında altın ve fluorit potansiyelini ortaya koymuşlardır.

Çelebi (2010)'nin "Pınarbaşı (Adıyaman) Apatitli Manyetit Yatağının Jeolojisi, Jeokimyasal Özellikleri ve Ekonomik Potansiyeli" başlıklı çalışması, Malatya Metamorfitleri'nin Maden Karmaşığı üzerine bindirme ile geldiğini ve bindirmeye bağlı olarak ekonomik öneme sahip apatitli manyetit cevherleşmesinin oluştuğundan bahsetmektedir.

Şahin (2010)'in "Çelikhan (Adıyaman) Civarında Yüzeyleyen Metamorfik ve Mağmatik Kayaların Petrolojisi" başlıklı makalesinde, inceleme alanı içerisindeki kayaç birimleri ortaya konularak, Pütürge Metamorfitleri' nin batı ucu ve Malatya Metamorfitleri'nin güney ucunu temsil eden kayaçların petrolojik özellikleri incelenmiştir.

Kara (2013)'nin "Keban ve Malatya Metamorfitleri'nde Organik Madde İçeren Litolojilerin Metalik Element Jeokimyası" başlıklı yüksek lisans tezinde Elazığ (Keban) ve Malatya (Yeşilyurt) bölgelerinde organik madde içeren kireçtaşları ve şeyl örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analizlerle organik madde içeriğiyle metalik elementler arasındaki ilişkiler detaylı olarak incelenmiştir.

Ekmekçi (2014), Yeşilyurt ilçesi Kozluk mahallesi sınırları içerisinde yer alan Subatan Dere havzasının hidrojeolojisini incelenmiştir. Yapmış olduğu bu çalışma ile Malatya'nın içme suyu ihtiyacının tamamını karşılayan Pınarbaşı Kaynağı'nın bağlı olduğu akiferin genel hidrojeolojik yapısını mevcut veriler ışığında açıklamıştır. Kaynak suyunun koruma alanın yakın çevresinde özel işletme tarafından yapılması planlanan kalker ocağı ruhsat sahasında yapılacak faaliyetlerin Pınarbaşı Kaynağı'nın akım miktarı ve su kalitesine olan etkilerinin ortaya çıkarabileceği olumsuz sonuçları ve risk durumlarını değerlendirmiştir.

Dursun vd. (2016)'nin "Derme Karstik Kaynağı'nın Hidrojeolojik Özelliklerinin Hidrojeokimyasal Analizler ve Çevresel İzotop Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi" başlıklı çalışmalarında Derme (Pınarbaşı) Kaynağı'ndan farklı dönemlerde alınan su örneklerinde izotop ve fizikokimyasal analizler yapılarak suyun kökeni belirlenerek kaynak için koruma alanları oluşturulmuştur.

Okan vd. (2018)'in "Plajköy Kaynağı (Elazığ) Hidrojeoloji İncelemesi" başlıklı çalışmalarında, Plajköy Kaynağı'nın gerçek rejimde kaynağın boşalım katsayısı hesaplanarak kaynağın koruma alanları belirlenmiştir. Hesaplanan boşalım katsayısının yorumunda, kaynağın boşalımının bölgede etkin olan çatlak sistemlerinin geometrisi ve yoğunluğu ile ilişkili olduğu, kaynağın dar kırık, çatlak ve gözeneklerden beslendiği belirtilmiştir.

Kalender, L. (2019)'in "Görgü-Malatya Pb-Zn Yatağı Civarındaki Maden Atıklarının Yüzey ve Yeraltı Sularına Etkisi" başlıklı yüksek lisans tezinde Görgü Pb- Zn yatağı ve çevresinden su örnekleri alınarak, su-cevherleşme ve çevresel etkiler arasındaki jeokimyasal ilişkiler incelenmiştir.

Deneri, A.H. (2020)'nin "Karstik Kaynakların Ani Boşalım Ölçümleri ile Kaynak Sularının Değerlendirilmesi; Susuz Kaynakları, (Seydişehir) Konya" başlıklı yüksek lisans tezinde karstik kaynakların ani yağış, sellenme, erime gibi beslenme koşullarındaki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen grafikler ile seviye ölçümleri debiye dönüştürülmüştür.

Davraz, A. ve Batur, B. (2021)'nin "Yalvaç-Gelendost (Türkiye) Havzasında Yeraltı Suyunun Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sağlık Açısından Risk Değerlendirilmesi" başlıklı makalesinde yeraltı suyu kimyasını ve yeraltı suyu kalitesini kontrol eden hidrojeokimyasal prosesler incelenmiş olup, su numuneleri içerisindeki As elementinin çocuklar ve yetişkinler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

“Kozluk Kaynağı’nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi” başlıklı bu çalışma; literatür araştırmaları, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamadan gerçekleştirilmiştir.

2.1. Literatür Çalışmaları

Arazi çalışmalarından önce başlatılmış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisini konu alan tez, makale, bildiri, kitap vb. çalışmalar derlenmiştir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Kaynak ve çeşmelerin koordinatları lokasyonları Magellan explorist 610 marka GPS yardımıyla belirlenmiştir. Kaynak noktaları ve çeşmelerin enlem ve boylam bilgileri Tablo 2.1’ de verilmiştir.

Tablo 2.1. Su örneklerinin yeri ve lokasyonları

Örnek No	Örnek Yeri	Lokasyon Bilgileri	38’li Değeri	Rakım (m)
M-1	Kozluk Mahallesi Pınarbaşı Mevkisi Aliolar Kaynak Suyu	436407 E	38.229077°	1331
		4231656 N	38.273183°	
M-2	Yukarı Kozluk Mahallesi Vanalı Çeşme	439877 E	38.227072°	1617
		4231407 N	38.312847°	
M-3	Yukarı Kozluk Mahallesi Merkez Çeşme	439826 E	38.227042°	1621
		4231404 N	38.312265°	
M-4	Kozluk Mahallesi Kaynak Çıkış Noktası Küçük Savak Yeri	439561 E	38.225546°	1467
		4231240 N	38.309251°	
M-5	Kozluk Mahallesi Kaynak Çıkış Noktası Büyük Savak Yeri	439582 E	38.225007°	1460
		4231180 N	38.309496°	
M-6	Kozluk Mahallesi Büyük Baharatçı Yeri Kaptaj Kaynağı	439261 E	38.228635°	1446
		4231585 N	38.305795°	
M-7	Kozluk Mahallesi Yol Üstü Şehit Çeşmesi	438228 E	38.232611°	1340
		4232034 N	38.293954°	
M-8	Aşağı Kozluk Mahallesi Kaptaj Kaynağı	437565 E	38.232276°	1269
		4232002 N	38.286382°	
M-9	Aşağı Kozluk Mahallesi Kanaliçi	437584 E	38.232052°	1265
		4231977 N	38.286601°	
M-10	Kozluk Mahallesi Yol Üstü Keklice Çeşmesi	436776 E	38.210350°	1386
		4229575 N	38.277584°	
M-11	Kozluk Mahallesi Aşağı Kozluk Yol Üstü 1996 Çeşmesi	438908 E	38.232749°	1443
		4232050 N	38.301796°	

Çalışma kapsamında incelenen Kozluk Kaynağı ve çeşmelerin debileri uygun yöntemlerle periyodik olarak (iklim koşulları el verdiği sürece 15 günde bir) 13 ay boyunca ölçülmüştür. Kozluk Kaynakları’nın debileri savaklar yardımıyla ölçülmüştür. Çalışma kapsamında M-4 ve

M-5 numaralı Kozluk Kaynakları'nın çıkış noktalarına betondan dikdörtgen savaklar yapılmıştır. Çeşme sularının debileri ise belirli hacim yöntemi ile yerinde ölçülmüştür (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2). Arazi çalışmaları kapsamında çatlak ve fay duruşları pusula yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 2.1. M-3 kaynağı belirli hacim yöntemi ile debi ölçümü (Koordinat: 37S439826D, 4231404K)

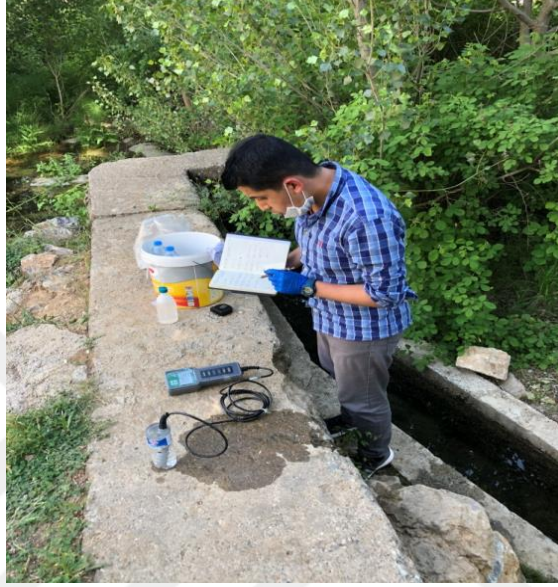


Şekil 2.2. M-5 kaynağı savakta debi ölçümü (Koordinat: 37S439582D, 4231180K)

Çalışma alanı içerisinde bulunan su noktalarında (kaynak, çeşme) kurak dönemi temsil eden Eylül (2019) ayında ve yağışlı dönemi temsil eden Mayıs (2020) ayında su örnekleri alınarak kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Yağışlı dönemde 11 adet su örneği, kurak

dönemde ise 10 adet su örneği alınmıştır. M-11 numaralı su örneği kurak dönemde kurduğundan örneklenememiştir.

Su örneklemeleri yapılırken suyun pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik (EC) parametreleri arazide yerinde YSİ 63 marka çoklu parametre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4)



Şekil 2.3. M-9 kaynağı debi ölçüm ve numune alma çalışması (Bakış yönü KD)



Şekil 2.4. M-5 kaynağı su örnekleme çalışması (Bakış yönü GD)

Anyon analizi için su örnekleri 500 ml'lik polietilen şişelere herhangi bir koruma uygulanmaksızın alınmıştır. Katyon analizi yapılacak örnekler 50 ml'lik polietilen, sızdırmaz

kapaklı şişelere; örnekleme sonrası oluşabilecek reaksiyonların engellenmesi açısından derişik yüksek saflıktaki nitrik asit (HNO_3^-) $\text{pH}<2$ olacak şekilde eklenerek alınmıştır. Örnekler, analize gönderilinceye kadar $+4^\circ\text{C}$ 'de laboratuvar tipi buzdolabında muhafaza edilerek en kısa sürede analize gönderilmiştir. Çalışma kapsamında hem kurak hem de yağışlı dönemde izotop analizleri (^2H (döteryum), ^3H (trityum), ^{18}O (oksijen-18)) için su örnekleri alınmıştır.

Suların izotop analizleri için örnekleme yapılırken 1 lt'lik plastik şişeler kullanılmış ve şişeler içerisinde hava kalmayacak şekilde doldurularak güneş ışığına maruz kalması engellenmiştir.

Mikrobiyolojik analizler için örnekleme yapılırken, alınacak numunedeki serbest veya kalıntı kloru tamponlayıp, numunenin en iyi koşullarda alınıp muhafaza edilmesi için sodyum tiyosülfatlı numune kutuları kullanılmıştır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Kurak ve yağışlı dönemlerde alınan su örneklerinin majör anyon (Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^{-2}) ve katyon analizleri (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ile kirlilik parametrelerinden NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ analizleri Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ) Çevre Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Şekil 2.5). Sularda Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ ve NH_4^+ analizleri Dionex LC25 Kromatografi cihazıyla yapılmıştır. Anyon (Cl^- , SO_4^{-2} , NO_2^- , NO_3^-) analizleri ise Dionex ICS (iyon kromatografi) ile belirlenmiştir. HCO_3^- otomatik büret sistemi kullanılarak titrasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. İncelenen suların metal analizleri sadece kurak dönemde alınan su örneklerinde yapılmıştır. Suların metal analizleri Kanada'da ACME Laboratuvarları'nda ICP-MS (İnductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) ile yapılmıştır. Bakteriyolojik analizler yapılırken, mikrobiyolojik kabin, inkübatör cihazı, otoklav cihazı gibi farklı ölçüm cihazlarından yararlanılmıştır. İzotop analizleri DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) standartlarında Micromass 602C Kütle Spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.5. Laboratuvar Çalışmaları

2.4. Büro Çalışmaları

Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler çalışmanın amacı doğrultusunda ilgili diyagramlar ve formüller yardımıyla değerlendirilmiştir. Suların kimyasal analiz sonuçlarının diyagramlara (Piper, Schoeller) aktarılmasında AquaChem 3.7 bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bölgenin jeoloji ve örnekleme haritaları Adobe Illustrator CS5 programında çizilmiştir. Tabloların oluşturulmasında ise Excel programı kullanılmıştır.

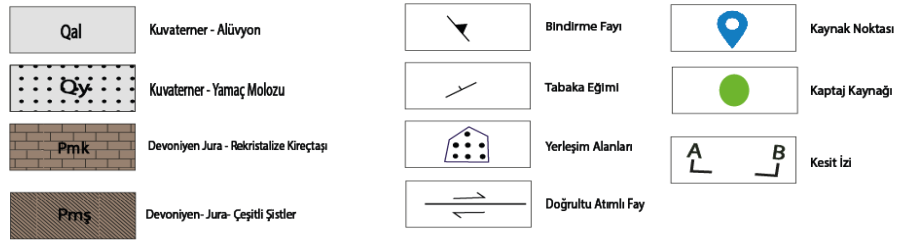
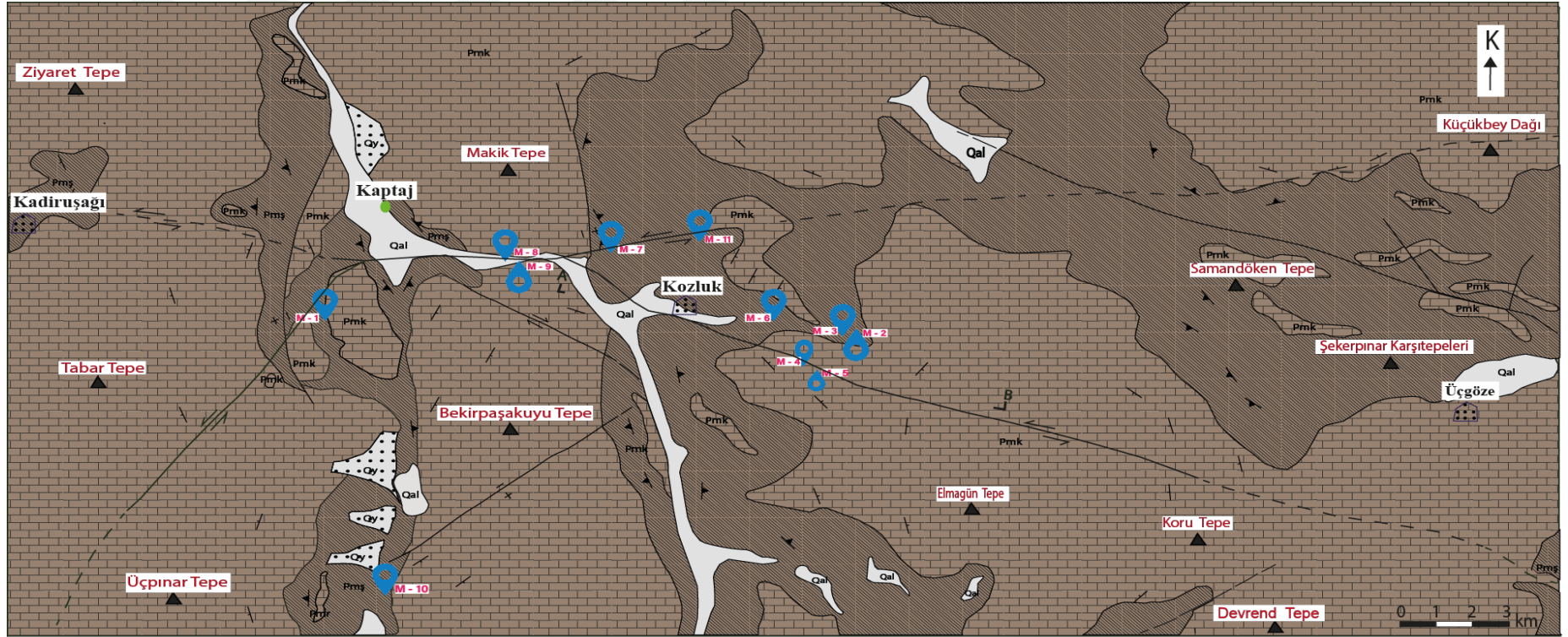
Kaynak ve çeşme sularının debi değerleri Maillet (1905) formülü kullanılarak değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Tez kapsamında çalışma alanının genel jeolojisi, hidrolojisi, hidrojeokimya çalışmaları sonucunda bulgular elde edilmiştir.

3.1. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

İnceleme alanı Güneydoğu Anadolu kenar kıvrımları ile Toros orojenik kuşağının bir araya geldiği kesimde yer almaktadır (Gözübol ve Önal, 1986). Malatya Metamorfitleri olarak adlandırılan allokton kütle konumundaki Devoniyen-Jura yaşlı kaya grubu temel birimi oluşturmaktadır. Malatya Metamorfitleri geniş alanlarda yüzeylemekte ve çalışma alanının büyük bir bölümünü kaplamaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası (Akbaş, vd., 2011'den değiştirilerek alınmıştır).

3.1.1. Malatya Metamorfitleri

Çalışma alanından geniş yer kaplayan Malatya Metamorfitleri ilk olarak Stefanski (1941) ve Stchepinsky (1944) tarafından tanımlanmıştır. Çeşitli araştırmacılar tarafından Keban Metamorfitleri ile benzer birimler ve Keban Metamorfitleri'nin güneydeki uzanımları olarak ele alınmıştır (Yazgan, 1983). Asutay ve Turan (1986) ile Yılmaz vd., (1992)' in Keban (Elazığ) bölgesinde oluşturdukları stratigrafik dizinin formasyonları gerek litolojisi gerek birbirleri ile olan ilişkileri bakımından çalışma alanında gözlenen birimlere benzerlikleri göstermektedir.

Kaya (2016), Malatya Metamorfitleri'nde yaptığı çalışmada, yeni fosil bulgularından yola çıkarak metamorfitlerin yaşını Devoniyen-Jura olarak belirlemiştir. Bu çalışmada da Malatya Metamorfitleri'nin yaşı Devoniyen-Jura olarak kabul edilmiştir.

Malatya Metamorfitleri, çalışma sahasının temel kayaç birimini oluşturmaktadır. İnceleme alanında Malatya Metamorfitleri genellikle şist, rekristalize kireçtaşı, kalkışist ve dolomit içeren ve mermer litolojisinde geniş bir alanda gözlenmektedir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Bölgede kaynakların oluşumlarını sağlayan geçirimsiz temel birimlerini ise Malatya Metamorfitleri'ne ait şistler oluşturmaktadır.

SİSTEM	SERİ	GRUP	Kalınlık (m)	Simgesi	LİTOLOJİ KESİTİ	AÇIKLAMALAR
Devoniyen-Jura		MALATYA METAMORFİTLERİ	~ 500 - 600	P_{m-2}		Dolomitik kireçtaşı
			~ 600 - 800	P_{m-1}		Kalkışist, fillat arakatlı şist
			~ 200 - 1000	P_{m-1}		Rekristalize kireçtaşı
			~ 600 - 700	P_{m-1}		Çeşitli şistler Tektonik dokanak

Şekil 3.2. Çalışma alanı ve yakın dolayına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Önal, 1993'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 3.3. Malatya Metamorfitle'ne ait rekristalize kireçtaşlarının görünümü (Bakış yönü K)

İstifin tabanını oluşturan ve hidrojeolojik açıdan geçirimsiz özellikte olan şistler genellikle ince-orta tabakalı olup, geneli itibariyle kalkşist olarak gözlenmektedir. Bu birimin üzerine rekristalize kireçtaşları gelir (Günaydın, 2001). Kırık,-çatlak ve karstlaşma sonucu ileri derecede geçirgenlik kazanan bol eklemli olan birimde eklemler boyunca yer yer erime boşlukları geliştiği gözlenmiştir (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Çalışma sahası ve yakın çevresinde gözlemlenen karstik erime boşlukları (Bakış yönü KD)

Rekristalize kireçtaşları, sarımsı boz, kirli beyaz veya açık yeşil renkte gözlenmektedir. Bunlar bol kırıklı, çatlaklı olup, çatlak ve kırıkların içerisi ikincil kalsit dolguludur. En üst seviyede yer alan koyu gri-bej renge sahip olan dolomitik kireçtaşları yoğun tektonizmaya uğramış olup, alt seviyelerdeki rekristalize kireçtaşlarından farklı özellikler taşımasına karşın bu birim de karstlaşmış ve yüksek geçirgenlik kazanmıştır. Çalışma alanının yakın çevresinde yer yer çamurtaşı ve kil birimine de rastlanmıştır.

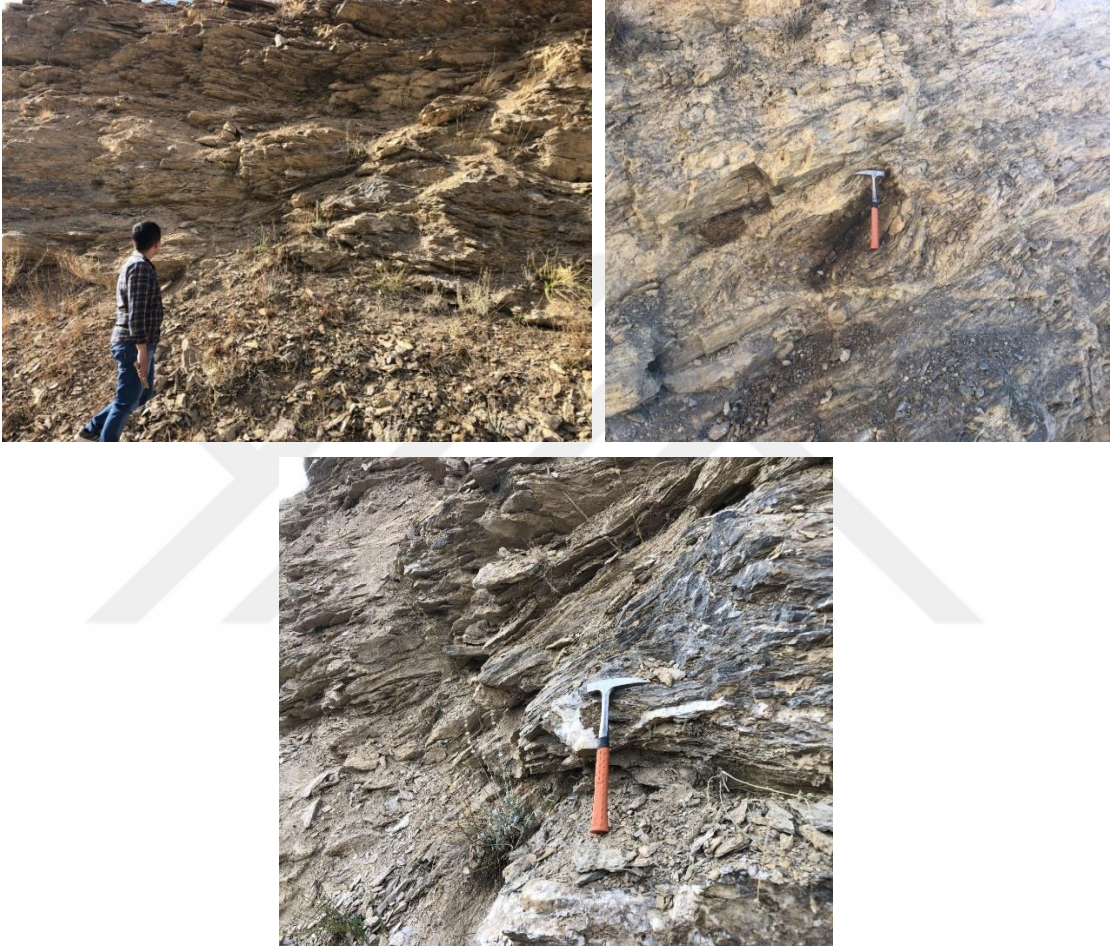
Çalışma alanı ve dolayındaki topoğrafik değişimler litolojinin ve özellikle yapının denetiminde gelişmiştir. Dayanımlı kireçtaşı ve altere şistlerden oluşmuş Malatya Metamorfikleri'nde kireçtaşı-şist mostra dağılımı, morfolojik gelişimi kontrol etmiştir. Küçük kireçtaşı mostraları veya kireçtaşı ekay dilimleri topoğrafik çıkıntıları veya sırtları oluşturur. Yaygın kireçtaşı mostraları ise yüksek topoğrafya (2000-2500 mt) alanlarında, şistler ise daha düşük kotlarda gözlenmektedir.

Vadiler arasındaki dik açı ilişkileri ve vadi girişlerindeki ani dönüşler büyük ölçüde tektonizmaya ve litoloji değişimine bağlı olarak gelişmiştir (Önal, 1993). Çalışma sahasında, bölgede etkin olan aktif tektonizmanın rekristalize kireçtaşları üzerindeki etkileri gözlenmiştir (Şekil 3.5)



Şekil 3.5. Kaynakların oluşumunu sağlayan doğrultu atımlı fay düzlemi ve üzerindeki kayma çizikleri (Kayma çizikleri ok ile gösterilmiştir. Bakış yönü KD)

Çalışma sahasında yapılan incelemelerde, Malatya Metamorfitleti'ne ait kayaçların kırık ve çatlak zonlarında ikincil limonit, hematit, kalsit, aragonit mineralleri oluşmuştur. Bu mineraller kırık ve çatlak yüzeylerini sıvamış olarak gözlenmiştir. Doğal foliasyonlu (yapraklanmalı) şistli seviyeler ile karbonca zengin grafit şist birimleri de çalışma sahasında yaygındır (Şekil 3.6) (Prof. Dr. Leyla Kalender, sözlü görüşme, 01 Aralık 2021)

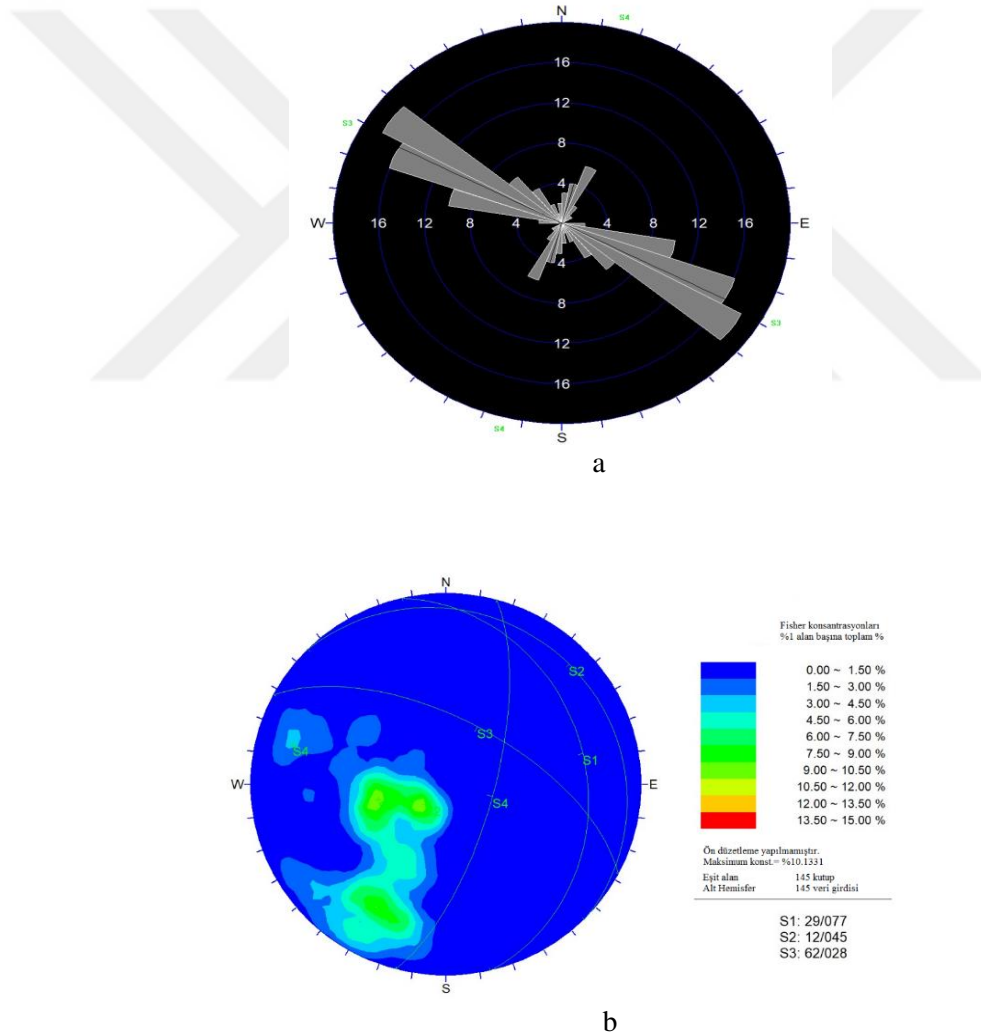


Şekil 3.6. Çalışma sahasında Malatya Metamorfitleti içerisinde gözlenen şist seviyeleri (Kozluk Mahallesi'nin 1 km Doğusu)

3.1.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı, Doğu Toros orojenik kuşağı ile kenar kıvrımları kuşağı arasında yer almaktadır. Alanın tektonik yapısı, güneydeki Arabistan levhasının kuzeye ilerlemesi ve Avrasya levhası ile çarpışması sonucu bugünkü şeklini almıştır. Bu etkili tektonizma sonucu Doğu Anadolu Fayı, bindirmeler, normal faylar, eklemler ve kıvrımlar bölgenin yapısını oluşturmuştur (Önal vd., 1986). Bindirme fayları genellikle KD-GB doğrultulu olup olasılıkla K ve KB'dan gelen, yatay itilme ile gelişmiştir (Önal, 1993). Sahada büyük ölçekli kıvrımlanmalar gözlenmemiştir.

Çalışma alanında Malatya Metamorfitleleri'ne ait kayaç birimleri allohton niteliği sergilemektedir (Günaydın, 2001). Çalışma alanı içerisinde geniş yüzeyleme veren Malatya Metamorfitleleri'ne ait rekristalize kireçtaşları ve şistler bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Bu birimlerin içerdiği 145 çatlaktan alınan yönelim ölçüleri stereografik projeksiyon tekniği ile DIPS (Diedrich ve Hoek, 1989) bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve bu kayaçların baskın olarak üç eklem seti içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.7). Kontür ve gül diyagramları incelendiğinde Malatya Metamorfitleleri içerisinde oluşan çatlakların baskın olarak KD-GB doğrultularında yoğunlaştıkları ve eklem setlerinin duruşları yoğunluğuna göre 29/077, 12/045, 62/028 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Malatya Metamorfitleleri'ne ait rekristalize kireçtaşları ve şistlerde ölçülen çatlak yönelimlerine ait a) gül ve b) kontür diyagramları

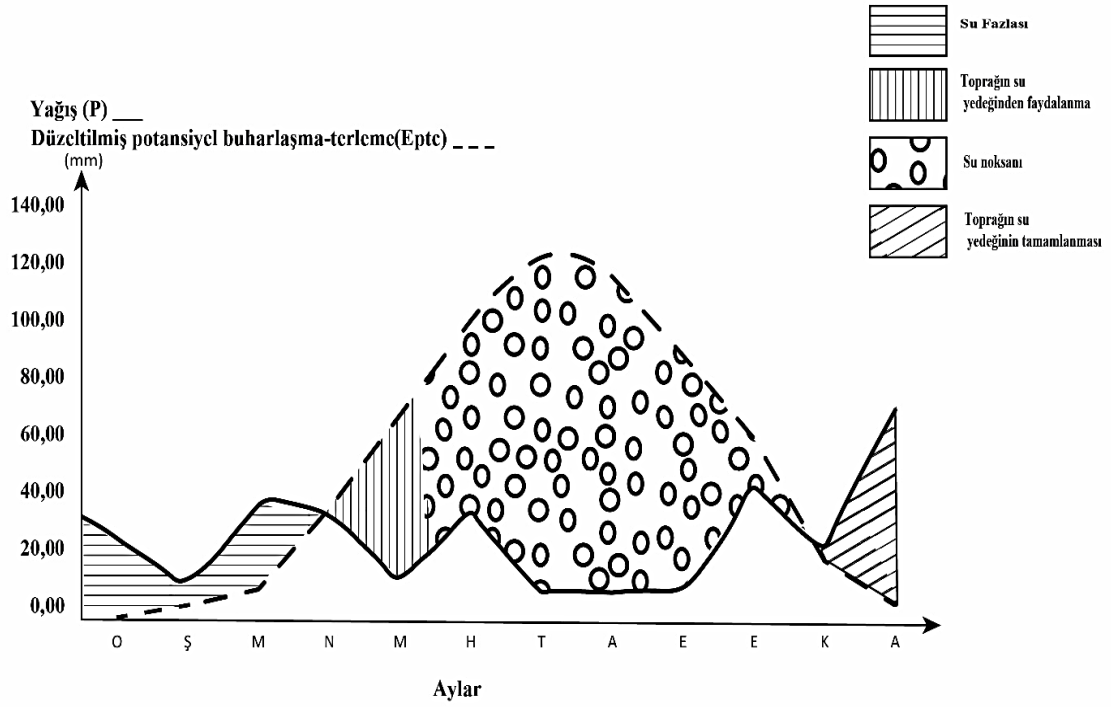
3.2. Hidroloji

Çalışma alanının genel hidrolojik yapısının aydınlatılması amacıyla Devlet Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü Malatya Yeşilyurt/Üçgöze Mahallesi Meteoroloji gözlem istasyonundan alınan 2016-2019 yılları arasına ait veriler incelenmiş, Thornthwaite (1948) yöntemi ile değerlendirilerek potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Çalışma alanının 2016-2019 yılları arası nem bilançosu

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort. °C	-2,07	-2,05	1,50	7,10	11,80	16,76	20,00	20,00	17,46	13,10	4,53	0,03	
Sıcaklık İndisi	0,00	0,00	0,16	1,70	3,67	6,24	8,15	8,15	6,64	4,29	0,86	0,00	39,86
Potansiyel Buharlaşma-Terleme Etp-mm	0,00	0,00	5,44	30,56	54,08	80,32	97,76	97,76	84,00	60,96	18,56	0,10	
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,83	
Düzeltilmiş Etp-mm	0,00	0,00	5,60	33,77	66,52	99,60	122,69	114,87	87,36	58,52	15,59	0,08	604,52
Yağış-mm	23,50	7,80	36,30	31,90	9,80	32,90	4,80	4,50	6,30	41,10	20,90	68,30	288,10
Faydalı Su Yedeği-mm	100,00	100,00	100,00	98,13	41,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,31	73,53	
Gerçek Buharlaşma Terleme Etr-mm	0,00	0,00	5,60	33,77	66,52	74,31	4,80	4,50	6,30	41,10	15,59	0,08	252,57
Su Fazlası-mm	23,50	7,80	5,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,90
Su Noksanı-mm	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,29	117,89	110,37	81,06	17,42	0,00	0,00	352,03

Hazırlanan nem bilançosuna (2016-2019 yılları arası) göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 288,10 mm, gerçek buharlaşma terleme 252,57 mm, su fazlasının olduğu dönemde sellenme miktarı 36,90 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki su fazlası, bölgeye düşen yağışın %12.80'i kadardır. Bu verilere göre çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terleme grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Thornthwaite yöntemine göre çalışma alanı için yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (2016-2019)

Grafik incelendiğinde, ocak ayının sonunda başlayıp mart ayının sonuna kadar olan dönemde su fazlalığı bulunurken; nisan ayından başlayıp mayıs ayının ortalarına kadar olan dönemde ise toprağın su yedeğinden faydalanılmaktadır. Haziran ayından başlayıp, ekim ayının sonuna kadar olan dönemde; su noksanlığı gözlenmektedir. Kasım ve aralık aylarında ise bölgeye düşen yağış miktarı artmakta ve toprağın su yedeği bu aylar arasında tamamlanmaktadır.

3.3. Hidrojeokimya

Çalışma kapsamında incelenen kaynak ve çeşmelerinin çalışma sahası üzerindeki dağılımları Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Çalışma alanından alınan su örneklerinin uydu görüntüsü üzerindeki gösterimi

Suların kurak ve yağışlı dönem majör anyon ve kation analiz sonuçları Tablo 3.2.'de verilmiştir. Metin içerisinde, tablo ve şekillerde incelenen suların yağışlı dönemde yapılan kimyasal analizlerini ifade edecek şekilde “YD”, kurak dönem kimyasal analiz sonuçlarını ifade edecek şekilde “KD” simgeleri kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Çalışma kapsamında incelenen suların kurak ve yağışlı dönem kimyasal analiz sonuçları (K.D: Kurak Dönem (Eylül, 2019) ; Y.D: Yağışlı Dönem (Mayıs, 2020) * : Numune Alınamadı)

Ör. No	pH		Sıcaklık		Elektriksel İletkenlik		Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		HCO ₃ ⁻	
	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD	KD	YD
	T, (°C)		EC (µS/cm)		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
M-1	7,30	7.75	14,10	16.6	376,10	399.1	70,13	73.31	23,59	24.06	4,77	4.84	0,74	0.51	6,02	<1	26,16	24.42	428,88	310.39
M-2	7,89	8.01	14,20	12.6	247,80	233.6	63,74	64.30	5,57	5.30	0,97	0.81	0,33	<1	5,33	<1	16,47	13.13	276,67	187.47
M-3	7,83	7.96	13,70	12.4	250,60	237.8	64,10	64.03	5,65	5.37	1,55	0.95	1,17	0.70	5,67	<1	16,81	13.60	276,06	193.11
M-4	7,74	7.70	14,20	16.6	274,00	255.4	68,92	67.22	7,06	6.60	1,65	1.36	0,84	0.81	5,84	<1	17,57	14.05	297,01	208.86
M-5	7,89	7.95	13,60	16.3	267,90	262.1	69,78	56.24	6,81	6.17	0,91	0.66	0,33	<1	5,46	<1	13,92	10.37	294,54	198.10
M-6	7,92	7.93	14,20	20.01	289,30	296.5	65,91	67.48	10,45	11.37	1,73	2.80	0,44	<1	6,01	<1	29,24	20.53	312,41	199.67
M-7	7,80	7.74	17,90	17.4	535,00	439.9	110,11	90.45	23,21	19.65	3,74	3.07	0,36	<1	7,07	<1	63,13	54.60	489,88	292.42
M-8	7,73	7.80	13,60	17.0	290,10	317.9	68,13	72.57	10,42	9.65	1,32	1.30	0,63	0.51	6,01	<1	23,19	21.52	308,72	220.88
M-9	7,62	7.80	12,80	14.4	289,40	293.4	70,11	72.31	10,66	9.62	1,32	1.36	0,61	0.50	6,13	<1	23,25	22.26	305,64	220.88
M-10	7,94	8.04	13,00	16.2	255,10	258.3	61,33	58.64	8,69	9.15	1,38	01.07	0,28	<1	5,44	<1	22,05	18.98	256,96	186.42
M-11	*	7.72	*	19.03	*	422.9	*	84.43	*	18.19	*	<1	*	<1	*	7.30	*	69.67	*	242.30
TSE, 266 (2005)	6.5-9.5		-		2500		200		50.00		200		12.00		600		250.00		-	
WHO (2017)	6.5-9.5		-		2500		200		50.00		200		12.00		250		250.00		-	

Çalışma kapsamında incelenen suların kurak dönem kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek ve en düşük pH değerleri 7.94 – 7.30 aralığındadır. Kurak dönemde elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 247.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 535.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığındadır. Kurak dönemde suların sıcaklık değerleri ise 12.80 – 17.90 $^{\circ}\text{C}$ aralığında değişiklik göstermektedir (Tablo 3.2).

Çalışma kapsamında incelenen kaynak ve çeşme sularının yağışlı dönem kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde en yüksek ve en düşük pH değerleri 8.04–7.70'dir. Yağışlı dönem elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 233.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 439.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Yağışlı dönemdeki suların sıcaklık değerleri ise 12.4 ile 20.01 $^{\circ}\text{C}$ aralığında değişiklik göstermektedir.

İncelenen suların kurak dönemde Ca^{+2} konsantrasyonu 61.33-110.11 mg/L arasında değişirken, yağışlı dönemde 56.24–90.45 mg/L arasında değişmektedir. Mg^{+2} konsantrasyonun kurak dönemde değerleri 5.57-23.59 mg/L arasında, yağışlı dönemde ise 5.30-24.06 değerleri arasındadır. Na^{+} konsantrasyonu kurak dönemde 0.91-4.77 mg/L arasında, yağışlı dönem değerleri ise 0.1-4.84 mg/L arasındadır. K^{+} konsantrasyonu kurak dönemde 0.28-1.17 mg/L arasında iken, yağışlı dönemde <1-0.50 arasındadır (Tablo 3.2).

İncelenen suların kurak dönemde Cl^{-} konsantrasyonları 5,33 – 6,13 mg/L arasında değişirken, yağışlı dönemde <1 değerindedir. SO_4^{-2} konsantrasyonunun değeri kurak dönemde 13.92-63.13 mg/L arasında, yağışlı dönemde ise 10.37-54.60 mg/L arasındadır. HCO_3^{-} konsantrasyonu kurak dönemde 256.96-489.88. mg/L, yağışlı dönemde ise 186.42-310.39 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 3.2).

İzotop teknikleri hidrolojik ve hidrojeolojik amaçlı çalışmalarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Sularda doğal olarak bulunan çevresel izotopların değişimleri insanlar tarafından kontrol edilemediğinden dolayı hidrolojide izotopik değişimlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi ile suların kökeni ve yenilenebilirliği, beslenme alanları ve dolaşım mekanizmaları, karışım süreçleri, yeraltı suyu-yüzey suyu ilişkileri ve yeraltında suyun kalitesini etkileyen süreçlerin aydınlatılması gibi konularda bilgi sahibi olunabilmektedir (Clark ve Fritz, 1997). İncelenen suların izotop analiz sonuçları Tablo 3.3. ve Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Çalışma kapsamında incelenen sularının kurak dönem izotop analiz sonuçları

Örnek No	Oksijen-18	Döteryum	Trityum
	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}(\text{‰})$	$^3\text{H}(\text{TU})$
KD-1	-9,26	-58,31	3.11
KD-2	-10,11	-62,97	3.23
KD-4	-10,12	-62,97	2.89
KD-5	-9,98	-62,16	3.41
KD-6	-10,27	-65,02	3.68
KD-7	-9,02	-57,97	2.93
KD-8	-9,70	-59,76	2.27
KD-9	-9,68	-59,27	3.13
KD-10	-8,96	-55,72	5.10

Tablo 3.4. Çalışma kapsamında incelenen sularının yağışlı dönem izotop analiz sonuçları

Örnek No	Oksijen-18	Döteryum	Trityum
	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta^2\text{H}(\text{‰})$	$^3\text{H}(\text{TU})$
YD-1	-9,26	-57,66	3,33
YD-2	-10,22	-62,89	3,82
YD-4	-10,17	-62,81	3,24
YD-5	-10,17	-62,23	3,78
YD-6	-10,49	-65,44	3,53
YD-7	-9,29	-58,90	4,98
YD-8	-9,93	-60,47	2,78
YD-9	-9,91	-60,31	3,62
YD-10	-8,99	-55,44	3,16
YD-11	-9,71	-61,17	3,60

Çalışma kapsamında incelenen suların kurak dönem izotop analiz sonuçlarına göre oksijen-18 değerleri -8.96 ‰ ile -10.27 ‰ arasında, döteryum değerleri -55.72 ‰ ile -65.02 ‰ arasında, trityum içerikleri ise 2.27 ile 5.10 değerleri arasındadır (Tablo 3.3).

Çalışma kapsamında incelenen sularının yağışlı dönem izotop analiz sonuçlarına göre oksijen-18 değerleri; -8,99 ‰ ile -10,49 ‰ arasındadır. Döteryum değerleri, -55,44 ‰ ile -65,44 ‰, trityum içerikleri ise 2,78 ile 4,98 arasındadır (Tablo 3.4.)

Çalışma alanındaki incelenen suların kurak ve yağışlı dönem metal analiz sonuçları Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Suların genel olarak As içerikleri <0,5 ppb olup, kurak dönemde <0,5 ile 0,7 ppb arasında değişmektedir. Al içerikleri genel olarak 7 ile 125 ppb, Fe içerikleri <10 ile 17 ppb arasında değişmektedir. Zn içerikleri <0.15 ile 14.5 ppb aralığında değişmektedir (Tablo 3.5).

İncelenen suların içme amaçlı kullanımına uygunluğunu belirlemek amacıyla, kimyasal bileşimleri Türk Standartları Enstitüsü (TSE, 266) (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (2017) Yönetmeliği standartlarında belirlenen maksimum limit değerleri ile karşılaştırılmıştır. İncelenen suların genel olarak pH, EC, majör anyon, katyon ve metal içeriklerinin içme suyu standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.2. ve Tablo 3.5)



Tablo 3.5. Çalışma kapsamında incelenen yeraltı sularının içerdikleri metal analiz sonuçları (KD: Kurak Dönem, YD: Yağışlı Dönem, S elementi için değer ppm olarak hesaplanmıştır, - : standartlarda belirtilmemiştir)

Örnek No	Al		As		Cr		Cu		Fe		Mn		Mo		S		Si		Sr		Zn	
	KD	YD	KD	YD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	YD	YD	YD	YD	YD	YD	KD	YD	KD	YD	
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
M-1	18	29	0,7	<0.5	0.5	0,75	0,3	11	7705	224,30	14,5	0.6	194.43	8396	10	0.2	0.90	1.2	0,3	0.2	<10	<10
M-2	14	24	0,5	<0.5	<0.5	0,28	0,2	5	2677	153,81	9,8	6.2	149.03	3020	5	0.2	0.19	0.8	0,7	1.5	<10	<10
M-3	11	26	<0.5	<0.5	<0.5	0,05	0,3	6	2776	171,72	6,6	5.3	149.81	2928	5	0.2	0.18	0.8	0,3	0.2	<10	<10
M-4	27	125	<0.5	0.6	<0.5	1,40	0,3	6	3467	181,14	4,2	3.5	176.48	4064	5	0.2	7.55	1.2	0,4	0.4	<10	17
M-5	33	61	<0.5	<0.5	<0.5	8,08	0,2	5	2688	178,57	4,2	2.8	140.00	2685	4	0.1	4.11	0.9	0,5	1.0	<10	<10
M-6	15	27	<0.5	<0.5	<0.5	0,16	0,7	11	3605	300,02	5,0	6.1	257.40	3842	8	0.4	0.37	<0.5	0,2	3.2	<10	<10
M-7	10	20	<0.5	<0.5	<0.5	1,45	0,5	20	8830	858,18	1,2	0.6	585.04	7741	18	0.5	0.95	<0.5	0,5	0.3	<10	<10
M-8	15	21	<0.5	<0.5	<0.5	0,37	0,6	9	3089	290,85	2,8	0.9	257.58	3483	9	0.4	0.29	1.5	0,5	0.3	<10	<10
M-9	10	20	<0.5	<0.5	<0.5	0,52	0,6	9	3203	308,03	1,3	0.7	261.20	3542	8	0.4	0.40	1.4	0,2	0.2	<10	<10
M-10	7	24	<0.5	<0.5	<0.5	0,12	0,7	8	4408	132,29	<0.5	<0.5	103.57	4555	8	0.6	0.12	0.9	0,3	0.2	<10	<10
TSE, 266 (2005)	200		10		50		2000		200		50		-		-		-		-		3000	
WHO (2017)	200		10		50		1000		300		300		-		-		-		-		5000	

4. TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular çeşitli diyagramlar yardımıyla değerlendirilerek yorumlanmıştır.

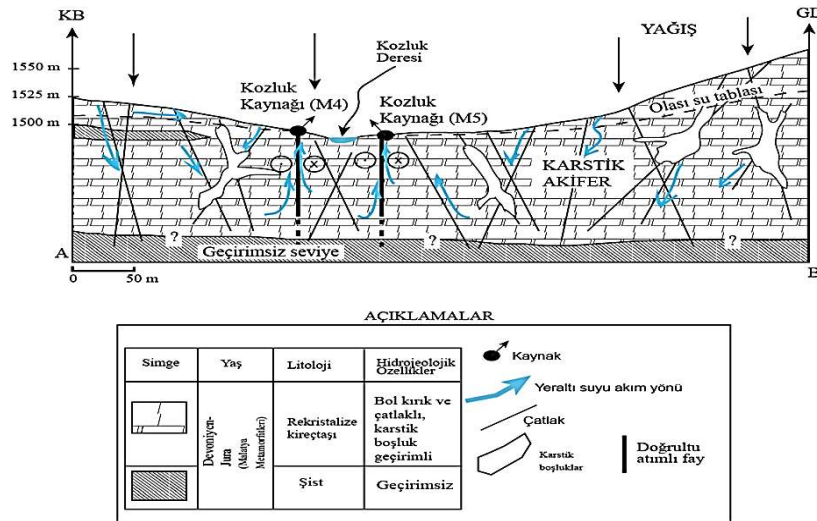
4.1. Hidrojeoloji

Çalışma alanında yeraltı suyu taşıyan formasyon Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfileri'dir. Metamorfitler içerisinde ayırım gösteren dolomitik ve karstik-rekristalize kireçtaşı kalınlığı 200-1000 mt arasındadır (Önal, 1993).

Malatya Metamorfileri bölgede etkin olan tektonizmadan dolayı oldukça kırıklı ve çatlaklıdır. Birime ait karstik rekristalize kireçtaşlarından beslenen kaynaklar bölgede düzenli ve yüksek debiye sahip olup, Malatya'nın içme suyu ihtiyacını karşılamaları açısından önemlidir. Malatya şehir merkezi ve ilçelerinin içme suyu ihtiyacını karşılayan Pınarbaşı Kaynağı' da rekristalize kireçtaşlarından boşalmaktadır.

4.1.1. Kozluk Kaynağı'nın Oluşumu

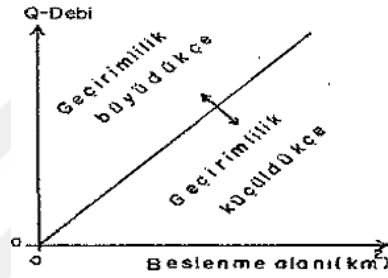
Kozluk Kaynağı, Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfileri'ne ait oldukça kırıklı, çatlaklı, karstik rekristalize kireçtaşlarından beslenmektedir (Şekil 4.1). Metamorfitlere ait rekristalize kireçtaşları içerisinde bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak gelişen çatlak sistemleri, birime ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik kazandırmıştır. Birim içerisindeki yeraltı suyu akım yönünü kırık çatlak dağılımları ile fay hatlarının kontrol ettiği düşünülmektedir. Malatya Metamorfileri'ne ait şistler yeraltı suyu taşımayan geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır.



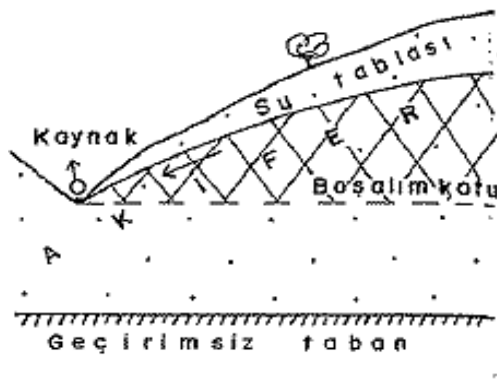
Şekil 4.1. Kozluk Kaynağı'nın oluşumunu gösteren şematik hidrojeolojik kesiti (litolojik birimlerin kalınlıkları şematik olarak gösterilmiştir)

4.1.2. Kaynakların Boşalım Grafiklerinin İncelenmesi

Kaynakların boşalma grafiği, kaynakların maksimum ve minimum debileri arasında geçen zamanda verdikleri su miktarını hesaplamaya yardımcı olur. Akiferden olan bu akım havzadaki yeraltı suyu rezervinden boşalan suyun miktarını verir. Drenaj alanının geçirgenliği fazla ise bu akım da çoğalmaktadır. Aksine akiferin geçirgenliği düşük ve kapladığı alan da küçükse bu tip havzalardaki kaynakların debisi gittikçe azalır ve bazen de kaynağın tamamen kuruduğu gözlenir. Kaynak debisi kaynağın beslenme alanı genişledikçe artar (Şekil 4.2). Akiferin dış etkilerle beslenmediği devrede kaynaklar, akiferin boşaltım kotu üzerindeki rezervini boşaltırlar (Şekil 4.3). Bu devredeki rejime kaynak veya akarsuyun yani akiferin gerçek rejimi veya etkisiz rejimi denilmektedir (Canik, 2007).



Şekil 4.2. Kaynak debisinin geçirimsizlik ve beslenme alanı ile ilgisi (Canik, 2007)



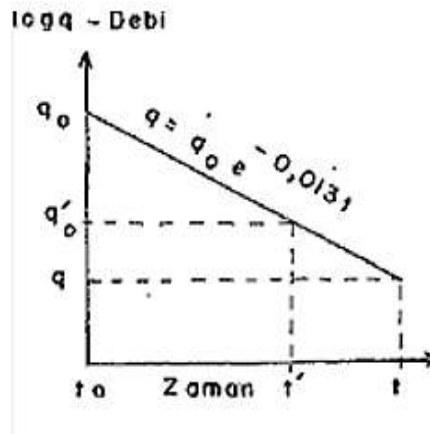
Şekil 4.3. Kaynağın boşalım kotu üzerindeki rezervi (Canik, 2007)

Kaynağın beslenme havzasında yağışın hiç olmadığı veya akifere etkimeyecek kadar çok az olduğu devrede kaynak veya akarsuyun debisinde meydana gelen değişimler, yeraltı suyu boşalım eğrileri ile gösterilir. Bunlar kaynağın debi değişim grafiği olarak adlandırılmaktadır (Canik, 2007).

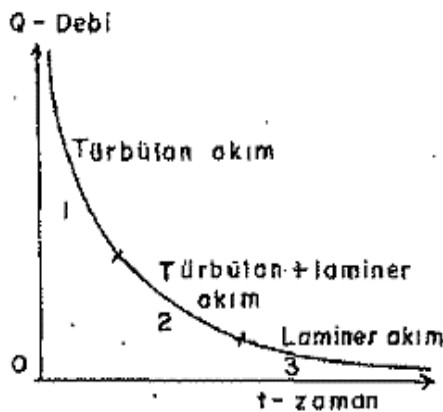
Kaynağın debi değişim grafiğinden saptanan gerçek rejimdeki boşalım dönemine ait eğri parçası yarı logaritmik kâğıda aktarılır. Logaritmik ordinat eksenine debiler, apsis eksenine de

zaman değerleri işaretlenir. Böylece gerçek rejimde tanımlanan bir doğru elde edilmiş olur. Bu doğrunun eğimi, boşalım katsayısının değeri ile belirlenir. q , q_0 , ve boşalmanın başlangıcından beri geçen zaman ($t-t_0$) bilinirse α hesaplanarak boşalım doğrusunun denklemi elde edilir (Şekil 4.4). $\log Q: f(t)$ grafiğinde erime boşluk, çatlak ve ince çatlaklardan boşalım iyi görülmektedir. Yağışla beslenme başlayınca akiferde su seviyesi yükselir, hidrolik eğimin artması sonucu boşalmada artar, sonra giderek azalır. Yağışsız dönem uzadıkça kaynağın debisi giderek azalır ve sonuçta kaynak kurur. Bu durumda milimetrik kağıda çizilen boşalım eğrisi t eksenine teğet olur (Şekil 4.5). Yarı logaritmik kağıtta, gerçek rejimde boşalmı temsil eden $\log Q = f(t)$ grafiği, eğimleri farklı doğrularla gösterilmiştir (Şekil 4.6). Boşalım, akımın ilk başlarında daha çok geniş erime boşluk ve kanallarından türbülant akımla olacaktır.

Boşalım katsayısı α_1 dir. Sonra dar kanal ve yarıklardan türbülant ve laminar akımla α_2 boşalım katsayısı ile zaman uzadıkça çatlak ve gözeneklerden boşalım laminar akımla ve α_3 boşalım katsayısı ile devam edecektir (Canik, 2007)



Şekil 4.4. $\log q: f(t)$ boşalım grafiği (Canik, 2007)



Şekil 4.5. $Q: f(t)$ grafiği ve akım türleri (Canik,2007)

Akiferde depolanan suyun hacim hesabı;

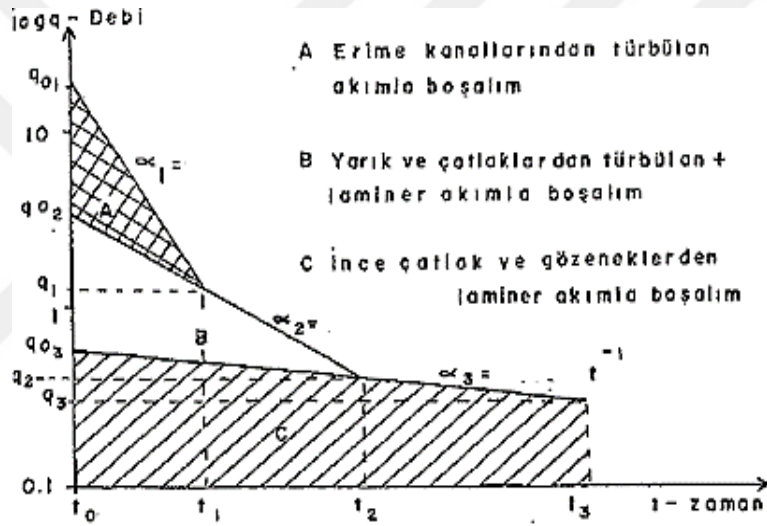
$V_0 = \frac{q_0 86400}{\alpha}$ formülü ile bulunur. Burada;

V_0 : t_0 anında akiferde depolanan su hacmi – m^3

α : Boşalım katsayısı – $gün^{-1}$

q_0 : Boşalmanın başlangıcındaki debi – m^3/s

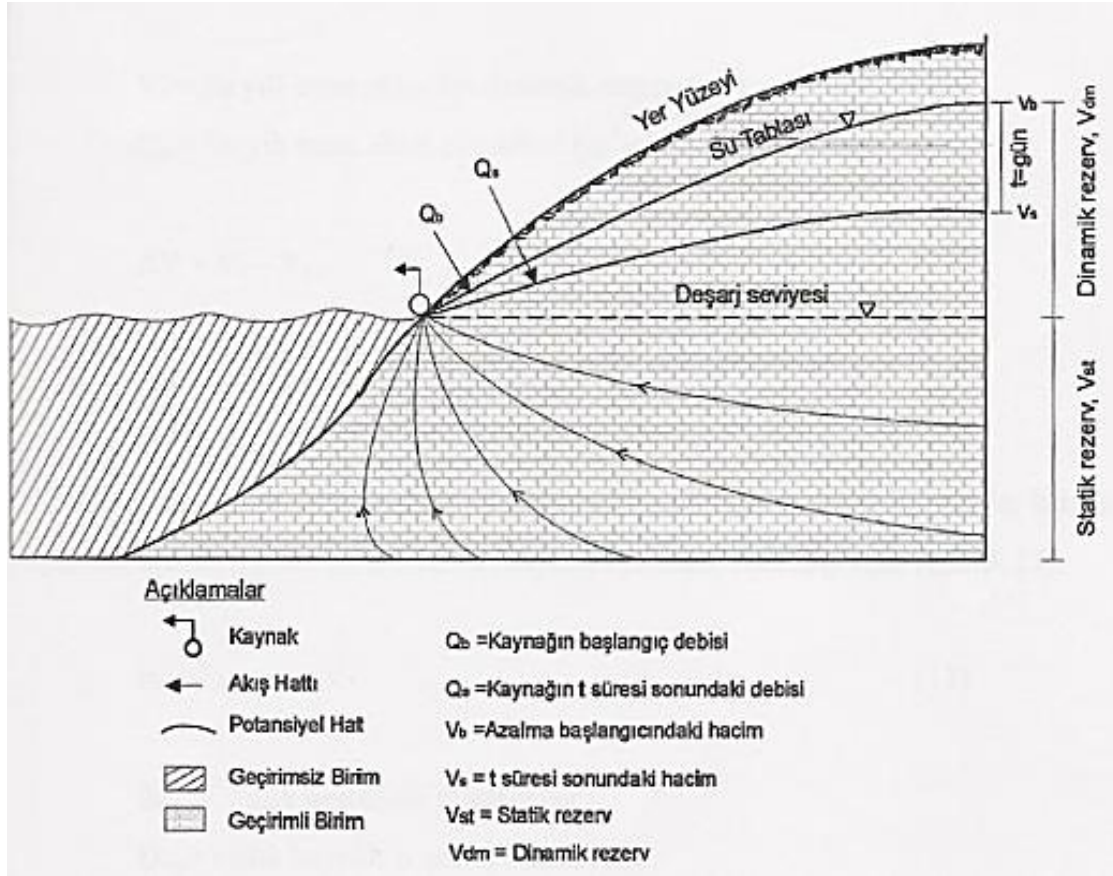
Boşalmanın grafiğinden, kaynağın t_0 ve t boşalım dönemi arasında, daha kısa bir dönem içinde boşalttığı veya boşaltacağı su miktarı ($=V_0$) da hesaplanabilir. t_0 ve t' arasında kaynağın boşalttığı su miktarı isteniyorsa, t_0 zamanındaki q_0 debisi ile V_0 hacmi hesaplandıktan sonra, t' zamanındaki debi q_0' değeri olarak alınır ve buna göre hesaplanan V_0' değeri, V_0 'dan çıkarılarak istenen dönemde boşalan suyun V hacmi hesaplanır (Şekil 4.4) (Canik, 2007).



Şekil 4.6. Bir kaynağın yarı log hidrogramının bileşenleri (Canik, 2007)

Kaynak boşalım eğrilerinin analizleri çok çeşitli yönlerden değerlendirilebilir. Bu eğriler, o havzanın kaynak akımlarının araştırılmasını ve rejimlerinin saptanmasını, kırık-çatlak-eklem sistemlerinin hazne ile ilişkilerini, havzanın tek hazneli veya çok hazneli olmasının tespitini ve uzun yıllarca alınacak debi verileriyle kaynakların yeraltı suyu geliştirme potansiyellerinin değerlendirilmesi gibi birçok olanaklar sağlamaktadır (Baykara, 2007).

Şekil 4.7’de bir karstik kaynağın kesiti verilmektedir. Bu kesitte dinamik rezerv ile statik rezerv kavramları gösterilmiştir. Genel olarak su çıkış noktasının üst seviyesinde kalan, kaynak yoluyla (gravitenin etkisiyle) alınan suya dinamik rezerv (V_{dm}) denir. Su çıkış noktasının alt seviyesinde kalan, kaynak yoluyla alınamayan veya diğer yöntemlerle enerji harcanarak alınan suya ise statik rezerv (V_{st}) denilir (Baykara, 2007).



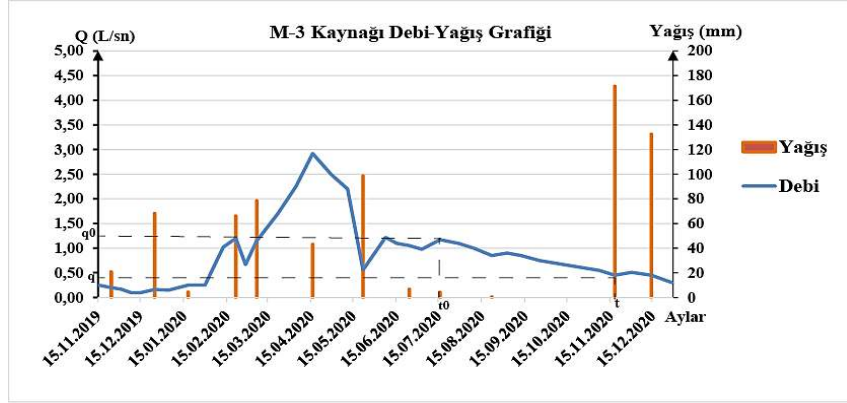
Şekil 4.7. Bir akiferin şematik gösterimi (Baykara, 2007)

Çalışma kapsamında Kozluk Deresi'ni oluşturan M-4 ve M-5'nolu kaynaklar ile dere yatağı içerisinde devamlı akış halinde bulunan M-3 ve M-8'nolu kaynakların debileri ölçülerek değerlendirilmiştir. M-3, M-4, M-5 ve M-8'nolu kaynakların 13 ay boyunca ölçülen debi verilerinin yardımıyla boşalım grafikleri çizilmiş ve boşalım katsayıları (α) hesaplanmıştır.

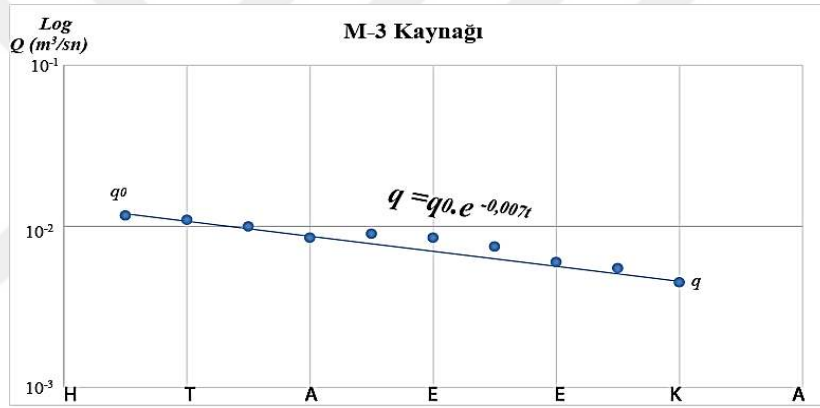
Hesaplanan boşalım katsayıları, zaman dilimleri ve bunlara karşılık gelen debiler ele alındığında kaynağın boşalım özelliklerinin ve akifer kayaçlarının geçirimsizlik özellikleri daha iyi anlaşılmıştır. İncelenen kaynakların boşalım katsayıları $0,0058 \text{ gün}^{-1}$ ile $0,057 \text{ gün}^{-1}$ arasında değişmektedir. Kaynakta debinin yüksek olduğu dönemlerde kanal akımı baskın akımları oluştururken, α katsayısı küçüldükçe karışık akım veya laminar akım baskın hale gelmektedir (Deneri, 2020).

M-3 numaralı kaynak

M-3 numaralı kaynağın debi-yağış grafiği ve gerçek rejimde boşalım doğrusu Şekil 4.8’de verilmiştir.



a



b

Şekil 4.8. M-3 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu

En yüksek debinin ölçüldüğü 16 Temmuz 2020 ile en düşük debinin ölçüldüğü 18 Kasım 2020 tarihleri arası kaynağın gerçek rejimde boşalma dönemini temsil etmektedir (Çetindağ, 2001).

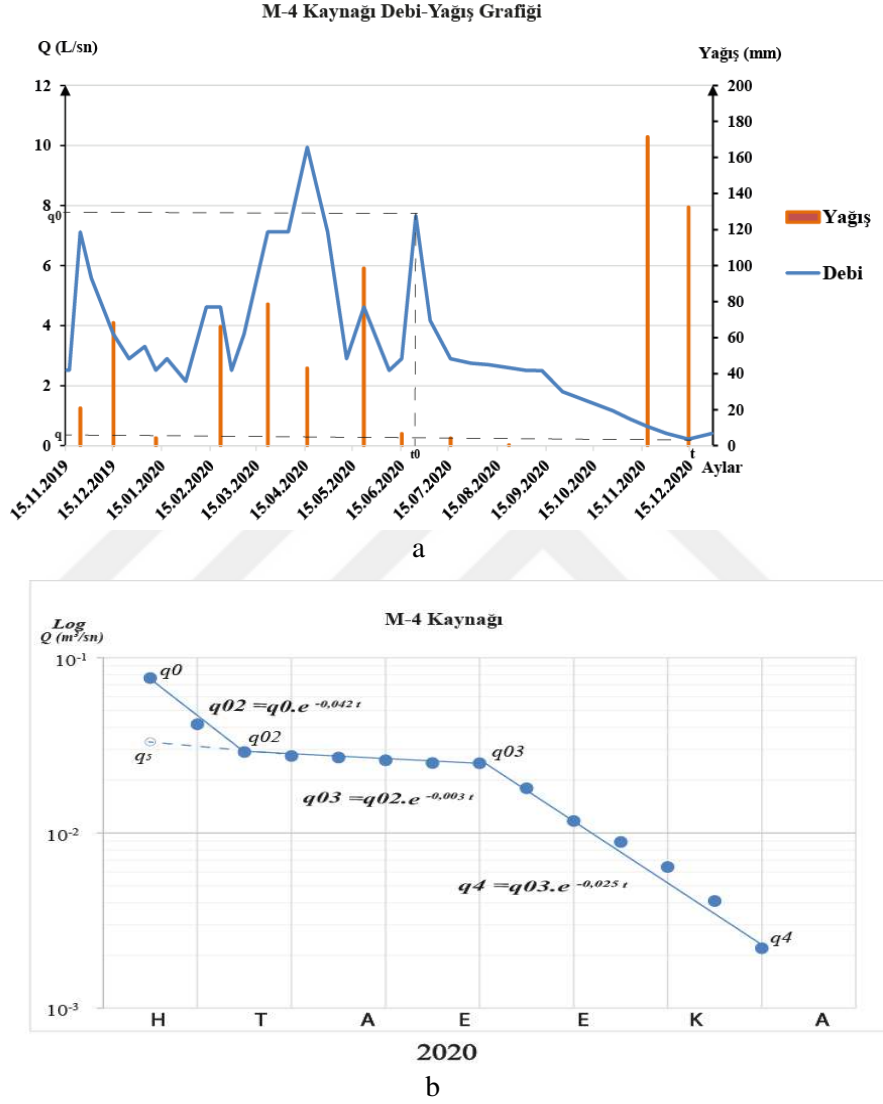
M-3 numaralı kaynağın gerçek rejimde boşalımın başlangıç debisi (q_0) 1.17 lt/sn, kurak dönem sonunda boşalımın en düşük debisi ise (q) 0.45 lt/sn dir. M-3 kaynağının 2019-2020 yılları arasında gerçek rejimde boşalım kotu üzerinde su depolama gücü Maillet (1905) tarafından önerilen aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$V_0 = (q_0/\alpha) * 86400$$

16 Temmuz 2020-18 Kasım 2020 tarihleri arasındaki gerçek rejimde boşalım döneminde, M-3 kaynağının boşaltacağı su hacmi (V_T) 8899 m³ olarak hesaplanmıştır.

M-4 numaralı kaynak

M-4 numaralı kaynağın debi-yağış grafiği ve gerçek rejimde boşalım doğrusu Şekil 4.9’da verilmiştir.

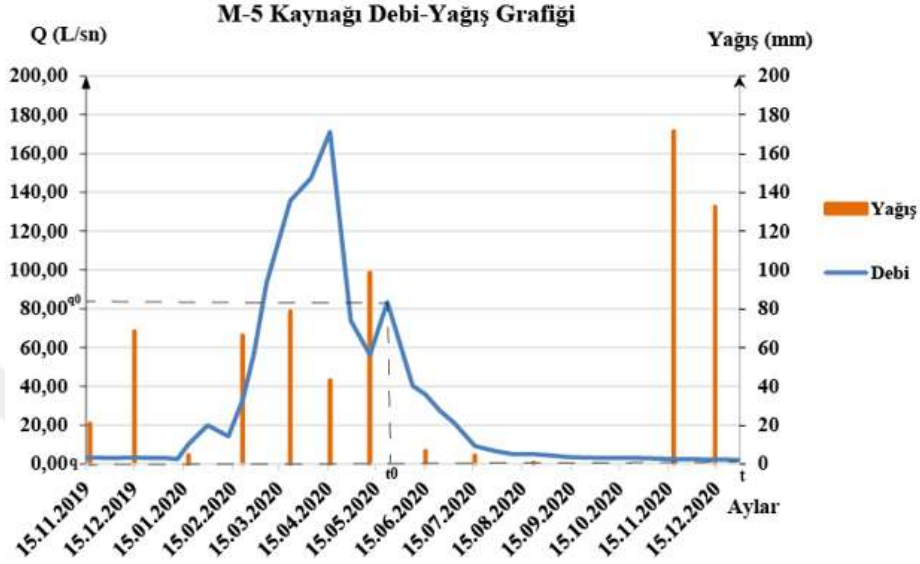


Şekil 4.9. M-4 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu

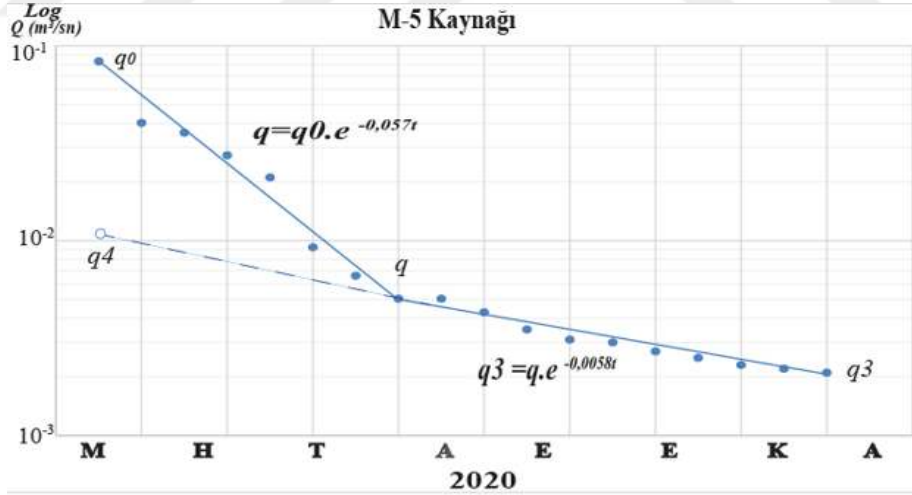
M-4 numaralı kaynağın gerçek rejim dönemi 24 Haziran 2020 ile 14 Aralık 2020 tarihleri arasındır. Gerçek rejimde boşalımın başlangıç debisi (q_0) 7.66 lt/sn, kurak dönemin sonunda ölçülen 0.22 lt/sn debisi ise q debisi olup gerçek rejimin sonunda ölçülen debi değeridir. 24 Haziran 2020 ile 14 Aralık 2020 tarihleri arasında gerçek rejimde boşalım döneminde M-4 kaynağının boşaltacağı su hacmi (V_T) $29 \times 10^3 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

M-5 numaralı kaynak

M-5 numaralı kaynağın debi-yağış grafiği ve gerçek rejimde boşalım doğrusu Şekil 4.10'da verilmiştir.



a



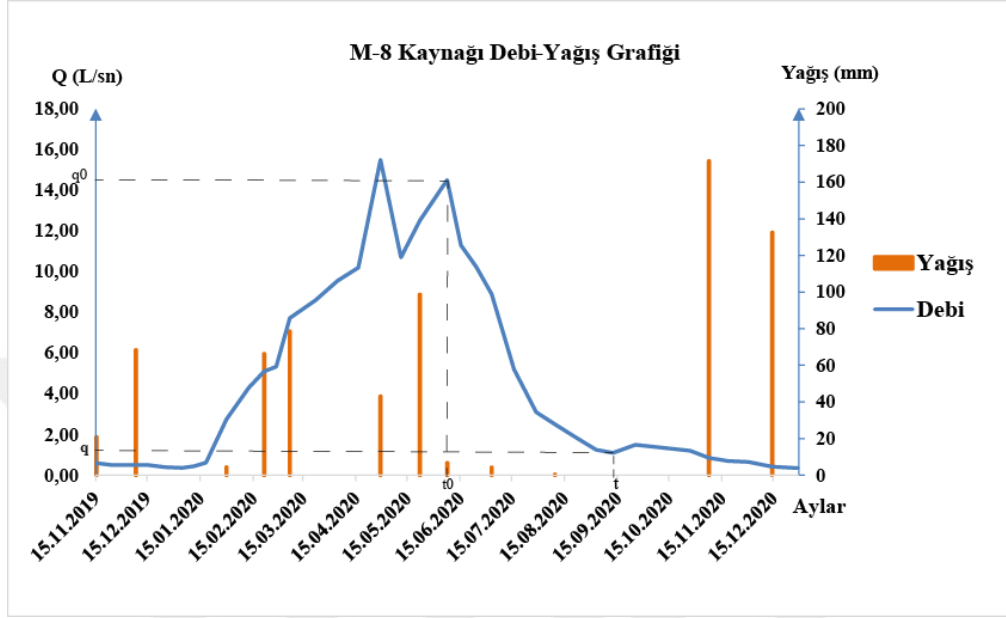
b

Şekil 4.10. M-5 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu

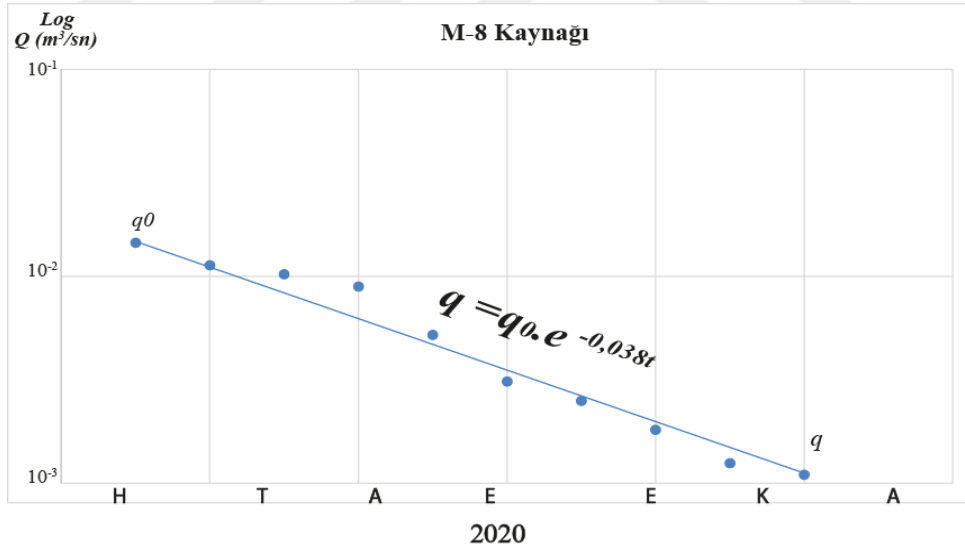
M-5 numaralı kaynağın gerçek rejim dönemi 22 Mayıs 2020 ile 29 Aralık 2020 tarihleri arasındır. Gerçek rejimde boşalımın başlangıç debisi (q_0) 83,37 lt/sn, kurak dönemin sonunda ölçülen en düşük debisi ise 2,10 lt/sn'dir. M-5 numaralı kaynağın gerçek rejimde boşalım döneminde boşaltacağı su hacmi (V_T) $104 \times 10^3 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

M-8 numaralı kaynak

M-8 numaralı kaynağın debi-yağış grafiği ve gerçek rejimde boşalım doğrusu Şekil 4.11’de verilmiştir.



a



b

Şekil 4.11. M-8 numaralı kaynağın a) debi-yağış grafiği, b) gerçek rejimde boşalım doğrusu

M-8 numaralı kaynağın gerçek rejim dönemi 7 Haziran 2020 ile 12 Eylül 2020 tarihleri arasındır. Gerçek rejimde boşalımın başlangıç debisi (q_0) 14,50 lt/sn, gerçek rejimin sonunda

ölçülen en düşük debisi ise 1,10 lt/sn'dir. M-8 numaralı kaynağın gerçek rejimde boşalım döneminde boşaltacağı su hacmi (V_T) 30467 m³ olarak hesaplanmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu (2018) verilerine göre kişi başı içme ve kullanma suyu miktarı günde 224 litredir. Kozluk Mahallesi'nin nüfusu yaz aylarında ortalama 500 kişiye çıkmaktadır.

Rekristalize kireçtaşı akiferinden beslenen M-3, M-4, M-5 ve M-8 numaralı kaynakların gerçek rejimde 500 kişilik nüfus tarafından içme ve kullanma amaçlı olarak kullanılma süreleri 1539 gün yani yaklaşık 4 yıl olarak hesaplanmıştır.

M-4 ve M-5 numaralı Kozluk Kaynakları'nın gerçek rejimde, zaman aralıklarına göre akım rejimleri incelenmiştir (Tablo 4.1). M-4 numaralı Kozluk Kaynağı'nın boşalımını karstik kanallardan türbülant akım ile başlayıp ince çatlak ve gözeneklerden laminar akım ile devam etmiştir. Yaklaşık 94 gün süren ve α_3 boşalım katsayısının hesaplandığı dönemde ise kaynağın debisinde bir değişim gözlenmiştir. Kaynağı besleyen, rekristalize kireçtaşlarından oluşan akiferin su tablasının bu birim içerisinde bantlar şeklinde gözlenen şist seviyelerine inmesi neticesinde kaynağın debisinde değişimler meydana gelmiştir. Bu duruma bağlı olarak kaynağın boşalım katsayısında da ani yükselmeler görülmüştür. M-5 numaralı Kozluk Kaynağı'nın gerçek rejimde hesaplanan boşalım katsayıları sırasıyla α_1 : 0,057 ve α_2 : 0,0058 gün⁻¹'dir (Tablo 4.1). M-5 numaralı kaynak gerçek rejimde 49 gün karstik erime kanallarında türbülant akım gösterirken, daha sonraki dönemde ince çatlak ve gözeneklerden laminar akım göstermiştir.

Tablo 4.1. M-4 ve M-5 numaralı Kozluk Kaynakları'nın hesaplanan boşalım katsayıları

Kaynak Noktası	Zaman Aralığı (Gün)	Boşalım Katsayısı (α)	Akım Rejimi
		(gün ⁻¹)	
M-4 Kaynağı	24.06.2020 - 16.07.2020 (23 Gün) (α_1)	α_1 : 0,042	Türbülant akım
	16.07.2020 - 12.09.2020 (59 gün) (α_2)	α_2 : 0,003	Laminar akım
	12.09.2020 - 14.12.2020 (94 gün) (α_3)	α_3 : 0,025	Türbülant akım
M-5 Kaynağı	22.05.2020 - 09.08.2020 (49 Gün) (α_1)	α_1 : 0,057	Türbülant akım
	09.08.2020 - 29.12.2020 (145 gün) (α_2)	α_2 : 0,0058	Laminar akım

4.2. Hidrojeokimya

İncelenen suların kimyasal ve izotop analiz sonuçları çeşitli diyagramlarla yorumlanmış, içme suyu amaçlı kullanımları çeşitli standartlar ile karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

4.2.1. İnceleme Alanındaki Suların Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması

Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

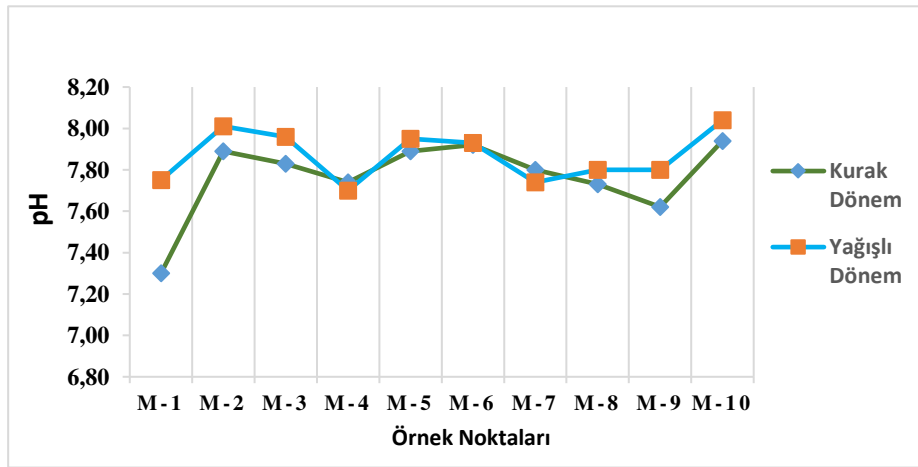
Hidrojen iyon konsantrasyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve OH⁻ iyon konsantrasyonlarının azalıp artmasına bağlı olarak suyun asit ya da baz özelliğini yansıtmaktadır. Yeraltı suları genel olarak pH<7 olan asidik özelliğe sahip iken yer üstü suları pH>8 olan bazik özellikteki sulardır (Yiğit, 2016). Yeraltı sularındaki pH değeri çözünmüş karbondioksit ve diğer karbonat bikarbonat bileşiklerindeki dengeye bağlı olarak değişmektedir.

İncelenen suların pH değerleri kurak dönemde 7,30 - 7,94 arasında, yağışlı dönemde ise 7,74 - 8,04 arasındadır (Tablo 4.2) İncelenen suların büyük bir kısmı bazik karakterlidir.

Tablo 4.2. İncelenen suların dönemsel pH değerleri

Örnek No	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
Kurak Dönem	7,30	7,89	7,83	7,74	7,89	7,92	7,80	7,73	7,62	7,94
Yağışlı Dönem	7,75	8,01	7,96	7,70	7,95	7,93	7,74	7,80	7,80	8,04

Kaynak ve çeşme sularının pH değerleri genel olarak kurak dönemde daha düşük iken yağışlı dönemde daha yüksektir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Çalışma alanındaki suların pH değerlerinin mevsimsel dönemlere göre değişimleri

Hem yağışlı hem de kurak dönemde CO₂'nin artışına bağlı olarak pH düşmektedir. Sulardaki CO₂, çoğunlukla karbonatların çözünmesi sonucu yeraltı sularına geçer. Genellikle sudaki CO₂'in kısmı basıncı (log pCO₂) arttıkça suyun pH değerinde de düşme gözlenir. Suların kurak dönemde pH değerlerin daha düşük olması, bu dönemde artan su-kayaç çözünürlüğüne bağlı olarak yeraltı sularında CO₂ konsantrasyonunun artışıyla ilişkilidir (Sjöström, 1993; Chidambaram vd., 2011). Ayrıca, derinlerde kırıklar vasıtasıyla yükselen derin kökenli CO₂'de yeraltı sularında CO₂'nin diğer bir kaynağıdır (Bucher ve Stober, 2010; Petrovic vd.,2010; Yan vd., 2016, Aydınoglu vd., 2019).

Yağışlarının etkisinin azaldığı kurak dönemde suların pH'larının daha düşük olmasının diğer bir sebebi, kırık ve çatlakların yüzeylerinde oluşmuş olan kil mineralleri tarafından absorbe edilen H⁺ iyonlarının yeraltı suyuna geçmesi olarak da düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, pH değerlerindeki azalma, örnekleme sahası ve çevresinde yapılan tarımsal faaliyetlerde kullanılan azotlu gübrelerle ilişki olarak vadoz zonda gelişen nitrifikasyon reaksiyonları ile ilişkili olmalıdır (Yiğit, 2016).

Suların Elektriksel İletkenlikleri (EC)

Elektriksel iletkenlik (EC), suların elektriği iletme özelliğidir. Elektriksel iletkenliğin birimi genellikle $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile ölçülür. Suyun içerdiği iyon (elektron) miktarındaki artışa bağlı olarak elektriksel iletkenlik değeri artış göstermektedir. Suların geçiş yaptığı kayaç ve minerallerin türü, sıcaklıkları ve çözünmüş madde miktarları elektriksel iletkenlik değerlerini etkilemektedir. İçme suyunda iletkenlik artışı, o bölgedeki suyun kirlendiğini ya da suya deniz suyunun karıştığını göstermektedir. Ancak suda bulunan fakat iyonik formda olmayan kimyasal bileşikler elektriksel iletkenliği etkilemez.

Sulama suları elektriksel iletkenliklerine göre sınıflandırıldığında;

0-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Çok iyi

250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ İyi

750-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Kullanılabilir

2000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ İhtiyatla kullanılmalı

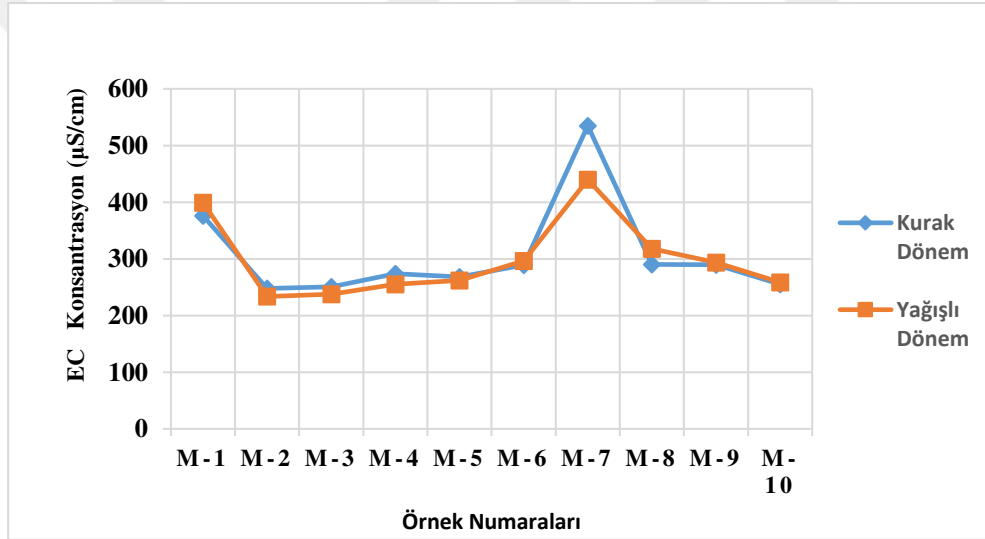
>3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Zararlı kesinlikle kullanılmaz, şeklinde bir sınıflama söz konusudur.

İncelenen suların elektriksel iletkenlikleri kurak dönemde 247,8 - 535 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında yağışlı dönemde ise 233,6 – 439,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte olup, sulama suyu açısından "iyi sular" sınıfına girmektedirler (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Su örneklerinin EC değerleri

Örnek No	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11
Kurak Dönem	376,1	247,8	250,6	274	267,9	289,3	535	290,1	289,4	255,1	-
Yağışlı Dönem	399,1	233,6	237,8	255,4	262,1	296,5	439,9	317,9	293,4	258,3	422,9

Arazi çalışmaları sırasında yerinde ölçümlenen EC değerlerinde dönemsel olarak belirgin bir farklılık bulunmamakla birlikte genellikle kurak dönemde daha yüksektir. Yağışlı dönemde daha düşük EC değerleri yağışların etkisiyle yeraltı sularında meydana gelen seyrelmenin, kurak dönemdeki daha yüksek EC değerleri ise bu dönem artan su-kayaç etkileşimin sonucudur (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Çalışma alanındaki suların EC değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri

Suların Sertlik Dereceleri

Sertlik, su içerisindeki çözülmüş Ca^{+2} ve Mg^{+2} bileşiklerinden gelen bir özelliktir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonattan oluşan sertliğe “geçici sertlik”, bunlar dışındaki tuzlardan meydana gelen sertliğe de “kalıcı sertlik” denir. Geçici sertlik, kaynatma ile CaCO_3 ve MgCO_3 çökerek giderilir. Suda kalıcı sertlik ise, kalsiyum ve magnezyumun karbonat ve bikarbonat dışındaki tuzlardan ileri gelir. Kalıcı sertlik, kaynatılmakla giderilmez. Geçici sertlik ile kalıcı sertlik toplamı toplam sertliği verir. Suyun sertliğini ölçmek için değişik yöntemler vardır. Bunlar;

1 Alman sertliği, 1 litre suda bulunan 10 mg/ CaO ’a;

1 Fransız sertliği ise 1 litre suda bulunan 10 mg/CaCO₃'a karşılık gelen sertlik verici tuz veya iyonunun meydana getirdiği sertliktir. Suyun içerdiği Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının mek/l cinsinden değerinin toplamının 5 katı “Toplam Fransız Sertliği” olarak tanımlanmaktadır. Toplam Fransız sertliği 0.56 ile çarpılarak “Toplam Alman Sertlik Derecesi” bulunur. 1 İngiliz sertlik derecesi ise Fransız sertlik derecesinin 1.43 ile çarpımına eşittir.

Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflaması aşağıdaki Tablo 4.4’de verilmiştir (Şahinci, 1991):

Tablo 4.4. Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflaması (Şahinci, 1991)

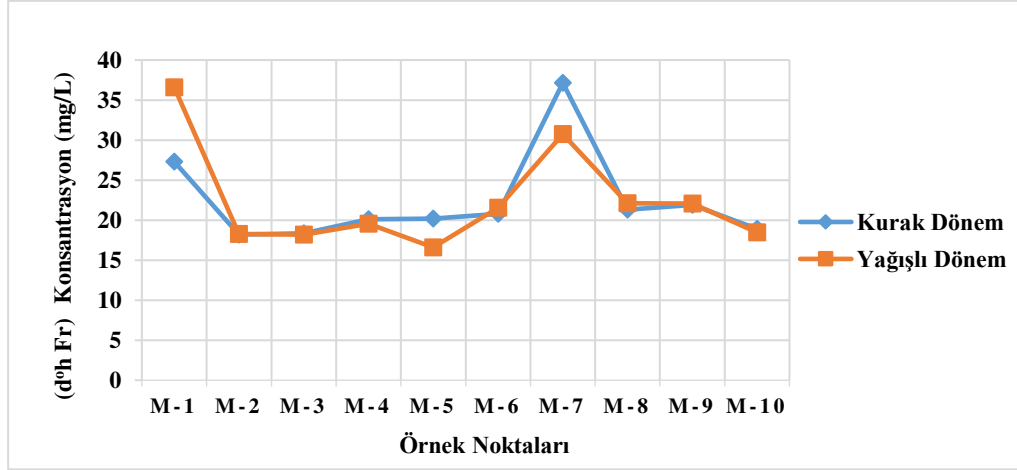
Fransız Sertliği	Suyun Sınıfı
0.0 - 7.2	Çok Yumuşak
7.2 - 14.5	Yumuşak
14.5 - 21.5	Az Sert
21.5 - 32.5	Oldukça Sert
32.5 - 54.0	Sert
>54	Çok Sert Sular

Çalışma alanı içerisinde incelenen yeraltı sularının Fransız sertlikleri hesaplanarak Tablo 4.5.’de verilmiştir. Suların sertlik derecelerindeki değişim yağışlara ve suların kayalar ile etkileşimine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Tablo 4.5. Toplam Fransız Sertliği’ne göre suların sertlik dereceleri (d°h Fr)

Örnek No	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11
Kurak Dönem	27,3	18,2	18,35	20,1	20,2	20,8	37,15	21,3	21,9	18,9	-
Yağışlı Dönem	36,6	18,25	18,2	19,55	16,6	21,55	30,75	22,1	22,05	18,45	28,65

İncelenen suların sertlikleri 16,6 ile 37,15 d°h Fr arasında değişmekte olup az sert, oldukça sert, sert sular sınıfına girmektedirler (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Toplam Fransız Sertliği'ne göre suların sertlik derecelerinin mevsimsel değişimi (d°h Fr)

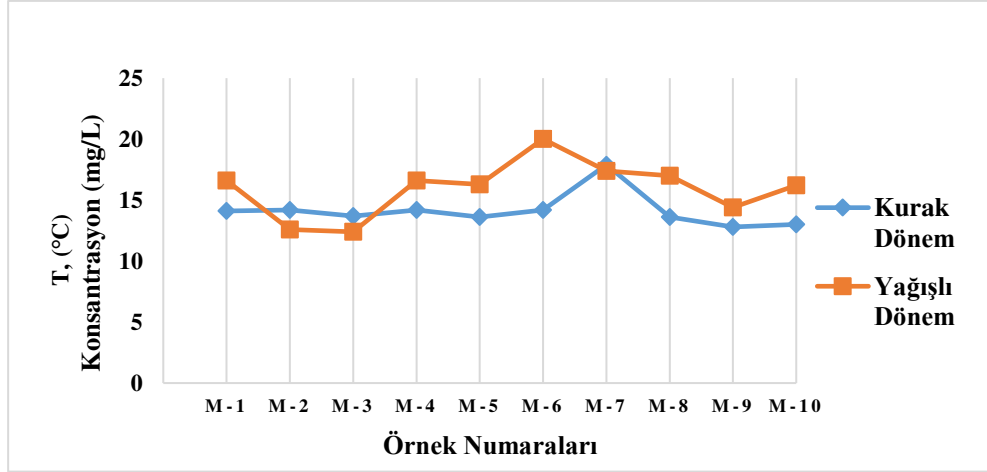
Suların Sıcaklıkları

Genel olarak suların sıcaklığı su tablasının derinliğine, coğrafik enleme, yüksekliğe ve etkin volkanizmaya bağlıdır. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması çok çeşitlidir. Schoeller (1962), suları sıcaklıklarına göre “soğuk sular” (+20 °C'ye kadar), “ılık sular” (20°C ile 30°C arası) ve “sıcak sular” (>30°C) olarak sınıflandırmıştır (Canik, 1998).

Kurak dönemde incelenen suların sıcaklıkları 12.8°C ile 17.9°C arasında iken yağışlı dönemde 12.4°C ile 20.01°C arasındadır (Tablo 4.6). Suların sıcaklık değişimleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, genel olarak sıcaklıkların yağışlı dönemde arttığı görülmüştür (Şekil 4.15). Sıcaklıkları kurak dönemde daha düşük olması incelenen suların yağışlardan etkilenmediğini gösterir. Ayrıca topoğrafik olarak daha üst kotlardan örneklenen M-2 ve M-3 nolu suların sıcaklık değerlerinin diğer sulara göre daha düşük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.6. Çalışma alanındaki suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

Örnek No	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11
Kurak Dönem	14.1	14.2	13.7	14.2	13.6	14.2	17.9	13.6	12.8	13	-
Yağışlı Dönem	16.6	12.6	12.4	16.6	16.3	20.01	17.4	17	14.4	16.2	19.03



Şekil 4.15. İnceleme alanındaki suların sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi

4.2.2. Sularda Bulunan Başlıca İyonlar, İyonların Mevsimsel Değişimleri ve Kökenleri

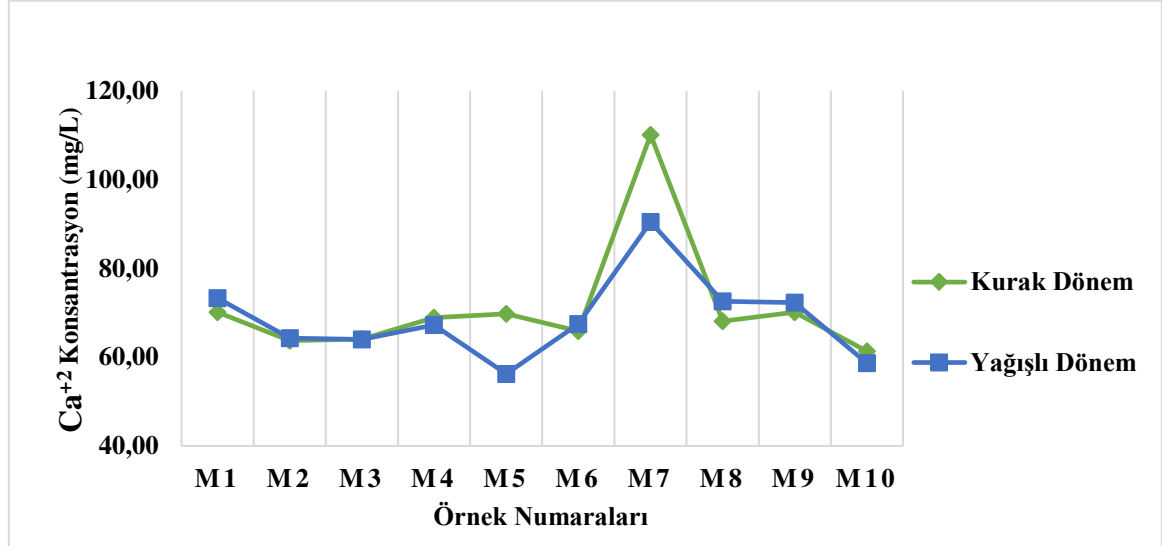
Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayacın bileşimine, dokanağın yüzeyi ve süresine; yeraltı suyunun akım hızına, yeraltı suyu sıcaklığına, ortamın basıncına, iyon etkenliği ve ortamın pH'ına bağlıdır. Yeraltı suyu içerisinde bulunan başlıca katyonlar, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , anyonlar ise Cl^{-} , SO_4^{-2} ve HCO_3^{-} 'tir. Yeraltı sularının kimyasal bileşimleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşımaktadır (Aydınoglu, 2019; Yalçın, 2020).

Ca^{+2} , doğal suların başlıca katyonudur. Doğadaki başlıca Ca^{+2} kaynakları karbonatlar (CaCO_3 , yani kireçtaşı ve mermer), aragonit, dolomit ($\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$), jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit ve apatit minerallerinden oluşmaktadır. Ayrıca silikat içeren kayalarda %1-10 Ca^{+2} içeren kalsiyum silikatlar şeklinde bulunur. Kalsiyum silikatlar hava ve su ile çözünebilir Ca^{+2} tuzlarına ve kil minerallerine dönüşür. Genellikle sudaki Ca^{+2} iyonu kaynağını karbonatlı ve sülfatlı Ca^{+2} mineralleri teşkil eder. Bu nedenle sularda çok farklı oranlarda Ca^{+2} bulunabilir. Ca^{+2} suya sertlik veren en önemli iyonudur. Ca^{+2} lu sularda karbonat ve sülfat da bulunursa CaCO_3 ve CaSO_4 çökerek kabuk meydana getirir. Ca^{+2} , sulama sularında toprağın yapısı ve geçirgenliği yönünden yararlıdır (Şahinci, 1991).

İncelenen sularda Ca^{+2} iyonunu yeraltı sularına, bölgede yüzeyleyen Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarının çözünmesi ile geçmiştir. Bölgedeki tektonizma ve karstlaşma ile ilişkili olarak çalışma alanında yüzeyleme veren kayalarda oluşmuş kırık ve çatlaklar boyunca ikincil kalsit oluşumları da sulardaki Ca^{+2} iyonunun kökenini oluşturmaktadır.

Genel olarak incelenen sularda Ca^{+2} konsantrasyonu dönemsel değişim göstermemiştir (Şekil 4.16).

M-5 ve M-7 numaralı örneklerin Ca^{+2} içerikleri kurak dönemde yağışlı döneme göre daha yüksektir. Suların Ca^{+2} değerinin kurak dönemde daha yüksek olması bu suların daha derin dolaşım ve buna bağlı olarak artan su kayaç etkileşimini işaret etmektedir.

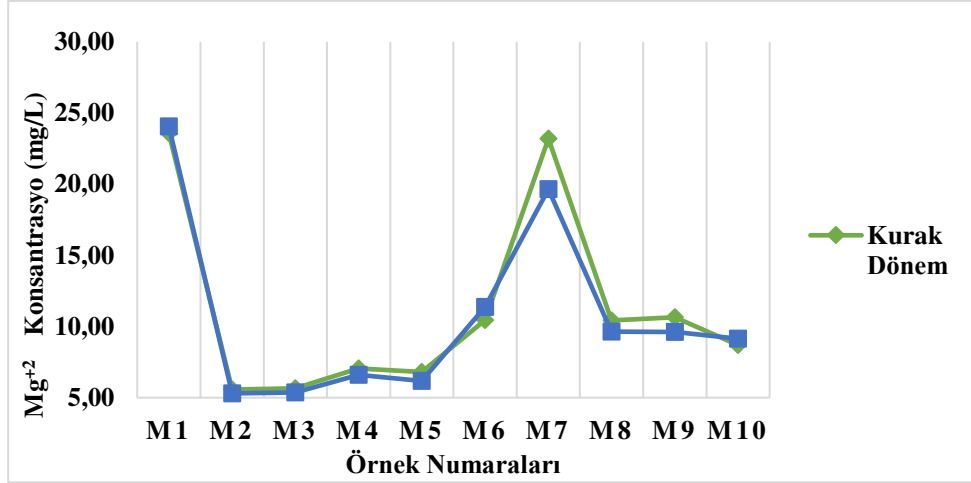


Şekil 4.16. İnceleme alanındaki suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonlarının dönemsel değişimi

Mg^{+2} , yerkabuğu ve tatlı sularda en fazla bulunan elementler sıralamasında sekizinci sırada yer alır. Mg^{+2} iyonlarının çapı, Na^{+} ve Ca^{+2} iyonlarının çapından küçük olmasına karşın, özgül elektriksel yükünün yüksekliği nedeniyle, su molekülleri tarafından hidratlaşma güçlüdür. Doğal sularda Mg^{+2} kaynakları; dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biotit, hornblende, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsit, tremolit mineralleridir. Asidik magma kökenli kayalarda Mg^{+2} , mika ve bir kısım amfibollerde; bazik kayalarda olivin ve piroksenlerde bulunur (Şahinci, 1991).

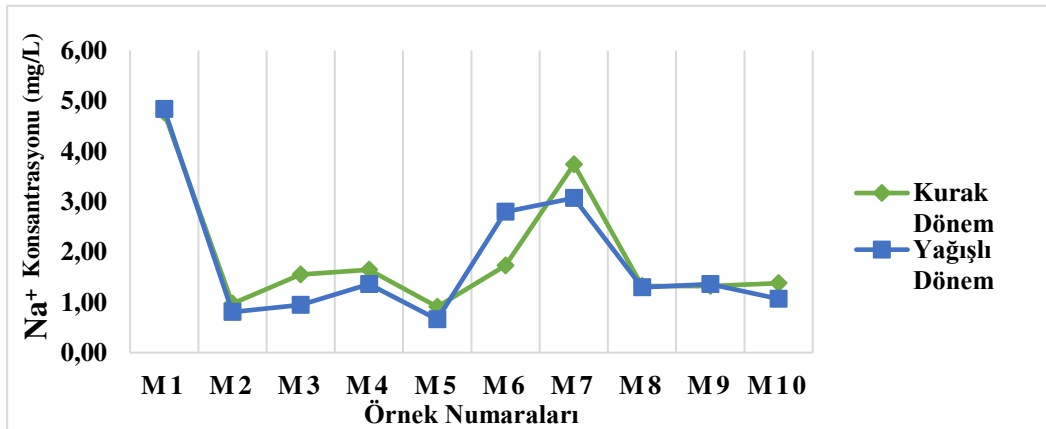
Mg^{+2} suyun sertliğini meydana getiren iyonlardan biridir. Sıcak sularda kırılğan bir kabuk oluşturur. Suda bulunan CO_2 , karbonatlı ve silikatlı minerallerin bünyesindeki Mg^{+2} un suya geçmesinde etkilidir. Granit ve silisli kayalarda bulunan sularda 5 mg Mg^{+2} bulunur. Mg^{+2} 'un sülfat ve klorürleri suda rahat çözülür. Fazla Mg^{+2} 'lu suların tadı acı olur ve içilmemesi gerekmektedir (Şahinci, 1991).

İncelenen suların Mg^{+2} içerikleri genel olarak kurak dönemde daha yüksektir (Şekil 4.17). Sularda Mg^{+2} 'un kökenini Malatya Metamorfitleri'ne ait dolomitik kireçtaşlarının çözünmesi oluşturmaktadır. M-7 numaralı suyun Mg^{+2} içeriğinin, Ca^{+2} içeriğine benzer şekilde kurak dönemde yüksek oluşu, kurak dönemde artan su-kayaç etkileşimine bağlıdır. Ayrıca sularda kurak dönemde gözlenen daha yüksek Mg^{+2} konsantrasyonları bölgede bahçe tarımında kullanılan Mg bileşimli gübre kullanımı ile ilişkili olabilmektedir.



Şekil 4.17. İnceleme alanındaki suların Mg^{+2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Sodyum (Na^+), yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerdendir. Deniz suyunda % 2.6 - 2.7 arasında $NaCl$ bulunmaktadır. Jeolojik dönemlerde bazı suların çekilmesi ve kalın kil tabakası ile örtülmesi sonucu kaya tuzu oluşmuştur. Na^+ 'un toplam katyona oranı tarımsal açıdan önem arz eder. Ayrıca Na^+ 'un yüksek olması geçirgenliği etkilemektedir. Fazlası tat problemi oluşturur ve tuzluluk hissi verir. Sularda Na^+ fazlalığı evsel ve endüstriyel kirlenme, toprak yapısı ve deniz katkısından kaynaklanabilir (Şahinci, 1991). Sulardaki Na^+ iyonunun Malatya Metamorfitleri içerisindeki Na^+ 'lu feldispatların çözünmesi ile yeraltı suyuna geçmiş olduğu düşünülmektedir. İncelenen suların Na^+ konsantrasyonlarında dönemsel olarak belirgin değişim gözlenmemiştir (Şekil 4.18). Kurak dönemde M1, M3, M4, M5, M7 ve M10 numaralı sularda yüksek konsantrasyonlardaki Na^+ iyonu (özellikle M1 numaralı suda), derin ve uzun yeraltı suyu dolaşımına bağlı olarak artan su-kayaç etkileşimine bağlıdır. Çalışma alanındaki aktif faylar boyunca oluşan Na^+ bileşenli alterasyon ve kil minerallerinin çözünmesi de sulardaki Na^+ 'un diğer bir kaynağıdır (Yalçın, 2020).

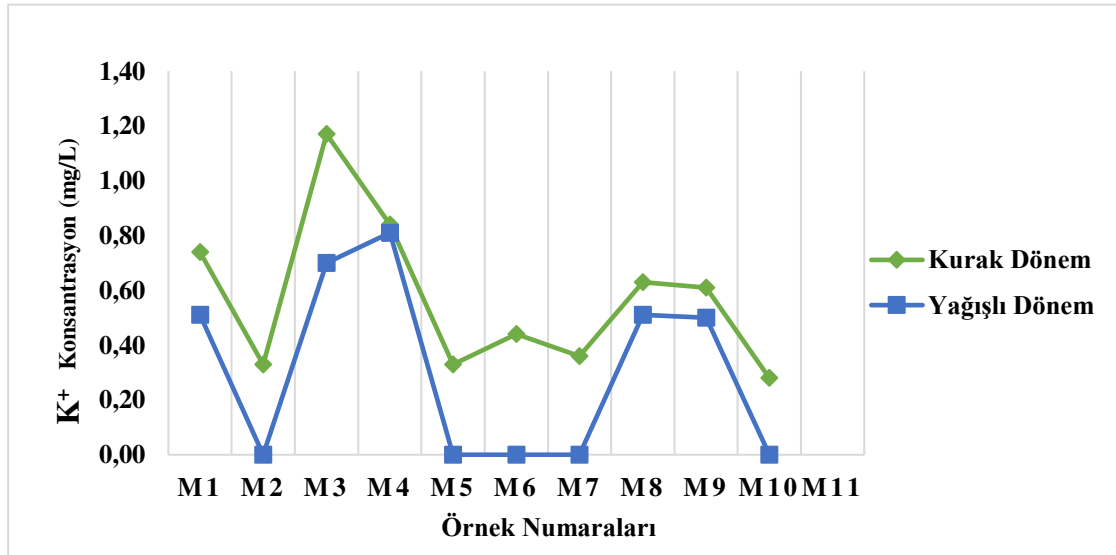


Şekil 4.18. İnceleme alanındaki suların Na^+ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Potasyum (K^+), özellikleri itibariyle sodyum (Na^+) ile benzerlik gösterir. Ancak sodyum magmatik kayalar içerisinde, potasyum ise sedimanter kayalarda daha fazla yer almaktadır. K^+ içeren silikat, alüminosilikat minerallerinin bozulması, Na^+ içerenlere oranla oldukça zordur (biyotit, muskovit, nefelin, feldispat). Ayrıca bozunmuş K^+ 'un çok büyük miktarı kil mineralleri ve bitkiler tarafından güçlü bir şekilde soğurulur (Şahinci, 1991).

K^+ , yer kabuğunda en çok bulunan elementler arasında yedinci sıradadır. Bununla beraber doğal sulara K^+ miktarı azdır. Bazı jeokimyasal prosesler ve absorpsiyon nedeni ile K^+ toprakta kalır ve suya fazlaca geçiş yapmaz. Suların çoğunluğundaki K^+ miktarı litrede 0.5 miliequivalent (mek/ L)' den daha azdır. Ancak daha yoğun konsantrasyonlarda K^+ 'un bulunduğu da görülebilir. Bu durum suyun bulunduğu jeolojik ortam ile ilgilidir. K^+ 'un insan sağlığı için etkisi kanda az veya çok olması ile ilgilidir (Kahvecioğlu vd., 2003; Güven, 2013).

İncelenen sulara K^+ iyonunun kaynağını Malatya Metamorfikleri'ne ait kayaların bünyesinde bulunan K^+ lu feldspatlar ile kırık ve çatlaklar içerisinde bulunan K^+ bileşimli alterasyon ve kil minerallerinin çözünmesi oluşturmaktadır. Genel olarak suların K^+ içerikleri kurak dönemde daha yüksektir (Şekil 4.19). Suların K^+ içeriklerinin kurak dönemde daha yüksek olması bu dönemde su-kayak etkileşim sürelerinin daha yavaş ve fazla olması ile ilişkilidir. Ayrıca, M-3 noktasında belirlenen yüksek konsantrasyonda ki K^+ , bu örnekleme noktası yakınında ve çevresinde yapılan bahçe tarımına bağlı olarak kullanılan kimyasal gübrelerle de ilişkili olabilir.



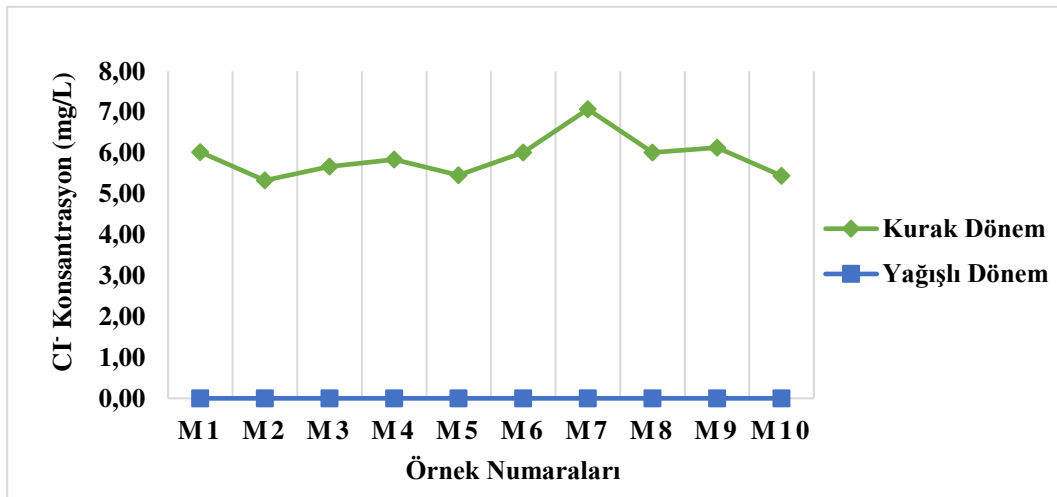
Şekil 4.19. İnceleme alanındaki suların K^+ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Bütün doğal sulara Klorür (Cl^-) bulunur. Cl^- tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan sulara en fazla bulunan iyonlardandır. Normal sulara 1 mg/L'den birkaç bin mg/L'ye kadar bulunduğu görülmüştür. Suyun tadına etki eden en önemli iyondur (Şahinci, 1991). 150 ppm 'den daha az Cl^- içeren sular her türlü kullanımda tercih edilir (Güven, 2013).

İçme sularında klorür doğal kaynaklardan, kanalizasyondan, endüstriyel deşarjlardan (galvaniz tesisleri, su yumuşatma üniteleri, petrol kuyuları, rafineriler ve kâğıt üretimi) ve buz çözücü tuzlar ile tuz girişiminin de dahil olduğu kentsel yüzeysel akıştan kaynaklı olarak görülebilmektedir. Yüzey sularında klorür konsantrasyonu genellikle 100 mg/L'nin altında olup; özellikle tuzlu su girişimi mevcut ise, yeraltı sularında daha yüksek konsantrasyonlarda görülebilir (Oğuz, 2015).

Yağış suları az çok Cl^- içerir. Zemin içine süzülen bu sular yolları boyunca geçtikleri kayaçların içindeki Cl^- tuzlarını çözündürerek Cl^- bakımından zenginleşirler (Şahinci, 1991; Öztekin Okan, 2004). Özellikle Cl^- zenginleşmesi, buharlaşma ve terleme nedeniyle, su ihtiva eden ana kayanın üst seviyelerinde fazlalaşır. Yeraltına süzülen sular su tablasına erişinceye kadar Cl^- ve diğer tuzlarla daha da zenginleşir (Şahinci, 1971).

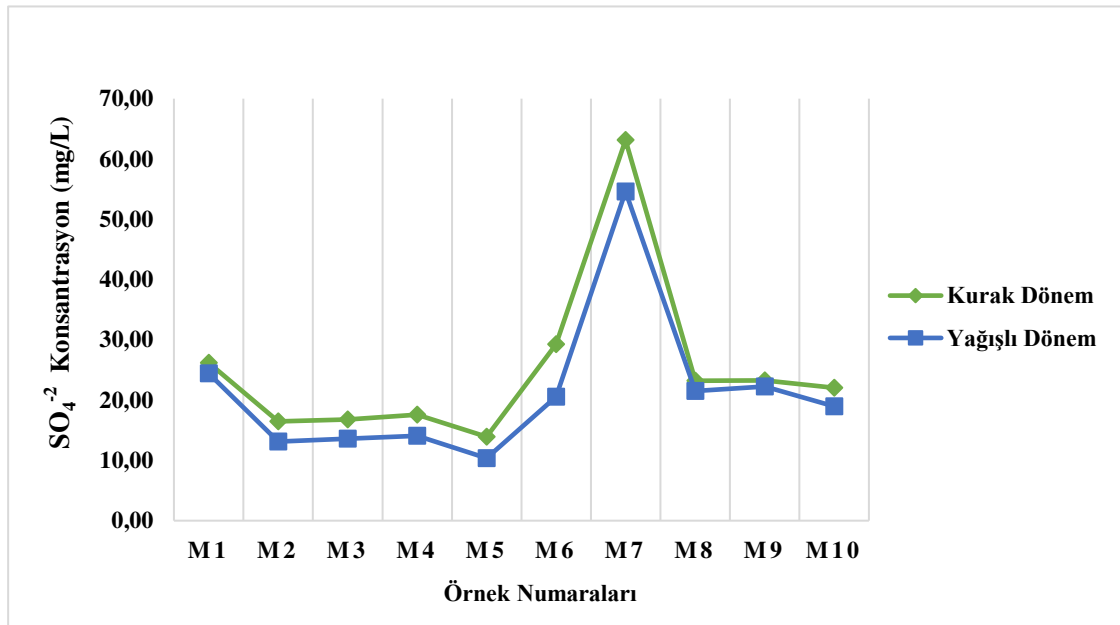
Sulardaki Cl^- iyonunun kökenini yağış suları ile metamorfik kayaçlar içerisinde bulunan Cl^- ce zengin minerallerin çözündürmesi oluşturmaktadır. Genel olarak suların Cl^- konsantrasyonlarının dönemsel dağılımına bakıldığında kurak dönemde yüksek olmasının nedeni, yağış sularının bölgede yüzeylemeler veren metamorfik birimlerin kırık, çatlak, tabaka yüzeyleri gibi süreksizlikleri boyunca yeraltına doğru süzülmesi ve derinlerde daha yavaş su kayaç etkileşim sürecine bağlı olarak artan su-kayaç etkileşimi olarak düşünülmektedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. İnceleme alanındaki suların Cl^- iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Yeraltı sularında sülfatın (SO_4^{2-}) başlıca kaynakları anhidrit ve jipstir. Bunun yanında volkanik patlamalar, magmatik kayaçların bozunumu ve organik maddeler de sülfat değerini etkileyen önemli etkenler arasındadır. Ayrıca evsel ve endüstriyel atıkların depolandıkları alandaki suların toprağa karışması fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan sülfür gazları, asit yağmurları yüzey ve yer altı sularındaki sülfat değerini etkilemektedir (Yalçın, 2020).

Genel olarak incelenen sularda SO_4^{2-} iyonunda dönemsel olarak belirgin bir değişim gözlenmemekle birlikte kurak dönemde biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.21). Sulardaki SO_4^{2-} iyonu, metamorfik kayaçların içerisinde bulunan piritin (FeS_2) oksidasyonu ile oluşan FeSO_4 ile ilişkilidir.

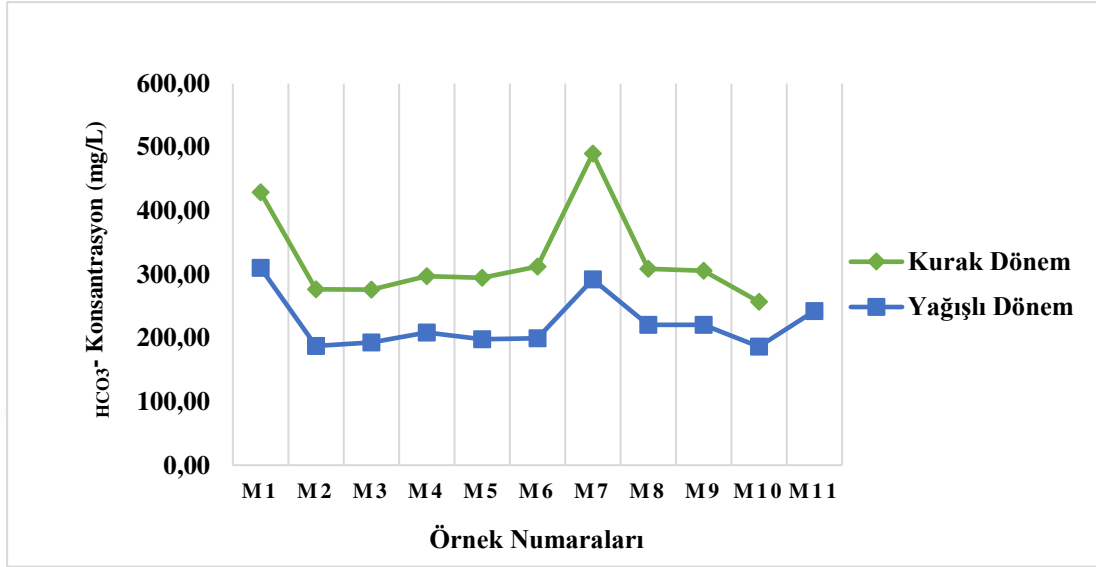


Şekil 4.21. İnceleme alanındaki suların SO_4^{2-} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Yeraltı sularındaki karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-) iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kütlelerin erimesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla CO_3^{2-} ve HCO_3^- miktarı CO_2 miktarına ve suyun pH'ına bağlıdır (Erguvanlı ve diğ, 1973). pH değerinin 6-10 arasında olduğu sularda HCO_3^- baskındır.

Çalışma alanındaki sulara HCO_3^- iyonu, bölgede geniş alanlarda yüzeylemeler veren metamorfittlere ait rekrystalize kireçtaşlarının CO_2 'li sular tarafından çözünmesi sonucu geçmiştir. İncelenen suların HCO_3^- konsantrasyonlarında dönemsel değişimlerin olduğu görülmektedir (Şekil 4.22). Kurak dönemde sularda daha yüksek HCO_3^- konsantrasyonunun bulunması, bu dönemde suların pH değerlerinin daha düşük olması ve buna bağlı olarak kireçtaşlarının çözünürlüğünün artmasına ile açıklanabilir. Beslenme alanı içerisinde kireçtaşı seviyelerinin

bulunduğu ya da doğrudan bu seviyelerden beslenen yeraltı sularında karstlaşmaya bağlı oluşan çözünme sürecinde sularda HCO_3^- konsantrasyonunda artış meydana gelmiştir.



Şekil 4.22. İnceleme alanındaki suların HCO_3^- iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

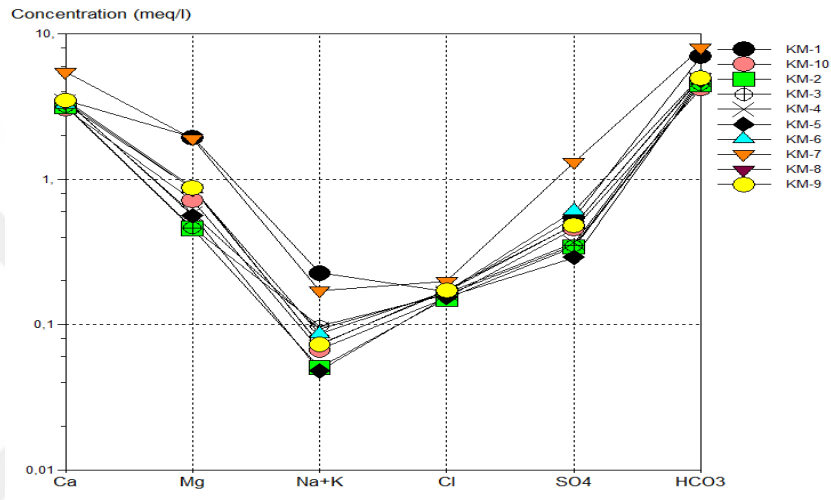
4.2.3. Kimyasal Analizlerin Diyagramlarla Gösterilmesi

Yeraltı suları, gerek toprak zonunda süzülürken, gerekse içinde hareket ettiği akiferin bünyesinde yer alan elementleri çözerek bünyesine almakta ve içinde hareket ettiği kayaçların genel kimyasal özelliklerini yansıtmaktadır. Farklı akiferlere ait yeraltı suyu örneklerinin ayırt edilmesinde, yeraltı suyunda akım yolu boyunca meydana gelecek hidrojeokimyasal değişimlerin incelenmesinde, yeraltı sularının hidrojeokimyasal olarak kökeninin belirlenmesinde, farklı yeraltı suyu örneklerinin birbirleri ile olan ilişkilerin tespit edilmesinde, çeşitli diyagramlar kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanı Piper (1944) ve Schoeller (1962) diyagramlarıdır. İncelenen suların Schoeller ve Piper diyagramları AquaChem 3.70 programında çizilerek birbirleri ile karşılaştırılmış ve kökensel olarak yorumlanmıştır (Güven, 2013; Aydınoglu, 2019; Yalçın, 2020).

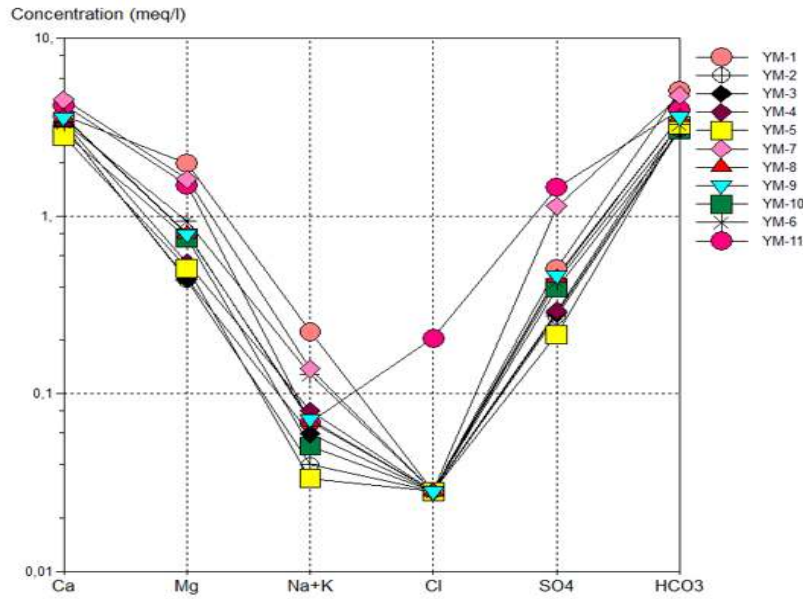
Schoeller Diyagramı

Çalışma kapsamında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya çıkarmak, anyon ve katyon miktarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirilebilmesi için yarı logaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır. Sınıflama yapılırken, düşey eksen logaritmik, yatay eksen aritmetik ölçekli olan diyagram üzerine sırasıyla Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- ve HCO_3^- iyonlarının mek/l değerleri işaretlenerek birleştirilmiştir. Böylece suların kimyasal özellikleri kırık çizgilerle tanımlanır. Yarı logaritmik diyagramda farklı kökenli sular hemen ayırt edilebilir (Şahinci, 1991). Ayrıca bu diyagramlarda benzer kökenli suların iyonlarını birleştiren

doğrular birbirine paralel veya paralele yakındır. Su örneklerinin kurak ve yağışlı dönem kimyasal analiz sonuçlarına göre Schoeller diyagramları çizilmiştir. Çizilen schoeller diyagramlarında sularda bulunan majör anyon ve katyonları birleştiren doğrular birbirine paralel veya paralele yakın geçtiklerinden incelenen suların benzer litolojideki akiferlerden beslediğini ve bu suların aynı kökenden beslendiğini göstermektedir. Schoeller diyagramına göre incelenen sular Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olup, baskın katyonun Ca²⁺, baskın anyonun ise HCO₃⁻ olduğu görülmektedir (Şekil 4.23 ve Şekil 4.24)



Şekil 4.23. Kurak dönemde incelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi



Şekil 4.24. Yağışlı dönemde incelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi

AquaChem bilgisayar programı yardımıyla belirlenen su tipleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

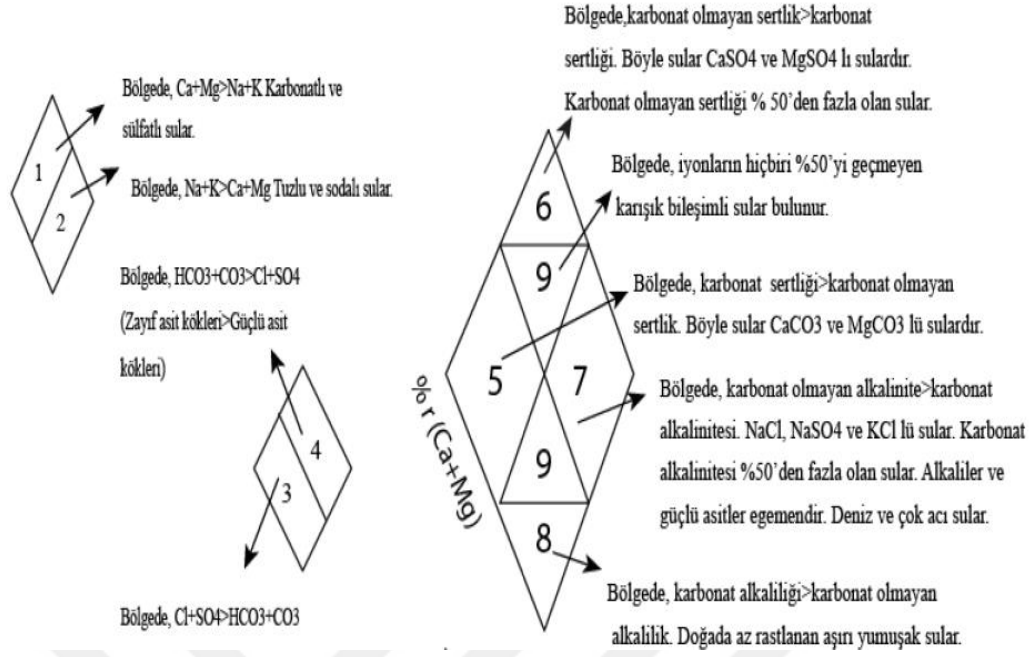
Tablo 4.7. Yağışlı ve kurak dönemde örneklenen suların kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri (* : Örnek alınamadı)

Örnek Numarası	Su Tipi	
	Kurak Dönem	Yağışlı Dönem
M-1	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
M-2	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
M-3	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
M-4	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
M-5	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
M-6	Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
M-7	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
M-8	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
M-9	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
M-10	Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
M-11	*	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄

İncelenen sular arasında M-1, M-7 numaralı sular her iki dönemde de Ca-Mg-HCO₃ tipinde, M-2, M-3, M-4, M-5, M-8 ve M-9 numaralı sular Ca-HCO₃ tipindedir. Sadece yağışlı dönemde örneklenebilen M-11 numaralı su ise Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipinde yer almaktadır (Tablo 4.6). M-6 ve M-10 numaralı suların tipleri kurak dönemde Ca-HCO₃ iken, yağışlı dönemde Ca-Mg-HCO₃ tipindedirler. Yağışlı dönemde Mg⁺² iyonunun bu sularda artması dolomitik seviyelerin yağışlı dönemde daha fazla çözünmesi ile açıklanabilir.

Piper Diyagramı

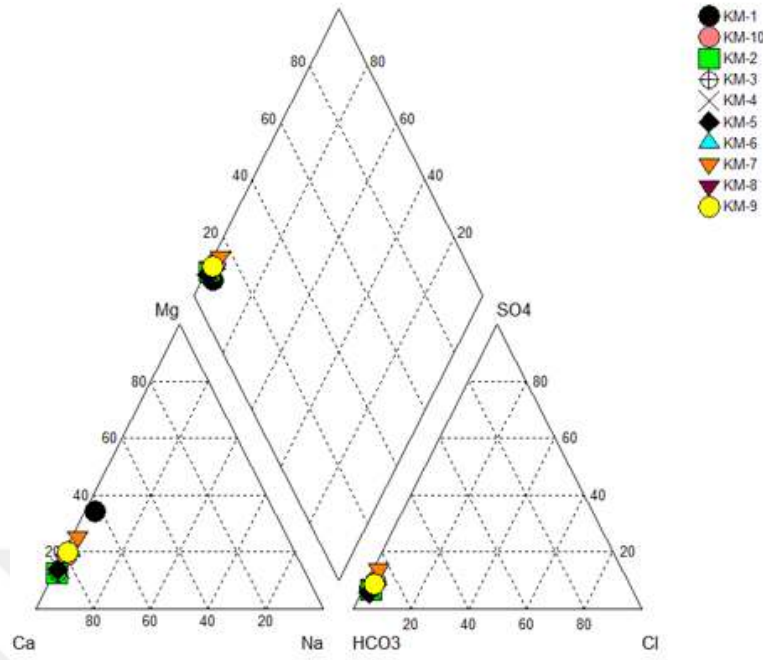
Piper Diyagramı gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan bir diyagramdır (Piper, 1944). Piper diyagramı, % mek/l cinsinden anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki üçgenden ve tüm iyonların ortak gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin saptanması, eşkenar dörtgen ise suların sınıflandırmasına ve karşılaştırılmasına yardımcı olmaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin numaralandırılması ve bu bölgelerin özellikleri

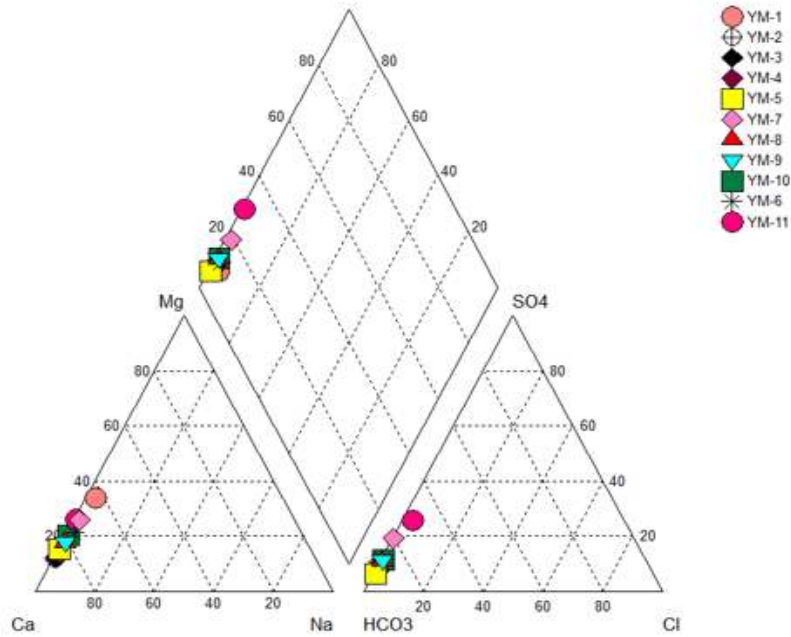
Çalışma kapsamında incelenen yeraltı sularının kurak dönem ve yağışlı döneme ait Piper Diyagramları çizilmiştir.

İnceleme alanı içerisindeki suların kurak dönem majör katyon ve anyonlarının miliekivalen yüzdelere göre çizilen Piper diyagramında suların genel olarak 5. Bölgede gruplandığı görülmektedir (Şekil 4.26). Bu bölge sularının karbonat sertliği %50'den fazla, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$ olup bunlar CaCO_3 ve MgCO_3 lü sulardır. Ayrıca diyagramdan elde edilen sonuçlar, hakim iyonların kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat olduğunu ve suların zayıf asitlerinin kuvvetli asitlerden fazla olduğunu göstermektedir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi (Kurak dönem)

İncelenen suların yağışlı dönem kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Piper Diyagramı'nda da suların kurak dönemde olduğu gibi 5. Bölgede gruplandıkları görülmektedir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi (Yağışlı dönem)

4.2.4. İzotop Hidrolojisi

İzotoplar, aynı elementin farklı sayıda nötrona sahip çeşitleridir. Esas olarak duraylı, radyoaktif ve yapay olmak üzere üç ayrı tür izotop söz konusudur. Duraylı izotoplar, buharlaşma ve yoğunlaşma gibi fiziko-kimyasal proseslerle konsantrasyonları değişmesine rağmen zaman içinde değişmeyen izotoplardır. Duraysız (radyoaktif) izotoplar ise radyoaktif bozuşma yoluyla (α -bozuşması, β -bozuşması, nükleer fizyon gibi) başka bir elemente dönüşen izotoplar sınıfına girer. ^{87}Rb , ^{147}Sm , $^{235,238}\text{U}$, ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif izotoplar, yaygın olarak radyometrik yaş ölçümlerinde kullanılmaktadır (Altınkale, 2004; Yiğit, 2016). Radyoaktif izotoplardan ayrı olarak radyoaktif olmayan herhangi bir çekirdek yapay etkilerle radyoaktif hale sokulabilir.

Bir duraylı çekirdeği nötronlarla, yüklü taneciklerle ya da fotonlarla bombardıman ederek çekirdeğe tanecik veya enerji aktarıldığı zaman oluşan çekirdek veya çekirdekler uyarılmış duruma gelebilir ve bu nedenle parçalanma meydana gelir. Bugün kullanılan radyoaktif izotopların büyük bir kısmı bu şekilde elde edilen yapay radyoaktif izotoplar sınıfına girer (Öztekin, 2000).

İzotop teknikleri hidrolojik ve hidrojeolojik amaçlı çalışmalarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Sulara doğal olarak bulunan çevresel izotopların değişimleri insanlar tarafından kontrol edilemediğinden hidrolojide izotop değişimlerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi ile suların kökeni ve yenilenebilirliği, beslenme alanları ve dolaşım mekanizmaları, karışım süreçleri, yeraltı suyu-yüzey suyu ilişkileri ve yeraltında suyun kalitesini etkileyen süreçlerin aydınlatılması gibi konularda bilgi sahibi olunabilmektedir (Arslan, 2016).

Yeraltı suyu çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Hidrojen (H)'in iki duraylı (^1H ve ^2H (D) (döteryum), bir radyoaktif (^3H (trityum)) ; Oksijen (O)'in üç duraylı (^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O) ; Karbon (C)'in ise iki duraylı (^{12}C ve ^{13}C) ve bir radyoaktif (^{14}C) izotopu vardır. Bu izotoplar yeraltı sularının kökeni, yaşı, beslenme alanı yüksekliği ve yer altında kalış sürelerini tahmin etmede kullanılır (Aydınöğlu, 2019).

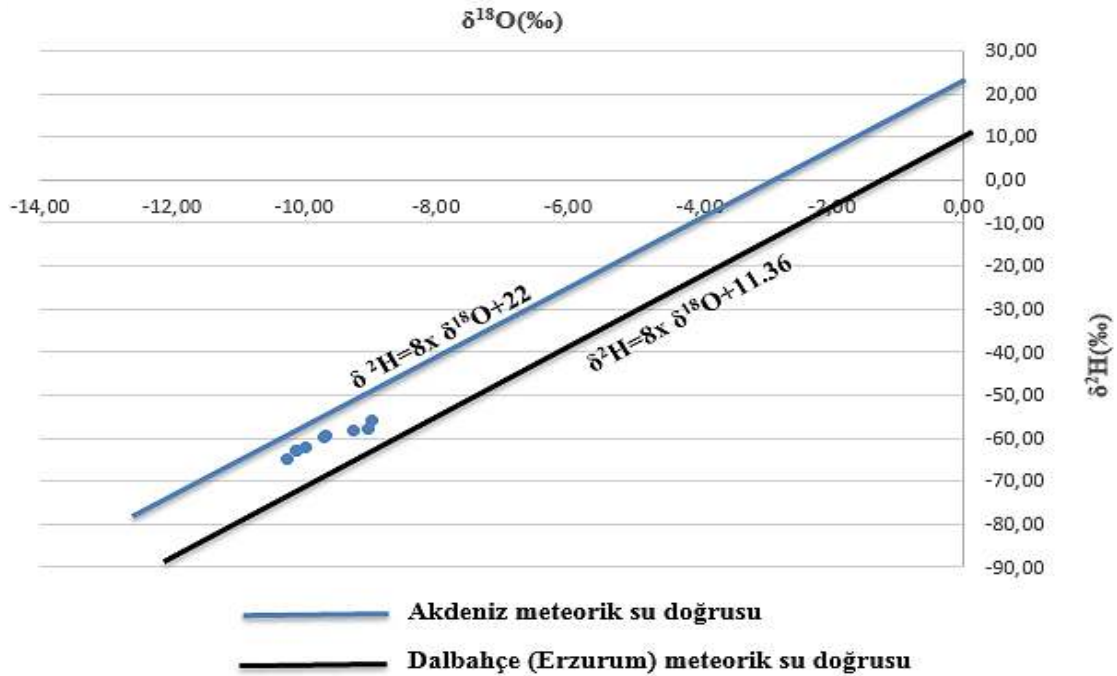
İzotop jeolojisi, jeolojik araştırma, geliştirme ve izleme çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Bunun başlıca nedenleri;

1. İzotop ayrışmasının sıcaklık, kayaç akışkan etkileşimi, sıcak-soğuk karışımları ve buhar ayrışması gibi fiziko-kimyasal süreçlere son derece duyarlı olması,
2. İzotopların fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumaları nedeniyle, suların kökenlerini ve bölgesel akım yönlerini belirlemede iz sürücü parametreler olarak kullanılabilir olmasıdır (Yiğit, 2016).

$\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi

İnceleme alanına ait yağışların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin uzun süreli ölçümleri yapılamadığından yerel meteorik su doğrusu belirlenememiştir. Bu çalışmada Dalbahçe (Erzurum) meteorik su doğrusu (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005; Aydınöğlu, 2019) ile Akdeniz

meteorik su doğrusu referans yağış doğruları olarak kullanılmıştır. İncelenen sular Akdeniz meteorik su doğrusu üzerinde ve yakınında yer aldığından, meteorik kökenlidirler (Şekil 4.28). Yükseklik etkisinin hidrolojik çalışmalarda önemli bir etkisi bulunmaktadır. Suların daha negatif $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri bu suların daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiklerini göstermektedir (Aydinoğlu, 2019). M-2 ve M-4 numaralı sular daha negatif $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri ile daha yüksek kotlardan beslenirken, daha düşük $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerlerine sahip olan M-10 numaralı su ise daha düşük kotlardan beslenmektedir. Genel olarak bakıldığında suların yağışlı dönem $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin, kurak döneme göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılık buharlaşma, yoğunlaşma ve kayaç su etkileşimi gibi farklı süreçlerden dolayı olabilir (Arslan, 2016).

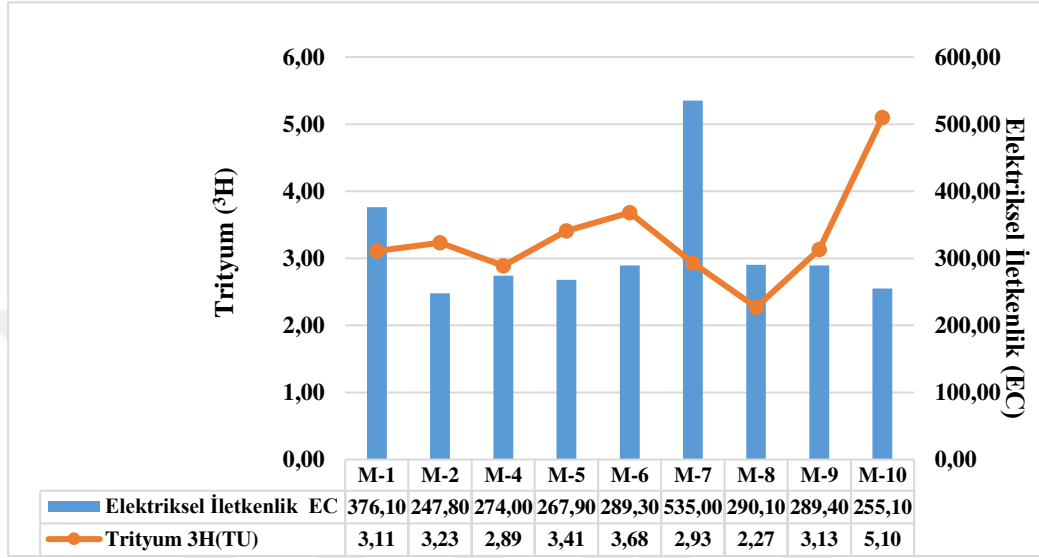


Şekil 4.28. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı

Trityum (^3H) – Elektriksel İletkenlik (EC) İlişkisi

Yeraltı suları rezervuardaki kalış ve/veya akım yolu boyunca hareketleri süresince bünyelerindeki ^3H yarılanmasına devam ederek azalırken, akiferlerin oluşturduğu kayaç veya kayaçlarla kimyasal etkileşime girerek bünyelerine çeşitli iyonları değişik oranlarda alarak EC değerleri de artış göstermektedir. Bu iki parametrenin birlikte değerlendirilmesi, yeraltı suyu dolaşım sistemlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Yüksek trityum içeriğine ve düşük EC değere sahip olan sular diğer örneklere göre daha sıg ve genç sular olarak değerlendirilmektedir. Düşük trityum ve yüksek EC değerine sahip olan sular ise akifer içerisinde daha derin dolaşıma sahip yaşlı sulardır (Arslan, 2016; Yalçın, 2020).

İncelenen sulardan M-5, M-6 ve M-10 numaralı sular yüksek trityum ve düşük EC içeriğine sahip sığ dolaşımli genç sular sınıfına girmektedir. M-1, M-4, M-7 ve M-8 numaralı sular ise düşük trityum ve yüksek EC değerlerine sahip oldukları için daha derin dolaşımli, yaşlı sulardır (Şekil 4.29) (Tablo 3.3 ve Tablo 3.4).



Şekil 4.29. İncelenen suların ^3H ve EC diyagramı

4.2.5. İncelenen Suların İçme Suyu Kalitelerinin Belirlenmesi

İçme ve kullanma suyu kaynakları çoğu zaman beslenim, depolama, dolaşım ve boşalım evrelerinde jeolojik birimler ve jeotermal akışkanlarla temas halinde olduklarından bu durum, kaynakların kalitesini olumsuz yönde etkilemekte, suyun içilebilirliğinin yanı sıra halk sağlığını da riske sokmaktadır (Arslan, 2013).

Yeraltı suları değişim ve seyrelme kapasitelerinin çok sınırlı olması nedeniyle kirlenmeye karşı yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Kirlenici unsurları jeolojik ve antropojen kökenli olarak iki kısımda incelenebilir. Jeolojik kökenli kirlilik; suların içerisinden geçtikleri kayalarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığı bağlı olarak değişir. Yeraltı suları kirliliğini oluşturan en büyük etkenler ise; antropojen kökenli olarak ifade edilen, katı - sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir. Kirliliğin tespiti için kirlilik parametrelerinin kimyasal analizler yardımıyla tespit edilmesi gerekmektedir. Yeraltı sularında çok rastlanan kirlenici maddeler azot bileşikler olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman, 1987; Yiğit 2016).

İncelenen suların pH, EC, majör anyon, kation ve metal içeriklerinin içme suyu standartlarına uygun olduğu önceki paragraflarda belirtilmiştir.

Çalışma sahasının bulunduğu havzanın karstik bir yapıya sahip olması, bu havzanın kolaylıkla kirlenebileceğini göstermektedir. İnsanların kullandığı suni gübreler, organizma atıkları ve endüstriyel atıklar filtrelene olanağı bulamadan yeraltına süzülerek akiferi kirlitebilir. Kirlilik çalışmaları kapsamında kaynak ve çeşme sularından belirli aralıklarla su örnekleri alınmış ve NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} analizleri yapılmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. İncelenen suların NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄⁻³ ve E.coli içerikleri (* : Analiz yapılmadı)

Örnek No	27.12.2018					09.01.2019					23.01.2019				
	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL
M-8	0.003	4.77	0.008	0.008	1	0.003	5.15	<0.01	0.015	0	0.003	5.28	<0.01	0.096	0
M-9	0.003	5.04	0.014	0.11	2	0.002	5.45	<0.01	0.028	2	0.002	5.072	<0.01	0.017	3
Örnek No	06.02.2019					20.02.2019					07.03.2019				
	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli
M-8	0.016	4.74	<0.01	0.092	0	0.006	4.68	<0.01	0.008	0	0.001	4.07	0.04	0.131	0
M-9	0.003	4.59	<0.01	0.118	3	0.008	4.56	<0.01	0.017	0	0.006	4.99	0.016	0.164	5
Örnek No	27.03.2019					17.04.2019					08.05.2019				
	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli
M-3	0.006	6.45	<0.01	0.047	0	*	*	*	*	*	0.014	9.87	0.029	<0.001	0
M-6	0.004	4.87	<0.01	0.018	0	*	*	*	*	*	0.008	4.64	0.024	<0.001	0
M-7	0.002	3.35	<0.01	0.061	0	*	*	*	*	*	0.009	5.35	<0.01	<0.001	1
M-8	0.004	3.75	<0.01	0.019	0	0.004	3.93	0.011	<0.001	0	0.003	3.89	0.028	0.005	0
M-9	0.006	3.44	<0.01	0.093	13	0.006	4.51	0.014	<0.001	5	0.010	3.60	0.041	<0.001	2
M-10	0.005	5.74	0.011	0.084	0	*	*	*	*	*	0.008	5.43	0.034	<0.001	0
M-11	0.004	2.01	<0.01	0.034	0	*	*	*	*	*	0.006	2	0.007	<0.001	0
TSE (2005)	0.5	50	0.5	-	0	0.5	50	0.5	-	0	0.5	50	0.5	-	0
WHO (2017)	3	50	0.5	-	0	3	50	0.5	-	0	3	50	0.5	-	0

Tablo 4.8. (Devamı) İncelenen suların NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, PO₄⁻³ ve E.coli içerikleri (* : Analiz yapılmadı)

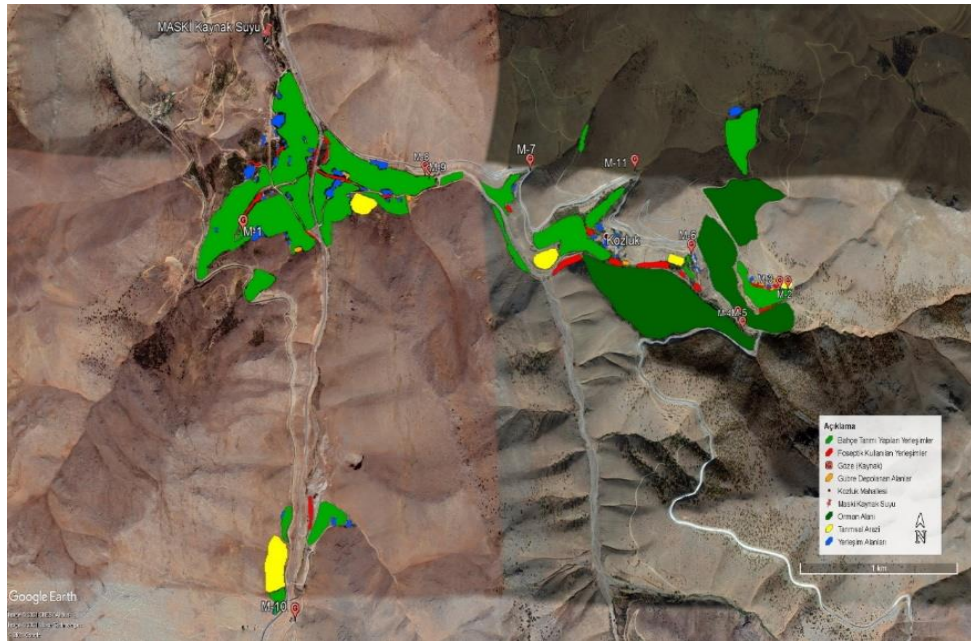
Örnek No	22.05.2019					27.06.2019					24.07.2019				
	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	E.Coli
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL
M-3	*	*	*	*	*	<0.01	4.99	0.025	<0.001	0	0.016	4.20	0.014	<0.001	0
M-6	*	*	*	*	*	<0.01	4.19	0.385	<0.001	2	<0.01	4.08	0.021	<0.001	0
M-8	0.003	3.60	<0.01	<0.001	0	0.018	4.60	0.028	<0.001	0	0.012	4.58	<0.01	<0.001	0
M-9	0.002	3.38	<0.01	<0.001	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
M-11	*	*	*	*	*	0.005	1.84	0.023	0.003	0	0.005	1.86	0.009	<0.001	0
Örnek No	27.08.2019					26.09.2019					30.10.2019				
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL
M-3	0.002	4.07	0.022	0.021	0	<0.01	3.96	0.015	<0.001	0	<0.01	3.95	0.011	0.013	0
M-6	<0.01	4.20	0.021	0.01	0	0.001	4.25	0.009	<0.001	0	<0.01	4.56	0.008	<0.001	0
M-7	*	*	*	*	*	0.006	2.04	0.034	0.004	0	0.06	1.01	0.008	<0.001	0
M-8	<0.01	5.57	0.024	<0.001	0	0.002	5.40	0.011	<0.001	0	<0.01	5.35	0.01	<0.001	0
M-11	0.003	2.05	0.028	<0.001	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Örnek No	25.12.2019					30.01.2020					28.02.2020				
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	KOB/100mL
M-3	<0.01	3.84	0.01	<0.001	0	0,007	3.03	0,008	0,049	0	0.053	7.98	0.008	0.001	0
M-6	0.006	4.69	0.013	<0.001	0	0.055	4.69	0.007	<0.001	0	0.21	6.88	<0.01	0.019	0
M-7	0.133	0.50	0,008	<0.001	0	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
M-8	0.062	5.20	<0.01	<0.001	0	<0.01	4.44	0,014	0,01	0	0.19	5.50	<0.01	<0.001	0
M-11	*	*	*	*	*	<0.01	4.48	0,01	<0.001	0	0,09	4.48	0,004	0,005	0
TSE (2005)	0.5	50	0.5	-	0	0.5	50	0.5	-	0	0.5	50	0.5	-	0
WHO (2017)	3	50	0.5	-	0	3	50	0.5	-	0	3	50	0.5	-	0

Çalışma alanından alınan su örneklerinde NO_2^- konsantrasyonu 0–0,21 mg/L, NO_3^- konsantrasyonları 0,20–9,87 mg/L, NH_4^+ konsantrasyonları <0,01 – 0,38 mg/L, PO_4^{3-} konsantrasyonun ise 0.001 – 0,164 mg/L aralığında tespit edilmiştir.

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 değerleri belirlenmiştir. Bu nedenle, su analizlerinin çeşitli alanlardaki kullanımına ilişkin standartlarla karşılaştırılması ve bu sınırlar aşıldığında ortaya çıkabilecek olumsuz veya zararlı etkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenen içme suyu standartları (TSE, 266 (2005)) kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2017) standartları da içme suyu değerlendirmelerinde kullanılan standartlardandır (Demir, 2014).

Çalışma sahasındaki kaynak suları ve çeşmelerin analiz sonuçları TSE, 266 (2005) ve WHO (2017) içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında suların NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} içeriklerinin yönetmeliklerde belirlenen limit değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.8). Sularda NO_2^- 'nin varlığı ortamda aktif bir biyolojik olayın gerçekleştiğini gösterir. Çok düşük değerlerde bulunması bile bu durumun evsel veya endüstriyel kirlenmenin gözlemlenmesi için yeterlidir. Sulardaki olası NO_3^- kaynakları, toprağa uygulanan gübre, tarımsal gübre, endüstriyel atık sular, evsel atık sular, hayvan beslenme alanları, organik madde ve jeolojik birim kaynaklı olabilir (Okan vd. 2019).

Çalışma alanındaki arazilerin çoğu yerleşim alanı, tarımsal alanlar ve bahçe tarımı amacıyla kullanılmaktadır (Şekil 4.30).



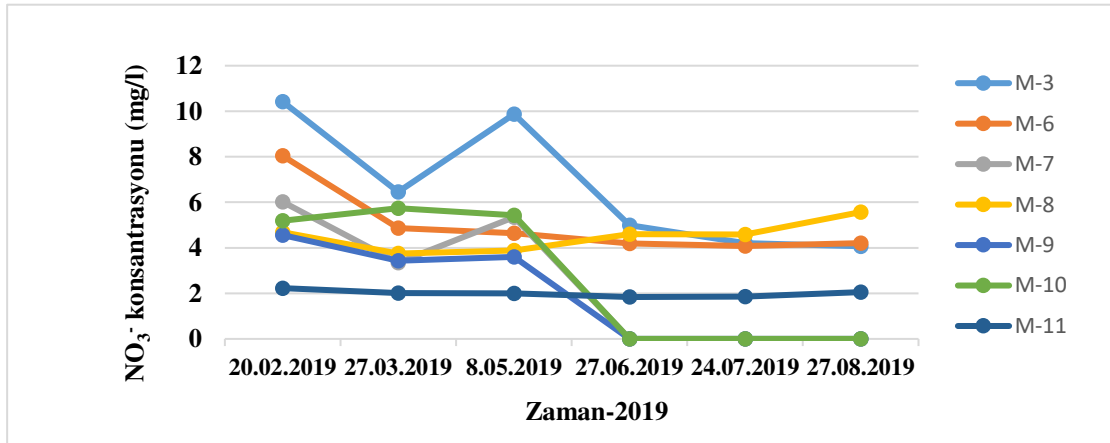
Şekil 4.30. Çalışma alanı arazi kullanım haritası

Çalışma sahasının yakın çevresinde meyveciliğin geçim kaynağı olması nedeniyle, başta Mayıs ve Haziran ayları olmak üzere yılın belirli dönemlerinde ağaçları korumak ve ürünü arttırmak amacıyla ağaçlar ilaçlanmaktadır. Çalışma sahası ve yakın çevresinde bahçe tarımında kimyasal bileşimli gübre ile hayvansal bileşimli gübreler de kullanılmaktadır. Hayvan gübreleri herhangi bir tedbir alınmadan zemin üzerinde açıkta depolanmaktadır (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Yukarı Kozluk Mahallesi yakın çevresinde açıkta depolanan hayvansal gübre yığınları

Çalışma sahasındaki suların NO_3^- konsantrasyonlarının genel olarak gübreleme dönemlerini takip eden aylarda arttığı, gübrelemenin olmadığı Ağustos, Eylül aylarında ise azaldığı söylenebilir (Şekil 4.32). Düşük seviyelerde de olsa sularda tespit edilen NO_3^- 'ın kaynakları bu kirleticiler olabilir. M-3 örnekleme noktasında gözlenen NO_3^- değerlerinin yağışlı dönemde (Mayıs-2019) kısmen yüksek olması, bu kirleticilerin yağışlarla birlikte yeraltı suları üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.32. İncelenen suların NO_3^- değerlerinin aylara göre karşılaştırılması

Sularda NH_4^+ fazlalığı mikrobiyolojik kirlenmenin kimyasal belirtisidir ve suların mikroorganizmalar tarafından kirlendiğini gösterir. Bu kirlilik özellikle alıcı ortam ile doğrudan bağlantılı foseptik kuyulardan ve büyükbaş hayvan atıklarından kaynaklanabilir. Bazı araştırmacılar yeraltı sularındaki NH_4^+ iyonunun inorganik kökenli olmasının insan sağlığı üzerinde olumsuz etkisinin olmayacağını ancak pestisit, tarımsal gübreler gibi organik kökenli NH_4^+ 'ün yeraltı suyuna geçmesinin insan sağlığında ciddi problemlere neden olacağını belirtmiştir (Okan vd. 2013).

Genel olarak incelenen suların NH_4^+ konsantrasyonları belirlenen sınır değerinin altında olup, kirlilik göstermemektedir. Ancak M-6 numaralı kaynak suyunun NH_4^+ konsantrasyonu Haziran 2019'da 0.38 mg/L olarak ölçülmüştür. NH_4^+ konsantrasyonun bu artışı ağaçlara uygulanan gübrelerden kaynaklanıyor olmalıdır. Haziran ayını takip eden Temmuz, Ağustos, Eylül (2019) aylarında bu değerin düştüğü gözlenmiştir (Tablo 4.8) Bu durum, bölgede bu aylarda gübreleme çalışmalarının olmayışı ve herhangi bir kirleticinin olmadığını göstermektedir

Çalışma alanındaki suların PO_4^{3-} analizleri belirli dönemlerde yapılmıştır. Analizlerin yapıldığı aylarda genel olarak suların PO_4^{3-} değerlerinin içme suyu standartlarında belirtilen üst limit değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

Çalışma alanındaki sularda belirlenen e-coli değerleri, genel olarak düşük değerlerde olup, M-8 ve M-9 numaralı kaynak sularında belirlenen e-coli değerleri suların akifer birimleri üzerinde bulunan foseptiklerden sızıntılar ya da hayvan gübrelerinin açıkta depolanmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.31).

4.3. Kozluk Kaynağı'nın Koruma Alanlarının Belirlenmesi

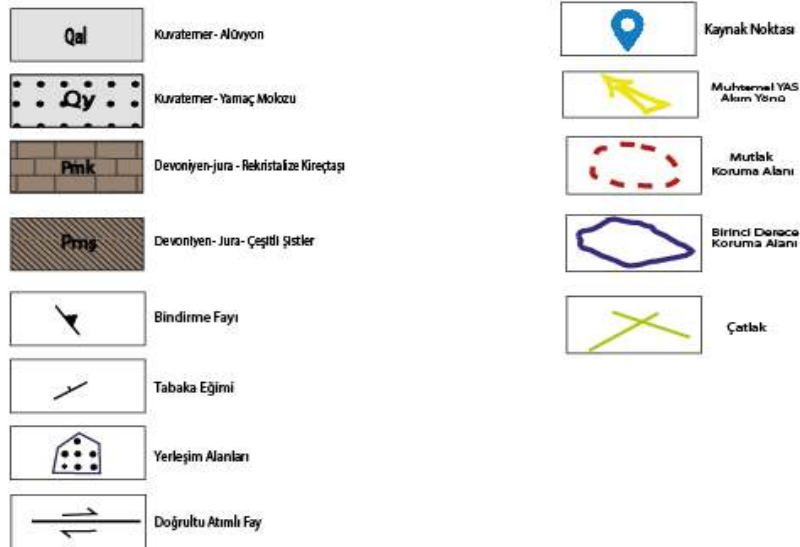
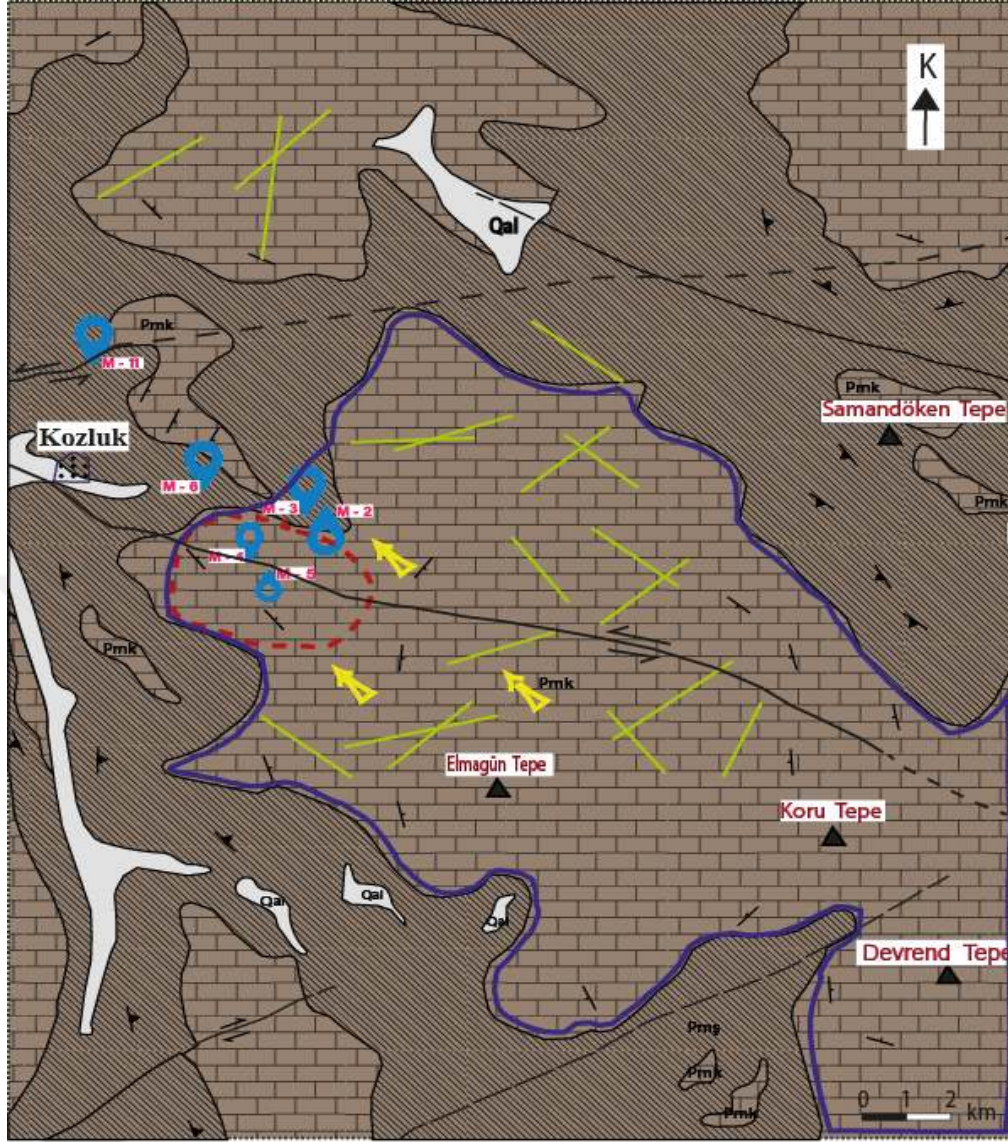
Karstik, çatlaklı ve kırıklı akiferlerde yeraltı suyu dolaşımı, genellikle geçirimsizlik konusunda büyük değişimler gösterir. Bu tür arazilerde yeraltı suyu akımı yüksek hızla karakterize edilir. Bu tür akiferlerde kirlenme potansiyeli genellikle yüksektir. Tüm karstik ve çatlaklı kırıklı akiferde, yeraltı suları hidrojeolojik olarak yüzey ile temas halinde olduğundan, bu temasın fiziksel özellikleri kirlenme potansiyelinin derecesini de ortaya koyar (Resmi Gazete, 2012)

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından içme suyu temin edilen akifer ve kaynakların koruma alanlarının belirlenmesi hakkında yayınlanan tebliğde karstik, çatlaklı ve kırıklı akiferlerin bulunduğu sahalarda mutlak koruma alanı, kaynak çıkış yeri ve akış yönünde kaynağı besleyen çatlaklı akiferin özelliğine göre 50 ile 100 metre arasında belirlenmektedir (Resmi Gazete, 2012). M-4 ve M-5 numaralı Kozluk Kaynakları için mutlak koruma alanı 100 m yarıçaplı bir alanı kapsayacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 4.33). Mutlak koruma alanı içerisinde bulunan bölgede hiçbir yapıya, katı ve sıvı atık boşaltımına ve geçişe izin verilmemelidir. Bu alan

içme suyu kullanan idare veya idareler tarafından kamulaştırılarak emniyete alınmalı ve tapu kaydına mutlak koruma alanı olarak işlenerek Bakanlığa bildirilmeli ve alanın çevresi suyu kullanan idare tarafından dikenli tel ile çevrilmelidir.

Birinci derece koruma alanı ise beslenme alanı yüzeyinden akifere süzülen yeraltı suyunun boşalım noktasına ulaşınca kadar 50 (elli) günde katetmesi gereken mesafenin sınırı ile mutlak koruma alanı sınırı arasında kalan bölgedir (Resmi Gazete, 2012). Kozluk Kaynakları için birinci derece koruma alanı kaynakların beslenme alanları içerisinde gelişmiş çatlak sistemlerinin yönelimleri, yeraltı suyu akım yönü, kaynakları besleyen rekristalize kireçtaşı karstik akiferinin geçirimsizlik, gözeneklilik durumları ve kaynakların beslenme alanları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Öztekin Okan vd., 2018) (Şekil 4.33).

Kaynakların birinci dereceden koruma alanı içerisinde kentsel yapılaşma (rekreasyon tesisleri hariç), uçak pisti ve yollar, demiryolları, kentsel, evsel atıkların (katı ve sıvı atıklar dahil) depolanması, üretimi ve yok edilmesi, mezarlık alanları, madencilik faaliyetleri, endüstriyel fabrikalar ve organize sanayi bölgeleri, nükleer aktiviteler, gübre ve pestisitlerin kullanımı, depolanması, akaryakıt, LPG istasyonu vb. yakıt depolama ve iletme tesislerine, katı atık ve tehlikeli atık düzenli depolama tesisleri (atık barajları)ne izin verilmemelidir (10 Ekim 2012 tarihli resmi gazete).



Şekil 4.33. Kozluk Kaynakları mutlak ve birinci derece koruma alanları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İncelenen kaynak sularının akifer birimi Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarıdır. Rekristalize kireçtaşları, bölgedeki aktif tektonizma etkisiyle gerek karstlaşma, gerekse kırık ve çatlaklar vasıtasıyla ikincil geçirimsizlik ve gözeneklilik kazanmıştır. Malatya Metamorfikleri'ne ait şistlerin geçirimsizlikleri oldukça düşük olup karstik akiferlerin geçirimsiz tabanı konumundadırlar.

Kozluk Kaynakları ve çalışma kapsamında incelenen diğer kaynaklar karstik kaynaklar olup, oluşumlarında bölgede etkin sol yönlü doğrultu atımlı faylar oldukça önemlidir. Rekristalize kireçtaşları içerisinde gelişmiş eklem sistemlerinin doğrultu ve yönleri ile karstik kanallar akifer içerisinde genel yeraltı suyu akım yönünü belirlemektedir.

Kozluk Kaynakları'nın gerçek rejimde boşalım analizlerinde kaynakların önce karstik erime kanallarında türbülant akım, daha sonra ise ince çatlak ve gözeneklerden laminar akım gösterdikleri belirlenmiştir. Yapılan boşalım hesaplamaları, kaynakların beslenme alanlarında beslenmenin kesilmesi durumunda Kozluk Mahallesi su gereksinimini yaklaşık 4 yıl süre ile sağlayacağını göstermiştir.

Suların pH değerleri hem yağışlı hem de kurak dönemde bazik karakterdedir. Kaynak sularının akifer birimleri kireçtaşları olduğundan sularda bulunan baskın katyon Ca^{+2} , baskın anyon ise HCO_3^{-} 'dir. Genel olarak yeraltı sularının hidrojeokimyasını kontrol eden temel mekanizma yeraltı suyu- kayaç etkileşimi olup, suyun pH koşulları, sığ ve derin dolaşım, antropojenik faktörler de etkilidir. Duraylı izotop analiz sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde Kozluk Kaynakları'nın meteorik kökenli oldukları, trityum içeriklerine göre incelenen suların bir kısmının sığ, bir kısmının ise derin dolaşımli oldukları belirlenmiştir.

Kozluk Kaynakları'nın beslenme alanlarının topografik olarak yüksek kotlarda bulunması ve sarp bir topografyaya sahip olması, ayrıca beslenme alanı üzerinde orman alanlarının bulunması, kaynak sularının beslenme alanında kirlenme riskini düşürmektedir. Kozluk Kaynakları suları içme amaçlı kullanıma uygundur. Ancak, çalışma kapsamında incelenen bazı kaynak sularında belirlenen e-koli ve yüksek nitrat konsantrasyonları bu kaynakların yüzeysel kirlenmelerden etkilendiğini göstermektedir. Kırıklı-çatlaklı akiferleri oluşturan aynı zamanda karstlaşmanın da geliştiği rekristalize kireçtaşı akiferinde oluşacak noktasal kaynaklı kirlilik birbirleriyle bağlantılı olan eklem sistemleri vasıtasıyla alansal kirliliğe neden olabilir. Bu nedenle, yüzeysel karstlaşmanın da yoğun olarak geliştiği rekristalize kireçtaşı akiferlerinde yeraltı suyu kalitesini koruyabilmek için bu litolojik birimler üzerinde tarımsal faaliyetlerde daha az kimyasal ve hayvansal gübre kullanılmalı, hayvansal gübreler geçirimsiz seviyeler (geçirimsiz beton yüzeyler ya da geçirimsiz kalın muşambalar üzerinde) oluşturularak depolanmalıdır.

Ayrıca, rekristalize kireçtaşı akiferi üzerinde düzensiz fosseptik çukurlar açılmamalı, Kozluk Mahallesi ve çevresindeki yerleşim alanlarının kanalizasyon sistemleri oluşturulmalıdır.



KAYNAKLAR

- Akbaşı, vd., (2011). 1:1.250.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Altınkale, S., (2004). Duraylı İzotoplar ve Hidrojeolojide Kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri III, 23s.
- Arslan, Ş., Çelik, M. (2013). Köprüören Havzası (Kütahya) yüzey ve yeraltı sularında arsenik kirliliğinin hidrojeokimya ve çevresel izotoplarla incelenmesi. TÜBİTAK Proje raporu No: 110Y225, 149 s. Ankara (yayımlanmamış).
- Arslan, Ş. (2016). Köprüören Havzası (Kütahya) Su Kaynaklarının Çevresel İzotopları İle İncelemesi MTA Dergisi, 153: 169-184.
- Arslan, Ş., (2017). Assessment of groundwater and soil quality for agricultural purposes in Köprüören Basin, Kütahya, Turkey, Journal of African Earth Sciences, 131: 1-13.
- Asutay, HJ. ve Turan, M. (1986). Doğu Toroslar Keban-Baskil (Elazığ) Dolaylarının Jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüd Dairesi Rapor Arşivi (Yayınlanmamış).
- Aydınoglu, F. (2019). Elazığ İl Merkezi ve Yakın Çevresindeki Mineralli Suların Hidrokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baykara, M. O., (2007). Çokrağan – Yukarı Karacahisar (Banaz-Uşak) Karstik Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 97, İzmir.
- Bonacci, O., (1987). Karst hydrology with special references to the Dinaric karst. Springer Verlag, Berlin, 184 pp.
- Bucher, K., ve I. Stober, (2010). Fluids in the upper continental crust. Institute of Geosciences, Geochemistry, University of Freiburg, Freiburg, Germany.
- Canik, B. (1998). Hidrojeoloji, Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Canik, B. (2007). Hidrojeoloji, Yeraltı Sularının Aranması İşletilmesi Kimyası, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Clark, I. And Fritz, P., (1997). Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publ., Boca Raton, 382p.
- Çelebi H., Helvacı, C., Uçurum A., (2010). Pınarbaşı (Adıyaman) Apatitli Manyetit Yatağının Jeolojisi, Jeokimyasal Özellikleri ve Ekonomik Potansiyeli, MTA Dergisi, Cilt 141, 29-54.
- Çetindağ, B., Öztekin, Ö., (2001). Haroğlu (Elazığ) Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi, Geosound/Yer Bilimleri, 38, 153-162.
- Davraz, A. and Batur, B., (2021). Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç-Gelendost basin (Turkey), Applied Water Science, 11:67.
- Demir, S., Aydemir, M., (2014). Gölbaşı (Isparta) Arsenik Mineralizasyonu ve Yakın Çevresindeki Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18, 42-51.
- Deneri, H.A., (2020). Karstik Kaynakların Ani Boşalım Ölçümleri ile Kaynak Sularının Değerlendirilmesi; Susuz Kaynakları, Seydişehir (Konya), Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sy. 90.
- Diedrich, M. S., Hoek, E. (1989). DIPS: A computer program for stereographic net (ver. 2.2, Advanced version). Rock engineering group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Kanada.
- Dursun, O.F., Celiker, M., Fırat, M., (2016). Hydrological Properties of the Derme Karstic Springs by Using Hydrogeochemical Analyses and Environmental Isotope Techniques. Clean-Soil Air Water, vol, 44, no.2.
- Ekmekçi, M. (2014). Malatya Kentinin İçme Suyu İhtiyacını Karşılamanın Pınarbaşı Kaynağının Yakınında Planlanan Kalker Ocağı Tesislerinin Kaynak Akımları ve Su Kalitesi Açısından Oluşturabileceği

- Risklerin Hidrojeolojik Yapı Temel Alınarak İrdelenmesi Değerlendirme Raporu (Yayınlanmamış), Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), 1-29 Ankara.
- Ekmekçi, M. (2016). Malatya-Pınarbaşı Hidrojeolojik Sisteminin Sürdürülebilir Kullanım ve Kentsel Su Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi, Uluslararası Kentsel Su ve Atıksu Yönetimi (UKSAY), 26-28 Ekim 2016, Malatya
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., (1973). Yeraltı Suları Jeolojisi (Hidrojeoloji). İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 967, 340s.
- Ford, D.C. and Williams, P. (2007) Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley, Chichester, 562.
- Gözübol, A. M. ve Önal, M., (1986). Çat Barajı İsale Tünelinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekanik İncelemesi ve Malatya-Çelikhan Alanının Jeolojisi, Tübitak TBAG-647 Projesi, Ankara
- Günaydın, O. (2001). Horata (Malatya) Kaynağının Hidrojeoloji İncelemesi Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 54, Elazığ.
- Güleç, N., Mutlu, H., (2003). Jeotermal Alanlarda İzotop Jeokimyası. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Yaz Okulu Ders Kitabı. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No. 306, 64-88 s. İzmir
- Güven, A. (2013). Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 76 s., Elazığ.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. Ve Timur, S., (2003). Metallerin Çevresel Etkileri I. Metalürji Dergisi., 137: 46-51
- Kaya, A., (2016). Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey, Journal of African Earth Sciences, C.124, 245-257.
- Kara, H., (2013). Keban ve Malatya Metamorfitleri'nde Organik Madde İçeren Litolojilerin Metalik Element Jeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Maillet, E. (1905). Essais d'hydrolique Souterraine et Fluviale. Librerie Scientifique, A. Hermann, 2018, Paris.
- Oğuz, T. C., (2015). "İçmesuyu Arıtımında Yaygın Olarak Karşılaşılan Su Kalite Problemleri ve Arıtım İçin Çözüm Önerileri". Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Öztekin Okan Ö., Güven A., (2019). Hydrochemistry of groundwaters from alluvial and fractured igneous aquifers at the western region of Lake Hazar (Elazığ, Turkey) Arabian Journal of Geosciences , vol.12, no.2.
- Öztekin Okan Ö., Güven, A., Çetindağ B., (2018). Plajköy Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi Maden Tetkik Arama Dergisi 156.
- Öztekin, Okan, Ö., Kalender, L., Çetindağ, B., (2013). Trace-element hydrogeochemistry of thermal waters of Karakoçan (Elazığ) and Mazgirt (Tunceli), Eastern Anatolia, Turkey.
- Öztekin, Ö., Çetindağ, B., (2000). Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri. Yerbilimleri (Geosund), 36.
- Önal, M., Şahinci, A., ve Gözübol, A.M., (1986), Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Dolayının Hidrojeolojik İncelemesi. Jeoloji Mühendisliği, s.29, 5-12.
- Önal, A., (1993). Derme Karst Kaynağı ve Geliştirilmesi, Jeoloji Mühendisliği, s.42, 64-73
- Payne, B. and Dinçer, T., (1956). Isotope Survey of Karst Region of Southern Turkey, Proc. Of Sixth Int. Conference of Radiocarbon and Tritium Dating, IAEA, Publ
- Petrovic, T., Zlokolica-Mandic, M., Veljkovic, N., Vidojevic, D., (2010). Hydrogeological conditions for the forming and quality of mineral waters in Serbia. Journal of Geochemical Exploration, 107, 373-381.
- Piper, A.M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Transactions. American Geophysical Union, 25(6) 914-923

- Resmi Gazete, (2012). İçme Suyu Temin Edilen Akifer ve Kaynakların Korunma Alanlarının Belirlenmesi Hakkında Yönetmelik, 10.10. 2021 Resmi Gazete, Sayı:29437.
- Revan, M.K. (2003). Malatya-Yeşilyurt Altınlı Fluorit Cevherleşmesinin Oluşumu ve Kökeni, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- Sayın, M., Eyüpoğlu, S., (2005). Türkiye'deki yağışların kararlı izotop içeriklerini kullanarak yerel meteorik doğruların belirlenmesi. II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Bildiri Kitabı. Devlet Su İşleri, 26-30 Eylül 2005, İzmir, 324-344.
- Schoeller, H., (1962), Les Eaux Souterraines, 642 p. Masson Et Cie, Paris.
- Sjöström J., (1993). "Ionic composition and mineral equilibria of acidic groundwater on the westcoast of Sweden". Environmental Geology, 21, 219-226.
- Stober, I., K. Bucher, (1999). Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region. Geological Survey of Baden-Wuerttemberg, Albertstr. 5, 79104 Freiburg, Germany. Institute of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, UniversitaEt Freiburg, Albertstr. 23b,79104 Freiburg, Germany.
- Stchepinsky, V. (1944). Rapport sur la geologie et les ressources minerales de la region de Malatya Sud. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Raporu (yayınlanmamış), Ankara.
- Stefanski, M. (1941). Note sur l'étude geologique aux environs de Malatya. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Raporu (yayınlanmamış) Ankara.
- Şahin, Ö., Işık, V. (2010). Çelikhan (Adıyaman) Civarında Yüzeyleyen Metamorfik ve Mağmatik Kayaların Petrolojisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, Clit 53 (2-3), 129-158.
- Şahinci, A., (1991). Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 548 s., İzmir.
- Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O., Erdogan, E., (2008). Hydrogeological and hydrogeochemical characterization of a karstic mountain region. Environ. Geol. 54:291–308 DOI 10.1007/s00254-007-0817-4.
- TSE 266, (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Thorntwaite, C.W., (1948). An approach a rational classification of climate, The Geographical review, Vol. 38, New York.
- Uslu, O., Türkman, A., (1987). Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1. Ankara. 364s.
- WHO, (2017). Guidelines For Drinking-Water Quality. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, Fourth Edition Incorporating The First Addendum
- Yalçın, Y., (2020). Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yazgan, E. (1983). A geotraverse between the Arabian platform and the Munzur nappes. Int. Symp., On the Geology of the Taurus Belt, Field Guide Book, Excursion, Ankara.
- Yan, B., Xiao, C., Liang, X., Wu, S., (2016). Hydrogeochemical tracing of mineral water in Jingyu country, Northeast China. Environ. Geochem. Health, 38, 291-307.
- Yiğit, E., (2016). Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Safa ÇELİK

████████████████████

10/10/2014

██████████

114

10/10/2014

114

10/10/2014

© 2006 The Authors

© 2005 Blackwell Publishing Ltd

114

114

5

████████████████████

██████████

████████████████████

AKADEMİK FAALİYETLER

Projeler:

1. FÜBAP/MF.19.28, “Kozluk Kaynağı’nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi”, 29.07.2019 - 29.04.2022, Yüksek Lisans Tezi Araştırma Projesi