

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇELİKHAN (ADİYAMAN) İLÇESİNİN G-GB’SİNİN
HİDROJEOLÖJİK İNCELEMESİ

Mehtap GÖZLÜ

Yüksek Lisans Tezi

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Uygulamalı Jeoloji

OCAK, 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Uygulamalı Jeoloji

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİKHAN (ADİYAMAN) İLÇESİNİN G-GB' SININ
HİDROJEOLÖJİK İNCELEMESİ

Tez Yazarı
Mehtap GÖZLÜ

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: Çelikhan (Adıyaman) İlçesinin G-GB'sının Hidrojeolojik İncelemesi
Yazarı: Mehtap GÖZLÜ
İlk Teslim Tarihi: 24.12.2021
Savunma Tarihi: 28.01.2022

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:	Doç. Dr. Ayla BOZDAĞ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Esra YILDIRIM Fırat 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 “Çelikhan (Adıyaman) İlçesinin G-GB’sının 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.

28.01. 2022

Mehtap GÖZLÜ



ÖNSÖZ

“Çelikhan (Adıyaman) İlçesinin G-GB ‘sının Hidrojeolojik İncelemesi” başlıklı bu tez çalışmasının amacı çalışma sahasında bulunan yüksek debili kaynakların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek, kaynakların oluşumlarını ortaya çıkarmak, kaynak akiferlerinin gerçek rejimde depolayabilecekleri su hacmini belirlemek ve kaynakların içme ve sulama açısından değerlendirmektir.

Yürütülen bu çalışmanın tüm aşamalarında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, yönlendirici ve bilgilendirici deneyimlerini aktaran saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ders ve tez döneminde bilgilendirici ve yönlendirici deneyimlerinden faydalandığım sayın hocam Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezin çeşitli aşamalarında desteklerini gördüğüm, güncel ve geçmişe dönük verilerin ve dokümanların temininde, kaynakların su analizlerinin yapılmasında, çalışma alanı ve su kaynakları hakkındaki her türlü bilgi ve belgeye ulaşmamda yardımlarını esirgemeyen DSİ 20. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şube Müdürü, Jeoloji mühendisi Yılmaz Sıddık DOĞRULUK’a ve çalışma arkadaşlarına çok teşekkür ederim.

Yağış ve sıcaklık verilerinin temininde yardım ve katkılarını esirgemeyen Adıyaman Meteoroloji Genel Müdürlüğü teknikeri sayın Ahmet TOSUN’ a, debi ölçümlerinde yardım ve katkılarını esirgemeyen Adıyaman Devlet Su İşleri Müdürlüğü Hidroloji Servisi birimi Hidroloğu sayın Abdullah ORUÇTUTAN’ a çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve tez çalışmam sırasında benimle beraber çabalayan sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mehtap GÖZLÜ

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	2
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması	2
1.3. Önceki Çalışmalar.....	4
2. MATERYAL VE METOT	7
2.1. Arazi Çalışmaları	7
2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	9
2.3. Büro Çalışmaları	9
3. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ	10
3.1. Malatya Metamorfitleri (Devoniyen-Jura).....	12
3.2. Koçali Karmaşığı (Üst Jura-Alt Kretase)	13
3.3. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)	14
3.4. Pliyo-Kuvaterner Birimleri	16
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	17
4.1. İklim.....	17
4.2. Hidroloji.....	19
4.3. Hidrojeoloji	22
4.3.1. Mir Kaynağı (K-6).....	22
4.3.2. Zerban Kaynağı (K-7)	23
4.3.3. Havşari Kaynağı (K-8)	27
4.3.4. Çokpınar Kaynağı (K-10).....	30
4.3.5. Balıksırtı Kaynağı (K-11).....	31
4.4. Kaynakların Boşalım Grafiklerin İncelenmesi.....	34
4.4.1. Maillet formülü.....	35
4.4.2. Havşari Kaynağı'nın debi-yağış ilişkisi.....	35

4.4.2. Zerban Kaynağı'nın debi-yağış ilişkisi.....	37
4.4.3. Balıksırtı Kaynağı'nın debi-yağış ilişkisi	38
4.4. Hidrojeokimya	39
4.4.6. Suların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması	42
4.4.1. Sulara bulunan başlıca iyonlar ve kökenleri	45
4.4.2. Kimyasal Analizlerinin Diyagramlarda Değerlendirilmesi	51
4.4.3. Suların Sulamada Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi	57
4.4.4. Suların içme suyu açısından değerlendirilmesi	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Çelikhan (Adıyaman) İlçesinin G-GB ‘sının Hidrojeolojik İncelemesi

Mehtap GÖZLÜ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak 2022, Sayfa xiv+68

Bu çalışmanın amacı, aktif tektonizmanın etkisinde ve yüksek debili kaynaklar bakımından zengin olan Çelikhan Ovası içerisinde, Adıyaman ilinin içme suyu temininde kullanılan Mir, Zerban, Havşari, Çokpınar ve Balıksırtı kaynaklarını hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal olarak değerlendirmektir. Hidrojeoloji çalışmaları ile kaynakların oluşum mekanizmaları açıklanmış, uzun süreli debi ölçümleri değerlendirilerek kaynakların gerçek rejimdeki boşalım miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hidrojeokimyasal çalışmalar ile suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisi açıklanarak içme ve tarımsal sulamaya uygunlukları incelenmiştir. Suların pH, sıcaklık (T) ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri arazide yerinde yapılmıştır. Suların majör anyon ve katyon analizleri yaptırılmıştır.

Çelikhan ovası ve yakın çevresinde yüzeyleyen birimler Paleozoyik-Kuvaterner yaş aralığında olup, yaşlıdan gence doğru Malatya Metamorfitleri, Koçali Karmaşığı, Maden Karmaşığı ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. Çalışma sahasında geniş bir alanda yüzeyleyen Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfitleri’ne ait rekristalize kireçtaşları kaynakların akifer birimidir. İnceleme alanındaki kaynakların oluşumunda bölgede hakim doğrultu atımlı fay sistemleri etkili olmuştur. Kaynakların akiferini oluşturan Malatya Metamorfitleri’nin tabanındaki şistler geçirimsiz temeli oluşturmaktadır. Akifer biriminin beslenme alanının genişliği ve birimde oluşan karstlaşmaya bağlı olarak kaynak debileri yüksektir.

İncelenen suların pH değerleri 7,56- 8,9 arasında, sıcaklık (T) değerleri 9,7-11,9 °C arasında ve EC değerleri ise 119,80- 278,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Kaynaklar genel olarak bazik karakterlidir. TS, 266 ve WHO içme suyu standartlarına göre içme amaçlı kullanıma uygundur. Analiz sonuçlarına göre hazırlanan Piper diyagramlarında, incelenen kaynaklardan Mir, Zerban ve Havşari kaynakları Ca-Mg-HCO_3 , Çokpınar ve Balıksırtı kaynakları ise Ca-HCO_3 su tipindedir. Sular tarımsal sulamaya uygundur.

Zerban Kaynağı’nın 04.01.2018- 18.12.2018 tarihleri arasında, gerçek rejimde, boşalım kotu üzerindeki depolama gücü $V=2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, Havşari Kaynağı’nın 14.01.2010- 16.12.2010 tarihleri arasında, gerçek rejimde boşalım kotu üzerindeki depolama gücü $V=3,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ve Balıksırtı Kaynağı’nın 14.01.2010- 10.01.2011 tarihleri arasında, gerçek rejimde boşalım kotu üzerindeki depolama gücü $V=2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ hesaplanmıştır. Adıyaman’a içme suyu sağlayan bu kaynakların kurak dönemde nüfusa (310.644) yetecek toplam gün sayısı 132 gün olarak belirlenmiştir. Zerban ve Havşari kaynaklarının akifer beslenme alanı geniş olduğundan debi değerleri yüksek, Balıksırtı Kaynağı’nın beslenme alanı dar ve çevresinde çok sayıda kuyu açıldığından debi değerleri diğer kaynaklara göre düşüktür. Kurak dönemlerde kaynaklardan daha iyi verim alabilmek için beslenme alanlarının korunması, ovada açılacak kuyuların kontrollü şekilde ruhsatlandırılması ve bu kuyulardan fazla su çekimi yapılmaması gerekmektedir.

Analizleri yapılan suların NH_4^+ , NO_3^- ve NO_2^- içerikleri incelendiğinde Türk Standartları Enstitüsü (TS, 266) tarafından belirtilen standart değerlerinin altında olduğu görülmüş, bununla beraber K-3, K-5 ve

K-9 numaralı sular da diğ er sulara oranla daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen NO₃⁻ın akifer beslenme bölgesinde yapılan hayvan otlatma, tarım arazilerinde kullanılan kimyasal gübreler, arazi yüzeyinde açıkta depolanan hayvansal atıklar ve fosseptiklerle ilişkili olduğu düşünölmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çelikhan, Hidrojeoloji, Maillet Formölü, Boşalım katsayısı, Hidrojeokimya



ABSTRACT

Hydrogeological Investigation of South-Southwestern of Celikhan (Adıyaman) District

Mehtap GÖZLÜ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering
January 2022, Page xiv+68

The aim of this study is to evaluate the hydrogeological and hydrogeochemical sources of Mir, Zerbani, Havşari, Çokpınar and Balıksırtı, which are used in the supply of drinking water in Adıyaman, in the Çelikhan Plain, which is under the influence of active tectonism and rich in high flow resources. The formation mechanisms of the springs were explained and, the discharge amounts of the resources in the real regime were calculated by evaluating the long-term flow measurements within the hydrogeological studies. The relationship between the chemical compositions of the waters and lithology was explained and their suitability for drinking and agricultural irrigation was examined by the hydrogeochemical studies. The pH, temperature (T) and electrical conductivity (EC) measurements of the waters were made in situ in the field. Major anion and cation analyzes of the waters were made in the present study.

The units outcropping in the Celikhan plain and its surroundings are in the Paleozoic-Quaternary age range, and from the oldest to the youngest, Malatya Metamorphics, Koçali Complex, Mineral Complex and Plio-Quaternary alluviums are present. Recrystallized limestones belonging to Devonian-Jurassic Malatya Metamorphics cropping out in a wide area in the study area are the aquifer units of the springs. The dominant strike-slip fault systems in the region have been effective in the formation of the springs in the study area. The schist unit of the Malatya Metamorphics is the impermeable basement of the aquifer. Flow rates of the springs are high due to the width of the recharge area of the aquifer unit and also due to the karstification, secondary porosity and permeability in the unit.

The pH values of the investigated waters vary between 7.56 and 8.9, the temperature (T) values vary between 9.7-11.9 °C and the EC values between 119.80-278.30 µS/cm. The pHs of spring waters are generally in the basic character. They are suitable for drinking purposes according to TS, 266 and WHO drinking water standards. Mir, Zerbani and Havşari springs are in Ca-Mg-HCO₃, and Çokpınar and Balıksırtı springs are in Ca-HCO₃ water type on the Piper diagram. The waters are suitable for all kinds of agriculture.

The storage capacity (V) of Zerbani Spring above the discharge level in the real regime between 14.01.2018 and 18.12.2018 is calculated 2.5*10⁶ m³. The storage capacity (V) of Havşari Spring above the discharge level in the real regime between 14.01.2010 and 16.12.2010 is calculated 3.9*10⁶ m³. And, the storage capacity (V) of Balıksırtı Spring above the discharge level in the real regime between 14.01.2010 and 10.01.2011 is calculated 2.5*10⁶ m³. Adıyaman city center provide drinking water from these springs. The total number of days sufficient for the population (310,644) of Adıyaman city was determined as 132 days in the dry period. Since the aquifer recharge area of the Zerbani and Havşari springs is large, their flow rates are high, while the feeding area of the Balıksırtı Spring is narrow and many wells are drilled around it, the flow rates are low compared to other sources. In order to get better efficiency from the sources in dry periods, it is necessary to protect the recharge areas, to license the wells to be drilled in the plain in a controlled manner and not to draw too much water from these wells.

When the NH_4^+ , NO_3^- and NO_2^- contents of the analyzed waters are examined, it is seen that they are below the standard values specified by the Turkish Standards Institute (TS, 266), however, waters with numbers K-3, K-5 and K-9 are higher than other waters. NO_3^- detected in high concentrations is thought to be related to animal grazing in the aquifer recharge zone, chemical fertilizers used in agricultural lands, animal wastes stored in the open on the land surface and septic fosses present on the recharge zones.

Keywords: Çelikhan, Hydrogeology, Maillet Formula, Release coefficient, Hydrogeochemistry



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2.	Çalışma alanının şekillenmesinde rol alan faylar.....	3
Şekil 2.1.	Su örnekleme lokasyonları (Ölçeksiz)	7
Şekil 2.2.	Arazide su örnekleme çalışmaları ve yerinde yapılan ölçümler.....	8
Şekil 2.3.	Arazide debi ölçme çalışmaları ve ölçümde kullanılan muline metre	9
Şekil 3.1.	Çalışma alanının jeoloji haritası.....	11
Şekil 3.2.	(a) Çalışma alanında yüzeylenen Malatya Metamorfitlelerinden bir görünüm (Bakış yönü Kuzeybatı), (b) Malatya Metamorfitleri tabanında gözlenen kalkıştiller, (c) alterasyon mineralleri limonit ve hematit olan muskovit şistlerden bir görünüm	12
Şekil 3.3.	Malatya Metamorfitleri üzerinde gelişen oluk yapılarından bir görünüm	13
Şekil 3.4.	Çalışma alanının güneyinde yüzeylenen Koçali Karmaşığı'na ait birimlerden görünüm (Kuzeybatıya bakış)	14
Şekil 3.5.	(a) Maden Karmaşığı'na ait volkano-sedimanter birimler (37S436715D-4204621K), (b) Maden Karmaşığı ile Malatya Metamorfitleri arasındaki stratigrafik ilişki (37S436715D-4204621K), (c) Maden Karmaşığı ile Malatya Metamorfitleri arasındaki tektonik ilişki (37S436288D-4204473K, rakım 1207)	15
Şekil 3.6.	(a) Çelikhan ovasının tabanını oluşturan Pliyo-Kuvaterner birimleri (Bakış yönü Kuzey), (b) Çelikhan Ovası (Bakış yönü Kuzeybatı).....	16
Şekil 4.1.	Thorntwaite yöntemine göre çalışma alanı için yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği	20
Şekil 4.2.	İncelenen kaynakların konumları.....	22
Şekil 4.3.	(a) Mir kaynağının boşalım ve kaptaj noktası, (b) Mir Kaynağını besleyen metamorfitlelere ait kırık ve çatlaklardan bir görünüm	23
Şekil 4.4.	Zerban Kaynak alanından bir görünüm.....	24
Şekil 4.5.	Zerban Kaynağı ile Havşari Kaynağı'nın oluşumunu gösteren şematik hidrojeoloji kesiti.	24
Şekil 4.6.	Zerban Kaynağının 1984-2019 yılları arası debi-yağış grafiği	26
Şekil 4.7.	(a) Havşari Kaynağı ve kaynağın kaptaj alanı, (b) Havşari Kaynağı'na bakış (Bakış yönü Kuzeybatı).....	27
Şekil 4.8.	Havşari Kaynağı'nın 1984-2016 yılları arasındaki debi-yağış grafiği	29
Şekil 4.9.	Çokpınar Kaynağı kaptajı (37S429129D-4206299K ,bakış yönü Kuzeybatı)	30
Şekil 4.10.	Havşari, Çokpınar, Balıksırtı ve Mir kaynaklarının oluşumlarını gösteren şematik hidrojeoloji kesiti (kesit izi jeoloji haritası üzerinde gösterilmiştir).	30
Şekil 4.11.	(a) Balıksırtı Kaynağı beslenme alanı, (b,c) Balıksırtı Kaynağı'nı besleyen Metamorfitleler'de gelişen kırık, çatlak sistemleri ve ikincil kalsit dolguları ve (d) kaynağın kaptaj alanı.....	31
Şekil 4.12.	Balıksırtı Kaynağı'nın 2004-2014 yılları arasındaki debi-yağış grafiği.....	33
Şekil 4.13.	Çelikhan Ovası'nda açılan kuyu yerlerinin Google Earth görüntüsü (Ölçeksiz)	34
Şekil 4.14.	Havşari Kaynağı'nın debi-yağış grafiği	36
Şekil 4.15.	Havşari Kaynağı'nın gerçek rejimde boşalım doğrusu	36

Şekil 4.16. Zerban Kaynağı'nın debi-yağış grafiği	37
Şekil 4.17. Zerban Kaynağı'nın gerçek rejimde boşalım doğrusu	37
Şekil 4.18. Balıksırtı Kaynağı'nın debi-yağış grafiği.....	38
Şekil 4.19. Balıksırtı Kaynağı'nın gerçek rejimde boşalım doğrusu.....	39
Şekil 4.20. İncelenen kaynakların pH değerleri	43
Şekil 4.21. İncelenen suların elektriksel iletkenlik değerleri	44
Şekil.4.22. İnceleme alanındaki suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonları	46
Şekil 4.23. İnceleme alanındaki suların Mg^{+2} iyon konsantrasyonları	47
Şekil 4.24. İnceleme alanındaki suların Na^{+} iyon konsantrasyonları	47
Şekil 4.25. İnceleme alanındaki suların K^{+} iyon konsantrasyonları	48
Şekil 4.26. İnceleme alanındaki suların Cl^{-} iyon konsantrasyonları	49
Şekil 4.27. İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} iyon konsantrasyonları	50
Şekil 4.29. İncelenen suların Kasım (2021) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi	52
Şekil 4.30. İncelenen suların Mayıs (2010) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi	53
Şekil 4.31. İncelenen suların Piper diyagramı üzerinde dağılımları.....	55
Şekil 4.32. İncelenen suların Mayıs (2010) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramındaki dağılımları	56
Şekil 4.33. İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	58
Şekil 4.34. İncelenen suların Wilcox Diyagramı.	59
Şekil 4.35. İncelenen sularda Fe ve SO_4^{-2} konsantrasyonları arasındaki ilişki	61
Şekil 4.36. İncelenen suların Fe ve Mn içerikleri arasındaki ilişki	62
Şekil 4.37. Kaynak sularında Cd, Zn ve Pb arasındaki ilişki	63

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.	İncelenen su örneklerinin yeri ve lokasyonları.....	7
Tablo 4.1.	Doğuşehir istasyonuna ait (a) aylık ortalama sıcaklık verileri (°C), (b) aylık toplam yağış verileri (mm=kg÷m ²).....	18
Tablo 4.2.	Çelikhan istasyonuna ait (a) aylık ortalama sıcaklık verileri (°C), (b) aylık toplam yağış verileri (mm=kg÷m ²).....	19
Tablo 4.3.	İnceleme alanının 17872 (Doğuşehir) numaralı gözlem istasyonuna ait 2009-2020 yılları arasındaki nem bilançosu (Thornthwaite formülüne göre).....	20
Tablo 4.4.	İnceleme alanının 18180 (Çelikhan) numaralı gözlem istasyonuna ait 2013-2020 yılları arasındaki nem bilançosu	21
Tablo 4.5.	İncelenen suların kurak dönem (Kasım-2021) kimyasal analiz sonuçları.....	41
Tablo 4.6.	Suların pH 'a göre sınıflandırılması.	42
Tablo 4.7.	Suların elektriksel iletkenliğe göre sınıflandırılması.....	43
Tablo 4.8.	Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflandırılması.....	44
Tablo 4.9.	İncelenen su örneklerinin Fransız sertlik değerleri.	45
Tablo 4.10.	Örneklenen suların kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri	54
Tablo 4.11.	Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması	57
Tablo 4.12.	İncelenen suların NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ ve NO ₂ ⁻ konsantrasyonları.....	60
Tablo 4.13.	İncelenen suların çeşitli metal analizleri	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

L	: Litre
V	: Akiferin depolama gücü
EC	: Elektriksel İletkenlik
pH	: Hidrojen iyon konsantrasyonu
As	: Arsenik
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klorür
CO₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
HCO₃	: Bikarbonat
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Na	: Sodyum
NO₃	: Nitrat
NO₂	: Nitrit
Pb	: Kurşun
SO₄	: Sülfat
Zn	: Çinko
NH₄⁺	: Amonyum

Kısaltmalar

TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
Mek	: Miliekiyalan
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DSİ	: Devlet Su İşleri
WHO	: Dünya Sağlık Teşkilatı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranları

1. GİRİŞ

Dünyanın $\frac{3}{4}$ 'ü su, $\frac{1}{4}$ 'ü karalardan meydana gelmiştir. Canlı hayatının bir bölümü denizlerde yaşarken büyük bir bölümü de karalarda yaşam sürmektedir. Hem toprak hem de su canlılar için büyük önem taşımaktadır. İnsanlar var olduklarından bu yana hep su noktalarına yakın yerlerde yaşamıştır. Göçebelikten yerleşik hayata kadar insanların tarihi incelendiğinde su kenarlarına veya suya yakın yerlere yerleştikleri görülmüştür. İnsanoğlunun tarımsal üretimi keşfedip tahılları biriktirmeye başlamasıyla yerleşik hayata olan ilgi artmış ve kara kütleleri üzerinde ekim yapılabilecek alanlar oluşturularak bir yandan toprak işlenmeye diğer yandan bölgedeki yüzey ve yeraltı suları kullanılmaya başlanmıştır.

Doğal ve sınırlı bir kaynak olan su toplumun hem ekonomik hem de yaşamsal gelişme modelini etkilemektedir. Sosyal hayatın ve ekonomik faaliyetlerin sürdürülmesi temiz ve yeterli düzeyde yüzey ve yeraltı su kaynaklarının varlığına bağlıdır. Günümüzde bilinçsiz yapılan insan faaliyetleri ve dünyanın oluşumundan bu yana meydana gelen doğal süreçler ne yazık ki kullanılabilir su kaynaklarının azalmasına neden olmuştur. Özellikle nüfus artışına bağlı olarak hızlanan kentleşme, iyi bir yaşam kalitesi için yapılan faaliyetler ve bu faaliyetlerin sonucunda oluşan doğal ve yapay kirlilikler kullanılabilir su kaynakları üzerindeki baskıyı giderek artırmaktadır. Sadece insan faaliyetleri ve oluşan doğal süreçler değil, bu süreçlerin de etkisi ile artarak hızlanan iklim değişimi de mevcut su kaynaklarının korunmasını gittikçe zorlaştırmaktadır.

Su kaynaklarının istenilen kalite ve miktarda temin edilmesine yönelik yaşanan sıkıntılar, su kaynaklarının sürdürülebilirliğini ve korunmasını zorunlu hale getirmiştir. Ülkemizde temiz ve tatlı su kaynaklarını önemli oranda yeraltı suları oluşturmaktadır. Gelişen teknoloji ve nüfus artışı, suya olan talebin ve ihtiyacın artmasına ve buna bağlı olarak hem yüzeysel suların hem de yeraltı suyu kaynaklarının aşırı tüketilmesine neden olmuştur. Bu aşırı tüketim sonucunda yeraltı sularında miktar ve kalite bakımından ciddi sıkıntılar yaşanmaya başlamıştır.

Bu tez çalışmasında Çelikhan ilçesinin güney-güneybatısında bulunan, debileri yüksek kaynak sularının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemeleri yapılmıştır. Bölgede yoğun olarak tarımsal faaliyetler (tütün yetiştiriciliği) yapılmaktadır. Yöre halkının temel geçim kaynağının tarım olması, bölgedeki yeraltı sularına yönelik araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bölgede yüzey ve yeraltı sularından hem içme suyu hem de zirai sulama amaçlı yararlanılmasından dolayı su kaynaklarının verim ve içme-kullanma amaçlı kalitelerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yardımcı olacak hidrojeolojik çalışmalarının önemi artmaktadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Doğu Anadolu Fay Zonu etkisi altında şekillenen Çelikhan Ovası yeraltı suları ve karstik kaynaklar bakımından zengindir. Bu ovada hidrojeolojik olarak yapılan bilimsel çalışmaların yetersizliği nedeniyle kaynakların beslenme ve boşalım durumları, boşalım akiferlerin su depolama gücü ve suların genel fiziko-kimyasal özellikleri yeterince bilinmemektedir. Çalışma kapsamında Çelikhan ilçesinin güney ve güneybatısında bulunan Zerban, Havşari, Çokpınar, Balıksırtı ve Mir kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir. Çalışmanın amacı, kaynakların oluşumlarını açıklamak, sahada yapılmış düzenli debi ölçümlerini değerlendirerek akiferlerin gerçek rejimde depolayacakları su hacmini hesaplamak, suların kimyasal bileşimlerinin litolojiyle ilişkisini açıklamak ve suların içme ve kullanmaya uygunluklarını belirlemektir.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması

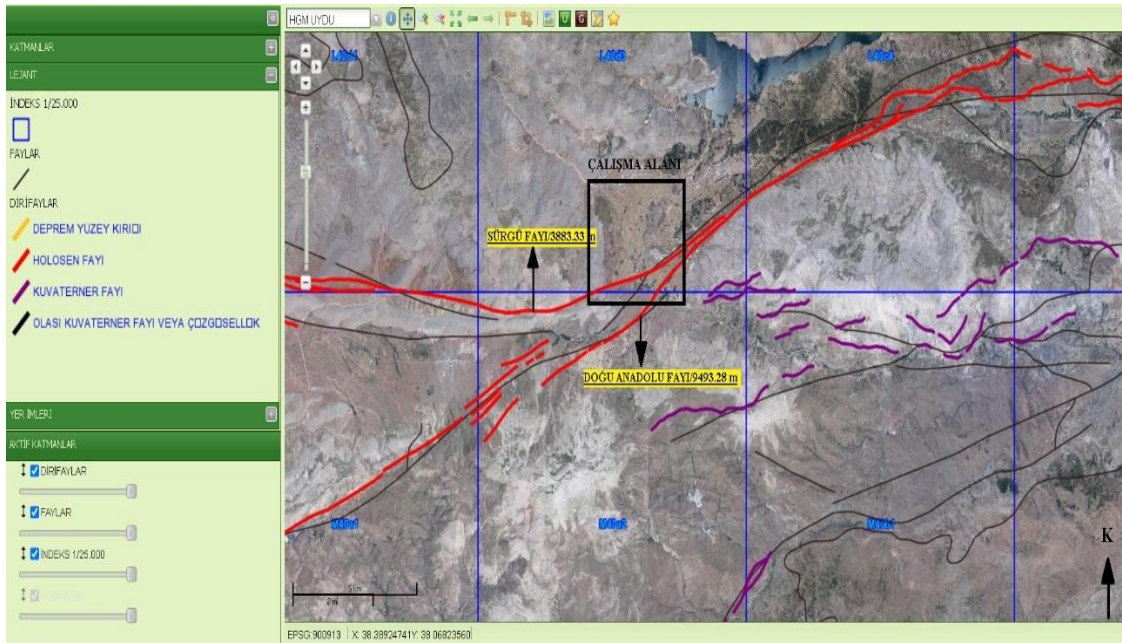
İnceleme alanı, Adıyaman iline bağlı Çelikhan ilçesinin Güney ve Güneybatısında 1/25.000 ölçekli, L40d3 ve M40a2 paftalarını kapsamaktadır.

Çalışma alanı, Güneydoğu Anadolu bölgesinin kuzeyinde, Orta Fırat bölümünde Güneydoğu Toroslar'da yer almaktadır. Çelikhan idari olarak Adıyaman il sınırları içerisinde, doğusunda Sincik (Adıyaman), batısında Kurucuoğlu (Malatya), kuzeybatısında Doğanşehir (Malatya), kuzeyinde Yeşilyurt (Malatya), güneyinde Merkez (Adıyaman) ilçe bulunmaktadır. Çelikhan, Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer aldığı halde, Doğu Anadolu geçiş bölgesinde bulunmakla beraber ilçe, Adıyaman'a 56 km, Malatya'ya ise 45 km uzaklıkta ve 1388 m rakımındadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

İnceleme alanının büyük bölümünü Çelikhan ovası oluşturmaktadır. Ova, 2000 metreden yüksek dağlarla çevrili ve Türkiye'nin büyük tektonik yapılarından Doğu Anadolu Fayı ile Güneydoğu Anadolu Bindirmesi'nin kesiştiği alanda bulunmaktadır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Çalışma alanının şekillenmesinde rol alan faylar (Emre vd., 2013)

Çelikhan ovası güneyinden geçen Güneydoğu Anadolu Bindirmesi Toroslar ile kenar kıvrımlarına ait yapıları birbirinden ayırmaktadır. Ova, Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde 1250-1350 m yükseltileri arasında 15 km² alan kaplayan tektono-karstik oluşumlu, küçük bir ovadır (Özdemir ve Sunkar, 2005). Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Çelikhan bölgesinde yaklaşık 2-10 km. genişliğinde ve birden fazla kırık sisteminden oluşmaktadır (Özdemir ve Sunkar, 2002). Çelikhan ovasının şeklini belirlemede DAFZ ve bu sistemin oluşturduğu kırık ve çatlaklara yerleşen akarsular etkili olmuştur.

İnceleme alanındaki akarsular ilçenin güneyinde birleşip Bulam Çayı'nı oluşturmuş ve bu çay ile ova suları drene edilmektedir. Su kaynakları bakımından oldukça zengin olan ovanın sulamasında Zerban, Havşari ve Mir kaynakları kullanılmaktadır.

1.3. Önceki Çalışmalar

Çalışma sahasında DAFZ'nun etkisi görüldüğünden yapılan araştırmalar genellikle bölgenin tektoniği ve genel jeolojisi ile ilgili çalışmalardır. Yapılan çalışmaların büyük kısmı Maden Tetkik Arama (MTA) ve Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından yapılmıştır. Hidrojeolojik çalışmalar sınırlıdır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde daha önce yapılmış olan çalışmaların bir kısmı şöyledir:

Pişkin (1972), Çelikhan dolaylarında yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı metamorfitlerin Toros Kuşağının çekirdeğini oluşturduklarını belirtmiştir.

Arpat ve Şaroğlu (1975), Doğu Anadolu fayının bütün segmentlerini haritalamış ve fayın Karlıova'dan Hatay Grabenine kadarki izlediği kırığın; Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Sincik, Çelikhan ve Gölbaşı'ndan geçerek uzandığını belirtmiştir.

McKenzie (1976) yaklaşık 550 km uzunluğunda olan Doğu Anadolu Fayı'nın, Kuzey Anadolu Fayının doğu ucundan başlayıp İskenderun körfezine doğru uzandığını ve bu fayın Anadolu ve Arabistan levhaları arasındaki sınırı oluşturduğunu belirtmiştir.

Perinçek (1978), Çelikhan-Sincik-Koçali bölgesi ve yakın civarında petrol olanaklarını araştırma amaçlı çalışma yapmıştır.

Perinçek (1978), "Çelikhan-Sincik-Koçali alanlarının jeolojisi" başlıklı tez çalışmasında bölgenin genel jeolojisinin belirlenmesine katkı sağlamıştır.

Perinçek ve Kozlu (1984), Malatya Metamorfitleri'nin mermer ve kristalize kireçtaşlarından oluşan bölümün altındaki metamorfik kayalar Üst Kretase yaşlı granitleri ve ofiyolitik kayaları birlikte ele alarak tümünü Mesozoyik yaşlı Berit Grubu altında toplamıştır.

Ahmet (1985), "Malatya Çat Barajı'nın jeolojisi ve mühendislik jeolojisi" başlıklı çalışmasında, Abdülharap Çayı üzerinde yapılması düşünülen Çat Barajı'nın yeri ve göl alanının su tutma özelliği hakkında incelemelerde bulunmuştur. Bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritasını

hazırlayarak harita üzerinde göl alanının mühendislik jeolojisi hakkında yorumlama yapmış ve bölgedeki büyük kaynakların karstlaşma ve fay kontrolünde geliştiğini belirtmiştir.

Gözübol ve Önal (1986), Malatya-Çelikhan arasında planlanan Çat barajı projesinin isale tüneli güzergahının mühendislik jeolojisini ve bu inceleme alanında oluşabilecek baraj su kaçakları ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Yaptıkları araştırmalar sonucunda bölgenin, Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde ve yakın çevresinde, yapısal özellikleri bakımından karmaşık bir alan olduğunu belirtmişlerdir. Bundan dolayı çalışma alanının fayla ilişkisini göz önüne alarak ayrıntılı bir yapısal jeoloji çalışması gerektiği düşüncesine varılmıştır.

Önal vd. (1986)'nin ''Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) dolayının hidrojeolojik incelemesi'' adlı çalışmalarında bölgenin stratigrafik istifini incelemişlerdir. Bu çalışma ile bölgedeki kaynakların oluşumunda karstlaşma ve fayların etkisi olduğunu belirtmişler ve bölgenin içindeki kaynakların debisini ölçerek su analizleri yapmış ve suları sınıflandırmışlardır.

Çetin (1987), ''Çelikhan-Pınarbaşı dolayının jeoloji incelemesi'' başlıklı çalışmada, araştırma bölgesinin yaklaşık 95 km²'lik alanını kapsayan 1/25000 ölçekli jeoloji haritasını yapmış ve bölgenin litolojik birimlerini ayırtlamıştır.

Alan (1990), ''Malatya ve Adıyaman-Çelikhan Çat tüneli'' adlı tez çalışmada, Malatya ve Çelikhan arasında yapılması planlanan 10654 m uzunluğundaki Çat tüneli güzergahındaki formasyonların genel jeolojisini belirleyerek çalışma alanının mühendislik jeolojisi ve hidrojeoloji özelliklerini araştırmış ve yorumlamıştır.

Herece ve Akay (1992), Karlıova Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı adlı çalışmalarında Palu Doğusu ile Sincik batısı arasında Doğu Anadolu Fay zonu boyunca detaylı haritalama çalışması yapmış ve bu çalışmanın sonucu olarak Karlıova ile Çelikhan arasındaki DAF'ın lokasyonu, yaşı ve atımıyla ilgili bazı yeni veriler elde etmişlerdir.

Karaman vd. (1993), Malatya-Doğanşehir- Çelikhan dolaylarının jeolojisi adlı çalışmalarında, araştırma alanının genel jeolojisini, tektonik özelliklerini incelemiş, DAF'ın halen aktif bir fay olduğunu ortaya koymuşlardır.

Nalbant vd. (2002), DAFZ boyunca, 1822'den beri olan sismik ve tektonik yüklenim yüzünden oluşan, stres gelişimini inceleme altına almışlar ve bu çalışmalarında, 10 tane tarihsel deprem verisini kullanmışlardır. Bu çalışma sonucunda, gelecekte büyük depremleri üretecek iki bölge belirlemişlerdir. Bunlar; Kahramanmaraş-Malatya arası ve Elazığ-Bingöl arasıdır (Çıplak, 2004).

Özdemir ve Sunkar (2002), Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve çevresinin jeomorfolojisi adlı çalışmalarında, Çelikhan ovasının ve yakın çevresinin şekillenmesinde, DAF ve Güneydoğu Anadolu Bindirmesinin etkili olduğunu belirtmiş ve bu şekillenmeye akarsuların aşındırmasının da yön verdiğini söylemişlerdir. Bölgenin tektonik yapısını oluşturan bindirmelerin ve Doğu Anadolu

Fay Zonu' nun, çalışma alandaki dağlık bölümlerin yükselmesine neden olduğunu ve bundan dolayı, yörenin esas jeomorfolojik yapısının “dağlık” olduğunu vurgulamışlardır.

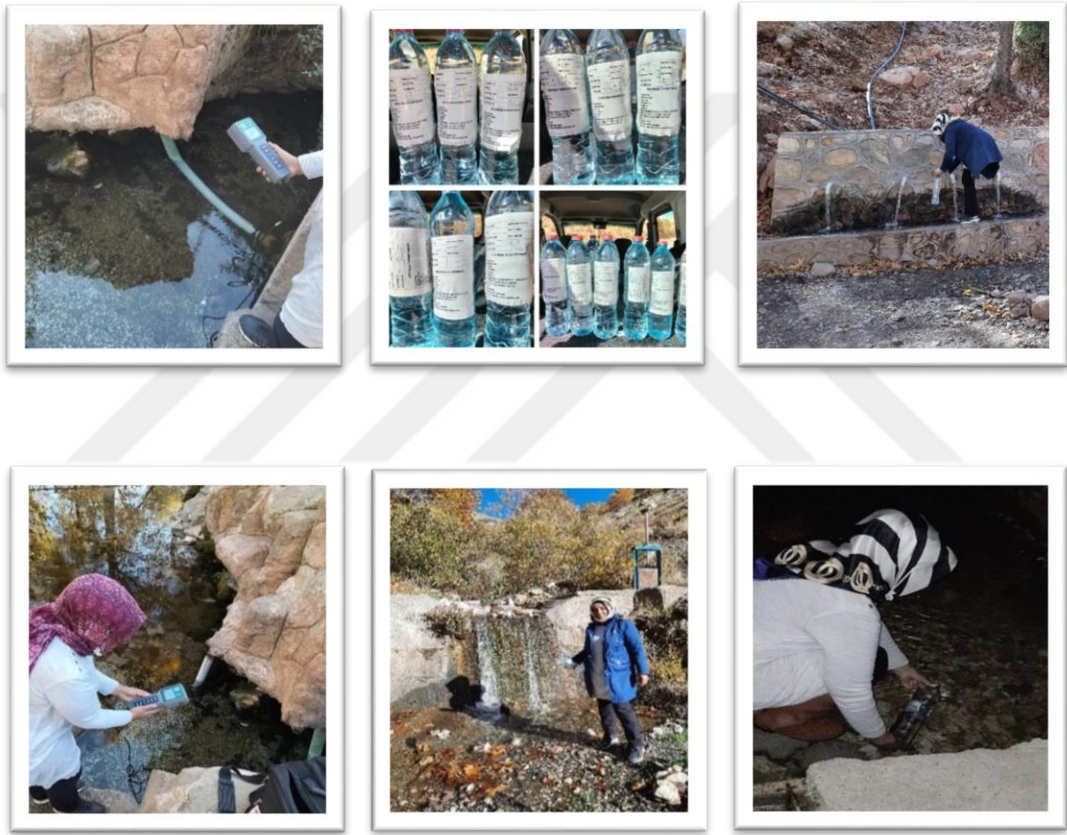
Parlak (2004), Çelikhan–Erkenek arasında Doğu Anadolu Fayı'nın özellikleri adlı tez çalışmasında, Çelikhan-Erkenek arasındaki segmenti 1/25000 ölçeğinde haritalamış ve bölgenin yapısal, jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerini incelemiştir. Aynı zamanda Doğu Anadolu fayının Çelikhan'dan güneybatıya doğru uzanan kesiminde uzun zamandan bu yana büyük bir depremin meydana gelmediğini, uzun süredir enerji biriktiren fayın bu bölümünün, gelecekte büyük bir deprem üretebileceği ve bölgenin büyük risk taşıdığını düşünmektedir.

Özdemir ve Sunkar (2005), Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve Yakın Çevresinde Doğal Ortam insan ilişkileri adlı çalışmalarında, kırsal bir alan olan Çelikhan ovası ve yakın çevresinin jeolojik, jeomorfolojik, klimatolojik özelliklerini ve doğal ortam koşullarını tanıtmış, coğrafi çevre ile insan arasındaki ilişkilerini değerlendirmişlerdir.

Yıldırım (2010), inceleme alanında yüzeyleyen ofiyolitlerin petrografik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiş ve kuzeyden itibaren sıkışma rejimiyle taşınarak bugünkü konumlarını aldıklarını belirtmiştir. Bölgenin Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşağı içerisinde bulunması ve Doğu Anadolu Fayı ile sınırlanmış olması nedeniyle kayaçlarda yoğun tektonizma izlerini gözlemlemiştir. Araştırmacı daha önceki çalışmalarda Maden Karmaşığı içerisinde tanımlanan monzonit grubu kayaçları ilk kez bu çalışmada Şifrin Grubu derinlik kayaçları adı altında isimlendirilmiş ve haritalamıştır.

Akgün (2020), inceleme alanını da içerisine alan çalışmasında; Arabistan Levhası ile Anadolu Levhası arasındaki tektoniğin önemli yapısal unsurlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) ile Çelikhan (Adıyaman) arasındaki gerilme ve deformasyonlarını uzaktan algılama yöntemi ile belirleyerek yorumlamıştır. DAFZ'nun geçtiği sahanın çoğunluğunun Pütürge Metamorfikleri, Malatya Metamorfikleri ve Maden Karmaşığı'na ait birimlerinden oluştuğunu ve bu birimlerin birbirlerinin üzerine düşük açılı bindirme düzlemleri boyunca itilerek bölgedeki nap alanını oluşturduğunu belirtmiştir. Araştırmacı ASTER (Level 1 T) uydu görüntüleri ile ana fayın izini, akarsularda oluşan ötelenmeleri, inceleme alanındaki faya paralel uzamış sırtları, havza alanları ve çizgisel vadilerin belirlemiştir.

Hidrojeokimyasal çalışmalar için kurak dönemi temsil eden Kasım (2021) ayında 9 adet su noktasından (Çokpınar ve Balıksırtı kaynakları kaptaj edildiği için örnekleme yapılamamıştır) majör anyon, katyon analizleri için su örnekleme yapılmıştır. Suların majör anyon ve katyon analizi için su örnekleri 1500 ml'lik pet şişelerde herhangi bir koruma uygulanmaksızın alınmıştır. Su örnekleme yapılan kaynaklarda suyun pH, sıcaklık (T) ve elektriksel iletkenlik (EC) parametreleri arazide yerinde YSI marka Orion 63 model çoklu parametre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 2.2). Tez içerisinde geçen diğer kimyasal analiz sonuçları DSİ raporlarından derlenmiştir.



Şekil 2.2. Arazide su örnekleme çalışmaları ve yerinde yapılan ölçümler

Debi, bir akarsu kesitinden bir saniyede geçen su miktarıdır ve metreküp cinsinden ifade edilir. Tez konusunu oluşturan kaynakların debi ölçümleri Akim Hydrometry CM-32 marka muline metre ile ölçülmüştür. Debi hesaplaması yapılırken akarsuyun uygun yerinden enine kesitin ölçümü ve derinliği alınmış ve cihazın altındaki pervane suyun gücüyle döndürülebilecek derinliğe indirilip belli bir süre içinde dönüş turu tamamlandıktan sonra okuma ekranından debi miktarı hesaplanmıştır (Şekil 2.3). Çalışma kapsamında incelenen kaynakların önceki yıllara ait debi değerleri DSİ 20. Bölge Müdürlüğü'nden alınarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.3. Arazide debi ölçme çalışmaları ve ölçümde kullanılan muline metre

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanından alınan su numunelerinin majör anyon (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) ve katyon analizleri (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+), Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğünün Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğünde yaptırılmıştır.

2.3. Büro Çalışmaları

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları, yerinde ölçümler ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler çalışmanın amacı doğrultusunda değerlendirilerek yorumlanmıştır. Alanının jeoloji haritası Adobe İllustrator CS6 programı ile çizilmiş, kaynak yerleri ve bu yerlerin haritaları oluştururken Google Earth kullanılmıştır.

Suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper ve Schoeller diyagramlarına aktarılmasında AquaCHEM 3.70 programından yararlanılmıştır. Tabloların oluşturulması ve hesaplamalarında ise Microsoft Excel ve Microsoft Word programları kullanılmıştır.

3. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

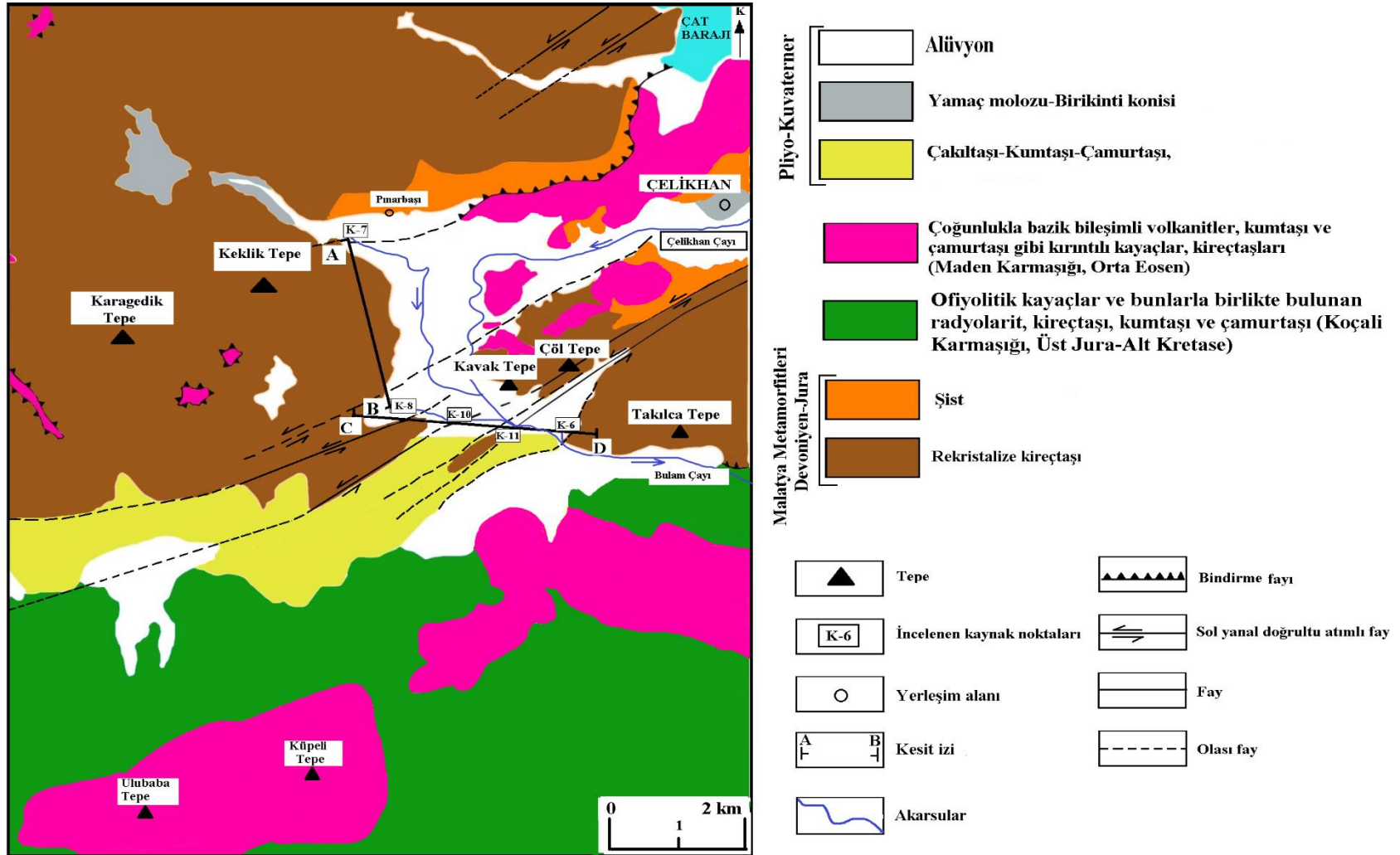
Çelikhan Ovası ve yakın çevresindeki jeolojik birimler Paleozoyik-Kuvaterner yaş aralığında olup, yaşlıdan gence doğru Malatya Metamorfikleri, Koçali Karmaşığı, Maden Karmaşığı ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Şekil 3.1).

İnceleme alanında yaygın olarak yüzeylenen Malatya Metamorfikleri araştırmacılar tarafından iki üyeye ayrılmış, alt üyesini mikaşist, klorit şist, kuvarsit ve kalkşistler üst üyesini mermer ve rekristalize kireçtaşları oluşturmaktadır.

Mesozoyik yaşlı Koçali karmaşığı gabro, serpantin, kumtaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Çalışma alanında bu birim Bulam çayı vadisinde ve ilçenin güneyinde yer alan Koçali yerleşkesinin çevresinde yüzeylemektedir.

Alt ve Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı volkano-sedimanter kayaçların ardalanmasından oluşmaktadır. Birim Çelikhan çayının oluşturduğu vadinin her iki yamacında, Bulam çayı vadisinde ve Bozdağ üzerinde yüzeylemektedir.

Çelikhan ovasının doğu ve kuzey kesimi geniş bir yer kaplayan Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır. Birim kum, çakıl ve kilden oluşmaktadır. Çalışma alanındaki Kuvaterner birimleri Çelikhan tabanında alüvyonlar, birikinti yelpaze çökelleri ve yamaç molozlarından oluşmaktadır.



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

3.1. Malatya Metamorfitleeri (Devoniyen-Jura)

İnceleme alanındaki en yaygın birim olan Malatya Metamorfitleeri, Sungurlu (1973) tarafından Gölbaşı (Adıyaman)-Gerger (Adıyaman) arasında yaptığı ilk çalışmada Kilkayak Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Sungurlu ve diğer araştırmacıların daha sonraki yıllarda yaptıkları çalışmalarda ise birim ‘Malatya Metamorfitleeri’ olarak adlandırılmıştır. Genellikle, sarımsı, kırmızımsı, açık yeşil renkli, iyi yapraklanmış ve alterasyon mineralleri limonit ve hematit olan muskovit şistlerden (Şekil 3.2), gri renkli rekristalize kireçtaşlarından, kalkıştlerden ve mermerlerden oluşan birim Perinçek (1978) tarafından Çelikhane-Koçali-Sincik civarında yaptığı çalışmada alt metamorfitleer ve üst metamorfitleer olarak ikiye ayrılmıştır.

Kaya (2016), Malatya Metamorfitleeri’nde yaptığı çalışmasında, yeni fosil bulgularından yola çıkarak birimin yaşını Devoniyen-Jura olarak belirlemiştir. Bu çalışmada da Malatya Metamorfitleeri’nin yaşı Devoniyen-Jura olarak kabul edilmiştir.



(a)



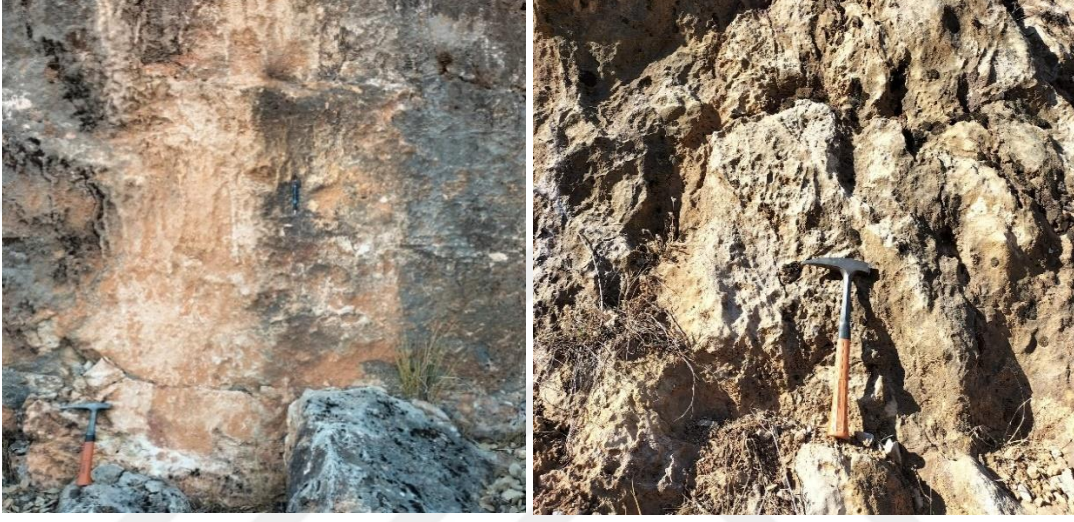
(b)



(c)

Şekil 3.2. (a) Çalışma alanında yüzeyleyen Malatya Metamorfitleerinden bir görünüm (Bakış yönü Kuzeybatı), (b) Malatya Metamorfitleeri tabanında gözlenen kalkıştler, (c) alterasyon mineralleri limonit ve hematit olan muskovit şistlerden bir görünüm

Alt metamorfitle Çelikhan ovasının kuzeyi ile batısında, üst metamorfitle ise Çelikhan güneyi, Bulam çayı kuzeyinde yüzeilenmektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda birimin alt üyesinin mikaşist, klorit şist, kalkışist, kuvarsitten ve üst üyesinin de mermer ve rekristalize kireçtaşlarından oluştukları belirtilmiştir. Malatya Metamorfitle, Maden karmaşığı üzerine bindirmeyle gelmektedir. Metamorfitle oluşturan mermerler aşınma dayanıklı olduğundan yüksek alanlar oluşturmuş ve üzerlerinde karstik şekiller gelişmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Malatya Metamorfitle üzerinde gelişen oluk yapılarından bir görünüm (37S429182D-4206288K, rakım 1286 m)

3.2. Koçali Karmaşığı (Üst Jura-Alt Kretase)

Mezozoyik yaşlı Koçali karmaşığı genellikle DAF' ın güney kesimlerinde gözlenmekte, Antakya'dan başlayarak Kahramanmaraş, Gaziantep, Diyarbakır, Adıyaman ve Hakkâri'ye kadar geniş alanlarda yüzeilenmektedir. Birim, çalışma alanının güneyinde geniş bir alanda yeşilimsi, sarımsı, kahverengimsi, kırmızımsı renklerde yayılım göstermekle beraber gabro, diyabaz, serpantin, kumtaşı, kireçtaşı, radyolarit ve şeyllerden oluşmaktadır.

Koçali Karmaşığı'na ilk kez Kellog (1960) "Pirik Formasyonu" adını vermiş ve Diyarbakır'ın Hazro ilçesi dolaylarında yüzelendiğini belirtmiştir. Sungurlu (1973) tarafından Koçali ilçesinin 1,5 km güneybatısındaki Pamukdere mevkiinde "Koçali Birliği" olarak tanımlanmış, adlandırılmıştır. Yalçın (1976), birimin tümü için birlik yerine karmaşık tanımlamasını kullanmıştır (Çıplak, 2004).

Sungurlu (1973), Koçali Karmaşığı'nı, Tarasa, Konak ve Kale olmak üzere üç ayrı Formasyon olarak adlandırmış ve haritalamış; Perinçek (1978) ise, Tarasa Formasyonunun volkanitlerden, Konak Formasyonu'nun volkano-sedimanter birimleri ve Kale Formasyonu'nun da serpantin ve diyabaz topluluğundan oluştuğunu belirtmiştir (Yıldırım, 2010). Çalışma alanında

Koçalı Formasyonu'na ait serpantinitler ile volkano-sedimanter birimler yüzeylemektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Çalışma alanının güneyinde yüzeylenen Koçalı Karmaşığı'na ait birimlerden görünüm (Kuzeybatıya bakış)

3.3. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)

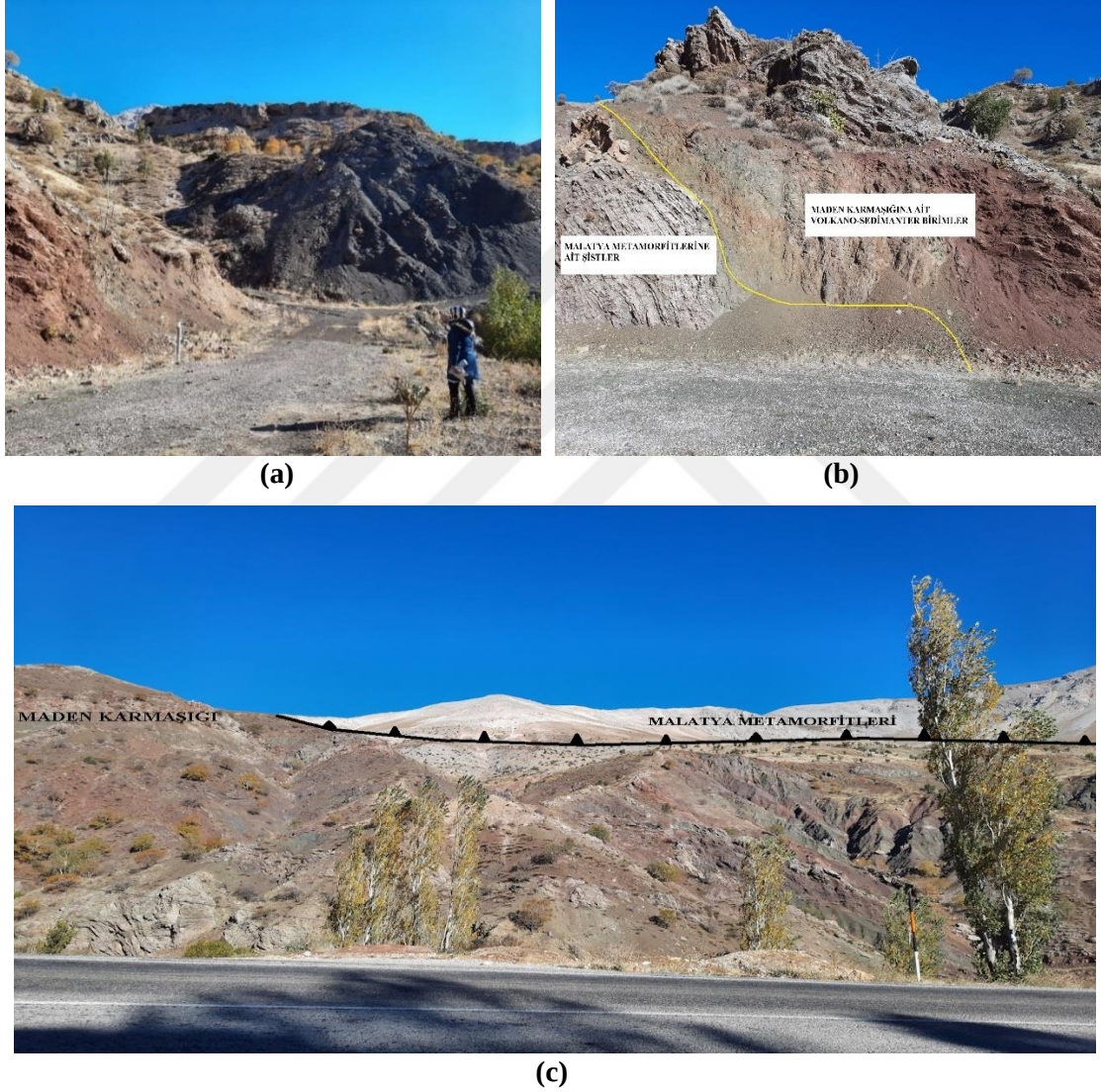
Elazığ'ın Maden ilçesi ve çevresinde tipik olarak gözlenen bu birimi ilk defa ‘‘Maden Birimi’’ diye adlandırılmıştır (Rigo de Righi ve Cortesini, 1964). Bazı araştırmacılar (Sungurlu, 1974; Baştuğ ve Açıkbaş, 1974) birim için ‘‘Baykan Karmaşığı’’ tanımlamasını kullanmışlardır. Sungurlu (1974), Baykan Karmaşığı olarak tanımladığı birimi; Maden Birimi, Hazar Birimi ve Guleman Ultramafitleri olmak üzere üçe ayırmıştır (Yıldırım, 2010).

Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nı Perinçek (1978) ayrıntılı bir şekilde incelemiş ve Karaman vd. (1993) ise bu birimi kireçtaşları ve volkanitler olarak ikiye ayırarak incelemişlerdir. Maden Karmaşığını, Önal ve arkadaşları (1986) bölgedeki ‘‘Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Dolayının Hidrojeolojik İncelemesi’’ adlı çalışmalarına göre hidrojeolojik bakımdan engel kaya niteliği taşıdığını belirtmişlerdir.

Maden Karmaşığı, Çelikhan ilçesi ve yakın çevresinde genellikle doğu-batı uzanımlı, bindirme hatları boyunca Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri ile tektonik ilişkilidir. Birim volkano-sedimanter kayaların ardalanmasından oluşmakla beraber alacalı renklidir. Çalışma alanında Maden Karmaşığı'nın yüzeylemeleri; Pınarbaşı kuzeyinde, Çat Barajı güneyinde, Bulam Çayı vadisinde, Çelikhan Çayı vadisinin her iki yamacında görülmektedir (Şekil 3.1). Maden Karmaşığı'na ait birimler genel olarak volkano-sedimanter kayalar; aglomera ve tüfler,

piroklastitlerle ardalanmalı lav akıntıları, çamurtaşları, kilitaşı, radyolarit, kireçtaşı, kuvarsitten oluşmaktadır.

Maden Karmaşığı çalışma alanında volkano-sedimanter kayaçlarla temsil edilmektedir (Şekil 3.5.a). Birimin Malatya Metamorfileri ile olan ilişkisinin bazı yerlerde stratigrafik (Şekil 3.5.b), bazı yerlerde ise tektonik olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.5.c). Tektonik olduğu yerlerde daha yaşlı olan Malatya Metamorfileri güneye Maden Karmaşığı üzerine itilmiştir.



Şekil 3.5. (a) Maden Karmaşığı'na ait volkano-sedimanter birimler (37S436715D-4204621K), (b) Maden Karmaşığı ile Malatya Metamorfileri arasındaki stratigrafik ilişki (37S436715D-4204621K), (c) Maden Karmaşığı ile Malatya Metamorfileri arasındaki tektonik ilişki (37S436288D-4204473K, rakım 1207)

3.4. Pliyo-Kuvaterner Birimleri

Çelikhan ilçesi ve yakın çevresinde Pliyo-Kuvaterner birimlerine ova tabanı, genç birikinti konileri ve yelpazelerinde rastlanmaktadır. Pliyo-Kuvaterner birimleri kumtaşı, çakıltaşı ve yamaç molozundan oluşmaktadır (Şekil 3.1).

İnceleme alanındaki alüvyonlar kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki malzemelerden oluşmakta ve bu malzemeler özellikle Çat Barajı güneyinde, Çelikhan Ovası ve Çelikhan ilçesinin güneybatısında görülmektedir (Şekil 3.1). Çelikhan ilçe merkezinin bulunduğu alanda alüvyonlar çakıltaşı ile başlayıp kum ve kilaşı ile devam etmektedir. Çelikhan ovasının kuzeyi ile güneyi arasındaki düşük eğim nedeniyle ovada fazla miktarda malzeme birikmiştir (Şekil 3.6).



(a)



(b)

Şekil 3.6. (a) Çelikhan ovasının tabanını oluşturan Pliyo-Kuvaterner birimleri (Bakış yönü Kuzey), (b) Çelikhan Ovası (Bakış yönü Kuzeybatı)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İklim

Çalışma alanının bulunduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Akdeniz iklimi ve karasal iklimin etkisi altındadır. Bölgenin içlerine doğru iklim karasallaşır. Çalışma alanının bağlı olduğu Adıyaman ilini doğudan batıya doğru Anti Toroslar böldüğünden ilin kuzeyinde kalan dağlık bölgenin iklimi ile güneyinde kalan bölgenin iklimi birbirinden farklıdır. Adıyaman'ın güneyinde, yazlar kurak ve sıcak, kışlar ılık ve yağışlı iken; kuzeyinde, yazlar kurak ve serin, kışlar yağışlı ve soğuktur. Doğu Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesi arasında köprü konumunda olan Adıyaman'ın iklimi, bu özelliği dolayısıyla bölgedeki diğer illerden farklıdır. Çelikhan ve çevresini de içine alan Adıyaman'ın kuzey kesiminde Doğu Anadolu Bölgesi iklimi gözlemlendiğinden yazlar kurak ve serin, kışlar yağışlı ve soğuktur (Şahin, 2008).

Çalışma alanının iklim özelliklerinin değerlendirilmesinde Doğanşehir (Malatya) ilçesine ait 17872 numaralı gözlem istasyonu (2009-2020 yılları arası) ile Çelikhan ilçesine ait 18180 numaralı gözlem istasyonuna (2013-2020 yılları arası) ait aylık sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait meteorolojik veriler Adıyaman Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır.

Doğanşehir meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık ve yağış ölçümleri Tablo 4.1' de verilmiştir. Sıcaklık verileri incelendiğinde ortalama en yüksek sıcaklığın (24,5 °C) Temmuz ayı içerisinde ve ortalama en düşük sıcaklığın (-0,9°C) Ocak ayı içerisinde olduğu görülmektedir. Verilen tarihlerdeki toplam yağış verileri incelendiğinde en fazla ortalama yağışın (80,7mm) Ocak ayında, en düşük ortalama yağışın (1,3 mm) ise Temmuz ayında düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.1. Doğanşehir istasyonuna ait (a) aylık ortalama sıcaklık verileri (°C), (b) aylık toplam yağış verileri (mm=kg÷m²)

YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	-2,9	1,5	4,3	9,5	14	20,5	23,2	21,2	15,9	13,6	5,9	3,6
2010	1,4	4,3	8,3	10,9	16,3	21,4	25,4	24,6	20,6	12,9	6,8	2,5
2011	-0,1	1	5,4	9,5	13,6	19,5	24,3	23,3	18,1	10,9	2	-1,2
2012	-1,2	-4,9	1,3	12,2	14,9	21,3	24,1	23,7	19,2	14,2	7,9	1,7
2013	-1,5	3,1	6,7	11,8	15,5	20,4	23,8	22,7	17,7	9,8	8	-2,9
2014	2,6	3,2	7,6	12,3	15,7	22,2	25,3	24,7	18,8	11,9	4,6	4,2
2015	-2,7	1,9	5,2	9,2	14,7	20	24,2	24,1	20,8	13,2	6,2	0,1
2016	-2,3	4,2	7	13,3	14,9	20,8	24	24,7	17,3	12,8	4,1	-2,7
2017	-3,1	0,2	5,9	10,1	14,7	21,1	25,2	24,4	20,4	11,7	5,8	1,9
2018	1,6	4	9,6	12,8	15,4	20,3	25,1	24,4	19,5	13,8	6,4	3
2019	-2,7	2,5	5,9	9,2	17,7	22,4	24	24,4	19	14,6	6,3	3,1
2020	0,5	0,9	7,5	11	16,4	20,7	25,7	23,1	21,9	15,4	6,1	2
ORTALAMA	-0,9	1,8	6,2	11	15,3	20,9	24,5	23,8	19,1	12,9	5,8	1,3

(a)

YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009	38,9	93,6	72,8	52,8	18,9	4	6,2	1,5	57,4	44,4	99,8	113,1
2010	159,2	19,2	23,6	40,4	15,8	0,4	1	0	2,6	49,8	0	86,8
2011	58	78,2	60,2	117	37,8	9	0	0	0	16,6	52,6	46
2012	87,8	83,6	25,6	33,8	68,8	5,6	0	0,4	0,6	33	51,6	128,4
2013	75,8	63,6	25,4	43,8	78,4	0,2	0	0	5,2	13,4	39,2	44
2014	31,4	27	101,2	43,4	2,2	0	0	6	48,8	90,4	102,2	56,6
2015	124	75,9	74,2	37,8	31,8	17	1	7,8	0,8	62	11	13,4
2016	98,8	39	35,8	0,4	32,4	12,2	5,2	4,8	28,6	8,4	21,4	69,6
2017	29	0	81	72,6	84,2	1,2	0	4	0	19,8	67,6	9,6
2018	79,6	52,6	24,8	13	103,4	23	2	0	19,8	45,6	39,2	179,2
2019	114,2	61,4	62,6	70	11	23,8	0	18,2	2,6	20,8	4,8	64
2020	71,8	71,2	178,2	37	63,6	13,2	0	0,6	7,2	0,4	71	51,2
ORTALAMA	80,7	55,4	63,8	46,8	45,7	9,1	1,3	3,6	14,5	33,7	46,7	71,8

(b)

Çelikhan meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık ve yağış ölçümleri Tablo 4.2’ de belirtilmiştir. Sıcaklık verileri incelendiğinde ortalama en yüksek sıcaklığın (25,8 °C) Ağustos ayı içerisinde ve ortalama en düşük sıcaklığın (-0,4 °C) Ocak ayı içerisinde olduğu görülmektedir. Verilen tarihlerdeki toplam yağış verileri incelendiğinde en fazla ortalama yağışın (139,0 mm) Ocak ayında, en düşük ortalama yağışın (2,2 mm) ise Temmuz ayında düştüğü görülmektedir.

Tablo 4.2. Çelikhan istasyonuna ait (a) aylık ortalama sıcaklık verileri (°C), (b) aylık toplam yağış verileri (mm=kg÷m²)

Yıl/Ay	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013	-	2,50	5,80	11,60	15,70	20,70	24,00	23,90	19,10	12,30	9,10	-0,60
2014	2,30	3,80	7,30	11,70	15,90	20,20	25,70	26,30	20,00	13,00	6,00	4,20
2015	-1,10	1,40	4,60	8,70	15,20	20,40	25,60	25,40	22,70	14,30	7,90	3,00
2016	-1,80	4,70	6,70	13,30	15,00	21,00	24,60	28,40	19,50	14,90	6,20	-1,10
2017	-2,70	0,70	5,90	9,90	14,80	21,50	26,80	26,50	23,90	13,50	6,80	4,30
2018	1,70	3,70	9,00	13,00	15,20	20,70	25,40	25,70	21,90	14,60	7,30	2,70
2019	-1,20	1,80	4,80	8,00	17,60	22,80	24,30	25,60	20,60	16,10	9,00	3,20
2020	0,10	0,10	7,00	10,10	15,90	20,80	26,30	24,80	24,30	17,90	7,40	2,80
ORTALAMA	-0,40	2,40	6,40	10,90	15,70	21,00	25,30	25,80	21,50	14,60	7,50	2,30

(a)

YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013	-	71,60	38,60	45,50	136,70	3,10	0,00	14,10	6,00	23,30	30,00	56,10
2014	115,10	75,50	112,80	57,10	39,00	38,50	0,60	1,60	38,20	143,20	91,40	85,90
2015	196,50	127,60	185,60	54,70	71,90	0,50	0,00	1,30	18,70	76,10	15,00	19,90
2016	180,00	102,20	50,70	16,00	67,40	15,70	2,50	1,20	39,20	26,20	24,50	109,30
2017	54,50	1,10	125,70	126,90	64,90	9,40	0,00	0,00	0,00	28,80	110,80	19,00
2018	184,40	68,50	37,80	41,00	148,00	33,50	10,10	5,00	14,20	118,40	73,20	373,80
2019	242,00	81,60	110,10	104,10	9,20	9,20	4,10	11,10	7,40	43,70	6,00	266,80
2020	139,80	98,60	184,80	67,50	56,10	11,90	0,80	0,00	0,30	0,00	115,50	116,90
ORTALAMA	139,00	78,30	105,70	64,10	74,10	15,20	2,20	4,20	15,50	57,40	58,30	130,90

(b)

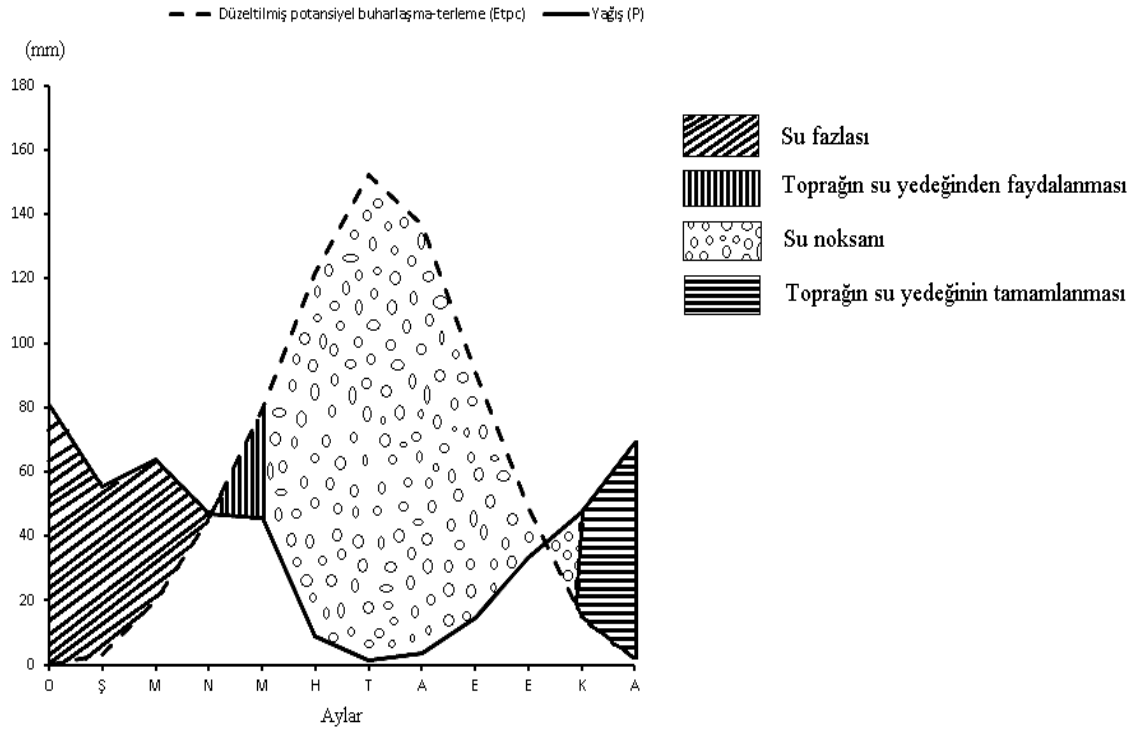
4.2. Hidroloji

Çalışma alanının genel hidrolojik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle, Doğanşehir ve Çelikhan ilçeleri meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık verileri değerlendirilerek çalışma alanında gerçekleşen potansiyel ve gerçek buharlaşma, sellenme ve süzülme miktarları hesaplanmıştır (Tablo 4.3 ve Tablo 4.4).

Doğanşehir 17872 numaralı meteoroloji istasyonu verilerine göre hazırlanan nem bilançosunda bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 470,92 mm, gerçek buharlaşma-terleme 295,89 mm, su fazlasının olduğu dönemde oluşan sellenme miktarı ise 178,05 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.3). Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın %37,81'i kadardır. Bu verilere göre çalışma alanının yağış ve Etp 'nin aylık değişim grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.1).

Tablo 4.3. İnceleme alanının 17872 (Doğanşehir) numaralı gözlem istasyonuna ait 2009-2020 yılları arasındaki nem bilançosu (Thornthwaite formülüne göre)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort. (°C)	-0,87	1,83	6,23	10,98	15,32	20,88	24,53	23,78	19,10	12,90	5,84	1,28	
Sıcaklık İndisi	0,00	0,22	1,39	3,29	5,45	8,71	11,11	10,60	7,61	4,20	1,27	0,13	53,96
Potansiyel Buharlaşma-Terleme Etp (mm)	0,00	3,74	19,38	41,47	64,75	98,10	121,68	116,72	87,04	51,44	17,79	2,31	
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	
Düzeltilmiş Etp (mm)	0,00	3,14	19,96	45,61	79,64	121,64	152,09	136,56	90,52	49,38	14,95	1,92	
Yağış (mm)	80,71	55,44	63,78	46,83	45,69	9,13	1,28	3,61	14,47	33,13	47,55	69,28	470,92
Faydalı Su Yedeği (mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	66,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,60	99,96	
Gerçek Buharlaşma Terleme Etr (mm)	0,00	3,14	19,96	45,61	79,64	75,18	1,28	3,61	14,47	33,13	14,95	1,92	295,89
Su Fazlası (mm)	80,71	52,30	43,82	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	178,05
Su Noknası (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,46	150,81	132,95	76,05	16,25	0,00	0,00	422,52



Doğanşehir- 17872 numaralı meteoroloji gözlem istasyonu için hesaplanan yağış ve Etp' nin aylık grafiğine göre, Ocak ayından Mart ayının sonuna kadar olan dönemde su fazlalığı; Mayıs ayından Ekim ayının sonuna kadarki dönemde ise su noksanlığı vardır. Nisan ayında toprağın su yedeğinden faydalanılmakta; Kasım ve Aralık ayları arasında ise bölgeye düşen yağış miktarı artmaktadır ve toprağın su yedeği bu aylar arasında tamamlanmaktadır (Şekil 4.1).

Çelikhan- 18180 numaralı meteoroloji gözlem istasyonu verilerine göre hazırlanan nem bilançosunda (2013-2020 yılları arası) bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 818,80 mm, gerçek buharlaşma-terleme 496,52 mm, su fazlasının olduğu dönemdeki sellenme miktarı ise 159,57 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın %19,49'u kadardır. (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. İnceleme alanının 18180 (Çelikhan) numaralı gözlem istasyonuna ait 2013-2020 yılları arasındaki nem bilançosu (Thornthwaite formülüne göre)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort. (OC)	-0,39	2,31	6,39	10,78	15,66	21,01	25,34	25,83	21,50	14,58	7,46	2,31	
Sıcaklık İndisi	0,00	0,31	1,45	3,20	5,63	8,79	11,67	12,01	9,10	5,05	1,83	0,31	59,36
Potansiyel Buharlaşma-Terleme Etp (mm)	0,00	4,18	17,76	37,40	63,70	96,80	126,37	129,84	100,01	57,50	22,16	4,18	
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	
Düzeltilmiş Etp (mm)	0,00	3,51	18,29	41,14	78,35	120,03	157,96	151,91	104,01	55,20	18,62	3,47	
Yağış (mm)	158,90	4,18	17,76	37,40	63,70	96,80	126,37	129,84	100,01	57,50	22,16	4,18	818,80
Faydalı Su Yedeği (mm)	100,00	100,00	99,47	95,73	81,08	57,85	26,26	4,19	0,19	2,49	6,03	6,74	
Gerçek Buharlaşma Terleme Etr (mm)	0,00	3,51	18,29	41,14	78,30	120,03	157,96	151,91	104,01	55,20	18,62	3,47	496,52
Su Fazlası (mm)	158,90	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	159,57
Su Noknası (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Çelikhan- 18180 numaralı meteoroloji gözlem istasyonu nem bilanço tablosunda, Ocak ve Şubat aylarında su fazlalığı görülürken, yıl boyu su noksanlığı gözlenmemiştir. Mart ayından başlayarak yıl boyu toprağın su yedeğinden faydalanılmaktadır (Tablo 4.4).

4.3. Hidrojeoloji

Çalışma alanında incelenen kaynakları (K-5, K-6, K-7, K-8, K-9, K-10, K-11) (Şekil 2.1 ve Tablo 2.1) besleyen ve yeraltı sularını taşıyan birimler Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarıdır. Bölgede geniş alanlarda yüzeyleyen bu birimde bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak gelişmiş kırık ve çatlak sistemleri kireçtaşlarına ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik kazandırmıştır. İnceleme alanı çevresinde kimyasal analizleri yapılan K-1, K-2, K-3 ve K-4 kaynakları ise Maden Karmaşığı'na ait çatlaklı volkano-sedimanter birimlerden beslenmektedir.

Çelikhane Ovası su kaynakları bakımından zengin bir sahadır. Bölgeye hayat veren, içme ve sulamada kullanılan Mir (K-6), Zerbani (K-7), Havşari (K-8), Çokpınar (K-10) ve Balıksırtı (K-11) kaynakları (Şekil 4.2) hakkındaki genel bilgiler aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.2. İncelenen kaynakların konumları (yerbilimleri.mta.gov.tr)

4.3.1. Mir Kaynağı (K-6)

Çalışma alanının güneyinde yer alan Mir Kaynağı 1271 m kotunda Malatya Metamorfikleri ile ova tabanının birleştiği alandan boşalmaktadır. Metamorfiklere ait kırık ve çatlaklardan beslenen kaynağın Adıyaman ilinin içme suyunu temini amacıyla kaptajı yapılmıştır (Şekil 4.3a, b). Kaptaja alınmayan yan kollardan boşalmalar olmaktadır (Şekil 4.3a). Birçok noktadan boşalım gösteren kaynağın DSİ raporlarına göre ortalama debisi 36 l/sn' dir.



(a)



(b)

Şekil 4.3. (a) Mir kaynağının boşalım ve kaptaj noktası, (b) Mir Kaynağını besleyen metamorfitlere ait kırık ve çatlaklardan bir görünüm (37S431405D-4206168K)

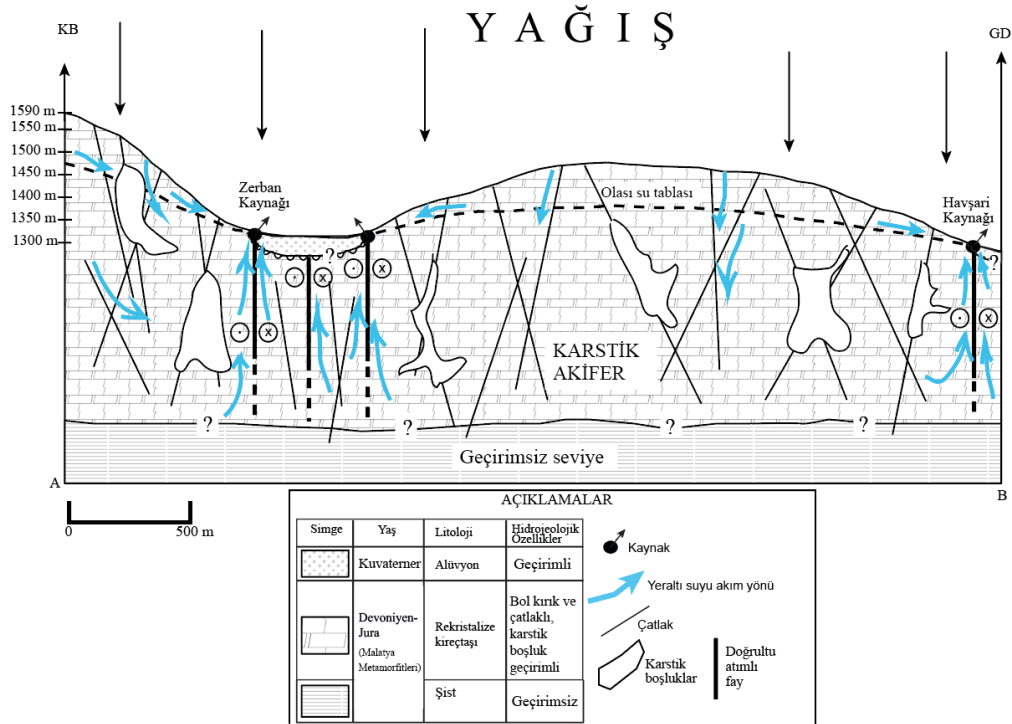
4.3.2. Zerban Kaynağı (K-7)

Çelikhan ilçe merkezinin 5 km kuzeybatısındaki Pınarbaşı beldesinde yer alan Zerban Kaynağı 1317 m kotunda geniş bir alanda birçok noktadan boşalmaktadır (Şekil 4.4). Çelikhan için önemli su kaynaklarından olan Zerban Kaynağı içme ve sulama amaçlı kullanılmaktadır.



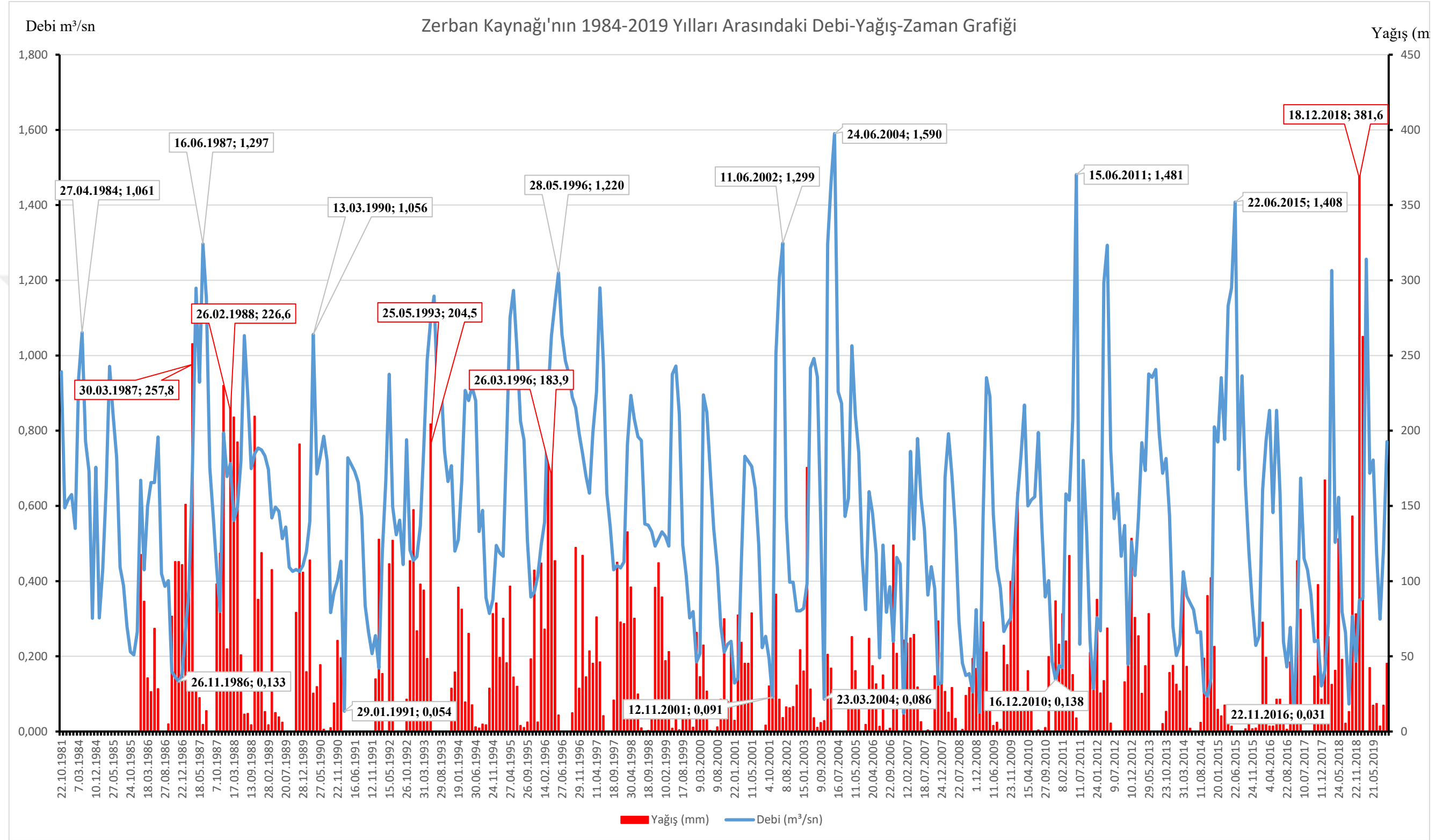
Şekil 4.4. Zerban Kaynak alanından bir görünüm (37S428102D-4209139K)

Zerban Kaynağı Malatya Metamorfittleri'ne ait çatlaklı, kırıklı rekristalize kireçtaşlarından beslenmektedir. Birim içerisinde bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak gelişen çatlak sistemleri birime ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik kazandırmıştır. Bu kırık ve çatlaklar üst seviyelerde oldukça yoğun ve birbirleriyle bağlantılıdır. Kaynakların oluşumu bölgede etkin olan doğrultu atımlı faylara bağlıdır. Kaynağın akiferini oluşturan Malatya Metamorfittleri'nin tabanındaki şistler akiferin geçirimsiz temelini oluşturmaktadır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Zerban Kaynağı ile Havşari Kaynağı'nın oluşumunu gösteren şematik hidrojeoloji kesiti (kesit izi jeolojik haritası üzerinde gösterilmiştir).

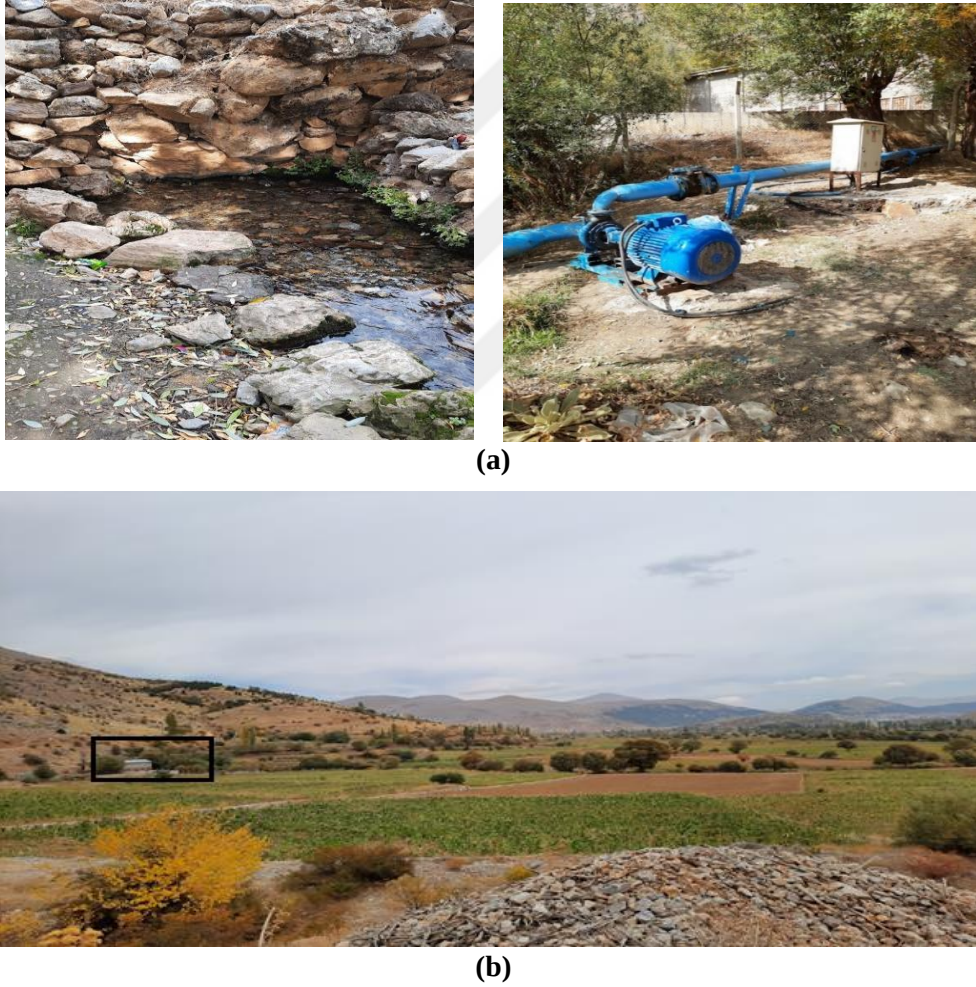
Zerban Kaynağı'na ait 1981 -2019 yılları arasındaki debi ölçümleri değerlendirildiğinde; minimum debi değeri 22.11.2016 tarihinde 0,031 m³/sn, maksimum debi değeri 24.06.2004 tarihinde 1,590 m³/sn ölçülmüş olup kaynağın uzun yıllara ait ortalama debisi 0,579 m³/sn'dir. Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarından boşalan kaynağın beslenme alanı oldukça geniş olduğundan akifer yağışlarla iyi beslenmekte ve debisi yükselmektedir (Şekil 4.6). Zerban Kaynağı'nın 1984-2019 yılları arasındaki debi-yağış grafiğinde bölgeye düşen maksimum yağış miktarının Şubat ile Mayıs ayları arasında olduğu, kaynağın maksimum debilerinin de yağışlarla ilişkili olarak Mart ve Haziran ayları arasında olduğu görülmektedir. 2018 ile 2019 yılları debi-yağış değerleri incelendiğinde, 18 Aralık 2018 tarihinde ölçülen en yüksek yağışın kaynak boşalmasına etkisinin 5 Şubat 2019 tarihinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.6). Bu durum, Şubat ayında bölgeye düşen yağışların kaynak debisindeki artışa etkisinin yaklaşık 1,5 ay olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.6. Zerban Kaynağının 1984-2019 yılları arası debi-yağış grafiği

4.3.3. Havşari Kaynağı (K-8)

İnceleme alanındaki Pınarbaşı beldesi sınırları içinde yer alan Havşari Kaynağı ilçenin önemli su kaynaklarından. 1290 m kotundan boşalan kaynağın akifer birimi Malatya Metamorfikleri'ne ait karstik rekristalize kireçtaşlarıdır. Kaynak, bölgede içme ve sulama amacıyla kullanılmakta ve Bulam Çayı'nın ana kolunu oluşturmaktadır. Adıyaman il merkezinin de içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak için Havşari Kaynağı'nın 2011 yılında kaptajı yapılmıştır. Ana kaynağın kaptajı çevresinde, kaptaja alınmayan ve kaptaj yakınından boşalan kaynaklar bulunmaktadır (Şekil 4.7).

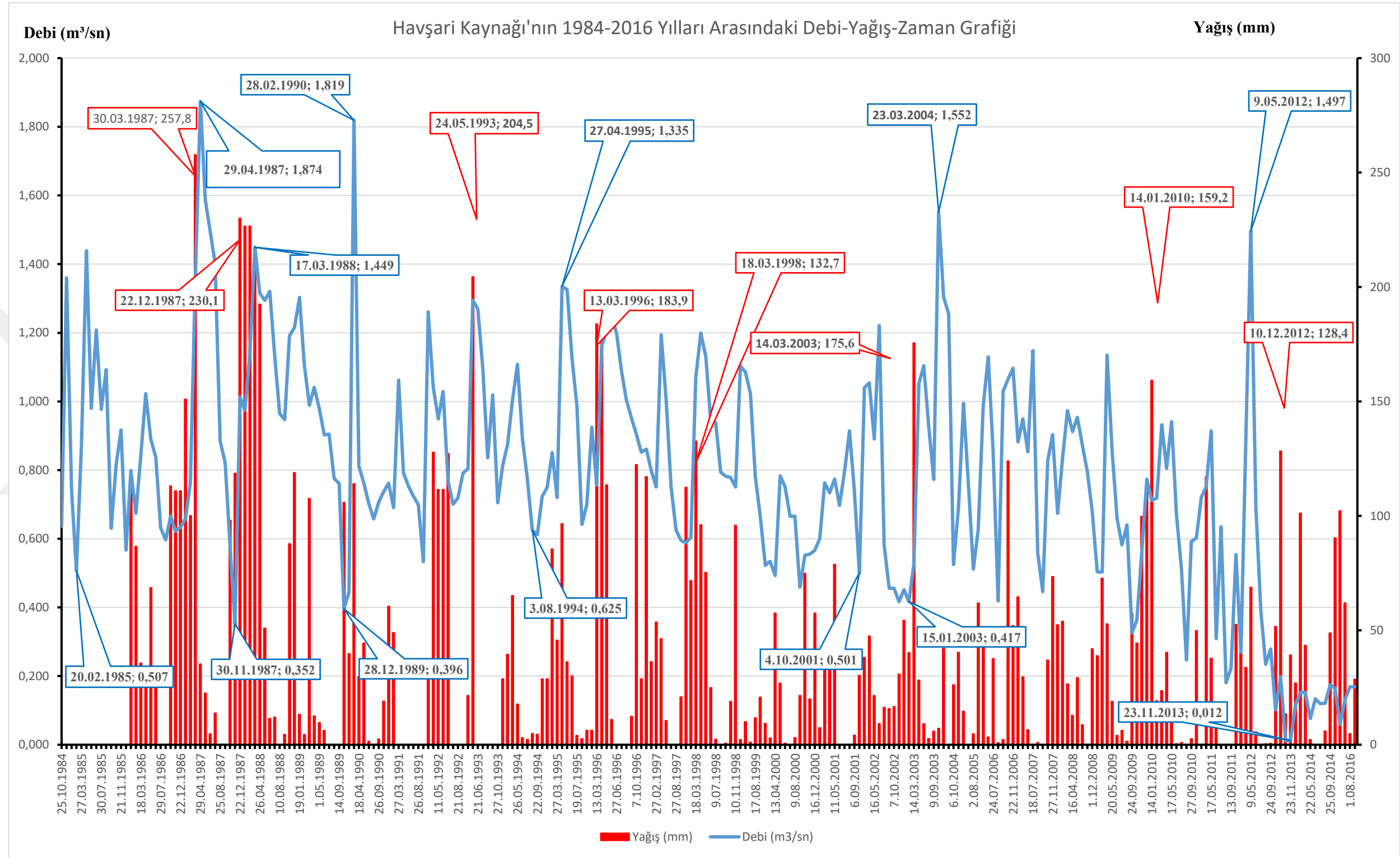


Şekil 4.7. (a) Havşari Kaynağı ve kaynağın kaptaj alanı, (b) Havşari Kaynağı'na bakış (Bakış yönü Kuzeybatı)

Havşari Kaynağı da Zerban Kaynağı gibi Malatya Metamorfikleri'ne ait çatlaklı, kırıklı rekristalize kireçtaşlarından beslenmektedir. Tektonizmaya bağlı olarak gelişen çatlak ve kırık

sistemleri birime ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik kazandırmıştır. Havşari Kaynağı'nın akiferini oluşturan rekristalize kireçtaşlarının tabanındaki şistler akiferin geçirimsiz temelini oluşturmaktadır. Kırık ve çatlaklı rekristalize kayaçlar içerisinde hareket eden yağış suları çalışma sahasında farklı noktalardan yüzeye çıkarak bir kaynak alanı oluşturmaktadır (Şekil 4.5).

Havşari Kaynağı'nda uzun yıllar debi ölçümleri yapılmıştır. 1984 -2016 yılları arasındaki debi ölçümleri değerlendirildiğinde; minimum debi değeri 23.11.2013 tarihinde $0,012 \text{ m}^3/\text{sn}$, maksimum debi değeri 29.04.1987 tarihinde $1,874 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve kaynağın bu yıllarda ölçülen değerlere göre ortalama debisi $0,792 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8). Havşari Kaynağı'na ait debi-yağış grafiği incelendiğinde 30 Mart 1987 tarihinde düşen yağışın kaynak debisindeki artışa etkisinin bir ay gibi bir sürede (29 Nisan 1987'de kaynak debisi $1,873 \text{ m}^3/\text{sn}$ ölçülmüş) olduğu görülmektedir. Bu durumun aksine, son yıllarda yağışlı dönemde düşen yağışların kaynağın debisinde çok yüksek artışa neden olmadığı görülmektedir (Şekil 4.8). Adıyaman il merkezinin 50 yıllık su sıkıntısını gidermesi planlanan kaynağın debisi yıllar içinde azalmaktadır. Bu azalmanın nedeninin değişen iklim koşulları, bilinçsiz su tüketimi ve bölgede yoğun olarak açılan kuyulardan aşırı çekim olduğu düşünülmektedir.



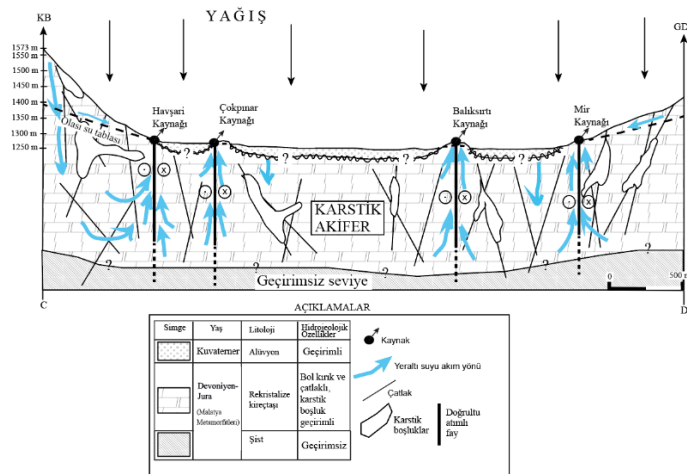
Şekil 4.8. Havşari Kaynağı'nın 1984-2016 yılları arasındaki debi-yağış grafiği

4.3.4. Çokpınar Kaynağı (K-10)

Çalışma alanının güneyinde yer alan Çokpınar Kaynağı 1287 m kotundan çıkmaktadır. Malatya Metamorfitle’nden beslenen kaynağın kaptajı Adıyaman ilinin içme suyunu karşılamak amacıyla yapılmıştır (Şekil 4.9).



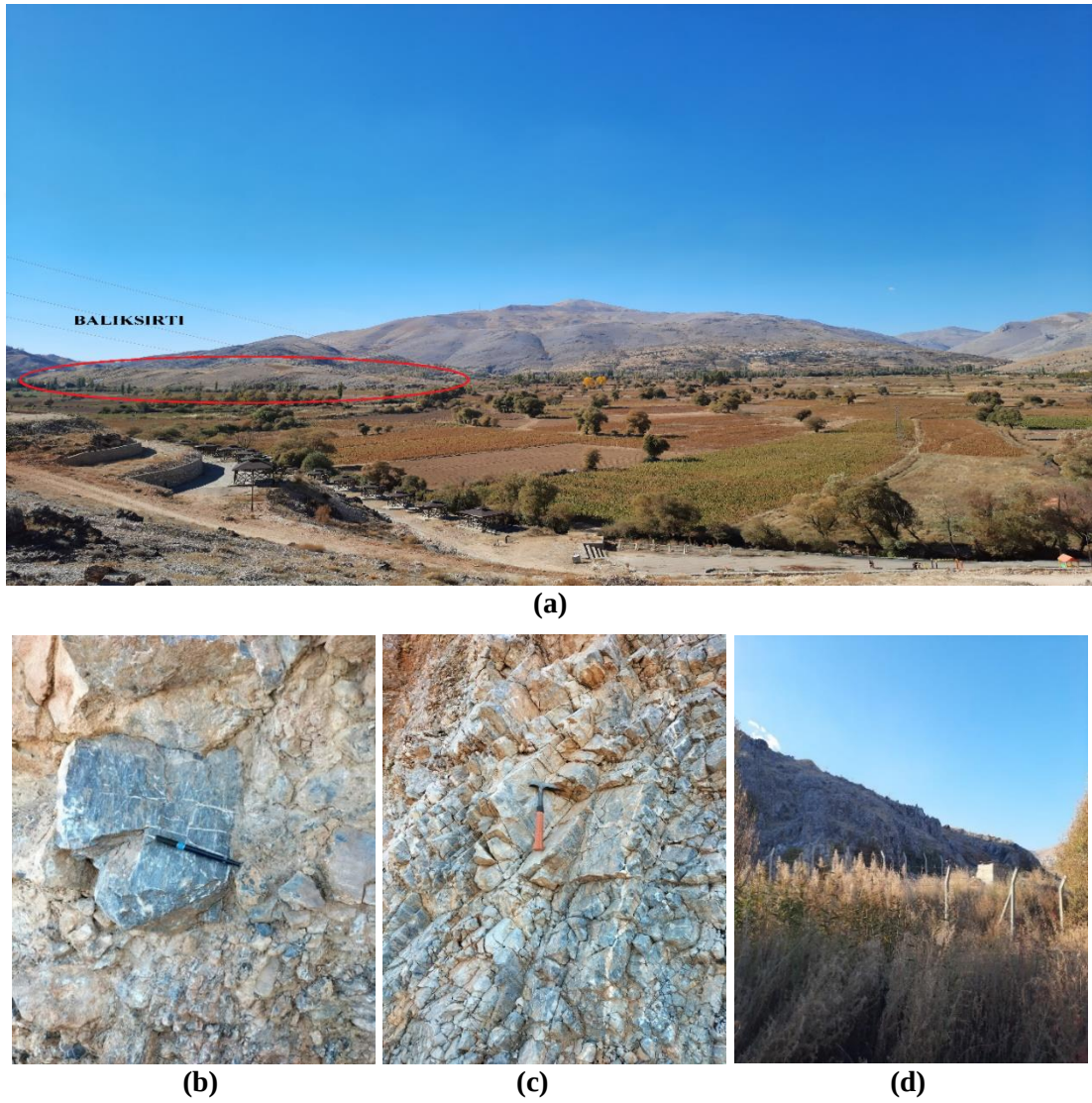
Çokpınar Kaynağı'nın da akiferi Malatya Metamorfitle’ne ait çatlaklı, kırıklı rekristalize kireçtaşlarıdır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Havşari, Çokpınar, Balıksırtı ve Mir kaynaklarının oluşumlarını gösteren şematik hidrojeoloji kesiti (kesit izi jeoloji haritası üzerinde gösterilmiştir).

4.3.5. Balıksırtı Kaynağı (K-11)

Çalışma alanının güneyinde bulunan Balıksırtı Kaynağı 1262 m kotundan çıkan bir fay kaynağıdır. Kaynağın akifer birimi ovada yaklaşık D-B yönünde uzanım gösteren Malatya Metamorfitle’ne ait rekristalize kireçtaşlarıdır (Şekil 4.11a). Metamorfitle aşırı kırıklı ve çatlaklı olmakla beraber bu kırık ve çatlaklarda ikincil kalsit dolguları gelişmiştir (Şekil 4.11b ve c). İçme suyu temini amacıyla kaynağın kaptajı yapılmıştır (Şekil 4.11d).

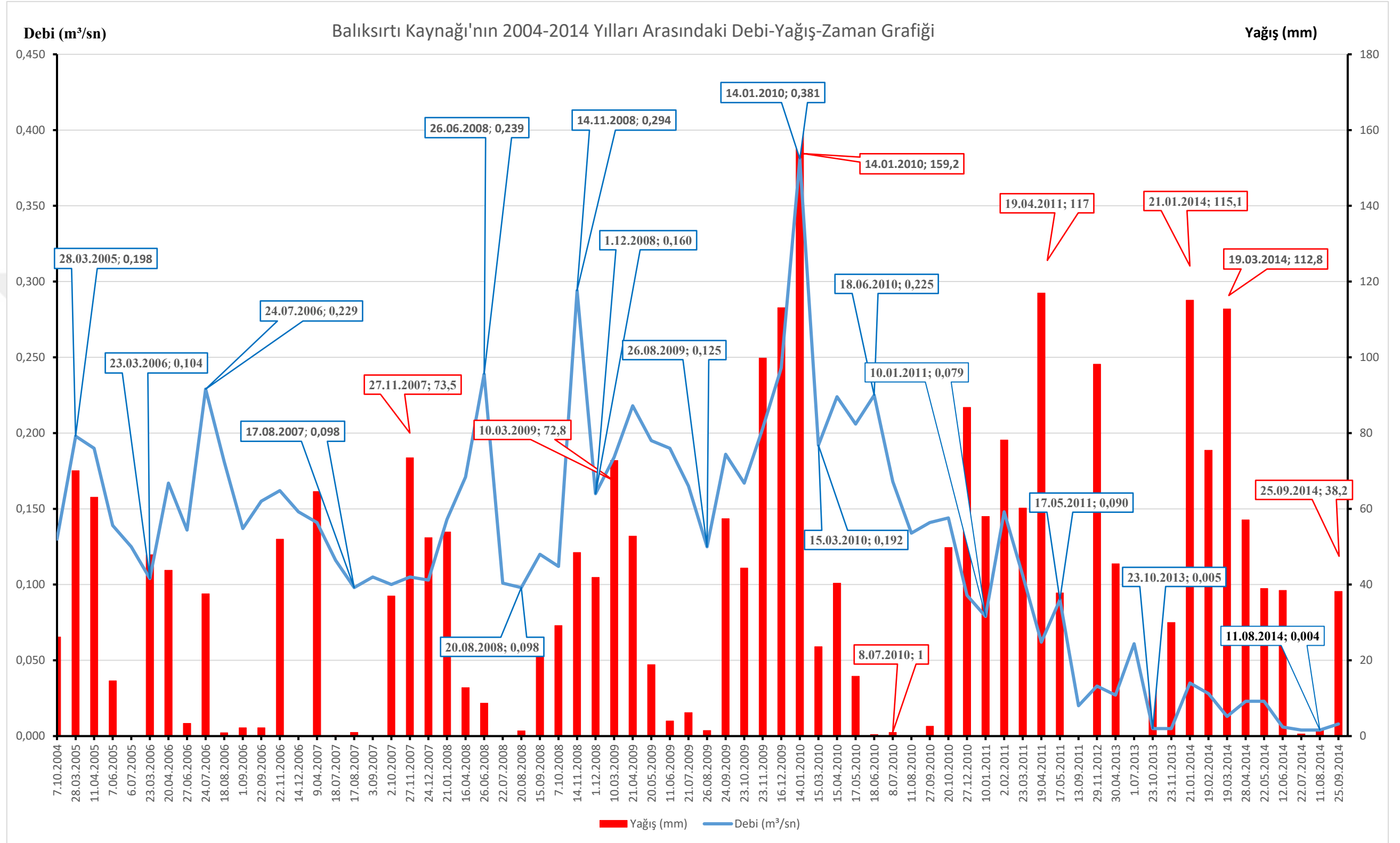


Şekil 4.11. (a) Balıksırtı Kaynağı beslenme alanı, (b,c) Balıksırtı Kaynağı’nı besleyen Metamorfitle’de gelişen kırık, çatlak sistemleri ve ikincil kalsit dolguları ve (d) kaynağın kaptaj alanı

Balıksırtı Kaynağı’nın uzun yıllar (2004 ile 2015 yılları arası) debisi ölçülmüştür. Kaynağın 2004-2015 yılları arasında ölçülen en düşük debi değeri 08.11.2014 tarihinde 0,004 m³/sn, en

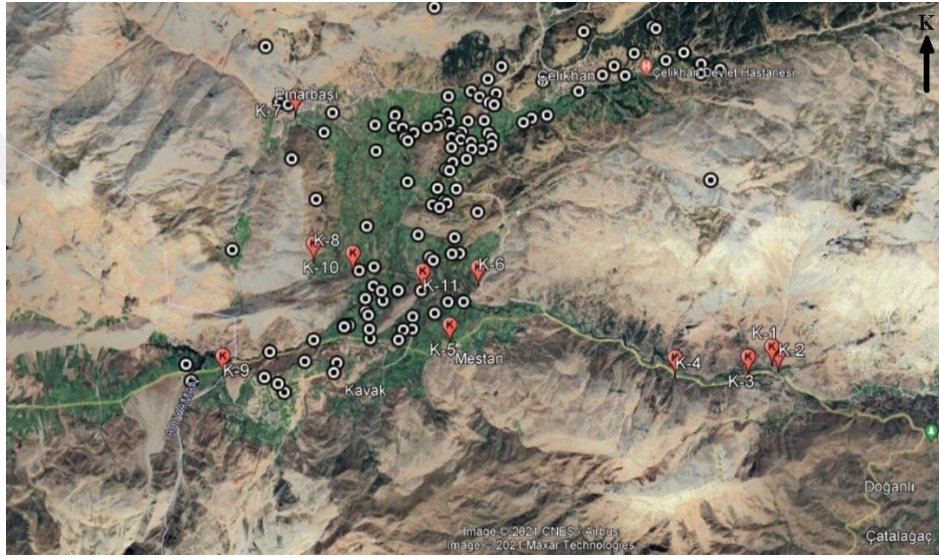
yüksek debi değeri 14.01.2010 tarihinde $0,381\text{m}^3/\text{sn}$ ve kaynağın bu yıllar arası ortalama debisi $0,128\text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir (Şekil 4.12).





Şekil 4.12. Balıksırtı Kaynağı'nın 2004-2014 yılları arasındaki debi-yağış grafiği

Kaynağın debi-yağış grafiğinde 2005 ile 2010 yılları arasında, kaynak debisi yağış arttıkça yükselmektedir. Ancak, 2011 ile 2014 yılları arası bölgeye düşen yağış miktarında değişim gözlenmezken, kaynağın debi değerlerinde önceki yıllara oranla azalma meydana gelmektedir (Şekil 4.12). Ovanın iç kısımlarında yer alan Balıksırtı Kaynağı'nın debisinin zaman içinde azalması, i) kaynağa yakın yerlerde açılan sondaj kuyuları, ii) kaynağın beslenme alanının dar olması, iii) kaynak akiferini oluşturan rekristalize kireçtaşları ile alüvyon akifer arasında hidrolik bir ilişkinin olması (Şekil 4.10), ve iv) kaynak çevresinde açılan kuyulardan özellikle yaz aylarında tarımsal sulama amaçlı aşırı çekim ile ilişkilidir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Çelikhan Ovası'nda açılan kuyu yerlerinin uydu görüntüsü (Ölçeksiz)

Çalışma alanının su bütçe hesabına girenler ve çıkanlar olarak işlenen verilerin eksik olması ve düzenli olmamasından dolayı Çelikhan Ovası'nın su bütçesi mevcut hidrojeolojik, hidrolojik veriler ışığında hesaplanamamıştır.

4.4. Kaynakların Boşalım Grafiklerin İncelenmesi

Bir havzanın depolama gücünü hesaplamak için o havzadaki akarsuların boşalma grafiği belirlenmelidir. Kaynakların depolama gücü içinde maksimum ve minimum debileri arasında geçen zaman içerisinde verdikleri su miktarı hesaplanmalıdır.

Akarsuların boşalım grafikleri, akarsuyu besleyen akiferlerin yeraltı suyu rezervlerinden boşalan suyun miktarını vermektedir. Akiferlerin beslenme alanlarındaki geçirgenlik ve beslenme alanı geniş ise toplanan suyun rezervi de çok olmaktadır.

Akiferlerin dış etkilerle (yağış, yüzeysel sular, tarımsal sulama gibi) beslenmediği zaman aralığında kaynaklar, akifer birimlerinin boşalım kotu üzerindeki rezervlerini boşaltırlar. Bu zaman aralığında gerçekleşen rejime, akarsu veya kaynağın gerçek rejimi denir (Canik, 2007).

Beslenim alanını oluşturan akiferlerde, yağış olmadığı veya akifere etki etmeyecek kadar az olduğu zaman aralığında akarsuların veya kaynakların debilerinde meydana gelen değişimler yeraltı suyu boşalım eğrileri ile gösterilmektedir. Oluşturulan bu eğrilere kaynak veya akarsuların debi değişim grafiği denir (Canik, 2007).

4.4.1. Maillet formülü

Kaynakların ve akarsuların gerçek rejim dönemindeki boşalım grafiğinin temel hesaplaması Maillet formülü ile hesaplanmaktadır.

$$q = q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)}$$

q : t zamanına karşılık gelen debi (m^3/sn)

q_0 : t_0 zamanındaki debi/gerçek rejimin başlangıç anındaki debisi (m^3/sn)

α : Boşalım katsayısı ($gün^{-1}$)

e : Bir katsayı (2,718)

$t-t_0$: Boşalımın başlangıcından itibaren geçen zaman (gün)

Bu formül ile, kaynak veya akarsuların debi değişim grafiğinden belirlenen gerçek rejimdeki boşalım dönemine ait debi değerleri yarı logaritmik alana aktarılır. Dikey eksenine debi değerleri, yatay eksenine zaman değerleri girilerek gerçek rejimi tamamlayan bir eğri elde edilir. Bu doğrunun eğimi boşalım katsayısının değeri ile belirlenir. Çalışma kapsamında belirlenen kaynaklara ait boşalım katsayıları aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır (Okan vd., 2018).

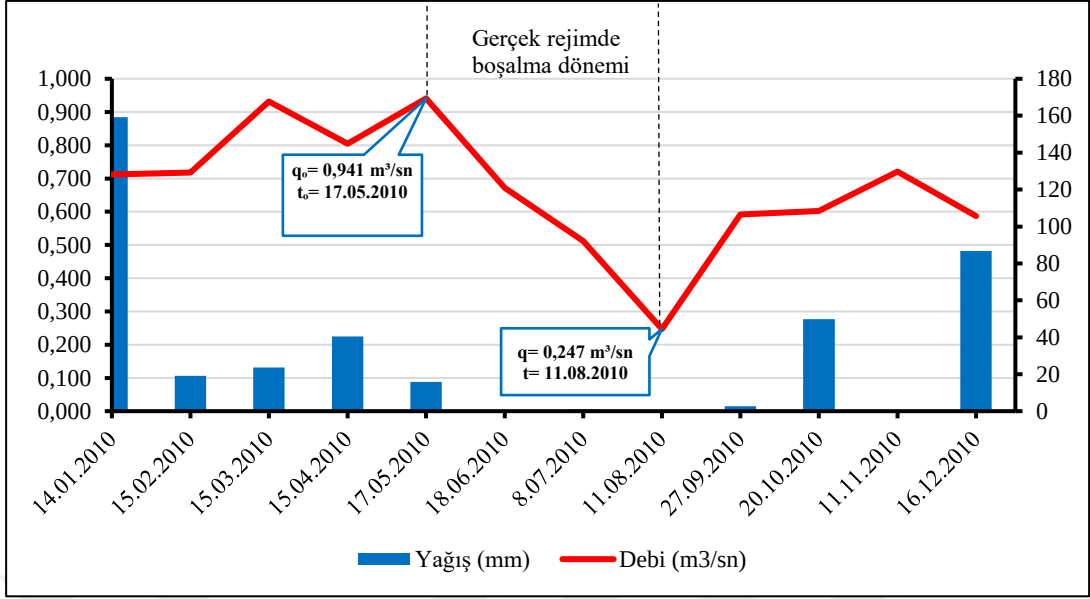
$$\alpha = \log q_0 - \log q / (t-t_0) \cdot \log e$$

Kaynağın boşalım kotu üzerindeki depolama gücünü hesaplamak için kullanılan formül aşağıda verilmiştir.

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

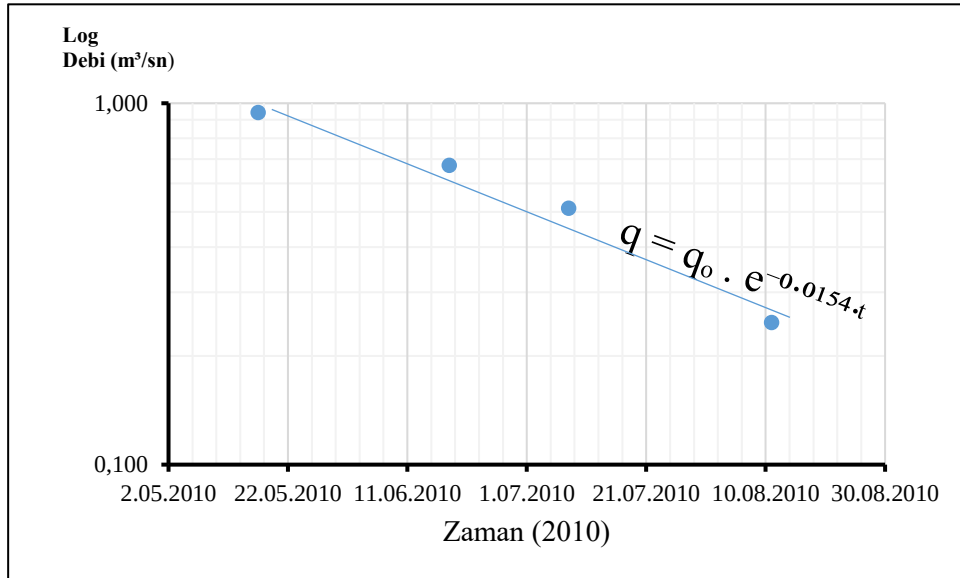
4.4.2. Havşari Kaynağı'nın debi-yağış ilişkisi

Kaynakta 14.01.2010-16.12.10 tarihleri arasında ayda bir ölçümü yapılmıştır. Kaynağın bu döneme ait debi-yağış değişim grafiğinde gerçek rejimde boşalma dönemi belirlenmiştir (Şekil 4.14). Kaynağın 2010 yılına ait en yüksek debisi $0,941 m^3/sn$, en düşük debisi $0,247 m^3/sn$ ve ortalama debisi ise $0,670 m^3/sn$ 'dir. Debi değerlerinin yüksek olması, kaynağın beslenim alanının geniş olduğunu göstermektedir. En yüksek debi ile en düşük debi arasındaki dönem, akiferin dış etkenlerden (yağış, yüzey suları, tarımsal sulama) etkilenmediği dönemi temsil etmektedir.



Şekil 4.14. Havşari Kaynağı'nın debi-yağış grafiği

Havşari kaynağı'nın gerçek rejimdeki boşalım doğrusuna göre (Şekil 4.15) boşalımın başlangıç debisi (q_0) 0,941 m³/sn iken, kurak dönem sonunda boşalımın en düşük debisi (q) 0,247 m³/sn ve boşalım başlangıcından itibaren geçen zaman 87 gün alınarak boşalım katsayısı $\alpha=0,0154$ gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

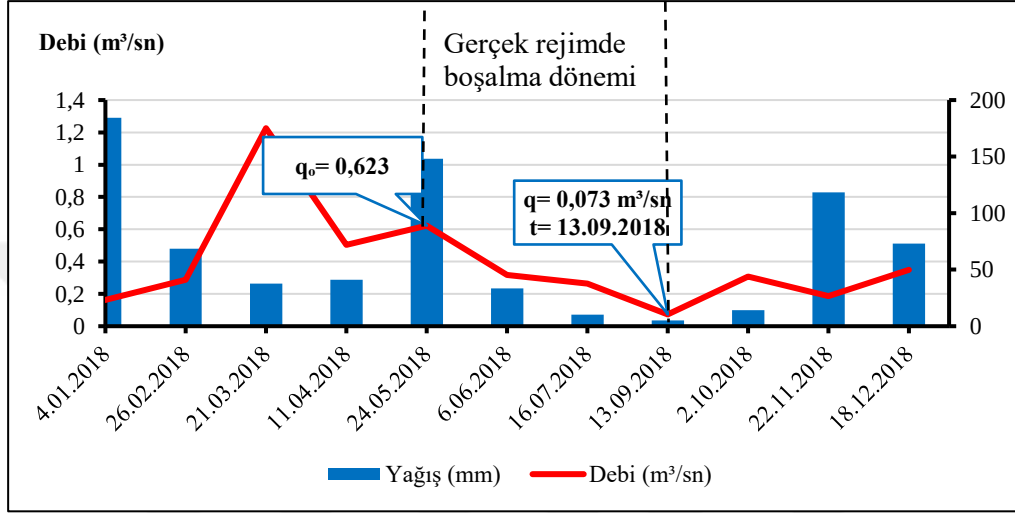


Şekil 4.15. Havşari Kaynağı'nın gerçek rejimde boşalım doğrusu (2010)

Havşari Kaynağı'nın 17.05.2010 ile 11.08.2010 tarihleri arasındaki gerçek rejim döneminde kaynağın boşalım kodu üzerindeki depolama gücü $V=3,9 \cdot 10^6$ m³ olarak hesaplanmıştır.

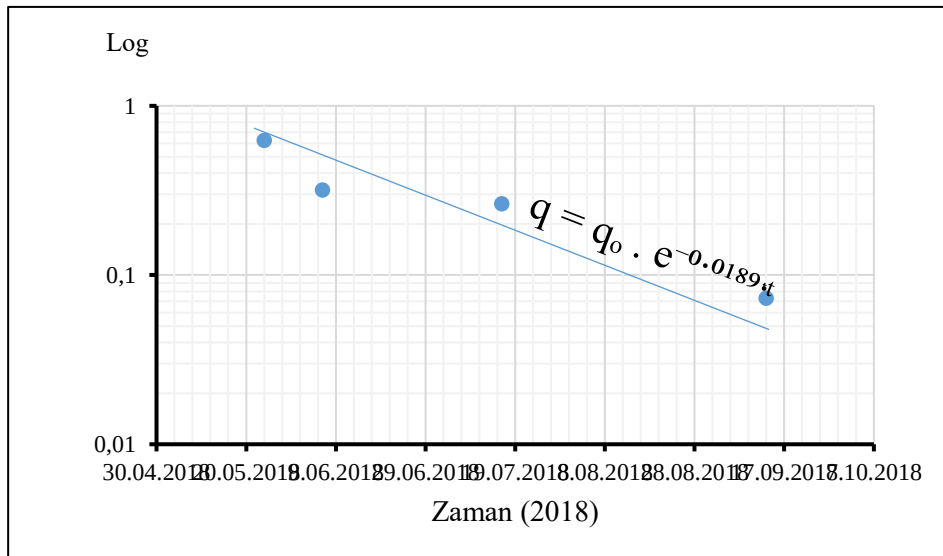
4.4.2. Zerban Kaynağı'nın debi-yağış ilişkisi

Kaynakta 04.01.2018-18.12.2018 tarihleri arasında ayda bir debi ölçümü yapılmıştır. Kaynağın bu döneme ait debi-yağış değişim grafiğinde gerçek rejimde boşalma dönemi belirlenmiştir (Şekil 4.16). Kaynağın 2018 yılına ait en yüksek debisi $0,623 \text{ m}^3/\text{sn}$, en düşük debisi $0,073 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve ortalama debisi ise $0,391 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir.



Şekil 4.16. Zerban Kaynağı'nın debi-yağış grafiği

Zerban Kaynağı'nın gerçek rejimdeki boşalım doğrusuna göre (Şekil 4.17) boşalımın başlangıç debisi $0,623 \text{ m}^3/\text{sn}$ iken, kurak dönem sonunda $0,073 \text{ m}^3/\text{sn}$ ' ve boşalım başlangıcından itibaren geçen zaman 113 gün alınarak boşalım katsayısı $\alpha=0,01897 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

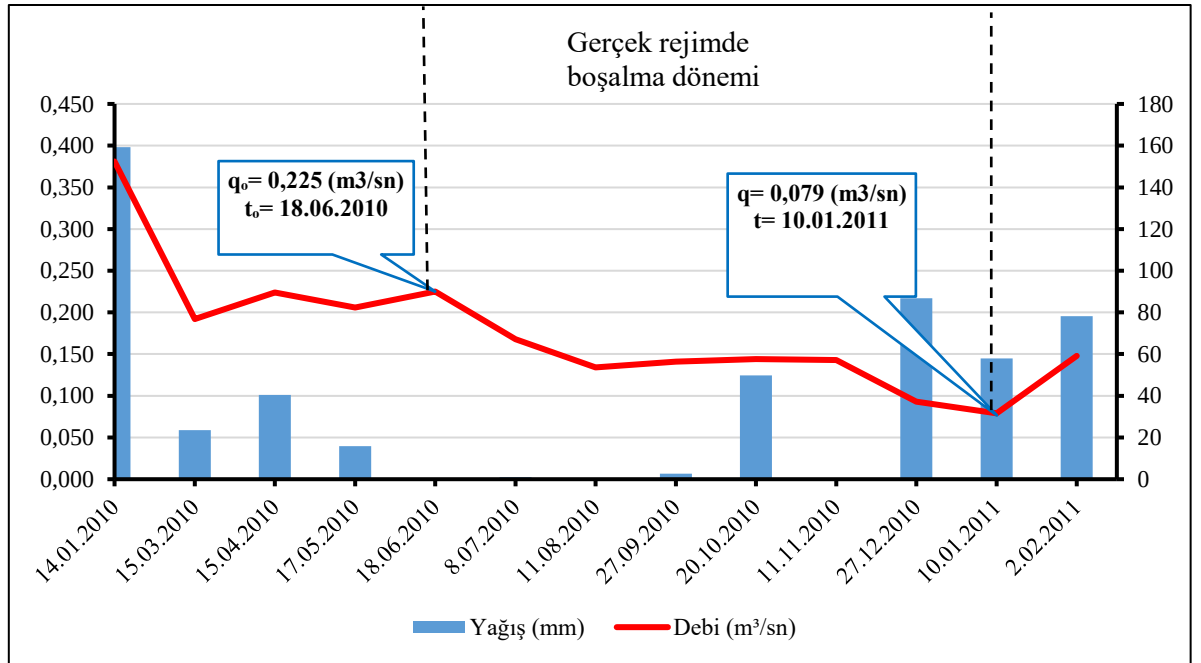


Şekil 4.17. Zerban Kaynağı'nın gerçek rejimde boşalım doğrusu (2018)

Zerban Kaynağı'nın 24.05.2018 ile 13.09.2018 tarihleri arasındaki gerçek rejim döneminde kaynağın boşalım kodu üzerindeki depolama gücü $V=2,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

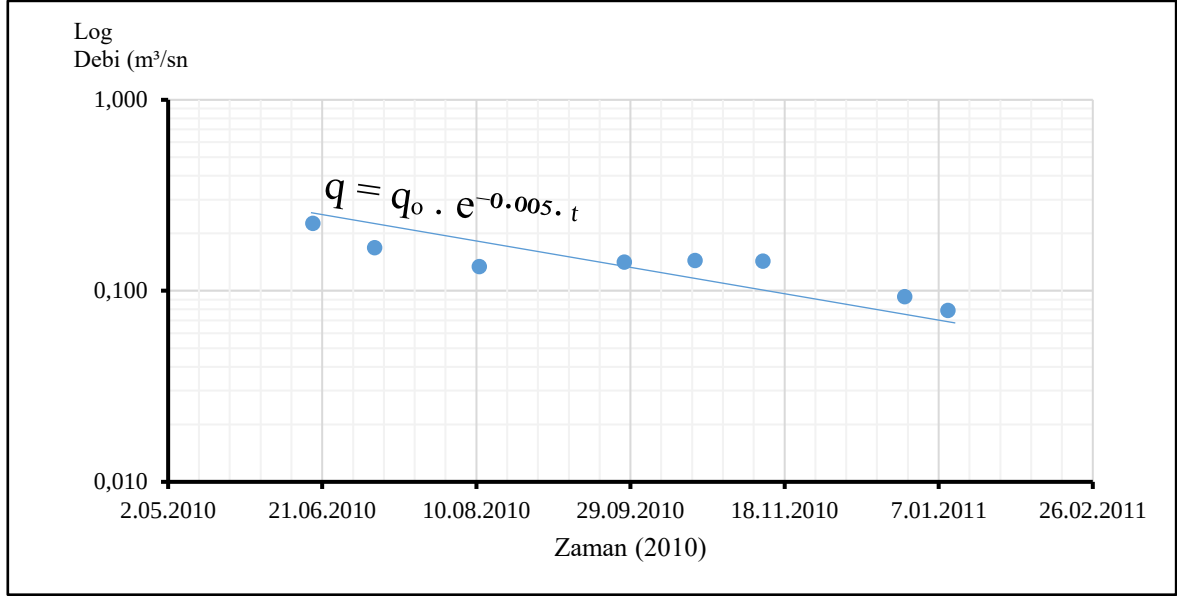
4.4.3. Balıksırtı Kaynağı'nın debi-yağış ilişkisi

Kaynakta 14.01.2010-10.01.2011 tarihleri arasında ayda bir debi ölçümü yapılmıştır. Kaynağın inceleme dönemine ait debi değişim grafiğinde gerçek rejimde boşalma dönemi ve bu dönemlere ait debi ile yağış değerleri belirlenmiştir (Şekil 4.18). Kaynağın 2010-2011 dönemindeki en yüksek debisi $0,192 \text{ m}^3/\text{sn}$, en düşük debisi $0,079 \text{ m}^3/\text{sn}$ ve ortalama debisi ise $0,178 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Debi değerlerinin düşük olması, kaynağın beslenme alanının küçük olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.18. Balıksırtı Kaynağı'nın debi-yağış grafiği

Balıksırtı Kaynağı'nın gerçek rejimdeki boşalım doğrusuna göre (Şekil 4.19) boşalmanın başlangıç debisi $0,225 \text{ m}^3/\text{sn}$ iken, kurak dönem sonunda $0,079 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dir. Boşalmanın başlangıcından itibaren geçen zaman 207 gün olup gerçek rejimde kaynağın boşalım katsayısı $\alpha=0,005 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.19. Balıksırtı Kaynağı'nın gerçek rejimde boşalım doğrusu (2010)

Balıksırtı Kaynağı'nın 18.06.2010 ile 10.01.2011 tarihleri arasındaki gerçek rejim döneminde kaynağın boşalım kodu üzerindeki depolama gücü $V=2,5 \cdot 10^6$ m³ olarak hesaplanmıştır.

Türkiye İstatistik Kurumu (2018) verilerine göre kişi başı içme ve kullanma suyu miktarı günde 224 litredir. Adıyaman merkez ilçe nüfusu 310644 kişidir. Çalışma kapsamında incelenen Havşari, Zerban ve Balıksırtı kaynaklarının gerçek rejimde Adıyaman merkez ilçe nüfusu tarafından içme ve kullanma amaçlı olarak kullanılma süreleri 132,1 gün (yaklaşık 4,5 ay) olarak hesaplanmıştır.

4.4. Hidrojeokimya

Çalışma incelenen 5 kaynağın (Zerban, Havşari, Çokpınar, Balıksırtı ve Mir) ve yakın çevresindeki 6 su kaynağının (Şelale-1, Şelale-2, Şirin su, Çınar, Mestan ve Çig (Sarıkaya)) analizleri Kasım 2021 de yapılmıştır.

Örneklenen suların majör anyon ve katyon analiz sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir. Çokpınar ve Balıksırtı kaynak sularının majör anyon ve katyon içerikleri DSİ raporlarından derlenmiştir.

İncelenen kaynak sularının pH değerleri 7,56-8,9 aralığında; sıcaklıkları 9,7-23,50 °C aralığında; elektriksel iletkenlikleri ise 119,8-375 µS/cm aralığındadır. Kaynak sularındaki Ca^{+2} iyon konsantrasyonu 33,26-69,44 mg/l aralığında; Mg^{+2} iyon konsantrasyonu 1,83-13,64 mg/l aralığında; Na^{+} iyon konsantrasyonu 0,78-5,39 mg/l aralığında; K^{+} iyon konsantrasyonu 0,19-7,80 mg/l aralığında; Cl^{-} iyon konsantrasyonu 0,91-3,61 mg/l aralığında; SO_4^{-2} iyon konsantrasyonu

4,00-14,00 mg/l aralığında; HCO_3^- iyon konsantrasyonları ise 113,90-219,60 mg/l aralığında değişmektedir.



Tablo 4.5. İncelenen suların kurak dönem (Kasım-2021) kimyasal analiz sonuçları (* : Eylül-2010, -: değer belirtilmemiş)

Örnek No.	Örnek Yeri	pH	Sıcaklık (T, °C)	Elektriksel İletkenlik (EC, µS/cm)	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		HCO ₃ ⁻	
					mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l	mg/l	mek/l
K-1	Şelale 2	8,71	10,80	195,00	43,54	2,17	13,64	1,13	5,39	0,23	1,75	0,04	0,80	0,02	8,63	0,17	155,55	2,55
K-2	Şelale 1	8,76	10,10	166,10	33,88	1,69	10,59	0,88	1,35	0,05	0,73	0,01	0,52	0,01	6,20	0,12	136,78	2,24
K-3	Şirinsu	8,63	11,90	200,10	43,22	0,16	6,49	0,54	5,04	0,21	1,52	0,03	3,61	0,10	10,70	0,22	152,2	2,49
K-4	Çınar	8,90	10,70	139,50	33,26	1,66	4,96	0,41	1,37	0,05	0,19	0,004	0,44	0,01	6,20	0,12	113,95	1,86
K-5	Mestan	8,23	10,70	174,20	50,19	2,50	5,18	0,43	3,41	0,14	0,29	0,007	2,23	0,06	7,20	0,15	165,10	2,70
K-6	Mir	8,61	10,50	139,20	31,24	1,56	7,76	0,64	2,19	0,09	0,29	0,007	0,91	0,02	6,09	0,12	113,90	1,86
K-7	Zerban	8,46	11,20	162,10	39,12	1,95	6,77	0,56	0,78	0,03	0,24	0,006	1,56	0,04	7,57	0,15	134,68	2,20
K-8	Havşari	8,43	10,50	119,80	38,26	1,91	7,69	0,64	1,32	0,05	0,23	0,005	0,58	0,01	6,82	0,14	136,72	2,24
K-9	Çig (Sarıkaya)	7,97	9,70	278,30	69,44	3,47	10,00	0,83	2,35	0,10	0,38	0,009	3,06	0,08	8,43	0,17	131,02	2,14
K-10	*Çokpınar	7,95	21,10	336,00	62,00	3,10	1,83	0,15	2,30	0,10	7,80	0,20	2,50	0,07	14,00	0,29	183,00	3,00
K-11	*Balıksırtı	7,56	23,20	375,00	63,00	3,15	5,47	0,46	2,99	0,13	0,27	0,007	3,30	0,09	4,00	0,08	219,60	3,60
TSE (2005)		6,5- 9,5	-	2500	200,00		50,00		200,00		12,00		600,00		250,00		-	
WHO (2017)		6,5- 9,5	-	-	-				200,00		-		250,00		250,00		-	

Yeraltı suları etkileşim halinde oldukları kayaçların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini taşırlar. Suların güvenilir şekilde içilebilmesi için bu özelliklerinin belirli limitler arasında olması gerekmekte ve kazandıkları bu özellikler ile kullanım alanları belirlenmektedir. Bu nedenle birçok ülke kendi kaynaklarına göre içme suyu standartları geliştirmiştir.

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 ve katyon içeriklerinin içme suyu standartlarına uygun olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.5).

4.4.6. Suların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması

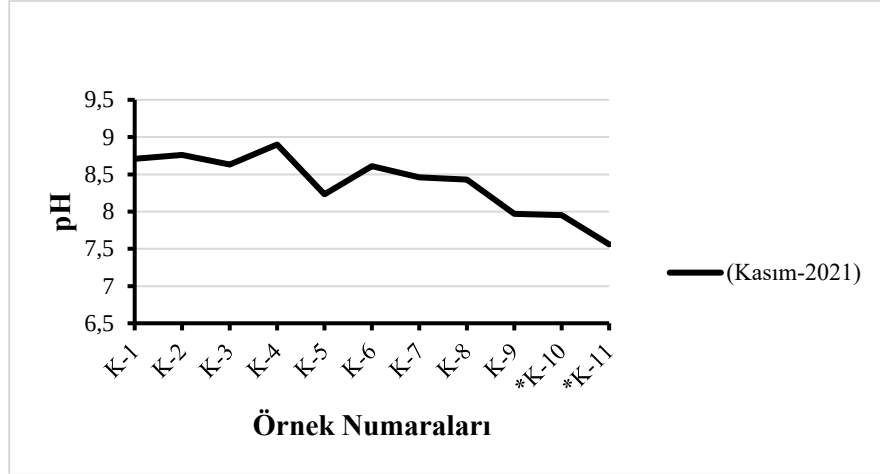
Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)

Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH), suların içerisinde bulunan hidronyum ve OH⁻ iyon azalması veya artmasıyla suların asit ya da bazik özelliğe sahip olmasıdır. Yeraltı suları genel olarak pH < 7 olan asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları pH > 8 olan bazik özellikteki sulardır (Örmeci, 2005; Yiğit, 2016). Asidik ve bazik özellikli suların esas sınır değerleri 4,5 ve 8,5 olarak kabul edilmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Suların pH 'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).

Suyun Sınıfı	pH
Bazik	>8
Bazik Karakterli	8,5-7
Nötr	7
Asidik Karakterli	7-4,5
Asidik	<4,5

pH değeri yeraltı sularındaki çözülmüş karbondioksit, bikarbonat ve diğer karbonat bileşikleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. İnceleme alanındaki suların pH ölçümleri arazide yerinde yapılmıştır. Suların pH değerleri 7,56– 8,9 arasındadır. İncelenen sular kireçtaşları ve volkanik birimlerden beslendikleri için genel olarak bazik karakterdedir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. İncelenen kaynakların pH değerleri

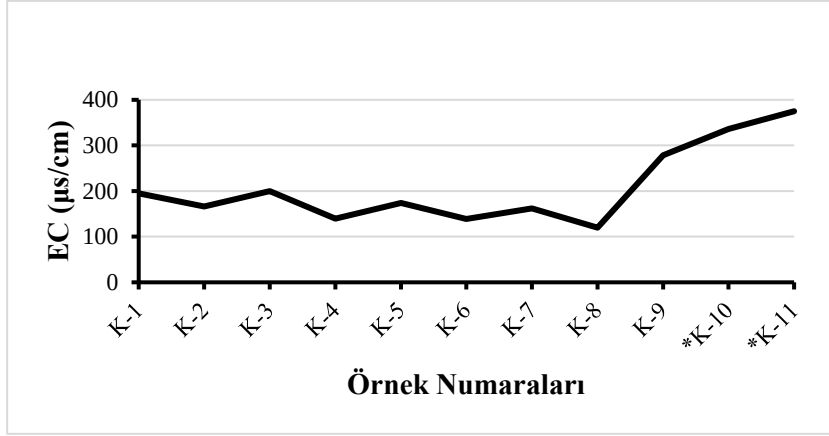
Suların elektriksel iletkenliği (EC)

Cisimlerin elektriği geçirme özelliğine o cismin elektriksel iletkenliği denir. Suların içerisinde farklı pozitif (+) ve negatif (-) iyonlar bulunmaktadır. Bir çözeltide iyon miktarı ne kadar fazla ise elektrik akımını o kadar kolay geçirir ve elektrik geçirgenliği o kadar artar (Tablo 4.7). Elektriksel iletkenlik (EC) bir suyun içerdiği bütün iyon miktarının göstergesidir. İçme sularında iletkenlik artışının olması suyun kirlendiğini ya da suya deniz suyunun karıştığını göstermektedir. Ancak, suda bulunan fakat iyonik formda olmayan kimyasal bileşikler elektriksel iletkenliği etkilemezler.

Tablo 4.7. Suların elektriksel iletkenliğe göre sınıflandırılması (Kalkan ve Olgun, 1994; Yiğit, 2016)

Elektriksel İletkenlik (EC)	Suyun Sınıfı
0-250 $\mu\text{S/cm}$	Çok iyi
250-750 $\mu\text{S/cm}$	İyi
750-2000 $\mu\text{S/cm}$	Kullanılabilir
2000-3000 $\mu\text{S/cm}$	İhtiyatla kullanılmalı
>3000 $\mu\text{S/cm}$	Zararlı kesinlikle kullanılamaz

İncelenen suların elektriksel iletkenlikleri 119,8 $\mu\text{S/cm}$ ile 375 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir (Şekil 4.21). Sulama suyu açısından elektriksel iletkenlik değerlerine göre K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6, K-7 ve K-8 numaralı sular “çok iyi sular” ve K-9, K-10 ve K-11 numaralı sular ise “iyi sular” sınıfına girmektedirler. K-9, K-10 ve K-11 numaralı suların EC değerlerinin diğer sulara oranla daha yüksek olması bu sularda su-kayaç etkileşiminin daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.21. İncelenen suların elektriksel iletkenlik değerleri

Suların Sertlik Dereceleri

Sulardaki sertlik derecesi, suyun içerisinde çözülmüş olan Ca^{+2} ve Mg^{+2} bileşiklerinden gelen bir özelliktir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonat bileşiklerinin çözülmesiyle oluşan sertliğe “geçici sertlik”, bu bileşikler dışında kalan tuzlardan meydana gelen sertliğe ise “kalıcı sertlik” denir. Geçici sertlik, suların kaynatılmasıyla sudaki CaCO_3 ve MgCO_3 ’ın çökeltilmesiyle giderilmektedir. Sulardaki kalıcı sertlik ise kaynatılmakla giderilmez. Sularda ölçülen geçici sertlik ile kalıcı sertliğin toplamı suyun toplam sertliğini verir. Suyun sertliğini ölçmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler şöyledir:

*1 Alman sertliği, 1 litre suda bulunan 10 mg/l CaO ’a karşılık gelmekte,

*1 Fransız sertliği ise 1 litre suda bulunan 10 mg/l CaCO_3 ’ a karşılık gelen sertlik veren tuz veya iyonun meydana getirdiği sertliktir.

“Toplam Fransız sertliği” suların içinde bulunan Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının mek/l cinsinden hesaplanan değerlerinin toplamının 5 katı olarak tanımlanmaktadır. Toplam Alman sertliği ise toplam Fransız sertliğinin 0.56 ile çarpılmasıyla bulunmaktadır. 1 İngiliz sertlik derecesi ise hesaplanan Fransız sertlik derecesinin 1.43 ile çarpımına eşittir (Yiğit, 2016). Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflaması Tablo 4.8 ve incelenen suların sertlik derecesi Tablo 4.9’ da verilmiştir.

Tablo 4.8. Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991; Yiğit2016).

Fransız Sertliği derecesi	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

Tablo 4.9. İncelenen su örneklerinin Fransız sertlik değerleri.

Örnek No	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-7	K-8	K-9	K-10	K-11
Fransız Sertlik Derecesi	16,5	12,85	3,5	10,35	14,65	25,65	12,55	12,75	21,5	16,25	18,05

İncelenen kaynaklardan K-3 numaralı örnek ‘‘çok yumuşak’’ sular, K-2, K-4, K-7 ve K-8 numaralı örnekler ‘‘yumuşak’’ sular, K-1, K-5, K-9, K-10 ve K-11 numaralı örnekler ‘‘az sert’’ sular ve K-6 numaralı örnek ‘‘oldukça sert’’ sular sınıfına girmektedir.

4.4.1. Sularda bulunan başlıca iyonlar ve kökenleri

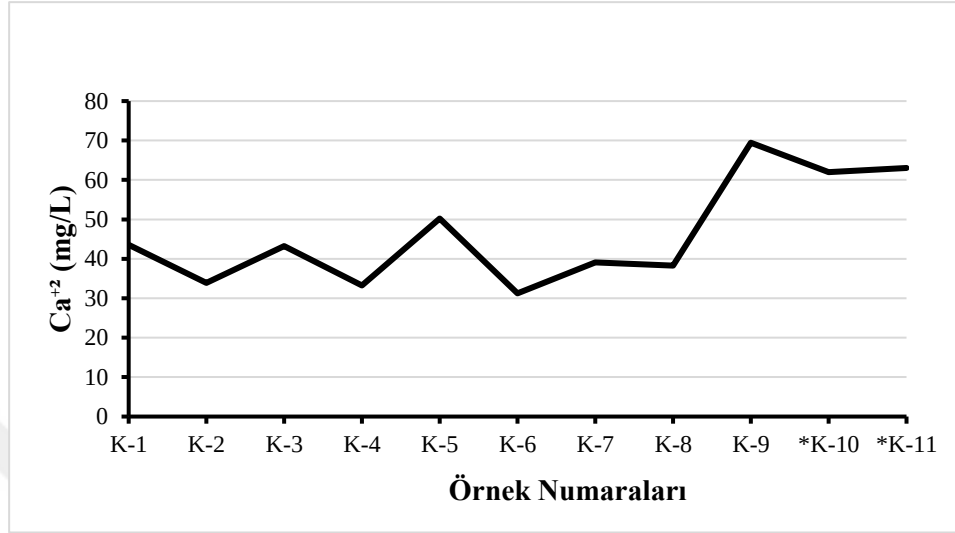
Yeraltı sularının kullanılabilme özelliklerini ve kullanım alanlarını belirlemede sularının kimyasal bileşimi büyük önem taşımaktadır. Suların kimyasal bileşimi; temas halinde olduğu kayacın kimyasal bileşimine, suların akım hızına, suların dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığına, ortamın basıncına, iyon etkinliğine, ortamın pH'ına bağlıdır. Yeraltı suyu içerisinde bulunan anyon ve katyonların başlıcaları Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- dir.

Suların başlıca katyonu olan Ca^{+2} 'un doğadaki kaynakları karbonatlar (kireçtaşı ve mermer), aragonit, dolomit, jips, anhidrit ve apatit mineralleridir. Ayrıca silikat içeren kayalarda da %1-10 oranında Ca^{+2} içeren kalsiyum silikatlar şeklinde bulunur. 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 iyondur. Ca^{+2} 'lu sularda karbonat ve sülfat da bulunursa CaCO_3 ve CaSO_4 çökelerek kabuk meydana getirir. Ca^{+2} , sulama sularında toprağın yapısı ve geçirgenliği yönünden yararlıdır (Şahinci, 1991; Aydınoglu, 2019).

Çalışma alanında incelenen sularda Ca^{+2} iyonunun kökenini, bölgede yüzeyleme veren Malatya Metamorfitleti'ne ait rekristalize kireçtaşlarındaki CaCO_3 'larda bulunan Ca^{+2} iyonunun çözünmesi oluşturmaktadır. Ayrıca, bölgede ki aktif tektonizma ile ilişkili olarak çalışma alanında yüzeyleme veren kayalarda oluşmuş kırık ve çatlaklar boyunca ikincil kalsit oluşumları da sulardaki Ca^{+2} iyonunun kökenini oluşturmaktadır.

İncelenen suların Ca^{+2} konsantrasyonu K-1, K-3, K-5, K-9, K-10, K-11 numaralı su örneklerinde yüksektir (Şekil 4.22). K-1 ve K-3 numaralı su örneklerinde tespit edilen yüksek konsantrasyonlardaki Ca^{+2} iyonu Maden Karmaşığı'na ait volkano-sedimanter kayalardaki silikat minerallerinin bünyesinde bulunan Ca^{+2} iyonunun çözünmesiyle ilişkilidir. K-9, K-10 ve K-11 numaralı su örneklerinde tespit edilen yüksek konsantrasyonlardaki Ca^{+2} iyonu, kaynağın beslenme alanında yüzeyleyen Malatya Metamorfitleti'ne ait rekristalize kireçtaşlarının çözünmesi ve bu kayalardaki ikincil kalsit dolguların bünyesinde bulunan Ca^{+2} 'un suya geçmesiyle oluştuğu

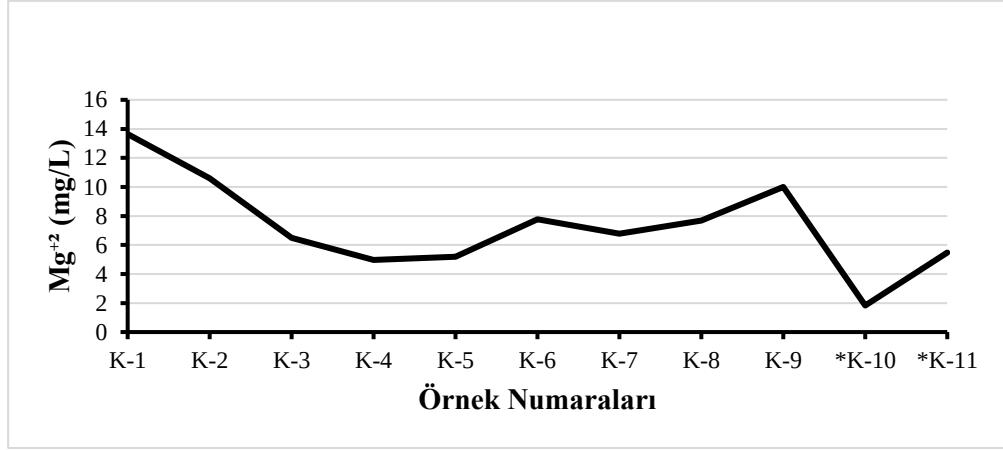
düşünülmektedir. Analiz sonuçlarında yüksek konsantrasyonlarda belirlenen Ca^{+2} , yeraltı sularının daha uzun süre kayaç-su etkileşimine maruz kaldığını göstermektedir.



Şekil.4.22. İnceleme alanındaki suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonları

Yerkabuğunda fazlaca bulunan Mg^{+2} 'un sulardaki kaynağı; magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, horblend, ojit), dolomit ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin ve talk gibi mineralleridir. Asidik magma kökenli kayalarda Mg^{+2} , mika ve bir kısım amfibollerde; bazik kayalarda olivin ve piroksenlerde bulunur. Mg^{+2} suyun sertliğini meydana getiren iyonlardan biridir. Suda bulunan CO_2 , karbonatlı ve silikatlı minerallerin bünyesindeki Mg^{+2} ' un suya geçmesinde rol oynar. Mg^{+2} un sülfat ve klorürleri suda rahat çözünür (Şahinci, 1991). Magnezyumun yeraltı sularında ki en yüksek sınır değeri 125 mg/l olmalıdır. Suların bu değerden fazla magnezyum içermesi suyu acılaştırmakta, bununla birlikte bitkilerin gelişmesinde ve sodyum artışından doğacak zararları önlemesinde de yararlıdır. Çalışma alanında incelenen sularda Mg^{+2} iyonunun kökenini, bölgede yüzeyleme veren Malatya Metamorfitleri içerisindeki dolomitli seviyelerden kaynaklanmaktadır.

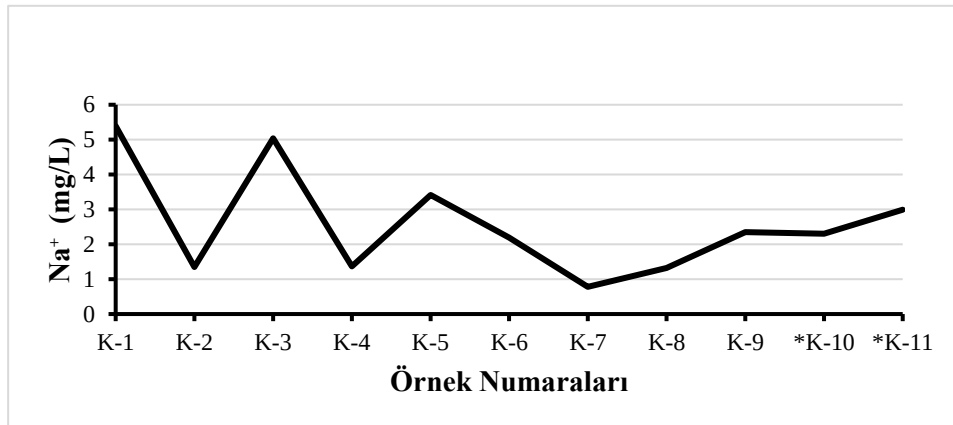
İncelenen suların Mg^{+2} iyon konsantrasyonları K-1, K-2, K-6, K-8 ve K-9 numaralı su örneklerinde yüksektir (Şekil 4.23). K-1 ve K-2 numaralı su örneklerinde tespit edilen yüksek konsantrasyonlardaki Mg^{+2} iyonu Maden Karmaşığı'na ait volkano-sedimanter kayalarındaki Mg-silikat minerallerinin çözünmesiyle yeraltı sularına geçmektedir. K-6, K-8 ve K-9 numaralı su örneklerinde tespit edilen yüksek konsantrasyonlardaki Mg^{+2} iyonu kaynağın beslenme alanında yüzeyleyen Malatya Metamorfitleri'ni oluşturan rekristalize kireçtaşlarındaki dolomitik seviyelerin bünyesinde bulunan Mg^{+2} 'un suya geçmesiyle oluşmaktadır.



Şekil 4.23. İnceleme alanındaki suların Mg⁺² iyon konsantrasyonları

Yerkabuğunda fazlaca bulunan elementlerden biri de Na⁺ dur. NaCl deniz suyunda %2,6 – 2,7 arasında bulunur ve jeolojik dönemlerde bazı suların çekilmesi ve kalın kil tabakası ile örtülmesi sonucu kaya tuzu madeni oluşmuştur. Sulardaki Na⁺’un, yine sulardaki toplam katyona oranı ile elde edilen % Na⁺ değeri tarımsal açıdan önemlidir ve Na⁺’un yüksek olması geçirgenliği etkilemektedir. Na⁺ fazlalığı endüstriyel ve evsel kirlenme, toprak yapısı ve deniz katkısından kaynaklanabilmekte ve bu fazlalık tat problemi oluşturup tuzluluk hissi vermektedir (Şahinci, 1991; Aydınoglu, 2019).

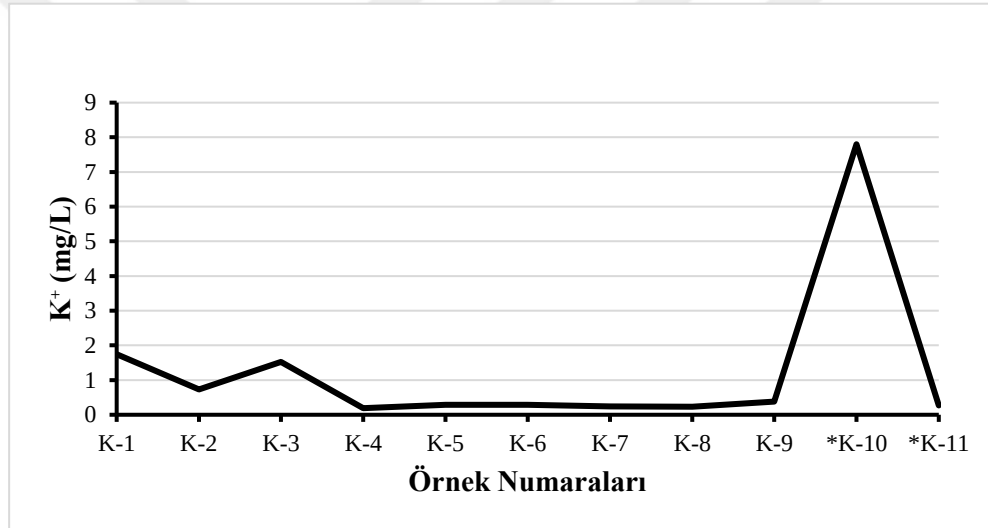
Genel olarak incelenen sularda Na⁺ iyonunun kaynağını Maden Karmaşığı’na ait volkano-sedimanter birimler ile Malatya Metamorfikleri içerisindeki Na⁺’lu feldispatların çözünmesi oluşturmaktadır. İncelenen suların Na⁺ iyon konsantrasyonları K-1, K-3 ve K-5 numaralı su örneklerinde daha yüksektir (Şekil 4.24). Bu sularda yüksek konsantrasyonlardaki Na⁺ iyonun kaynağının suların kaynak çıkış yerleri yakınında bulunan bindirme hatları boyunca oluşan alterasyon mineralleri olduğu da söylenebilir.



Şekil 4.24. İnceleme alanındaki suların Na⁺ iyon konsantrasyonları

K⁺ yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden biri olmasına rağmen doğal sulara K⁺ miktarı azdır. Bazı jeokimyasal prosesler ve absorpsiyon nedeniyle K⁺ toprakta kalır ve suya fazlaca geçmez. Suların çoğunluğundaki K⁺ miktarı litrede 0,5 miliekivalan (mek/l)'den daha azdır. Ancak daha yoğun konsantrasyonlarda K⁺'un bulunduğu da görülebilir. Bu durum suyun bulunduğu jeolojik ortam ile ilgilidir (Kahvecioğlu ve diğ., 2003; Aydınoglu, 2019).

İncelenen suların K⁺ iyon konsantrasyonları genel olarak birbirine yakın ve düşük oranlarda ölçülmüştür. Sulara K⁺'nın kaynağını Malatya Metamorfikleri'ne ve Maden Karmaşığı'na ait kayaçların bünyesinde bulunan K⁺'lu feldspatların, ayrıca ana fay hatları boyunca oluşan K⁺ bileşimli alterasyon ve kil minerallerinin çözünmesi oluşturmaktadır. K-10 kaynağında K⁺ iyon konsantrasyonunun diğer sulara göre daha yüksek olması bu kaynak yakınında tarım arazilerinde kullanılan kimyasal gübrelerle de ilişkili olmalıdır (Şekil 4.25).



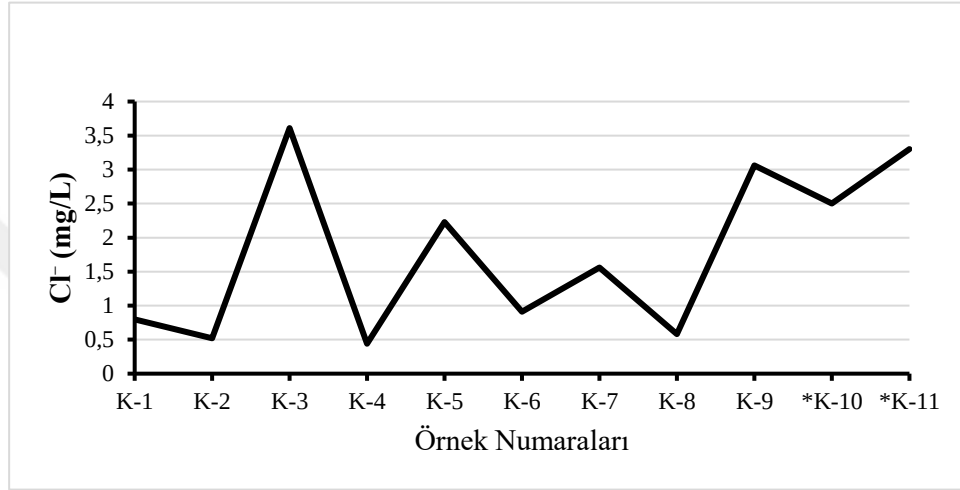
Şekil 4.25. İnceleme alanındaki suların K⁺ iyon konsantrasyonları

Sularda en çok bulunan iyonlardan bir diğeri de Cl⁻ iyonudur. Cl⁻ tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan bütün doğal sulara bulunan iyonlardan biridir. Suyun tadına etki eden önemli bir iyonudur.

150 ppm' den daha az Cl⁻ içeren sular her türlü kullanımda tercih edilirken, bu değer 500 ppm' den fazla olduğunda suyun tadı bozulmaktadır. Sularda aniden yükselen Cl⁻ konsantrasyonu o suyun etkilendiğini gösterir. Yağış suları az çok Cl⁻ içerdiklerinden yeraltı sularındaki Cl⁻ konsantrasyonundaki azalma yalnızca yağmura bağlı olabilir. Bu da kaynak sularının izlenmesine yardımcı veri olabilir. Zemin içine süzülen bu sular, akım yolları boyunca geçtikleri kayaçların içindeki Cl⁻ tuzlarını çözündürerek klorür bakımından zenginleşirler. Özellikle klorür zenginleşmesi, buharlaşma ve terleme nedeniyle, su ihtiva eden ana kayanın üst seviyelerinde fazladır. Yeraltına

süzülen sular su tablasına erişinceye kadar Cl^- ve diğer tuzlarla daha da zenginleşirler (Şahinci, 1971; Aydınöğlu, 2019).

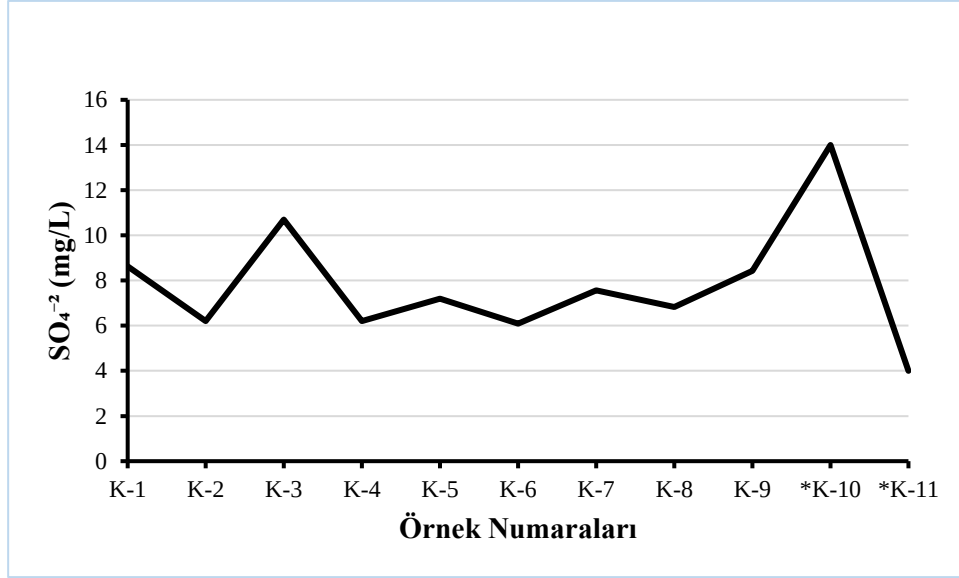
İncelenen suların Cl^- iyon konsantrasyonları K-3, K-5, K-9, K-10 ve K-11 numaralı su örneklerinde yüksektir (Şekil 4.26). Sulardaki Cl^- iyonunun kökenini yağış suları ile metamorfik kayaçlar ile volkano-sedimanter kayaçlar içerisinde bulunan Cl^- ce zengin minerallerin çözündürmesi oluşturmaktadır.



Şekil 4.26. İnceleme alanındaki suların Cl^- iyon konsantrasyonları

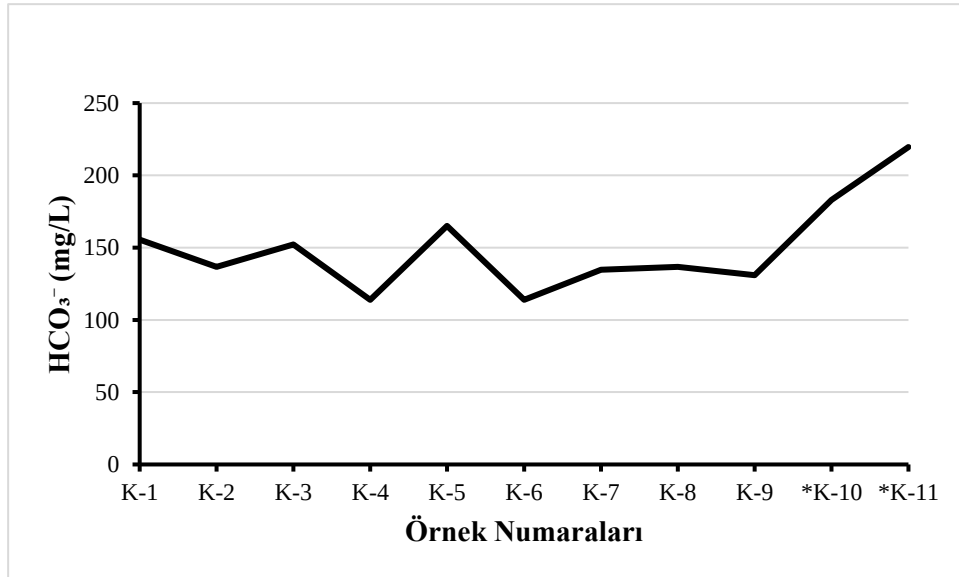
Sularda bulunan SO_4^{2-} iyonunun başlıca kaynakları volkanlar, oksitlenmiş piritler, jips ve anhidritler ile organik maddelerin bozunumudur. SO_4^{2-} 'ün yeraltı sularına büyük oranda jips ve anhidritten geçmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)$, MgSO_4 ve Na_2SO_4 tan ileri gelebilir. İçme sularında SO_4^{2-} miktarı 200-400 mg/l arasındadır. SO_4^{2-} tarımda toprağın tuzluluğunu artırması dışında zararlı bir etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/l'ye kadar olan miktardaki bitki beslenmesi için faydalı, 500 mg/l'yi geçtiğinde zararlı olmaya başlar (Erguvanlı vd., 1973).

İncelenen suların SO_4^{2-} iyon içeriklerinin dağılımı Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Sulardaki SO_4^{2-} iyonu, metamorfik kayaçların ve volkano-sedimanter kayaçların içerisinde bulunan piritin (FeS_2) oksidasyonu ile oluşan FeSO_4 ile ilişkilidir. K-10 numaralı su örneğinde ölçülen yüksek SO_4^{2-} konsantrasyonu, su-kayaç etkileşiminin yanı sıra tarım arazilerinde kullanılan gübrelerle de ilişkilidir.



Şekil 4.27. İnceleme alanındaki suların SO₄²⁻ iyon konsantrasyonları

Yeraltı sularındaki CO₃²⁻ ve HCO₃⁻ iyonları çoğunlukla atmosferde ve toprakta bulunan CO₂'ten ve suların içinde yol aldığı karbonatlı seviyelerin erimesinden oluşmakla beraber, sulardaki CO₃²⁻ ve HCO₃⁻ miktarı suyun CO₂ miktarına ve suyun pH'ına bağlıdır. İncelenen suların HCO₃⁻ iyon konsantrasyonları Şekil 4.28'te verilmiştir. Örneklemeleri yapılan sulardaki HCO₃⁻ iyonu bölgede geniş alanlarda yüzeylemeler veren rekristalize kireçtaşlarının CO₂'li sular tarafından çözünmesi sonucu yeraltı sularına geçmiştir.



Şekil 4.28. İnceleme alanındaki suların HCO₃⁻ iyon konsantrasyonları

4.4.2. Kimyasal Analizlerinin Diyagramlarda Değerlendirilmesi

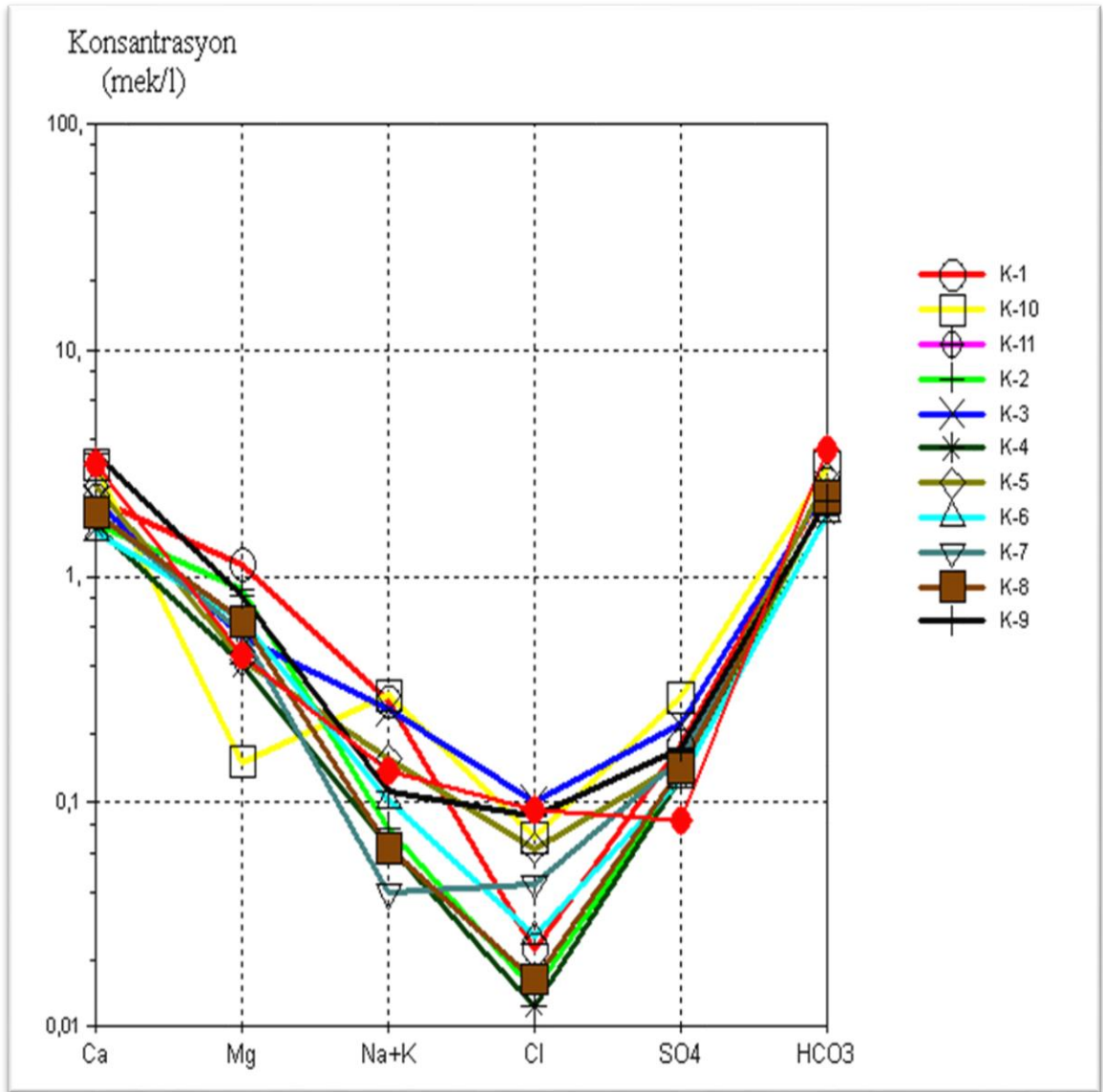
Yeraltı suları, akım yolu boyunca hareket ettikçe içinde bulunduğu akiferleri oluşturan kayaların elementlerini çözerek bünyesine almakta ve içinden geçtiği kayaların genel kimyasal özelliklerini taşımaktadır. Yapılan hidrojeokimya çalışmalarında, farklı akiferlere ait yeraltı suyu örneklerinin ayırt edilmesinde, yeraltı sularının hidrojeokimyasal olarak kökeninin belirlenmesinde, yeraltı suyunda akım yolu boyunca meydana gelecek hidrokimyasal değişimlerin incelenmesinde ve farklı yeraltı suyu örneklerinin birbirleri ile olan ilişkilerin tespit edilmesinde çeşitli diyagramlar kullanılmaktadır. Bu diyagramlardan en sık kullanılanlar Piper (1944) ve Schoeller (1962) diyagramlarıdır.

Schoeller Diyagramı

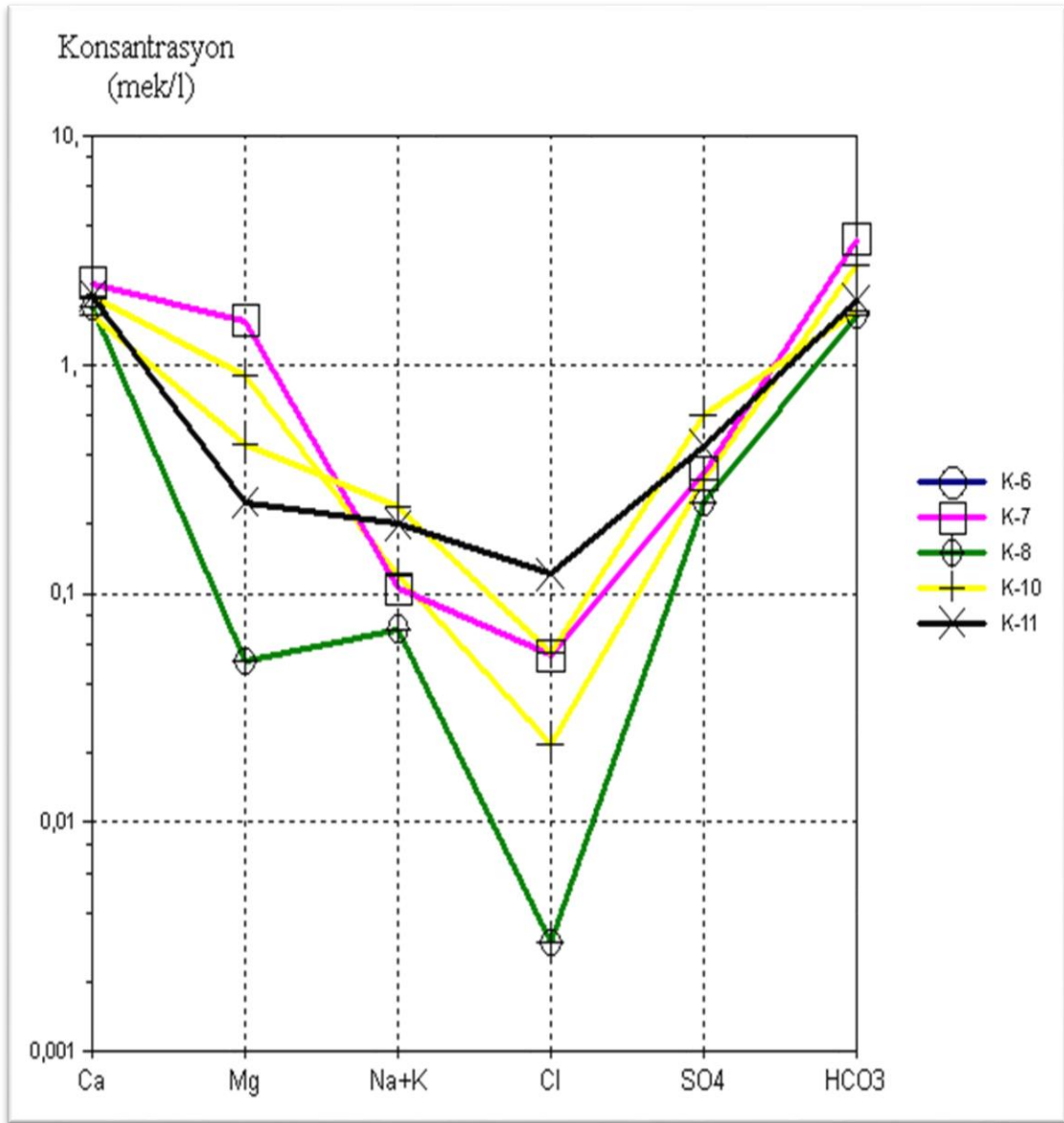
Çalışma alanında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini belirlemek, anyon ve katyon miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirebilmek için yarı logaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır. Diyagramın yatay eksen aritmetik, dikey eksen ise logaritmiktir. Bu sınıflama da grafikler hazırlanırken, yatay eksen aritmetik ölçekli olan diyagram üzerine sırasıyla Ca^+ , Mg^+ , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^- ve HCO_3^- iyonlarının mek/l değerleri işaretlenerek birleştirilir.

Su örneklerinin Kasım (2021) yılına ait kimyasal analiz sonuçlarına göre Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 4.29). Çizilen Schoeller diyagramlarında K-1, K-2, K-3, K-4, K-5 numaralı suların iyonlarını birleştiren doğrular ile, K-6, K-7, K-8, K-9, K-10 ve K-11 numaralı suların iyonları birleştiren doğrular birbirlerine paralel ya da paralele yakın olduğundan, bu kaynakların benzer litolojideki akiferlerden beslendiğini görülmektedir.

DSİ'nin geçmişe dönük analizleri derlenerek Mayıs-2010 yılına ait su analizleri değerlendirilmiş ve Schoeller diyagramına aktarılmıştır (Şekil 4.30). Yağışlı dönemi temsil eden Mayıs ayı için çizilen diyagramda K-6, K-7, K-8, K-10 ve K-11 numaralı su örneklerinde iyonları birleştiren doğrular birbirlerine paralel ya da paralele yakın olduğundan, bu kaynakların benzer litolojideki akiferlerden beslendiğini göstermektedir.



Şekil 4.29. İncelenen suların Kasım (2021) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi



Şekil 4.30. İncelenen suların Mayıs (2010) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi

Çalışma kapsamında incelenen suların su tipleri AquaChem bilgisayar programı yardımıyla belirlenmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Örneklenen suların kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri (Kasım-2021)

Örnek Numarası	Su Tipi
K-1	Ca-Mg-HCO ₃
K-2	Ca-Mg-HCO ₃
K-3	Ca-HCO ₃
K-4	Ca-HCO ₃
K-5	Ca-HCO ₃
K-6	Ca-Mg-HCO ₃
K-7	Ca-Mg-HCO ₃
K-8	Ca-Mg-HCO ₃
K-9	Ca-Mg-HCO ₃
K-10*	Ca-HCO ₃
K-11*	Ca-HCO ₃

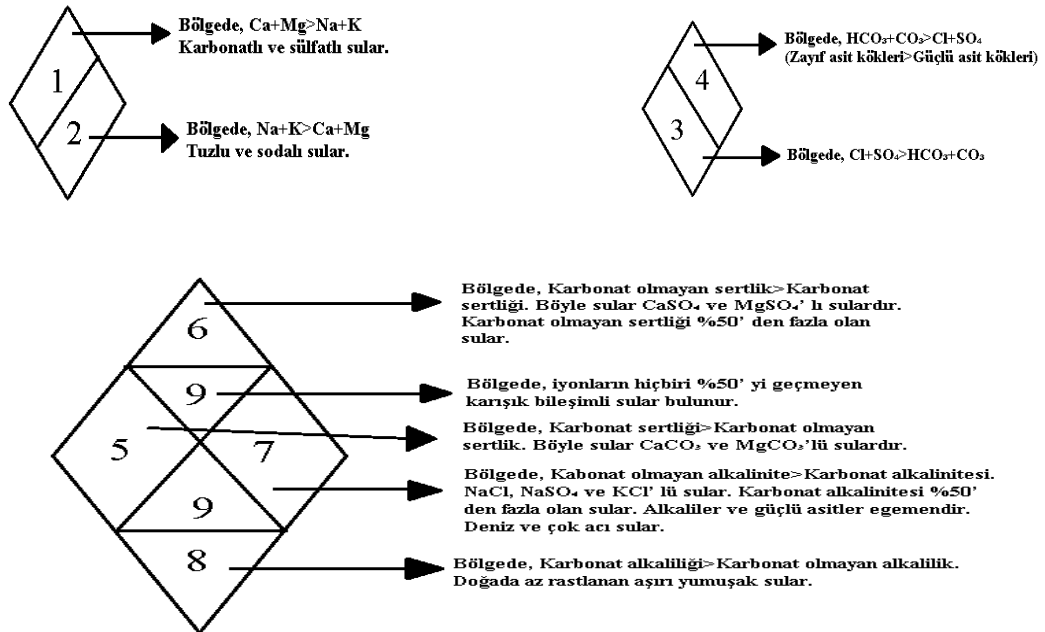
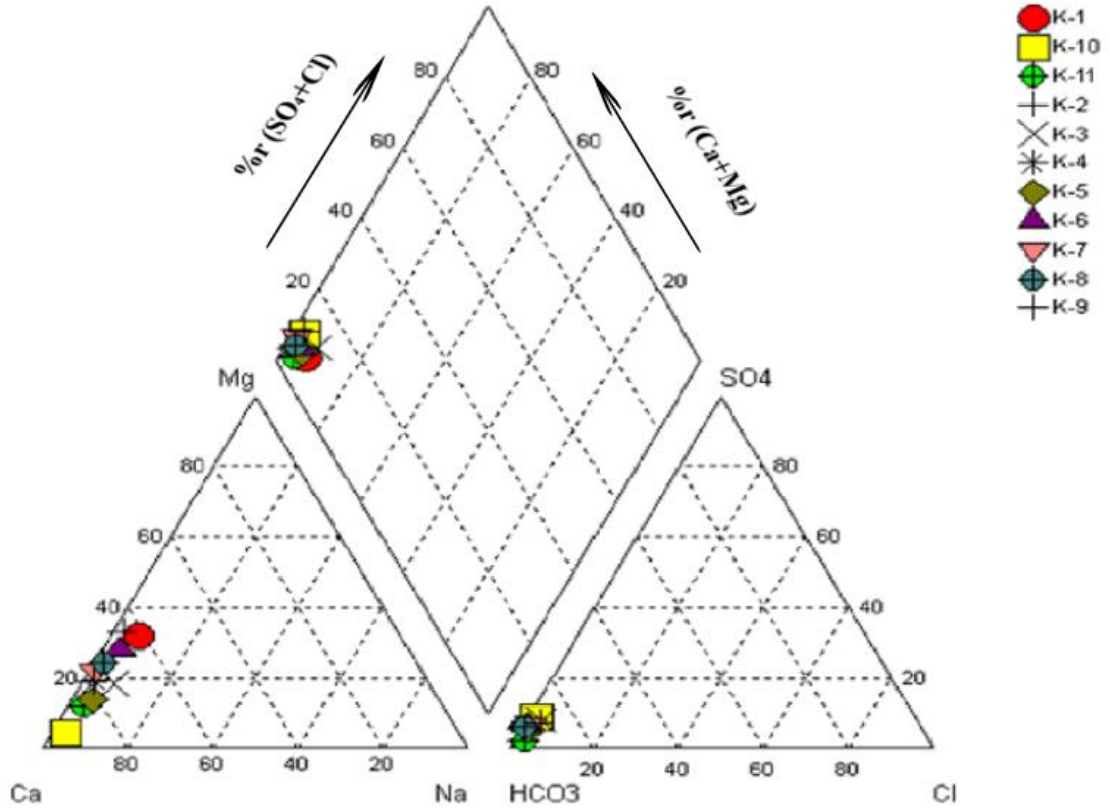
Çalışma alanında incelenen sularda K-1, K-2, K-6, K-7, K-8 ve K-9 numaralı örnekler Ca-Mg-HCO₃ ve K-3, K-4, K-5, K-10 ve K-11 numaralı örnekler ise Ca-HCO₃ su tipindedir. K-3, K-4, K-5, K-10 ve K-11 numaralı su kaynaklarının Ca-HCO₃ tipinde olması suların metamorfikler ile volkano-sedimanter birimlere ait karbonat bileşimli kayalardaki kalsit mineralleri ile daha fazla etkileşime girdiğini işaret etmektedir. Diğer kaynak sularında Mg⁺² iyonunun varlığı Maden Karmaşığı'na ait volkanikler ile Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşları içerisindeki dolomitik seviyeler ile yeraltı sularının etkileşim sürecinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

Piper Diyagramı

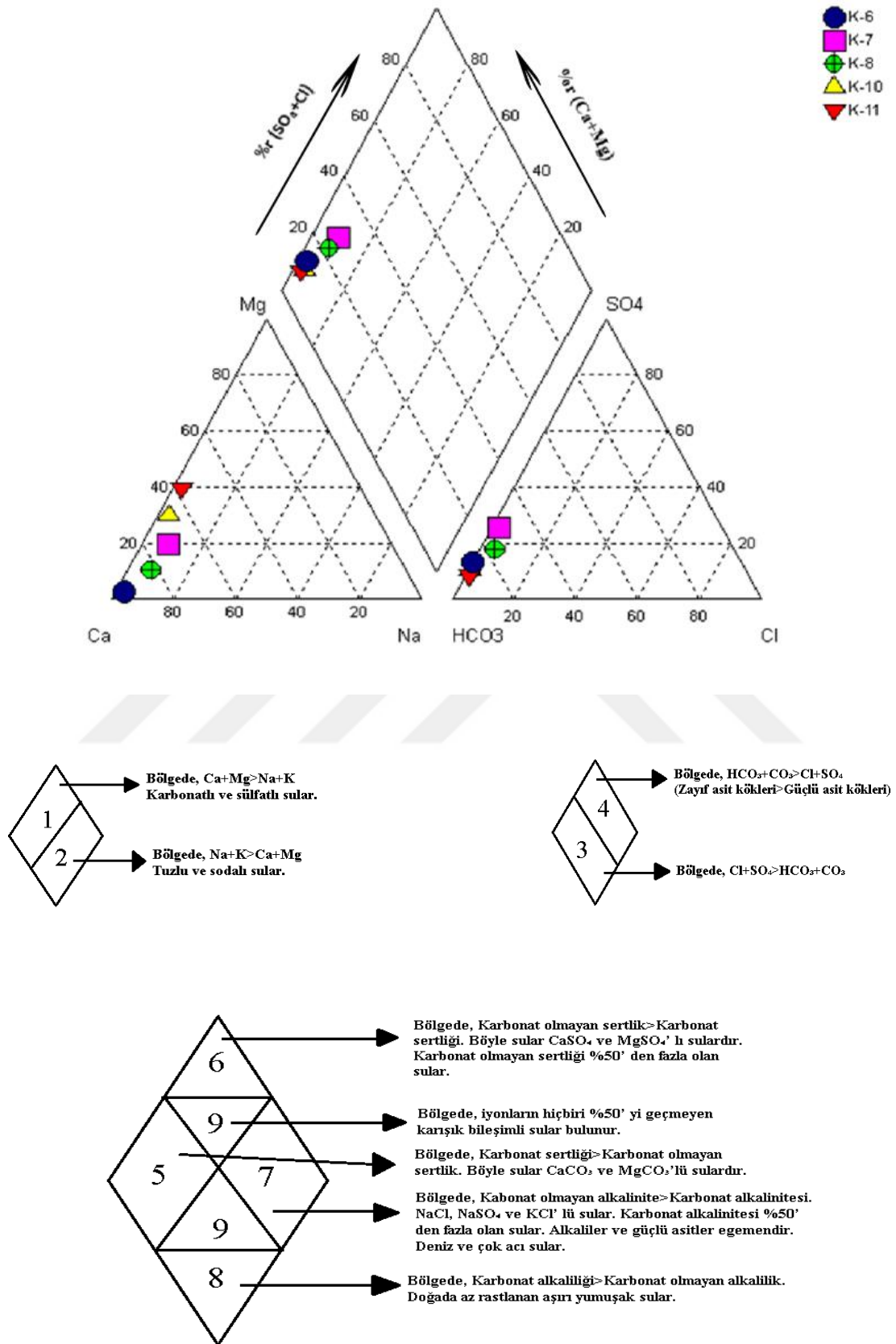
Piper diyagramı benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması ve bütün iyonların tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide sık kullanılan bir diyagramdır. Bu diyagramlar hazırlanırken anyon ve katyonlar %mek/l cinsinden hesaplanarak üçgenlere işaretlenir ve bulunan bu noktalar iki üçgenin üzerine çizilen eşkenar dörtgene taşınarak suyun sınıfı belirlenir (Şekil 4.31). Üçgen diyagramlara işaretlenen değerlerin gösterdiği bölgeler suların fasiyes tiplerinin belirlenmesinde, eşkenar dörtgende işaretlenen değerlerin gösterdiği bölgeler ise suların sınıflandırılmasında ve karşılaştırılmasında bizlere yardımcı olmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde bulunan kaynak sularının Kasım (2021) yılına ait analiz sonuçlarına göre çizilen Piper diyagramları Şekil 4.31'te verilmiştir. İncelenen suların genel olarak 5. Bölgede gruplanmışlardır. Bu bölge sularının karbonat sertliği %50'den fazla olmakla beraber bunlar CaCO₃ ve MgCO₃'lü sular olarak sınıflandırılmaktadır. DSI'nin geçmişe dönük analizleri derlenerek Mayıs (2010) yılına ait alınan su analizleri değerlendirilmiş ve Piper diyagramına aktarılmıştır. Çalışma alanı içerisinde bulunan kaynak sularının Mayıs ayı analiz sonuçlarına göre çizilen Piper

diyagramında sular genel olarak 5. Bölgede gruplanmışlardır. Bu bölge sularının karbonat sertliği %50'den fazla olmakla beraber bunlar CaCO_3 ve MgCO_3 'lü sular olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 4.32)



Şekil 4.31. İncelenen suların Piper diyagramı üzerinde dağılımları (Kasım-2021)



Şekil 4.32. İncelenen suların Mayıs (2010) ayı kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramındaki dağılımları

4.4.3. Suların Sulamada Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi

Yüzey ve yeraltı sularının tarımda sulama amaçlı kullanılması için kimyasal özelliklerinin belirli kriterlere uygun olması gerekmektedir. Çünkü suların kimyasal özellikleri kullanıldıkları toprak ve bitki üzerinde doğrudan etkilidir. Sulama amaçlı kullanılacak suların içerisindeki bazı iyon değerlerinin gerekenden yüksek olması toprak ve bitkileri etkilemekte ve düşük verim alınmasına neden olmaktadır. Bu iyonların başında Na^+ gelmekte ve sulama sularının içindeki Na^+ miktarının mutlaka bilinmesi gerekmektedir (Yiğit, 2016). Çalışma kapsamında incelenen suların sulama amaçlı kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

Tarımsal sulama amaçlı kullanılacak suların Na^+ iyonuna göre sınıflandırılmasında ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen kaynakların $25^{\circ}C$ 'deki elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranları (SAR) hesaplanarak ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları hazırlanmıştır. Sodyum adsorbsiyon (SAR) değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

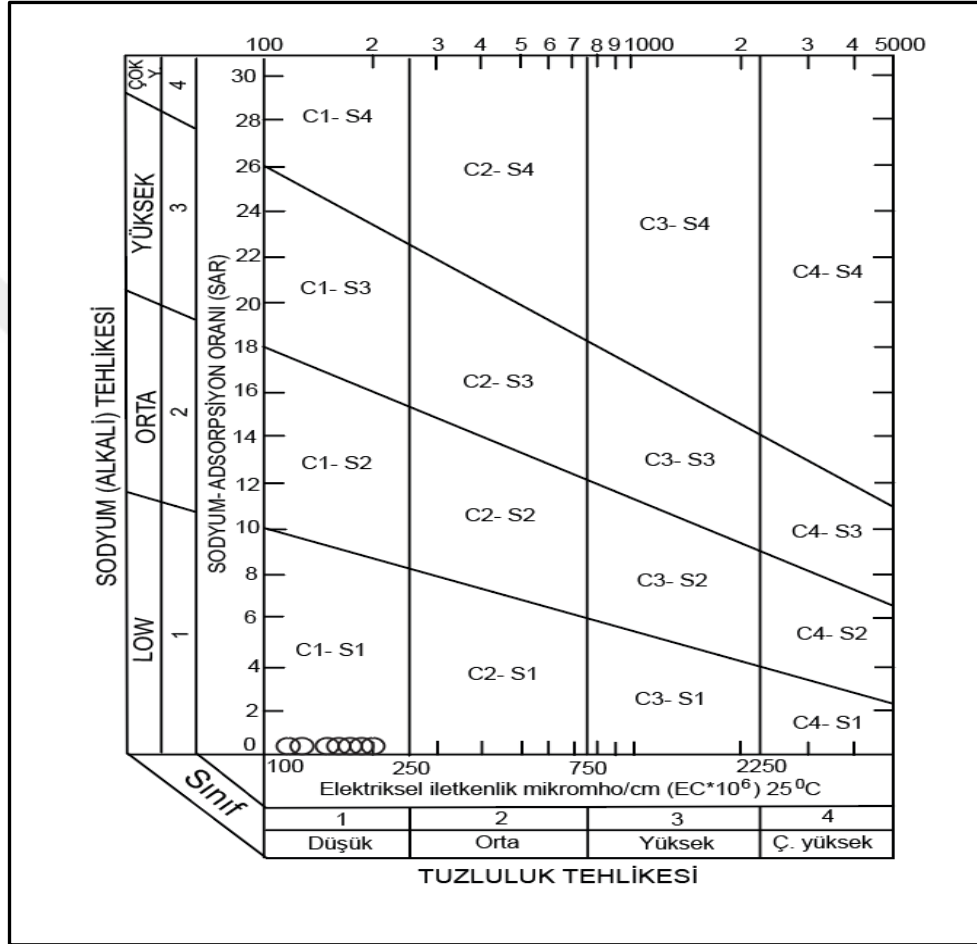
$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{+2} + rMg^{+2}}{2}}}$$

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı, tuzluluk ve sodyum tehlike derecesine göre 16 bölgeye ayrılmış olup (Tablo.4.11) hangi bölgedeki sudan hangi bitkilerin yararlanacağı belirlenmiştir (Canik, 2007).

Tablo 4.11. Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması

Tuzluluğa göre alt sınıflar		Sodyum miktarına göre alt sınıflar	
C ₁	Az tuzlu olan su. Bitkilerinin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.	S ₁	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun.
C ₂	Orta tuzlulukta olan su. Orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilir.	S ₂	Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
C ₃	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.	S ₃	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.
C ₄	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenajı yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetiştirilebilir.	S ₄	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz.

Çalışma kapsamında incelenen sular için yapılan analiz sonuçlarına göre çizilen ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında bütün sular C₁-S₁ sınıfında gruplanmıştır (Şekil 4.33). C₁-S₁ sınıfında yer alan sular düşük derecede tuzlu ve düşük derecede sodyumlu sulardır. Bu sular sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygundur.



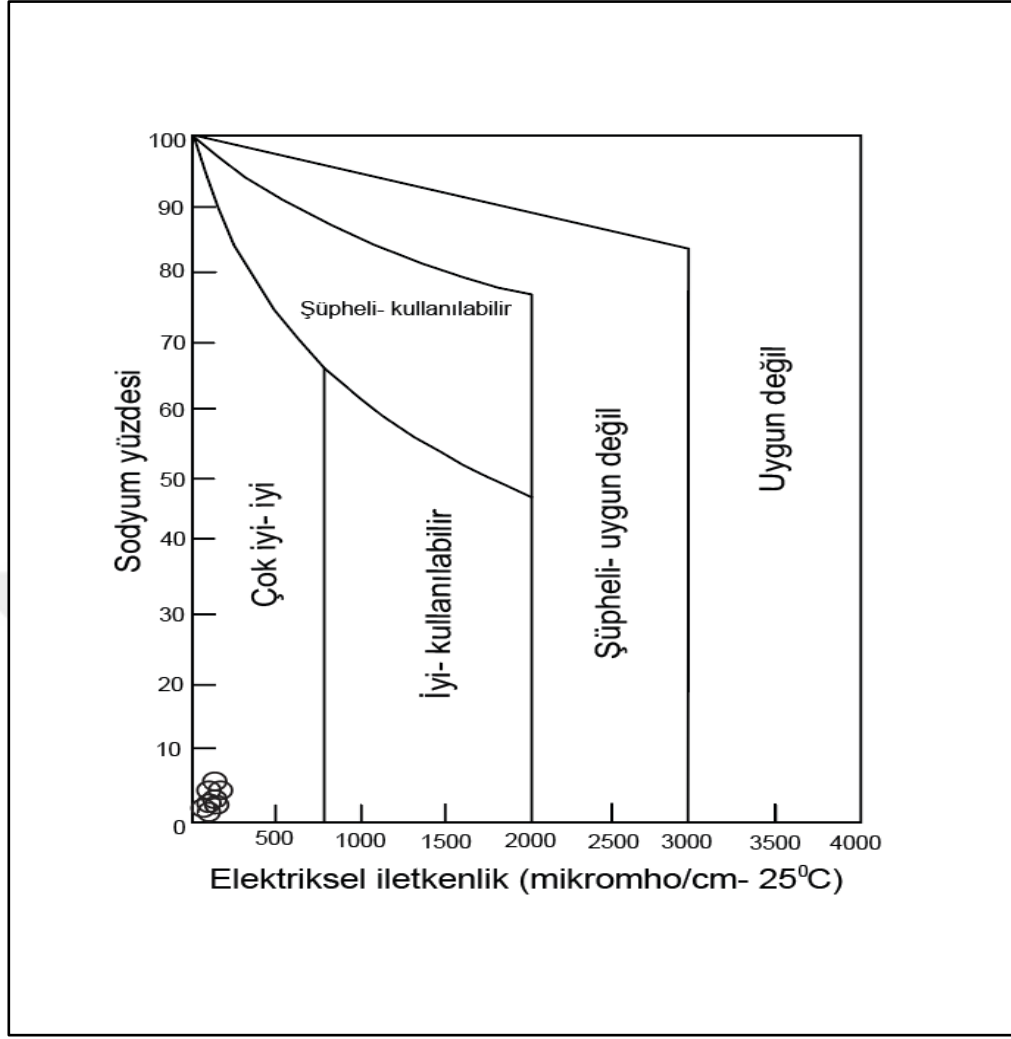
Şekil 4.33. İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Kasım-2021)

Wilcox diyagramı

Suların elektriksel iletkenlik değeri ve sodyum yüzdeleri (%Na) kullanılarak Wilcox diyagramı, çizilmiştir. %Na değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\%rNa = \frac{(RNa^{+} + rK^{+}) * 100}{(RCa^{+2} + RMg^{+2} + RNa^{+} + rK^{+})}$$

Suların kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Wilcox diyagramında incelenen bütün sular “çok iyi” sular grubuna girmektedirler (Şekil 4.34).



Şekil 4.34. İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Kasım-2021).

4.4.4. Suların içme suyu açısından değerlendirilmesi

Yeraltı suları kirlenmeye karşı yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Sudaki kirlilik jeolojik kökenli veya insan kaynaklı dış etkenlerden olabilmektedir. Jeolojik kökenli kirlilik; suların içerisinde geçtikleri kayalarla etkileşimleri ile bünyelerine kayalardan aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde bulunan elementlerin miktarı etkileşim halinde oldukları kayaca, etkileşim süresine ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Yeraltı suları kirliliğini oluşturan en büyük etkenler ise; insan kaynaklı dış etkenler olarak ifade edilen, katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir (Örmeci, 2005). Sularda ki kirliliğin tespiti için kirlilik parametrelerinin kimyasal analizler yardımıyla tespit edilmesi gerekmektedir. Yeraltı sularında çok rastlanan kirletici maddeler azot bileşikler olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman, 1987; Güven, 2013).

Çalışma alanı ve yakın çevresinde 9 su örneğinin NH_4^+ , NO_3^- ve NO_2^- analizleri yapılmıştır. (Tablo 4.12).

Tablo 4.12. İncelenen suların NH_4^+ , NO_3^- ve NO_2^- konsantrasyonları (Kasım-2021)

Örnek Numarası	Örnek Adı	Amonyum (mg/L) (NH_4^+)	Nitrat (mg/L) (NO_3^-)	Nitrit (mg/L) (NO_2^-)
K-1	Şelale-2	0,4734	2,7943	0,0020
K-2	Şelale-1	0,0411	3,8861	0,0202
K-3	Şirinsu	0,0070	18,3731	0,0317
K-4	Çınar	0,0042	3,8861	0,0123
K-5	Mestan	0,0069	11,1947	0,0040
K-6	Mir	0,0122	4,7827	0,0206
K-7	Zerban	0,0053	5,1827	0,0855
K-8	Havşari	0,0046	4,5382	0,0040
K-9	Çiğ (Sarıkaya)	0,0047	24,7509	0,0018
TS, 266 (2005)		0,500	50,0	0,500

Çalışma alanından alınan su örneklerinde NH_4^+ konsantrasyonu 0,0042–0,4734 mg/L, NO_3^- konsantrasyonu 2,7943–24,7509 mg/L, NO_2^- konsantrasyonu 0,0018–0,0855mg/l arasında değişim göstermektedir. İncelenen suların NH_4^+ , NO_3^- ve NO_2^- içerikleri Türk Standartları Enstitüsü (TS, 266-2005) tarafından belirtilen limit değerlerinin altında olduğu görülmektedir. K-3, K-5 ve K-9 numaralı sularda diğer sulara oranla daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen NO_3^- , bölgede tarım arazilerinde kullanılan kimyasal gübreler, arazi yüzeyinde açıkta depolanan hayvansal atıklar ve fosseptiklerle ilişkilidir.

İncelenen kaynakların metal içerikleri (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) çalışma alanında DSİ tarafından önceki yıllarda yapılmış çalışmalardan derlenerek yorumlanmıştır (Tablo 4.13). Mayıs 2011 yılında yapılmış analiz sonuçlarına göre kaynaklardaki As 0,40-1,70 ppb aralığında, Cd 1,20-208,80 ppb aralığında, Cr 1,10-4,40 ppb aralığında, Cu 5,90-614,10 aralığında, Fe 301,00-624,00 ppb aralığında, Mn 11,00-33,00 ppb aralığında, Pb 0,50-1,20 ppb aralığında ve Zn 0,50-72,20 ppb aralığında ölçülmüştür.

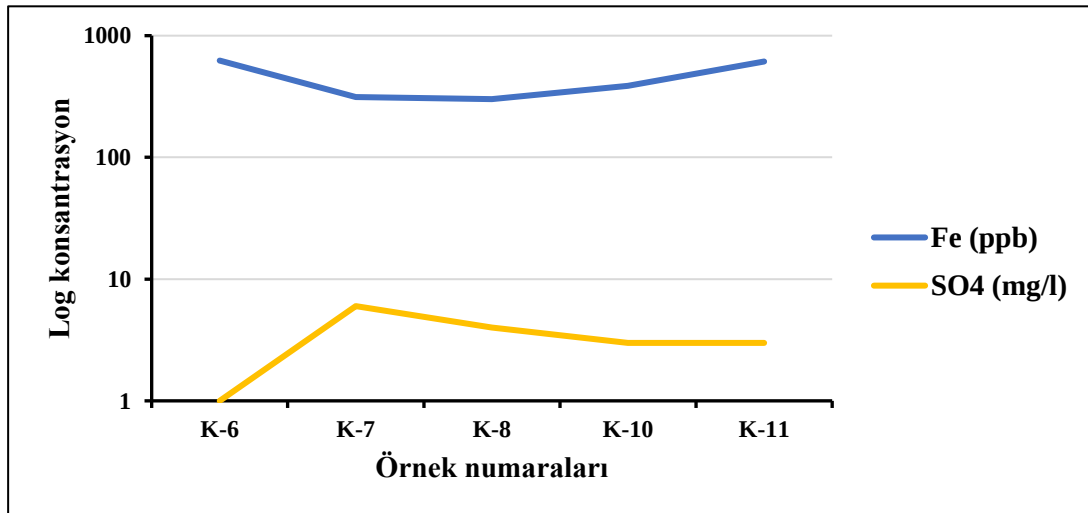
Kaynakların As, Cr, Cu, Mn, Pb ve Zn içerikleri TS, 266 (2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (2017) içme suyu standartları bakımından içmeye uygundur. Suların Cd ve Fe konsantrasyonları ise içme suyu standartları üst limit değerlerinin üzerinde belirlenmiştir (Tablo 4.13).

Tablo 4.13. İncelenen suların çeşitli metal analizleri (Mayıs, 2011)

Örnek Numarası	Örnek Yeri	As (ppb)	Cd (ppb)	Cr (ppb)	Cu (ppb)	Fe (ppb)	Mn (ppb)	Pb (ppb)	Zn (ppb)
K-6	Mir	0,40	208,80	1,20	7,80	624,00	33,00	1,20	72,20
K-7	Zerban	1,70	9,30	1,10	7,10	313,00	12,00	0,80	66,30
K-8	Havşari	1,10	17,10	1,40	6,20	301,00	12,00	0,70	0,70
K-10	Çokpınar	0,60	19,40	3,50	5,90	388,00	11,00	0,70	35,70
K-11	Balıksırtı	0,50	1,20	4,40	614,10	614,00	13,00	0,50	0,50
TS, 266 (2005) (ppb)		10,00	5,00	50,00	2000,00	200,00	50,00	10,00	3000,00
WHO (2017) (ppb)		10,00	3,00	50,00	1000,00	300,00	300,00	10,00	5000,00

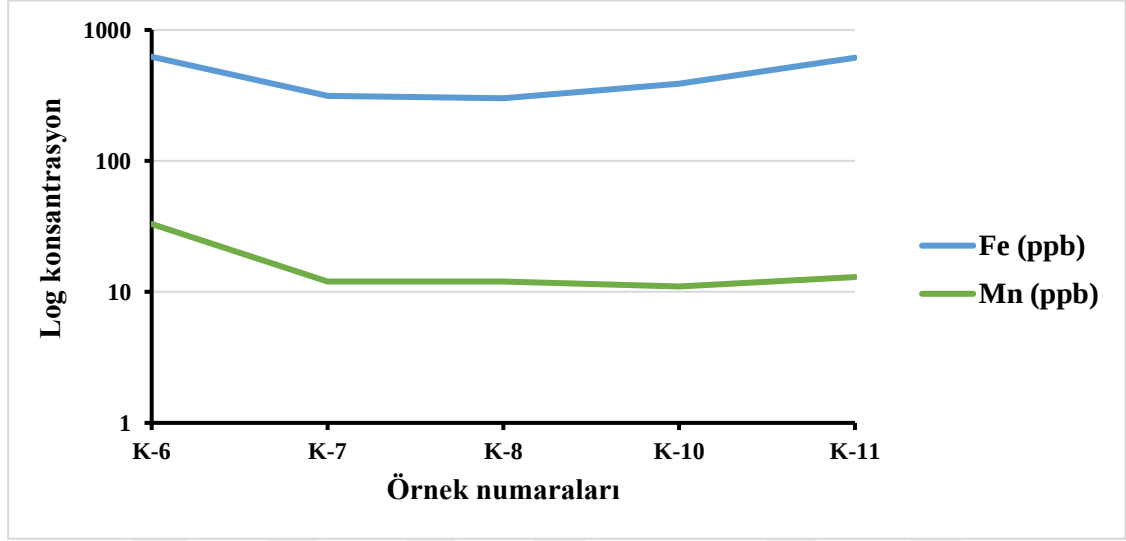
Sularda içme suyu standartları limit değerlerinin üzerinde belirlenen Fe ve Cd'nin kökenleri aşağıda açıklanmıştır.

Demir (Fe), magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir elementtir. Sularda bulunan Fe'in kökenini Malatya Metamorfikleri içerisinde bulunan Fe'li minerallerin çözünmesi oluşturmaktadır. İncelenen sularda Fe ile SO_4^{2-} arasında pozitif doğrusal bir ilişki olmadığından sularda Fe'in çalışma alanı içerisinde yüzeyleyen magmatik ve metamorfik kayalar içerisindeki Fe-sülfür minerallerinin oksidasyonu ile doğrudan ilişkili olmadığı söylenebilir (Şekil 4.35).



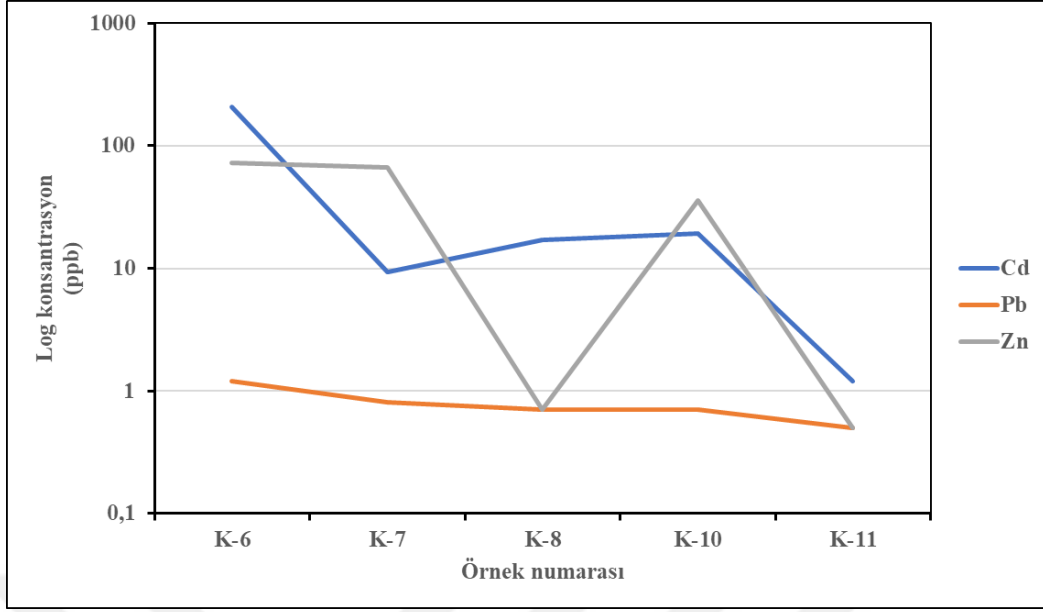
Şekil 4.35. İncelenen sularda Fe ve SO_4^{2-} konsantrasyonları arasındaki ilişki

Malatya Metamorfikleri'ne ait şistler ve rekristalize kireçtaşları içerisinde Fe cevherleşmeleri bulunmaktadır (Yapıcı ve Bahçeli, 2012; Yıldırım, 2013). Sulara bulunan yüksek konsantrasyonlardaki Fe'in diğer kökenini bu cevherleşmeler oluşturmaktadır. Kaynak sularında Fe ile Mn arasında gözlenen pozitif doğrusal ilişki bu elementlerin benzer kökenli olduğunu işaret etmektedir (Şekil 4.36). K-6 nolu Mir Kaynağı'nda diğer sulara oranla daha yüksek konsantrasyondaki Mn'un kökeni de Fe cevherleşmeleriyle ilişkilidir.



Şekil 4.36. İncelenen suların Fe ve Mn içerikleri arasındaki ilişki

Kadmiyum (Cd) mineralleri genellikle çinko (Zn) yataklarının bozunumundan ortaya çıkan kadmiyum iyonları tarafından oluşturulur. Kaynak sularında Cd, Zn ve Pb arasındaki ilişki Şekil 4.37'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Kaynak sularında Cd, Zn ve Pb arasındaki ilişki

Cd ile Pb arasındaki pozitif doğrusal ilişki, sularda bu elementlerin aynı kökenli olduğunu göstermektedir. Bölgede yüzeylemeleri görülen Maden Karmaşığı'na ait çamurtaşları içerisinde merccekler şeklinde gelişen demirli mangan cevherleşmelerinde önemli oranda Cu, Pb, Zn zenginleşmeleri de bulunmaktadır (Önal, 2000). Malatya Metamorfikleri'ne ait karbonatlı kayalar ile şeyllerin Zn, Cd, Pb'un ortalama konsantrasyonları, karbonat, kabuk ve şeyl ortalamasına göre oldukça yüksektir (Kara ve Sağıroğlu, 2018). Sularda yüksek konsantrasyonlarda belirlenen Cd'un kökeni yeraltı suyu-kayaç etkileşimi ve cevherleşmelerle ilişkilidir. İncelenen sularda bulunan metallerin, çalışma alanındaki doğrultu atımlı fay, çatlak ve bindirmeler gibi tektonik yapılara bağlı olarak oluşan alterasyon ve kil mineralleri ile ilişkili olduğu da düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çelikhhan Ovası çevresinde geniş alanlarda yüzeyleyen Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfitlelerine ait rekristalize kireçtaşları ile ovanın şekillenmesinde aktif rol oynayan sol yanal atımlı fay sistemlerinin etkisiyle bölgede yüksek debili birçok kaynak oluşmuştur. İncelenen kaynakların akifer birimini Malatya Metamorfitleleri'ne ait çatlaklı, kırıklı, karstik rekristalize kireçtaşları oluştururken, geçirimsiz seviyelerini ise metamorfitlelerin tabanında bulunan şistler oluşturmaktadır.

Zerban, Havşari ve Balıksırtı kaynaklarının uzun yıllar boyunca yapılan debi ölçümleri değerlendirildiğinde Zerban ve Havşari kaynaklarının debi değerlerinin Balıksırtı kaynağına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Balıksırtı Kaynağı'nın 2004-2014 yılları arasındaki debi ölçümleri yağış verileri ile eşleştirildiğinde, 2010 ve sonrasında debi değerlerinde yeterli yağış olmasına rağmen düşüş görülmüştür. Çelikhhan Ovası'nda su kuyularının çok fazla olması, özellikle Balıksırtı Kaynağı çevresinde bu kuyuların fazla açılmış olması ve Mayıs-Ekim ayları arası tarımsal sulamanın yoğun olarak yapılması kaynakta debi değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. İncelenen kaynakların veriminin sürdürülebilirliğinin sağlanması için ova içerisinde açılmış olan ruhsatlı veya ruhsatsız kuyular denetlenerek aşırı çekim yapılmamalıdır. Kullanılan kuyuların çekeceği su miktarı azaltılarak kaynaklardaki debi düşümlerinin önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca, ovada daha fazla kuyu açılmasına izin verilmemelidir.

İncelenen kaynakların yağışlardan beslenmediği, gerçek rejim dönemlerinde hesaplanan, boşalım kotları üzerindeki toplam rezervlerinin Adıyaman il merkezi nüfusunun (310.644 kişi) içme ve kullanma suyu gereksinimini 132 gün karşılayacağı belirlenmiştir.

Suların pH değerleri bazik karakterdedir. İncelenen kaynak suları içme amaçlı kullanıma ve tarımsal sulamaya uygundur. Suların kimyasal bileşimleri genel olarak yeraltı suyu- kayaç, yeraltı suyu- cevherleşme etkileşimi ile ilişkilidir. Ayrıca, çalışma alanındaki doğrultu atımlı fay, çatlak ve bindirmeler gibi tektonik yapılara bağlı oluşan alterasyon ve kil mineralleri de kaynak sularının kimyasal özellikleri üzerinde etkindir.

İncelenen kaynakların akiferini oluşturan rekristalize kireçtaşlarında karstlaşmanın gelişmesi, birbirleriyle bağlantılı kırık ve çatlak sistemlerinin varlığı kaynakların yüzey kirleticilerinden etkilenmelerini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, yeraltı suyu kalitesini korumak için bazı önlemler alınmalıdır. Akiferin beslenme alanı ve yakın çevresinde yerleşim alanları kısıtlanmalı, çöp depolama alanları oluşturulmamalı, bu alanlarda tarım arazilerinin oluşturulması engellenmeli veya mevcuttaki tarım arazilerinde sınırlı kimyasal ve hayvansal gübreleme yapılmalıdır. Ayrıca, kaynak beslenme alanları üzerinde fosseptikler ve mezarlıklar bulunmamalı, hayvanlar için meralar ve otlaklar kurulmamalı, hayvansal gübreler yapay geçirimsiz seviyeler üzerinde depolanmalıdır.

İçme ve kullanma amacıyla kaptajı yapılan ve Adıyaman Merkez ilçeye uzun mesafelerde pompajlarla gönderilen kaynak sularının isale hatlarında yaşanacak su kaçaklarını önlemek, su kayıplarının önüne geçmek ve pompajlanan sulardan daha iyi yararlanmak için bu hatlar belirli periyotlarla takip ve kontrol edilmelidir.



KAYNAKLAR

- Ahmet, Ş. (1985). *Malatya Çat Barajı'nın Jeolojisi ve Mühendislik Jeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Akbaş, Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. vd. (2011). *1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye
- Akgün, E. (2020). *Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Doğanyol (Malatya) İle Çelikhan (Adıyaman) Arasındaki Gerilme Durumunun İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Alan, İ. (1990). *Malatya ve Adıyaman-Çelikhan Çat Tüneli*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975). *Türkiye'deki Bazı Önemli Genç Tektonik Olaylar*, TJK Bülteni, cilt 18, s.s. 91-101
- Aydinoğlu, F. (2019). *Elazığ İl Merkezi ve Yakın Çevresindeki Mineralli Suların Hidrojeokimyasal İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Baştuğ, C. ve Açıkbaş, D. (1974). *Sason-Kozluk Garyaj Yöresi Jeolojik Raporu*, TPAO rapor no 795
- Canik, B. (2007). *Hidrojeoloji Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası*, Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Ankara, s.s. 286
- Çetin, M. (1987). *Çelikhan-Pınarbaşı (Adıyaman) Dolayının Jeoloji İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Çıplak, R. (2004). *Erkenek-Gölbaşı arasında Doğu Anadolu Fayı'nın Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası*, ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye, ISBN: 978-605-5310-56-1
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. (1973). *Yeraltı Suları Jeolojisi (Hidrojeoloji)*, İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 967, s.s. 340
- Güven, A. (2013). *Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Herece, E. ve Akay, E. (1992). *Karlıova-Çelikhan Arasında Doğu Anadolu Fayı*, Türkiye 9. Petrol Kongresi Bildirileri, s.s. 361-372
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2003). *Metallerin Çevresel Etkileri I. Metalürji Dergisi*, sayı 137, s.s. 46-51
- Kalkan, S. Ve Olgun, K. (1994). *Elazığ-Uluova Revize Etüt Raporu*, DSİ, s.s 67, Ankara
- Kara, H. ve Sağiroğlu, A. (2018). *Keban ve Malatya Metamorfikleri'ne Ait Organik Madde İçeren Kayaçların İz ve Nadir Toprak Element Jeokimyası*, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 30 (2), s.s. 1-10
- Karaman, T., Poyraz, N., Bakırhan, B., Alan, G., Kadıncık, G., Yılmaz, H. ve Kılınç, F. (1993). *Malatya-Doğanşehir-Çelikhan Dolayının Jeolojisi*, MTA Raporu, Derleme No: 9587
- 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
- Kellog, H.E. (1960). *Stratigraphic Report, Hazro Area, Petroleum Discrit V, SE Turkey (AMOSEAS, Report)*, Petrol işleri Genel Müdürlüğü Teknik Arşivi, Kutu no. 126, Rapor no. 1

- Mc.Kenzie, D.P. (1976). *The East Anatolian Fault: A Major Structure In Eastern Turkey*, Earth and Plan. Sci. Lett., 29, s.s. 189-193
- Okan Ö.Ö., Güven A. ve Çetindağ B. (2018). *Plajköy Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi*, Maden Tetkik Arama Dergisi, sayı 156, s.s. 225-240
- Olgun, K.ve Kalkan. S. (1994). *Elazığ – Uluova Revize Etüt Raporu*, DSİ, s.s. 67, Ankara
- Önal, A. (2000). *Alihan-Pütürge (Malatya) Demirli-Manganez Cevherleşmesinin Jeokimyası*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.s. 56
- Önal, M., Şahinci, A. ve Gözübol A.M. (1986). *Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Dolayının Hidrojeolojik İncelemesi*, Jeoloji Mühendisliği, sayı 29, s.s. 5-12
- Önal, M. ve Gözübol, A.M. (1986). *Çat Barajı İsale Tünelinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği incelenmesi*, TUBİTAK, TBAG-647, Ankara
- Örmeci, S. (2005). *Şarkikaraağaç Havzasının (Isparta) Hidrojeoloji İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Özdemir, M.A. ve Sunkar, M. (2002). *Çelikhan Ovası(Adıyaman) ve Çevresinin Jeomorfolojisi*, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, cilt 12 (1), s.s. 25-46
- Özdemir, M.A. ve Sunkar, M. (2005). *Çelikhan Ovası (Adıyaman) ve Yakın Çevresinde Doğal Ortam İnsan İlişkileri*, Doğu Coğrafya Dergisi, cilt 10 (13), s.s. 151-186
- Parlak, O. (2004). *Çelikhan-Erkenek arasında Doğu Anadolu Fayı'nın Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü
- Perinçek, D. ve Kozlu, H. (1984). *Stratigraphy and Structural Relations Of The Units In The Afşin-Elbistan-Doğanşehir Region (Eastern Taurus)*, Geology Of The Taurus 240 belt. Int. Symp. Proc. Eds. Tekeli, O. And Göncüoğlu, M.C., p.p. 181-198, Ankara.
- Perinçek, D. (1978). *Çelikhan- Sincik- Koçali (Adıyaman İli) Alanının Jeolojisi ve Petrol Olanaklarının araştırılması*, Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, s.s. 212
- Piper, A.M. (1944). *A Graphic Procedure In The Geochemical Interpretation Of Water Analyses*, Trans. Am. Geophys. Union, cilt 25, s.s. 914-923.
- Pişkin, Ö. (1972). *Etude Mineralogique de la Region Situee a L'Est de Çelikhan (Taurus ori-Adıyaman-Türkiye)*, TJK Bulletin, cilt 21(2), p.p. 107-111
- Rigo De Righi, M., and Cortesini, A. (1964). *Gravity Tectonics in Foothill Structure of Southeast Turkey*, Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bulletin, cilt 48, s.s. 1911-1937
- Schoeller, H. (1962). *Les Eaux Souterraines*, Masson et Cie, Editurn, 120, Boulevard Saint – Germain – Paris (Çeviren: Karacadağ, K., 1973. Yeraltı Suları, Dizerkonca Matbaası , İstanbul, 605 s.)
- Sungurlu, O. (1973). *VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi*, TPAO Arama Grubu, Rapor no. 802
- Sungurlu, O. 1974, *VI. Bölge kuzey sahalarının jeolojisi*, TPAO Arama Grubu Raporu, no. 871
- Sungurlu, O. (1973). *Gölbaşı-Gerger (Adıyaman) Arasının Jeolojisi*, TPAO Arşivi, no. 802
- Şahin, Ö. (2008). *Çelikhan (Adıyaman) Kuzeydoğusundaki Tektono-Metamorfik Birimlerin Metamorfizma ve Yapısal Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Şahinci, A. (1971). *Yeraltına Süzülen Yağış Miktarının Klor Metodu İle Tayini*, İlmi Raporlar Serisi, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, no117, s.s. 37
- Şahinci, A. (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*, Reform Matbaası, s.s. 548, İzmir
- Uslu, O. ve Türkman, A. (1987). *Su Kirliliği ve Kontrolü*, T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1, s.s. 364, Ankara
- Yalçın, N. (1976). *Narince-Gerger (Adıyaman İli) Alanının Jeoloji İncelemesi ve Petrol Olanaklarının araştırılması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi (TPAO Arama Grubu, Rapor)

- Yapıcı, N. ve Bahçeli, A. (2012). *Battalgazi (Malatya) Bölgesi Manganez Cevherleşmelerinin Mineralojik, Jeokimyasal Özellikleri ve Zenginleştirilebilirliğinin Araştırılması*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27 (2), s.s. 61-71
- Yıldırım, E. (2010). *Çelikhane-Sincik (Adıyaman) arasındaki Magmatik Kayaçların Petrolojisi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yıldırım, N. (2013). *Adıyaman İlinin Maden Potansiyeli, Malatya ve Çevre İllerinin Maden Sempozyumu*, İnönü Üniversitesi Kongre ve Kültür Merkezi, Malatya
- Yiğit, E., 2016. *Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü



ÖZGEÇMİŞ

Mehtap GÖZLÜ

████████████████████

██████████

██████████

10/10/2016

114

11/11/2016

11/11/2016

[REDACTED]

11/11/2016

114

██████████



© 2006 The Authors