

**HAVŞARI-ZERBAN (ÇELİKHAN-ADİYAMAN) KARST  
SİSTEMİNİN HİDROJEOLJİK İNCELENMESİ**

**HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF HAVŞARI-  
ZERBAN (ÇELİKHAN-ADİYAMAN) KARST SYSTEM**

**MURAT OZAN ÖZDAYI**

**DOÇ. DR HARUN AYDIN**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

# ÖZET

## HAVŞARI-ZERBAN (ÇELİKHAN-ADIYAMAN) KARST SİSTEMİNİN HİDROJEOLJİK İNCELENMESİ

**Murat Ozan ÖZDAYI**

**Yüksek Lisans, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Harun AYDIN**

**Haziran 2023, 155 sayfa**

Tez çalışması kapsamında, Adıyaman ili Çelikhhan ilçesinde yer alan, içme-kullanma ve sulama amaçlı kullanılan Zerban ve Havşari kaynaklarının boşalım yaptığı Havşari-Zerban Karst Sistemi'nin (HZKS) beslenim-dolaşım-depolama-boşalım mekanizmasının hidrojeolojik kavramsal model çerçevesinde araştırılması amaçlanmıştır. Zerban ve Havşari kaynaklarının akiferini Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Çayderesi Formasyonuna ait mermerler oluştururken bu kaynaklar sırasıyla ortalama  $0.615 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $0.847 \text{ m}^3/\text{s}$  debiler ile boşalım sağlamaktadır. Kaynaklar için oluşturulan yüzeysel drenaj alanı ( $58.6 \text{ km}^2$ ) inceleme alanı olarak belirlenmiş, ancak karst sistemi olması nedeniyle kireçtaşı kütlesi dikkate alınarak geniş bir bölge ( $300 \text{ km}^2$ ) incelenmiştir. İnceleme alanı ve dolayının jeolojik, tektonik, morfolojik, iklimsel, hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri, yapılmış olan 3 dönem saha çalışması ve mevcut veriler ile birlikte değerlendirilerek HZKS için kavramsal hidrojeolojik model oluşturulmuştur. Yapılan hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına göre tüm su noktalarında  $\text{CaHCO}_3$  türü sular boşalım sağlamaktadır. Yağış,

sıcaklık ve akım verileri kullanılarak elde edilen su bütçesi hesaplamaları sonucunda kaynakların boşalımlarını sağlayabilmeleri için daha fazla yağışa veya yüzeysel drenaj alanı dışından katkıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle Havşari ve Zerban kaynakların ayrı ayrı sistemlerin boşalımını gerçekleştirildikleri, özellikle Sürgü Fayı üzerinden boşalan Havşari Kaynağının bu fay boyunca beslenime sahip olduğu kanaatine varılmıştır. İnceleme alanı ve yakın dolayında yeraltısuyularının besleniminin Akdeniz kökenli yağışlardan kaynaklandığı belirlenmiş olup, trityum analizlerine göre ise inceleme alanında boşalım sağlayan suların genellikle genç sular olup 1950 sonrası yağışlardan beslendiği belirlenmiştir. HZKS’de yağışlardan itibaren beslenimin otojenik-yaygın şekilde gerçekleştiği belirlenmiştir. 1984-2021 yılları arası debi gözlemine sahip Zerban ve Havşari kaynakları akım hidrografları her bir çekilme dönemi için incelendiğinde, hem kaynak akımlarında gözlenen yüksek değişim katsayısı hem akım hidrograflarının şekli hem de çekilme katsayılarındaki değişim, HZKS’de depolama ve dolaşım özelliklerinin iyi gelişmiş karstik kırık-çatlak sistemleri ve kısmen karstik kanallar boyunca baskın olarak gerçekleştiğinin işaret etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Karst Sistemi, Zerban Kaynağı, Havşari Kaynağı, kaynak çekilme, izotop, hidrojeokimya, hidrodinamik, kavramsal model

## **ABSTRACT**

### **HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF HAVŞARI-ZERBAN (ÇELİKHAN-ADİYAMAN) KARST SYSTEM**

**Murat Ozan ÖZDAYI**

**Master of Science, Department of Geology (Hydrogeology) Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Harun AYDIN**

**June 2023, 155 pages**

The objective of this thesis study is to investigate the hydrogeological conceptual model of the Havşari-Zerban Karst System (HZKS), which is located in the Çelikhhan district of Adiyaman province and is utilized for drinking, domestic, and irrigation purposes, with a focus on its recharge-circulation-storage-discharge mechanisms. The Zerban and Havşari springs discharge through aquifers that composed of Paleozoic-Mesozoic-aged Çayderesi Formation marbles, with average flow rates of 0.615 m<sup>3</sup>/s and 0.847 m<sup>3</sup>/s, respectively. The surface drainage area, covering 58.6 km<sup>2</sup>, was selected as the study area for the springs, but due to the karst system's nature, a broader region (300 km<sup>2</sup>) was examined, taking into account the limestone outcrop. The study area and its surroundings were evaluated concerning geological, tectonic, morphological, climatic, hydrological, and hydrogeological characteristics. This evaluation was conducted based on three fieldwork periods and existing data, leading to the development of a conceptual hydrogeological

model for the Havşari-Zerban Karst System (HZKS). According to the results of hydrogeochemical analyses, all water points in the area discharge  $\text{CaHCO}_3$  type waters. Based on the water budget calculations using precipitation, temperature, and flow data, it has been determined that the Zerban and Havşari springs require additional precipitation or contributions from outside the surface drainage area to sustain their discharges. Therefore, it is believed that the Havşari and Zerban springs are discharging from separate systems. Particularly, the Havşari Spring, which discharges predominantly through the Sürgü Fault, is thought to have its recharge along this fault. The recharge on the HZKS occur from Mediterranean-derived precipitation. Based on tritium analyses, it has been determined that groundwater in the study area consists mostly of young waters, indicating that they are primarily originate by precipitation occurring after 1950. It has been determined that recharge in the HZKS occurs extensively from precipitation. As autogenic-diffuse. When examining the hydrographs of the Zerban and Havşari springs with flow data available from 1984 to 2021 for each recession period, the high coefficient of variation observed in spring discharges, the shape of the flow hydrographs, and the changes in recession coefficients all indicate that the storage and circulation occur within the HZKS predominantly along well-developed karstic fracture systems and partially through karstic channels.

**Keywords:** Karst System, Zerban Spring, Havşari Spring, spring recession, isotope, hydrogeochemistry, hydrodynamics, conceptual model

## TEŞEKKÜR

“Eğitim, kltr ve bilgi aydınlığa aılan en geniş penceredir” szyle yolumuzu halen aydınlatan Mustafa Kemal ATATRK’ saygı ve zlemle anıyorum.

Tez çalışmalarım sürecinde her zaman bilgi ve tecrübeleri ile yanımda olan değerli hocam Doç. Dr. Harun AYDIN’a,

Tez çalışmama öneri ve yorumları ile katkılarına sunan değerli jüri yeleri Prof. Dr. Mehmet ÇELİK, Prof. Dr. Özlem YAĞBASAN, Doç. Dr. Bedri KURTULUŐ ve Dr. Öğr. Üyesi Őükran AÇIKEL’e

Özellikle saha çalışmalarında destek olan, bilgi ve görüşlerini benimle paylaşan Jeoloji Yük. Mühendisi Serkan MURATLI’ya,

Birlikte çalışırken çok fazla Őey öğrendiğim ve tez sürecimde her soruma detaylı olarak yanıt veren Dr. Otgonbayar NAMKHAI’ye,

Lisans eğitimim boyunca ve halen meslek hayatımda, çok değerli bilgileri ile bizi aydınlatan, ğrencisi olmaktan onur duyduğum Prof. Dr. Mehmet EKMEKI’ye,

Hem lisans eğitimim hem de meslek hayatımda verdiği desteklerini hiçbir zaman unutamayacağım Dr. Öğr. Üyesi Levent TEZCAN’a,

Tez çalışmalarımda gerekli verilerin temin edilmesi noktasında destek olan DSİ 9.Bölge ve 20. Bölge, Jeoteknik Hizmetler ve YAS Őube Müdürlüğü alışanları ile DSİ Genel Müdürlüğü Yeraltısuları Dairesi Başkan Yardımcısı M. Mert TOKLU’ya,

Su kimyası analizlerini gerçekleştiren Hacettepe Üniversitesi, Su Kimyası ve evresel Trityum Laboratuvarı yönetici ve çalışanlarına,

Saha alışmaları, verilerin temin edilmesi ve su analizlerinin gerçekleştirilmesi aşamalarında her zaman destek olan ınar Mühendislik Müşavirlik A.Ő. ile ınar evre Laboratuvarı A.Ő. yönetici ve çalışanlarına,

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimlerine başvurduğum Hidrojeoloji Yük. Mühendisi Hüseyin Ertan YÜKSEL’e,

Hayatım boyunca maddi manevi her zaman yanımda olan başta annem Betül ÖZDAYI ve babam Hasan ÖZDAYI olmak üzere tüm aileme,

Son olarak; hayatımda verdiğim tüm kararlarda her zaman arkamda olan, tez çalışmalarım boyunca beni destekleyen ve teşvik eden, bu sũrecin zorluklarını birlikte yaşadığımız sevgili eşim Gizem ÖZDAYI'ya teřekkũr ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam .....	1
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri.....	3
1.3. Tez Alanının Tanıtılması .....	5
1.3.1. Konum ve Ulaşım .....	5
1.3.2. Doruk Ağı, Eğim ve Hidrografya .....	6
1.3.3. İklim ve Bitki Örtüsü .....	10
1.4. Önceki Çalışmalar.....	12
2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ .....	19
2.1. Stratigrafik Yapı.....	19
2.1.1. Otokton Birimler.....	21
2.1.2. Allohton Birimler.....	23
2.1.3. Örtü Birimler.....	29
2.2. Jeolojik Evrim .....	30
2.3. Çizgisel Unsurlar.....	32
2.4. Sınır Koşulları .....	35
3. HİDROLOJİ.....	39
3.1. Drenaj Alanı .....	39



3.2. Su Noktaları.....	39
3.2.1. Akarsular .....	39
3.2.2. Barajlar ve Göller .....	41
3.2.3. Kaynaklar .....	43
3.2.4. Kuyular.....	46
3.3. Hidrolojik Verilerin Değerlendirilmesi .....	48
3.3.1. Yağış.....	49
3.3.2. Sıcaklık.....	58
3.3.4. Akımlar ve Kaynak Boşalımları.....	73
3.4. Su Bütçesi.....	76
3.4.1. Su Bütçesi Bileşenlerinin Hesaplanması.....	78
3.4.2. Su Bütçesi Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	79
4. HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLER .....	83
4.1. Hidrokimyasal Ölçüm, Örnekleme ve Analiz Yöntemleri .....	84
4.2. Fizikokimyasal Parametrelerin Değerlendirilmesi .....	88
4.3. Major İyon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	89
4.4. Karışım Grafikleri .....	96
4.5. Doygunluk İndisi (DI) .....	99
4.6. İz Element Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	102
4.7. Su Kalitesi .....	104
4.8. Duraylı İzotop Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	105
4.8.1. Oksijen-18 - Döteryum İlişkisi.....	106
4.8.2. Oksijen-18 - Yükseklik İlişkisi .....	107
4.8.3. Tritiyum-Cl İlişkisi.....	109
4.8.4. Tritiyum- Oksijen-18 İlişkisi.....	110
5. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ .....	113
5.1. Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri .....	113
5.2. Sınır Koşullarının Kaynak Boşalımı Açısından Değerlendirilmesi .....	116
5.3. Kaynak Çekilme Analizi .....	121
5.4. HZKS Hidrojeolojik Kavramsal Model Çalışmaları .....	131
6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	135

6.1. Sonuçlar .....	135
6.2. Tartışma ve neriler .....	140
7. KAYNAKLAR .....	143
ZGEMİş .....	155



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	7
Şekil 1.2.	İnceleme alanı doruk ve drenaj ağı haritası. ....	8
Şekil 1.3.	İnceleme alanı kot-alan ilişkisi grafiği.....	9
Şekil 1.4.	İnceleme alanı kot-alan haritası. ....	9
Şekil 1.5.	İnceleme alanı eğim haritası. ....	9
Şekil 1.6.	Adıyaman ve Malatya MGİ uzun yıllar ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık grafikleri. ....	11
Şekil 2.1.	İnceleme alanı ve yakın dolayının stratigrafik istifi (MTA (1984), Önal vd. (2002), Çelebi vd. (2010) ve MTA (2018)'den değiştirilerek alınmıştır). ...	19
Şekil 2.2.	İnceleme alanı ve yakın dolayının jeoloji haritası (MTA (1984), Önal vd. (2002), Çelebi vd. (2010) ve MTA (2018)'den değiştirilerek alınmıştır). ...	20
Şekil 2.3.	(a) Torosların konumu ve Türkiye’de bazı ana tektonik yapılar, (b) Güneydoğu Anadolu kuşağı boyunca masiflerin genel konumu ve (c) Malatya-Bingöl arasında yüzeyleyen birimlerin jeoloji haritası (Yazgan ve Chessex (1991) ve Şahin ve Işık, (2010)’dan değiştirilmiştir). ....	31
Şekil 2.4.	Çalışma alanı ve yakın dolay çizgisellik haritası.....	34
Şekil 2.5.	İnceleme alanı A-A’ ve B-B’ jeolojik kesitleri (Kesit doğrultuları Şekil 2.2’de yer almaktadır). ....	37
Şekil 2.6.	İnceleme alanı C-C’ ve D-D’ jeolojik kesitleri (Kesit doğrultuları Şekil 2.2’de yer almaktadır). ....	38
Şekil 3.1.	İnceleme alanı ve yakın dolay hidroloji haritası. ....	40
Şekil 3.2.	İnceleme alanı ve yakın dolay meteoroloji gözlem ağı haritası.....	49
Şekil 3.3.	İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ’lerin yağış gözlem aralıkları. ....	50
Şekil 3.4.	Yağış verileri dağılım grafikleri (küçük grafik, veri tamamlama öncesini temsil etmektedir). ....	52
Şekil 3.5.	İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ’lerin kot-yağış ilişkisi.....	55
Şekil 3.6.	İnceleme alanı eklenik sapma grafiği. ....	56
Şekil 3.7.	HZKS uzun yıllar (1970-2021) aylık ortalama toplam yağış dağılımı. ....	58
Şekil 3.8.	İnceleme alanı etrafında yer alan MGİ’lerin sıcaklık gözlem aralıkları. ....	59

Şekil 3.9. Sıcaklık verileri dağılım grafikleri (küçük grafik, veri tamamlama öncesini temsil etmektedir).....	61
Şekil 3.10. İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ'lerin kot-sıcaklık ilişkisi. ....	63
Şekil 3.11. HZKS uzun yıllar (1970-2021) aylık ortalama sıcaklık dağılımı.....	64
Şekil 3.12. İnceleme alanının uzun yıllar yağış-sıcaklık ilişkisi. ....	65
Şekil 3.13. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (USGS yöntemi)...69	
Şekil 3.14. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETa dağılımı (USGS yöntemi). ..70	
Şekil 3.15. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (Thorntwaite-Mather yöntemi).....	71
Şekil 3.16. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETa dağılımı (Thorntwaite-Mather yöntemi).....	72
Şekil 3.17. HZKS için hesaplanan yıllık toplam ETa değerlerinin zamansal dağılımı. .73	
Şekil 3.18. Akım ölçümü yapılan istasyonların veri zaman aralıkları (Q <sub>Z</sub> : Zerban Kaynağı; Q <sub>H</sub> : Havşari Kaynağı; Q <sub>F</sub> : Fatopaşa AGİ). ....	73
Şekil 3.19. Havşari Kaynağı (Q <sub>H</sub> ) -Zerban Kaynağı (Q <sub>Z</sub> ) akım verileri dağılım grafiği (küçük grafik, veri tamamlama öncesini temsil etmektedir). ....	75
Şekil 3.20. Zerban ve Havşari Kaynakları ile Fatopaşa AGİ (Bulam Çayı) uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri. ....	75
Şekil 3.21. İnceleme alanının kavramsal hidrolojik modeli. ....	77
Şekil 4.1. İnceleme alanında örnekleme ve ölçüm yapılan su noktaları yer bulduru haritası. ....	85
Şekil 4.2. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktaları Eİ (µS/cm) – TÇİ (meq/l) grafiği. ....	91
Şekil 4.3. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktalarına ait Piper Diyagramları (a: Mayıs 2022, b: Ekim 2022). ....	92
Şekil 4.4. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktalarına ait yarı logaritmik Schoeller Diyagramları (a: Mayıs 2022, b: Ekim 2022). ....	93
Şekil 4.5. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktalarına ait bileşim grafikleri. ....	94
Şekil 4.6. Zerban ve Havşari kaynakları olası boşalım mekanizmaları.....	95
Şekil 4.7. TÇİ-iyon grafiği; (a) tek küme; (b) iki küme; (c, d, e) doğrusal dağılım; (f) üçgen dağılım ve (g) rassal dağılım (Mazor, 1991; Yüksel, 2022). ....	96
Şekil 4.8. İnceleme alanı su kaynakları bileşim grafikleri. ....	97

Şekil 4.9. Mayıs 2022 dönemi Ca-Mg grafiği.....	98
Şekil 4.10. Ekim 2022 dönemi Ca-Mg grafiği.....	98
Şekil 4.11. Ekim 2022 dönemi (Kurak Dönem) $SI_{Ca} - pCO_2$ grafiği.....	103
Şekil 4.12. Mayıs 2022 dönemi (Yağışlı Dönem) $SI_{Ca} - pCO_2$ grafiği.....	103
Şekil 4.13. İnceleme alanı $\delta^{18}O - \delta^2H$ grafiği.....	107
Şekil 4.14. İnceleme alanı $\delta^{18}O - K_{ot}$ grafiği.....	109
Şekil 4.15. İnceleme alanındaki su noktalarının, Trityum-Cl grafiği.....	110
Şekil 4.16. İnceleme alanındaki su noktalarının, Oksijen-18, Trityum (TU) grafiği... 111	
Şekil 5.1. 65291 nolu DSİ kuyusu akifer testi sonuçları.....	114
Şekil 5.2. 65293 nolu DSİ kuyusu akifer testi sonuçları.....	115
Şekil 5.3. Çekilme eğrisi şekline göre kaynakların sınıflandırılması (Worthington, 1991). .....	119
Şekil 5.4. Zerban Kaynağı 1999-2001 yılları arası çekilme grafiği.....	125
Şekil 5.5. Havşari Kaynağı 1999-2001 yılları arası çekilme grafiği.....	125
Şekil 5.6. Zerban Kaynağı 1984-2022 yılları arası $V_d - V_r$ ilişkisi (Maillet Yöntemi).128	
Şekil 5.7. Havşari Kaynağı 1984-2022 yılları arası $V_d - V_r$ ilişkisi (Maillet Yöntemi). .....	129
Şekil 5.8. HZKS MCR Yöntemi ile çekilme analizi sonuçları.....	131
Şekil 5.9. Tüm karakteristik karst süreçlerini içeren bir karst sisteminin kavramsal modeli (Hartmann, 2014; White, 2003). .....	132
Şekil 5.10. Beslenme, depolama ve akım süreçlerindeki değişimlerin karst kaynaklarına ait hidrografa etkisi (Smart ve Hobss, 1986). .....	133
Şekil 5.11. İnceleme alanı hidrojeolojik kavramsal modeli.....	134



## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Foto 2.1.	Pınarbaşı beldesi ve yakın dolayında yüzeylenen birimler.....	22
Foto 2.2.	Pınarbaşı ve Çayderesi formasyonları ile Çelikhan Ovası alüvyonları. ....	24
Foto 2.3.	Çayderesi Formasyonu ve karst yüzey morfolojisine ait görüntüler. ....	27
Foto 2.4.	Kuvaterner yaşlı örtü birimler.....	29
Foto 3.1.	Çopur Dere yatağına ait görüntüler.....	41
Foto 3.2.	Çelikhan Çayı ve Gen Dere'sine ait saha görüntüleri.....	42
Foto 3.3.	Çat Baraj Gölü saha görüntüleri ve uydu görüntüsü. (Google Earth V 7.3.6.9345. (06 Eylül 2022). Çelikhan, Adıyaman. 38° 3.311' K, 38° 14.765' D, Göz Hizası 5.61 km. SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO. Maxar Technologies 2023. Landsat/Copernicus. CNES/Airbus, 2023. <a href="http://www.earth.google.com">http://www.earth.google.com</a> [Aralık 29, 2022]......	43
Foto 3.4.	Havşari ve Zerban Karst Kaynakları.....	44
Foto 3.5.	Mevsimsel kaynaklar (a. K-13, b. K-21, c. K-9 ve K-10).....	46
Foto 3.6.	İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan DSİ araştırma kuyuları. ....	47
Foto 4.1.	HZKS'de Nisan-Mayıs-Ekim 2022 dönemlerinde bazı noktalarda yapılan örnekleme çalışmaları. ....	83





## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Adıyaman ve Malatya MGİ uzun yıllar ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri.....	11
Çizelge 2.1. İnceleme alanı ve yakın dolayında gerçekleştirilen rezerv sondaj bilgileri (MTA, 1984) .....	36
Çizelge 3.1. İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan su noktalarına ait bilgiler.....	45
Çizelge 3.2. İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ'lere ait genel bilgiler.....	48
Çizelge 3.3. Eksik yağış verilerinin tamamlanması ile ilgili istatistiksel bilgiler.....	51
Çizelge 3.4. HZKS uzun yıllar (1970-2021) aylık yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım değerleri ( $R_{HZKS}$ , $Q_Z$ ve $Q_H$ verileri, 1984-2021 yılları arası ortalama değerleri ifade etmektedir) .....	56
Çizelge 3.5. HZKS uzun yıllar (1970-2021) yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım verileri .....	57
Çizelge 3.6. Eksik sıcaklık verilerinin tamamlanması ile ilgili istatistiksel bilgiler.....	60
Çizelge 3.7. Akım ölçümü yapılan istasyonlara ait bilgiler.....	74
Çizelge 3.8. HZKS su bütçesi parametreleri.....	78
Çizelge 3.9. HZKS su bütçesi hesaplamaları.....	80
Çizelge 3.10. HZKS ve yakın dolaylı hassasiyet analizi ile su bütçesi sonuçları (P, %10 arttırılmış ve ETa %10 azaltılmıştır).....	81
Çizelge 4.1. İnceleme alanında örnekleme ve ölçüm yapılan su noktalarına ait bilgiler	86
Çizelge 4.2. İnceleme alanı ve yakın dolayında örnekleme yapılan noktalara ait majör iyon analiz sonuçları .....	90
Çizelge 4.3. Doygunluk indisi analiz sonuçları .....	100
Çizelge 4.4. İz element analiz sonuçları (mg/l) .....	104
Çizelge 4.5. İnceleme alanından alınan su örneklerinin izotop sonuçları .....	106
Çizelge 5.1. DSİ sondaj kuyularına ait bilgiler.....	114
Çizelge 5.2. Çat Barajı BST sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik katsayıları (DSİ, 1984) .....	115
Çizelge 5.2. Bazı karstik akiferler için depolama ve iletimlilik katsayıları (Castany, 1984; Ford ve Williams, 1989) .....	116

Çizelge 5.3. Kaynak türünün debi değişimine bağlı olarak sınıflandırılması (Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003; Aydın, 2005; Yüksel, 2022).....	118
Çizelge 5.4. Zerban ve Havşari kaynaklarının 1984-2021 yılları arası akım istatistikleri .....	120
Çizelge 5.5. Zerban Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları (Maillet Yöntemi) .....	126
Çizelge 5.6. Havşari Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları (Maillet Yöntemi) .....	127
Çizelge 5.7. Kaynak çekilme analiz sonuçları .....	130

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

As	Arsenik
B	Bor
Be	Berilyum
Ca <sup>+</sup>	Kalsiyum
Cl <sup>-</sup>	Klorür
Co	Kobalt
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Karbonat
Cu	Bakır
CV	Değişim Katsayısı
Eİ	Elektriksel İletkenlik
Eİ <sub>25</sub>	Özgül Elektriksel İletkenlik
EN	Elektro Nötralite
F-	Flor
Fe	Demir
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat
Hg	Civa
K <sup>+</sup>	Potasyum
Mg <sup>2+</sup>	Magnezyum
Mn	Manganez
Na <sup>+</sup>	Sodyum
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonyum
Ni	Nikel

NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrit
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
PH	H+ İyonu Değişimi
Sb	Antimon
SI	Doygunluk İndisi
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Sülfat
S <sub>y</sub>	Özgöl Verim
TÇİ	Toplam Çözünmüş İyon
TÇK	Toplam Çözünmüş Katı
Zn	Çinko
δ18O	Oksijen-18
δ2H	Döteryum
μS	MikroSiemens

### **Kısaltmalar**

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAF	Doğu Anadolu Fayı
DAFZ	Doğu Anadolu Fay Zonu
DES	Dikey Elektrik Sondaj
DSİ	Devlet Su İşleri
ERT	Elektrik Rezistivite Tomografi
GMWL	Global Meteoric Water Line
HZKS	Havşari-Zerban Karst Sistemi
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MMWL	Mediterranean Meteoric Water Line
MRC	Master Recession Curve
MTA	Maden Tetkik Arama
Q	Debi
Q <sub>H</sub>	Havşari Kaynağı Akımı
Q <sub>Z</sub>	Zerban Kaynağı Akımı
R <sub>HZKS</sub>	Havşari-Zerban Karst Sistemi Yüzeysel Akış
SPI	Standardized Precipitation Index
USGS	United States Geological Survey



# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç ve Kapsam

Son yıllarda iklim değişikliği ile birlikte bazı bölgelerde yüzeysularının miktarının azalması ile birlikte yeraltısularına olan talep artmıştır. Ancak yeraltısuyu hidrolojik döngü içerisinde yenilenebilir bir kaynak olmasına karşın, sonsuz değildir. Artan nüfus, buna bağlı tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerde suya talebin artması ile birlikte yeraltısuyu kullanımının da artması, su kaynaklarının miktar ve kalite açısından sürdürülebilir kullanımı konusunda endişeleri ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle su kaynakları için miktar ve kalite açısından sürdürülebilir kullanımın yönetilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda su kaynağı sisteminin kimyasal ve fiziksel açıdan özellikleri arasındaki ilişkiler tanımlanmalı ve bu tanımlamalar “Hidrojeolojik Kavramsal Model” çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Ford ve Williams (1989)’a göre dünya nüfusunun %25’i içme suyunu karstik akifer sistemlerinden sağlamaktadır. Söz konusu akifer sistemlerinde karstlaşma süreçleri; çözünebilir kayaçların mevcudiyeti, tektonik faaliyetler, erozyon tabanı, hava sıcaklığı, kuraklık, bitki örtüsü ve deniz seviyesi gibi çeşitli çevresel faktörler tarafından kontrol edilmektedir. Bu faktörler karstlaşma seviyesini yerelden bölgeye çeşitli yoğunluk ve derecelerde etkilemektedir (White, 1988; Aydın vd., 2013). Karbonatlı kayaçlarda, karstlaşma süreçlerinde önemli faktörlerden biri olan geçirimsizliğin temel faktörü ise kırık-çatlak sistemleridir. Kireçtaşı ve dolomitler, masif ve tabakalı bir yapıda olup hem birincil gözeneklilikleri çok küçük hem de oldukça kırılğan bir yapıya sahiptirler. Kireçtaşı ve dolomitler gibi karstlaşabilen kaya kütlelerinde ilksel yeraltısuyu sirkülasyonu, bu kayaçlarda tektonik süreçler sonucu oluşan kırık-çatlak sistemlerinin gelişmesine bağlıdır. Tektonik süreçlerin sonucu kayaçların kırık-çatlak sistemlerine sahip olması bu ortamlarda hem dikey hem de yatay yönde karstlaşmanın gözlenmesine neden olmaktadır (Milanovic, 1979).

Kendine özgü hidrojeolojik özellikler sergileyen ileri derecede heterojen ve anizotrop karstik ortamların hidrodinamik davranışı ile gözenekli ve kırıklı-çatlaklı sistemlerin hidrodinamik davranışı, beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenleri açısından



farklılık sergilemektedir. Karstik akiferlerde hüküm süren söz konusu farklılaşma nedeniyle, bu ortamlarda standart (klasik) yeraltısuyu hidrolik yasalarının uygulanması oldukça zor ve/veya pahalıdır (White, 1969, 2003, 2012; Ekmekçi vd., 2003; Kovac vd., 2005; Aydın, 2005; Aydın vd., 2013; Olliver vd., 2019). Aynı zamanda bu özellikler ileri derecede heterojen ve anizotrop yapıya sahip karstik ortamların hem fiziksel hem de hidrodinamik özelliklerinin de doğrudan belirlenmesini imkansız hale getirmektedir

Karstik akiferlerin hidrodinamik yapısı “kara kutu” modeli yaklaşımı ile çözümlenebilmektedir (Berkaloff 1967; Bagaric 1978; Atkinson 1977; Bear 1979; Milanovic 1981; Ford ve Williams 1989). Karstik akiferlerin heterojen ve anizotrop yapıları nedeniyle, gözenekli ve kırıklı-çatlaklı sistemlerde geçerli olan hidrojeolojik metod ve yaklaşımlar ile karst akiferlerinin değerlendirilmesi zor ve yüksek maliyetlidir (Tallaksen, 1995; Amiel vd., 2010; Kalhor vd., 2019). Bu kapsamda klasik jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalar (sondaj, kuyu testleri, jeolojik harita, izotopik ve hidrojeokimyasal analizler, vb.) ile birlikte akiferin hidrodinamik yapısını anlamaya yönelik izleme testleri, kaynak çekilme analizleri, hidrograf-kemograf analizleri, jeofizik ölçümler, vb. yöntemlerden bir ve birkaçı birlikte kullanılarak, karst akiferin hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmaktadır (Shevenell, 1995; Greene, 1999; Haunt vd., 2001; Kovacs vd., 2004, Barbieri vd., 2005; Herman, 2009; Kovacic, 2010; Kogovsek ve Petric, 2010; Aydın vd., 2014).

Tez çalışmasına konu Havşari ve Zerban (Çelikhan, Adıyaman) karst kaynakları bölge için oldukça önemli olup, 0.162 – 1.624 m<sup>3</sup>/s arasında değişen debi ile Zerban Kaynağı (Q<sub>ort</sub>: 0.617 m<sup>3</sup>/s) Çelikhan Ovası'nın tarımsal sulama suyunu karşılamakla birlikte, çıkış yaptığı Pınarbaşı Beldesi'nin de içme-kullanma suyu kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Havşari Kaynağı (Q<sub>ort</sub>: 0.848 m<sup>3</sup>/s) ise 0.401 – 1.874 m<sup>3</sup>/s arasında değişen boşalımı ile hem yöre halkının hem de Adıyaman ilinin içme-kullanma suyunu sağlamaktadır.

Tez çalışmasında, Havşari ve Zerban Karst Sistemi'nin (HZKS) fiziksel, kimyasal ve dinamik özelliklerinin “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde ortaya konması ve bu sistemin beslenme-boşalım ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda;

- a. Mevcut veriler ve saha çalışmaları ile inceleme alanının jeolojik özelliklerinin belirlenmesi ve bu birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin irdelenmesi,
- b. Karstik kaynakların beslenme alanlarının belirlenmesi ve beslenme-boşalım mekanizmasının incelenmesi,
- c. Kaynak boşalmalarının değerlendirilmesi ve karstlaşma süreçleri ile ilişkilendirilmesi,
- d. Zerban ve Havşari kaynakları karst sisteminden boşalım sağlayan yeraltısularının hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerinin belirlenmesi,
- e. Zerban ve Havşari karst sisteminin kavramsal modelinin oluşturulması, hedeflenmiştir.

## **1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri**

Tez çalışması kapsamında belirlenen hedeflere ulaşmak amacıyla izlenen yöntemler ve bu yöntemler için gerekli olan verilerin sağlanması konusunda gerçekleştirilmiş olan çalışma ve değerlendirmeler aşağıda verilmektedir.

- İnceleme alanında daha önce gerçekleştirilmiş olan mevcut jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik, meteorolojik, vb. veriler ve çalışmalar Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), çevrimiçi (online) kaynaklar, vb. ortamlardan temin edilmiştir.
- Çalışma alanının bulunduğu bölgede MTA ve DSİ tarafından oluşturulmuş olan farklı ölçeklerdeki jeoloji haritaları, hidrojeolojik kavramsallaştırma açısından değerlendirilerek, bilgisayar ortamına (ArcMAP 10.8; ESRI, 2020) aktarılmış olup,

tez çalışmaları kapsamında yerel ölçekte gerçekleştirilen saha çalışmaları ile uzaktan algılanmış verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda inceleme alanına ait jeoloji haritası oluşturulmuştur.

- İnceleme alanında Zerban ve Havşari karst kaynaklarının beslenme alanında bulunan jeolojik birimlerin 3 boyutlu dağılımlarının, karstik kanalların, yapısal unsurların, ezik zonların, vb. özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla PROJEO (2022) tarafından gerçekleştirilen Elektrik Özdirenç Tomografi (ERT, 19 profil) ve Düşey Elektrik Sondaj (DES, 21 nokta) çalışmalarına ait sonuçlar değerlendirilmiştir.
- İnceleme alanında yer alan yüzey suyu (akarsu, göl, vb.) ve yeraltı suyu (kaynak, kuyu, vb.) noktaları ofis çalışmaları kapsamında belirlenmiş olup, söz konusu noktalar Nisan 2022 tarihinde yerinde incelenmiş ve yerleri tespit edilmiştir. Ayrıca inceleme alanı ve civarında yer alan MGM ve DSİ gözlem istasyonları (Meteoroloji Gözlem İstasyonu (MGİ) ve Akım Gözlem İstasyonu (AGİ)) belirlenmiş olup, bu istasyonlara ait gözlenen uzun yıllar (1970-2022) aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık, ortalama akım, vb. veriler temin edilmiştir. Söz konusu verilerin hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda kullanılabilirliği ortak periyot sağlamak amacı ile çeşitli istatistiksel yöntemler ile değerlendirilmiş ve eksik verisi olan istasyonlarda veri tamamlama işlemleri gerçekleştirilmiştir. HZKS’de beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım ilişkisini belirlemek üzere elde edilen verilerden itibaren sistemin su bütçesi ve kaynaklar için kaynak çekilme analizi gerçekleştirilmiştir.
- HZKS’nin hidrodinamik yapısını aydınlatmak amacı ile Nisan-Mayıs-Ekim 2022 dönemlerinde inceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan su noktalarında (kaynak, kuyu, akarsu, vb.) kaynak başı ölçümler (T, pH, Eİ, vb.) ile majör iyon, ağır metal ve izotop örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Nisan 2022 arazi çalışması kapsamında tüm su noktalarında T, pH, Eİ, vb. fizikokimyasal parametreler ölçülürken, 32 su noktasında izotop analizleri ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ , T) için örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Mayıs 2022 arazi çalışması döneminde ise tüm su noktalarında suların fizikokimyasal özellikleri yerinde ölçülürken, 28 su noktasında majör iyon ve

iz element analizleri için örnek alınmıştır. Ekim 2022 arazi çalışması döneminde ise 13 su noktasında fizikokimyasal özellikler yerinde ölçülürken, 10 nokta da majör iyon analizleri için örnek alınmıştır. Nisan-Mayıs 2022 tarihinde örnekleme yapılan çevresel izotop ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) analizleri Hacettepe Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarında, TU analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Tritiyum Laboratuvarında ve major iyon ile ağır metal analizleri ise TÜRKAK tarafından akredite (AB-0038-T 07.06.2005) Çınar Çevre Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Ekim 2022 tarihinde örnekleme yapılan su numunelerinde majör iyon analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Tritiyum Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

- HZKS'de boşalım sağlayan Havşari ve Zerban kaynaklarının 1984-2022 yılları arası aylık ortalama akım değerlerinden itibaren her bir çekilme dönemi için kaynak çekilme analizi uygulanmıştır. Çekilme analizleri sonucunda bu kaynaklara ait karst sistemlerine ait çekilme katsayısı, sistemde depolanan su miktarı, çekilme dönemi boyunca akiferde boşalan su miktarı, çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarı ve iki çekilme dönemi arasında meydana gelen beslenme miktarı hesaplanmıştır.
- Arazi gözlemleri ve mevcut veriler ile tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların (kimyasal analizler, izotop analizleri, hidrolojik değerlendirmeler, vb.) hidrojeolojik kavramsal model çerçevesinde değerlendirilmesi sonucunda HZKS'de beslenme-depolama-dolaşım-boşalım ilişkisini yansıtan hidrojeolojik kavramsal model oluşturulmuştur.

### **1.3. Tez Alanının Tanıtılması**

#### **1.3.1. Konum ve Ulaşım**

İnceleme alanı Fırat-Dicle Havzası sınırları içinde olup, Fırat Alt Havzası sınırları içinde yer almaktadır. Adıyaman ve Malatya idari il sınırları içerisinde yer alan inceleme alanı, Malatya şehir merkezinin ~35 km güneyinde ve Adıyaman şehir merkezinin ise ~30 km

kuzeyinde kalmaktadır. Tez çalışmasına konu olan Zerban Kaynağı, Çelikhan (Adıyaman) ilçesinin batısında yer alan Pınarbaşı Beldesi yerleşim merkezinde kireçtaşı-alüvyon-şist dokanağında, Havşari kaynağı ise Pınarbaşı Beldesi'ne bağlı Aktaş Mahallesi'nin yaklaşık 1.5 km güneyinden Sürgü Fayı'ndan boşalım yapmaktadır. Kaynak çıkış noktalarına karayolu ile ulaşım sağlanmaktadır. Söz konusu kaynakların yüzeysel drenaj alanı  $58.6 \text{ km}^2$  olup,  $38.0772^\circ$  ile  $38.1996^\circ$  doğu boylamları ve  $38.1132^\circ$  ile  $37.9908^\circ$  kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Toplam 4 adet 1/25.000 ölçekli paftayı kapsayan inceleme alanı,  $L_{40}$  ( $d_3, d_4$ ) ve  $M_{40}$  ( $a_1, a_2$ ) paftalarında yer almaktadır (Şekil 1.1).

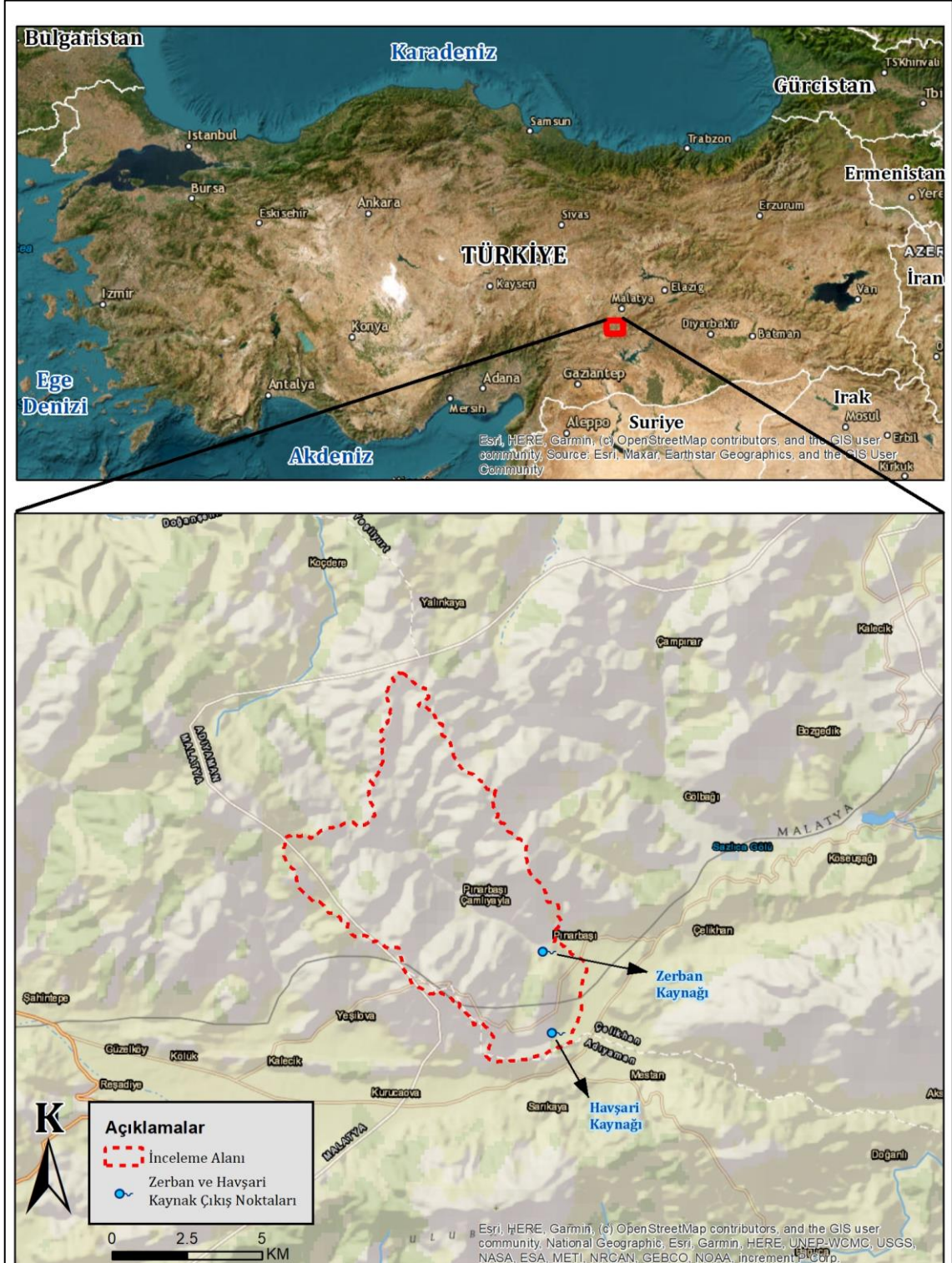
### **1.3.2. Doruk Ağı, Eğim ve Hidrografya**

İnceleme alanı Fırat Havzası içinde yer almakta olup güneydoğuda Müs T. (1550 m), doğuda Düzgünbaba T. (2223 m) ve Geviridere T. (20101 m), kuzeydoğuda Kaskask T. (2362 m), ve Daru T. (2223 m), kuzeyde Gevrik T. (2269) ve Karayurt T (2248), kuzeybatı-batıda Bozgedik T. (2351 m) ve Selim T. (2223 m), güneybatıda ise Bağrısığın T. (2135 m), Epreme T. (2087 m) ve Karagedik T. (2248 m) ve güneyde ise Antali T. (1921 m) ve Hasangölü T. (1576) ile sınırlanmaktadır (Şekil 1.2). İnceleme alanındaki doruk ağları genellikle kuzeydoğu-güneybatı uzanımlıdır (Şekil 1.2).

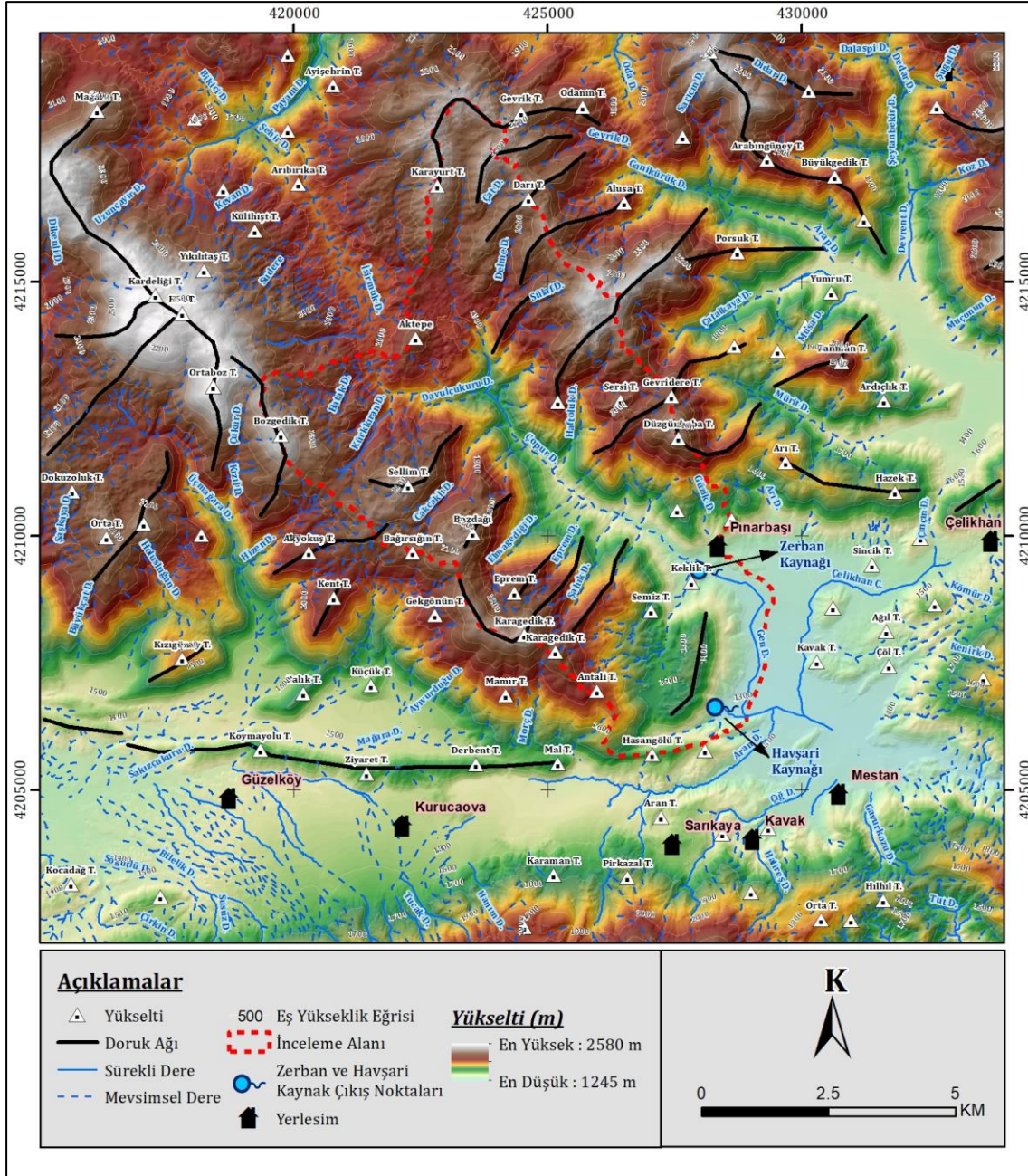
Zerban karst kaynağı, inceleme alanı içinde yer alan Pınarbaşı Belde merkezinin yaklaşık 700 m güneybatısında yer alan Keklik T.'nin kuzeydoğu ve Çalüstü T.'nin güney-güneybatı eteklerinde ~1313 m kotundan ve Havşari Kaynağı ise İnönü Mahallesi'nin doğusunda Keven T. eteklerinde ~1285 m kotundan boşalım sağlamaktadır.

İnceleme alanı ve yakın dolayında yoğun drenaj sistemi gelişmesine rağmen, kar erimeleri ve yağışlara bağlı olarak akış gözlenen mevsimsel dereler bulunmaktadır. Yüzeysel drenaj alanı içinde mevsimsel akarsu karakterinde olan Çopur Dere kuzeyden güneye doğru akışını sürdürmekte ve Pınarbaşı Beldesinden sonra Gen Dere adını almaktadır (Şekil 1.2). Zerban ve Havşari kaynakları Gen deresini beslemekte olup sürekli akarsu özelliği gösteren Gen Deresi, Çelikhan Ovasında doğudan gelen Çelikhan

Çayı ve batıdan gelen Aran Dere ile birleşerek güneye doğru akışını sürdürmekte ve Bulam Çayı adını almaktadır.



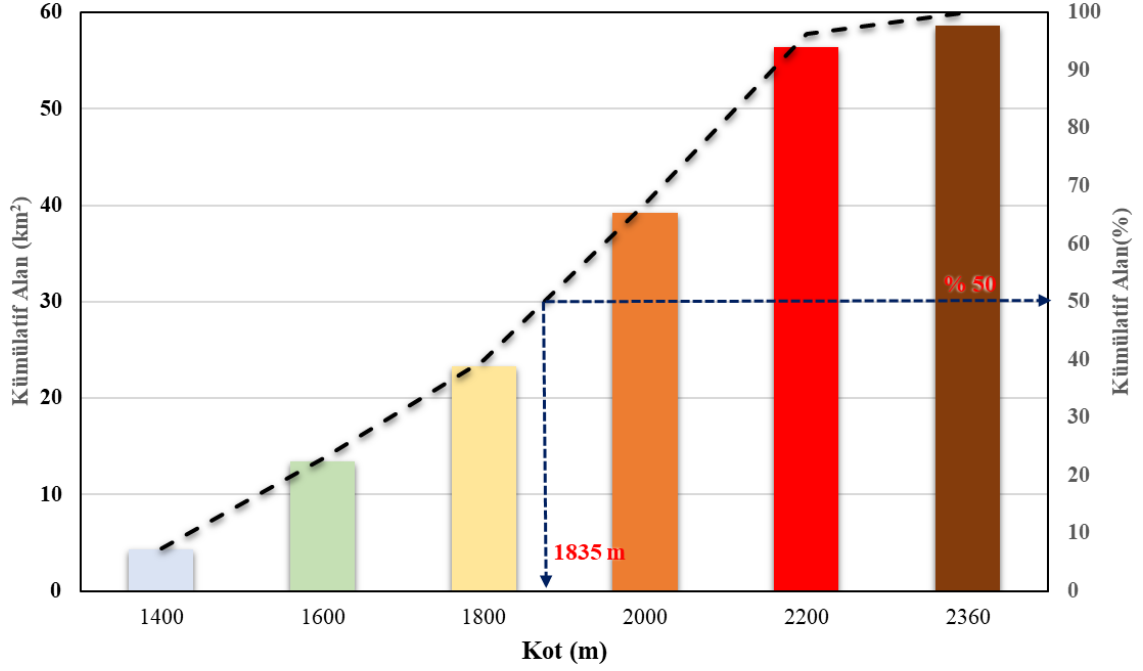
Şekil 1.1. İnceleme alanı yer buldurur haritası.



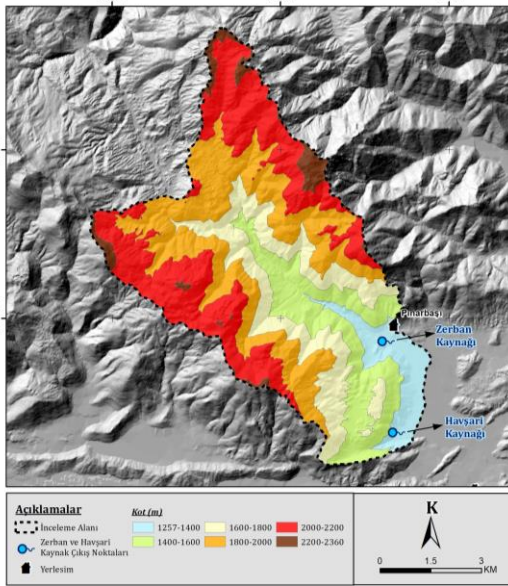
Şekil 1.2. İnceleme alanı doruk ve drenaj ağı haritası.

Genel olarak dağlık bir topoğrafyaya sahip olan inceleme alanında gözlenen kot aralıkları alansal olarak incelenmiş olup; çalışma alanının %7.3'ü 1257-1400 m, %15.6'sı 1400-1600 m, %16.9'u 1600-1800 m, %27.1'i 1800-2000 m, %29.3'ü 2000-2200 m ve %3.8'i 2200-2360 m arasındadır (Şekil 1.3). İnceleme alanı ortalama kotu 1835 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.4).

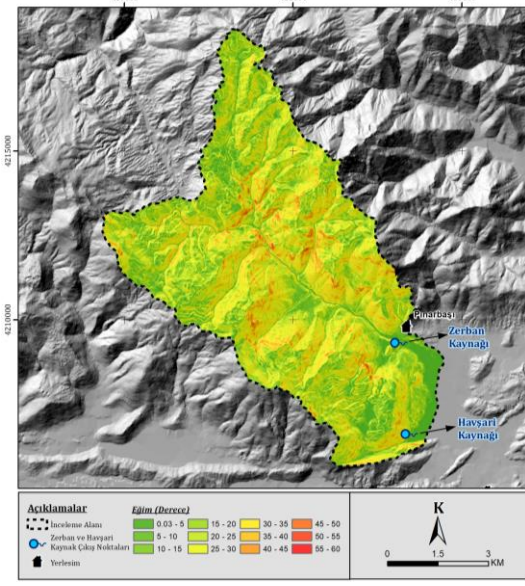
İnceleme alanı doğu kesimde Çelikhhan Ovası'nda  $5^\circ$  ve daha düşük eğimler gözlenmektedir. Özellikle dere yataklarının geçtiği vadilerin yamaçlarında yüksek eğimler gözlenmektedir. İnceleme alanında gözlenen en yüksek eğim  $60^\circ$ 'dir. Çalışma alanının %16'sında  $15-20^\circ$ , %21.4'ünde  $20-25^\circ$ , % 22'sinde  $25-30^\circ$  ve %14.3'ünde  $30-35^\circ$  arası eğimler gözlenmekte olup, ortalama eğim  $22^\circ$  hesaplanmıştır (Şekil 1.5).



Şekil 1.3. İnceleme alanı kot-alan ilişkisi grafiği.



Şekil 1.4. İnceleme alanı kot-alan haritası.



Şekil 1.5. İnceleme alanı eğim haritası.



### 1.3.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanının içerisinde bulunduğu Adıyaman ili kuzeyinde yazlar kurak ve serin, kışlar ise yağışlı ve soğuk geçmekte olup, bölgede karasal iklim hüküm sürmektedir. Akdeniz İklim Sınıflandırmasına göre kurak iklimin hakim olduğu bölgede kuraklık katsayısı 1.13'tür. Ancak Ocak-Aralık 2022 tarihleri arasını kapsayan SPI Türkiye Kuraklık Haritasına göre, kuraklık bölgede şiddetli olmayıp, normal şartlarda seyretmektedir (MGM, 2022).

Bu bölüm kapsamında inceleme alanı yakın dolayında yer alan uzun yıllar kesintisiz yağış-sıcaklık verilerinin kaydedildiği Adıyaman ile Malatya MGİ verileri değerlendirilmiştir. Adıyaman MGİ, inceleme alanının yaklaşık 30 km güneyinde, 672 m kotunda, Malatya MGİ ise inceleme alanının yaklaşık 35 km kuzeyinde, 950 m kotunda yer almaktadır.

Adıyaman MGİ'de Ocak 1970-Temmuz 2022 yılları arasında gözlenen en yüksek ve en düşük uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış miktarları sırası ile 131.4 mm (Aralık) ve 1.3 mm (Temmuz) olup, uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 685.4 mm olarak hesaplanmıştır. Malatya MGİ'de Ocak 1970-Temmuz 2022 yılları arasında gözlenen en yüksek uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış miktarı 53.1 mm (Nisan) ve en düşük uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış miktarı ise 2.8 mm (Ağustos) olup uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 364.1 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.6; Çizelge 1.1).

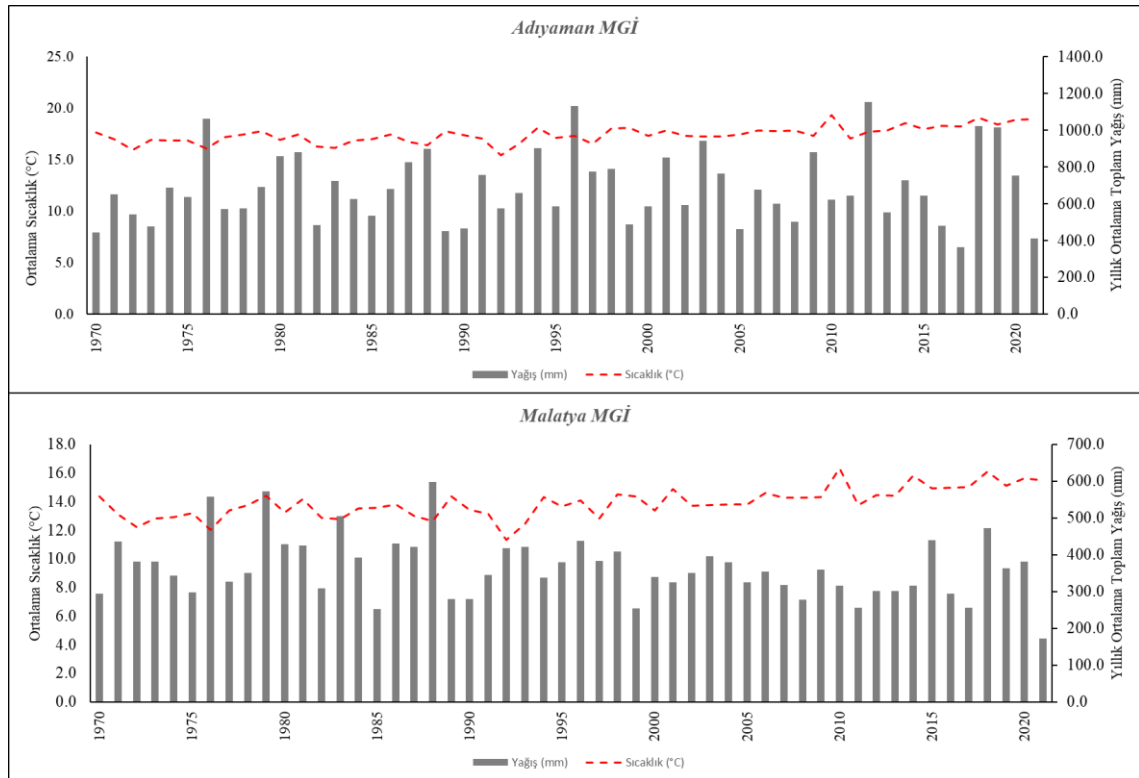
Adıyaman ve Malatya MGİ'lerde gözlenen uzun yıllar ortalama aylık en yüksek sıcaklık sırası ile 31.1 °C (Temmuz) ve 27.4 °C (Temmuz) ve en düşük sıcaklık ise 4.6 °C (Ocak) ve 0.2 °C (Ocak) olup uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise sırasıyla 17.4 °C ve 13.9 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.6; Çizelge 1.1).

İnceleme alanında genel olarak çıplak arazi formu mevcut olmakla birlikte, inceleme alanının doğusunda Çelikhhan Ovası dolayında ve inceleme alanı içerisindeki topografik

olarak eğimin az olduğu alanlarda genel olarak tütün üretimi amacıyla tarım yapılmaktadır. Tarımsal amaçla kullanılmayan alanlarda ise çayır, mera, yabani ağaç ve maki türlerine ait bitki türleri bulunmaktadır.

Çizelge 1.1. Adıyaman ve Malatya MGİ uzun yıllar ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri

Parametre		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Adıyaman MGİ	Yağış P (mm)	Ort.	130.2	95.8	89	66.2	39.2	8.5	1.3	1.4	5.5	44.5	72.4	131.4
		Min.	7	0.9	4.9	0.2	1.8	0	0	0	0	0	0	0.3
		Maks.	321.2	233	348.5	223.9	148.8	51.1	10.5	16.9	44.7	162.8	232.8	366.2
Adıyaman MGİ	Sıcaklık T (°C)	Ort.	4.6	6.2	10.1	15.2	20.7	26.8	31.1	30.7	26	19.3	11.7	6.5
		Min.	-0.1	0.5	5.7	12.1	17.4	24	28.3	27.8	23.7	16.6	7.7	3.1
		Maks.	7.8	10.2	13.8	20.1	24.6	28.8	33.5	33.2	29.8	23	15.4	9.6
Malatya MGİ	Yağış P (mm)	Ort.	36.3	36.2	48.8	53.1	44.9	16.8	3.1	2.8	7.6	37.8	39	37.7
		Min.	3.7	0	3	2.9	1.6	0	0	0	0	0.9	0	0
		Maks.	81.7	115	121.7	141.2	157.7	66.7	18.1	23.6	40.2	129.5	122.3	100.8
Malatya MGİ	Sıcaklık T (°C)	Ort.	0.2	2.2	7.2	13.1	18	23.3	27.4	27.2	22.7	15.6	7.8	2.3
		Min.	-7	-4.9	2.7	9.4	13.9	20.7	24.4	23.9	19.5	12.5	3	-2.1
		Maks.	4	6.4	12	17.8	22	26.4	29.9	30.5	26.9	19.6	11.3	6.3



Şekil 1.6. Adıyaman ve Malatya MGİ uzun yıllar ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık grafikleri.

#### 1.4. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın dolay hakkında daha önce gerçekleştirilmiş olan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

DSİ (1984) tarafından HZKS'nin yaklaşık 5 km kuzeydoğusunda yer alan Çat Barajı'nın mühendislik jeolojisi özellikleri dikkate alınarak, rezervuardan karstik kireçtaşları vasıtasıyla sızıntıların olma endişesinin değerlendirilmesi amacıyla 1984 yılında "Çat Barajı Karst Hidrojeoloji Etüt Raporu" hazırlanmıştır. Söz konusu raporda; Çat Barajı rezervuarı ve çevresinin tektonizma nedeniyle oldukça karmaşık bir yapıda olduğu belirtilmiştir. Bölgede hüküm süren tektonik hareketlerden kaynaklanan bindirmeler nedeni ile otokton ve allokton birimlerin ardalanmalı şekilde geliştiği belirtilmektedir. Çoğunlukla karbonatlı birimler ve kalkıştlerden oluşan Malatya Metamorfikleri'nin, yine çoğunlukla gnayslar, pelitik ve magmatik kökenli kayalardan oluşan Pötürge Metamorfikleri ile bunların üzerinde yer alan magmatik kayaların; taban konglomeraları, kumtaşları ve yer yer kireçtaşları ile temsil edilmiş olan Maden Karmaşığı üzerine sürüklenmiş oldukları ifade edilmiştir. Ayrıca sahada gerçekleştirilmiş olan Basınçlı Su Testi (BST) sonuçları ile diğer hidrojeolojik analiz sonuçları değerlendirilmiş olup, baraj rezervuarından olası kaçaklara karşı öneriler sunulmuştur. Bu kapsamda kireçtaşları ve şistlerde açılmış olan sondajlarda BST verilerine göre hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu çalışma sonucunda Pınarbaşı Formasyonu şistlerine ait bozunmuş zon ile Çayderesi Formasyonu kireçtaşlarının karstlaşmış zonu için K değeri  $10^{-5}$  m/s ile  $10^{-6}$  m/s arasında değişirken söz konusu birimlerin masif zonları için ise  $10^{-8}$  m/s ile  $10^{-9}$  m/s arasında elde edilmiştir. İnceleme alanı ve yakın dolayında yüzeylenen Maden Karmaşığı içinde yer alan Orta Eosen yaşlı magmatik kayalar ise geçirimsiz birim olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanının doğu kesiminde yüzeylenen kireçtaşları ve şistlerde, MTA (1984) tarafından demir cevheri rezerv belirleme çalışmaları kapsamında derinlikleri 100 m ile 295 m arasında değişen,  $70^\circ$  ve dik açılı 9 adet karotlu sondaj gerçekleştirilmiş ve kuyu logları elde edilmiştir.

Gözübol ve Önal (1986), Malatya ile Çelikhan (Adıyaman) arasında kalan bölgenin ayrıntılı jeolojik yapısını, Çat Barajı ve isale tünelinin bulunduğu alanı ise mühendislik jeolojisi açısından incelemiştir. İnceleme alanında yapısal dokanak ilişkisi içerisinde bir araya gelmiş 3 kaya topluluğu belirlenmiştir. En altta Güneydoğu Anadolu'nun allokton kaya birimleri, onun üstünde sürüklenimle yerleşmiş Malatya Metamorfikleri ve onların sırtında taşınmış olan, diskordan ilişkili parallakton örtü kayaları bulunduğu belirtilmiştir. Çalışma alanının yapısal yönden çok aktif bir bölgede bulunduğu, jeolojik evrim içerisinde birbirini izleyen kompresyonel ve tansiyonel rejimlerin egemen olduğu, bunun sonucu olarak da ilk evrede kazanılmış sürüklenim, bindirme ve makaslama ile daha sonra kazanılmış düşey faylar görüldüğü ifade edilmiştir. İnceleme alanında ana yapısal unsurun, sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olduğu belirtilmiştir.

Güneş (1994), "Bulam (Adıyaman) Apatitli Manyetit Yatağının Jeolojisi ve Rezerv Hesaplaması" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında bölgenin jeolojisini incelemiş olup, cevherleşmenin oluşumu, derinliği ve rezerv miktarını değerlendirmiştir. Söz konusu çalışmada apatitli manyetit yatağı ve yakın dolayında Malatya Metamorfikleri, Maden Karmaşığı ve kristalize kireçtaşları gibi birimler ile yamaç molozu ve alüvyonların bulunduğu belirtilmiştir. Çalışmada cevherleşmenin, şistli birimler içinde yer alan serizit-klorit şist seviyeleri arasında bulunmakta olduğu, 200 m derinliğe kadar ulaştığı ve volkano-sedimanter olarak yorumlandığı ifade edilmektedir. Yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçiren yatağın tektonik olarak çok kırıklı ve kıvrımlı bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir.

Önal vd. (2002), Pınarbaşı (Çelikhan-Adıyaman) Apatitli Manyetit Cevheri ile ilgili gerçekleştirdikleri çalışmada, alanda şist ve kireçtaşlarından oluşan Permo-Karbonifer yaşlı Malatya Metamorfikleri ve Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nın yüzeylendiğini belirtmişlerdir. Pınarbaşı cevherlerinin, Malatya Metamorfikleri'nin serisit-klorit şistleri içerisinde tabaka veya merccekler halinde bulunduğunu, doğrultularının ise yaklaşık kuzey-güney ve dalımlarının 25°- 35° batıya doğru olduğunu, cevherli zonun kalınlığının 0.5-7.5 m, yanal devamlılığının ise 2000-2500 m arasında değiştiğini ifade etmişlerdir.

Çelebi vd. (2010), Pınarbaşı (Adıyaman) apatitli manyetit yatağını jeolojik ve jeokimyasal açıdan inceleyerek bu madenin ekonomik potansiyelini değerlendirdikleri çalışmalarında; apatitli manyetit yatağı ve yakın dolayında, tabandan tavana doğru klorit, serizit ve kalkşistler ile rekristalize kireçtaşlarından oluşan Malatya Metamorfikleri'nin yer aldığı ve bu formasyon üstüne bindirme ile Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'nın geldiği belirtilmektedir.

MTA (2018), HZKS'nin yer aldığı Doğu Toroslar'da yer alan Malatya-L40 paftası için, farklı çalışmalardan derlemeler yaparak 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası ve raporu oluşturmuştur. İnceleme alanında, Prekambriyen-Kuvaterner yaş aralığında oluşmuş birbirlerinden farklı stratigrafik, yapısal ve metamorfizma özellikleri gösteren birbirleriyle tektonik ilişkili allokton ve otokton kaya birimleri yüzeleendiği belirlenmiştir. Allokton kütlelerin kuzey ve güney kökenli napılardan oluştuğu belirtilmiş olup yapısal olarak alttan üste ve güneyden kuzeye doğru; Güneydoğu Anadolu Otoktonu, Koçali Napı, Guleman Ofiyoliti, Pütürge Napı, Kömürhan Ofiyoliti, Bodrum Napı, Yahyalı Napı, Hadım Napı ile Geç Kretase-Eosen yaşlı kayalar ile Miyosen ve Kuvaterner yaşlı neo-otokton örtü kayaçların yer aldığı ifade edilmiştir.

Gözlü (2022), "Çelikhan (Adıyaman) İlçesinin G-GB'sının Hidrojeolojik İncelemesi" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında Doğu Anadolu Fay Zonu etkisi altında şekillenen Çelikhan Ovası'nın yeraltısuları ve karstik kaynaklar bakımından zengin olduğunu ancak; ovada hidrojeolojik olarak yapılan bilimsel çalışmaların yetersizliği nedeniyle kaynakların beslenme ve boşalma durumlarının, akiferlerin su depolama gücü ve suların genel fiziko-kimyasal özelliklerinin yeterince bilinmediğini ifade etmiştir. Bu kapsamda araştırmacı Çelikhan ilçesinin güney ve güneybatısında bulunan Zerban, Havşari, Çokpınar, Balıksırtı ve Mir kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini değerlendirmiştir.

Tez konusu ile ilgili daha önce gerçekleştirilmiş hidrojeolojik çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Atkinson (1977), karstik akiferlerin tamamen, bir uca yaygın akımdan, diğer uca kanal akımına uzanan bir spektrumda sınıflandırılmasının kavramsal olarak kullanışlı olduğunu, ancak yeraltısuyunun ne kadarının yaygın akım ile ne kadarının kanal akımı ile hareket ettiğinin belirli olmaması üzerinde durmuştur. İngiltere'nin Mendip Hill bölgesinde yaptığı çalışmada, hidrograf-kemograf analizleri ile boya izleme deneyi sonuçları ile yaptığı değerlendirme sonrasında akiferdeki yeraltısuyu akımının, yerel akım (conduit flow) ve yaygın akım (diffuse flow) bileşenlerinden oluştuğunu ifade etmiştir. Ayrıca kaynak çekilme analizleri sonucunda akifere ait bazı hidrodinamik parametrelerinin (T/S) belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Shevenell (1996) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, karst akiferlerinin hidrodinamik özelliklerinin (T,  $S_y$ , T/ $S_y$ , vb.) kaynak çekilme analizleri ile belirlenmesine yönelik değerlendirmeler sonucunda akifer boşalımının 3 farklı çekilme dönemi boyunca gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu dönemlerin, karst akiferinde karstik kanal, kırık-çatlak ve matris ağırlıklı ortamların drenajını temsil ettiği belirtilmektedir. Çalışmada, kaynak çekilme analizlerinden itibaren karst akiferine ait T ve  $S_y$  parametreleri hesaplanmış olup elde edilen değerlerin bölgede yer alan bazı kuyularda gerçekleştirilmiş BST test sonuçları ile uyumlu olduğu ortaya konmuştur.

Ekmekçi vd. (2003) tarafından Tacin (Bünyan – Kayseri) karst kaynağının hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi kapsamında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; Tacin (Bünyan – Kayseri) karst kaynağının 1965–1998 yılları arasındaki hidrograflarından çekilme analizleri yapılmıştır. Kaynak çekilme katsayısının farklı depolama ve seviye koşullarında değiştiğini ve çekilme katsayısının  $1.3 \times 10^{-3}$  gün<sup>-1</sup> ile  $2 \times 10^{-2}$  gün<sup>-1</sup> olarak hesaplandığını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda, Tacin karst akiferinin ileri derecede heterojen ve anizotrop bir sistem olduğu belirlenmiştir.

Kovacs vd. (2005), kaynak çekilme analizine dayalı olarak karst akiferinin geometrik ve hidrolik parametrelerinin belirlenerek, karakterizasyonu konusunu ele almışlardır. Çalışmada; azalma katsayısının, akifer geometrisi ve hidrodinamik parametreleri ile kanal iletimlilik katsayısı ve frekansını temsil ettiğini ifade etmişlerdir. Akifer parametrelerinin

genel konfigürasyonuna bağlı olarak temelde iki akış rejimi tanımlanmıştır. Birinci gurupta, küçük iletimlilik katsayısı, yüksek frekans sayısı ve düşük heterojenite ile temsil edilen genç karstik sistemlerde (early karst system) yeraltısuyu akımı baskın kanal akım şeklinde gerçekleşmektedir (conduit – influenced flow regime). İkinci grup akım rejimi ise olgun karstik sistemlerde (mature system) matriks baskın yeraltısuyu akım rejimi (matrix – restrained flow regime) olup bu sistemler büyük iletimlilik katsayısı, küçük frekans sayısı ve yüksek derecede heterojenite ile temsil edilmektedir.

Aydın (2005), “Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin (HBKS) Morfoloji-Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi” adlı doktora tez çalışması kapsamında sınırlı koşulları tanımlanabilen karst sisteminin morfoloji-hidrojeoloji ilişkilerini araştırmış olup, jeoloji, tektonizma, morfoloji, yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özellikler ile hidrojeolojik kavramsal modelini oluşturmuştur. Söz konusu kavramsal modelin oluşturulması amacıyla; arazide yerinde jeolojik-morfolojik ölçümler ve gözlemler gerçekleştirilmiş, kaynaklarda debi ölçümleri, tüm su noktalarında hidrojeokimyasal ve fiziksel parametreler ile iz elementlere yönelik izleme çalışmaları, boya izleme deneyi gerçekleştirilmiş olup meteorolojik-hidrolojik analizler yapılmıştır. Ayrıca çalışmada kaynak çekilme analizleri yapılarak akifere ait hidrodinamik özellikler ( $T/S_y$ ) hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda kaynak çekilme katsayısının nispeten yüksek ( $\sim 10^{-2}$  gün<sup>-1</sup>) olması, akiferde düşük depolama ve yüksek iletimlilik koşullarının ve nispeten düşük ( $\sim 10^{-3}$  gün<sup>-1</sup>) çekilme katsayısının ise akiferde yüksek depolama ve düşük iletimlilik koşullarını ifade ettiği belirtilmektedir.

Açıkel (2012) tarafından hazırlanan “Gökova-Azmacık (Muğla) Karst Kaynaklarında Akım ve Tuzlu Su Karışımı Dinamiğinin Kavramsal Modellenmesi” adlı doktora tezinde kaynakların hidrolojik, hidrojeokimyasal, izotopik ve hidrodinamik davranışlarının birlikte değerlendirilmesi ile kıyı karst sistemine ait kavramsal model oluşturulmuştur. Kaynak başında gerçekleştirilen fizikokimyasal parametrelerinin konum ve zamana göre değişimleri ile hidrojeokimya ve izotop analiz sonuçları birlikte değerlendirilerek tuzlu su karışımı süreçleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Azmacık kaynakları karst akifer sisteminin Muğla Havzası Karst Akiferi, Ula Havzası Karst Akiferi, Köprüçay Karst Akiferi ve Gökova Kıyı Alüvyon Akiferi ile etkileşim içinde olduğu ifade edilmiş olup,

Gökova Grabenini oluşturan fayların bölgesel hidrojeolojik yapıyı şekillendirdikleri belirtilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında, Azmak kaynağı akımlarını (2006-2011) ölçmek üzere kaynak çıkışına ve bir sondaj kuyusuna (DSİ-42346) konulan otomatik ölçüm cihazlarından sağlanan verileri kullanılarak hem kuyu hem de kaynak için kaynak çekilme analizleri gerçekleştirilmiş ve çekilme katsayısı  $2.2 \times 10^{-3}$ - $1.3 \times 10^{-2}$  gün<sup>-1</sup> arasında değiştiği hesaplanmıştır.

Yüksel (2022), “Çokrağan (Banaz-Uşak) Karst Sisteminde Beslenme-Boşalım İlişkisinin Araştırılması” adlı yüksek lisans tez çalışması kapsamında  $0.349 \text{ m}^3/\text{s}$  debi ile boşalım sağlayan Çokrağan Karst Sistemi’nin morfoloji-hidrojeoloji ilişkisini detaylandırmak amacıyla jeolojik, tektonik ve morfolojik özellikler ile yağış rejimi, buharlaşma, süzülme, beslenme, depolama ve dolaşım gibi dinamik özellikleri değerlendirerek hidrojeolojik kavramsal modelini oluşturmuştur. Çalışma kapsamında su noktalarından alınan örnekler üzerinde hidrojeokimyasal analizler gerçekleştirilmiş olup, su bütçesi değerlendirmeleri ile birlikte sistemin beslenme alanı belirlenmiştir. 1980-2020 yılları arası debi gözlemine sahip Çokrağan Kaynağı akımlarına ait kaynak çekilme analizleri yapılmış olup, hem kaynak akımlarında gözlenen yüksek değişim katsayısı hem akım hidrograflarının şekli hem de çekilme katsayısındaki değişim, Çokrağan Karst Sistemi’nde depolama ve dolaşım özelliklerinin iyi gelişmiş karstik kırık-çatlak sistemleri ve kanallar boyunca baskın olarak gerçekleştiğini göstermiştir. Çokrağan Karst Sistemi’nin, hidrolik iletkenlik ve iletkenlik katsayılarının nispeten yüksek, depolama katsayısının ise nispeten düşük olduğu, ileri derecede anizotrop ve heterojen ortam olduğu ifade edilmiştir.



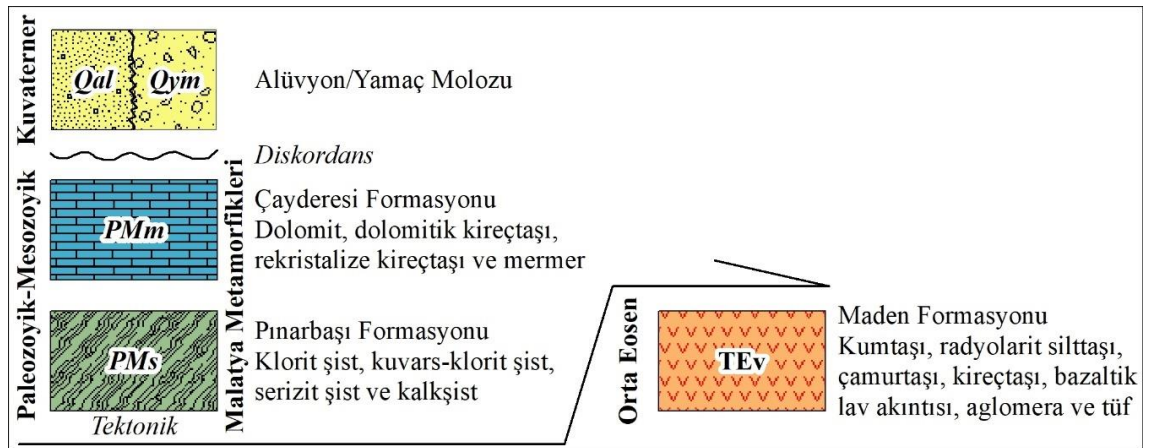


## 2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

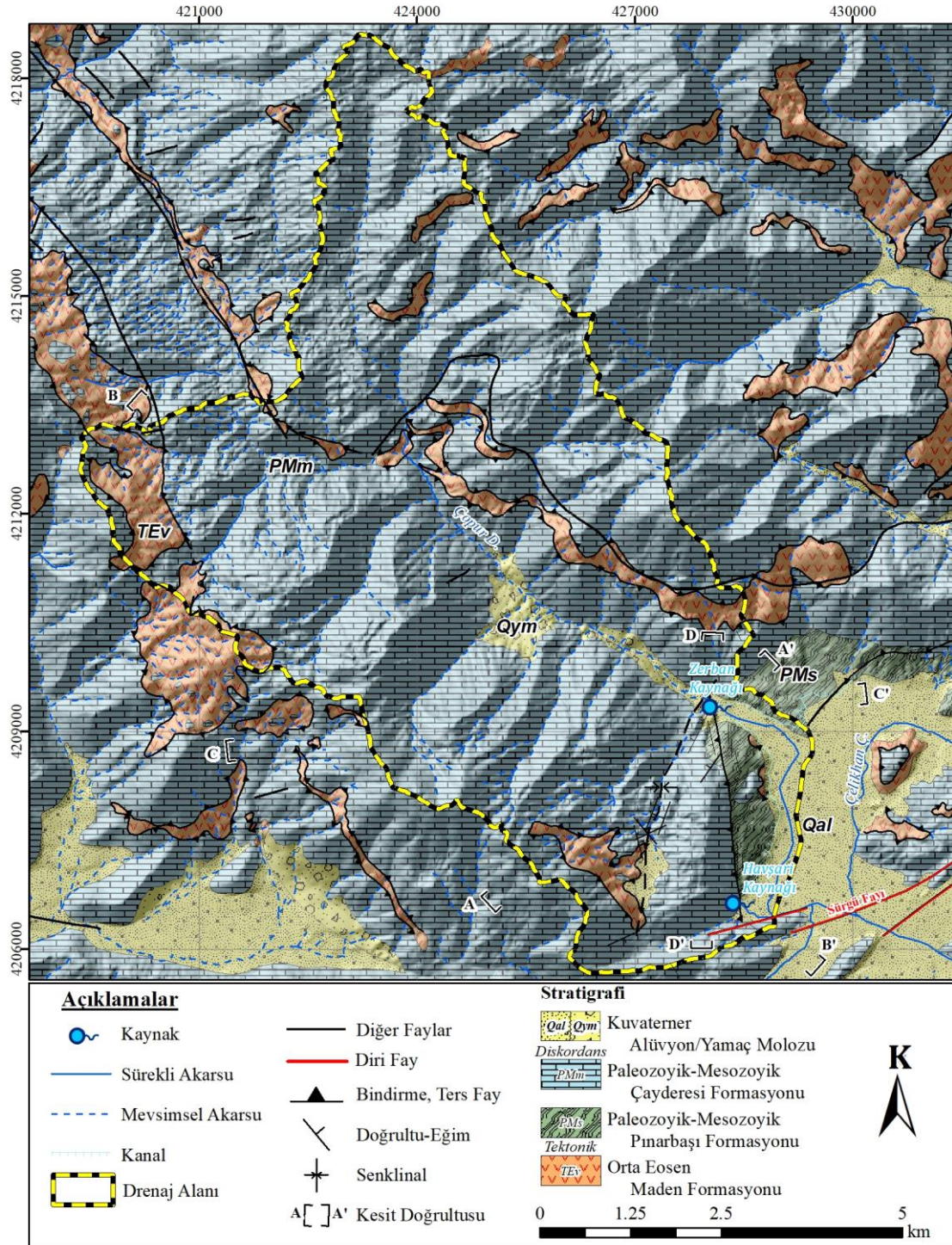
### 2.1. Stratigrafik Yapı

İnceleme alanı ve yakın dolayının jeolojik yapısı, DSİ (1984), MTA (1984), Gözübol ve Önal (1986), Önal vd. (2002), Çelebi vd. (2010), MTA (2018) ve PROJEO (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ile arazi gözlemlerinden elde edilen bilgilerden derlenerek ortaya konmuştur. İnceleme alanı ve yakın dolayının jeolojik yapısını, temelde otokton özellikle Orta Eosen yaşlı Maden Formasyonu oluştururken, bu birimler üzerine allokton özellikle bindirme ile Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Malatya Metamorfikleri gelmektedir. Bu birimleri Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar ve Yamaç Molozları örtmektedir (Şekil 2.1; 2.2). İnceleme alanında yüzeyleyen jeolojik birimler otokton, allokton ve örtü birimler olmak üzere üç alt başlıkta değerlendirilmiştir.

İnceleme alanına ait jeoloji haritası Şekil 2.2’de verilmiş olup, söz konusu harita üzerinde bölgede MTA (1984) tarafından açılan rezerv sondajların lokasyonları gösterilmiştir. Ayrıca inceleme alanının jeolojik yapısına ait mevcut veriler ile (jeoloji, jeofizik, sondaj logları, vb.) arazi çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen gözlemler sonucunda elde edilen jeolojik kesitler ise Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da sunulmaktadır.



Şekil 2.1. İnceleme alanı ve yakın dolayının stratigrafik istifi (MTA (1984), Önal vd. (2002), Çelebi vd. (2010) ve MTA (2018)'den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 2.2. İnceleme alanı ve yakın dolayının jeoloji haritası (MTA (1984), Önal vd. (2002), Çelebi vd. (2010) ve MTA (2018)'den değiştirilerek alınmıştır).

### 2.1.1. Otokton Birimler

#### Maden Formasyonu (TEv)

Tabanda çakıltaşı ile başlayan yer yer olistostromal düzeyler kapsayan kumtaşı, radyolarit siltaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, bazaltik lav akıntısı, aglomera ve tüften oluşan birim Ketin (1948) tarafından Maden Serisi ve Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından "Maden Birimi" olarak adlandırılmıştır. Sonraki yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda Sason-Baykan Grubu (Özkaya, 1978), Baykan Karmaşığı (Açıkbaş ve Baştuğ, 1975), Maden Grubu (Erdoğan, 1982; Yiğitbaş vd., 1993; Yılmaz, 1993) ve Maden Karmaşığı (Perinçek, 1979; Perinçek ve Özkaya, 1981; Yazgan, 1983; 1984; Hempton, 1984; Aktaş ve Robertson, 1984; Yazgan ve Chessex, 1991; Yiğitbaş ve Yılmaz, 1996) olarak isimlendirilmiştir. MTA (2018)'de ise birimin "karmaşığı" ifade eden bir litoloji özelliği göstermediği belirtilmiş olup, karmaşık olarak adlandırmanın stratigrafi adlama kurallarına göre aykırı olmasından dolayı "Maden Formasyonu" olarak adlandırılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir. Birim bu çalışma kapsamında da Maden Formasyonu (TEv) adı altında incelenmiştir.

Maden Formasyonu inceleme alanı ve yakın dolayında Pınarbaşı yerleşim biriminin kuzeyinde yüzeylemekle birlikte batı-güneybatı ve doğusunda bindirme ile üzerine gelen metamorfik birimlerin aşındığı alalarda mostra vermektedir (Şekil 2.2). Ayrıca Havşari ve Zerban kaynakları ile yakın dolayında gerçekleştirilen jeofizik çalışmalar (PROJEO, 2022) sonucunda söz konusu birimin, Çelikhan Ovasında yüzeyleyen Kuvaterner yaşlı alüvyonların altında da yer aldığı tespit edilmiştir.

İnceleme alanı ve yakın dolayında mostra veren Maden Formasyonu, genelde koyu kırmızı renkli ve sıklıkla yanal fasiyes değişimi gösteren çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, andezit, diyabaz, spilit ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmakta olup volkanik-çökel kayaçlar ile temsil edilmektedir (Foto 2.1; Gözübol ve Önal, 1986; MTA, 2018). Söz konusu çalışmalarda, bölge genelinde yüzeyleyen formasyonun kalınlığının 100-2000 m arasında değiştiği belirtilmekte olup çalışma alanında gerçekleştirilen jeofizik çalışmalarında (PROJEO, 2022) formasyonun kalınlığı 50-200 m arasında gözlenmiştir (Şekil 2.5; 2.6).

Gözübol ve Önal vd. (1986) ve Çelebi vd. (2010), Maden Formasyonunun tabanda, Pütürge Napı ile tektonik dokanaklı olan Pütürge Metamorfikleri açısız uyumsuzlukla yer almakta olduğu belirtilmekle birlikte inceleme alanı ve yakın dolayında Pütürge Metamorfiklerine ait birimler yüzeylenmemektedir. Üstte ise Malatya Metamorfiklerine ait Pınarbaşı Formasyonu tektonik dokanak ile yer almakta olup söz konusu dokanakta yer yer bozunmuş zonlar gözlenmektedir (Önal vd., 2002; MTA, 2018).

MTA (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında birimde bulunan fosiller derlenmiş olup, değerlendirme ve denestirme sonucunda Maden Formasyonunun yaşının Orta Eosen olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte Büyükkıdık ve Aras (1984), Gözübol ve Önal (1986) ve Önal vd. (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da birimin yaşının Alt-Orta Eosen olduğu saptanmıştır. Bu çalışma kapsamında Maden Formasyonu'nun yaşı Orta Eosen kabul edilmiştir.



Foto 2.1. Pınarbaşı beldesi ve yakın dolayında yüzeylenen birimler.

Sığ ve derin denizel ortam özellikleri gösteren Maden Formasyonu, Neotetis Okyanusu güney kolunun kapanması sonucunda gerilmeli yay ardı ortamında (havzasında) çökelmiş ve kapanması esnasında ön ülke havzası niteliğinde, içerisinde kuzey kökenli naplara ait blok ve tektonik dilimler içermektedir (MTA, 2018).

Maden formasyonu; Güneydoğu Anadolu'da tanımlanan Maden Birimi (Rigo de Righi ve Cortesini, 1964), Ergani-Maden yöresinde tanımlanan Sason-Baykan Grubu (Özkaya, 1978), Hani bölgesinin kuzeyindeki alanda tanımlanan Baykan Karmaşığı (Açıkbaş ve Baştuğ, 1975), Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağı'nda ayırtılan Maden Grubu (Erdoğan, 1982; Yiğitbaş vd., 1993; Yılmaz, 1993), Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da yapılan çalışmalarda tanımlanan Maden Karmaşığı (Perinçek, 1979; Perinçek ve Özkaya, 1981; Yazgan 1983; 1984; Hempton, 1984; Aktaş ve Robertson, 1984; Yazgan ve Chessex, 1991; Yiğitbaş ve Yılmaz, 1996) ve Maden-Elazığ dolaylarında tanımlanan Maden Karmaşığı (Kaya, 2004) ile denetlenmektedir (MTA, 2018).

### **2.1.2. Allohton Birimler**

#### *Pınarbaşı Formasyonu (PMs)*

Tabandan itibaren alttan üste doğru klorit şist, kuvars-klorit şist, serizit şist ve kalkşist aralanmasından oluşan ve içinde yer yer çörtlü mermer, dolomit ve dolomitik kireçtaşı ara seviyeleri bulunduran birim, ilk olarak Sungurlu (1973) tarafından Gölbaşı-Gerger (Adıyaman) yerleşim birimleri arasında gerçekleştirmiş olduğu çalışmada Malatya Metamorfikleri içinde yer alan mermerler ile birlikte Kilkayak Formasyonu olarak isimlendirmiştir. Perinçek (1979), Malatya güneyinde yapmış olduğu çalışmada yine mermerler ile birlikte Malatya Metamorfikleri olarak adlandırmıştır. Birimi, Özgül vd. (1981) Tunceli (Munzur Dağları) dolaylarında Alıçlı Formasyonu olarak adlandırırken, Gözübol ve Önal (1986) ile Çelebi vd. (2010) ise Malatya Metamorfikleri içerisinde Pınarbaşı Formasyonu olarak adlandırmışlardır. Güneş (1994), Önal vd. (2002) ve Çelebi vd. (2010) yapmış oldukları çalışmalarda birimi Malatya Metamorfikleri içerisinde Pınarbaşı Şistleri olarak isimlendirmiştir. MTA (2018) ise Alıçlı Formasyonu adlandırmasını kullanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise birimin inceleme alanı ve yakın dolayında Pınarbaşı Beldesi dolaylarında yüzeylemesinden dolayı Pınarbaşı

Formasyonu (PMs) adlanması kullanılmıştır (Şekil 2.2). Birim Pınarbaşı yerleşim biriminin kuzeydoğusu ile güneyinde kuzey-güney doğrultusu boyunca (~1.5 km<sup>2</sup>) yüzeylenmektedir.

Pınarbaşı Formasyonu şistleri genel olarak yeşil, sarımsı, grimsi, yer yer kırmızı ve alacalı renkli olup çok ince-ince yapraklanmalı ve üst seviyelerinde ise özellikle üstteki kireçtaşına geçiş zonlarında sedimanter demir katkılı olup yer yer ara seviyelidir (Foto 2.2; Gözübol ve Önal, 1986). Pınarbaşı beldesi güneyinde kuzey-güney doğrultusu boyunca yüzeylenen birim oldukça kıvrımlı bir yapı sunmakta olup batıya eğimlidir (30-60°). Şistlerle beraber yoğun olarak bulunan kalkışistler ise; gri, sarımsı, yeşilimsi, yer yer pembemsi ve kahverengimsi tonlarında olup, genellikle orta-kaba, yer yer ince yapraklanma ve şistoziteyi kesen değişik boyutta kuvars damarları kapsamaktadır (Gözübol ve Önal, 1986; MTA, 2018). Taban kısmı batıya doğru mermerlerle ara katkılı hale dönüşmektedir (Güneş, 1994). Birimin içerisinde ara seviyeler şeklinde izlenen siyahımsı koyu gri ve gri renkli, orta-kalın tabakalı dolomitler bulunmaktadır (MTA, 2018). Birimin, bölgede genel olarak kalınlığı MTA (2018)'e göre 10-250 m arasında değişmektedir. PROJEO (2022) tarafında gerçekleştirilen jeofizik çalışması ile MTA (1984) tarafından sunulan sondaj loglarına ait veriler formasyonun kalınlığının 30 m ile 200 m arasında değiştiğine işaret etmektedir (Şekil 2.5; 2.6).



Foto 2.2. Pınarbaşı ve Çayderesi formasyonları ile Çelikhhan Ovası alüvyonları.

Pınarbaşı Formasyonu'nun alt dokanağı tektonik olup Orta Eosen yaşlı Maden Formasyonu üzerine bindirme ile gelmiştir. Birimin üst dokanağını ise Malatya Metamorfiklerine ait dolomit, dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşan Çayderesi Formasyonu oluşturmaktadır (Gözübol ve Önal, 1986). Bedi vd. (2009;

2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda Pınarbaşı Formasyonu içinde tanımlanan fosil içeriğine göre Alt Triyas yaşı saptanmıştır. MTA (2018)'de ise Toroslardaki metamorfik olan veya metamorfik olmayan benzer kayalarda Erken-Orta Triyas yaşları saptanması dikkate alınarak formasyon için Erken-Orta Triyas yaşı kabul edilmiştir. Gözübol ve Önal (1986) çalışmaları kapsamında formasyonun stratigrafik ilişkileri ve üstündeki birimlerin yaş konağı gözetilerek Permokarbonifer yaşı belirlenmiş ve çalışmalarında Paleozoyik yaşını kullanmışlardır. Kaya (2016) ise Malatya Metamorfiklerinde yaptığı çalışmada tespit ettiği fosil bulgularından yola çıkarak birimin yaşını Devoniyen-Jura olarak belirlemiştir. Sunulan çalışma kapsamında Pınarbaşı ve Çayderesi formasyonlarının yaşı Paleozoyik-Mesozoyik kabul edilmiştir.

Gözübol ve Önal (1986)'da litolojik ve mineralojik kompozisyonu dikkate alarak, Pınarbaşı Formasyonunun şelf tipi çökellerin rejyonel metamorfizması sonucu oluştuğunu öne sürmektedir. Birim MTA (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında; Pınarbaşı Formasyonu, Orta Toroslar'da Kuşyuvası (Bolkardağı) Napı içinde yer alan Bucakçökelesi Formasyonu (Bedi ve Öztürk, 2001) ve Ekinlik Formasyonu (Özgül, 1997); Aladağ Napı içinde yer alan Mediova Formasyonu (Monod, 1977) ve Gevne Formasyonu (Özgül, 1997); Kütahya-Bolkar Kuşağında Ardıçlı Formasyonu (Özcan vd., 1988); Doğu Toroslar'da Katarası Formasyonu (Demirtaşlı, 1967; Özgül vd. 1973; Metin vd., 1982; 1986); Berit Dağı'nda Yılanova Formasyonu (Yılmaz vd., 1987; Yıldırım, 1989) ve Batı Toroslarda ise Karaova Formasyonu (Philipson, 1915) ile deneştirilmiştir.

#### Çayderesi Formasyonu (PMm)

İnceleme alanı ve yakın dolayında geniş alanlarda mostra veren birim, ilk olarak Sungurlu (1973) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Malatya Metamorfikleri içinde, Pınarbaşı Formasyonu ile birlikte Kilkayak Formasyonu olarak isimlendirmiştir. Perinçek (1979), Malatya güneyinde yapmış olduğu çalışmada yine tabanda yer alan şistler ile birlikte birimi Malatya Metamorfikleri olarak adlandırmıştır. Birimi, Özgül vd. (1981) Tunceli (Munzur Dağları) dolaylarında Çayderesi Kireçtaşı olarak adlandırırken, Gözübol ve Önal (1986) ile Yılmaz vd. (1992; 1993) ise Malatya Metamorfikleri içerisinde sırası ile Koltik Kireçtaşı ve Çayderesi Formasyonu olarak adlandırmışlardır. Güneş (1994), Önal



vd. (2002) ve Çelebi vd. (2010) yapmış oldukları çalışmalarda birimi Malatya Metamorfikleri içerisinde değerlendirmişlerdir. MTA (2018) ise Çayderesi Formasyonu adlandırmasını kullanmış olup, bu çalışma kapsamında ise bu isimlendirme kabul edilmiştir (Şekil 2.2).

İnceleme alanı ve yakın dolayında en geniş alanda yüzeyleyen ve hidrojeolojik açıdan Pınarbaşı beldesi içinde boşalım sağlayan Zerban karst kaynağı ile beldenin güneyinde boşalım sağlayan Havşari karst kaynağının akiferini oluşturduğu öngörülen Çayderesi Formasyonu, 1/100.000 ölçekli L<sub>40</sub> paftası içerisinde yer alan Çamurlu, Furuncu, Çampınar, Bozgedik, Pınarbaşı ve Elmalı mahalleleri arasında kalan bölgede mostra vermektedir (Şekil 2.2; 2.5; 2.6).

Çayderesi Formasyonu düşük oranda şist-kalkşist ara katkıları içeren dolomit, dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve mermer ardalanmasından oluşmaktadır (MTA, 2018). Bölgede tabanda gri veya siyahımsı gri, üst kesimlere doğru bej renkte, sert, tabandan orta-üst seviyelere doğru kalın tabakalı, orta derecede kristalize olmuş, erime boşluklu ve bol eklemlili, yersel düzlemsel laminalı ve az çörtlü bir yapı sunmaktadır (Foto 2.3; Önal vd., 2002). Bol kırıklı-çatlaklı ve karst yüzey morfolojisine ait (dolin, düden, vb.) oluşumlar sunan birimin üst kesimi (~45-50 m) ileri derecede karstlaşmıştır. Pınarbaşı beldesi güneyinde kuzey-güney doğrultusu boyunca uzanan ve oldukça kıvrımlı bir yapı sunan birimde, söz konusu doğrultu boyunca senklinal ekseni yer almaktadır. Söz konusu senklinal ekseni boyunca (özellikle İnönü Mahallesi civarında) kuzeye (Pınarbaşı'na) doğru gidildikçe tabaka eğimleri 80°'ye ulaşmaktadır.

Bazı seviyelerinde epidot, klorit, kuvars ve kalsit minerallerinden oluşan yeşilimsi zonlar içeren birimin bölgede genel olarak kalınlığı MTA (2018)'e göre 100-1000 m arasında değişmektedir. PROJEO (2022) tarafından gerçekleştirilen jeofizik çalışması ile MTA (1984) tarafından sunulan sondaj loglarına ait veriler formasyonun kalınlığının 20 m ile 200 m arasında değiştiğine işaret etmektedir (Şekil 2.5; 2.6).



Foto 2.3. ayderesi Formasyonu ve karst yzey morfolojisine ait görüntüler.

Çayderesi Formasyonu'nun alt dokanağı, Pınarbaşı Formasyonu ile uyumlu olup yer yer de tektonik ilişkilidir (Gözübol ve Önal, 1986), yanal yönde fasiyes değişimi göstermeyen birim inceleme alanında yer yer Kuvaterner yaşlı birimler tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir (MTA, 2018). İnceleme alanında Çayderesi Formasyonu ve Pınarbaşı Formasyonu, güneyden geçen Doğu Anadolu Fay Zonu'na (DAFZ) dik gelişmiş olan ters fay ile tektonik dokanaklıdır.

Metamorfizma nedeni ile az oranda fosil içeren Çayderesi Formasyonunda, Özgül vd. (1981) ile Bedi vd. (2009; 2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda tanımlanan fosil içeriğine göre Triyas yaşlı saptanmıştır. Gözübol ve Önal (1986)'nın çalışmaları kapsamında formasyonun stratigrafik ilişkileri gözetilerek Permokarbonifer yaşlı belirlenmiştir. Çelebi vd. (2010) ile Önal vd. (2002) Paleozoyik yaşını çalışmalarında kullanmış olup, Kaya (2016) ise Malatya Metamorfiklerinde yaptığı çalışmasında tespit ettiği fosil bulgularından yola çıkarak birimin yaşını Devoniyen-Jura olarak belirlemiştir. MTA (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında Çayderesi Formasyonu içinde derlenen ve değerlendirilen fosil içeriğine göre Orta-Geç Permiyen yaşlı belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Çayderesi Formasyonu için Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı kabul edilmiştir.

Birimin litofasiyes özelliklerine bakılarak, şelf ortamında çökeldiği, zaman zaman ise yamaç çökme ortamında çökeldiği ve sonradan bölgesel metamorfizma ile kristallendiği belirlenmiştir (Gözübol ve Önal, 1986; MTA, 2018). İnceleme alanında gözlenen dolomit, dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve mermer aralanmasından oluşan Çayderesi Formasyonu, Munzur Dağları (Tunceli) civarında Çayderesi Kireçtaşı (Özgül vd., 1981); Engizek Dağları'nda (Kahramanmaraş) Koçdağ Formasyonu (Yiğitbaş, 1989; Yıldırım, 1989) ve Taşdökümü Formasyonu (Baydar, 1989); Orta Toroslar'da (Bozkır-Hadim-Taşkent dolayları) Taşkent Formasyonu, Kuşyuvası Napı'nda (Bolkardağı) Pınarlıkır Formasyonu (Bedi ve Öztürk, 2001) ve Kütahya-Bolkar Kuşağında ise Eldes Formasyonu (Özcan vd., 1988) ile denestirilmektedir (MTA, 2018).

### 2.1.3. Örtü Birimler

#### Alüvyon (Qal) ve Yamaç Molozu (Qym)

İnceleme alanı ve yakın dolayında Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozları, Pınarbaşı Beldesinden itibaren yaklaşık 2-3 km kuzey-kuzeybatısına doğru yer alan vadi boyunca mostra vermektedir (Şekil 2.1). Söz konusu alanda Çopur Dere vadisi bulunmakta olup birim özellikle Malatya Metamorfiklerinin bulunduğu yükseltilerin yamaçlarında ve fay şevlerinde gözlenmektedir. Çoğunlukla çakıl boyutunda malzeme içeren Yamaç Molozları, Çamlıyayla Mahallesi dolaylarında kalınlığı 15-20 m arasında değişen konglomera seviyeleri ile temsil edilmektedir (Foto 2.4). İnceleme alanı genelinde en yaygın alüvyon çökeli alanın doğu-güneydoğusunda yer alan Çelikhhan Ovasında gözlenmektedir. Kil, silt, kum ve çakıl boyutunda çevre kayalardan malzemeler içeren Kuvaterner yaşlı alüvyonların kalınlığı Pınarbaşı ve yakın dolayında 5-10 m arasında değişirken, güneydoğuya doğru gittikçe kalınlığı artmaktadır (Şekil 2.1; 2.5; 2.6). Gözübol ve Önal (1986), bölgede yüzeyleyen Malatya Metamorfiklerine ait şist, kireçtaşı, dolomit, mermer, vb. kayalardan kopan parçaların düşük eğime sahip Çelikhhan Ovasında biriktiğini öne sürmektedir (Foto 2.4). Kuvaterner yaşlı örtü birimler, daha yaşlı birimleri uyumsuzluk ile örtmektedir.



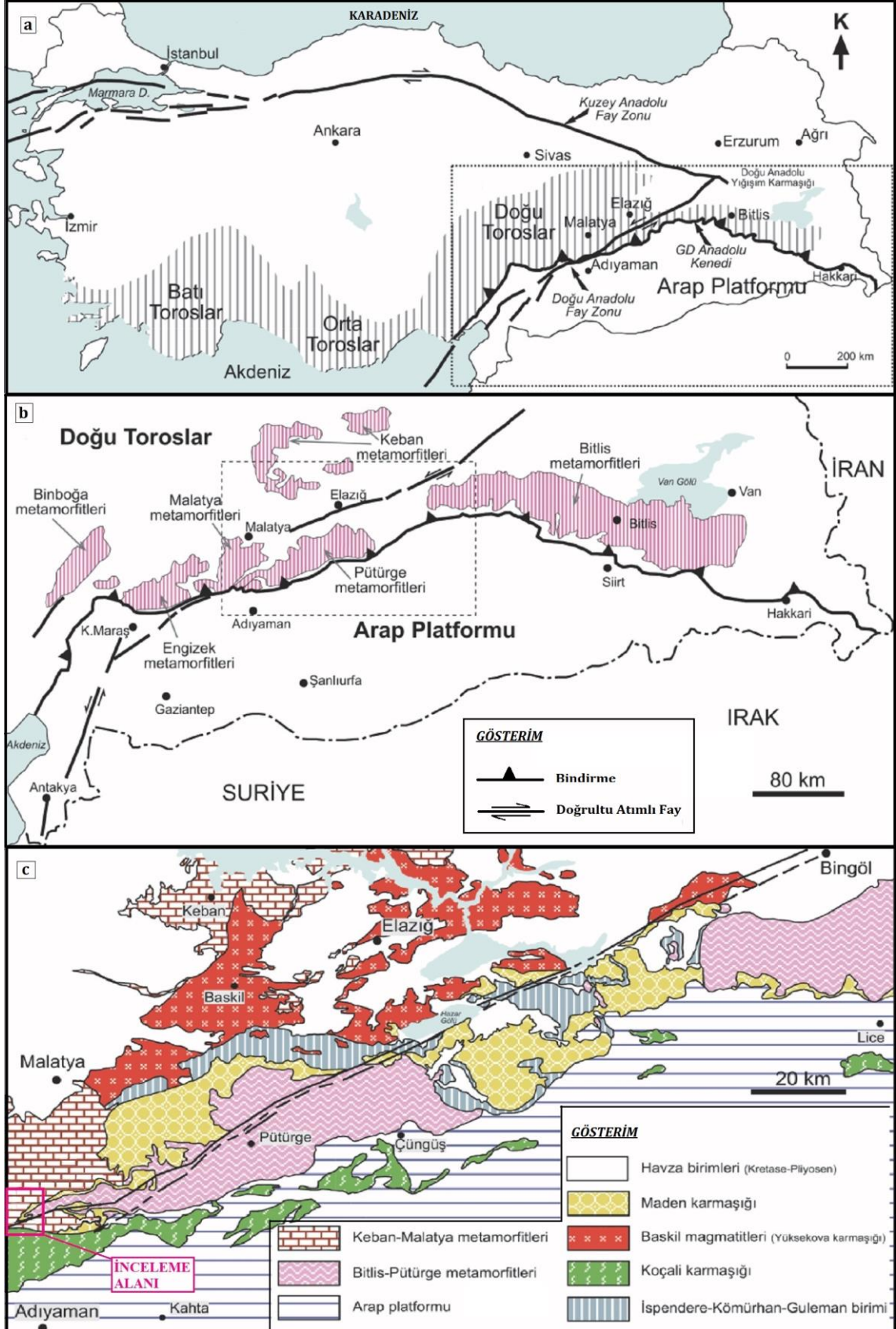
Foto 2.4. Kuvaterner yaşlı örtü birimler.

## 2.2. Jeolojik Evrim

Ketin (1976)'da Türkiye, dört ana tektonik birliğe ayrılmış olup bunlar Pontid, Anatolid, Torid ve Kenar Kıvrım Kuşağı olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanı, Doğu Torid (Toros Orojenik Kuşağı) ile Kenar Kıvrımları Kuşağı arasında yer almaktadır (Şekil 2.3). Arap Plakasının Orta Miyosen'den itibaren kuzeye doğru hareketi nedeni ile inceleme alanı ve yakın dolayında Toros Orojenik Kuşağı birimleri, Kenar Kıvrımları Kuşağı birimleri üzerine sürüklenmiştir. Genel olarak Üst Kretase'den özele ise Orta Miyosen'den itibaren Avrasya ve Arap plakalarının birbirlerine yaklaşması ve çarpışması sonucu oluşan Kıvrım Kenar Kuşağı 400 km uzunluğa ve 70 km genişliğe sahip olmuştur (Şahin ve Işık, 2010).

Söz konusu hareketler sonucunda bölgede doğudan batıya doğru temelde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Bitlis, Pütürge, Keban, Malatya, Engizek ve Binboğa metamorfik istiflerine ait gnays, şist, kuvarsit, mermer, vb. kayalar bulunmaktadır (Şekil 2.3). Yılmaz vd. (1992)'ye göre metamorfiklerin tümü, büyük bir metamorfik birliğin parçaları olup, söz konusu istiflerin bugünkü konumlarını Üst Kretase-Erken Miyosen aralığındaki jeolojik süreçlerle kazandığı belirtilmektedir (Şahin ve Işık, 2010).

İnceleme alanında, jeolojik evreler içerisinde birçok farklı tektonik hareketler meydana gelmiş ve bunun sonucunda kıvrım, kırık, sürüklenim, bindirme ve çeşitli türden faylar oluşmuştur (Şahin ve Işık, 2010). İnceleme alanındaki jeolojik yapının oluşmasında en etkili ana tektonik unsurlar Şerefhan Bindirmesi ve Doğu Anadolu Fay Zonu'dur. Şerefhan Bindirmesi, Elazığ-Bitlis sürüklenimi'nin (Rigo de Righi ve Cortesini, 1964) batı kısmına karşılık gelmekte olup Kenar Kıvrımları Kuşağı ile onun üstüne kuzeyden sürüklenimle gelmiş olan birimlerin yapısal olarak tektonik dokanağını oluşturmaktadır. Bu dokanla bir araya gelmiş olan yapısal özellikleri farklı iki kaya topluluğu, yeni bir tektonik rejim ve ortak evrim içerisinde eşit yapısal unsurlar; bindirme ve faylar kazanmışlardır. Bölgede yapısal evrimin sonunda oluşan Doğu Anadolu Fayı ise aynı zamanda tektonik rejimin değişimini sağlamıştır (Şahin ve Işık, 2010).



Şekil 2.3. (a) Torosların konumu ve Türkiye’de bazı ana tektonik yapılar, (b) Güneydoğu Anadolu kuşağı boyunca masiflerin genel konumu ve (c) Malatya-Bingöl arasında yüzeyleyen birimlerin jeoloji haritası (Yazgan ve Chessex (1991) ve Şahin ve Işık, (2010)’dan değiştirilmiştir).

İnceleme alanı ve yakın dolayında geniş alanlarda mostra veren Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Pınarbaşı ve Çayderesi formasyonlarından oluşan Malatya Metamorfikleri, Şerefhan Bindirmesi ile bölgede yüzeyleyen daha genç yaşlı birimler (Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı) üstüne yerleşmiş olup Doğu Anadolu Fay Zonu'nun güneyinde söz konusu durum gözlenmektedir (Gözübol ve Önal, 1986). İnceleme alanı ve yakın dolayında hüküm süren tektonik rejim, kuzey-güney ve doğu-batı doğrultulu kıvrımlanmalara neden olmakla birlikte, Pınarbaşı Formasyonu içinde yer alan şistlerin cevherli zonlarla birlikte yüksek derecede kıvrımlanmasına, yer yer ters dönmesine ve ezilmesine sebep olmuştur (Büyükkıdık ve Aras, 1984). Bölgede bindirme yönü kuzeyden güneye doğru olup cevherleşme ile aynı doğrultudadır (Güneş, 1994).

### **2.3. Çizgisel Unsurlar**

İnceleme alanında bindirme kuşağını, Torid Tektonik Birliği ile Arap Plakasının çarpışması oluştururken, Malatya Metamorfiklerine ait birimler Şerefhan Bindirmesi ile Orta Eosen yaşlı Maden Formasyonu üzerine gelmiştir. İnceleme alanı ve yakın dolayında söz konusu tektonik faaliyetler sonucunda gerçekleşen kuzeyden güneye doğru bindirme (Şerefhan Bindirmesi), kuzey-güney ve doğu-batı doğrultulu kıvrımların ve farklı özellikte fayların oluşmasına neden olmuştur.

Karstik sistemlerde beslenme alanları, yeraltısu akım yönü ve boşalım noktalarının belirlenmesinde, faylar ve kırık-çatlak sistemleri, antiklinal ve senklinal eksenleri önemli çizgisel unsurlarıdır (Milanovic, 1981; Kurttaş, 1997; Koyuncu, 2003; Aydın, 2005). Kurttaş (1997) ve Koyuncu (2003) ise çalışmalarında aynı doğrultudaki karstik çöküntü yapıları, dere yataklarındaki ani yön değişimleri, faylar, antiklinal ve senklinal eksenleri, vb. gibi yapısal ve tektonik unsurlar ile uçurumların, kanyonların ve bitki örtüsündeki değişimlerin çizgisel unsurların belirlenmesinde, önemli olduğunu belirtilmektedir. Ayrıca, karstik ortamlarda yüzey morfolojisini oluşturan çöküntü yapılarının (dolin, polye, uvala, vb.) uzun eksenleri ise olası yeraltısu akım yönünü göstermektedir (Worthington, 1999). Bu nedenle, bir bölgede karstlaşma sürecini denetleyen ana etkenlerden biri olan tektonizmanın anlaşılması, bu bölgede jeolojik dönemler boyunca etken olan tektonik rejimin ve bu rejime bağlı oluşan çizgisel unsurların belirlenmesini gerektirmektedir. Ben-Itzhak ve Gvirtzman (2005), İsrail'deki Judean Çölü'nün altındaki

kalın karbonatlı akiferde gerçekleştirdikleri çalışmada yeraltısuyu akış rejimi üzerindeki kıvrımın etkisini fark ettiler. Bu akiferde yeraltısuyunun hidrolik eğimi takip etmediğini, yeraltısuyu akışının çoğunlukla senklinal eksenlere paralel olduğu ve bazen bir senklinalden bitişik bir senklinale menderesler yaptığı ve akifer içinde “nehir benzeri” bir akış modeli oluşturduğunu tespit etmiştir (Pacheco, 2015).

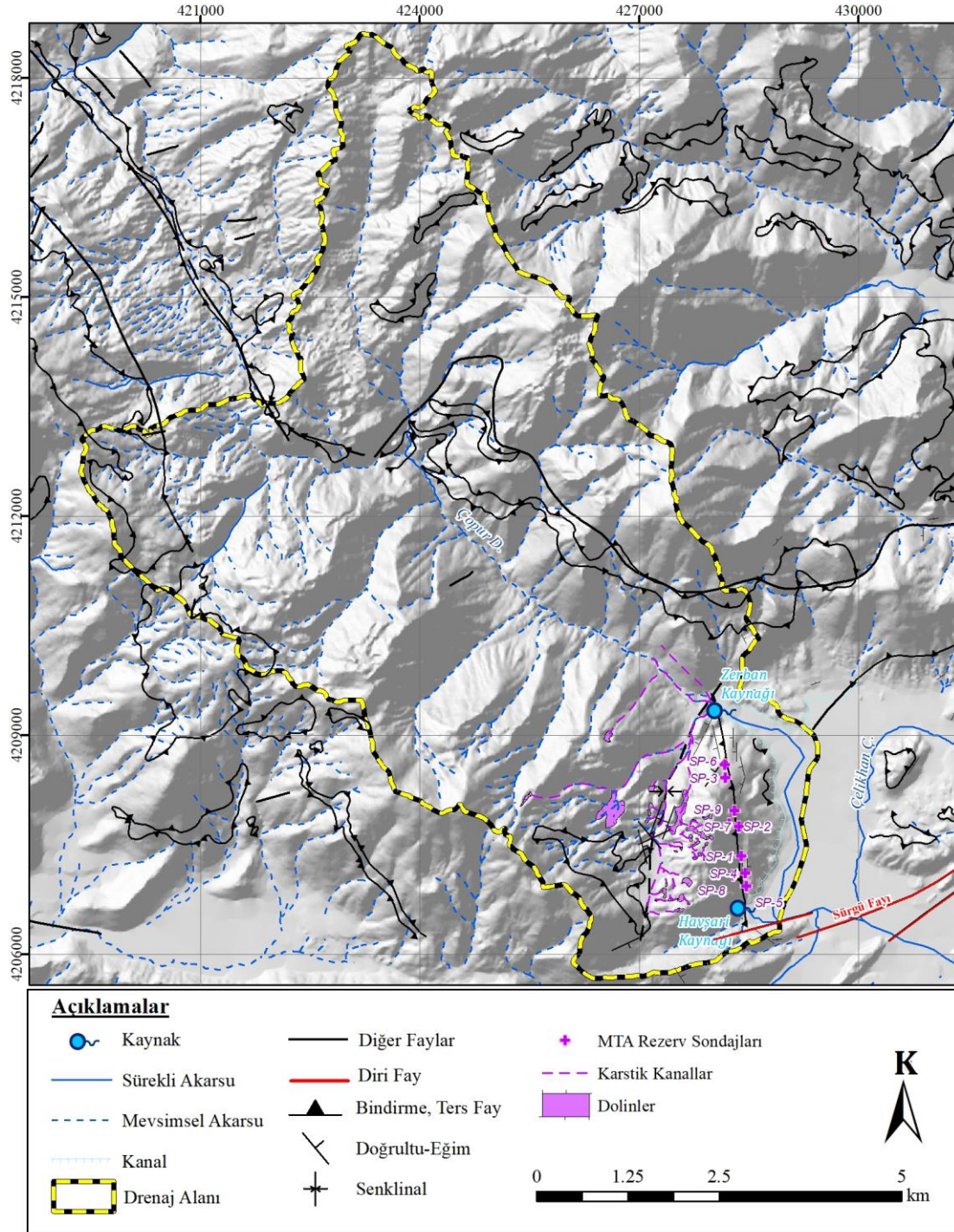
Bu bağlamda, inceleme alanı ve civarındaki çizgisel unsurlar; arazi çalışmaları gözlemleri, topografik haritalar ve uydu görüntülerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda belirlenmiştir. Çizgisel unsurlar belirlenirken, uydu görüntüleri incelenmiş olup, sahada daha önce gerçekleştirilmiş olan jeolojik çalışmalar ve jeofizik çalışmaların sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca çizgisel unsurların belirlenmesinde, topoğrafik haritalarda yer alan çöküntü yapılarından da faydalanılmıştır. İnceleme alanında yer alan çizgisel unsurlar Şekil 2.4’de verilmektedir. İnceleme alanının şu anki jeolojik yapısının oluşmasındaki en önemli etken kuzeyden güneye doğru gelişen Şerefhan Bindirmesi iken, güneyde ise Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF) önemli bir tektonik hattı oluşturmaktadır. DAF’ın Sürgü Fayı uzantısı inceleme alanının güney sınırı boyunca devam etmektedir (Bkz. Şekil 2.1; 2.3).

Çalışma alanı ve yakın dolayında DAF’ın bir kolunu oluşturan sol yanal atımlı Sürgü Fayı, bölgede yaklaşık D-B doğrultusunda gözlenmektedir. Arpat ve Şaroğlu (1975) Sürgü Fayını DAF’ın bir kolu olarak öngörürken Perinçek ve Kozlu (1984) ise Sürgü Fayı olarak adlandırmışlardır. Perinçek ve Kozlu (1984)’te Sürgü Fayının Doğanşehir güneybatısında sıçrama yaparak güneye kaydığı, Elbistan’ın güneyinde (Ericcek-Çardak dolayları) Elbistan Fayı ile birleştiği ve Göksun dolaylarında ise Savrun Fay Zonu ile birleştiği belirtilmektedir (Parlak, 2004). Bununla birlikte İnceleme alanında Çayderesi Formasyonu ile Pınarbaşı Formasyonu dokanağında, DAF’a dik gelişmiş olan yaklaşık doğu-batı doğrultulu ters fay yer almaktadır (Şekil 2.6).

İnceleme alanı ve yakın dolayında farklı boyutlarda antiklinal ve senklinal sistemleri gözlenmektedir. Bu sistemlerde ana doğrultu kuzey(doğu)-güney(batı) olup kuzeybatıya dalımlı olan yapılarda eğim değerleri ise 30-40° arasında değişmektedir (MTA, 2018). Pınarbaşı beldesi güneyinde kuzey-güney doğrultusu boyunca uzanan ve oldukça kıvrımlı



bir yapı sunan birimde, söz konusu doğrultu boyunca senklinal eksenini yer almaktadır. Söz konusu senklinal eksenini boyunca (özellikle İnönü Mahallesi civarında) kuzeye (Pınarbaşı'na) doğru gidildikçe tabaka eğimleri 80°'ye ulaşmaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Çalışma alanı ve yakın dolayını çizgisellik haritası.

Bunların haricinde arazi çalışmaları kapsamında Zerban ve Havşari kaynaklarının drenaj alanı içerisinde muhtemel yeraltısuyu akımı boyunca Malatya Metamorfiklerine ait mermerler ve kireçtaşlarında tabaka eğim-doğrultu ölçümleri yapılmış, söz konusu tabaka eğim doğrultu ölçümleri, sahada daha önceki çalışmalarda yapılmış olan tabaka eğim-doğrultu ölçümleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Sonuç olarak inceleme alanında yer alan ve karstik sistemlerde yeraltısuyu akımı açısından oldukça önemli olan çizgisel unsurlar belirlenmiştir.

#### **2.4. Sınır Koşulları**

İnceleme alanı ve yakın dolayının fiziksel yapısını belirlemek üzere jeolojik kesitler, jeofizik çalışmalar (PROJEO, 2022), sondaj verileri (MTA, 1984) ve arazi çalışmaları bir bütünlük içinde değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamındaki değerlendirmelerde, MTA (1984) tarafından gerçekleştirilmiş olan 9 adet rezerv sondajına ait veriler kullanılmıştır. Bu sondajlara ait bilgiler Çizelge 2.1’de verilmekte olup, lokasyon bilgileri ise Şekil 2.5’de görülmektedir. Özellikle Pınarbaşı ve Çayderesi formasyonları üzerinde karotlu sondaj şeklinde gerçekleştirilen çalışmalarda sondaj derinliği 98.3 m ile 279.5 m arasında değişmekte olup, sondajlar dik ve 70° eğimli olarak yapılmıştır. Bu veriler ile özellikle Çayderesi Formasyonu içinde karstlaşmış ve masif zon net bir şekilde ayırt edilebilmekte olup, formasyonun özellikle yüzeyden itibaren ilk 45-50 m’si ileri derecede karstlaşmıştır (Bkz. Şekil 2.5; 2.6).

Rezerv sondaj loglarının yanı sıra inceleme alanı ve yakın dolayında yüzeylenen birimlerin düşey yönde ilişkilerini belirlemek üzere jeofizik çalışması PROJEO (2022) tarafından gerçekleştirilmiş olup, jeofizik çalışmalar kapsamında, Çayderesi Formasyonu, Pınarbaşı Formasyonu, Maden Karmaşığı ve Çelikhan Ovası’nda alüvyon birimler üzerinde farklı nokta ve hatlarda Elektrik Özdirenç Tomografi (ERT) ve Düşey Elektrik Sondaj (DES) yöntemleri uygulanmıştır.

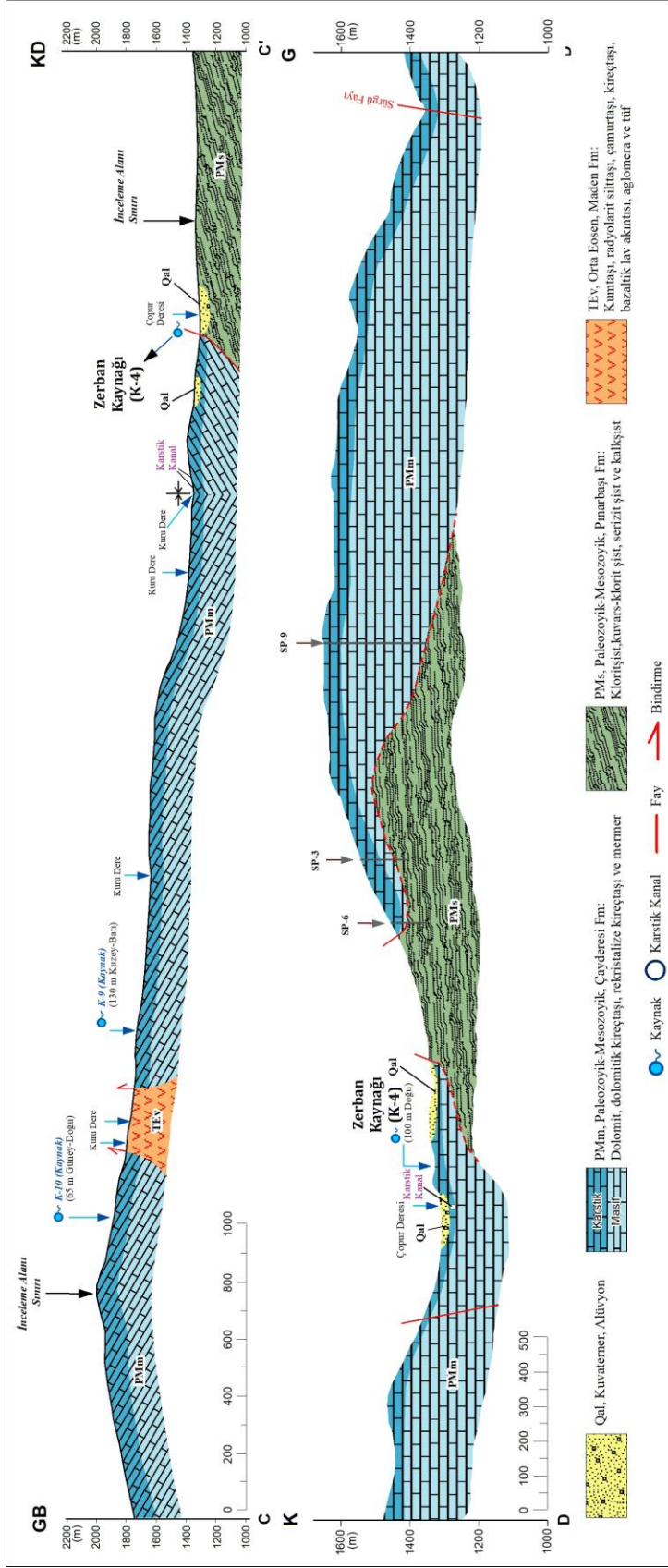
Söz konusu verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda temelde, Orta Eosen yaşlı Maden Formasyonu yer alırken, bunun üzerine kuzeyden güneye doğru Şerefhan

Bindirmesi ile Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Malatya Metamorfiklerine ait Pınarbaşı ve Çayderesi formasyonları gelmiştir. Bölgede özellikle Çelikhan Ovası ve dere yataklarında Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar yer alırken yer yer vadi yamaçlarında ise yine Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozları yüzeylemektedir (Bkz. Şekil 2.1).

Çizelge 2.1. İnceleme alanı ve yakın dolayında gerçekleştirilen rezerv sondaj bilgileri (MTA, 1984)

No	Kod	X (UTM ED50)	Y	Z	Derinlik (m)	Sondaj Eğimi
1	SP-1	428403	4207344	1421	123.6	70°
2	SP-2	428304	4207966	1505	198.3	90°
3	SP-3	428184	4208415	1499	134	70°
4	SP-4	428453	4207113	1355	106.9	90°
5	SP-5	428474	4206929	1318	98.3	70°
6	SP-6	428173	4208595	1449	104.3	70°
7	SP-7	428371	4207751	1459	126.9	70°
8	SP-8	428293	4207077	1418.3	246.1	90°
9	SP-9	428236	4207789	1528.4	279.5	90°





Şekil 2.6. İnceleme alanı C-C' ve D-D' jeolojik kesitleri (Kesit doğrultuları Şekil 2.2'de yer almaktadır).

### 3. HİDROLOJİ

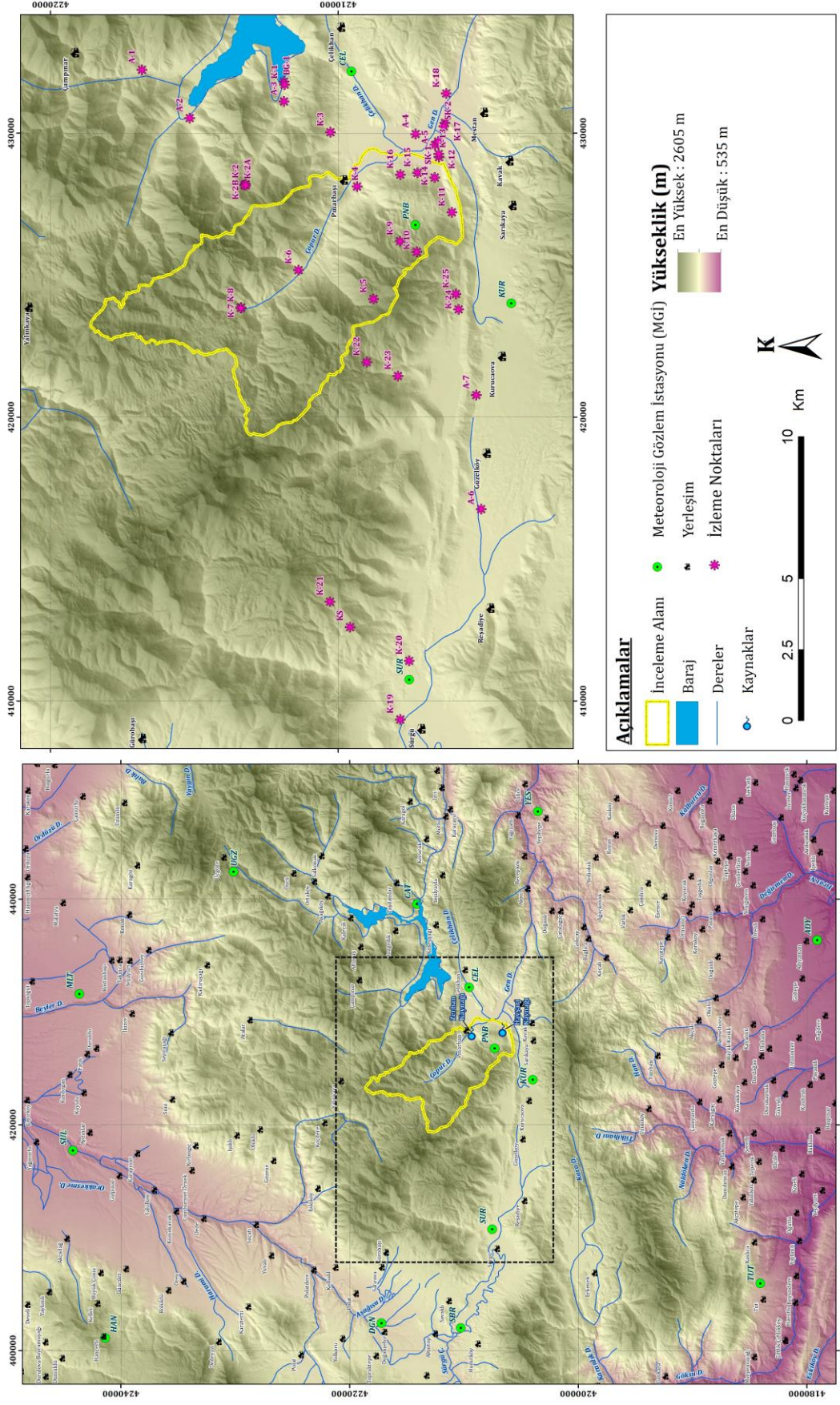
#### 3.1. Drenaj Alanı

İnceleme alanı Fırat Havzası içinde yer almakta olup güneydoğuda Müs T. (1550 m), doğuda Düzgünbaba T. (2223 m) ve Geviridere T. (20101 m), kuzeydoğuda Kaskask T. (2362 m), ve Daru T. (2223 m), kuzeyde Gevrik T. (2269) ve Karayurt T (2248), kuzeybatı-batıda Bozgedik T. (2351 m) ve Selim T. (2223 m), güneybatıda ise Bağrısığın T. (2135 m), Epreme T. (2087 m) ve Karagedik T. (2248 m) ve güneyde ise Antali T. (1921 m) ve Hasangölü T. (1576) ile sınırlanmaktadır (Şekil 3.1). Çalışma alanı yüzeysel drenaj alanı; 1/25.000 ölçekli L<sub>40</sub> (d<sub>3</sub>, d<sub>4</sub>) ve M<sub>40</sub> (a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>) topoğrafik paftaları ile arazi çalışmaları sürecinde yerinde yapılan gözlemler dikkate alınarak sayısal ortamda oluşturulmuştur (Şekil 3.1). İnceleme alanı ve yakın dolayının yüzeysel drenaj alanı 56.8 km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

#### 3.2. Su Noktaları

##### 3.2.1. Akarsular

İnceleme alanı ve yakın dolayında yoğun drenaj sistemi gelişmesine rağmen, kar erimeleri ve yağmurlara bağlı akış gözlemlenen mevsimsel dereler bulunmaktadır. Yüzeysel drenaj alanı içinde mevsimsel akarsu karakterinde olan Çopur Dere (Foto 3.1) kuzeyden güneye doğru akışını sürdürmekte olup Pınarbaşı Beldesinden sonra Gen Dere (Foto 3.2) adını almaktadır (Şekil 3.1). İnceleme alanının doğusunda boşalım sağlayan Zerban ve Havşari kaynakları Gen deresini beslemekte olup sürekli akarsu özelliği gösteren Gen Deresi, Çelikhhan Ovasında doğudan gelen Çelikhhan Çayı (Foto 3.2) ve batıdan gelen Aran Dere ile birleşerek güneye doğru akışını sürdürmekte ve Bulam Çayı adını almaktadır (Şekil 3.1). Çelikhhan ilçesinin yaklaşık 3 km güneyinde Bulam Çayı üzerinde 1252 m kotunda ve 171.5 km<sup>2</sup> yüzeysel drenaj alanına sahip E21A035 nolu Fatopaşa Akım Gözlem İstasyonunda (AGİ) 1957-2022 yılları arasında akım gözlemleri kaydedilmektedir. Söz konusu AGİ’de gözlem süresi boyunca kaydedilen uzun yıllar ortalama akım değeri 3.551 m<sup>3</sup>/s olup en düşük ve en yüksek akım değeri ise sırasıyla 0.620 m<sup>3</sup>/s (27.08.2001) ve 132.0 m<sup>3</sup>/s (15.03.1974) kaydedilmiştir. Fatopaşa AGİ uzun yıllar ortalama akım değeri dikkate alındığında söz konusu AGİ’de birim zamanda birim alandan akışa geçen su miktarı (akış katsayısı) 20.708 l/s/km<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın dolaylı hidroloji haritası.



Foto 3.1. Çopur Dere yatağına ait görüntüler.

### 3.2.2. Barajlar ve Göller

İnceleme alanı yüzeysel drenaj alanı içinde göl ve baraj bulunmamaktadır. Ancak, inceleme alanının doğusunda 3 km mesafede, Abdülharap Çayı üzerinde 78 m aks yüksekliğine sahip kil ve kaya dolgu tipinde 1985-1996 yılları arası inşa edilen Çat Barajı yer almaktadır (Bkz. Şekil 3.1; Foto 3.3). Çat Barajı'nın kret kotu 1415 m, yağış alanı 280 km<sup>2</sup> ve normal su kotunda göl alanı ve hacmi ise 14 km<sup>2</sup> ve 240 hm<sup>3</sup>'tür. Çat Barajı,



bölgede sulama suyu sağlamak amacı ile inşa edilmiş olup baraj gölünden Çelikhan Ovasına sulama suyu sağlamak amacı ile tünel inşaatı devam etmektedir.



Foto 3.2. Çelikhan Çayı ve Gen Dere'sine ait saha görüntüleri.

İnceleme alanının yaklaşık 12 km güneybatısında Sürgü Çayı üzerinde 1965-1969 yılları arasında inşa edilmiş olan Sürgü Barajı bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.1). Toprak gövde dolgu tipine sahip söz konusu baraj sulama amacıyla kurulmuş olup yaklaşık 10100 hektarlık bir alana sulama hizmeti vermektedir. Sürgü Barajı kreti, akarsu yatağından 55 m yüksekliğinde olup normal su kotunda göl alanı ve hacmi ise 5.1 km<sup>2</sup> ve 70.93 hm<sup>3</sup>'tür.

İnceleme alanının yaklaşık 20 km kuzeybatısında yer alan Sultansuyu Barajı 1986-1993 yılları arasında Sultansuyu Nehri üzerinde inşa edilmiştir (Bkz. Şekil 3.1). Sulama amacıyla kurulmuş olan baraj, toprak gövde dolgu tipindedir. Sultansuyu Barajı kreti, akarsu yatağından 55 m yükseklikte olup, normal su kotunda göl alanı 2.0 km<sup>2</sup> ve hacmi ise 53.0 hm<sup>3</sup>'tür. Barajdan yaklaşık 17615 hektarlık bir alana su sağlanmaktadır.



Foto 3.3. Çat Baraj Gölü saha görüntüleri ve uydu görüntüsü. (Google Earth V 7.3.6.9345. (06 Eylül 2022). Çelikhan, Adıyaman. 38° 3.311' K, 38° 14.765' D, Göz Hizası 5.61 km. SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO. Maxar Technologies 2023. Landsat/Copernicus. CNES/Airbus, 2023. <http://www.earth.google.com> [Aralık 29, 2022].

### 3.2.3. Kaynaklar

İnceleme alanı ve yakın dolayında ana kaynakları Havşari ve Zerban karst kaynakları oluşturmaktadır (Şekil 3.1; Foto 3.4). Bu kaynaklarla birlikte inceleme alanı ve yakın dolayında arazi çalışmaları sürecinde 25 farklı kaynak tespit edilmiştir. Kaynaklara ait koordinat bilgisi ve arazi çalışmaları kapsamında bu kaynaklardan boşalan sulara ölçülen fizikokimyasal özellikler Çizelge 3.1'de verilmektedir. Şekil 3.1 ve Çizelge

3.1’de K-4 kodlu nokta Zerban Karst Kaynağını gösterirken, K-14 kodlu nokta ise Havşari Kaynağını göstermektedir. Zerban ve Havşari kaynaklarının akiferini Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Çayderesi Formasyonuna ait mermerler oluştururken, Zerban Kaynağı mermer-alüvyon-şist dokanağından, Havşari Kaynağı ise Sürgü Fayı’ndan boşalım sağlamaktadır. İnceleme alanı drenaj alanı içinde Havşari ve Zerban kaynakları dışında boşalım sağlayan kaynaklar genellikle birkaç l/s debiye sahip olup büyük çoğunluğu mevsimsel kaynak özelliği sergilemektedir. Söz konusu mevsimsel kaynaklardan bazılarına ait saha görüntüleri Foto 3.5’te verilmektedir.



Foto 3.4. Havşari ve Zerban Karst Kaynakları.

Havşari Karst Kaynağı Adıyaman ilinin ana su kaynaklarından birini oluştururken, Zerban Karst Kaynağı ise Çelikhane ve Pınarbaşı yerleşim birimlerinin içme-kullanım su kaynağını oluşturmaktadır. 1984-2022 yılları arası Zerban Kaynağı’nın ortalama debisi  $0.617 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak hesaplanmış olup en düşük ve en yüksek debi değerleri sırası ile  $0.162 \text{ m}^3/\text{s}$  ile  $1.624 \text{ m}^3/\text{s}$  arasında değişmektedir. Söz konusu zaman diliminde Havşari

Kayağının en düşük ve en yüksek debi değeri 0.401 m<sup>3</sup>/s ile 1.874 m<sup>3</sup>/s arasında değişmekte olup, ortalama debi değeri ise 0.848 m<sup>3</sup>/s olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan su noktalarına ait bilgiler

Nokta Adı	X (UTM ED50 Zon 37)	Y	Z (m)	Açıklama
A-1	432242	4216830	1514	Dere
A-2	430542	4215162	1419	Dere
A-3	431128	4211880	1425	Dere
A-4	429983	4207308	1286	Dere
A-5	429596	4206636	1277	Dere
A-6	416773	4205022	1375	Dere
A-7	420788	4205190	1447	Dere
BG-1	431832	4211879	1406	Baraj Gölü (Çat Barajı)
K-1	431720	4211863	1408	Kaynak
K-2	428213	4213219	1701	Kaynak
K-3	430045	4210263	1392	Kaynak
K-4	428131	4209338	1313	Kaynak (Zerban Kaynağı)
K-5	424173	4208775	2020	Kaynak
K-6	425190	4211379	1464	Kaynak
K-7	424433	4214112	1890	Kaynak
K-8	423755	4213580	1663	Kaynak
K-9	426204	4207844	1773	Kaynak
K-10	425832	4207265	1869	Kaynak
K-11	427222	4206041	1505	Kaynak
K-12	429170	4206493	1283	Kaynak
K-13	429280	4206499	1282	Kaynak
K-14	428446	4206639	1285	Kaynak (Havşari Kaynağı)
K-15	428616	4207236	1352	Kaynak
K-16	428552	4207841	1401	Kaynak
K-17	430371	4206289	1278	Kaynak
K-18	431409	4206240	1280	Kaynak
K-19	409357	4207834	1340	Kaynak
K-20	411427	4207533	1355	Kaynak
K-21	413511	4210289	1835	Kaynak
K-22	421947	4209002	1904	Kaynak
K-23	421511	4208102	1590	Kaynak
K-24	423808	4205810	1519	Kaynak
K-25	424347	4205907	1579	Kaynak
Kar	412617	4209587	1755	Kar
SK-1	429723	4206522	1277	Kuyu (Şahıs)
SK-2	430257	4206322	1275	Kuyu (DSİ: 65292 Nolu Araştırma Kuyusu)
SK-3	429696	4206352	1277	Kuyu (DSİ: 65291 Nolu Araştırma Kuyusu)
SK-4	428246	4206215	1315	Kuyu (DSİ: 65293 Nolu Araştırma Kuyusu)



Foto 3.5. Mevsimsel kaynaklar (a. K-13, b. K-21, c. K-9 ve K-10).

#### 3.2.4. Kuyular

İnceleme alanı ve yakın dolayında çok fazla yeraltısuyu kuyusu bulunmamakta olup, bölgede kuyular genellikle Havşari Kaynağı'nın doğusunda Sürgü Fayı boyunca gözlenmektedir. İnceleme alanı sınırları içerisinde yalnızca 1 adet kuyu tespit edilmiş

olup söz konusu kuyu Havşari Kaynağı'nın yaklaşık 470 m güneybatısında DSİ tarafından açılmış olan 65293 No'lu araştırma kuyusudur (SK-4). Çayderesi Formasyonu'na ait mermer birimlerinde açılmış SK-4 kuyusu 170 m derinliğinde olup, statik su seviyesi 16.1 m ve kuyu verimi ise 52 l/s'dir. Bunun haricinde, inceleme alanı sınırları dışında Havşari Kaynağı'nın yaklaşık 1280 m doğusunda 65291 No'lu (SK-3) ve 1840 m doğusunda ise 65292 No'lu (SK-4) DSİ araştırma kuyuları yer almaktadır. 65292 No'lu (SK-2) kuyunun arazi çalışmalarının gerçekleştirildiği Nisan, Mayıs ve Eylül aylarında artezyen yaptığı gözlenmiş olup kuyu verimi 72 l/s'dir. 65291 Nolu (SK-3) DSİ kuyusunun statik su seviyesi 2.5 m olup, verimi ise 33 l/s'dir. Söz konusu araştırma kuyularının haricinde aynı bölgede Adıyaman Belediyesi'ne ait 5 adet içme suyu kuyusu mevcuttur (Şekil 3.1; Foto 3.6).



Foto 3.6. İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan DSİ araştırma kuyuları.

### 3.3. Hidrolojik Verilerin Değerlendirilmesi

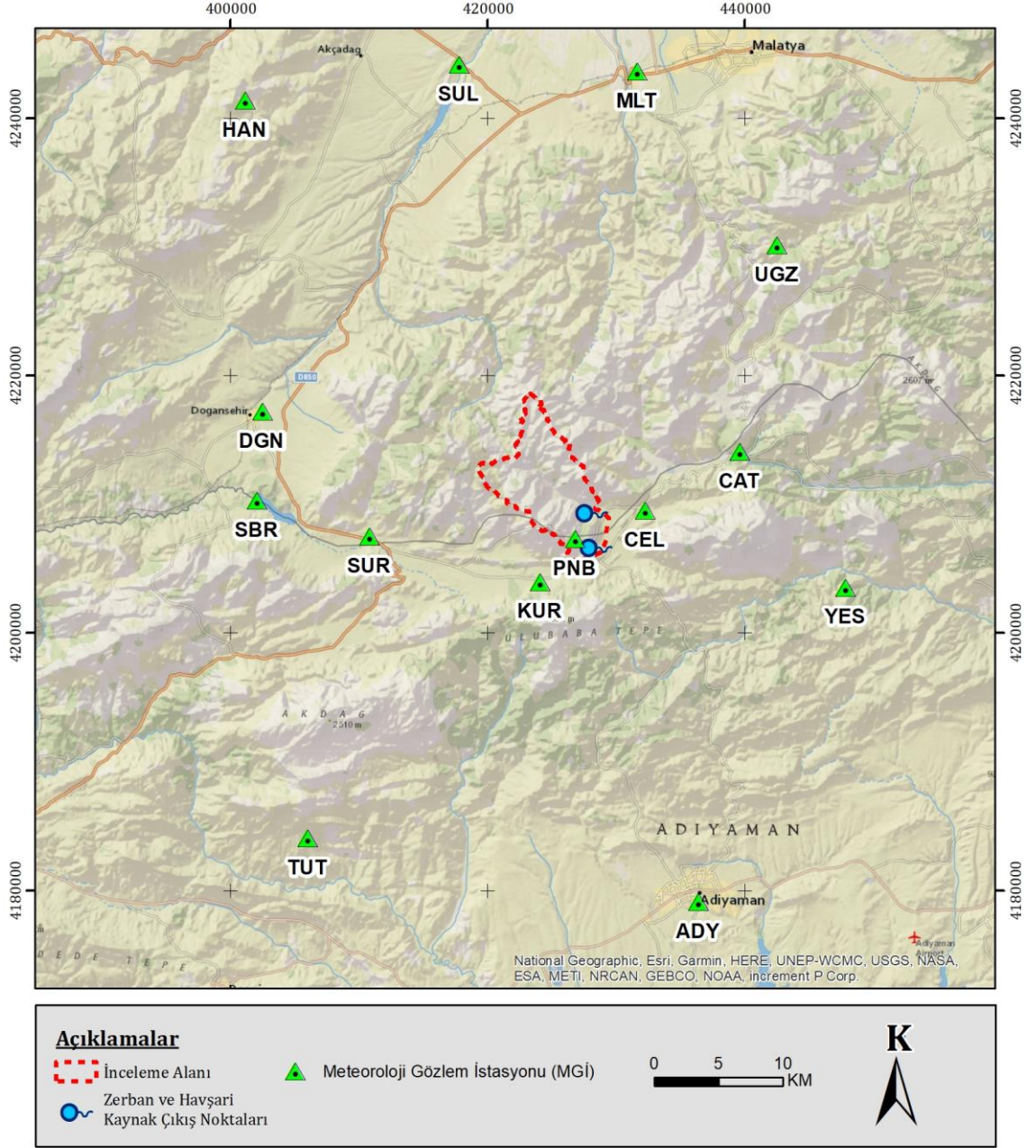
Tez çalışması kapsamında inceleme alanı ve yakın dolayının iklimsel özelliklerinin belirlenmesi ve HZKS'nin hidrodinamik yapısının ortaya konması amacıyla yağış, sıcaklık, buharlaşma, akım, vb. hidrolojik veriler dikkate alınarak HZKS'nin su bütçesi bileşenleri elde edilmiştir. Bu kapsamda inceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGM tarafından işletilen MGİ'lerden veri temin edilmiştir. Söz konusu istasyonlar kuzeyde Malatya, batıda Doğanşehir, güneyde Adıyaman ve doğuda ise Yeşiltepe arasında kalmaktadır (Şekil 3.2; Çizelge 3.2). Değerlendirmelerde MGİ'lerde 1970-2021 yılları arası kaydedilen uzun yıllar (53 yıl) aylık ortalama toplam yağış (13 istasyon) ve aylık ortalama sıcaklık (14 istasyon) değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ'lere ait genel bilgiler

Kod	No	Ad	Kurum	X (UTM ED50 - Zon 37)	Y	Z (m)	Veri Türü
ADY	17265	Adıyaman	MGM	436370	4179092	672	Yağış, Sıcaklık
CAT	18949	Çat Barajı	MGM	439564	4214105	1434	Yağış, Sıcaklık
CEL	18180	Çelikhan	MGM	432191	4209540	1380	Yağış, Sıcaklık
DGN	17872	Doğanşehir	MGM	402448	4217210	1223	Yağış, Sıcaklık
HAN	19767	Hançerli	MGM	401130	4241397	1715	Sıcaklık
KUR	19089	Kurucaova	MGM	424021	4203975	1535	Yağış, Sıcaklık
MLT	17199	Malatya	MGM	431610	4243645	950	Yağış, Sıcaklık
PNB	18762	Pınarbaşı	MGM	426782	4207312	1350	Yağış, Sıcaklık
SBR	21045	Sürgü Barajı	MGM	402018	4210287	1345	Yağış
SIN	18346	Sincik	MGM	467123	4209713	1368	Yağış, Sıcaklık
SUL	17706	Sultansuyu	MGM	417745	4244207	864	Yağış, Sıcaklık
SUR	19085	Sürgü	MGM	410761	4207527	1345	Yağış, Sıcaklık
TUT	18347	Tut	MGM	405962	4184066	1086	Yağış, Sıcaklık
UGZ	19264	Üçgöze	MGM	442439	4230168	2000	Sıcaklık
YES	19079	Yeşiltepe	MGM	447784	4203544	1141	Yağış, Sıcaklık

Ayrıca inceleme alanının doğusunda sistemin boşalımını sağlayan Havşari ve Zerban kaynaklarında aylık ortalama akım değerleri DSİ tarafından sırası ile 1984-2016 ve 1984-2022 yılları arasında kaydedilmiştir. Bununla birlikte Çelikhan ilçesinin yaklaşık 3 km güneyinde Bulam Çayı üzerinde yer alan E21A035 nolu Fatopaşa Akım Gözlem

İstasyonunda (AGİ) (Bkz. Şekil 3.1) ise 1957-2022 yılları arasında akım gözlemleri kaydedilmektedir.



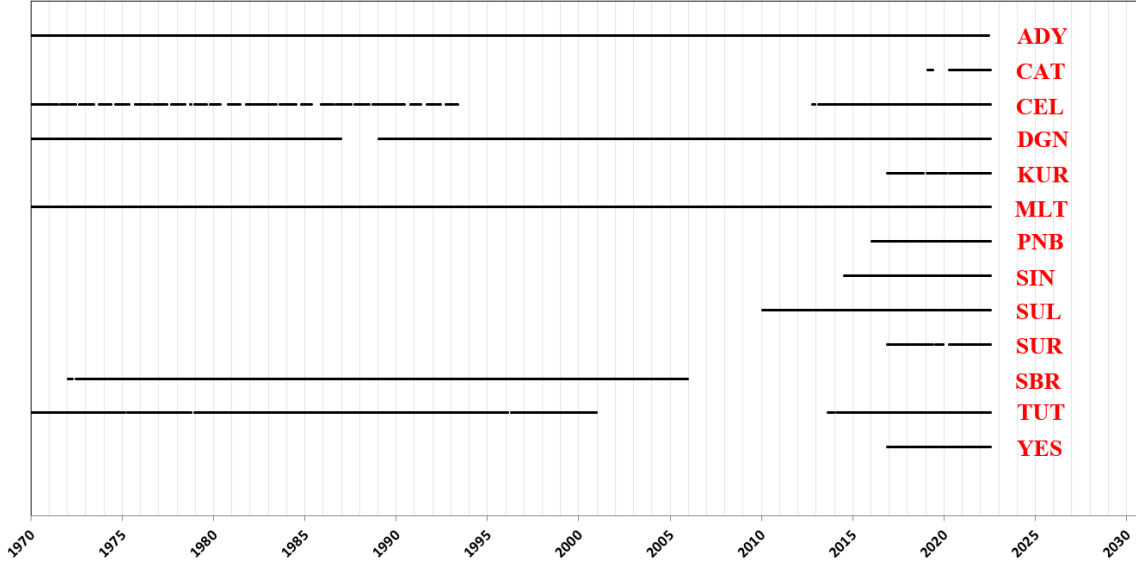
Şekil 3.2. İnceleme alanı ve yakın dolaylı meteoroloji gözlem ağı haritası.

### 3.3.1. Yağış

İnceleme alanında ki yağış miktarının belirlenmesi amacıyla bölgede yer alan MGM'ye ait 13 adet MGİ'den elde edilen yağış uzun yıllar aylık toplam yağış gözlemleri



değerlendirilmiştir (Çizelge 3.2.). Söz konusu istasyonlardan bazılarında ait veriler ortak periyodu sağlamamaktadır (Şekil 3.3). Tüm MGİ’lerde ortak periyot söz konusu olmayıp tüm istasyonlarda ortak periyodun sağlanması amacı ile veri tamamlama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ’lerin yağış gözlem aralıkları.

### 3.3.1.1. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması

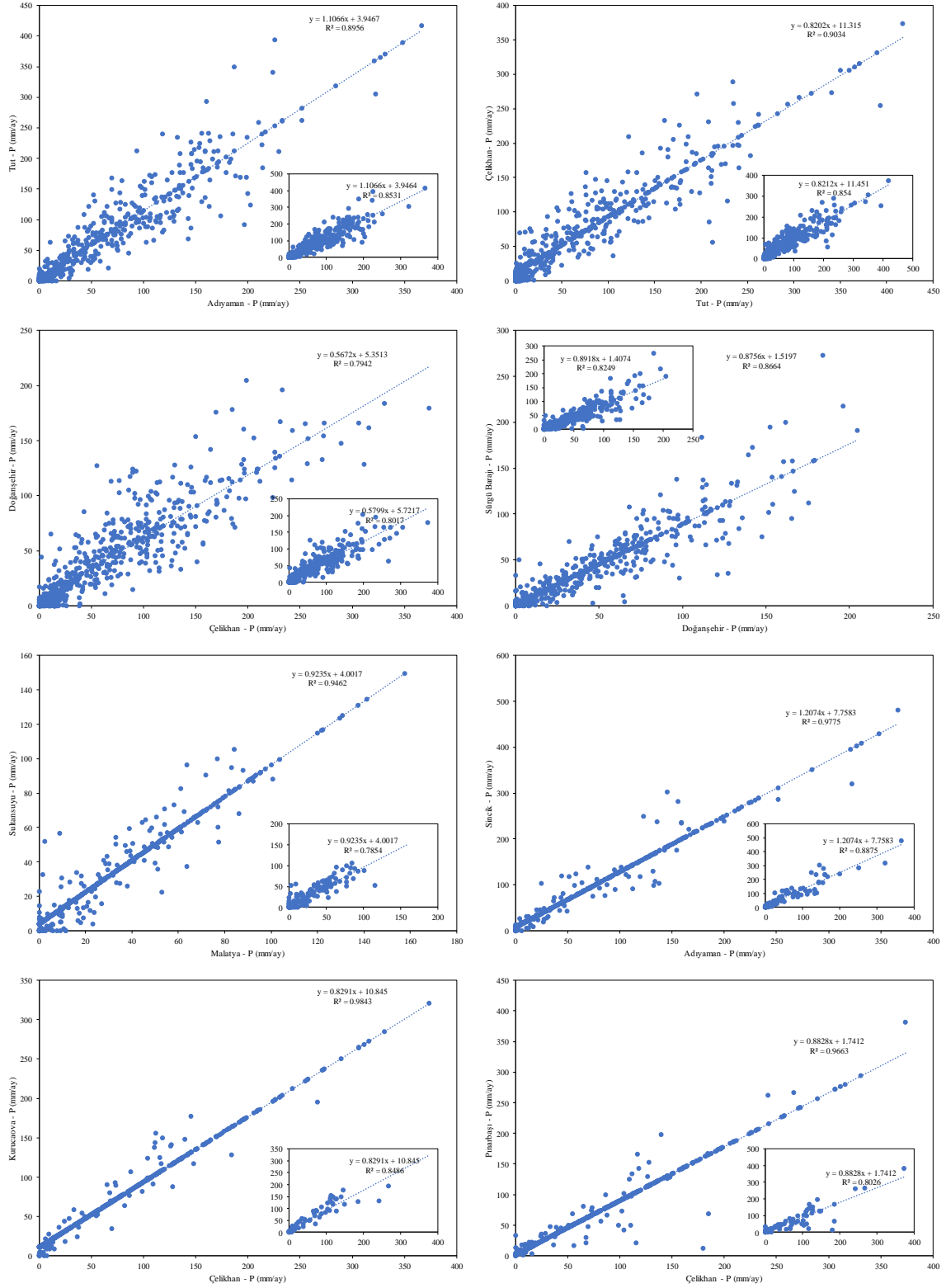
HZKS’nin su bütçesinin hesaplanması çalışmaları kapsamında; inceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ’lerde farklı zamanlarda gözlenen yağış ve sıcaklık verileri için ortak periyot 1970-2021 yılları arası kabul edilmiş ve verisi eksik olan istasyonlar için eksik aylık ortalama toplam yağış verileri tamamlanmıştır. Bu kapsamda benzer topoğrafik ve meteorolojik koşullara sahip komşu istasyonlar arasında, “Korelasyon Yöntemi” olarak adlandırılan istatistiksel yaklaşım dikkate alınmıştır (Şen, 2002). Eksik yağış verilerinin tamamlanması sürecinde ilk olarak istasyonlar arasında eş zamanlı ölçülen yağış (Şekil 3.4) verileri kullanılmış ve verisi eksik olan her bir istasyon için saçılma grafikleri elde edilmiştir. Verisi tam ve verisi eksik olan istasyonlar arasında doğrusal ilişkiyi ( $a=bx+c$ ) temsil eden regresyon denklemleri elde edilmiş, bu denklemlere ait korelasyon katsayıları hesaplanmış ve verisi eksik olan istasyonların veri tamamlama süreci gerçekleştirilmiştir.

Meteorolojik verilerin (yağış, sıcaklık, vb.) tamamlama sürecinde 1970-2021 yılları arası ortak periyot olarak kabul edilmiş ve yağış verisi eksik olan istasyonlar için eksik aylık ortalama toplam yağış verileri tamamlanmıştır. Çalışma kapsamında Şekil 3.3 ve Çizelge 3.3’de verilen bilgilerden itibaren verisi eksik olan istasyonlar arası ilişkiler dikkate alınarak eksik yağış verilerinin tamamlanması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hidrolojik çalışmalarda kullanılan veriler aletsel ve gözlemsel hatalar ile veri tamamlama sürecinde kullanılan yöntemlere bağlı olarak tahmin hataları içerebileceği göz önünde bulundurulmuştur. Mutreja (1986) ile Viessman ve Lewis (1996), hidrolojik çalışmalarda kurak dönem içeren veri setlerinde yaklaşık  $\pm\%10$  ve yağışlı dönem veri setlerinde ise yaklaşık  $\pm\%20$  hata payının veri tamamlama sürecinde kabul edilebilir olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada verisi eksik olan her bir istasyonun veri tamamlama öncesi ve sonrası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış değerleri arasındaki farkın  $\pm\%10$  aralığında hesaplanması, söz konusu istasyon için üretilen veri setinin güvenilir olduğu şeklinde kabul edilmiştir (Çizelge 3.3).

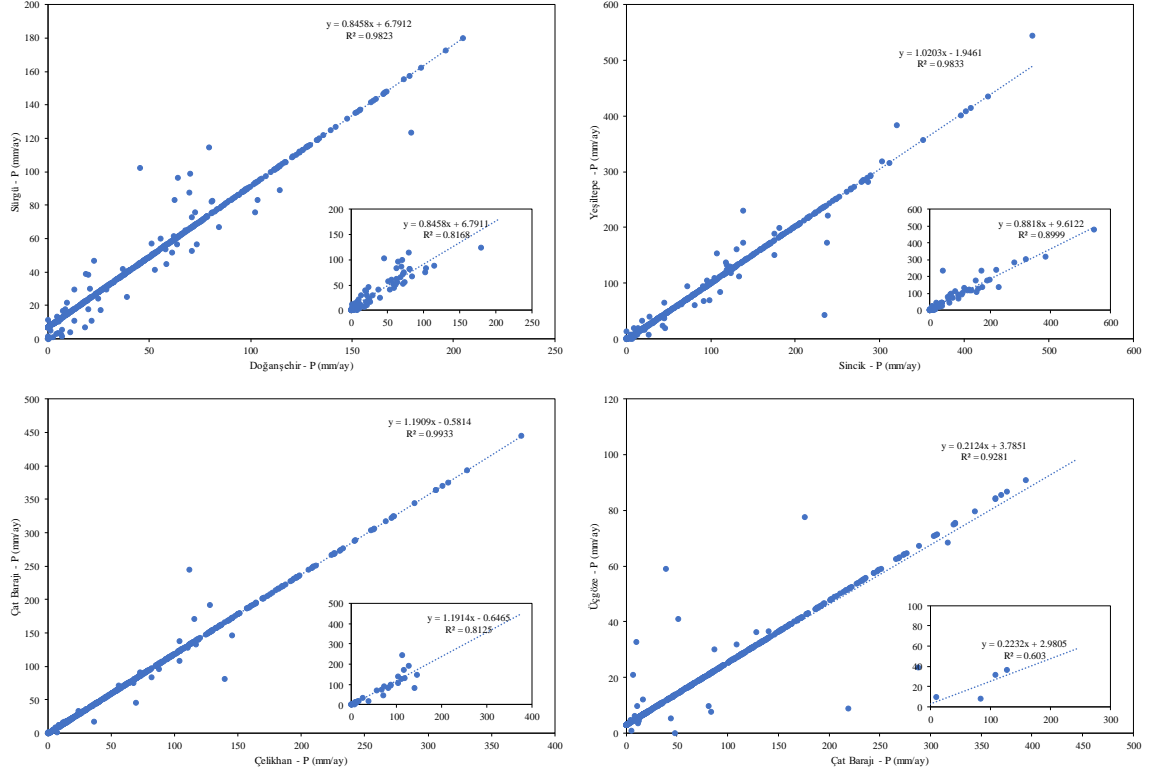
Çizelge 3.3. Eksik yağış verilerinin tamamlanması ile ilgili istatistiksel bilgiler

İstasyon Kodu		Eşitlik	$P_{ort-ö}$ (mm/yıl)	$R^2$	R	$P_{ort-s}$ (mm/yıl)	$R^2$	R	Fark (%)	Verisi Tamamlanan Yıllar
Verisi Alınan	Verisi Üretilen									
ADY	TUT	$P_{TUT} = (1.1066 \times P_{ADY}) + 3.9464$	786.5	0.853	0.924	808.3	0.896	0.946	-2.77	2001-2013
TUT	CEL	$P_{CEL} = (0.8212 \times P_{TUT}) + 11.451$	772.6	0.854	0.924	795.7	0.903	0.950	-2.99	1993-2013
CEL	DGN	$P_{DGN} = (0.5799 \times P_{CEL}) + 5.7217$	490.3	0.802	0.895	516.9	0.794	0.891	-5.43	1987-1988
DGN	SBR	$P_{SBR} = (0.8918 \times P_{DGN}) + 1.4074$	495.5	0.825	0.908	470.8	0.866	0.931	4.98	1970-1971, 2006-2022
MLT	SUL	$P_{SUL} = (0.9235 \times P_{MLT}) + 4.0017$	362.8	0.785	0.886	383.5	0.946	0.973	-5.71	1970-2009
ADY	SIN	$P_{SIN} = (1.2074 \times P_{ADY}) + 7.7583$	893.5	0.888	0.942	917.9	0.978	0.989	-2.73	1970-2014
CEL	KUR	$P_{KUR} = (0.8291 \times P_{CEL}) + 10.845$	804.8	0.849	0.921	790.5	0.984	0.992	1.78	1970-2016
CEL	PNB	$P_{PNB} = (0.8828 \times P_{CEL}) + 1.7412$	697.8	0.803	0.896	722.2	0.966	0.983	-3.50	1970-2015
DGN	SUR	$P_{SUR} = (0.8458 \times P_{DGN}) + 6.7911$	472.0	0.817	0.904	518.6	0.982	0.991	-9.87	1970-2016
SIN	YES	$P_{YES} = (0.8818 \times P_{SIN}) + 9.6122$	903.6	0.900	0.949	913.8	0.983	0.992	-1.13	1970-2016
CEL	CAT	$P_{CAT} = (1.1914 \times P_{CEL}) - 0.6465$	858.0	0.813	0.901	940.7	0.993	0.997	-9.64	1970-2019

$P_{ort-ö}$ : tamamlama öncesi uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış;  $P_{ort-s}$ : tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış;  $Fark = ((P_{ort-ö} - P_{ort-s}) / P_{ort-ö}) \times 100$ .



Şekil 3.4. Yağış verileri dağılım grafikleri (küçük grafik, veri tamamlama öncesini temsil etmektedir).



Şekil 3.4. (devam ediyor).

Aylık ortalama toplam yağış verilerinin tamamlanması öncesi elde edilen regresyon denklemleri  $0.785$  ile  $0.900$  arasında değişen korelasyon katsayıları ile temsil edilirken tamamlama sonrası bu katsayılar  $0.891$  ile  $0.997$  arasında değişmektedir. Örneğin, Adıyaman MGİ’de 1970-2000 ile 2013-2022 yılları arasında gözlenen aylık ortalama toplam yağış verileri ile Tut MGİ’de aynı dönemde gözlenen aylık ortalama toplam yağış verileri arasındaki ilişki  $P_{TUT} = (1.1066 \times P_{ADY}) + 0.3964$  regresyon denklemi ve  $0.924$  korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir. Söz konusu denklem ile Tut MGİ’de eksik olan verilerin tamamlanması sonrası korelasyon katsayısı  $0.946$  olarak elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.3).

Çalışma kapsamında yukarıda belirtilen yaklaşım dikkate alınarak verisi eksik olan MGİ’lerin aylık ortalama toplam yağış verileri, verisi tam olan istasyonlar ile tamamlanmıştır. Veri tamamlama çalışmaları sonucunda verisi eksik olan her bir istasyonun veri tamamlama öncesi ve sonrası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış verileri arasındaki fark  $\% -9.87$  ile  $\% 4.98$  arasında hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.3). Örneğin, Tut MGİ’de kaydedilen uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış değeri veri

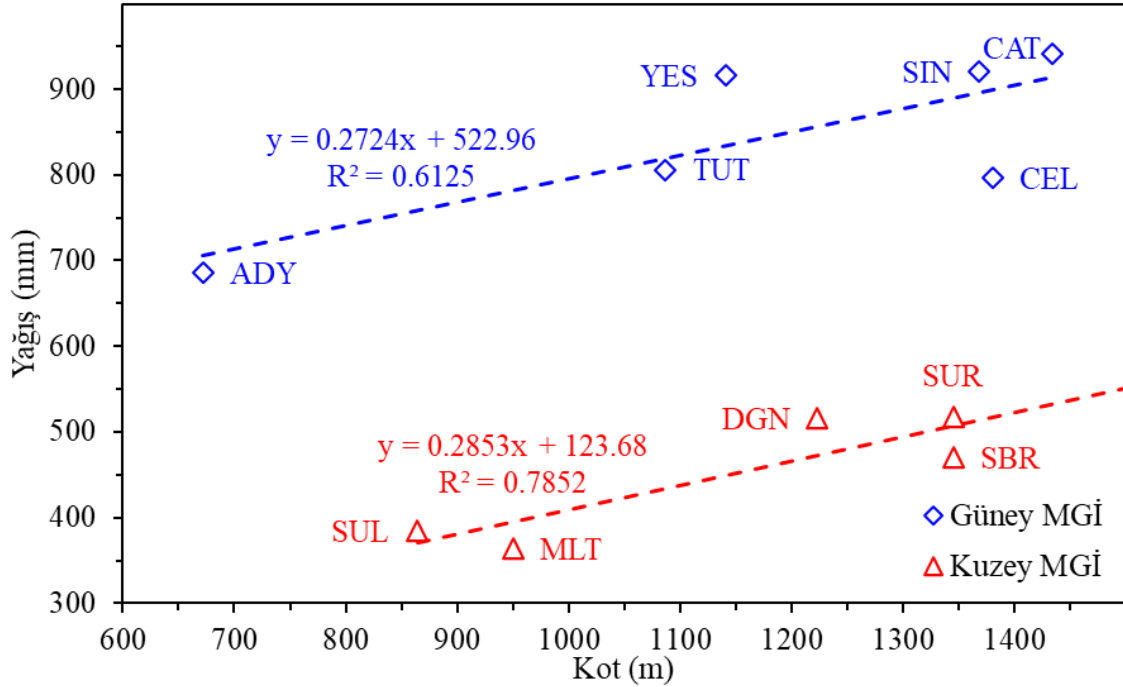
tamamlama öncesi 786.5 mm/yıl iken, Adıyaman MGİ ile veri tamamlama sonrası söz konusu değer 808.3 mm/yıl hesaplanmış olup, aradaki fark %-2.77 olarak elde edilmiştir. Eksik yağış verilerinin tamamlama çalışmaları öncesi ve sonrası arasındaki uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış değerleri arasındaki fark  $\pm\%10.0$ 'luk bir hata payı içinde kalmıştır. Veri tamamlama hesaplamaları ölçüm ve tahmin hataları (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996) içinde kalmış olup, hesaplanan yağış verilerinin bütçe çalışmalarında güvenli bir şekilde kullanılabilceği kabul edilmiştir.

### 3.3.1.2. Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında bulunan MGİ'ler için 1970-2021 ortak periyodun sağlanmış ve değerlendirmeye alınan tüm istasyonlar için aylık ortalama toplam yağış değerleri sağlanmıştır. Bununla birlikte inceleme alanı ve yakın dolayında değerlendirmeye alınan ve yağış gözlemi yapan MGİ'lerin kotları 1535 m'nin altında kalmaktadır (Bkz. Çizelge 3.2). Ancak hem inceleme alanın ortalama yükseltisi (1835 m) hem de inceleme alanının kuzey kesimlerinde 2400 m'lere (Bkz. Şekil 1.2) ulaşan yükselti farkı dikkate alındığında, mevcut MGİ'lerde gözlenen yağış değerlerinin inceleme alanının da gerçekleşen yağış miktarını temsil etmeyeceği varsayımından itibaren çalışma alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ'ler için kot-yağış ilişkisi oluşturulmuştur (Şekil 3.5). Bu kapsamda; HZKS'nin kuzeyindeki MGİ kot-yağış ilişkisi  $P = (0.2724 \times Kot) + 522.96$  regresyon denklemi ve 0.783 korelasyon katsayısı ile temsil edilirken, güneyinde ise  $P = (0.2853 \times Kot) + 123.68$  regresyon denklemi ve 0.886 korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir. Bu aşamada Şekil 3.5'te verilen ilişkiler kullanılarak inceleme alanın kuzey ve kuzeybatı kesimindeki birkaç yüksek nokta için uzun yıllar aylık toplam yağış değerleri hesaplanmıştır.

İnceleme alanı ve yakın dolayında aylık ortalama toplam yağış verilerinin alansal dağılımının belirlenmesine yönelik "Natural Neighbor" interpolasyon yöntemi kullanılmıştır (Sibson, 1987; Watson, 1992). Değerlendirmeye alınan tüm istasyonların 1970-2021 yılları arası aylık ortalama toplam yağış değerleri, "Eş Yağış Eğrisi Yöntemi" (ArcGIS, Natural Neighbor) ile değerlendirilmiş ve HZKS yüzeysel drenaj alanı için uzun yıllar aylık (Çizelge 3.4) ve yıllık (Çizelge 3.5) ortalama toplam yağış değerleri hesaplanmıştır. Bu verilerden itibaren inceleme alanı için oluşturulan eklenik sapma

grafığı ve eş yağış eğrisi yöntemi ile elde edilen aylık ortalama toplam yağış dağılım haritaları sırası ile Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmektedir.



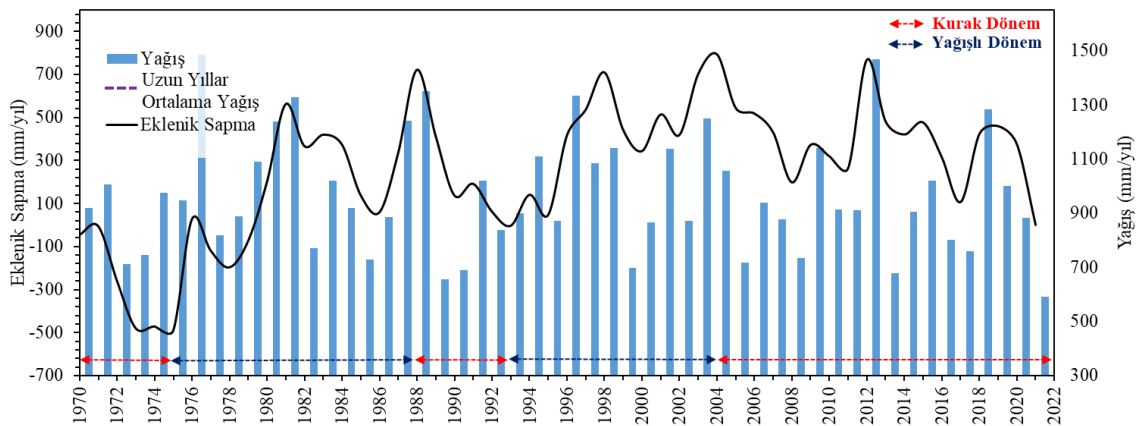
Şekil 3.5. İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ’lerin kot-yağış ilişkisi.

Çizelge 3.4’te görüldüğü üzere yıl içinde HZKS yüzeysel drenaj alanına en yüksek aylık ortalama toplam yağış Ocak-Aralık aylarında (167.0-165.4 mm) ve en düşük yağış ise Temmuz ve Ağustos aylarında (12.2-12.4 mm) düşmektedir (Çizelge 3.4; Şekil 3.7). HZKS için 1970-2021 yılları arası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış değeri 965.7 mm/yıl hesaplanmış olup, en düşük ve en yüksek uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış sırası ile 590.4 mm/yıl (2021) ve 1483.9 mm/yıl (1976) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.5; Şekil 3.6). İnceleme alanı ve yakın dolayında 1970-1975, 1988-1993 ve 2004-2022 yılları arası kurak dönem ile karakterize edilirken, 1976-1987 ve 1994-2003 yılları arası ise yağışlı dönem ile karakterize edilmektedir (Şekil 3.6). İnceleme alanı ve yakın dolayında yağışlar güneyden kuzeye doğru artmakta olup, kuzey kesimdeki yükseltilerin etkisiyle bu bölgelere daha fazla yağış düştüğü belirlenmiştir (Şekil 3.7).

Çizelge 3.4. HZKS uzun yıllar (1970-2021) aylık yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım değerleri ( $R_{HZKS}$ ,  $Q_Z$  ve  $Q_H$  verileri, 1984-2021 yılları arası ortalama değerleri ifade etmektedir)

Parametre		Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Top/Ort	
$P$ (mm)	Ort.	167.0	119.0	127.6	96.0	63.3	23.7	12.2	12.4	17.9	64.2	100.4	165.4	969.1	
	Min.	23.4	6.9	24.0	10.3	9.8	1.7	0.0	0.2	0.1	9.0	13.4	9.5		
	Maks.	383.2	267.5	391.6	314.9	198.2	66.0	23.6	36.4	69.1	206.5	267.9	509.0		
$T$ (°C)	Ort.	-3.4	-1.9	2.2	7.4	12.2	17.4	21.4	21.3	17.1	10.9	3.7	-1.3	8.9	
	Min.	-8.5	-7.8	-1.5	4.6	8.9	15.1	18.4	18.8	14.4	8.2	-1.3	-5.6		
	Maks.	0.0	2.1	5.9	11.8	15.7	19.7	24.0	24.8	21.6	15.6	7.2	2.5		
$ET$ (mm)	USGS	$E_{tp}$	Ort.	11.4	13.6	23.8	38.8	62.9	90.3	115.7	100.5	61.8	17.9	12.2	584.1
		Min.	8.2	9.3	18.7	32.5	51.1	78.4	95.8	86.0	52.3	29.7	13.0	9.3	
		Maks.	13.9	17.2	29.7	50.8	78.0	104.0	135.8	124.4	81.8	47.1	22.1	15.4	
	Thornthwaite-Mather	$E_{ta}$	Ort.	9.1	11.0	23.5	38.8	62.9	89.6	83.0	31.0	24.3	17.6	10.3	432.9
		Min.	0.0	0.5	9.1	32.5	51.1	77.8	43.0	2.7	0.1	8.6	13.0	0.0	
		Maks.	18.9	17.2	29.7	50.8	78.0	104.0	122.7	77.1	61.2	44.1	21.8	15.4	
	Thornthwaite-Mather	$E_{tp}$	Ort.	0.0	0.5	9.0	34.5	68.4	103.5	132.4	123.2	84.9	46.8	12.1	616.0
		Min.	0.0	0.0	0.0	18.4	48.1	92.6	115.0	107.7	71.4	34.9	0.0	0.0	
		Maks.	0.0	5.3	23.9	57.6	87.9	117.7	151.0	145.6	109.1	67.0	23.5	6.3	
Thornthwaite-Mather	$E_{ta}$	Ort.	0.0	0.5	9.0	34.5	68.8	87.0	21.7	12.4	17.9	38.4	12.6	303.4	
	Min.	0.0	0.0	0.0	18.4	48.1	6.2	1.6	0.2	0.1	9.0	0.0	0.0		
	Maks.	0.0	5.3	23.9	57.6	91.7	117.7	76.7	36.4	69.1	62.3	55.3	6.3		
$R_r$	Ort.	3.081	3.422	5.442	7.056	5.896	4.046	2.705	1.944	1.809	2.059	2.293	2.735	3.541	
	Min.	0.599	1.035	1.348	2.480	1.630	1.040	0.766	0.694	0.680	0.799	0.802	0.618		
	Maks.	12.500	7.780	12.000	16.900	12.100	7.440	4.830	3.280	2.660	4.338	5.180	5.780		
$R_{HZKS}$	Ort.	0.597	0.699	1.192	1.488	1.234	0.743	0.405	0.210	0.216	0.285	0.350	0.485	0.659	
	Min.	0.002	0.092	0.186	0.182	-0.028	-0.082	-0.134	-0.106	-0.080	-0.007	-0.130	0.018		
	Maks.	3.814	2.235	2.421	3.468	3.365	1.784	1.087	0.635	0.498	0.878	0.973	1.551		
$Q_Z$	Ort.	0.554	0.594	0.783	0.955	0.869	0.721	0.593	0.490	0.428	0.444	0.476	0.498	0.617	
	Min.	0.162	0.233	0.284	0.479	0.603	0.500	0.387	0.299	0.272	0.189	0.195	0.165		
	Maks.	1.133	1.500	1.297	1.624	1.302	1.116	0.986	0.851	0.709	0.776	1.091	0.995		
$Q_H$	Ort.	0.777	0.819	1.034	1.155	1.087	0.935	0.825	0.726	0.667	0.685	0.720	0.748	0.848	
	Min.	0.421	0.471	0.521	0.712	0.805	0.672	0.592	0.507	0.509	0.460	0.434	0.401		
	Maks.	1.335	1.444	1.552	1.874	1.587	1.350	1.168	0.985	1.030	1.120	1.360	1.252		

$P$ : yağış;  $T$ : sıcaklık;  $ET$ : buharlaşma-terleme;  $E_{tp}$ : potansiyel buharlaşma-terleme;  $E_{ta}$ : gerçek buharlaşma-terleme; USGS (McCabe ve Markstrom, 2007) ve Thornthwaite (1948) yöntemleri;  $R_r$  ve  $R_{HZKS}$  sırası ile Fatopaşa AĞİ ve HZKS yüzeyel akım miktarı;  $Q_Z$ , ve  $Q_H$  sırası ile Zerban ve Havşarı kaynakları akımları.



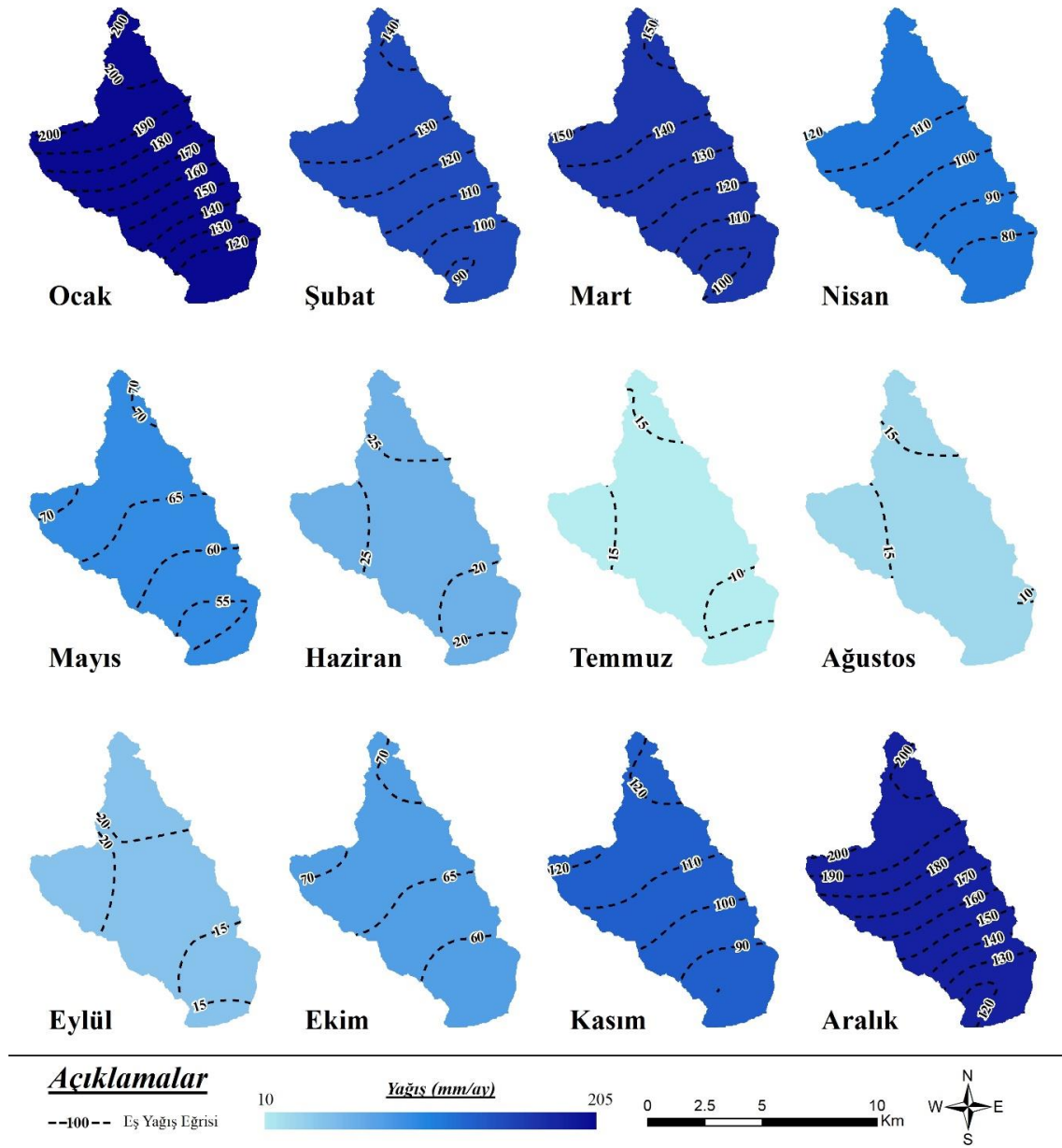
Şekil 3.6. İnceleme alanı eklenik sapma grafiği.

Çizelge 3.5. HZKS uzun yıllar (1970-2021) yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım verileri

Yıl	P (mm)	T (°C)	USGS		Thornthwaite		Turc ETa	R <sub>F</sub>	R <sub>HZKS</sub>	Q <sub>Z</sub>	Q <sub>H</sub>
			ETp	ETa	ETp (mm)	ETa					
1970	920.0	9.2	581.8	384.4	619.7	287.6	490.6	3.405	-	-	-
1971	1005.8	8.4	561.2	416.2	594.9	281.2	480.7	4.205	-	-	-
1972	712.0	7.5	543.5	394.7	587.9	325.1	420.6	2.876	-	-	-
1973	744.7	8.3	569.6	349.4	598.4	239.7	442.4	1.875	-	-	-
1974	974.4	8.3	563.1	413.8	603.4	284.0	474.2	3.321	-	-	-
1975	946.2	8.3	566.9	370.0	606.3	273.7	472.1	3.988	-	-	-
1976	1483.9	7.5	528.3	445.9	570.7	299.7	484.0	4.802	-	-	-
1977	819.6	8.6	570.3	371.9	605.3	283.9	462.3	4.146	-	-	-
1978	887.8	8.9	572.0	380.3	603.7	243.6	478.8	3.767	-	-	-
1979	1089.4	9.3	579.8	404.6	618.3	303.2	512.3	3.418	-	-	-
1980	1239.6	8.4	579.2	462.9	604.0	292.5	498.3	5.696	-	-	-
1981	1327.4	9.0	576.2	445.6	603.2	307.9	521.0	6.015	-	-	-
1982	769.8	7.8	539.9	423.2	577.9	287.5	437.3	4.089	-	-	-
1983	1019.3	7.7	539.6	405.1	584.1	313.8	464.9	3.587	-	-	-
1984	919.9	8.6	569.4	388.9	603.0	277.9	477.2	3.559	0.660	0.705	0.922
1985	729.7	8.9	590.3	475.1	626.1	284.0	452.5	2.768	0.471	0.565	0.825
1986	886.7	8.9	584.6	395.6	607.0	303.0	478.4	2.768	0.513	0.516	0.751
1987	1241.9	8.0	553.1	492.8	582.6	239.2	487.9	4.561	0.932	0.774	1.058
1988	1352.0	7.7	543.3	468.6	572.3	272.2	483.3	5.605	1.278	0.772	1.092
1989	657.0	9.2	601.8	362.1	637.2	216.6	439.5	2.678	0.371	0.677	0.914
1990	689.7	9.0	585.8	414.5	621.6	247.5	443.9	3.044	0.510	0.675	0.876
1991	1019.9	8.5	574.3	410.5	609.3	324.2	483.6	2.643	0.460	0.542	0.755
1992	836.7	6.5	516.6	435.6	565.1	335.0	419.1	3.748	0.772	0.614	0.875
1993	899.9	7.8	546.1	458.9	578.8	287.1	455.3	4.899	1.123	0.712	0.899
1994	1109.8	9.1	592.9	448.4	626.7	316.9	510.0	2.572	0.367	0.609	0.889
1995	872.3	8.7	570.0	454.9	599.7	321.8	472.3	4.051	0.822	0.705	0.940
1996	1334.6	8.4	550.0	473.2	585.9	327.9	503.8	5.869	1.405	0.810	0.946
1997	1085.4	8.6	568.9	479.7	599.7	338.8	494.0	4.233	0.945	0.667	0.800
1998	1139.6	9.4	599.8	493.8	628.3	365.8	519.7	5.050	1.218	0.626	0.859
1999	698.0	9.8	605.3	445.0	632.2	281.0	460.6	3.513	0.722	0.610	0.790
2000	867.1	8.6	588.7	466.3	612.9	315.8	470.4	2.749	0.447	0.575	0.867
2001	1136.3	9.4	598.4	432.5	625.2	347.9	520.4	2.523	0.387	0.560	0.829
2002	870.6	8.7	572.5	454.7	614.0	339.4	472.2	4.432	0.987	0.638	0.906
2003	1248.7	8.6	582.6	508.8	610.1	331.2	505.6	3.524	0.666	0.693	0.882
2004	1057.5	8.8	578.7	465.3	614.7	317.8	495.4	3.769	0.626	0.844	1.095
2005	716.2	8.9	588.0	442.0	611.9	324.6	448.1	2.758	0.450	0.610	0.832
2006	939.9	9.3	612.7	453.2	638.0	351.4	496.7	3.389	0.571	0.749	0.969
2007	876.9	9.2	614.1	435.3	634.9	302.5	484.4	2.475	0.392	0.523	0.806
2008	734.0	9.2	608.1	478.4	645.3	374.7	459.2	2.229	0.289	0.587	0.795
2009	1140.5	8.9	571.0	492.8	605.4	342.0	506.7	3.276	0.700	0.505	0.723
2010	912.5	10.8	649.0	463.7	671.0	370.4	529.7	4.618	1.162	0.519	0.698
2011	910.8	8.6	579.3	422.7	598.5	326.3	475.6	3.297	0.663	0.562	0.793
2012	1469.7	9.5	619.4	544.6	648.8	364.0	543.6	3.618	0.692	0.683	0.911
2013	677.9	9.3	584.5	411.0	625.7	323.1	446.5	3.408	0.677	0.609	0.817
2014	906.0	10.3	621.4	453.0	647.0	364.0	514.5	1.729	0.171	0.498	0.730
2015	1021.3	9.7	613.1	430.4	635.6	293.1	516.3	3.840	0.702	0.763	1.021
2016	802.6	9.8	621.6	402.6	653.2	253.0	485.4	2.333	0.417	0.444	0.670
2017	759.0	9.9	634.6	339.7	654.4	276.0	477.4	2.068	0.356	0.401	0.626
2018	1282.5	10.7	632.7	432.3	665.2	380.5	571.4	2.390	0.432	0.454	0.673
2019	1001.7	10.0	617.8	444.8	648.0	250.6	521.6	3.342	0.641	0.609	0.858
2020	881.5	10.3	634.6	374.3	662.1	243.3	511.0	3.167	0.589	0.580	0.863
2021	590.4	10.3	627.3	395.7	654.5	223.2	436.3	2.433	0.444	0.461	0.672
Ortalama	965.7	8.9	584.1	432.9	616.0	303.4	482.9	3.541	0.659	0.617	0.848
En Düşük	590.4	6.5	516.6	339.7	565.1	216.6	419.1	1.729	0.171	0.401	0.626
En Yüksek	1483.9	10.8	649.0	544.6	671.0	380.5	571.4	6.015	1.405	0.844	1.095

P: yağış; T: sıcaklık; ET: buharlaşma-terleme; ETp: potansiyel buharlaşma-terleme; ETa: gerçek buharlaşma-terleme; USGS (McCabe ve Markstrom, 2007) ve Thornthwaite (1948) yöntemleri; R<sub>F</sub> ve R<sub>HZKS</sub> sırası ile Fatopaşa AĞI ve HZKS yüzeysel akım miktarı; Q<sub>Z</sub>, ve Q<sub>H</sub> sırası ile Zerban ve Havşari kaynakları akımları.

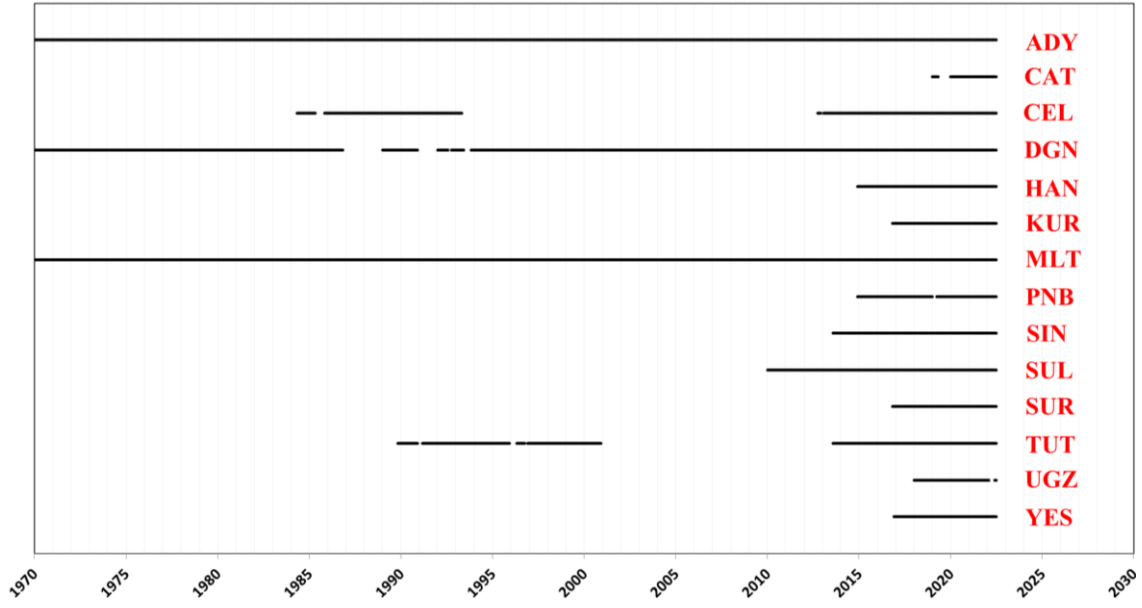




Şekil 3.7. HZKS uzun yıllar (1970-2021) aylık ortalama toplam yağış dağılımı.

### 3.3.2. Sıcaklık

İnceleme alanındaki sıcaklık dağılımının belirlenmesi amacıyla bölgede yer alan 14 adet MGİ'den elde edilen sıcaklık verileri değerlendirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.2.). Söz konusu istasyonlardan bazılarında ait veriler ortak periyodu sağlamamaktadır (Şekil 3.8). Tüm MGİ'lerde ortak periyotlarda analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla eksik verilerde istatistiksel hesaplamalar ile tamamlama işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8. İnceleme alanı etrafında yer alan MGİ'lerin sıcaklık gözlem aralıkları.

### 3.3.2.1. Eksik Sıcaklık Verilerinin Tamamlanması

Bölüm 3.3.1.'de anlatılan eksik aylık yağış verilerinin tamamlanması işlemlerinde uygulanan yöntem, eksik sıcaklık verilerinin tamamlanmasında da kullanılmıştır. HZKS'nin su bütçesinin hesaplanması çalışmaları kapsamında; inceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ'lerde farklı zamanlarda gözlenen yağış ve sıcaklık verileri için ortak periyot 1970-2021 yılları arası kabul edilmiş ve verisi eksik olan istasyonlar için eksik aylık ortalama sıcaklık verileri tamamlanmıştır.

İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ'lerde farklı zamanlarda gözlenen sıcaklık verileri için belirlenen ortak periyot olan 1970-2021 yılları arası sıcaklık verisi eksik olan istasyonlar için eksik olan aylık ortalama sıcaklık verileri tamamlanmıştır. Çalışma kapsamında Şekil 3.9 ve Çizelge 3.6'da verilen bilgilerden itibaren verisi eksik olan istasyonlar arası ilişkiler dikkate alınarak eksik sıcaklık verilerinin tamamlanması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, hidrolojik çalışmalarda kullanılan veriler aletsel ve gözlemsel hatalar ile veri tamamlama sürecinde kullanılan yöntemlere bağlı olarak tahmin hataları içerebileceği göz önünde bulundurularak Mutreja (1986) ile Viessman ve Lewis (1996) tarafından önerilen hata payları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada her bir istasyonun veri tamamlama öncesi ve sonrası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerleri

arasındaki farkın  $\pm\%10$  aralığında elde edilmesi nedeniyle, söz konusu istasyon için üretilen veri setinin güvenilir olduğu kabul edilmiştir (Çizelge 3.6).

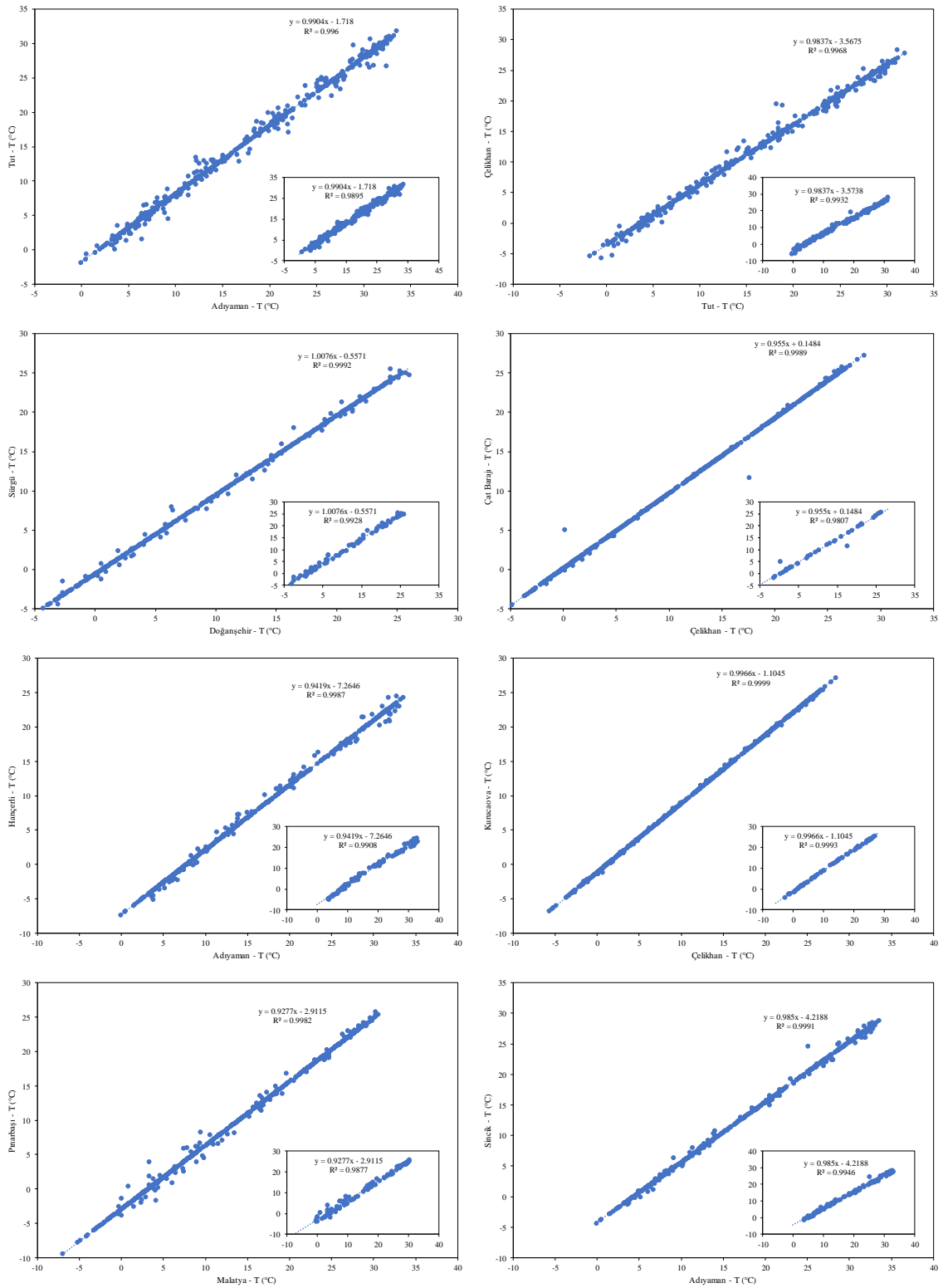
Çizelge 3.6. Eksik sıcaklık verilerinin tamamlanması ile ilgili istatistiksel bilgiler

İstasyon Kodu		Eşitlik	$T_{ort-ö}$ °C	$R^2$	$R$	$T_{ort-s}$ °C	$R^2$	$R$	Fark %	Verisi Tamamlanan Yıllar
Verisi Alınan	Verisi Üretilen									
ADY	TUT	$T_{TUT} = (0.9904 \times T_{ADY}) - 1.718$	15.8	0.990	0.995	15.5	0.996	0.998	1.90	1970-1990, 2001-2013
TUT	CEL	$T_{CEL} = (0.9837 \times T_{TUT}) - 3.5738$	11.9	0.993	0.997	11.7	0.997	0.998	1.68	1970-1984, 1993-2012
DGN	SUR	$T_{SUR} = (1.0076 \times T_{DGN}) - 0.5571$	11.3	0.993	0.996	10.2	0.999	1.000	9.89	1970-2016
CEL	CAT	$T_{CAT} = (0.955 \times T_{CEL}) + 0.1484$	11.4	0.981	0.990	11.3	0.999	0.999	0.88	1970-2019
ADY	HAN	$T_{HAN} = (0.9419 \times T_{ADY}) - 7.2646$	10.0	0.991	0.995	9.1	0.999	0.999	9.00	1970-2014
CEL	KUR	$T_{KUR} = (0.9966 \times T_{CEL}) - 1.1045$	11.3	0.999	1.000	10.6	1.000	1.000	6.19	1970-2016
MLT	PNB	$T_{PNB} = (0.9277 \times T_{MLT}) - 2.9115$	11.1	0.988	0.994	10.0	0.998	0.999	9.91	1970-2014
ADY	SIN	$T_{SIN} = (0.985 \times T_{ADY}) - 4.2188$	13.9	0.995	0.997	12.9	0.999	1.000	7.19	1970-2013
MLT	SUL	$T_{SUL} = (0.9568 \times T_{MLT}) - 0.4747$	14.0	0.996	0.998	12.8	0.999	1.000	8.57	1970-2009
CAT	UGZ	$T_{UGZ} = (0.9549 \times T_{CAT}) - 3.2316$	8.4	0.955	0.977	7.6	0.997	0.998	9.52	1970-2017
SIN	YES	$T_{YES} = (1.0139 \times T_{SIN}) + 1.4361$	15.2	0.997	0.999	14.5	1.000	1.000	4.61	1970-2016

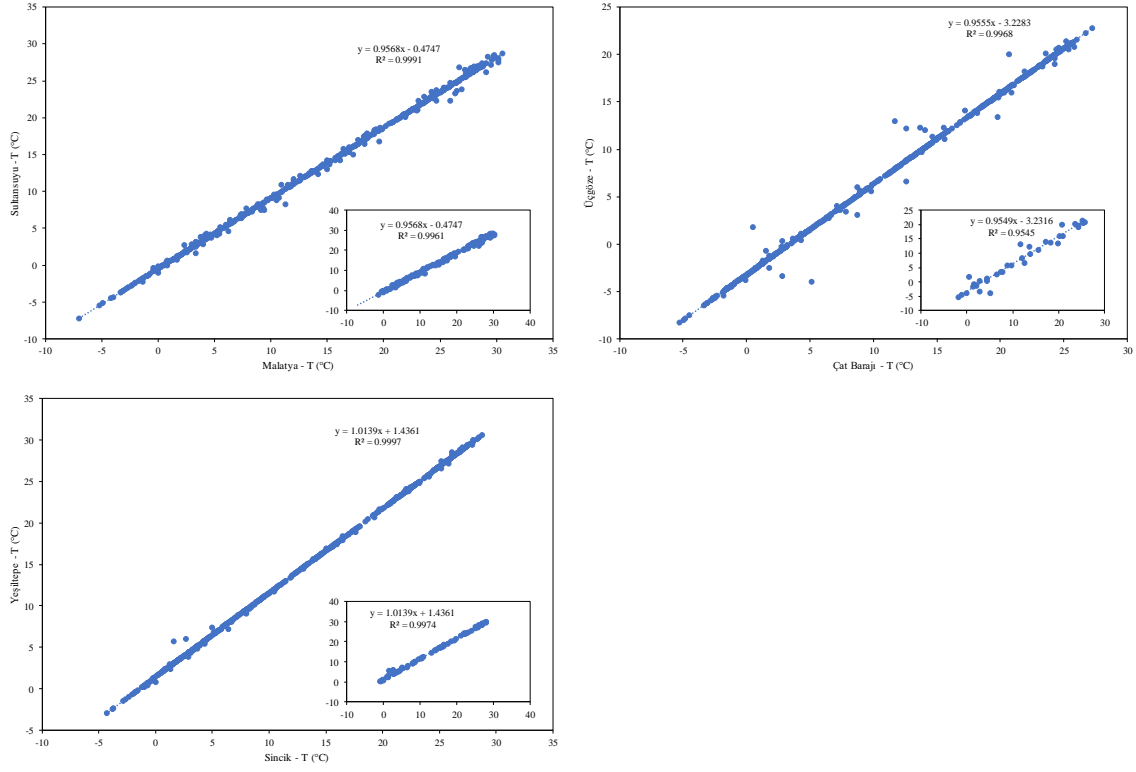
$T_{ort-ö}$ : tamamlama öncesi uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık;  $T_{ort-s}$ : tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık; Fark= $((T_{ort-ö}-T_{ort-s})/T_{ort-ö}) \times 100$ .

Söz konusu istasyonların aylık ortalama sıcaklık verilerinin tamamlanması öncesi elde edilen regresyon denklemleri 0.977 ile 1.000 arasında değişen korelasyon katsayıları ile temsil edilirken tamamlama sonrası korelasyon katsayıları 0.998 ile 1.000 arasında değişmektedir. Örneğin, Adıyaman MGİ'de 1970-2000 ile 2013-2022 yılları arasında gözlenen aylık ortalama sıcaklık verileri ile Tut MGİ'de eş zamanlı gözlenen aylık ortalama sıcaklık verileri arasındaki ilişki  $P_{TUT} = (1.1066 \times P_{ADY}) + 0.3964$  regresyon denklemi ve 0.9995 korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir. Söz konusu denklem ile Tut MGİ'de eksik olan verilerin tamamlanması sonrası korelasyon katsayısı 0.998 elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.6).

Çalışma kapsamında yağış verilerinin tamamlanması sürecinde belirtilen yaklaşım dikkate alınarak verisi eksik olan MGİ'lerin aylık ortalama sıcaklık verileri, verisi tam olan istasyonlar ile tamamlanmıştır. Veri tamamlama çalışmaları sonucunda verisi eksik olan her bir istasyonun veri tamamlama öncesi ve sonrası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık verileri arasındaki fark %0.88 ile %9.91 arasında hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.6).



Şekil 3.9. Sıcaklık verileri dağılım grafikleri (küçük grafik, veri tamamlama öncesini temsil etmektedir).



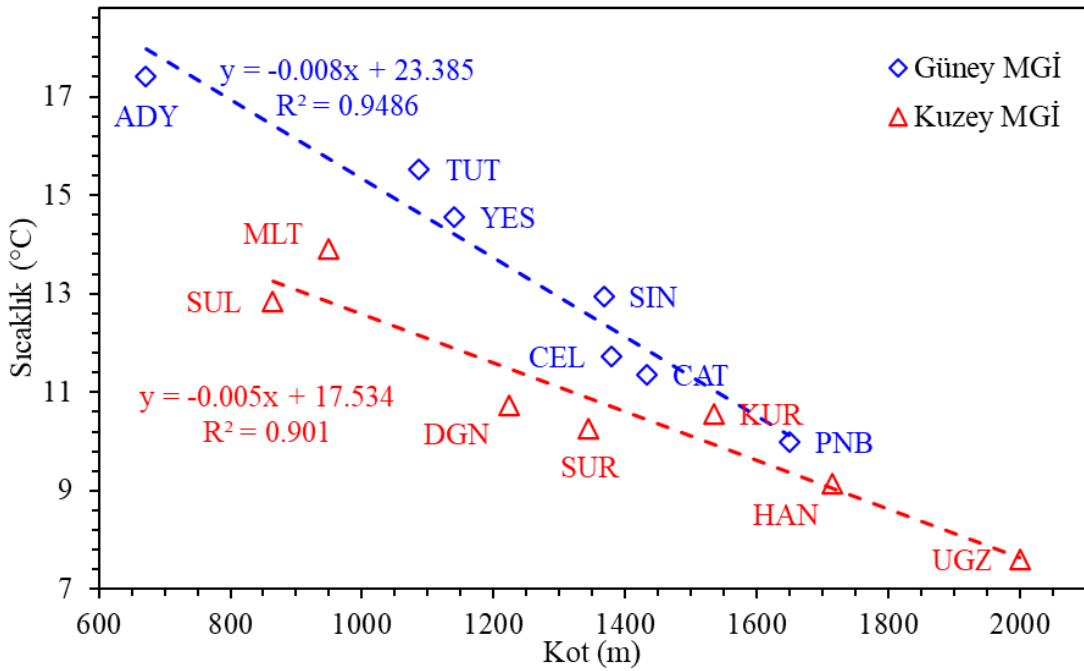
Şekil 3.9. (devam ediyor).

Örneğin, Tut MGİ’de kaydedilen uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değeri veri tamamlama öncesi 15.8 °C, Adıyaman MGİ ile veri tamamlama sonrası söz konusu değer 15.5 °C hesaplanmış olup, aradaki fark %1.90 olarak elde edilmiştir. Eksik sıcaklık verilerinin tamamlama çalışmaları öncesi ve sonrası arasındaki uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerleri arasındaki farkın  $\pm\%10.0$ ’luk bir hata payı içinde kalması veri tamamlama hesaplamalarının, ölçüm ve tahmin hataları (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996) içinde kaldığı ve hesaplanan sıcaklık verilerinin su bütçesi hesaplamalarında güvenilir bir şekilde kullanılabilceği kabul edilmiştir.

### 3.3.2.2. Sıcaklık Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ veriler için 1970-2021 ortak periyodu sağlanmış ve her bir istasyon için aylık ortalama sıcaklık veri seti elde edilmiştir. Bununla birlikte inceleme alanı ve yakın dolayında değerlendirmeye alınan ve sıcaklık gözlemi yapan MGİ’lerin kotları 2000 m’nin altında kalmaktadır (Bkz. Çizelge 3.2). Ancak hem inceleme alanının ortalama yükseltisi (1835 m) hem de inceleme alanının kuzey kesimlerinde 2400 m’lere (Bkz. Şekil 1.2) ulaşan yükselti farkı dikkate alındığında,

mevcut MGİ'lerde gözlenen sıcaklık değerlerinin inceleme alanında gerçekleşen sıcaklık miktarını temsil etmeyeceği varsayımından itibaren çalışma alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ'ler için kot-sıcaklık ilişkisi oluşturulmuştur (Şekil 3.9). Bu kapsamda; HZKS'nin kuzeyindeki MGİ kot-sıcaklık ilişkisi  $T = (-0.005 \times Kot) + 17.534$  regresyon denklemi ve  $0.949$  korelasyon katsayısı ile temsil edilirken, güneyinde ise  $T = (-0.008 \times Kot) + 23.385$  regresyon denklemi ve  $0.974$  korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir. Bu aşamada Şekil 3.10'da verilen ilişkiler kullanılarak inceleme alanın kuzey ve kuzey batı kesimindeki birkaç yüksek nokta için uzun yıllar aylık toplam yağış değerleri hesaplanmıştır.

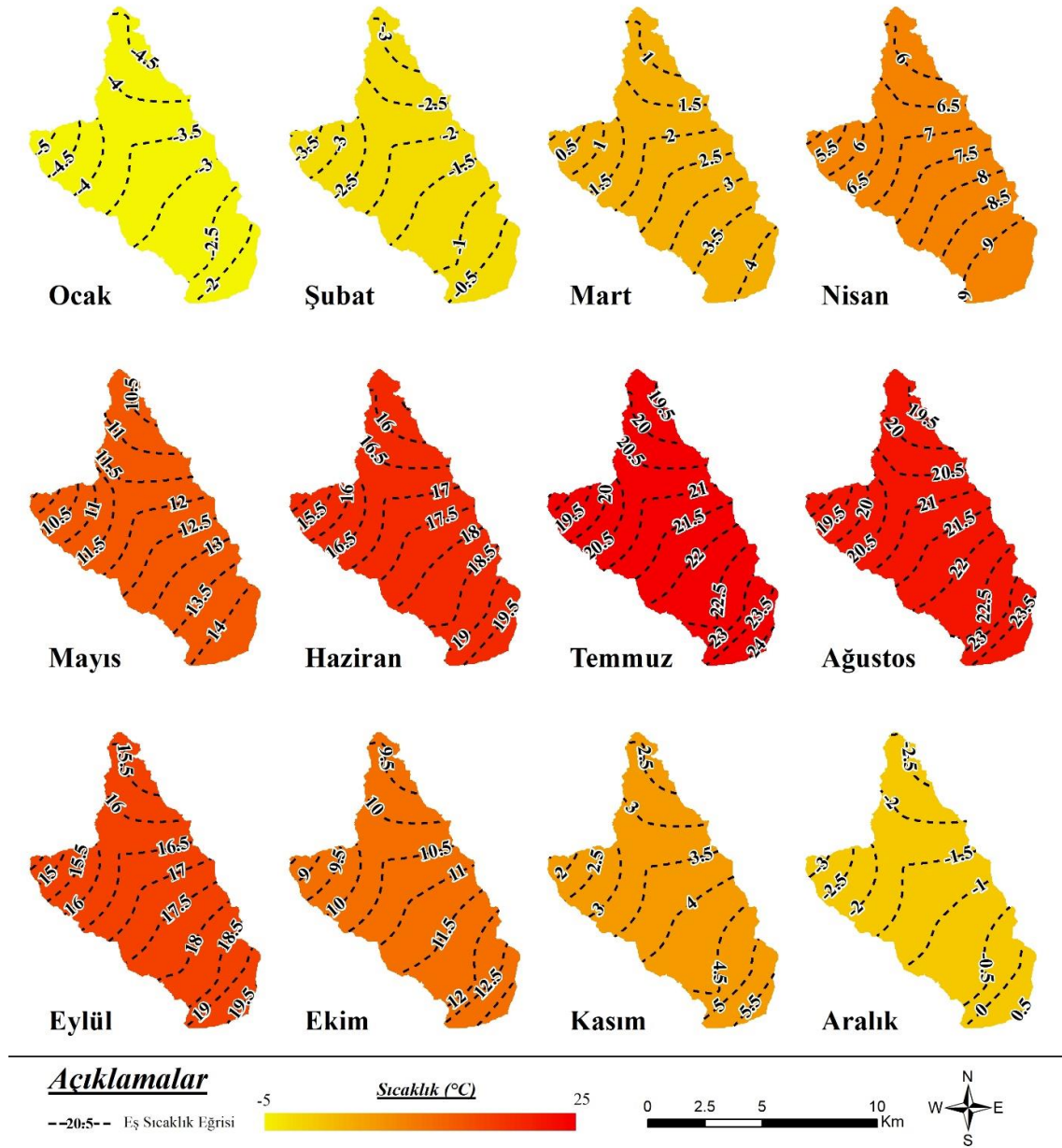


Şekil 3.10. İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ'lerin kot-sıcaklık ilişkisi.

İnceleme alanı ve çevresinde 1970-2021 ortak periyot için aylık ortalama sıcaklık değerlerinin alansal dağılımının belirlenmesi amacı ile yağış verilerinde olduğu gibi “Eş Sıcaklık Eğrisi Yöntemi” ile HZKS yüzeysel drenaj alanı için uzun yıllar aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.4, Şekil 3.11-12).

Çizelge 3.4'de görüldüğü üzere yıl içinde HZKS yüzeysel drenaj alanına en yüksek aylık ortalama sıcaklık Temmuz ayında (21.4 °C) ve en düşük ortalama sıcaklık ise Ocak ayında (-3.4 °C) hesaplanmıştır (Çizelge 3.4; Şekil 3.11). HZKS için 1970-2021 yılları

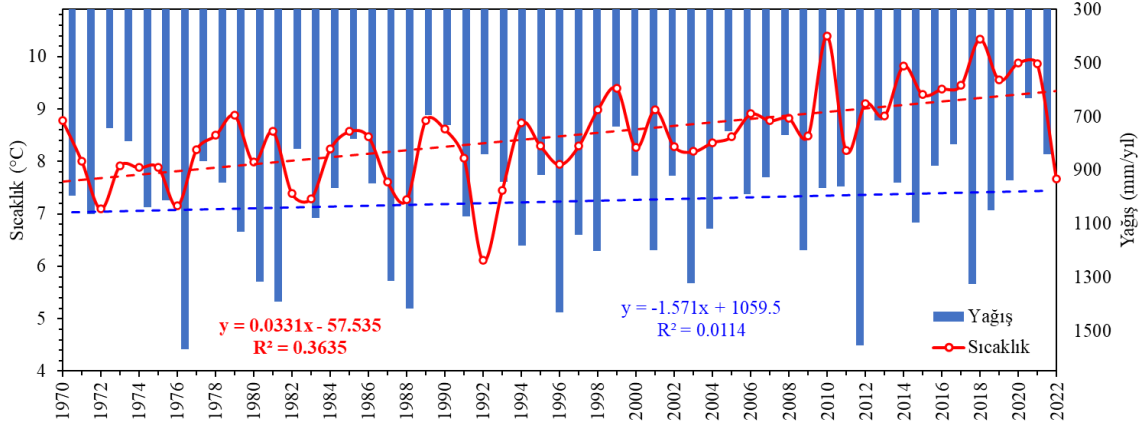
arası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değeri 8.9 °C hesaplanmış olup, en düşük ve en yüksek uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık sırası ile 6.5 °C (1992) ve 10.8 °C (2010) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.5; Şekil 3.12).



Şekil 3.11. HZKS uzun yıllar (1970-2021) aylık ortalama sıcaklık dağılımı.

Çalışma alanı ve yakın dolayında 1970-2021 yılları arasında yıllık ortalama sıcaklıkların ~0.03 °C/yıl oranında arttığı gözlenmektedir (Şekil 3.12). Ayrıca, inceleme alanı ve yakın

dolayında sıcaklıklar güneyden kuzeye doğru azalmakta ve kuzeydeki doruk ağlarının etkisiyle bu bölgelerde daha düşük sıcaklık değerleri gözlenmektedir (Şekil 3.11).



Şekil 3.12. İnceleme alanının uzun yıllar yağış-sıcaklık ilişkisi.

### 3.3.3. Buharlaştırma-Terleme

İnceleme alanı için 1970-2021 yılları arası verisi tamamlanan MGİ’lerde elde edilen aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak her bir MGİ için Thornthwaite-Mather (Thornthwaite ve Mather, 1955; 1957) ve USGS (McCabe ve Markstrom, 2007) yöntemleri ile aylık toplam ETp ve ETa miktarları hesaplanmıştır. Buharlaştırma verilerinin alansal dağılımının belirlenmesi amacı ile söz konusu veriler, “Eş Buharlaştırma Eğrisi Yöntemi” ile değerlendirilmiş olup inceleme alanını oluşturan HZKS yüzeysel drenaj alanı için uzun yıllar aylık (Bkz. Çizelge 3.4) ve yıllık ortalama toplam (Bkz. Çizelge 3.5) ETp ve ETa değerleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte inceleme alanı için elde edilen yıllık ortalama yağış ve sıcaklık verileri Turc (1954) yöntemi ile değerlendirilerek HZKS için uzun yılları (1970-2021) yıllık toplam ETa miktarı da hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5).

Thornthwaite (1948) yöntemine göre bir bölgede gerçekleşecek ETp miktarı Eş. (3.1-3.4) ile hesaplanmaktadır.

$$ETp = 16 \times \left( \frac{10 \times t}{I} \right)^a \times G \quad (3.1)$$



$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514} \quad (3.2)$$

$$I = \sum_1^{12} i \quad (3.3)$$

$$a = 6.751 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.711 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.791 \times 10^{-2} \times I + 0.492 \quad (3.4)$$

Burada;  $ETp$ : aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarını (mm),  $I$ : yıllık sıcaklık indisini,  $G$ : enlem düzeltme katsayısını ve  $t$ : aylık ortalama sıcaklık değerini ( $^{\circ}C$ ) ifade etmektedir. Thornthwaite yöntemi ile aylık  $ETp$  hesaplamalarında kullanılan ortalama güneşlenme süresine bağlı enlem düzeltme katsayısı ( $G$ ), inceleme alanının bulunduğu enlem ( $38^{\circ}$ ) dikkate alınarak Thornthwaite (1948)'de alınmıştır.

Turc (1954) yöntemi ile bir bölgedeki yıllık toplam  $ETa$  miktarı hesaplanmaktadır (Eş. 3.5-3.6).

$$ET_a = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3.5)$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (3.6)$$

Burada;  $ETa$ : yıllık gerçek buharlaşma-terlemeyi (mm),  $P$ : yıllık toplam yağışı (mm),  $T$ : yıllık ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) ve  $L$ : sıcaklığa bağlı katsayıyı ifade etmektedir.

USGS aylık su bütçesi modeli, McCabe ve Markstrom (2007) tarafından geliştirilmiş olup temelde Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Mather, 1978, 1979; McCabe ve Wolock, 1999; Wolock ve McCabe, 1999) tarafından önceden sunulan metodolojiye dayalı olarak aylık bir hesaplama prosedürü kullanarak hidrolojik sistemin bileşenlerini analiz etmektedir. Modelin girdileri, aylık ortalama sıcaklık ( $T$ ), aylık toplam yağış ( $P$ ) ve incelenen alanın enlemidir. Alanın enlemi, potansiyel buharlaşma/transpirasyon ( $PET$ ) hesaplaması için gereken gün uzunluğunun hesaplanması için kullanılmaktadır. Söz

konusu model, diğer modellerden (Thornthwaite, Thornthwaite-Mather, vb.) farklı olarak negatif sıcaklık gözlenen aylar için de buharlaşma-terleme hesaplayabilmektedir.

Programda, öncelikle yağışın formu (şekli) yağışın gerçekleştiği aydaki hava sıcaklığına göre belirlenmektedir. Bu süreçte sisteme girilen söz konusu aydaki ortalama hava sıcaklığı ( $T_o$ ), programa tanımlanan eşik değerin üstünde ise o ayda gerçekleşen yağışı formu yağmur, eşik değerin altında ise yağış formu kar olarak kabul etmektedir. İlgili aydaki yağış miktarı Eş. (3.7-8) ile hesaplanmaktadır (McCabe ve Markstrom, 2007).

$$P_k = P_o \times \left[ \frac{T_y - T_o}{T_y - T_k} \right] \quad (3.7)$$

$$P_y = P_o - P_k \quad (3.8)$$

Burada;  $P$ : yağmur (mm/ay),  $T$ : sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}/\text{ay}$ ) ifade etmekte olup,  $o$ ,  $k$  ve  $y$  alt indisleri sırası ile ortalama, kar ve yağmuru ifade etmektedir.

McCabe ve Wolock (1999)'da yağmur ve kar formları arasında eşik sıcaklık ( $T_y$ ) değerinin  $3.3^{\circ}\text{C}$  kabul edilebileceği belirtilmektedir. Ayrıca ilgilenilen alanın kot değerinin  $1000\text{ m}$ 'nin üzerinde ve altında olduğu bölgelerde kar eşik sıcaklığının sırası ile ( $T_k$ )  $-1.0^{\circ}\text{C}$  ve  $-10.0^{\circ}\text{C}$  olarak kabul edilebileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte USGS yaklaşımında toprağın nem kapasitesi  $100\text{ mm}$  ve kar erimesi sonrası açığa çıkan suyun %50'si ise en yüksek erime oranı olarak kabul edilmiştir (McCabe ve Markstrom, 2007). Söz konusu durum dikkate alınarak inceleme alanında Buharlaşma-Terleme hesaplarında  $1000\text{ m}$  kotunun altında olan Adıyaman MGİ, Malatya MGİ ve Sultansuyu MGİ istasyonları için kar eşik sıcaklığı ( $T_k$ )  $-10.0^{\circ}\text{C}$ ,  $1000\text{ m}$  kotunun üzerindeki diğer istasyonlarda ise kar eşik sıcaklığı ( $T_k$ )  $-1.0^{\circ}\text{C}$  olarak kabul edilmiştir.

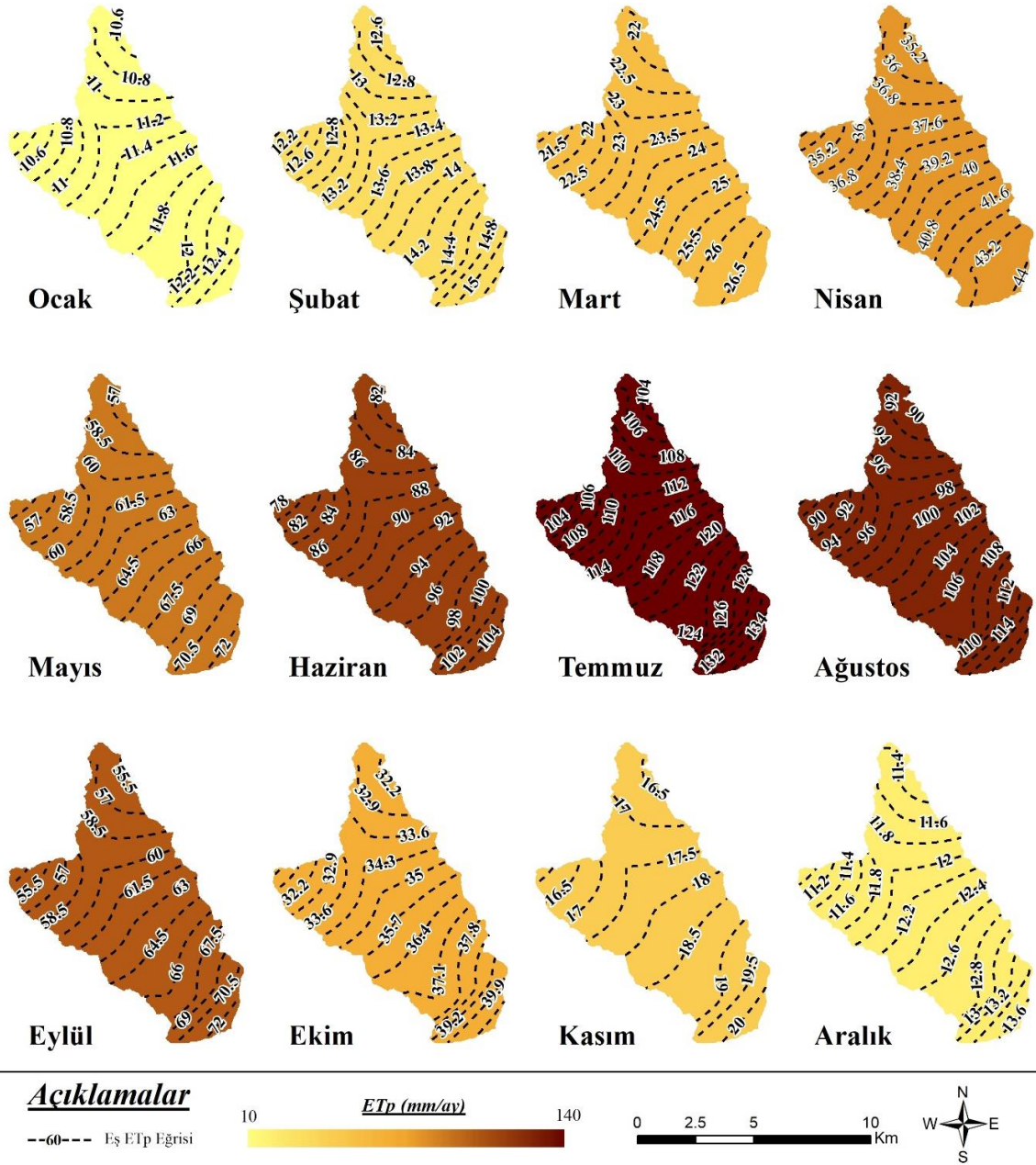
### 3.3.3.1. Buharlaşma-Terleme Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve etrafında yer alan MGI'lere ait uzun yıllar (1970-2021) aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış verileri ile Bölüm 3'te belirtilen yöntemler kullanılarak HZKS için uzun yıllar aylık (Bkz. Çizelge 3.4) ve yıllık (Bkz. Çizelge 3.5) toplam ETp ve ETa miktarları hesaplanmıştır.

HZKS yüzeysel drenaj alanı için USGS modeli ile uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp (Şekil 3.13) ve ETa (Şekil 3.14) miktarları sırası ile 48.7 ve 36.1 mm/ay olarak hesaplanmış olup, söz konusu değerler 11.4–115.7 mm/ay ve 9.1–89.6 mm/ay arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 3.4; Şekil 3.13-14). Söz konusu yöntem ile HZKS'de uzun yıllar (1970-2021) ortalama toplam ETp 584.1 mm/yıl hesaplanırken, ETa ise 432.9 mm/yıl hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). Bu yöntem ile hesaplanan uzun yıllar ortalama toplam ETp ve ETa değerleri, inceleme alanındaki uzun yıllar ortalama toplam yağışın (965.7 mm/yıl) sırası ile %60.5 ve %44.8'ine karşılık gelmektedir.

HZKS yüzeysel drenaj alanı için Thornthwaite-Matter yöntemi ile uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp (Şekil 3.15) ve ETa (Şekil 3.16) miktarları sırası ile 51.3 ve 25.3 mm/ay olarak hesaplanmış olup, söz konusu değerler 0–132.4 mm/ay ve 0–87 mm/ay arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 3.4). Söz konusu yöntem ile HZKS'de uzun yıllar (1970-2021) ortalama toplam ETp miktarı 616 mm/yıl hesaplanırken, ETa miktarı ise 303.4 mm/yıl hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). Bu yöntem ile hesaplanan uzun yıllar ortalama toplam ETp ve ETa miktarları, uzun yıllar ortalama toplam yağış miktarının (965.7 mm/yıl) sırası ile %63.8 ve %31.4'üne karşılık gelmektedir.

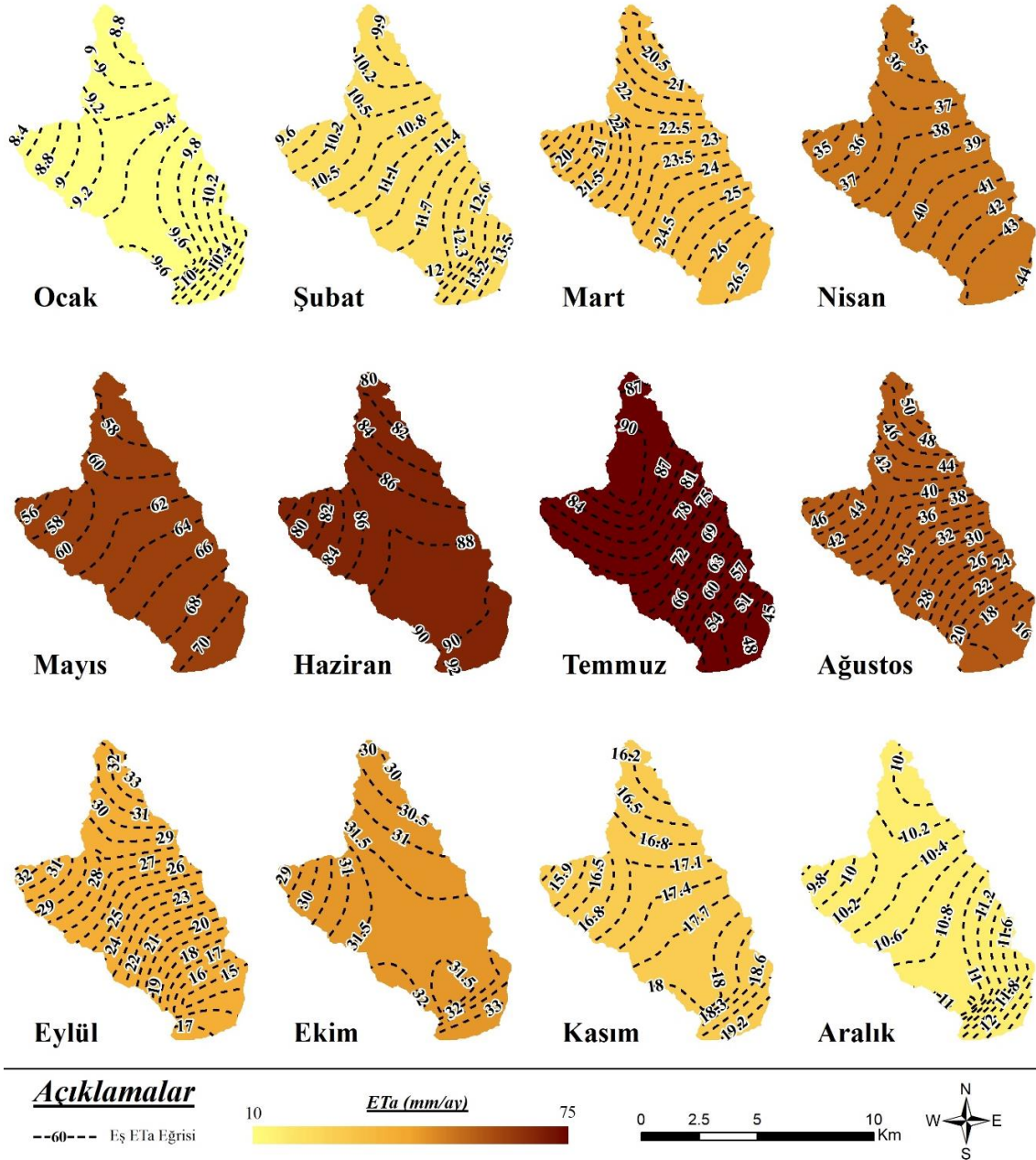
Ayrıca Turc yöntemi ile hesaplanan ETa değerleri 419.1 mm/yıl ile 571.4 mm/yıl arasında değişmekte olup, ortalama ETa 482.9 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5; Şekil 3.17). Turc Yöntemi ile hesaplanan ortalama ETa değeri, HZKS'deki uzun yıllar ortalama toplam yağışın (965.7 mm) %50'sine denk gelmektedir.



Şekil 3.13. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (USGS yöntemi).

Şekil 3.13 ile Şekil 3.16 arasındaki ETp ve ETa aylık dağılım haritaları incelendiğinde, Thornthwaite-Mather yöntemine göre yüksek kotlarda düşük buharlaşma-terleme miktarı, düşük kotlarda yüksek buharlaşma-terleme miktarı hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu yöntem ile negatif sıcaklık değerlerinin gözlemlendiği Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ETp ve ETa değerleri  $\sim 0$  olarak hesaplanmıştır. USGS Modeline göre ise ETp değerleri sıcaklık farkı dolayısıyla yüksek kotlarda düşük, düşük kotlarda ise yüksek hesaplanmıştır. ETa değerleri ise Temmuz ve Ağustos aylarında yüksek sıcaklık ile

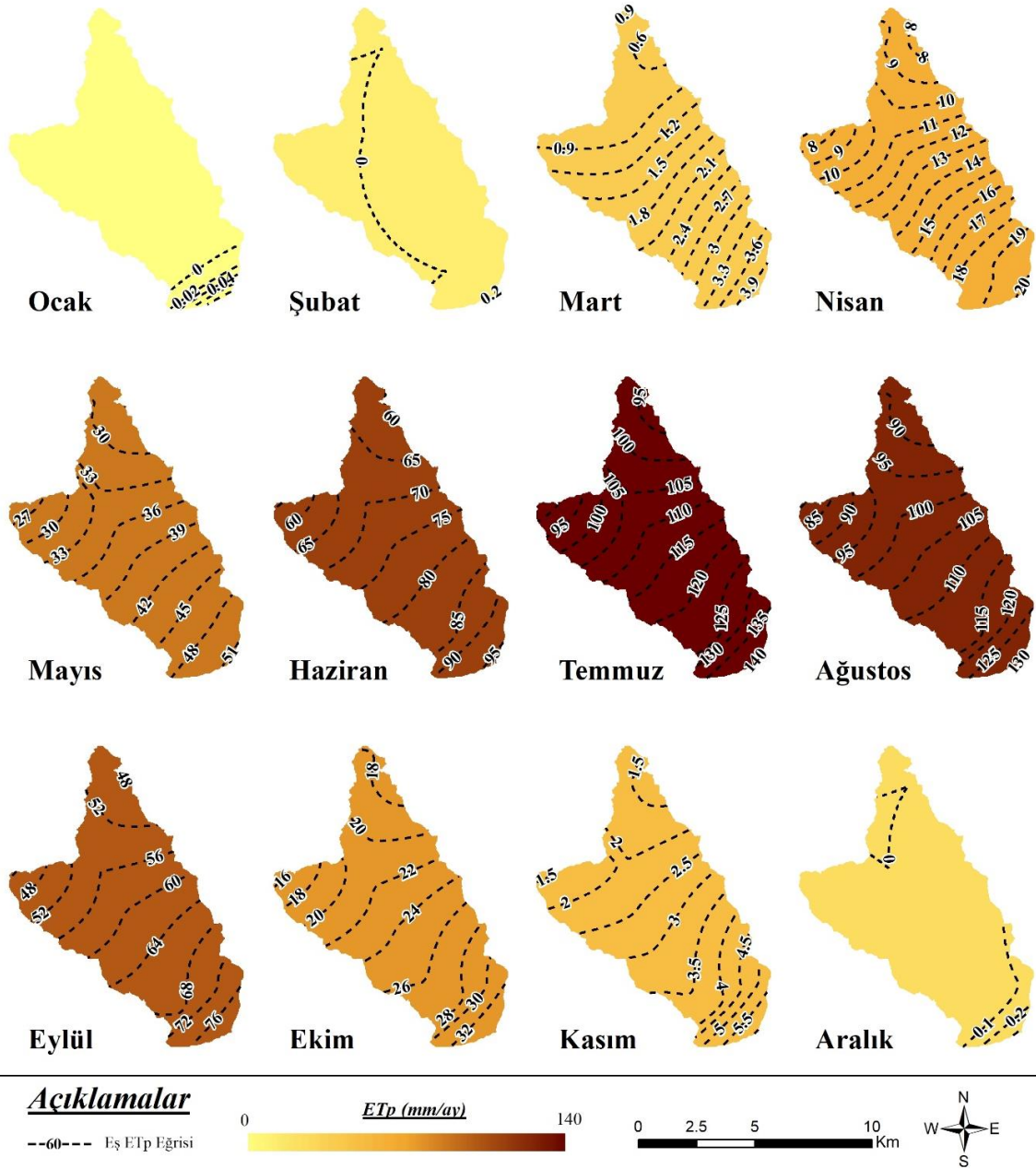
birlikte, toprak zonundaki depolama (rezerv su) farkından dolayı yüksek kotlarda, düşük kotlara oranla daha yüksek hesaplanmıştır. Söz konusu yaz ayları haricinde ise yüksek kotlarda düşük, düşük kotlarda yüksek hesaplanmıştır.



Şekil 3.14. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETa dağılımı (USGS yöntemi).

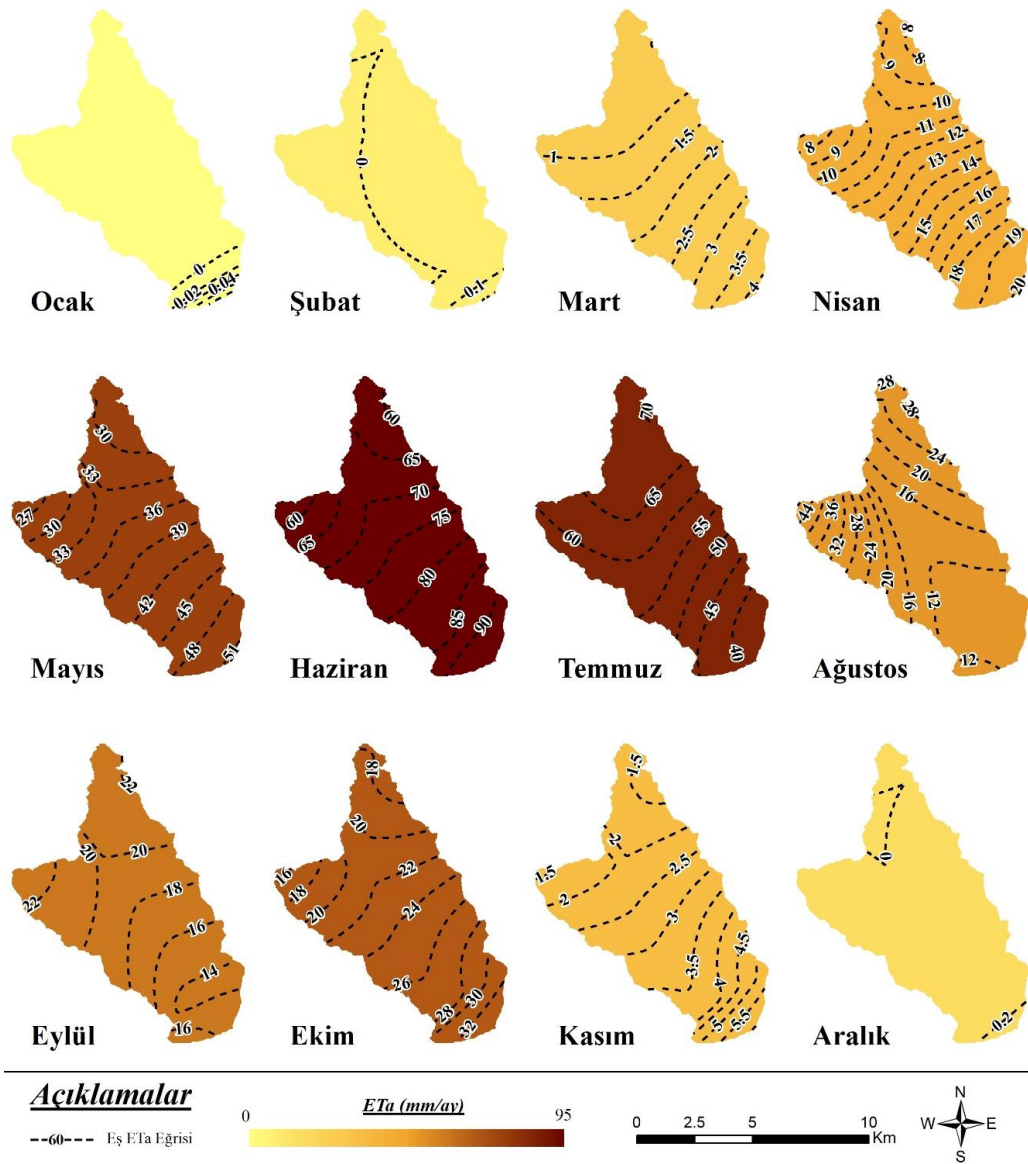
Sonuç olarak USGS Modeli, Thornthwaite-Mather ve Turc yöntemleri ile hesaplanan ETa değerleri değerlendirildiğinde; USGS ve Turc yöntemleri ile hesaplanan yıllık toplam ETa değerleri birbirine yakınken (USGS:432.9 mm/yıl; Turc:482.9 mm/yıl),

Thornthwaite-Mather yöntemi ile hesaplanan yıllık toplam ETa değeri diğer yöntemlerde hesaplanan değerlere göre düşük gözlenmektedir (Şekil 3.15). Özellikle negatif sıcaklık değerlerinin gözleendiği Aralık, Ocak ve Şubat aylarında ETp ve ETa değerleri ~ 0 olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 3.15-16).

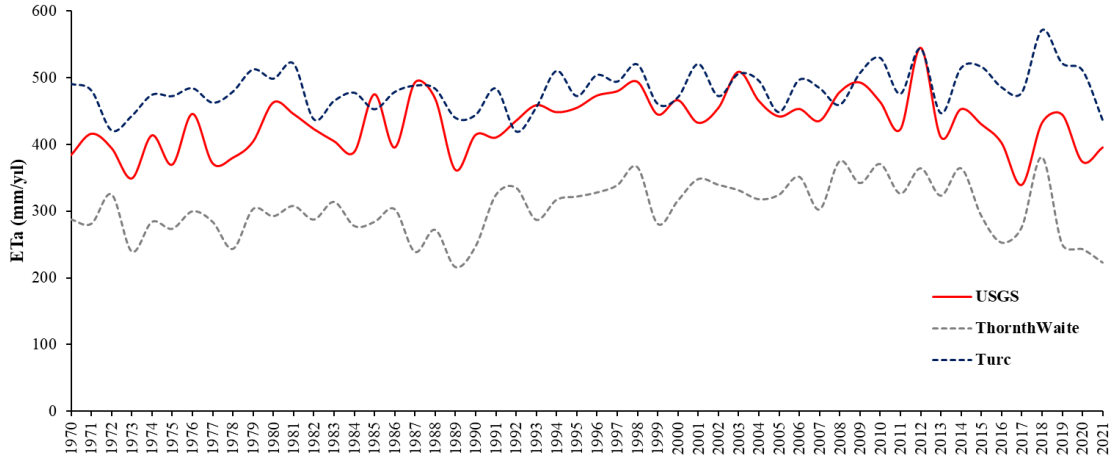


Şekil 3.15. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (Thornthwaite-Mather yöntemi).

Söz konusu durum Thornthwaite-Mather yönteminin ortalama hava sıcaklığının 0 °C'nin altına düştüğü aylarda hesaplama yapmaması ile açıklanabilir. (Allen, 1998; Valiantzas, 2006; McCabe ve Markstrom, 2007) Ancak ortalama hava sıcaklığının negatif değerler olarak gözlemlendiği aylarda da buharlaşma-terleme olayının gerçekleşmektedir (Rosenberry vd., 2004, 2007; Aydın ve Karakuş, 2016). HZKS su bütçesi hesaplamalarında buharlaşma kayıplarının belirlenmesi aşamasında USGS yöntemi ile hesaplanan gerçek buharlaşma-terleme miktarları dikkate alınmıştır. Çünkü USGS yöntemi hem kar erimesini hem de negatif sıcaklık değerlerini dikkate alarak gerçekçi sonuçlar sunmaktadır (Bkz. Çizelge 3.5).



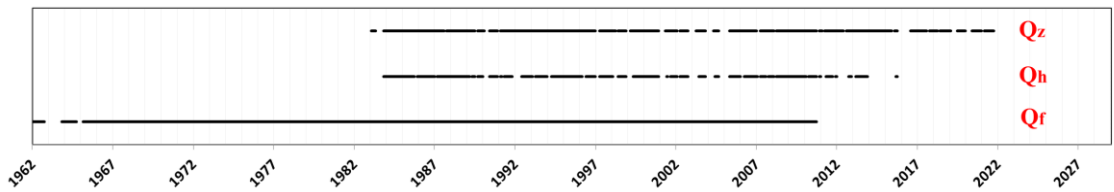
Şekil 3.16. HZKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETa dağılımı (Thornthwaite-Mather yöntemi).



Şekil 3.17. HZKS için hesaplanan yıllık toplam ETa değerlerinin zamansal dağılımı.

### 3.3.4. Akımlar ve Kaynak Boşalımları

İnceleme alanının güneydoğu ve doğusunda yer alan sistemin boşalımını sağlayan Havşari ve Zerban kaynaklarında aylık ortalama akım değerleri DSİ tarafından sırası ile 1984-2016 ve 1984-2022 yılları arasında kaydedilmiştir (Şekil 3.18; Çizelge 3.7). Bununla birlikte Çelikhan ilçesinin yaklaşık 3 km güneyinde Bulam Çayı üzerinde yer alan E21A035 No’lu Fatopaşa Akım Gözlem İstasyonunda (AGİ) ise 1957-2022 yılları arasında akım gözlemleri kaydedilmektedir. Ancak bu akım değerleri ortak periyoda sahip olmadığından dolayı eksik verisi bulunan akım gözlem noktaları için veri tamamlama işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.18. Akım ölçümü yapılan istasyonların veri zaman aralıkları (Q<sub>Z</sub>: Zerban Kaynağı; Q<sub>H</sub>: Havşari Kaynağı; Q<sub>F</sub>: Fatopaşa AGİ).

#### 3.3.4.1. Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması

Bölüm 3.3’te değinilen eksik yağış ve sıcaklık verilerinin tamamlanmasında uygulanan yöntem, eksik akım verilerinin tamamlanması sürecinde de kullanılmıştır. Kaynak akım



verilerinin tamamlanması aşamasında 1984-2022 yılları arası ortak periyot kabul edilmiş olup, Fatopaşa AGİ’de 1957-2022 yılları arasında gözlenen aylık ortalama akım değerleri dikkate alınarak Havşari ve Zerban kaynaklarında eksik olan akım verileri tamamlanmıştır. Buna ek olarak Havşari kaynağından 2010 yılı sonrası Adıyaman’a içme-kullanım suyu alındığı için bu kaynağın 2011-2022 yılları arası debi değerleri Zerban Kaynağı akım değerleri ile tamamlanmıştır (Şekil 3.19). Bununla birlikte HZKS’de yüzeysel drenaj alanı içinde debi gözlemi yapan AGİ bulunmamaktadır. Bu kapsamda Fatopaşa AGİ aylık ortalama akım verilerinden akış katsayısı ( $l/s/km^2$ ) hesaplanmış ve elde edilen akış katsayısı ile HZKS yüzeysel akım miktarı hesaplanmıştır. Fatopaşa AGİ aylık ortalama akım değerinden, Zerban ve Havşari kaynaklarının ilgili aydaki akımları çıkarılmış ve kalan değer Fatopaşa AGİ yüzeysel drenaj alanına ( $171.5 km^2$ ) bölünerek söz konusu ay için akış katsayısı elde edilmiştir. 1984-2021 yılları arası her bir ay için elde edilen akış katsayıları HZKS’nin yüzeysel drenaj alanı ( $58.6 km^2$ ) ile çarpılarak HZKS’de meydana gelen yüzeysel akım miktarı hesaplanmıştır.

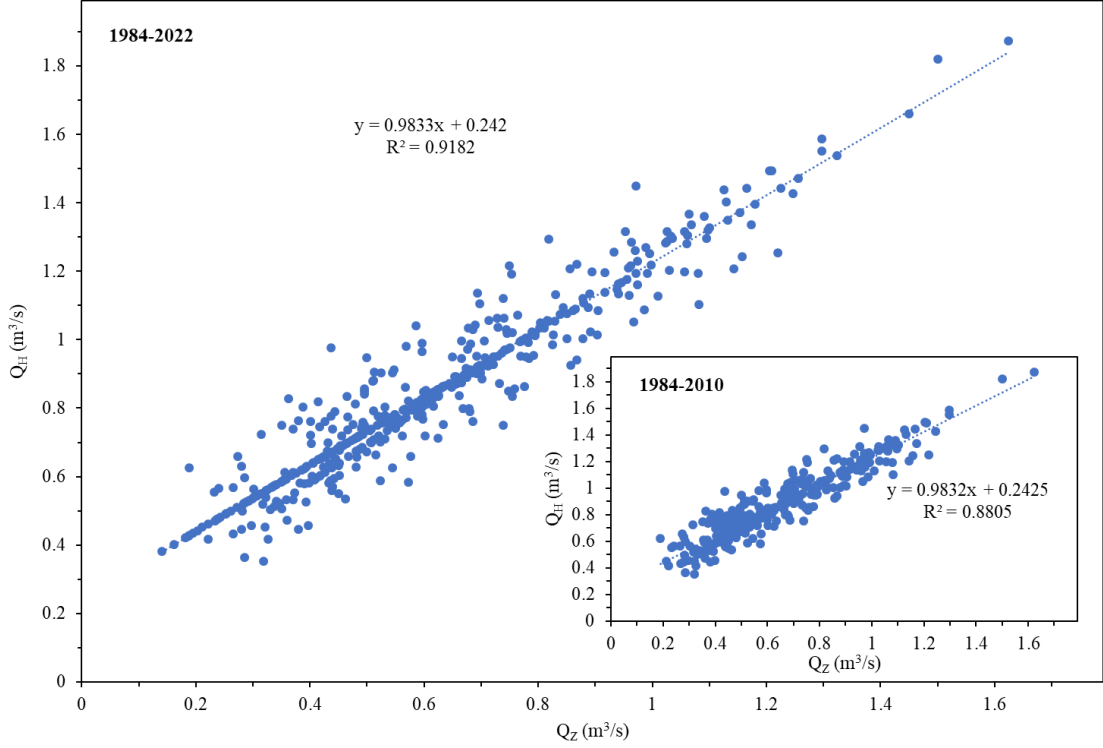
Çizelge 3.7. Akım ölçümü yapılan istasyonlara ait bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Tip	Koordinat		Kot (m)	Alan ( $km^2$ )
			X (m)	Y (m)		
Q <sub>z</sub>	Zerban	Kaynak	428131	4209338	1313	-
Q <sub>h</sub>	Havşari	Kaynak	428446	4206639	1285	-
Q <sub>f</sub> (E21A035)	Fatopaşa AGİ	Akarsu (Bulam Çayı)	436389	4204640	1240	167

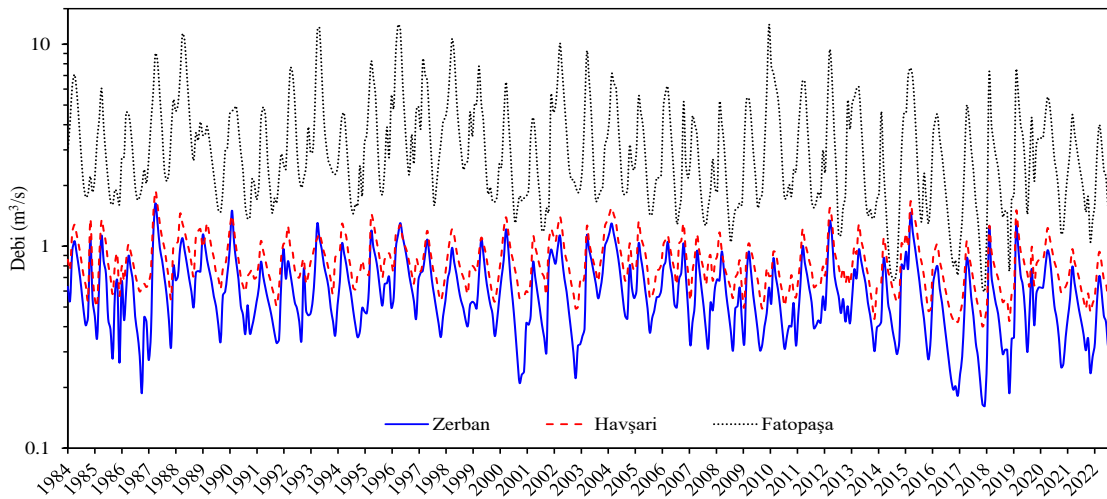
### 3.3.4.2. Akım Verilerinin Değerlendirilmesi

Zerban ve Havşari kaynakları ile Fatopaşa AGİ 1984-2022 yılları arası aylık ortalama akım değerleri Şekil 3.17’de verilmektedir. Zerban Kaynağının 1984-2022 yılları arası aylık ortalama akım değerleri  $0.162 m^3/s$  ile  $1.624 m^3/s$  arasında değişmekte olup, uzun yıllar ortalama akım miktarı ise  $0.617 m^3/s$  hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5-6; Şekil 3.20). Havşari Kaynağının yıllık en düşük ve en yüksek ortalama akım değerleri sırası ile  $0.401 m^3/s$  ve  $1.874 m^3/s$  olup, ortalama akım değeri ise  $0.848 m^3/s$ ’dir. Fatopaşa AGİ’de gözlem süresi boyunca kaydedilen uzun yıllar ortalama akım değeri  $3.551 m^3/s$  olup en düşük ve en yüksek akım değeri ise sırasıyla  $0.680 m^3/s$  ve  $12.500 m^3/s$  kaydedilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5-6; Şekil 3.20). Yapılan değerlendirmeler sonrasında 1984-2021 yılları arasında HZKS’de meydana gelen uzun yıllar ortalama akım değeri  $0.659 m^3/s$ , en düşük

ve en yüksek yüzeysel akım miktarları ise sırası ile  $0.171 \text{ m}^3/\text{s}$  ve  $1.405 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.6).



Şekil 3.19. Havşari Kaynağı ( $Q_H$ ) -Zerban Kaynağı ( $Q_Z$ ) akım verileri dağılım grafiği (küçük grafik, veri tamamlama öncesini temsil etmektedir).



Şekil 3.20. Zerban ve Havşari Kaynakları ile Fatopaşa AGİ (Bulam Çayı) uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri.

İnceleme alanını oluşturan HZKS su bütçesi hesaplamalarında Zerban ve Havşari Kaynağı 1984-2021 yılları arası yıllık ortalama akım değerleri kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 3.6). Ayrıca karst HZKS akiferinde çekilme döneminde depolanan toplam su miktarı, çekilme döneminde boşalan ve kalan su miktarı ile iki ardışık yıl arasında beslenme miktarı gibi hesaplamalarda, Zerban ve Havşari kaynaklarının uzun yılları (1984-2021) aylık ortalama akım değerleri kullanılmıştır (Şekil 3.20).

### 3.4. Su Bütçesi

İnceleme alanı ve yakın dolayının hidrodinamik yapısının açıklanması ve kavramsal modelin oluşturulması amacıyla 1984-2021 yılları için yağış, buharlaşma-terleme, kaynak boşalmaları gibi su bütçesi bileşenleri önceki bölümlerde elde edilen veriler ile hesaplanmıştır. Söz konusu zaman aralığı için gerçekleştirilen su bütçesi hesaplamalarında, kütle korunumuna göre sistemin beslenimini oluşturan girdiler ile boşalmasını oluşturan çıktıların birbirine denk ya da depolamadaki değişime eşit olduğu kabul edilmiştir. İnceleme alanı için oluşturulmuş olan hidrolojik kavramsal model Şekil 3.21’de verilmekte olup, HZKS’nin yüzeysel drenaj alanı 58.6 km<sup>2</sup>’dir.

Şekil 3.19’da verilen hidrolojik kavramsal model dikkate alınarak kaynakların beslenme alanlarının yüzeysel drenaj alanı ile sınırlı olup olmadığının test edilmesi amacıyla HZKS’de su bütçesi hesaplamaları, sistemin boşalmasını Zerban ve Havşari kaynakları birlikte (HZKS) ve Zerban Kaynağı olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bütçe denklemleri;

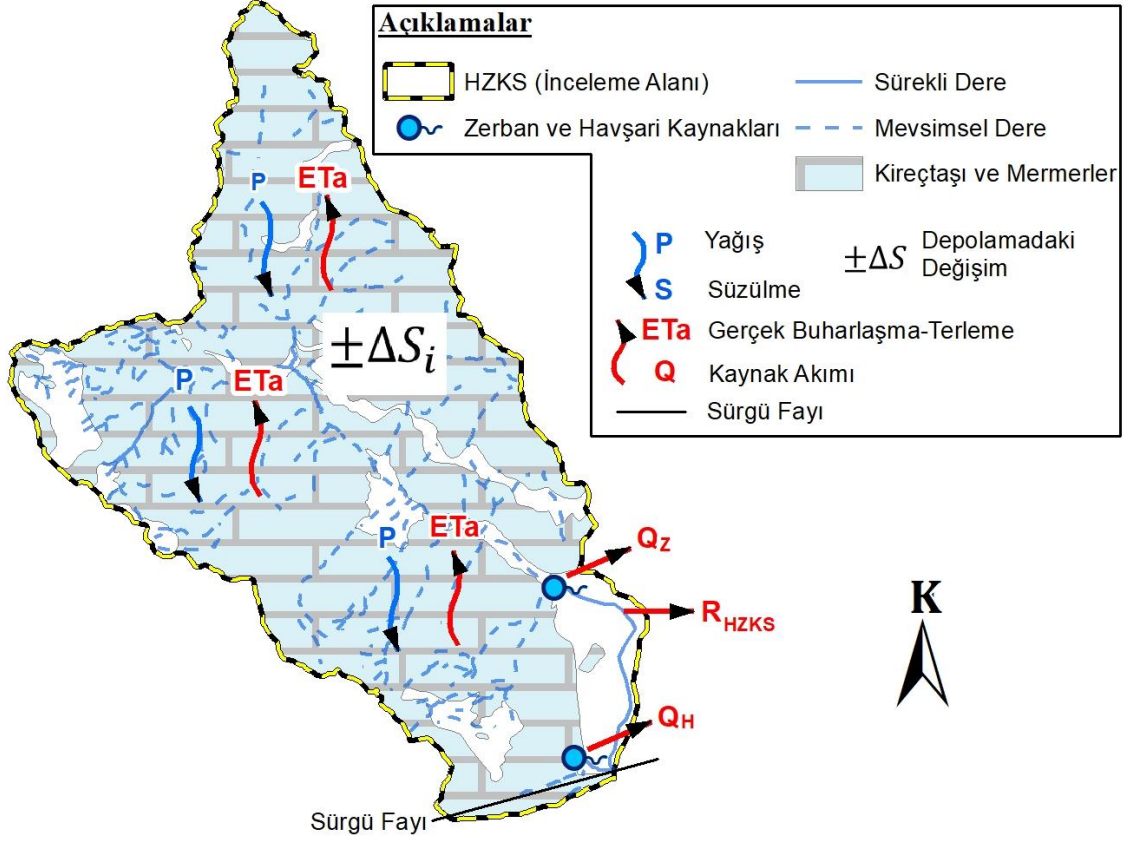
$$\pm\Delta S = \sum \text{Girdi} - \sum \text{Çıktı} \quad (3.9)$$

Zerban ve Havşari kaynakları (HZKS) için oluşturulan bütçe denklemi;

$$\pm\Delta S = [P] - [ET_a + Q_Z + Q_H + R_{HZKS}] \quad (3.10)$$

Zerban Kaynağı için oluşturulan bütçe denklemi;

$$\pm\Delta S = [P] - [ET_a + Q_Z + R_{HZKS}] \quad (3.11)$$



Şekil 3.21. İnceleme alanının kavramsal hidrolojik modeli.

Burada;  $\pm\Delta S$ : depolamadaki değişim miktarını ( $L^3/T$ ),  $P$ : sisteme yağış ile giren su miktarını ( $L^3/T$ ),  $ETa$ : sistemden gerçek buharlaşma-terleme ile çıkan su miktarını ( $L^3/T$ ),  $Qz$ : Zerban Kaynağı ile sistemden çıkan yeraltısuyu miktarı ( $L^3/T$ ),  $Q_H$ : Havşari Kaynağı ile sistemden çıkan yeraltısuyu miktarı ( $L^3/T$ ) ve  $R_{HZKS}$ : inceleme alanından yüzeysel akış ile çıkan su miktarını ifade etmektedir. HZKS için oluşturulmuş olan bütçe denklemleri Eşitlik 3.9-12'de verilmiş olup söz konusu eşitliklerdeki;

- $\Delta S = 0$ , sistemin dengede olması, yani sistemde girdilerin çıktıları eşit olduğu durumu,
- $\Delta S < 0$ , sistemde girdilerin çıktılardan küçük olduğu ve sistemin denge koşulları için sisteme yüzeysel drenaj alanı dışında girdi olması gerektiği durumu,
- $\Delta S > 0$ , sistemde girdilerin çıktılardan fazla olduğu ve denge koşulları için sistemden yüzeysel drenaj alanı dışına çıktı olması gerektiği durumu ifade etmektedir.

### 3.4.1. Su Bütçesi Bileşenlerinin Hesaplanması

HZKS su bütçesi hesaplamalarında ihtiyaç duyulan parametreler ( $P$ ,  $ETa$ ,  $Q_Z$ ,  $Q_H$ ,  $R_{HZKS}$ ), 38 yıllık (1984-2021) zaman dilimini kapsayacak şekilde önceki bölümlerde belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.6). Söz konusu değerler kullanılarak 58.6 km<sup>2</sup>'lik HZKS için su bütçesi Eş. 3.10-12 ile ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. HZKS su bütçesi parametreleri

Havza	Yöntem	Alan (km <sup>2</sup> )	$P$ (mm/yıl)	$ETa$	$Q_Z$	$Q_H$ (m <sup>3</sup> /s)	$R_{HZKS}$	$P$	$ETa$	$Q_Z$ (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)	$Q_H$	$R_{HZKS}$
Zerban	USGS	58.6	954.6	443.2	0.617	0.848	0.659	55.942	25.972	19.458	26.743	20.782
Kaynağı	Turc			486.0					28.482			

$P$ : yağış;  $T$ : sıcaklık;  $ETa$ : gerçek buharlaşma-terleme;  $USGS$  (McCabe ve Markstrom, 2007) ve  $Thornthwaite$  (1948) yöntemleri;  $R_{HZKS}$  HZKS yüzeysel akım miktarı;  $Q_Z$ , ve  $Q_H$  sırası ile Zerban ve Havşari kaynakları akımları.

#### 3.4.1.1. Yağış ( $P$ )

HZKS için 1970-2021 yılları arası yıllık ortalama toplam yağış miktarı 965.7 mm (Bkz. Çizelge 3.5, Bölüm 3.3.1), akım ve meteoroloji verilerinin ortak periyodu olan 1984-2021 yılları arası yıllık toplam ortalama yağış miktarı ise 954.6 mm olarak elde edilmiştir. Elde edilen yağış yüksekliği değeri HZKS alanı (58.6 km<sup>2</sup>) ile çarpılmış ve alansal yıllık ortalama toplam yağış miktarı elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda HZKS yüzeysel drenaj alanında 55.942×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/yıl yağıştan beslenim gerçekleşmektedir (Çizelge 3.8).

#### 3.4.1.2. Buharlaşma-Terleme ( $ETa$ )

İnceleme alanı için Bölüm 3.3.1'de 1970-2021 yılları arası buharlaşma-terleme ( $ETa$ ) ile sistemden çıkan su miktarı USGS ve Turc yöntemleri kullanılarak elde edilmiş olup sırasıyla 432.9 mm/yıl ve 482.9 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). Ayrıca su bütçesi hesaplamaları kapsamında akım verileri ile ortak periyot olan 1984-2021 yılları arası buharlaşma-terleme ( $ETa$ ) miktarları HZKS yüzeysel drenaj alanı için sırasıyla 443.2 mm/yıl ve 486 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Söz konusu değerler inceleme alanı ile çarpılarak alansal yıllık ortalama toplam buharlaşma-terleme çıktısı elde edilmiştir. Yapılan

hesaplamalar sonucunda HZKS'de USGS ve Turc yöntemlerine göre sırasıyla  $25.972 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl ve  $28.482 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl buharlaşma-terleme kayıpları gerçekleşmiştir (Çizelge 3.8).

#### **3.4.1.3. Yüzeysel Akım (R)**

İnceleme alanında yüzeysel akım ile drene olan su miktarı Fatopaşa AGİ akış katsayısından itibaren hesaplanmış olup 1984-2021 yılları arasında HZKS'de gerçekleşen ortalama yüzeysel akım miktarı 0.659 m<sup>3</sup>/s'dir (Bkz. Çizelge 3.5). Bu verilerden itibaren 1984-2021 yılları arasında HZKS'de yüzeysel akım ile çıkan su miktarı  $20.782 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.8).

#### **3.4.1.4. Kaynak Boşalımları (Q)**

İnceleme alanında yeraltısuyu boşalımını sağlayan Zerban ve Havşari kaynaklarına ait debi değerleri Bölüm 3.4'te değerlendirilmiş olup, su bütçesi değerlendirmelerinde söz konusu akım değerleri kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). 1984-2021 yılları arasında Zerban Kaynağı'ndan ortalama  $19.458 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl (0.617 m<sup>3</sup>/s) ve Havşari Kaynağı'ndan ise ortalama  $26.743 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl (0.848 m<sup>3</sup>/s) su boşaldığı hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.8).

#### **3.4.2. Su Bütçesi Hesap Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

USGS ve Turc yöntemleri ile hesaplanan ETa değerlerinden itibaren HZKS (Havşari ve Zerban) için Eşt. 3.10 dikkate alınarak bütçe hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamaları sonucunda su bütçesi sırası ile  $37.005$  hm<sup>3</sup>/yıl (1.173 m<sup>3</sup>/s) ve  $39.515$  hm<sup>3</sup>/yıl (1.253 m<sup>3</sup>/s) eksik su açığı vermiş olup (Çizelge 3.9), sistemin girdileri sistemin çıktılardan küçük elde edilmiştir. Bu durum HZKS'ye yüzeysel drenaj alanı dışından katkı olması gerektiğini işaret etmektedir. Zerban ve Havşari kaynaklarının 1984-2021 yılları arası ortalama toplam akım değerinin  $46.202$  hm<sup>3</sup>/yıl olduğu dikkate alındığında, toplam kaynak akımlarının sırası ile %80.1'i ve %85.5'i oranında eksik su çıkmaktadır. Başka bir ifade ile Çayderesi Formasyonuna ait mermerlerin karstlaşma düzeyi dikkate alınarak bölgede yüzeysel akım olmadığı ve buharlaşma sonrası arta kalan yağışın tümünün akiferi beslediği varsayımında bu kaynakların boşalımlarını sağlayabilmeleri için buharlaşma sonrası her iki yönteme göre ortalama 675 mm/yıl oranında daha yağışa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum sistemin toplam besleniminin ( $55.942$  hm<sup>3</sup>/yıl) sırası ile

%66.1 ve %70.6 oranına karşılık gelmektedir. İnceleme alanında yüzeysel akımın olmadığı varsayımı gerçekçi olmamakla birlikte hem inceleme alanın fiziksel yapısı hem de bu kapsamda gerçekleştirilen su bütçesi değerlendirmeleri, Havşari ve Zerban kaynakların ayrı ayrı sistemlerin boşalımını gerçekleştirdikleri sonucunu doğurmaktadır. Bu aşamada özellikle DAF'ın Sürgü Fayı uzantısına yaklaşık 100-150 m mesafede (Bkz. Şekil 3.19) boşalım sağlayan Havşari Kaynağının bu fay boyunca beslenime sahip olduğu ve Zerban Kaynağı'nın ise HZKS'nin boşalımını gerçekleştirdiği kanaatine varılmıştır.

Çizelge 3.9. HZKS su bütçesi hesaplamaları

Havza	Yöntem	<i>P</i> (mm/yıl)	<i>ETa</i> (mm/yıl)	Alan (km <sup>2</sup> )	<i>P</i>	<i>ETa</i>	<i>Q<sub>Z</sub></i>	<i>Q<sub>H</sub></i>	<i>R<sub>HZKS</sub></i>	$\Sigma_{Girdi}$	$\Sigma_{Çıktı}$	$\pm \Delta S$ (m <sup>3</sup> /s)	
Zerban Kaynağı	USGS	954.6	443.2	58.6	55.942	25.972	19.459		20.773	55.942	66.204	-10.262	-0.325
	Turc		486.0				28.482					68.714	-12.772
HZKS	USGS		443.2		55.942	25.972	19.459	26.743	20.773	55.942	92.947	-37.005	-1.173
	Turc		486.0			28.482					95.457	-39.515	-1.253

*P*: yağış; *T*: sıcaklık; *ETa*: gerçek buharlaşma-terleme; *USGS* (McCabe ve Markstrom, 2007) ve *Thornthwaite* (1948) yöntemleri; *R<sub>HZKS</sub>* HZKS yüzeysel akım miktarı; *Q<sub>Z</sub>*, ve *Q<sub>H</sub>* sırası ile Zerban ve Havşari kaynakları akımları.

Bu nedenle inceleme alanında sistemin boşalımının yalnızca Zerban Kaynağı ile gerçekleştiği durumu için Eş. 3.11 kullanılarak su bütçesi hesabı gerçekleştirildiğinde ise sistemde USGS Modeli ile hesaplanan buharlaşma-terleme miktarına göre 10.262 hm<sup>3</sup>/yıl (0.325 m<sup>3</sup>/s) eksik su, Turc yöntemine göre ise 12.772 hm<sup>3</sup>/yıl (0.405 m<sup>3</sup>/s) eksik su açığa çıkmaktadır (Çizelge 3.9). Yani sistemin girdileri, çıktılarından az olup HZKS'ye yüzeysel drenaj alanı dışından katkı olması gerektiğini işaret etmektedir. Diğer taraftan bölgede meydana gelen yağış, gerçek buharlaşma-terleme ve akım gibi bütçe bileşenlerinin inceleme alanını temsil ettiği varsayıldığında ve sistemin sınır koşulları (jeoloji, hidrojeoloji, vb.) ile hidrolojik kavramsal modeli dikkate alındığında HZKS'ye dışarıdan bir katkı gelmesi olası gözükmemektedir.

Hidrolojik çalışmalarda, tahminlerin ve gözlemlerin yaz aylarında yaklaşık  $\pm\%10$  ve kış aylarında yaklaşık  $\pm\%20$  ortalama hatasına sahip olabileceği (Mutreja, 1986; Viessman ve Lewis, 1996) kabul edilerek, bütçe hesaplamaları yeniden gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.10). HZKS bütçe bileşenleri için için hassasiyet analizi gerçekleştirilmiş olup yağış

miktarı bu kapsamda % 10 oranında artırılmış ve gerçek buharlaşma-terleme miktarı ise %10 azaltılmıştır. Sonuç olarak; Zerban Kaynağı su bütçesi USGS yöntemine göre 2.070 hm<sup>3</sup>/yıl (0.066 m<sup>3</sup>/s) ve Turc yöntemine göre ise 4.330 hm<sup>3</sup>/yıl (0.137 m<sup>3</sup>/s) su eksigi vermektedir. Her iki yöntem ile hesaplanan genel bütçe denklemi (Eş. 3.11) sonucu açığa çıkan eksik su, Zerban Kaynağı uzun yıllar ortalama akım değerinin (0.617 m<sup>3</sup>/s) sırasıyla %10.6 ve %22.3'üne karşılık gelmektedir. USGS yönteminin gerçek buharlaşma-terleme hesabında hem negatif sıcaklık değerlerini hem de kar erimesini dikkate alması ve bu yöntem ile elde edilen bütçe sonuçlarının  $\pm$ %10 oranında hata payı içinde kalması HZKS ölçeğinde hassasiyet analizi sonucunda yapılan bütçe hesaplamalarının temsil edici olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.10. HZKS ve yakın dolaylı hassasiyet analizi ile su bütçesi sonuçları (P, %10 arttırılmış ve ETa %10 azaltılmıştır)

Havza	Yöntem	<i>P</i> (mm/yıl)	<i>ETa</i> (mm/yıl)	Alan (km <sup>2</sup> )	<i>P</i>	<i>ETa</i>	<i>Q<sub>Z</sub></i>	<i>Q<sub>H</sub></i>	<i>R<sub>HZKS</sub></i>	$\Sigma_{Girdi}$	$\Sigma_{Çıktı}$	$\pm \Delta S$ (m <sup>3</sup> /s)	
Zerban Kaynağı	USGS	954.6	443.2	58.6	61.536	23.375	19.459	20.773	61.536	63.607	-2.070	-0.066	
	Turc		486.0										
HZKS	USGS		443.2	58.6	61.536	23.375	19.459	26.743	20.773	61.536	90.350	-28.813	-0.914
	Turc		486.0										

*P*: yağış; *T*: sıcaklık; *ETa*: gerçek buharlaşma-terleme; *USGS* (McCabe ve Markstrom, 2007) ve *Thornthwaite* (1948) yöntemleri; *R<sub>HZKS</sub>* HZKS yüzeysel akım miktarı; *Q<sub>Z</sub>*, ve *Q<sub>H</sub>* sırası ile Zerban ve Havşari kaynakları akımları.





#### 4. HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLER

İnceleme alanı ve yakın dolayında su kaynaklarının kalite ve kökeninin belirlenmesi ile HZKS'nin hidrojeolojik kavramsallaştırılmasına yönelik; Nisan 2022, Mayıs 2022 ve Ekim 2022 tarihlerinde arazi çalışmaları yapılarak, yerinde fizikokimyasal parametre ölçümler ile majör iyon, ağır metal ve izotop analizlerine yönelik örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



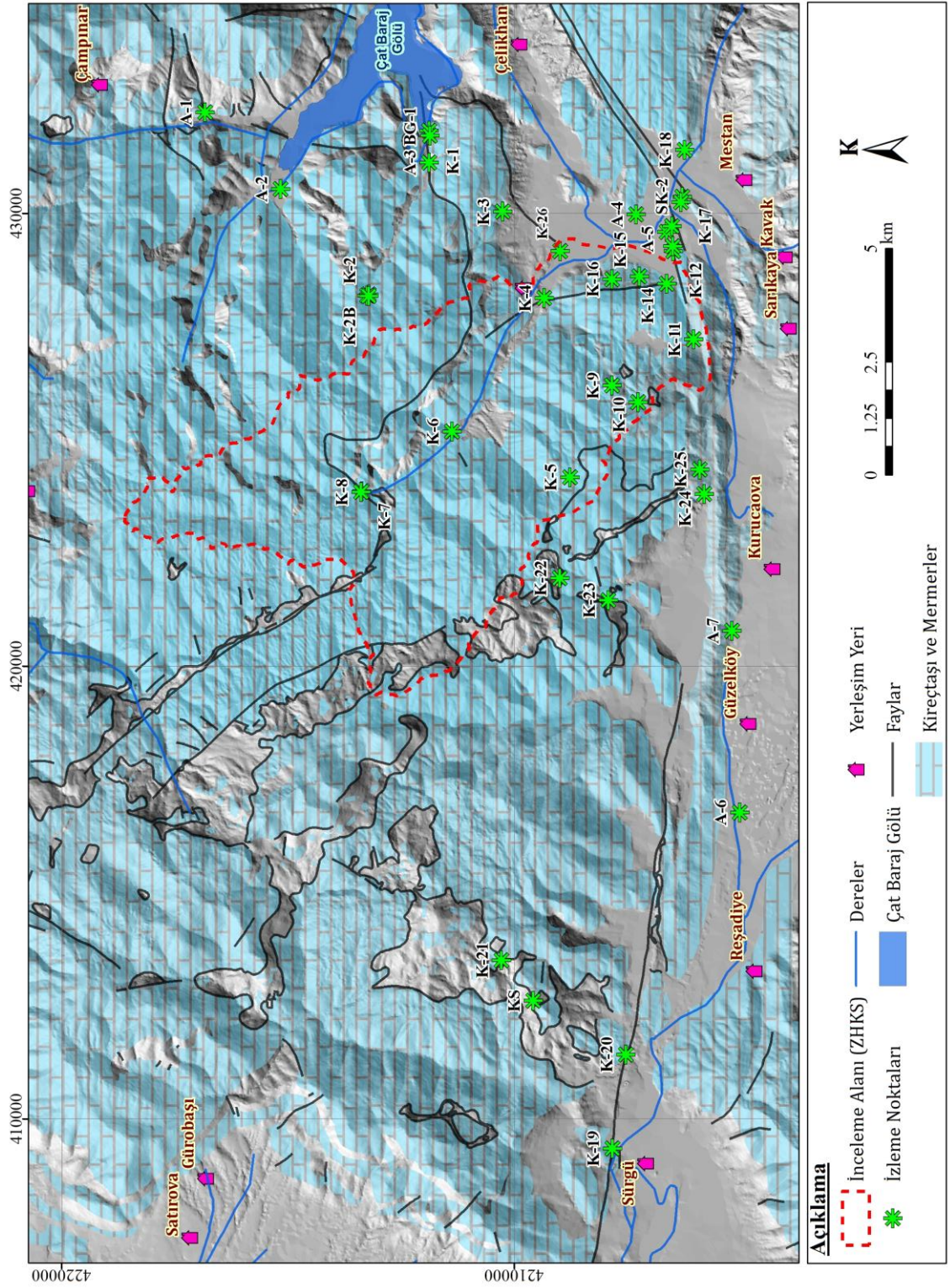
Foto 4.1. HZKS'de Nisan-Mayıs-Ekim 2022 dönemlerinde bazı noktalarda yapılan örnekleme çalışmaları.

#### 4.1. Hidrokimyasal Ölçüm, Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

Öncelikle HZKS yüzeysel drenaj alanı dikkate alınarak geniş bir bölgede örnekleme yapılabilecek su noktaları ofis çalışmaları ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Nisan 2022 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında 25 kaynak, 7 akarsu ve 2 sondaj kuyusu ile birer tane de kar ve baraj suyu olmak üzere toplam 36 noktadan arazide yerinde T, pH, Eİ, vb. fizikokimyasal parametreler ölçülmüş olup, 32 noktada izotop analizler ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ , T) için örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Mayıs 2022 arazi çalışması döneminde ise tüm su noktalarında suların fizikokimyasal özellikleri kaynak başında ölçülürken, 28 su noktasından majör iyon ve iz element analizleri için örnek alınmıştır. Ekim 2022 tarihinde gerçekleştirilen saha çalışmalarında ise 13 su noktasında yerinde fizikokimyasal parametre ölçümleri gerçekleştirilirken, 9 kaynak ve 1 kuyu olmak üzere toplam 10 noktadan majör iyon analizleri için örnekleme yapılmıştır. 3 dönem de çalışma gerçekleştirilen noktalar Şekil 4.1’de gösterilmiş olup, su noktalarına ait koordinat bilgisi, fizikokimyasal parametre ölçüm sonuçları ve hangi analize yönelik örnekleme yapıldığı bilgisi Çizelge 4.1’de verilmektedir.

İnceleme alanında Nisan, Mayıs ve Ekim 2022 dönemlerinde inceleme alanı ve yakın dolayındaki su noktalarında Hannah Combo pH/EC/TDS marka çoklu parametre ölçüm cihazı ile kaynak başında/yerinde (in-situ) pH, sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (Eİ) , toplam çözünmüş katı madde (TÇK) ve tuzluluk gibi fizikokimyasal parametreler ölçülmüştür. Mayıs 2022 ve Ekim 2022 tarihlerinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında su noktalarından alınan örneklerde majör iyon ile iz element analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.1). Mayıs 2022 tarihinde yapılan saha çalışmasında örneklenen su numunelerinde majör iyon, ağır metal ve kirlilik analizleri, TÜRKAK tarafından akredite (AB-0038-T 07.06.2005) Çınar Çevre Laboratuvarı tarafından gerçekleştirilmiştir. Ekim 2022 tarihinde yapılan saha çalışmasında örneklenen su numunelerinde majör iyon analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca inceleme alanındaki suların kökenini belirlemek amacıyla Nisan 2022 döneminde çevresel izotop analizleri ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ , T) için su noktalarından örnekleme yapılmış ve analizleri Hacettepe Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.1. İnceleme alanında örnekleme ve ölçüm yapılan su noktaları yer buldurular haritası.

Çizelge 4.1. İnceleme alanında örnekleme ve ölçüm yapılan su noktalarına ait bilgiler

Kod	Tarih	X	Y	Z (m)	T (°C)	pH	Eİ (µS/cm)	Eİ <sub>25</sub>	TÇK (ppm)	S (‰)	Açıklama	Örnekleme		
												Majör	Ağır Metal	İzotop
A-1	Nis 22	432242	4216830	1514	9.4	7.28	140	199	91	0.09	Dere	-	-	+
	May 22				12.7	7.20	203	265	132	0.13		+	+	-
A-2	Nis 22	430542	4215162	1419	9.5	7.35	189	269	123	0.12	Dere	-	-	+
	May 22				10.2	7.25	188	262	122	0.12		+	+	-
A-3	Nis 22	431128	4211880	1425	11.5	7.20	271	365	176	0.18	Dere	-	-	+
A-4	Nis 22	429983	4207308	1286	12.6	7.46	416	545	270	0.27	Dere	-	-	-
A-5	Nis 22	429596	4206636	1277	11.3	7.49	241	326	156	0.16	Dere	-	-	-
A-6	Nis 22	416773	4205022	1375	14.7	7.49	255	317	166	0.17	Dere	-	-	-
A-7	Nis 22	420788	4205190	1447	12.9	7.44	212	276	138	0.14	Dere	-	-	-
BG-1	Nis 22	431832	4211879	1406	6.7	7.58	199	306	129	0.13	Baraj Gölü	-	-	+
	May 22				15.0	7.20	260	321	169	0.17		+	+	-
K-1	Nis 22	431720	4211863	1408	7.8	7.60	163	243	106	0.11	Kaynak	-	-	+
	May 22				11.0	7.24	171	233	111	0.11		+	+	-
K-2	Nis 22	428213	4213219	1701	8.4	7.52	198	290	129	0.13	Kaynak	-	-	+
	May 22				11.0	7.05	205	280	133	0.13		+	+	-
K-3	Nis 22	430045	4210263	1392	14.9	7.29	268	332	174	0.17	Kaynak	-	-	+
	May 22				14.4	7.16	288	361	187	0.19		+	+	-
	Eki 22				15.3	7.38	272	334	177	0.18		+	-	-
K-4	Nis 22	428131	4209338	1313	10.1	7.37	196	274	127	0.13	Kaynak	-	-	+
	May 22				11.5	7.11	197	265	128	0.13		+	+	-
	Eki 22				11.9	7.22	199	265	129	0.13		+	-	-
K-5	Nis 22	424173	4208775	2020	7.8	7.50	160	238	104	0.10	Kaynak	-	-	+
	May 22				10.1	7.16	176	247	115	0.11		+	+	-
K-6	Nis 22	425190	4211379	1464	5.7	7.53	175	277	114	0.11	Kaynak	-	-	+
K-7	Nis 22	424433	4214112	1890	4.4	10.22	180	297	117	0.12	Kaynak	-	-	+
	May 22				13.7	7.08	208	265	135	0.14		+	+	-
K-8	Nis 22	423755	4213580	1663	6.9	8.90	164	251	107	0.11	Kaynak	-	-	+
	May 22				10.3	7.22	174	242	113	0.11		+	+	-
K-9	Nis 22	426204	4207844	1773	8.7	7.42	124	180	81	0.08	Kaynak	-	-	+
	May 22				17.6	7.12	173	201	112	0.11		+	+	-
	Eki 22				14.1	7.52	168	212	109	0.11		+	-	-
K-10	Nis 22	425832	4207265	1869	8.7	7.44	118	172	77	0.08	Kaynak	-	-	+
	May 22				9.8	7.16	161	227	105	0.10		+	+	-
K-11	Nis 22	427222	4206041	1505	13.8	7.46	200	254	130	0.13	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.8	7.14	191	249	124	0.12		+	+	-
K-12	Nis 22	429170	4206493	1283	12.3	7.45	289	382	188	0.19	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.2	7.09	280	370	182	0.18		+	+	-
K-13	Nis 22	429280	4206499	1282	12.7	7.34	327	427	212	0.21	Kaynak	-	-	+
	May 22				11.2	7.10	318	432	207	0.21		+	+	-
K-14	Nis 22	428446	4206639	1285	11.6	7.23	201	270	131	0.13	Kaynak	-	-	+
	May 22				11.3	7.13	195	265	127	0.13		+	+	-
	Eki 22				10.9	7.56	194	265	126	0.13		+	-	-
K-15	Nis 22	428616	4207236	1352	13.1	7.28	384	497	250	0.25	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.8	7.14	393	513	256	0.26		+	+	-
	Eki 22				14.1	7.44	380	480	247	0.25		+	-	-

Çizelge 4.1. (devam ediyor)

Kod	Tarih	X	Y	Z (m)	T (°C)	pH	Eİ (µS/cm)	Eİ <sub>25</sub>	TÇK (ppm)	S (‰)	Açıklama	Örnekleme		
												Majör	Ağır Metal	İzotop
K-16	Nis 22	428552	4207841	1401	11.1	7.38	290	395	189	0.19	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.1	7.14	329	437	214	0.21		+	+	-
	Eki 22				14.2	7.46	308	388	200	0.20		+	-	-
K-17	Nis 22	430371	4206289	1278	10.8	7.44	342	469	222	0.22	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.8	7.10	355	463	231	0.23		+	+	-
K-18	Nis 22	431409	4206240	1280	9.7	7.46	252	356	164	0.16	Kaynak	-	-	+
	May 22				10.1	7.12	220	307	143	0.14		+	+	-
	Eki 22				8.9	7.51	245	354	159	0.16		+	-	-
K-19	Nis 22	409357	4207834	1340	12.6	7.35	245	321	159	0.16	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.9	7.05	256	334	167	0.17		+	+	-
K-20	Nis 22	411427	4207533	1355	10.4	7.41	201	279	131	0.13	Kaynak	-	-	+
	May 22				11.1	7.09	201	274	131	0.13		+	+	-
K-21	Nis 22	413511	4210289	1835	9.2	7.42	164	235	107	0.11	Kaynak	-	-	+
	May 22				9.6	7.09	167	237	109	0.11		+	+	-
K-22	Nis 22	421947	4209002	1904	14.2	7.46	302	380	196	0.20	Kaynak	-	-	+
K-23	Nis 22	421511	4208102	1590	10.8	7.48	211	290	137	0.14	Kaynak	-	-	+
	May 22				10.8	7.12	224	307	145	0.15		+	+	-
K-24	Nis 22	423808	4205810	1519	12.9	7.47	191	248	124	0.12	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.6	7.11	180	236	117	0.12		+	+	-
K-25	Nis 22	424347	4205907	1579	13.1	7.44	190	246	124	0.12	Kaynak	-	-	+
	May 22				12.1	7.11	206	274	134	0.13		+	+	-
	Eki 22				14.2	7.41	216	272	140	0.14		+	-	-
K-26	Eki 22	429140	4208949	1295	12.6	7.41	237	310	154	0.15	Kaynak	+	-	-
Kar	Nis 22	412617	4209587	1755	20.0	7.28	9	10	6	0.01	Kar	-	-	+
SK-1	Nis 22	429723	4206522	1277	10.8	7.46	334	458	217	0.22	Kuyu	-	-	+
	May 22				11.8	7.10	315	421	204	0.20		+	+	-
SK-2	Nis 22	430257	4206322	1275	11.3	7.41	402	545	262	0.26	Kuyu	-	-	+
	May 22				12.4	7.08	409	539	266	0.27		+	+	-
	Eki 22				12.7	7.14	394	515	256	0.26		+	-	-

Suların elektriksel iletkenliğinin hem sıcaklıkla değişmesinden hem de ölçüm yapılan su noktaları arasında temsil edici düzeyde kıyaslama yapabilmek amacı ile arazi çalışmaları kapsamında tüm su noktalarında üç dönem süresince ölçülen elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri, 25 °C’de ki özgül elektriksel iletkenlik (Eİ<sub>25</sub>) değerlerine dönüştürülmüştür. Bu kapsamda suların Eİ<sub>25</sub> değerleri, ölçüm yapılan her bir su noktası için Eşitlik 4.1 ile hesaplanmıştır (APHA vd., 1989).

$$E\dot{I}_{25} = (E\dot{I}_A \times K) / [1 + (0.0191 \times (t_A - 25))] \quad (4.1)$$

Burada;  $EI_{25}$ : 25 °C’de ki özgül elektriksel iletkenliği ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),  $EI_A$ : arazide yerinde ölçülen elektriksel iletkenliği ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ),  $K$ : iletkenlik ölçer hücre sabitini ( $K = 1 \text{ cm}^{-1}$ ) ve  $t_A$ : arazide yerinde ölçülen su sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ) ifade etmektedir.

Laboratuvarlarda gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçlarının hidrojeokimyasal değerlendirmelerde kullanılabilirliği bu analiz sonuçlarının güvenilir ve kabul edilebilir hata sınırları içinde gerçekleştirildiğinin test edilmesini gerektirmektedir. Appelo ve Postman (2010)’da, bir örneğe ait su kimyası analiz sonuçları (meq/l cinsinden) ile hesaplanan anyon-kasyon dengesinin (E.N.)  $\pm\%10$  hata payı içinde olması durumunda söz konusu analiz sonucunun hidrojeokimyasal değerlendirme ve yorumlarda güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirtilmekle birlikte hata payının  $\pm\%10$  dışında olması durumunda ise bu analiz sonuçlarının hidrojeokimyasal değerlendirilmelerde kullanılmasının sakıncalı olacağı belirtilmektedir. Söz konusu analiz sonucunun hatalı olması durumunda ise bu analizlerin değerlendirmeler kapsamında kullanılmaması ve mümkün olması durumunda analizinin tekrar edilmesi önerilmektedir.

$$\text{Elektro – Nötralite (E. N, \%)} = \frac{\sum \text{Kasyon} - \sum \text{Anyon}}{\sum \text{Kasyon} + \sum \text{Anyon}} \times 100 \quad (4.2)$$

#### 4.2. Fizikokimyasal Parametrelerin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında Nisan 2022 döneminde akarsu, kaynak ve sondaj kuyularında yerinde yapılan ölçümlerin sonuçları sırası ile pH 7.20-7.49, 7.23 - 10.22 ve 7.41 - 7.46; sıcaklık (T) 9.4–14.7 °C, 4.4-14.9 °C ve 10.8-11.3 °C; özgül elektriksel iletkenlik ( $EI_{25}$ ) 199-545  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 172-497  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve 458-545  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve toplam çözülmüş madde (TÇK) miktarı ise 91-270 mg/l, 77-250 mg/l ve 217-262 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Mayıs 2022 döneminde akarsu, kaynak ve sondaj kuyularında yerinde yapılan ölçümlerin sonuçları sırası ile pH 7.20-7.25, 7.05-7.24 ve 7.08-7.10; T 10.2–12.7 °C, 9.6-17.6 °C ve 11.8-12.4 °C;  $EI_{25}$  262-265  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 201-513  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve 421-539  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve TÇK ise 122-132 mg/l, 105-256 mg/l ve 204-266 mg/l arasında değişmektedir. Ekim 2022 döneminde ise 9 kaynak, 1 kuyu olmak üzere toplam 10 noktada örnekleme ve fizikokimyasal parametre ölçümü yapılmıştır. Kaynaklarda, pH 7.22-7.56; sıcaklık (T) 8.9–15.3 °C; özgül elektriksel iletkenlik ( $EI_{25}$ ) 212-480  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve

toplam çözünmüş madde miktarı (TÇK) ise 109-247 mg/l arasında değişirken SK-2 kuyusunda ise söz konusu parametreler sırası ile 7.14, 12.7 °C, 515 µS/cm ve 256 mg/l olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.1'den görüleceği üzere inceleme alanında özellikle topografik olarak yüksek kotta yer alan, kireçtaşlarında sığ dolaşımly kaynak sularında (K-9, K10 vb.), daha alt kotlardan boşalan, özellikle düşük geçirimsizliğe sahip şist birimler içerisinde çıkan kaynaklar (K-15, K-16) ile Sürgü Fayı etkisindeki kuyu ve kaynaklara (SK-1, SK-2, K-17, K-18) oranla daha düşük TÇK ve Eİ<sub>25</sub> değerleri gözlenmektedir. İnceleme alanı ve civarında yer alan önemli karstik kaynaklar olan Zerban (K-4), Havşari (K-14), Sürgü-Pınarbaşı (K-19), Sürgü-Takaz (K-20) kaynakları ise fizikokimyasal açıdan bu uç bileşenlerin arasında kaldığı çok açık görülmektedir.

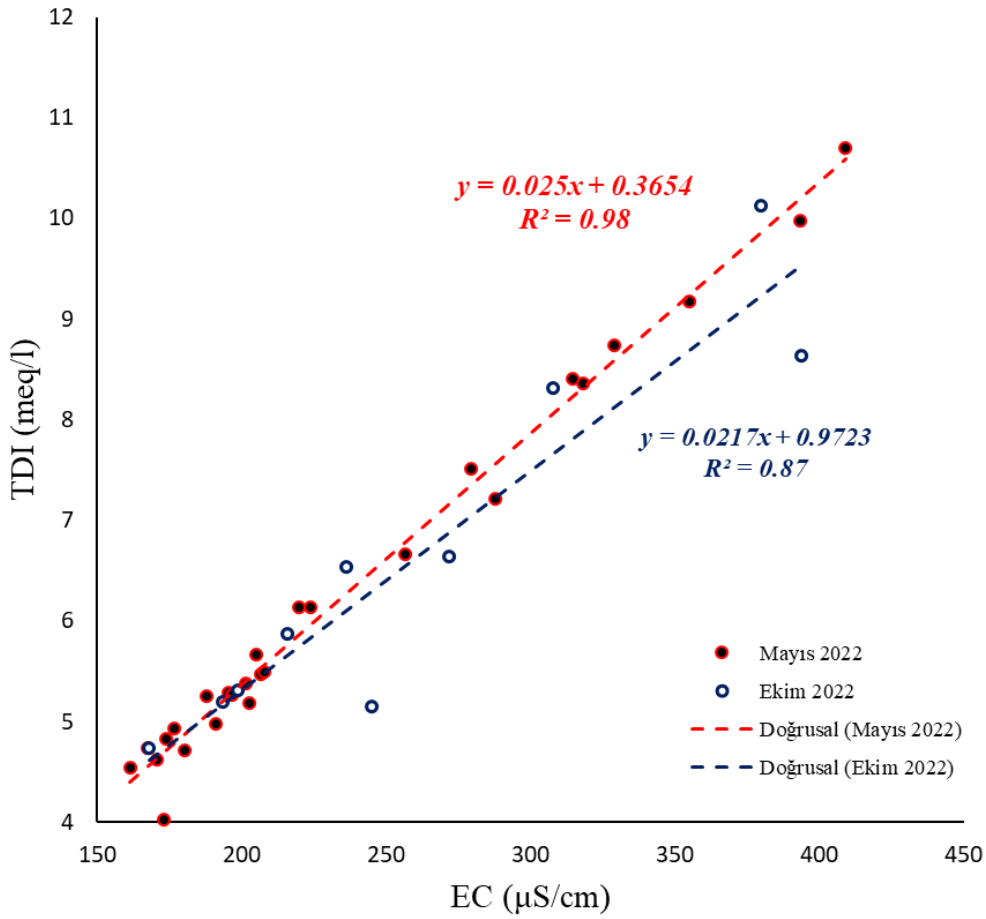
### **4.3. Major İyon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

HZKS ve yakın civarında Mayıs 2022 ve Ekim 2022 tarihlerinde örnekleme yapılan su noktalarına ait hidrojeokimyasal (majör iyon) analiz sonuçları Çizelge 4.2'de verilmektedir. Söz konusu analiz sonuçları için majör iyon dengesi hesaplamaları yapılarak elektro-nötrallite (EN, %) değerleri Appelo ve Postman (2010) tarafından belirtilen ±%10 hata payı içinde (%-3.01 ile %8.82) elde edilmiştir. Bu durum her iki döneme ait majör iyon analiz sonuçlarının güvenli bir şekilde değerlendirmelerde kullanılabileceğini işaret etmektedir (Çizelge 4.2). Ayrıca, Mazor (1991), kaynak başında/yerinde ölçülen elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri ile toplam çözünmüş iyon (TÇİ) içerikleri arasında elde edilen doğrusal ilişkinin analiz sonuçlarının yüksek kalitede olduğunu işaret etmektedir. Bu kapsamda Mayıs ve Ekim 2022 dönemlerinde alınan örneklerin Eİ-TÇİ değerleri grafikleri oluşturulmuş ve aralarındaki ilişki kontrol edilmiştir. Söz konusu grafikler Şekil 4.2'de verilmiş olup, Mayıs 2022 ve Ekim 2022 tarihli analiz sonuçlarında doğrusal ilişki olduğu görülmüştür. Bu bölüm kapsamında gerçekleştirilen değerlendirmeler, hidrojeokimyasal analiz sonuçlarının tez çalışması kapsamında gerçekleştirilecek değerlendirmelerde güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini işaret etmektedir.



Çizelge 4.2. İnceleme alanı ve yakın dolayında örnekleme yapılan noktalara ait majör iyon analiz sonuçları

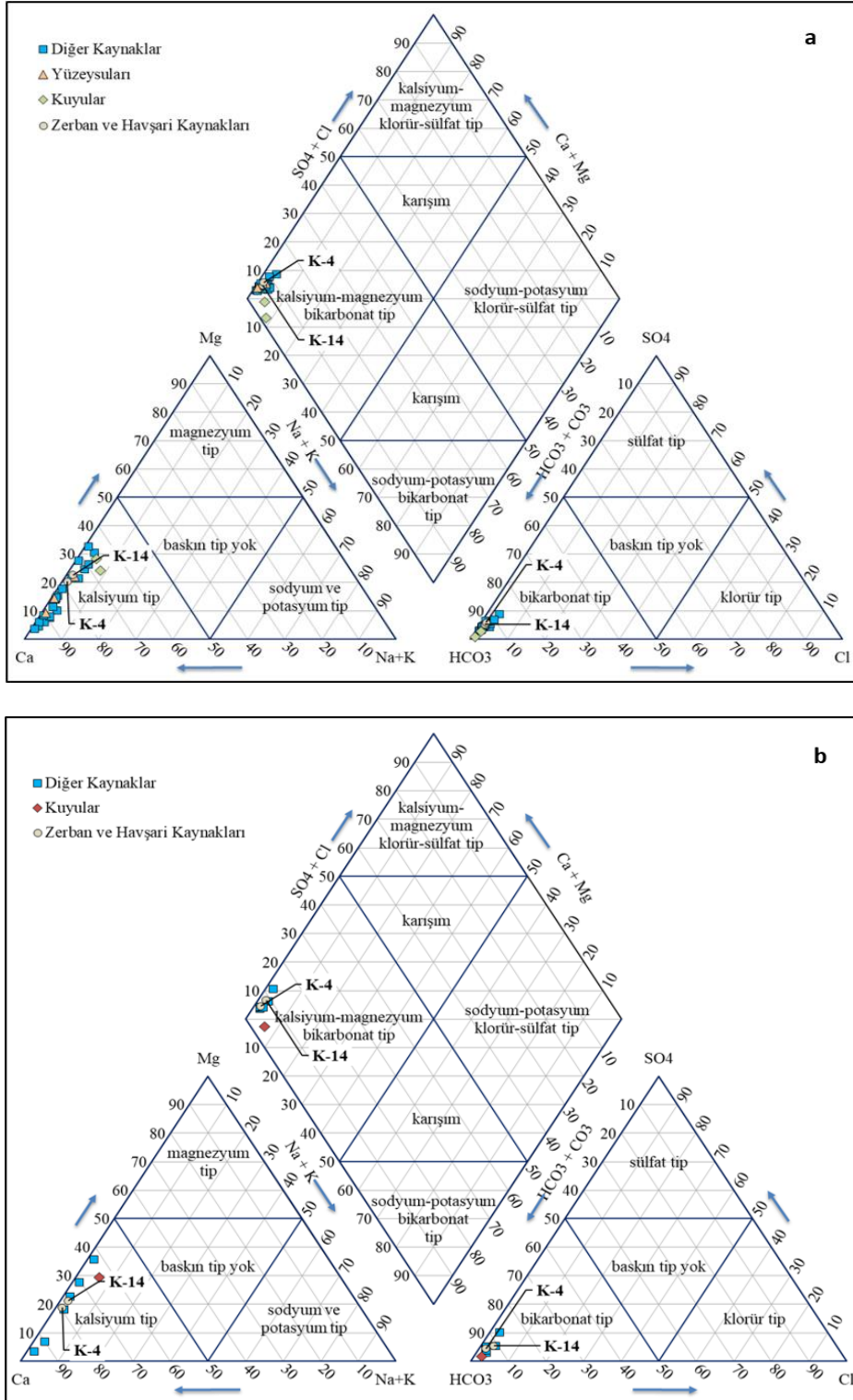
Dönem	Kod	Na	K	Ca	Mg	NH <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Σ <sub>Kat</sub>	Σ <sub>Any</sub>	EN (%)	Su Türü
Mayıs 2022	A-1	0.027	0.004	2.156	0.221	0.001	0.001	2.548	-	0.030	0.138	0.007	0.051	2.409	2.774	7.04	CaHCO <sub>3</sub>
	A-2	0.015	0.004	2.061	0.353	0.001	0.001	2.643	-	0.030	0.099	0.007	0.047	2.435	2.790	6.79	CaHCO <sub>3</sub>
	K-1	0.026	0.003	1.771	0.331	0.001	0.001	2.292	-	0.032	0.113	0.007	0.044	2.133	2.481	7.55	CaHCO <sub>3</sub>
	K-2	0.035	0.005	2.231	0.370	0.001	0.001	2.801	-	0.030	0.132	0.007	0.054	2.642	2.987	6.12	CaHCO <sub>3</sub>
	K-3	0.029	0.008	2.325	1.144	0.001	0.001	3.455	-	0.034	0.157	0.007	0.053	3.509	3.700	2.65	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-4	0.028	0.007	1.886	0.491	0.001	0.001	2.585	-	0.037	0.164	0.007	0.064	2.414	2.850	8.28	CaHCO <sub>3</sub>
	K-5	0.023	0.002	2.335	0.149	0.001	0.001	2.245	-	0.030	0.097	0.007	0.047	2.510	2.388	-2.50	CaHCO <sub>3</sub>
	K-7	0.018	0.015	2.171	0.379	0.001	0.001	2.737	-	0.030	0.125	0.007	0.019	2.586	2.881	5.40	CaHCO <sub>3</sub>
	K-8	0.014	0.009	1.996	0.185	0.001	0.001	2.432	-	0.030	0.113	0.007	0.051	2.206	2.596	8.12	CaHCO <sub>3</sub>
	K-9	0.017	0.002	1.756	0.066	0.001	0.001	1.989	-	0.030	0.107	0.007	0.054	1.843	2.151	7.70	CaHCO <sub>3</sub>
	K-10	0.075	0.002	1.801	0.212	0.001	0.001	2.229	-	0.030	0.138	0.007	0.050	2.093	2.416	7.16	CaHCO <sub>3</sub>
	K-11	0.062	0.007	2.046	0.174	0.001	0.001	2.393	-	0.041	0.167	0.007	0.077	2.291	2.677	7.77	CaHCO <sub>3</sub>
	K-12	0.125	0.010	2.445	0.840	0.001	0.001	3.576	-	0.115	0.164	0.007	0.229	3.422	4.084	8.82	CaHCO <sub>3</sub>
	K-13	0.139	0.013	2.934	0.840	0.001	0.001	3.763	-	0.095	0.227	0.007	0.337	3.927	4.423	5.93	CaHCO <sub>3</sub>
	K-14	0.035	0.007	1.831	0.549	0.001	0.001	2.581	-	0.035	0.145	0.007	0.100	2.424	2.861	8.26	CaHCO <sub>3</sub>
	K-15	0.158	0.013	3.139	1.457	0.001	0.001	4.398	-	0.168	0.441	0.007	0.194	4.769	5.200	4.33	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-16	0.030	0.005	3.014	1.169	0.001	0.001	4.298	-	0.036	0.136	0.007	0.038	4.219	4.508	3.32	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-17	0.161	0.011	2.939	1.119	0.001	0.001	4.171	-	0.122	0.239	0.007	0.403	4.232	4.936	7.67	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-18	0.053	0.004	2.171	0.603	0.001	0.001	2.696	-	0.087	0.205	0.007	0.310	2.833	3.298	7.58	CaHCO <sub>3</sub>
	K-19	0.034	0.009	2.745	0.507	0.001	0.001	3.093	-	0.041	0.151	0.007	0.082	3.297	3.367	1.05	CaHCO <sub>3</sub>
	K-20	0.031	0.005	2.026	0.444	0.001	0.001	2.685	-	0.030	0.090	0.007	0.060	2.508	2.834	6.11	CaHCO <sub>3</sub>
	K-21	0.032	0.004	2.051	0.100	0.001	0.001	2.285	-	0.030	0.147	0.007	0.088	2.189	2.520	7.03	CaHCO <sub>3</sub>
	K-23	0.052	0.007	2.450	0.321	0.001	0.001	3.012	-	0.036	0.205	0.007	0.047	2.833	3.300	7.62	CaHCO <sub>3</sub>
	K-24	0.051	0.004	2.006	0.130	0.001	0.001	2.285	-	0.030	0.114	0.007	0.093	2.193	2.492	6.36	CaHCO <sub>3</sub>
	K-25	0.069	0.002	2.241	0.202	0.001	0.001	2.693	-	0.030	0.187	0.007	0.048	2.515	2.927	7.58	CaHCO <sub>3</sub>
SK-1	0.191	0.013	2.555	1.095	0.001	0.001	4.203	-	0.065	0.117	0.007	0.165	3.855	4.550	8.26	CaMgHCO <sub>3</sub>	
SK-2	0.387	0.014	3.224	1.160	0.069	0.069	5.709	-	0.046	0.050	0.007	0.036	4.924	5.841	8.52	CaMgHCO <sub>3</sub>	
Ekim 2022	K-3	0.039	0.017	2.064	1.176	0.001	0.004	3.100	-	0.071	0.129	0.001	0.037	3.300	3.337	0.55	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-4	0.040	0.007	2.136	0.506	0.001	0.005	2.400	-	0.045	0.115	0.001	0.049	2.694	2.609	-1.61	CaHCO <sub>3</sub>
	K-9	0.037	0.011	2.275	0.080	0.001	0.001	2.000	-	0.058	0.230	0.001	0.039	2.403	2.327	-1.60	CaHCO <sub>3</sub>
	K-14	0.047	0.010	2.000	0.553	0.001	0.004	2.300	-	0.085	0.136	0.001	0.060	2.614	2.582	-0.63	CaHCO <sub>3</sub>
	K-15	0.161	0.018	3.524	1.475	0.001	0.035	4.200	-	0.239	0.335	0.001	0.135	5.213	4.909	-3.01	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-16	0.060	0.020	2.984	1.172	0.001	0.026	3.800	-	0.101	0.122	0.001	0.029	4.262	4.053	-2.52	CaMgHCO <sub>3</sub>
	K-18	0.046	0.005	1.966	0.589	0.001	0.002	2.300	-	0.045	0.102	0.001	0.086	2.609	2.533	-1.48	CaHCO <sub>3</sub>
	K-25	0.081	0.008	2.673	0.206	0.001	0.002	2.600	-	0.110	0.153	0.001	0.040	2.969	2.903	-1.13	CaHCO <sub>3</sub>
	K-26	0.077	0.010	2.581	0.589	0.001	0.001	3.000	-	0.052	0.163	0.001	0.057	3.258	3.273	0.22	CaHCO <sub>3</sub>
	SK-2	0.256	0.020	2.810	1.290	0.001	0.048	4.000	-	0.087	0.067	0.001	0.048	4.424	4.203	-2.56	CaMgHCO <sub>3</sub>



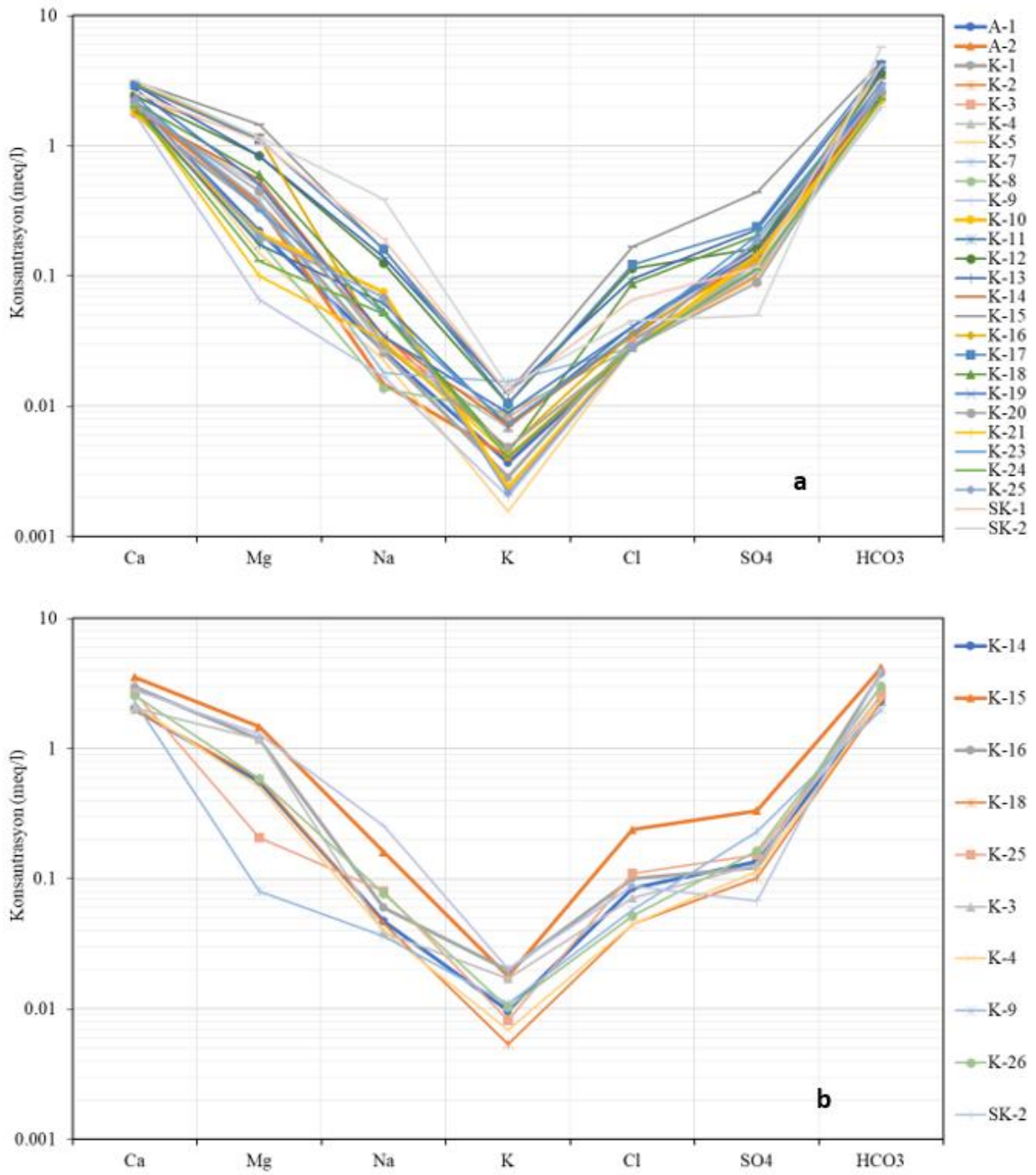
Şekil 4.2. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktaları Eİ (µS/cm) – TÇİ (meq/l) grafiği.

İnceleme alanı ve yakın dolayında örnekleme yapılan analiz sonuçlarından itibaren su-kayaç etkileşim süreçlerinin ve suların türünün (hidrojeokimyasal fasiyesi) belirlenmesi amacıyla Mayıs-Ekim 2022 dönemlerine ait majör iyon analiz sonuçları ile Piper (Şekil 4.3) diyagramları oluşturulmuştur. Piper diyagramları incelendiğinde, her 2 dönemde de inceleme alanı ve yakın dolayında boşalım sağlayan tüm su noktaları (kuyu, kaynak, akarsu) CaHCO<sub>3</sub> fasiyesi ile temsil edildiği görülmektedir. Ayrıca inceleme alanı ve yakın dolayındaki suların kökeni ve benzerliklerini ortaya koyabilmek amacıyla diğer bir grafiksel yöntem olan yarı logaritmik Schoeller diyagramı ile de Mayıs ve Ekim 2022 dönemleri majör iyon analiz sonuçları için değerlendirilmiştir (Şekil 4.4). Yarı logaritmik Schoeller diyagramlarında, aynı akiferde boşalım sağlayan ve/veya benzer kökenli, suların benzer desenler oluşturduğu bilinmektedir. Bu kapsamda Schoeller diyagramları incelendiğinde, Mayıs 2022 ve Ekim 2022 dönemlerinde benzer desenler görülmekte

olup suların Piper diyagramı değerlendirmelerinde olduğu gibi  $\text{CaHCO}_3$  su türünde olduğu anlaşılmaktadır.



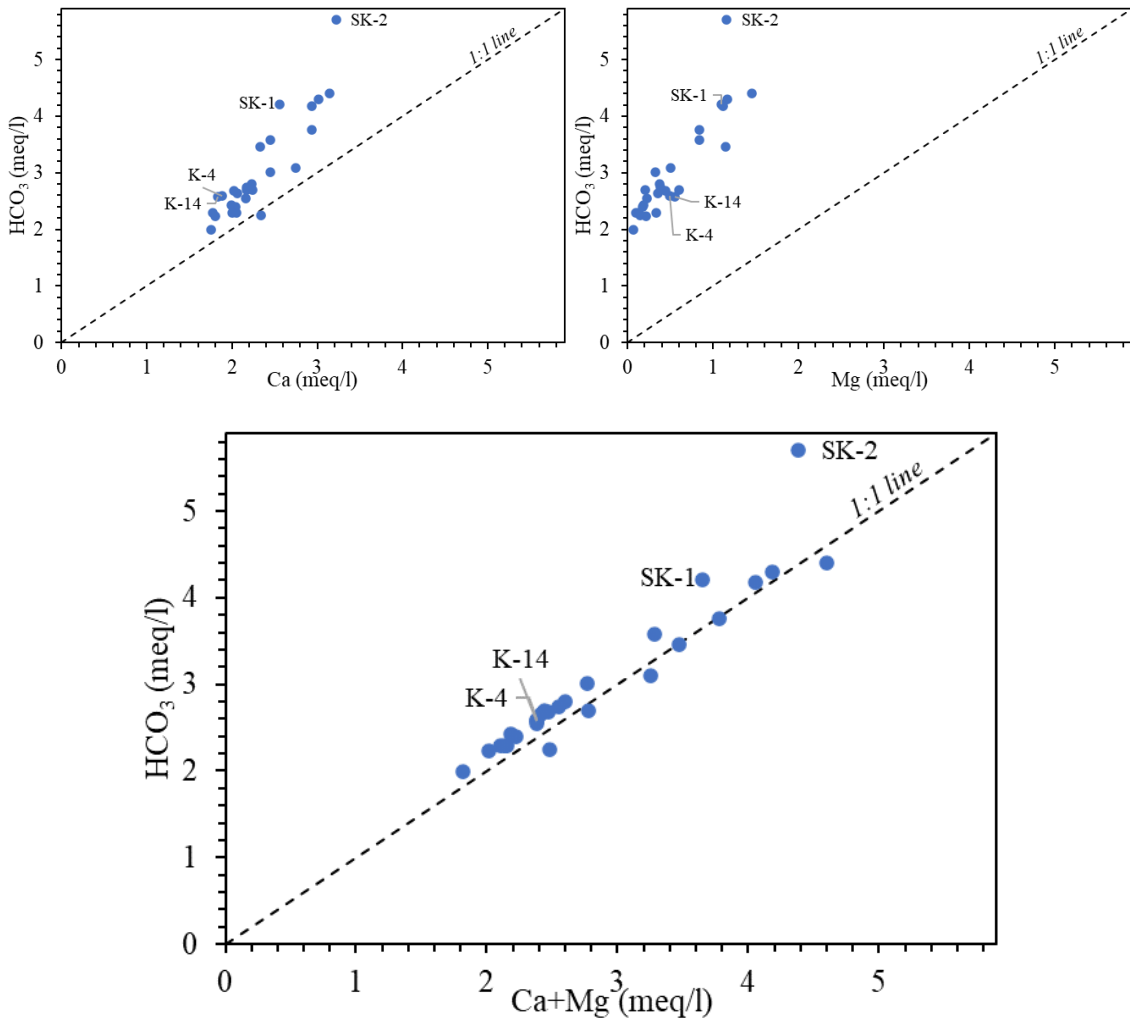
şekil 4.3. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktalarına ait Piper Diyagramları (a: Mayıs 2022, b: Ekim 2022).



Şekil 4.4. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktalarına ait yarı logaritmik Schoeller Diyagramları (a: Mayıs 2022, b: Ekim 2022).

Mermer ve kireçtaşı gibi karbonatlı kayalardan oluşan karstik akiferlerden boşalan suların bileşimi, çoğunlukla  $\text{CaHCO}_3$  (Crowther, 1989; Kresic ve Paptic, 1990; Aydın, 2005; Açıklık, 2012; Nguyet vd., 2016; Lorette vd., 2018) fasiyesinde iken dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan karbonatlı akiferlerden deşarj olan sular ise  $\text{MgHCO}_3$  fasiyesindedir (Crowther, 1989; Kresic ve Paptic, 1990; Nguyet vd., 2016; Lorette vd., 2018). İnceleme alanındaki suların  $\text{CaHCO}_3$  (Şekil 4.3; 4.4) fasiyesi ile temsil edilmesi,

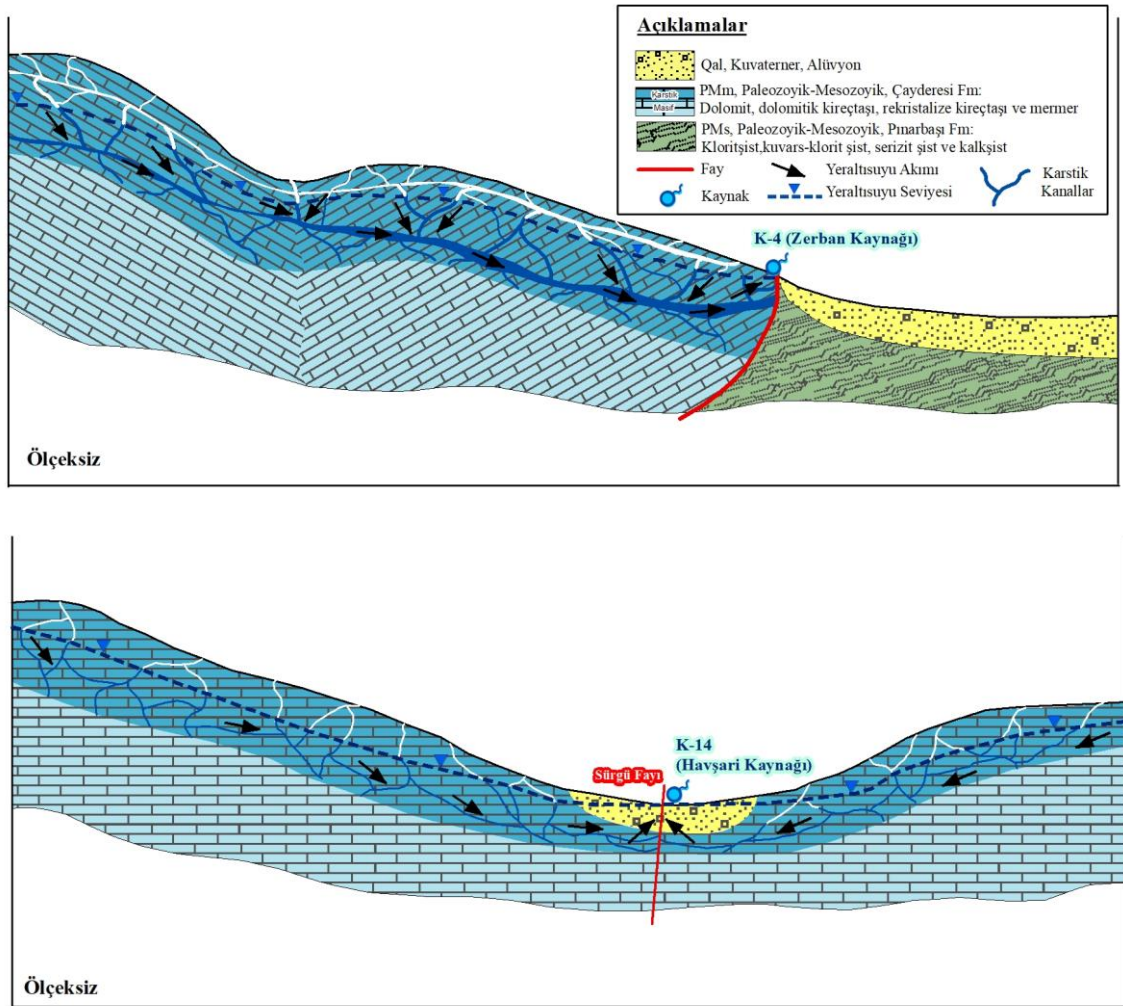
bu suların inceleme alanında yüzeylenen karbonatlı kayalardan (Çayderesi Formasyonu) drene olan sular olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte bazı su noktalarında (K3, K15, K16, K17, SK-1 ve SK-2) Ca baskın katyon olmakla birlikte önemli oranda Mg'de söz konusu olup bu su noktalarının daha derin dolaşım ile boşalım sağladığı ve Pınarbaşı Formasyonu ile temas eden sular olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Şekil 4.5'te karbonatlı minerallerin çözünmesinin karakteristiği olan Ca/HCO<sub>3</sub> (1:1), Mg/HCO<sub>3</sub> (1:1) ve Ca+Mg/HCO<sub>3</sub> (1:1) grafikleri incelendiğinde, karbonatlı kayalarda baskın Mg katyonuna oranla, Ca katyonunun ve HCO<sub>3</sub> anyonunun baskın olarak çözündüğü görülmektedir.



Şekil 4.5. İnceleme alanı ve dolayında örneklenen su noktalarına ait bileşim grafikleri.

İnceleme alanı ve yakın dolayında en yüksek iyon içeriğine sahip su noktaları SK-1, SK-2, K-15 ve K-16 olarak gözlenmektedir. Arazi çalışmaları sürecinde artezyen yaptığı

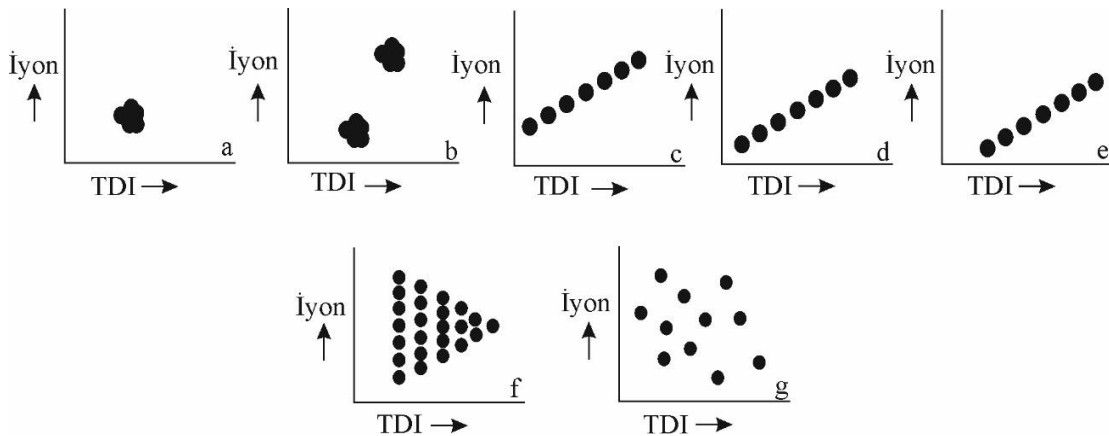
gözlenen SK-1 ve SK-2 kuyularına, karbonatlı birimlerden süzülen ve derin dolaşım ile Sürgü Fayı boyunca hareket eden suların geldiği öngörülmektedir. K3, K-15, K-16 ve K-17 kaynakları ise Çayderesi Formasyonu'na ait kireçtaşı ve mermerlerden süzülen yağış sularının, Pınarbaşı Formasyonu'na ait şist birimleri kırık-çatlaklarından ilerleyerek boşaldığı ve geçirgenliği düşük şist birimlerinde su-kayaç etkileşiminin fazla olması nedeniyle yüksek iyon içeriğine sahip oldukları düşünülmektedir. Elde edilen bilgiler ışığında, inceleme alanında ana boşalımı sağlayan ve tez çalışmasının odak noktasını oluşturan Zerban ve Havşari kaynaklarının olası boşalım mekanizmaları Şekil 4.6'da sunulmaktadır.



Şekil 4.6. Zerban ve Havşari kaynakları olası boşalım mekanizmaları.

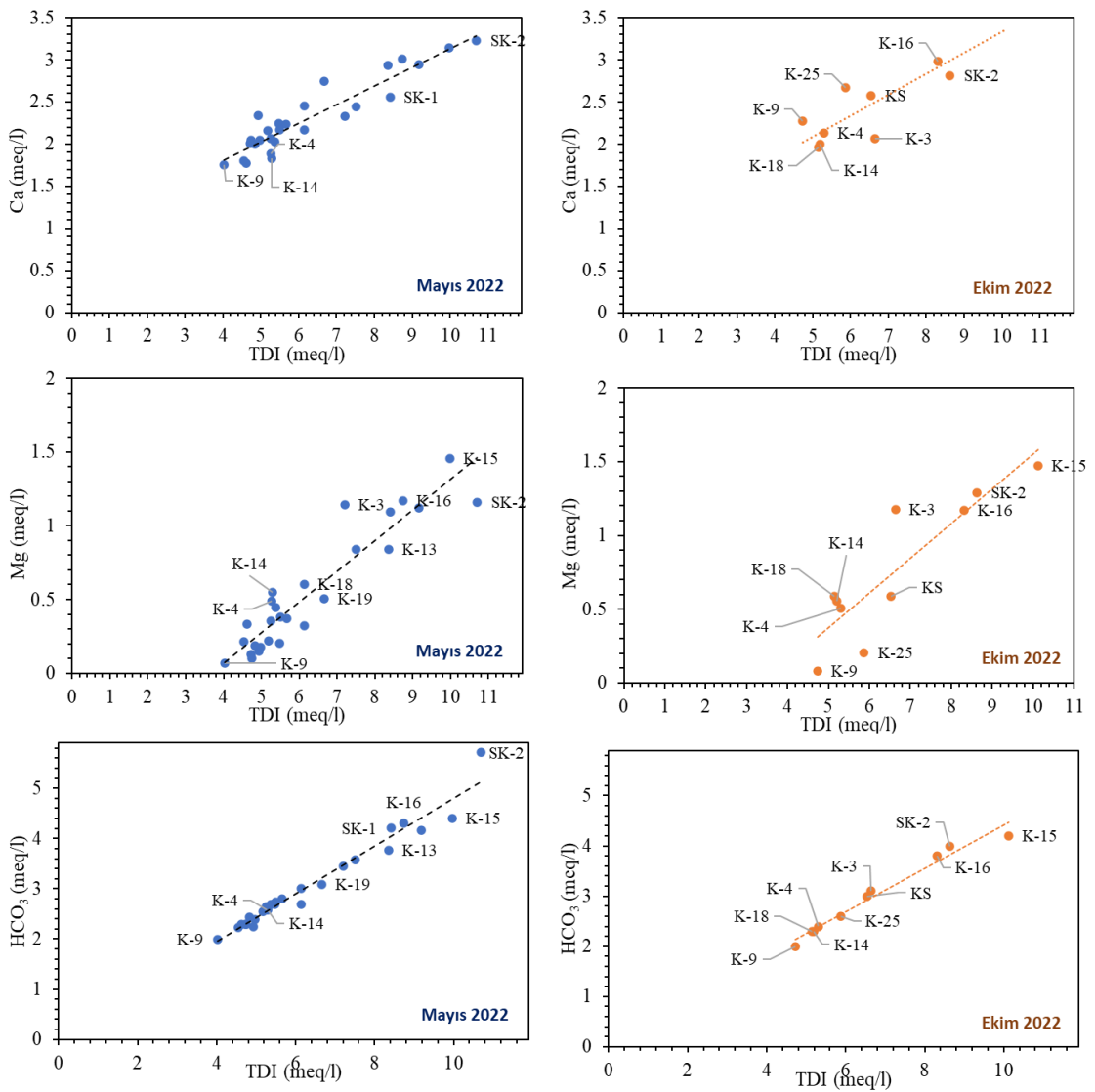
#### 4.4. Karışım Grafikleri

Su kaynaklarında (yüzey ve yeraltı) Toplam Çözünmüş İyon (TÇİ) derişimine karşı major iyon konsantrasyon grafikleri; su-kayaç etkileşim süreçlerinin (suların kökeni, seyrelme dereceleri, karışım yüzdeleri, farklı kaynaklardan gelen suların karışımı, vb.) açıklanmasına önemli katkı sağlanmaktadır (Mazor, 1991). Mazor (1991)'e göre beş farklı şekilde dağılım gösteren majör iyonlar ve TÇİ değerleri, bu grafiklerde tek küme, iki küme, üçgen dağılım, doğrusal dağılım ve rassal dağılım olarak gözlenebilmektedir. Tek bir akifer sisteminden boşalan sular tek küme oluşturmakta olup, bu durum söz konusu suların aynı kökene sahip olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Şekil 4.7a). Farklı akiferlerden boşalan sular ise iki küme şeklinde gözlenmekte olup, söz konusu sular farklı kökene sahip iki tür su şeklinde yorumlanmaktadır (Şekil 4.7b). Grafik üzerinde sulara ait değerlerin bir doğru boyunca gözlenmesi durumunda farklı kökenden gelen suların karışımı veya akım yolu boyunca zenginleşme olarak değerlendirilmektedir. Grafiklerde, eğrinin "0" noktasını kesmesi seyrelmeyi, TÇİ eksenini kesmesi ise farklı suların karışımını ve söz konusu major iyonun TÇİ içinde etkisinin az olduğunu göstermektedir. Eğer doğru major iyonun eksenini kesiyor ise farklı suların karışımı ve iyonun TÇİ içinde baskın olduğunu göstermektedir (Şekil 4.7c,d,e). Üçgen dağılım üç farklı kökenden gelen suların karışımını (Şekil 4.7f) ve rassal dağılımı ise birbiriyle ilişkisi olmayan farklı kökenli suları ve/veya değerlendirmelerde kullanılan verinin güvenilir olmadığını işaret etmektedir (Şekil 4.7g; Mazor, 1991; Aydın, 1999; Yüksel, 2022).



Şekil 4.7. TÇİ-iyon grafiği; (a) tek küme; (b) iki küme; (c, d, e) doğrusal dağılım; (f) üçgen dağılım ve (g) rassal dağılım (Mazor, 1991; Yüksel, 2022).

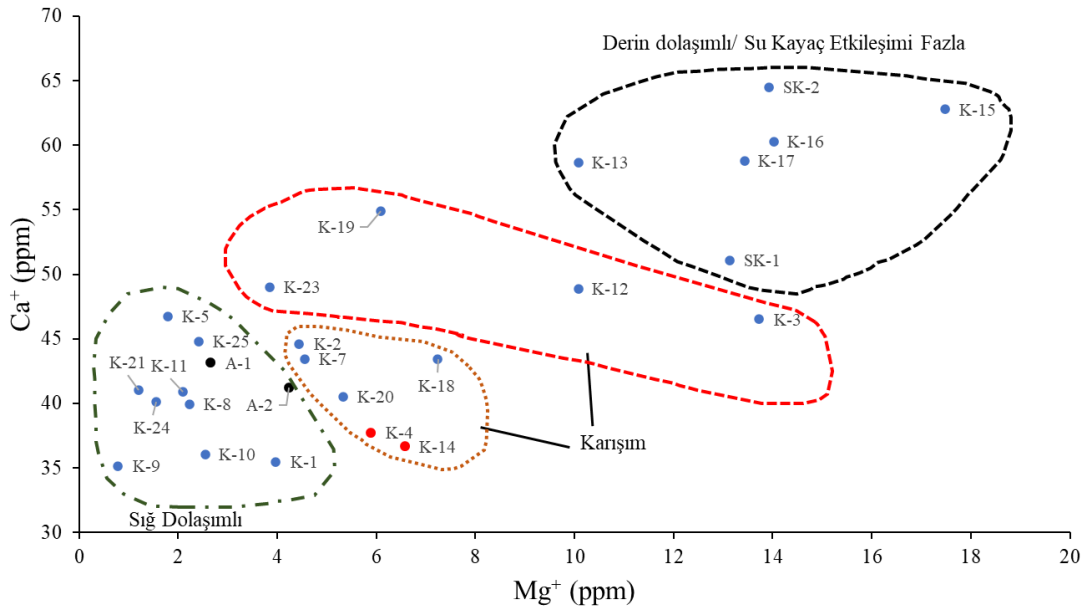
Çalışma alanındaki su noktalarından alınan su örneklerin TÇİ-major iyon grafiği oluşturulmuş olup, verilerin genel olarak bir doğru boyunca dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.8). İnceleme alanındaki su noktalarında katyonlardan Ca ve Mg iyonları ve anyonlardan ise HCO<sub>3</sub> iyonu baskın iyonları oluşturmaktadır. Mazor (1991)'e göre alınan su örneklerinin verileri ile oluşturulan karışım (TÇİ-Ca, TÇİ-Mg, TÇİ-HCO<sub>3</sub>) grafikleri incelendiğinde Çelikhán Ovasında boşalım sağlayan SK-1 ve SK-2 sondaj kuyuları daha derin dolaşım ile temsil edilirken nispeten düşük iyon içeriğine sahip K-9 nolu kaynaktan boşalan sular ise daha sığ dolaşımı temsil etmektedir.



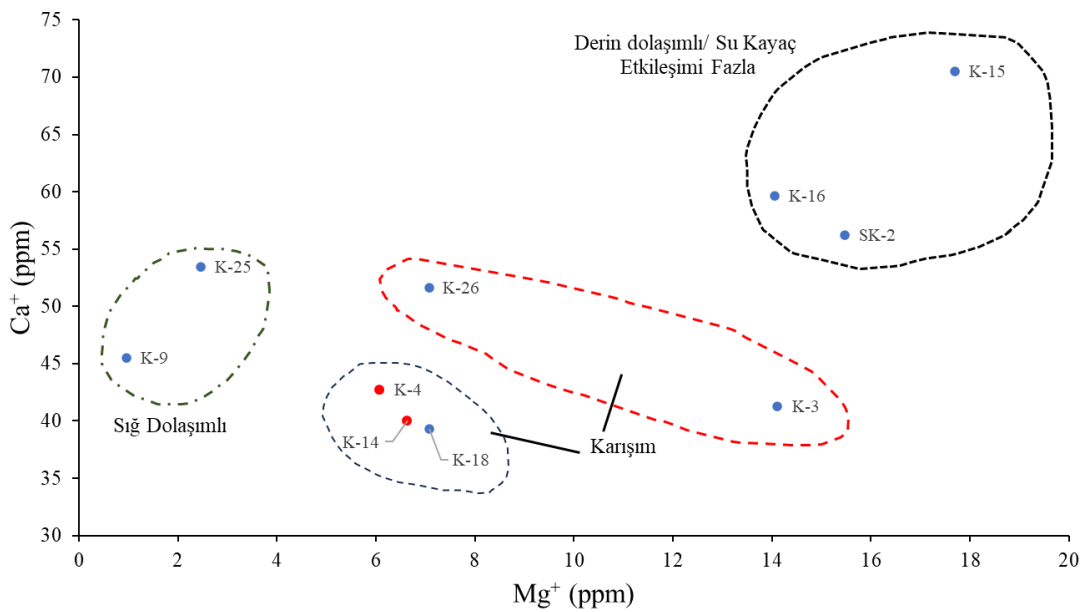
Şekil 4.8. İnceleme alanı su kaynakları bileşim grafikleri.



Suların Ca ve Mg konsantrasyonları ile oluşturulan grafikler de su-kayaç etkileşim süreçleri hakkında bilgiler vermektedir. Maurin vd. (1992) yapmış oldukları çalışmada Ca-Mg grafikleri ile bir sistemden boşalan yüzey sularını, karst akiferinin vadoz ve doygun zonundan boşalan suları ve gözenekli akiferden boşalan suları ayırt etmişlerdir. Bu kapsamda Mayıs 2022 ve Ekim 2022 dönemlerine ait Ca ve Mg konsantrasyonları kullanılarak grafik oluşturulmuş ve suların beslenme/dolaşım süreçleri değerlendirilmiştir (Şekil 4.9; 4.10).



Şekil 4.9. Mayıs 2022 dönemi Ca-Mg grafiği.



Şekil 4.10. Ekim 2022 dönemi Ca-Mg grafiği.

Grafiklerde düşük  $\text{Ca}^+$  ve  $\text{Mg}^+$  konsantrasyonlarının gözleendiği orjine yakın bölgede yer alan sular sığ dolaşımli sular ile yüzeysuları olup, orjinden en uzak bölgede kümelenen yüksek  $\text{Ca}^+$  ve  $\text{Mg}^+$  konsantrasyonlarının gözleendiği sular ise su-kayaç etkileşiminin fazla olduğu derin dolaşımli sular olarak sınıflandırılmıştır. Zerban ve Havşari kaynakları ise SK-2 ve K-9 sularının karışımı olarak ifade edilebilmektedir. Ekim 2022 dönemi ile Mayıs 2022 dönemi kıyaslandığında kurak dönemde yağış sularının etkisinin azalması ile birlikte,  $\text{Ca}^+$  ve  $\text{Mg}^+$  konsantrasyonlarının da azaldığı gözlenmektedir.

#### 4.5. Doymunluk İndisi (DI)

İyonların çözeltili içindeki aktiviteleri hesaplanabilmekte olup, bu yöntem ile bir su örneğinin herhangi bir minerale doymunluk durumu belirlenebilmektedir. Mineral doymunluk durumu, çözeltili içindeki herhangi bir minerale ait iyon aktivite ürününün (IAP) söz konusu mineralin çözünlülük ürününe (K) oranı şeklinde ifade edilmektedir. Bu şekilde, su analizlerinden türetilen iyon aktiviteleri kullanılarak, mineral doymunluk durumuyla ilgili bir değerlendirme yapılabilmektedir. Bu tür hesaplamalar, yeraltısuyu örneklerinin minerallerle etkileşimlerini anlamak ve potansiyel mineral çökeltilme ve/veya çözüme olaylarını tahmin etmek için kullanılabilir (Apoelo ve Postman, 2005).

Bir çözeltili içindeki herhangi bir mineralin doymunluk durumu; doymunluk indisinin hesaplaması ile belirlenebilmektedir. Çözeltiler herhangi bir minerale doymun olmayan ( $SI = \log(IAP/K_T) < 0$ ), doymun ( $SI = 0$ ) ve aşırı doymun ( $SI > 0$ ) çözeltili olarak sınıflandırılmaktadır (Stumm and Morgan, 1981).

Tez çalışması kapsamında, Mayıs ve Ekim 2022 tarihlerinde toplanan su örneklerinde gerçekleştirilen iyon analiz sonuçlarına ait mineral doymunluk hesaplamaları, USGS tarafından geliştirilen PhreeqC (Parkhurst, 1995) bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Bu kapsamda, Anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ), Aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ), Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), kısmi karbondioksit basıncı ( $\text{pCO}_2$ ), Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve Halit ( $\text{NaCl}$ ) için doymunluk hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.3). Doymunluk indisleri değerlendirildiğinde hem Mayıs 2022 hem de Ekim 2022 dönemlerinde tüm su

noktalarının Anhidrit, Jips ve Halit minerallerine doygun özellik göstermediği gör÷lmektedir.

Çizelge 4.3. Doygunluk indisi analiz sonuçları

Dönem	Kod	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO <sub>2</sub>	Dolomit	Jips	Halit
Mayıs 2022	A-1	-2.63	-0.26	-0.11	-2.02	-1.09	-2.33	-10.76
	A-2	-2.80	-0.21	-0.07	-2.05	-0.77	-2.49	-11.02
	K-1	-2.78	-0.34	-0.19	-2.10	-0.99	-2.48	-10.72
	K-2	-2.65	-0.36	-0.21	-1.83	-1.08	-2.35	-10.65
	K-3	-2.62	-0.16	-0.02	-1.86	-0.22	-2.32	-10.66
	K-4	-2.62	-0.40	-0.25	-1.92	-0.97	-2.32	-10.63
	K-5	-2.75	-0.31	-0.17	-2.04	-1.41	-2.45	-10.83
	K-7	-2.69	-0.35	-0.20	-1.87	-1.04	-2.38	-10.94
	K-8	-2.74	-0.28	-0.14	-2.06	-1.18	-2.43	-11.05
	K-9	-2.78	-0.51	-0.36	-2.04	-2.03	-2.48	-10.96
	K-10	-2.68	-0.42	-0.27	-2.03	-1.35	-2.38	-10.32
	K-11	-2.56	-0.36	-0.22	-1.99	-1.38	-2.26	-10.24
	K-12	-2.57	-0.20	-0.05	-1.77	-0.44	-2.27	-9.50
	K-13	-2.38	-0.10	0.04	-1.76	-0.33	-2.08	-9.54
	K-14	-2.69	-0.39	-0.25	-1.94	-0.89	-2.38	-10.56
	K-15	-2.11	0.01	0.16	-1.74	0.10	-1.81	-9.24
	K-16	-2.61	0.00	0.15	-1.75	0.01	-2.31	-10.63
	K-17	-2.38	-0.06	0.08	-1.72	-0.13	-2.07	-9.37
	K-18	-2.49	-0.32	-0.18	-1.92	-0.79	-2.19	-9.98
	K-19	-2.55	-0.24	-0.10	-1.79	-0.80	-2.24	-10.51
	K-20	-2.85	-0.37	-0.23	-1.89	-0.99	-2.55	-10.71
	K-21	-2.61	-0.43	-0.28	-1.95	-1.75	-2.30	-10.69
	K-23	-2.44	-0.22	-0.08	-1.87	-0.92	-2.13	-10.38
	K-24	-2.73	-0.41	-0.27	-1.97	-1.60	-2.42	-10.48
	K-25	-2.49	-0.31	-0.17	-1.91	-1.25	-2.19	-10.36
SK-1	-2.72	-0.11	0.04	-1.71	-0.17	-2.42	-9.56	
SK-2	-3.04	0.08	0.23	-1.57	0.14	-2.73	-9.42	
Ekim 2022	K-3	-2.75	-0.04	0.11	-2.12	0.10	-2.44	-10.21
	K-4	-2.73	-0.27	-0.13	-2.07	-0.75	-2.43	-10.39
	K-9	-2.38	-0.02	0.12	-2.45	-1.08	-2.08	-10.31
	K-14	-2.68	0.02	0.17	-2.43	-0.10	-2.38	-10.04
	K-15	-2.20	0.33	0.48	-2.07	0.71	-1.89	-9.08
	K-16	-2.66	0.27	0.41	-2.12	0.54	-2.36	-9.88
	K-18	-2.82	-0.03	0.11	-2.38	-0.18	-2.51	-10.33
	K-25	-2.53	0.04	0.18	-2.23	-0.62	-2.22	-9.70
	K-26	-2.54	0.08	0.22	-2.17	-0.07	-2.23	-10.05
	SK-2	-2.95	-0.05	0.09	-1.78	-0.03	-2.64	-9.31

Mayıs 2022 döneminde, Çayderesi Formasyonu'na ait kireçtaşları ile Pınarbaşı Formasyonu'na ait şist birimlerin fay dokanağından boşalan K-15, K-16 kaynakları ile Sürgü Fayı üzerinde açılmış olan SK-2 kuyusu, Dolomit, Aragonit ve Kalsit minerallerine doygun özellik göstermektedir. Bu su noktaları haricinde Mayıs 2022 döneminde, yine Sürgü Fayı üzerinde açılmış olan SK-1 kuyusu ile bu fay üzerinden boşalan K-17 kaynağı da Kalsite doygundur. Ekim 2022 döneminde ise K-4 (Zerban Kaynağı) hariç o dönem örneklenen tüm su noktaları Kalsit mineraline doygun özellik göstermektedir. K-14 (Havşari Kaynağı), K-15, K-16, K-25, K-26 kaynakları bu dönemde Aragonit'e doygun özellik göstermekte iken, K-3, K-15 ve K-16 noktaları Dolomit mineraline doygun özellik göstermektedir.

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere inceleme alanında boşalım sağlayan suların aragonit, kalsit ve dolomit minerallerine doygunlukları mevsimsel olarak değişim göstermektedir. Yağışlı dönemde (Mayıs 2022) kar ve yağmur sularından beslenim etkisinin artması ile birlikte söz konusu kaynak sularında, fay kontrollü kaynaklar (SK-1, SK-2, K-13, K-15, K-16, K-17, vb.) dışında mineral doygunluk değerleri, doygunluk sınırının altına düşmektedir. Bu durum yağışlı dönemde beslenimin etkisiyle akiferdeki suyun seyrelmesinin ve yeni CO<sub>2</sub> katılımı sonucunda doygunluk sınırı altına düşmesinin sonucu olarak değerlendirilmektedir.

Kalsit ve dolomitin sudaki çözelti kapasitesi normalde küçüktür, ancak CO<sub>2</sub><sup>-</sup> içeriği ile birlikte bu kapasite artmaktadır. Karbonatın çözülmesi sürecinde CO<sub>2</sub> tüketilir (CO<sub>2</sub> kısmi basıncının azalması) ve CO<sub>2</sub><sup>-</sup> girişi olmayan kapalı sistemlerde ise pCO<sub>2</sub> atmosferik CO<sub>2</sub><sup>-</sup> kısmi basıncı altında düşebilir. Sığ yeraltısuları ve karstik akiferler gibi açık sistemlerde, çözülme sürecinde tüketilen CO<sub>2</sub><sup>-</sup> nedeniyle daha yüksek çözelti oranları gözlenebilmektedir. Bu nedenle doygunluk indisi ve CO<sub>2</sub><sup>-</sup> atmosferik kısmi basıncı, beslenme süreçleri ile ilgili oldukça önemli bir izleyici olarak kullanılabilir (Maurin vd., 1992). Söz konusu yöntem ile beslenme/dolaşım sisteminin belirlenmesine yönelik, Mayıs 2022 ve Ekim 2022 dönemlerine ait kalsit doygunluk indisine karşı, pCO<sub>2</sub><sup>-</sup> grafiği oluşturulmuştur (Şekil 4.11; 4.12).

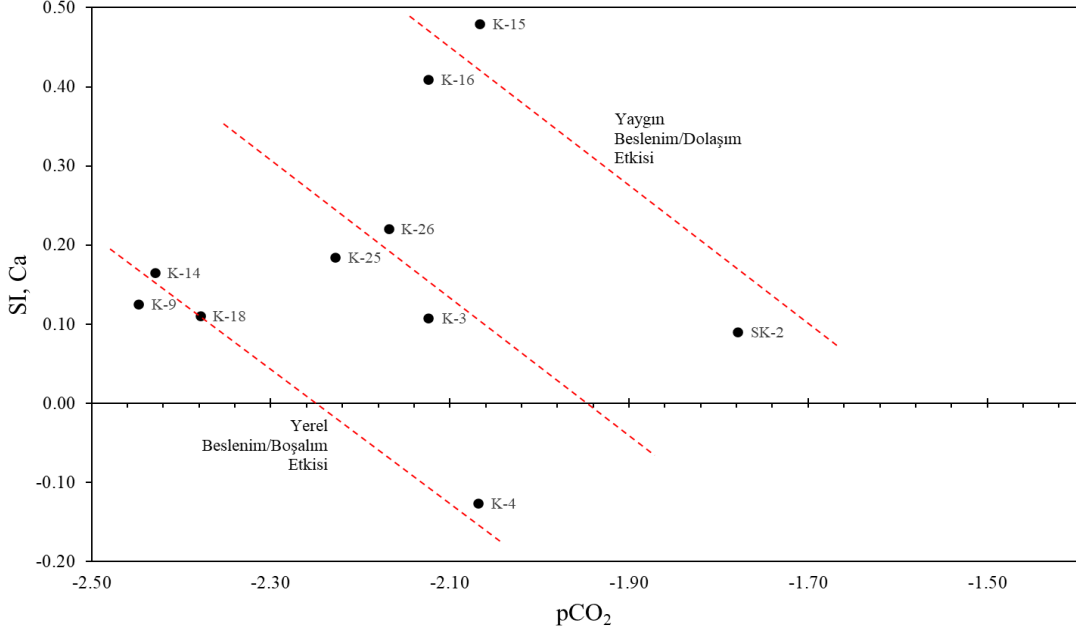
Buna göre; Mayıs ve Ekim 2022 dönemlerinde fay kontrollü olan kuyu ve kaynaklar (K-13, K-15, K-16, K-17, SK-1, SK-2) doygunluk sınırının üzerinde ve derin dolaşım nedeniyle yüksek pCO<sub>2</sub> değerine sahiptir. Fay kontrollü kuyu ve kaynaklarda minerallere doygunluk özellikleri, bu kaynaklarda su-kayaç etkileşiminin fazla, yaygın dolaşımının baskın olduğunu göstermektedir. Ekim 2022 döneminde diğer tüm su noktaları doygunluk sınırı altında kalmaktadır. Söz konusu su noktalarından yüzeysuları ile yüzeyde akış gösterdikten sonra örnekleme yapılan kaynak sularında ve sığ dolaşımli kaynak sularında, düşük doygunluk indisi ile atmosfere açık olması, CO<sub>2</sub> girişinin olması ve çözünme sürecinde CO<sub>2</sub> harcanması nedeniyle düşük pCO<sub>2</sub> değerleri gözlenmektedir. Zerban Kaynağı (K-4) ve Havşari Kaynağı (K-14) kalsit doygunluk indisi-pCO<sub>2</sub> değerleri ise yerel beslenme/dolaşımın baskın olduğu ancak yaygın beslenme/dolaşımının etkisinde olan karışım suları olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).

Mineral doygunluklarında meydana gelen mevsimsel değişim pCO<sub>2</sub> değerlerinde de gözlenmektedir. Yağışlı dönem olan Mayıs 2022 tarihinden, kurak dönem Ekim 2022 tarihine gelindiğinde yağmur ve kar sularının etkisinin azalması ile birlikte su-kayaç etkileşimi artmakta olup, yaygın beslenme/dolaşımın baskınlaştığı ve buna bağlı olarak kalsit doygunluk indislerinin arttığı, hatta Zerban Kaynağı (K-4) hariç tüm kaynakların doygunluk sınırının üzerine çıktığı, ayrıca çözünme sürecinde CO<sub>2</sub> tüketiminin artması ile tüm kaynaklarda pCO<sub>2</sub> değerlerinin azaldığı gözlenmektedir (Şekil 4.11; 4.12).

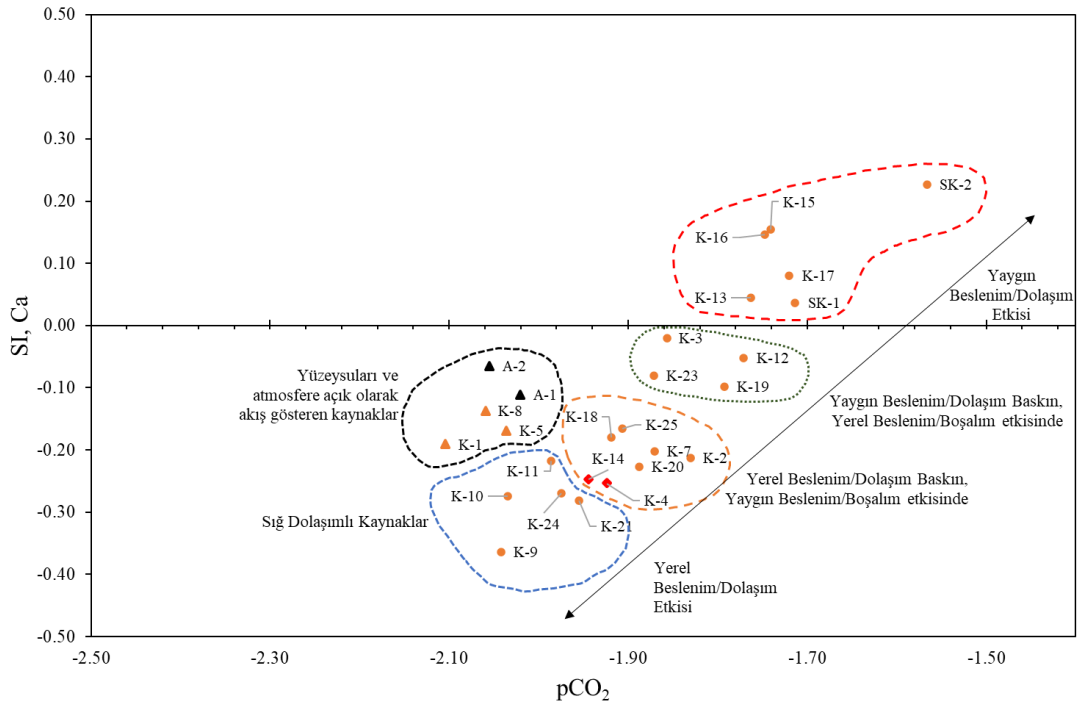
#### **4.6. İz Element Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

İnceleme alanı ve yakın dolayında, Mayıs 2022 tarihinde gerçekleştirilen arazi çalışması kapsamında 27 yeraltısuyu ve yüzey suyu noktasından alınan örneklerde iz element analizleri gerçekleştirilmiş, sonuçları Çizelge 4.4'te verilmekte olup SK-1 ve SK-2 sondaj kuyularında alınan örnekler dışında kalan diğer tüm örneklerde Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, ve Zn iz elementlerine ait konsantrasyon değerleri, 07.03.2013 tarih ve 28580 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (TS266)" ile 22.05.2015 tarih ve 29363 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "Yeraltısularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'te" yer alan limit değerlerin altında kalmaktadır (Çizelge 4.4).

İnceleme alanı ve yakın dolayında nispeten derin dolaşım ile temsil edilen SK-1 ve SK-2 sondaj kuyularında bu parametreler içinde sadece Mn iz elementi sırası ile 0.076 mg/l ve 0.497 mg/l ile sınır değeri (0.05 mg/l) aşarken, Fe ise sadece SK-2 nolu örnekleme noktasında 1.55 mg/l ile sınır değeri (0.2 mg/l) aşmaktadır.



Şekil 4.11. Ekim 2022 dönemi (Kurak Dönem) SI<sub>Ca</sub> – pCO<sub>2</sub> grafiği.



Şekil 4.12. Mayıs 2022 dönemi (Yağışlı Dönem) SI<sub>Ca</sub> – pCO<sub>2</sub> grafiği.

Çizelge 4.4. İz element analiz sonuçları (mg/l)

Kod	Al	Sb	As	Cu	Ba	Be	B	Hg	Zn	Fe	Ag	Cd	Sn	Co	Pb	Mn	Mo	Ni	Se	Sr	Ti	Cr	Si	S
A-1	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.019	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.005	0.001	0.057	0.001	0.001	1.970	1.000
A-2	0.020	0.001	0.001	0.001	0.013	0.001	0.020	0.000	0.001	0.007	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.085	0.001	0.001	1.410	1.000
K-1	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.058	0.001	0.001	2.160	1.000
K-2	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.075	0.001	0.001	2.610	1.000
K-3	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.060	0.001	0.001	2.320	1.000
K-4	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.071	0.001	0.001	1.800	1.000
K-5	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.074	0.001	0.001	1.760	1.000
K-7	0.020	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.020	0.000	0.001	0.018	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.170	0.004	0.001	1.530	1.000
K-8	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.020	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001	0.005	0.001	0.073	0.001	0.001	1.500	1.000
K-9	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.025	0.001	0.001	1.300	1.000
K-10	0.020	0.001	0.001	0.001	0.008	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.037	0.001	0.001	4.660	1.000
K-11	0.083	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.111	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.005	0.001	0.031	0.005	0.001	3.160	1.000
K-12	0.020	0.001	0.001	0.001	0.008	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.122	0.001	0.001	4.560	1.000
K-13	0.020	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.005	0.001	0.126	0.001	0.001	4.870	1.000
K-14	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.084	0.001	0.001	2.140	1.000
K-15	0.020	0.001	0.001	0.001	0.024	0.001	0.020	0.000	0.058	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.263	0.001	0.001	4.360	1.000
K-16	0.020	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.224	0.001	0.001	4.260	1.000
K-17	0.020	0.001	0.001	0.001	0.011	0.001	0.020	0.000	0.004	0.008	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.005	0.001	0.152	0.001	0.001	5.150	1.000
K-18	0.020	0.001	0.001	0.001	0.009	0.001	0.020	0.000	0.004	0.056	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.014	0.001	0.005	0.001	0.053	0.001	0.001	1.530	1.000
K-19	0.020	0.001	0.001	0.001	0.007	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.117	0.001	0.001	2.420	1.000
K-20	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.070	0.001	0.001	2.290	1.000
K-21	0.020	0.001	0.001	0.001	0.016	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.038	0.001	0.001	2.170	1.000
K-23	0.020	0.001	0.001	0.001	0.017	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.100	0.001	0.001	2.970	1.000
K-24	0.020	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.036	0.001	0.001	3.100	1.000
K-25	0.020	0.001	0.001	0.001	0.029	0.001	0.020	0.000	0.001	0.005	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.001	0.048	0.001	0.001	3.950	1.000
SK-1	0.020	0.001	0.006	0.001	0.019	0.001	0.020	0.000	0.001	0.167	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	<b>0.076</b>	0.001	0.005	0.001	0.111	0.001	0.001	4.210	1.000
SK-2	0.020	0.001	0.009	0.001	0.045	0.001	0.029	0.000	0.001	<b>1.550</b>	0.005	0.001	0.001	0.001	0.001	<b>0.497</b>	0.001	0.005	0.001	0.158	0.001	0.001	6.700	1.000

Yüksek Fe ve Mn konsantrasyonlarının yeraltı suyuna salınmasının muhtemelen pirit, siderit ve baritin oksidasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Sakurovs vd. 2007). Yeraltısuyunda yüksek Fe konsantrasyonu hem jeojenik hem de antropojenik etkilere bağlı olarak bulunabilmektedir. Yüksek Fe konsantrasyonunun görüldüğü SK-1 kuyusu ile yüksek Fe ve Mn konsantrasyonlarının gözlemlendiği SK-2 kuyusu Sürgü Fayı üzerinde yer almakta olup, daha önceki değerlendirmelerde SK-2 kuyusunun derin dolaşım ile temsil edildiği belirtilmiştir. Söz konusu kuyuda yüksek Fe ve Mn değerleri muhtemelen tektonizmaya bağlı olarak, derin dolaşım ve yüksek mineralli suların kuyuya gelmesi nedeniyle gözlenmektedir.

#### 4.7. Su Kalitesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan tüm su noktalarına ait kalite parametreleri içme-kullanım ve sulama suyu limit değerlerini içeren EU (1998), SB (2005), OSİB (2016) ve WHO-WQG (2017) ulusal ve uluslararası kalite kriterleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Su noktalarında arazide yerinde gözlenen ve laboratuvarında analiz

edilen parametreler daha önceki bölümlerde verilmektedir (Bkz. Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4).

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan su noktalarından boşalım sağlayan sular yukarıda belirtilen mevzuatlarda yer alan limit değerler açısından incelendiğinde aşağıda belirtilen özel durumlar dışında kalan tüm su noktalarından boşalım sağlayan sular öngörülen limit değerlerin altında kalmaktadır. Başka bir ifade ile mevcut durumda inceleme alanında boşalım sağlayan sular, fizikokimyasal, majör iyon ve iz element analiz sonuçlarına göre iyi yeraltısuyu kimyasal durumu koşulunu sağlamaktadır.

- pH (6.5-9.5) açısından K-7 (10.2) kaynağı (Bkz. Çizelge 4.1)
- Demir (0.2 ppm) açısından SK-2 (1.550 ppm) kuyusu (Bkz. Çizelge 4.4)
- Mangan (0.05 ppm) açısından SK-1 (0.076 ppm) ve SK-2 (0.497 ppm) kuyuları (Bkz. Çizelge 4.4)

#### 4.8. Duraylı İzotop Analizlerinin Değerlendirilmesi

Meteorik sularda, hidrojen ve oksijen gibi duraylı (çevresel) izotopların bolluk oranı, atmosferik süreçlere (buharlaşma ve yoğunlaşma vb.) bağlı olarak yerel ve bölgesel ölçekte bu süreçler ile doğrusal bir ilişki göstererek değişiklik göstermektedir. Söz konusu ilişki;  $s$  meteorik doğrunun eğimi ve  $d$  ise döteryum fazlası ile oluşturulan  $\delta D = (s \times \delta^{18}O) + d$  eşitliği ile ifade edilmektedir. Küresel ölçekte  $^2H$  ve  $^{18}O$  değerleri arasında doğrusal bir ilişki söz konusu olup bu ilişkiyi temsil eden eşitlik  $(\delta D = (\delta \times \delta^{18}O) + 10)$  “Küresel Meteorik Su Doğrusu” olarak adlandırılmaktadır (Craig, 1961). Yerel (yağmur ve kar) yağışlardaki izotop analizleri ile çalışılan bölgedeki meteorik su doğruları ve denklemleri belirlenmektedir. Doğal koşullarda, yeraltısuları veya yüzey sularında meydana gelen buharlaşma,  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  izotopları açısından zenginleşme eğilimi gösterir. Kısmi buharlaşmanın olduğu yağışlarda,  $\delta^{18}O/\delta^2H$  oranı buharlaşmanın olmadığı durumlara göre daha pozitif değerlere sahiptir. Bir örnek üzerinde yapılan  $^{18}O$  ve  $^2H$  izotop analizleri, küresel veya yerel meteorik su doğrusuna göre konumlandırıldığında, söz konusu suyun hidrolojik çevrimde ana su kütlelerinde buharlaşmadan kaynak boşalımına kadar geçirdiği süreçlerin izini taşımaktadır. Bu süreçler arasında buharlaşma, yükselti, sıcaklık, enlem ve diğer çevresel faktörler yer almakta olup izotop analizleri, suyun



döngüsünü ve hidrolojik süreçleri anlama ve değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (Freeze ve Cherry, 1979).

İnceleme alanında akarsularda alınan örneklerden elde edilen  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri sırası ile  $-10.34\text{‰}$  –  $-7.65\text{‰}$  ve  $-60.16\text{‰}$  –  $-48.46\text{‰}$  arasında değişmektedir. Kaynaklardan alınan örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri  $-10.73\text{‰}$  –  $-9.74\text{‰}$  arasında değişirken  $\delta^2\text{H}$  değerleri ise  $-62.1\text{‰}$  –  $-51.28\text{‰}$  arasında değişmektedir (Çizelge 4.5).

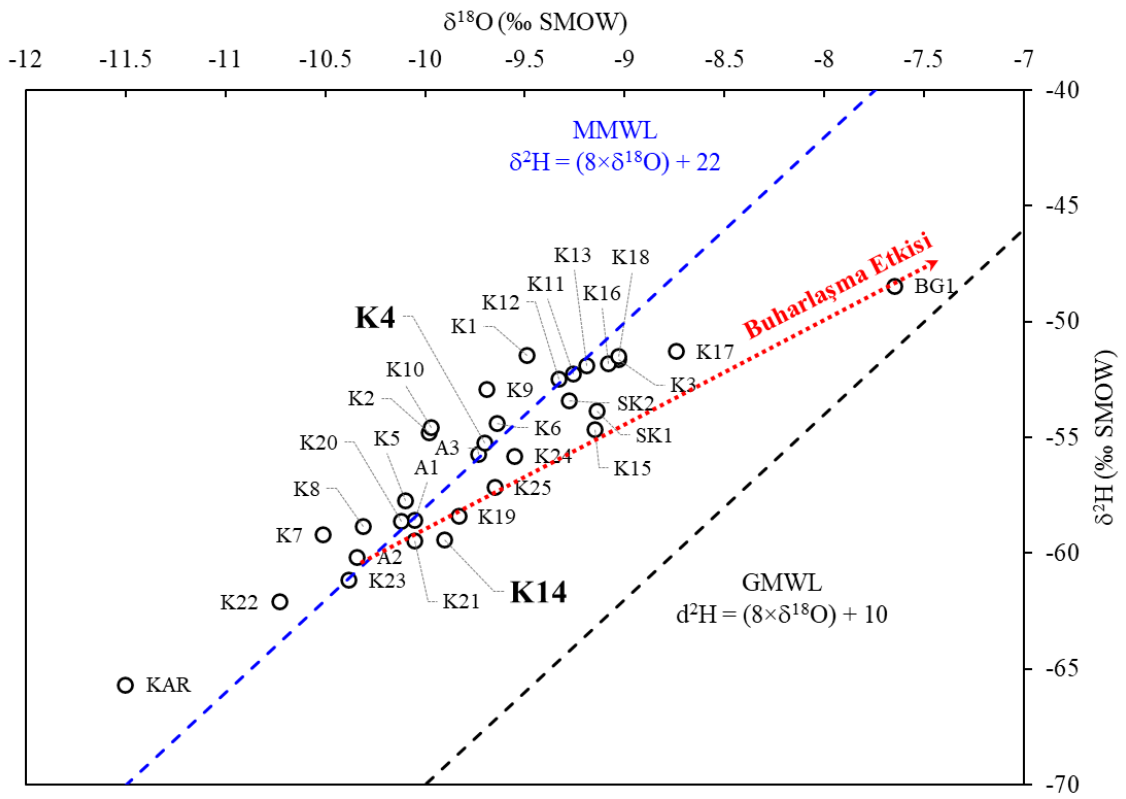
Çizelge 4.5. İnceleme alanından alınan su örneklerinin izotop sonuçları

Kod	Kot (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰, SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰, SMOW)	T (TU)	Kod	Kot (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰, SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰, SMOW)	T (TU)
A1	1514	-10.05	-58.59	-	K13	1282	-9.19	-51.92	5.21
A2	1419	-10.34	-60.16	-	K14	1285	-9.90	-59.41	5.02
A3	1425	-9.73	-55.72	-	K15	1352	-9.15	-54.66	3.51
BG1	1406	-7.65	-48.46	-	K16	1401	-9.08	-51.82	5.03
K1	1408	-9.49	-51.47	-	K17	1278	-8.74	-51.28	-
K2	1701	-9.98	-54.79	-	K18	1280	-9.03	-51.49	5.05
K3	1392	-9.03	-51.63	-	K19	1340	-9.83	-58.42	4.05
K4	1313	-9.70	-55.24	5.37	K20	1355	-10.12	-58.64	5.48
K5	1513	-10.10	-57.72	8.97	K21	1835	-10.05	-59.48	-
K6	1464	-9.64	-54.40	-	K22	1872	-10.73	-62.10	-
K7	1890	-10.51	-59.22	-	K23	1590	-10.38	-61.18	7.83
K8	1663	-10.31	-58.86	7.96	K24	1519	-9.55	-55.81	-
K9	1773	-9.69	-52.93	6.79	K25	1579	-9.65	-57.16	4.88
K10	1869	-9.97	-54.58	5.66	KAR	1755	-11.50	-65.69	-
K11	1505	-9.26	-52.25	-	SK1	1277	-9.14	-53.87	-
K12	1283	-9.33	-52.49	4.66	SK2	1275	-9.28	-53.42	2.90

#### 4.8.1. Oksijen-18 - Döteryum İlişkisi

İnceleme alanı ve yakın dolayı için  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  grafiği oluşturulmuş olup Küresel Meteorik Su Doğrusu (GMWL; Craig, 1961) ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu'na (MMWL; Gat ve Carmi, 1970) göre grafik üzerindeki konumları değerlendirilmiştir (Şekil 4.13). İnceleme alanı ve yakın dolayında boşalmasını sağlayan; su noktalarının izotop içerikleri MMWL ve GMWL arasında yer almakta olup bölgedeki yağışların döteryum fazlası +22 olan Akdeniz kökenli yağışlardan kaynaklandığına işaret etmektedir. Şekil 4.13'te görüldüğü üzere inceleme alanında boşalım sağlayan bazı su

noktaları MMWL ile Çat Barajı (BG-1) arasında kalmakta olup buharlaşma doğrusu üzerinde yer almaktadır. Bu su noktaları (K-19, K-21, K-25, vb.) özellikle DAF'ın Sürgü Fayı zonu boyunca boşalım sağlayan kaynaklar olup Havşari Kaynağı da (K-14) bu grup içinde yer almaktadır. Buharlaşma doğrusu üzerinde kalan su noktalarının besleniminde baskın bir buharlaşma etkisi gözlenmekte olup her ne kadar Bölüm 4.3 kapsamında Zerban ve Havşari kaynakları benzer kimyasal özellik sergilese de izotop analiz sonuçları bu kaynakların farklı akım yolları boyunca drene olan suların boşalımını sağladıklarını göstermektedir.



Şekil 4.13. İnceleme alanı  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  grafiği.

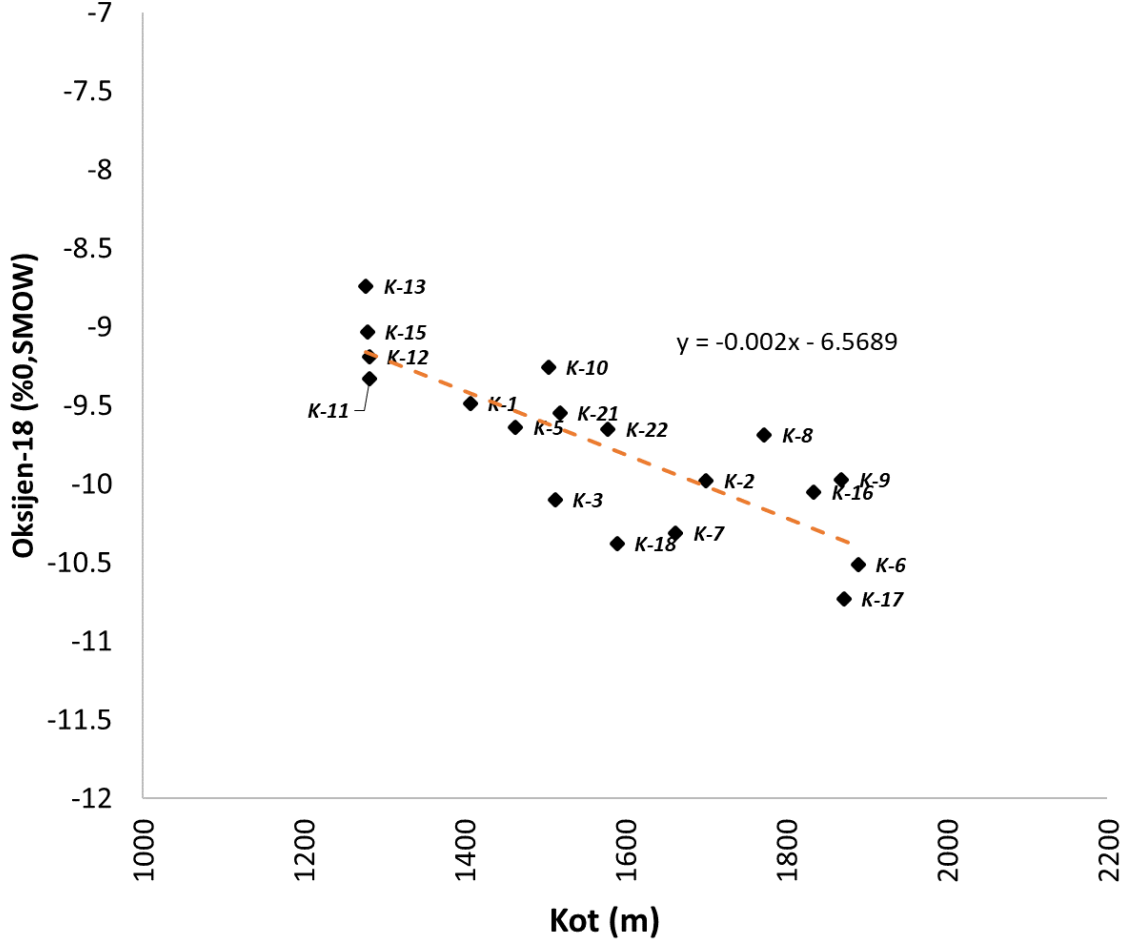
#### 4.8.2. Oksijen-18 - Yükseklik İlişkisi

Yükseklik farkı olan bölgelerde, buhar kütlesi yükseldikçe orografik yağış meydana gelmektedir. Bu nedenle, yağışın izotopik içeriği ortalama sıcaklıkların daha düşük olduğu yüksek kotlarda, düşük kotlara göre daha negatif değerler sergilemektedir. Atmosferde, doymuş hava kütesinin soğuması ile yoğunlaşma meydana gelmekte ve bir miktar ısı açığa çıkmaktadır. Yüksekliğe bağlı bu sıcaklık değişimine "ıslak adyabatik

sapma oranı" denmektedir. Islak adyabatik sapma oranı rakıma göre değişmekte ve 100 m'de yaklaşık 0.6 °C'dir. İzotopik bileşim sıcaklığa bağlı olduğundan, yağışın izotopik bileşimi yükseklikle azalmaktadır. Yüksekliğin artması ile genellikle her 100 m artışta  $\delta^{18}\text{O}$  için -0.15‰ ile -0.5‰ ve  $\delta^2\text{H}$  için ise -1‰ ile -4 ‰ değişim gözlenmektedir (Clark vd., 1982; Bortolami vd. 1979; Shivanna vd., 2008).

$\delta^{18}\text{O}$  içeriğinin yükseklik etkisine bağlı değişimi çeşitli hidrolojik-hidrojeolojik araştırmalarda ortalama beslenme alanı yükseltisinin belirlenmesi amacı ile kullanılmaktadır. Örneğin; Kurttaş (1997) Muğla dolayında gerçekleştirmiş olduğu tez çalışmasında  $\delta^{18}\text{O}$  değerinin her 100 m kot artışında -0.2 ‰ kadar azaldığını tespit etmiştir.

Bu çalışma kapsamında ise farklı kotlardan çıkış yapan, güncel yağış suları ile beslenen sığ dolaşımli mevsimsel kaynaklara ait  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri kullanılarak  $\delta^{18}\text{O}$ -Kot ilişkisi değerlendirilmiştir. Nisan 2022 döneminde izotop analizlerine yönelik yapılan örnekleme çalışmasında kar örnekleme yapılmış olup, söz konusu kar numunesi yüzeyden alınmış olup uzun zamandır buharlaşma etkisinde olduğu düşünüldüğü için değerlendirme kapsamına alınmamıştır. Bu kapsamda oluşturulmuş olan inceleme alanı  $\delta^{18}\text{O}$ -Kot ilişkisi Şekil 4.14'te verilmektedir. İnceleme alanında her 100 m'lik kot artışına karşın,  $\delta^{18}\text{O}$  yaklaşık -0.2 ‰ kadar azalma olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Zerban ve Havşari kaynaklarının ortalama beslenme yükseltisi inceleme alanının ortalama kotunun (1835 m) üzerinde elde edilmiştir. HZKS'nin ana boşalımını sağlayan Zerban kaynağının ortalama beslenme yükseltisi 1780 m iken Sürgü Fayına yakın konumda (100-150 m) yer alan Havşari kaynağının ortalama beslenme yükseltisi ise 1870 m olarak hesaplanmıştır.

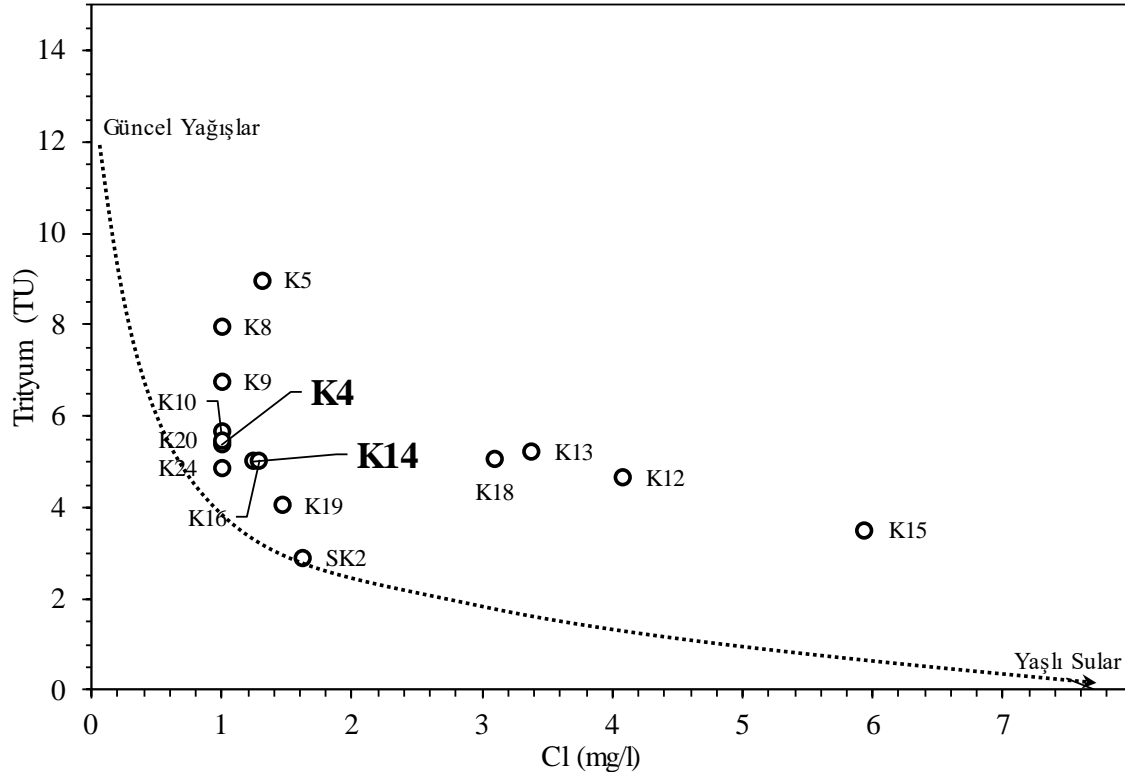


Şekil 4.14. İnceleme alanı  $\delta^{18}\text{O}$ -Kot grafiği.

#### 4.8.3. Trityum-Cl İlişkisi

Hidrojenin kısa yarılanma ömrüne (12.43 yıl) sahip bir izotopu olan Trityum, (Clark and Fritz, 1997) doğal olarak stratosferde bulunduğu gibi aynı zamanda yapay olarak üretilmekte olup, yağış aracılığıyla hidrolojik çevrime dahil olmaktadır. Trityumun radyoaktif bir izotopu olması nedeniyle bu izotop yeraltısuyunun geçiş süresinin belirlenmesinde kullanılabilir. İnceleme alanında boşalım sağlayan 16 su noktasında gözlenen trityum değerleri 2.09 TU (SK-2) ve 8.97 TU (K-5) arasında değişmektedir (Çizelge 4.5). Zerban (K-4) ve Havşari (K-14) kaynaklarında gözlenen trityum değeri ise sırasıyla 5.37 TU ve 5.02 TU ölçülmüştür. Çalışma kapsamında, Trityum analizi yapılan örneklerin söz konusu su noktalarının Cl iyon içeriğine karşı oluşturulan grafik Şekil 4.15'te verilmektedir. Şekil 4.15'te görüldüğü üzere inceleme

alanında boşalım sağlayan sular genellikle genç sular olup, 1950 sonrası yağışlardan beslenim olduğunu göstermektedir.



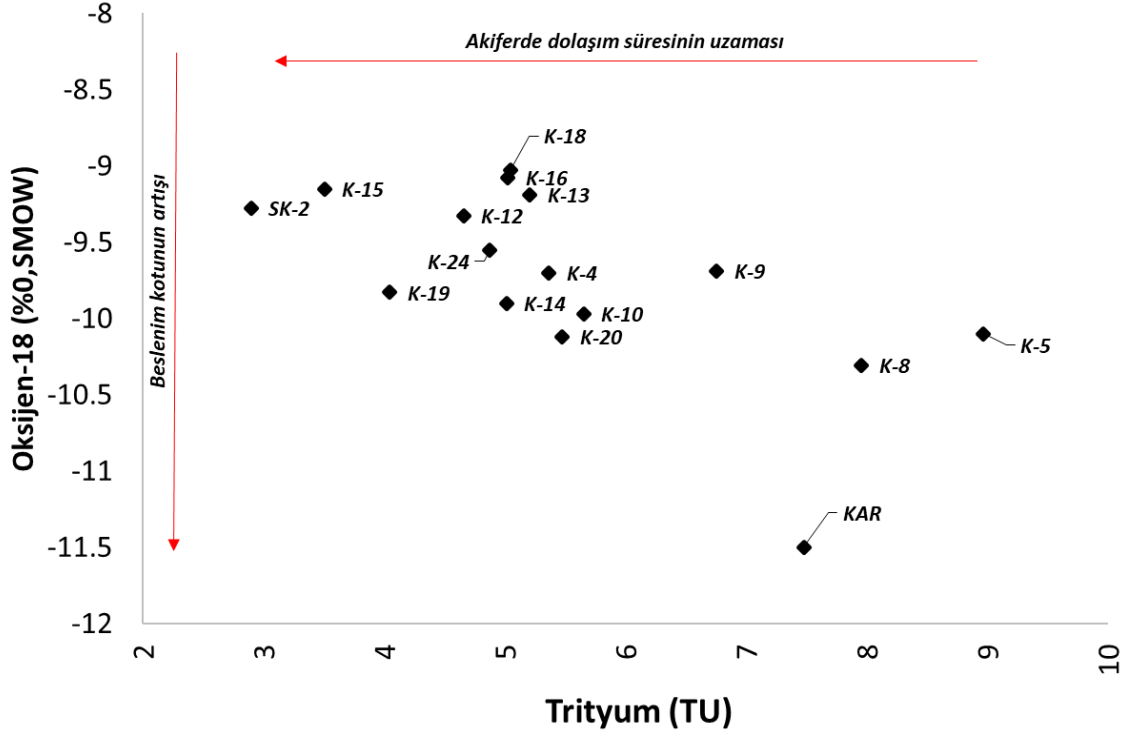
Şekil 4.15. İnceleme alanındaki su noktalarının, Trityum-Cl grafiği.

#### 4.8.4. Trityum- Oksijen-18 İlişkisi

Karstik alanlarda yeraltısularının beslenme kotları ile akiferdeki dolaşım süreleri Oksijen-18, Trityum ilişkisinden belirlenebilmektedir. Oksijen-18'e karşı Trityum grafiğinde düşey eksende orjine yaklaştıkça beslenme kotu, yatay eksen ise orjine yaklaştıkça akifer içerisindeki dolaşım süresi artmaktadır (Kurttaş, 1997).

Bu kapsamda inceleme alanında alınan yeraltısuyu örneklerinde yapılan Oksijen-18 ve Trityum değerleri arasındaki ilişki değerlendirilmiştir (Şekil 4.16). Buna göre, genelde Çayderesi Formasyonu'na ait karstik kireçtaşları ile geçirimsiz özellikteki Maden Formasyonu dokanağından ve Sürgü Fayı yakınlarında boşalan (SK-2, K-15, K-12, K-13, K-16, K-18, K-24, vb.) kaynaklarının akiferde dolaşım süresi Görece daha uzundur. Grafikte, K-4 Zerban kaynağı ile K-9 kaynağı aynı bölgede yer almakta olup, K-9 kaynağı

Zerban kaynağının beslenim alanında yüksek kotlarda yer almaktadır. Kot olarak daha yüksekten boşalan K-22 kaynağı ise KAR noktası ile birlikte gözlenmekte olup, yüksek kotlardan beslenen sığ dolaşimli kaynak olarak yorumlanabilmektedir. Diğer kaynaklar ise bu iki bölge arasında kalmaktadır.



Şekil 4.16. İnceleme alanındaki su noktalarının, Oksijen-18, Tritiyum (TU) grafiği.



## 5. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ

### 5.1. Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanı ve yakın dolayının jeolojik yapısını, temelde otokton özellikte, çakıltaşı, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, andezit, diyabaz, spilit ve kireçtaşı araldanmasından oluşan volkanik-çökel kayalar ile temsil edilen Orta Eosen yaşlı Maden Formasyonu oluştururken, bu birimler üzerine allokton özellikte bindirme ile Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Malatya Metamorfikleri gelmektedir. Malatya Metamorfikleri kendi içerisinde, Çayderesi Formasyonu ve Pınarbaşı Formasyonu olarak ayırt edilmiştir. Pınarbaşı Formasyonu, klorit şist, kuvars-klorit şist, serizit şist ve kalkışist araldanmasından oluşmakta olup içinde yer yer çörtlü mermer, dolomit ve dolomitik kireçtaşı ara seviyeleri bulundurmaktadır. Çayderesi Formasyonu kireçtaşı ve mermerleri ise, inceleme alanında ana karstik akiferi oluşturmaktadır.

İnceleme alanında temeli oluşturan Maden Formasyonu genel olarak geçirimsiz özelliktedir. Karstik akiferi oluşturan Çayderesi Formasyonu ile Maden Formasyonu dokanaklarından çok sayıda kaynak boşalımları bulunmakta olup, özellikle yüksek kotlarda Maden Formasyonu, kireçtaşları önünde geçirimsiz bir bariyer oluşturmakta, bu dokanaklardan yağış suları sığ dolaşım kaynaklar ile boşalmaktadır. Pınarbaşı Formasyonu genel olarak geçirimsiz özellikte olup, kırık-çatlak sistemleri ile kireçtaşı seviyeleri birime lokal olarak az geçirimli özellik kazandırmaktadır.

İnceleme alanı ve yakın dolayında yüzeylenen birimlerin akifer parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bölgede daha önce gerçekleştirilen pompa testi sonuçları değerlendirilmiş olup aynı zamanda, DSİ (1984) tarafından gerçekleştirilen Çat Barajı'nda gerçekleştirilen BST sonuçları değerlendirilmiştir.

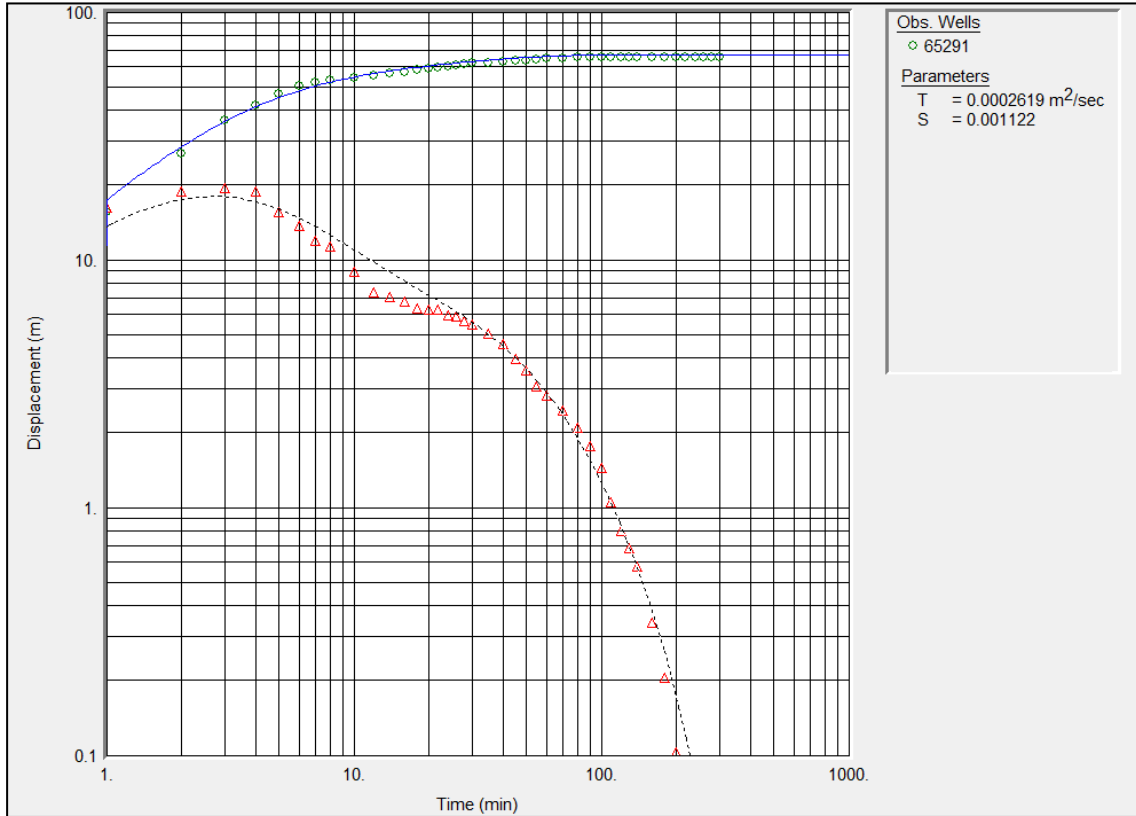
Havşari Kaynağı'nın yaklaşık 470 m güneybatısında ve 1840 m doğusunda, DSİ tarafından Çayderesi Formasyonu kireçtaşlarında açılmış olan sırasıyla 65293 (SK-4) ve 65292 (SK-2) Nolu araştırma kuyularına ait bilgiler Çizelge 5. 1'de verilmektedir.



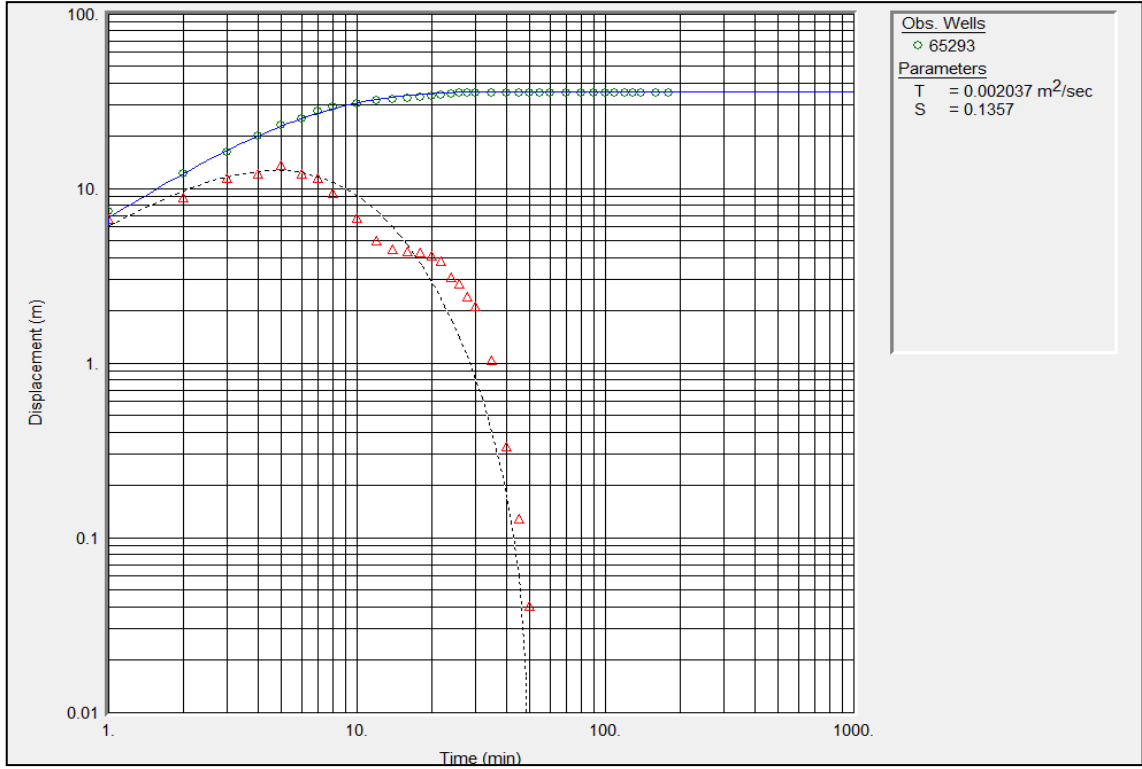
Çizelge 5.1. DSİ sondaj kuyularına ait bilgiler

Kuyu No	Koordinat			Statik Seviyesi (m)	Dinamik Seviyesi (m)	Verim (l/s)	Amaç
	X (ED50 - Zon 37)	Y	Z (m)				
65291	29696	4206352	1277	1.7	67.5	38.5	İçme-Kullanım Suyu
65293	28246	4206215	1315	16.1	51.5	52.0	İçme-Kullanım Suyu

Kuyularda DSİ tarafından sabit debili pompa deneyleri gerçekleştirilmiş olup, elde edilen düşüm verileri kullanılarak, Moench (1985) yöntemi ile akifer parametreleri hesaplanmıştır. Moench (1985)'de matematiksel çözüm, sızıntılı akiferlerin hidrolik parametrelerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Akifer analizi sonucunda kireçtaşı birimlerine ait T (İletimlilik  $m^2/s$ ) ve Depolama Katsayısı (S) değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.1-5.2). Yapılan değerlendirme sonucunda 65291 ve 65293 nolu kuyularda iletimlilik katsayısı sırası ile  $2.6 \times 10^{-4} m^2/s$  ve  $2.0 \times 10^{-3} m^2/s$  hesaplanmıştır. Söz konusu kuyularda depolama katsayısı ise sırası ile  $1.1 \times 10^{-3}$  ve  $1.4 \times 10^{-1}$  elde edilmiştir.



Şekil 5.1. 65291 nolu DSİ kuyusu akifer testi sonuçları.



Şekil 5.2. 65293 nolu DSİ kuyusu akifer testi sonuçları.

Bununla birlikte inceleme alanının yaklaşık 6 km kuzeydoğusunda yer alan Çat Barajı ve civarı için 1984 yılında “Çat Barajı Karst Hidrojeolojisi Raporu” hazırlanmış olup, söz konusu raporda baraj göl alanı ve aks yerinde açılmış olan jeoteknik amaçlı sondajlarda gerçekleştirilen Basınçlı Su Testi (BST) verileri değerlendirilmiştir (DSİ, 1984). Bu kapsamda kireçtaşları ve şistlerde açılmış olan sondajlarda BST verilerine göre K (Hidrolik İletkenlik, m/s) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). Söz konusu çalışma sonucunda Pınarbaşı Formasyonu şistlerine ait bozunmuş zon ile Çayderesi Formasyonu kireçtaşlarının karstlaşmış zonu için K değeri  $10^{-5}$  m/s ile  $10^{-6}$  m/s arasında değişirken söz konusu birimlerin masif zonları için ise  $10^{-8}$  m/s ile  $10^{-9}$  m/s arasında elde edilmiştir.

Çizelge 5.2. Çat Barajı BST sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik katsayıları (DSİ, 1984)

Litoloji		<i>K</i> (m/s)	
Kireçtaşı	Masif Zon	$10^{-8}$	$10^{-9}$
	Bozunmuş Zon	$10^{-5}$	$10^{-6}$
Şist	Masif Zon	$10^{-8}$	$10^{-9}$
	Bozunmuş Zon	$10^{-5}$	$10^{-6}$

Karstik akiferler gibi anizotropik ortamlarda iletimlilik katsayısı (T) yöne göre değişkenlik göstermektedir. Geçirgenlik değerleri, etkin gözeneklilik ve özgül verimin düşey yöndeki değişkenliğine bağlı olarak, kaya matrisi, kırık-çatlak sistemler ve kanallar arasında değişiklik göstermektedir. Ancak genel olarak, yüzeye yakın kireçtaşının en bozunmuş bölgesinde (epikarst) yüksek iletimlilik gözlenmekte olup, derine doğru üstel olarak azalmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde karstik akiferlerde belirlenmiş olan iletimlilik (T) ve depolama (S) katsayısı değerleri Çizelge 5.3'te verilmektedir. Söz konusu çizelgede yer alan T ve S değerlerine bakıldığında, inceleme alanı için belirlenmiş olan akifer parametreleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ancak; BST ve pompa testleri ile belirlenen katsayılar noktasal değerler olup, karstik akiferler gibi anizotropik ortamlarda lokal olarak değişkenlik göstermektedirler.

Çizelge 5.2. Bazı karstik akiferler için depolama ve iletimlilik katsayıları (Castany, 1984; Ford ve Williams, 1989)

Karbonat Kaya Grubu	Yaş	Lokasyon	Depolama S (%)	İletimlilik T (m <sup>2</sup> /s)
Kırık-Çatlaklı Kireçtaşı	Üst Jura	Moutier (İsviçre)	1-1.5	0.1 x 10 <sup>-2</sup> - 1.3 x 10 <sup>-1</sup>
	Turoniyen-Senomaniyen	İsrail	1	
	Üst Kretase	Tunus	0.5-1	
	Miyosen	Murcia (İspanya)	0.7-1	
	Jura	Lübnan	0.1-2.4	0.1 x 10 <sup>-2</sup> - 6 x 10 <sup>-2</sup>
Karstik, Kırık-Çatlaklı Kireçtaşı	Liyas	Tunus	4-5	10 <sup>-3</sup>
	Üst Jura	Tunus	5-7	
	Alt Kretase	Salon (Fransa)	1-5	
	Jura	Parnassos (Yunanistan)	5	
	Jura	Vauchuse (Fransa)	1-5	
Kırık-Çatlaklı Dolomit	Jura	Grand Causses (Fransa)	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>
	Jura	Grand Causses (Fransa)	10 <sup>-3</sup>	
	Liyas	Fas	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-4</sup>	
Kırık-Çatlaklı Mermer	Jura	Parnassos (Yunanistan)	3 x 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>
	Jura	Grand Causses (Fransa)	10 <sup>-3</sup>	
Kırık-Çatlaklı Dolomit		Almeria (İspanya)	10-12	
Marnlı Kireçtaşı	Jura	Murcia (İspanya)	7	
		Grand Causses (Fransa)		10 <sup>-3</sup>

## 5.2. Sınır Koşullarının Kaynak Boşalımı Açısından Değerlendirilmesi

Zerban Kaynağı'nın beslenme alanına düşen yağış suları (yağmur ve kar erimesi), beslenme alanında karst yüzey morfolojisine (çöküntü ve erime yapıları, kırık-çatlak sistemleri, vb.) bağlı olarak sistemin beslenimini oluşturmakta ve ana tektonik yapılar (senkinal eksenleri ve karstik kanallar) boyunca hareket etmekte olup, kireçtaşları ile alüvyonlar arasında ki fay dokanağından boşaldığı düşünülmektedir. Havşari kaynağı ise

yine aynı şekilde beslenme formuna sahip olup, Sürgü Fayı boyunca hareket ederek fay kontrollü olarak boşaldığı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen jeolojik, hidrojeokimyasal, izotopik ve hidrolojik analizler ile söz konusu değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirme sürecinde, depolama katsayısı, hidrolik iletkenlik ve iletkenlik katsayısı ile hidrolik gradyan gibi akiferin hidrodinamik parametreleri oldukça önemli rol oynamaktadır.

Karstik kaynakların zamana bağlı debileri kullanılarak oluşturulan hidrograflarda, karst akiferlerinin beslenme, dolaşım ve depolama gibi hidrodinamik özellikleri ve sınır koşulları ile ilgili bilgiler sağlanabilmektedir. Karstik kaynaklarda beslenme türü (yerel, yaygın allojenik/otojenik), kaynak boşalmalarında meydana gelen değişimleri kontrol eden önemli süreçlerden biri olup, noktasal ve yerel beslenimlerde yüksek değişim katsayısı veya varyans, alansal ve yaygın beslenimde ise düşük değişim katsayısı veya varyans gözlenmektedir (Jakus, 1959; Aydın, 2005; Yüksel, 2022).

Araştırmacılar tarafından karst akiferlerindeki hidrodinamik davranışların belirlenmesine yönelik birçok yöntem ortaya konulmuştur. Örneğin; yıllık en yüksek debinin ( $Q_{max}$ ) yıllık en düşük debiye ( $Q_{min}$ ) oranı ile değerlendirme yapılabilmektedir (Worthington, 1991; Ekmekçi vd., 2003). Söz konusu oranın yüksek olması ve yıl içerisinde kaynak boşalımının sürekli olması “tam akımlı kaynakları, oranın düşük ve yıl içerisinde kaynak boşalımının sürekli olması ise “dip savak akımlı” kaynakları işaret etmektedir. Ancak kaynakların yıl içerisinde kurumaması, yıllık en yüksek ve düşük debilerinin oranının  $\infty$ 'a doğru artması ise “dolu savak” veya “dip savak-dolu savak” kaynakları işaret etmektedir (Çizelge 5.3, Worthington, 1991; Ekmekçi vd., 2003; Aydın, 2005; Yüksel, 2022).

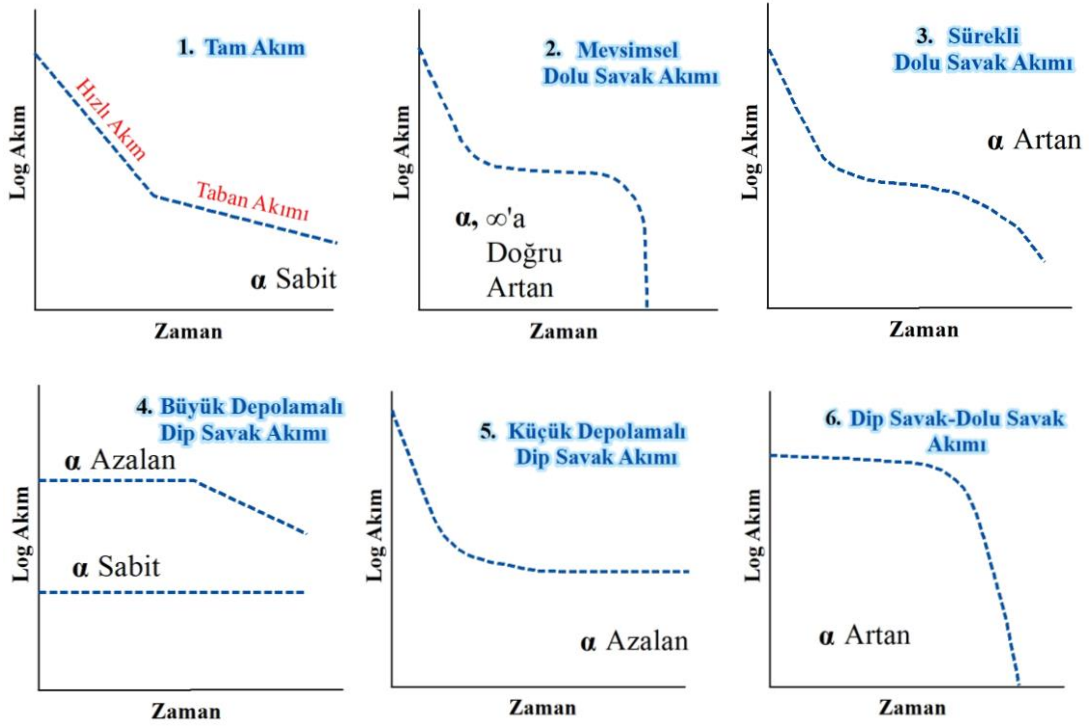
Yıl içerisinde düzenli olarak kaynak akım ölçümlerinin bulunmaması ve kaynaklarda  $Q_{min}$  ve  $Q_{max}$  oranının belirlenmesindeki güçlükler nedeniyle Çizelge 5.3’de belirtilen sınıflandırmanın pratikte uygulanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Ancak kaynakların sınıflandırılmasında, hızlı ve taban akım bileşenlerinden oluşan akım hidrografları kullanılabilir. Worthington (1991) gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, akifer geometrisi ve sınır koşulları ile akifere ait hidrodinamik özelliklerinin akım hidrografının şeklinde belirleyici olduğunu ifade etmiş olup, bu kapsamda kaynak

çekilme eğrisinin şekli ve çekilme katsayısına göre belirlediği kaynak sınıflamaları (Şekil 5.3, Worthington, 1991) aşağıda verilmektedir.

Çizelge 5.3. Kaynak türünün debi değişimine bağlı olarak sınıflandırılması (Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003; Aydın, 2005; Yüksel, 2022)

Kaynak Türü	$Q_{max}/Q_{min}$	Q
Tam Akım	Yüksek	Sürekli
Dip Savak	Düşük	Sürekli
Dolu Savak	$\infty$	Mevsimsel
Dip Savak - Dolu Savak	$\infty$	Mevsimsel

1. Tam akımlı (fullflow) kaynaklar, doğrusal log-normal çekilme karakteristiğine sahiptir. Yıl boyunca sürekli olarak boşalım sağlarlar ve içerdikleri hızlı akım ve taban akım bileşenleriyle belirlenirler. Çekilme katsayısı sabittir,
2. Mevsimsel dolu savak akımlı kaynaklar, yıl içinde minimum boşalım değerinin sıfır olduğu kaynaklardır. Çekilme katsayısı zamanla artar ve  $\infty$ 'a doğru yaklaşır. Bu kaynaklar mevsimsel kaynak (seasonal overflow) özelliği göstermektedir,
3. Sürekli dolu savak akımlı kaynaklar, artan bir çekilme katsayısına sahiptir ve yıl boyunca sıfırdan büyük bir boşalım gösterirler (perennial overflow),
4. Büyük depolamalı, dip savak akımlı kaynaklar, kaynak çıkışının boyutuna ve akifer sistemine bağlı olarak değişen bir çekilme akış katsayısı ile karakterize edilir. Hızlı akım bileşeni olmadan, çekilme eğrisinde gözlenen akış azalır veya sabit kalır (losing or high-stage underflow),
5. Küçük depolamalı, dip savak akımlı kaynaklar, kaynak hidrografının taban akım bileşeninin uzun süreli olduğu, akarsu veya benzeri bir kaynaktan beslenen akifer sistemlerinin boşalmasını temsil eder (gaining or low-stage underflow). Çekilme katsayısı azalır ve boşalım zamanla azalır,
6. Dolu savak - dip savak akımlı kaynaklar, çekilme katsayısının arttığı ve yıl boyunca boşalmanın sıfır olduğu kaynaklardır (overflow-underflow).



Şekil 5.3. Çekilme eğrisi şekline göre kaynakların sınıflandırılması (Worthington, 1991).

Zerban ve Havşari kaynaklarının uzun yıllar (1984-2021) yıllık ortalama debileri ile yıl içerisindeki en düşük ( $Q_{min}$ ) ve en yüksek ( $Q_{max}$ ) debi değerleri Çizelge 5.4'de sunulmuştur. Zerban Kaynağı ve Havşari Kaynağı'nda  $Q_{max}/Q_{min}$  oranı sırasıyla 1.76 ile 7.57 ve 1.52 ile 5.32 aralığında olup, ortalamaları sırasıyla 3.47 ve 2.41 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca yine aynı zaman aralığında her yıl için hesaplanmış olan değişim katsayısı ( $CV(\%) = [(SD_Q/Q_{ort}) \times 100]$ ) Zerban Kaynağı'nda en düşük %16.4 ve en yüksek %62.2 olup, uzun yıllar ortalama CV ise %35.6 olarak hesaplanmıştır. Havşari Kaynağı'nda ortalama CV değeri %25.6 olup en düşük ve en yüksek CV değeri sırası ile %13.1 ve %41.5 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.4).

Heterojenite ve anizotropinin ileri derecede olduğu Harmanköy-Beyayla (Bilecik) karst akiferi için Aydın vd. (2013) tarafından hesaplanan  $Q_{max}/Q_{min}$  oranı (4.04), Zerban ve Havşari kaynakları için hesaplanan  $Q_{max}/Q_{min}$  oranları (3.47 ve 2.41) ile kıyaslandığında daha düşük olmakla birlikte birbirine yakındır. Yüksel (2022) tarafından gerçekleştirilen tez çalışmasında kısmen karstik kanallarda, baskın olarak kırık-çatlak sistemleri boyunca

yaygın akımın gözlemlendiği Çokrağan (Uşak-Banaz) karst sisteminde hesaplanan  $Q_{max}/Q_{min}$  oranı (5.1) ile kıyaslandığında ise bu oranlar daha düşük elde edilmiştir.

Çizelge 5.4. Zerban ve Havşari kaynaklarının 1984-2021 yılları arası akım istatistikleri

Yıl	Zerban Kaynağı						Havşari Kaynağı					
	$Q_{ort}$	$STD_Q$	$Q_{max}$	$Q_{min}$	$Q_{max}/Q_{min}$	$CV_Q$	$Q_{ort}$	$STD_Q$	$Q_{max}$	$Q_{min}$	$Q_{max}/Q_{min}$	$CV_Q$
	$(m^3/s)$						$(m^3/s)$					
	%						%					
1984	0.705	0.232	1.091	0.405	2.69	33.0	0.922	0.241	1.360	0.636	2.14	26.1
1985	0.565	0.244	1.126	0.265	4.25	43.3	0.825	0.258	1.439	0.507	2.84	31.3
1986	0.516	0.198	0.892	0.189	4.72	38.3	0.751	0.145	1.023	0.597	1.71	19.3
1987	0.774	0.418	1.624	0.273	5.95	53.9	1.058	0.439	1.874	0.352	5.32	41.5
1988	0.772	0.160	1.098	0.499	2.20	20.7	1.092	0.149	1.449	0.947	1.53	13.6
1989	0.677	0.153	1.033	0.426	2.42	22.7	0.914	0.153	1.303	0.761	1.71	16.8
1990	0.675	0.324	1.500	0.371	4.04	48.0	0.876	0.342	1.819	0.658	2.76	39.0
1991	0.542	0.130	0.728	0.341	2.13	24.0	0.755	0.161	1.062	0.522	2.03	21.3
1992	0.614	0.147	0.970	0.444	2.18	24.0	0.875	0.175	1.261	0.656	1.92	20.0
1993	0.712	0.216	1.158	0.465	2.49	30.4	0.899	0.160	1.295	0.812	1.59	17.8
1994	0.609	0.227	1.026	0.314	3.27	37.4	0.889	0.206	1.286	0.612	2.10	23.2
1995	0.705	0.233	1.173	0.466	2.52	33.0	0.940	0.213	1.335	0.700	1.91	22.7
1996	0.810	0.237	1.220	0.495	2.46	29.3	0.946	0.162	1.253	0.756	1.66	17.2
1997	0.667	0.210	1.080	0.390	2.77	31.5	0.800	0.193	1.194	0.579	2.06	24.1
1998	0.626	0.133	0.894	0.493	1.81	21.3	0.859	0.152	1.199	0.735	1.63	17.7
1999	0.610	0.202	1.082	0.359	3.01	33.1	0.790	0.183	1.103	0.532	2.07	23.2
2000	0.575	0.314	1.210	0.211	5.73	54.6	0.867	0.322	1.493	0.452	3.30	37.1
2001	0.560	0.191	0.962	0.399	2.41	34.1	0.829	0.199	1.215	0.581	2.09	24.1
2002	0.638	0.282	1.130	0.222	5.09	44.3	0.906	0.347	1.403	0.417	3.36	38.2
2003	0.693	0.232	0.995	0.327	3.04	33.5	0.882	0.255	1.252	0.417	3.00	28.9
2004	0.844	0.293	1.297	0.411	3.16	34.8	1.095	0.316	1.552	0.595	2.61	28.8
2005	0.610	0.184	1.026	0.373	2.75	30.2	0.832	0.218	1.315	0.552	2.38	26.2
2006	0.749	0.201	1.035	0.317	3.26	26.9	0.969	0.188	1.297	0.519	2.50	19.4
2007	0.523	0.172	0.938	0.323	2.90	32.9	0.806	0.189	1.148	0.446	2.57	23.5
2008	0.587	0.096	0.792	0.451	1.76	16.4	0.795	0.104	0.973	0.640	1.52	13.1
2009	0.505	0.203	0.941	0.266	3.54	40.2	0.723	0.208	1.135	0.363	3.13	28.8
2010	0.519	0.164	0.868	0.280	3.10	31.6	0.698	0.146	0.941	0.447	2.11	20.9
2011	0.562	0.195	0.998	0.322	3.10	34.7	0.793	0.191	1.219	0.558	2.18	24.0
2012	0.683	0.271	1.324	0.423	3.13	39.6	0.911	0.265	1.537	0.657	2.34	29.0
2013	0.609	0.194	0.963	0.302	3.19	31.8	0.817	0.206	1.285	0.539	2.39	25.2
2014	0.498	0.187	0.861	0.292	2.95	37.6	0.730	0.183	1.085	0.529	2.05	25.1
2015	0.763	0.342	1.450	0.239	6.07	44.8	1.021	0.335	1.661	0.477	3.48	32.8
2016	0.444	0.211	0.794	0.195	4.07	47.5	0.670	0.206	1.019	0.434	2.35	30.8
2017	0.401	0.161	0.674	0.141	4.78	40.1	0.626	0.157	0.902	0.381	2.37	25.1
2018	0.454	0.282	1.226	0.162	7.57	62.2	0.673	0.276	1.442	0.402	3.59	41.0
2019	0.609	0.273	1.256	0.299	4.20	44.8	0.858	0.267	1.471	0.536	2.75	31.1
2020	0.580	0.217	0.955	0.252	3.79	37.4	0.863	0.212	1.177	0.490	2.40	24.6
2021	0.461	0.135	0.742	0.236	3.14	29.3	0.672	0.132	0.969	0.474	2.04	19.7
Ort	0.617	0.218	1.056	0.333	3.47	35.6	0.848	0.217	1.283	0.560	2.41	25.6
Min	0.401	0.096	0.674	0.141	1.76	16.4	0.626	0.104	0.902	0.352	1.52	13.1
Max	0.844	0.418	1.624	0.499	7.57	62.2	1.095	0.439	1.874	0.947	5.32	41.5

Ayrıca, Aydın vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen değerlendirmede beslenimin baskın olarak noktasal, yeraltısuyu dolaşım ve depolamasının ise karstik kanallar boyunca

gerçekleştiği akifer sistemlerinde kaynak boşalımlarının CV değerlerinin yüksek (%70-140) olarak gözlemlendiği ifade edilmiştir. Yüksel (2022) tarafından gerçekleştirilen tez çalışmasında ise CV değerlerinin %19.6 ile %107.2 arasında değiştiği, söz konusu değerlerin, Çokrağan karst sisteminde yaygın beslenme ve yaygın dolaşım koşullarının hakim olduğu, akiferdeki dolaşımın baskın olarak kırık-çatlak sistemleri, kısmen karstik kanallar boyunca meydana geldiği şeklinde yorumlanmış olup, Çokrağan Kaynağı, “sürekli dip savak akımlı” kaynak olarak sınıflandırılmıştır.

1984-2021 yılları arasında Zerban kaynağında ölçülmüş olan akım değerlerinden hesaplanan CV değerleri %16.4 ile %62.2 arasında değişmektedir (Çizelge 5.4). Zerban Kaynağı için hesaplanan söz konusu CV değerlerinin nispeten düşük olması bu akifer sisteminde yağışlardan itibaren yaygın beslenimin hakim olduğu ve akiferdeki dolaşım koşullarının ise baskın olarak kırık-çatlak sistemleri ve kısmen karstik kanallar boyunca yaygın olarak gerçekleştiğini işaret etmektedir. Buna göre; sistemde boşalımı sağlayan Zerban Kaynağı düşük CV ve  $Q_{max}/Q_{min}$  oranı nedeniyle yaygın beslenme ve dolaşım koşullarının baskın olduğu “sürekli dip savak akımlı” kaynak olarak sınıflandırılmıştır.

1984-2021 yılları arasında Havşari kaynağında ölçülmüş olan akım değerlerinden hesaplanan CV değerleri %13.1 ile %41.5 arasında değişmektedir (Çizelge 5.4). Havşari Kaynağı için hesaplanan söz konusu CV değerlerinin önceki farklı çalışmalarda araştırılan karst kaynakları ile Zerban Kaynağı'na göre çok daha düşük olması bu akifer sisteminde yağışlardan itibaren yaygın beslenimin hakim olduğu ve akiferdeki dolaşım koşullarının ise baskın olarak kırık-çatlak sistemleri ve kısmen karstik kanallar boyunca yaygın olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Buna göre; Havşari Kaynağı düşük CV ve  $Q_{max}/Q_{min}$  oranı nedeniyle yaygın beslenme ve dolaşım koşullarının baskın olduğu “sürekli dip savak akımlı” kaynak olarak sınıflandırılmıştır.

### **5.3. Kaynak Çekilme Analizi**

Kaynaklarda ölçülmüş olan akım değerleri ile oluşturulan hidrograflar genellikle şekil olarak birbirlerine benzemekte olup, bir akifer sisteminden veya kaynak boşalımından bir diğerine farklılık göstermektedir. Kaynak akım hidrograflarının şeklini, iletimlilik



katsayısı, depolama katsayısı ve hidrolik gradyan gibi akifere ait hidrodinamik özelliklerin yanı sıra akiferin geometrisi ve sınır koşulları, beslenme alanının jeomorfolojisi ve beslenme rejimi de etkilemektedir (Eisenlohr, 1996; Dewandel vd., 2003; Kovacs vd., 2005; Aydın, 2005; Yüksel, 2022).

Tallaksen (1995)'de, kaynak çekilme analiz sonucunda elde edilen çekilme katsayılarının, akiferin farklı bölgelerini temsil ettiği ve bu bölgelere ait iletkenlik ve depolama katsayıları ile orantılı olarak değiştiği belirtilmektedir. Düşük kaynak çekilme katsayısı, akiferde yüksek depolama ve düşük iletkenliği işaret ederken, yüksek kaynak çekilme katsayısı ise düşük depolama ve yüksek iletkenliği ifade etmektedir. Yapılan çalışmalar, kaynak çekilme katsayısının, karstik kanal sistemlerinin artması veya yoğunlaşması ile arttığını göstermektedir. Ayrıca, literatür çalışmaları akifere ait hidrolik ve geometrik parametrelerin çekilme katsayısı ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Bear, 1979; Milanovic, 1981; Kiraly, 1985; Eisenlohr, 1996; Cornaton, 1999; Kovacs vd., 2005; Aydın, 2005; Yüksel, 2022).

Tez çalışmasında, Zerban ve Havşari kaynaklarının 1984-2021 yılları arasına ait debi değerleri kullanılarak gözlem süresi boyunca tüm çekilme dönemleri için Maillet Eşitliği (Maillet, 1905) kullanılarak kaynak çekilme analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Maillet Eşitliği'nden kümülatif değerlendirme yapan ve Posavec vd. (2010) tarafından geliştirilen Master Curve Analysis (MRC) bilgisayar programı kullanılarak kaynak çekilme analizleri değerlendirilmiştir. Maillet (1905) eşitliği kullanılarak belirli bir t zamanında kaynaktan boşalan su miktarı :

$$Q_t = Q_0 x e^{-\alpha t} \quad (5.1)$$

$$\alpha = \frac{\log Q_t - \log Q_0}{t x \log e} \quad (5.2)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Ayrıca bu eşitlikten itibaren akiferin toplam depolaması, çekilme dönemleri boyunca kaynaktan boşalan su miktarı, çekilme dönemi sonunda

rezervuarda kalan su miktarı ve iki çekilme dönemi arasında meydana gelen efektif yağış/beslenme miktarı aşağıda belirtilen denklemler ile belirlenebilmektedir:

$$V_s = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (5.3)$$

$$V_d = \frac{Q_0}{-\alpha} x [e^{-\alpha t}]_0^t \quad (5.4)$$

$$V_r = V_s - V_d \quad (5.5)$$

$$P_e = V_{S_t} - V_{r_{t-1}} \quad (5.6)$$

Söz konusu eşitliklerde;

$Q_0$ : kaynağın çekilmeye başladığı andaki debisi ( $L^3/T$ ),

$Q_t$ : kaynağın  $t$  anındaki debisi ( $L^3/T$ ),

$\alpha$ : kaynak çekilme katsayısı ( $T^{-1}$ ),

$t$ : çekilme süresi (T),

$V_s$ : akiferin toplam depolama kapasitesi ( $L^3$ ),

$V_d$ : çekilme dönemi boyunca akiferden boşalan su miktarı ( $L^3$ ),

$V_r$ : çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarı ( $L^3$ ),

$P_e$ : efektif yağış miktarı ( $L^3$ ),

$V_{S_t}$ :  $t$  yılında akiferin toplam hacmi ( $L^3$ ),

$V_{r_{t-1}}$ : bir önceki yılda akiferde kalan su miktarı ( $L^3$ ).

MRC (Maillet Residual Cumulative) yöntemi, (Posavedvd., 2010) kaynak boşalımlarını değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde, akım veri setindeki farklı çekilme dönemlerini belirlemek için debi-süreklilik yaklaşımı kullanılmaktadır. Birden fazla çekilme dönemi varsa, her çekilme dönemine ait akım duraylılık yüzdesi hesaplanmakta ve takip eden çekilme döneminin başlangıç debisi belirlenmektedir. En uygun akım-süreklilik yüzdesi, çekilme dönemleri için hesaplanan MRC'lerin en yüksek ortalama regresyon katsayısına göre seçilmektedir (Posavec vd., 2010).

Her çekilme dönemi farklı zamanlarda kaydedilen ve farklı eğimlere sahip olduğundan, belirlenen MRC'ler, belirli bir koşul altında en olası çekilme senaryosunu temsil etmektedir (Nathan ve McMahon, 1990). Bu nedenle, hesaplanan çekilme sayısı ve/veya katsayıları kullanılarak elde edilen akifer parametreleri, akiferin genel özelliklerini ortaya koymaktadır (Posavec vd., 2010).

$$Q_t = \sum_{i=0}^N Q_i e^{-\alpha_i t} \quad (5.7)$$

Eşitlikte;

N: çekilme dönemi sayısı,

$Q_t$ : N toplam çekilme dönemindeki t zamanındaki debi ( $L^3/T$ ),

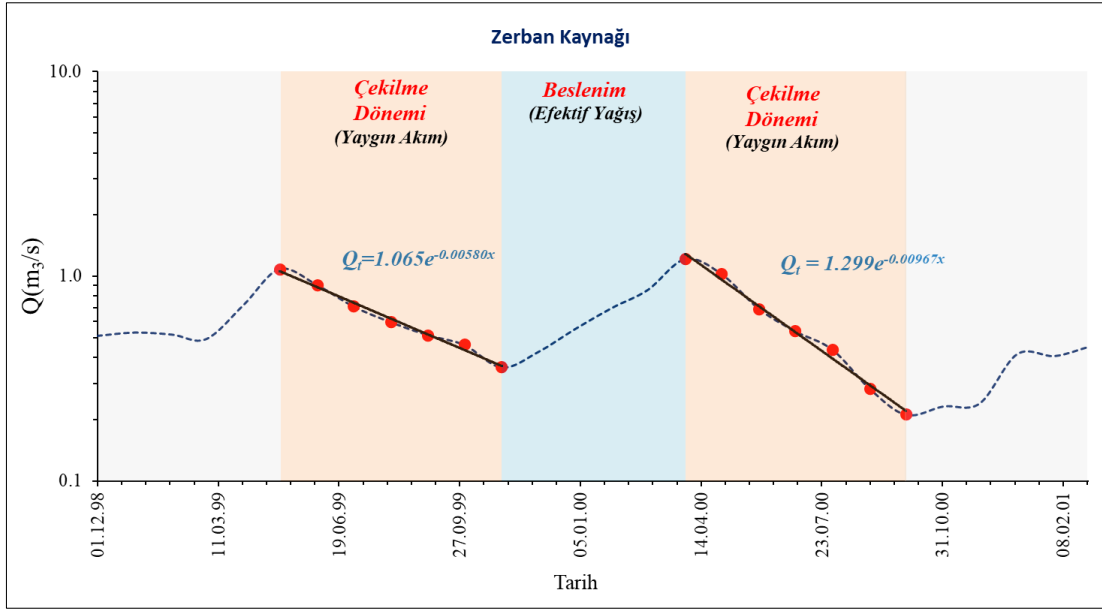
$Q_i$ : her bir çekilme döneminde kaynağın azalmaya başladığı andaki debisi ( $L^3/T$ ),

$\alpha_i$ : her bir çekilme dönemine ait kaynak çekilme katsayısı ( $T^{-1}$ ),

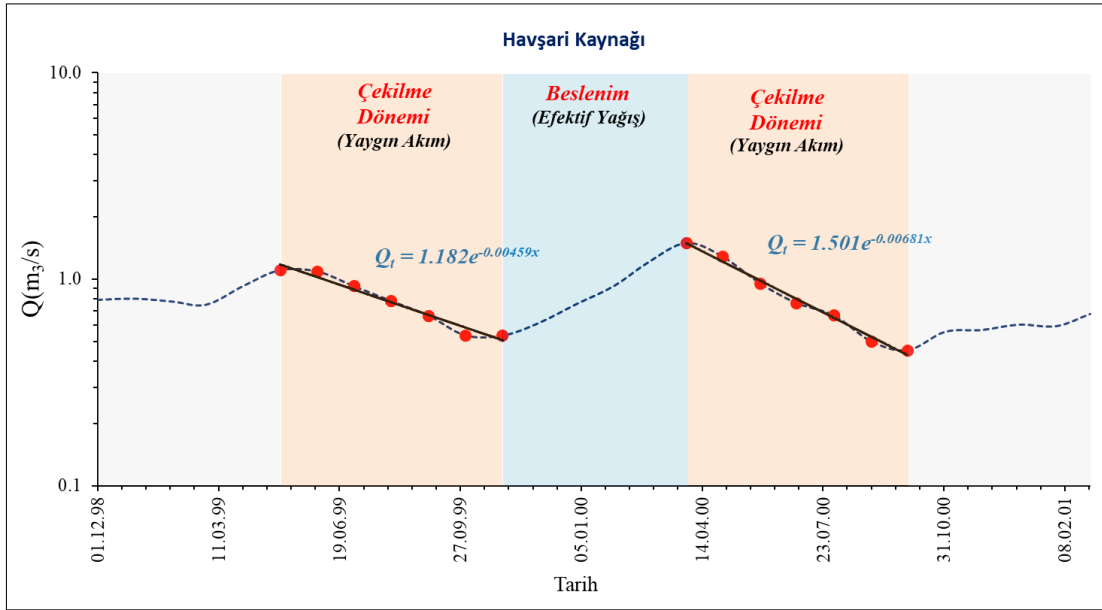
t: çekilme süresi (T).

Zerban ve Havşari kaynaklarına ait 1984-2022 yılları arası aylık ortalama akım verileri için çekilme dönemleri belirlenmiş olup, her bir çekilme dönemi için Maillet Eşitliği ile kaynak çekilme analizi gerçekleştirilmiştir. Zerban ve Havşari kaynakları için 1999-2001 yıllarına ait örnek çekilme analizi grafikleri sırasıyla Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiş olup ayrıca, her iki kaynak için de çekilme analiz sonuçları sırası ile Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te sunulmaktadır.

Zerban ve Havşari kaynakları 1984-2022 yılları arasındaki sürede her bir çekilme döneminde tek çekilme eğrisi ile temsil edilmektedir. Söz konusu yıllar arası kaynak çekilme süreleri incelendiğinde Zerban Kaynağı'nda çekilme ortalama 184 gün sürmüştür olup, en az 123 gün ve en fazla ise 245 gün sürmüştür, Havşari Kaynağı'nda ise çekilme ortalama 181 gün sürmüştür olup, en az 123 gün ve en fazla ise 245 gün sürmüştür. Zerban kaynağında çekilme dönemlerinde kaynak çekilme katsayısı  $0.00420 \text{ gün}^{-1}$  ve  $0.00967 \text{ gün}^{-1}$  arasında değişirken, ortalama kaynak çekilme katsayısı ise  $0.00637 \text{ gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.5). Havşari kaynağında ortalama kaynak çekilme katsayısı  $0.00437 \text{ gün}^{-1}$  olarak hesaplanmış olup, en düşük ve en yüksek çekilme katsayıları ise  $0.00334 \text{ gün}^{-1}$  ve  $0.00681 \text{ gün}^{-1}$  arasında değişmektedir (Çizelge 5.6).



Şekil 5.4. Zerban Kaynağı 1999-2001 yılları arası çekilme grafiği.



Şekil 5.5. Havşari Kaynağı 1999-2001 yılları arası çekilme grafiği.

Çizelge 5.5. Zerban Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları (Maillet Yöntemi)

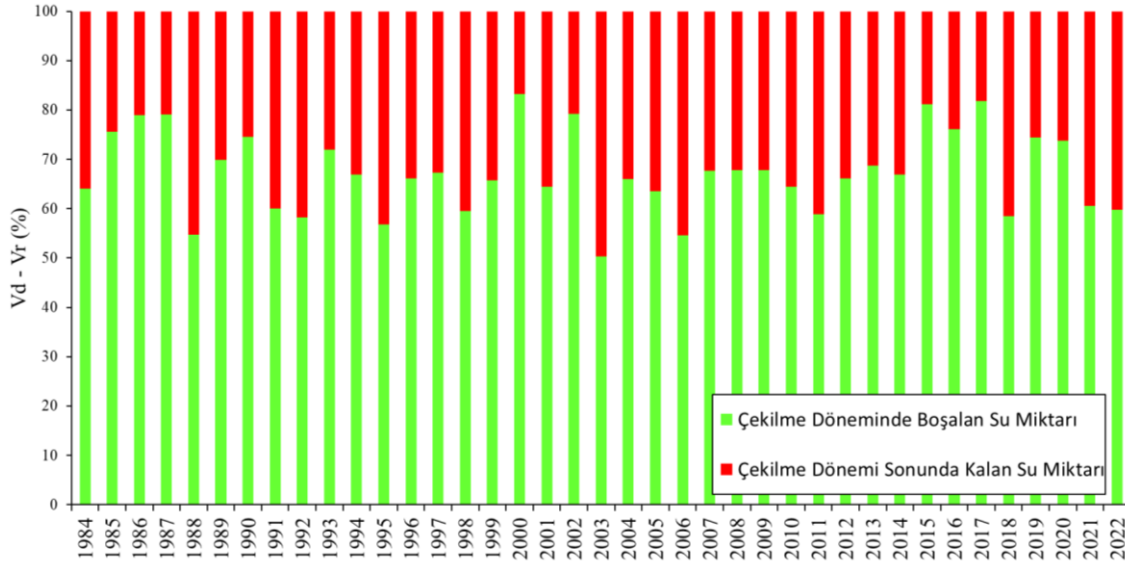
Yıl	Q <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>t</sub>	α (1/gün)	t (gün)	V <sub>s</sub>	V <sub>d</sub> (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	V <sub>r</sub>	V <sub>d</sub> (%)	V <sub>r</sub> (%)	P <sub>e</sub> (mm)	(%)	
1984	1.089	0.405	0.00664	154	14.175	9.077	5.098	64.0	36.0			
1985	1.147	0.280	0.00915	154	10.827	8.181	2.646	75.6	24.4	5.728	97.8	10.2
1986	1.000	0.189	0.00847	184	10.198	8.052	2.146	79.0	21.0	7.552	128.9	13.5
1987	1.637	0.319	0.00727	215	19.452	15.377	4.075	79.1	20.9	17.306	295.3	30.9
1988	1.115	0.499	0.00515	154	18.698	10.239	8.460	54.8	45.2	14.623	249.5	26.1
1989	1.172	0.337	0.00491	244	20.616	14.394	6.222	69.8	30.2	12.156	207.4	21.7
1990	1.371	0.367	0.00753	182	15.729	11.734	3.995	74.6	25.4	9.508	162.2	17.0
1991	0.823	0.331	0.00426	215	16.688	10.010	6.678	60.0	40.0	12.693	216.6	22.7
1992	0.848	0.344	0.00471	185	15.549	9.044	6.506	58.2	41.8	8.871	151.4	15.9
1993	1.315	0.361	0.00519	245	21.893	15.754	6.139	72.0	28.0	15.388	262.6	27.5
1994	1.075	0.354	0.00514	215	18.062	12.080	5.982	66.9	33.1	11.923	203.5	21.3
1995	1.197	0.508	0.00545	154	18.982	10.781	8.200	56.8	43.2	13.000	221.8	23.2
1996	1.328	0.437	0.00503	215	22.812	15.076	7.736	66.1	33.9	14.612	249.3	26.1
1997	1.045	0.355	0.00604	185	14.944	10.056	4.889	67.3	32.7	7.209	123.0	12.9
1998	0.943	0.403	0.00420	215	19.395	11.533	7.862	59.5	40.5	14.506	247.5	25.9
1999	1.065	0.359	0.00580	185	15.861	10.437	5.424	65.8	34.2	7.999	136.5	14.3
2000	1.299	0.211	0.00967	184	11.386	9.471	1.914	83.2	16.8	5.962	101.7	10.7
2001	0.832	0.299	0.00561	184	12.809	8.246	4.563	64.4	35.6	10.895	185.9	19.5
2002	1.127	0.222	0.00732	215	13.298	10.542	2.756	79.3	20.7	8.735	149.1	15.6
2003	1.127	0.552	0.00455	154	21.407	10.784	10.623	50.4	49.6	18.651	318.3	33.3
2004	1.391	0.451	0.00584	185	20.579	13.593	6.986	66.1	33.9	9.955	169.9	17.8
2005	1.079	0.373	0.00656	154	14.206	9.033	5.173	63.6	36.4	7.220	123.2	12.9
2006	1.022	0.498	0.00641	123	13.775	7.514	6.262	54.5	45.5	8.603	146.8	15.4
2007	0.968	0.313	0.00734	154	11.392	7.713	3.679	67.7	32.3	5.131	87.6	9.2
2008	0.939	0.305	0.00736	154	11.026	7.476	3.549	67.8	32.2	7.347	125.4	13.1
2009	0.939	0.305	0.00736	154	11.026	7.476	3.549	67.8	32.2	7.476	127.6	13.4
2010	0.896	0.310	0.00672	154	11.524	7.430	4.094	64.5	35.5	7.974	136.1	14.3
2011	1.016	0.393	0.00576	154	15.236	8.961	6.275	58.8	41.2	11.142	190.1	19.9
2012	1.306	0.466	0.00703	154	16.046	10.611	5.435	66.1	33.9	9.771	166.7	17.5
2013	1.019	0.302	0.00540	215	16.301	11.196	5.105	68.7	31.3	10.866	185.4	19.4
2014	0.836	0.292	0.00601	184	12.014	8.038	3.976	66.9	33.1	6.909	117.9	12.4
2015	1.491	0.275	0.00680	245	18.942	15.362	3.580	81.1	18.9	14.966	255.4	26.8
2016	0.779	0.195	0.00667	215	10.095	7.689	2.406	76.2	23.8	6.515	111.2	11.6
2017	0.923	0.165	0.00792	215	10.071	8.237	1.835	81.8	18.2	7.665	130.8	13.7
2018	0.736	0.293	0.00571	154	11.130	6.510	4.620	58.5	41.5	9.295	158.6	16.6
2019	1.302	0.299	0.00885	154	12.708	9.455	3.252	74.4	25.6	8.088	138.0	14.5
2020	1.029	0.252	0.00724	185	12.274	9.058	3.216	73.8	26.2	9.022	154.0	16.1
2021	0.780	0.305	0.00506	184	13.325	8.073	5.252	60.6	39.4	10.110	172.5	18.1
Min	0.736	0.165	0.00420	123	10.071	6.510	1.835	50.4	16.8	5.131	87.6	9.2
Max	1.637	0.552	0.00967	245	22.812	15.754	10.623	83.2	49.6	18.651	318.3	33.3
Ort	1.079	0.340	0.00637	184	15.117	10.113	5.004	67.5	32.5	10.145	173.1	18.1

Çizelge 5.6. Havşari Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları (Maillet Yöntemi)

Yıl	Q <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>t</sub>	α (1/gün)	t (gün)	V <sub>s</sub>	V <sub>d</sub> (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	V <sub>r</sub>	V <sub>d</sub> (%)	V <sub>r</sub>	P <sub>e</sub> (×10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
1984	1.310	0.546	0.00472	184	23.975	13.916	10.060	58.0	42.0	
1985	1.396	0.581	0.00560	154	21.534	12.444	9.091	57.8	42.2	11.474
1986	1.038	0.597	0.00366	154	24.512	10.561	13.951	43.1	56.9	15.422
1987	1.877	0.552	0.00555	215	29.222	20.361	8.861	69.7	30.3	15.272
1988	1.482	0.714	0.00379	185	33.778	17.024	16.754	50.4	49.6	24.917
1989	1.286	0.616	0.00411	185	27.043	14.401	12.643	53.2	46.8	10.289
1990	1.368	0.598	0.00496	182	23.835	14.171	9.664	59.5	40.5	11.192
1991	1.006	0.508	0.00343	215	25.328	13.213	12.115	52.2	47.8	15.664
1992	1.185	0.701	0.00386	154	26.530	11.889	14.641	44.8	55.2	14.415
1993	1.180	0.584	0.00361	185	28.237	13.757	14.480	48.7	51.3	13.596
1994	1.359	0.612	0.00453	185	25.923	14.710	11.213	56.7	43.3	11.443
1995	1.497	0.700	0.00475	154	27.227	14.125	13.101	51.9	48.1	16.014
1996	1.261	0.655	0.00350	185	31.129	14.837	16.291	47.7	52.3	18.028
1997	1.147	0.539	0.00426	185	23.264	12.686	10.578	54.5	45.5	6.973
1998	1.203	0.585	0.00349	215	29.772	15.714	14.058	52.8	47.2	19.194
1999	1.182	0.532	0.00459	185	23.209	12.714	10.495	54.8	45.2	9.151
2000	1.501	0.552	0.00681	184	24.405	14.407	9.998	59.0	41.0	13.910
2001	1.108	0.581	0.00334	184	28.670	13.163	15.507	45.9	54.1	18.672
2002	1.372	0.492	0.00476	215	24.912	15.959	8.953	64.1	35.9	9.405
2003	1.214	0.672	0.00394	154	26.627	12.112	14.515	45.5	54.5	17.675
2004	1.639	0.675	0.00463	185	30.582	17.596	12.986	57.5	42.5	16.067
2005	1.372	0.552	0.00524	154	22.630	12.532	10.098	55.4	44.6	9.644
2006	1.135	0.652	0.00447	123	21.942	9.280	12.662	42.3	57.7	11.844
2007	1.130	0.646	0.00447	124	21.837	9.292	12.545	42.6	57.4	9.176
2008	1.095	0.555	0.00386	185	24.506	12.507	11.999	51.0	49.0	11.961
2009	1.079	0.491	0.00413	184	22.583	12.021	10.562	53.2	46.8	10.584
2010	1.011	0.507	0.00433	154	20.175	9.819	10.357	48.7	51.3	9.613
2011	1.221	0.628	0.00412	154	25.600	12.026	13.573	47.0	53.0	15.243
2012	1.504	0.699	0.00532	154	24.429	13.662	10.767	55.9	44.1	10.856
2013	1.297	0.439	0.00494	215	22.689	14.845	7.844	65.4	34.6	11.922
2014	1.045	0.529	0.00399	184	22.633	11.771	10.862	52.0	48.0	14.788
2015	1.608	0.507	0.00462	245	30.077	20.379	9.697	67.8	32.2	19.215
2016	0.973	0.434	0.00402	215	20.920	12.106	8.815	57.9	42.1	11.223
2017	1.038	0.401	0.00445	215	20.163	12.418	7.745	61.6	38.4	11.348
2018	1.146	0.530	0.00425	185	23.303	12.687	10.616	54.4	45.6	15.558
2019	1.366	0.636	0.00428	185	27.575	15.082	12.492	54.7	45.3	16.959
2020	1.230	0.590	0.00389	185	27.322	14.018	13.304	51.3	48.7	14.830
2021	0.960	0.491	0.00367	184	22.594	11.093	11.501	49.1	50.9	9.290
Min	0.960	0.401	0.00334	123	20.163	9.280	7.745	42.3	30.3	6.973
Maks	1.877	0.714	0.00681	245	33.778	20.379	16.754	69.7	57.7	24.917
Ort	1.259	0.576	0.00437	181	25.281	13.560	11.721	53.6	46.4	13.590

Zerban Kaynağı karst akiferinin depolamadaki en düşük toplam hacmi 10.071 hm<sup>3</sup> ve en yüksek toplam hacmi ise 22.812 hm<sup>3</sup> olup, ortalama toplam hacmi ise 15.117 hm<sup>3</sup> olarak

hesaplanmıştır. Zerban kaynağı karst akifer sisteminde depolanan suyun yaklaşık %50.4'ü ile %83.2'si çekilme dönemi boyunca boşalırken, ortalama %67.5'i çekilme dönemi süresince boşalmaktadır. Çekilme dönemi süresince Zerban Kaynağı karst akiferinin toplam depolama kapasitesinin ortalama %32.5'i (min-max: %16.8-%49.6) çekilme dönemleri sonunda akiferde kalmaktadır (Şekil 5.6; Çizelge 5.5).

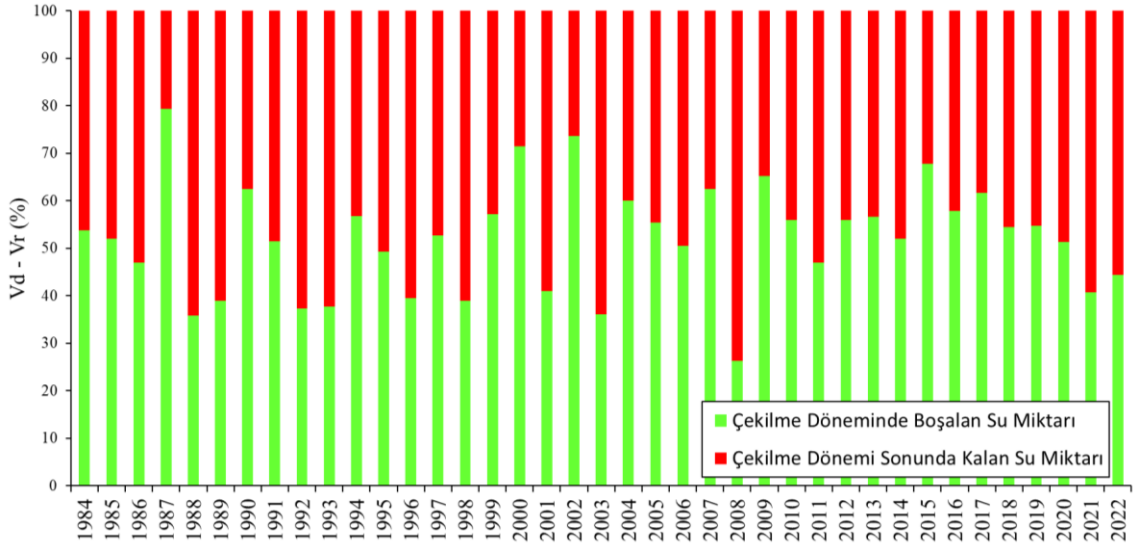


Şekil 5.6. Zerban Kaynağı 1984-2022 yılları arası  $V_d-V_r$  ilişkisi (Maillet Yöntemi).

Havşari Kaynağı akifer sisteminde ise depolamadaki en düşük ve en yüksek toplam hacim  $20.163 \text{ hm}^3$  ile  $33.778 \text{ hm}^3$  arasında değişirken ortalama toplam hacim ise  $25.281 \text{ hm}^3$  olarak hesaplanmıştır. Havşari sisteminde çekilme döneminde depolanan suların %42.3'ü ile %69.7'si çekilme süresince akiferden boşalırken, ortalama ise depolanan toplam hacmin %53.6'sına karşılık gelmektedir. Havşari sisteminde toplam depolama kapasitesinin ortalama %46.6'sı (min-max: %30.3-%57.7) çekilme dönemi sonunda akiferde kalmaktadır (Şekil 5.7; Çizelge 5.6).

Kaynak çekilme analizlerinde ardışık iki yılın verisi değerlendirilerek efektif yağış (beslenim) miktarı hesaplanabilmektedir. Çekilme analizinde son yılın toplam hacmi ile bir önceki yıl akiferde kalan su miktarı arasındaki fark iki yıl arasındaki efektif yağış miktarına eşittir. Zerban ve Havşari kaynak sistemleri için efektif yağış miktarı hesaplanmış olup Şekil 5.4 ve 5.5'te örnek olarak 1999 ve 2001 yıllarına ait kaynak

çekilme analizi verilmektedir. Örneğin Zerban Kaynağı için, 2000 yılı akifer toplam hacmi ( $V_{t-2000}$ )  $11.386 \text{ hm}^3$  ve 1999 yılı çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarı ( $V_{r-1999}$ )  $5.424 \text{ hm}^3$  dikkate alındığında 1999 ile 2000 yılları arasında meydana gelen beslenme miktarı  $5.962 \text{ hm}^3$  olarak hesaplanmıştır. (Bkz. Çizelge 5.5). Benzer hesaplamalar, 1984-2021 yılları arası tüm yıllar için gerçekleştirilmiş olup, Zerban ve Havşari kaynakları için sırası ile Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.7. Havşari Kaynağı 1984-2022 yılları arası  $V_d-V_r$  ilişkisi (Maillet Yöntemi).

Çayderesi Formasyonu'na ait kireçtaşlarının yüzeylendiği, inceleme alanı ( $58.6 \text{ km}^2$ ) olarak belirlenmiş olan HZKS'de 1999-2000 yılları arasında Zerban Kaynağı için efektif yağış yüksekliği  $101.7 \text{ mm/yıl}$  olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanında 1999 yılı için kaydedilen uzun yıllar yıllık toplam yağış  $698.0 \text{ mm/yıl}$  ve 2000 yılı için ise  $867.1 \text{ mm/yıl}$  olup, bu yıllar için hesaplanmış olan efektif yağış miktarı kaydedilen yağış değerlerinin ortalama %12.5'ine karşılık gelmektedir. Çizelge 5.5'te görüldüğü üzere iki çekilme dönemi arasında Zerban Kaynağı akifer siteminde hesaplanan efektif yağış miktarı  $5.131 \text{ hm}^3$  ( $87.6 \text{ mm/yıl}$ ) ile  $18.651 \text{ hm}^3$  ( $318.3 \text{ mm/yıl}$ ) arasında değişmekte olup, ortalama  $10.145 \text{ hm}^3$  ( $173.1 \text{ mm/yıl}$ ) olarak elde edilmiştir. Elde edilen minimum, maksimum ve ortalama efektif yağış miktarları HZKS 1984-2021 uzun yıllar ortalama toplam yağış miktarının ( $954.6 \text{ mm/yıl}$ ) sırası ile %9.2, %33.3 ve %18.1'ine karşılık gelmektedir.

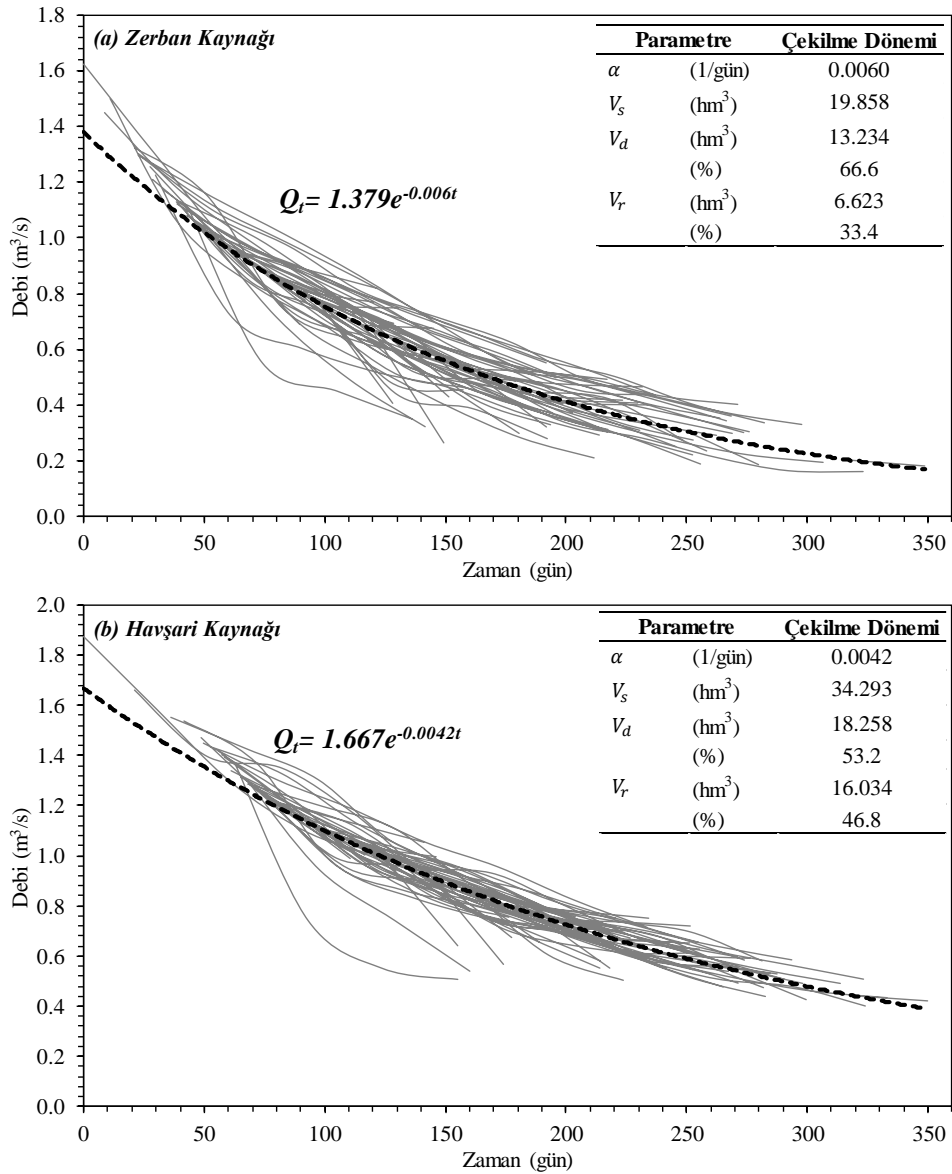


Maillet eşitliği ile gerçekleştirilen kaynak çekilme analizinin yanı sıra MRC yöntemi (Posavec vd., 2010) ile 1984-2021 yılları arasında Zerban ve Havşari kaynaklarının debileri ile çekilme katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 5.8a). Zerban Kaynağı akımları ile gerçekleştirilen MRC yöntemi çekilme analizleri sonucunda çekilme dönemi için çekilme katsayısı  $0.0060 \text{ gün}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Ayrıca yapılan değerlendirmeler sonucunda Zerban Kaynağı akiferinin toplam hacmi  $19.858 \text{ hm}^3$ , çekilme döneminde boşalan su hacmi  $13.234 \text{ hm}^3$  (%66.6), çekilme dönemi sonunda depoda kalan su hacmi ise  $6.623 \text{ hm}^3$  (%33.4) olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde MRC Yöntemi ile Havşari Kaynağı 1984-20221 yılları aylık ortalama akım değerleri analiz edildiğinde çekilme katsayısı  $0.0042 \text{ gün}^{-1}$  hesaplanmıştır. 1984-2021 yılları arası çekilme dönemleri süresince kaynak akiferinde depolanan toplam hacim  $34.293 \text{ hm}^3$  olup bu hacmin %53.2'si ( $18.258 \text{ hm}^3$ ) çekilme dönemi süresince akiferden boşalmakta ve % 46.8'i ( $16.034 \text{ hm}^3$ ) ise akiferde kalmaktadır (Şekil 5.8b).

HZKS kaynak akımlarının Maillet ve MCR yöntemleri ile değerlendirilmesi sonucunda birbirine yakın kaynak çekilme katsayıları elde edilmiştir. Kaynak çekilme analizleri ile yapılan değerlendirilmeler, HZKS'de yaygın akım koşullarının baskın olduğunu gösterirken, kaynak akiferlerinde nispeten iletimliliğin düşük ve depolamanın yüksek olduğu koşulları işaret etmektedir. Benzer durum ülkemizde tek çekilme eğrisi veya iki çekilme eğrisine sahip karst akiferlerinde de gözlenmekte olup söz konusu akiferlerin kaynak çekilme katsayıları Çizelge 5.7'de verilmektedir.

Çizelge 5.7. Kaynak çekilme analiz sonuçları

Akifer	Formasyon	$\alpha$ (1/gün)	Referans
Tacin Karst Kaynağı (Kayseri)	Kireçtaşı	0.0013 - 0.0200	Ekmekçi ve ark. (2003)
Döşkaya Kaynağı (HBKS, Bilecik) - I. Çekilme	Kireçtaşı	0.0345 - 0.0459	Aydın (2005)
- II. Çekilme		0.0087 - 0.0173	
Beyyala Kaynağı (HBKS, Bilecik)		0.0233 - 0.0275	
Nardin Kaynağı (HBKS, Bilecik)		0.0369 - 0.0394	
Gökova-Azmaç Karst Kaynağı (Muğla) - I. Çekilme	Kireçtaşı	0.0400 - 0.0460	Açıkel (2012)
- II. Çekilme		0.0026 - 0.0030	
Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme	Dolomitik Kireçtaşı	0.0087 - 0.0206	Yüksel (2022) Maillet Yöntemi
- II. Çekilme		0.0013 - 0.0049	
Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme		0.0105	MRC Yöntemi
- II. Çekilme		0.0053	
Zerban Kaynağı (HZKS, Adıyaman)	Rekristalize	0.0042 - 0.0097	Maillet Yöntemi (bu çalışma)
	Kireçtaşı/Mermer	0.0060	MRC Yöntemi (bu çalışma)
Havşari Kaynağı (HZKS, Adıyaman)		0.0033 - 0.0068	Maillet Yöntemi (bu çalışma)
		0.0042	MRC Yöntemi (bu çalışma)

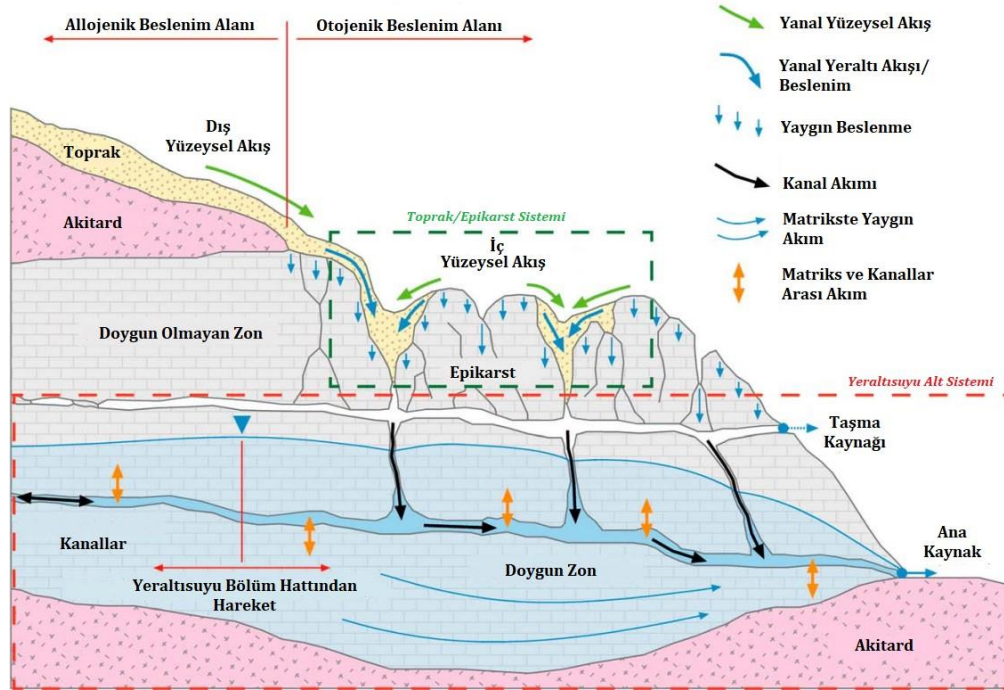


Şekil 5.8. HZKS MCR Yöntemi ile çekilme analizi sonuçları.

#### 5.4. HZKS Hidrojeolojik Kavramsal Model Çalışmaları

Hidrojeolojik kavramsal model, belirli bir alandaki hidrojeolojik sistemin basitleştirilmiş bir temsili olup, yeraltısuyunun hareketini ve depolanmasını kontrol eden; jeolojik ortam (litoloji, stratigrafi, yapısal unsurlar), hidrolojik özellikler (yeraltısuyu-yüzey suyu ilişkisi, yeraltısuyu beslenme-boşalım alanları), akifer özellikleri, yeraltısuyu akımı (hidrojeolojik sınır koşulları, hidrolik gradyan), su bütçesi gibi bileşenlerin tümünün birlikte değerlendirilmesi ile oluşturulmaktadır. Tüm bileşenleri ile bir karstik sistemi

temsil eden kavramsal model örneği Şekil 5.9’da verilmiş olup, süreçler aşağıda anlatılmıştır.



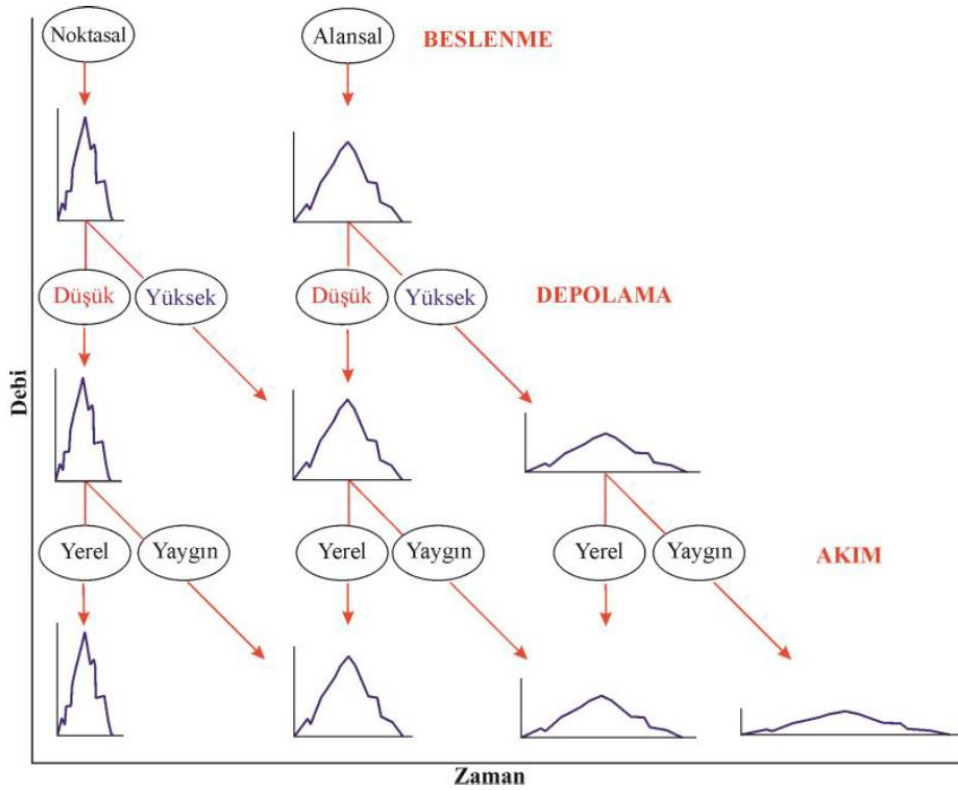
Şekil 5.9. Tüm karakteristik karst süreçlerini içeren bir karst sisteminin kavramsal modeli (Hartmann, 2014; White, 2003).

İç yüzeysel akış ve yaygın beslenme, otojenik beslenimi temsil ederken, dış yüzeysel akış ve yeraltısuyuna noktasal girdiler, çevredeki alanlardan allojenik beslenimi oluşturmaktadır (Goldscheider ve Drew, 2007; Hartmann vd., 2014). Ayrıca akifer içindeki dolaşım yaygın akım koşullarında kırık-çatlak sistemleri boyunca gerçekleşirken, kanal akım ise karstik kanallar boyunca gerçekleşmektedir (White, 2003; Ollivier vd., 2019).

Karbonatlı kayacın, hızlı çözünme yoluyla topografik yüzeye yakın gelişen en üst tabakası olan epikarst sisteminde daha derinlerine doğru akış depolanabilmekte ve daha fazla yoğunlaşabilmektedir, bu daha sonra karstik kanallara doğru yönlenebilmektedir (Aquilina vd., 2006; Williams, 1983). Yüzeyden ve epikarsttan yayılarak sızan su, matris boyunca yavaşça süzülürken, karst kanallarındaki akış genellikle hızlı ve türbülanslıdır

(White, 2002). Söz konusu matris ve kanallar arasındaki gradyana bağlı olarak, birbirleri arasında akım meydana gelebilmektedir (White, 2003).

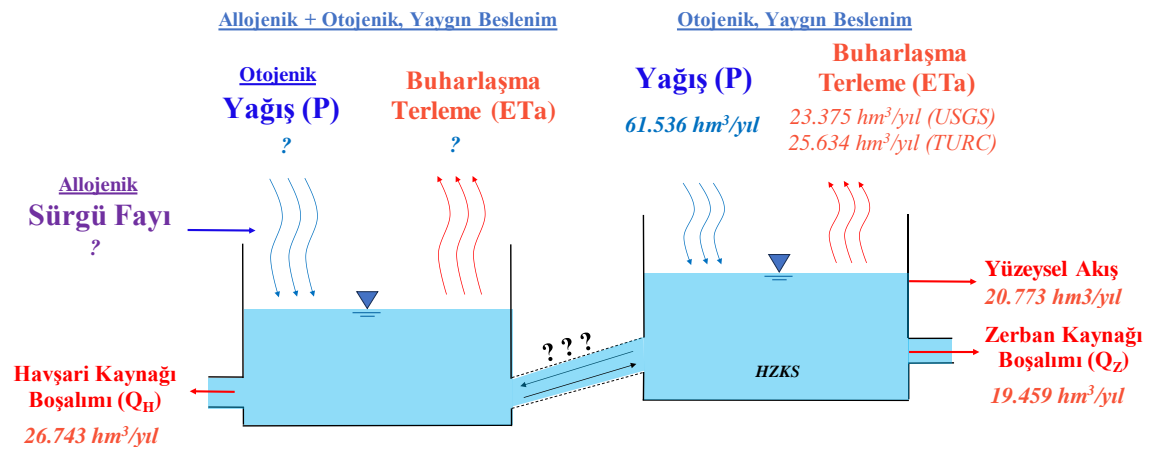
Ayrıca karstlaşma derecesine bağlı olarak, yerel enerji seviyelerine (nehir, göl, vb.) boşalım gerçekleşmektedir (Fleury vd., 2007). Kanal taşıma kapasitesi aşıldığında ise sistem boşalmasını taşma kaynakları ile gerçekleştirmektedir (Worthington, 1991). Smart ve Hobbs (1986) gerçekleştirdikleri çalışma kapsamında karst akiferleri için jeolojik yapı ile birlikte beslenme kaynağı, akifer depolaması ve akım koşullarını da dikkate alan üç parametrelili bir kavramsal model geliştirmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Beslenme, depolama ve akım süreçlerindeki değişimlerin karst kaynaklarına ait hidrografa etkisi (Smart ve Hobbs, 1986).

Zerban ve Havşari kaynakları, CV ve  $Q_{max}/Q_{min}$  değerlerinin nispeten düşük olması nedeniyle yağışlardan itibaren yaygın beslenimin olduğu, ve akiferde genel olarak kırık-çatlak sistemleri boyunca yaygın akımın baskın olarak gerçekleştiği “sürekli dip savak akımlı” kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır. İnceleme alanı (58.6 km<sup>2</sup>) için

gerçekleştirilen bütçe çalışmalarında 1984-2021 yılları arasında yağış girdisi ortalama  $61.536 \text{ hm}^3$  olarak hesaplanmıştır. Zerban Kaynağı ile ortalama  $19.459 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  ve Havşari Kaynağı ile  $26.743 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  su sistemden boşalmaktadır. Su bütçesi hesaplamalarında HZKS’de buharlaşma-terleme kayıpları ise USGS yöntemi ve Turc yöntemi ile sırasıyla  $23.375 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  ve  $25.634 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanı için yüzeysel akış miktarı ise mansapta yer alan Fatopaşa AGİ akış katsayısı-drenaj alanı ilişkisi ile değerlendirilmiş olup,  $20.773 \text{ hm}^3/\text{yıl}$  olarak belirlenmiştir. Yapılan bu değerlendirmeler neticesinde, su bütçesinin denk olması nedeniyle, Zerban Kaynağı’nın yüzeysel drenaj alanından beslendiği ancak, su bütçesi denkleminde su eksikliği çıkan Havşari Kaynağı’nın ise Sürgü Fayı üzerinden çıkış yapan fay kontrollü bir kaynak olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda Zerban Kaynağı karst sisteminde otojenik yaygın beslenme ve akiferinde kanal akım ile birlikte baskın yaygın dolaşım koşulları söz konusu iken Havşari Kaynağı karst sistemi ise allojenik (???) ve otojenik yaygın beslenme koşullarına sahip ve yaygın dolaşımın baskın olduğu akifer olarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler her iki kaynağın akifer sisteminde kanal akım ile birlikte baskın yaygın akım koşullarının hüküm sürdüğünü işaret etmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda inceleme alanı için oluşturulmuş olan hidrojeolojik kavramsal model Şekil 5.11’de verilmektedir.



Şekil 5.11. İnceleme alanı hidrojeolojik kavramsal modeli.

## 6. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

İnceleme alanı Fırat-Dicle Havzası sınırları içinde kalmakta olup Fırat Alt Havzası sınırları içinde yer almaktadır. Tez çalışmasına konu olan Zerban Kaynağı, Çelikhan (Adıyaman) ilçesinin batısında yer alan Pınarbaşı Beldesi yerleşim merkezinde Kireçtaşı-Alüvyon-Şist dokanağında, Havşari kaynağı ise Pınarbaşı Beldesi'ne bağlı Aktaş Mahallesi'nin yaklaşık 1.5 km güneyinden Sürgü Fayı üzerinden boşalım yapmaktadır. "Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst Sisteminin Hidrojeolojik İncelenmesi" konulu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- İnceleme alanı ve yakın dolayının jeolojik yapısını, temelde otokton özellikte Orta Eosen yaşlı Maden Formasyonu oluştururken, bu birimler üzerine allokton özellikte bindirme ile Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Malatya Metamorfikleri'ne ait Çayderesi Formasyonu ve Pınarbaşı Formasyonu gelmektedir. Pınarbaşı Formasyonu, klorit şist, kuvars-klorit şist, serizit şist ve kalkşist aralanmasından oluşmakta olup, içinde yer yer çörtlü mermer, dolomit ve dolomitik kireçtaşı ara seviyeleri bulundurmaktadır. Çayderesi Formasyonu ise inceleme alanında ana karstik akiferi oluşturmaktadır. Bu birimlerin üzerine bindirme ile yerleştiği Maden Formasyonu ise, genel olarak çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı, andezit, diyabaz, spilit ve kireçtaşı aralanmasından oluşmakta olup volkanik-çökel kayaçlar ile temsil edilmektedir.
- İnceleme alanında PROJEO (2022) tarafından gerçekleştirilen jeofizik çalışmalar ile MTA tarafından gerçekleştirilmiş olan maden rezerv sondajlarına ait loglar kullanılarak, jeolojik birimlerin kalınlıkları ve birbirleri ile olan ilişkileri ortaya konulmuştur. Buna göre Maden Formasyonun kalınlığı 50-200 m arasında gözlenmekte olup üstte Malatya Metamorfiklerine ait Pınarbaşı Formasyonu tektonik dokanak ile yer almaktadır. Pınarbaşı Formasyonun kalınlığının 30 m ile 200 m arasında değişmekte olup, birimin üst dokanağını Malatya Metamorfiklerine ait dolomit, dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşan Çayderesi Formasyonu oluşturmaktadır. Bölgede genel olarak birimin kalınlığı MTA (2018)'e

göre 100-1000 m arasında değişmektedir. İnceleme alanında gerçekleştirilen çalışmalar ise formasyonun kalınlığının 20 m ile 200 m arasında değiştiğini işaret etmektedir. Çayderesi Formasyonu içinde karstlaşmış ve masif zon net bir şekilde ayırt edilebilmekte olup, formasyonun özellikle yüzeyden itibaren ilk 45-50 m'si ileri derecede karstlaşmıştır.

- Tez çalışmaları kapsamında arazide Zerban ve Havşari kaynaklarının drenaj alanı içerisinde muhtemel yeraltısuyu akımı boyunca Malatya Metamorfiklerine ait mermerler ve kireçtaşlarında tabaka eğim-doğrultu ölçümleri yapılmış, söz konusu tabaka eğim doğrultu ölçümleri, sahada daha önceki çalışmalarda yapılmış olan tabaka eğim-doğrultu ölçümleri ile birlikte değerlendirilmiştir. Sonuç olarak inceleme alanında yer alan ve karstik sistemlerde yeraltısuyu akımı açısından oldukça önemli olan çizgisel unsurlar belirlenmiş olup özellikle Pınarbaşı beldesi güneyinde, kuzey-güney doğrultusu boyunca uzanan ve oldukça kıvrımlı bir yapı sunan birimde, söz konusu doğrultu boyunca senklinal eksenini yer almaktadır. Söz konusu senklinal eksenini boyunca (özellikle İnönü Mahallesi civarında) kuzeye (Pınarbaşı'na) doğru gidildikçe tabaka eğimleri 80°'ye ulaşmaktadır.
- HZKS için 1970-2021 yılları arası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmış olup, sırasıyla 965.7 mm/yıl ve 8.9 °C olarak belirlenmiştir. USGS yöntemine göre ortalama toplam ETp 584.1 mm/yıl, ETa değeri ise 432.9 mm/yıl hesaplanmıştır. Thornthwaite yöntemine göre ortalama toplam ETp 616 mm/yıl, ETa değeri ise 303.4 mm/yıl , Turc yöntemine göre ortalama toplam ETa değeri ise 482.9 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Su bütçesi hesaplamaları için ise akım verileri ile ortak periyot olan 1984-2021 yılları arası uzun yıllar yıllık toplam yağış değeri 954.6 mm/yıl, USGS ve Turc yöntemlerine göre ortalama toplam ETa değerleri sırası ile 443.2 mm/yıl ve 486.0 mm/yıl hesaplanmıştır. Zerban Kaynağının 1984-2022 yılları arası aylık ortalama akım değerleri 0.162 m<sup>3</sup>/s - 1.624 m<sup>3</sup>/s aralığında değişmekte olup, uzun yıllar ortalama akım miktarı ise 0.617 m<sup>3</sup>/s olarak hesaplanmıştır. Havşari Kaynağının yıllık en düşük ve en yüksek ortalama akım değerleri sırası ile 0.401 m<sup>3</sup>/s ve 0.1874 m<sup>3</sup>/s olup ortalama akım değeri ise 0.848

$m^3/s$ 'dir. Fatopaşa AGİ'de gözlem süresi boyunca kaydedilen uzun yıllar ortalama akım değeri  $3.551 m^3/s$ 'dir.

- HZKS (Havşari ve Zerban) için gerçekleştirilen bütçe hesaplamaları sonucunda sistemin su bütçesi sırası ile  $37.005 hm^3/yıl$  ( $1.173 m^3/s$ ) ve  $39.515 hm^3/yıl$  ( $1.253 m^3/s$ ) eksik su açığı vermiştir. Başka bir ifade ile sistemin girdileri sistemin çıktılarında küçük olup HZKS'ye yüzeysel drenaj alanı dışından katkı olması gerektiğini ifade etmektedir. Zerban ve Havşari kaynaklarının 1984-2021 yılları arası ortalama toplam akım değerinin  $46.202 hm^3/yıl$  olduğu dikkate alındığında, toplam kaynak akımlarının sırası ile %80.1'i ve %85.5'i oranında eksik su çıkmaktadır. Başka bir ifade ile Çayderesi Formasyonuna ait mermerlerin karstlaşma düzeyi dikkate alınarak bölgede yüzeysel akım olmadığı ve buharlaşma sonrası arta kalan yağışın tümünün akiferi beslediği varsayımında bu kaynakların boşalmalarını sağlayabilmeleri için buharlaşma sonrası her iki yönetime göre ortalama  $675 mm/yıl$  oranında daha yağışa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum sistemin toplam besleniminin ( $55.942 hm^3/yıl$ ) sırası ile %66.1 ve %70.6 oranına karşılık gelmektedir. İnceleme alanında yüzeysel akımın olmadığı varsayımı gerçekçi olmamakla birlikte hem inceleme alanın fiziksel yapısı hem de bu kapsamda gerçekleştirilen su bütçesi değerlendirmeleri, Havşari ve Zerban kaynakların ayrı ayrı sistemlerin boşalmasını gerçekleştirildikleri sonucunu doğrulamaktadır. Bu aşamada özellikle DAF'ın Sürgü Fayı uzantısına yaklaşık 100-150 m mesafede (Bkz. Şekil 3.19) boşalım sağlayan Havşari Kaynağının ise bu fay hattı ve etrafındaki drenaj alanlarına düşen yağışların süzülmesi sonucu bu fay boyunca beslenime sahip olduğu ve Zerban Kaynağı'nın ise HZKS'nin boşalmasını gerçekleştirdiği kanaatini oluşturmuştur.
- İnceleme alanı ve yakın dolayında boşalım sağlayan tüm sığ dolaşimli ve ana kaynaklar, kuyular ve yüzeysuları  $CaHCO_3$  fasiyesi ile temsil edilmektedir. İnceleme alanındaki suların  $CaHCO_3$  fasiyesi ile temsil edilmesi, bu suların inceleme alanında yüzeyleyen karbonatlı kayaçlardan (Çayderesi Formasyonu) drene olan sular olduğunu göstermektedir. İnceleme alanı ve yakın dolayında en yüksek iyon içeriğine sahip su noktaları SK-1, SK-2, K-15 ve K-16 olarak gözlenmektedir. Saha çalışmaları dönemlerinde artezyen yaptığı gözlenen SK-1 ve SK-2 kuyularına, karbonatlı birimlerden süzülen ve derin dolaşım ile Sürgü Fayı boyunca hareket eden



suların geldiği öngörülmektedir. K-15 ve K-16 kaynakları ise Çayderesi Formasyonu'na ait kireçtaşı ve mermerlerden süzülen yağış sularının, Pınarbaşı Formasyonu'na ait şist birimleri kırık-çatlaklarından ilerleyerek boşaldığı ve geçirgenliği düşük şist birimlerinde su-kayaç etkileşiminin fazla olması nedeniyle yüksek iyon içeriğine sahip oldukları düşünülmektedir.

- İz element analiz sonuçlarının değerlendirilmesine göre tektonizmaya bağlı olarak, derin dolaşım, yüksek mineralli suların kuyuya gelmesi nedeniyle SK-2 kuyusunda yüksek Fe, SK-1 kuyusunda ise yüksek Fe ve Mn konsantrasyonları gözlenmiştir. İnceleme alanı ve yakın dolayında boşalım sağlayan suların ağır metal içerikleri, 07.03.2013 tarih ve 28580 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (TS266)” ile 22.05.2015 tarih ve 29363 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Yeraltısularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik'te” yer alan limit değerlerin altında kalmaktadır
- Su noktalarına ait doygunluk indisleri incelediğinde; aragonit, kalsit ve dolomit doygunluklarının mevsimsel olarak değiştiği gözlenmektedir. Yağışlı dönemde, kar ve yağmur sularından gelen kaynak sularının bazılarında mineral doygunluk değerleri azalmaktadır. Bu durum, beslenme etkisiyle akiferdeki suyun seyrelmesi ve yeni CO<sub>2</sub>'nin eklenmesi sonucunda, yağışlı döneme ait örneklerin doygunluk indisi değerinin, doygunluk sınırının altına düşmesine sebep olmaktadır.
- Ayrıca inceleme alanı ve yakın dolayında ki su noktaları için SICa ve pCO<sub>2</sub> doygunluk değerleri ile Mg ve Ca konsantrasyonları değerlendirilmiş olup, yüksek kotlarda boşalım yapan kaynaklar, sık dolaşım, kısa su-kayaç etkileşimi ve yerel beslenme ile karakterize edilmektedir. Genel olarak fay kontrollü kuyu ve kaynaklar ise derin dolaşım, yaygın beslenme ve nispeten uzun su-kayaç etkileşim sürecine sahip sular olarak değerlendirilmiştir.
- İnceleme alanında akarsularda alınan örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri sırası ile -10.34‰ – -7.65‰ ve -60.16‰ – -48.46‰ arasında değişmektedir. Kaynaklardan

alınan örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri  $-10.73\text{‰}$  –  $-9.74\text{‰}$  arasında değişirken  $\delta^2\text{H}$  değerleri ise  $-62.1\text{‰}$  –  $-51.28\text{‰}$  arasında değişmektedir. İnceleme alanı ve yakın dolayında boşalmasını sağlayan; su noktalarının izotop içerikleri Küresel Meteorik Su Doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu arasında yer almakta olup bölgedeki yağışların Akdeniz kökenli yağışlardan kaynaklandığı değerlendirilmiştir. İnceleme alanında her 100 m'lik kot artışına karşın,  $\delta^{18}\text{O}$  oranında  $\sim -0.2\text{‰}$  kadar azalma olduğu belirlenmiş olup, HZKS'nin ana boşalmasını sağlayan Zerban ve Havşari kaynakları ortalama beslenme yükselteleri sırası ile 1780 m ve 1870 m olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanında boşalım sağlayan 16 su noktasında gözlenen trityum değerleri 2.09 TU (SK-2) ve 8.97 TU (K-5) arasında değişmektedir. İnceleme alanında boşalım sağlayan suların genellikle genç sular olduğu ve 1950 sonrası yağışlardan beslendiği belirlenmiştir.

- İnceleme alanında temeli oluşturan Maden Formasyonu geçirimsiz özellikte olup, bu formasyon üzerine bindirme ile gelen Çayderesi Formasyonu karstik akiferi oluşturmakta iken Pınarbaşı Formasyonu ise genel olarak geçirimsiz özellikte olup, kırık-çatlak sistemleri ile kireçtaşı seviyeleri birime lokal olarak az geçirimli özellik kazandırmaktadır. İnceleme alanı ve yakın dolayında yüzeylenen birimlerin akifer parametrelerinin belirlenmesi amacıyla bölgede daha önce gerçekleştirilen pompa testi sonuçları ile DSİ (1984) tarafından Çat Barajı'nda gerçekleştirilen BST sonuçları değerlendirilmiştir. Akifer analizi sonucunda, 65291 ve 65293 nolu kuyularda iletimlilik katsayısı sırası ile  $2.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  ve  $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  hesaplanmıştır. Söz konusu kuyularda depolama katsayısı ise sırası ile  $1.1 \times 10^{-3}$  ve  $1.4 \times 10^{-1}$  elde edilmiştir. Kireçtaşları ve şistlerde açılmış olan sondajlarda BST verilerine göre ise Pınarbaşı Formasyonu şistlerine ait bozunmuş zon ile Çayderesi Formasyonu kireçtaşlarının karstlaşmış zonu için K değeri  $10^{-5} \text{ m/s}$  ile  $10^{-6} \text{ m/s}$  arasında değişirken söz konusu birimlerin masif zonları için ise  $10^{-8} \text{ m/s}$  ile  $10^{-9} \text{ m/s}$  arasında elde edilmiştir.
- Zerban ve Havşari kaynakları, CV ve  $Q_{\max}/Q_{\min}$  değerlerinin nispeten düşük olması nedeniyle yağışlardan itibaren yaygın beslenimin olduğu, ve akiferde yaygın koşullarda, baskın olarak kırık-çatlak sistemleri ve kısmen karstik kanallar boyunca

dolaşımın gerçekleştiği “sürekli dip savak akımlı” kaynaklar olarak sınıflandırılmıştır. Yaygın akımın baskın gözlemlendiği Zerban ve Havşari kaynaklarının her ikisi de, 1984-2022 yılları arasında ki sürede tek çekilme eğrisi ile temsil edilmektedir. Zerban Kaynağında ortalama kaynak çekilme katsayısı  $0.00637 \text{ gün}^{-1}$  ve Havşari Kaynağında ise ortalama kaynak çekilme katsayısı  $0.00437 \text{ gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Zerban ve Havşari kaynakları akiferlerinde çekilme dönemi başında depolanan ortalama su hacmi sırası ile  $15.117 \text{ hm}^3$  ve  $25.281 \text{ hm}^3$  olup bu suların yaklaşık %32.5’i ve %46.6’sı çekilme dönemi sonunda akiferlerde kalmaktadır.

- HZKS inceleme alanında, yeraltısuyunun hareketini ve depolanmasını kontrol eden; jeolojik ve hidrolojik özellikler, akifer özellikleri, yeraltısuyu akımı, hidrojeolojik sınır koşulları, su bütçesi gibi bileşenlerin tümünün birlikte değerlendirilerek “Hidrojeolojik Kavramsal Model” oluşturulmuştur. Buna göre; Zerban Kaynağının, yüzeysel drenaj alanından beslendiği ancak, Havşari Kaynağı’nın Sürgü Fayı’ndan çıkış yapan fay kontrollü bir kaynak olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda Zerban Kaynağı karst sistemi otojenik yaygın beslenme ve yaygın dolaşım koşullarına sahipken, Havşari Kaynağı karst sistemi ise allojenik (?) ve otojenik yaygın beslenme ve yaygın dolaşım koşullarına sahip olarak değerlendirilmiştir.

## 6.2. Tartışma ve Öneriler

“Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst Sisteminin Hidrojeolojik İncelenmesi” başlıklı tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlara bağlı olarak tartışmalar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- İleri derecede heterojen ve anizotrop olan HZKS'nin hidrodinamik davranışını belirlemek için yapılan çalışmalarda belirsizliklerle karşılaşmıştır. Bu belirsizlikler, yağışın sistem girdisi, buharlaşma-terleme hesapları için sıcaklık ölçümleri ve deşarj noktalarındaki akım ölçümlerinde yaşanan zorluklardan kaynaklanmaktadır. Örneğin, inceleme alanı ve yakın dolaylarındaki kaynak akım verilerinin aylık gözlenmesi ve veri serilerinde eksikliklerin olması, MGİ verilerindeki eksiklikler ile

kaynakların drenaj alanı çıkışında yüzey suyu akım miktarını ölçen herhangi bir AGİ bulunmaması nedeniyle yağış ve akım değerleri arasında sağlıklı bir ilişki kurulamamıştır. Zerban ve Havşari Kaynakları'na anlık ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi ya da kaynak akımlarının günlük veya en fazla haftalık aralıkta kayıt altına alınması ve yüzeysel drenaj alanı çıkışında aynı zaman aralıklarında veri elde edilebilecek AGİ kurulması, bu sistemin hidrodinamik davranışının daha temsil edici şekilde ortaya konmasına katkı sunacaktır.

- HZKS'nin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenlerinin detaylı bir şekilde ortaya konulması amacıyla Zerban ve Havşari Kaynaklarında debi ve fizikokimyasal parametre (pH, T, Eİ, TÇK, vb.) ölçümlerinin en fazla haftalık aralıkta anlık ve/veya depolamalı veri kaydediciler ile kayıt altına alınması önerilmektedir.
- HZKS'nin su bütçesi çalışmaları Zerban ve Havşari kaynaklarının farklı sistemler olduğu, Zerban Kaynağı'nın drenaj alanından beslendiği ancak Havşari Kaynağı'nın muhtemelen Sürgü Fayı kontrollü bir kaynak olduğu belirlenmiştir. Bu durumun sistemin fiziksel yapısı ile uyumlu bir şekilde aydınlatılması amacı ile boya izleme deneylerinin yapılması ve bu kapsamda kaynakların beslenme alanlarının belirlenmesi önerilmektedir. Bölgede içme-kullanma ve sulama amacıyla kullanılan bu önemli kaynakların, yapılacak boya izleme deneyi sonuçları ile kaynak koruma alanları belirlenmelidir.
- HZSK su kaynaklarının kimyasal yapısı ile ilgili değerlendirmeler; suların kimyasal yapılarının mevcut mevzuatlarda (içme-kullanım, sulama, vb.) öngörülen sınır değerlerin altında olduğunu ve iyi kalitede sular olduğunu göstermektedir. Ancak Zerban ve Havşari kaynaklarının beslenme alanında yer alan yerleşim birimlerinin (özellikle İnönü Mah.) atık suları kontrolsüz bir şekilde dere yatağına deşarj edilmektedir. Bugün için söz konusu antropojenik kirlilik ile ilgili herhangi bir problem gözlenmezken, gelecek yıllarda olası antropojenik kirliliğe karşı önlem alınması önerilmektedir.



## 7. KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D., Baştuğ, C., V. Bölge Cacaş-Hani bölgesinin kuzeyindeki alanların petrol imkanları ve jeolojik raporu. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Rapor No: 971 (yayımlanmamış), **1975**.
- Açıkkel, Ş., Gökova-Azmacık (Muğla) Karst Kaynaklarında Akım ve Tuzlu Su Karışımı Dinamiğinin Kavramsal Modellenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2012**.
- Aktaş, G., Robertson, A.H.F. 1984. The Maden Complex, SE Turkey; Evolution of a Neotethyan Active Margin. Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.). The Geological evolution of the eastern Mediterranean. Geological Society London, Special Publication 17 (**1984**) 375-402.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., Crop Evapotranspiration—guide for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, **1998**.
- Amit, H., Lyakhovskiy, V., Katz, A., Starinsky A., Burg, A., Interpretation of spring recession curves, *Groundwater*, 40(5) (**2002**) 543-551.
- APHA, AWWA and WPCF, 1989. Standard Methods for the Estimation of Water and Waste Water (17th Edition), American Public Health Association, Washington, USA, **1989**.
- Appelo, C.A.J., Postman, D., Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd Edition, A.A. Balkema, **2010**.
- Aquilina, L., B. Ladouche, and N. Doerfliger, Water storage and transfer in the epikarst of karstic systems during high flow periods, *J. Hydrol.*, 327 (**2006**) 472–485.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18 (**1975**) 29-41.
- Atkinson, T.C., Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), *Journal of Hydrology*, 35(1-2) (**1977**) 93-110.
- Aydın, H., Sızır (Gemerek-Sivas) Karst Kaynakları ve Yakın Dolayının Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- Aydın, H., Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, **2005**.

- Aydın, H., Ekmekçi, M., Soylu, M.E., Characterization and conceptualization of a relict karst aquifer (Bilecik, Turkey), *Acta Carsologica*, 42(1) (2013) 75-92.
- Aydın, H., Ekmekçi, M., Soylu, M.E., Effects of sinuosity factor on hydrodynamic parameters estimation in karst systems: A dye tracer experiment from the Beyyayla Sinkhole (Eskişehir, Turkey), 71(9) (2014) 3921-3933.
- Aydın, H., Karakuş, H., Estimation of evaporation for Lake Van, *Environmental Earth Sciences*, 75 (2016) 1275.
- Bagaric, I., Determination of storage and transportation characteristics of karst aquifers, Milanović, P.T. (Ed.), *Karst Hydrogeology*, Water Resources Publications, Littleton, CO, USA, 434, 1978.
- Barbieri, M., Boschetti, T., Petitta, M., Tallini, M., Stable isotope ( $2\text{H}$ ,  $18\text{O}$  and  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy), *Applied Geochemistry*, 20 (2005) 2063-2081.
- Baydar, O., Berit-Kandil Dağları (Kahramanmaraş) ve civarının jeolojisi. Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 248 s., İstanbul (yayımlanmamış), 1989.
- Bear, J., *Hydraulics of Groundwater*, 1st Edition, McGraw – Hill Companies, 1979.
- Bedi, Y., Öztürk, E.M., Alanya-Köprülü (Antalya) dolayının jeolojisi (Alanya O28 c1, d1, d2 ve d3 paftaları). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10488, Ankara (yayımlanmamış), 2001.
- Bedi, Y., Yusufoglu, H., Beyazpirinç M., Özkan, M.K., Usta, D., Yıldız, H., Doğu Torosların jeodinamik evrimi (Afşin-Elbistan-Göksun-Sarız dolayı) Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No-11150 388 s., Ankara (yayımlanmamış), 2009.
- Bedi, Y., Yusufoglu, H., Usta, D., Özkan, M.K., Beyazpirinç, M., Baran, C., Karakuş, E., Doğu Toroslar'ın jeodinamik evrimi (Elbistan-Malatya Dolayı), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, cilt 1 (658 s), cilt 2 (554 s), Ankara, 2017b.
- Behrens, H., R. Benischke, M. Bricelj, T. Harum, W. Käss, G. Kosi, H.-P. Leditzky, Ch. Leibundgut, P. Maloszewski, V. Maurin, V. Rajner, D. Rank, B. Reichert, H. Stadler, W. Stichler, P. Trimborn, H. Zojer & M. Zupan (1992): Investigations with Natural and Artificial Tracers in the Karst Aquifer of the Lurbach System (Peggau-Tanneben-Semriach, Austria).– In: Association of Tracer Hydrology (ATH, Eds.): *Transport Phenomena in Different Aquifers (Investigations 1987–1992)*.– Steir. Beitr. z. Hydrogeologie (1992) 9–158, Graz.

- Ben-Itzhak, L.L., Gvirtzman, H., 2005. Groundwater flow along and across structural folding: an example from the Judean Desert, Israel. *Journal of Hydrology*, 312(1-4) (2005) 51-69, 2005.
- Berkaloff, E., Limite de validité des formules courantes de tarissement de débit, *Chronique d'Hydrogéologie* 10 (1967) 31-41.
- Bortolami, G. C., Ricci, B., Susella, G. F. and Zuppi, G. M., Isotope hydrology of the Val Corsaglia, Maritime Alps, Piedmont, Italy. In *Proceedings of the IAEA Symposium on Isotope Hydrology*, Neuberberg, Germany, vol. I (1979) p: 327–350.
- Büyükkıdık, H., Aras, A, Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı apatitli demir madeni jeoloji raporu. MTA Raporu, No: 1803, Ankara 743 s (yayımlanmamış), 1984.
- Castany, G., Hydrogeological features of carbonate rocks, in *Guide to the Hydrology of Carbonate Rocks* (eds P.E.LaMoreaux, B.M. Wilson and B.A.Memon), *Studies and Reports in Hydrology* 41, UNESCO, Paris, (1984) p. 47–67.
- Clark, I. D., Fritz, P., Michel, F. A. and Souther, J. G., Isotope hydrogeology and geothermometry of the Mount Meager geothermal area. *Can. J. Earth Sci.*, 19 (1982) 1454–1473.
- Clark, I.D., Fritz, P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, New York, 1997.
- Cornaton, F., Utilisation des Modèles Continu Discret et A Double Continuumpour 125 L'analyse des Réponses Globales de L'aquifère Karstique, *Travaille de Diplôme*, Université de Neuchâtel, Suisse, 1999.
- Craig, H., Isotopic Variations in Meteoric Waters, *Science*, 133 (3465) (1961) 702–1703.
- Crowther, J., Groundwater chemistry and cation budgets of tropical karst outcrops, Peninsular Malaysia, I.Calsium and magnesium, *Journal of Hydrology*, 107 (1989) 169-192.
- Çelebi H., Helvacı C., Uçurum A., Pınarbaşı (Adıyaman) Apatitli Manyetit Yatağının Jeolojisi, Jeokimyasal Özellikleri ve Ekonomik Potansiyeli, *MTA Dergisi*, 141 (2010) 29-54.
- Demirtaşlı, E., Pınarbaşı-Sarız-Mağara ilçeleri arasındaki sahanın litostratigrafi birimleri ve petrol imkanları. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Raporu No:3489*, Ankara (yayımlanmamış), 1967.
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., Weng, Ph., Al-Malki, A., Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs: Application to the Oman



- Ophiolite hard – rock aquifer, *Journal of Hydrology*, 274 (2003) 248-269.
- DSİ, Çat Barajı Karst Hidrojeolojisi Raporu. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı. Ankara, 30 s (Yayınlanmamış), **1984**.
- Eaton, F.M., Significance of carbonates in irrigation waters. *Soil Science*, 69 (1950) 123-133.
- Ekmekçi, M., Akdeniz, U., Coşkun, T. ve Yurdaer, D., Tacin (Bünyan -Kayseri) karst kaynağının hidrodinamik özellikleri, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Kitabı, 14 – 20 Nisan, Ankara, **2003**, 154-156.
- Erdoğan, B., Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 25/1 (1982) 45-59.
- EU, 1998. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. European Union, **1998**.
- Fleury, P., M. Bakalowicz, and G. de Marsily, Submarine springs and coastal karst aquifers: A review, *J. Hydrol.*, 339(1–2) (2007) 79–92.
- Ford, D.C. , Williams, P.W., *Karst Geomorphology and Hydrology*, 1st Edition, Springer Dordrecht, **1989**.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*, 1st Edition, Prentice-Hall, 1979.
- Gat, J.R., Carmi, I., 1970. Evolution of the Isotopic Composition of Atmospheric Waters in the Mediterranean Sea Area,” *Journal of Geophysical Research*, 5:15, 3039-3048, **1970**.
- Gat, J.R., Carmi, I., Evolution of the Isotopic Composition of Atmospheric Waters in the Mediterranean Sea Area, *Journal of Geophysical Research*, 75 (1970) 3039-3048.
- Goldscheider, N., and D. Drew, *Methods in Karst Hydrogeology*, Taylor and Francis Group, Leiden, Netherland, 264p, **2007**.
- Gözübol, A.M., Önal, M., Çat Barajı İsale Tünelinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği İncelemesi Malatya-Çelikhan Alanının Jeolojisi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu TBAG-647 Projesi, İstanbul, **1986**.
- Greene, E. A., Characterizing recharge to wells in carbonate aquifers using environmental and artificial tracers using environmental and artificially recharged tracers, U.S.G.S., Water – Resources Investigations Report, 99 – 4018C, Proceedings of the technical Meeting, Toxic Substances Hydrology Program, Charleston, South Carolina, March 8–12, (1999) p.803 – 808.
- Güneş, Ö., Bulam (Adıyaman) Apatitli Manyetit Yatağının Jeolojisi ve Rezerv

- Hesaplaması Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, **1994**.
- Hartmann, A., Goldscheider, N., Wagener, T., Lange, J., & Weiler, M., Karst water resources in a changing world: Review of hydrological modeling approaches. *Reviews of Geophysics*, 52(3) (**2014**) 218-242.
- Hauns, M., Jeannin, P. Y. and Atteia, O., Dispersion, retardation and scale effect in tracer breakthrough curves in karst conduits, *Journal of Hydrology*, Volume 241, Issues 3 – 4 (**2001**) 177 – 193 pp.
- Hempton, M.R. Result of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains). Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C. (eds.). *The International Symposium on Geology of the Taurus Belt*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey (**1984**) 223-228.
- Herman, E.K., Toran, L., White, W.B., Quantifying the place of karst aquifers in the groundwater to surface water continuum: A time series analysis study of storm behavior in Pennsylvania water resources, *Journal of Hydrology*, 379 (**2009**) 307-317.
- Jukic, D., and V. Denic-Jukic, Groundwater balance estimation in karst by using a conceptual rainfall-runoff model, *J. Hydrol.*, 373(3-4), 302-315, **2009**.
- Kalhor, K., Ghasemizadeh, R., Rajic, L., Alshwabkeh, A., Assesment of groundwater quality and remediation in karst aquifer: A review, *groundwater for sustainable development*, 8 (**2019**) 104-121.
- Kaya, A., Tectono-Stratigraphic Reconstruction Of The Keban Metamorphites Based On New Fossil Findings, Eastern Turkey, *Journal of African Earth Sciences*, C.124 (**2016**) 245-257.
- Kaya, A., Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi. *PÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi* 10 (1) 41-50.
- Ketin, İ., Ergani Eğil bölgesinin jeolojik etüdü hakkında memuar. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rap. No. 2015 (yayımlanmamış), **1948**.
- Ketin, İ., Anadolu'nun tektonik birlikleri. *MTA Dergisi*, 66 (**1976**) 20-34.
- Király, L., FEM-301-A Three-dimensional model for groundwater flow simulation, *NAGRA Technical Report*, 96 (1985) 84 – 89.
- Kogovsek, J., Petric, M., Tracer Test as A Tool for planning the monitoring of negative impacts of the Mozelj Landfill (SE Slovenia) on karst waters, *Acta Carsologica*, 39(2) (**2010**) 301-311.

- Kovacic, G., Hydrogeological study of the Malenščica karst spring (SW Slovenia) by means of a time series analysis. *Acta carsologica*, 39(2), **2010**.
- Kovács, A., Perrochet, P., Király, L., Jeannin, P.Y., A Quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis, *Journal of Hydrology*, 303(1-4) (**2005**) 152 – 164.
- Koyuncu, H., Batı Toroslar Karst Sistemi Hidrojeolojik Özelliklerinin Uydu Görüntülerinin Sayısal Analizi ile İrdelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (**2003**) 129 s.
- Kresic, N., Papic, P., Specific chemical composition of karst groundwater in the Ophiolite Belt of the Yugoslav Inner Dinarides: A case for covered karst, *Environ. Geol. Water Sci.*, 15(2) (**1990**) 131-135.
- Kurttaş, T, Gökova (Muğla) Karst Kaynaklarının Çevresel İzotop İncelemesi, Doktora Tez, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1997**.
- Le Moine, N., V. Andréassian, C. Perrin, and C. Michel, How can rainfall-runoff models handle intercatchment groundwater flows Theoretical study based on 1040 French catchments, *Water Resour. Res.* (**2007**) 43.
- Lorette, G., Lastennet, R., Peyraube, N., Denis, A., Groundwater-flow characterization in a multilayered karst aquifer on the edge of a sedimentary basin in western France, *Journal of Hydrology*, 566 (**2018**) 137-149.
- Maillet, E., *Essais D'Hydraulique Souterraine et Fluviale*, Librairie Sci., A. Hermann, 1905.
- Mather, J.R., *The Climatic Water Balance in Environmental Analysis*, DC Heath and Company, Lexington, Massachusetts, **1978**.
- Mather, J.R., Use of the climatic water budget to estimate streamflow, in Mather, J.R., ed., *Use of the climatic water budget in selected environmental water problems: Elmer, N.J., C.W. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology*, 32 (1) (**1979**) 1-52.
- Mazor, E., *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*, Open University Press, Buckingham, **1991**.
- McCabe, G.J., Markstrom, S.L., *A Monthly Water-Balance Model Driven by A Graphical User Interface*, U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1088, Virginia, **2007**.
- McCabe, G.J., Wolock, D.M., Future snowpack conditions in the western United States derived from general circulation model climate simulations, *Journal of the*

- American Water Resources Association, 35 (1999) 1473-1484.
- Metin, S., Ayhan, A., Papak, İ., Doğu Toroslar'ın batı kesiminin jeolojisi (GGD Türkiye) Maden Tetkik ve Arama Dergisi 107 (1986) 1-13.
- Metin, S., Papak, L., Keskin, H., Özsoy, I., Polat, N., Altun, İ., İnanç, A., Haznedar H., Konuk, O., Karabalık, N.N. 1982. Tufanbeyli-Sarız-Göksun ve Saimbeyli arasının jeolojisi (Doğu Toroslar). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7129, Ankara (yayımlanmamış), 1982.
- Milanovic, P. T., 1981, Karst Hydrogeology, Water Resources Publications, LLC (1981) 434 p.
- MTA, 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Malatya L-40 Paftası No:261, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 2018.
- MTA, Adıyaman-Çelikhan-Pınarbaşı Apatitli Demir Madeni Jeoloji Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 1984.
- Moench, A.F., Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers, Water Resources Research, vol. 21, no. 8, pp. 1121-1131, 1985.
- Mutreja, K.N, Applied Hydrology, 2nd Edition, Tata McGraw-Hill, 1986.
- Nathan, R.J., McMahon, T.A., Evaluation of automated tecniques for base flow and recession analyses, Water Resources Research, 69 (1990) 1465-1473.
- Nguyet, V.T.M., Thanh, V.P., Hai, V.D., Roi, N.D., Tra, D.T.T., Hydrogeochemical characterization and groundwater quality of the Dong Giao karst aquifer in Tam Diep, Ninh Binh, Vietnam, Acta Carsologica, 45(3) (2016) 233-242.
- Ollivier, C., Mazzilli, N., Oliosio, A., Chalikakis, K., Carrière, S.D., Danquignya, C., Emblanchet, C., Karst recharge-discharge semi distributed model to assess spatial variability of flows, Science of the Total Environment, 703 (2019) 134368.
- OSİB, Yeraltı Sularının Kirlenme ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 07.04.2012, Resmi Gazete No: 28257, 2012.
- OSİB, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 10.08.2016, Resmi Gazete No: 29797, 2016.
- Önal, A., Şaşmaz, A., Önal, A., Pınarbaşı (Çelikhan-Adıyaman) Apatitli Manyetit Cevherinin Mineralojisi, Jeokimyası ve Kökeni. Geosound (2002) 40-41: 207-227.
- Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turan, N., Uysal, Ş., Şentürk, K., Işık, A., Late Paleozoic Evolution of the Kütahya-Bolkardağ Belt. Middle East Technical University

- Journal of Pure and Applied Sciences 21, 1-3 (1988) 211-220.
- Özgül, N., Bozkır-Hadım-Taşkent (Orta Torosların kuzey kesimi) dolayında yer alan tektono-stratigrafik birliklerin stratigrafisi, Maden Tetkik ve Arama Dergisi 119, 113-174, Ankara, 1997.
- Özgül, N., Metin, S., Göğer, E., Bingöl, İ., Baydar, O., Erdoğan, B., Tufanbeyli dolayının (Doğu Toroslar-Adana) Kambriyen-Tersiyer kayaları. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 16, 82-100, Ankara, 1973.
- Özgül, N., Turşucu, A., Özyardımcı N., Şenol, M., Bingöl, I., Ünsal, Ş., Munzur Dağları'nın jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:6995, Ankara yayımlanmamış), 1981.
- Özkaya, I., Yüksekova-Şemdinli yöresi jeolojisi. Türkiye Dördüncü Petrol Kongresi Tebliğleri, 63-81, 1978.
- Pacheco, F.A., Regional groundwater flow in hard rocks. Science of the Total Environment, 506 (2015) 182-195.
- Parlak, O., Çelikhan – Erkenek Arasında Doğu Anadolu Fayı'nın Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 2004.
- Perinçek, D., Geological investigation of the Çelikhan-Sincik-Koçali area (Adıyaman province). İÜ Fen Fakültesi Mecmuası B 44 (1979) 127-147.
- Perinçek, D., Kozlu, H., 1984. Stratigraphy and Structural relations of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir region (Eastern Taurus), Geology of the Taurus Belt, International Symposium Proceedings, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Ankara, (1984) s.181-198.
- Perinçek, D., Özkaya, İ., Arabistan levhası kuzey kenarı tektonik evrimi. HÜ Yerbilimleri Enstitüsü Bülteni 8 (1981) 91-101.
- Philipson, A., Körlen sudlich des Maander und des vvestlie he Lykien U (schlussheft) in "Reisen-Forchhengen etc." Peterm. Mitt. Erg. Bd XXXIX, 1915.
- Posavec, K., Parlov, J., Nakic, Z., Fully automated objective-based method for master recession curve separation, Groundwater, 48 (2010) 598–603.
- PROJEO, Adıyaman İli Çelikhan İlçesi ve Civarının Jeofizik Araştırma Raporu. Ankara (Yayımlanmamış), 2022.
- Richards, L.A., Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 60, Washington DC, 1954.
- Rigo de Righi, M., Cortesini, A., Gravity tectonics in foothills structure belt of southeast Turkey. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 48, 1964.

- Rosenberry, D.O, Stannard, D.I., Winter, T.C., Martinez, M.L., Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a Prairie Wetland, Cottonwood Lake Area, North Dakota, USA, *Wetlands*, 24 (2004) 483–497.
- Rosenberry, D.O., Winter, T.C., Buso, D.C., Likens, G.E., Comparison of 15 evaporation models applied to a Small Mountain Lake in the Northeastern USA., *Journal of Hydrology* 340(3-4) (2007) 149–166.
- SB, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Sağlık Bakanlığı, 17.02.2005. Resmi Gazete No: 25730, **2005**.
- Shevenell, L., Analysis of well hydrographs in a karst aquifer: Estimates of specific yields and continuum transmissivities, *Journal of Hydrology*, 174(3-4) (1996) 331-355.
- Shivanna, K., Tirumalesh, K., Noble, J., Joseph, T. B., Singh, G., Joshi, A. P., & Khati, V. S., Isotope techniques to identify recharge areas of springs for rainwater harvesting in the mountainous region of Gaucher area, Chamoli District, Uttarakhand. *Current Science*, 1003-1011, **2008**.
- Sibson, R., A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, John Wiley&Sons, New York, **1981**.
- Smart, P.L., Hobbs, S.L., Characterisation of carbonate aquifers - a conceptual base, *Cave and Karst Science*, 13(2) (1986) 67.
- Sungurlu, O., VI.Bölge Gölbaşı-Gerger arasındaki sahanın jeolojisi. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Arama Grubu Rapor No: 802 (1973) 30s.
- Şahin, Ö., Işık, V., Çelikhan (Adıyaman) Civarında Yüzeyleyen Metamorfik Ve Magmatik Kayaların Petrolojisi. *Geological Bulletin Of Turkey*, 53(2-3), **2010**.
- Şen, Z., Su Bilimi (Hidroloji) Temel Konuları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, **2002**.
- Tallaksen, L.M., A Review of Baseflow Recession Analysis, *Journal of Hydrology*, 165 (1995) 349-370.
- Thornthwaite, C.W., An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38 (1948) 55-94.
- Turc, L., The Water balance of soils, relation between precipitation, evaporation and flow, *Annales Agronomiques*, 5 (1954) 491-596.
- Valiantzas, J.D., Simplified Versions For The Penman evaporation equation using routine weather data, *Journal of Hydrology* 331 (2006) 690–702.
- Viessman W Jr, Lewis GL, Introduction to Hydrology, 4th Edition. Harper Collins College Publishers, **1996**.
- Watson, D., Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data, Pergamon

- Press, London, **1992**.
- White, W. B., Conceptual models for karstic aquifers, *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 1 (1), [www.speleogenesis.info](http://www.speleogenesis.info) , 6 pages, republished from: Palmer, A.N., Palmer, M.V., and Sasowsky, I.D. (eds.), *Karst Modeling: Special Publication 5*, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA) (**2003**) 11 – 16.
- White, W. B., Conceptual models for limestone aquifers, *Groundwater*, Volume: 7 (3) (**1969**) 15 – 21 pp.
- White, W. B., *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*, Oxford University Press, New York (**1988**) 464 p.
- White, W. B., Karst hydrology: recent developments and open questions, *Engineering Geology*, Volume: 65, Issues: 2 – 3 (**2002**) 85 – 105 pp.
- White, W.B., Conceptual Models for Karstic Aquifers. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, Palmer, A.N., Palmer, M.V., and Sasowsky, I.D. (eds.), *Karst Modeling: Special Publication 5*, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA) (**2003**) 11-16.
- WHO-WQG, *Guidelines for drinking-water quality* (4th edittion). World Health Organization, Copenhagen, **2017**.
- Wilcox, L.V., *Classification and Use of Irrigation Water*, US Department of Agriculture. Circular 969, Washington DC, **1955**.
- Williams, P. W., The role of the Subcutaneous zone in karst hydrology, *J. Hydrol.*, 61 (**1983**) 45–67.
- Wolock, D.M., McCabe, G.J., Effects of potential climatic change on annual runoff in the conterminous United States, *Journal of the American Water Resources Association*, 35, (**1999**)
- Worthington, S.R.H., A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifers, In : Palmer, A. N., Palmer, M.V., and Sasowsky, I.D. (eds.), 1999. *Karst Modeling: Special Publication 5*, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA) (**1999**) 30 – 37 pp.
- Worthington, S.R.H., *Karst Hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains*, PhD Thesis, MCMaster University Hamilton, Ontario, **1991**.
- Yazgan, E., Chessex, R., Geology and tectonic evolution of the southeastern Taurides in the region of Malatya. *Türkiye Petrol Jeologları Demeği Bülteni* 3 (1) (**1991**) 1-42.

- Yazgan, E., Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region. Tekeli, O., Göncüoğlu M. C. (Eds.). The International Symposium on Geology of the Taurus Belt Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Turkey (1984) 199-208.
- Yazgan, E., Geotraverse between the Arabian Platform and the Munzur Nappes International Symposium on the geology of the Taurus Belt. Guide Book for Excursion V17 s., Ankara, 1983.
- Yıldırım, M., Kahramanmaraş kuzeyindeki (Engizek-Nurhak Dağları) tektonik birliklerin jeolojik-petrolojik incelemesi. Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 306 s., İstanbul, 1989.
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, Ş., Yusufoglu, H., Aydın, N., Doğu Toroslar'da Uzunyayla ile Beritdağı arasındaki jeolojik yapısı. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni 5,1 (1989) 69-87.
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, Ş., Yusufoglu, H., Atabey, E., Aydın, N., Doğu Toroslarda Uzunyayla ile Beritdağı arasındaki jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9543, Ankara (yayımlanmamış), 1992.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Kozlu, H., Gül, M.A., Yiğitbaş, E., Yıldırım, M., Genç, C., Keskin, M., Maraş kuzeyinin jeolojisi (Andırın-Berit-Engizek-Nurhak-Binboğa Dağları) yapı ve jeolojik evrimi. İÜ Mühendislik Fakültesi, 97 s., İstanbul, 1987.
- Yılmaz, Y., New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian Orogen. Geological Society of America Bulletin 105 (1993) 251-271.
- Yiğitbaş, E., Engizek Dağı (K.Maraş) dolayındaki tektonik birliklerin petrolojik incelemesi. Doktora Tezi, İÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 347 s., İstanbul, 1989.
- Yiğitbaş, E., Genç, Ş.C, Yılmaz, Y., Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağında Maden grubunun tektonik konumu ve jeolojik önemi. A. Suat Erk Jeoloji Simpozyumu, 2-5 Eylül 1991 (1993) 251-264.
- Yiğitbaş, E., Yılmaz, Y., New evidence and solution to Maden Complex controversy of the southeast Anatolian orogen (Turkey). Geologische Rundschau 85 (1996) 250-263.
- Yüksel, H.E., Çokrağan (Banaz-Uşak) Karst Sisteminde Beslenme-Boşalım İlişkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tez, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.