

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAHÇECİK (BARTIN) İÇME SUYU KAYNAĞININ KÖKENİNİN,  
BESLENİM-BOŞALIM MEKANİZMASININ VE KAYNAK KORUMA  
ALANLARININ BELİRLENMESİ**

**EMET KARAMÜRSEL**

**KOCAELİ 2019**

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAHÇECİK (BARTIN) İÇME SUYU KAYNAĞININ KÖKENİNİN,  
BESLENİM-BOŞALIM MEKANİZMASININ VE KAYNAK KORUMA  
ALANLARININ BELİRLENMESİ

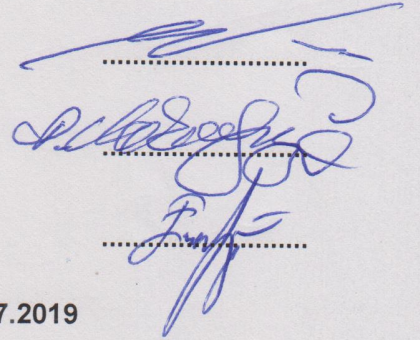
EMET KARAMÜRSEL

Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL  
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL  
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.

Dr. Öğretim Üyesi Ercan SANĞU  
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2019



Handwritten signatures of the jury members and supervisor, including Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL, Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL, and Dr. Öğretim Üyesi Ercan SANĞU.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında beni yönlendiren, destekleyen, arazi ve laboratuvar çalışmalarında yalnız bırakmayan, bilgi ve birikimini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Saha çalışmalarında ve jeoloji haritalarının revize edilmesi hususunda yardımlarını esirgemeyen, haritalama ve coğrafi bilgi sistemleri konusunda bilgi ve birikiminden faydalandığım değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ercan SANGU'ya teşekkür ederim.

Ayrıca bütün arazi çalışmalarında yardımını esirgemen araştırma görevlisi Ahmet ŞENER'e teşekkürlerimi sunarım.

Hidrolojik ve meteorolojik verileri paylaşan Devlet Su İşleri Kastamonu 23. Bölge Müdür Yardımcısı Çağatay ERGİN beye, yine Kastamonu Devlet Su İşleri 23. Bölge Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve YAS Şube Müdürü Mümtaz GÜNEŞ beye teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca her türlü çalışmalarında beni destekleyen bünyesinde çalıştığım Kırmızıtaş Jeolojik Hizmetler İnşaat Madencilik LTD. ŞTİ sahibi Hasan KIRMIZITAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran – 2019

Emet KARAMÜRSEL

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
GİRİŞ .....	1
1.İNCELEME ALANI VE ÇEVRESİNİN COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ.....	3
1.1.Jeomorfoloji.....	4
1.2.İklim ve Bitki Örtüsü.....	7
1.2.1.Yağış.....	8
1.2.2.Sıcaklık .....	11
2.MALZEME VE YÖNTEM.....	14
2.1.Jeolojik ve Hidrojeolojik Çalışmalar .....	14
2.2.Jeomorfolojik Araştırmalar .....	15
2.2.1.Mağara sistemlerinin araştırılması.....	16
2.3.Akarsu-Kaynak Suyu Hidrolik İlişkisinin Belirlenmesi.....	18
2.4.Hidrolojik Bilanço Elemanlarının Hesaplanması.....	20
2.5.Boya İzleme Deneyleri .....	23
2.6.Su Örnekleme ve Analitik Yöntemler .....	29
3.JEOLOJİ.....	32
3.1.İnceleme Alanı Civarının Jeolojisi .....	32
3.1.1.Paleozoyik yaşlı jeolojik formasyonlar.....	34
3.1.2.Mezozoyik yaşlı jeolojik formasyonlar.....	35
3.1.3.Tersiyer yaşlı jeolojik formasyonlar .....	36
3.1.4.Kuvaterner yaşlı jeolojik formasyonlar .....	37
4.HİDROLOJİ.....	38
4.1. Akarsular .....	38
5.HİDROJEOLOJİ .....	39
5.1.Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	39
5.1.1.Az geçirimli-geçirimsiz formasyonlar .....	39
5.1.2.Yarı geçirimli formasyonlar.....	40
5.1.3.Geçirimli-çok geçirimli formasyonlar .....	40
5.2.Kaynaklar .....	46
5.2.1.Bahçecik Kaynağı .....	47
5.3.Bahçecik Kaynağı ile Ovacuma Deresi ve Alüvyon akiferi arasındaki Hidrolik İlişkinin Değerlendirilmesi .....	50
5.4.Bahçecik Kaynağı'nın Beslenme Alanının Belirlenmesi.....	54
5.5.Karst Akiferinin Beslenme Karakteristiği ve Su Bütçesi.....	58
5.6.Bahçecik Kaynağı'nın Kavramsal Hidrojeolojik Modeli.....	62
6.HİDROJEOKİMYA.....	64
6.1.Su Örneklerin İzotop Jeokimyası .....	78
7.BAHÇECİK KAYNAĞI KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ .....	84

7.1.Kaynak Suların Koruma Alanlarının İlgili Mevzuat İçerikleri .....	84
8.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	89
KAYNAKLAR .....	92
EKLER.....	95
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER .....	98
ÖZGEÇMİŞ .....	99



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Bahçecik Kaynağı'nın konumu.....	3
Şekil 1.2.	İnceleme alanı yükseklik dağılım haritası.....	4
Şekil 1.3.	İnceleme Alanı yükseklik dağılım grafiği.....	4
Şekil 1.4.	İnceleme alanı eğim dağılım grafiği .....	5
Şekil 1.5.	İnceleme alanı eğim haritası .....	6
Şekil 1.6.	İnceleme alanı bakı dağılım grafiği .....	6
Şekil 1.7.	İnceleme alanı yamaç yönelimi haritası.....	7
Şekil 1.8.	Proje alanı ve civarındaki meteoroloji istasyonlarının haritası.....	8
Şekil 1.9.	Ovacuma DMİ ortalama aylık yağış verileri grafiği.....	9
Şekil 1.10.	Ovacuma DMİ'ye ait birikimli sapma ve yağışın dağılışı grafiği .....	10
Şekil 1.11.	Meteoroloji istasyonları ( 3 adet ) regresyon analizleri .....	11
Şekil 1.12.	Ulus DMİ'ye ait aylık ortalama sıcaklık verileri grafiği .....	13
Şekil 2.1.	Bahçecik Kaynağı kaptajında ve Ovacuma Çayında muline cihazı ile ölçümlerinin alınması .....	15
Şekil 2.2.	Uluyayla Mağarası özellikleri ve görünümü.....	17
Şekil 2.3.	Karlık Düdeni özellikleri ve görünümü .....	17
Şekil 2.4.	Uluyayla Düdeni'nden görünüm ve özellikleri.....	18
Şekil 2.5.	Bahçecik Kaynağı ve civarı akarsu ağı haritası .....	19
Şekil 2.6.	Ovacuma Çayı akım gözlem noktaları.....	20
Şekil 2.7.	Ulus DMİ hidrolojik su bütçesi bileşenlerinin aylık değişimi .....	22
Şekil 2.8.	Kayabaşı Deresi Subatan-2'de doğal akışla boya enjeksiyonu .....	25
Şekil 2.9.	Karlık Deresi Subatanı doğal akışla boya enjeksiyonu.....	25
Şekil 2.10.	63402 no.lu kuyu da yapay akışla boya enjeksiyonu.....	26
Şekil 2.11.	Boya deneyi sonrası kuyuya verilen su ve seviye ölçümü.....	26
Şekil 2.12.	Florometre cihazının Bahcecik kaynağı kaptajı içerisine yerleştirilmesi .....	27
Şekil 2.13.	İzleyici breakthrough grafiği ve bileşenleri .....	28
Şekil 2.14.	Bahçecik Kaynağı'nda multiparametre cihazı ile yapılan yerinde ölçümden bir görünüm.....	30
Şekil 3.1.	İnceleme alanı ve çevresinin jeolojisi .....	33
Şekil 3.2.	İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti .....	34
Şekil 5.1.	Ulus Formasyonununa ait az geçirimli geçirimsiz kumtaşı, çamurtaşı, kiltası ardaşanmasından bir görünüm .....	39
Şekil 5.2.	Düzağaç Mevkiide mostra veren traverten biriminden bir görünüm.....	40
Şekil 5.3.	İnaltı Formasyonu kireçtaşlarından bir görünüm.....	41
Şekil 5.4.	Uluyayla mağarası ağzı.....	41
Şekil 5.5.	Çokman Yaylası Karlık Düden ağzı .....	42
Şekil 5.6.	Karlık Düdeni içerisine ait fotoğraf görüntüleri .....	42
Şekil 5.7.	Uluyayla Mağarası Drenaj alanı .....	43

Şekil 5.8. Kayabaşı dere yatağı içinde yer alan su batan yapısı.....	43
Şekil 5.9. Ovacuma Çayı dere yatağı alüvyonları.....	44
Şekil 5.10. Bahçecik Kaynağı civarının hidrojeoloji haritası .....	45
Şekil 5.11. Bahçecik Kaynağı ve K-1 Kaynağının lokasyonunu gösteren Google Earth görüntüsü.....	46
Şekil 5.12. Bahçecik Kaynağı kaptajından bir görünüm.....	47
Şekil 5.13. Bahçecik kaynağı kaptajı kuşaklama kanalı ve beton yapısı.....	47
Şekil 5.14. Bahçecik kaynağı kaptajı en kesiti.....	48
Şekil 5.15. Bahçecik Kaynağı kaptajı su çıkışları görünümü .....	48
Şekil 5.16. Bahçecik Kaynağı kaptaj girişi, yeri ve içinin görünümü.....	49
Şekil 5.17. Kaptaj içi ve filtreli boru görünümü .....	49
Şekil 5.18. Bahçecik Kaynağı kaptaj alanı ve civarının 12/Ekim/218 ve 23/Kasım/2018 tarihli Eş YAS Seviye Eğrileri Haritaları.....	52
Şekil 5.19. Boya enjeksiyon noktası, Bahçecik Kaynağı ve Subatan-2'nin konumu .....	54
Şekil 5.20. Karakışla Subatan-2 ile Bahçecik Kaynağı arasında yapılan boya izleme deneyine ait uranın breakthrough grafiği .....	55
Şekil 5.21. Karlık Subatanı ve Bahçecik Kaynağı'nın konumlarını gösteren GoogleEarth görüntüsü.....	56
Şekil 5.22. Karlık Subatanı ile Bahçecik Kaynağı arasında yapılan boya izleme deneyine ait uranın ve bulanıklık breakthrough grafikleri .....	57
Şekil 5.23. Bahçecik Kaynağı hidrografi .....	59
Şekil 5.24. Uluyayla ve Çokman Yaylaları ile Kireçtaşı Kapalı Drenaj alanları gösteren Google Earth görüntüsü .....	61
Şekil 5.25. Bahçecik Kaynağı'nın beslenme-boşalım mekanizmasını gösteren blok diyagram .....	63
Şekil 6.1. Su örneklerinin pH değerlerinin karşılaştırması .....	67
Şekil 6.2. Su örneklerinin EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) değerlerinin karşılaştırması.....	68
Şekil 6.3. Su örneklerinin çözülmüş oksijen (DO) içeriklerinin karşılaştırması.....	68
Şekil 6.4. İnceleme alanında alınan su örneklerinin toplam alkalinite değerleri .....	69
Şekil 6.5. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramı.....	71
Şekil 6.6. İnceleme alanındaki su örneklerinin Schoeller diyagramı.....	72
Şekil 6.7. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Wilcox diyagramı .....	73
Şekil 6.8. İnceleme alanından alınan su örneklerinin SAR diyagramı .....	74
Şekil 6.9. Farklı su örneklerinin çözülmüş fazdaki iz element içeriklerinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 6.10. Bahçecik Kaynağı ve Karlık Deresi subatanına ait yüzey su örneklerinin çözülmüş fazdaki iz element içeriklerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 6.11. İnceleme alanından alınan su örneklerinin $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi. ....	79
Şekil 6.12. K-1 Kaynak yeri ve Ovacuma Çayı'nın menderesli görünümü .....	80
Şekil 6.13. Proje alanından alınan su örneklerinin Trityum- $\delta^{18}\text{O}$ grafiği. ....	82
Şekil 6.14. Proje alanından alınan su örneklerinin Trityum- $\delta^2\text{H}$ grafiği.....	83
Şekil 7.1. Bahçecik Kaynağı ve diğer düden ve mağara yapıları için belirlenen koruma alanları .....	88

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Meteoroloji istasyonlarının özellikleri.....	8
Tablo 1.2. Ovacuma DMİ yağış verileri tablosu.....	9
Tablo 1.3. Yağış-yükseklik ilişkisinde değerlendirilen meteoroloji istasyon verileri .....	10
Tablo 1.4. Ulus DMİ sıcaklık verileri .....	12
Tablo 2.1. Ovacuma Çayı akım ölçüm noktaları .....	19
Tablo 2.2. Ulus DMİ hidrolojik bilanço hesaplamaları .....	21
Tablo 2.3. 7.02.2005 tarih ve 25730 sayılı İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik ekinde içme suları için belirten ve çalışma kapsamında analiz edilen parametrelerin sınır değerleri.....	31
Tablo 4.1. Ovacuma deresi üzerinde Bahçecik Kaynağı memba ve mansabında ölçülen debi değerleri.....	38
Tablo 5.1. Bahçecik Kaynağı debi ölçüm değerleri tablosu .....	50
Tablo 5.2. Ovacuma Çayı akım değerleri (m <sup>3</sup> /sn) tablosu .....	51
Tablo 5.3. Bahçecik kaynağı çevresindeki kuyularda ölçülen YAS kotları .....	52
Tablo 5.4. Bahçecik Kaynağı hidrograf analizi .....	60
Tablo 6.1. İnceleme alanından alınan su örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri.....	64
Tablo 6.2. İnceleme alanından alınan kaynak, kuyu ve dere suyu örneklerinin majör iyon analiz sonuçları .....	65
Tablo 6.3. İnceleme alanından alınan kaynak, kuyu ve dere suyu örneklerinin ağır metal analiz sonuçları.....	65
Tablo 6.4. Bahçecik Kaynağı, kuy ve Ovacuma Çayı suyu örnek <sup>18</sup> O/ <sup>2</sup> D/ <sup>3</sup> H analiz sonuçları.....	78

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$^{18}\text{O}$	: Oksijen-18
$^3\text{H}$	: Tritiyum
C	: Gözlem noktasında hedeflenen maksimum konsantrasyonu, ( $\mu\text{g/L}$ )
Ca	: Kalsiyum
$C_c$	: Kütle merkezi konsantrasyonu, ( $\mu\text{g/L}$ )
Cl	: Klorür
$C_p$	: Maksimum izleyici konsantrasyonu, ( $\mu\text{g/L}$ )
D	: Döteryum
DCy	: Yılanlı Formasyonu
EC	: Elektriksel iletkenlik, ( $\mu\text{S/cm}$ )
ETa	: Yıllık toplam gerçek buharlaşma-terleme miktarı, (mm)
ETp	: Yıllık toplam potansiyel buharlaşma-terleme miktarı, (mm)
$\text{HCO}_3$	: Bikarbonat
$\text{hm}^3$	: hektometreküp
JKi	: İnaltı Formasyonu
K	: Potasyum
Ku	: Ulus Formasyonu
Kua	: Ahmetusta Üyesi
L	: Enjeksiyon noktası ile gözlem noktası arasındaki mesafe, (km)
M	: İzleyici miktarı, (kg)
m	: Metre
$M_0$	: Sıfırıncı zamansal moment
$M_1$	: Birinci zamansal moment
$M_1^*$	: Birinci normalize edilmiş zamansal moment
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
Ode	: Ereğli Formasyonu
P	: Yıllık toplam yağış miktarı, (mm)
Q	: Debi, ( $\text{l/sn}$ ; $\text{m}^3/\text{sn}$ )
$Q_0$	: Baz akımın başlangıcındaki debi, ( $\text{m}^3/\text{sn}$ )
Qal	: Alüvyon
$\text{SO}_4$	: Sülfat
T	: Sıcaklık, ( $^{\circ}\text{C}$ )
t	: Zaman, (sn)
$t_1$	: İzleyici ilk varış zamanı
$t_1^*$	: Baz akımın bir logaritmik birim düşmesi için gereken zaman, (gün)
$t_{50}$	: Kütle geri kazanımının yarısının gözlem noktasına varış zamanı
$t_c$	: Kütle merkezi varış zamanı
TDS	: Toplam çözünmüş katı madde miktarı, ( $\text{mg/L}$ )
$t_e$	: Gözlem süresi bitiş zamanı

Teka	:	Karabük Formasyonu
Tes	:	Safranbolu Formasyonu
$t_p$	:	Maksimum konsantrasyon varış zamanı
$T_p$	:	Boya enjeksiyon süresi, (sn)
Tr	:	Traverten
$T_t$	:	Enjeksiyon noktasından gözlem noktasına olan seyahat süresi
TU	:	Tritiyum birimi
V	:	Birbirini takip eden yıllar arasında gerçekleşen yeraltısuyu boşalım miktarı, ( $m^3$ )
$V_t$	:	Baz akımın sonunda geriye kalan toplam potansiyel yeraltısuyu boşalım miktarı, ( $m^3$ )
$V_{tp}$	:	Baz akım süresince gerçekleşen toplam potansiyel yeraltısuyu boşalım miktarı, ( $m^3$ )
$\delta$	:	İzotop oranı

### **Kısaltmalar**

BÜMAK	:	Boğaziçi Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübü
CBS	:	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEM	:	Digital Elevation Model (Sayısal Yükseklik Modeli)
DMİ	:	Devlet Meteoroloji İstasyonu
HÜ	:	Hacettepe Üniversitesi
MTA	:	Maden Teknik Arama
ODTÜ	:	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu

## BAHÇECİK (BARTIN) İÇME SUYU KAYNAĞININ KÖKENİNİN, BESLENİM-BOŞALIM MEKANİZMASININ VE KAYNAK KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ

### ÖZET

Bahçecik Kaynağı, Bartın ili, Ulus ilçesi sınırlarında yer almakta olup, Bartın iline ve Türkiye'nin önemli turistik yerlerinden biri olan Amasra ilçesine içme-kullanma suyu olarak verilmektedir. Ayrıca mansabında yer alan bir adet değirmene de işletme suyu sağlanmaktadır.

Bahçecik Kaynağı yağışlı dönemde  $4,0 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'den fazla debiye sahip iken, kurak dönemde debisi  $150-250 \text{ l/sn}$ 'ye kadar düşmektedir. Yöre halkı için oldukça önemli olan Bahçecik Kaynağı'nın sürdürülebilir su yönetimi, su kalitesinin korunması ve kaynak geliştirme seçeneklerinin ortaya konabilmesi için kaynağın kökeninin, beslenme-boşalım mekanizmasının ve boşaldığı karst akiferin yeraltısuyu akım hidrodinamiğinin ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

Bahçecik Kaynağı, Ovacuma Deresinin 100 m güneyinde, Kuvaterner yaşlı alüvyon birimi içerisinden boşalmaktadır. Kaptaj çevresinde yaklaşık 15 m kalınlığa sahip alüvyon biriminin altında bölgede oldukça geniş yayılıma sahip Ulus Formasyonuna ait az geçirimli-geçirimsiz kumtaşı, çamurtaşı, kiltası ardalanmasından oluşan birimler mostra vermektedir. Bahçecik Kaynağı akiferini oluşturan İnaltı Formasyonu'na ait kireçtaşları, kaynağın 8-10 km hem kuzeydoğusunda ve hem de güneyinde geniş alanlarda yayılım göstermekte olup, ileri derecede karstlaşma sergilemektedir. Bölgede Ulu Yayla mevkiinde bu kireçtaşları içerisinde gelişmiş yatay geniş mağara ve düden yapıları da mevcut olmakla birlikte, bu yapılar Uluyayla mevkinde ağırlıklı olarak Ulus Formasyonu üzerinde gelişmiş kapalı yüzey su drenaj sisteminin boşalım noktalarını oluşturmaktadır.

Beslenme alanları ile kaynak arasında yürütülen boya izleme deneyleri sonucunda 473 ile 1166 m/gün arasında değişen yeraltısuyu hızları saptanmış, Bahçecik Kaptaj suyunda, şiddetli ve mevsimsel yağışların ardından bulanıklık piklerinin oluştuğu görülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlar karst akiferin oldukça hızlı bir beslenme-boşalım mekanizması ve kanal akımı sergilediğini göstermektedir. Uluyayla kapalı drenaj sistemi Bahçecik Kaynağı'nın en önemli beslenme alanını oluşturmaktadır. Bu bölgedeki kapalı drenaj sistemini dren eden iyi gelişmiş düden sistemleri kaynağın kirlenmeye karşı en hassas alanlarını oluşturmaktadır. Bu kapsamda Bahçecik Kaynağı'nın su kalitesinin korunması için bu sistemlerin kaynağın birinci derece koruma alanları olarak ilan edilmesi önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bahçecik Kaynağı, Boya İzleme Deneyi, Hidrograf Analizi, Karst Akiferi, Kaynak Koruma Alanları.

# **DETERMINATION OF THE ORIGIN, RECHARGE-DISCHARGE MECHANISM AND PROTECTION AREAS OF BAHÇECİK SPRING (ULUS-BARTIN)**

## **ABSTRACT**

Bahçecik Spring is located within the boundaries of Bartın City in Ulus province and is assigned as the drinking and municipal water source for Amasra, one of the most important touristic cities of Turkey. It also provides service water to the one mill located at the downstream.

Discharge rate of Bahçecik Spring varies from 4.0 m<sup>3</sup>/sn in wet season to 150-250 l/sn on dry season. For sustainable management of Bahçecik spring which is very crucial for local community, preserving its water quality and the assessment of the spring development options, determination of the recharge and discharge mechanisms of Bahçecik spring and groundwater flow dynamics of the aquifer system is crucial.

Bahçecik Spring discharges from quaternary alluvium at a location 100 m south of the Ovacuma stream. In the vicinity of the spring catchment, alluvium has approximately 15 m thickness and is underlined by semi-permeable/ impermeable units of Ulus formation consisting of intercalations of sandstone, mudstone and claystone, which exhibits wide areal distribution in the region. Limestones that belong to İnatlı Formation which forms the aquifer system of Bahçecik spring outcrop in wide areas at 8-10 km northeast and south from the spring and exhibits intense karstification. In Uluyayla region, horizontal cave systems and swallowholes developed in İnatlı limestones exist and drain the closed catchment of Uluyayla Plateau.

Dye tracer tests conducted between recharge areas and Bahçecik spring showed that apparent groundwater velocities in karst aquifer ranged from 473 to 1166 m/day. Bahçecik spring water also exhibited increase in turbidity following the intense rainfall events in the region. All these results suggest that the karst aquifer exhibits fairly rapid recharge-discharge characteristics and conduit groundwaterflow. Uluyayla closed drainage system forms the main recharge area of the Bahçecik spring. Well-developed swallowhole systems that drain the Uluyayla catchment in the region are the most sensitive recharge areas of the karst aquifer in terms of groundwater contamination and needs to be declared as spring protection zone for preserving water quality of Bahçecik spring.

**Keywords:** Bahçecik Spring, Dye Tracing Test, Hydrograph Analysis, Karst Aquifer, Spring Protection Zones.

## GİRİŞ

Nüfus artışı, turizm, küresel ısınma, yaşam standartlarındaki değişim ve kirlilik gibi etmenler dünyanın birçok yerinde olduğu gibi Türkiye’de de su kaynakları üzerinde giderek artan bir baskı oluşturmaktadır. Özellikle kentleşmenin, sanayileşmenin ve turizmin yoğun olduğu ve artış gösterdiği şehirlerde bu baskı daha şiddetli hissedilmektedir. Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre Türkiye, kişi başına düşen yıllık 1.519 m<sup>3</sup>’lük kullanılabilir su miktarı ile su azlığı çeken ülkeler sınıfındadır (URL-1). Tüm bu etmenler ülkemizdeki su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi açısından yapılacak çalışmaların önemini arttırmaktadır.

Bartın ili ve Amasra ilçesi Türkiye’nin en önemli büyük kentlerinden olan Ankara ve İstanbul’ yakınlığından dolayı turizm açısından çok önemli durumda yer almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Bartın ili nüfusu son on yılda yaklaşık % 6,85’lik artışla 198.999’ye ulaşmıştır. Sanayileşme, turizm, nüfus artışı ve nüfus artışına paralel olarak gelişen yapılaşma gibi etmenlerden dolayı şehrin su kaynaklarının korunmasına yönelik yapılacak çalışmalar büyük önem arz etmektedir.

Bahçecik Kaynağı, Bartın ili Amasra ilçesinin tek içme suyu kaynağıdır. Bahçecik Kaynağı yağışlı dönemde 4,0 m<sup>3</sup>/sn’ den fazla debiye sahip iken, kurak dönemde debisi 150-250 l/sn’ye kadar düşmektedir. Kış aylarında kaynağın debisi önemli turizm yerlerinden olan Bartın ili ve Amasra ilçesine yeterli iken, kurak yaz aylarında Bahçecik Kaynağı’nın debisi ihtiyaç duyulan su talebini karşılayamamaktadır. Bahçecik Kaynağı’nın geliştirilme koşullarının değerlendirilmesi, kirlilik faktörlerinin ortaya konulabilmesi için kaynağın beslenme ve boşalım mekanizmasının belirlenmesi son derece önemlidir.

İnceleme alanı ve çevresi hakkında literatürde yer alan çalışmalar ağırlıklı olarak bölgenin jeolojisi (Akyol ve diğ., 1974; Saner ve diğ., 1980; Akman 1992; Akbaş ve diğ., 2002; Uz ve diğ., 2001; Timur ve Aksay, 2002), stratigrafisi (Arni 1938,1939,1941; Tokay 1955; Kaya ve diğ., 1982) ve yapısal özellikleri (Bengü 2017) ile ilgilidir.

Arni (1938,1939,1941) tarafından yapılan çalışmalarda Zonguldak- Amasra civarının jeoloji haritalaması yapılmış ve bölgenin stratigrafiği ortaya konulmuştur.

Tokay (1955) Filyos Çayı Ağızı, Amasra, Bartın, Kozcağız ve Çaycuma yerleşim yerleri arasında kalan bölgenin stratigrafisini incelemiştir.

Saner ve diğ. (1980) Karabük-Safranbolu bölgesinin jeolojisini araştırmıştır.

Kaya ve diğ. (1982) Zonguldak Ereğli bölgesinde yer alan Kretase yaşlı formasyonların stratigrafi üzerinde çalışmalar yürütmüş, Kretase yaşlı birimlerin tabanında İnaltı Formasyonu olduğunu belirlemiştir.

Akman (1992) Amasra-Arit civarının jeolojisini ortaya koyduğu doktora tez çalışmasında, İnaltı Formasyonuna ait kireçtaşlarını yaş, fasiyes ve eski coğrafya açısından 2 ayrı üye olarak tanımlamıştır.

Uz ve diğ. (2001) Bahçecik kaynağının güneybatısında Düzköy-Düzağaç mevkiinde yüzeylenen traverten oluşumlarının jeolojisini ve petrografik özelliklerini ortaya koymuş ve traverten ocağının mermer olarak işletilebilirliğini araştırmıştır.

Timur ve Aksay (2002) ve Akbaş ve diğ. (2002) inceleme alanını içine alan bölgede 1/100000 ölçekli Zonguldak F-29 ve E-29 paftalarının jeoloji haritalamasını yapmış ve bölgenin stratigrafisini ortaya koymuştur.

Bengü (2017) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında da Bartın-Ulus-Safranbolu Havzalarının Paleojen Sonrası Stres Dağılımı incelenmiştir.

İnceleme alanının hidrojeolojisi ortaya koymaya yönelik çalışmalar literatürde sınırlı olup bu çalışmalar ağırlıklı olarak DSİ tarafından yapılmıştır.

BÜMAK (1988) tarafından Zonguldak ili Uluyayla civarında yürütülen arazi çalışmalarında Uluyayla ve Karlık mağara ve düden yapılarının haritalaması yapılmıştır.

Avan (2016) tarafından hazırlanmış Bartın Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı Geliştirme Projesi Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu'da Bahçecik Kaynağının alüvyon akiferinden beslendiği belirtilmiştir. 2018 yılında DSİ tarafından ihale edilen ve

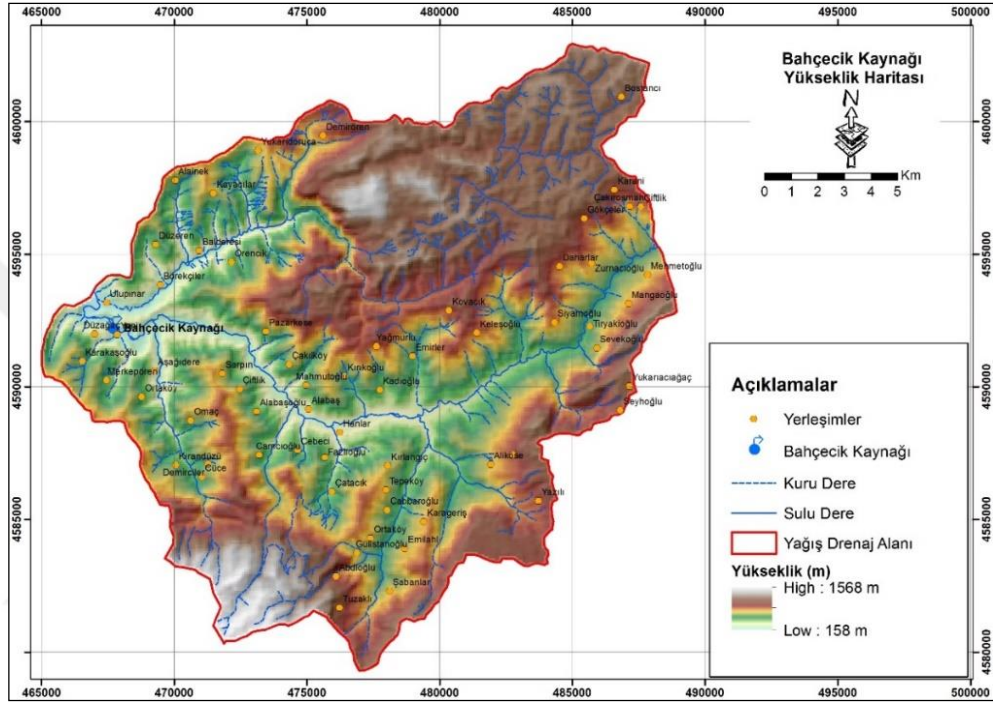
Kırmızıtaş Jeolojik Hizmetler tarafından yapılan Bartın Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı Geliştirme Projesi Hidrojeolojik Etüt çalışması kapsamında ise kaynağın karst kaynağı olduğu ve kaynak geliştirilmesi yönelik seçenekler ortaya konulmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında karst akiferlerine özgü metotlar klasik hidrolojik ve hidrojeolojik yöntemlerle bir arada kullanılarak Bahçecik kaynağının boşaldığı karst akiferinin yapısı, hidrodinamik özellikleri ve beslenme-boşalım ilişkisi ortaya konulmuş ve kaynak koruma alanları belirlenmiştir. Bu kapsamda; öncelikle inceleme alanının temel jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri detaylı olarak incelenerek jeolojik birimler ile yapısal unsurların yeraltı suyu dolaşımıyla ve kaynaklarla olan ilişkisi irdelenmiştir. Bununla birlikte, jeomorfolojik çalışmalar aracılığıyla kaynakların, karstik yapıların ve beslenme alanlarının inceleme alanı içerisindeki dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca, karst sisteminin içerisinde yer alan yapısal unsurlar tespit edilmiştir. Bu temel çalışmaların ardından kaynak hidrografları analiz edilerek kaynağın su potansiyeli ve boşalım katsayısı hesaplanmıştır. Boya izleme deneyleri uygulanarak noktasal beslenme alanları ile Bahçecik kaynağı arasındaki hidrolik ilişki belirlenmiş, izleyici seyhat süreleri ve yeraltı suyu hızları hesaplanmıştır. Ayrıca, detaylı su kimyası ve çevresel izotop analizleri gerçekleştirilerek Bahçecik Kaynağı'nın su kalitesi, hidrojeokimyasal özellikleri ve kökeni ortaya konulmuştur.



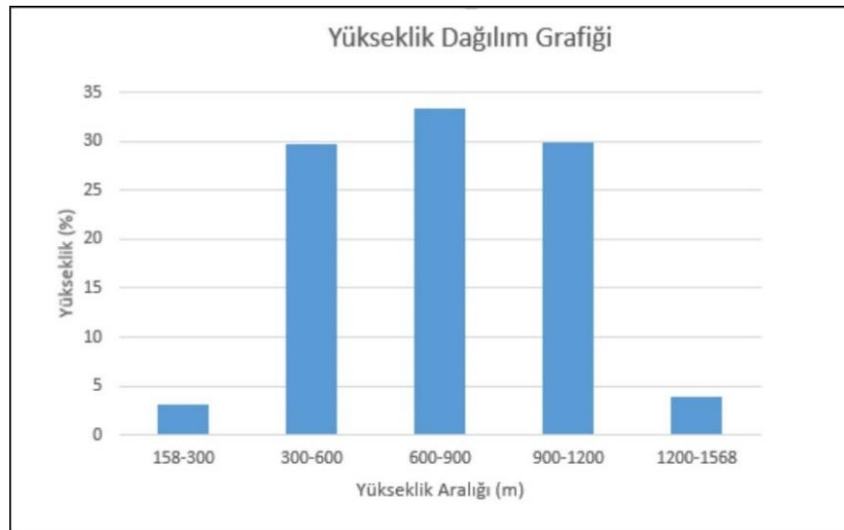
## 1.1. Jeomorfoloji

Bahçecik Kaynağı yağış drenaj alanının en düşük yüksekliğini kuzeyde Ulupınar mevkiinde oluşturuyor iken, en yüksek noktasını güneyde 1568,0 m ile Kilimli Tepesi oluşturmaktadır. Bu bölgenin ağırlıklı ortalama yüksekliği 757,84 m olup, Bahçecik Kaynağı'nın kotu 186,0 m olarak belirlenmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İnceleme alanı yükseklik dağılım haritası

Çalışma alanına ait yükseklik dağılım grafiği de Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. İnceleme Alanı yükseklik dağılım grafiği

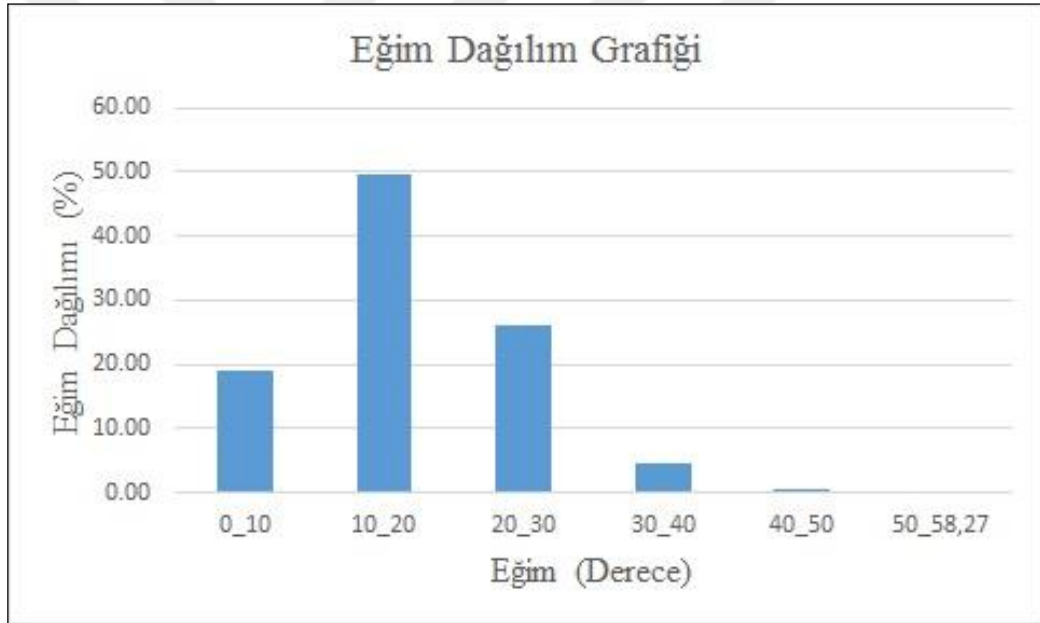
Ayrıca bu çalışma kapsamında eğim ve bakı haritaları da oluşturulmuş olup, eğim ve bakıya ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### İnceleme Alanı Eğim Dağılımı

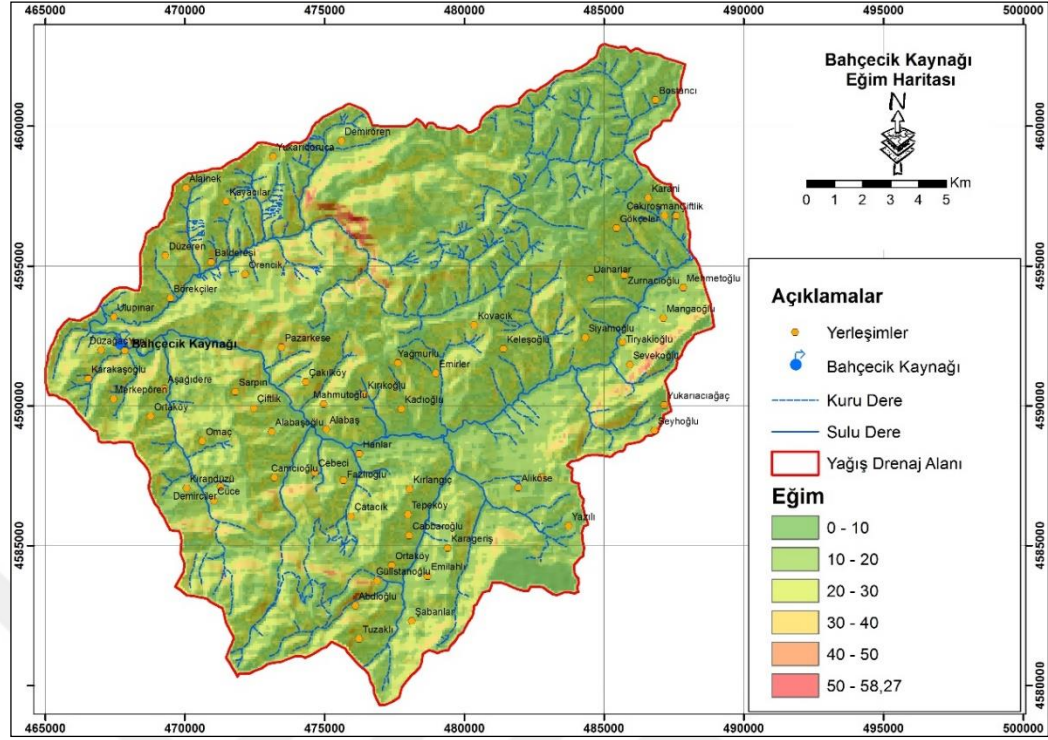
1/25.000 ölçekli sayısal topografik haritalardan faydalanılarak CBS ortamında hazırlanan eğim dağılım grafiği (Şekil 1.4) ve eğim dağılım haritası (Şekil 1.5) aşağıda verilmiştir. Dağılım grafiğine göre:

- Maksimum eğim: 58,27°
- Ağırlıklı ortalama eğim: 16,61° olarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanında eğimin fazla olduğu bölgeler çoğunlukla Bahçecik Kaynağı'nın kuzeydoğusunda yer alan yüksek rakımlı yerlerin oluşturduğu bölgelerdir.



Şekil 1.4. İnceleme alanı eğim dağılım grafiği



Şekil 1.5. İnceleme alanı eğim haritası

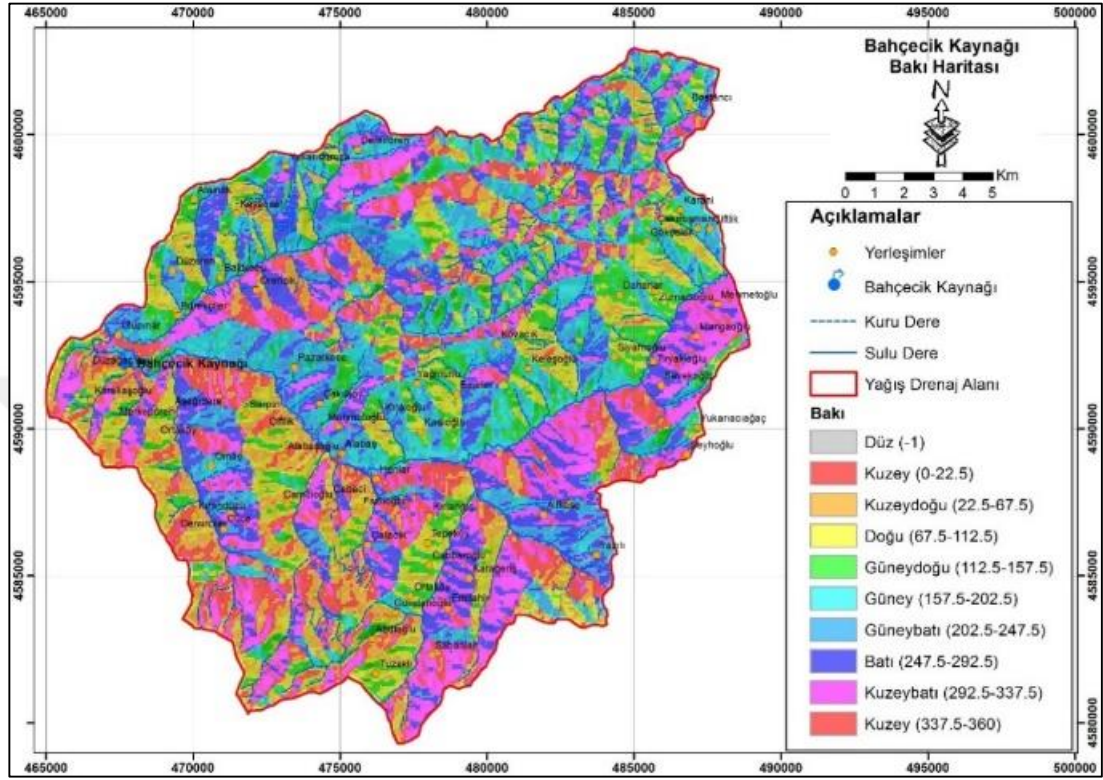
#### İnceleme Alanı Bakı Dağılımı

1/25.000 ölçekli sayısal topografik haritalardan faydalanılarak CBS ortamında hazırlanan yamaç yönelimi (bakı) dağılım grafiği (Şekil 1.6) ve dağılım haritası (Şekil 1.7) aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.6. İnceleme alanı bakı dağılım grafiği

Bahçecik Kaynağı ve çevresinin yamaç yönelimi incelendiğinde topografya kuzeyinin ve doğusunun daha çok kuzeydoğu-doğu, güneyinin ve batısının güney-güneybatı yöneliminde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1.7. İnceleme alanı yamaç yönelimi haritası

## 1.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Bahçecik Kaynağı ve civarı ılıman “Karadeniz İklimi” tipine sahiptir. Bahçecik Kaynağı’na en yakın meteoroloji istasyonu Ovacuma Meteoroloji İstasyonu’dur. Ovacuma Meteoroloji İstasyonu’na ait 1969-1991 yağış ve sıcaklık verisi bulunmaktadır. 1991 yılında kapandığı için 1991 yılı sonrası verileri bulunmamaktadır. Ovacuma Meteoroloji İstasyonu haricinde, inceleme alanı ve çevresinde yer alan en yakın meteoroloji istasyonları Bartın, Ulus, Safranbolu, Çaycuma ve Zonguldak Meteoroloji istasyonlarıdır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Proje alanı ve civarındaki meteoroloji istasyonlarının haritası

Belirlenen meteoroloji istasyonlarına ait bazı bilgiler aşağıda verilmiştir (Tablo 1.1)

Tablo 1.1. Meteoroloji istasyonlarının özellikleri

İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım (m)	Veri Yıl Aralığı	Durumu
17020	Bartın	30	1975-2015	Açık
696	Ulus	157	1950-2007	Açık
618	Ovacuma	400	1969-1991	Kapalı
17022	Zonguldak	137	1931-2015	Açık
775	Çaycuma	50	1950-1992	Kapalı
970	Safranbolu	545	1952-2005	Kapalı

İnceleme alanı çevresinde yer alan meteoroloji istasyon bilgileri yağış-yükseklik başlığı altında değerlendirilmiştir.

### 1.2.1. Yağış

Bahçecik Kaynağı'na en yakın meteoroloji istasyonu Ovacuma Meteoroloji İstasyonu'dur. Bundan dolayı Ovacuma Meteoroloji İstasyonu yağış verileri ayrıntılı olarak aşağıda değerlendirilmiştir.

#### Ovacuma Meteoroloji İstasyonu Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi

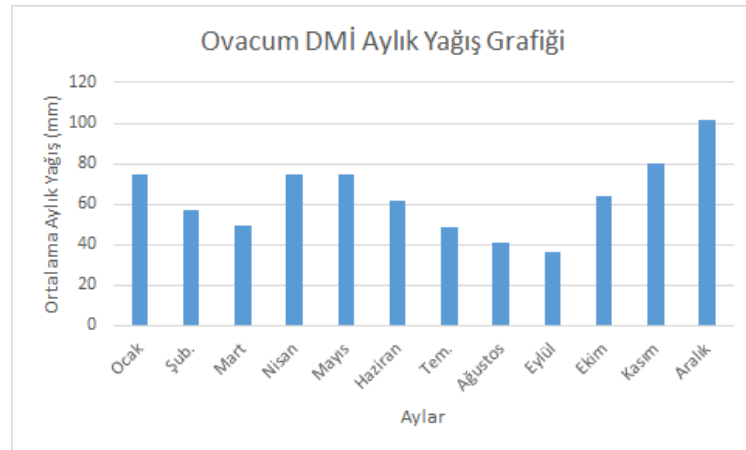
1991 yılında kapatılan Ovacuma Meteoroloji İstasyonu verileri Devlet Meteoroloji İstasyonu (DMI)'nden temin edilmiş ve temin edilebilen 1969-1991 yılları arası yağış verileri aşağıda Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Ovacuma DMİ yağış verileri tablosu

Yıllar	Aylar												Yıllık Top. Yağış
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	(mm)												
1968	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65.8	36.6	52.1	-
1969	70.8	70.5	43.1	106	59.1	91.1	12.4	2.4	60.3	12.1	39.6	87.2	654.6
1970	55.3	93.3	60.4	54.8	119.2	61	20.1	63.6	12.6	42.8	56.1	133.1	772.3
1971	23.7	84.9	77.1	76.1	117.5	33.5	17.4	34.9	22.9	66.5	76.6	268.6	899.7
1972	43.1	22.1	36.3	98.9	46.1	126.4	63.6	96	35.4	148	121.4	15.8	853.1
1973	80.9	50.2	58	83.9	49.8	84.5	18	26.1	11.1	44.1	228.3	113	847.9
1974	52.4	25.2	50.7	78.3	86.1	45	14	68.6	15.3	30.2	55.3	118.8	639.9
1975	45	52.8	70.1	56.2	122.1	35.6	1.8	21.1	26.7	104.3	48.9	102.7	687.3
1976	145	47	28.9	39.4	60.1	64.6	36.3	84.9	26.4	48.2	27.9	75.3	684
1977	56	29.3	105.4	52.6	66.7	29.6	13.4	75.3	34.7	45.6	77.1	45.6	631.3
1978	100.5	68.3	41.4	125.1	44.1	27.8	133.2	33.3	88.8	58.4	12.2	133.3	866.4
1979	102	55.7	29	58.7	63.8	57	107.3	35.6	49.7	30.8	105.4	80.8	775.8
1980	87.9	28.1	68.4	60.7	102.5	47.6	-	20.2	55.8	54.3	133.2	144.9	803.6
1981	72	51.9	121.8	51.8	73.1	49.2	84.8	19.9	45.7	11.9			
1982											32.6	69.2	
1983	101.4	54.9	38.4	92.7	56.7	79.6	179.7	34.2	40.4	99.9	92.2	50.8	920.9
1984	73.9	31.5	28.7	110	68.1	95.7	34.2	70.5	3.4	56.4	199.4	38.8	810.6
1985	71.6	198.5	28.3	62.6	32.3	63.4	48.9	37.8	24	106	32.7	167.4	873.5
1986	94.1	50.6	7.5	43.5	68.4	64.5	32.3	2.4	8.6	36.7	63.7	88.1	560.4
1987	140.8	26	44.9	71.7	63.7	27.2	51.5	48.4	1.8	64.3	34.3	151.3	725.9
1988													
1989							31	29.3	79.3	145	140.7	54.7	828.1
1990	27.9	29.7	36.1	85.3	82.4	83.4	21.7	19.9	78.7	80.1	19.7	88.5	653.4
1991	44.9	66.1	17.1	86.7	114.5								
Ort.	74.46	56.83	49.58	74.75	74.82	61.41	48.51	41.22	36.08	64.28	79.87	101.4	762.56

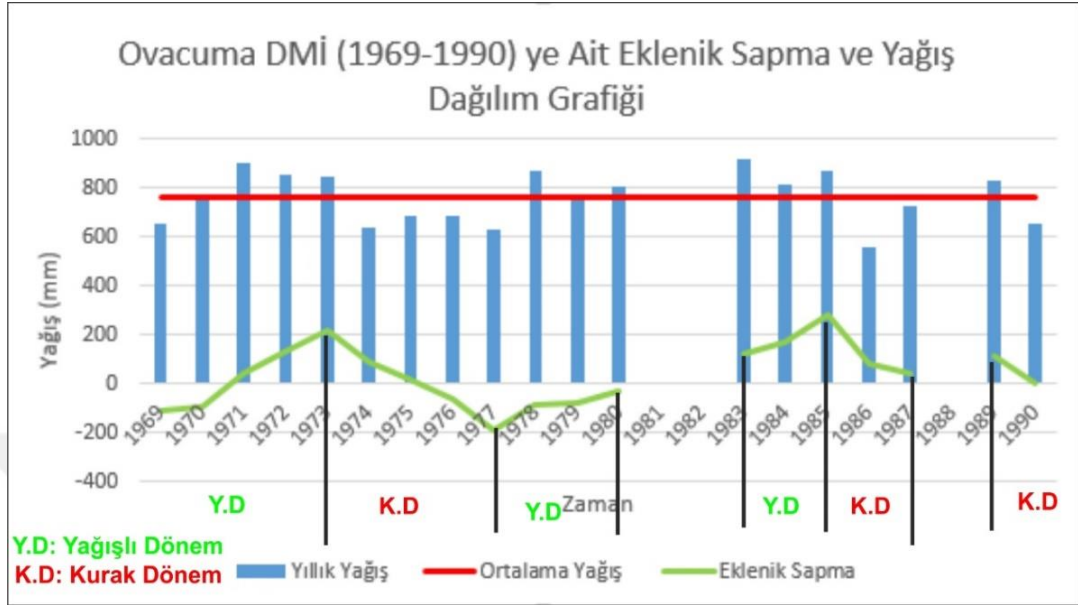
Tablo 1.2'ye göre; Ovacuma Meteoroloji İstasyonu 1969-1991 yılları arası yağış verilerinin yıllık ortalama yağışı 762,56 mm, en düşük yağış eylül aylarında 36,08 mm, en fazla yağış aralık ayında 101,40 mm'dir.

Tablo 1.2'de verilen yağış değerlerinden faydalanılarak, Ovacuma DMİ'nin ölçüm yapıldığı yıllara ait ortalama aylık yağış grafiği çizilmiştir (Şekil 1.9).



Şekil 1.9. Ovacuma DMİ ortalama aylık yağış veri grafiği

Ayrıca 1969-1991 yılları arasında kurak ve yağışlı dönemlerin belirlenmesi için eklenik sapma grafiği oluşturulmuş ve Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Ovacuma DMİ'ye ait birikimli sapma ve yağışın dağılışı grafiği

Ovacuma DMİ'ye ait Şekil 1.10'daki eklenik sapma ve yağış grafiği incelendiğinde; ölçüm alınan 1969-1991 yılları arasında, 1969-1973 yılları arası yağışlı, 1973-1977 yılları arası kurak, 1977-1985 yılları arası yağışlı (1981-1982 yılları verisi ölçüm 12 ay alınmadığından hesaplanamamış), 1985-1988 yılları arası kurak, 1988-1989 yılları arası ölçüm 12 ay alınmadığından hesaplanamamış, 1989-1990 yılları arası kurak olarak belirlenirken, 1990-1991 yılları arasında yine 12 aylık toplam yağış verisi alınmadan istasyon kapatılmıştır.

#### Yağış-Yükseklik İlişkisi

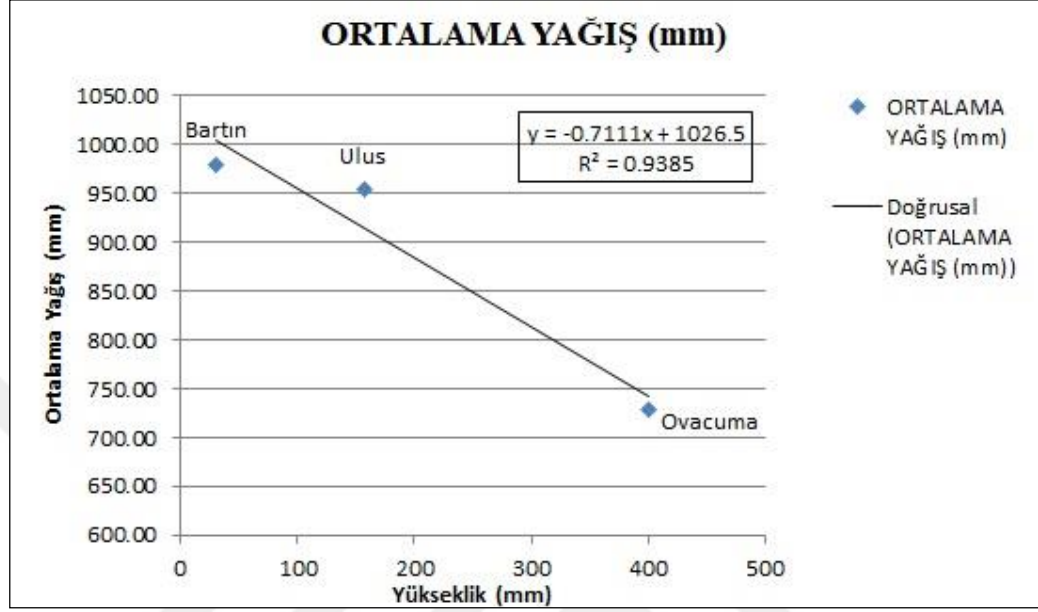
İnceleme alanı ve civarında, Bartın, Ulus ve Ovacuma meteoroloji istasyonları yer almaktadır. Bu meteoroloji istasyonlarına ait aynı tarihli yağış verilerin kotları ve yıllık yağış ortalamaları, yağış-yükseklik ilişkisi değerlendirilmiştir (Tablo 1.3).

Tablo 1.3. Yağış-yükseklik ilişkisinde değerlendirilen meteoroloji istasyon verileri

İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım (m)	Ortak Yıl Aralığı	Durumu
17020	Bartın	30	1975-1991	Açık
696	Ulus	157		Açık
618	Ovacuma	400		Kapalı

Bartın, Ulus ve Ovacuma meteoroloji istasyonları ile regresyon analizi yapılmıştır.

İnceleme alanına en yakın olarak belirlenen bu 3 adet meteoroloji istasyonu ile yapılan regresyon analizinde korelasyon katsayısı ( $R^2=0,9385$ ) belirlenmiştir (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. Meteoroloji istasyonları (3 adet) regresyon analizleri

Şekil 1.11 incelendiğinde 30 ile 400 m kotları arasında yağışın yükseklikle ters ilişki sergilediği gözlemlenmiştir. Bu ilişkinin yüksek kotlarda da geçerliliği olup olmadığı bölgede yüksek kotlarda meteoroloji istasyonu bulunmaması nedeniyle teyit edilememiştir. Ancak yükseklerle doğru gidildikçe bölgede yağışın, yerini kar yağışına bıraktığı bilinmektedir.

### 1.2.2. Sıcaklık

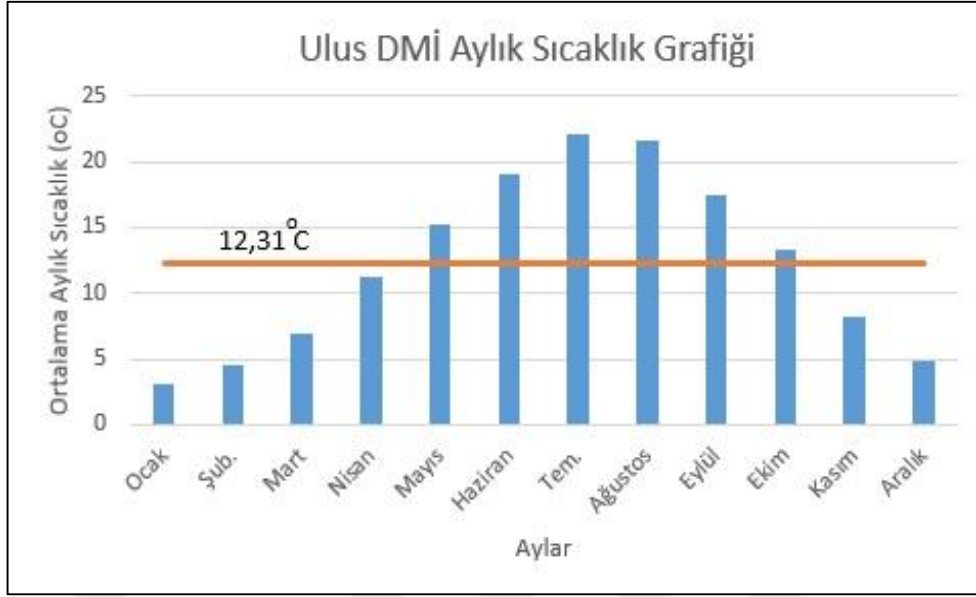
Bahçecik Kaynağı'nın en yakınında Ovacuma Meteoroloji İstasyonu bulunmakta olup, bu meteoroloji istasyonuna ait sıcaklık verileri sadece 1989-1991 yılları arasında alınabilmiştir. Ayrıca 3 yıllık süreçte (1989 ve 1991 yılları) 12 aylık ölçüm alınamadığından, inceleme alanının sıcaklık verilerinin değerlendirilmesinde bu istasyonun kullanılması uygun bulunmamıştır. Çalışmada Bahçecik Kaynağı'na en yakın ve en uzun sıcaklık verilerine sahip istasyon olan Ulus DMİ'nin sıcaklık verilerinin kullanılması uygun bulunmuş olup aşağıda değerlendirilmiştir.

Ulus DMİ'ye ait ortalama aylık sıcaklık verileri aşağıdaki Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.4. Ulus DMİ sıcaklık verileri

Yıl	Aylar												Yıl Ort. Sıcak.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	(°C)												
1965	-	-	-	-	-	20.4	20.8	19.8	17.0	10.1	8.2	6.0	-
1966	5.1	6.4	7.7	13.2	13.6	16.8	21.0	22.0	17.8	14.0	7.6	2.3	11.1
1967	-0.5	1.9	4.1	10.6	15.4	18.4	21.1	20.8	17.8	13.5	6.2	4.0	11.0
1968	1.4	2.9	4.7	11.2	16.6	16.4	21.6	16.3	14.1	10.5	9.5	7.0	12.1
1969	1.9	4.3	7.6	8.6	15.7	21.6	17.6	21.5	19.4	11.1	9.4	7.0	12.2
1970	6.2	6.4	7.9	13.1	14.9	19.2	21.8	19.6	15.3	10.9	8.4	2.3	11.3
1971	4.2	2.2	7.2	10.7	16.1	18.3	21.6	20.7	16.1	9.5	6.8	2.3	11.1
1972	-1.3	1.5	4.5	12.3	14.8	18.9	20.0	20.9	18.2	13.3	8.5	1.3	9.4
1973	-0.8	4.5	3.6	8.7	12.2	16.1	20.5	19.0	13.3	8.3	4.4	2.6	10.1
1974	-2.3	5.3	6.2	6.1	9.6	11.7	20.6	19.7	15.7	14.0	9.7	4.8	17.1
1975	7.3	7.0	13.3	16.6	20.1	24.7	27.4	25.3	24.3	19.2	12.2	7.3	15.7
1976	-0.1	5.8	10.0	14.3	19.9	18.7	26.8	24.7	20.4	18.8	16.1	13.2	11.5
1977	3.8	7.4	6.9	6.2	12.7	17.5	21.0	20.3	16.7	11.2	8.9	5.2	12.2
1978	5.0	7.4	7.5	9.1	13.3	19.1	20.8	19.7	15.3	15.1	8.9	5.5	11.7
1979	3.8	5.6	9.4	10.4	13.0	18.9	17.7	23.5	15.1	10.4	7.4	5.0	11.4
1980	2.8	3.9	3.9	7.7	13.1	19.9	24.2	18.4	16.4	13.5	8.7	4.8	9.7
1981	4.8	3.8	5.8	9.7	13.7	20.6	-	-	-	-	-	-	-
1986	6.0	6.1	7.3	13.8	13.8	19.9	22.1	23.6	19.1	12.8	5.8	3.1	12.4
1987	3.8	6.0	4.1	9.7	15.2	19.6	23.9	20.7	18.2	13.2	9.0	5.6	12.5
1988	4.5	4.5	8.2	11.2	15.4	19.8	23.6	22.0	17.2	12.9	6.3	4.9	12.8
1989	1.2	3.7	9.2	15.6	16.9	20.1	22.0	22.9	17.4	12.4	8.0	4.3	13.1
1990	1.8	5.4	8.4	12.0	16.0	20.0	22.7	21.5	16.9	14.1	-	5.7	-
1991	3.2	2.6	7.5	11.2	15.4	20.1	24.0	22.1	17.9	15.1	9.3	3.8	11.6
1992	1.0	0.6	6.4	11.8	14.9	19.8	20.7	23.3	16.0	15.5	6.5	2.1	13.3
1993	-0.4	-	-	-	-	18.9	20.5	22.0	17.2	14.8	6.6	6.5	-
1994	5.6	5.0	7.8	14.2	16.5	19.5	22.9	22.3	21.6	16.7	7.6	3.3	12.6
1995	4.5	6.2	8.2	10.9	16.5	21.2	21.2	21.2	18.0	12.6	5.5	4.7	13.3
1996	4.0	5.5	5.6	10.3	18.1	18.7	23.1	22.5	16.6	13.2	-	8.4	-
1997	4.8	1.8	4.1	8.9	17.2	19.5	21.0	19.8	16.2	12.5	8.0	5.5	13.0
1998	3.9	4.2	5.1	12.7	16.1	19.9	22.7	23.7	18.4	14.1	9.6	5.4	13.0
1999	4.8	4.7	7.6	12.3	15.5	19.9	23.4	23.0	17.9	13.5	7.4	6.2	12.1
2000	0.8	3.5	5.0	13.7	14.9	18.5	22.8	21.1	17.5	12.8	9.2	5.1	12.3
2001	5.0	5.0	11.2	12.1	14.5	19.2	24.2		18.8	13.0	8.1	3.7	-
2002	1.6	5.9	8.8	10.3	15.8	19.7	23.4	21.2	18.3	13.8	8.9	2.6	12.2
2003	6.2	2.5	3.4	9.7	17.5	20.3	21.5	22.4	17.0	13.9	8.1	3.8	12.1
2004	3.2	2.5	7.4	11.3	15.1	18.8	21.5	20.9	17.5	13.8	8.2	4.4	12.6
2005	4.6	5.3	6.1	11.7	15.7	17.8	22.5	23.3	18.2	12.0	8.3	5.1	12.5
2006	2.1	3.4	7.8	11.7	15.4	20.1	21.8	24.5	18.5	15.1	6.6	3.3	3.7
ORT.	3.07	4.46	6.93	11.2	15.3	19.1	22.1	21.6	17.5	13.4	8.23	4.78	11.9

Tablo 1.4'te verilen Ulus DMİ'ye ait aylık ortalama sıcaklık verileri grafiği de aşağıda verilmiştir (Şekil 1.12).



Şekil 1.12.Ulus DMİ'ye ait aylık ortalama sıcaklık verileri grafiği

Ulus DMİ'ye ait aylık ortalama sıcaklık verilerine göre ortalama sıcaklık 12,31°C iken en fazla sıcaklık 22,6°C ile temmuz aylarında, en düşük sıcaklık ise 4,15°C ile ocak aylarında yaşanmaktadır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Bahçecik Kaynağı'nın oluşum mekanizmasını ortaya koymak için inceleme alanının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenerek yapısal unsurların yeraltısuyu dolaşımıyla ve kaynaklarla olan ilişkisi değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, jeomorfolojik araştırmalar aracılığıyla karstik yapıların arazi içerisindeki dağılımı belirlenmiş, mağara ve düden sistemleri ortaya konulmuştur. Bu temel çalışmaların ardından kaynağın oluşumunu kontrol eden birimlerin hidrojeolojik özellikleri ortaya konmuştur. Boya izleme deneyleri hem Bahçecik Kaynağı yakınında alüvyonda açılmış DSİ kuyusunda uygulanarak Ovacuma Çayı ile kaynak arasında bir hidrolik ilişkinin var olup olmadığı teyit edilmiş hemde bu kaynağın yaklaşık 8-10 km kuzeydoğusunda bulunan mağara, düden gibi karstik yapılarının membasında yer alan Karakışla Deresi'nden ve Uluyayla da bulunan Karlık düdeninde uygulanarak beslenme alanları ile Bahçecik Kaynağı arasındaki hidrolik ilişki, karst akiferin hidrodinamiği ve görünür yeraltısuyu hızları tespit edilmiştir. Öte yandan, kaynak boşalımından su bütçesi analizi yapılarak karst akiferinin su potansiyeli ve beslenme alanının büyüklüğü hesaplanmıştır. Ayrıca, yağışlı ve kurak dönemi temsilen hem kaynaktan hemde düdenlerden detaylı su kimyası ve çevresel izotop analizleri ve yerinde ölçümler gerçekleştirilerek, Bahçecik Kaynak suyunun kökeni ve kalitesi incelenmiş, su fasiyesleri belirlenmiştir. Yukarıda kısaca özetlenen bu çalışmalar aşağıda alt başlıklar altında detaylı açıklanmıştır.

### 2.1. Jeolojik ve Hidrojeolojik Çalışmalar

Bölgenin jeolojik, yapısal ve tektonik özellikleri önceki yıllarda bir çok araştırmacı tarafından kapsamlı olarak araştırılmıştır. Bahçecik Kaynağı'nın beslenme mekanizmasının ortaya konmasında Maden Teknik Arama (MTA) tarafından hazırlanmış jeoloji haritaları baz alınmıştır (Timur ve Aksay, 2002). Arazi çalışmaları ile çalışma alanının jeoloji haritası kontrol edilmiş, gerekli durumlarda ise revize edilmiştir.

İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler geçirimsizlik özellikleri dikkate alınarak hidrojeolojik açıdan sınıflandırılmış ve inceleme alanının hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur.

Bartın ili Amasra ilçesine içme suyu sağlayan Bahçecik Kaynağı'nda 2016 yılında Devlet Su İşleri tarafından da hidrojeolojik etüt çalışmaları yapılmış ve 2013-2016 yılları arasında aylık debi ölçümleri alınmıştır. DSİ tarafından temin edilen aylık debi ölçümleri değerlendirilerek Bahçecik Kaynağı'ndan gerçekleşen yıllık toplam kaynak suyu boşalım miktarları hesaplanmış, kaynak hidrograf analizinden kaynağın boşalım katsayısı elde edilmiştir. Bunlara ilave olarak Bahçecik Kaynağı'nda ve kuzeyinden geçen Ovacuma Çayı'nın kaynağa göre memba ve mansabında debi ölçümleri alınarak Bahçecik kaynağı ile Ovacuma çayı arasında bir hidrolik ilişkinin var olup olmadığı ortaya konulmuştur. Debi ölçümleri kaynak kaptajında ve Ovacuma Çayı'nda, düzgün kesit alanına sahip kanallar içerisinde Akım-CM01 marka muline cihazı ile alınmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bahçecik Kaynağı kaptajında ve Ovacuma Çayı'nda muline cihazı ile debi ölçümlerinin alınması

## 2.2. Jeomorfolojik Araştırmalar

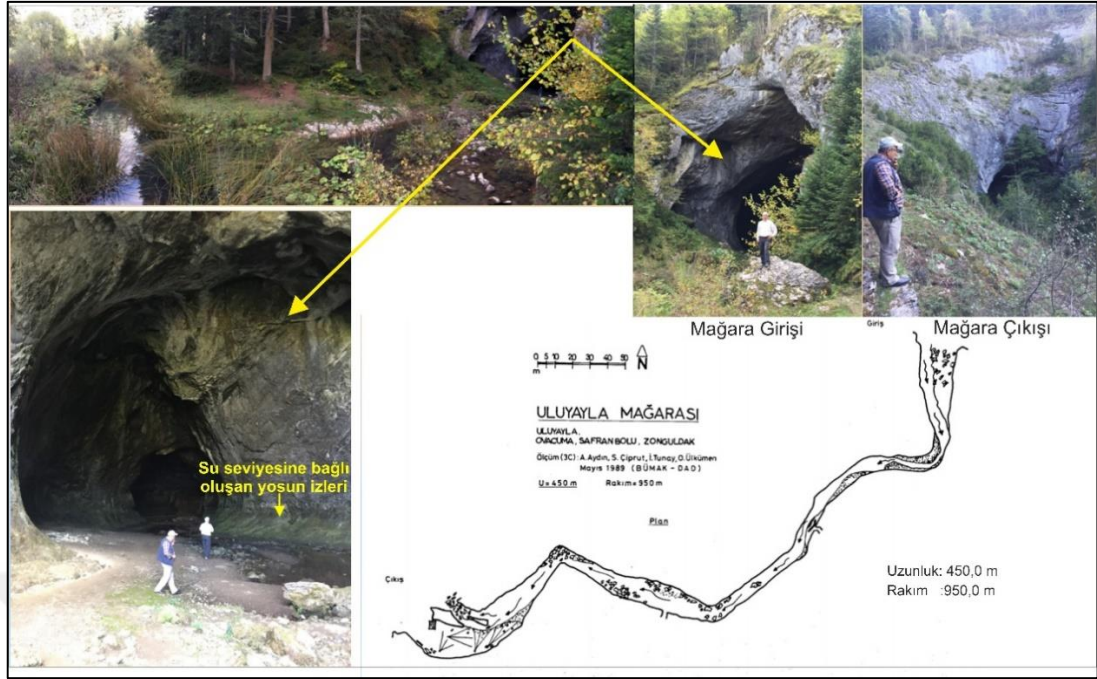
Bahçecik Kaynağı'nın kökenin araştırılabilmesi için karst hidrojeolojisine ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda inceleme alanı ve yakın çevresinde bulunan karstik yapıların arazi içerisindeki dağılımının belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla, jeoloji haritalarından faydalanılarak karstlaşmaya elverişli birimlerin bulunduğu

alanlar tespit edilmiştir. Daha sonra, bu alanlar topoğrafik haritalar üzerinde incelenerek karst morfolojisini yansıtan yapıların yoğunlaştığı yerler belirlenmiş, belirlenen bu alanlar arazi çalışmalarıyla detaylı olarak incelenmiştir.

Ayrıca, yerel halktan edinilen bilgilerin yardımıyla kapsamlı saha çalışmaları yürütülerek, haritalarda gözlenmeyen bazı karstik yapılar (düden, mağara, kaynak vb) arazide tespit edilmiş ve sayısallaştırılarak CBS ortamına aktarılmıştır.

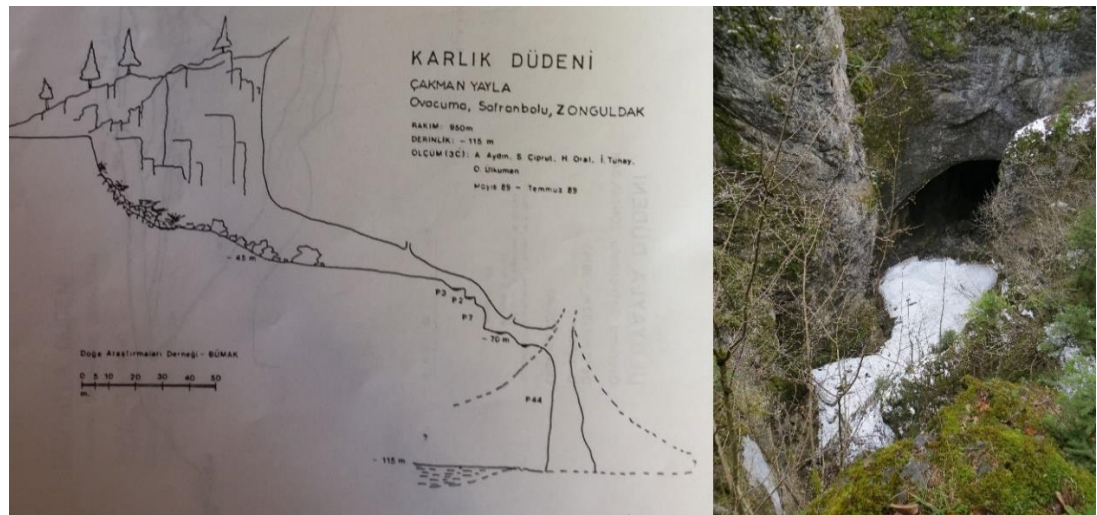
### **2.2.1.Mağara sistemlerinin araştırılması**

Aktif mağara sistemleri, yeraltısuyunun akifer içerisindeki akım karakteristikleri açısından önemlidir. Kanal akımlarının (conduit flow) hüküm sürdüğü bu sistemlerde dolaşım son derece hızlıdır. Hızlı dolaşım karakteristikleri sebebiyle akiferin kirlilik hassasiyeti üzerinde de önemli etkileri vardır. Bu sebeple, mağara sistemlerinin yapısal özelliklerinin incelenmesi ve uzanımlarının belirlenmesi karst hidrojeolojisi çalışmalarında oldukça faydalı olmaktadır. İnceleme alanında 1988 yılında Boğaziçi Mağara Araştırma Kulübü (BÜMAK, 1988) tarafından haritalanmış mağara (Uluyayla, Karlık) ve düden (Uluyayla, Karlık) yapıları bu çalışma süresinde BÜMAK tarafından yeniden çalışılarak giriş çıkış yapıları incelenmiştir (Şekil 2.2). İnceleme alanının kuzeydoğusunda yeralan İnönü, Çokman ve Kızılgöl yaylarındaki kapalı yağış drenaj alanı sisteminde İnaltı Formasyonu'na ait kireçtaşı içerisinde yer alan Karlık ve Uluyayla düden yapıları saha çalışmaları ile tespit edilerek CBS ortamına aktarılmıştır (Şekil 2.3, Şekil 2.4).

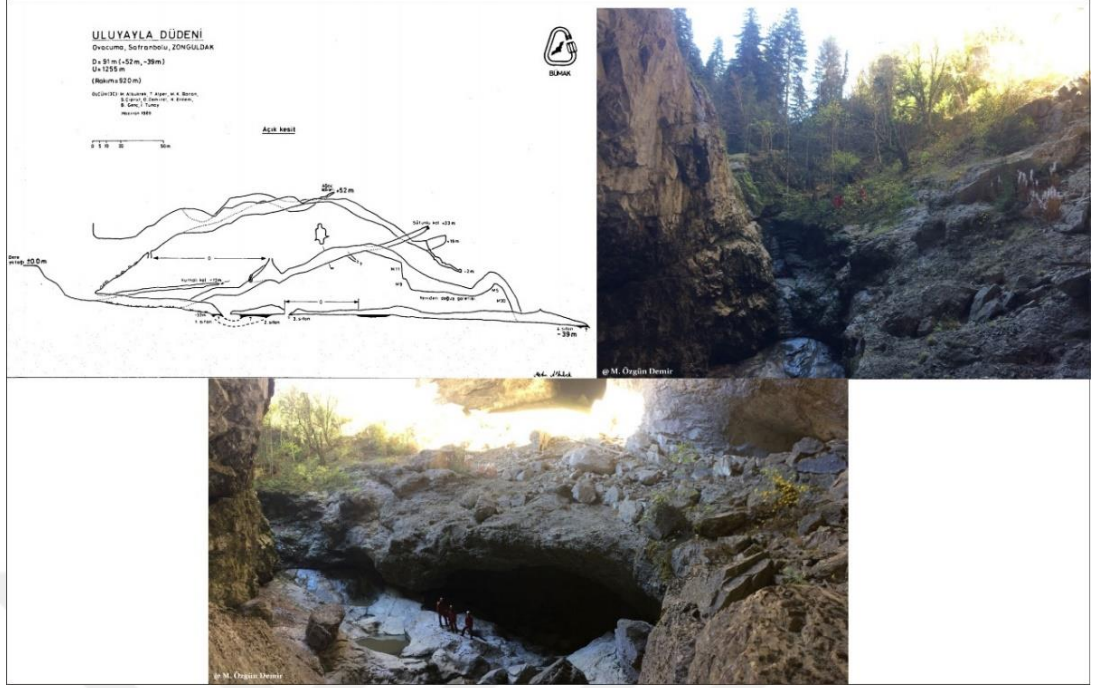


Şekil 2.2. Uluyayla Mağarası özellikleri ve görünümü (X:481565 m, Y:4598870 m). Mağara skeçi BÜMAK (1988)'den değiştirilerek alınmıştır.

Uluyayla ve Karlık Mağarası'nda ve düdeninde yaz aylarında yüzeysel akışın çok azaldığı gözlemlense de, yöre sakinleri tarafından kış aylarında bu akışın çok arttığı dile getirilmiştir. Şekil 2.2'de mağara giriş yapısında gözlemlenen yosunlanma da su seviyenin yağışlı kış döneminde çok arttığını göstermektedir.



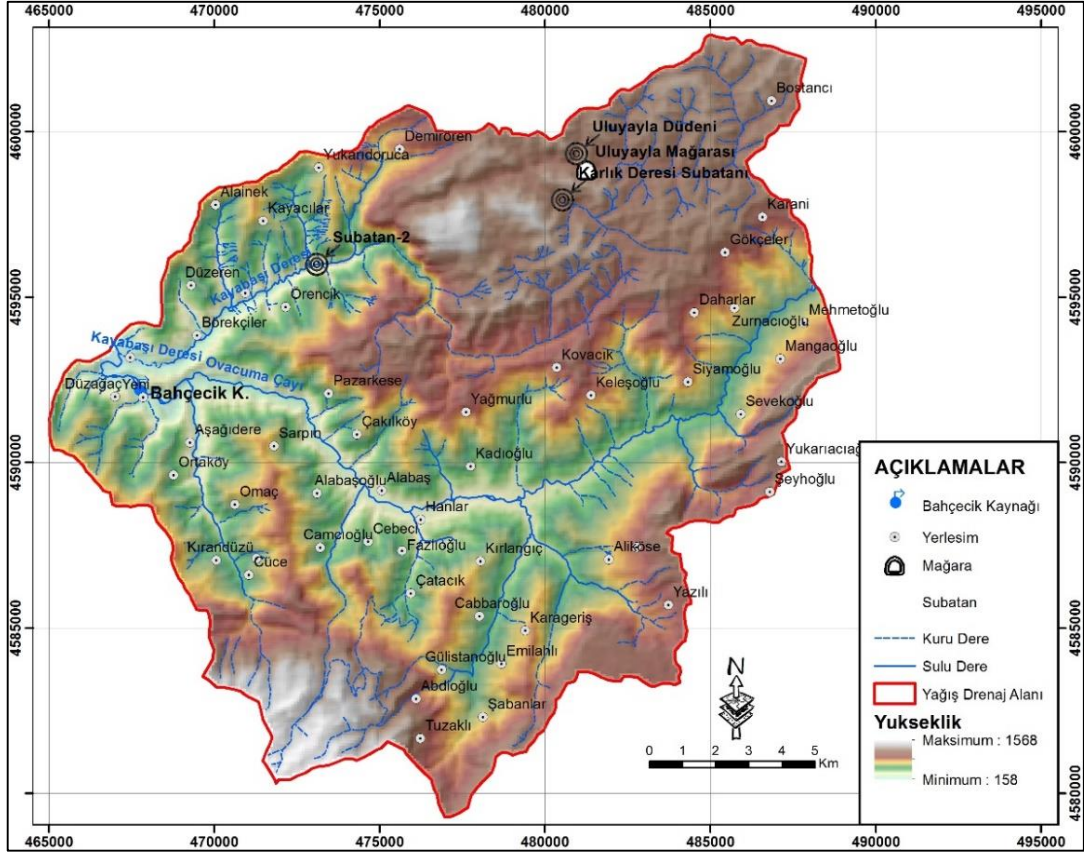
Şekil 2.3. Karlık Düdeni özellikleri ve görünümü (X:480531, Y:4597934). Karlık düdeni skeçi BÜMAK (1988)'den değiştirilerek alınmıştır.



Şekil 2.4. Uluyayla Düdeni'nden görünüm ve özellikleri (X:480956, Y: 4599332). Uluyayla düdeni skeçi BÜMAK (1988)'den değiştirilerek alınmıştır.

### 2.3. Akarsu-Kaynak Suyu Hidrolik İlişkisinin Belirlenmesi

İnceleme alanında en önemli akarsular; Bahçecik Kaynağı'nın yaklaşık 100 m kuzeyinden akan Ovacuma Çayı ile kuzeyde yan vadide yer alan Kayabaşı Deresi'dir (Şekil 2.5). Ovacuma Çayı ile Kayabaşı Deresi'nin birçok yan kolu olup, bu yan dereler mevsimlik derelerdir. Yan dereler kış aylarında akışta iken, yaz aylarında kurumaktadır.



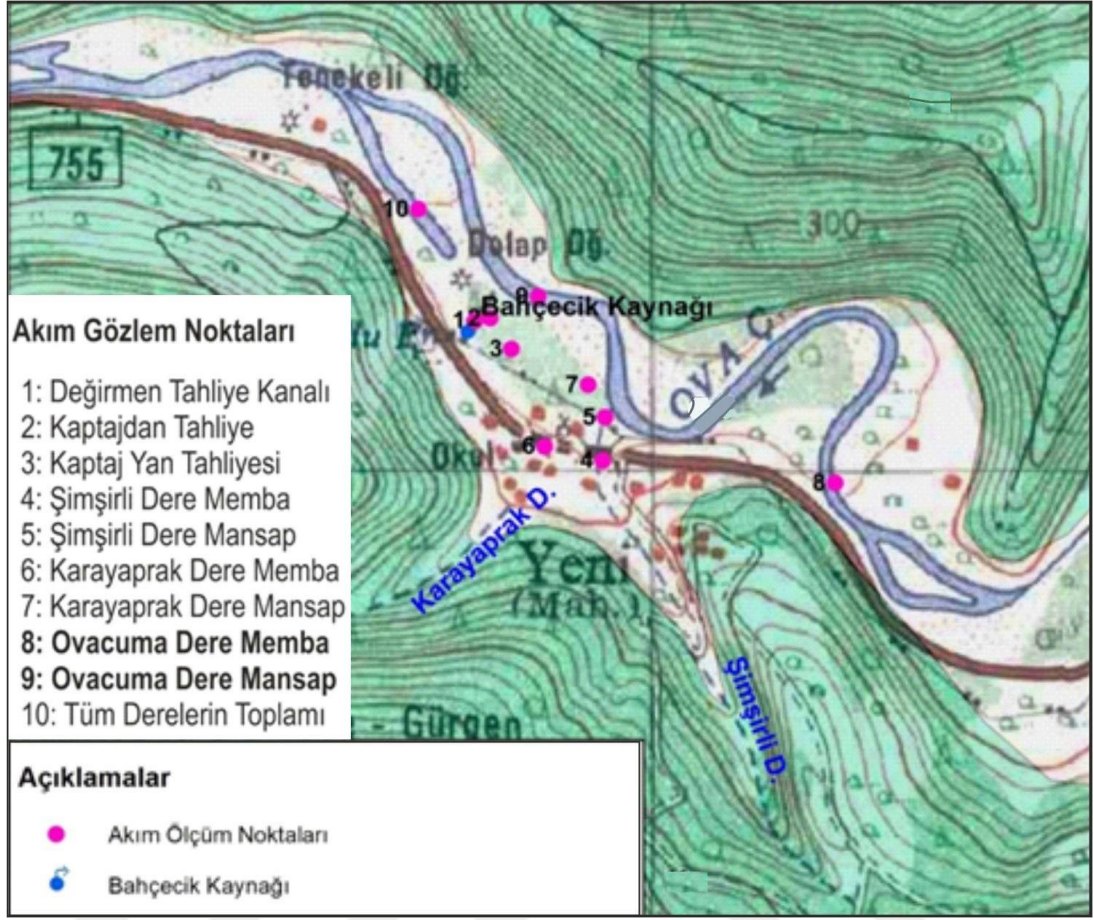
Şekil 2.5. Bahçecik Kaynağı ve civarı akarsu ağı haritası

Bahçecik Kaynağı'nın Ovacuma Çayı ile ilişkisinin araştırılabilmesi için, Ovacuma Çayı'nın, memba, mansabında ve yan derelerinde akım debi ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2.6). Debi ölçümleri DSİ tarafından gerçekleştirilmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1.Ovacuma Çayı akım ölçüm noktaları

Akım Ölçüm Noktaları	X	Y
1	467722	4592232
2	467745	4592236
3	467779	4592187
4	467921	4592014
5	467925	4592081
6	467830	4592036
7	467899	4592132
8	468283	4591978
9	467822	4592269
10	467633	4592405

Bu ölçümlerin haricinde, arazi çalışmaları sırasında da Ovacuma ve Bahçecik Kaynağı kaptajından yağışlı ve kurak dönemi temsilen debi ölçümleri de yapılmıştır.



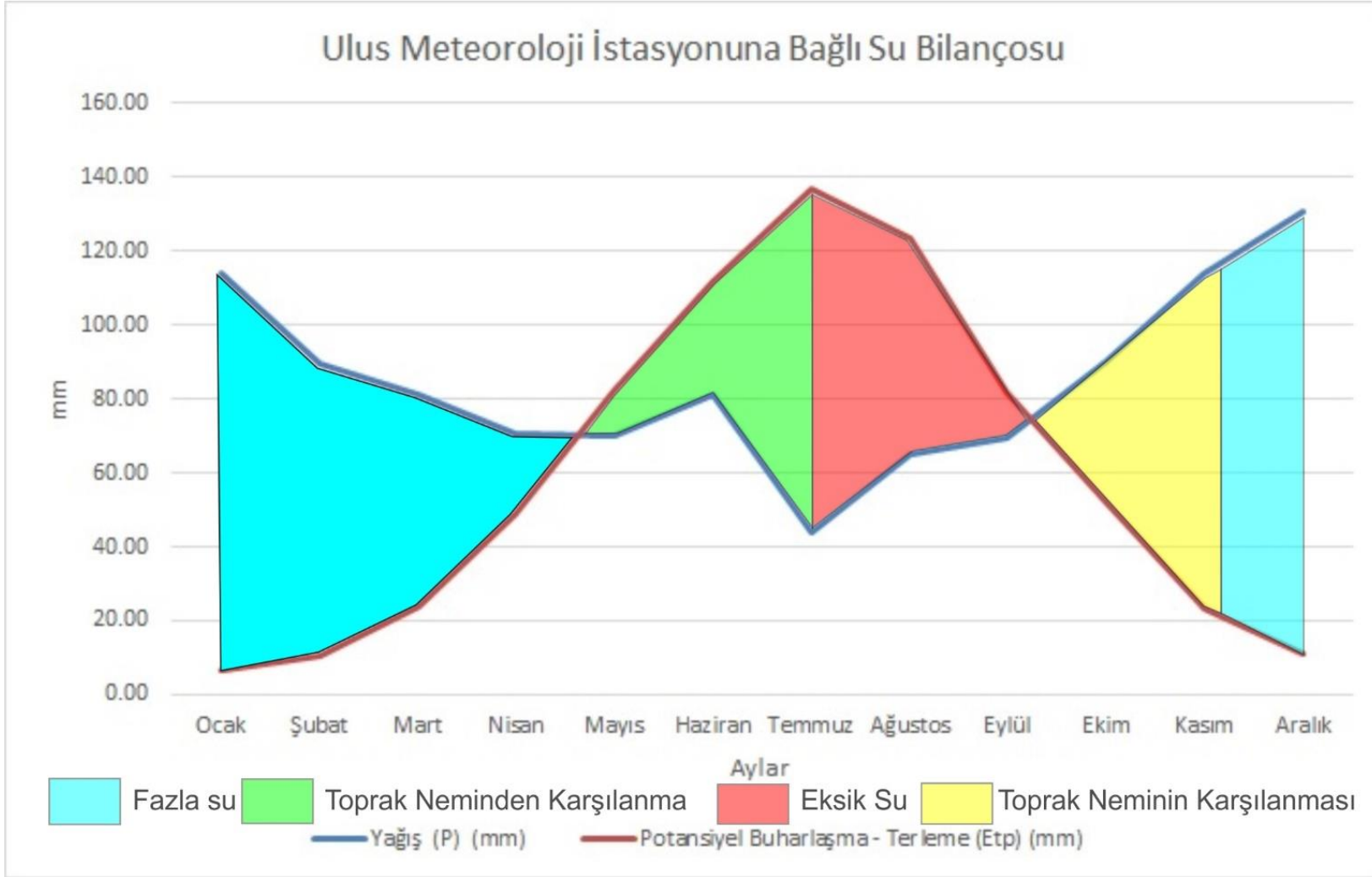
Şekil 2.6. Ovacuma Çayı akım gözlem noktaları

#### 2.4.Hidrolojik Bilanço Elemanlarının Hesaplanması

Bahçecik Kaynağı'nın boşaldığı karst akiferin su potansiyelini ortaya koymak amacıyla hidrolojik bilanço elemanları hesaplanmıştır. Bahçecik Kaynağı ve civarında düzenli yağış ve sıcaklık verilerinin olduğu en yakın istasyon Ulus Meteoroloji İstasyonu olduğundan Ulus Meteoroloji İstasyonu verilerinin inceleme alanında meydana gelen potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesinde kullanılmasına karar verilmiştir. Thornthwaite yöntemine göre hesaplanan hidrolojik bilanço bileşenlerinin değerleri Tablo 2.2'de, su bütçesi bileşenlerinin aylara göre dağılımı ise Şekil 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Ulus DMİ hidrolojik bilanço hesaplamaları

Aylar	Yağış (P) (mm)	T (°C)	Potansiyel Buharlaşma - Terleme (Etp) (mm)	P-Etp (mm)	Rezerv Su (mm)	Gerçek Buharlaşma (Eta) (mm)	Eksik Su (mm)	Fazla Su (mm)
Ocak	114.13	3.07	6.48	107.65	100	6.48	0	107.65
Şubat	89.42	4.46	10.71	78.71	100	10.71	0	78.71
Mart	81.21	6.93	23.89	57.32	100	23.89	0	57.32
Nisan	70.73	11.21	48.75	21.98	100	48.75	0	21.98
Mayıs	70.24	15.31	82.44	-12.20	87.80	82.44	0	0
Haziran	81.19	19.14	112.00	-30.81	56.99	112.00	0	0
Temmuz	43.68	22.09	136.63	-92.95	0	100.67	35.96	0
Ağustos	65.05	21.61	123.41	-58.36	0	65.05	58.36	0
Eylül	69.60	17.51	81.47	-11.87	0	69.60	11.87	0
Ekim	89.96	13.36	52.04	37.92	37.92	52.04	0	0
Kasım	114.24	8.23	23.51	90.73	100	23.51	0	28.65
Aralık	130.97	4.78	11.29	119.68	100	11.29	0	119.68
Toplam	1020.42	147.70	712.62	307.80	782.71	606.43	106.19	413.99



Şekil 2.7. Ulus DMİ hidrolojik su bütçesi bileşenlerinin aylık değişimi

Tablo 2.2 ve Şekil 2.7’de görüldüğü üzere, fazla su Kasım-Nisan ayları arasında gerçekleşmektedir.

İnceleme alanında Bahçecik kaynağının beslenme alanı olduğu düşünülen kotlara düşen yağış bilinmemektedir. İnceleme alanı civarındaki DMI’lerden elde edilen yağış-yükseklik ilişkisi de 30-400 m kotları arasını temsil etmekte olup, 1060 m kotundaki Uluyayla beslenme alanına düşen yağışı tahmin etmek için bu eşitliğin uygun olmadığı değerlendirilmiştir. Uluyayla mevkiine düşen yağışın tahmininde Schreiber (1904) tarafından geliştirilen eşitlik kullanılmıştır. Yaylaya düşen yağış miktarının tahmininde 157 m kotundaki Ulus Meteoroloji istasyonu yağış verileri referans olarak kullanılmıştır.

$$P_h = P_o \pm 54 \cdot h \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’e göre;

$P_h$  : Yağış tahminin yapılacağı kot (m): 1060 m

$P_o$  : Havzaya en yakın referans istasyonuna düşen yağış (mm): 1020,42 mm

$h$  : Referans ve tahmin yapılacak istasyonlar arasındaki kot farkı (hektometre)

Bu eşitliğe göre yaklaşık 1060 m kotundaki Uluyayla mevkiine düşen yıllık toplam yağış miktarı

$$P_h = 1020,42 + 54 \cdot ((1060 - 157) \cdot 0,01)$$

$P_h = 1508,04$  mm olarak hesaplanmıştır.

## 2.5. Boya İzleme Deneyleri

Karst akiferinde yeraltısuyu akım dinamiklerini belirlemek amacıyla yapılan boya izleme deneylerinde, öncelikle jeomorfolojik çalışmalar ve hidrojeolojik bilgiler ışığında izleyici testlerinin uygulanacağı beslenme alanları ve noktaları (subatan, düden vb.) tespit edilmiştir (Şekil 2.2, Şekil 2.3). Sonrasında, beslenme noktalarında gerçekleştirilen boya enjeksiyonunu takiben, doğal boşalım noktasına (Bahçecik Kaynağı Kaptajına) florometre cihazı yerleştirilerek kaynak suyundaki boya ve bulanıklık konsantrasyonu ile sıcaklık değişimi dört dakika sıklıkla ölçülmüştür.

Uygulanan boya deneylerinde, izleyici olarak sodyum floresin (uranin) kullanılmıştır. Kullanılan boya miktarı, izleyici kimyasalının özelliklerine, kaynağının debisine ve akım yolunun uzunluğuna bağlıdır. Seyrelme etkisinden dolayı, izleme noktasında ölçülebilecek konsantrasyon değerlerini sağlayacak miktarda boya kullanılması önemlidir. Bununla birlikte, boyanın gözle fark edilebilecek konsantrasyon değerlerine ulaşmasından da kaçınmak gerekir. Her ne kadar kullanılan sodyum floresinin herhangi bir toksik etkisi, çevreye ve ekosisteme bir zararı olmasa da gözlem noktaları şehre doğrudan içme suyu sağlayan kaynak suları ve dereleri besleyen doğal boşalım noktaları olduğundan, suyun rengindeki değişim yerel halkın tedirgin olmasına ve buna bağlı olarak su kaynaklarının yönetimiyle ilgilenen kurumların zor durumda kalmasına sebep olabilir. Bu sebeple kullanılan boya miktarının belirlenmesinde bu unsurlara da özellikle dikkat edilmiştir. Boya deneylerinde kullanılan boya miktarı Worthington ve Smart (2003) tarafından geliştirilen basit eşitliğe dayanılarak belirlenmiştir;

$$M=1,9 \times 10^{-5} \times (LQC)^{0,95} \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de

M: İzleyici miktarı (kg),

L: Enjeksiyon noktası ile gözlem noktası arasındaki mesafe (km),

Q: Karst kaynağının debisi (l/sn),

C: Gözlem noktasında hedeflenen maksimum konsantrasyon değeri ( $\mu\text{g/l}$ ) olarak verilmektedir.

Belirlenen miktardaki toz uranın suda çözülerek, doğal akışın olduğu yerlerde (Karakışla Köyü Kayabaşı Dere yatağı içerisindeki subatanlar ve Karlık düdeni girişi gibi) doğrudan doğal akış ile birlikte sisteme enjekte edilmiştir (Şekil 2.8, Şekil 2.9).

Doğal akışın olmadığı yerlerde ise (Bahçecik Kaynağı'na 25,0 m uzaklıkta Ovacuma Çayına göre membaında yer alan 63402 no.lu DSİ kuyusunda) yapay beslenim yoluyla akış sağlanmıştır. Bununla ilgili DSİ kuyusuna boya enjeksiyonunu takiben 1,0 m<sup>3</sup> kadar su basılarak boyanın kuyudan akifer içerisine girmesi sağlanmıştır

(Şekil 2.10 ve Şekil 2.11). Kuyuya su enjeksiyonu lokal hidrolik gradyanın değişmesine neden olmayacak bir hızda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.8. Kayabaşı Deresi Subatan-2’de doğal akışla boya enjeksiyonu



Şekil 2.9. Karlık Deresi Subatanı doğal akışla boya enjeksiyonu



Şekil 2.10. 63402 no.lu kuyu da yapay akışla boya enjeksiyonu



Şekil 2.11. Boya deneyi sonrası kuyuya verilen su ve seviye ölçümü

Belirlenen noktalarda yapılan boya enjeksiyonunu takiben, Bahçecik Kaynağı kaptajında gerçek zamanlı, sürekli ölçümler alınmıştır. Ölçümlerde GGUN-FL marka arazi tipi florometre cihazı kullanılmıştır. Bunun için cihaz Bahçecik Kaynağı kaptajı içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.12).

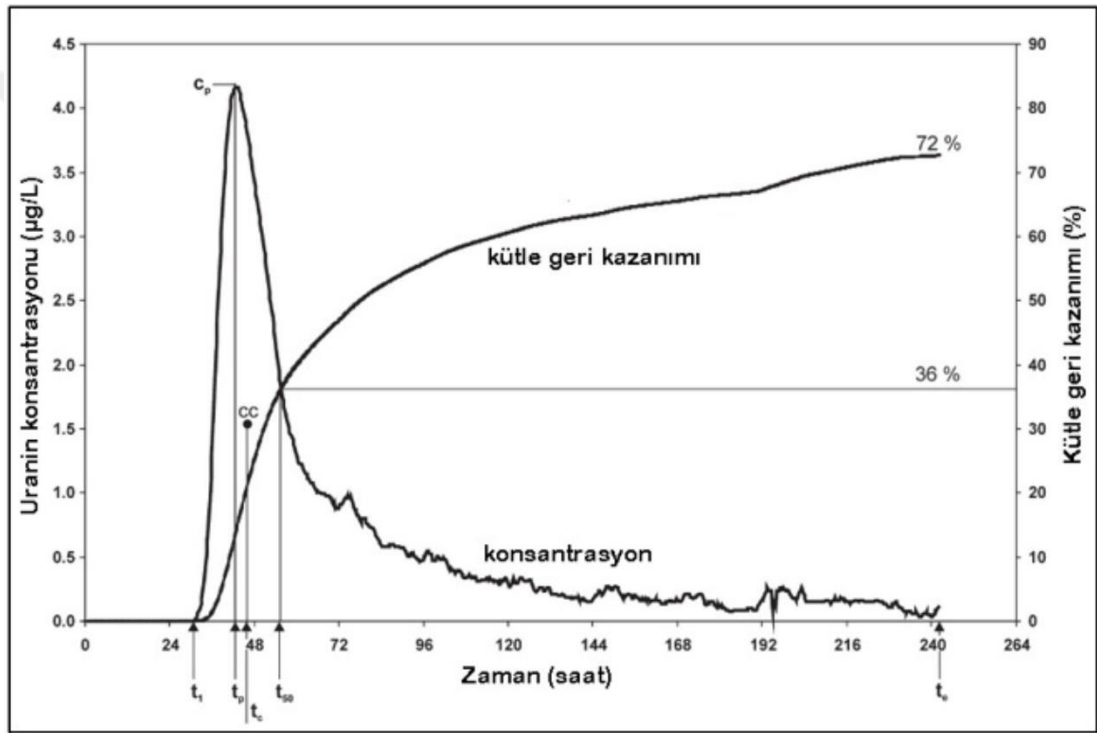


Şekil 2.12. Florometre cihazının Bahçecik kaynağı kaptajı içerisine yerleştirilmesi

Florometre cihazı, floresan ışımaya ve bulanıklık (türbidite) değerlerini ölçen florometre ile ölçülen verilerin depolandığı veri toplayıcı olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Veri toplayıcıda bulunan hafıza kartına mV cinsinden kaydedilen sinyal değerleri daha sonra bilgisayara aktarılmış ve cihazla birlikte gelmiş olan FLUO yazılımı aracılığıyla konsantrasyon değerlerine dönüştürülmüştür.

Cihaz her arazi çalışması öncesinde bulanıklık ve sodyum floresin parametreleri için kalibre edilmiştir.

Ölçümler sonucunda elde edilen boya ve bulanıklık konsantrasyon değerleri zamana bağlı olarak grafiklenmiştir. Gözlem noktasında ölçülen boya konsantrasyonunun zamana bağlı değişimini gösteren bu grafiklere BTC (breakthrough curve) grafikleri denir (Şekil 2.13). Breakthrough grafikleri Moment Analizi yöntemi (Boving ve diğ., 2017) ile analiz edilerek izleme noktasına ulaşan boyaların ilk varış ve seyahat süreleri ve kütle geri kazanım oranları hesaplanmıştır.



Şekil 2.13. İzleyici breakthrough grafiği ve bileşenleri ( $t_1$ : İlk varış zamanı,  $t_p$ : Maksimum konsantrasyon varış noktasına varış zamanı,  $t_c$ : Gözlem süresi bitiş zamanı) (Benischke ve diğ., 2007) zamanı,  $C_p$ : Maksimum izleyici konsantrasyonu,  $t_c$ : Kütle merkezi varış zamanı,  $C_c$ : Kütle merkezi konsantrasyonu,  $t_{50}$ : Toplam kütle geri kazanımının yarısının gözlem

Sıfırıncı zamansal moment, BTC eğrisinin altında kalan alanı temsil etmekte olup gözlem noktasına varan izleyici kütlelerini vermekte ve Eşitlik (2.3) ile hesaplanmaktadır:

$$M_0 = \int_{t=0}^{\infty} QC \, dt \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)'de  $M_0$ : Sıfırıncı zamansal moment,  $Q$ : Karst kaynağının debisi (l/dak),  $C$ : Gözlem noktasında farklı  $t$  zamanlarında ölçülen konsantrasyon değeri ( $\mu\text{g/l}$ ),  $t$ : Zaman (dakika) olarak verilmektedir.

Gözlem noktasında geri kazanılan kütle, beslenme noktaları ile boşalım noktaları arasındaki ilişkiyi ve bağlantı oranını belirlemede kullanılmıştır. Ayrıca hesaplanan birinci normalize edilmiş zamansal moment ( $M_1^*$ ) ise boyanın enjeksiyon noktasından gözlem noktasına olan seyahat süresini ( $T_t$ ) hesaplamada kullanılmıştır. Bunun için öncelikle Eşitlik (2.4) yardımıyla birinci zamansal moment ( $M_1$ ) hesaplanmıştır;

$$M_1 = \int_{t=0}^{\infty} QCt \, dt \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4) ile elde edilen birinci zamansal moment Eşitlik (2.3) ile elde edilen sıfırıncı zamansal momente bölünerek birinci normalize edilmiş zamansal moment ( $M_1^*$ ) bulunmuştur;

$$M_1^* = \frac{M_1}{M_0} \quad (2.5)$$

Eşitlik (2.5) yardımıyla hesaplanan birinci normalize edilmiş zamansal moment değeri ve boya enjeksiyon süresi ( $T_p$ ) kullanılarak seyahat süresi ( $T_t$ ) hesaplanmıştır;

$$T_t = M_1^* \cdot \frac{T_p}{2} \quad (2.6)$$

Breakthrough grafiklerinin analizi sonucunda elde edilen seyahat süreleri ve kütle geri kazanım oranlarına ek olarak ani ve şiddetli yağışlar sonrasında gözlenen bulanıklık pikleri de analiz edilerek kaynağın beslenme-boşalım mekanizması yorumlanmıştır.

## 2.6.Su Örnekleme ve Analitik Yöntemler

Bahçecik Kaynağı suyunun kökenini, su kalitesini ortaya koymak ve diğer yüzey su kaynakları ile ilişkisini değerlendirmek amacıyla, Bahçecik Kaynak Kaptajından, çevresinde yer alan DSİ kuyularından, Ovacuma Çayı'ndan Ovacuma Çayı sağ

sahilinden boşalım yapan K-1 Kaynağından, Suların battığı yüzey sularından (Karlık düdeni, Uluyayla mağara girişi, Karakışla Köyü Kayabaşı Dere yatağı Subatan-2'den) kurak dönemi temsilen Ekim 2018, yağışlı dönemi temsilen Mart 2019 dönemlerinde örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her iki dönemde sadece Bahçecik Kaynağı'nda su kalitesi belirme amacıyla örnekleme yapılmıştır. Yerinde yapılan ölçümlerde suların sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve çözülmüş oksijen içerikleri el tipi multiparametre ölçer cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Bahçecik Kaynağı'nda multiparametre cihazı ile yapılan yerinde ölçümden bir görünüm

Örnekleme kapsamında; suların majör katyon ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) ve anyon kimyalarını ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), ağır metal ve iz element (Al, Fe, Mn, Cr, V, Co, Ni, Cu, Ag, B, Se, Be, Ti, Ba, As, Hg, Cd, Mo, Sb, Pb, Tl ) içeriklerini ve çevresel izotop (Oksijen-18, Döteryum ve Tritiyum) kimyalarını belirlemek amacıyla örnekler alınmıştır. Bahçecik Kaynağı kaptajı yakınında alüvyonda açılmış DSİ kuyusundan (64567) kimyasal analiz için alınan örnekler

pompajla alınmıştır. Örnek kapları, alınacak numune ile birkaç kez iyice çalkalandıktan sonra su örnekleri hava kalmayacak şekilde polietilen kaplara konulmuştur. Örnekler 0,45 mikronluk şiringa filtreden geçirilerek alınmış, metal analizi için alınan örneklere (50 ml) suprapur nitrik asit ilave edilerek pH<2'nin altına düşürülmüştür. İyon analizine tabii tutulan örnekler (500 ml) ise korumasız olarak alınmış, laboratuvara ulaştırılıncaya kadar 4°C'de saklanmış ve derhal analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında alınan örnekler üzerinde yürütülen jeokimyasal analizler Kocaeli Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Çevresel izotop analizi için alınan su örnekleri (1 Litre) ise şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuş ve örnekler aynı gün DSİ TAKK laboratuvarlarına teslim edilmiştir.

Suların anyon içerikleri iyon kromatografi yöntemi (Dionex –IC1100) ile element içerikleri ise ICP-MS (Perkin Elmer DRC-e) tekniği ile analiz edilmiştir. Suların bikarbonat ve karbonat içerikleri ise ototitrasyon cihazı (Hach) ile ölçülmüştür. Yeraltısularının kalitesinin değerlendirilmesinde 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelikte (Resmi Gazete, 2005) belirtilen ve inceleme kapsamında analiz edilen parametrelerin sınır değerleri baz alınmıştır (Tablo 2.3).

Tablo 2.3. 7.02.2005 tarih ve 25730 sayılı İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik ekinde içme suları için belirten ve çalışma kapsamında analiz edilen parametrelerin sınır değerleri

KİMYASAL PARAMETRELER					
Parametre	Parametrik değer	Birim	Parametre	Parametrik değer	Birim
pH	≤ 9.5-6.5≤	pH birimleri	<b>Antimon</b>	5	µg/L
İletkenlik	2500	20 °C'de µS/cm <sup>-1</sup>	<b>Arsenik</b>	10	µg/L
Klorür	250	mg/L	<b>Bakır</b>	2	mg/L
Nitrat	50	mg/L	<b>Cıva</b>	1	µg/L
Nitrit	0.5	mg/L	<b>Demir</b>	200	µg/L
Sülfat	250	mg/L	<b>Mangan</b>	50	µg/L
Florür	1.5	mg/L	<b>Krom</b>	50	µg/L
Amonyum	0,50	µg/L	<b>Kurşun</b>	10	µg/L
Sodyum	200	mg/L	<b>Nikel</b>	20	µg/L
Alüminyum	200	µg/L	<b>Selenyum</b>	10	µg/L
Bor	1	mg/L	<b>Kadmiyum</b>	5,0	µg/L

### 3. JEOLOJİ

#### 3.1. İnceleme Alanı Civarının Jeolojisi

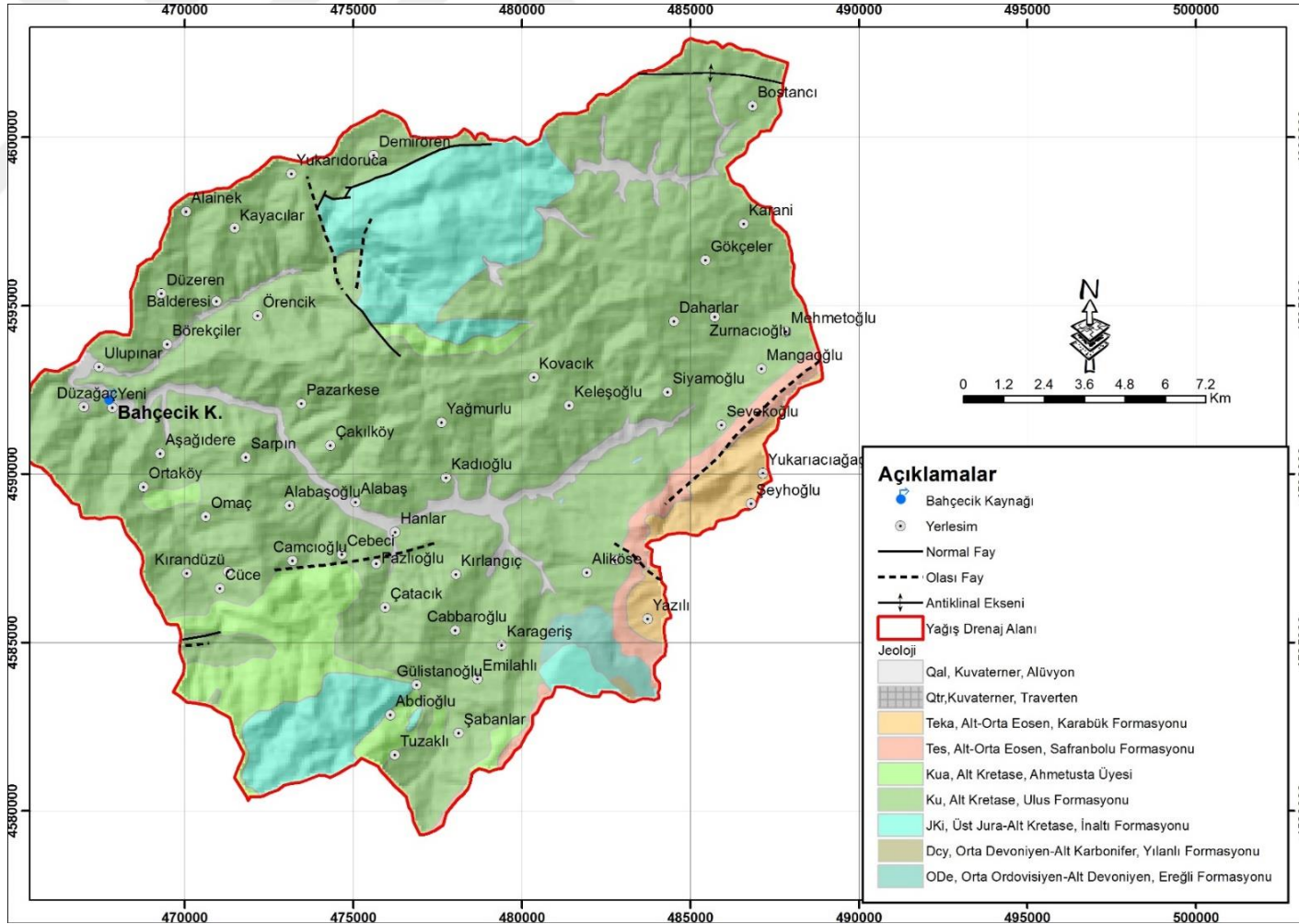
MTA tarafından yapılan çalışmalardan faydalanılarak, inceleme alanı ve civarında yüzlek veren jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru aşağıda özet olarak verilmiştir (Timur ve Aksay, 2002).

MTA'nın 1/100.000 ölçekli E-29 ve F-29 jeoloji haritalarından faydalanılarak hazırlanan inceleme alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (EK-A) ve stratigrafik dikme kesiti sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2'de sunulmuştur.

İnceleme alanında temel birimleri Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaşlı şeyl, kumtaşı, kireçtaşı birimlerinden oluşan Ereğli Formasyonu (ODe) ile Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomitten oluşan Yılanlı Formasyonu (DCy) oluşturmaktadır. Yılanlı Formasyonu üzerine uyumsuzlukla Orta-Üst Jura yaşlı dolomitik kireçtaşından oluşan İnaltı Formasyonu (JKi) gelmektedir (Timur ve Aksay, 2002). İnaltı Formasyonu (JKi) üzerine ise uyumsuz olarak çalışma alanında geniş yayılım sergileyen Alt Kretase yaşlı kumtaşı, şeyl, konglomera ardalanması ve kireçtaşı olistolitlerinden oluşan Ulus Formasyonu gelmektedir.

Ulus Formasyonu içerisinde yer alan konglomeradan oluşan birim ise Ahmetusta üyesi (Kua) olarak ayırtlanmıştır (Timur ve Aksay, 2002). Alt-Orta Eosen yaşlı Numulitli kireçtaşı-marn birimlerinden oluşan Safranbolu Formasyonu (Tes) Ulus Formasyonu üzerini açısız uyumsuzlukla örtmektedir (Timur ve Aksay, 2002).

Safranbolu Formasyonu ile aynı yaş aralığına sahip kumtaşı, çamurtaşı, konglomera, birimlerinden oluşan Karabük Formasyonu (Teka), Safranbolu Formasyonu ile geçişli bir dokanak ilişkisi sergilemektedir. Düzağaç mevkiinde yer alan Travertenler (tr) ile dere yatakları boyunca yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri (Qal), inceleme alanındaki diğer birimleri açısız uyumsuzlukla örtmektedir.



Şekil 3.1. İnceleme alanı ve çevresinin jeolojisi (UTM Zone 36 / ED50) (Timur ve Aksay, 2002)

STRATİGRAFİK KOLON KESİTİ						
JEOLJİK ZAMAN BİRİMLERİ Geochronology			SİMGE	STRATİĞRAFI	LİTOLOJİ Lithology	
Zaman Era	Alt Devir	Kat				
SENOZOYİK Cenozoic	KUVATERNER		Qal		Alüvyon	
			Qtr		Traverten	
	EOSEN	Alt-Orta Eosen		Teka		Karabük Formasyonu (Kumtaşı, çamurtaşı, konglomera)
				Tes		Safranbolu Formasyonu (Nummulit'li kireçtaşı, marn)
	KRETASE	Alt Kretase		Ku		Ku: Ulus Formasyonu (Kumtaşı, şeyl, konglomera, kireçtaşı) Kua: Ahmetusta üyesi (Konglomera) JKi: Kireçtaşı Olistolitleri
				JKi		İnaltı Formasyonu (Kireçtaşı Olistolitleri)
MESOZOYİK Mesozoic	JURA	Üst Jura- Alt Kretase	JKi			
PALEOZOYİK Paleozoic	KARBONİFER	Orta Devoniyen- Alt Karbonifer	Dcy		Yılanlı Formasyonu (Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit)	
	DEVONİYEN	Orta Ordovisiyen- Alt Devoniyen	ODe		Ereğli Formasyonu (Şeyl, kumtaşı, kireçtaşı)	
	ORDOVİSYEN					

Şekil 3.2. İnceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti-ölçeksizdir (Timur ve Aksay, 2002)

### 3.1.1. Paleozoyik yaşlı jeolojik formasyonlar

#### Ereğli Formasyonu (ODE)

İnceleme alanı güneydoğusunda Karageriş Mahallesi mevkiinde geniş yüzeylenmeye sahiptir. Şeyl, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşan birim, ilk defa Serdar ve Demir (1983) tarafından adlandırılmıştır.

Birim, alttan üste doğru yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, laminalı şeyl ile seyrek gri renkli, ince-orta tabakalı kumtaşı ardalanması; koyu gri, siyah renkli şeyl ve seyrek kumtaşı ile aynı renkte, Orthoceras'lı kireçtaşı mercerklerinden oluşan bölüm ve yeşilimsi gri renkli, ince tabakalı, laminalı, brachiopodlu şeyl ve seyrek kumtaşı ardalanması şeklinde üç bölümden oluşmuştur (Gedik ve Önalın, 2001). Birim alttan üste doğru sığ şelf, derinleşen şelf, havza yamacı, muhtemelen havza ve tekrar şelf ortamına geçişler göstermektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

### Yılanlı Formasyonu (DCy)

Kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşan birim, inceleme alanında yeraltısuyu potansiyeli taşıyan önemli birimlerden bir tanesidir. Bahçecik Kaynağı'nın güneydoğusunda Cemaller Köyü mevkiinde çok küçük bir alanda yüzeyleme göstermektedir. Yılanlı Formasyonu'nun, altta şeyl, silttaşı ve yumrulu kireçtaşı ardalanmasıyla başladığı, üste doğru gri-siyah renkli, laminalı, orta-kalın tabakalı kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit ardalanması şeklinde devam ettiği Gedik ve Önalın (2001) çalışmaları ile belirlenmiştir.

Birimin alt seviyelerindeki şeyl, silttaşı ve yumrulu kireçtaşlarından oluşan bölümün kalınlığı 70-100 m arasında olup; bu bölümün yaşı Orta Devoniyen olarak bellirlenmiştir (Kipman, 1974). Birimin daha üstteki ve kalınlığı yaklaşık 1000 m. kadar olan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit ardalanmasından oluşan bölümünde Aydın ve diğ. (1987) tarafından *Endothyra sp.*, *Calcisphaera sp.*, *Diplophaerina sp.*, *Girvanella cf. wetheredi vb.* fosilleri bulunmuş ve formasyona Orta-Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşı verilmiştir.

Birimin alt bölümleri şelf-yamaç, üst bölümleri şelf ortamını temsil etmektedir (Gedik ve Önalın, 2001).

### 3.1.2. Mesozoyik yaşlı jeolojik formasyonlar

#### İnaltı Formasyonu (JKi)

Genellikle platform tipi karbonatlarından oluşan birim, Ketin ve Gümüş ( 1963) tarafından, İnaltı köyünden (Sinop ili) adlandırılmıştır. Bahçecik Kaynağı'nın yaklaşık 8-10 km kuzeydoğusunda ve güney-güneydoğusunda en geniş yüzeylenmeleri göstermektedir.

Birim, beyaz, bej ve gri renkli, ince-orta-kalın tabakalı platform tipi karbonatlardan oluşmaktadır. Tabanda kumtaşı, kumlu kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit ile temsil edilen birimin, Ulus ve Kilimli Formasyon'larıyla yanal olarak girik olduğu yerler ile resif ilerisi bölümleri kırıntılı kireçtaşı karakterinde olduğu belirlenmiştir (Ketin ve Gümüş, 1963).

Birimin, 450-500m arasında kalınlık sunduğu ve Üst Jura-Alt Kretase yaşı olduğu Ketin ve Gümüş (1963) tarafından yapılan çalışmalarda belirlenmiştir.

#### Ulus Formasyonu (Ku)

Bahçecik Kaynağı çevresinde en geniş yüzeyleme gösteren bu birim MTA tarafından yapılan çalışmalarda, şeyl, kiltası, marn, kireçtaşı gibi yerinde çökemiş sedimanlarla kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve konglomera gibi türbiditik çökellerin ardalananmasından oluşan ve çeşitli olistolitler içeren birim Akyol ve diğ. (1974) tarafından adlandırılmıştır. Ulus Formasyonu içerisindeki kireçtaşı olistolitleri İnaltı Formasyonuna ait olup, konglomeralar ise Ahmetusta üyesi olarak tanımlanmıştır (Akyol ve diğ., 1974). Ulus Formasyonun kalınlığının 2000 m'ye kadar ulaştığı daha önce yapılan çeşitli çalışmalarda ortaya konulmuştur.

Birim genellikle kumlu kireçtaşı ara tabakalı, grimsi yeşil, gri ve siyah renkli kumtaşı, şeyl, marn ve konglomeralardan oluşmaktadır. Kumtaşları tabaka altı yapıları, derecelenme, paralel ve konvolüt laminalanma gösterir.

Ahmetusta Üyesi (Kua): Konglomeralardan oluşan birim, Saner ve diğ. (1980) tarafından Ahmetusta üyesi olarak adlandırılmıştır. Ulus Formasyonu, içerisinde ara seviye halindeki konglomeralar, gri, sarı, kahverengimsi sarı renklere, masif görünümlüdür. Çakılları iyi yuvarlanmış olan birim kötü boylanmalıdır. Konglomeralar genellikle çok tür bileşenli olup yer yer tektür bileşenli (Jura, Devoniyen kireçtaşı gibi) olanları da vardır. Çimento karbonat veya silistir. Stratigrafik konumuna göre Alt Kretase yaştaki birim, yamaçta gelişmiş moloz akma çökelleridir (Gedik ve Önalın, 2001).

#### **3.1.3. Tersiyer yaşı jeolojik formasyonlar**

##### Safranbolu Formasyonu (Tes)

Bahçecik Kaynağı güney ve güneydoğusunda geniş yüzlekler veren Alt-Orta Eosen yaşı kireçtaşları Safranbolu Formasyonu adı ile Gedik ve Önalın (2001) tarafından tanımlanmıştır. Bu formasyon altta çok ince bir konglomera-kumtaşı seviyesi ile başlar ve üste doğru karbonatlı kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşına geçiş gösterir (Gedik ve Önalın, 2001).

Safranbolu Formasyonu Safranbolu-Karabük Havzası'nın kuzeyinde Ulus Formasyonu üzerinde açısal uyumsuzlukla yer almaktadır. Birim üste doğru yanal ve düşey yönde Karabük Formasyonu'na geçer.

Formasyonun kalınlığının 50-500 m arasında değiştiği belirlenmiştir (Gedik ve Önalın, 2001).

Karabük Formasyonu (Teka)

Bahçecik Kaynağı güneydoğusunda, Yazılı Köyünde sınırlı bir alanda yüzlek vermektedir. Gri-haki yeşil renkli, alt seviyeleri marnlı, üste doğru kıltaşı ve kumtaşı araldanmasına geçen istif, Saner ve diğ. (1980) tarafından adlandırılmıştır.

#### **3.1.4. Kuvaterner yaşlı jeolojik formasyonlar**

Alüvyon (Qal)

Kuvaterner yaşlı olan birim akarsu yataklarında, eski çukurluklar üzerinde gelişmiş alanlardaki çakıl, kum ve çamur çökelleridir. İnceleme alanında en önemli alüvyon oluşumu Ovacuma Çayı dere yatağında görülmektedir.

Traverten (Qtr)

İnceleme alanı içerisinde traverten yapıları gözlemlenmektedir. Bunlardan en geniş yüzeylenmeye sahip olanı, Düzağaç Mevkiinde yer alan travertenlerdir. Yerel halk tarafından belirli bir dönem traverten ocağı olarak işletilen biriminin Kuvaterner yaşlı olduğu tahmin edilmektedir.

## 4. HİDROLOJİ

### 4.1. Akarsular

Bahçecik Kaynağı ve civarında en önemli akarsular; Bahçecik Kaynağı'nın yaklaşık 100 m kuzeyinden akan Ovacuma Çayı ile kuzeyde yan vadide yer alan Kayabaşı Deresi'dir (Şekil 2.5). Ovacuma Çayı ile Kayabaşı Deresi'nin birçok yan kolu olup, bu yan dereler mevsimlik derelerdir. Yan dereler kış aylarında akışta iken, yaz aylarında kurumaktadır (Şekil 2.5).

Ovacuma Çayı'nda Bahçecik Kaynağı memba ve mansabında 10 noktada yapılan debi ölçümleri aşağıda verilmiştir (Tablo 4.1). Ölçüm istasyon yerleri için Bknz. Şekil 2.6

Tablo 4.1. Ovacuma deresi üzerinde Bahçecik Kaynağı memba ve mansabında ölçülen debi değerleri

Tarih	8	9	10
	Ovacuma Çayı (m <sup>3</sup> /sn)		
3.4.18	8,156	8,409	10,297
18.4.18	1,373	1,457	3,905
7.5. 18	1,858	2,413	3,024
16.5.18	0,875	0,895	2,654
1.6.18	0,514	0,744	1,077
20.6.18	0,306	0,426	0,746
5.7.18	0,250	0,263	0,514
23.7.18	0,237	0,157	0,272
1.8.18	0,176	0,176	0,198
28.8.18	0,092	0,064	0,086
5.9.18	0,064	0,064	0,082

Ovacuma Çayı memba (8) ve mansabında (9) DSİ tarafından yapılan ölçümlerde aynı ayda (Nisan) 15 gün aralıkla alınan ölçümlerde dere debilerinde önemli düzeylerde değişimlerin yaşandığı gözlemlenmiştir. Kurak dönemlerde (Temmuz, Ağustos/2018) Ovacuma Çayı'nın debisinde önemli bir düzeyde azalma görülmesine karşın akışın devam ettiği belirlenmiştir. Kurak dönemi temsile Ağustos-Eylül döneminde Ovacuma çayı debisi Bahçecik kaynağında membasında 0,064 m<sup>3</sup>/sn olarak ölçülmüştür.

## 5. HİDROJEOLOJİ

Bahçecik Kaynağı civarında yüzeyleyen birimler litolojik ve yapısal özellikleri açısından değerlendirilerek geçirimsizlik özellikleri ve yeraltısuyu taşıyıp taşıyımama durumları dikkate alınarak hidrojeolojik açıdan aşağıda sınıflandırılmışlardır.

### 5.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

#### 5.1.1. Az geçirimli-geçirimsiz formasyonlar

Bahçecik Kaynağı çevresinde geniş bir alanda yayılım gösteren kumtaşı, çamurtaşı, kıltaşı ar dalanmasından oluşan fliş karakterli Ulus Formasyonu litolojik yapısı gereği az geçirimli-geçirimsiz özelliktedir (Şekil 5.1). Ulus Formasyonu bu özellikleri nedeniyle akifer özelliği göstermemektedir.

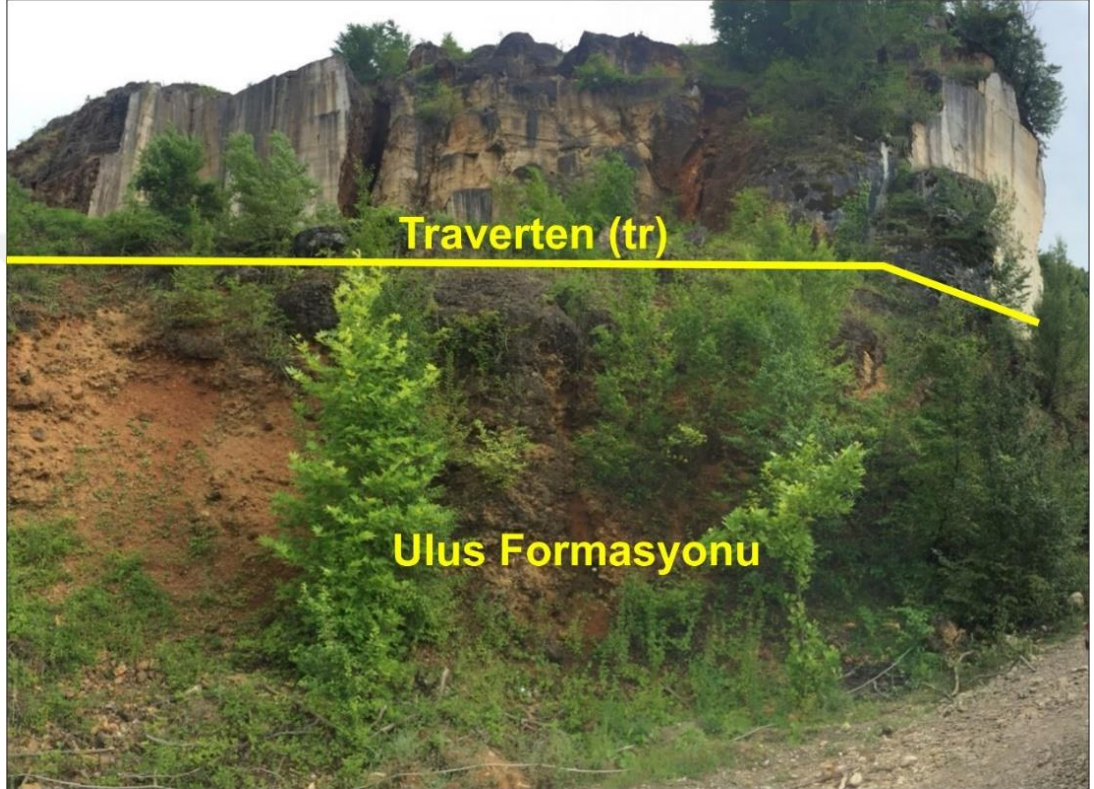


Şekil 5.1. Ulus Formasyonununa ait az geçirimli-geçirimsiz kumtaşı, çamurtaşı, kıltaşı ar dalanmasından bir görünüm (X:467939 m, Y:4592078 m)

Bahçecik Kaynağı güneydoğusunda yüzyelenme gösteren, Safranbolu Formasyonu (Tes)'na ait numulitli kireçtaşı-marn birimleri ve Karabük Formasyonu (Teka)'na ait kumtaşı, çamurtaşı, konglomera birimleri hem litolojik yapısı gereği hemde çok dar bir alanda yüzyelenme göstermelerinden dolayı akifer potansiyeli taşıyamamaktadırlar.

### 5.1.2. Yarı geçirimli formasyonlar

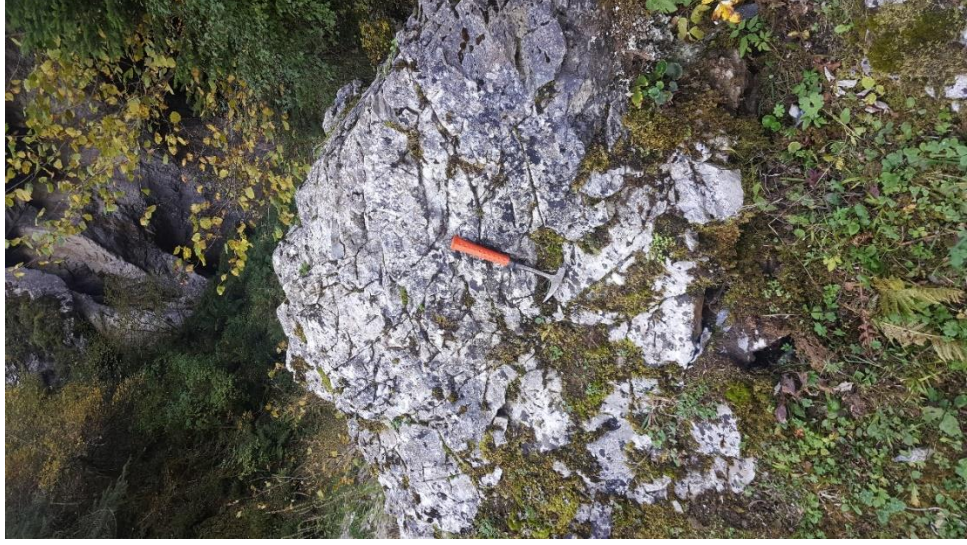
Bahçecik Kaynağı güneybatısında, Düzağaç Mevkiinde Ulus Formasyonu'nu dar bir alanda örten traverten birimi yüzeylemektedir. Traverten birimi litolojik yapısı gereği geçirimli olmakla birlikte, çok dar bir alanda ve Ulus Formasyonu üzerinde, şapka şeklinde yüzelendiğinden, akifer potansiyeli taşımamaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2.Düzağaç Mevkiide mostra veren traverten biriminden bir görünüm (X:466992 m, Y:4592286 m)

### 5.1.3. Geçirimli-çok geçirimli formasyonlar

Bahçecik Kaynağı'nın 8,0 km kuzeydoğusunda mostra veren İnaltı Formasyonu'na ait kireçtaşları (Şekil 5.3) inceleme alanında yaygın verimli karst akifer niteliği göstermektedir.



Şekil 5.3. İnaltı Formasyonu kireçtaşlarından bir görünüm (X:481381 m, Y:4598860 m)

İnceleme alanı ve çevresinde yapılan arazi çalışmalarında Bahçecik Kaynağı'nın yaklaşık 8-10 km kuzeydoğusunda yer alan İnönü, Çokman ve Kızılgöl yaylaları çevresinde (yaklaşık 1000 m kotlarında) mostra veren İnaltı Formasyonu'na ait kireçtaşlarının iyi derecede karstlaştığı ve bölgede mağara ve büyük düden yapılarının mevcut olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.4, Şekil 5.5).



Şekil 5.4. Uluyayla mağarası ağzı (X:481565 m, Y:4598870 m)



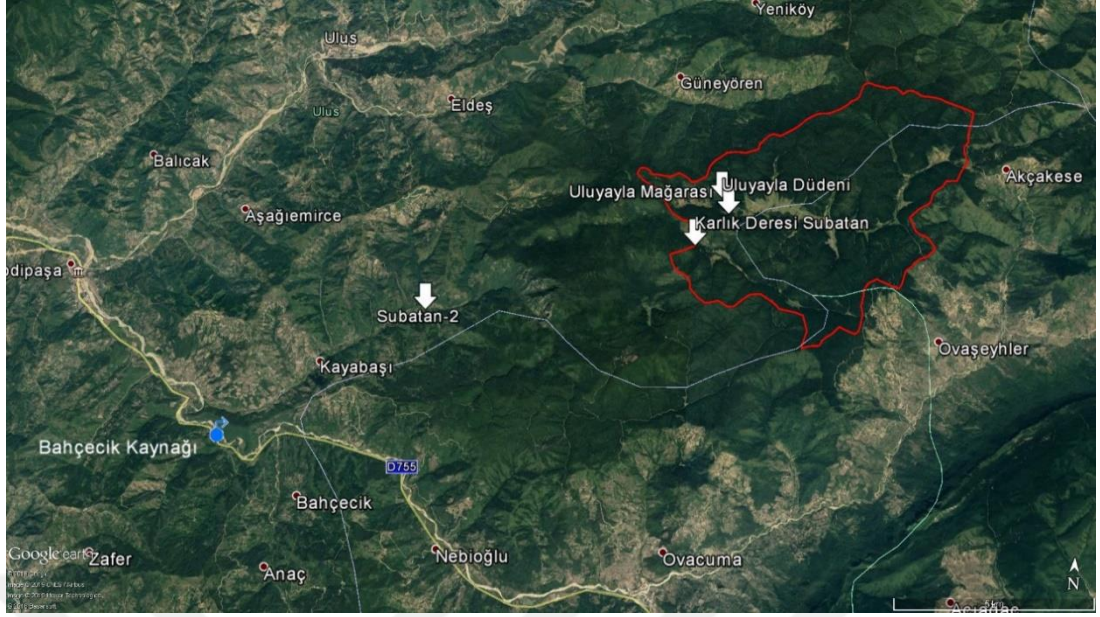
Şekil 5.5.Çokman Yaylası Karlık Düden ağzı (X:480531 m, Y:4597934 m)

Tez çalışması sırasında Boğaziçi Mağaracılık Klübü tarafından Karlık Düdeni içerisinde gerçekleştirilen çalışmaya ait fotoğraflar Şekil 5.6'da yer almaktadır.



Şekil 5.6. Karlık Düdeni içerisine ait fotoğraf görüntüleri

İnaltı Formasyonu Ulus Formasyonu dokanağında gelişmiş bu düden yapıları kapalı bir yağış-drenaj alanına sahip yaylaların tüm yüzey sularını drene etmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Uluyayla Mağarası Drenaj alanı (Kırmızı renkli çizgiyle çevrilen alan Uluyayla kapalı drenaj sistemini temsil etmektedir.)

Arazi çalışmaları sırasında ayrıca inceleme alanı kuzeyinde Kayabaşı deresi membaında, Karakışla köyünde, Kayabaşı Deresi yatağında su batan yapıları tespit edilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Kayabaşı dere yatağı içinde yer alan su batan yapısı (X:473104 m, Y:4595989 m)

İnaltı Formasyonu haricinde inceleme alanı güneydoğusunda sınırlı bir alanda yayılım gösteren ait kire çtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit'ten oluşan Yılanlı Formasyonuna ait birimler karstik akifer özelliği göstermektedir.

Ulus Formasyonu içerisinde yer alan Ahmet Usta Üyesi (Kua) konglomeraları geçirimli olmakla birlikte yayılımları oldukça sınırlıdır, dolayısıyla yeraltısuyu potansiyeli düşüktür.

Bahçecik Kaynağı ve civarında akifer potansiyeli taşıyan bir başka birim de Ovacuma Çayı dere yatağı alüvyonları olmakla birlikte bu birimin kalınlığının ve yayılımının az olmasından kaynaklı yerel öneme sahip taneli akifer özelliğindedir.

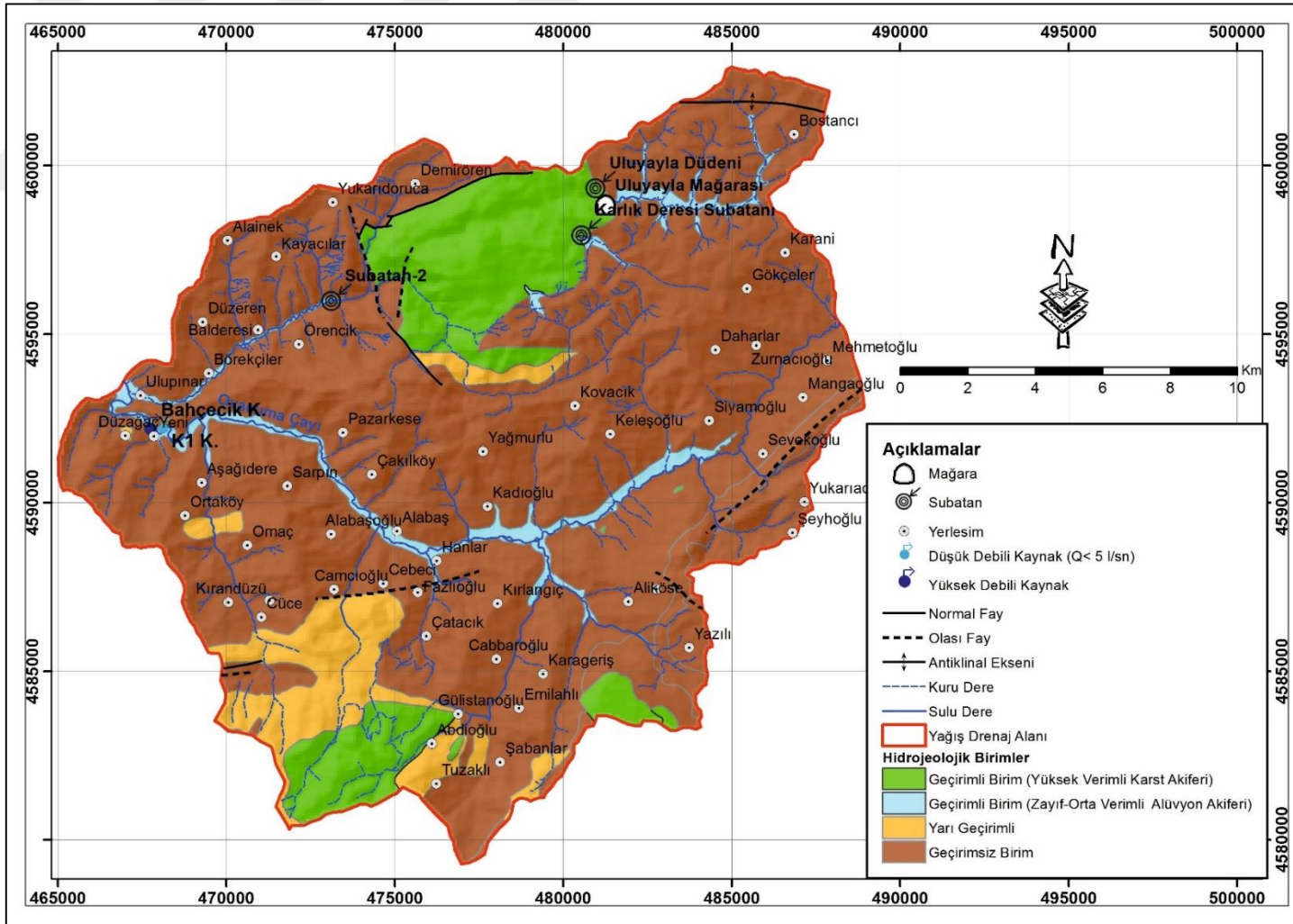
Bahçecik Kaynağı'nın kaptaj alanı civarında, alüvyon biriminde DSİ tarafından 2016 yılında yapılan çalışmalarda 6 adet temel sondaj ve 2 adet su sondaj kuyusu açılmıştır. Ayrıca DSİ tarafından 2018 yılında ihale edilen "Bahçecik Kaynağı Potansiyelinin Geliştirilmesi" işi kapsamında da ilave olarak 2 adet pompaj, 3 adet gözlem kuyusu açılmıştır. Açılmış kuyularda geçilen alüvyon biriminin kalınlığı 7,5 m ile 21,0 m arasında değişmektedir. Ovacuma Çayı dere yatağında yer alan alüvyon birimi daha çok kaba taneli (çakılı, bloklu) iken, Bahçecik Kaynağı'nın kaptajın yer aldığı sahilde oluşmuş sekideki alüvyon malzemesinde ince taneli (silt ve kil) malzeme oranının arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.9). Birim içinde açılmış kuyuların verimleri 3,75-10,00 l/sn arasında değişmektedir. Yapılan pompa testlerinde alüvyon biriminin hidrolik iletkenlik değeri 20,4 m/gün ile 32,9 m/gün olarak belirlenmiş olup, ortalaması 26,65 m/gün olarak hesaplanmıştır (Kırmızıtaş ve diğ., 2019).



Şekil 5.9. Ovacuma Çayı dere yatağı alüvyonları

Ovacuma Çayı, dere yatağındaki alüvyon akiferi için pozitif sınır şartı oluşturmaktadır.

İnceleme alanının hidrojeoloji haritası Şekil 5-10 ve Ek-B'de sunulmuştur.



Şekil 5.10. Bahçecik Kaynağı civarının hidrojeoloji haritası

## 5.2. Kaynaklar

Bahçecik Kaynağı, inceleme alanı ve civarındaki yüksek debiye sahip en önemli içme suyu kaynağını oluşturmaktadır. Bahçecik Kaynağı, Bartın ili sınırları içerisinde ve Bartın – Safranbolu karayolunun 35.inci km'sinde (Bartın'dan Safranbolu istikametine gidiş yönünde karayolunun hemen sol yanında) ve Ovacuma Çayının sol sahilinde yer almaktadır (Şekil 5.11).

Bahçecik Kaynağı yakın çevresinde Alt Kretase yaşlı Ulus Formasyonu'na ait az geçirimli-geçirimsiz çamurtaşı, kumtaşı, kilitaşı yüzeylemeleri ile Ovacuma Çayı dere yatağında yayılım gösteren güncel alüvyon birimleri yer almaktadır.

İnceleme alanında Bahçecik Kaynağı haricinde düşük debili (K-1) ve mevsimsel kaynak çıkışları da mevcuttur (Şekil 5.11). K-1 kaynağı Bahçecik Kaynağı kuzeydoğusunda, Ovacuma Çayı alüvyonları ile Ulus Formasyonu kantağından boşalmaktadır. Bu kaynak tüm yıl boyunca yaklaşık 4-5 l/s debi ile akıştaadır. Mevsimsel kaynaklar ise yağışlı dönemlerde Safranbolu-Bartın karayolu güney şevinde mevsimlik göllenmeler oluşturmaktadır.



Şekil 5.11. Bahçecik Kaynağı ve K-1 Kaynağının lokasyonunu gösteren Google Earth görüntüsü

### 5.2.2. Bahçecik Kaynağı

Alüvyon birimi içinden yayılı olarak boşalan Bahçecik Kaynağı ortalama 50 m x 40 m boyutlarındaki alandan 9 adet drenaj borusu ile 60 m uzunluğunda, 3 m genişliğinde ve 3 m yüksekliğinde bir kaptaja alınmıştır (Şekil 5.12 ve 5.13).



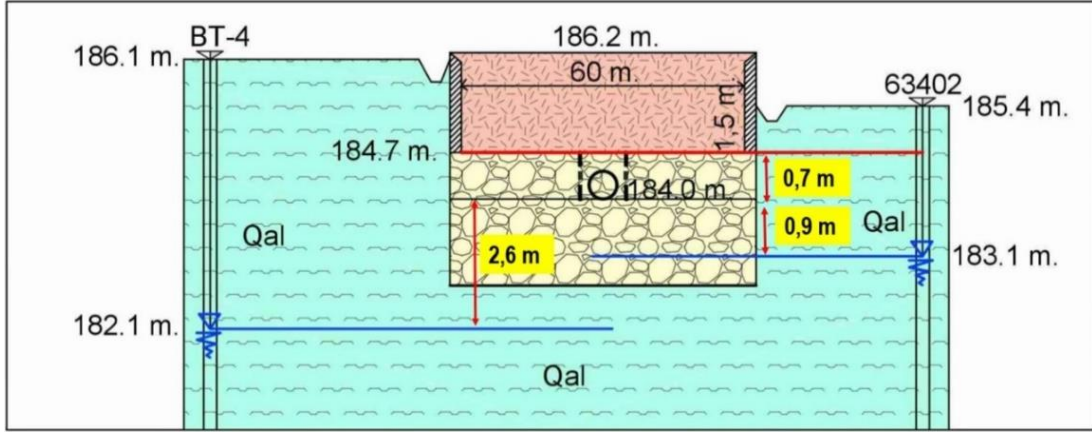
Şekil 5.12. Bahçecik Kaynağı kaptajından bir görünüm

Bahçecik Kaynağı kuşaklama kanalı ve beton yapısı ile çevreden izole edilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13. Bahçecik Kaynağı kaptajı kuşaklama kanalı ve beton yapısı

Bahçecik Kaynağı'na ait en kesit aşağıda verilmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Bahçecik kaynağı kaptajı en kesiti (BT-4 ve 63402 gözlem kuyularıdır. Kesit üzerindeki kot verileri ise cm hassasiyetinde GPS ile ölçülmüştür)

Bahçecik Kaynağı kaptajından Bartın il merkezi, Amasra ilçe merkezine yaklaşık 218 l/s içme - kullanma suyu ve mansabındaki su değirmenine yaklaşık 50-60 l/s işletme suyu sağlandığı belirtilmiştir (DSİ, 2016) (Şekil 5.15, Şekil 5.16).



Şekil 5.15. Bahçecik Kaynağı kaptajı su çıkışları görünümü



Şekil 5.16. Bahçecik Kaynağı kaptaj girişi, yeri ve içinin görünümü

Bahçecik Kaynağı, 9 adet filtreli borular ile kaptaja alınmıştır (Şekil 5.17).



Şekil 5.17.Kaptaj içi ve filtreli boru görünümü

Bahçecik Kaynağı Kaptajı'nda, 2013-2016 yılları arasında alınmış debi ölçüm değerleri aşağıda Tablo 5.1'de verilmiştir (Avan, 2016).

Tablo 5.1. Bahçecik Kaynağı debi ölçüm değerleri tablosu (Avan, 2016)

<b>DSİ 23. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ BARTIN BAHÇECİK KAYNAĞI DEBİ ÖLÇÜMLERİ</b>												
Koordinatlar: 32° 36' 48" D;41° 12' 21" K											Birim:	
l/sn												
Yıl/Ay	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2013	-	-	-	-	716,0	640,0	1644,0	415,5	356,0	2291,5	650,5	761,5
2014	2001,0	1946,0	2068,0	1632,0	2358,0	1912,0	1037,0	346,0	274,0	2220,0	1558,0	1587,0
2015	1945,0	3455,0	2480,0	2336,0	1145,0	1864,0	580,0	434,0	532,0	482,0	2057,0	1589,0
2016	3858,0	3935,0	2630,5	1399,0	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ortalama</b>	<b>2601,3</b>	<b>3112,0</b>	<b>2392,8</b>	<b>1789,0</b>	<b>1406,3</b>	<b>1472,0</b>	<b>1087,0</b>	<b>398,5</b>	<b>387,3</b>	<b>1664,5</b>	<b>1421,8</b>	<b>1312,5</b>

Tablo 5.1 değerlendirildiğinde; Bahçecik Kaynağı'nın 2013-2016 yılları arası minimum debisi Eylül/2014 tarihinde 274,0 l/sn, maksimum debisi Şubat/2016 tarihinde 3935 l/sn ölçülmüş, yıllık ortalama debisi 1587,08 l/sn olarak hesaplanmıştır. Yine Tablo 5.1'de görüldüğü gibi Mayıs-Haziran/2013 ayları arasında kaptajın debisi 716-640 l/s arasında değişirken Temmuz/2013 tarihinde ani yağışlarla aniden yükselmiş ve 1644 l/sn ye kadar yükselmiş, Ağustos-Eylül/2018 aylarında tekrar 415-356 l/sn 'ye gerilemiştir. Bu durum anlık yağışların, kaptaja etkisinin çok kısa zamanda gerçekleştiğini göstermektedir.

Tez kapsamında Ekim/2018 tarihinde Bahçecik Kaptajı içinde Muline aleti ile yapılan ölçümde kaptajın debisi 200 l/sn olarak ölçülürken, Mart 2019 tarihinde ise 1480 l/sn olarak ölçülmüştür.

DSİ tarafından 2016 yılında hazırlanan "Bahçecik Kaynağı Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu"nda Bahçecik Kaynağı'nın yüksek debili kaynak sınıfında olduğu ve debi değişkenliğinin % 93,9 değeri ile 4. tür debi değişimi sınıfına dahil olduğu ve kaynak boşalım katsayısının 0,00992 gün<sup>-1</sup> olduğu belirtilmiştir (Avan, 2016).

### 5.3. Bahçecik Kaynağı ile Ovacuma Deresi ve Alüvyon akiferi arasındaki Hidrolik İlişkinin Değerlendirilmesi

DSİ tarafından 2016 yılında hazırlanan "Bartın Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı Geliştirme Projesi Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu" kapsamında, Bahçecik Kaynağı'nın Ovacuma Çayı deresi ve dolayısıyla alüvyonlarından beslendiği belirtilmiştir (Avan, 2016).

Bu tez çalışma kapsamında da Bahçecik Kaynağı'nın oluşum mekanizmasını belirlemek için Ovacuma Çayı'nın memba ve mansabında, yan dere kollarında akım debi değerleri 6 ay boyunca yaklaşık 2 haftada bir toplamda 13 kez ölçülerek, memba ve mansabında debi değişimleri değerlendirilmiştir (Tablo 5.2). Ölçüm noktaları için Bknz Şekil 2.6

Tablo 5.2. Ovacuma Çayı akım değerleri (m<sup>3</sup>/sn) tablosu

Ölçüm Tarihi	Memba (9)	Mansap (8)	Mansap-Memba farkı (9-8)
03.04.18	8,156	8,409	<b>+0,253</b>
18.04.18	1,373	1,457	<b>+0,084</b>
07.05.18	1,858	2,413	<b>+0,555</b>
16.05.18	0,875	0,895	<b>+0,02</b>
01.06.18	0,514	0,744	<b>+0,23</b>
20.06.18	0,306	0,426	<b>+0,12</b>
05.07.18	0,250	0,263	<b>+0,013</b>
23.07.18	0,237	0,157	<b>-0,08</b>
01.08.18	0,176	0,176	<b>0,00</b>
28.08.18	0,092	0,064	<b>-0,028</b>
05.09.18	0,064	0,064	<b>0,0</b>

Tablo 5.2'de Ovacuma Çayı membaında ölçülen akım değerleri ile mansapta ölçülen akım değerleri değerlendirildiğinde 2018 yılı Temmuz-Ağustos-Eylül/ ayları hariç, mansapta akım debilerinde artış olduğu görülmektedir. Bahçecik Kaynağın Ovacuma Çayı'ndan beslenmesi halinde mansapta ciddi düşüşlerin olması beklenirken, tam aksine artışlar olmuştur. Bu durum; Bahçecik Kaynağı'nın, Ovacuma Çayı'ndan beslenmediğini ortaya koymaktadır.

Buna ek olarak, Bahçecik Kaynağı civarında açılmış tüm sondaj (su ve temel) kuyuların YAS seviyeleri, kaptajdaki su seviyeleri ile korele edilmiş ve YAS akım yönü belirlenmiştir.

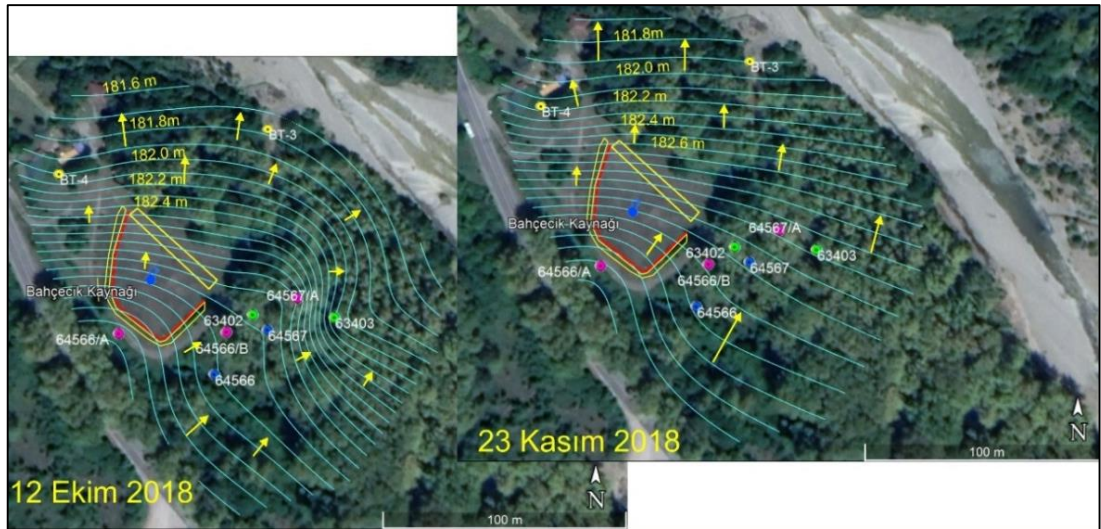
Kaptajın içine gelen su borusunun kotu ile kuyulardaki YAS seviyelerinin kotu aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.3). Kuyu lokasyonları için Bknz Şekil 5.18

Tablo 5.3. Bahçecik kaynağı çevresindeki kuyularda ölçülen YAS kotları

Kuyu No	Zemin kotundan YAS Sev. (m) (1)	Zemin kotundan YAS kotu (m) (2)	Kaynak Kaptaj boru alt kotu (m) (3)	Kaptaj boru alt kotuna göre YAS farkı (m) (2-3)
64566/A	1,405	183.71	184,0	-0.29
64566/B	2,46	183.20	184,0	-0.80
64566	1,906	183.31	184,0	-0.69
64567/A	1,837	182.99	184,0	-1.01
64567	2,036	183.20	184,0	-0.80
BT-4	4,05	182.08	184,0	-1.92
BT-3	1,18	181.82	184,0	-2.18
63402	2,26	183.44	184,0	-0.56
63403	2,16	182.95	184,0	-1.06

Ovacuma Çayı talveg kotu 181,56 m ve alüvyonda açılmış sondaj kuyuları ile belirlenen yeraltısuyu seviyesi maksimum su kotu (64566/A) 183,71 m olarak ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda, gerek alüvyon biriminde belirlenen maksimum yeraltısuyu seviyesi, gerekse Ovacuma Çayı talveg kotu, Bahçecik Kaynağı boşalım kotundan daha düşük kotta kalmasından dolayı, Bahçecik Kaynağı boşalımının alüvyon akiferinden, dolayısıyla Ovacuma Çayı'ndan beslenmediğini göstermektedir.

Kaynak kaptajı çevresinde 12/Ekim ve 23/Kasım 2018 tarihlerinde yapılan YAS seviye ölçümlerine dayanarak oluşturulan Eş YAS Seviye Eğrileri Haritaları Şekil 5.18'de sunulmuştur.



Şekil 5.18. Bahçecik Kaynağı kaptaj alanı ve civarının 12/Ekim/2018 ve 23/Kasım/2018 tarihli Eş YAS Seviye Eğrileri Haritaları

Söz konusu eş YAS seviye eğrileri değerlendirildiğinde; alüvyonda açılmış sondaj kuyularından kaptaja doğru herhangi bir YAS akımının olmadığı, aksine Bahçecik Kaynağı kaptaj alanından Ovacuma Çayına doğru yeraltısuyu akımının gerçekleştiği görülmüştür.

Bu çalışmaların haricinde Bahçecik Kaptajı beslenme bölgesinde, 25,0 m uzağında ki 63402 no.lu sondaj kuyusunda (Şekil 5.18), alüvyon ile kaynak arasında bir hidrolik ilişkinin olup olmadığının belirlenebilmesi için teyit maksadıyla ayrıca boya deneyi yapılmıştır (Bknz. Şekil 2.10-2.11).

12 Ekim 2018 tarihinde DSİ tarafından açılmış 63402 no.lu kuyuya 20 gram floresin kullanılarak hazırlanan boya çözeltisi enjekte edilerek boya deneyine başlanmıştır (Şekil 2.10). Kaptajda ve dolayısıyla Bartın iline giden su şebekesinde florosein boyanın gözle görülmemesi için özellikle boya miktarı düşük tutulmuştur. Boya deneylerinde kullanılan boya miktarı Worthington ve Smart (2003) tarafından geliştirilen eşitliğe dayanılarak belirlenmiştir. Bu deneyde florometre cihazının deteksiyon limitinin (0,01 µg/L) yaklaşık  $10^4$  kat üzerinde bir konsantrasyon (320 µg/L) kaptajda kaynak suyunda hedeflenmiştir.

Kuyuya boya verildikten sonra üstten 1,0 tonluk tanktan kuyu civarında hidrolik gradyanı değiştirmeden su ilave edilmiş ve kaptaj içine yerleştirilmiş GGUN-FL marka arazi tipi florometre cihazı ile otomatik ölçüm alımına (4 dakika aralıkla) başlanmıştır.

Boya deneyi esnasında kuyuda oluşacak yükselim konisinin oluşturacağı fazladan hidrolik yükün, normal akım yönünde etkili olmaması ve mümkün mertebe yükselim konisinin oluşmasına engel olmak için YAS seviyesi sabit tutulacak şekilde tanktan kuyuya su verilmiştir (Şekil 2.11).

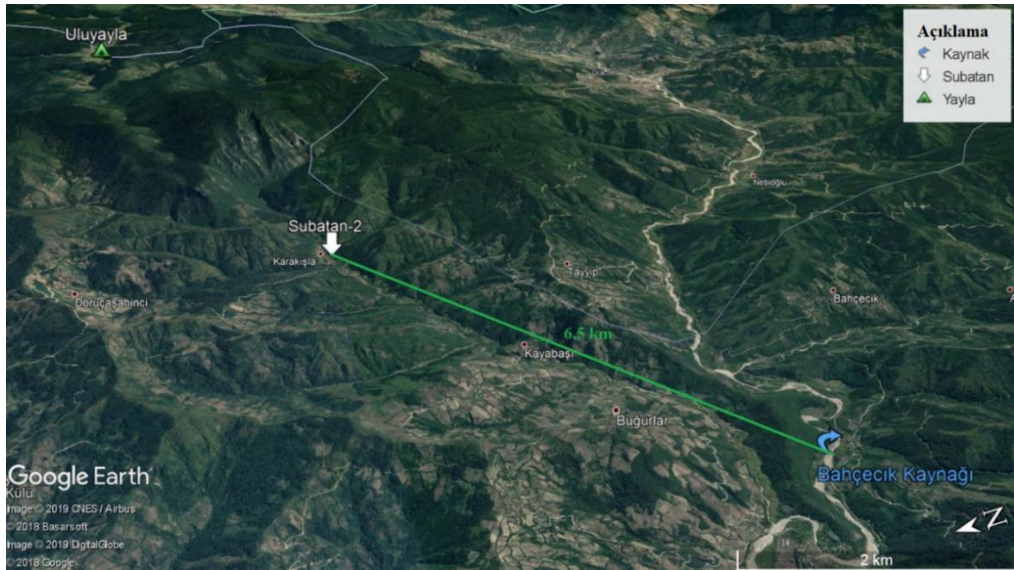
Bu şekilde verilen suyun debisi ölçüldüğünde 0,1 l/sn bulunmuştur. Başka bir deyişle 0,1 l/sn den daha fazla su verildiğinde kuyuda hemen yükselim konisi oluşmaktadır. Bu durum, kuyu filtreli borusu civarındaki alüvyon malzemesinin permeabilitesinin çok düşük olduğunu göstermektedir. 63402 no.lu kuyudan boya atılmasından sonra boya izleme çalışmalarına 45 gün boyunca devam edilmiştir. Ancak Bahçecik kaynağında yapılan ölçümlerde, kaptaj sahasından 25,0 m uzaklıkta ki kuyudan

atılan boyanın kaynağa ulaşmadığı belirlenmiştir. Bu durum; Bahçecik Kaynağı'nın boşalım yaptığı alüvyon birimi ve dolayısıyla alüvyon birimini besleyen Ovacuma Çayı'ndan beslenmediğini ortaya koymuştur.

#### 5.4. Bahçecik Kaynağı'nın Beslenme Alanının Belirlenmesi

Bahçecik Kaynağı'nın beslenme alanları ile arasındaki ilişkiyi ortaya koymak, yeraltısuyu seyahat sürelerini ve akım dinamiklerini belirlemek amacıyla boya izleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Boya izleme deneylerinde birincil öneme sahip olduğu düşünülen bölge, subatanlar ve derin dikey mağara sistemleri gibi önemli karstik yapılara ev sahipliği yapan Uluyayla ve Çokman Yaylası civarı olup, bu bölgede gözlenen karstik yapılar İnaltı Formasyonu içerisinde gelişim göstermiştir.

Bu sebeple, öngörülen karstik sistem ile Bahçecik Kaynağı arasındaki hidrolik ilişkiyi ortaya koyabilmek amacıyla ilk olarak bahsi geçen alanlardan biri olan Bahçecik Kaynağı'nın 6,5 km kuzeydoğusunda ki Karakışla Köyü'nde, Kayabaşı dere yatağı tabanında bulunan Subatan-2'de 24.03.2019 tarihinde boya izleme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.19).

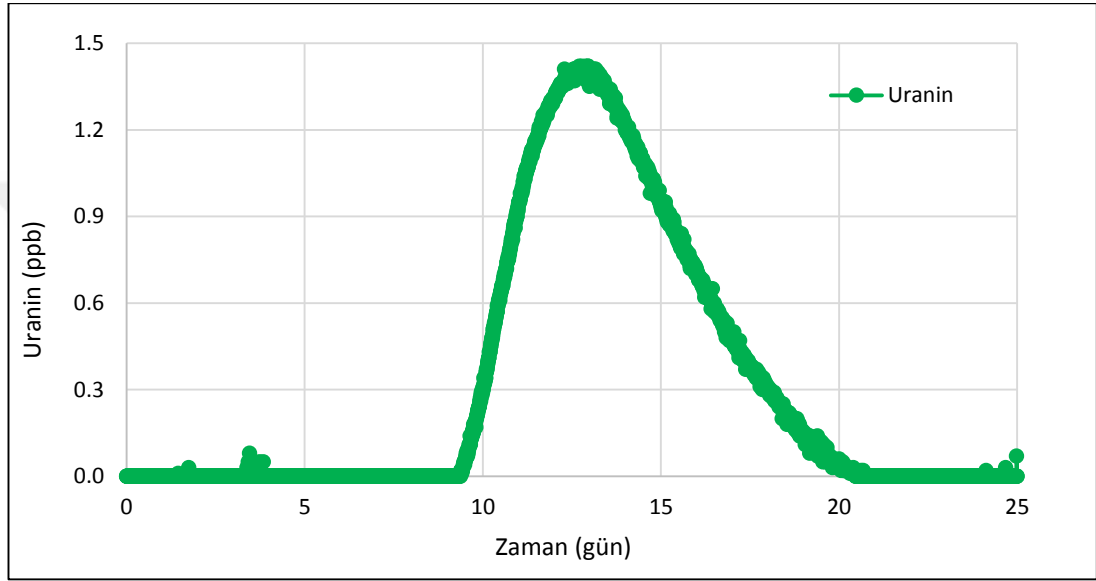


Şekil 5.19. Boya enjeksiyon noktası, Bahçecik Kaynağı ve Subatan-2 konumu

Subatan-2'den bir spiral boru yardımı ile dere taban kotunun altına indirilerek doğal akışla birlikte yapılan boya enjeksiyonu yapılmış, akabinde Bahçecik Kaynağı'na yerleştirilen florometre cihazı ile Bahçecik kaynağının bulanıklık ve uranın (floresin) konsantrasyonları test süresince sürekli izlenmiştir.

Bahçeçik kaynağın 6,5 km kuzeydoğusunda Karakışla Köyü mevkiinde ki dere yatağında yer alan Subatan yapısından atılacak boya miktarı, kaynak boşalım debisini ( $1.48 \text{ m}^3/\text{sn}$ ) dikkte alarak hedeflenen 25 ppb konsantasyon değerine göre 2500 gram olarak hesaplanmıştır.

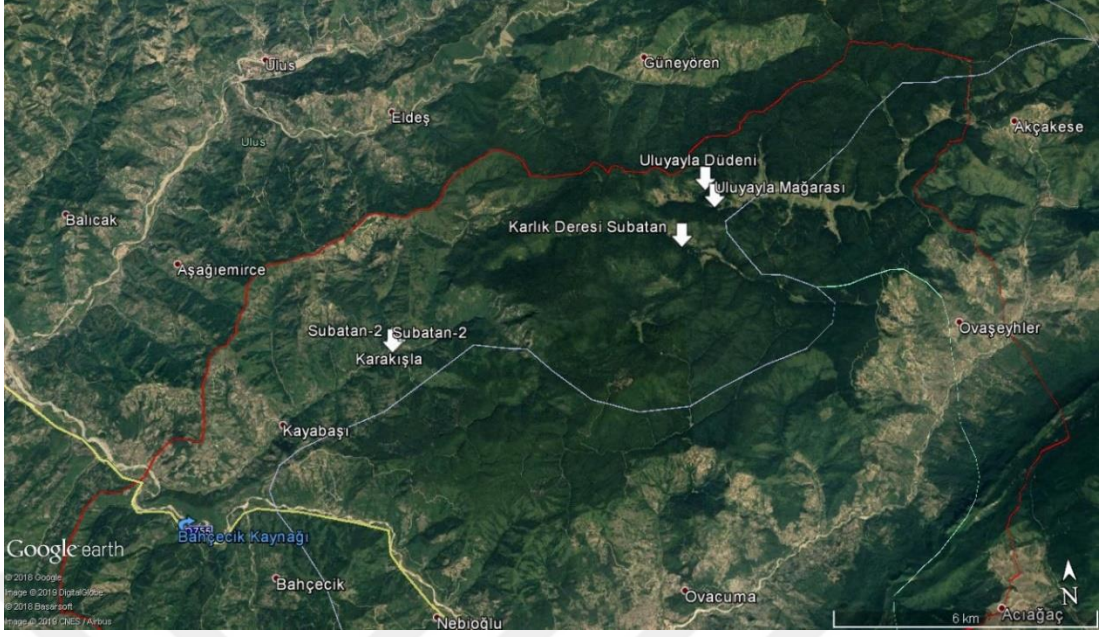
24.03.2019 tarihinde yapılan boya enjeksiyonunu takiben, Bahçeçik kaynak suyunda kaydedilen uranın konsantrasyon değerleri Şekil 5.20’de sunulmuştur.



Şekil 5.20. Karakışla Subatan-2 ile Bahçeçik Kaynağı arasında yapılan boya izleme deneyine ait uranın breakthrough grafiği

Şekil 5.20’de verilen breakthrough grafiği incelendiğinde, enjeksiyondan 9,5 gün sonra boyanın gözlem noktasına vardığı, vardıktan 3 gün sonra ise maksimum konsantrasyon değerine (1,41 ppb) ulaştığı görülmektedir. Moment analizi sonucunda iki nokta arasındaki yeraltısuyu seyahat süresi yaklaşık 13,73 gün, Bahçeçik Kaynağı’ndaki kütle geri kazanımı ise %38,17 olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon noktası ile gözlem noktası arasındaki 6,50 km’lik mesafe baz alındığında, görünür yeraltısuyu hızı yaklaşık 473 m/gün olarak hesaplanmıştır.

Karakışla Subatan-2’den gerçekleştirilen boya izleme deneyinin ardından, Uluyayla mevki, Karlık Düdeni membasi Karlık Deresi yatağında yer alan Karlık Subatanı’nda da boya enjeksiyonu gerçekleştirilerek, Uluyayla beslenim alanının Bahçeçik kaynağı ile bağlantısı araştırılmıştır (Şekil 5.21).

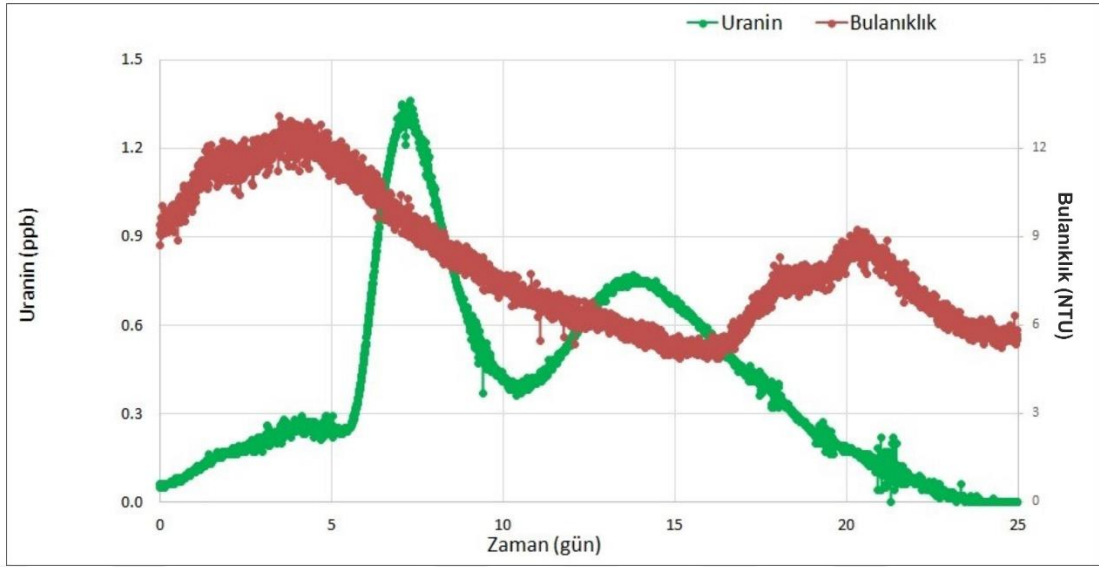


Şekil 5.21. Karlık Subatanı ve Bahçecik Kaynağı'nın konumlarını gösteren Google Earth görüntüsü.

22 Nisan 2019 tarihinde yapılan boya enjeksiyonu için Bahçecik Kaynağı'nın 1338 l/sn debisi ve Karlık Subatanının Bahçecik Kaynağı'na 13,8 km uzaklığı dikkate alınarak 3000 gram uranın kullanılmıştır. Kullanılan boya izleyicisi Karlık Deresi'nden doğal akış yolu ile verilmiş olup, Bahçecik kaynak suyunda 25 ppb uranın konsantrasyonu hedeflenmiştir.

Karlık Subatanı'nda yapılan boya enjeksiyonunu takiben Bahçecik kaynağında elde edilen uranın ve bulanıklık breakthrough grafikleri değerlendirilmiştir (Şekil 5.22).

Boya izlemenin başlandığı 22 Nisan 2019 tarihi ile kaynağın mevsimlik yağışlardan hızlı bir şekilde etkilendiğini ölçülen bulanıklık değerleri de göstermektedir.



Şekil 5.22. Karlık Subatanı ile Bahçecik Kaynağı arasında yapılan boya izleme deneyine ait uranın ve bulanıklık breakthrough grafikleri

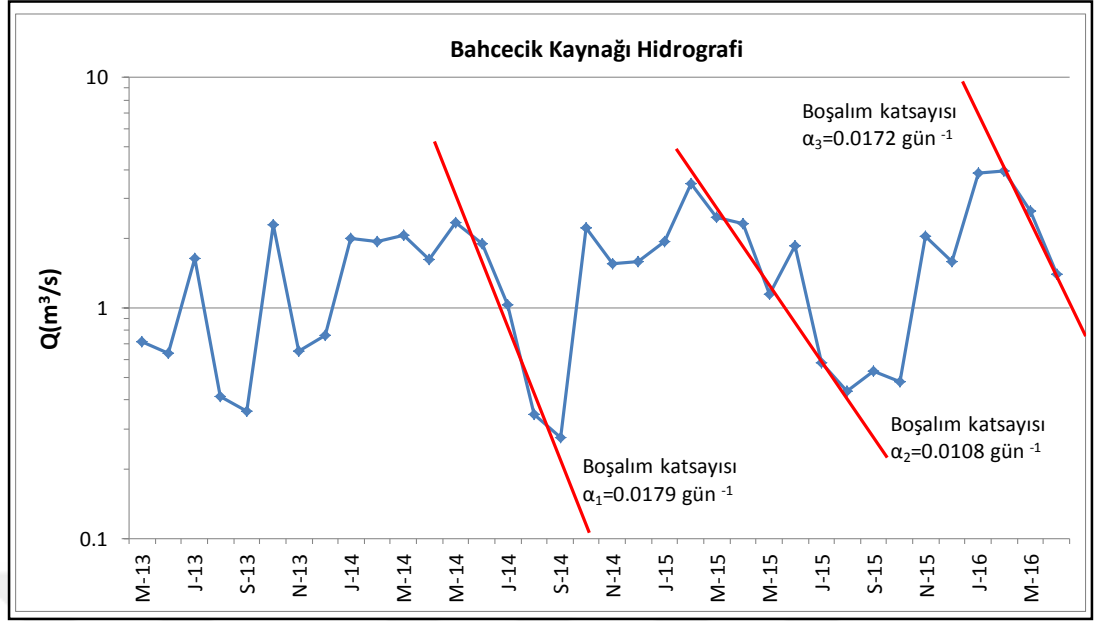
Karlık düdeninden yapılan boya enjeksiyonunu takiben bulanık değerlerindeki artışa takiben gözlenen uranın konsantrasyonundaki artış, Karakışla subatanında yapılan enjeksiyondan sonra karstik sistem içindeki göllenme sifon yapılarında kalan uranın'ın sellenme ile gelişini işaret etmektedir. Breakthrough grafiğinin ilk aşamalarında bulanıklık pik değerlerileri ile uranın konsantrasyon değişim grafiğinin örtüşmesi bu durumu desteklemektedir. Karlık Subatanında atılan boyanın varışı ise yaklaşık 5,5 günde gözlemlenmekte olup, en yüksek değerine 7. günde ulaşmıştır. 10,5 gün sonunda azalmaya başlayan uranın değeri karstik sistemde var olduğu düşünülen sifon yapıları ve/veya karstik yapılarda olası farklı akım yollarının varlığından kaynaklı yeniden yükselmeye başlamış 23,5 günün sonunda ise tamamen yok olmuştur. 2. uranın piki oluşurken bulanıklığın düşüş eğiliminde olması ve testin sonuna doğru gözlenen bulanıklık artışına karşın da uranın konsantrasyonun düşüş eğilimine devam etmesi, oluşan uranın pikinin karstik sistemde ani yağış sonrası meydana gelen yeni bir sellenme rejimi ile ilişkili olamayacağını ayrıca işaret etmektedir. Moment analizi sonucunda iki nokta arasındaki yeraltısuyu seyahat süresi yaklaşık 11,83 gün, Bahçecik Kaynağı'ndaki kütle geri kazanımı ise %35,14 olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon noktası ile gözlem noktası arasındaki 13,8 km'lik mesafe baz alındığında, görünür yeraltısuyu hızı yaklaşık 1166 m/gün olarak hesaplanmıştır. Karlık Subatanında elde edilen yeraltısuyu hızı, Subatan-2'de yapılan boya deneyinde elde edilen hızın yaklaşık 3 katıdır.

Sonuç olarak yapılan boya deneyleri sonucundan Bahçecik Kaynağı'nın hızlı besleniminde kaynağın kuzeydoğusunda Uluyayla civarında yayılım gösteren noktasal beslenme alanlarının etkili olduğu, Karstik akifer sisteminde kanal akımın dominant olduğu, Uluyayla ve Karlık Düdenin dren ettiği Uluyayla mevki kapalı drenaj alanlarının Bahçecik Kaynağı besleniminde önemli paya sahip olduğu belirlenmiştir.

### **5.5. Karst Akiferinin Beslenme Karakteristiği ve Su Bütçesi**

Bahçecik Kaynağı karst akiferinin beslenme karakteristiğini belirlemek ve su bütçesini ortaya koymak amacıyla inceleme alanı beslenme kotlarına en yakın kotlarda ve en uzun meteorolojik verisi bulunan Ulus Meteoroloji istasyonu verileri kullanılmıştır. Bu amaçla, öncelikle temel bütçe elemanları (ortalama toplam yıllık yağış miktarı, potansiyel buharlaşma verileri) belirlenmiştir. Uluyayla ve Çokman Yaylaları ile İnaltı Formasyonu kireçtaşlarının oluşturduğu kapalı drenaj alanı alansal dağılımları da ortaya konulmuştur. Ayrıca beslenme miktarı ile Bahçecik Kaynağı karst akiferinden gerçekleşen yıllık toplam yeraltısu boşalma miktarı karşılaştırılarak, karst akiferinin beslenme karakteristiği yorumlanmıştır.

Buna ek olarak Bahçecik Kaynağı akiferinin hidrodinamik özelliklerini belirlemek ve rezervuar yapısını ortaya koymak amacıyla Bahçecik Kaynağı'nın boşalma verilerinden bazı akım eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler kullanılarak, Bahçecik Kaynağı'na ait, kaynak boşalma katsayıları(Şekil 5.23) ve yıllık beslenme miktarı hesaplanmıştır. Bahçecik Kaynağı beslenimi, 2013-2016 yılları arası kaynak hidrograf verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 5.23). DSİ tarafından Bahçecik Kaynağı'nda Mayıs/2013-Nisan/2016 yılları arasında aylık akım ölçümleri alınmıştır (Tablo 5.1). Kaynağın hidrografi Şekil 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.23. Bahçecik Kaynağı hidrografi

Karst kaynak hidrograf verilerinden yeraltısuyu besleniminin hesaplanmasında Castany (1968) ve Mijatovic (1970) tarafından geliştirilen yöntem uygulanmıştır.

Bu yöntemde her su yılında akiferin dinamik rezervuarındaki değişim ( $\Delta V=V_t-V_o$ ),

$$V_t=V_o+R-Q \quad (5.1)$$

$$R=Q- \Delta V \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.1 ve Eşitlik 5.2'de;

$V_t$ , su yılının sonunda akiferin dinamik rezervi ( $m^3$ )

$V_o$ , su yılının başlangıcındaki akiferin dinamik rezervi ( $m^3$ )

$Q$ = su yılı boyunca toplam yeraltısuyu boşalımı ( $m^3$ )

$R$ = Yeraltısuyu beslenme miktarı ( $m^3$ )

Burada herhangi bir t zamanındaki akiferin dinamik rezervi ( $m^3$ ) Maillet eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır;

$$V=86400*Q/\alpha \quad (5.3)$$

Eşitlik 5.3’de  $\alpha$  (gün<sup>-1</sup>) kaynağın boşalım katsayısını temsil etmektedir ve kaynağın alçalım eğrisi kısmında aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır;

$$\text{Log } Q_t = \text{Log } Q_0 - 0.4343 \alpha t \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.4’de;

$t$ = alçalım süresi (gün)

$Q_t$ : alçalımın sonundaki kaynak debisi (m<sup>3</sup>/s)

$Q_0$ : alçalımın başlangıcındaki kaynak debisi (m<sup>3</sup>/s)

Yukarıdaki eşitliklerden yararlanılarak hesaplanan kaynak boşalım katsayıları Şekil 5.23’de, kaynak hidrograf analiz hesaplamaları da Tablo 5.4’de sunulmuştur. 2014-2016 arası kaynak hidrografi verilerinden hesaplanan ortalama kaynak boşalım katsayısı 0.015 gün<sup>-1</sup>, akiferde hızlı bir yeraltısuyu dolaşımı olduğunu işaret etmektedir.

Tablo 5.4. Bahçecik Kaynağı hidrograf analizi

Su Yılı	$Q_0$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_t$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_0$ (m <sup>3</sup> )	$V_t$ (m <sup>3</sup> )	$\Delta V$ (m <sup>3</sup> )	$Q_{\text{total}}$ (m <sup>3</sup> /yıl)	Beslenim (m <sup>3</sup> )
2014	0,356	0,274	1714802	1319819	394982	44086032	43691050
2015	0,274	0,532	2196271	4264292	2068021	51858144	53926165
Ortalama	0,32	0,40	1955536	2792056	836519	47972088	48808607

Tablo 5.4’de görüldüğü gibi 2014 ve 2015 yıllarında karst akifere olan ortalama yeraltısuyu beslenimleri sırasıyla 43.691.050,0 m<sup>3</sup>/yıl ve 53.926.165,0 m<sup>3</sup>/yıl olup ortalaması 48.808.607,0 m<sup>3</sup>/yıl (48,8 hm<sup>3</sup>/yıl) olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Bahçecik Kaynağı karst akiferinden ortalama olarak yıllık toplam 48 hm<sup>3</sup> yeraltısuyu boşalmaktadır.

Bahçecik Kaynağı beslenim hesaplamalarında inceleme alanı çevresinde en uzun süreli, en yakın kotlarda yer alan Ulus Meteoroloji İstasyonuna ait verilerin kullanılması uygun bulunmuştur. Bu istasyona ait gerçek buharlaşma değerinin (606,42 mm) kaynağın potansiyel beslenme alanı olarak düşünülen Uluyayla kapalı drenaj alanına düşen yağış tahmininden çıkarılması (1508,04 mm) sonucu Uluyayla kapalı drenaj sistemine düşen net yağış 902 mm olarak tahmin edilmiştir. Kapalı



ile jeolojik birimlerin geçirimsizlik karakteristikleri dikkate alındığında, Bahçecik Kaynağı'nın kuzeydoğusunda yer alan Uluyayla ve Çokman Yaylaları ile İnaltı Formasyonu kireçtaşlarının oluşturduğu kapalı drenaj alanlarının kaynağın beslenime büyük ölçüde bir katkısının olduğu ve karstik akiferin bölgede besleniminin ise ağırlıklı noktasal ve büyük ve iyi gelişmiş düden sistemleri vasıtasıyla gerçekleştiği belirlenmiştir.

#### **5.6. Bahçecik Kaynağı'nın Kavramsal Hidrojeolojik Modeli**

Bahçecik Kaynağı'nın kuzeydoğusunda yer alan İnönü, Çokman ve Kızılgöl yaylaları Bahçecik Kaynağı'nın önemli beslenme alanlarını oluşturmaktadır. Bu yaylaların yer aldığı kapalı yüzey suyu drenaj sistemini bölgede mostra veren ileri derecede karstlaşmış İnaltı Formasyonu içerisinde gelişmiş mağara ve düden yapıları drene etmektedir. Bahçecik Kaynağı Ovacuma Çayı sahilinden alüvyon biriminden boşalmakta olup, alüvyonlar altan yarı geçirimli-geçirimsiz Ulus Formasyonu ile sınırlanmaktadır. Ovacuma Çayı üzerinde yapılan akım ölçümleri, kaynak çevresindeki yeraltı suyu akım yönleri ve boya izleme deney sonuçları kaynağın alüvyonlardan ve Ovacuma çayından beslenmediğini göstermiştir. Bahçecik Kaynağı'nın potansiyel beslenme alanlarında gerçekleştirilen boya izleme deneyleri sonucunda da bu beslenme alanlarının kaynak ile hidrolik bağlantısı ortaya konulmuş, beslenme alanları ile boşalma noktası arasında İnaltı Formasyonu içerisinde gelişmiş hızlı kanal akımlarının varlığı tespit edilmiştir. Karst akiferinde yeraltı suyu akımının GB yönünde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bölgede bitki örtüsü yoğun olduğundan, Bahçecik Kaynağı'nın alüvyondan yayılı olarak çıkışını kontrol eden süreksizlik yapılarının varlığı arazide tespit edilememiştir. Ancak Bahçecik Kaynağı'nın hemen güneybatısında yer alan Düzağaç mevkinde Ulus Formasyonu'nu yatay olarak örten Traverten oluşumları izlenmektedir. Travertenleri oluşturan karbonatlı suların muhtemelen kaptajın hemen güneyinden geçen KB-GD yönelimli faylar boyunca çıktığı düşünülmektedir. Yerel halk ile yapılan görüşmelerde, Bartın-Safranbolu karayolu istikametinde, kaynağın ve Ovacuma Çayı'nın sağ sahilinde, yol üzerinde yeraltı suyu besleniminin yüksek olduğu yağışlı dönemde Ulus Formasyonu içinden yeraltı suyu boşalmalarının meydana geldiği belirtilmiştir. Kaynağın güney batısında yakın bir mesafede yer alan traverten oluşumları ve kaynağın çevresinin ve alüvyonların tabandan yarı-geçirimli-geçirimsiz Ulus Formasyonu ile sınırlanması,



## 6. HİDROJEOKİMYA

Bahçecik Kaynağının su kalitesini belirlemek, fasiyeslerini ortaya koymak ve beslenme-boşalım karakteristiği hakkında bilgi edinmek amacıyla Kurak ve yağışlı periyotları temsilen Ekim/2018 ve Mart/2019 dönemlerinde örneklenen kaynak suyu ve kaynak suyu ile hidrolik ilişkisi olabilecek diğer su noktalarına ait analiz sonuçları Tablo 6.1, 6.2 ve 6.3’de sunulmuştur.

Tablo 6.1. İnceleme alanından alınan su örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri

Nokta Adı	Koordinatlar (ED50)		Ölçüm Tarihi	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	DO (mg/l)
	Y	X					
Bahçecik kaynağı kaptajı	467751.9	4592201.7	13.10.2018	13,3	7,19	687	9,07
			24.03.2019	10,7	7,28	446	-
K-1 Kaynağı	467710.1	4592215.5	13.10.2018	18	7,74	537	-
Ovacuma Çayı	467816.3	4592293.9	13.10.2018	19,8	8,08	577	10,02
Kuyu 64566	467767.2	4592150.3	13.10.2018	15,2	7,89	382	1,06
Kuyu 64566-A	467726.1	4592167.5	13.10.2018	15	7,29	575	6,8
63402	467783.9	4592176.2	13.10.2018	13,6	7,15	680	5,8
64567	467790.1	4592169.6	13.10.2018	14,2	7,0	660	3,09
64567-A	467803.3	4592183.6	13.10.2018	15,3	7,10	602	3,06
Kayabaşı Deresi Subatan-2	473018.3	4595945.5	27.10.2018	-	8,25	390	-
İnönü Deresi (Uluyayla mağara girişi)	481565.4	4598870.3	27.10.2018	-	6,73	222	-
Karlık Deresi Subatanı	480531.0	459934.5	22.04.2019	-	7,37	119	-

Tablo 6.2. İnceleme alanından alınan kaynak, kuyu ve dere suyu örneklerinin majör iyon analiz sonuçları

Dönem	Örnek No	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Toplam Alkalinite
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L CaCO <sub>3</sub>
Ekim/2018	Bahçecik kaynağı kaptajı	102,54	15,32	6,46	0,90	4,84	14,78	0,83	<0,35	300,7	246,5
	Kuyu 64567	95,82	10,95	6,47	1,44	3,60	23,58	1,03	<0,35	316,6	259,5
	K-1 Kaynağı	80,27	14,45	9,87	2,25	3,69	30,70	0,84	<0,35	372,1	305
	Ovacuma Çayı	80,13	15,12	10,38	2,38	3,61	30,42	0,29	<0,35	294,9	241,7
	Kayabaşı deresi Subatan-2	63,70	9,87	4,03	1,02	2,05	29,04	0,78	<0,35	212,3	174
	İnonü deresi (Uluyayla mağara girişi)	36,70	3,05	3,80	3,04	4,11	12,51	1,04	<0,35	104,9	86
Mart/2019	Bahçecik kaynağı kaptaj	71,11	7,66	3,39	0,70	4,1	12,0	1,00	<0,35	255,2	209,2
Nisan/2019	Karlık Dere Subatanı	14,5	1,5	1,19	0,46	2,9	9,9	<0,1	<0,35	51,7	42,4

65

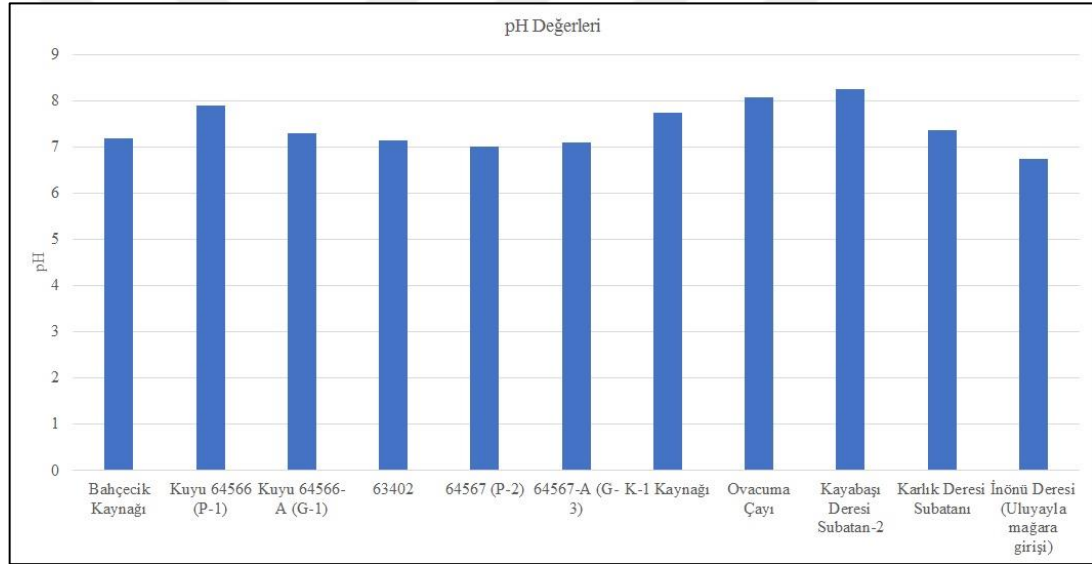
Tablo 6.3. İnceleme alanından alınan kaynak, kuyu ve dere suyu örneklerinin ağır metal analiz sonuçları

Dönem	Örnek No	Si	B	Li	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se
		mg/L			µg/L										
Ekim/2018	Bahçecik kaynağı	4,27	<0,1	8,20	0,88	0,30	0,17	7,90	0,12	<10	0,14	2,67	2,30	5,16	0,23
	Kuyu 64567	5,55	<0,1	6,67	2,05	0,50	0,24	6,85	30,3	<10	0,25	3,01	0,23	3,65	0,35
	Ky-1 Kaynağı	5,14	<0,1	11,50	2,48	0,57	0,19	6,10	0,40	<10	0,12	2,01	1,10	2,53	0,35
	Ovacuma Çayı	5,23	<0,1	11,07	1,06	0,63	0,24	5,90	1,87	<10	0,13	2,03	0,14	1,43	0,39
	Kayabaşı deresi Subatan-2	4,84	<0,1	9,81	3,61	0,54	0,21	4,65	0,11	<10	0,11	1,86	1,58	6,43	0,99
	İnonü deresi (Uluyayla mağara girişi)	3,34	<0,1	1,92	78,24	1,88	0,37	2,95	5,53	208	0,12	1,73	2,16	3,04	0,27
Mart/2019	Bahçecik kaynağı	-	<0,1	-	60,26	1,73	0,21	11,39	0,51	32,1	0,13	3,61	1,06	4,78	0,35
Nisan/2019	Karlık Dere Subatanı	-	<0,1	-	58,32	0,81	0,08	0,98	17,9	63,3	0,12	1,96	1,12	1,77	<0,01

Tablo 6.3. (Devam) İnceleme alanından alınan kaynak, kuyu ve dere suyu örneklerinin ağır metal analiz sonuçları

Dönem	Örnek No	As	Cd	Rb	Sr	Mo	Ba	Ag	Sn	Sb	Tl	U	Hg	Pb
		µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Ekim/2018	Bahçecik kaynağı	0,52	0,02	0,49	266	0,28	38,77	0,004	0,03	0,29	0,008	0,39	<0,01	0,80
	Kuyu 64567	0,37	0,02	0,45	392	0,43	59,07	0,032	<0,01	0,32	0,010	0,29	<0,01	0,04
	Ky-1 Kaynağı	0,18	0,01	0,48	665	0,18	72,04	0,006	<0,01	0,35	0,001	0,35	<0,01	0,22
	Ovacuma Çayı	0,21	0,01	0,46	664	0,18	73,44	0,004	<0,01	0,33	0,001	0,34	<0,01	0,08
	Kayabaşı deresi Subatan-2	0,25	0,04	0,25	359	0,17	29,44	0,005	<0,01	0,09	0,001	0,20	<0,01	0,70
	İnönü deresi (Uluyayla mağara girişi)	0,62	0,01	0,56	163	0,06	21,93	0,03	<0,01	1,01	0,002	0,06	<0,01	0,23
Mart/2019	Bahçecik kaynağı	0,52	0,01	0,44	177	0,22	25,58	0,006	0,25	0,05	0,006	0,25	<0,01	0,97
Nisan/2019	Karlık Dere Subatanı	0,3	0,004	0,16	64	0,02	6,65	0,002	1,46	1,10	0,001	0,02	<0,01	0,08

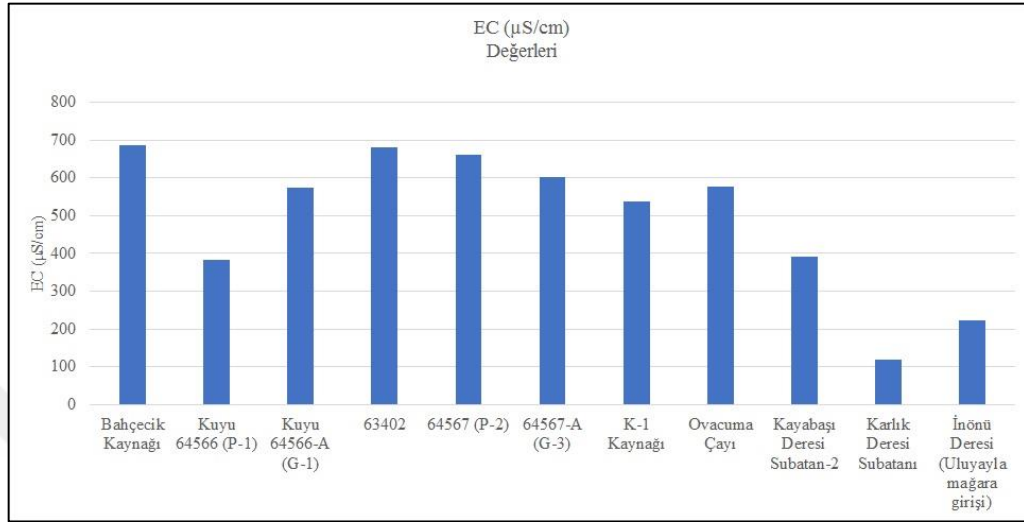
Bahçecik Kaynağı kurak ve yağışlı dönem ölçümlerinde nötre yakın bir pH değeri (7.19-7.28) sergilemiştir (Şekil 6.1, Tablo 6.1). Bahçecik Kaynağı kuzeyinde yer alan Ovacuma Çayı ve Subatan-2'nin bulunduğu Kayabaşı deresi ise bazik karakterlidir (pH: 8.08-8.25). Bahçecik Kaynağı kaptajı yakınında alüvyon içinde açılmış kuyularda (64566, 64567, 64566/A, 64567/A, 63402) yapılan ölçümlerde suların hafif alkali-nötre yakın bir pH (7.0-7.29) değeri sergilediği görülmüştür. Bahçecik Kaynağı beslenim alanında yer alan İnönü Deresi'nden (Uluyayla Mağarası girişi) ve Karlık Deresi subatanı yüzey suyunda alınan örnekler de hafif asidik-nötre yakın (pH: 6.7-7.3) bir su özelliğine sahiptir. Özetle çalışma kapsamında incelenen Bahçecik Kaynağı, Ovacuma Çayı'ndan pH değerleriyle önemli düzeyde farklılaşmaktadır.



Şekil 6.1. Su örneklerinin pH değerlerinin karşılaştırması

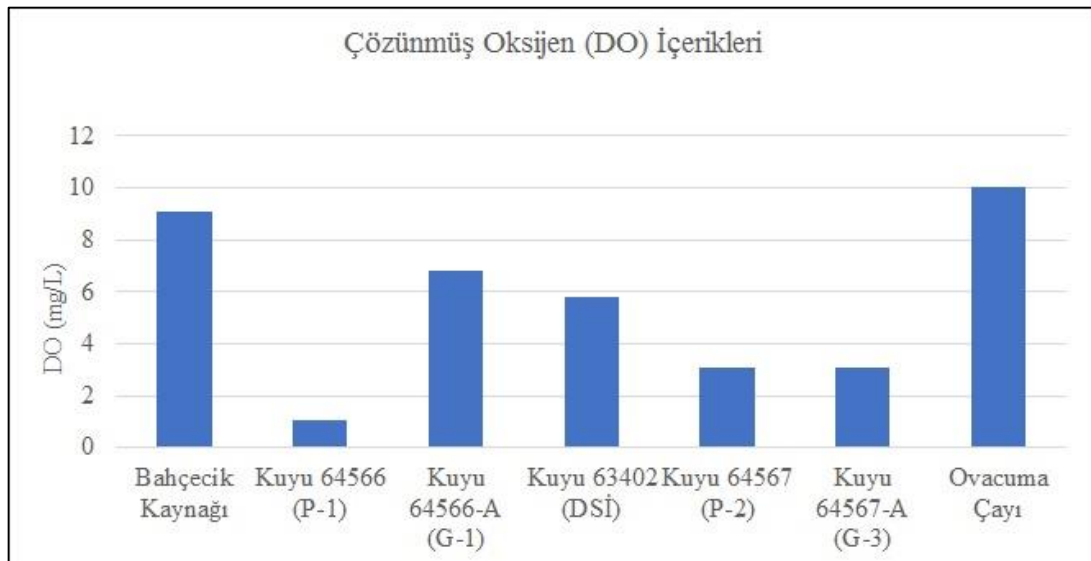
Bahçecik Kaynağı'nda, kuyularda ve Ovacuma Çayı'nda yerinde yapılan ölçümlerde su örneklerinin elektriksel iletkenlik değerleri de ölçülmüştür. Bu ölçümlerde en düşük EC değerleri Karlık deresi subatanından ve İnönü Deresi'nden (Uluyayla Mağarası girişi) alınan yüzeysuyu örneklerinde sırasıyla 119  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve 222  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak ölçülürken, Kayabaşı dere Subatan-2'de yapılan ölçümde EC değeri 390  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak ölçülmüştür. En yüksek EC değeri de Bahçecik Kaynağı'nda (687  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ölçülmüştür. Alüvyon birimde açılmış 63402, 64566, 64566/A, 64567 ve 64567/A no.lu sondaj kuyu su örneklerinde ise EC değeri 382-680  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aralığında değişmektedir. Ovacuma Çayı'nın EC değeri ise 577  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir (Şekil 6.2).

Beslenme alanlarındaki yüzey suları genellikle düşük EC değerleriyle karakterize olurken, Bahçecik Kaynağı elektriksel iletkenlik değeri Ovacuma çayına ve alüvyon akiferi yeraltısularına nispeten yakınlık göstermektedir.



Şekil 6.2.Su örneklerinin EC (µS/cm) değerlerinin karşılaştırması

Su örneklerinin çözülmüş oksijen içerikleri incelendiğinde ise kuyu su örneklerinin çözülmüş oksijen içeriklerinin 1,06 ile 6,8 mg/l (ortalama:3,96 mg/l) arasında seyrettiği görülmüştür. Bahçecik kaynağı ve Ovacuma Çayı su örnekleri ise nispeten yüksek düzeyde ve sırasıyla 9,07 mg/l ve 10,02 mg/l konsantrasyonlarında çözülmüş oksijen içermektedir (Şekil 6.3).

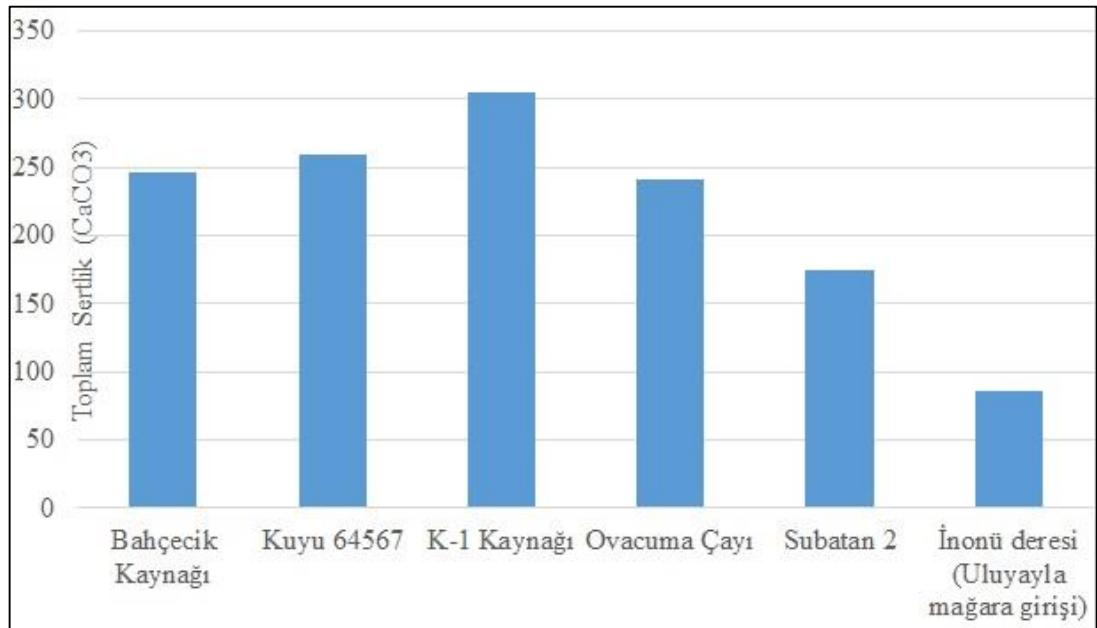


Şekil 6.3.Su örneklerinin çözülmüş oksijen (DO) içeriklerinin karşılaştırması

Suların fiziksel özelliklerinden biri de sıcaklıktır. İnceleme alanında, ekim ayında (13.10.2018) yapılan sıcaklık ölçümlerinde Bahçecik kaynağının sıcaklık değeri 13,3 °C, yüzey suların sıcaklığı ise 19,5-23,7°C aralığında seyretmiştir (Tablo 6.1). Alüvyon içerisinde açılmış sondaj kuyularında ölçülen yeraltısuyu sıcaklık değerleri ise 13,6-15,4 °C aralığında yer almaktadır. Mart/2019 tarihinde yapılan sıcaklık ölçümünde ise Bahçecik Kaynağı'nın su sıcaklığı 10,7 °C olarak ölçülmüştür.

Bahçecik Kaynağı'nda yapılan su kimyası analiz sonuçlarında suyun toplam alkalinite değeri 246,5 mg/l CaCO<sub>3</sub> olarak belirlenmiştir (Tablo 6.2). Alüvyonda açılmış 64567 numaralı su kuyusundan alınan su örneğinin toplam alkalinite değeri 259,5 mg/l CaCO<sub>3</sub> olarak ölçülmüştür. Ovacuma Çayında 241,7 mg/l CaCO<sub>3</sub> alkalinite değeri belirlenirken, K-1 Kaynağında 305 mg/l CaCO<sub>3</sub> alkalinite değeri ölçülmüştür. Karlık deresi subatanı, İnönü Deresi ve Kayabaşı deresi Subatan-2 ise sırasıyla 42,4 mg/l, 86 mg/l ve 174 mg/l CaCO<sub>3</sub> alkalinite değerine sahiptir (Şekil 6.4).

Görüldüğü üzere Bahçecik Kaynağı toplam alkalinite değeri Ovacuma çayına ve Alüvyon akiferi yerlatisularına benzerlik gösterirken, en düşük alkalinite değeri beklenildiği üzere Bahçecik kaynağının beslenme alanındaki yüzey sularında ölçülmüştür.



Şekil 6.4. İnceleme alanında alınan su örneklerinin toplam alkalinite değerleri

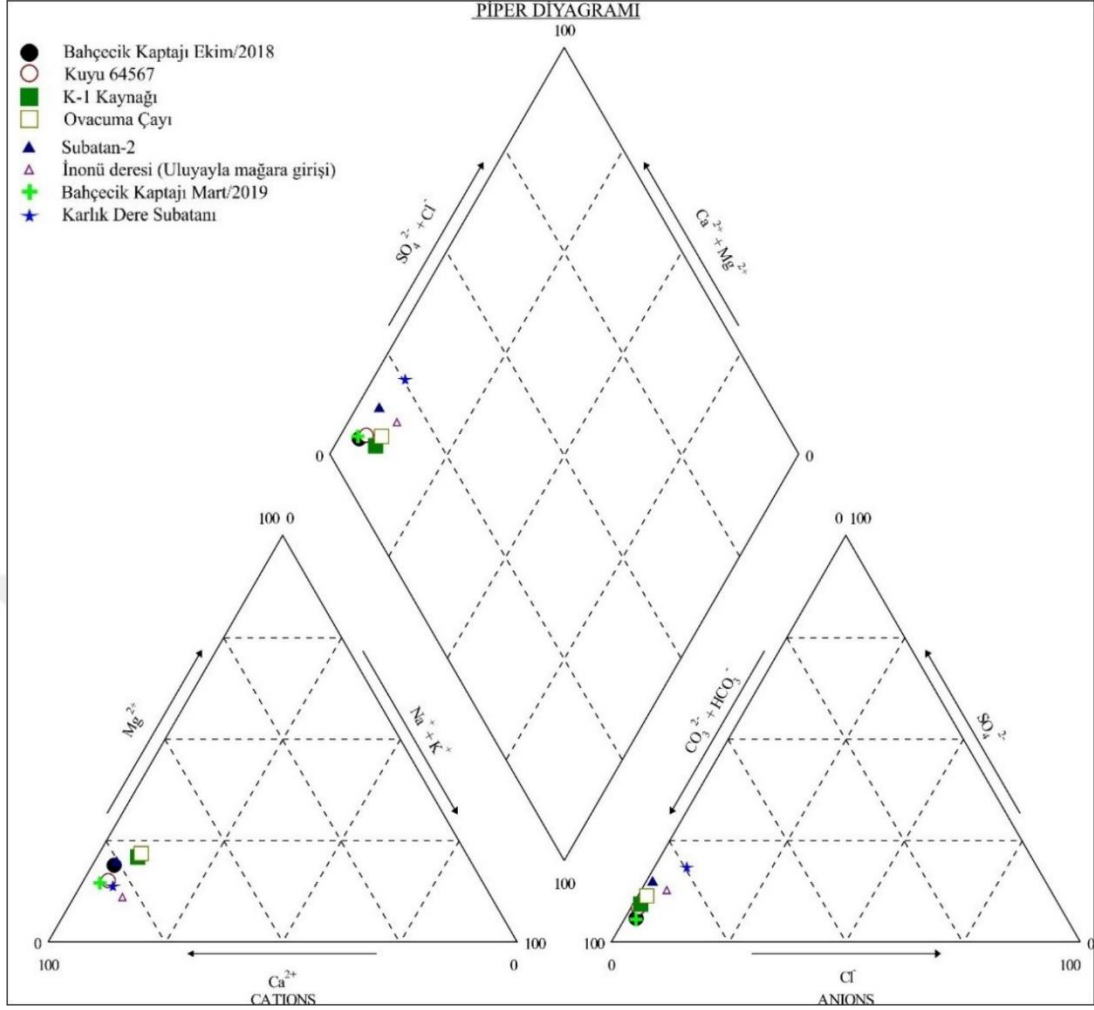
İnceleme alanındaki suların sertlik değerleri ayrıca majör iyon kimyalarından hesaplanmıştır.

Toplam sertlik değeri (mg/l CaCO<sub>3</sub>) 0-60 mg/l CaCO<sub>3</sub> arasında olan sular yumuşak sular, 60-120 mg/l arası orta sert sular, 120-180 mg/l sert sular, >180 mg/l üzeri sular ise çok sert sular olarak sınıflanmaktadır. Buna göre inceleme alanındaki Bahçecik Kaynağı (209-318 mg/l CaCO<sub>3</sub>), yüzey suları (200-262 mg/l CaCO<sub>3</sub>) ve alüvyon akiferi yeraltısuları (284 mg/l CaCO<sub>3</sub>) çok sert sınıfı sergilemektedir. Kaynağın beslenme alanındaki yüzey suları (Karlık deresi: 42 mg/l CaCO<sub>3</sub>, İnönü deresi: 104 mg/l CaCO<sub>3</sub>) ise yumuşak–orta sertlikte bir su kimyasına sahiptir.

Bahçecik Kaynağı'nın sertlik değeri beslenim yüksek olduğu dönemde kurak döneme göre %50 oranda bir düşüş sergilese de su sertliği sınıfı değişmemiştir.

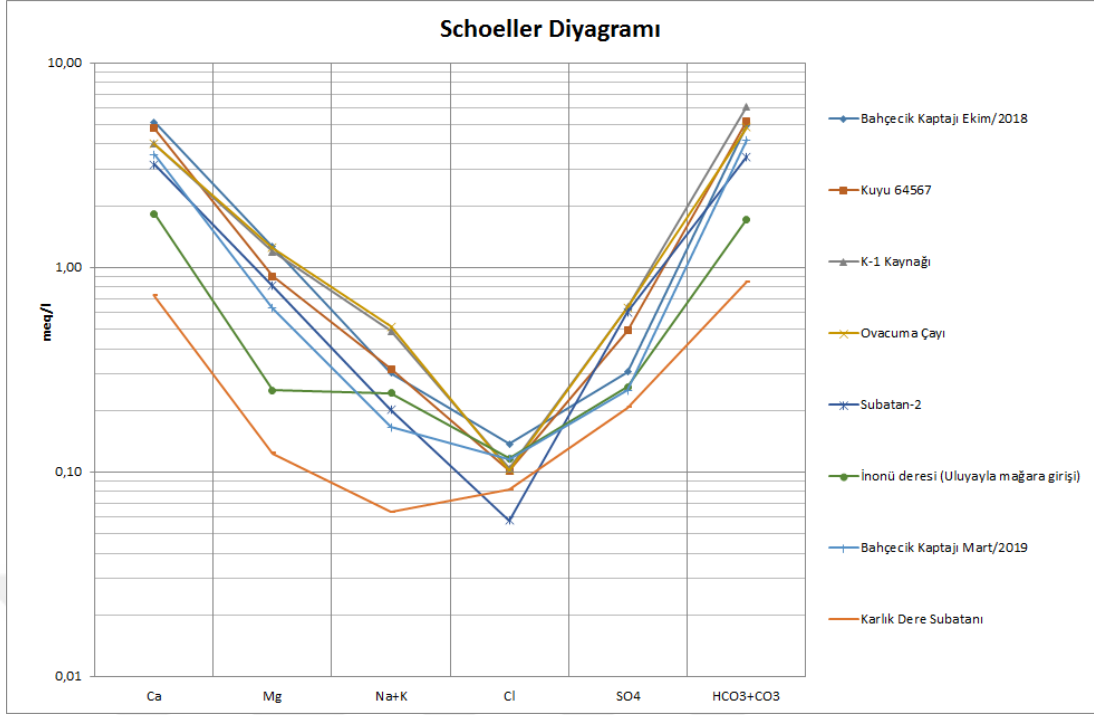
Bahçecik Kaynağı'nın su sertliğindeki mevsimsel değişim, karstik kiretaşı akifer sistemi içindeki yeraltısuyu dolaşım hızı ve kaya-su etkileşim süresi ile ilişklidir.

İnceleme alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramında suların tamamının, Ca-HCO<sub>3</sub> tipi bir su fasiyesi sergilediği görülmektedir (şekil 6.5).



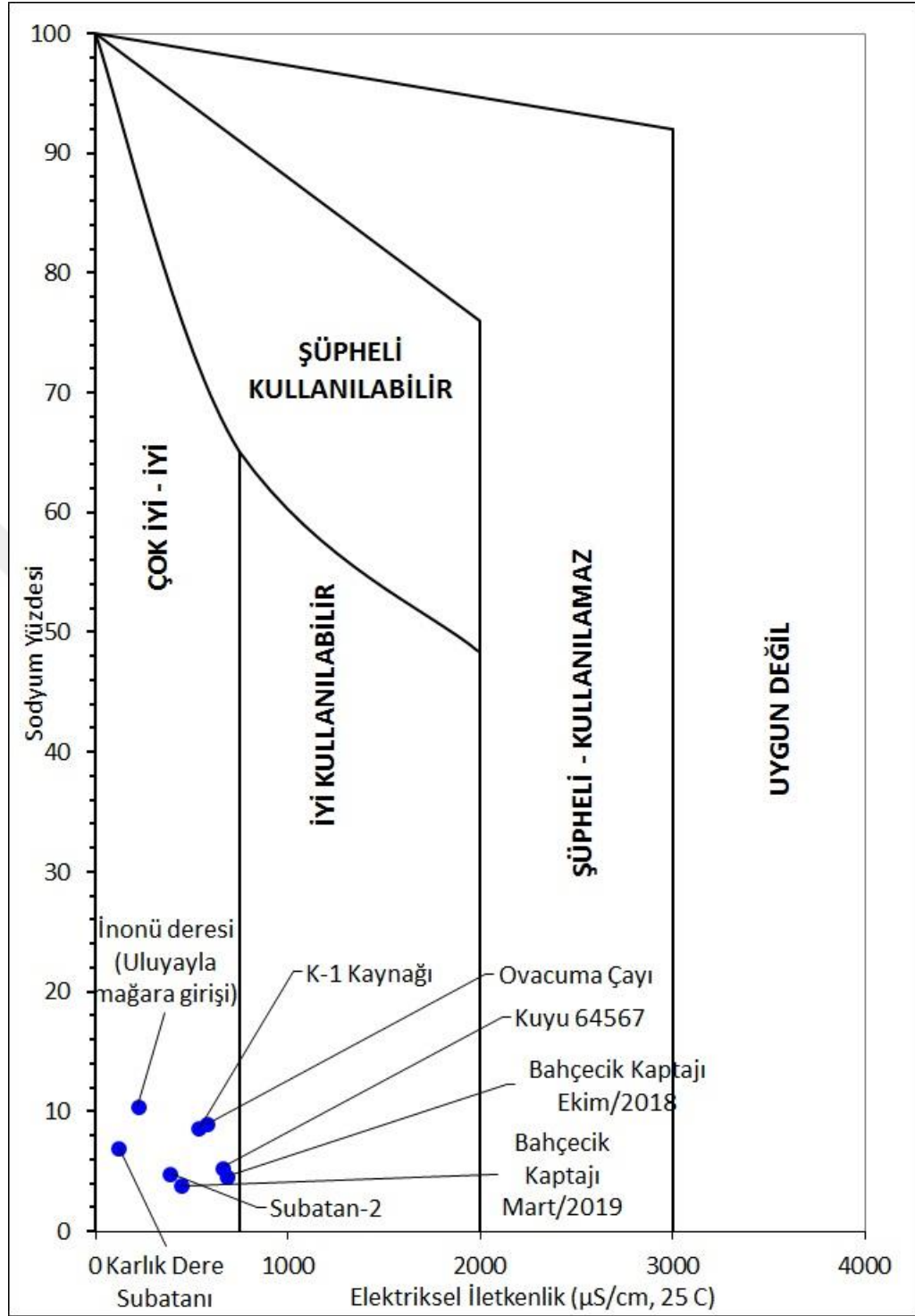
Şekil 6.5. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramı

İnceleme alanındaki suların majör iyon kimyalarındaki benzerlik, Schoeller diyagramında da açıkça görülmektedir. Şekil 6.6'da görüldüğü üzere 8 örneğin tamamında da sular Ca-HCO<sub>3</sub> fasiyesinde olmasına rağmen, Bahçecik Kaynağı daha yüksek Ca derişimine sahiptir. Bu da Bahçecik Kaynağı'nın kireçtaşı akiferinden boşalım yapan bir kaynak olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 6.6). Beslenme bölgelerinde alınan Karlık deresi, İnönü deresi ve Kayabaşı deresi yüzey suları ise diğer su örnekleri ile benzer bir majör iyon dağılımı sergilemelerine karşın nispeten daha düşük konsantrasyonlardaki iyon içerikleriyle Bahçecik Kaynağı'ndan ayrılmaktadır (Şekil, 6.6).



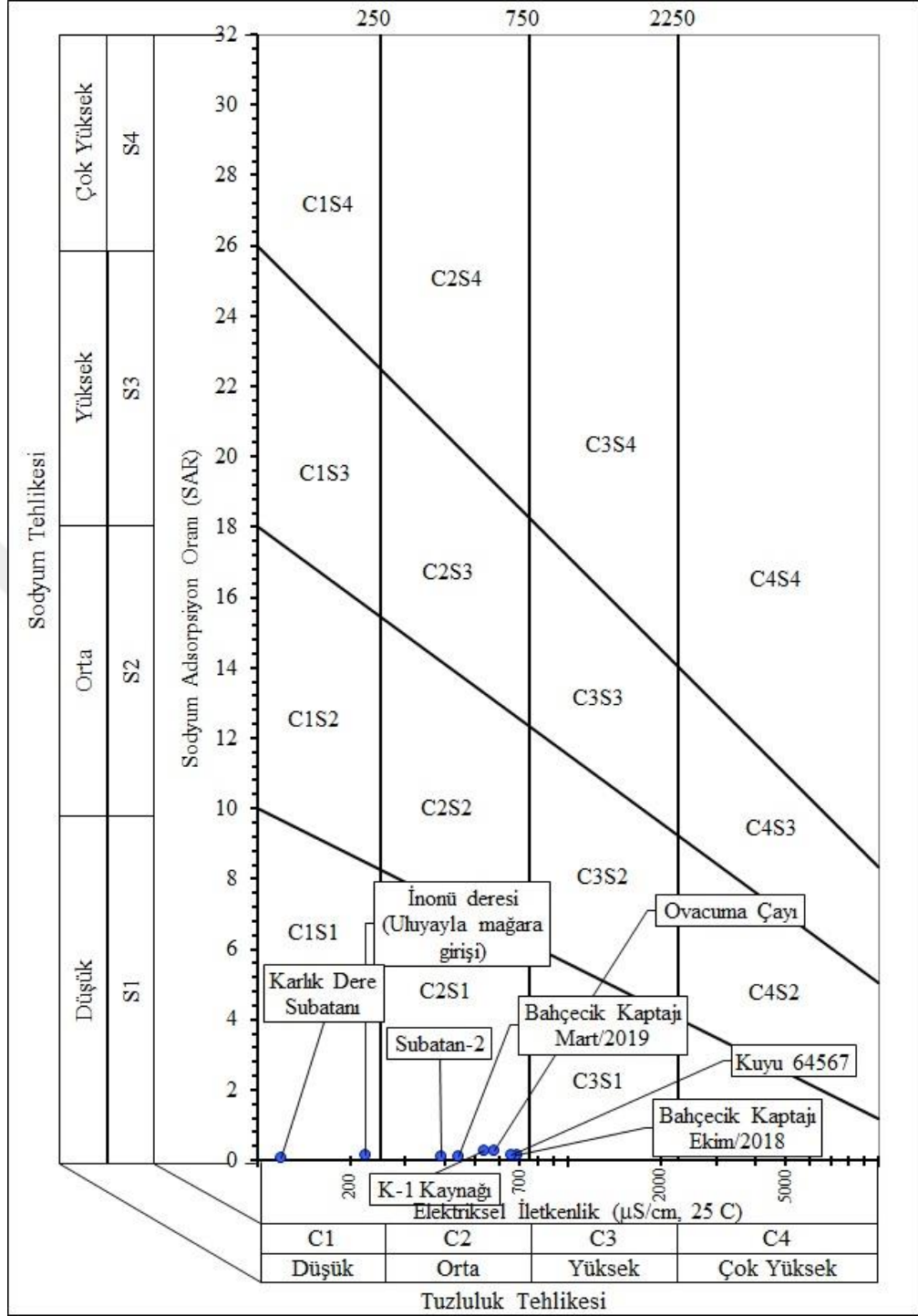
Şekil 6.6. İnceleme alanındaki su örneklerinin Schoeller diyagramı

Yeraltısuyu ve yüzey suyunun sulama suyu kalitesini belirlemek için Wilcox diyagramından da yararlanılmıştır. Bu diyagrama, kimyasal analizlerden elde edilen EC ve sodyum yüzdesi değerleri işlenerek sulama suyu su sınıfı belirlenmiştir (Şekil 6.7). İnceleme alanından alınan tüm su numunelerinin “Çok İyi-İyi” su sınıfında yer aldığı görülmektedir.



Şekil 6.7. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Wilcox diyagramı

Yeraltısuyu ve yüzey suyunun sulama suyu kalitesini belirlemek için kullanılan bir diğer diyagram da “ABD Tuzluluk (SAR) Diyagramı”dır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8. İnceleme alanından alınan su örneklerinin SAR diyagramı

Şekil 6.8’de de görüldüğü gibi Bahçecik Kaynağı, alüvyon akiferi, Kayabaşı deresi Subatan-2, K-1 Kaynağı ve Ovacuma Çayı örneklerinden alınan numunelerin “C2S1 (orta tuzlu-düşük sodyumlu)” su sınıfında olduğu belirlenirken, İnönü Deresi (Uluyayla Mağara girişi) ve Karlık Deresi subatanından alınan su örneklerinin C1S1 (düşük tuzlu-düşük sodyumlu)” su sınıfında olduğu belirlenmiştir.

Her iki su sınıfı da sulama için uygundur.

Su örneklerin hidrojeokimyasal açıdan farklılıklarını/benzerliklerini ortaya koymak için majör iyon ve iz element kimyaları ayrıca karşılaştırılmıştır (Tablo 6.2, Şekil 6.9).

Tablo 6.2 ve Şekil 6.9’da görüldüğü üzere Ovacuma Çayı ve K-1 Kaynağı kimyasal açıdan birbirine oldukça benzerlik göstermektedir. Su örneklerin sadece Cu ve Mn değerlerinde mikrogram düzeyinde küçük farklılık gözlenmiştir. İzlenen diğer tüm parametreler birbirine oldukça benzerdir. Bu durum K-1 Kaynağı’nın Ovacuma Çayı’ndan beslendiğini işaret etmektedir.

Bahçecik Kaynağı’nın su kimyası hem alüvyon akiferi suları ile hemde Ovacuma Çayı ve karstik beslenme alanlarından batan yüzey suların kimyasal içeriği ile ayrıca karşılaştırılmıştır.

Alüvyon akiferi ve Ovacuma Çayı su örnekleri majör iyon kimyalarında az düzeyde farklılıklar gösterse de, iz element kimyaları açısından genel olarak benzer bir dağılım paterni sergilemektedir. Bu durum alüvyon akiferi yeraltısularının esas olarak Ovacuma Çayı’ndan beslendiğini göstermektedir. Bahçecik Kaynağı ise bu sulardan özellikle Ca, Pb ve Cu zenginleşmesi ve Mn fakirleşmesiyle ayrılmaktadır (Tablo 6.2 ve Şekil 6.9).

Bahçecik Kaynağı su kimyası Karakışla köyünde, Kayabaşı Deresi yatağından batan yüzey suyu kimyası (Subatan 2) ve İnönü yaylasında, Uluyayla Mağarası’na giren İnönü Deresi su kimyası ile ayrıca korele edilmiştir. Örnekler kurak dönemin sonunda 27.10.2018 tarihinde alınmıştır. Şekil 6.9’da görüldüğü üzere Bahçecik Kaynağı iz element kimyası, Subatan-2’den batan su kimyasına ve dağılım paternine benzerlik göstermektedir. Su örneklerinin iz element konsantrasyonlarında gözlenen küçük düzeylerdeki farklılıklar kaya-su etkileşim süresinden kaynaklanmaktadır. Bahçecik Kaynağı’nın majör element içeriklerinde subatan su kimyasına göre özellikle Ca ve Mg elementleri açısından gözlenen zenginleşmenin karbonatlı kayalar içerisinde meydana gelen dolaşımın ve su-kaya etkileşiminin bir sonucu olduğunu göstermektedir.

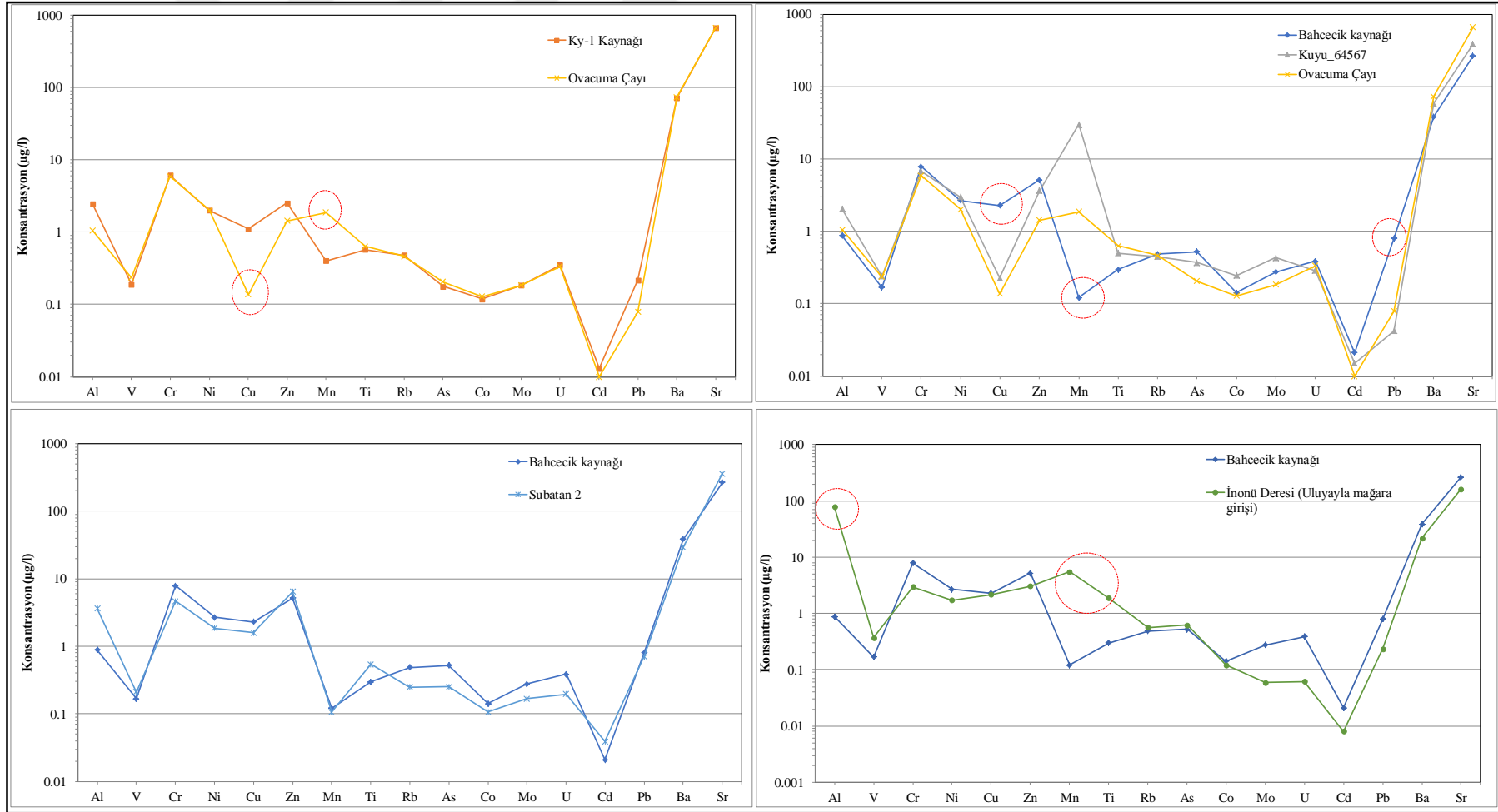
İnönü Yaylasında Uluyayla mağarasına giren ve Uluyayla Düdeni'nden batan İnönü Deresi de Bahçecik kaptajına göre özellikle Al, Mn ve Ti açısından zenginleşme göstermektedir. İnönü Deresi'nin yağış drenaj alanının önemli bir bölümünü Ulus Formasyonu oluşturmakta ve dere suyunda görülen Al, Mn ve Ti zenginleşmesinin ana kaynağını oluşturmaktadır (Şekil 6.9). Bahçecik Kaynağı, İnönü Deresi majör iyon kimyası ile karşılaştırıldığında da özellikle Ca ve Mg elementleri açısından ciddi bir zenginleşme sergilemektedir (Tablo 6.2).

Yağışlı dönemi temsilen Bahçecik kaynağından ve beslenme alanında yer alan boya deneyinin de gerçekleştirildiği Çokman Yaylası Karlık Deresi subatanından alınan su örneklerinin iz element kimyaları ayrıca karşılaştırılmıştır (Şekil 6.10).

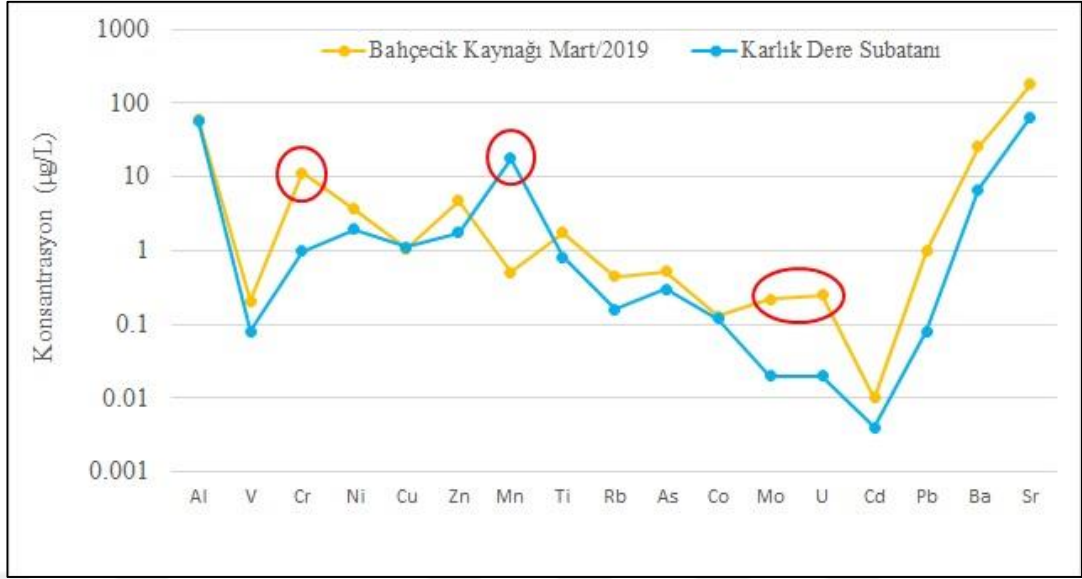
Uluyayla Mağara girişinden alınan su örnekleri ile Bahçecik kaynağı karşılaştırılmasında da görüldüğü gibi batan Karlık Deresi'de Bahçecik kaynağına göre özellikle Mn açısından zenginleşme göstermektedir. İnönü Deresi'nin yağış drenaj alanının önemli bir bölümünü Ulus Formasyonu oluşturmakta ve dere suyunda görülen Mn zenginleşmesinin ana kaynağını oluşturmaktadır (Şekil 6.10). Bahçecik Kaynağı'nın, Karlık Deresi major iyon kimyası ile karşılaştırıldığında da özellikle Ca ve Mg elementleri açısından ciddi bir zenginleşme sergilemektedir (Tablo 6.2).

Tüm bu sonuçlar Bahçecik Kaynağı yeraltısularının kireçtaşı akiferi içerisinde esas olarak dolaşım sergilediğini ortaya koymaktadır.

Bahçecik Kaynağı ve alüvyon akiferi yeraltısuyu kalitesi çalışmaları ayrıca değerlendirilmiştir. Bahçecik Kaynağı ve alüvyon akiferi temsil eden kuyu suyu (64567 no.lu) analiz sonuçlarına ilişkin çalışma kapsamında analiz edilen tüm parametreler, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te (Sağlık Bakanlığı, 2005) yer alan sınır değerlerini karşılamakta ve su kalitesi açısından herhangi bir kirlilik belirtisi göstermemiştir (Tablo 6.3).



Şekil 6.9.Farklı su örneklerinin çözünmüş fazdaki iz element içeriklerinin karşılaştırılması



Şekil 6.10. Bahçecik Kaynağı ve Karlık Deresi subatanına ait yüzey su örneklerinin çözülmüş fazdaki iz element içeriklerinin karşılaştırılması

### 6.1. Su Örneklerin İzotop Jeokimyası

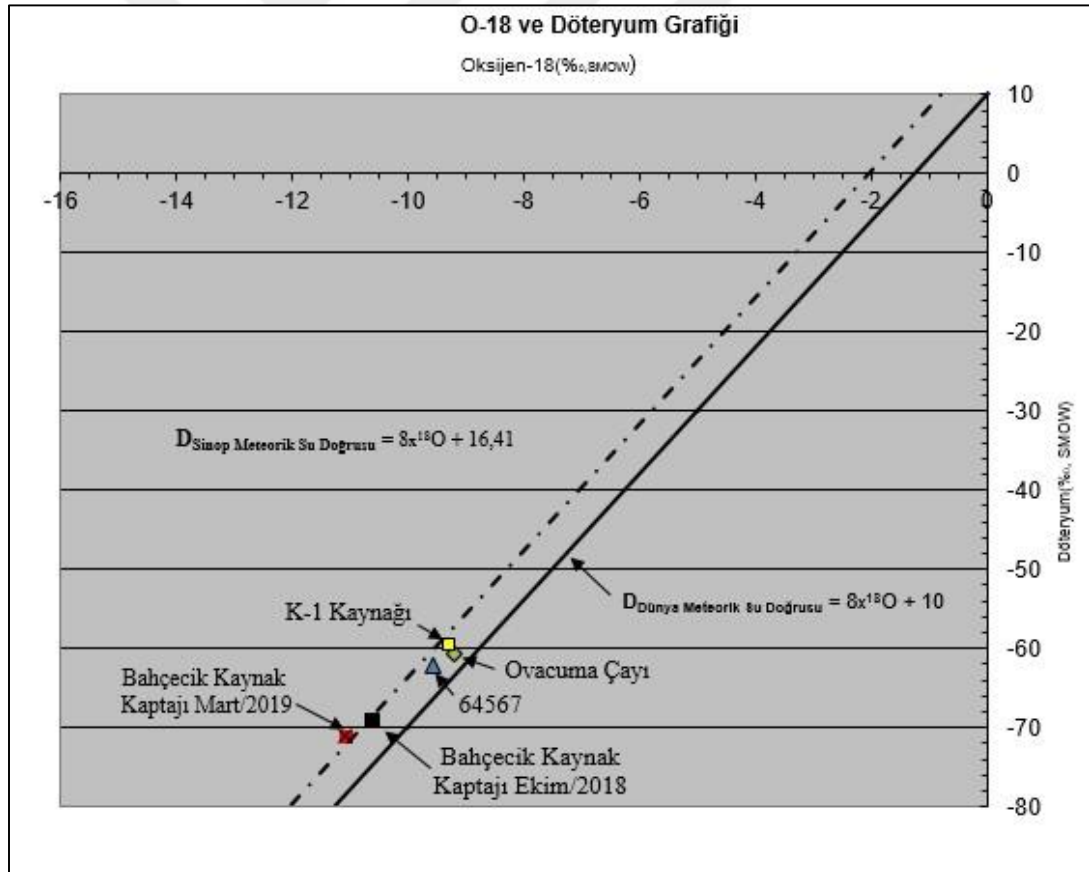
Bahçecik Kaynağı'nın kökeni, beslenme ve dolaşım mekanizmalarının ortaya konması amacıyla, Bahçecik Kaynağından 2 dönem (yağışlı-kurak), Bahçecik Kaynağı yakınında yer alan alüvyonda açılmış bir adet sondaj kuyusunda (64567) ve 100 metre kuzeyinden akan Ovacuma Çayı ile Ovacuma Çayı sağ sahilinde boşalım yapan K-1 Kaynağı'nda 1 dönem (kurak) olmak üzere toplam 4 noktada çevresel izotop ( $^{18}\text{O}/^{2}\text{D}/^3\text{H}$ ) örnekleme yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Bahçecik Kaynağı, kuy ve Ovacuma Çayı suyu örnek  $^{18}\text{O}/^{2}\text{D}/^3\text{H}$  analiz sonuçları

Örnek Adı	Tritiyum (TU)	Belirsizlik ( $\pm$ )	Oksijen-18 (%)	Belirsizlik ( $\pm$ )	Döteryum (%)	Belirsizlik ( $\pm$ )
64567 nolu kuyu	4,78	0,68	-9,57	0,16	-62,14	0,96
Ovacuma Çayı	5,75	0,70	-9,21	0,16	-60,74	0,96
K-1 Kaynağı	5,73	0,68	-9,27	0,08	-59,78	1,01
Bahçecik Kaynağı (Ekim/2018)	3,71	0,66	-10,59	0,18	-69,26	0,97
Bahçecik Kaynağı (Mart/2019)	5,32	0,76	-11,08	0,16	-71,17	1,05

İnceleme alanında Bahçecik Kaynağı'ndan, alüvyon içinden boşalan K-1 Kaynağı'ndan, 64567 no.lu kuyudan ve Ovacuma Çayı'ndan alınan su örnekleri  $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  grafiğinde Sinop için belirlenen meteorik su doğrusu ( $\delta^2\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 16,41$ ) üzerinde (Dilaver ve diğ., 2018) birbirine yakın konumda bulunmaktadır (Şekil 6.11).

Yeraltılarının aynı meteorik su doğrusu üzerinde ve birbirine yakın konumda bulunmaları, inceleme alanındaki yeraltılarının aynı tür yağışlardan beslenen ve benzer kökenli meteorik sular olduğunu ve yağışların buharlaşmaya fazla maruz kalmadan yeraltına süzülüklerini göstermektedir. Bahçecik Kaynağı suları; alüvyon akiferi yeraltılarına ve Ovacuma Çayı suyuna göre nispeten daha düşük Oksijen-18 ve Döteryum içeriğiyle bu sulardan farklılaşmaktadır. Bu durum kaynağın beslenme alanının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.11. İnceleme alanından alınan su örneklerinin  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  ilişkisi.

Yeraltılarının trityum içeriğinin bilinmesi, yeraltıların ortalama yaşının/yeraltısu geçiş sürelerinin belirlenmesini ve/veya farklı suların karışımına

ilişkin öngörülerde bulunulmasını mümkün kılmaktadır. Trityum, hidrojenin yarılanma ömrü kısa (12.43 yıl) olan radyoaktif bir izotopu olup, hem doğal olarak stratosferde azot atomlarının kozmik radyasyonla etkileşiminden hem de yapay olarak, termonükleer denemeler sonucunda oluşmakta ve hidrolojik sisteme yağış ile girmektedir (Clark and Fritz, 1997).

İnceleme alanından alınan su örnekleri üzerinde yapılan izotop analizleri sonuçlarına göre, Bahçecik Kaynağı'nın trityum değeri kurak Ekim/2018 tarihinde 3,71 TU olarak belirlenirken, yağışlardan daha hızlı etkilendiği Mart/2019 tarihinde 5,32 TU olarak belirlenmiştir. Alüvyon birimi içerisinde açılmış sondaj kuyusundan alınan su örneğinde ise trityum değeri 4,78 TU olarak belirlenmiştir. Ovacuma Çayı'ndan alınan su örneğinde ise trityum değeri 5,75 TU olarak belirlenmiştir. Ovacuma Çayı sağ sahilinde, çayın menderes yaptığı yerde ki K-1 Kaynağı'ndan alınan suyun trityum değeri de 5,73 TU olarak belirlendiğinden, Ovacuma Çayı'nın bu kaynağa pozitif sınır şartı oluşturduğu düşünülmektedir (Şekil 6.12). K-1 Kaynağı'nın ana ve iz element kimyasının Ovacuma Çayı'na benzerliği de bu sonucu ayrıca desteklemektedir.



Şekil 6.12. K-1 Kaynak yeri ve Ovacuma Çayı'nın menderesli görünümü

Trityum analiz sonuçlarında sular 3 grupta toplanmaktadır. Trityum değeri 5 ve üzeri olan sular, güncel yağışlardan beslenen 5-10 yıllık “modern (genç) sulardır. Trityum değeri 0-2 TU arasında olan sular ise nükleer denemeler öncesi (1952 öncesi)

yağışlardan beslenen sular olup, 60 yıldan daha yaşlı sulardır. Trityum değeri 2 – 5 TU arasında yer alan sular ise nükleer denemeler öncesindeki (1952) yağış suları ile nükleer denemeler sonrası güncel yağış sularından etkilenmiş/karışmış “sub-modern” sular olarak değerlendirilmektedir. Yaşlı sular beslenmenin zayıf, genç sular ise güçlü olduğunun göstergesidir (Aksoy ve Filiz, 2001).

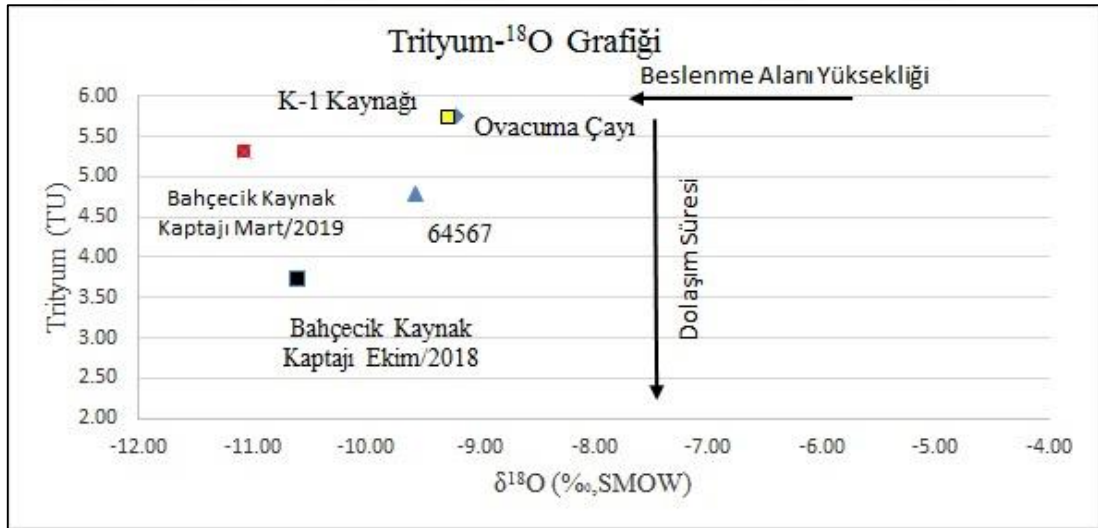
Bu sonuçlara göre Ovacuma Çayı ve Ovacuma Çayı'nın sağ sahilinde, menderes yaptığı yerdeki K-1 Kaynağı güncel yağışlardan beslenen modern (genç) sular olarak değerlendirilmektedir. Sondaj kuyusundan elde edilen, 4,78 TU trityum değeri, sub-modern su sınıfına girmektedir. Bahçecik Kaynağı'na yakın bir noktada yer alan kuyudan alınan su örneğinin kurak dönemdeki trityum içeriğinin Ovacuma Çayı ve Bahçecik Kaynağı arasında yer alması, alüvyon yeraltısularının bu iki suyun belli oranda karışımını yansıttığını işaret etmektedir. Bahçecik Kaynağı'nın trityum değeri kurak Ekim/2018 tarihinde 3,71 TU olarak belirlenirken, yağışlardan daha hızlı etkilendiği Mart/2019 tarihinde 5,32 TU olarak belirlenmiştir. Bu trityum değeri Bahçecik Kaynağı'nın, kurak dönemde inceleme alanında ki en yaşlı su olduğunu göstermekle birlikte yağışlı dönemde güncel yağışlardan önemli ölçüde beslendiğini ayrıca göstermektedir. Yapılan bütün değerlendirilmelerde trityum hesaplamalarında belirlenen analitik hata payları da dikkate alınmıştır.

İnceleme alanında yeraltısularının beslenme kotları ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi gösteren  $^{18}\text{O}$ -Trityum ve Döteryum-Trityum grafikleri Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'da verilmiştir. Grafikte, düşey eksen boyunca orijine doğru yaklaşıldıkça, suların akifer içinde kalış süresi artarken, yatay eksen boyunca negatif değere doğru yaklaşıldıkça suların beslenme alanı kotu yükselmektedir.

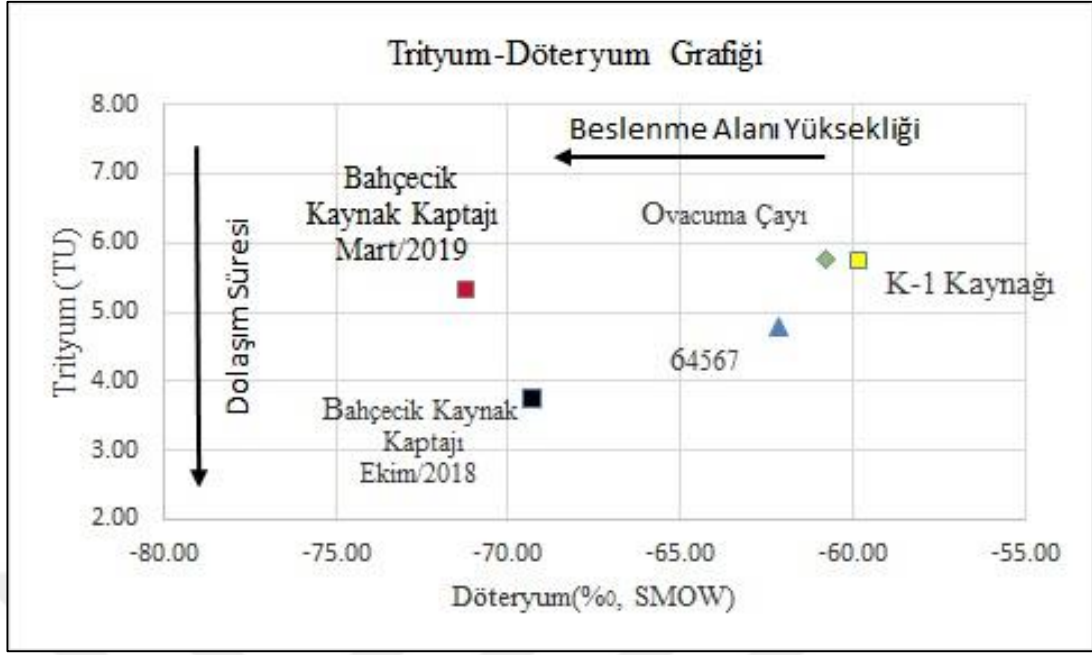
Yağışı meydana getiren atmosferik su buharının  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  içeriği coğrafi konum, enlem vb. etkiler altında yükselti ile ters orantılı olarak değişmektedir. Genel olarak her 100 m'lik yükseklik artışına karşılık  $^{18}\text{O}$  içeriğindeki azalma ‰ 0.15 ile ‰ 0.50 arasında değişirken,  $^2\text{H}$  için bu değer ‰ 1.0 ile ‰ 4.0 arasında değişmektedir (Clark ve Fritz, 1997; Karakuş vd., 2005). Kot yükseldikçe sıcaklığın ve buna bağlı olarak buharlaşmanın azalması, suların  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinde negatifleşme oranını arttırmaktadır.

Ovacuma Çayı ve Ovacuma Çayı'nın sağ sahilinde, çayın menderes yaptığı yerde boşalım gösteren K-1 Kaynağı nispeten yüksek bir döteryum (-59,78 ve -60,74 ‰) ve Oksijen-18 (-9,21 ve -9,27 ‰) içeriğine sahiptir. Bahçeçik Kaynağı kaptajından alınan 2 dönem (kurak-yağışlı) su örneğinde ise inceleme alanında alınan diğer örneklere göre daha düşük döteryum (-69,26-71,17 ‰) ve Oksijen-18 (-10,59-11,08 ‰) değeri göstermektedir. Alüvyon'dan alınan yeraltısuyu örneğinin (64567 numaralı kuyu) döteryum değeri -62,14 ‰ olarak ara değerlerde belirlenmiştir. Aynı durum Oksijen-18 değerinde de gözlemlenmekte olup, Oksijen-18 değeri -9,57 ‰ olarak belirlenmiştir (Şekil 6.13, Şekil 6.14).

Bu sonuçlar Bahçeçik Kaynağı'nın alüvyon akiferi yeraltısularına göre daha yüksek kotlardan beslendiğini, farklı bir beslenme alanı olduğunu, K-1 Kaynağı'nın besleniminin Ovacuma Çayı'ndan gerçekleştiğini, alüvyon yeraltısuyunun ise Ovacuma Çayı ile kaynak boşalımının bir karışımını yansıttığını göstermektedir. Kaptaj çevresinde yapılan YAS seviye haritalarında görüleceği üzere, kaynak kaptajından kuyulara doğru bir yeraltısuyu akışın olması, kuyu sularında oluşan bu izotop kimyasını destekler niteliktedir.



Şekil 6.13. Proje alanından alınan su örneklerin Tritium-  $\delta^{18}\text{O}$  grafiği.



Şekil 6.14. Proje alanından alınan su örneklerin Trityum- $\delta^2\text{H}$  grafiği.

## **7. BAHÇECİK KAYNAĞI KORUMA ALANLARININ BELİRLENMESİ**

Bahçecik Kaynağı'nın en önemli beslenme bölgesi olarak, Uluyayla ve Çokman Yaylaları ile İnaltı Formasyonuna ait kireçtaşı birimlerinin kapalı drenaj alanları belirlemiştir. Bu alanlar haricinde Bahçecik Kaynağı'nın kuzeyinde yer alan Karakışla Köyü civarında ki Kayabaşı Deresi Subatan-2'de beslenme bölgesini oluşturmaktadır. Bu bölgelerdeki kapalı drenaj sistemlerini drene eden iyi gelişmiş düden sistemleri kaynağın kirlenmeye karşı en hassas alanlarını oluşturmaktadır. Bundan dolayı, Bahçecik Kaynağı'nın su kalitesinin korunması için bu sistemlerin koruma olarak ilan edilmesi önem arz etmektedir (Şekil 7-1).

### **7.1.Kaynak Suların Koruma Alanlarının İlgili Mevzuat İçerikleri**

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 10 Ekim 2012 tarih ve 28437 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "İçme Suyu Temin Edilen Akifer Ve Kaynakların Koruma Alanlarının Belirlenmesi Hakkında Tebliğ" yayımlanmıştır. Bu tebliğin ilgili maddesi aşağıda verilmiştir.

#### **MADDE 4.**

1-İçme suyu olarak yeraltısuyu temin edilen kuyu, kaynak, kaptaj, tünel, galeri ve benzeri yapılar, 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ve Yeraltısularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik hükümleri gereğince korunur.

2-Kuyu, kaynak, kaptaj, tünel, galeri ve benzeri su noktası ve su yapısı için koruma alanları DSİ tarafından belirlenir, koruma şartları ve sınırları ile birlikte Resmî Gazete'de ilan edilir. Belirlenen koruma alanlarının envanteri tutulur.

3-Yıllık ortalama debisi 50 l/s ve üzerinde olan kaynaklar için mutlak, birinci ve ikinci derece koruma alanları ilan edilir.

5-Yıllık ortalama debisi 50 l/s nin altında olan kaynaklar için mutlak koruma alanı ilan edilir. Mutlak koruma alanı dışındaki faaliyetler için ilave tedbirler gerekli görülürse DSİ tarafından belirlenir.

6-İçme suyu temin edilen, akarsu yataklarının bulunduğu vadilerdeki akiferlerde, açılan kuyular için mutlak koruma alanı ilan edilir. Mutlak koruma alanı dışındaki faaliyetler için ilave tedbirler gerekli görülürse DSİ tarafından belirlenir, denilmektedir.

İnceleme alanında yer alan karstik Bahçecik Kaynağı ile Bahçecik Kaynağı'nın noktasal besleyicilerini oluşturan, Subatan-2, Uluyayla Mağarası, Uluyayla Düdeni, Karlık Düdeni gibi karst yapılarında;

İlgili Yönetmeliğin "Karstik, çatlaklı ve kırıklı akiferler ile kaynakların bulunduğu sahalarda koruma alanlarının belirlenmesi" başlığı altında yer alan aşağıda ayrıntılı olarak verilen MADDE 10'nun uygulanması uygun bulunmuştur.

MADDE 10 – 1 Karstik, çatlaklı ve kırıklı akiferlerde yeraltı suyu dolaşımı, genellikle geçirimsizlik konusunda büyük değişimler gösterir. Bu tür arazilerde yeraltı suyu akımı yüksek hızla karakterize edilir. Bu tür akiferlerde kirlenme potansiyeli genellikle yüksektir. Tüm karstik ve çatlaklı kırıklı akiferde, yeraltı suları hidrojeolojik olarak yüzey ile temas halinde olduğundan, bu temasın fiziksel özellikleri kirlenme potansiyelinin derecesini de ortaya koyar. Karstik sistemdeki kirlenme potansiyeli değerlendirilirken aşağıdaki faktörler göz önüne alınmalıdır.

- a) Karstik akifer üzerindeki örtü tabakasının kalınlığı,
- b) Karstik akifere süzülme tipi (alansal ya da noktasal veya ikisi birden),
- c) Karstik akiferdeki yeraltı suyu dolaşımı (yersel ya da yaygın dolaşım).

2- Mutlak koruma alanı: Karst kaynakları için kaynak çıkış yeri veya su sondaj kuyularından çekim yapılan sahanın yeraltı suyu akış yönünde kaynağı besleyen karst akiferinin özelliğine göre 50 ile 100 metre arasında belirlenir.

3-Birinci derece koruma alanı: Karstik akiferdeki yeraltı suyunun boşalım noktasına en az 10 günde ulaşan bölgeyi kapsar. Bu alanda bulunan ve noktasal olarak yüzey

veya yağış suyunu yeraltısuyuna direkt ileten düdenler (suyutan) için mutlak koruma alanı tedbirleri uygulanır.

4-İkinci derece koruma alanı: Bu alan 1 inci derece koruma alanı ile beslenim alanının topoğrafik yüzey suyu bölüm hattı veya yeraltı suyu akım yönünün değiştiği tali yüzey suyu bölüm hattı arasında kalan bölgedir. Bu alanda bulunan ve noktasal olarak yüzey veya yağış suyunu yeraltı suyuna direkt ileten düdenler (suyutan) için mutlak koruma alanı tedbirleri uygulanır.

"İçme Suyu Temin Edilen Akifer ve Kaynakların Koruma Alanlarının Belirlenmesi Hakkında Tebliğ" in Karstik, çatlaklı ve kırıklı akiferler ile kaynakların bulunduğu sahalarda koruma alanlarının belirlenmesi başlığı altında 10/2 Maddesine göre bu kuyunun "Mutlak koruma alanı: Karst kaynakları için kaynak çıkış yeri veya su sondaj kuyularından çekim yapılan sahanın yeraltısuyu akış yönünde kaynağı besleyen karst/çatlaklı kaya akiferinin özelliğine göre 50 ile 100 metre arasında belirlenir" denilmektedir.

İnceleme alanında yer alan karstik Bahçecik Kaynağı ile Bahçecik Kaynağı'nın noktasal besleyicilerini oluşturan, Subatan-2, Uluyayla Mağarası, Uluyayla Düdeni, Karlık Düdeni gibi karst yapılarında Mutlak Koruma Alanı: 100 m olarak belirlenmiştir.

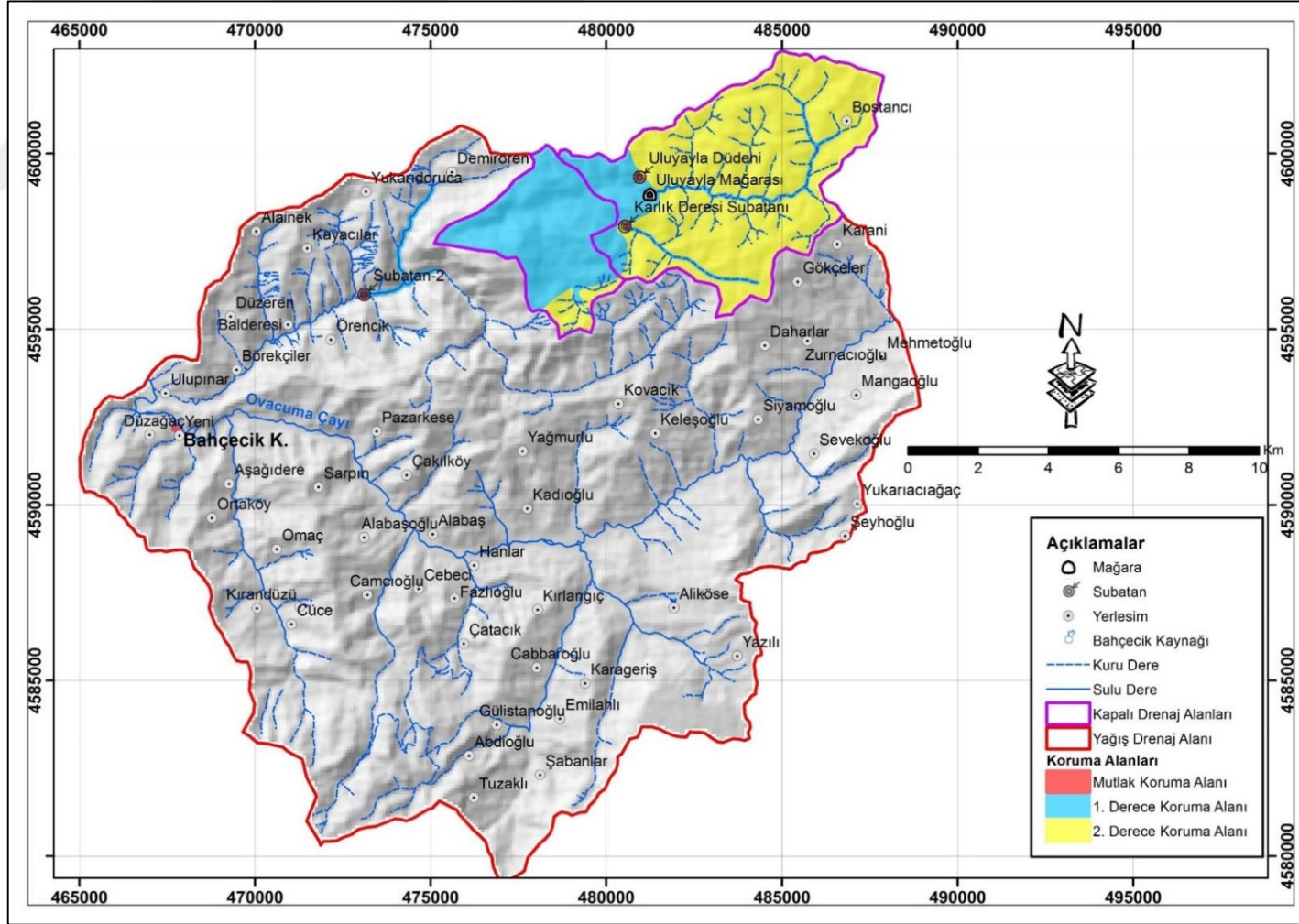
Mutlak koruma alanının belirlenmesinde "İçme Suyu Temin Edilen Akifer Ve Kaynakların Koruma Alanlarının Belirlenmesi Hakkında Tebliğ MADDE-7'nin uygulanması gerekmektedir.

Bahçecik Kaynağı'nın beslenim alanını oluşturan Uluyayla ve Çokman Yayları kapalı drenaj alanında yapılan boya deneyi sonucunda yeraltısuyu hızının 1166 m/gün olduğu ve 7. günün sonunda Bahçecik Kaynağı'na geldiği belirlenmiştir. Bundan dolayı drenaj alanında düdenlerin beslenim alanını oluşturan kirletici etkisi taşıyabilecek dere yatağı ve 100 m'lik çevresi ile yine bu kapalı drenaj alanı içerisine giren geçirimli kireçtaşları da 1. Derece koruma alanı olarak önerilmektedir. Kapalı drenaj alanında yer alan geçirimsiz-az geçirimli Ulus Formasyonu ise 2. Derece koruma alanı olarak bırakılmıştır.

Bahçecik Kaynağı'nın yine önemli beslenim alanlarından oluşan kireçtaşı kapalı drenaj alanı da 1. Derece koruma alanı olarak belirlenmesi önerilmektedir.

Ayrıca beslenimi boya deneyi ile belirlenen Subatan-2'nin yer aldığı Kayabaşı Deresi beslenim bölgesinin 50 metre çevresi de 1. Derece koruma alanı olarak belirlenerek, olası kirleticilerden korunması önerilmektedir.

Uluyayla ve Çokman Yaylaları Kapalı Drenaj alanlarında hali hazırda kirlilik kaynağı oluşturacak bir yapılaşma yoğunluğu bulunmamaktadır. Ancak, ilerleyen yıllarda su kalitesini kötü etkileyebilecek bir yapılaşma yoğunluğunun önüne geçilebilmesi için "İçme Suyu Temin Edilen Akifer ve Kaynakların Koruma Alanlarının Belirlenmesi Hakkında Tebliğ"ın 8. ve 9. Maddesi doğrultusunda kaynağın 1. Derece ve 2. Derece koruma alanlarının ilan edilmesinde fayda vardır.



Şekil 7.1. Bahçecik Kaynağı ve diğer düden ve mağara yapıları için belirlenen koruma alanları

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bahçecik Kaynağı, Bartın ili, Ulus ilçesi sınırlarında yer almakta olup, Bartın iline ve Türkiye'nin önemli turistik yerlerinden biri olan Amasra ilçesine içme-kullanma suyu olarak verilmektedir. Ayrıca mansabında yer alan 1 adet değirmene de işletme suyu sağlanmaktadır.

Bahçecik Kaynağı yağışlı dönemde 4,0 m<sup>3</sup>/s den fazla debiye sahip iken, kurak dönemde debisi 150-250 l/s'ye kadar düşmektedir. Yöre halkı için oldukça önemli olan Bahçecik Kaynağı'nın sürdürülebilir yönetimi, su kalitesinin korunması ve kaynak geliştirme seçeneklerinin ortaya konabilmesi için kaynağın kökeni, beslenme-boşalım mekanizması ve boşaldığı karst akiferin yeraltısu akım hidrodinamiği ortaya konulmuştur.

Bahçecik Kaynağı, Ovacuma Deresinin 100 m güneyinde, Kuvaterner yaşlı alüvyon birimi içerisinde boşalmaktadır. Kaptaj çevresinde yaklaşık 15 m kalınlığa sahip alüvyon altında bölgede oldukça geniş yayılıma sahip Ulus Formasyon'una ait az geçirimli-geçirimsiz kumtaşı, çamurtaşı, kiltası araldanmasından oluşan birimler mostra vermektedir. Geçirimsiz- az geçirimli Ulus Formasyon'unu katederek yerel akifer özelliğine sahip alüvyon birimi içerisinde boşalım yapan yüksek debili Bahçecik Kaynağı'nın olası fay kontrollü olarak çıkış yaptığı düşünülmektedir.

Akiferin beslenme koşullarını ortaya koymak için inceleme alanı çevresinde 3 adet boya deneyi yapılmıştır. Yapılan boya deneylerinin ilki Bahçecik Kaynağı'nın 25 m dere akış yönüne göre membanda yer alan Alüvyon birimi içinde açılmış 63402 no.lu kuyuda yapılmıştır. Ancak 45 günlük bir bekleme süresinde verilen boyanın kaynağa ulaşmadığı ve Bahçecik kaynağının boşalım yaptığı alüvyon birimi ile ilişkisi olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışma sonrasında inceleme alanı çevresinde en yüksek akifer potansiyeline sahip kuzeydoğuda yüzeylenme ve karstlaşma yapıları gösteren İnaltı Fomasyonuna ait kireçtaşları içinde gelişmiş su yapılarında (subatan) boya izleme deneylerinin yapılmasına karar verilmiştir.

Karst akiferinde yapılan 2 adet boya deneyinden elde edilen veriler sonucunda, Bahçecik kaynağı akiferini kaynağın 8-10 km kuzeydoğusunda ileri derecede karstlaşma gösteren İnaltı Formasyonu'na ait kireçtaşları oluşturduğu, Uluyayla ve Çokman Yaylaları Kapalı Yüzey suyu drenaj sisteminin İnaltı kireçtaşları ile Ulus Formasyonu dokanağında yeralan, İnaltı Formasyonu içinde gelişmiş düşey düden yapılarıyla boşalım yaptığı belirlenmiştir.

Beslenme alanları ile Bahçecik Kaynağı arasındaki hidrodinamik ilişkiyi ortaya koymak amacıyla Bahçecik kaynağının 6,5 km kuzeydoğusunda yer alan Karakışla Köyü, Kayabaşı Deresi Subatan-2'den yapılan boya izleme deneyinde yeraltısuyu seyahat süresi yaklaşık 13,73 gün, Bahçecik Kaynağı'ndaki kütle geri kazanımı ise %38,17 olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon noktası ile gözlem noktası arasındaki 6,50 km'lik mesafe baz alındığında, görünür yeraltısuyu hızı yaklaşık 473 m/gün olarak hesaplanmıştır.

Yağışlı dönemde Uluyayla mevki, Karlık Düdeni membası Karlık Deresi yatağında yer alan Karlık Subatanı'ndan 3. boya deneyi gerçekleştirilmiştir. Bahçecik Kaynağı'nın 13,8 km kuzeydoğusunda yer alan Karlık Subatanı'ndan gerçekleştirilen boya deneyi sonuçlarına göre, yeraltısuyu seyahat süresi yaklaşık 11,83 gün, görünür yeraltısuyu hızı 1166 m/gün olarak belirlenirken, Bahçecik Kaynağı'ndaki kütle geri kazanımı ise %35,14 olarak belirlenmiştir. Karlık Subatanında elde edilen yeraltısuyu hızı, Subatan-2'de yapılan boya deneyinden elde edilen hızın 3 katıdır.

Bahçecik Kaynağı'nın beslenme bölgesini 36,6 km<sup>2</sup>'lik Uluyayla-Çokman Yaylaları Kapalı drenaj sistemi ile 13,5 km<sup>2</sup>'lik İnaltı Formasyonu kireçtaşlarının kapalı drenaj alanını içine alan 50,1 km<sup>2</sup> lik bir alan oluşmaktadır. Bahçecik Kaynağından yıllık meydana gelen 48,8 hm<sup>3</sup>'lik boşalım miktarı kaynağın potansiyel beslenme alanına bölüldüğünde 974 mm gibi bir yeraltısuyu beslenme miktarı hesaplanmaktadır. Bu miktar Uluyayla mevkiinde meydana geldiği tahmin edilen net yağış miktarına (yağış-gerçek buharlaşma) oldukça yakındır. Karst akiferinin bütçe analiz sonuçları ile jeolojik birimlerin geçirimsizlik karakteristikleri dikkate alındığında, Bahçecik Kaynağı'nın kuzeydoğusunda yer alan Uluyayla ve Çokman Yaylaları ile İnaltı Formasyonu kireçtaşlarının oluşturduğu kapalı drenaj alanlarının kaynağın beslenime büyük ölçüde bir katkısı olduğu ve karstik akiferin bölgede besleniminin ise ağırlıklı

noktasal ve büyük ve iyi gelişmiş düden sistemleri vasıtasıyla oldukça hızlı gerçekleştiği görülmüştür. Kaynağın beslenme alanında kapalı drenaj sistemini dren eden iyi gelişmiş düden sistemleri kaynağın kirlenmeye karşı en hassas alanlarını oluşturmaktadır. Bu durum, Bartın ili Amasra ilçesinin tek su kaynağını oluşturan Bahçecik Kaynağı'nın içme suyu potansiyeli açısından son derece önemli bir yere sahip olan bu akifer sisteminin korunmasına ve sürdürülebilir yönetimine yönelik olarak gerçekleştirilecek çalışmaların önemini arttırmaktadır. Bu kapsamda Bahçecik Kaynağı'nın su kalitesinin korunması için kaynağın besleniminde önemli rol oynayan bu sistemlerin kaynağın birinci derece koruma alanları olarak ilan edilmesi önem arz etmektedir.



## KAYNAKLAR

Akbaş B., Altun İ. E. ve Aksay A. 2002. "1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Zonguldak-E28 Paftası". MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, **Pafta No.24**, Ankara.

Akman Ü. 1992. *Amasra-Arıt Arasının Jeolojisi Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 209 s.

Aksoy N. ve Filiz Ş., 2001. Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahasının Çevresel İzotoplarla İncelenmesi. *1. Çevre ve Jeoloji Sempozyumu*. Yeraltısuları ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler, say. 289–295, İzmir.

Akyol Z., Arpat E., Erdoğan B., Göğer E., Güner Y., Şaroğlu F., Şentürk İ., Tütüncü K., Uysal Ş. 1974. *1:50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi*. MTA yayınları.

Arni P. 1938. Şimali Anadolu Kömür Havzasının Stratigrafisi Hakkında Malumat Ve Ereğli-Zonguldak-Amasra Arasında Prof. Jongmans ile birlikte yapılan seyahat Hakkında Rapor. *MTA Rap. No. 674*.

Arni P. 1939. Amasra Havzasına Ait Kısa Rapor. *MTA Rap. No. 1315* (yayınlanmamış).

Arni P. 1941. Amasra-Tarlaağzı Taşkömür Mintikasının Jeolojisi Ve Kıymetlendirilmesine Müteallik İlk İkmal Raporu. *MTA Rap. No. 1274*.

Avan İ. 2016. *Bartın Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı Geliştirme Projesi Karst Hidrojeoloji Etüt Raporu*, DSİ

Aydın M., Serdar H. S., Şahintürk Ö., Yazman M., Çokuğraş R., Demir O. ve Özçelik Y. 1987. Çamdağ (Sakarya)-Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi. *TIK Bülteni*,

Benischke R., Goldscheider N. & Smart C.C., 2007 – Tracer techniques. In: Goldscheider N. & Drew D. (Eds.) – *Methods in Karst Hydrogeology. International Contributions to Hydrogeology*. Taylor & Francis, London, UK: **147-170**.

Bengü E. 2017. *Post-Paleogene Stress Distribution In The Bartın-Ulus-Safranbolu Basins, Western Pontides, Turkey*, ODTÜ

Boving T., Fetter C.W., Kreamer D. 2017. *Mass Transport In Saturated Media*. In: *Fetter CW, Boving T, Kreamer D (Eds) Contaminant Hydrogeology*. Waveland Press, Long Grove. p 56-132

BÜMAK (Boğaziçi Üniversitesi Mağara Araştırma Klubü), 1988. Zonguldak Uluyayla Bölgesi Araştırmaları, *Delta*, Sayı 4, Sayfa 36-41.

Castany G. 1968. Prospection et Exploitation des Eaux Souterraines. *DUNOT*, Paris.

Clark I.D., Fritz P. 1997. Environmental Isotopes in Hydrology; *Lewis Publishers*, NewYork.

Dilaver A.T., Aydın B., Özyurt N., Bayarı S. 2018. *Türkiye Yağışlarının İzotop İçerikleri (2012-2016)*, DSİ-TAKK ve MGM-AD, Ankara, 44 s.

Gedik İ. ve Önalın M. 2001. Çamdağ (Sakarya ili) Paleozoyik stratigrafisine yeni bir yaklaşım. İ. Ü. Müh. Fak. (baskıda), *Yerbilimleri Dergisi*.

Kaya O., Dizer A., Tansel, İ. ve Meriç E. 1982. Ereğli (Zonguldak) alanının Kretase Stratigrafisi. *MTA Derg.*, 99/100, 19-33.

Kırmızıtaş H., Emet K., Kırmızıtaş A., Yolcubal I., 2019. *Bartın Bahçecik (Ulupınar) Kaynağı Geliştirme Projesi Hidrojeolojik Etüt çalışması*. Kastamonu, DSİ.

Ketin İ. ve Gümüş A. 1963. Sinop-Ayancık arasında TI. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi. *TPAO Raporu*, No:288, 37 s.

Kipman E. 1974. Sakarya Çamdağ (Kestanepınar-Yassıgeçit köyleri arası) deniz çökeltisi demir cevherinin jeolojisi. *İ. Ü. Fen. Fak. Monografileri*, 25, 1-72.

Mijatovic B. 1970. A method of studying the hydrodynamic regime of karst aquifers by analysis of the discharge curve and level fluctuation during recession. *Institute for Geological and Geophysical research*, Belgrad.

Saner S., Taner İ., Aksoy Z., Siyako M., Bürkan K. A.1980. Karabük-Safranbolu bölgesinin Jeolojisi. Türkiye 5. *Petrol Kongresi*, s:111-122.

Schreiber P., 1904: Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. *Meteor. Z.*, 21, 441-452.

Serdar H. S. ve Demir O. 1983. Bolu, Mengen, Devrek dolayının jeolojisi ve petrol olanakları. *TPAO Rap.* No:1322.

Tokay M. 1955. Filyos Çayı Ağızı-Amasra-Bartın-Kozcağız-Çaycuma Bölgesinin jeolojisi. *MTA Derg.*, 46/47, 58-74.

Timur E., ve Aksay A. 2002. "1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Zonguldak-E29 Paftası". MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, **Pafta No.24**, Ankara.

Karakuş H., Şimşek Ş., İnan S. 2005. Efteni (Düzce) Sıcak Ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Ve İzotopik İncelemesi. 2. *Ulusal hidrolojilde izotop teknikleri sempozyumu*. 45-58.

Ketin İ. ve Gümüş A. 1963. "Sinop-Ayancık arasında III. Bölgeye dahil sahaların jeolojisi", *Türkiye Petrolları A.O.*, No:288.

Resmi Gazete, 2005. *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*, Sağlık Bakanlığı, Ankara, Resmi Gazete No: 17.02.2005 tarih ve **25730 sayı**.

Resmi Gazete, 2012. *İçme Suyu Temin Edilen Akifer Ve Kaynakların Koruma Alanlarının Belirlenmesi Hakkında Tebliğ* Ankara, Resmi Gazete No:10 Ekim 2012 tarih ve **28437 sayı**.

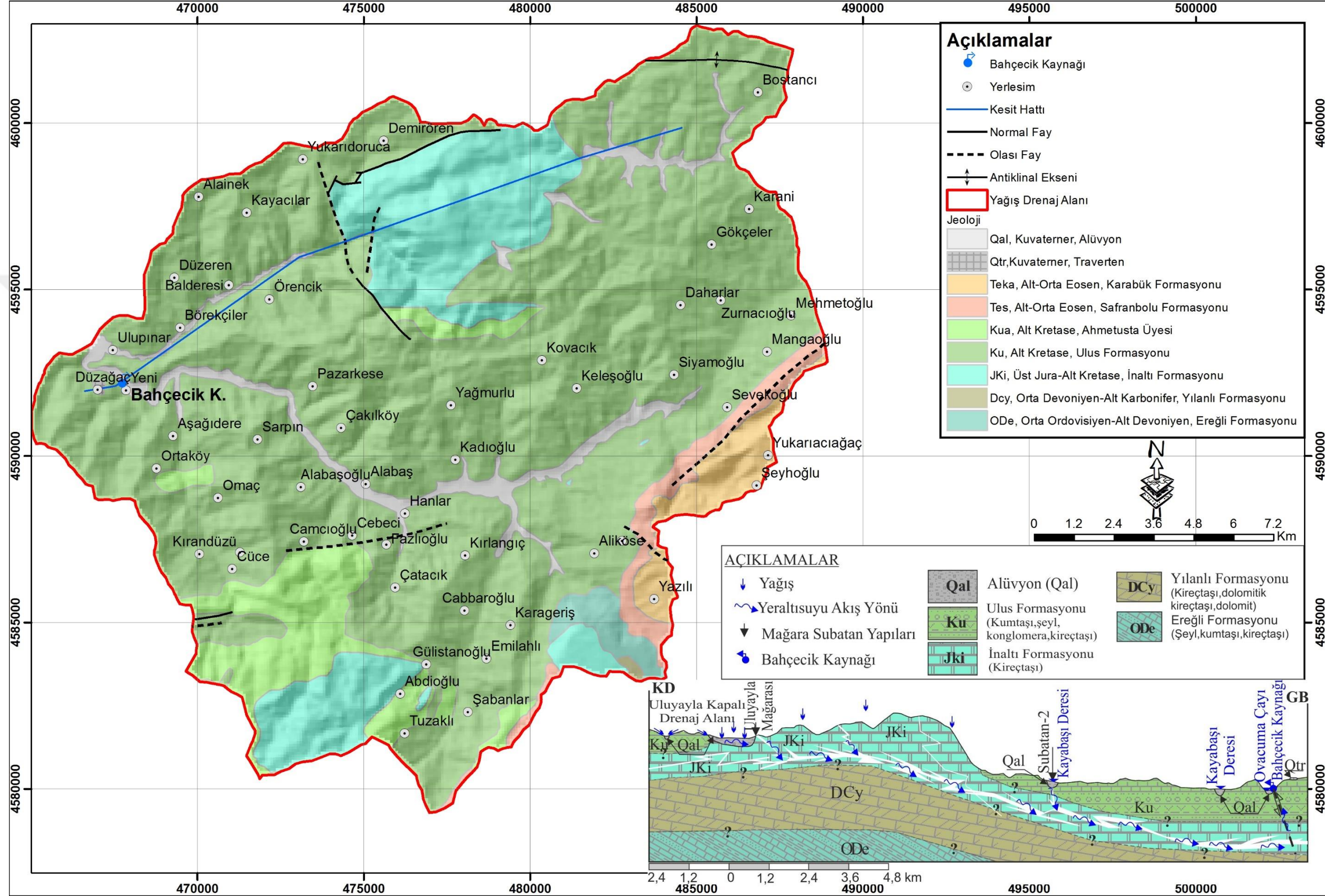
Resmi Gazete, 2012. *Yeraltısularının Kirlenmeye Ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik*, Resmi Gazete No:28257.

Uz B., Öztaş T., Esenli F. 2001. Özdamar Ş., *Düzköy –Düzağaç (Ulus-Bartın) Traverten Oluşumlarının Jeolojisi, Petrografisi Ve Mermer Açısından Değerlendirilmesi*, İTÜ.

Wotrington S.R.H., Smart C.C. 2003. *Empirical determination of tracer mass for sink to spring tests in karst. 9th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*, Alabama, USA, 6-10 Sept 2003.



**EKLER**





## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

**Karamürsel E.**, Yolcubal İ., Şener A., Kırmızıtaş H., Sanğu E., Bahçecik (Bartın) İçme Suyu Kaynağının Kökeninin Ve Beslenme-Boşalım Mekanizmasının Belirlenmesi, *72. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 28 Ocak-01 Şubat 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Ankara'da doğdu. İlköğrenimini Ankara'da İbni Sina İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Atatürk İlköğretim Okulu'nda ve lise öğrenimini aynı şehirde, Yahya Kemal Beyatlı Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Tezli Yüksek Lisans programına başladı. 2019 yılında tezli yüksek lisans programını tamamlayarak mezun oldu. 2011 yılından itibaren Kırmızıtaş Jeolojik Hizmetler İnşaat Madencilik Limited Şirketinde çalışmaya devam ediyor.

