

**ÇOKRAĞAN (BANAZ-UŞAK) KARST SİSTEMİNDE
BESLENİM-BOŞALIM İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**INVESTIGATION OF RECHARGE-DISCHARGE
RELATIONSHIP IN ÇOKRAĞAN (BANAZ-UŞAK) KARST
SYSTEM**

HÜSEYİN ERTAN YÜKSEL

DOÇ. DR. HARUN AYDIN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

ÖZET

ÇOKRAĞAN (BANAZ-UŞAK) KARST SİSTEMİNDE BESLENİM-BOŞALIM İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Hüseyin Ertan YÜKSEL

Yüksek Lisans, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Harun AYDIN

Haziran 2022, 143 sayfa

Tez çalışmasının amacı, Gediz Nehri Havzası'nın doğusunda ve Uşak ilinin Banaz ilçesinin kuzeybatısında yer alan Çokrağan Karst Sistemi (CKS), beslenme-dolaşım-depolama-boşalım ilişkisinin ortaya konulmasıdır. Yüzeysel drenaj alanı yaklaşık 10.7 km² olan CKS, Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu olarak adlandırılan dolomitik kireçtaşlarından 0.349 m³/s debi ile boşalım sağlamaktadır. İnceleme alanının morfoloji-hidrojeoloji ilişkisini detaylandırmak amacıyla jeoloji, tektonizma ve morfoloji gibi fiziksel parametreler ile yağış rejimi, buharlaşma, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özellikleri değerlendirilerek hidrojeolojik kavramsal model oluşturulmuştur. Tez çalışması boyunca alınan su numunelerinin analizleri incelendiğinde, baskın major katyon ve anyon iyonlar genellikle Ca ve HCO₃'tür. CKS'nin hidrojeolojik kavramsal modeliyle birlikte değerlendirilen su bütçesi çalışmalarında, Ekinlik Havzası'na Fındıklı Havzası'dan beslenme olduğu düşünülmektedir. 1980-2020 yılları arası debi gözlemine sahip Çokrağan Kaynağı akımlarına ait kaynak çekilme analizi incelendiğinde, hem kaynak akımlarında gözlenen yüksek değişim katsayısı, hem akım hidrograflarının şekli hem de çekilme katsayısındaki değişim, CKS'de depolama ve dolaşım özelliklerinin iyi gelişmiş karstik kırık-çatlak sistemleri ve kanallar boyunca baskın olarak gerçekleştiğini işaret etmektedir. CKS'nin,

hidrolik iletkenlik ve iletimlilik katsayılarının nispeten yüksek ve depolama katsayısının nispeten düşük olduğu, ileri derecede anizotrop ve heterojen ortam olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çokrağan Karst Sistemi, anizotrop, heterojen, karst, kaynak çekilme analizi, Banaz.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF RECHARGE-DISCHARGE RELATIONSHIP IN ÇOKRAĞAN (BANAZ-UŞAK) KARST SYSTEM

Hüseyin Ertan YÜKSEL

Master of Science, Department of Geology (Hydrogeology) Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Harun AYDIN

June 2022, 143 pages

The aim of this thesis study is to examine the recharge-circulation-storage-discharge relationship of the Çokrağın Karst System (CKS) which is located in the east of the Gediz Basin and in the northwest of the Banaz district of Uşak province. The CKS has an approximate surface drainage area of 10.7 km² and it is discharged from the Jurassic Çiçeklikaya Formation with a long-term average monthly flow rate of 0.349 m³/year. In order to elaborate the morphology-hydrogeology relationship within the study area, a hydrogeological conceptual model was developed by evaluating the physical parameters such as geology, tectonism and morphology, and dynamic properties such as precipitation regime, evaporation, infiltration, recharge, flow and storage. According to the water chemistry analyses results obtained during this study, the dominant major cation and anion are Ca and HCO₃, respectively. The evaluation of the water budget studies along with the hydrogeological conceptual model of the CKS revealed out that the Ekinlik Basin is recharged from the Fındıklı Basin. When the spring recession analysis of the Çokrağın Spring flows carried out by using flow observation data between 1980-2020, both the high coefficient of variation observed in the discharges and the shape of the hydrographs as well as the variation in the spring recession coefficient indicate that storage and flow in the CKS occur along well-developed fracture systems and karstic channels. It was

concluded that CKS is a highly anisotropic and heterogeneous media with relatively high hydraulic conductivity and transmissibility and a relatively low storage coefficient.

Keywords: Çokrağan Karst System, anisotropic, heterogeneous, karst, spring recession analysis, Banaz.

TEŞEKKÜR

Bilim ve sanatın özgürce Anadolu topraklarında yapılmasını sağlayan ve Türkiye Cumhuriyeti'nin temellerini atan Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK, silah arkadaşları ve şehitlerimizi saygı ve özlemle anıyorum.

Tez çalışmamın her aşamasında yanımda olan, bilgisini ve görüşlerini benimle paylaşıp, yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Harun AYDIN'a,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca görüşlerine başvurduğum ve tez jüri üyelerim Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye ve Dr. Öğr. Üyesi Şükran AÇIKEL'e,

Tez çalışmama görüşleriyle katkılarına sunan değerli jüri üyeleri Doç. Dr. Şebnem ARSLAN'a ve Doç. Dr. Bedri KURTULUŞ'a,

Çalışmam boyunca değerli desteklerini esirgemeyen DSİ 2.Bölge Müdürlüğü'nden Jeoloji Mühendisi Ünsal ÜNLÜ'ye ve DSİ Genel Müdürlüğün'den Hidrojeoloji Mühendisi Dr. Müfit Şefik DOĞDU'ya,

Jeoloji çalışmalarında değerli görüşlerine başvurduğum üniversitemizin Genel Jeoloji ABD Öğretim Üyesi Doç. Dr. Erman ÖZSAYIN'a ve Araş. Gör. Levent BAYRAM'a,

Su kimyası çalışmalarında yardımları ve desteklerinden dolayı DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Kimya Laboratuvarı ve Hacettepe Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarındaki yönetici ve çalışanlarına,

Çokrağan Mağarası'nda yapmış olduğumuz arazi çalışmasında destekleriyle yanımda olan Hacettepe Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübüne (HÜMAK),

Yaşamım boyunca bana değer katan, hayallerimi destekleyen ve yolumu aydınlatan değerli hocam ve dostum Mihriye AKIN'a,

Gençliğimden beri hayatın zorluklarını paylaştığım ve destekleriyle yanımda olan dostlarım, Necib ÇAPAR'a, Arzu Ceylan HAS'a, Ezgi EMÜL'e, Doğukan Acun BALCI'ya ve Uğur Gökhan TOP'a,

Hayata gözlerimi açmamı ve nefes almamı sağlayan, beni ben yapan, her zaman yanımda hissettiğim ve aldığım kararlarda görüşlerini bildiren Canım Aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri.....	2
1.3. Tez Alanının Tanıtılması.....	4
1.3.1. Konum ve Ulaşım	4
1.3.2. Doruk Ağı, Eğim ve Hidrografya	4
1.3.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....	8
1.4. Önceki Çalışmalar.....	9
2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ.....	15
2.1. Statigrafik Yapı.....	15
2.1.1. Baybuyan Formasyonu (PzMz)	15
2.1.2. Arıkaya Formasyonu (PzMzm)	18
2.1.3. Aşağıbelova Formasyonu (Mts).....	19
2.1.4. Çiçeklikaya Formasyonu (Jdl)	20
2.1.5. Muratdağı Melanjı (Kom)	22
2.1.6. Yeniköy Formasyonu (Tms).....	23
2.1.7. Karacahisar Volkanitleri (Tmv).....	24
2.1.8. Eski Alüvyon (Qea) ve Alüvyon (Qal)	25
2.2. Jeolojik Evrim.....	25
2.3. Çizgisel Unsurlar	28
2.4. Sınır Koşulları.....	29

3. HİDROLOJİ.....	33
3.1. Drenaj Alanı	33
3.2. Su Noktaları.....	33
3.2.1. Akarsular	33
3.2.2. Göller ve Barajlar.....	34
3.2.3. Kaynaklar	35
3.3. Hidrolojik Verilerin Değerlendirilmesi.....	35
3.3.1. Yağış	36
3.3.1.1. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması	37
3.3.1.2. Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi	39
3.3.2. Sıcaklık.....	43
3.3.2.1. Eksik Sıcaklık Verilerin Tamamlanması.....	44
3.3.2.2. Sıcaklık Verilerinin Değerlendirilmesi	45
3.3.3. Buharlaşma-Terleme	45
3.3.3.1. Buharlaşma-Terleme Hesaplama Yöntemleri.....	47
3.3.3.2. Buharlaşma-Terleme Verilerinin Değerlendirilmesi.....	49
3.3.4. Akım ve Kaynak Boşalımı	54
3.3.4.1. Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması.....	55
3.3.4.2. Akım Verilerin Değerlendirilmesi	56
3.4. Su Bütçesi.....	58
3.4.1. Bütçe Bileşenlerinin Hesaplanması	60
3.4.1.1. Yağış (P).....	61
3.4.1.2. Gerçek Buharlaşma-Terleme (ET_a)	61
3.4.1.3. Akım-Kaynak Boşalımı ($R-Q$).....	61
3.4.2. Bütçe Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi	62
4. HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLER	65
4.1. Hidrokimyasal Ölçüm, Örnekleme ve Analiz Yöntemleri.....	65
4.2. Fizikokimyasal Parametrelerin Değerlendirilmesi	69
4.3. Major İyon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	70
4.4. Karışım Grafikleri.....	75
4.5. Kümelenme Analizi	78
4.6. Doygunluk İndisi (SI)	80
4.7. Duraylı İzotop Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	82

5. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ	85
5.1. Sınır Koşullarının Kaynak Boşalım Açısından Değerlendirilmesi.....	85
5.2. Kaynak Çekilme Analizi	90
5.2.1. Akifer Parametrelerin Belirlenmesi	99
5.2.2. CKS’de Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi	100
5.3. CKS’de Kavramsal Model Çalışmaları.....	105
6. CKS SU KAYNAKLARININ MİKTAR VE KALİTE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	109
6.1. CKS ve Yakın Dolayı İklim Değişimi	110
6.2. Su Kalitesi	112
6.3. Su Miktarı.....	115
7. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER.....	117
7.1. Sonuçlar.....	117
7.2. Tartışma ve Öneriler	120
8. KAYNAKLAR.....	122
EKLER	133
EK 1 – Yağış Verileri Dağılım Grafikleri.....	133
EK 2 – Sıcaklık Verileri Dağılım Grafikleri	137
EK 3 – Akım Verileri Dağılım Grafikleri.....	140
ÖZGEÇMİŞ	143

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İnceleme alanı yer bulduru haritası.	5
Şekil 1.2.	İnceleme alanı doruk ve drenaj ağı haritası.	6
Şekil 1.3.	İnceleme alanı kot-alan haritası.	7
Şekil 1.4.	İnceleme alanı kot-alan ilişkisi.	7
Şekil 1.5.	Uşak ve Banaz MGİ uzun yıllar toplam yağış ve sıcaklık grafiği.	8
Şekil 2.1.	İnceleme alanının jeoloji haritası (Colin (1955), Mariko (1970), Bingöl (1977), Günay ve ark. (1986), Öztürk (2001) ve Baykara (2007)'den derlenmiştir).....	16
Şekil 2.2.	İnceleme alanının dikme kesiti (Colin (1955), Mariko (1970), Bingöl (1977) ve Öztürk (2001)'den derlenmiştir).	17
Şekil 2.3.	Menderes Masifi'nin basitleştirilmiş tektonik haritası (Okay (2001)'den değiştirilerek alınmıştır).	27
Şekil 2.4.	İnceleme alanındaki A-A' ve B-B' kesitleri.....	31
Şekil 2.5.	İnceleme alanındaki C-C' ve D-D' kesitleri.....	32
Şekil 3.1.	İnceleme alan hidroloji haritası.....	34
Şekil 3.2.	İnceleme alanındaki MGİ yer bulduru haritası.....	36
Şekil 3.3.	CKS ve yakın dolay MGİ yağış gözlem veri aralığı.	37
Şekil 3.4.	CKS eklenik sapma grafiği.....	41
Şekil 3.5.	CKS uzun yıllar (1980-2020) aylık ortalama toplam yağış dağılımı.	41
Şekil 3.6.	İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ'lerin kot-yağış ilişkisi.....	43
Şekil 3.7.	CKS ve yakın dolay MGİ sıcaklık gözlem veri aralığı.	43
Şekil 3.8.	İnceleme alanının uzun yıllar yağış-sıcaklık ilişkisi.	46
Şekil 3.9.	CKS uzun yıllar (1980-2020) aylık ortalama sıcaklık dağılımı.....	46
Şekil 3.10.	CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (USGS yöntemi).....	50
Şekil 3.11.	CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETa dağılımı (USGS yöntemi).....	51
Şekil 3.12.	CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (Thornthwaite-Mather yöntemi).....	52
Şekil 3.13.	CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETa dağılımı (Thornthwaite-Mather yöntemi).....	53

Şekil 3.14.	CKS için hesaplanan yıllık toplam ETa değerlerinin zamansal dağılımı.....	54
Şekil 3.15.	CKS ve yakın dolayı AGİ veri aralığı.....	55
Şekil 3.16.	Çokrağan Kaynağı ile Ekinlik ve Fındıklı dereleri aylık ortalama akım değerleri.....	57
Şekil 3.17.	CKS ve yakın dolayı kavramsal hidroloji modeli.....	59
Şekil 4.1.	İnceleme alanı hidrojeokimyasal amaçlı noktaları yer bulduru haritası.....	66
Şekil 4.2.	İnceleme alanındaki su örneklerinin EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) – TDI (meq/l) grafiği.	71
Şekil 4.3.	CKS su noktalarına ait Piper diyagramı.	72
Şekil 4.4.	İnceleme alanından alınan su örneklerinin Schoeller diyagramı.	73
Şekil 4.5.	CKS su kaynakları bileşim grafikleri.	75
Şekil 4.6.	CKR1, CKR2 ve CSK kaynaklarının olası boşalım mekanizması. ...	75
Şekil 4.7.	TDI-iyon grafiği; (a) tek küme; (b) iki küme; (c, d, e) doğrusal dağılım; (f) üçgen dağılım ve (g) rassal dağılım (Mazor, 1991).	76
Şekil 4.8.	TDI-majör iyon dağılım grafiği.	77
Şekil 4.9.	CKS ve yakın dolayı su noktaları dendogramı.	80
Şekil 4.10.	CSK örnekleri doygunluk indisi grafikleri.	82
Şekil 4.11.	İnceleme alanı $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.....	84
Şekil 5.1.	Çekilme eğrisi türüne göre kaynakların sınıflandırılması (Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003).	87
Şekil 5.2.	Çokrağan Kaynağı 1994 ve 2001 yılları çekilme eğrileri grafiği.	90
Şekil 5.3.	Çokrağan Kaynağı 1989-1990 yılları çekilme analizi (Maillet Yöntemi).....	94
Şekil 5.4.	Çokrağan Kaynağı 1980-2020 yılları arası V_d - V_r ilişkisi (Maillet Yöntemi).....	94
Şekil 5.5.	Çokrağan Kaynağı çekilme analizi (MRC Yöntemi).....	98
Şekil 5.6.	Çokrağan Kaynağı α – T/S grafiği.	105
Şekil 5.7.	Karst akiferlerinde beslenme-dolaşım-depolama-boşalım ilişkisi (Ollivier ve ark., 2019).	106
Şekil 5.8.	Karst akiferlerinde beslenme-depolama-dolaşım süreçlerindeki değişimlerin kaynak akım hidrografına etkisi (Smart ve Hobbs, 1986).....	106

Şekil 5.9.	CKS hidrojeolojik kavramsal modeli.....	108
Şekil 6.1.	CKS yakın dolayında gözlenen ve RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları dikkate alınarak tahmin edilen yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması (2016-2020 yılları arası).....	111
Şekil 6.2.	CKS ve yakın dolay 2016-2099 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağışların referans periyottan farkları (RCP4.5 ve RCP8.5: MPI-ESM-MR/RF:1971-2000).	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Uşak ve Banaz MGİ uzun yıllar toplam yağış ve sıcaklık bilgisi.....	8
Çizelge 3.1.	İnceleme alanında yer alan su noktalarına ait bilgiler.....	35
Çizelge 3.2.	İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ'lere ait genel bilgiler.	37
Çizelge 3.3.	İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ veri tamamlama bilgisi.	38
Çizelge 3.4.	CKS uzun yıllar (1980-2020) aylık ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım değerleri.	40
Çizelge 3.5.	CKS uzun yıllar (1980-2020) yıllık ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım verileri.....	42
Çizelge 3.6.	İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ veri tamamlama bilgisi.	44
Çizelge 3.7.	İnceleme alanı ve çevresindeki AGİ'lere ait genel bilgiler	55
Çizelge 3.8.	İnceleme alanı ve çevresindeki AGİ veri tamamlama bilgisi	56
Çizelge 3.9.	Çokrağan Kaynağı su su bütçesi sonuçları.	60
Çizelge 3.10.	CKS ve yakın dolaylı su bütçesi sonuçları.	60
Çizelge 3.11.	CKS ve yakın dolaylı hassasiyet analizi ile su bütçesi sonuçları (P %10 arttırılıp, ETa %10 azaltılarak).	64
Çizelge 4.1.	İnceleme alanı su noktalarının fizikokimyasal özellikleri.....	69
Çizelge 4.2.	İnceleme alanındaki su noktalarının kimyasal analiz sonuçları.....	70
Çizelge 4.3.	Doygunluk indisi analiz sonuçları.....	81
Çizelge 4.4.	İnceleme alanından alınan su örneklerinin duraylı izotop sonuçları..	84
Çizelge 5.1.	Kaynak türünün debi değişimine bağlı olarak sınıflandırılması (Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003; Aydın 2005).....	86
Çizelge 5.2.	Çokrağan Kaynağı'nın 1980-2020 yılları arası akım istatistikleri.....	89
Çizelge 5.3.	Çokrağan Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları (Maillet Yöntemi).....	96
Çizelge 5.4.	Geçmiş dönemde yapılmış kaynak çekilme analiz sonuçları.	99
Çizelge 5.5.	Çokrağan Kaynağı iletimlilik katsayısı değeri.....	103
Çizelge 5.6.	Çokrağan Kaynağı T/S oranları.	104
Çizelge 6.1.	İnceleme alanındaki su örneklerinin iz element analiz sonuçları.	113
Çizelge 6.2.	CKS ve yakın dolaylı su noktaları kimyasal analiz sonuçlarının ulusal ve uluslararası içme-kullanım suyu standartları ile karşılaştırılması (mg/l).....	114

Çizelge 6.3	Uşak ili merkez ilçe 1965-2020 yılları arası nüfus sayım sonuçları (TÜİK, 2021).....	116
-------------	---	-----

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Foto 2.1.	Arıkaya Formasyonu (a: büyük ölçek; b: küçük ölçek).	18
Foto 2.2.	Çiçeklikaya Formasyonu yüzlek fotoğrafı (a: büyük ölçek; b: küçük ölçek).	21
Foto 2.3.	Karacahisar Volkanitleri (a: büyük ölçek; b: küçük ölçek).	24
Foto 4.1.	CKS örnekleme noktaları.	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Ca^{2+}	Kalsiyum
Cl^{-}	Klorür
cm	Santimetre
CO_3^{2-}	Karbonat
CV	Değişim Katsayısı
$D(^2H)$	Döteryum
EC	Elektriksel İletkenlik
EC_{25}	Özgül Elektriksel İletkenlik
F^{-}	Florür
HCO_3^{-}	Bikarbonat
K^{+}	Potasyum
l	Litre
meq	Miliekivalan
mg	Miligram
Mg^{2+}	Magnezyum
mm	Milimetre
Na^{+}	Sodyum
NH_4^{+}	Amonyum
NO_2^{-}	Nitrit
NO_3^{-}	Nitrat
^{18}O	Oksijen-18
T	Sıcaklık
TDI	Toplam Çözünmüş İyon

TDS	Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
P	Yağış
pH	H ⁺ İyonu Değişimi
ppb	Binde Bir
ppm	Milyonda Bir
SI	Doygunluk İndisi
SO ₄ ²⁻	Sülfat
STD	Standart Sapma
α	Kaynak Çekilme Katsayısı
μ S	MikroSiemens

Kısaltmalar

AB	Avrupa Birliği
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
AGO	Ağoluk Kaynağı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CKS	Çokrağan Karst Sistemi
CKR1/2	Çokrağan Kaynağı 1. ve 2. Lokasyon
CSK	Sarıköz Kaynağı
DSİ	Devlet Su İşleri
EKÇ	Ekinlik Kaynağı
ETa	Gerçek Buharlaşma-Terleme
ETp	Potansiyel Buharlaşma-Terleme
EPA	Amerika Çevre Koruma Ajansı
FDN	Fındıklı Kaynağı
GYK	Geyikçioğlu Kaynağı

KDR	Kuru Dere Kaynağı
MAG1/2	Çokrağan Mağarası 1. ve 2. Lokasyon
MGI	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
Q	Debi
Qç	Çokrağan Kaynağı Akımı
Qe	Ekinlik Deresi Akımı
Qf	Fındıklı Deresi Akımı
Qmax	Maksimum Debi
Qmin	Minimum Debi
WHO	Dünya Sağlık rgt

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

İleri derecede anizotrop ve heterojen karstik ortamların hidrodinamik davranışı, gözenekli ve kırıklı-çatlaklı ortamlara oranla hidrodinamik yapıyı oluşturan beslenme-dolaşım-depolama-boşalım bileşenleri özelinde farklılık göstermektedir (White, 1969, 2003, 2012; Ekmekçi ve ark., 2003; Kovac ve ark., 2005; Aydın, 2005; Aydın ve ark., 2013; Olliver ve ark., 2019). Örneğin gözenekli ortamlarda beslenme iklimsel süreçlere bağlı alansal şekilde gerçekleşirken, karstik ortamlarda iklimsel süreçlerin yanı sıra morfolojik yapı noktasal ile alansal uç bileşenleri arasında değişen beslenme türleri ile depolama-dolaşım-boşalım süreçlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısı ile bu ortamları oluşturan akiferlerin hidrodinamik davranışının belirlenmesi her bileşen özelinde ayrı ayrı çalışmaların yapılmasını ve elde edilen sonuçların hidrojeolojik kavramsal model kapsamında birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Karst akiferleri heterojen ve anizotrop bir yapıya sahip olmasından dolayı bu akiferlerin hidrodinamik davranışı “kara kutu” modeli ile çözümlenebilmektedir (White, 1969, 2003, 2012; Shurter ve White, 1971; Smart ve Hobbs, 1986; Worthington, 1999; Olliver ve ark., 2019). Bu akiferlerin heterojen ve anizotrop yapılarından dolayı, gözenekli ve kısmen kırıklı-çatlaklı ortamlarda geçerli olan hidrojeolojik yöntem ve yaklaşımlar ile karst akiferleri hakkında bilgi elde etmek genellikle zor ve yüksek maliyetlidir (Tallaksen, 1995; Amiel ve ark., 2010; Kalhor ve ark., 2019). Dolayısıyla karst akiferleri hidrodinamik yapısına ait bilgi, doğrudan mağara (speleolojik) araştırmaları ve dolaylı olarak da izleme deneyleri, hidrograf-kemograf analizleri, beslenme-bolaşım (yağış-akım) ilişkisi, su kimyası ve çevresel izotop çalışmaları, vb. gibi yöntemlerin biri ve/veya birkaçının birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde etmek mümkündür (Shevenell, 1995; Greene, 1999; Haunt ve ark., 2001; Barbieri ve ark., 2005; Herman, 2009; Kovacic, 2010; Kogovsek ve Petric, 2010; Aydın ve ark., 2014).

Bununla birlikte, son yüzyılda teknolojinin gelişmesiyle birlikte gözlenen plansız ve hızlı kentleşme, endüstriyel ve tarımsal etkinliklerin ve bu etkinliklerden kaynaklanan sera gazlarının artışına bağlı olarak küresel iklim değişiklikler, yerel ve bölgesel ölçekte kullanılabilir yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının miktar ve kalite açısından önemli

derecede tehdit etmektedir. Ayrıca, son yıllarda ülke genelinde hüküm süren hidrolojik kuraklık, su kaynaklarının miktar ve kalitesindeki değişimlerin konum ve zaman içinde ortaya konmasının gerekliliğini göstermektedir. Dolayısı ile su kaynaklarının miktar ve kalitesindeki değişimin ortaya konması, hem söz konusu su kaynaklarından faydalanan insanların hem de suya bağımlı ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır. Tez çalışmasına konu olan karst sisteminin boşalmasını sağlayan Çokrağan Karst Kaynağı, yıl içinde yaklaşık 0.1-1.5 m³/s arasında değişen debisiyle Uşak ve çevre yerleşim birimlerine içme ve kullanma suyu sağlanmaktadır. Hazırlanan tez çalışmasında, Uşak, Banaz ve Sivasslı Havzasının kuzeybatısında yer alan Çokrağan Karst Sisteminin (CKS) “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde, beslenme-boşalım ilişkisinin tanımlanması amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda;

- a. Karst sisteminin fiziksel yapısının belirlenmesi ve hidrojeolojik açıdan irdelenmesi,
- b. CKS'nin su potansiyelinin konum ve zaman içindeki değişimini hem miktar hem de kalite açısından karakterize edilmesi,
- c. CKS'nin hidrojeolojik kavramsal modelinin oluşturulması,
- d. İklim değişiminin CKS'nin su potansiyeline etkisinin belirlenmesi,

hedeflenmiştir.

1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Tez çalışmasının amaç ve hedeflerine ulaşmak amacıyla oluşturulan teknik yaklaşım ve teknik yaklaşımın gerektirdiği verilere, aşağıda özetlenen adımlarla ulaşılmıştır.

- Tez çalışma alanı ile ilgili daha önce gerçekleştirilmiş mevcut jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, vb. tüm çalışmalar, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), üniversiteler ve elektronik yayınlardan sağlanmıştır.
- Çalışma alanının jeolojik yapısı, sistemin hidrojeolojik özelliklerini tanımlayacak şekilde ortaya konmuştur. Bu kapsamda, bölgesel ve yerel ölçekte jeoloji haritaları ve uydu görüntüleri bilgisayar ortamına (ArcMAP 10.8; ESRI, 2020) aktarılmış ve

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir jeoloji modeli oluşturulmuştur. Bu amaç doğrultusunda, mevcut jeoloji haritaları, jeomorfoloji haritaları, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin analizlerinin yanı sıra yerel ölçekte arazi çalışması yapılmıştır. Ayrıca, bölgedeki paleocoğrafik evrim ile ilgili mevcut çalışmalar bir bütünlük içinde değerlendirilmiştir.

- İnceleme alanı ve yakın dolayında mevcut olan su noktalarının (akarsu, kaynak, vb.) lokasyonları (x,y,z) yerinde/arazide GPS ile ölçülmüş ve mevcut MGM ve DSİ gözlem istasyonlarının konumları dikkate alınarak inceleme alanının hidrografya haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanının hidrolojik yapısının belirlenmesine yönelik inceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGM ve DSİ meteoroloji ve akım gözlem istasyonlarından gözlenen uzun yıllar (1980-2020) aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık, ortalama akım, vb. veriler sağlanmıştır. Mevcut ve tez süresince elde edilen verilerin güvenilirliği kontrol edildikten sonra, inceleme alanının hidrolojik bütçesi (girdi, çıktı, depolama) elde edilmiştir. Ayrıca yağış-akım arasındaki ilişki ile kaynak çekilme analizi değerlendirmeleri sonucunda CKS su potansiyeli hakkında bilgi elde edilmiştir.
- İnceleme alanında su kalitesinin, beslenme-kot ilişkisinin ve yağışların kökeninin belirlenmesine yönelik arazi çalışmaları süresince belirlenen su noktalarında, Temmuz ve Kasım 2021 dönemlerinde yerinde ölçümler (T, pH, EC, vb.) ve laboratuvar analizleri (majör iyon, kirlilik, ağır metal ve çevresel izotop) için örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Majör iyon, ağır metal ve kirlilik analizleri, DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Kimya Laboratuvarında, çevresel izotop analizleri (¹⁸O-D) ise Hacettepe Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarında yapılmıştır. İnceleme alanında yer alan su noktalarından hidrojeokimyasal amaçlı gerçekleştirilen ölçüm ve örnekleme (majör iyon, ağır metal, kirlilik analizleri) uluslararası standartlara (APHA ve ark., 1989) uygun olarak gerçekleştirilmiştir.
- Tez çalışmasının amaç ve hedeflerine ulaşmak amacıyla oluşturulan teknik yaklaşım sonucunda elde edilen tüm veriler, CKS için oluşturulan “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde değerlendirilmiştir. CKS'nin hidrodinamik yapısının ortaya çıkarılmasına yardımcı olacak arazi ve laboratuvar analizleri sonucu elde edilen veriler, grafikler (Piper, Schoeller, Dağılım) ve bilgisayar programları (PhreeqC) yardımı ile değerlendirilmiş ve CKS'de hüküm süren beslenme-boşalım ilişkisi

açısından yorumlanmıştır. Ayrıca, inceleme alanında yer alan yüzey ve yeraltılarının bölgesel ve yerel yapı içindeki işlevleri ve konumlarının, jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik veriler ışığında değerlendirilmesi sonucunda, CKS hidrojeolojik kavramsal modelini temel alan su kaynaklarından faydalanmaya ilişkin bir koruma-kullanım stratejisi önerilmiştir.

1.3. Tez Alanının Tanıtılması

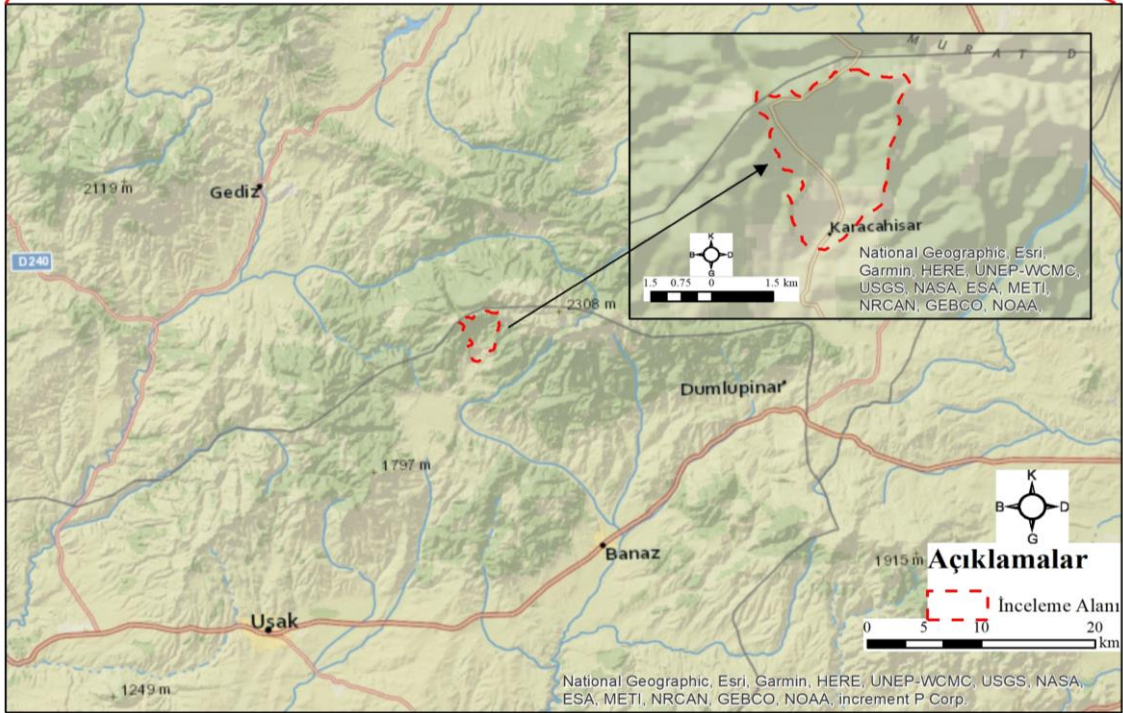
1.3.1. Konum ve Ulaşım

Çalışma alanı, Ege Bölgesi sınırları içinde yer almakta olup, Gediz Nehri Havzası beslenme alanında yer almaktadır. İnceleme alanı, Banaz (Uşak) ilçesi kuzeybatısında yer alan Karacahisar köyü kuzeydoğusunda yüzeylenen Jura yaşlı dolomitlerden boşalım sağlayan Çokrağan Karst Kaynağı yüzeysel drenaj alanını (10.7 km²) kapsamaktadır. 1/25.000 ölçekli K₂₃ (a₁, a₂, a₃, a₄) paftalarında yer alan çalışma alanı, Banaz ilçesine yaklaşık 32 km uzaklıkta olup, karayolu ile ulaşım sağlanmaktadır (Şekil 1.1).

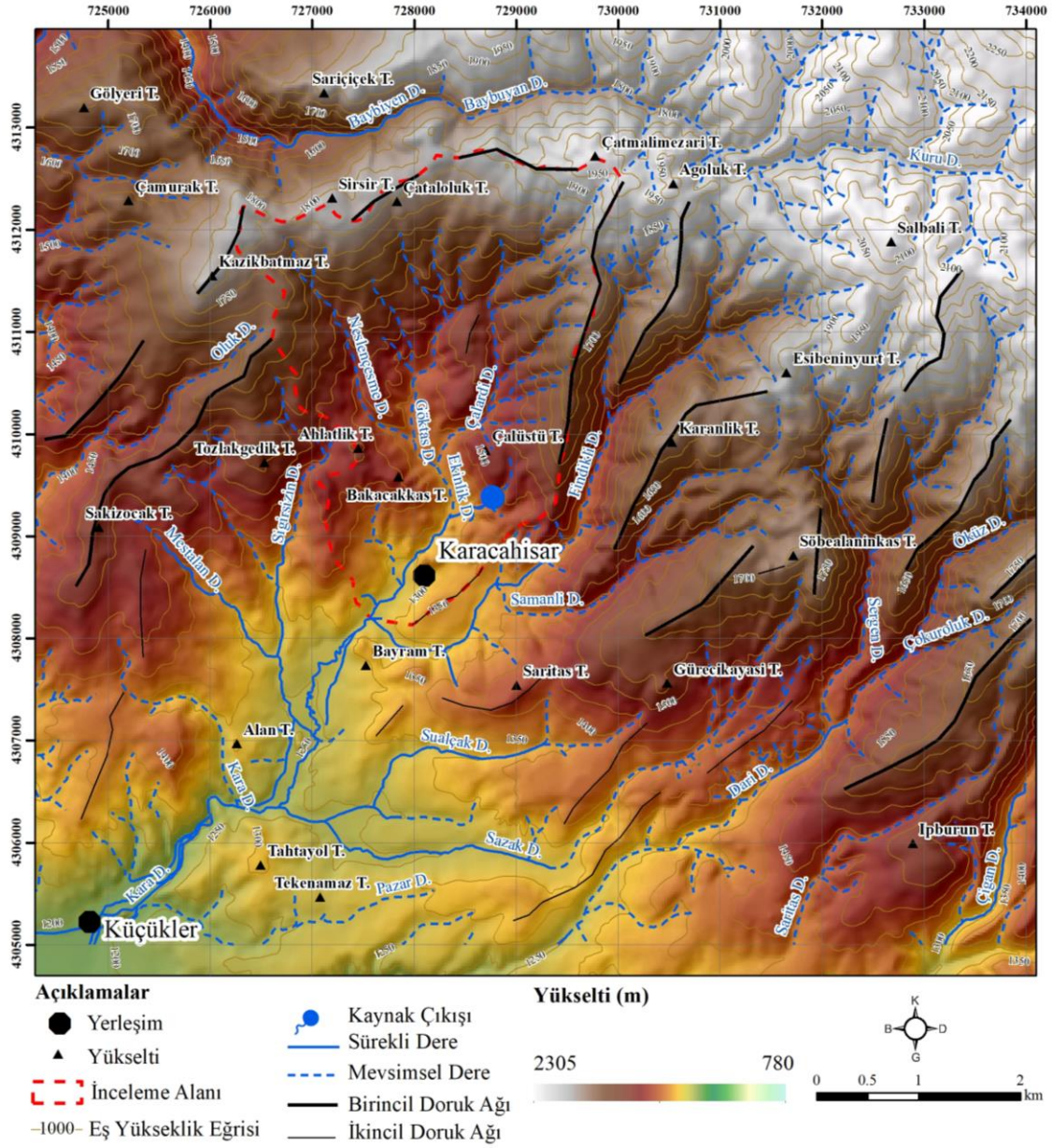
1.3.2. Doruk Ağı, Eğim ve Hidrografya

Çalışma alanında doruk sistemleri genellikle D-B doğrultusunda olup, bölgedeki en önemli yükseltileri; doğuda Çalüstü T. (2003 m), kuzeydoğuda Ağoluk T. (1971 m) ve Çatmalımezarı T. (1969 m), kuzeyde Çataloluk T. (1834 m) ve Şirşir T. (1828 m), kuzeybatıda Kazıkbatmaz T. (1857 m), batıda Ahlatlık T. (1502 m) ve Tozlağedik T. (1554 m) ve güneyde ise Bayram T. (1285 m) ve Sarıtaş T. (1437 m) oluşturmaktadır (Şekil 1.2). Çokrağan Karst Kaynağı, inceleme alanı içinde yer alan Çalüstü T.'nin güney-güneybatı eteklerinde ve yaklaşık 1374 m kotundan boşalım sağlamaktadır. Çalışma alanındaki doruk ağları genellikle kuzeydoğu-güneybatı uzanımlıdır (Şekil 1.2).

İnceleme alanında, kuzeyde yer alan Çatmalımezarı, Çataloluk ve Şirşir tepelerden itibaren güneye doğru genellikle mevsimsel akım gösteren dendritik (ağaçsı) drenaj ağı sistemleri gelişmiştir (Şekil 1.2). Çokrağan Karst Kaynağının boşalımıyla beslenen Ekinlik Deresi, CKS yüzeysel drenaj alanı içindeki sürekli akarsuyu oluşturmaktadır. Ayrıca, CKS'nin doğusunda Fındıklı D., kuzeyinde Baybuyan D. ve batısında ise Oluk ve Sığırsızın dereleri önemli akarsuları oluşturmaktadır.

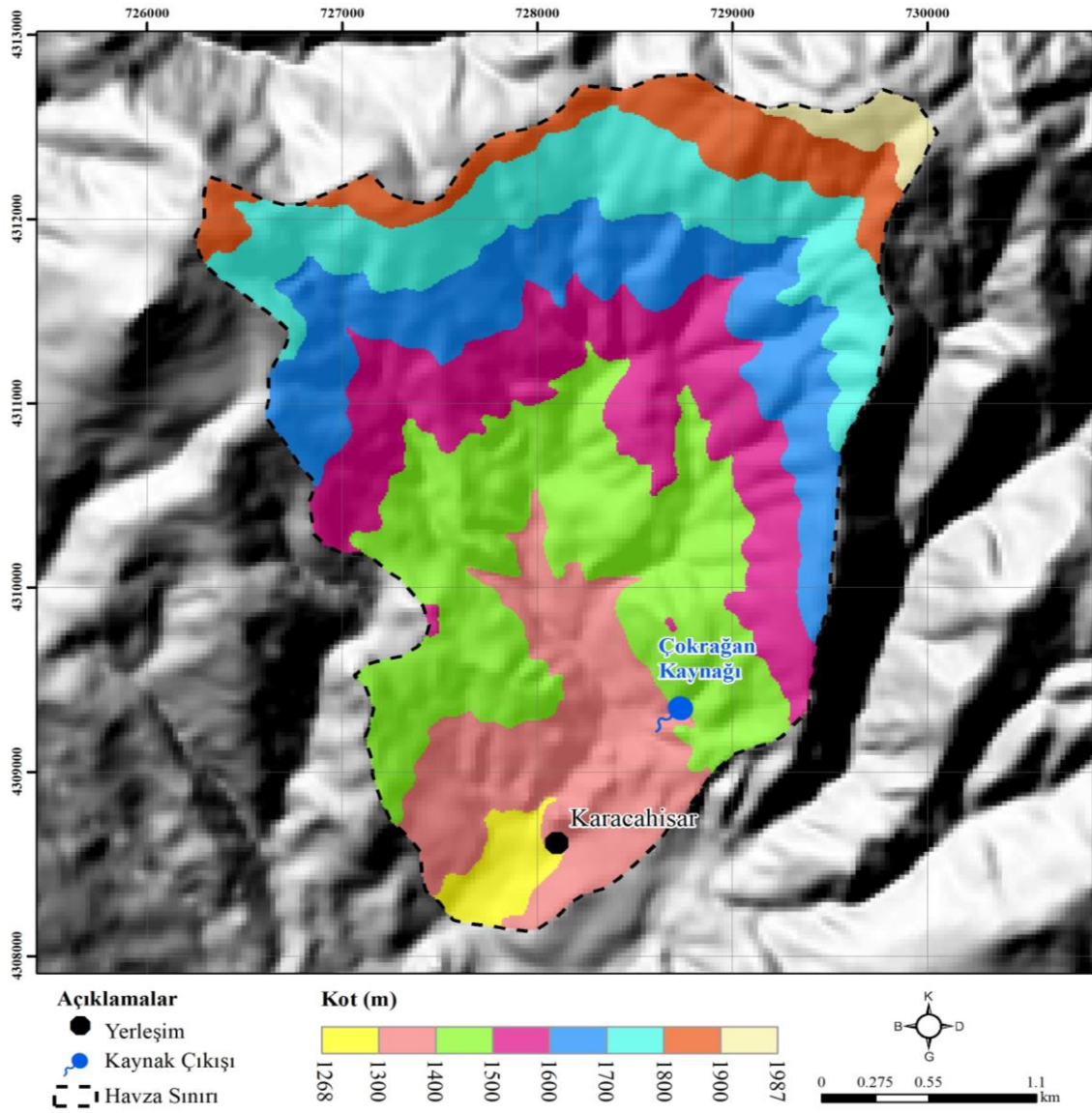


Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.

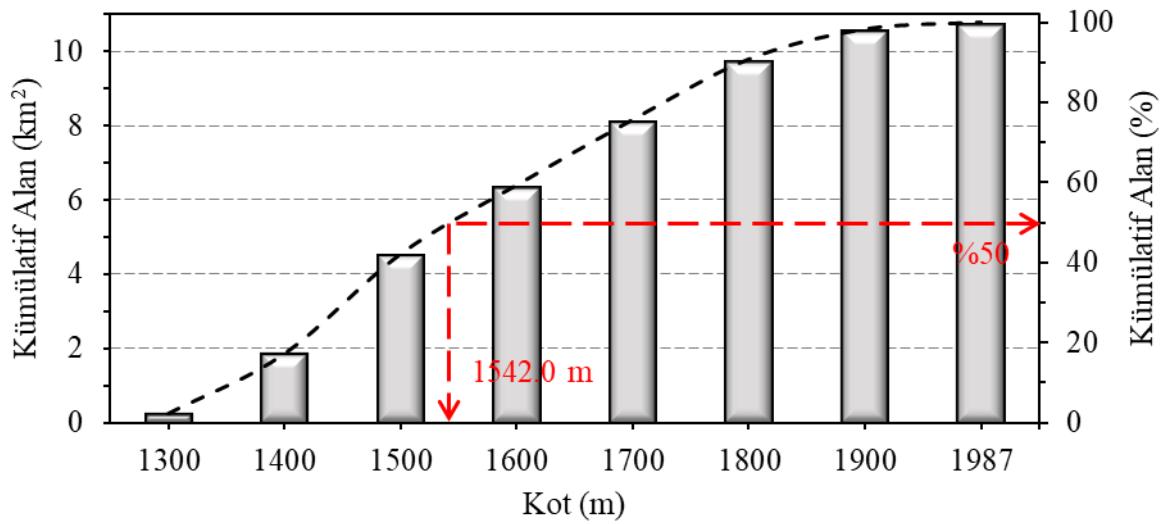


Şekil 1.2. İnceleme alanı doruk ve drenaj ağı haritası.

İnceleme alanının kot-alan ilişkisi ilgili oluşturulan harita ve grafik sırasıyla Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te verilmiştir. Buna göre, havzanın %2.2'si 1268-1300 m, %14.96'sı 1300-1400 m, %24.92'si 1400-1500 m, %17.20'si 1500-1600 m, %16.38'si 1600-1700 m, %15.11'i 1700-1800 m, %7.53'ü 1800-1900 m ve %1.68'i 1900 m'nin üzerinde bulunmaktadır. İnceleme alanın ortalama yükseltisi 1565.5 m olup, toplam alanın %50'si 1542 m kotundan daha düşüktür (Şekil 1.3, Şekil 1.4).



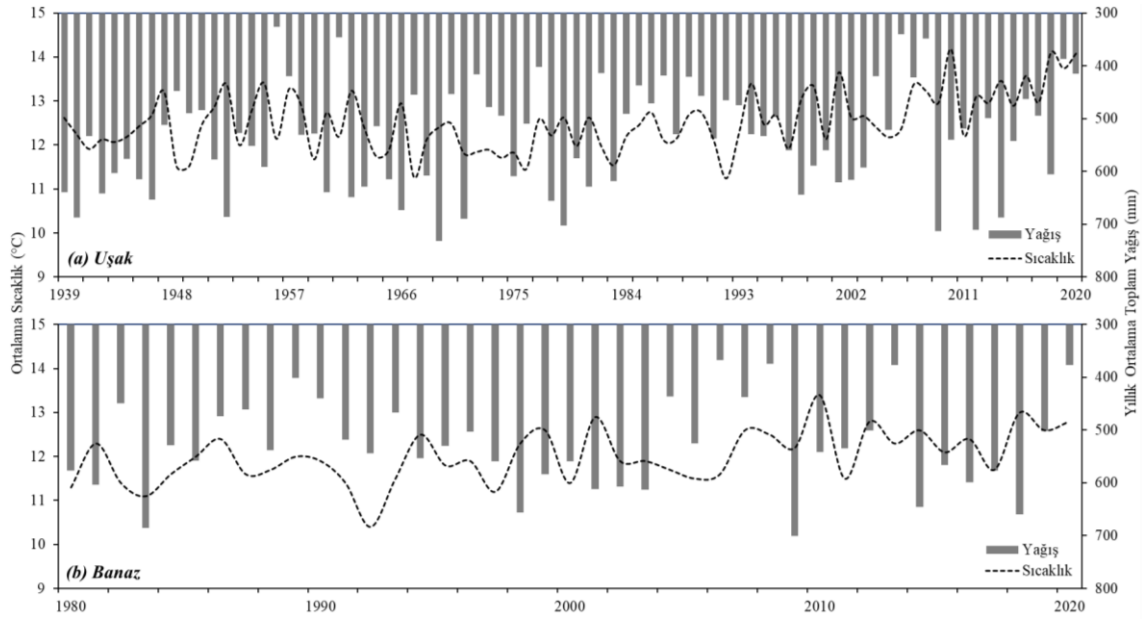
Şekil 1.3. İnceleme alanı kot-alan haritası.



Şekil 1.4. İnceleme alanı kot-alan ilişkisi.

1.3.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı ve dolaylı yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan denizel iklim ile karasal iklim arasında geçişe sahip olup, Aydeniz İklim Sınıflamasına göre “yarı kurak (kuraklık katsayısı 0.92)” iklim tipi ile temsil edilmektedir (MGM, 2022). İnceleme alanına yakınlığına bağlı olarak Uşak ve Banaz Meteoroloji Gözlem İstasyonları (MGİ) bu bölüm kapsamında değerlendirilmiştir. 1939-2020 yılları arasında Uşak MGİ’de kaydedilen en yüksek ve en düşük uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış miktarı sırası ile 80.0 mm (Aralık) ve 10.5 mm (Ağustos) olup, uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış miktarı 539.1 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.5, Çizelge 1.1).



Şekil 1.5. Uşak ve Banaz MGİ uzun yıllar ortalama toplam yağış ve ortalama sıcaklık grafiği.

Çizelge 1.1. Uşak ve Banaz MGİ uzun yıllar toplam yağış ve sıcaklık bilgisi.

Parametre		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Uşak MGİ	Yağış (mm)	Ortalama	71.7	64.1	57.8	49.3	48.9	28.3	14.3	10.5	16.8	40.4	57.1	80.0
		En küçük	1.6	5.8	8.8	0.1	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
		En yüksek	190.0	155.9	156.3	129.8	121.5	128.3	75.8	76.4	115.6	99.1	152.1	229.7
	Sıcaklık (°C)	Ortalama	2.3	3.3	6.1	10.9	15.6	20.0	23.4	23.5	19.2	13.7	8.3	4.2
		En küçük	-2.1	-1.7	1.5	6.1	12.5	17.7	20.7	19.7	16.0	10.5	4.5	-2.4
		En yüksek	6.3	8.2	10.4	16.1	18.6	22.5	25.9	27.0	23.2	16.6	12.3	7.3
Banaz MGİ	Yağış (mm)	Ortalama	66.4	45.1	50.9	46.5	55.6	35.4	16.1	15.1	17.7	44.8	57.3	72.3
		En küçük	4.5	10.5	6.7	1.6	14.8	1.8	0.2	1.8	0.1	2.0	0.6	8.3
		En yüksek	165.5	86.9	112.7	113.1	109.8	112.9	95.7	73.5	83.6	85.6	183.7	181.0
	Sıcaklık (°C)	Ortalama	2.1	3.0	6.1	10.6	15.0	19.2	22.6	22.7	18.4	13.1	7.4	3.7
		En küçük	-2.3	-1.7	1.2	5.6	12.4	16.9	19.7	19.3	16.6	10.6	4.2	-0.3
		En yüksek	5.5	7.4	9.8	15.0	17.2	21.3	24.6	25.7	21.6	16.1	11.6	6.6

İnceleme alanının güneyinde yer alan Banaz MGI'de gözlenen verilerden itibaren uzun yıllar (1980-2020) yıllık ortalama toplam yağış miktarı 530.4 mm olarak hesaplanmış olup, uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış miktarı en yüksek Aralık ayında 72.2 mm ve en düşük Ağustos ayında 16.8 mm olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1.5, Çizelge 1.1). Uşak ve Banaz MGI'de gözlenen uzun yıllar ortalama aylık en düşük sıcaklık sırası ile -2.4 °C (Aralık) ve -2.3 °C (Ocak) ve en yüksek 25.9 °C (Temmuz) ve 24.6 °C (Temmuz) olup uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise 12.5 °C ve 12.0 °C olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.5, Çizelge 1.1).

CKS ve yakın dolayının denizel iklim ile karasal iklim tipi arasında geçiş iklim tipine sahip olması bu bölgede kızılçam, karaçam, palamut, meşe ve ardıçlardan oluşan ormanlık alanlar oluşmasına olanak tanımıştır.

1.4. Önceki Çalışmalar

Jeolojik Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın dolayı ile ilgili jeolojik amaçlı çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Colin (1955), Murat Dağı bölgesinin doğusunda yaptığı çalışmada, ofiyolitik serinin Üst Jura-Alt Kretase veya daha yaşlı ve bu birimin üzerinde istiflenen çörtlü kireçtaşları ve radyolaritlerin ise Üst Kretase yaşlı olduğunu ifade etmiştir.

Mariko (1970), Murat Dağı'nın kuzey ve güney bölgesindeki antimuan ve civa yataklarının genel jeolojisini belirlemek amacıyla bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını oluşturmuş olup, kesitler ile birimlerin birbiriyle olan ilişkilerini ortaya koymuştur.

Bingöl (1977) tarafından yapılan "Murat Dağı Jeolojisi ve Ana Kayaç Birimlerinin Petrolojisi" başlıklı çalışmada temelde bulunan metamorfiklerin melanj içerisinde bulunduğunu, Çokrağan Kaynağının boşalım yaptığı dolomitlerin Orta-Üst Jura yaşlı olduğunu belirtmiştir.

Günay ve ark. (1986), Murat Dağı ve civarın jeolojisini, bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritaları ile enine kesitlerini hazırlayarak bölgede yüzlek veren birimlerin alt-üst dokanak ilişkilerini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, CKS akiferini oluşturan Jura yaşlı dolomitleri, Çiçeklikaya Formasyonu adı altında incelenmiştir. Tabanda dolomitik kireçtaşları ile başlayan formasyonun, üstte doğru ince dokulu, yer yer çört bantlı ve/veya şeyl, kum ara seviyeli rekristalize kireçtaşlarından oluştuğunu vurgulamıştır.

Öztürk (2001) tarafından yapılan “Yukarı Karacahisar-Çamsu (Banaz-Uşak) Yöresi Ofiyolitlerinde Platin Grubu Metallerin Dağılımı” konulu yüksek lisans tez çalışmasında bölgedeki birimler incelenerek, 1/25000 ölçekli jeolojik harita oluşturulmuştur. Üst Triyas-Jura yaşlı metakumtaşı ve metasilttaşlarından oluşan Aşağıbelova Formasyonu ile dolomitik kireçtaşı, kalsitik dolomit ve kristalize kireçtaşlarından meydana gelen Çiçeklikaya Formasyonunun yanal-düşey geçişli olduğunu ve bu formasyonların temel birimleri uyumsuzlukla örttüğünü belirtmiştir.

Aydoğan (2006), “Baklan Graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) Civarındaki Baz Metal Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi, Metal Zonlanması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası ile Saptanması” başlıklı doktora tez çalışmasında; inceleme alanında bulunan birimlerin litolojik özelliklerini, birbirleriyle olan ilişkilerini, cevherleşmeler ve bu cevherleşmelere neden olarak düşünülen granit sokulumunu ve bölgedeki kayalar ile ilişkisini yapısal ve jeokimyasal olarak ortaya koymuştur. Karacahisar Volkanitlerini mineralojik ve petrografik yapısını inceleyen araştırmacı, bu birime ait dasitlerin kuvars, plajiyoklaz, biyotit ve amfibol minerallerinden yapıldığını ifade etmiştir.

Şentürk (2017), “Banaz (Uşak) Neojen Havzasının Jeolojisi ve Kömür Potansiyeli” doktora tez çalışmasında, Neojen yaşlı birimlerin, diğer jeolojik birimlerle yanal ve düşey ilişkisini bölgedeki açılmış sondajlarla ortaya koymuştur. Araştırmacı, inceleme alanında temel birimi Menderes Masifine ait metamorfik kayaların oluşturduğunu ve bu istifin tabanda mika şist, fillit ve en üst seviyelerde ise kuvarsit ve mermerler ile temsil edildiğini belirtmektedir. Neojen sedimenter istifinin ise fluviyal, fluviyal-gösel ve gösel çökellerden oluşan transgressif özelliğinde olduğunu ifade etmiştir.

Çalışma alanını kapsayan “Banaz (Uşak) Havzasındaki Sedimanter Birimlerin Mineralojik Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında Aslan (2019), sedimanter birimlerin çökelim ortamları hakkında bilgiler ortaya koymuş ve Banaz Havzasının büyük bölümünde gözlenen Neojen istifin Uşak Havzasında gözlenen Neojen istif ile benzer stratigrafik özellikler gösterdiğini ifade etmiştir. Araştırmacı, Banaz Havzası KD-GB yönlü fay kontrollü olup, temelini Menderes Masifine ait metamorfik kayaların oluşturduğunu ve Banaz Havzasını dolduran Neojen istifin tabandan tavana doğru, egemen olarak akarsu, gölsel ve alüvyon yelpaze ortamında çökelmiş sedimanlardan meydana geldiğini belirtmiştir. Ayrıca, Neojenden daha yaşlı metamorfik, volkanik ve volkanosedimenter kayaların bozunma ürünlerinden oluşan kırıntılı malzemenin, inceleme alanı ve yakın dolayında su seviyesinin arttığı dönemlerde çökelim oluşturduğunu vurgulanmıştır. Çalışma alanında illit, smektit ve kaolinit gibi yaygın bulunan kil mineralleri tespit edilmiştir. Kalsit ve dolomitin en yaygın karbonat mineralleri olduğu ortaya koymuştur. Dolomit mineralinin varlığı, çökeltme ortamında bölge suyunun Mg bakımından giderek zenginleştiğini göstermekte olup, yarı kapalı ve kurak/yarı kurak çökeltme ortamını işaret ettiği ve kalsit mineralinin arttığı dönemlerde ortam tuzluluğunun çökeltim sırasında kısmen daha az olduğunu gösterdiği ifade etmiştir.

Hidrojeolojik Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın dolay ile ilgili hidrojeolojik amaçlı çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Uşak, Banaz ve Sivaslı Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu’nda (Koç ve ark., 1976) 1/100.000’lik jeoloji haritası oluşturulmuş ve jeofizik, hidrolojik, su kimyası ve pompa deneyleri ile ovaların su bütçesi ortaya konulmuştur. Çalışma alanında yeraltısuyu taşıyan formasyonların Kuvaterner yaşlı alüvyon, Neojen yaşlı karasal biriminin bloklu, çakıllı ve kumlu seviyeleri ile Miyosen yaşlı çakıltaşı, konglomera ve kireçtaşları olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönemlerde yeraltısulardan alınan örneklerin analiz sonuçları, bölgedeki yeraltısularının içme-kullanım ve sulama suyuna uygun olduğu göstermektedir.

Atkinson (1977), İngiltere'nin Mendip Hill bölgesinde yaptığı çalışmada kaynak hidrograflarından akifer parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili hesaplamalar yapmıştır. Araştırmacı, söz konusu karst akiferinde iletimlilik/depolama oranını $291100 \text{ m}^2/\text{gün}$ olarak hesaplamıştır. Ayrıca, kaynak hidrograf ve kemografları ile boya izleme deneyi sonucunda elde edilen bilgiler doğrultusunda yeraltısuyu akımının, kanal/yerel akım (conduit flow) ve kırık-çatlak/yaygın akım (diffuse flow) bileşenlerinden oluştuğu ifade edilmiştir.

Shevenell (1996) tarafından yapılan çalışmada akarsu ve kaynak akım ölçümleri ve kuyu seviyeleri kullanılarak hidrograf analizi yöntemi ile karstik akiferin hidrodinamik özellikleri belirlenmiştir. Çalışmada karstik akiferde bir çekilme döneminde 3 farklı çekilme katsayısı hesaplayarak, beslenme-depolama ilişkisinin sistemdeki kanal, kırık ve matristen kaynaklandığı ifade etmiştir.

Ekmekçi ve ark. (2003) tarafından Tacin (Bünyan – Kayseri) karst kaynağı boşalımından itibaren kaynak çekilme analiz yöntemiyle kaynağın hidrodinamik özellikleri ortaya konulmuştur. Araştırmacılar kaynak çekilme analizleri sonucunda, çekilme katsayısının farklı seviye-depolama koşulları altında değerlerin değiştiğini ve çekilme katsayısının $1.3 \times 10^{-3} \text{ gün}^{-1}$ ile $2 \times 10^{-2} \text{ gün}^{-1}$ değerler aldığını belirtmişlerdir. Kaynak çekilme eğimlerinin, Tacin karst akiferindeki yeraltısuyu seviye değişimine bağlı olarak farklı şekiller aldığını ve akiferin depolama-dolaşım koşullarının değiştiğini vurgulamışlardır.

Kovacs ve ark. (2005), karst akiferlerinin kaynak hidrograf analizleriyle tanımlanması konulu çalışmalarında, kaynak çekilme katsayısının akiferin geometrisi ve hidrolik parametreleriyle birlikte akifer içindeki kanal iletimlilik katsayısı ve kanal frekans sayısını temsil ettiğini vurgulamışlardır. Kanal iletimlilik katsayısı ve kanal frekans sayısı ile karstik akiferlerdeki akım rejimini iki gruba ayırmışlardır. Birinci grup, matriks kontrollü akım rejimi (matrix – restrained flow regime) olup, iletimlilik katsayısının düşük, frekans sayısının yüksek ve heterojenitenin düşük olduğu genç karstik sistemlerdeki (early karst system) yeraltısuyu akımını ifade etmektedir. İkinci grup akım rejimi ise kanal iletimlilik katsayısının yüksek, frekans sayısının düşük ve heterojenitenin oldukça yüksek olduğu olgun karstik akiferlerdeki (mature system) yeraltısuyu akımını

ifade etmekte olup, kanal etkili akım rejimi (conduit – influenced flow regime) olarak adlandırmaktadırlar.

Aydın (2005) tarafından hazırlanan “Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin (HBKS) Morfoloji-Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi” doktora tez çalışmasında morfoloji, jeoloji ve tektonizma gibi fiziksel parametreler ile yağış düzeni, beslenme, süzülme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özellikleriyle birlikte çalışma alanının hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur. Kaynak çekilme analizleri ve farklı yöntemlerle HBKS'nin hidrodinamik özellikleri ortaya konulmuştur. Ayrıca, hesaplanan kaynak çekilme katsayısının yüksek ($\sim 10^{-2}$ gün⁻¹) olmasının, yüksek iletimlilik katsayısı ve düşük depolama katsayısını, bunun tersi durumda nispeten düşük ($\sim 10^{-3}$ gün⁻¹) çekilme katsayısı ise düşük iletimlilik katsayısının ve yüksek depolama katsayısını ifade ettiğini vurgulanmıştır.

İnceleme alanında DSİ (2006) tarafından yapılan “Uşak İli İçme Suyu Projesi” kapsamında “Uşak Merkez-Yukarı Karacahisar Çokrağan Kaynağı ile Ayrancı Ovasının Hidrojeolojik Etüt” raporu hazırlanmıştır. Araştırmacılar, Çokrağan Kaynağı ile Fındıklı ve Ekinlik derelerinin 2002-2005 yılları arasındaki akımlarını kullanılarak akım analizi ve alınan su kimyası örneklerinin hidrojeokimyasal değerlendirmelerini gerçekleştirirken Çokrağan Kaynağının 2002-2005 yılları arası aylık ortalama akım değerleri ile de kaynak çekilme analizi gerçekleştirmişleridir. Çalışmada, Çokrağan Kaynağının 2002, 2003 ve 2004 yılları kaynak çekilme analizinde kaynak çekilme katsayısı sırası ile 1.1×10^{-4} gün⁻¹, 8×10^{-3} gün⁻¹ ve 1×10^{-4} gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Çokrağan Kaynağı, düzensiz veya dengesiz akım rejiminde olup, tamamen yağışlarla beslendiği ve kaynak boşalmalarının akifer rezervuar hacmine göre çok fazla olduğu vurgulanmıştır. Çokrağan Kaynağı, Fındıklı Deresi ve Ekinlik Deresinin ortalama baz akımları sırası ile 300 l/s, 30 l/s ve 10 l/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Çokrağan Kaynağından boşalan suların içme-kullanım suyu standartlarına uygun olduğu ifade edilmiştir.

Baykara (2007) tarafından yapılan “Çokrağan-Yukarı Karacahisar (Banaz–Uşak) Karstik Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tez çalışmasında, DSİ 2. Bölge Müdürlüğü'nün 2002-2007 yıllarında karstik kaynaktan ölçülen debi değerlerine kaynak çekilme analizi uygulamış ve akiferin ortalama toplam rezervi 12.5×10^6 m³/yıl

ve ortalama çekilme katsayısı 0.0102 gün^{-1} olarak hesaplamıştır. İlgili çalışmada, tek çekilme dönemi belirlenerek, dogrusal tek hazne model yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada, incelenen karst akiferinde beslenme-boşalım ilişkisi net bir şekilde ortaya konmamıştır. Araştırmacı karst kaynağından boşalan suların Ca-Mg-SO₄-HCO₃ fasiyesinde olduğunu belirtmektedir.

Posavec ve ark. (2010), karstik kaynak boşalmalarında ardışık çekilme dönemlerini bir bütün olarak veya akım-süreklilik (flow-duration curve) indisi ile kırılma dönemlerini dikkate alarak, Maillet (1905) eşitliğini temel alan MRC (Master Recession Curve) metodu için Visual Basic tabanlı algoritma geliştirmişlerdir. Hırvatistan'ın Istria bölgesindeki 1994-2006 yılları arasındaki Bulaz Kaynağının debi ölçümlerine göre 3 adet akım-süreklilik indisi olduğunu ve çekilme katsayılarının sırasıyla 0.2422 gün^{-1} , 0.1794 gün^{-1} ve 0.0408 gün^{-1} olduğunu hesaplamışlardır.

Açıkel (2012) tarafından hazırlanan “Gökova-Azmacık (Muğla) Karst Kaynaklarında Akım ve Tuzlu Su Karışımı Dinamiğinin Kavramsal Modellenmesi” konulu doktora tezinde kaynaklara ait hidrolojik, hidrojeolojik, hidrokimyasal, izotopik ve hidrodinamik davranışlarından itibaren kıyı karst sistemine ait kavramsal model oluşturulmuş, karst akiferinin hidrodinamik özellikleri belirlenmiş ve bu akiferde tuzlu su karışımı dinamiği hakkında değerlendirilmeler yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, Azmacık kaynaklarındaki boşalım miktarını belirlemek ve karst sistemini tanımlamak amacıyla 2006-2011 yılları arasında uygun görülen Azmacık kaynağına ve DSİ (42346) kuyusuna otomatik ölçüm alan cihazların verileri değerlendirilmiştir. Bu verilerle yapılan kaynak çekilme analizlerinde $0.0022-0.013 \text{ gün}^{-1}$ arasında çekilme katsayı değerleri hesaplanmıştır.

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

2.1. Statigrafik Yapı

İnceleme alanının hidrojeolojik kavramsal modeline altlık oluşturacak jeolojik yapı, Colin (1955), Mariko (1970), Bingöl (1977), Günay ve ark. (1988), Öztürk (2001) ve Baykara (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan derlenmiştir.

İnceleme alanının temelinde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Baybuyan Formasyonu (PzMz) ile Arıkaya Formasyonu (PzMzm) yer alırken, bu birimler üzerine uyumsuzlukla Triyas-Alt Jura yaşlı Aşağıbelova Formasyonu (Mts) ve Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu (Jdl) gelmektedir. Ters faylanma sonucu bölgeye yerleşen Üst Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı'nın (Kom) üstünde, Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu (Tms) ile Karacahisar Volkanitleri (Tmv) yer almaktadır. Kuvaterner yaşlı Eski Alüvyon ve Alüvyon bölgedeki tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. İnceleme alanının jeoloji haritası ve stratigrafisi istifi sırasıyla Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmektedir.

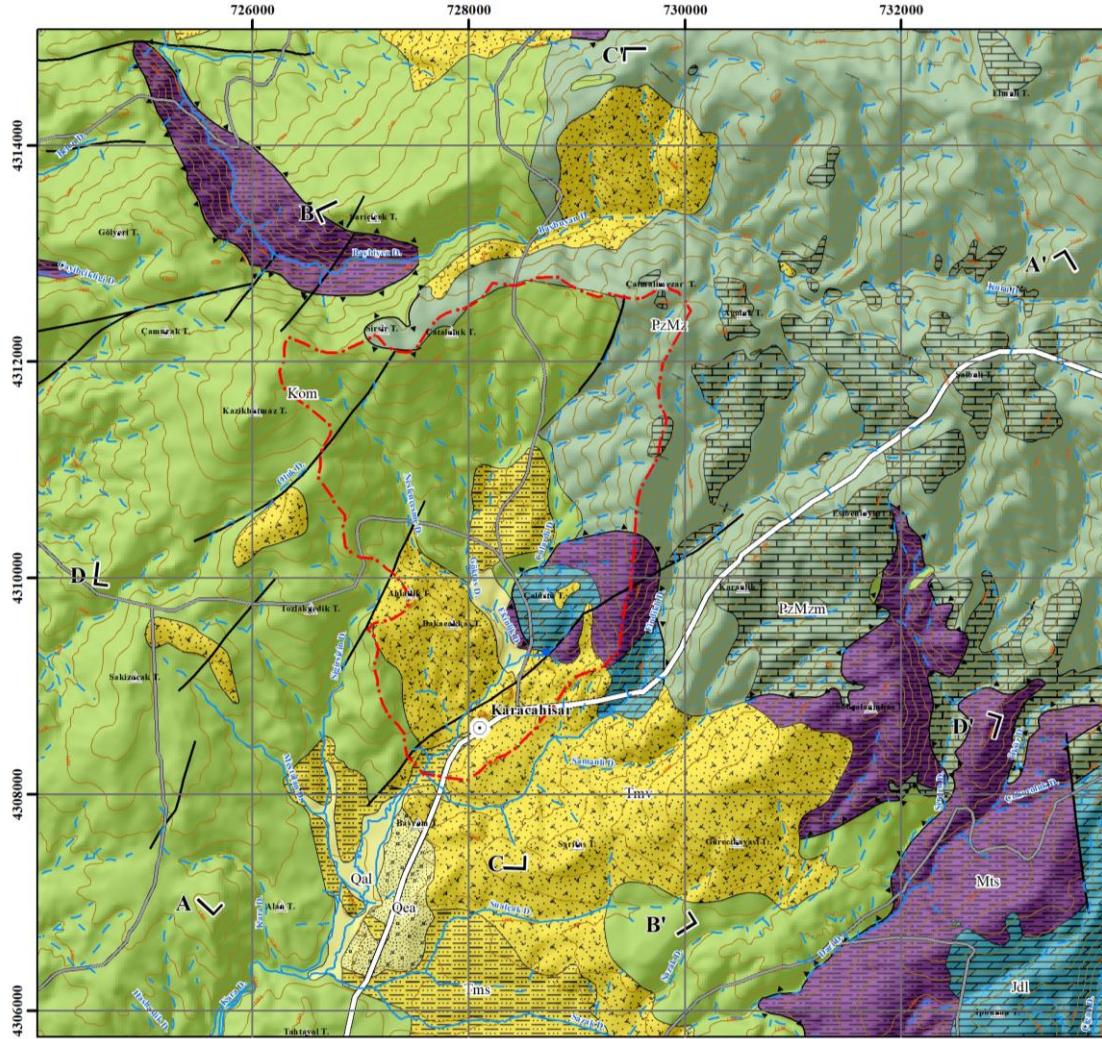
2.1.1. Baybuyan Formasyonu (PzMz)

Kahverengimsi, sarımsı ve morumsu yeşil renkli şist, kuvarşist, kuvarsit ve fillit ara seviyeli muskovitlerden oluşan Baybuyan Formasyonu adını inceleme alanının kuzeyinde yer alan Baybuyan Deresi'nden almıştır (Günay ve ark. 1986). Baybuyan Formasyonu inceleme alanının kuzeyinde Şirşir Tepe, Çatmalımezarı Tepe ve Elmalı Tepe arasında kalan bölge ile doğuda Öküz Dere'nin kuzeyinde ve Fındıklı Dere'nin memba bölgesinde geniş alanlarda yayılım göstermektedir (Şekil 2.1).

Kıvrımlı bir yapı sergileyen birimin üst seviyelere geçişi mermer ve kuvarsit arakatkılı, genelde yeşil renkli şistlerden meydana gelmiştir. Kuvarsitler sarımsı, kahverengimsi, kırmızımsı, yeşilimsi renkte olup, şistlere göre daha dayanıklıdır (Öztürk, 2001).

Baybuyan Formasyonu'nda yaygın olarak bulunan muskovitşistlerinde hâkim mineral levhamsı muskovitlerdir. Muskovitşistler, şist ve orta taneli yapıları ile belirgin özellikleri bulunmaktadır. Birim içinde muskovitin yoğunlaştığı seviyeler soluk sarı

renkli klorit-muskovitist ve kuvars-muskovitistler ile temsil edilmektedir (Öztürk, 2001).



İşaretler

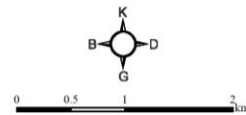
- Yerleşim Yeri
- ▲ Yüksek Nokta
- Kaynak Çıkışı
- L C - C' Kesit Doğrultusu
- ✦ Senkinal
- | Doğrultu - Eğim
- Fay
- ▲ Bindirme Fayı
- Ana Yol
- Tali Yol
- - - Mevsimsel Akarsu
- Sürekli Akarsu
- - - İnceleme Alanı
- Eş Yükselti Eğrisi

Harita Birimlerin Korelasyonu

Kuvaterner	Qal	Qea
	Uyumsuzluk	
Orta-Üst Miyosen	Tmv	Fms
	Uyumsuzluk	
Üst Kretase	Kom	
	Bindirme Fayı	
Jura	Jdl	
Triyas-Alt Jura	Mts	
	Uyumsuzluk	
Paleozoyik-Mezozoyik	PzMzm	PzMz

Harita Birimlerin Açıklaması

Qal	Alüvyon
Qea	Eski Alüvyon
Tmv	Karacahisar Volkanitleri; Andezit, tüf, riolit
Fms	Yeniköy Formasyonu; Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı
Kom	Muratdağı Melanj; Melanj
Jdl	Çiçeklikaya Formasyonu; Dolomitik kireçtaşı
Mts	Aşağıbelova Formasyonu; Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı
PzMzm	Arıkaya Formasyonu; Mermer
PzMz	Baybuyan Formasyonu; Metamorfik



Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütler Dairesi Başkanlığı haritalarından (Colin, 1955; Mariko, 1970; Bingöl, 1977; Günay ve ark., 1986) ve Öztürk (2001) ile Baykara (2007)'den derlenmiştir.

Şekil 2.1. İnceleme alanının jeoloji haritası (Colin (1955), Mariko (1970), Bingöl (1977), Günay ve ark. (1986), Öztürk (2001) ve Baykara (2007)'den derlenmiştir).

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Alüvyon	Qal		Çakıl, kum, kil	
			Eski Alüvyon	Qea		Çakıl, kum, silt, kil	
	Tersiyer	Orta - Üst Miyosen	Karacahisar Volkanitleri	Tmv		—UYUMSUZLUK—	Andezit, tuf, riylit
			Yeniköy Formasyonu	Tms		—UYUMSUZLUK—	Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı
MESOZOYİK		Üst	Muratdağı Melanjı	Kom		Melanj	
	Jura		Çiçeklikaya Formasyonu	Jdl		Dolomit	
	Triyas-Alt Jura		Aşağıbelova Formasyonu	Mts		Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	
			Arıkaya Formasyonu	PzMzm		Mermer	
PALEOZOYİK			Baybuyan Formasyonu	PzMz		Metamorfik	

Şekil 2.2. İnceleme alanının dikme kesiti (Colin (1955), Mariko (1970), Bingöl (1977) ve Öztürk (2001)'den derlenmiştir).

Birim in yaşı Colin (1955)'de Devoniyen, Akdeniz ve Konak (1979)'da Üst Paleozoyik-Alt Triyas ve Günay ve ark. (1986), Akkuş (1962) ve Kaya (1972)'de ise Paleozoyik olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada, birimin yaşı Paleozoyik-Mezozoyik olarak kabul edilmiştir.

2.1.2. Arıkaya Formasyonu (PzMzm)

Beyaz grimsi ve pembe renkli mermerler ve kristalize kireçtaşlarından oluşan formasyon, ilk olarak Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Arıkaya Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Arıkaya Formasyonu inceleme alanının kuzeyinde Ağoluk Tepe'si ve doğusunda ise Karanlık Tepe ile Esibeninyurt Tepe arasında yüzeylenmektedir (Şekil 2.1, Foto 2.1).



Foto 2.1. Arıkaya Formasyonu (a: büyük ölçek; b: küçük ölçek).

Formasyon, sarımsı gri, kirli gri, gri ve yer yer pembemsi renkte olup, oldukça çatlaklı ve laminalı kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kırık-çatlak sistemleri boyunca kalsit dolgusu gözlenen formasyon içerisinde yer yer süt kuvarsit yer yer de demirli kuvars damarları bulunmakta olup, bazen grafitli seviyeler gözlenebilmektedir (Öztürk, 2001).

Öztürk (2001) tarafından yapılan petrografik çalışmalarda, kayacın neomorfizma sonucunda kristallenerek ilksel dokusunu kaybettiği ve kristalize kireçtaşı haline geldiği belirtilmiştir.

Arıkaya Formasyonunun alt sınırı, Baybuyan Formasyonu ile düşey ve yanal geçişli olup, üst sınırı ise Aşağıbelova Formasyonu ile açılı uyumsuzdur (Şekil 2.2).

Arıkaya Formasyonunun yaşı Colin (1955)'de Permo-Karbonifer, Kalafatçıoğlu (1962, 1964)'te Permien ve Günay ve ark. (1986)'da ise Paleozoyik olarak belirtilmiş olup, bu çalışmada birimin yaşı Paleozoyik-Mesozoyik kabul edilmiştir.

Günay ve ark. (1986)'ya göre, Arıkaya Formasyonun Menderes masif metamorfiklerinin en üst seviyelerini oluşturan ve masifi çevreleyen mermerlere karşılık gelmektedir.

2.1.3. Aşağıbelova Formasyonu (Mts)

Aşağıbelova Formasyonu, düşük dereceli metamorfizma geçirmiş sarımsı, kahverengimsi yeşil renkli çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı birimlerinden oluşmakta olup, ilk olarak Bingöl (1977) tarafından tanımlanmıştır. Emet-Kütahya civarında Akdeniz ve Konak (1979) ile inceleme alanı ve yakın dolayında Günay ve ark. (1988) tarafından yapılan çalışmalarda birim, Kırkbudak Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanının içinde Çokrağan Kaynağı yakın dolayında yüzeylenen Aşağıbelova Formasyonu, çalışma alanının kuzeybatısında Baybiyen Deresi, doğusunda ise Sökealanınkas Tepe'si civarında geniş alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 2.1).

Çalışma alanında kirli sarı ve kahve renk tonları ile belirgin Aşağıbelova Formasyonu, kısmi metamorfizmaya uğramış çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı aralanmasından oluşmaktadır (Aydoğan, 2006).

Öztürk (2001), birim içinde yer alan kumtaşlarında; %51-62 kuvars, %15-20 karbonat, %10-20 serisit, %2-7 muskovit, %3-5 klorit, %2 plajiyoklas, %1 sfen ve %1 opak minerallerin bulunduğunu belirtilmektedir. Ayrıca, kumtaşları içerisinde karbonat ve serisitlerden oluşan bağlayıcı malzeme ve bu malzeme içerisinde ksenomorf yapıya sahip iri kuvars kristalleri gözlenmektedir.

Formasyonun tabanında, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Arıkaya Formasyonu açısız uyumsuzluk ile yer alırken tavanında ise Çiçeklikaya Formasyonu geçişli olarak yer almaktadır (Şekil 2.2).

Bingöl (1977) tarafından gerçekleştirilen Rb/Sr izotop analiz sonuçları, Aşağıbelova Formasyonunun Üst Jura-Alt Kretase (126.5±11 milyon yıl) yaşlı olduğunu göstermektedir. Ancak, araştırmacı bu yaşı, formasyonun metamorfizma ve kıvrımlanma yaşını ifade ettiğini belirtmiştir. Akdeniz ve Konak (1979)'da formasyon içerisinde yer alan kireçtaşı mercekleri arasında bulunan fosillere dayanarak, birimin yaşı Üst Triyas-Liyas olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada birimin yaşı Triyas-Alt Jura olarak kabul edilmiştir.

Aşağıbelova Formasyonu çökelme ortamı hakkında, Günay ve ark. (1986) birimin tabandaki birimler ile açısız uyumsuz olmasından dolayı yavaş gelişen transgresyon süreçleri ile ilişkilendirirken, tavanda yer alan dolomitik kireçtaşları ile yanal geçiş göstermesi nedeniyle sığ karbonat platformu ile kıyı ortamı arasında kalan bölgede çökeldiğini belirtmektedir.

2.1.4. Çiçeklikaya Formasyonu (Jdl)

İnceleme alanı ve yakın dolayında bazı bölgelerde masif bazı bölgelerde ise tabakalı ve laminalı bir yapı ile temsil edilen Çiçeklikaya Formasyonu, beyaz, grimsi-mavi renkli kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmakta olup, bol kırıklı-çatlaklı ve karstik boşlukludur. İlk olarak “Çiçeklikaya Kireçtaşı” olarak Bingöl (1977) tarafından adlandırılan birim inceleme alanında Çokrağan Kaynağının kuzeyinde Çalüstü Tepe ve doğusunda İpburun Tepe dolaylarında yüzlek vermektedir (Şekil 2.1, Foto 2.2).

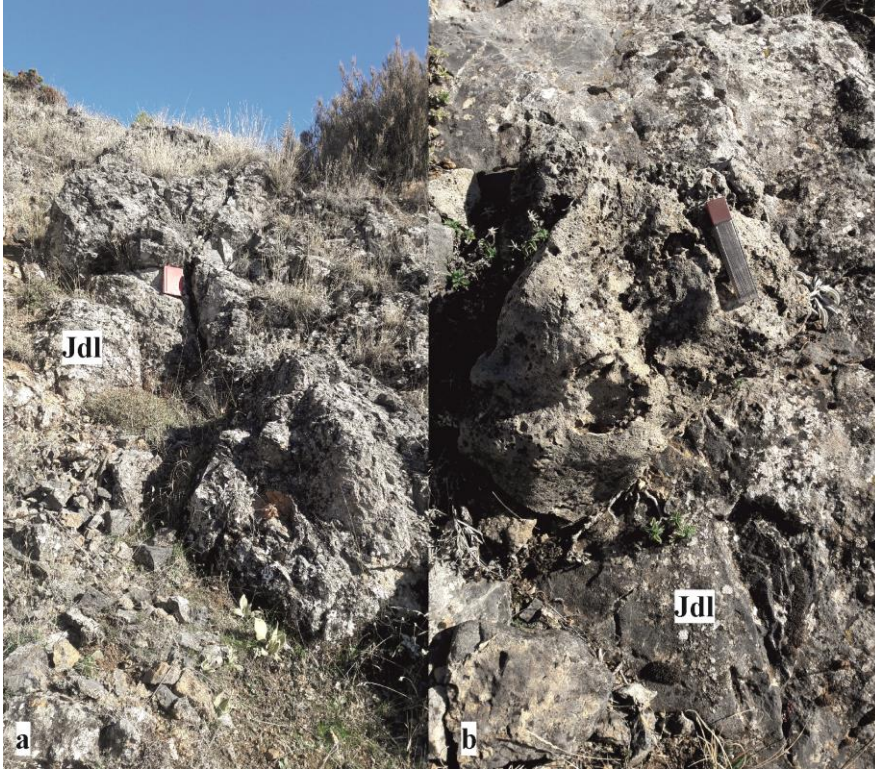


Foto 2.2. Çiçeklikaya Formasyonu yüzlek fotoğrafı (a: büyük ölçek; b: küçük ölçek).

Çiçeklikaya Formasyonu, tabandan merceksi breşik bir seviyeyle başlayıp tavana doğru artan kil oranı ile beyaz, sarı, koyu gri ve siyah renkte olup, genelde masif kireçtaşlarına geçmektedir (Öztürk,2001). Öztürk (2001)'in çalışmasında alınan örneklerin ince kesitlerinde, kristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı tespit edilmiş olup, kristalize kireçtaşlarının tamamen ilksel dokularını kaybederek kristalleştikleri ve tamamına yakınının kalsit kristallerinden oluştuğu belirtilmiştir.

Çiçeklikaya Formasyonu tabanda Aşağıbelova Formasyonu ile yanal geçişli iken tavanda ise Muratdağı Melanjı ile tektonik dokanaklıdır (Şekil 2.2).

Çiçeklikaya Formasyonunun yaşı içerdiği fosil içeriğine göre Bingöl (1977) Orta-Üst Jura ve Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Üst Triyas-Maestrihtiyen olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, Çiçeklikaya Formasyonu yaşı Jura olarak kabul edilmiştir.

Wilson (1975), Çiçeklikaya Formasyonunun tabanındaki koyu renkli dolomitlerin ve birim içinde şeyl-kum arakatlı kalın tabakalı kireçtaşlarının varlığı nedeni ile, bu

birimin açık platform veya karbonat düzlüğünde çökeldiğini belirtmektedir. Ancak, Günay ve ark. (1986)'da üst seviyelerdeki çörtün bolluğunun iki nedenden dolayı oluşabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar ilk varsayımlarında, radyolaryaların varlığından dolayı çört çökeli mi gelişebileceğini vurgularlarken ikinci varsayımlarında ise açık deniz ortamına geçişle de çört oluşmuş olabileceğini işaret etmektedirler.

2.1.5. Muratdağı Melanjı (Kom)

İlk defa Bingöl (1977) tarafından adlandırılan Muratdağı Melanjı, yeşil, yeşilimsi-siyah, siyahımsı gri renkli ve masif yapıli serpantinit ve peridotlerden oluşmaktadır. İnceleme alanının kuzeybatısında Gölyeri Tepe, Sarıçiçek Tepe ve Çamurak Tepe, güneybatısında Tahtayol Tepe ve kuzeydoğusunda ise Sazak Dere dolaylarında geniş alanlarda yayılım göstermektedir (Şekil 2.1).

Muratdağı Melanjı genellikle serpantinit, dunit ve granat-amfibolitlerden meydana gelmektedir. Dunitler yeşilimsi-siyah, siyah renkli, holokristalin dokulu ve masif yapılidir. Dunitler, %92 olivin, %1 karbonat, %5 otopiroksen ve %2 opak minerallerinden oluşmaktadır. Muratdağı Melanjı'nda yaygın olarak bulunan serpantinitlerde hakim mineral serpantinittir. Serpantinitler, yeşilden-siyaha kadar değişik renklere sahip olup, masif yapılarıyla belirgin olan bu kayaçlar yoğun serpantinleşmeden ötürü yağımsı bir özellik göstermektedir. Çok az alanda gözlenen granat-amfibolitler, koyu yeşil-siyahımsı renkli, nematoblastik dokulu ve masif yapılidir. Granat-amfibolitler, %65 amfibol (hornblend), %15 granat (pirop/almandin), %5 epidot, %4 piroksen (relikt/kalıntı), %3 zoisit/klinozoisit, %3 sfen, %2 plajiyoklas, %2 kuvars ve %1 apatit minerallerinden oluşmuştur (Öztürk, 2001).

İnceleme alanında Muratdağı Melanjı, tabandaki birimler ile tektonik ilişkili olup, tavanda yer alan Yeniköy Formasyonu ile uyumsuzdur (Şekil 2.2).

Önceki çalışmalarda Muratdağı Melanjı'nın yaşı, Üst Kretase (Akkuş, 1962; Kalafatçıoğlu, 1962:1964), Üst Jura-Alt Kretase (Colin, 1955), Senomaniyen-Paleosen (Bingöl, 1977) ve Üst Kretase (Maestrihtiyen)-Palosen (Günay ve ark., 1986) olarak belirtilmekte olup, bu çalışmada birimin yaşı Üst Kretase olarak kabul edilmiştir.

Günay ve ark. (1986), Muratdağı Melanjı'nın inceleme alanına kuzeyden allohton olarak geldiğini vurgulanmaktadır.

2.1.6. Yeniköy Formasyonu (Tms)

Formasyon, sarımsı grimsi krem renkli çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmakta olup, ilk olarak Ercan ve ark. (1978) tarafından Uşak civarında gerçekleştirilen çalışmalarında Yeniköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim, Çokrağan Kaynağının kuzeyinde Gökteş Deresi civarında küçük alanlarda yüzlek verirken, inceleme alanının güney-güneybatı sınırında yer alan Sazak Dere dolaylarında geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil 2.1).

Formasyon altta kireçtaşı, şist ve çoğunlukla ultramafik çakıllarının oluşturduğu kaba klastiklerle başlamakta olup, merceksi ve ardalanma olarak üste doğru sıkı tutturulmuş, sarımsı, grimsi ve krem renkli kumtaşı, kumlu kiltası, killi kumtaşı ve kiltaları ile devam etmektedir. Konglomera seviyelerinde gözlenen serpantin çakılları, genelde iyi yuvarlaklaşmış ve kötü boylanmıştır (Öztürk, 2001).

Öztürk (2001), Yeniköy Formasyonu'nda alınan örneklerin ince kesit analizlerinde birimin %35'inin kayaç parçalarından ve %65'inin ise bağlayıcı malzemedan oluştuğunu belirtmektedir. Kayaç parçacıklarının, %25'i serpantin, %5'i kuvars, %2'si kalsit, %2'si biyotit, %1'i opak mineralleriyken, bunlar arasındaki bağlayıcı malzeme ise mikrit ve kilden oluşmaktadır (Öztürk, 2001).

Tabanda yer alan Muratdağı Melanjı'nı uyumsuz olarak örten Yeniköy Formasyonu bölgedeki volkanizmanın etkisi ile oluşan Karacahisar Volkanitleri ile yanal geçişli ve tavanda ise Eski Alüvyon ve Alüvyon birimleri ile uyumsuzlukla örtülmektedir (Şekil 2.2).

Yeniköy Formasyonunun içerdiği fosil içeriğine göre Ercan ve ark. (1978) ile Günay ve ark. (1986), birimin yaşının Orta-Üst Miyosen olduğunu belirtmektedirler. Bu çalışmada Yeniköy Formasyonu yaşı Orta-Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.

Günay ve ark. (1986), formasyonda gözlemlenen çökeltme yapıları ile bulunan canlı kırıntılara göre, birimin alt seviyelerinin örgülü menderesli nehir ortamında, üst seviyelerinin ise delta ve göl ortamında çökeldiğini belirtmektedirler.

2.1.7. Karacahisar Volkanitleri (Tmv)

İlk defa Bingöl (1977) tarafından “Karacahisar Volkanitleri” olarak adlandırılan birim gri, pembe renkli porfirik dokulu andezit ve riyolitlerden ve beyaz, gri renkli tüflerden oluşmaktadır. Birim, inceleme alanının kuzeybatısında Ahlatlık Tepe ve güneydoğusunda Sarıtaş Tepe ile Gürcikayası Tepe arasındaki alanda yüzlek vermektedir (Şekil 2.1, Foto 2.3).

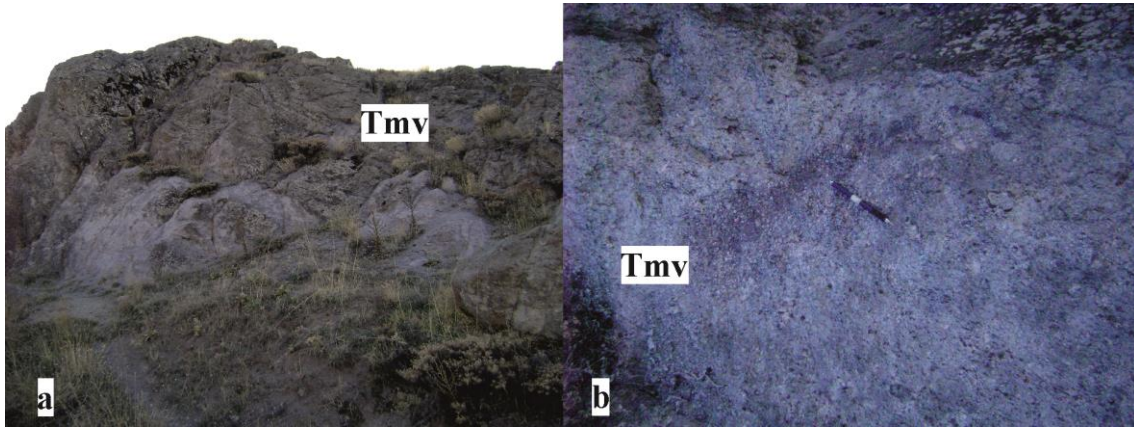


Foto 2.3. Karacahisar Volkanitleri (a: büyük ölçek; b: küçük ölçek).

Karacahisar Volkanitleri içerisindeki riyolitler, kloritleşme ve epidotlaşmaların yoğun olduğu yerlerde yeşilimsi-gri renklere sahip olup, porfirik dokularıyla karakteristik özellik göstermektedir. Bu birimlerin riyodasit ve plajiyodasit olmak üzere iki farklı kayaktan oluştuğu Öztürk (2001) tarafından belirtilmektedir. Yüksek gözenekliliğe sahip tüflerde kuvars, biyotit, amfibol ve plajiyoklas kristalleri belirgin olup, plajiyodasitik ve riyolitik bileşimde olduğu gözlenmektedir (Öztürk, 2001).

Bölgedeki volkanizma ile oluşan Karacahisar Volkanitleri, Yeniköy Formasyonu ile yanal geçişli olup, Eski Alüvyon ve Alüvyon birimleri, Karacahisar Volkanitleri ile Yeniköy Formasyonu'nu uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 2.2).

Karacahisar Volkanitleri'nin yaşı Bingöl (1977)'de Orta-Üst Miyosen olarak belirtilirken, Ercan ve ark. (1978) ise bölgede iki farklı evrede gerçekleşen volkanik faaliyetin söz konusu olduğunu; ilk volkanik faaliyetin Orta Miyosen yaşlı ve ikinci aktivitenin ise Üst Miyosen yaşlı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yapılan denetim sonuçları ile alt-üst sınır ilişkisine bağlı olarak birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir.

2.1.8. Eski Alüvyon (Qea) ve Alüvyon (Qal)

İnceleme alanı ve yakın dolayında yüzeyleyen eski alüvyonlar genellikle gevşek tutturulmamış, mor-kızıl renkli ve masif ya da kalın tabakalı karasal kırıntılarında oluşmaktadır. Çalışma alanının güneyindeki Bayram Tepe'nin güneyinde yüzeylemektedir. Güncel akarsular tarafından oluşturulan alüvyonlar ise tutturulmamış, kırmızımsı, yeşilimsi, kahverengimsi ve gri-bej renkli çakıl, kum ve kil boyutundaki sediman birimlerden meydana gelmektedir. Çalüstü Tepe'nin batısında ve çalışma alanının güneyindeki Bayram Tepe'nin batısında konumlanmış akarsu yatağının çevresinde gözlenebilmektedir (Şekil 2.1).

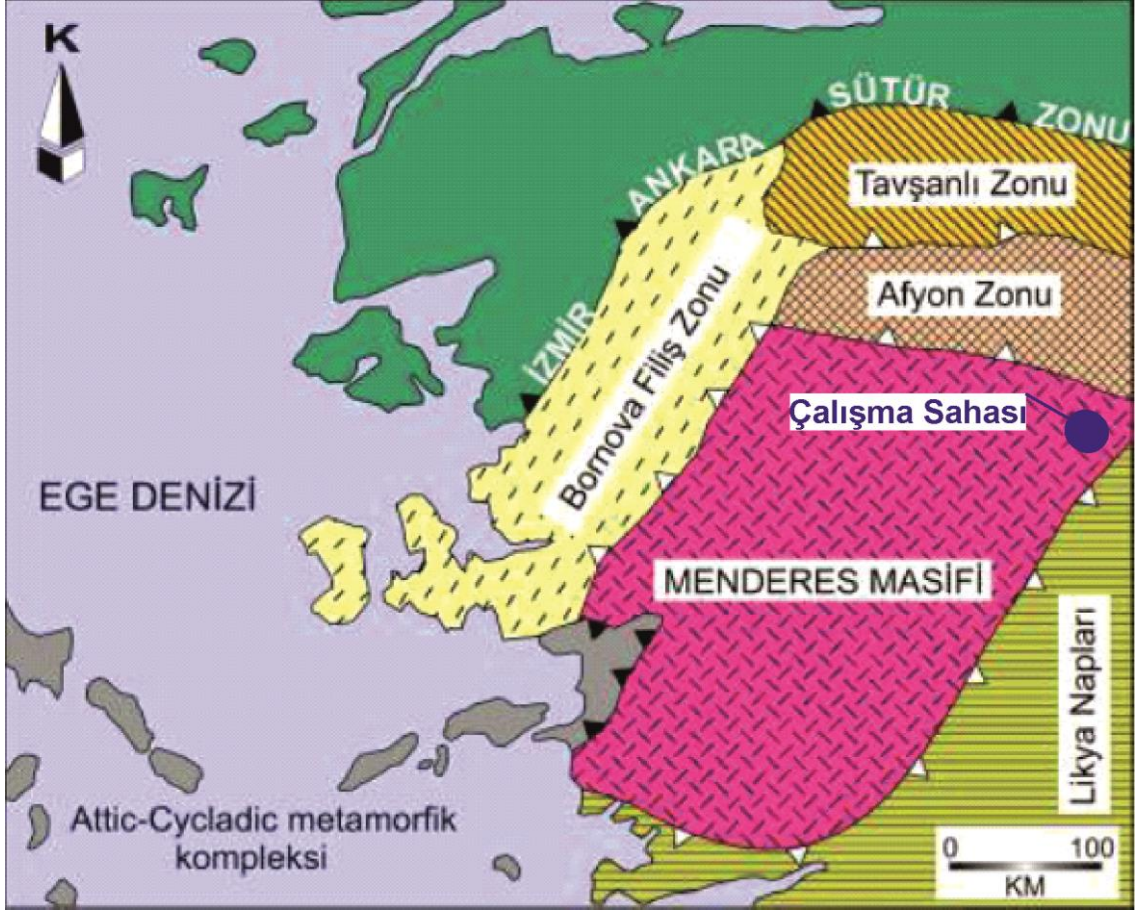
2.2. Jeolojik Evrim

İnceleme alanının içerisinde bulunduğu batı Anadolu'da geçmiş yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar (Schuling, 1962; Graciansky, 1966; Basarır, 1970; Brinkmann, 1971; Basarır, 1975; Dürr, 1975; Dora, 1981; Öztürk ve Koçyigit, 1983; Sengör ve ark., 1984; Satır ve Friedrichsen, 1986; Konak ve ark., 1987; Reischmann ve ark., 1991; Dora ve ark., 1995; Dora ve ark., 2001) Menderes Masifi'nin yaklaşık 40000 km²'lik alanda yer alan elipsoidal şekilli metamorfik masif olduğu ortaya konulmuştur (Bozkurt, 2001). Şiddetli metamorfizmaya uğramış Paleozoyik veya daha yaşlı (Prekambriyen?) temel kayalar ile Menderes Masifi'nin polimetamorfik kor kompleksi, Alpin metamorfizmasından etkilenmiş olan Mesozoyik metasedimanter kayalar etrafında yer almaktadır (Şekil 2.3). Ayrıca, Menderes Masifi, Alpin-Himalaya Orojenik Kuşağı'nın Türkiye kısmı içerisinde Anatolid Tektonik Ünitesinin batı kesimini şekillendirmekte (Ketin, 1966; Erendil, 2003) ve aktif D-B, KD-GB gidişli horst-graben yapıları tarafından güney, merkez ve kuzey olmak üzere 3 alt masife bölünmektedir (Okay, 2001). Menderes Masifi, tektonik olarak güneyde Likya Napları (Graciansky, 1972; Collins ve Robertson, 1997; 1998; 1999;

2003), KD'da Afyon Zonu, KB'da Bornova Filiş Zonu, B'da Attic-Cyladic Metamorfik Kompleksi tarafından tektonik olarak üzerine gelmektedir.

Çalışma alanında gözlenebilen en yaşlı birim, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı düşük dereceli şistlerden oluşan Baybuyan Formasyonu ve mermerlerden meydana gelen Arıkaya Formasyonu'dur. Önceki verilere dayanılarak, Baybuyan Formasyonu regresif karakterli bir platform ortamında çökelmiş, pelitik ve psammitik (kumlu) kırıntılılar ve kireçtaşlarının yesilşist fasiyesinde metamorfizmaya uğraması ile oluşmuştur (Günay ve ark., 1986). Bununla birlikte, Baybuyan Formasyonu üzerinde uyumsuzlukla örten Triyas yaşlı çökeller aynı metamorfizma ve deformasyon izlerini taşımaktadır. Buna bağlı olarak, metamorfizmanın yaşı Triyas öncesi olarak kabul edilebilir. Eksik verilere rağmen, platform ortamı Pan-Afrikan temel üzerinde yer almaktadır (Günay ve ark., 1986).

Murat Dağı ve civarı muhtemelen Paleozoyik sonunda kara haline dönüşmüştür. Triyas başlarında çalışma alanının kuzeyinde bulunan denizde, güneye doğru gelişen bir transgresyon sonucu inceleme alanı Üst Triyas'ta bahsi geçen denizin etkisinde kalmıştır. Transgresyon, Triyas-Jura boyunca devam etmiş, kıta şelfi üzerinde karbonatlardan oluşan inceleme alanı dışında yer alan Şaphane Dağı Kireçtaşları ve çalışma alanındaki Çiçeklikaya Formasyonu çökelmiştir. Şaphane Dağı Kireçtaşları ve Çiçeklikaya Formasyonu'nun yanal ve düşey geçişli olması ile gözlenen fasiyes değişimleri platformu kaplayan denizin kısmen derinleştiğine işaret etmektedir. Çiçeklikaya Formasyonu'nun yer yer çört kapsamı ortamın gel-git alanından, platforma dönüştüğünü göstermektedir (Günay ve ark., 1986).



Şekil 2.3. Menderes Masifi'nin basitleştirilmiş tektonik haritası (Okay (2001)'den değiştirilerek alınmıştır).

Tavşanlı-Simav civarında saptanan platform fasiyesinde, Alt-Üst Kretase çökelleri (Akdeniz ve Konak, 1979), inceleme alanında gözlenmemektedir. Fakat, derin deniz fasiyesini işaret eden Üst Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı, inceleme alanındaki Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu'nu tektonik olarak üzerlemektedir.

İnceleme alanında allokton olarak yer alan Muratdağı Melanjı'na ait çökel kayaları, çalışma alanının kuzeyinde İzmir-Ankara-Erzincan Sütür Zonu boyunca gelişen bir okyanusta oluşmuştur. Maastrichtiyen sonunda gelişen volkanizma ürünleri ve okyanusal kabuk malzemesi bu çökellerle karışarak tektonik bir karmaşık oluşturmuşlar ve inceleme alanına itilmişlerdir. Tektonik karmaşığın inceleme alanına yerleşmesi, Paleosen öncesi olup, Muratdağı Melanjı'nın ortama yerleşirken şiddetli deformasyona uğramıştır ve üzerine yerleştiği birimleri de etkilemiştir. Bu deformasyon, metamorfik kayalarda retrograd (gerileyici) metamorfizmaya neden olmuştur (Günay ve ark., 1986).

Bölge Miyosen zamanında yeniden sıkışmaya başlamış ve Batı Anadolu'da önemli kırılmalara neden olmuştur. Muratdağı Bölgesi'nin sarp bir topografya görünümüne sahip olması bahsi geçen kırıklar ile açıklanmaktadır. Yeniköy Formasyonu'nu oluşturan göl çökelleri, bölgedeki çöküntü alanlarında tatlı su çanakları şeklinde göller oluşturmuştur.

Bölgesel yükselimin şiddetli olduğu Alt-Orta Miyosen'de sarp topoğrafyanın aşınması sonucu özellikle kaba kırıntılar birikmiştir. Sıkışmanın sürekliliği ile birlikte kabuk kalınlaşması ürünü olan Karacahisar Volkanikleri bu kırıklar boyunca yükselerek, Yeniköy Formasyonu'na ait olan çökeller ile yanal geçişli olarak istiflenmiştir. Pliyosen sonunda ise bölgedeki göllerin tamamı kapanmış ve Kuvaterner döneminde bugünkü morfolojisini kazanan inceleme alanı güncel akarsuların kontrolü altına girmiştir (Günay ve ark., 1986).

2.3. Çizgisel Unsurlar

Faylar, kırık-çatlak sistemleri, antiklinal ve senklinal eksenleri gibi çizgisel unsurlar, karstik akiferlerde beslenme alanının, olası yeraltısuyu hareket yönünün ve boşalım noktalarının belirlenmesi için önemli bir araçtır (Milanovic, 1981; Kurttaş, 1997; Koyuncu, 2003). Aynı doğrultuya sahip çöküntü yapıları (dolin, polye, uvala vb.), faylar, antiklinal ve senklinal eksenleri gibi yapısal ve tektonik süreksizlikler, akarsu yataklarındaki ani yön değişimleri, uçurum ve kanyonlar ile bitki örtüsündeki süreksizlikler çizgisel unsurların belirleme çalışmalarında belirleyici rol oynamaktadır (Kurttaş, 1997; Koyuncu, 2003). Ayrıca, karstik sistemlerin yüzey morfolojisini oluşturan çöküntü yapılarının (dolin, polye, uvala vb.) uzun eksenleri, muhtemel yeraltı drenaj yapısını temsil etmektedir (Worthington, 1999; Aydın 2005).

Murat Dağı bölgesindeki metamorfik kayaların jeolojik yapıları, çizgisel unsur bakımından çok karmaşık yapıya sahiptir.

Çalışma alanının temelinde yer alan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Baybuyan Formasyonu ile Arıkaya Formasyonu üzerine Triyas-Alt Jura yaşlı Aşağıbelova Formasyonu ile Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu açılı uyumsuzlukla istiflenmişlerdir. Üst Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı üzerine Orta-Alt Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu uyumsuzlukla

gelmektedir. Kuvaterner yaşlı Eski Alüvyon ve Alüvyon birimleri diğer tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir.

İnceleme alanında en önemli çizgisel unsur, Muratdağı Melanjı'na ait bindirme fayıdır. Çukuroluk Deresi'nde Aşağıbelova Formasyonu ile Çiçeklikaya Formasyonu arasında, Tozlağedik Tepe ve Çamurak Tepe çevresindeki Muratdağı Melanjı içerisinde fay yapıları bulunmaktadır. Bununla birlikte arazi çalışmaları sürecinde inceleme alanında Çokrağan Kaynağı boşalım noktasını GB (Ekinlik Dere)-KD (Fındıklı Dere) doğrultusu boyunca kesen olası bir normal fay gözlenmektedir (Bkz. Şekil 2.1).

Öztürk (2001), inceleme alanı ve çevresinde yapmış olduğu tabaka doğrultu ve eğim ölçümlerini yapı-kontur diyagramlarına göre; Baybuyan Formasyonu ve Arıkaya Formasyonunun kıvrım eksenini konumu K9B/2KB, Aşağıbelova Formasyonu ve Arıkaya Formasyonunun kıvrım eksenini konumu K45B/5KB olarak hesaplamıştır.

2.4. Sınır Koşulları

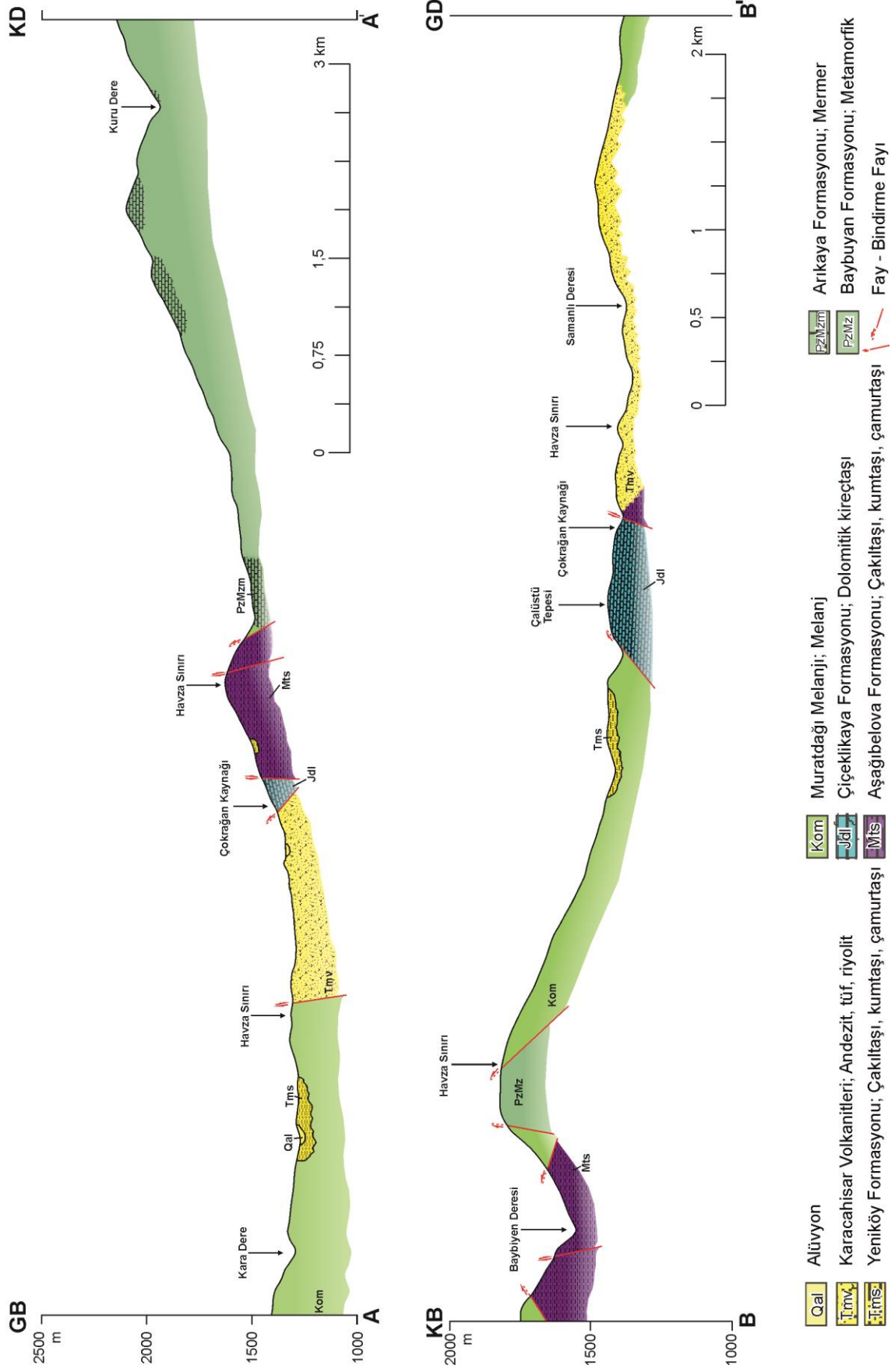
İnceleme alanının yüzeysel drenaj alanını, kuzeyde D-B doğrultulu Çatmalımezari Tepe (1969 m), Çataloluk Tepe (1834 m), Şişir Tepe (1828 m), batıda K-G doğrultulu Kazıkbatmaz Tepe (1857 m), Tozlağedik Tepe, (1554 m), Ahlatlık Tepe (1502 m), doğuda K-G doğrultulu 1500-1950 m'lik yükseltiler ile sınırlı olup, güneyden Ekinlik Dere ile boşalım yapmaktadır (Bkz. Bölüm 1.3.2).

İnceleme alanının hidrojeolojik kavramsal modelini kurgulamak amacıyla A-A', B-B', C-C' ve D-D' kesitleri alınmıştır (Şekil 2.4, Şekil 2.5). A-A' kesiti, GB-KD doğrultulu olup, temelinde Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Baybuyan Formasyonu (PzMz) ile Arıkaya Formasyonu (PzMzm) yer alırken bu birimler üzerine uyumsuzlukla Triyas-Alt Jura yaşlı Aşağıbelova Formasyonu (Mts) ve Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu (Jdl) gelmektedir.

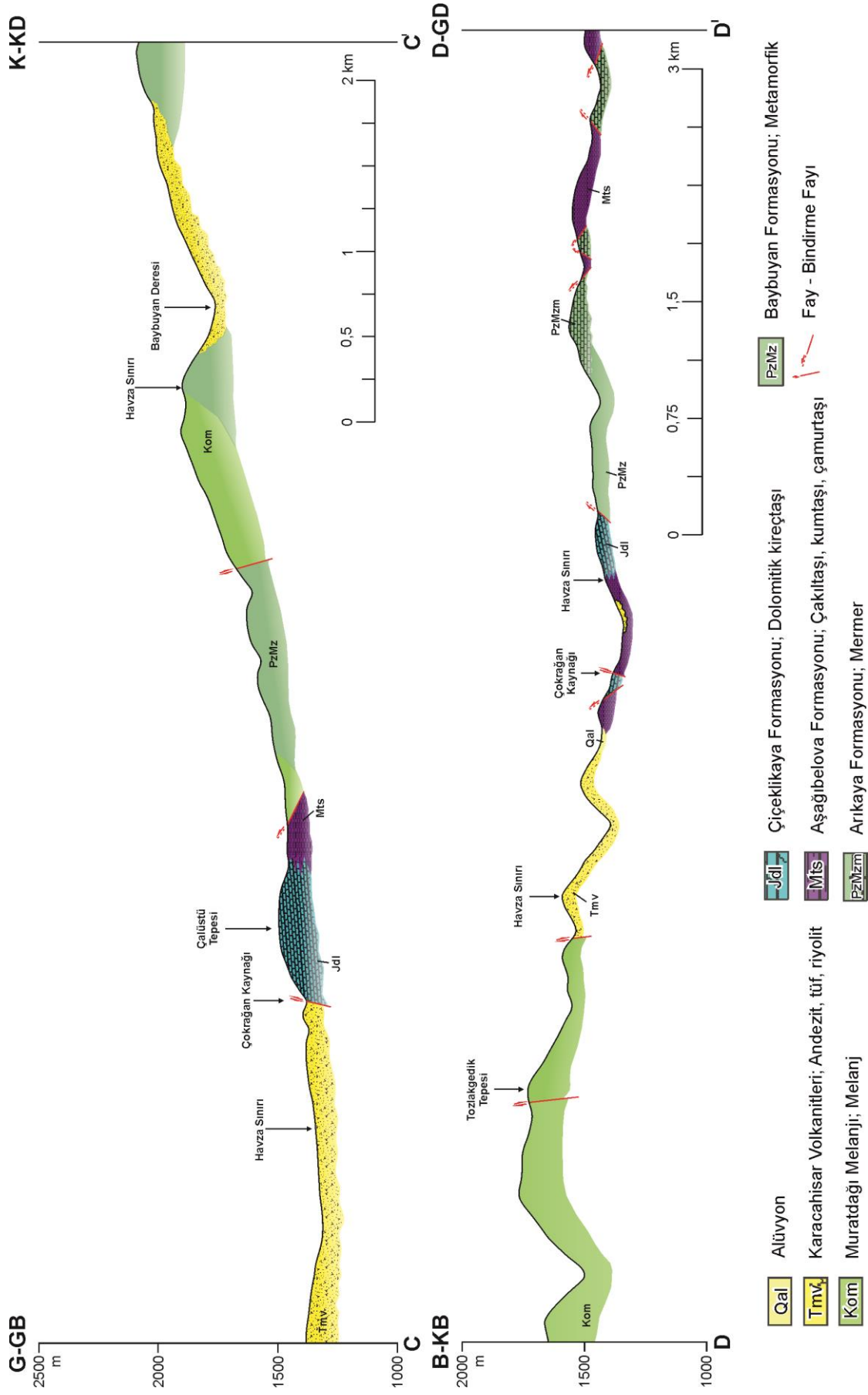
Bu birimler kendi aralarında yanal geçişli olarak istiflenmiştir. Ters faylanma sonucu bölgeye yerleşen Üst Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı'nın (Kom) üstünde, Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu (Tms) ile Karacahisar Volkanitleri (Tmv) yer almaktadır. Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimleri tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir

(Şekil 2.4). B-B', C-C' ve D-D' kesitleri sırasıyla inceleme alınımı kesecek şekilde KB-GD, G-GB-K-KD ve B-KB-D-GD doğrultusunda olup, en alt Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Baybuyan Formasyonu (PzMz) üzerine uyumsuzlukla Triyas-Alt Jura yaşlı Aşağıbelova Formasyonu (Mts) ve Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu (Jdl) gelmektedir. Üst Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı (Kom) ters faylanma ile bu birimler üzerine istiflenmiştir. Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu (Tms) ile Karacahisar Volkanitleri (Tmv) tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir (Şekil 2.4, Şekil 2.5).

CKS'yi oluşturan Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu, batı, doğu ve kuzeyinde yanal geçişli olarak Aşağıbelova Formasyonu ve güneyde ise Karacahisar Volkanitleri ile sınırlanırken tabanda ise Baybuyan Formasyonu(?) ile sınırlanmaktadır. Jeolojik kesitler ve arazi gözlemleri sonucunda Çiçeklikaya Formasyonu'nun kalınlığı 40-155 m arasında değişmekte olup, ortalama kalınlığı yaklaşık 105 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.4. İnceleme alanındaki A-A' ve B-B' kesitleri.



Şekil 2.5. İnceleme alanındaki C-C' ve D-D' kesitleri.

3. HİDROLOJİ

3.1. Drenaj Alanı

İnceleme alanı Gediz Nehri Havzası'nın doğusunda yer almakta olup, doğuda Çalüstü T. (2003 m), kuzeydoğuda Ağoluk T. (1971 m) ve Çatmalımezarı T. (1969 m), kuzeyde Çataloluk T. (1834 m) ve Şirşir T. (1828 m), kuzeybatıda Kazıkbatmaz T. (1857 m), batıda Ahlatlık T. (1502 m) ve Tozlakgedik T. (1554 m) ve güneyde ise Bayram T. (1285 m) ve Sarıtaş T. (1437 m) ile sınırlanmaktadır (Bkz. Şekil 1.2). İnceleme alanının yüzeysel drenaj alanı; 1/25.000 ölçekli K₂₃ (a₁, a₂, a₃, a₄) topoğrafik paftasında yer alan doruk ağı ve akarsu rejimleri ile arazi çalışmaları sürecinde yerinde yapılan gözlemler dikkate alınarak sayısal ortamda elde edilmiştir (Şekil 3.1). CKS yüzeysel drenaj alanı 10.7 km² hesaplanmıştır.

3.2. Su Noktaları

3.2.1. Akarsular

İnceleme alanında yoğun drenaj sistemi gelişmesine rağmen, yağış ve kar erimelerine bağlı akış gözlemlenen mevsimsel akarsular bulunmaktadır. Fındıklı Dere, Ekinlik Dere ve Kara Dere inceleme alanındaki en önemli akarsulardır. Çokrağan Kaynağı'nın yaklaşık 1 km doğusunda Fındıklı Deresi bulunmaktadır. Fındıklı Deresi'nde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından 2004-2018 yılları arasında belli aralıklarla ölçülen akım verilerine göre bu derenin ortalama debisi 0.045 m³/s hesaplanmıştır.

Ekinlik Deresi, Karacahisar köyünün yaklaşık 800 m kuzeyinde yer almaktadır. Ekinlik Deresi'nde 2004-2014 yılları arasında DSİ tarafından belli aralıklarla ölçülen akım verilerine göre ortalama debisi 0.044 m³/s'dir. DSİ tarafından işletilen Akım Gözlem İstasyonunda (AGİ) 1989-2004 yılları arasında belli aralıklarla ölçülen akım verilerine göre ortalama debisi 0.256 m³/s hesaplanan Kara Dere, Küçükler köyünün yaklaşık 600 m kuzeydoğusunda yer almakta olup, Çokrağan Kaynağı, Ekinlik, Fındıklı ve Sazak dereleri tarafından beslemektedir (Şekil 3.1).

3.2.3. Kaynaklar

İnceleme alanı ve yakın dolayında Alt-Orta Miyosen yaşlı Karacahisar Volkanitlerinde (KRD), Üst Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı'ndan (GYK), Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Arıkaya (AGO, FDN) ve Baybuyan Formasyonlarından (EKC) düşük debili (1-2 lt/s) kaynaklar boşalmakta olup, Karacahisar köyünün yaklaşık 1 km kuzeydoğusunda yer alan Çokrağan Kaynağı ise kaptaj alanı içinde iki farklı noktadan (CKR1, CKR2) Jura yaşlı dolomitlerden (Çiçeklikaya Formasyonu) boşalım yapmaktadır (Çizelge 3.1). Çokrağan Kaynağı, Uşak ilinin içme suyunu karşılayan en önemli su kaynağıdır (Şekil 3.1). 2002-2021 yılları arasında DSİ tarafından gerçekleştirilen aylık debi gözlemlerinden itibaren Çokrağan Kaynağı'nın ortalama debisi $0.351 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmış olup, en düşük ve en yüksek debi değerleri sırası ile $0.078 \text{ m}^3/\text{s}$ ile $1.490 \text{ m}^3/\text{s}$ arasında değişmektedir. Sarıkız Kaynağı (CKS), Çokrağan Kaynağı kaptaj alanı içinde Çiçeklikaya ve Aşağıbelova formasyonları dokanağında yaklaşık 1-2 lt/s debi ile boşalım sağlamaktadır.

Çizelge 3.1. İnceleme alanında yer alan su noktalarına ait bilgiler.

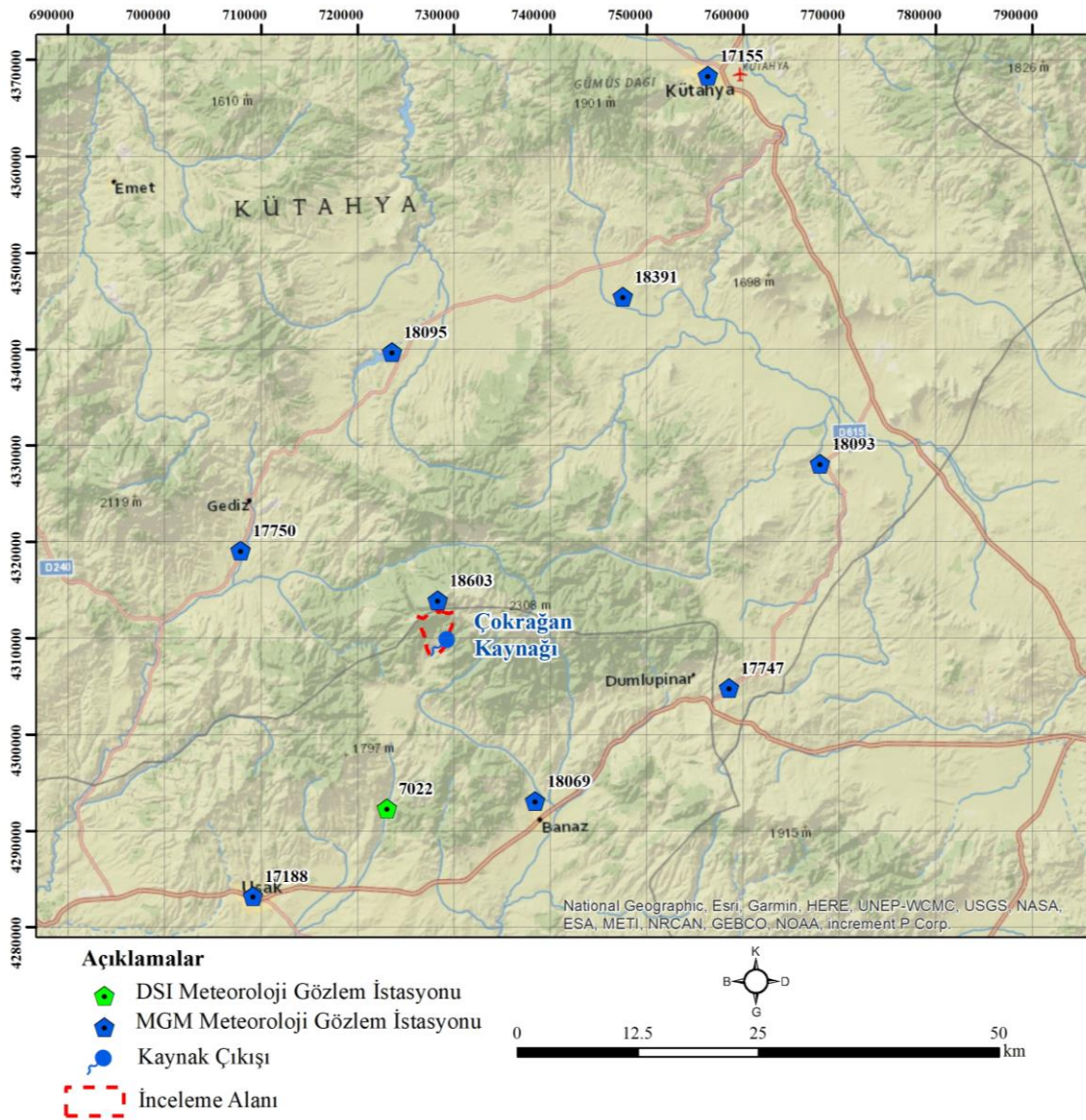
Kod	Koordinat		Kaynak Adı	Formasyon
	Doğu (m)	Kuzey (m)		
CKR1	728694	4309299	Çokrağan Kaynağı GD Çıkışı	Çiçeklikaya Formasyonu
CKR2	728694	4309299	Çokrağan Kaynağı KB Çıkışı	Çiçeklikaya Formasyonu
CSK	728694	4309299	Çokrağan Sarıkız Kaynağı	Çiçeklikaya-Aşağıbelova formasyonları dokanağı
FDN	731601	4310989	Fındıklı Kaynağı	Arıkaya Formasyonu
AGO	730965	4311350	Ağoluk Kaynağı	Arıkaya Formasyonu
GYK	728623	4311830	Geyikçioğlu Kaynağı	Muratdağı Melanjı
EKÇ	728690	4311311	Ekinlik Kaynağı	Baybuyan Formasyonu
KRD	729486	4313363	Kurudere Kaynağı	Karacahisar Volkanitleri

3.3. Hidrolojik Verilerin Değerlendirilmesi

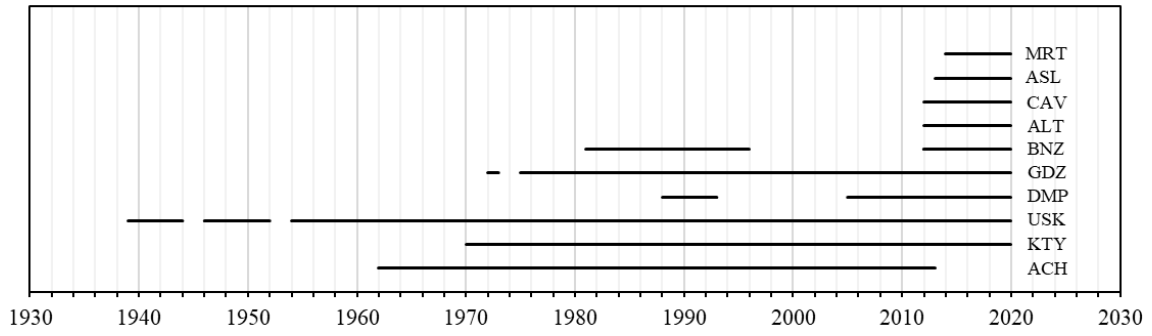
Tez çalışması kapsamında CKS'nin "Hidrojeolojik Kavramsal Model"ine katkı sağlayacak hidrodinamik yapının açıklanabilmesi için gerekli hidrolojik veriler (yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım) bu bölüm kapsamında değerlendirilmiş ve su bütçesi bileşenleri hesaplanmıştır. Hesaplanan Çokrağan Karst Sistemi su bütçesi için kullanılan yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım değerleri 1980-2020 yılları arasında kalan 40 yıllık bir dönemi kapsamaktadır.

3.3.1. Yağış

Çalışma alanı ve yakın dolayındaki yağış miktarının belirlenmesi amacıyla, Gediz Nehri Havzası ve Büyük Menderes Havzası'nda MGM'ye ait 9 adet ve DSI'ye ait 1 adet MGI'de elde edilen yağış verileri değerlendirilmiştir (Şekil 3.2). Ancak, MGI'lerde ölçülen yağış değerleri ölçüm aralıkları için ortak bir periyot bulunmamaktadır (Şekil 3.3). Değerlendirme yapılan meteoroloji gözlem istasyonları ile ilgili genel bilgiler Çizelge 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.2. İnceleme alanındaki MGI yer bulduru haritası.



Şekil 3.3. CKS ve yakın dolay MGİ yağış gözlem veri aralığı.

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

Kod	İstasyon No	İstasyon Adı	İşleten Kurum	Koordinat		Kot (m)
				Doğu	Kuzey	
AKCH	7022	Aşağı Karacahisar	DSİ	723091	4292349	1095
ALT	18093	Altıntaş	MGM	768020	4328121	1021
ASL	18391	Aslanapa	MGM	747538	4345450	1041
BNZ	18069	Banaz	MGM	738461	4293073	987
CAV	18095	Çavdarhisar	MGM	723601	4339685	1056
DMP	17747	Dumlupınar	MGM	758550	4304824	1250
GDZ	17750	Gediz	MGM	707917	4319116	736
KTY	17155	Kütahya	MGM	756381	4368391	969
MRT	18603	Murat Dağı	MGM	728342	4313949	1916
USK	17188	Uşak	MGM	709186	4283223	919

3.3.1.1. Eksik Yağış Verilerinin Tamamlanması

CKS su bütçesini ortaya koymak amacıyla, inceleme alanı ve çevresindeki MGİ'da ölçülen yağış değerlerine ortak periyot oluşturabilmek için 1980-2020 yılları arasındaki eksik yağış verilerinin tamamlanmasına gereksinim duyulmuştur. Bu kapsamda, istatistiksel yaklaşımlardan biri olan "Regresyon Yöntemi" kullanılmıştır. Regresyon Yöntemi; birbiri ile ilişkisi olabilecek iki istasyonda yapılmış, aynı zamanlı yağış ölçümlerinin bir kartezyen koordinat sisteminde noktalanması ile saçılma diyagramı elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır (Şen, 2002). Regresyon yöntemi kullanılarak oluşturulan saçılma diyagramları, en küçük kareler metodu ile en uygun doğru veya eğrinin geçirilebilmesi, istasyonlarda ölçülen yağışlar arasında bir bağlantının olduğunu göstermektedir. Regresyon yöntemi ile elde edilen denklemlerle verisi tam olan istasyonun kayıtları ile eksik olan istasyonun verileri hesaplanmaktadır.

Eksik yağış verileri tamamlama çalışmalarında öncelikle istasyonlar arasında, ortak periyotta ölçülen yağış verileri kullanılarak saçılma grafikleri oluşturulmuştur. Oluşturulan grafiklerden $a = bx \pm c$ regresyon denklemi ve determinasyon katsayıları elde edilmiştir. Aynı döneme karşılık gelen istasyonların yağış verilerinin regresyonlarında, iki istasyon ile yapılan karşılaştırmada determinasyon katsayısı ± 1 'e daha yakınsa, elde edilen denklemde verisi tam olan istasyon verilerinden verisi eksik olan istasyon verisi hesaplanmıştır. Doğru veya eğriden elde edilen denklemin determinasyon katsayısının ± 1 'e yakın olması, istasyonlarda ölçülen veriler arasındaki ilişkinin anlamlı olduğunu ifade etmektedir. Bununla birlikte Mutreja (1986) ile Viessman ve Lewis (1996)'da hidrolojik çalışmalarda tahminlerin ve gözlemlerin ortalama hatasının, yaz aylarında yaklaşık $\pm\%10$ ve kış aylarında yaklaşık $\pm\%20$ olmasının kabul edilebilir olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada verisi tamamlanan her bir istasyonun eksik olan veri serisine ait uzun yıllar yıllık toplam yağış ortalaması ile söz konusu istasyonun verisi tamamlandıktan sonra uzun yıllar yıllık toplam yağış ortalaması arasındaki farkın $\pm\%10$ aralığında elde edilmesi, üretilen verinin güvenilir olduğu şeklinde kabul edilmiştir (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996).

CKS ve yakın dolayındaki MGİ'lerde 1939-2020 yılları arasında farklı zamanlarda gözlenen yağış verileri için ortak periyot 1980-2020 yılları arası kabul edilmiştir. Bu çalışma kapsamında; uzun yıllar aylık ortalama toplam yağış verisine sahip olan Kütahya, Uşak ve Gediz MGİ verileri ile Aşağı Karacahisar, Altıntaş, Aslanapa, Banaz, Çavdarhisar, Dumlupınar ve Murat Dağı MGİ'lere ait 1980-2020 yılları arasındaki eksik aylık ortalama toplam yağış verileri tamamlanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ veri tamamlama bilgisi.

İstasyon Kodu	Verisi Üretilen	Veri Alınan	Eşitlik	$P_{ort-ö}$ (mm/yıl)	R^2	R	P_{ort-s} (mm/yıl)	R^2	R	Fark (%)	Verisi Tamamlanan Yıllar
P _{ALT}	P _{KTY}		$P_{ALT} = (0.689 \times P_{KTY}) + 6.036$	464.0	0.640	0.800	462.1	0.876	0.936	-0.42	1980-2014,2019
P _{ASL}	P _{KTY}		$P_{ASL} = (0.501 \times P_{KTY}) + 11.421$	412.4	0.526	0.725	420.2	0.745	0.863	1.88	1980-1984, 1996-2012
P _{CAV}	P _{KTY}		$P_{CAV} = (0.717 \times P_{KTY}) + 6.048$	514.8	0.638	0.798	478.0	0.891	0.944	-7.14	1980-2011
P _{AKCH}	P _{USK}		$P_{AKCH} = (1.240 \times P_{USK}) + 3.313$	676.7	0.780	0.883	678.4	0.805	0.897	0.25	2014-2020
P _{BNZ}	P _{USK}		$P_{BNZ} = (0.871 \times P_{USK}) + 5.917$	523.2	0.735	0.857	530.4	0.838	0.915	1.38	1980, 1996-2011
P _{DMP}	P _{BNZ}		$P_{DMP} = (0.964 \times P_{BNZ}) + 7.263$	577.4	0.704	0.839	600.1	0.824	0.908	3.93	1980-1987, 1994-2003
P _{MRT}	P _{AKCH}		$P_{MRT} = (1.226 \times P_{AKCH}) + 8.140$	863.2	0.557	0.746	945.2	0.974	0.987	9.50	1980-2016, 2020

$P_{ort-ö}$: tamamlama öncesi uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış; P_{ort-s} : tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış.

Söz konusu istasyonların aylık ortalama toplam yağış verilerinin tamamlanmasında kullanılan regresyon yöntemi ile elde edilen regresyon denklemleri 0.725 ile 0.974 arasında değişen determinasyon katsayıları ile temsil edilmektedir. Örneğin, Aşağı Karacahisar MGİ'de 2014-2020 yılları arasında gözlenen aylık ortalama toplam yağış verileri ile Uşak MGİ'de söz konusu zaman diliminde gözlenen aylık ortalama toplam yağış verileri arasındaki ilişki $P_{AKCH} = (1.240 \times P_{USK}) + 3.313$ regresyon denklemi ve 0.780 determinasyon katsayısı ile temsil edilmektedir (Çizelge 3.3). İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ'lerin eksik olan aylık ortalama toplam yağış verileri, benzer ilişkiler ile verisi tam olan istasyonlar ile tamamlanmıştır. Ayrıca, tüm istasyonların eksik olan aylık ortalama toplam yağış verileri tamamlandıktan sonra, her bir istasyonun verisi tamamlanmadan önceki uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış verileri ile tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış verileri arasındaki fark %-7.14 ile %9.50 arasında hesaplanmıştır (Çizelge 3.3). Örneğin, Dumlupınar MGİ'de kaydedilen uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış değeri 577.4 mm/yıl iken, tamamlama sonrası söz konusu değer 600.1 mm/yıl hesaplanmış olup, aradaki fark %3.93 olarak elde edilmiştir. Yapılan eksik veri tamamlama çalışması öncesi ve sonrasının yaklaşık $\pm\%10.0$ 'luk bir hata payına karşılık geldiği, yapılan hesaplamaların ölçüm ve tahmin hataları içinde kaldığı ve hesaplanan yağış verilerinin bütçe çalışmalarında kullanılabileceği anlaşılmaktadır (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996).

3.3.1.2. Yağış Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ verilerinde eksik yağış verilerinin 1980-2020 ortak periyodunun sağlanması ile her bir istasyon için aylık ortalama toplam yağış değerleri elde edilmiştir. "Natural Neighbor" interpolasyonu, çalışma alanı etrafında ve içerisinde yer alan düzenli veya düzensiz noktasal verilerin yapısına uygun alansal ağırlıklı ortalamayı uygulayan yöntemdir (Sibson, 1987; Watson, 1992). Söz konusu veriler, CBS tabanlı (ArcGIS, Natural Neighbor) yazılımında "Eş Yağış Eğrisi Yöntemi" ile değerlendirilmiş ve CKS yüzeysel drenaj alanı için uzun yıllar aylık ve yıllık ortalama toplam yağış değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.4-5, Şekil 3.4-5).

Çizelge 3.4'de görüldüğü üzere CKS yüzeysel drenaj alanına en yüksek yağış Ocak-Aralık aylarında (117.6-125.1 mm/ay) ve en düşük yağış ise Ağustos ve Eylül aylarında (27.4-35.8 mm/ay) düşmektedir. CKS için 1980-2020 yılları arası uzun yıllar yıllık

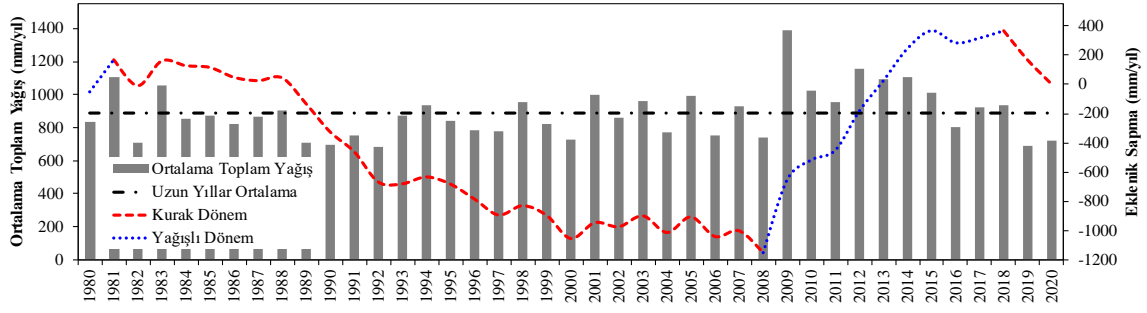
ortalama toplam yağış değeri 888.5 mm/yıl hesaplanmış olup, en düşük ve en yüksek uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış sırası ile 681.9 mm/yıl (1992) ve 1387.8 mm/yıl (2009) hesaplanmıştır (Şekil 3.4, Çizelge 3.5).

Çizelge 3.4. CKS uzun yıllar (1980-2020) aylık ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım değerleri.

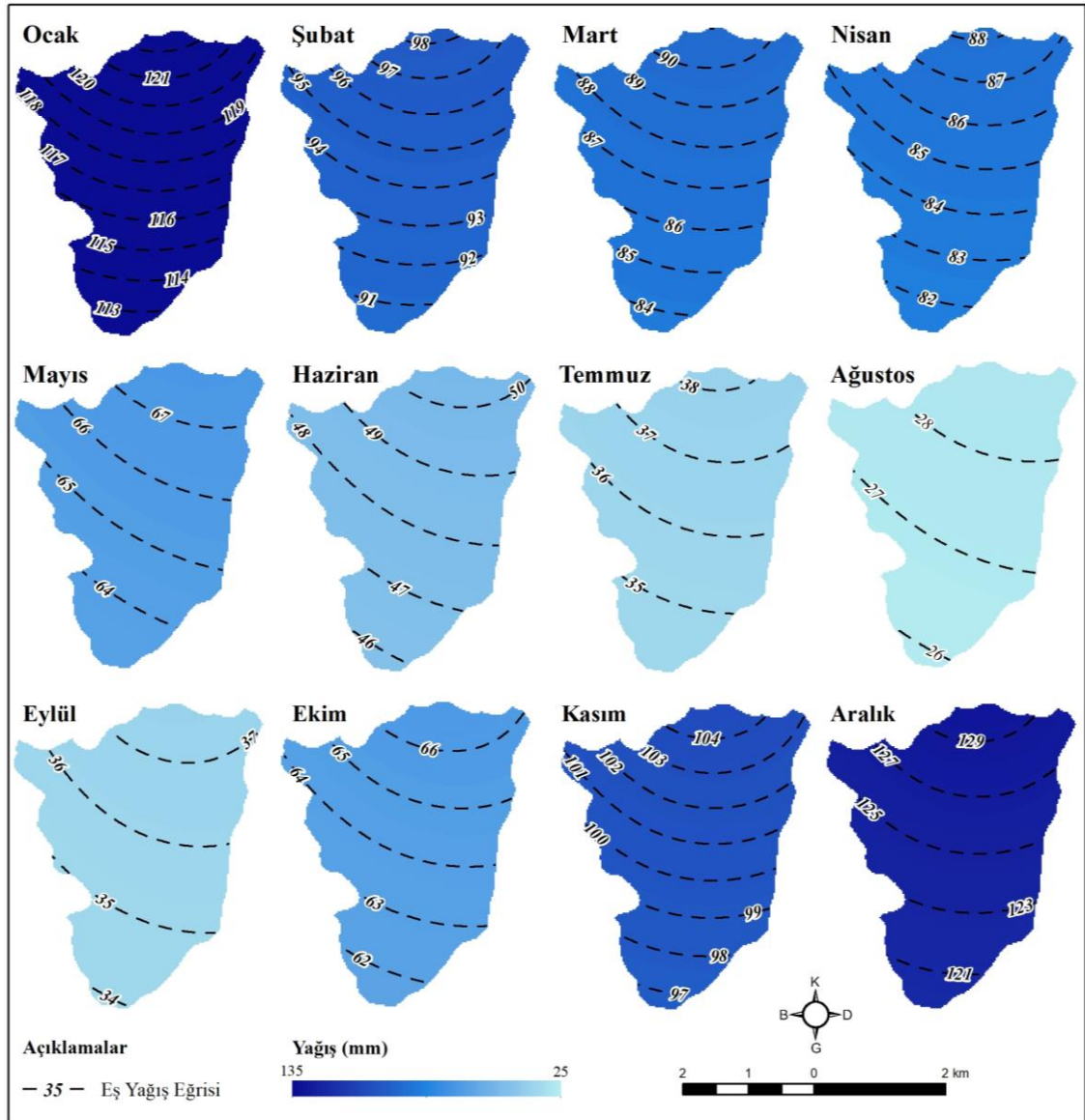
Parametre	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Top/Ort		
P (mm)	Ort.	117.6	94.4	87.4	84.9	65.6	48.3	36.3	27.4	35.8	66.6	99.3	125.1	888.5	
	Min.	14.0	13.1	23.4	20.0	15.4	8.3	9.7	6.7	7.5	14.5	12.1	15.4		
	Max.	308.2	262.1	177.9	200.7	155.3	192.5	114.3	78.3	173.3	147.3	320.1	342.0		
T (°C)	Ort.	-1.88	-0.98	1.98	6.25	10.54	14.59	17.89	17.94	13.89	8.79	3.31	-0.27	7.67	
	Min.	-6.01	-5.49	-2.71	1.57	8.00	12.41	15.07	14.65	12.07	6.34	0.15	-4.08		
	Max.	1.46	3.24	5.53	10.54	12.75	16.62	19.87	20.88	16.88	11.67	7.25	2.46		
ET (mm)	USGS ETp	Ort.	13.2	14.8	23.7	35.9	55.6	74.0	91.1	81.0	51.2	31.9	18.4	13.9	504.7
		Min.	10.2	11.1	17.6	26.7	47.2	64.5	76.3	65.7	45.5	27.3	15.0	10.9	
		Max.	16.2	19.2	29.3	46.6	63.7	83.9	102.9	97.2	61.5	37.9	23.4	16.3	
	USGS ETa	Ort.	12.4	13.8	23.3	35.7	55.0	70.8	79.8	61.7	39.6	29.8	18.0	13.5	453.4
		Min.	7.1	6.8	14.1	26.7	47.2	64.2	70.5	47.0	28.1	24.0	13.7	9.3	
		Max.	16.2	19.2	28.9	45.1	62.8	80.7	88.0	72.2	49.3	37.3	22.6	16.3	
	Thornthwaite-Mather ETp	Ort.	0.7	1.2	9.2	34.6	66.1	92.6	114.7	107.6	73.9	42.9	13.5	1.5	558.5
		Min.	0.2	0.4	7.5	33.3	64.3	90.1	111.3	104.5	71.9	41.7	12.4	0.5	
		Max.	1.3	2.1	11.0	36.3	68.5	96.0	119.2	111.7	76.5	44.5	14.8	2.6	
	Thornthwaite-Mather ETa	Ort.	0.7	1.1	8.5	32.3	61.6	84.3	80.9	24.9	32.5	38.7	12.6	1.4	379.5
		Min.	0.2	0.4	7.5	33.3	64.3	89.6	76.2	25.0	32.5	41.3	12.4	0.5	
		Max.	1.3	2.1	11.0	36.3	68.5	92.1	97.3	28.4	37.3	42.1	14.8	2.6	
$Qç$	Ort.	0.284	0.277	0.355	0.564	0.698	0.564	0.367	0.271	0.205	0.192	0.194	0.221	0.349	
	Min.	0.119	0.088	0.103	0.146	0.277	0.228	0.165	0.137	0.087	0.078	0.079	0.089		
	Max.	0.912	0.552	0.899	1.328	1.490	1.193	0.929	0.495	0.319	0.269	0.279	0.508		
Qe	Ort.	0.035	0.041	0.070	0.103	0.078	0.038	0.020	0.013	0.010	0.012	0.016	0.026	0.039	
	Min.	0.008	0.009	0.014	0.010	0.014	0.004	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002		
	Max.	0.122	0.195	0.290	0.397	0.384	0.144	0.075	0.075	0.022	0.033	0.066	0.140		
Qf	Ort.	0.038	0.040	0.059	0.091	0.072	0.043	0.028	0.023	0.020	0.022	0.024	0.032	0.041	
	Min.	0.014	0.009	0.014	0.012	0.018	0.005	0.005	0.003	0.004	0.003	0.002	0.010		
	Max.	0.103	0.113	0.164	0.306	0.297	0.119	0.068	0.068	0.029	0.038	0.062	0.117		

P : yağış; T : sıcaklık; ET : buharlaşma-terleme; ETp : potansiyel buharlaşma-terleme; ETa : gerçek buharlaşma-terleme; USGS (McCabe ve Markstrom, 2007) ve Thornthwaite-Mather (1955) yöntemleri; $Qç$, Qe ve Qf sırası ile Çokrağan Kaynağı, Ekinlik Dere ve Fındıklı Dere debileri.

CKS'de, 1981-2008 ve 2018-2020 yılları arası kurak dönem ile karakterize edilirken, 1980-1981 ve 2008-2018 yılları arası ise yağışlı dönem ile karakterize edilmektedir (Şekil 3.4). CKS'de yağışlar kuzeyden güneye doğru azaldığı ve kuzeydeki yükseltilerin (Murat Dağı) etkisiyle bu bölgelerin daha fazla yağış aldığı belirlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4. CKS eklenik sapma grafiği.



Şekil 3.5. CKS uzun yıllar (1980-2020) Eş Yağış Yöntemi ile elde edilen aylık ortalama toplam yağış dağılımı.

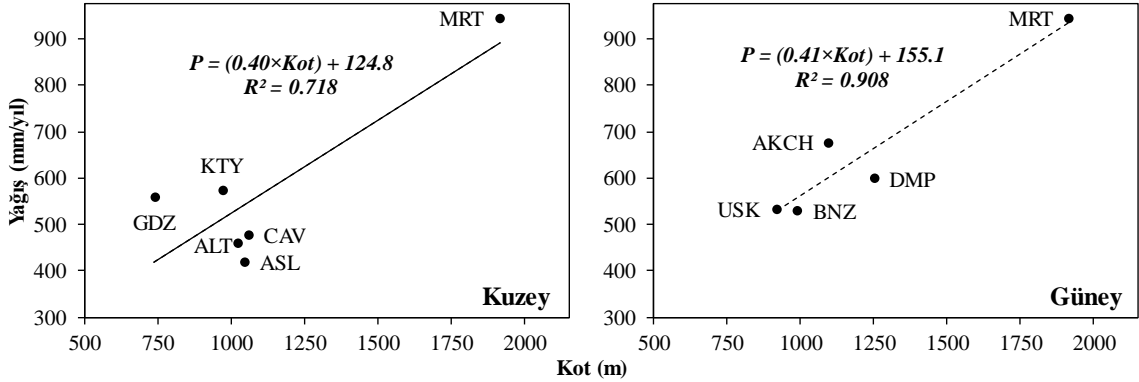
Çizelge 3.5. CKS uzun yıllar (1980-2020) yıllık ortalama yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akım verileri.

Yıl	T (°C)	P (mm)	USGS		Thornthwaite-Mather		Turc	Qç (m ³ /s)	Qf (m ³ /s)	Qe (m ³ /s)
			ETp (mm)	ETa (mm)	ETp (mm)	ETa (mm)	ETa (mm)			
1980	6.97	837.6	483.3	437.6	536.0	305.6	429.3	0.457	0.055	0.058
1981	7.89	1107.6	503.9	461.8	562.9	430.3	476.5	0.442	0.057	0.060
1982	7.07	711.4	480.6	441.7	533.5	329.0	412.7	0.444	0.046	0.044
1983	6.82	1058.2	475.1	446.5	547.2	414.3	445.8	0.342	0.042	0.039
1984	7.25	855.7	480.4	433.0	541.4	302.0	437.4	0.492	0.057	0.059
1985	7.68	876.1	505.0	460.7	565.2	376.6	449.6	0.315	0.036	0.031
1986	8.01	821.0	520.3	458.2	564.3	352.8	449.4	0.311	0.035	0.030
1987	7.25	865.6	500.2	447.7	540.8	351.8	438.7	0.346	0.040	0.037
1988	7.33	907.7	503.5	451.3	538.0	317.5	445.1	0.317	0.036	0.032
1989	7.66	710.9	509.9	427.5	569.1	378.4	423.9	0.244	0.026	0.018
1990	7.52	695.7	496.2	432.1	558.0	373.4	418.4	0.288	0.031	0.026
1991	7.01	753.0	483.8	438.1	548.2	390.7	418.5	0.308	0.033	0.028
1992	6.16	681.9	469.4	421.3	529.2	330.7	390.7	0.267	0.029	0.022
1993	7.14	876.0	489.7	444.3	544.9	363.7	437.4	0.261	0.028	0.021
1994	8.13	935.6	519.9	476.3	569.4	489.8	467.0	0.252	0.027	0.019
1995	7.46	839.2	490.5	449.0	544.0	326.7	440.1	0.337	0.039	0.036
1996	7.57	786.2	496.8	454.2	548.7	388.1	435.0	0.385	0.045	0.043
1997	6.92	779.4	475.6	440.2	521.2	323.9	420.5	0.300	0.035	0.030
1998	7.96	952.5	513.3	475.6	560.4	382.7	464.6	0.378	0.043	0.041
1999	8.23	821.7	516.5	479.1	572.8	367.1	454.3	0.432	0.051	0.052
2000	7.12	730.8	501.0	429.7	553.7	277.6	417.1	0.317	0.035	0.030
2001	8.52	996.9	537.9	421.7	583.5	358.1	482.9	0.219	0.027	0.020
2002	7.58	860.5	496.0	472.1	563.6	463.9	445.3	0.527	0.035	0.033
2003	7.61	963.0	509.0	475.4	557.2	402.2	457.3	0.375	0.030	0.039
2004	7.36	774.6	490.5	440.2	550.9	331.1	428.9	0.391	0.043	0.038
2005	7.16	995.1	487.4	452.9	537.3	412.8	449.5	0.331	0.036	0.033
2006	7.34	754.1	498.9	450.7	552.6	351.3	425.3	0.377	0.041	0.034
2007	8.28	927.5	537.1	430.7	578.2	333.4	469.7	0.213	0.023	0.014
2008	8.15	739.5	525.9	450.0	579.6	380.5	438.7	0.238	0.023	0.011
2009	7.91	1387.8	507.0	463.8	559.0	366.3	491.9	0.524	0.074	0.079
2010	9.02	1022.8	539.7	476.3	593.9	342.6	498.6	0.378	0.051	0.060
2011	7.20	955.6	493.3	443.3	531.6	382.9	446.9	0.404	0.052	0.036
2012	8.45	1156.9	533.5	478.4	581.6	386.1	494.7	0.411	0.088	0.101
2013	7.97	1095.5	512.8	458.5	573.1	401.0	477.7	0.460	0.065	0.067
2014	8.26	1108.6	509.6	464.6	571.1	490.4	486.2	0.148	0.013	0.010
2015	7.77	1010.1	504.2	468.2	557.2	445.2	465.7	0.494	0.057	0.060
2016	8.03	805.8	522.9	478.2	583.1	439.7	447.6	0.329	0.041	0.039
2017	7.45	920.9	502.7	452.4	553.7	422.0	449.4	0.250	0.028	0.024
2018	8.58	938.3	521.9	485.3	586.8	468.3	478.1	0.359	0.054	0.057
2019	8.21	687.5	513.2	454.2	570.3	407.9	429.4	0.340	0.040	0.037
2020	8.47	722.6	532.8	466.1	583.5	401.1	441.6	0.324	0.038	0.035
Ortalama	7.67	888.5	504.7	453.4	558.5	379.5	448.2	0.349	0.041	0.039
En düşük	6.16	681.9	469.4	421.3	521.2	277.6	390.7	0.148	0.013	0.010
En yüksek	9.02	1387.8	539.7	485.3	593.9	490.4	498.6	0.527	0.088	0.101
Std	0.58	151.7	18.3	17.3	17.9	50.6	24.7	0.088	0.015	0.019

T : sıcaklık; P : yağış; ETp : potansiyel buharlaşma-terleme; ETa : gerçek buharlaşma-terleme; Qç : Çokrağan Kaynağı debisi; Qf : Fındıklı Dere debisi; Qe : Ekinlik Dere debisi; Std : standart sapma.

CKS ve yakın dolayındaki doruk ağı (Murat Dağı) dikkate alınarak MGİ kot-yağış ilişkisi kuzey ve güney istasyonlar olmak üzere iki şekilde oluşturulmuştur (Şekil 3.6). CKS'nin kuzeyindeki MGİ kot-yağış ilişkisi $P = (0.40 \times Kot) + 124.8$ regresyon denklemi ve 0.718 determinasyon katsayısı ile temsil edilirken, güneyinde ise $P = (0.41 \times Kot) + 155.1$ regresyon denklemi ve 0.908 determinasyon katsayısı ile temsil edilmektedir.

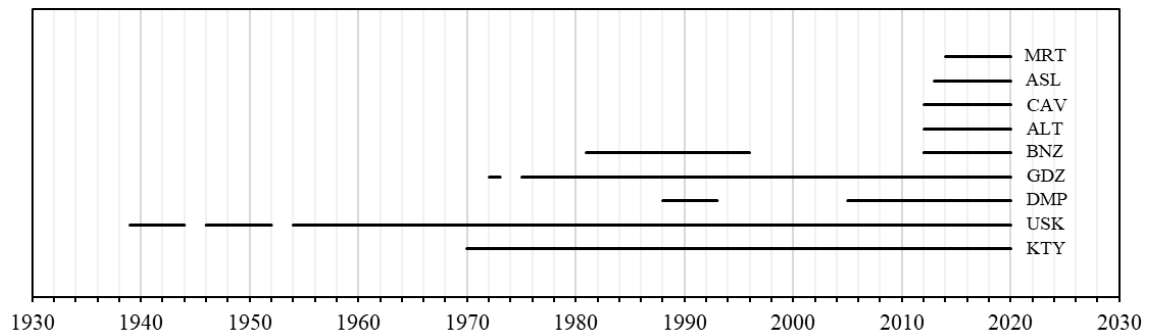
CKS'nin ortalama (en düşük-en yüksek) kot değeri (1565.6 m; 1270.0-1984.6 m) dikkate alındığında güney istasyonları kot-yağış ilişkisi ile uzun yıllar ortalama toplam yağış değeri 797.0 mm/yıl (675.8-968.8 mm/yıl) hesaplanırken, kuzey istasyonları kot-yağış ilişkisi ile 751.1 mm/yıl (632.8-918.7 mm/yıl) hesaplanmıştır. Tez çalışması kapsamında su bütçesi hesaplamalarında, CKS için yağış değerleri Eş Yağış Eğrisi Yöntemi ile hesaplanan değerler kullanılmıştır (Çizelge 3.5).



Şekil 3.6. İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ'lerin kot-yağış ilişkisi.

3.3.2. Sıcaklık

İnceleme alanı ve yakın dolayındaki yağış miktarının belirlenmesi amacıyla, Gediz Nehri Havzası ve Büyük Menderes Havzası'nda MGM'ye ait 9 adet MGİ'de elde edilen sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Ancak, MGİ'lerde ölçülen yağış değerleri ölçüm aralıkları için ortak bir periyot bulunmamaktadır (Şekil 3.7). Değerlendirme yapılan meteoroloji gözlem istasyonları ile ilgili genel bilgiler Çizelge 3.2'de verilmektedir.



Şekil 3.7. CKS ve yakın dolaylı MGİ sıcaklık gözlem veri aralığı.

3.3.2.1. Eksik Sıcaklık Verilerin Tamamlanması

Bölüm 3.3.1.1’de anlatılan eksik aylık yağış verilerinin tamamlanmasında uygulanan yöntem, inceleme alanındaki aylık sıcaklık ölçümü yapan istasyonlardaki eksik sıcaklık verilerin tamamlanması sürecinde de kullanılmıştır. CKS ve yakın dolayındaki MGİ’lerde 1939-2020 yılları arasında farklı zamanlarda gözlenen sıcaklık verileri için ortak periyot 1980-2020 yılları arası kabul edilmiştir. Bu çalışma kapsamında; uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verisine sahip olan Kütahya ve Uşak verileri ile Altıntaş, Aslanapa, Banaz, Çavdarhisar, Dumlupınar ve Murat Dağı MGİ’lerine ait 1980-2020 yılları arasındaki eksik aylık ortalama sıcaklık verileri tamamlanmıştır (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6. İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ veri tamamlama bilgisi.

İstasyon Kodu	Verisi Üretilen	Veri Alınan	Eşitlik	$T_{ort-ö}$ (°C)	R^2	R	T_{ort-s}	R^2	R	Fark (%)	Verisi Tamamlanan Yıllar
T _{ALT}	T _{KTY}	T _{KTY}	$T_{ALT} = (1.011 \times T_{KTY}) - 1.007$	10.2	0.983	0.991	10.1	0.992	0.996	-1.58	1980-1986, 1994-2011
T _{ASL}	T _{KTY}	T _{KTY}	$T_{ASL} = (1.037 \times T_{KTY}) - 1.499$	9.9	0.981	0.991	9.9	0.991	0.995	-0.45	1980-1984, 1997-2012
T _{CAV}	T _{KTY}	T _{KTY}	$T_{CAV} = (0.982 \times T_{KTY}) - 0.559$	11.1	0.973	0.987	10.2	0.994	0.997	-8.77	1980-2012
T _{BNZ}	T _{USK}	T _{USK}	$T_{BNZ} = (0.960 \times T_{USK}) - 0.236$	12.0	0.991	0.995	12.0	0.993	0.996	0.11	1980, 1997-2011
T _{DMP}	T _{BNZ}	T _{BNZ}	$T_{DMP} = (1.020 \times T_{BNZ}) - 2.520$	9.8	0.989	0.994	9.7	0.992	0.996	-1.06	1980-1987, 1994-2003
T _{MRT}	T _{BNZ}	T _{BNZ}	$T_{MRT} = (0.949 \times T_{BNZ}) - 4.733$	7.0	0.992	0.996	6.7	0.999	0.999	-5.61	1980-2016, 2020

$T_{ort-ö}$: tamamlama öncesi uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık; T_{ort-s} : tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık.

Söz konusu istasyonların aylık sıcaklık verilerinin tamamlanmasında kullanılan regresyon yöntemi ile elde edilen regresyon denklemleri 0.973 ile 0.992 arasında değişen determinasyon katsayıları ile temsil edilmektedir. Örneğin, Altıntaş MGİ’de 2014-2020 yılları arasında gözlenen aylık ortalama sıcaklık verileri ile Kütahya MGİ’de söz konusu zaman diliminde gözlenen aylık ortalama sıcaklık verileri arasındaki ilişki $T_{ALT} = (1.011 \times T_{KTY}) - 1.007$ regresyon denklemi ve 0.983 determinasyon katsayısı ile temsil edilmektedir (Çizelge 3.6). İnceleme alanı ve yakın dolayındaki MGİ’lerin eksik olan aylık ortalama sıcaklık verileri, benzer ilişkiler ile verisi tam olan istasyonlar ile tamamlanmıştır. Ayrıca, tüm istasyonların eksik olan aylık ortalama sıcaklık verileri tamamlandıktan sonra, her bir istasyonun verisi tamamlanmadan önceki uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık verileri ile tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık verileri arasındaki fark %-8.77 ile %0.11 arasında hesaplanmıştır (Çizelge 3.6). Örneğin, Banaz MGİ’de kaydedilen uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değeri 9.8 °C iken, tamamlama sonrası söz konusu değer 9.7 °C hesaplanmış olup, aradaki fark %-1.06

olarak elde edilmiştir. Yapılan eksik veri tamamlama çalışması öncesi ve sonrasının yaklaşık $\pm\%10.0$ 'luk bir hata payına karşılık geldiği, yapılan hesaplamaların ölçüm ve tahmin hataları içinde kaldığı ve hesaplanan sıcaklık verilerinin bütçe çalışmalarında kullanılabileceği anlaşılmıştır (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996).

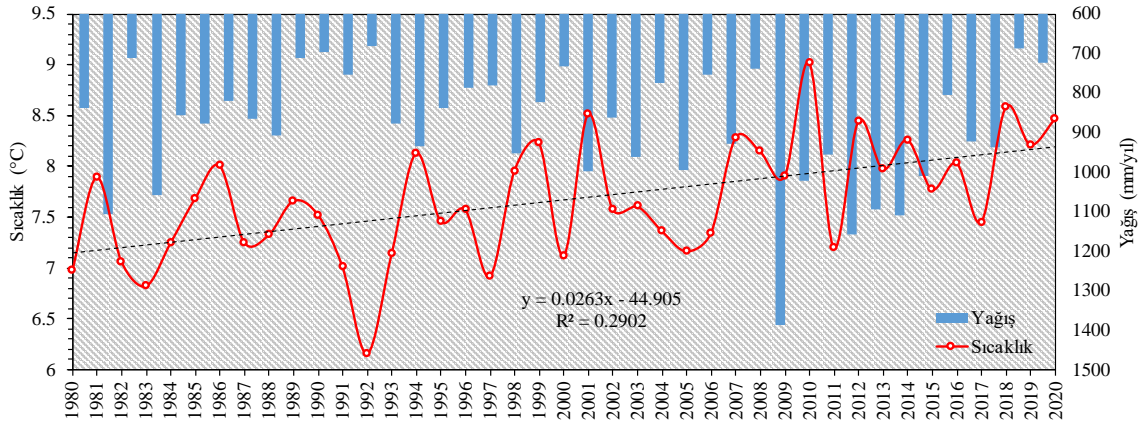
3.3.2.2. Sıcaklık Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan MGİ'ler için eksik aylık ortalama sıcaklık verilerinin ortak periyot (1980-2020) için tamamlanmasından sonra, bu veriler CBS tabanlı (ArcGIS, Natural Neighbor) yazılımda "Eş Sıcaklık Eğrisi Yöntemi" ile değerlendirilmiş ve CKS yüzeysel drenaj alanı için uzun yıllar aylık ve yıllık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.4, Şekil 3.8-9).

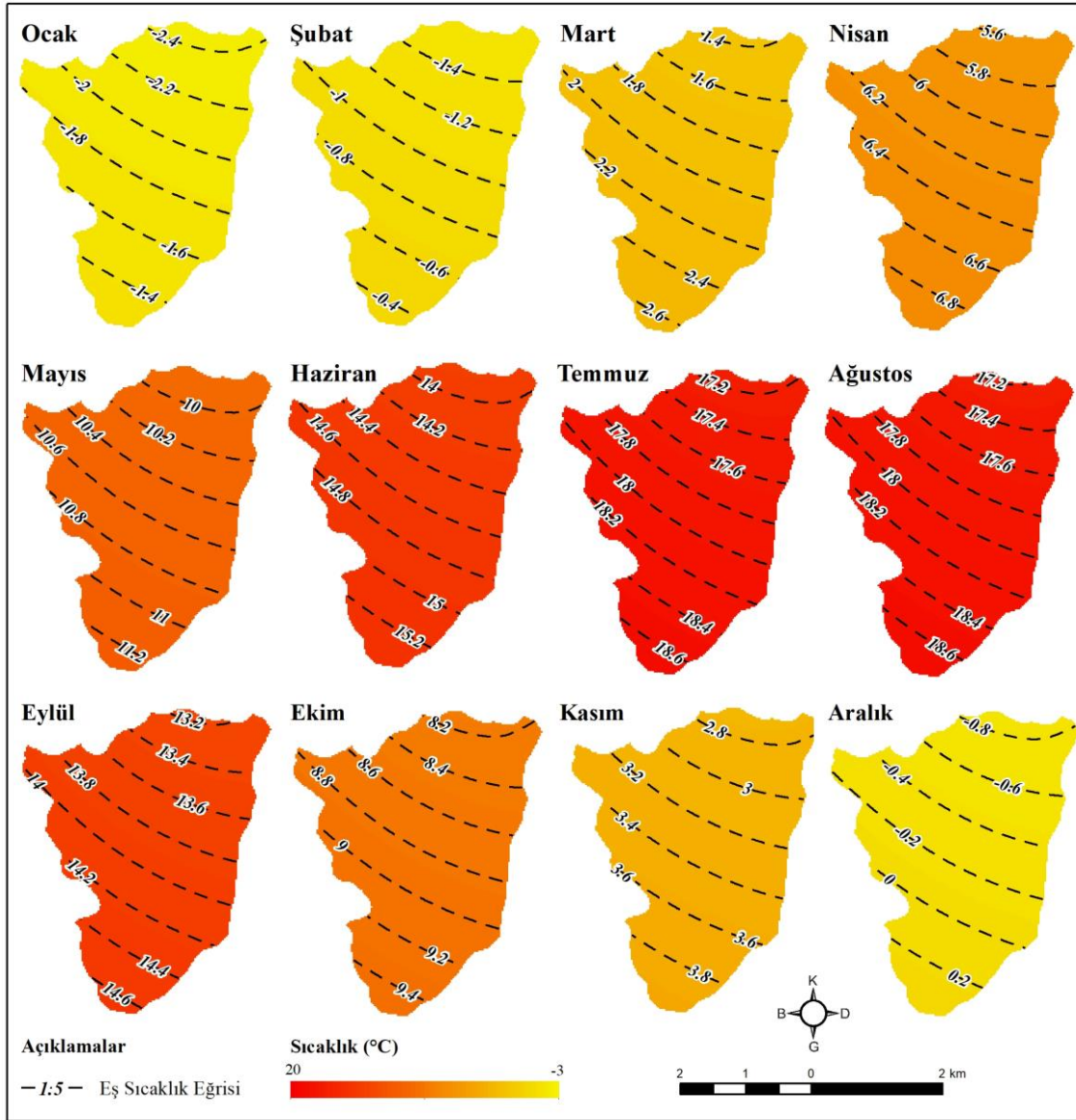
CKS yüzeysel drenaj alanı için hesaplanan uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verileri (Bkz. Çizelge 3.4) incelendiğinde en yüksek aylık ortalama sıcaklık Temmuz ve Ağustos aylarında (~ 18.0 °C) ve en düşük aylık ortalama sıcaklık ise Ocak ayında (-1.9 °C) gözlenmiştir. CKS için 1980-2020 yılları arası uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık değeri 7.67 °C hesaplanmış olup, en düşük ve en yüksek uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık sırası ile 6.16 °C (1992) ve 9.02 °C (2010) olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.8, Bkz. Çizelge 3.5). CKS yüzeysel drenaj alanı için hesaplanan uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık verisi incelendiğinde (Şekil 3.8) inceleme alanı ve yakın dolayında yıllık ortalama sıcaklıkların yaklaşık 0.026 °C/yıl oranında arttığı gözlenmektedir. Bununla birlikte CKS'de sıcaklıkların kuzeyden güneye doğru attığı ve kuzeydeki yükseltelerin (Murat Dağı) etkisiyle bu bölgelerin daha soğuk olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.9).

3.3.3. Buharlaşma-Terleme

Buharlaşma, genel olarak güneş radyasyonu nedeni ile yeryüzünde farklı ortamlarda (göle, baraj, toprak, bitki, vb.) bulunan sıvı ve katı formdaki suların gaz haline dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır (Mutreja, 1986; Viessman ve Lewis, 1996; Bayazıt, 2011). Hidrolojik çalışmaların en önemli çıktısı bileşenini oluşturan buharlaşma ve buharlaşma-terleme miktarı yağış, sıcaklık, nem, rüzgar, basınç, vb. Meteorolojik etkenlerin kontrolünde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.8. İnceleme alanının uzun yıllar yağış-sıcaklık ilişkisi.



Şekil 3.9. CKS uzun yıllar (1980-2020) aylık ortalama sıcaklık dağılımı.

Buharlaşma serbest su yzeylerinde (deniz, göl, baraj, vb.) doğrudan meydana gelirken, kara alanlarında (toprak ve bitki) ise buharlaşma-terleme şeklinde oluşmaktadır. Chow ve ark. (1988)'de, vadoz zondaki suyun bitkinin köklerinden yapraklarına ulaşmasıyla gerçekteşen terleme ve toprak yzeyinden gözeneklilik yoluyla suyun doğrudan gaz fazına geçmesini buharlaşma olarak tanımlanmış olup, sürecin tümü “buharlaşma-terleme (evapotranspirasyon)” olarak tanımlanmıştır. Potansiyel buharlaşma-terleme (ETp), bir bölgede var olan enerji miktarına bağlı olarak gerçekteşmesi gereken buharlaşma-terleme miktarını ifade ederken, gerçekte buharlaşma-terleme (Eta) ise söz konusu bölgede var olan zemin nemi ve/veya su miktarına bağlı olarak gerçekteşen buharlaşma-terlemeyi ifade etmektedir (Bayazıt, 2011). Thornthwaite (1948)'e göre ETp, sürekli ve sınırsız bir toprak nemi kaynağı olması koşuluna bağlı olarak çalışılan yzeyde oluşacak buharlaşma-terleme miktarını ifade etmektedir. Nemli toprağa sahip çok yağışlı iklim bölgelerinde Eta miktarı, ETp'ye eşittir, ancak kuru iklim bölgelerinde ise Eta miktarı, ETp'den küçüktür (Fitts, 2002).

3.3.3.1. Buharlaşma-Terleme Hesaplama Yöntemleri

CKS ve yakın dolayı için 1980-2020 yılları arası verisi tamamlanan Altıntaş, Aslanapa, Banaz, Çavdarhisar, Dumlupınar, Gediz, Kütahya, Murat Dağı ve Uşak MGİ'lerde elde edilen aylık ortalama sıcaklık ve aylık toplam yağış değerleri kullanılarak her bir MGİ için Thornthwaite-Mather (Thornthwaite ve Mather, 1955, 1957) ve USGS (McCabe ve Markstrom, 2007) yöntemleri kullanılarak aylık toplam ETp ve Eta miktarları hesaplanmıştır. Söz konusu veriler, CBS tabanlı (ArcGIS, Natural Neighbor) yazılımda “Eş Buharlaşma Eğrisi Yöntemi” ile değerlendirilmiş ve CKS yzeysel drenaj alanı için uzun yıllar aylık ve yıllık ortalama toplam ETp ve Eta değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). Bununla birlikte CKS yzeysel drenaj alanı için elde edilen yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış verileri (Bkz. Çizelge 3.5) Turc (1954) yöntemi ile değerlendirilerek CKS için 1980-2020 yılları arası yıllık toplam Eta miktarı da hesaplanmıştır.

Thornthwaite (1948) yöntemine göre bir bölgede gerçekteşecek ETp miktarı Eşt. (3.1-4) ile hesaplanmaktadır.

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

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

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

$$a = 6.751x10^{-7} x I^3 - 7.711 x 10^{-5} x I^2 + 1.791 x 10^{-2} x I + 0.492 \quad (3.4)$$

Burada; *ETp*: aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarını (mm), *I*: yıllık sıcaklık indisini, *G*: enlem düzeltme katsayısını ve *t*: aylık ortalama sıcaklık değerini (°C) ifade etmektedir.

Thornthwaite-Mather yöntemi ile aylık *ETp* hesaplamalarında kullanılan ortalama güneşlenme süresine bağlı enlem düzeltme katsayısı (*G*), CKS'nin bulunduğu enlem (35°) dikkate alınarak Thornthwaite (1948)'de kullanılmıştır.

McCabe ve Markstrom (2007) tarafından geliştirilen USGS aylık su bütçesi modeli, temelde Thornthwaite (Thornthwaite, 1948; Mather, 1978, 1979; McCabe ve Wolock, 1999; Wolock ve McCabe, 1999) tarafından önerilen su bütçesi modeli olup bu yöntemde ilgilenilen sistemin kavramsal hidrolojik modeli içinde yer alan her bileşen (yağış, sıcaklık, buharlaşma, vb.) dikkate alınmakta ve aylık su bütçesi hesaplanmaktadır. Söz konusu modelin diğer modellerden (Thornthwaite, Thornthwaite-Mather, vb.) farkı negatif sıcaklık değerlerinin gözlemediği aylar için de buharlaşma-terleme hesaplayabilmesidir. USGS modelinin girdilerini, ilgilenilen sistemde gözlenen aylık ortalama sıcaklık (*T*, °C) ve aylık toplam yağış (*P*, mm) ile çalışma alanının bulunduğu enlem (ondalık derece) oluşturmaktadır. Tez çalışması kapsamında McCabe ve Markstrom (2007) tarafından geliştirilen model, USGS modeli olarak adlandırılmıştır.

Bu programda, ilk olarak yağışın şekli/formu hava sıcaklığına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu aşamada sisteme girilen ilgili aydaki ortalama hava sıcaklığı (*T_o*) belirlenen eşik değerinin altında ise o ayda gerçekleşen yağışı kar üstünde ise yağmur

şeklinde kabul edilmekte ve Eşt. (3.5-6) ile ilgili aydaki yağış miktarı hesaplanmaktadır (McCabe ve Markstrom, 2007).

$$P_k = P_o \times \left[\frac{T_y - T_o}{T_y - T_k} \right] \quad (3.5)$$

$$P_y = P_o - P_k \quad (3.6)$$

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

McCabe ve Wolock (1999)'da su bütçesi ve kalibrasyon çalışmalarına göre ilgilenilen alanın kot değerinin 1000 m'nin üzerinde olduğu bölgelerde kar eşik sıcaklığının (T_k) - 1.0 $^{\circ}\text{C}$ ve yağmur eşik sıcaklığının (T_y) ise 3.3 $^{\circ}\text{C}$ kabul edilebileceği belirtilmektedir. Bununla birlikte programda toprak nem kapasitesi 100 mm ve en yüksek erime oranı ise kar erimesi sonrası açığa çıkan suyun %50'si olarak kabul edilmiştir (McCabe ve Markstrom, 2007).

Turc (1954) yöntemi ile bir bölgedeki yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık değerlerinden itibaren yıllık toplam Eta miktarı hesaplanmaktadır (Eşt. 3.7-8).

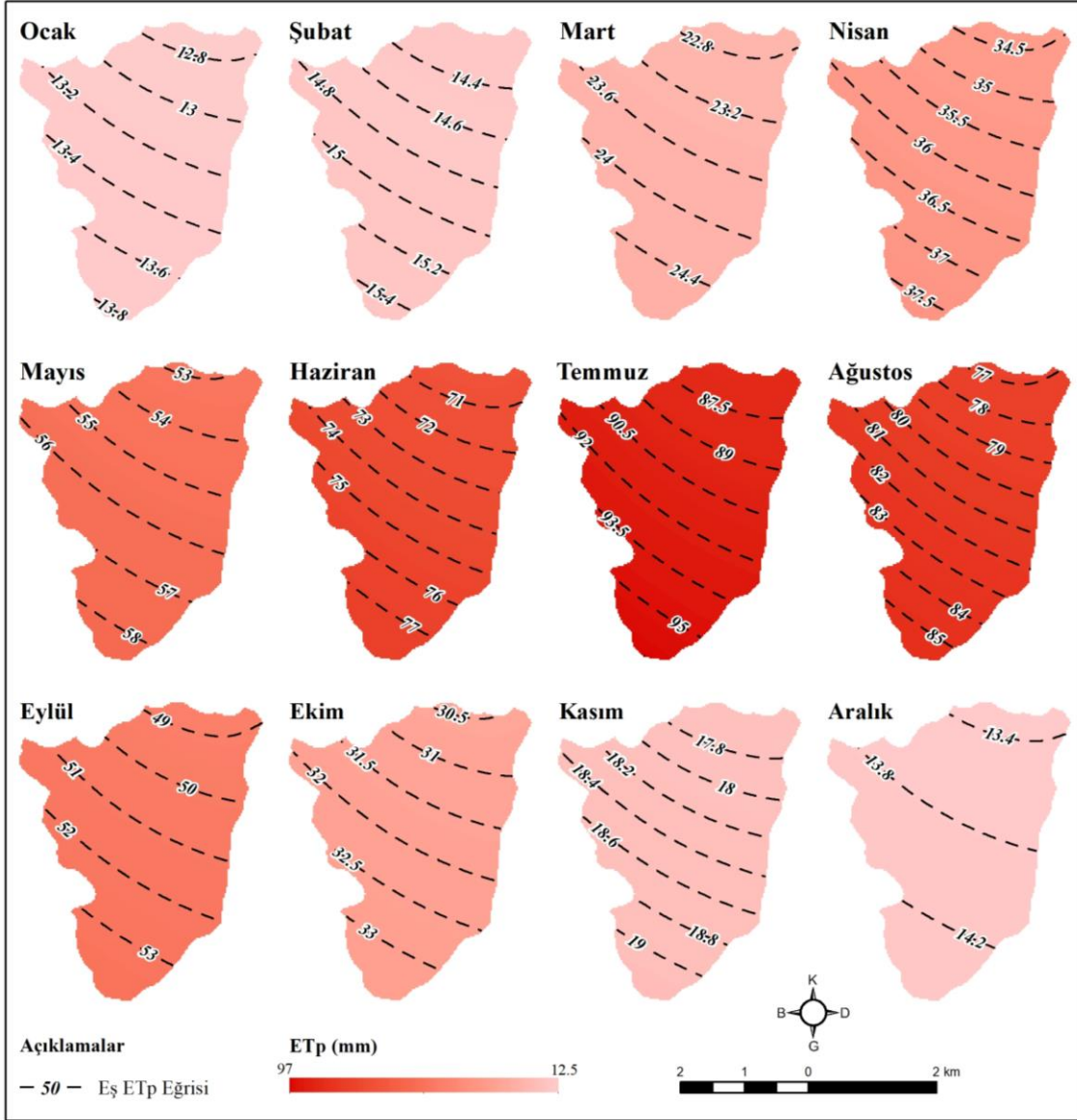
$$ET_a = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3.7)$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3 \quad (3.8)$$

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

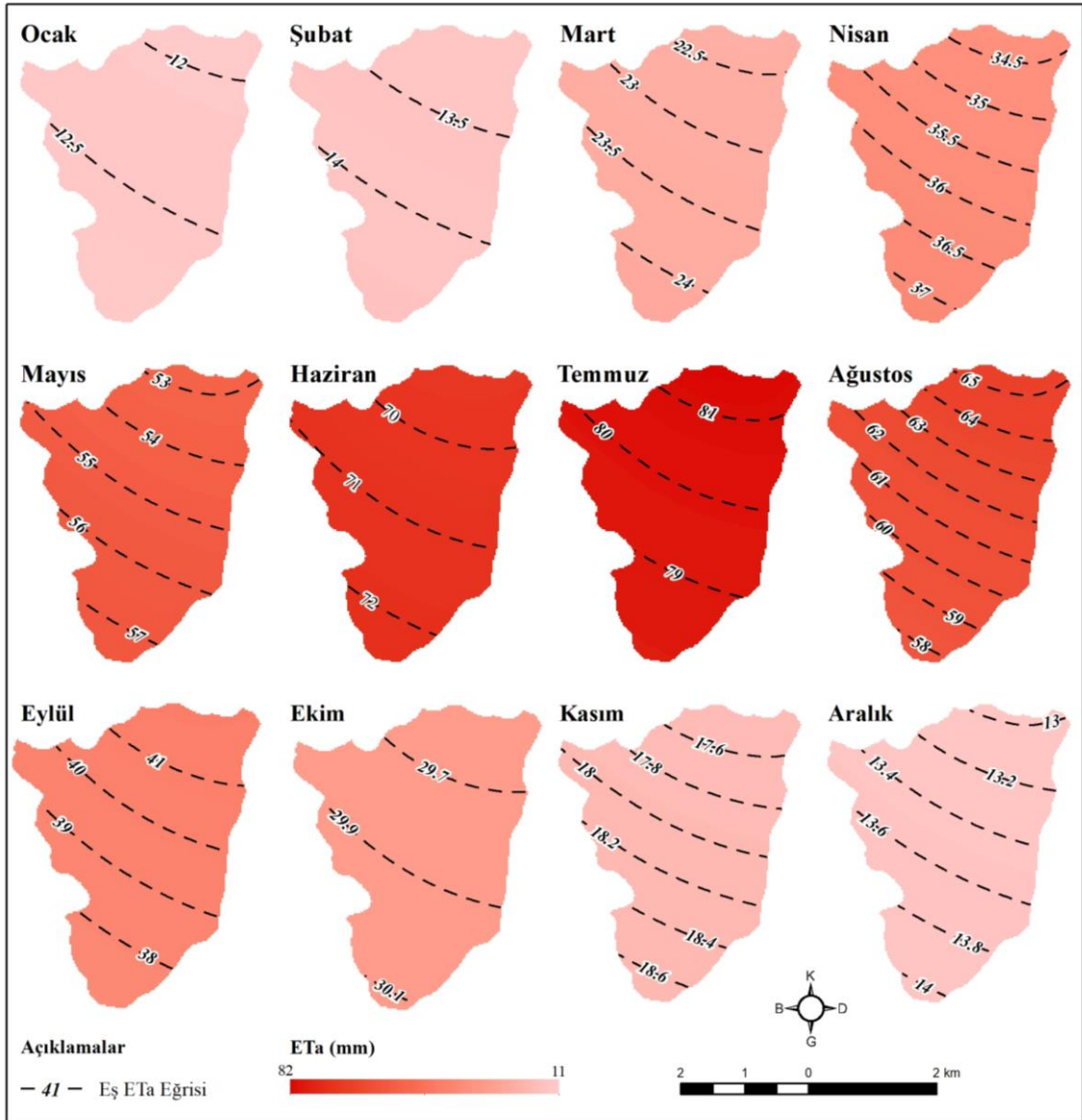
3.3.3.2. Buharlaşma-Terleme Verilerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan MGİ uzun yıllar (1980-2020) aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri, Bölüm 3.3.3.1 kapsamında belirtilen değerlendirme yöntemleri dikkate alınarak CKS için uzun yıllar aylık (Bkz. Çizelge 3.4) ve yıllık (Bkz. Çizelge 3.5) toplam ET_p ve Eta miktarları hesaplanmıştır (Şekil 3.10-13).



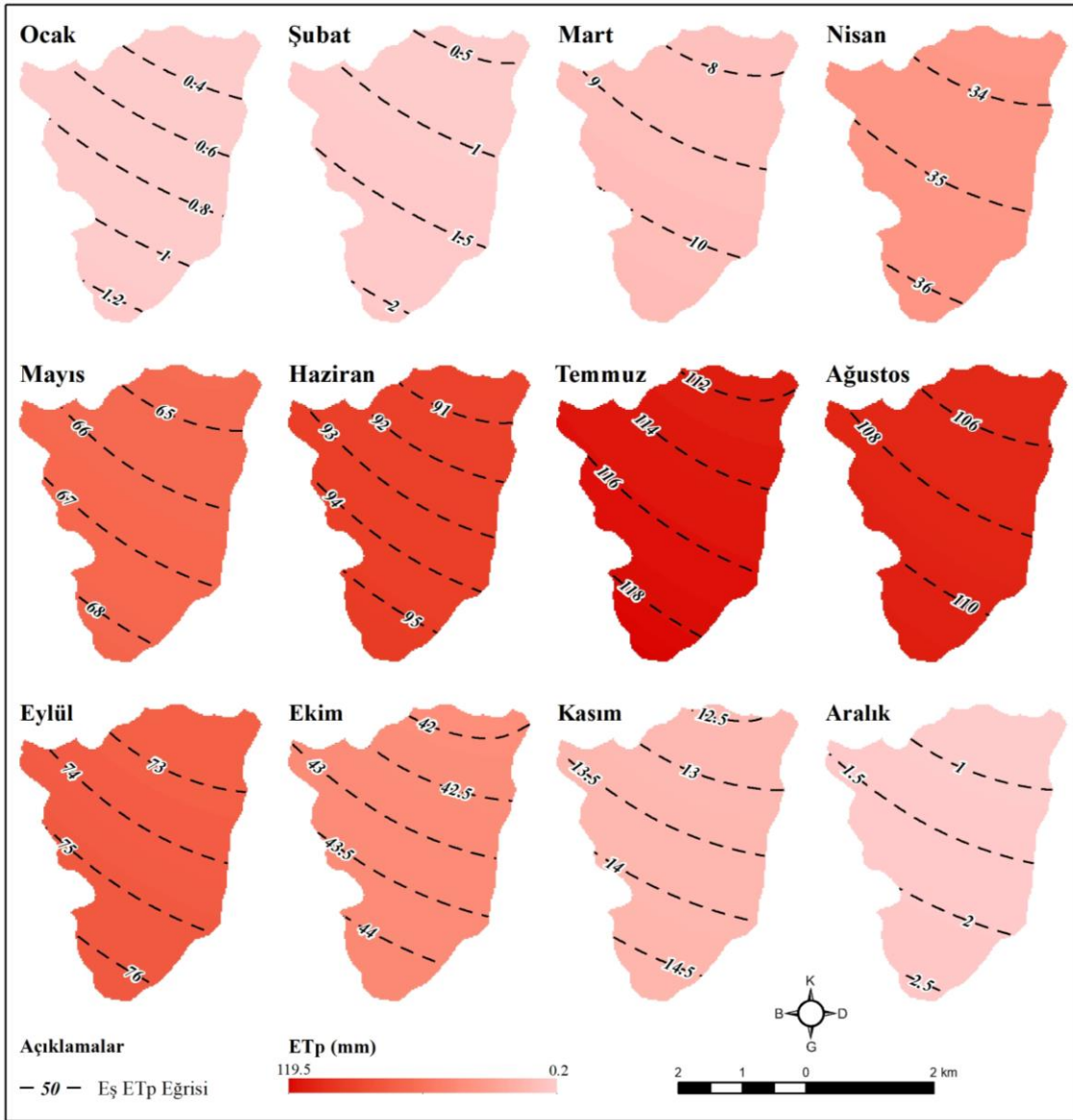
Şekil 3.10. CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (USGS yöntemi).

CKS yüzeysel drenaj alanı için USGS tarafından geliştirilen Thornthwaite tabanlı yöntemde uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp (Şekil 3.10) ve Eta (Şekil 3.11) miktarları sırası ile 42.1 ve 37.8 mm/ay olarak hesaplanmış olup, söz konusu değerler 10.2–102.9 mm/ay ve 7.1–88.0 mm/ay arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 3.4). Söz konusu yöntem ile CKS’de uzun yıllar (1980-2020) ortalama toplam ETp 504.7 mm/yıl hesaplanırken, Eta ise 453.4 mm/yıl hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). Bu yöntem ile hesaplanan uzun yıllar ortalama toplam ETp ve Eta değerleri, inceleme alanındaki uzun yıllar ortalama toplam yağışın (888.5 mm/yıl) sırası ile %56.8 ve %51.0’ine karşılık gelmektedir.



Şekil 3.11. CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam Eta dağılımı (USGS yöntemi).

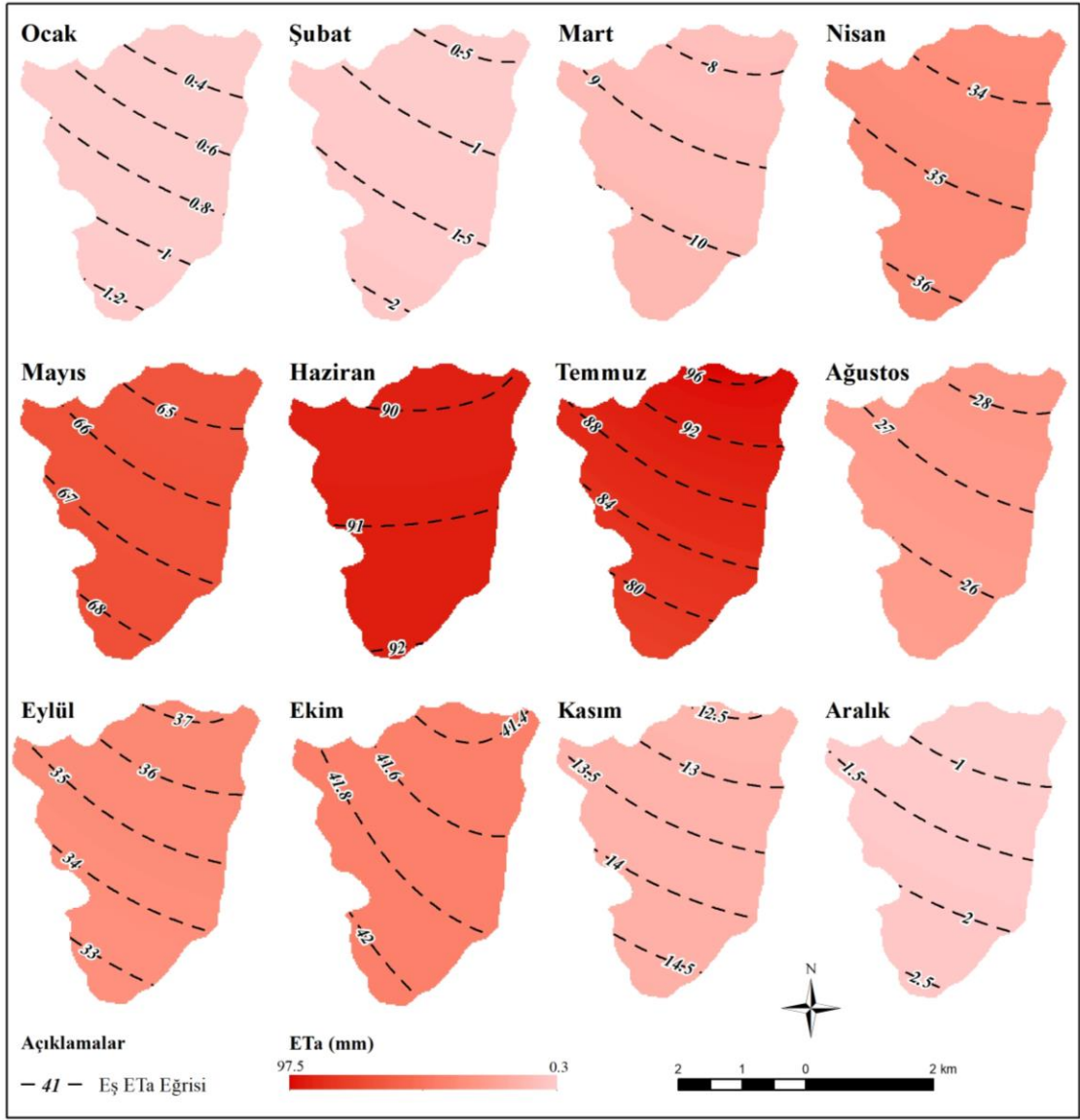
İnceleme alanında Thornthwaite-Mather yöntemi ile 1980-2020 yılları arasında ortalama ETP ve Eta değerleri sırası ile 558.5 mm ve 379.5 mm hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). CKS yüzeysel drenaj alanı için Thornthwaite-Mather yöntemi ile hesaplanan uzun yıllar aylık ortalama toplam ETP (Şekil 3.12) ve Eta (Şekil 3.13) miktarları sırası ile 0.2–119.2 mm/ay ve 0.2–97.3 mm/ay arasında değişmekte olup, söz konusu değerlerin ortalaması sırası ile 46.5 ve 31.6 mm/ay olarak elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.4).



Şekil 3.12 CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam ETp dağılımı (Thornthwait-Mather yöntemi).

CKS uzun yıllar(1980-2022) ortalama toplam yağışın (888.5 mm/yıl) sırası ile %62.9'u bu yöntem ile hesaplanan ETp'ye karşılık gelirken, %42.7'si ise Eta'ya karşılık gelmektedir.

Çalışma kapsamında uzun yıllar yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış parametreleri kullanılarak Turc yöntemi ile hesaplanan Eta değeri 390.7 mm/yıl ile 498.6 mm/yıl arasında değişmekte olup, ortalama 448.2 mm/yıl elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5). Söz konusu ortalama Eta değeri dikkate alındığında, CKS'deki uzun yıllar ortalama toplam yağışın (888.5 mm) %50.4'ü buharlaşma-terleme ile sistemden çıkmaktadır.



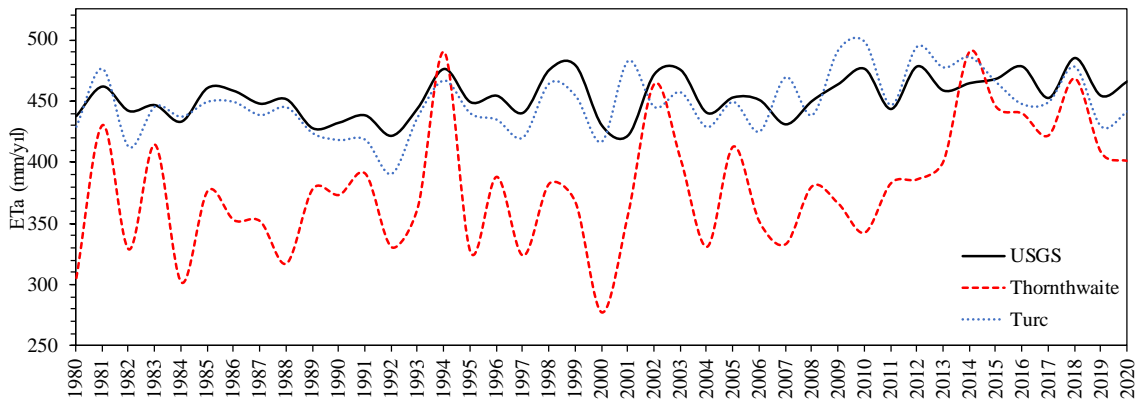
Şekil 3.13. CKS uzun yıllar aylık ortalama toplam Eta dağılımı (Thornthwaite-Mather yöntemi).

İnceleme alanındaki ETP ve Eta dağılım haritaları (Şekil 3.10-13) incelendiğinde genellikle yüksek kotlarda düşük buharlaşma-terleme söz konusu iken, düşük kotlarda yüksek buharlaşma-terleme miktarı hesaplanmıştır. Ancak, toprak zonundaki depolama (rezerv su) farkı nedeniyle yaz aylarında yüksek kotlarda buharlaşma-terleme miktarı düşük kotlara göre daha fazla gerçekleşmektedir.

CKS için hesaplanan Eta değerinin zamansal dağılımı Şekil 3.14’de verilmekte olup, her üç yöntem için hesaplanan Eta değeri 1980 yılından 2020 yılına kadar geçen zaman

diliminde 0.62 mm/yıl (USGS), 0.84 mm/yıl (Turc) ve 1.78 mm/yıl (Thornthwaite-Mather)'lık artış göstermektedir.

Bu bölüm kapsamında yapılan değerlendirmelerde; USGS ve Turc yöntemleri ile hesaplanan yıllık toplam Eta değerleri birbirine yakın sonuçlar sunarken, Thornthwaite-Mather yöntemi ile hesaplanan yıllık toplam Eta düşük değerler sunmaktadır (Şekil 3.14). Bu durumun inceleme alanında özellikle kış aylarında gözlenen negatif sıcaklık değerlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü, Thornthwaite-Mather yöntemi ortalama hava sıcaklığının 0 °C'nin altına düştüğü aylarda hesaplama yapmazken (Allen, 1998; Valiantzas, 2006; McCabe ve Markstrom, 2007) hava sıcaklığının negatif değerler ile temsil edildiği aylarda da buharlaşma-terleme olayının gerçekleştiği bilinmektedir (Rosenberry ve ark., 2004, 2007; Aydın ve Karakuş, 2016). Yapılan değerlendirmeler sonucunda USGS yönteminin kar erimesini ve negatif sıcaklık değerlerini de dikkate alarak hesaplama yapması nedeniyle, CKS su bütçesi hesaplamalarında buharlaşma kayıpları bu yöntem sonucunda elde edilen değerler ile hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5).

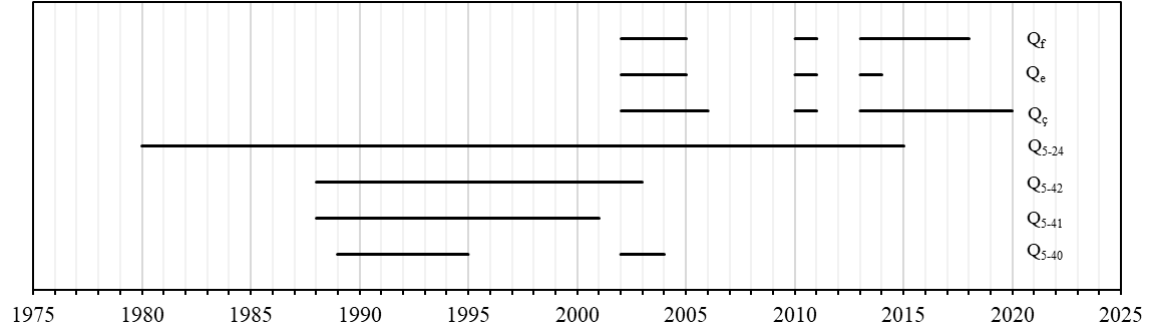


Şekil 3.14. CKS için hesaplanan yıllık toplam Eta değerlerinin zamansal dağılımı.

3.3.4. Akım ve Kaynak Boşalımı

CKS ve çevresinde yüzeysel akış miktarının belirlenmesi amacıyla, Gediz Nehri Havzası'nda DSİ tarafından işletilen AGİ'lerde 1973-2015 yılları arasında farklı zamanlarda ölçülen veriler değerlendirilmiştir (Şekil 3.15). Söz konusu AGİ'lere ait bilgi Çizelge 3.7'de verilmektedir. Bununla birlikte CKS'nin boşalımını sağlayan su noktalarının akım değerleri Uşak ili içme suyu projesi raporundan (DSİ, 2006) sağlanmış olup, söz konusu raporda Ekinlik ve Fındıklı derelerinin 2002-2005 ile Çokrağan

Kaynağı'nın 2002-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerleri yer almaktadır. Söz konusu akım değerleri ortak zaman periyoduna (Şekil 3.15) sahip olmayıp, eksik verisi bulunan istasyonlar için veri tamamlama prosedürü uygulanmıştır.



Şekil 3.15. CKS ve yakın dolay AGİ veri aralığı.

Çizelge 3.7. İnceleme alanı ve çevresindeki AGİ'lere ait genel bilgiler.

İstasyon No	İstasyon Adı	Gözlem Yeri	Koordinat		Kot (m)	Alan (km ²)
			Doğu (m)	Kuzey (m)		
5-24	Sazköy	Akarsu	717717	717717	801	184.1
5-40	Küçükler	Akarsu	725500	725500	1212	40.7
5-41	Dörtdeğirmen	Akarsu	709384	709384	709	564.6
5-42	Gümele	Akarsu	712272	712272	727	252.4
Qç	Çokrağan	Kaynak	728694	728694	1360	-
Qf	Fındıklı	Akarsu	728792	728792	1335	10.7
Qe	Ekinlik	Akarsu	728353	728353	1349	11.8

3.3.4.1. Eksik Akım Verilerinin Tamamlanması

Bölüm 3.3.1.1'de değinilen eksik yağış verilerinin tamamlanmasında uygulanan yöntem, eksik akım verilerinin tamamlanması sürecinde de kullanılmıştır. Akım verilerinin tamamlanması amacı ile ortak periyot 1980-2020 yılları arası kabul edilmiş olup, AGİ'lerde 1973-2020 yılları arasında gözlenen aylık ortalama akım değerleri dikkate alınmıştır. CKS ve yakın dolayında yer alan yedi adet AGİ arasında yapılan değerlendirme sonucunda altı adet AGİ'de gözlenen akım verileri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiş olup, eksik akım verilerinin tamamlanmasına ait elde edilen regresyon denklemleri ve determinasyon katsayıları Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. İnceleme alanı ve çevresindeki AGİ veri tamamlama bilgisi.

İstasyon Kodu		Eşitlik	$Q_{ort-ö}$			Q_{ort-s}			Fark	Verisi Tamamlanan Yıllar
Verisi Üretilen	Veri Alınan		R^2	R	R^2	R	R	(%)		
Q5-41	Q5-24	$Q_{5-41} = (1.679 \times Q_{5-24}) + 0.655$	3.436	0.674	0.821	3.389	0.951	0.975	-1.34	1980-1987, 2004-2021
Q5-42	Q5-41	$Q_{5-42} = (0.388 \times Q_{5-41}) + 0.371$	1.641	0.652	0.807	1.685	0.958	0.979	2.66	1980-1987, 2004-2021
Q _f	Q5-24	$Q_f = (0.017 \times Q_{5-24}) + 0.013$	0.042	0.641	0.801	0.041	0.856	0.925	-3.08	1980-2001, 2006-2007, 2009, 2012, 2019-2021
Q _e	Q _f	$Q_e = (1.351 \times Q_f) - 0.017$	0.035	0.775	0.880	0.039	0.941	0.970	9.86	1980-2001, 2006-2007, 2009, 2012, 2015
Q _ç	Q _f	$Q_ç = (7.352 \times Q_f) + 0.055$	0.351	0.707	0.841	0.349	0.825	0.908	-0.53	1980-2001, 2006-2007, 2009, 2012
Q5-24	Q _ç	$Q_{5-24} = (4.667 \times Q_ç) - 0.051$	1.659	0.574	0.758	1.629	0.640	0.800	-1.81	2015-2021

$Q_{ort-ö}$: tamamlama öncesi uzun yıllar yıllık ortalama debi; Q_{ort-s} : tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama debi.

Bu çalışma kapsamında; 1980-2020 yılları arasındaki eksik aylık ortalama akım verileri, birbiri ile anlamlı istasyon verileri ile tamamlanmış ve Ekinlik ve Fındıklı dereleri ile Çokrağan Kaynağı'nın 1980-2020 yılları arası aylık ve yıllık ortalama akım değerleri elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.4-5). Ayrıca, tüm istasyonların eksik olan aylık ortalama akım verileri tamamlandıktan sonra, her bir istasyonun verisi tamamlanmadan önceki uzun yıllar yıllık ortalama akım verileri ile tamamlama sonrası uzun yıllar yıllık ortalama akım verileri arasındaki fark %-3.08 ile %9.86 arasında hesaplanmıştır (Çizelge 3.8). Söz konusu istasyonların aylık akım verilerini tamamlamada kullanılan regresyon yöntemi ile elde edilen regresyon denklemleri, 0.574 ile 0.775 arasında değişen determinasyon katsayıları ile temsil edilmektedir. Örneğin, Fındıklı Deresi'nin 1980-2001, 2006-2007, 2009, 2012 ve 2019-2020 yılları arasında kalan eksik aylık akım verileri, 05-24 nolu AGİ verileri ile tamamlanmış olup, $Q_f = (0.017 \times Q_{5-24}) + 0.013$ regresyon denklemi ve 0.641 determinasyon katsayısı ile temsil edilmiştir. Başka bir ifade ile Fındıklı Deresi AGİ'de kaydedilen uzun yıllar yıllık ortalama akım değeri $0.042 \text{ m}^3/\text{s}$ iken, tamamlama sonrası söz konusu değer $0.041 \text{ m}^3/\text{s}$ hesaplanmış olup, aradaki fark %-3.08 olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.8). Yapılan eksik veri tamamlama çalışması öncesi ve sonrasında yaklaşık $\pm\%10.0$ 'luk bir hata payına karşılık geldiği, yapılan hesaplamaların ölçüm ve tahmin hataları içinde kaldığı ve hesaplanan akım verilerinin bütçe hesaplamalarında kullanılabileceğine karar verilmiştir (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996).

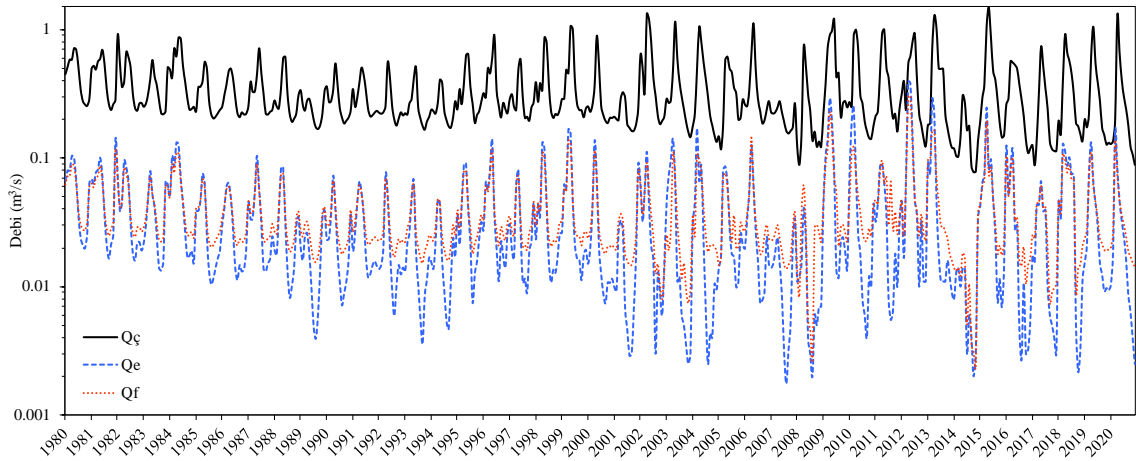
3.3.4.2. Akım Verilerin Değerlendirilmesi

Çokrağan Kaynağı ile Ekinlik ve Fındıklı dereleri 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerleri Şekil 3.16'da verilmektedir. Çokrağan Kaynağı'nın 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerleri $0.078 \text{ m}^3/\text{s}$ ile $1.490 \text{ m}^3/\text{s}$ arasında değişmekte olup, uzun yıllar ortalama akım miktarı ise $0.349 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.4, Şekil

3.16). Çokrağın Kaynağı'nın uzun yıllar yıllık en düşük ve en yüksek ortalama akım miktarı ise sırasıyla $0.148 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $0.527 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5).

CKS yüzeysel drenaj alanının boşalmasını sağlayan Ekinlik Deresi'nin 1980-2020 yılları arası aylık ve yıllık ortalama akım değeri $0.039 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Aylık ve yıllık en düşük ve en yüksek ortalama akım değerleri sırası ile $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.397 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bkz. Çizelge 3.4, Şekil 3.16) ve $0.010 \text{ m}^3/\text{s}$ - $0.101 \text{ m}^3/\text{s}$ (Bkz. Çizelge 3.5) arasında değişmektedir.

CKS'nin doğusunda yer alan Fındıklı Deresi yüzeysel drenaj alanının boşalmasını sağlayan Fındıklı Deresi 1980-2020 yılları arası en düşük ve en yüksek ortalama akım miktarı 0.002 ve 0.297 olarak hesaplanmış olup, uzun yıllar aylık ortalama akım miktarı ise 0.039 olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.4, Şekil 3.16). Fındıklı Deresi aylık uzun yıllar (1980-2020) yıllık en düşük ortalama akım değeri 2014 yılında $0.013 \text{ m}^3/\text{s}$ ve en yüksek ortalama akım miktarı 2012 yılında $0.088 \text{ m}^3/\text{s}$ gözlenmiş olup, uzun yıllar yıllık ortalama akım miktarı ise $0.041 \text{ m}^3/\text{s}$ hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 3.5).



Şekil 3.16. Çokrağın Kaynağı ile Ekinlik ve Fındıklı dereleri aylık ortalama akım değerleri.

CKS su bütçesi hesaplamalarında, Çokrağın Kaynağı ile Ekinlik ve Fındıklı dereleri drenaj alanları için 1980-2020 yılları arası yıllık ortalama akım değerleri kullanılmıştır (Bkz. Çizelge 3.5). CKS karst akiferinin toplam depolama hacmi, çekilme dönemi sonunda akiferden boşalan ve kalan su miktarı, iki ardışık yıl arasında akifer beslenimini sağlayan efektif yağış miktarı gibi karst akiferi dinamiğine ait hesaplamalarda ise

Çokrağan Kaynağının 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerleri kullanılacaktır (Şekil 3.16).

3.4. Su Bütçesi

CKS'nin hidrodinamik yapısının açıklanması ve kavramsal modelinin kurgulanması amacıyla su bütçesi bileşenleri olan yağış, buharlaşma, akım ve kaynak boşalım verileri 1980-2020 yılları arasında tez kapsamında elde edilen verilerle hesaplanmıştır. CKS'nin su bütçesi hesaplamaları yapılırken, kütle korunumu yasasına dayanarak sistemin beslenme ile boşalım miktarının belirlenen zaman diliminde birbirine eşit veya depolamadaki değişime denk olduğu kabul edilmiştir. CKS'nin su bütçesi hesaplamalarında, öncelikle Çokrağan Kaynağı karst akiferinin yüzeysel drenaj alanı ile bu kaynaktan boşalan su miktarı dikkate alınarak bütçe hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Ekinlik ve Fındıklı dereleri yüzeysel drenaj alanları için ayrı ayrı ve Ekinlik Dere ile doğusunda yer alan Fındıklı Dere yüzeysel drenaj alanlarının birlikte değerlendirilmesi olmak üzere üç şekilde su bütçesi hesaplaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17). Bu kapsamda;

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

Çokrağan Kaynağı için oluşturulan bütçe denklemi;

$$\bar{\Delta S}_E = P_E - [ETa + Q_C] \quad (3.10)$$

Ekinlik Deresi için oluşturulan bütçe denklemi;

$$\bar{\Delta S}_E = P_E - [ETa + Q_C + R_E] \quad (3.11)$$

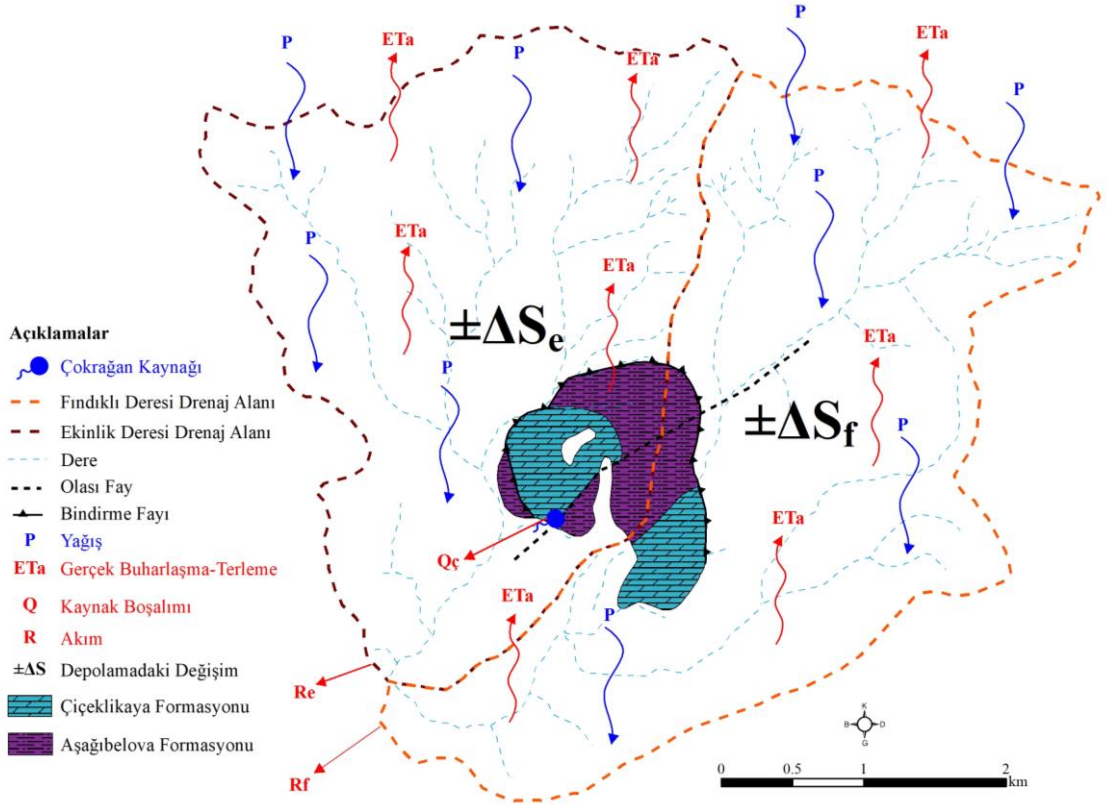
Fındıklı Deresi için oluşturulan bütçe denklemi;

$$\bar{\Delta S}_F = P_F - [ETa + R_F] \quad (3.12)$$

Ekinlik ve Fındıklı dereleri için oluşturulan bütçe denklemi;

$$\bar{\Delta S}_{Gen} = P_{Gen} - [ETa + Q_C + R_E + R_F] \quad (3.13)$$

Burada; $\pm\Delta S$: depolamadaki değişim miktarını (L^3/T), P : sisteme yağış ile giren su miktarını (L^3/T), ETa : sistemden gerçek buharlaşma-terleme ile çıkan su miktarını (L^3/T), Q : kaynak boşalımı ile sistemden çıkan yeraltısuyu miktarını (L^3/T) ve R : yüzeysel akım ile sistemden çıkan su miktarını (L^3/T) ifade etmekte olup, alt indisler ζ , E , F ve Gen ise sırasıyla Çokrağan Kaynağını, Ekinlik Deresini, Fındıklı Deresini ve geneli (Ekinlik+Fındıklı dereleri) ifade etmektedir.



Şekil 3.17. CKS ve yakın dolaylı kavramsal hidroloji modeli.

Çökrağan Kaynağı'nın boşalım yaptığı Jura yaşı Çiçeklikaya Formasyonunun (~1.5 km²) önemli bir kısmı (Şekil 3.17) Ekinlik Dere'nin 10.7 km²'lik yüzeysel drenaj alanında yüzeylenirken bir kısmı ise Fındıklı Dere'nin 11.2 km²'lik yüzeysel drenaj alanında yüzlek vermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda Ekinlik Deresi yüzeysel drenaj alanı (10.7 km²) ile Ekinlik Deresi ve Fındıklı Deresi yüzeysel drenaj alanları (21.9 km²) için ayrı ayrı uzun yıllar ortalama veriler ile su bütçesi hesaplanmıştır (Çizelge 3.9; Çizelge 3.10).

3.4.1. Bütçe Bileşenlerinin Hesaplanması

Öncelikle Çokrağan Kaynağı karst akiferini oluşturan Çiçeklikaya Formasyonunun yüzeylendiği alan ($\sim 1.5 \text{ km}^2$) dikkate alınarak gerçekleştirilen su bütçesi hesaplamalarında (Eş. 3.10) su bütçesi $10.364 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ($0.329 \text{ m}^3/\text{s}$) oranında eksik su vermiştir (Çizelge 3.8). Başka bir ifade ile Çokrağan Kaynağının ortalama $0.349 \text{ m}^3/\text{s}$ debi ile boşalım sağlayabilmesi için $0.329 \text{ m}^3/\text{s}$ oranında havza dışından suya ihtiyaç olduğunu işaret etmektedir. Bu durum, CKS hidrodinamik yapısı ile uyumlu olmadığı ve CKS su bütçesi hesaplamalarının Eş. 3.11-13 ile verilen denklemlerle yapılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 3.9. Çokrağan Kaynağı su su bütçesi sonuçları.

Havza	Yöntem	P (mm/yıl)	ETa (km^2)	Alan (km^2)	P	ETa ($\text{hm}^3/\text{yıl}$)	$Q_{\text{Ç}}$	$\pm \Delta S$ (m^3/s)	Fark (%)	
Ekinlik	USGS	888.5	453.4	1.5	1.333	0.680	11.017	-10.364	-0.329	-94.1
	Turc		448.2			0.672		-10.357	-0.328	-94.0
	Thornthwaite		379.5			0.569		-10.253	-0.325	-93.1

İnceleme alanının su bütçesinin hesaplanması kapsamında, 1980-2020 yılları arasında ölçülen yağış, sıcaklık ve akım verileri kullanılarak bütçe bileşenleri olan yağış, buharlaşma-terleme ve akım değerleri yıllık bazda hesaplanmıştır.

Çizelge 3.10. CKS ve yakın dolaylı su bütçesi sonuçları.

Havza	Yöntem	P (mm/yıl)	ETa (km^2)	Alan (km^2)	P	ETa	$Q_{\text{Ç}}$ ($\text{hm}^3/\text{yıl}$)	R_F	R_E	$\pm DS$ (m^3/s)	Fark (%)	
Ekinlik	USGS	888.5	453.4	10.7	9.507	4.851	11.017		1.218	-7.579	-0.240	
	Turc		448.2			4.796				-7.524	-0.239	
	Thornthwaite-Mather		379.5			4.061				-6.789	-0.215	
Fındıklı	USGS		453.4	11.2	9.951	5.078		1.293		3.580	0.114	
	Turc		448.2			5.020				3.638	0.115	
	Thornthwaite-Mather		379.5			4.250				4.407	0.140	
Genel	USGS		453.4	21.9	19.458	9.929	11.017	1.293	1.218	-3.999	-0.127	-36.3
	Turc		448.2			9.816				-3.886	-0.123	-35.3
	Thornthwaite-Mather		379.5			8.311				-2.381	-0.076	-21.6

3.4.1.1. Yağış (P)

CKS ve yakın dolayını için elde edilen 1980-2020 yılları arası yıllık toplam ortalama yağış miktarı 888.5 mm (Bkz. Çizelge 3.5, Bölüm 3.3.1) olup, söz konusu değer drenaj alanları ile çarpılarak alansal yıllık ortalama toplam yağış girdisi elde edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda Ekinlik Deresi yüzeysel drenaj alanında 9.507 hm³/yıl ve Fındıklı Deresi yüzeysel drenaj alanında ise 9.951 hm³/yıl yağış ile beslenme gerçekleşirken, her iki drenaj alanında yağış ile gerçekleşen beslenme miktarı 19.458 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.10).

3.4.1.2. Gerçek Buharlaşma-Terleme (ETa)

İnceleme alanı ve yakın dolayında 1980-2020 yılları buharlaşma-terleme ile sistemden çıkan su miktarı, Bölüm 3.3.3 kapsamında USGS, Thornthwaite-Mather ve Turc yöntemleri ile elde edilen ETa değerleri ile hesaplanmıştır. USGS, Turc ve Thornthwaite-Mather yöntemleri dikkate alınarak Ekinlik Deresi yüzeysel drenaj alanında sırasıyla 4.851 hm³/yıl, 4.796 hm³/yıl ve 4.061 hm³/yıl ve Fındıklı Deresi yüzeysel drenaj alanında ise 5.078 hm³/yıl, 5.020 hm³/yıl ve 4.250 hm³/yıl gerçek buharlaşma-terleme miktarı hesaplanmıştır. Her iki derenin toplamından oluşan sistemin genelinde ise 9.929 hm³/yıl (USGS), 9.816 hm³/yıl (Turc) ve 8.311 hm³/yıl (Thornthwaite-Mather) gerçek buharlaşma-terleme kaybı elde edilmiştir (Çizelge 3.10).

3.4.1.3. Akım-Kaynak Boşalımı (R-Q)

CKS ve yakın dolayında 1980-2020 yılları arasında yüzeysel akım ve kaynak boşalımı şeklinde sistemden çıkan su miktarı Bölüm 3.3.4 kapsamında türetilen verilerden elde edilmiştir. 1980-2020 yılları arasında Çokrağan Kaynağından boşalan ortalama yeraltısuyu miktarı 11.017 hm³/yıl (0.349 m³/s), Ekinlik ve Fındıklı derelerinden ise sırası ile 1.218 hm³/yıl (0.039 m³/s) ve 1.293 hm³/yıl (0.41 m³/s) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.10).

3.4.2. Bütçe Hesaplama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ekinlik ve Fındıklı dereleri ile genel için elde edilen bütçe bileşenleri sırası ile Eş. 10-12'de değerlendirilmiştir. Burada;

- $\Delta S = 0$, sistemin girdileri ile çıktılarının birbirine denk olduğunu,
- $\Delta S < 0$ sistemin girdilerin çıktılardan küçük olduğunu ve sisteme girdi olması gerektiğini,
- $\Delta S > 0$ sistemin girdilerinin çıktılardan büyük olduğunu ve sistemden çıktı olması gerektiğini ifade etmektedir.

Çokrağan Kaynağının boşalım sağladığı Ekinlik Deresi su bütçesinde USGS, Turc ve Thornthwaite-Mather yöntemleri ile hesaplanan Eta değerleri ayrı ayrı dikkate alındığında bu sistemin su bütçesi sırasıyla 7.579 hm³/yıl, 7.524 hm³/yıl ve 6.789 hm³/yıl oranında su eksikliği vermektedir. Başka bir ifade ile sistemin girdileri sistemin çıktılardan küçük olup, Ekinlik Deresi sistemine yüzeysel drenaj alanı dışından katkı olması gerektiğini ifade etmektedir. Fındıklı Deresi için gerçekleştirilen bütçe hesaplama sonuçlarında ise bu sistem 3.580 hm³/yıl (USGS), 3.638 hm³/yıl (Turc) ve 4.407 hm³/yıl (Thornthwaite-Mather) oranlarında bütçe fazlası vermiştir. Bütçe hesaplama sonuçları Fındıklı Deresi sisteminden başka sistemlere katkı olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ekinlik ve Fındıklı dereleri toplamından oluşan sistemin su bütçesinde USGS yöntemi ile hesaplanan ETa değeri dikkate alındığında sistem 3.999 hm³/yıl (0.127 m³/s) oranında eksik verirken, Turc ve Thornthwaite-Mather yöntemleri ile hesaplanan ETa değerleri dikkate alındığında ise 3.886 hm³/yıl (0.123 m³/s) ve 2.381 hm³/yıl (0.076 m³/s) oranında su eksikliği vermektedir (Çizelge 3.10).

USGS, Turc ve Thornthwaite-Mather yöntemleri ile hesaplanan ETa değerleri ayrı ayrı dikkate alınarak hesaplanan genel bütçe denklemi sonucunda açığa çıkan eksik su, Çokrağan Kaynağı uzun yıllar ortalama akım değerinin (0.349 m³/s) sırası ile %36.3, %35.3 ve %21.6'sına karşılık gelmektedir. Bu durum CKS ve yakın dolay için hesaplanan yağış, gerçek buharlaşma-terleme ve akım miktarlarının temsil edici olduğu varsayıldığında, Çokrağan Kaynağı 1980-2020 yılları arası uzun yıllar ortalama akım

(0.349 m³/s) değerinin gerekleŖebilmesi için 0.076 m³/s ile 0.127 m³/s oranında su ihtiyacı olduğunu göstermektedir. Ancak, CKS ve yakın dolayının hidrolojik kavramsal modeli ile sınır koŖulları (jeolojik ve hidrojeolojik yapı) dikkate alındığında bu türden bir katkının gelebileceği olası bir alan gözükmemektedir.

Bu aŖamada hidrolojik alıŖmalarda tahminlerin ve gözlemlerin ortalama hatasının, yaz aylarında yaklaşık $\pm\%10$ ve kiŖ aylarında yaklaşık $\pm\%20$ olmasının kabul edilebilir olduğu (Mutreja, 1986; Viessman ve Lewis, 1996) dikkate alınarak bte hesaplamaları tekrar gerekleŖtirilmiŖtir (izelge 3.11). CKS bte bileŖenlerinde yaęıŖ değeri $\%10$ artırılarak ve gerçek buharlaŖma-terleme değerleri ise $\%10$ azaltılarak hassasiyet analizi uygulanmıŖtır. Yapılan değerlendirme sonucunda Ekinlik Deresi su btesi 5.432 hm³/yıl ile 6.143 hm³/yıl oranında su eksiği veririrken, Fındıklı Deresi su btesi ise 5.083 hm³/yıl ile 5.828 hm³/yıl oranında su fazlası vermektedir.

Ekinlik ve Fındıklı dereleri drenaj alaları yani sistemin geneli için yapılan su btesi hesaplamaları USGS ve Turc yöntemleri ile hesaplanan ETa değerleri dikkate alındığında sırası ile 1.061 hm³/yıl (0.034 m³/s) ve 0.959 hm³/yıl (0.030 m³/s) su eksiği veririrken, Thornthwaite-Mather yöntemi ile hesaplanan Eta değeri dikkate alındığında ise 0.396 hm³/yıl (0.013 m³/s) oranında su fazlası vermektedir. USGS, Turc ve Thornthwaite-Mather yöntemleri ile hesaplanan ETa değerleri ayrı ayrı dikkate alınarak hesaplanan genel bte denklemi sonucunda açığa çıkan eksik su, okrağan Kaynağı uzun yıllar ortalama akım değerinin (0.349 m³/s) sırası ile $\%9.6$, $\%8.7$ ve $\%3.6$ 'sına karŖılık gelmekte olup, elde edilen sonuçlar $\pm\%10$ hata payı içinde kaldığı için hassasiyet analizi sonrası yapılan bte hesaplamalarının temsil edici olduğu kabul edilmiŖtir (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996). Bu durum CKS'de yüzeysel drenaj alanı ile yeraltı drenaj alanının akıŖmadıęı Ŗeklinde yorumlanmıŖtır.

Bte hesaplama sonuçları, okrağan Kaynağı'nın 0.349 m³/s uzun yıllar ortalama debi ile Ekinlik Deresi yüzeysel drenaj alanı içinde boŖalım sağlayabilmesi için bu sisteme havza dıŖından yeraltısuyu katkısı olması gerektiğini göstermektedir. Söz konusu katkının Ekinlik Dere yüzeysel drenaj alanı doğusunda yer alan Fındıklı Dere yüzeysel drenaj alanından gelebileceği öngörülmektedir. Çünkü hem Çokrağan kaynağının boŖalım yaptığı Çiçeklikaya ve AŖaęibelova formasyonlarının her iki drenaj alanı içinde

yüzlek vermesi hem de Çokrağan Kaynağı kaptaj alanını, inceleme alanını ve Fındıklı Deresini GD-KB doğrultusu boyunca kesen olası bir fayın varlığı (Şekil 3.17), Fındıklı Dere drenaj alanından Ekinlik Deresi drenaj alanına katkı olabileceğine işaret etmektedir.

Çizelge 3.11. CKS ve yakın dolayı hassasiyet analizi ile su bütçesi sonuçları (P %10 arttırılıp, ETa %10 azaltılarak).

Havza	Yöntem	<i>P</i> (mm/yıl)	<i>ETa</i> (km ²)	Alan	<i>P</i>	<i>ETa</i>	<i>Q</i> _Ç (hm ³ /yıl)	<i>R</i> _F	<i>R</i> _E	$\pm DS$ (m ³ /s)	Fark (%)	
Ekinlik	USGS	977.3	453.4	10.7	10.457	4.366	11.017		1.218	-6.143	-0.195	
	Turc		448.2			4.316				-6.094	-0.193	
	Thornthwaite-Mather		379.5			3.655				-5.432	-0.172	
Fındıklı	USGS		453.4	11.2	10.946	4.570		1.293		5.083	0.161	
	Turc		448.2			4.518				5.135	0.163	
	Thornthwaite-Mather		379.5			3.825				5.828	0.185	
Genel	USGS		453.4	21.9	21.404	8.936	11.017	1.293	1.218	-1.061	-0.034	-9.6
	Turc		448.2			8.835				-0.959	-0.030	-8.7
	Thornthwaite-Mather		379.5			7.480				0.396	0.013	3.6

4. HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLER

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yüzey ve yeraltısuyu kalitesini belirlemek ve Çokrağan Karst Sisteminin (CKS) hidrodinamik yapısını açıklayabilmek amacıyla Temmuz 2021 ve Kasım 2021 dönemlerinde arazi çalışması yapılarak majör iyon, ağır metal ve izotop örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.1. Hidrokimyasal Ölçüm, Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

CKS su kaynaklarının hidrojeokimyasal yapısını ortaya koyabilmek amacı ile önceki çalışmalar derlenmiş (DSİ, 2006; Baykara, 2007) ve ofis çalışmaları sonucunda arazide örnekleme yapılabilecek noktalar belirlenmiştir. Çokrağan Kaynağı'nın kaptaj alanında, Temmuz 2021 arazi çalışması dönemlerinde Jura yaşlı dolomitlerden boşalım yapan ana kol (CKR1), yan kol (CKR2) ve Triyas-Alt Jura yaşlı Aşağıbelova Formasyonundan boşalım sağlayan Sarıkız Kaynağı'ndan (CSK) su örnekleri alınmıştır (Şekil 4.1. Foto 4.1). Bununla birlikte, Temmuz 2021 arazi çalışması kapsamında CKS'nin memba bölümünde bulunan Fındıklı (FDN), Ağoluk (AGO), Geyikçiöğlü (GYK), Ekinlik (EKÇ) ve Kurudere (KDR) su noktalarından örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Ancak, Kasım 2021 dönemi örnekleme çalışmasında Çokrağan Kaynağı kaptaj alanında yer alan kaynaklardan (CKR1, CKR2 ve CSK) örnek alınırken Temmuz 2021 arazi çalışması kapsamında örneklenen diğer su noktalarından ulaşım koşullarından dolayı örnekleme yapılamamıştır (Şekil 4.1). Ayrıca, Çokrağan Kaynağı kaptaj alanının gerisinde Çokrağan Mağarası yer almakta olup, Kasım 2021 arazi çalışması döneminde Hacettepe Üniversitesi Mağara Araştırma Kulübü (HÜMAK) ile yapılan faaliyette, membadan boşalım noktasına doğru mağara içerisinde su örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir (MAG1, MAG2).

İnceleme alanında Temmuz ve Kasım 2021 dönemlerinde Çokrağan Kaynağı'nın ve civarındaki kaynakların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla yerinde/kaynak başında fizikokimyasal parametreler (sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), pH ve toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) Hannah Combo pH/EC/TDS marka taşınabilir çok parametrelili ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Her iki arazi çalışması sürecinde yukarıda belirtilen örnekleme noktalarından alınan örneklerden majör iyon analizleri gerçekleştirilmiş ve sodyum (Na^+), potasyum (K^+), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}),



Foto 4.1. CKS örnekleme noktaları.

İnceleme alanındaki yağışların kökenini belirlemek amacıyla Temmuz 2021 döneminde örnekleme yapılan su noktalarından çevresel izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$) için örnekleme yapılmış ve analizler Hacettepe Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında kaynak başında ölçülen fizikokimyasal parametrelerden elektriksel iletkenlik (EC) sıcaklık ile değiştiğinden dolayı özgül elektriksel iletkenlik (EC_{25}) değerleri, APHA ve ark. (1989) tarafından öne sürülen aşağıdaki eşitlik kullanılarak her bir örnekleme noktası için hesaplanmıştır.

$$EC_{25} = (EC_A \times K) / [1 + (0.0191 \times (t_A - 25))] \quad (4.1)$$

Burada; EC_{25} : 25 °C'de ki özgül elektriksel iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$), EC_A : arazide ölçülen elektriksel iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$), K : iletkenlik ölçer hücre sabitini ($K = 1 \text{ cm}^{-1}$) ve t_A : arazide ölçülen kaynak başı örnek sıcaklığını (°C) ifade etmektedir.

Appelo ve Postma (2010)'da, bir örneğe ait eşdeğer ağırlık (meq/l) cinsinden su kimyası analiz sonucu ile hesaplanan katyon-anyon dengesinin $\pm\%5$ hata payı içinde olması durumunda, bu analiz sonucunun hidrojeokimyasal değerlendirmelerde güvenli bir şekilde kullanılabileceği belirtilmektedir. Ancak, söz konusu çalışmada bu sınırın dışında ($>\pm\%5$) hata payı veren örneklerin hidrojeokimyasal çalışmalarda değerlendirilmesinin sakıncalı olacağı, mümkün olması durumunda analizlerin tekrar edilmesi veya değerlendirme dışı bırakılması önerilmektedir. Major iyon analiz sonuçlarının hidrojeokimyasal çalışmalarda güvenli bir şekilde kullanılabilirliğinin kontrol edilebilmesi amacı ile katyon-anyon dengesi (EN) her bir analiz sonucu için Eşit. 4.2 ile hesaplanmıştır.

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

4.2. Fizikokimyasal Parametrelerin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında CKS'nin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım ilişkisini açıklayabilmek ve çevresinde boşalım yapan kaynakların kimyasal ilişkisini ortaya koyabilmek amacıyla örnekleme ve saklama koşullarına uygun olarak örnekler alınmış olup, yerinde ölçümler yapılarak fizikokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.1). CKS ve yakın dolayında Temmuz 2021 döneminde alınan örneklerin fizikokimyasal parametreleri incelendiğinde; pH'nın 7.44–8.78, sıcaklığın 9.6–15.8 °C, EC₂₅ 270–1274 µS/cm ve TDS'nin 176–828 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanındaki su noktalarında yağışlı (Kasım 2021) döneminde alınan örneklerin pH, T, EC₂₅ ve TDS değerleri sırası ile 7.27–7.75, 9.4–13.1 °C, 523–1398 µS/cm ve 389–618 mg/L arasında değişmektedir (Çizelge 4.1.). DSİ (2006) ve Baykara (2007) tarafından yapılan çalışmalarda, 2005 ve 2006 yıllarında bu çalışmada olduğu gibi Çokrağan (CKR1, CKR2) ve Sarıkız (CSK) kaynaklarında T, pH, EC₂₅ ve TDS değerlerinin sırası ile 5.6–17.0, 6.70–7.62, 558–1472 µS/cm ve 364–917 mg/l arasında değiştiği belirtilmektedir. Çizelge 4.1'de CKS ve yakın dolayında nispeten düşük iyon içeriğine sahip (EC₂₅<500 µS/cm) sığ dolaşımli memba kaynakları (FDN, AGO, GYK, EKÇ ve KRD), nispeten yüksek iyon içeriğine (EC₂₅<1200 µS/cm) sahip derin dolaşımli Sarıkız Kaynağı (CSK) ile bu iki uç bileşen arasında yer alan karstik kaynaklar (CKR1, CKR2, MAG1 ve MAG2) açık bir şekilde ayırt edilmektedir.

Çizelge 4.1. İnceleme alanı su noktalarının fizikokimyasal özellikleri.

Kod	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	EC ₂₅	TDS (mg/l)
CKR1	Temmuz 2021	9.6	7.62	470	666	433
CKR2		10.1	7.68	510	713	463
CSK		15.8	7.44	1050	1274	828
FDN		11.1	7.65	250	340	221
AGO		11.4	7.46	200	270	176
GYK		12.0	8.35	370	492	320
EKÇ		12.1	8.78	330	438	285
KRD		13.6	7.95	230	294	191
CKR1	Kasım 2021	9.4	7.75	420	598	389
CKR2		10.1	7.64	680	951	618
CSK		13.1	7.27	1080	1398	908
MAG1		9.4	7.65	540	769	500
MAG2		10.7	7.46	380	523	340

4.3. Major İyon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

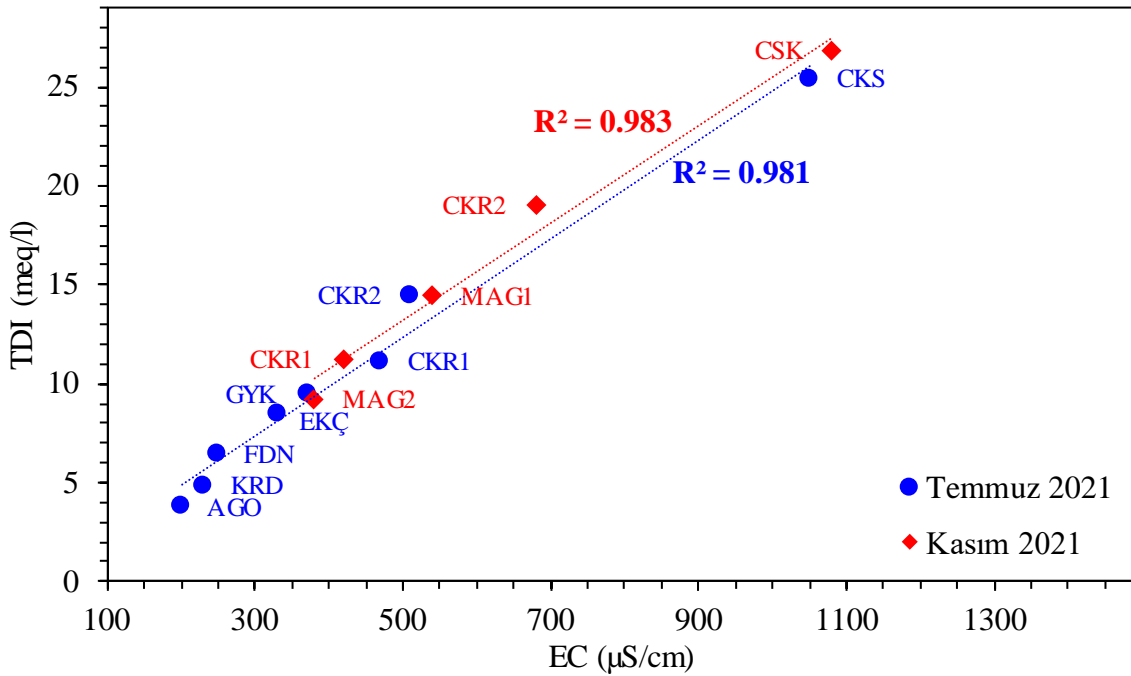
CKS ve yakın dolayında Temmuz ve Kasım 2021 arazi çalışmaları kapsamında alınan örneklerin majör iyon analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmektedir. Analiz sonuçlarının katyon-anyon dengesi hesaplamaları sonucunda elektro-nötralite değeri $\pm\%5$ hata payı (Appelo ve Postman, 2010) içinde ($\%-2.7$ ile $\%4.2$) elde edilmiş olup, bu durum söz konusu analiz sonuçlarının hidrojeokimyasal değerlendirmelerde güvenli bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir (Çizelge 4.2). Bununla birlikte, Mazor (1991), arazide ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) ile laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilen toplam çözünmüş iyon içeriği (TDI, meq/l) değerleri arasında oluşturulan grafikte doğrusal bir ilişki elde edilmesi durumunda analiz sonuçlarının yüksek kalitede olabileceğini ifade etmiştir. Temmuz ve Kasım 2021 dönemlerinde alınan örneklerin yerinde ölçülen EC ile TDI grafiği incelendiğinde, bu iki parametre arasında yaklaşık 0.98 korelasyon katsayısı ile temsil edilen doğrusal bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 4.2). Bu durum da tez çalışması kapsamında kullanılacak kimyasal analiz sonuçlarının güvenilir olduğunu işaret etmektedir.

Çizelge 4.2. İnceleme alanındaki su noktalarının kimyasal analiz sonuçları.

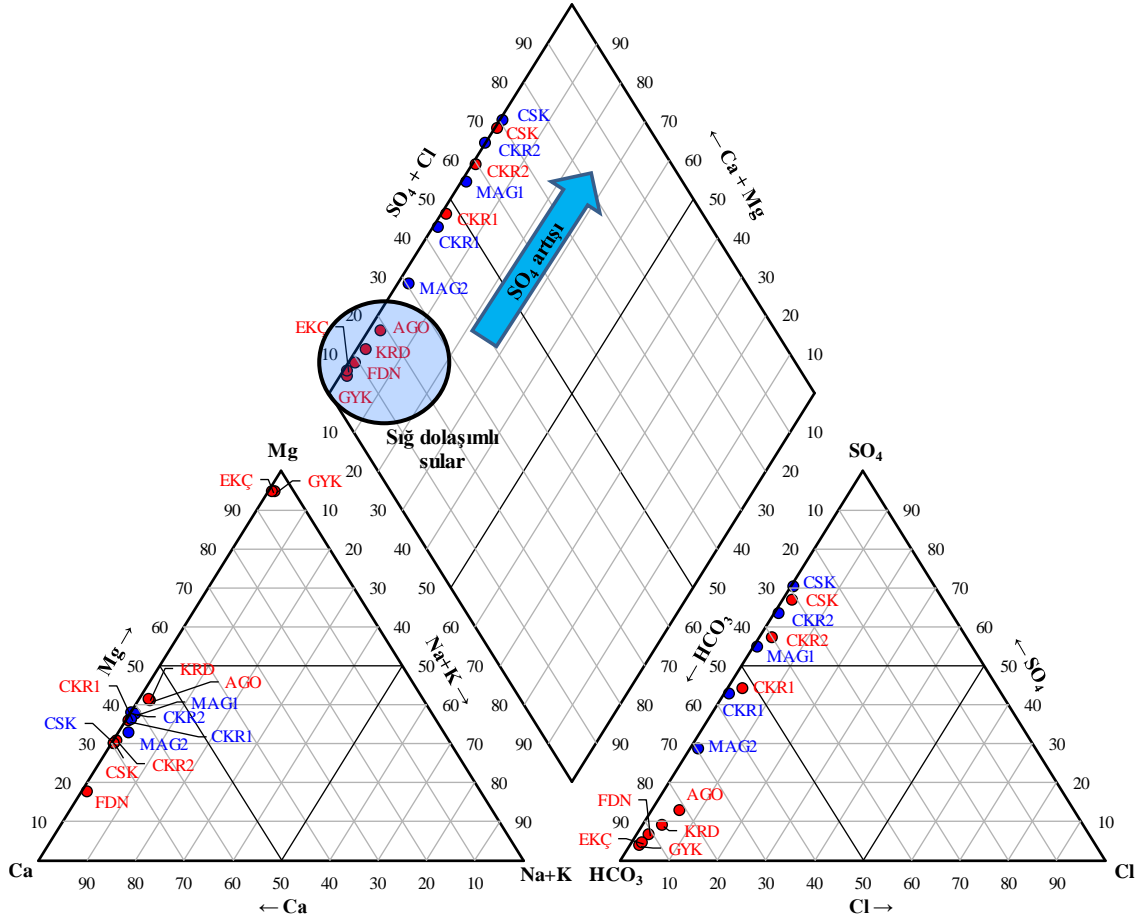
Kod	Tarih	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	F ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Σkatyon	ΣAnyon	EN (%)
CKR1	Temmuz 2021	0.064	0.016	3.409	1.954	0.000	0.000	2.941	0.198	2.436	0.058	0.000	0.082	5.442	5.715	2.4
CKR2		0.065	0.016	4.756	2.098	0.000	0.000	2.966	0.225	4.191	0.082	0.000	0.081	6.935	7.544	4.2
CSK		0.103	0.025	8.501	3.629	0.000	0.000	3.994	0.302	8.560	0.169	0.000	0.120	12.257	13.144	3.5
FDN		0.042	0.010	2.568	0.552	0.000	0.000	2.914	0.102	0.194	0.032	0.000	0.045	3.171	3.287	1.8
AGO		0.050	0.006	1.032	0.746	0.000	0.000	1.570	0.121	0.242	0.030	0.000	0.000	1.833	1.963	3.4
GYK		0.076	0.015	0.183	4.508	0.000	0.175	4.207	0.114	0.162	0.010	0.000	0.044	4.781	4.714	-0.7
EKÇ		0.044	0.011	0.181	4.013	0.000	0.239	3.670	0.106	0.174	0.032	0.000	0.045	4.249	4.265	0.2
KRD		0.047	0.010	1.364	0.989	0.000	0.000	2.067	0.110	0.208	0.035	0.000	0.045	2.410	2.464	1.1
CKR1	Kasım 2021	0.048	0.013	3.578	2.004	0.004	0.000	3.124	0.083	2.348	0.006	0.008	0.043	5.647	5.613	-0.3
CKR2		0.050	0.004	5.825	3.564	0.004	0.000	3.363	0.142	5.951	0.018	0.001	0.093	9.446	9.567	0.6
CSK		0.085	0.030	8.973	3.842	0.004	0.000	4.018	0.131	9.618	0.023	0.001	0.100	12.933	13.891	3.6
MAG1		0.085	0.019	4.426	2.703	0.004	0.000	3.175	0.087	3.890	0.004	0.001	0.041	7.237	7.198	-0.3
MAG2		0.105	0.017	3.078	1.535	0.004	0.000	3.093	0.098	1.251	0.008	0.001	0.043	4.739	4.493	-2.7

CKS ve yakın dolayındaki yeraltısularında baskın hidrojeokimyasal fasiyesinin belirlenmesi ve kimyasal süreçlerin yorumlanması amacıyla Piper diyagramı çizilmiştir (Şekil 4.3). Piper diyagramı incelendiğinde, Çokrağan Kaynağı kaptaj alanı içinde CKS’nin (Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu) ana boşalımını karstik kanal boyunca oluşturan CKR1 (Foto 4.1.b) su noktasında su türü CaHCO₃ fasiyesi ile temsil edilirken,

Çiçeklikaya ve Aşağıbelova formasyonları dokanağında düşük debi ile boşalım sağlayan CSK (Foto 4.1.d) su noktasında ise su türü CaSO_4 fasiyesi ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte, yine kaptaj alanı içinde CKR1 su noktasına oranla düşük debi ile boşalım sağlayan CKR2 su noktasında ise baskın katyonu Ca iyonları oluştururken baskın anyonları ise SO_4 ve HCO_3 iyonları oluşturmaktadır (Çizelge 4.2). DSİ (2006) ve Baykara (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da CKR1 su noktasında su türünün CaHCO_3 ve CKR2 ile CSK su noktalarında ise su türünün CaSO_4 olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte CKS ve yakın dolayında örneklenen AGO, FDN, KRD ve MAG2 su noktaları CaHCO_3 , GYK ve EKC su noktaları MgHCO_3 ve MAG1 su noktası ise CaSO_4 fasiyesi ile temsil edilmektedir.

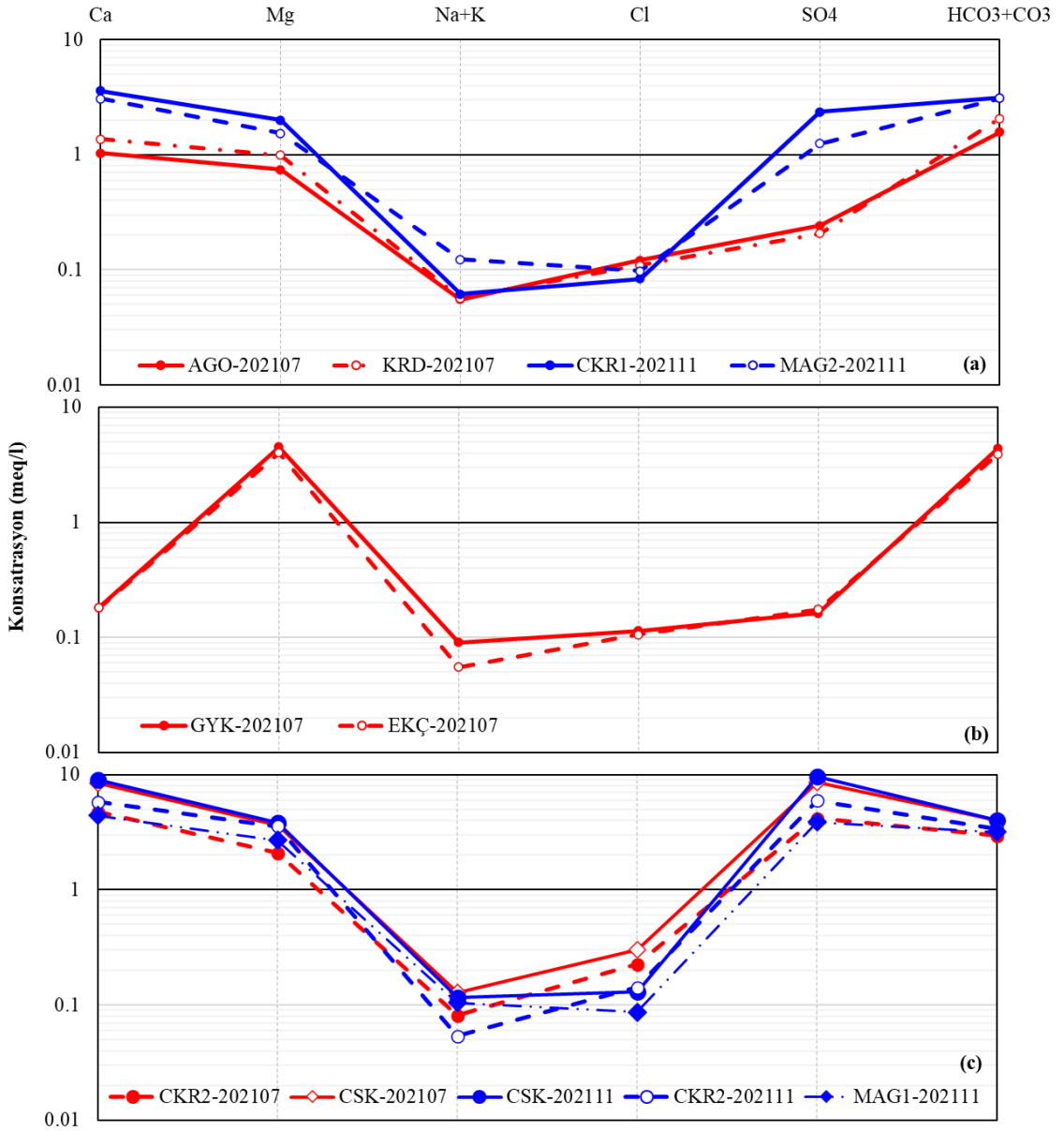


Şekil 4.2. İnceleme alanındaki su örneklerinin EC (µS/cm) – TDI (meq/l) grafiği.



Şekil 4.3. CKS su noktalarına ait Piper diyagramı.

İnceleme alanındaki suların kökeni ve benzerliklerini ortaya koyabilmek için major iyon analiz sonuçları ile oluşturulan yarı logaritmik Schoeller diyagramı Şekil 4.4'de verilmektedir. Açikel (2012) Schoeller diyagramlarında, benzer kökenli, aynı hazne ve beslenme alanına sahip suların benzer desenler oluşturduğu belirtilmektedir. CKR1, MAG2, AGO, FDN ve KDR suların benzer kökenli olup, bu sulara Ca^{2+} ve HCO_3^- iyonlar baskın iyonları oluşturmaktadır (Şekil 4.4a). Bu bağlamda, EKC ve GYK su noktaları aynı hazne ve beslenme alanına sahip olduğu ve bu noktalardaki sulara Mg^{2+} ve HCO_3^- iyonlarının diğer majör iyonlara oranla baskın olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.4b). CSK, CKR2 ve MAG1 su noktalarına ait analiz sonuçları yarı logaritmik diyagrama konulduğunda benzer özellik gösteren ve aynı kökene sahip sular olup, baskın iyonları Ca^{2+} ve SO_4^{2-} iyonları oluşturmaktadır (Şekil 4.4c).



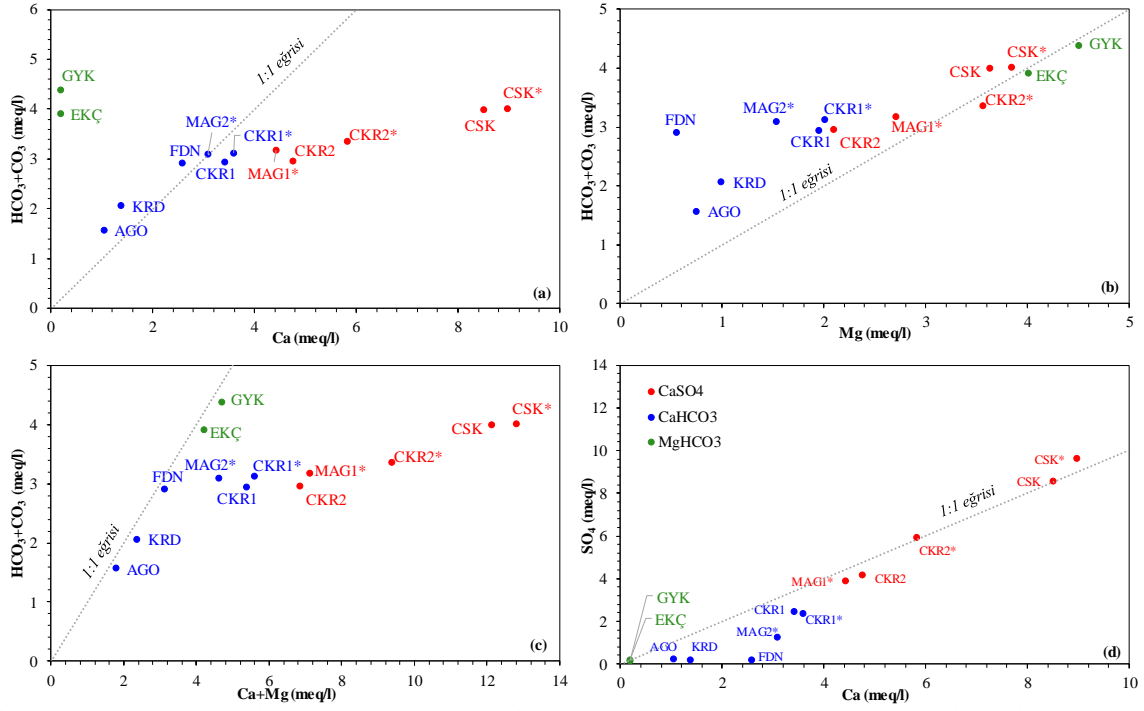
Şekil 4.4. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Schoeller diyagramı.

Bilindiği üzere genel olarak kireçtaşı ve mermer gibi karbonatlı kayaçların oluşturduğu karstik akiferlerden boşalan sular CaHCO_3 su türü (Crowther, 1989; Kresic ve Papic, 1990; Aydın, 2005; Açıklık, 2012; Nguyet ve ark., 2016; Lorette ve ark., 2018) ile temsil edilirken, dolomit gibi karbonatlı kayaçların oluşturduğu karstik akiferlerden boşalan sular ise MgHCO_3 su türü (Crowther, 1989; Kresic ve Papic, 1990; Nguyet ve ark., 2016; Lorette ve ark., 2018) ile karakterize edilmektedir. Bununla birlikte anhidrit ve/veya jips gibi evaporitik kayaçlardan oluşan karstik akiferler ile bu türden kayaçlar ile temas eden yeraltısuları CaSO_4 su türü ile temsil edilmektedir (Pu ve ark., 2013; Sanchez ve ark., 2015; Xiaoa ve ark., 2018; Huang ve ark., 2019). CaHCO_3 (Şekil 4.5a) ve MgHCO_3 'lı

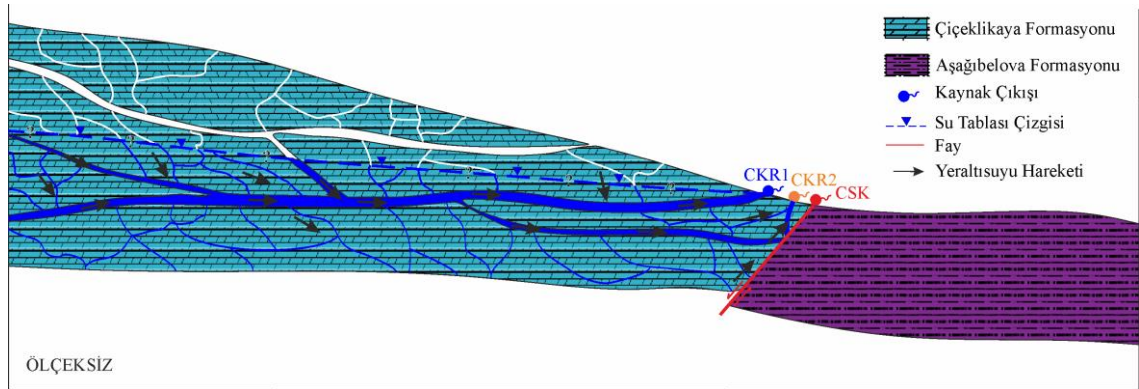
(Şekil 4.5b) suların inceleme alanında yüzeyleyen karbonatlı kayaçlar (Arıkaya (mermer) ve Çiçeklikaya (dolomit) formasyonları ile Murat Dağı Melanjı) ile karbonatlı bağlayıcı malzeme ve/veya kırıntılı malzeme içeren formasyonlardan (Aşağıbelova Formasyonu (çakıltaşı, kumtaşı, vb.) drene olan sular olduğu düşünülmektedir. Ancak, Aydın ve ark. (2020) SO₄'ce zengin CaSO₄ tipi suların genellikle sülfat minerallerinin çözünmesinden, sülfat içeren minerallerin oksidasyonundan veya oksijence zengin sıg dolaşımli yeraltısularında jeotermal gazların yoğunlaşmasından kaynaklandığını belirtmektedirler.

Şekil 4.5d'de CKS ve yakın dolayında SO₄'ce zengin sular (CSK, CRK2, MAG1), evaporit minerallerinin (jips ve anhidrit) çözünmesinin karakteristiği olan Ca/SO₄ (1:1) çizgisi üzerinde yer almakla birlikte inceleme alanı ve yakın dolayında evaporit mineralleri içerebilecek kayaçlar yüzeylememektedir. Ancak, Üst Kratese yaşlı Muratdağı Melanjı ayrışmamış olup, bu birim içinde anhidrit ve jips gibi evaporitik kayaçlar bulunabilir. İnceleme alanında en yüksek iyon içeriğine sahip su noktası CSK olup, bu kaynaktan boşalan sular mineralli su özelliği göstermektedir. CSK kaynağının boşalım yaptığı noktadan GB-KD doğrultusu boyunca uzanan normal fay ile Üst Kratese yaşlı ofiyolitik kayaçlar ile bunların üzerlediği birimler arasındaki ters fayların derin dolaşıma sahip mineralli su özelliği gösteren CSK kaynağının boşalmasını oluşturduğu öngörülmektedir.

Bununla birlikte Çokrağan Kaynağı kaptaj alanında CKR1 su noktasından boşalan sular yaklaşık 3-4 m genişliğinde bir karstik kanal boyunca boşalım sağlarken, CKR2 su noktası ise CSK kaynağında olduğu gibi fay hattı boyunca küçük bir noktadan boşalım sağlamaktadır. Ayrıca SO₄'ce zengin su özelliği gösteren CKR2 ve MAG1 su noktaları Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5'de görüldüğü üzere CaHCO₃ ile CaSO₄ tipi sular arasında kalmakta olup, karşımı suları özelliği sergilemektedir. Çokrağan Kaynağı kaptaj alanında CKR1, CKR2 ve CSK kaynaklarının olası boşalım mekanizması Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.5. CKS su kaynakları bileşim grafikleri.

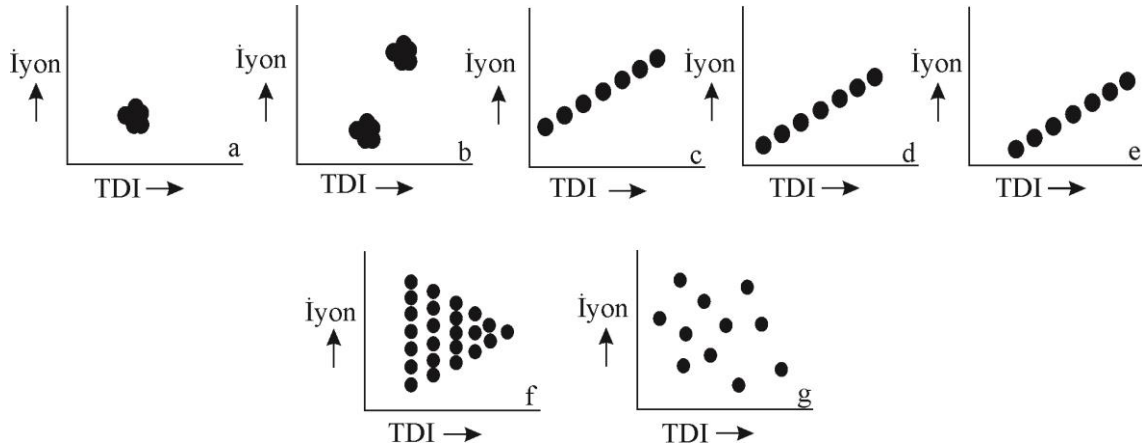


Şekil 4.6. CKR1, CKR2 ve CSK kaynaklarının olası boşalım mekanizması.

4.4. Karışım Grafikleri

Yeraltı veya yüzey suların kimyasal analizleri ile elde edilen Toplam Çözünmüş İyon (TDI) değerine karşı major iyonlar kullanılarak çizilen grafikler suların kökeni ve birbirleriyle olan ilişkilerinin açıklanmasına önemli katkılar sağlanmaktadır (Mazor, 1991; Aydın,1999). Mazor (1991)'e göre bu diyagramlarda örneklerin saçılımı, tek küme (a cluster), iki küme (two clusters), üçgen dağılım (triangular distribution), doğrusal dağılım (data plotting on lines), ve rassal dağılım (random distribution) olmak üzere beş

farklı durumda gözlenebilir. Eğer, sular tek bir akiferden boşalım gösteriyorsa, alınan örneklerin TDI-major iyon grafiği tek küme oluşturmakta ve bu suların aynı kökene sahip olduğunu ifade etmektedir (Şekil 4.7a). Farklı akiferlerden boşalan sulardan alınan örneklerin major iyon-TDI grafiği iki küme şeklinde oluşup, farklı kökenli iki tür suyun olduğunu temsil etmektedir (Şekil 4.7b). Major iyonun ve TDI verilerinin bir doğru boyunca gözlenen dağılım grafikleri farklı kökenden gelen suların karışımını göstermektedir. Bu tür grafiklerde, doğru “0” noktasını kesiyorsa seyrelme, TDI eksenini kesiyor ise iki farklı suyun karışımını ve major iyonun TDI içinde etkisinin düşük olduğunu, major iyonun eksenini kesiyor ise iki farklı suyun karışımını ve iyonun TDI içinde etkin olduğunu ifade etmektedir (Şekil 4.7c,d,e). Üçgen şeklindeki dağılım grafikleri, üç farklı kökenli suların karışımını ve sistemdeki üç farklı akiferi temsil etmektedir (Şekil 4.7f). Rassal dağılımı gösteren grafiklerde ise farklı kökenli, birbiriyle ilişkisi olmayan suları ve/veya veri kalitesinin zayıflığını göstermektedir (Şekil 4.7g; Mazor, 1991; Aydın, 1999).

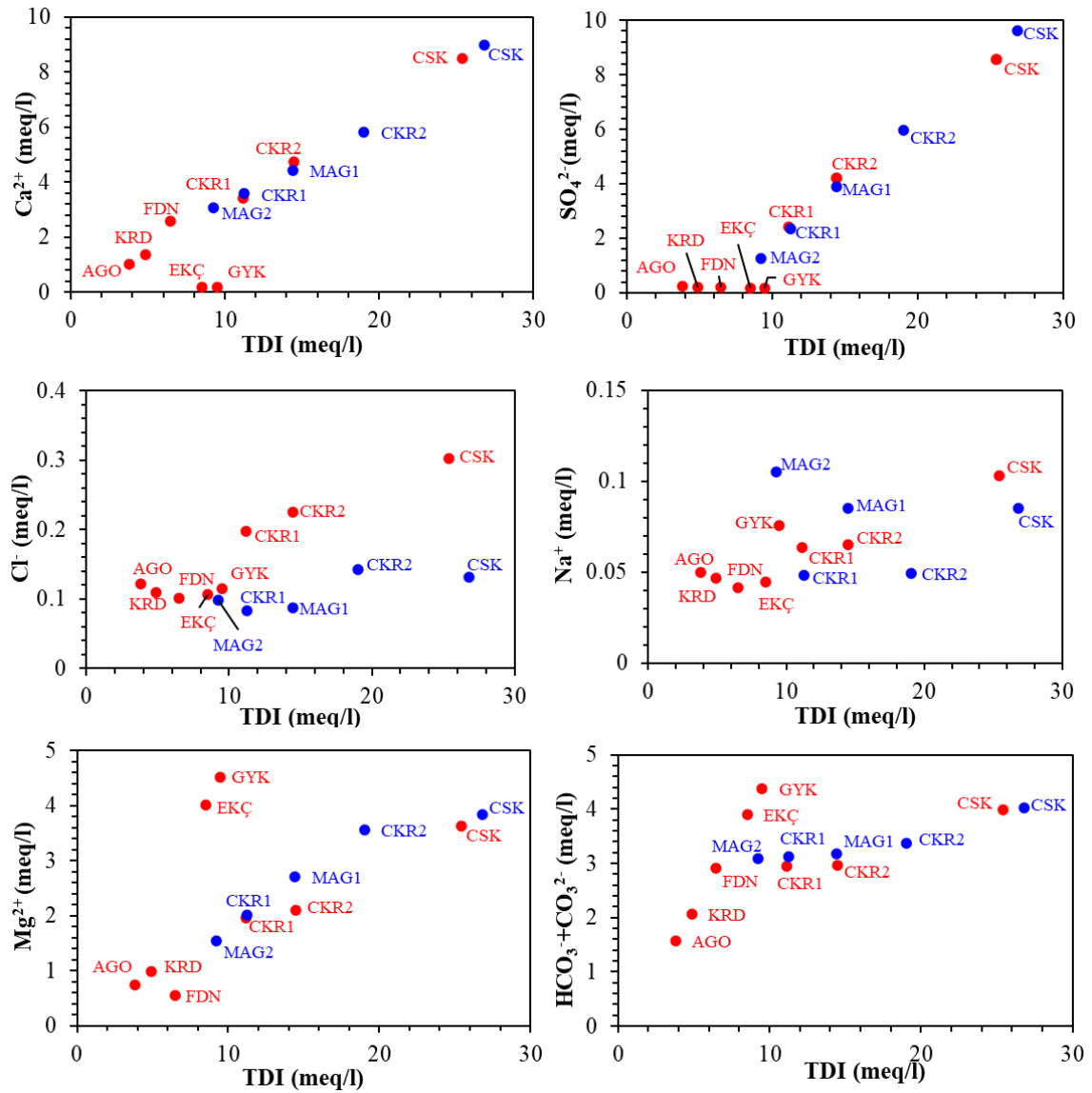


Şekil 4.7. TDI-iyon grafiği; (a) tek küme; (b) iki küme; (c, d, e) doğrusal dağılım; (f) üçgen dağılım ve (g) rassal dağılım (Mazor, 1991).

Çalışma alanındaki kaynaklardan Temmuz 2021 ve Kasım 2021 dönemlerinde alınan su örneklerinin TDI-major iyon grafiği oluşturulduğunda iki küme ve verilerin bir doğru boyunca dağılım göstermektedir (Şekil 4.8).

İnceleme alanındaki kaynak sularında katyonlar içinde Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonları ve anyonlar içinde ise HCO_3^- , CO_3^{2-} ve SO_4^{2-} iyonları baskın iyonları oluşturmaktadır. Mazor

(1991)'e göre Temmuz 2021 ve Kasım 2021 döneminde alınan su örnekleri verileri ile oluşturulan TDI-SO₄²⁻ ve TDI-Mg²⁺ grafiklerinin dağılımı incelendiğinde, EKÇ ile GYK (MgHCO₃) ve AGO, KRD ile FDN (CaHCO₃) suları nispeten düşük iyon içeriğine sahip sular grubunda yer almakta olup, söz konusu kaynaklar inceleme alanında memba kesiminde sığ dolaşım ile boşalım sağlamaktadır. Çokrağan Kaynağı kaptaj alanı içinde boşalım sağlayan nispeten yüksek iyon içeriğine sahip CSK kaynağı diğer uç bileşeni oluşturmaktadır. CKS'deki karstik kaynaklar (CKR1, CKR2, MAG1 ve MAG2) bu iki uç bileşen arasında yer almaktadır. Özellikle CKR2 ile MAG1 kaynakları CKR1 ve CSK kaynakları arasında yer alan karışım doğrusu üzerinde kalmaktadır.



Şekil 4.8. TDI-majör iyon dağılım grafikleri.

4.5. Kümelenme Analizi

Hidrojeolojik çalışmalarda alınan yüzey veya yeraltısuyu örneklerinin su-kayaç etkileşim süreçlerine bağlı olarak köken sınıflandırılması ve birbiri ile kıyaslanması yapılabilmektedir. Bundan dolayı hidrojeokimyasal analizlerin grafiksel sınıflandırmasının yanında çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak da suların kökensel ilişkisi hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Atilla, 1996).

Kümelenme analizi, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden birisi olup, grup (küme) sayısı bilirlenemeyen ve/veya gruplandırılmamış veri kümelerinin benzer özelliklerine göre sınıflandırılması için yapılmaktadır (Lorr, 1983; Davis, 1986; Eventt, 1993; Kalaycı, 2009). Bu analiz yöntemi, verilerin birimlere ve/veya değişkenlere göre birbirleriyle olan benzerliklerini kullanarak farklı gruplarda toplanmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı, CKS ve yakın dolayında yer alan su noktalarına ait analiz sonuçlarının kümelenme yöntemiyle gruplandırılması amaçlanmıştır.

Hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan olmak üzere kümelenme analizi ikiye ayrılmaktadır. Hiyerarşik olmayan kümelenme analizinde ilk olarak belirli sayıdaki veri kümesi için toplam ortalama hatayı minimum seviyeye getirmek amaçlanmaktadır. Ancak, hiyerarşik kümelenme analizinde ise veri kümesinin bütün olarak dikkate alınarak aşamalı olarak alt veri kümelerine ayrılması veya farklı veri kümelerinin aşamalı olarak bir veri kümesinde toplanması esasına dayanmaktadır. Hiyerarşik kümelenme analizi, verileri birbirleriyle olan ilişkisine bağlı olarak değişik aşamalarda birleştirilerek ardışık şekilde kümeler belirlemeyi ve bu kümelere eleman olacak verilerin mesafe veya benzerlik düzeyine göre küme elemanını belirlemeyi amaçlayan yöntemdir (Lorr, 1983; Davis, 1986; Eventt, 1993; Kalaycı, 2009).

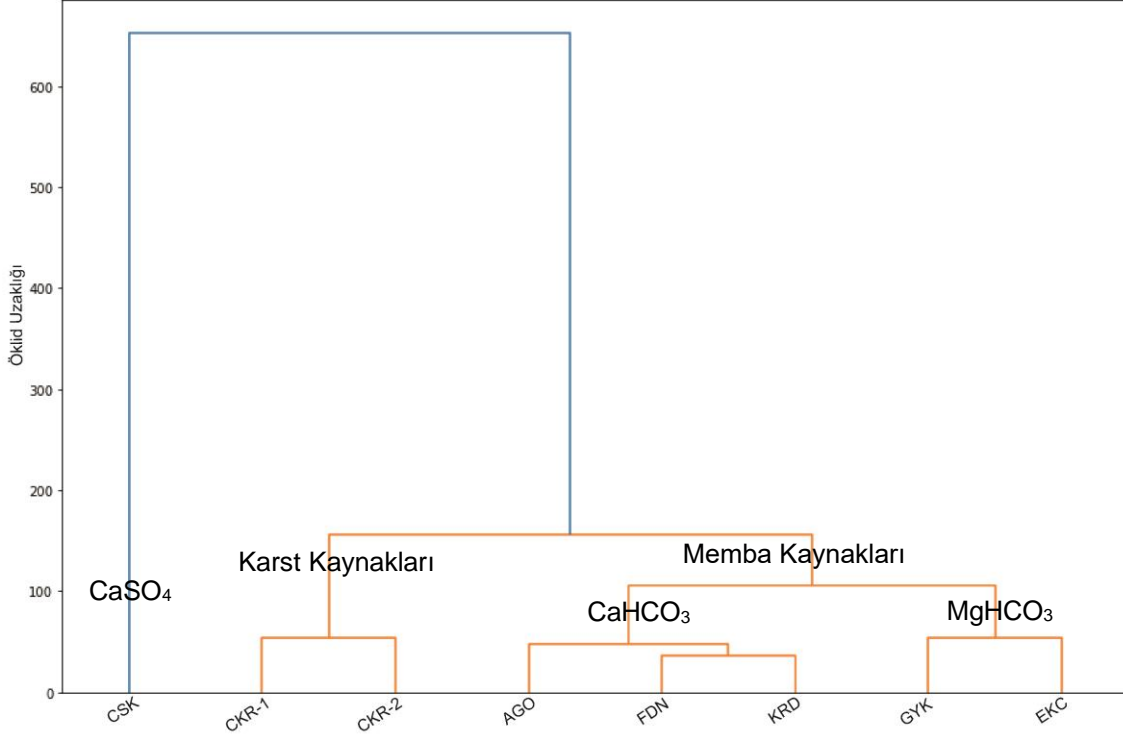
Hiyerarşik kümelenme analizi, birleştirici hiyerarşik kümelenme ve bölünmeli hiyerarşik kümelenme olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Birleştirici hiyerarşik kümelenme, her bir veriyi bir küme olarak kabul edip, birleştirme işlemleri yapılarak bu kümeler tek bir küme elde edilinceye kadar devam ettirilmektedir. Bölümleyici hiyerarşik kümelenme yönteminde ise başlangıçta bütün verilerin bir ana küme oluşturduğu kabul edilmekte,

daha sonra bu ana kümedeki veriler aşamalı olarak farklı kümelere ayırmaktadır (Lorr, 1983; Davis, 1986; Eventt, 1993; Kalaycı, 2009).

Hiyerarşik kümelendirme analizi, Tek Bağlantı (Single Linkage), Ortalama Bağlantı (Average Linkage) ve Tam Bağlantı (Complete Linkage) yöntemleri olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Tek Bağlantı yöntemi, en kısa mesafe esasına dayanmakta olup, en yakın komşuluk tekniği olarak da bilinmektedir. Bu yöntem, uzaklıklar matrisine bağlı olarak birbirine en yakın kümeleri birleştirilmek amacıyla art arda birleştirmeler tekrarlı biçimde yapılmaktadır. Ortalama Bağlantı yöntemi, ayrı kümelere yer alan veri çiftlerinin birbirlerine olan ortalama uzaklık hesaplanıp, elede edilen değer iki küme arasındaki mesafe olarak kabul edilmektedir. Tam Bağlantı yönteminde ise Tek Bağlantı yöntemine çok benzemektedir, en uzak komşuluk tekniği olarak da literatürde yer almaktadır. Başka bir ifadeyle, bu yöntemde iki küme arasındaki mesafe olarak her kümedeki veri çiftlerinin arasındaki en büyük uzaklık alınmaktadır (Lorr, 1983; Davis, 1986; Eventt, 1993; Kalaycı, 2009).

CKS ve yakın dolayında arazi çalışmaları dönemlerinde yerinde ölçülen ve alınan su örneklerinin laboratuvar analiz sonuçları bilgisayar programı olan Phyton içerisindeki kütüphanede bulunan “Hiyerarşik Kümelendirme Analiz” paketi kullanılarak değerlendirilmiştir. CKS ve yakın dolaylı su noktalarına ait fizikokimyasal parametreler (pH, T, EC ve TDS) ve major iyon (Ca, Mg, Na, K, NH₄, CO₃, SO₄, Cl, HCO₃, F, NO₂, NO₃) analiz sonuçları kümelendirme analiz yöntemlerinden tam bağlantılı yöntemde kullanılarak analiz edilmiştir (Şekil 4.9).

CKS ve yakın dolayında arazi çalışması döneminde örneklenen su noktaları kendi içinde CKS, karst kaynakları (CKR1 ve CKR2) ve memba kaynakları (AGO, FDN, KRD, GYK ve EKC) olmak üzere üç farklı grup oluşturmaktadır (Şekil 4.9). Söz konusu gruplama önceki bölümlerde yapılan değerlendirmeler benzer şekilde olup, suların kökensel ilişkisini açıklayacak şekilde elde edilmiştir. Kümelendirme analizinde, CKS noktasından alınan su örneği açık bir şekilde diğer örneklerden farklı bir grup oluşturmaktadır. Bunun en önemli nedeni bu kaynaktan boşalan suların CaSO₄ tip sular olmasıdır. Diğer örnekleme noktalarının beslenme alanına uzaklığı, toplam iyon içeriği, vb. nedenlerden dolayı alt gruplar şeklinde kümelendirilmiştir.



Şekil 4.9. CKS ve yakın dolay su noktaları dendogramı.

4.6. Doymuluk İndisi (SI)

Bir çözeltinin herhangi bir minerale göre doymuluk durumu, doymuluk indisi ($SI = \log(IAP/K_T)$) ile değerlendirilmektedir. Eğer bir çözeltide herhangi bir minerale ait SI değeri 0'dan küçük ise doymun olmayan, eşit ise doymun ve 0'dan büyük ise aşırı doymun olarak sınıflandırılmaktadır (Stumm ve Morgan, 1981; Apoelo ve Postman, 2005).

Çokrağan Kaynağı ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin doymunluk indisi hesaplamaları, USGS tarafından geliştirilen PhreeqC (Parkhurst, 1995) bilgisayar programıyla gerçekleştirilmiştir. Söz konusu programda CKS ve yakın dolayının jeolojik ve tektonik yapısı ile olası su-kayaç etkileşim süreçleri dikkate alınarak Anhidrit ($CaSO_4$), Aragonit ($CaCO_3$), Kalsit ($CaCO_3$), Dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ve Florit (CaF_2) minerallerinin doymunluk indisi hesaplamaları yapılmıştır (Çizelge 4.3).

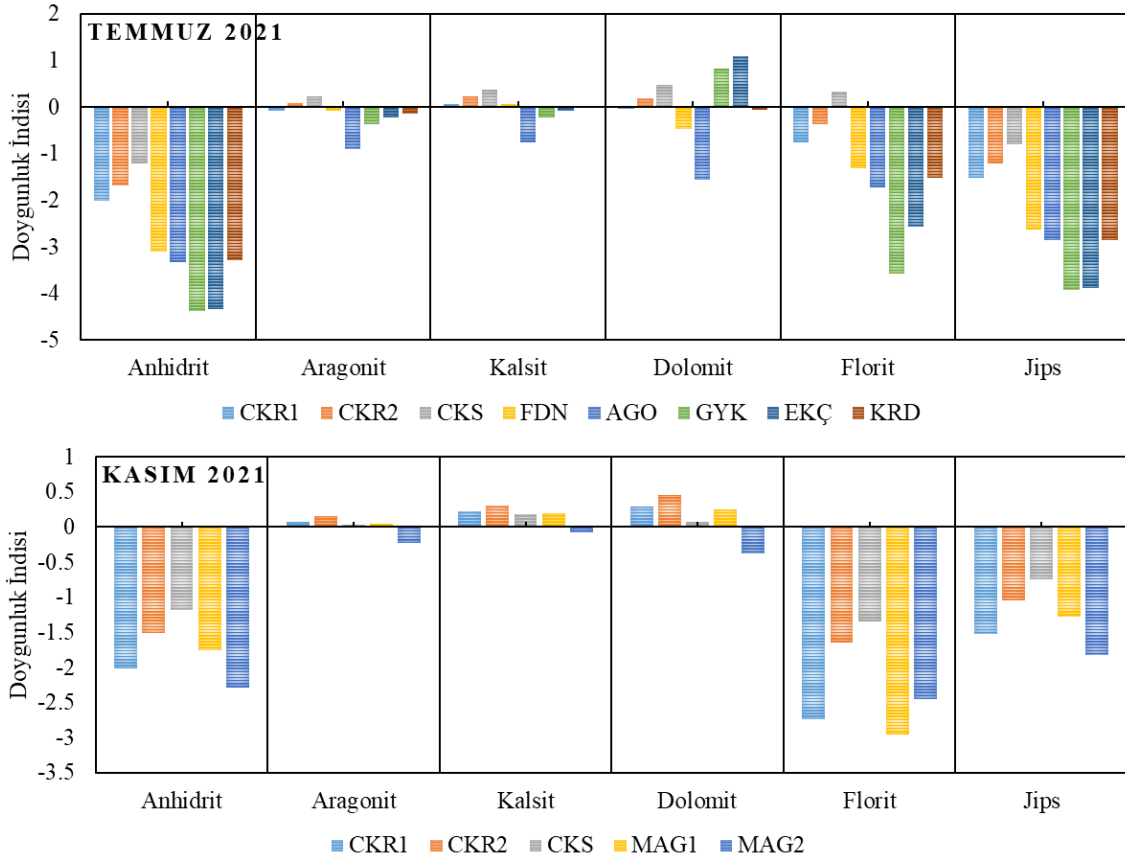
İnceleme alanından Temmuz ve Kasım 2021 dönemlerinde alınan su örneklerin doymunluk indisi grafikleri Şekil 4.10'da verilmektedir. CKS ve yakın dolayındaki memba kaynakları hemen hemen tüm minerallere doymun olmayan durum gösterirken, $MgHCO_3$

su tipi ile temsil edilen GYK ve EKC su noktaları dolomit açısından doymun özellik göstermektedir. CKR1, CKR2 ve CKS su noktaları kalsit, aragonit ve dolomit mineralleri açısından doymun özellik sergilerken, bu mineraller dışında kalan diğer minerallere doymun değildir (Şekil 4.10).

Çizelge 4.3. Doymunluk indisi analiz sonuçları.

Kod	Dönem	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Dolomit	Florit	Jips
CKR1	Temmuz 2021	-2.01	-0.09	0.06	-0.05	-0.76	-1.53
CKR2		-1.68	0.09	0.23	0.19	-0.36	-1.21
CKS		-1.22	0.23	0.37	0.47	0.32	-0.81
FDN		-3.10	-0.09	0.06	-0.47	-1.31	-2.63
AGO		-3.32	-0.90	-0.75	-1.56	-1.73	-2.86
GYK		-4.37	-0.37	-0.23	0.82	-3.57	-3.92
EKÇ		-4.33	-0.23	-0.09	1.08	-2.57	-3.88
KRD		-3.28	-0.15	-0.01	-0.07	-1.53	-2.85
CKR1	Kasım 2021	-2.01	0.08	0.23	0.29	-2.73	-1.52
CKR2		-1.51	0.15	0.30	0.46	-1.65	-1.04
CKS		-1.18	0.04	0.18	0.08	-1.35	-0.74
MAG1		-1.75	0.05	0.20	0.25	-2.96	-1.27
MAG2		-2.29	-0.22	-0.08	-0.38	-2.45	-1.82

Yüzey ve yeraltısularının mineral doymunluk indisi değerleri su ile kayaç arasındaki etkileşimi göstermektedir. Shuster ve White (1972), yerel ve yaygın dolaşımli karstik akiferlerde dolaşım koşullarının, SI_{Ca} değeri ile ayırt edilebileceği ve eşik değerin -0.3 (SI_{Ca}) olduğunu belirtmektedir. Bundan dolayı, karstik akiferde yerel dolaşım ile drene olan suların SI_{Ca} değeri bu sınırın altında ve yaygın dolaşım ile drene olan suların ise bu sınırın üstünde olması gerektiğini vurgulanmaktadır. İnceleme alanında CKS ve yakın dolayında yer alan CKS, CKR1, CKR2, MAG1 ve MAG2 su noktaları için hesaplanan SI_{Ca} değerleri -0.3 değerinden büyük olması, bu kaynakların drene olduğu karst akiferinde yaygın dolaşımın baskın ve su-kayaç etkileşim sürecinin nispeten daha uzun olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.10. CSK örnekleri doğunluk indisi grafikleri.

4.7. Duraylı İzotop Analizlerinin Değerlendirilmesi

Meteorik sularda, hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Söz konusu ilişki; $\delta D = s \times \delta^{18}O + d$ bağıntısı ile ifade edilmektedir. Burada; s meteorik doğrunun eğimi ve d ise döteryum fazlasını ifade etmektedir. Küresel ve/veya yağışların 2H ve ^{18}O değerleri saçılım grafiklerinde değerlendirildiğinde, bu iki izotop arasında doğrusal bir ilişki söz konusu olup, aralarındaki ilişkiyi temsil eden eşitlik “Küresel/Yerel Meteorik Su Doğrusu” olarak adlandırılmaktadır (Craig, 1961).

$$\delta ^2H\text{‰} = 8 \times \delta^{18}O\text{‰} + 10 \quad (4.3)$$

Yerel yağışlarda yapılan izotop analizleri ile çalışılan bölgeye ait meteorik su doğruları ve denklemleri elde edilmektedir. Doğal koşullar altında yeraltı veya yüzey su kütlelerinden buharlaşan sular, $\delta^{18}O$ ve δ^2H bakımından zenginleşmektedir. Normal

yağışlara göre kısmi buharlaşma olan yağışlardaki $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$ oranı, bu eşiklikten elde edilen oranından daha büyüktür. Bir örneğe ait ^{18}O ve ^2H izotop değerinin küresel veya yerel meteorik su doğrusuna göre konumu, söz konusu suyun buharlaşmadan itibaren kaynak boşalımına kadar hidrolojik çevrimde geçirdiği süreçleri (buharlaşma kaynağı, yükselti, sıcaklık, enlem, vb.) ifade etmektedir (Freeze ve Cherry, 1979).

Çalışma kapsamında CKS su noktalarından alınan örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri sırası ile ‰-10.39 – ‰-9.99 ve ‰-65.61 – ‰-61.78 arasında değişmektedir. CKS ve yakın dolayında yer alan CKR1 ve CSK kaynakları ile Ekinlik ve Fındıklı derelerinden DSİ II. Bölge Müdürlüğü tarafından 2019 ve 2020 yıllarında gerçekleştirilen $\delta^{18}\text{O}$ (‰-10.52 – ‰-9.74) ve $\delta^2\text{H}$ (‰-66.18 – ‰-60.47) izotop analiz sonuçları da bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile benzerlik göstermektedir (Çizelge 4.4). CKS ve yakın dolay için Küresel Meteorik Su Doğrusu (GMWL; Craig, 1961) ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (MMWL; Gat ve Carmi, 1970) dikkate alınarak oluşturulan grafik Şekil 4.11’de verilmektedir. Ayrıca söz konusu grafiğe Marmara Meteorik Su Doğrusu’da ($\delta^2\text{H}\text{‰} = 8 \times \delta^{18}\text{O}\text{‰} + 15$; Eisenlohr, 1997) eklenmiştir.

CKS’nin boşalımını sağlayan; su noktalarının izotop içerikleri GMWL ile MMWL arasında yer almakta olup, bölgedeki yağışların Marmara ve Akdeniz kökenli yağışlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Clark ve Fritz (1997)’de $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ diyagramlarında oluşturulan küresel/yerel meteorik su doğrusundan bağıl nemle ilişkili olarak düşük eğimli sapmaların buharlaşma etkisi olduğunu ifade edilmiştir. Buna bağlı olarak, bağıl nemin düşük olması küresel/yerel meteorik su doğrusundan düşük eğimli sapmaların buharlaşma etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir. Alınan örneklerin genellikle izotop içerikleri, bu kaynaklardan boşalan suların beslenme ve süzülme sürecinde buharlaşmaya maruz kaldığını işaret etmektedir (Şekil 4.11).

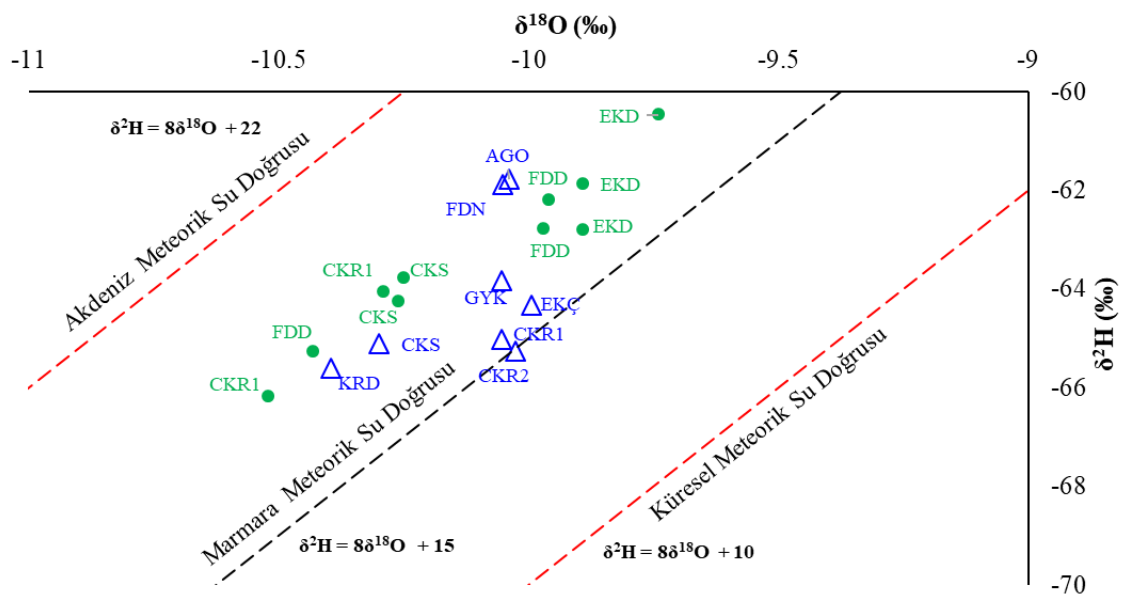
Çokrağan Kaynağı kaptaj alanından boşalım sağlayan CKR1, CKR2 ve CSK kaynak suların, CKS memba kesiminde boşalım sağlayan diğer sulara oranla özellikle $\delta^2\text{H}$ bakımından daha fakir (~‰1-2) oldukları görülmektedir (Çizelge 4.4). Bu durum, söz

konusu kaynakların kot olarak memba kaynaklarına göre daha yüksek alanlardan beslendiklerini göstermekle birlikte CKS’de boşalım sağlayan su noktalarının olası beslenme alanlarının belirlenmesine yönelik ^{18}O -Kot ve ^2H -Kot ilişkilerinden anlamlı değerler elde edilememiştir.

Çizelge 4.4. İnceleme alanından alınan su örneklerinin duraylı izotop sonuçları.

Kod	Tarih	Boşalım Kotu (m)	$\delta^2\text{H}$		$\delta^{18}\text{O}$		Kaynak
			Değer	SD	Değer	SD	
AGO	7/27/2021	1685	-61.78 ± 0.68		-10.04 ± 0.11		Bu çalışma
CKR1		1375	-65.02 ± 0.54		-10.05 ± 0.05		
CKR2		1375	-65.26 ± 0.51		-10.03 ± 0.07		
CSK		1375	-65.11 ± 0.41		-10.30 ± 0.17		
EKÇ		1532	-64.33 ± 0.63		-9.99 ± 0.09		
FDN		1793	-61.89 ± 0.80		-10.05 ± 0.16		
GYK		1650	-63.83 ± 0.61		-10.05 ± 0.07		
KRD		1764	-65.61 ± 0.78		-10.39 ± 0.08		
EKD	10/22/2019	1532	-62.79	-	-9.89	-	
FDD		1793	-62.77	-	-9.97	-	
CKR1	5/12/2020	1375	-66.18	-	-10.52	-	
CSK		1375	-64.25	-	-10.26	-	
EKD		1532	-60.47	-	-9.74	-	DSİ II. Bölge Müdürlüğü
FDD		1793	-65.26	-	-10.43	-	
CKR1	11/3/2020	1375	-64.06	-	-10.29	-	
CSK		1375	-63.77	-	-10.25	-	
EKD		1532	-61.86	-	-9.89	-	DSİ II. Bölge Müdürlüğü
FDD		1793	-62.19	-	-9.96	-	

SD: Standart sapma; EKD: Ekinlik Deresi (yüzeysel su); FDD: Fındıklı Deresi (yüzeysel su)



Şekil 4.11. İnceleme alanı $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.

5. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ

5.1. Sınır Koşullarının Kaynak Boşalım Açısından Değerlendirilmesi

Çokrağan Kaynağı'nın kaptaj alanında ölçülen miktar ve kalite değişimlerinin beslenme bölgesindeki (kuzey kesimler) yağış ve kar erimelerinin etkisi ile yan havzadaki Fındıklı Dere'nin debisine bağlı olarak noktasal girdi ile kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, akiferin hidrodinamik özellikleri olan hidrolik iletkenlik, depolama katsayısı ve hidrolik gradyan gibi parametreler, Çokrağan Kaynağı'nın boşalım debisini ve hidrokimyasal özelliklerindeki değişimde etkili olmaktadır.

Karstik kaynakların boşalımlarından itibaren oluşturulan hidrograf ve kemograf analizlerinden karst akiferleri üzerinde hüküm süren beslenme koşulları, akiferdeki dolaşım ve depolama (hidrodinamik özellikler) ile birlikte sınır koşullarına ilişkin önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Karst kaynaklarının boşalımlarında gözlemlenen değişimler, beslenme türüne bağlı olarak değişmekte olup, yıl içinde kaynak boşalımları arasında yüksek değişim katsayısı veya varyans akiferde noktasal/yerel beslenmeyi, düşük değişim katsayısı veya varyans ise alansal/yaygın beslenmeyi göstermektedir (Jakus, 1959; Aydın, 2005).

Karst akiferlerinin hidrodinamik davranışlarının tanımlanmasıyla ilgili birçok yöntem farklı araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Kaynakların sınıflandırılmasında kullanılan en basit yöntemlerden birisi, yıllık en yüksek debinin (Q_{max}) yıllık en düşük debiye (Q_{min}) oranına göre değerlendirilmektedir (Worthington, 1991; Ekmekçi ve ark., 2003). Bu oranın yüksek ve yıl içerisinde kaynak debisinin 0'dan büyük olması "tam akımlı (fullflow) kaynak ve oranın düşük ve yıl içerisinde kaynak debisinin 0'dan büyük olması ise "dip savak akımlı" (underflow) kaynak şeklinde sınıflandırılmaktadır. Kaynakların yıllık en yüksek ve düşük debilerinin oranının ∞ doğru artması, yani bu tür kaynakların yıl içinde kuruması, "dolu savak" (overflow) veya "dip savak-dolu savak" (underflow-overflow) kaynaklar olduklarını göstermektedir (Çizelge 5.1, Worthington, 1991; Ekmekçi ve ark., 2003; Aydın, 2005).

Çizelge 5.1. Kaynak türünün debi değişimine bağlı olarak sınıflandırılması (Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003; Aydın 2005).

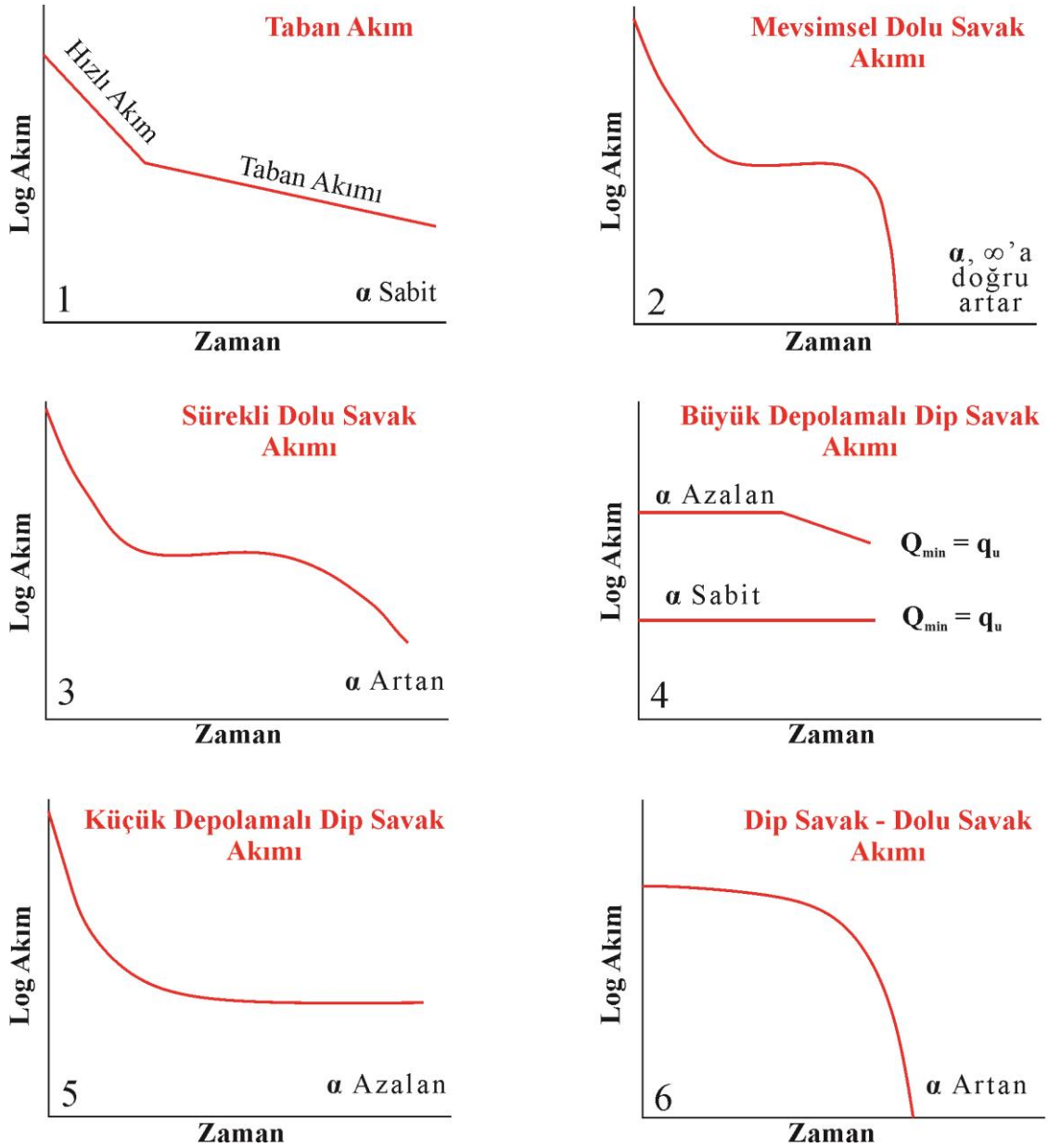
Kaynak Türü	Q_{max}/Q_{min}	Q
Tam Akım	Yüksek	Sürekli
Dip Savak	Düşük	Sürekli
Dolu Savak	∞	Mevsimsel
Dip Savak-Dolu Savak	∞	Mevsimsel

Ancak, kaynak boşalmalarının yıl içerisindeki ölçümlerini düzenli yapmak ve karstik kaynaklardaki çoklu bileşen ve dip savak ve/veya dolu savak akım tiplerini tanımlamak bazen zor olduğundan dolayı bu sınıflandırma kimi zaman geçerliliğini yitirebilmektedir. Bundan dolayı, Worthington (1991) tarafından yapılan çalışmada, kaynak çekilme eğrisinin şekli, akiferdeki hidrodinamik özellikler ile akiferin geometrisi ve sınır koşulları tarafından kontrol edildiği ortaya konmuştur. Söz konusu çalışmada, çekilme eğrisinin şekli ve çekilme katsayısı dikkate alınarak 6 farklı kaynak türü belirlenmiştir (Şekil 5.1, Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003; Aydın 2005). Buna göre;

1. Doğrusal log – normal çekilme gösteren, hızlı ve taban akım bileşenlerine sahip, yıl içerisinde sürekli boşalım sağlayan ve çekilme katsayısının sabit olduğu tam akımlı (fullflow) kaynaklar (Şekil 5.1a),
2. Yıl içindeki minimum kaynak boşalımının 0 olduğu ve çekilme katsayısının ∞ doğru arttığı mevsimsel dolu savak akımlı (seasonal overflow) kaynaklar (Şekil 5.1b),
3. Artan bir çekilme katsayısına ve yıl içindeki kaynak boşalımı 0'dan büyük olan sürekli dolu savak akımlı (perennial overflow) kaynaklar (Şekil 5.1c),
4. Kaynak çıkış ağzının boyutuna ve akifer sisteminin yapısına bağlı olarak sabit veya azalan bir akış katsayısı ile temsil edilen ve çekilme eğrisinde, hızlı akım bileşeninin olmadığı büyük depolamalı dip savak akımlı (losing or high – stage underflow) kaynaklar (Şekil 5.1d),
5. Kaynak hidrografi bileşenlerinden taban akımın çok uzun olduğu, akarsu veya benzeri bir kaynaktan beslenen akifer sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren ve azalan bir

çekilme katsayısı ile temsil edilen küçük depolamalı dip savak akımlı (gaining or low – stage underflow) kaynaklar (Şekil 5.1e),

6. Çekilme katsayısının arttığı ve yıl içindeki kaynak boşalımının 0 olduğu dolu savak – dip savak akımlı (overflow – underflow) kaynaklar (Şekil 5.1f), şeklinde tanımlanmaktadır.



Şekil 5.1. Çekilme eğrisi türüne göre kaynakların sınıflandırılması (Worthington, 1991; Ekmekçi, 2003).

Çokrağan Kaynağının 1980-2020 yılları arası uzun yıllar yıllık ortalama debi ile yıl içinde en düşük (Q_{\max}) ve en yüksek (Q_{\min}) debi değerleri Çizelge 5.2’de verilmektedir. 1980-2020 yılları arasında Çokrağan Kaynağı debi değerlerine ait Q_{\max}/Q_{\min} oranı 2.3 ile 12.1 arasında değişmekte olup, ortalama 5.1 hesaplanmıştır. Bununla birlikte söz konusu zaman diliminde her bir yıl için hesaplanan değişim katsayısı ($CV(\%) = [(SD_Q/Q_{ort}) \times 100]$) en düşük %19.6 ve en yüksek %107.3 olarak hesaplanmış olup, uzun yıllar ortalama CV ise %55.1 olarak elde edilmiştir (Çizelge 5.2).

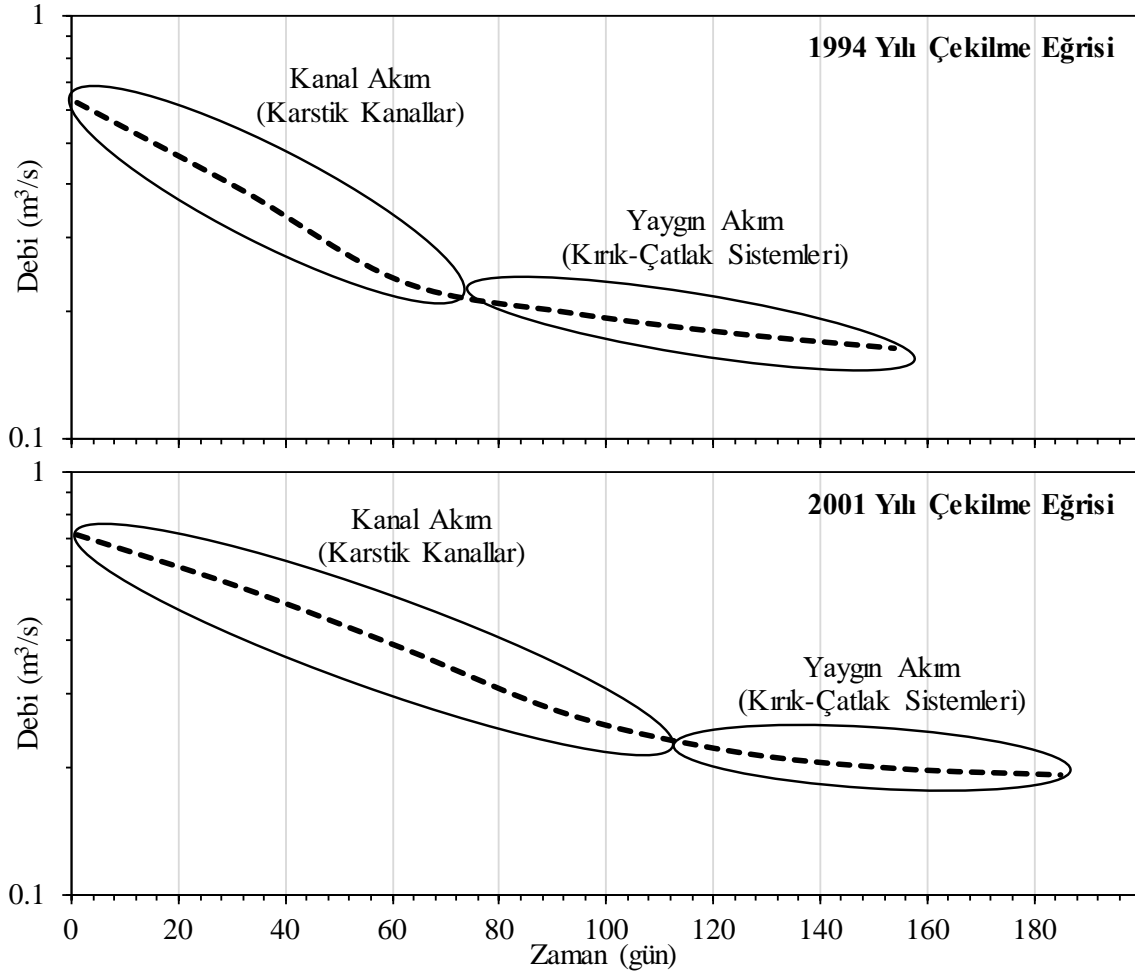
Çokrağan Kaynağı için hesaplanan Q_{\max}/Q_{\min} oranı, Aydın ve ark. (2013) tarafından ileri derecede anizotrop ve heterojen Harmanköy-Beyyayla (Bilecik) karst akiferi için hesaplanan Q_{\max}/Q_{\min} oranı ile kıyaslandığında nispeten düşüktür. Bununla birlikte söz konusu çalışmada kaynak boşalmılarına ait CV’nin yüksek olması (%70-140) akiferdeki beslenimin baskın olarak noktasal ve yeraltısuyu dolaşımının/depolamasının ise karstik kanallarda gerçekleştiği, CV değerinin düşük olması ise yaygın beslenme ve yaygın dolaşım şeklinde ifade edilmektedir. Çokrağan kaynağı 1980-2020 yılları arası boşalmılarına ait CV değerleri %19.6 ile 107.2 arasında değişirken söz konusu zaman diliminde yağışların CV değerleri ise %48.5 ile %103.0 arasında değişmektedir (Çizelge 5.2). Çokrağan Kaynağı CV değerinin nispeten düşük olması bu akifer sisteminde yağışlardan itibaren beslenimin yaygın şekilde gerçekleştiği ve akiferdeki dolaşım koşullarının ise baskın olarak kırık-çatlak sistemleri ve kısmen karstik kanallar boyunca yaygın şekilde gerçekleştiğine işaret etmektedir. Çokrağan Kaynağına ait söz konusu parametreler incelendiğinde, bu kaynağın genellikle düşük CV ve Q_{\max}/Q_{\min} oranına sahip olduğu görülmekte olup, yaygın beslenimin ve dolaşımın baskın olduğu “sürekli dip savak akımlı” kaynak olarak değerlendirilmiştir.

Kaynak hidrografının şekli ve kaynak çekilme katsayısını dikkate alan Worthington (1991) sınıflaması dikkate alındığında Çokrağan Kaynağı’nın çekilme dönemindeki akım verilerini zamana karşı yarı logaritmik grafikte incelendiğinde, taban akımın kısmen uzun olduğu, akarsu veya benzeri bir kaynaktan beslenen akifer sistemlerinin boşalmasını gerçekleştiren ve azalan bir çekilme katsayısı ile temsil edilen küçük depolamalı dip savak akımlı (gaining or low – stage underflow) kaynak sınıfında yer aldığı görülmektedir (Çizelge 5.2, Şekil 5.2). Çünkü, Çokrağan Kaynağı çekilme analizlerinde kaynak boşalmılarına nispeten yüksek çekilme katsayısı ile temsil edilen hızlı akım (karstik kanallar)

ve düşük çekilme katsayısı ile temsil edilen taban akım (kırık-çatlak sistemleri) olmak üzere iki çekilme dönemi ile temsil edilmektedir.

Çizelge 5.2. Çokrağan Kaynağı'nın 1980-2020 yılları arası akım istatistikleri.

Yıl	Q_{ort} m ³ /s	STD_Q m ³ /s	Q_{max} m ³ /s	Q_{min} m ³ /s	Q_{max}/Q_{min}	CV_Q %	CV_P %
1980	0.457	0.169	0.748	0.256	2.9	37.0	76.0
1981	0.442	0.155	0.810	0.237	3.4	35.2	93.3
1982	0.444	0.210	0.912	0.220	4.1	47.2	59.1
1983	0.342	0.120	0.581	0.220	2.6	35.0	93.5
1984	0.492	0.229	0.870	0.235	3.7	46.5	82.1
1985	0.315	0.120	0.592	0.210	2.8	38.1	90.1
1986	0.311	0.105	0.498	0.215	2.3	33.9	91.2
1987	0.346	0.145	0.717	0.210	3.4	41.7	83.8
1988	0.317	0.144	0.670	0.198	3.4	45.3	83.9
1989	0.244	0.058	0.521	0.186	2.8	23.9	80.7
1990	0.288	0.104	0.547	0.186	2.9	36.1	103.0
1991	0.308	0.097	0.606	0.218	2.8	31.6	62.6
1992	0.267	0.111	0.558	0.180	3.1	41.8	68.8
1993	0.261	0.103	0.509	0.167	3.0	39.4	61.6
1994	0.252	0.075	0.528	0.173	3.0	29.8	48.5
1995	0.337	0.152	0.645	0.198	3.3	45.2	72.9
1996	0.385	0.204	0.902	0.224	4.0	52.9	75.0
1997	0.300	0.119	0.520	0.196	2.7	39.6	79.3
1998	0.378	0.221	0.865	0.206	4.2	58.6	61.0
1999	0.432	0.296	1.063	0.208	5.1	68.6	78.3
2000	0.317	0.206	0.652	0.188	3.5	65.0	98.0
2001	0.219	0.056	0.612	0.193	3.2	25.7	96.2
2002	0.527	0.394	1.328	0.205	6.5	74.9	52.8
2003	0.375	0.279	1.117	0.182	6.1	74.2	63.6
2004	0.391	0.289	1.019	0.172	5.9	73.9	89.0
2005	0.331	0.173	1.115	0.108	10.3	52.3	62.3
2006	0.377	0.268	0.527	0.143	3.7	71.1	74.2
2007	0.213	0.042	1.060	0.148	7.2	19.6	79.8
2008	0.238	0.198	0.752	0.089	8.4	83.4	73.6
2009	0.524	0.339	1.418	0.118	12.1	64.7	85.4
2010	0.378	0.309	1.000	0.144	7.0	81.6	69.6
2011	0.404	0.284	0.884	0.195	4.5	70.3	65.3
2012	0.411	0.265	1.306	0.154	8.5	64.5	88.3
2013	0.460	0.378	1.292	0.182	7.1	82.3	70.7
2014	0.148	0.074	0.536	0.078	6.9	49.9	69.5
2015	0.494	0.423	1.490	0.192	7.8	85.7	61.7
2016	0.329	0.173	0.847	0.218	3.9	52.5	66.4
2017	0.250	0.201	0.737	0.088	8.4	80.4	74.2
2018	0.359	0.249	0.914	0.154	5.9	69.2	58.2
2019	0.340	0.279	1.054	0.128	8.2	82.0	80.4
2020	0.324	0.347	1.290	0.129	10.0	107.2	68.7
Ortalama	0.349	0.199	0.844	0.179	5.1	55.1	75.4
En düşük	0.148	0.042	0.498	0.078	2.3	19.6	48.5
En yüksek	0.527	0.423	1.490	0.256	12.1	107.2	103.0



Şekil 5.2. Çokrağan Kaynağı 1994 ve 2001 yılları çekilme eğrileri grafiği.

Çalışma alanındaki Çokrağan Kaynağı Jura yaşlı dolomitten boşalım yapmakta ve Fındıklı Dere'nin akış yaptığı yan havzaya kadar yüzlek vermekte olup, çekilme eğrisinin şekli incelendiğinde akarsu veya benzeri bir kaynaktan beslendiği ön görülmektedir. Bu sebeplerden dolayı, Çokrağan Kaynağı'nın sınıflandırılması ve çekilme eğrisinin şekline göre CKS ile Fındıklı Derenin birbiri ile etkileşim içerisinde olduğu düşünülmektedir.

5.2. Kaynak Çekilme Analizi

Kaynak hidrograflarının şekil olarak genellikle birbirlerine benzemesine rağmen bir akiferden veya kaynaktan bir diğerine farklılık göstermektedir. Hidrograf eğrisinin şekli, iletimlilik katsayısı, depolama katsayısı ve hidrolik gradyan gibi akiferin hidrodinamik özelliklerinin yanı sıra akiferin geometrisi, beslenme alanının jeomorfolojik yapısı ve

beslenme rejimi tarafından da kontrol edilmektedir (Eisenlohr, 1996; Dewandel ve ark., 2003; Kovacs ve ark., 2005; Aydın, 2005).

Tallaksen (1995) tarafından yapılan çalışmada, çekilme eğrisinde bulunan her bir çekilme katsayısı, akiferin farklı bölümlerini temsil etmekte olduğu ve bu alanlara ait iletimlilik ve depolama katsayılarının çekilme katsayıları ile orantılı olarak değiştiği belirtilmektedir. Başka bir ifadeyle kaynak çekilme katsayısının yüksek olması, yüksek iletimlilik katsayısı ve düşük depolama katsayısını, bu durumun tersi ise düşük iletimlilik katsayısı ve yüksek depolama katsayısını işaret etmektedir. Bu çalışmada, nispeten yüksek çekilme katsayısı ve yüksek iletimlilik katsayısına sahip dönemde karstik kanallarda meydana gelen hızlı akımı ve boşalımı baskın iken, nispeten düşük çekilme katsayısının olduğu dönemde ise kırık-çatlak sistemlerinde depolanan suların boşalımının (taban akımı) baskın olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, farklı araştırmacılar tarafından arazi ve laboratuvar ortamlarında yapılan çalışmalar sonucunda, kaynak çekilme katsayısının, karstik kanal sistemlerinin artması/yoğunlaşması ile arttığı ortaya konulmuştur. Başka bir deyişle, akiferin hidrolik ve geometrik parametrelerinin çekilme katsayısı ile orantılı olduğu belirtilmiştir (Bear, 1979; Milanovic, 1981; Kiraly, 1985; Eisenlohr, 1996; Cornaton, 1999; Kovacs ve ark., 2005; Aydın, 2005).

Ayrıca, çekilme eğrisinin eğiminin değişmesi, başka bir ifadeyle birden fazla çekilme katsayısının bulunması, iyi gelişmiş karstik kanal sistemlerine sahip heterojen bir akiferi temsil etmektedir. Çekilme eğrisinin tek bir çekilme katsayısı ile temsil edildiği koşullar ise akiferin, nispeten homojen iletimlilik katsayısına ve depolama özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir (Milanovic, 1981; Amit ve ark., 2002).

İnceleme kapsamında, Çokrağan Kaynağı'nın 1980-2020 yılları arası debi ölçümleri kullanılarak kaynak çekilme analizleri, her bir çekilme dönemi için Maillet Eşitliği (Maillet, 1905) ve Posavec ve ark. (2010) tarafından Maillet Eşitliğini kümülatif (Master Curve Analysis, MRC) olarak değerlendiren bilgisayar programı ile yapılmıştır. Belirli bir t zamanında kaynaktan boşalan su miktarı Maillet (1905) eşitliğine göre:

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t} \rightarrow \alpha = \frac{\log Q_t - \log Q_0}{t \times \log e} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikten, akiferin toplam depolama kapasitesi, çekilme dönemi boyunca boşalan su miktarı, çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarları ve iki çekilme dönemi arasında meydana gelen efektif yağış/beslenme miktarı da aşağıdaki eşitliklerle belirlenmektedir:

$$V_s = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (5.2)$$

$$V_d = \frac{Q_0}{-\alpha} \times [e^{-\alpha t}]_0^t \quad (5.3)$$

$$V_r = V_s - V_d \quad (5.4)$$

$$P_e = V_{s_t} - V_{r_{t-1}} \quad (5.5)$$

Burada; Q_0 : kaynağın azalmaya başladığı andaki debisini (L^3/T), Q_t : kaynağın t anındaki debisini (L^3/T), α : kaynak çekilme katsayısını (T^{-1}), t : çekilme süresini (T), V_s : akiferin toplam depolama kapasitesini (L^3), V_d : çekilme dönemi boyunca akiferden boşalan su miktarını (L^3), V_r : çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarını (L^3), P_e : efektif yağış miktarını (L^3), V_{s_t} : t yılında akiferin toplam hacmini (L^3) ve $V_{r_{t-1}}$: bir önceki yılda akiferde kalan su miktarını (L^3) ifade etmektedir.

MRC (Posavec ve ark., 2010) yöntemi, kaynak boşalımları veri setinden çekilme dönemlerini zaman bölümlenmesi ile Maillet Eşitliğini kümülatif olarak değerlendiren bir yöntemdir. MRC yönteminde öncelikle debi-süreklilik yaklaşımı ile veri setinde farklı çekilme dönemleri söz konusu ise çekilme dönemleri tanımlanmaktadır. Eğer veri setinde birden fazla çekilme dönemi söz konusu ise çekilme dönemlerine ait akım duraylılık yüzdesi belirlenmekte ve takip eden çekilme döneminin başlangıç debisi hesaplanmaktadır. Uygun akım-süreklilik yüzdesi, çekilme dönemi belirlenmiş MRC'lerin en yüksek ortalama regresyon katsayısına göre seçilmektedir (Posavec ve ark., 2010). Başlangıçta farklı zamanlarda kaydedilen ve farklı eğimlere sahip her çekilme dönemi, belirlenen MRC'ler, belirli bir koşul altında en olası çekilme senaryosunu temsil etmektedir (Nathan ve McMahon, 1990). Bu nedenle, hesaplanan çekilme sayısı ve/veya

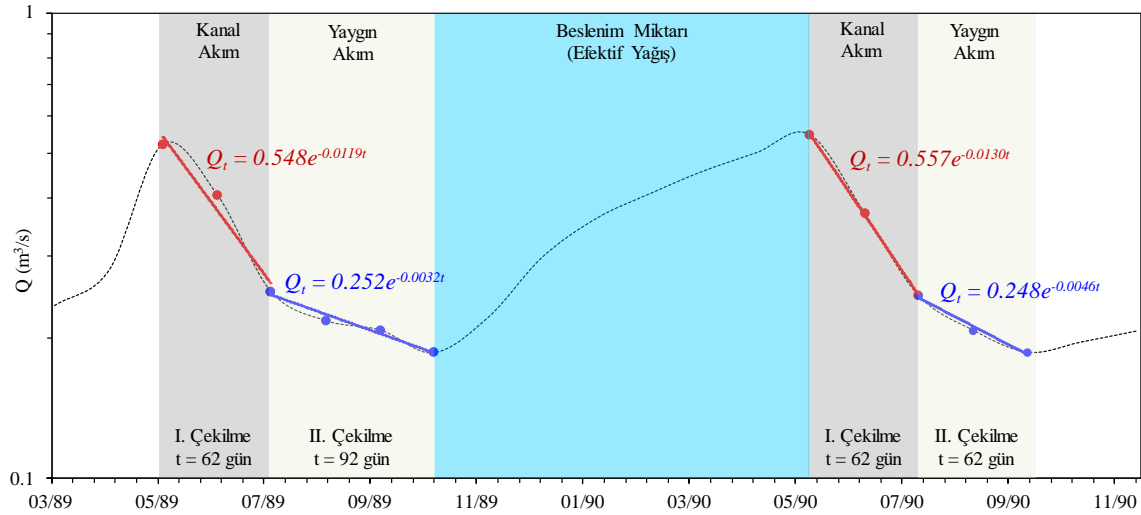
katsayıları kullanılarak elde edilen akifer parametreleri de akiferin genel özelliklerini ortaya koymaktadır (Posavec ve ark., 2010).

$$Q_t = \sum_{i=0}^N Q_i e^{-\alpha_i t} \quad (5.6)$$

Burada; N : çekilme dönemi sayısını, Q_t : N toplam çekilme dönemindeki t zamanındaki debiyi (L^3/T), Q_i : her bir çekilme döneminde kaynağın azalmaya başladığı andaki debisini (L^3/T), α_i : her bir çekilme dönemine ait kaynak çekilme katsayısını (T^{-1}) ve t : çekilme süresini (T) ifade etmektedir.

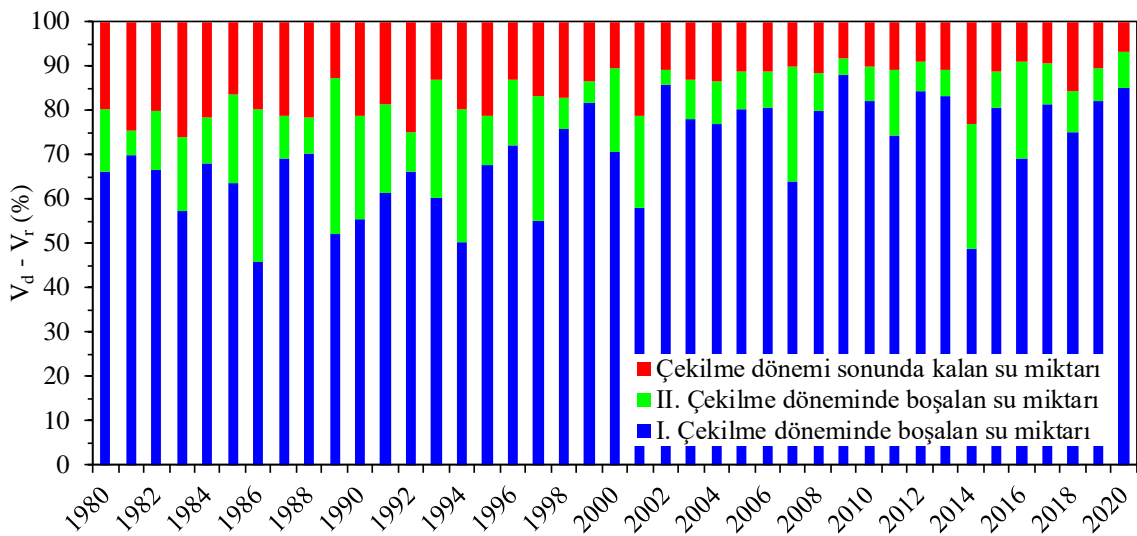
Çokrağan Kaynağı 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım verileri her bir çekilme dönemi için ayrı ayrı Maillet Eşitliği ile değerlendirilmiş ve 1989-1990 yıllarına ait örnek çekilme analizi grafiği ile her bir yıla ait çekilme analiz sonuçları sırası ile Şekil 5.3 ve Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çokrağan Kaynağı 1980-2020 yılları arasında kalan sürede her bir çekilme dönemi iki çekilme eğrisi ile temsil edilmiştir. 1980-2020 yılları arasında birinci ve ikinci çekilme dönemleri ortalama sırası ile 106 gün (Min.-Max.: 62-154 gün) ve 58 gün (30-92 gün) sürmüş olup, toplam çekilme dönemi ortalama 164 gün (93-215 gün) sürmüştür. CKS'de karstik kanallarda depolanan suların boşalım sağladığı birinci çekilme döneminde kaynak çekilme katsayısı 0.00870 gün^{-1} ve 0.02060 gün^{-1} arasında değişirken ortalama kaynak çekilme katsayısı 0.0123 gün^{-1} hesaplanmıştır. Ortalama kaynak çekilme katsayısı 0.0031 gün^{-1} hesaplanan ikinci çekilme döneminde baskın olarak karst akiferinin kırık-çatlak sistemlerinde depolanan suyun boşalım sağladığı düşünülmekte olup, bu dönemde kaynak çekilme katsayısı 0.0013 gün^{-1} ile 0.0049 gün^{-1} arasında değişmektedir.



Şekil 5.3. Çokrağın Kaynağı 1989-1990 yılları çekilme analizi (Maillet Yöntemi).

Çokrağın Kaynağı karst akiferinin en düşük ve en yüksek depolamadaki toplam hacmi sırası ile 2.847 hm³ ve 10.498 hm³ arasında değışirken, ortalama toplam hacmi ise 6.171 hm³ hesaplanmıştır. Çokrağın karst akiferinde kanal akım ile temsil edilen I. Çekilme döneminde kaynak gerisinde depolanan suyun yaklaşık %45.8'i ile %88.0'i (Ort.: %70.3) boşalırken, kırık-çatlak sistemlerinde depolanan suların boşalım sağladığı II. Çekilme döneminde ise %3.2'si ile %35.2'si (%14.3) boşalmaktadır. Çokrağın Kaynağı karst akiferinin toplam depolama kapasitesinin ortalama %15.4'ü (Min.-Max.: %6.7-%26.1) çekilme dönemleri sonunda akiferde kalmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Çokrağın Kaynağı 1980-2020 yılları arası V_d-V_r ilişkisi (Maillet Yöntemi).

Kaynak çekilme analizlerinde ardışık iki yılın verisi değerlendirildiğinde, iki yıl arasındaki efektif yağış miktarı son yılın toplam hacminden bir önceki yıl akiferde kalan su miktarı çıkarıldığında hesaplanabilmektedir. Örneğin Şekil 5.3’de 1989 ve 1990 yıllarına ait kaynak çekilme analizi verilmekte olup, 1990 yılı akifer toplam hacmi (V_{s-1990}) 3.7 hm^3 ve 1989 yılı çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarı (V_{r-1989}) ise 0.502 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden itibaren 1989-1990 yılları arasında meydana gelen efektif yağış (P_{e-1990}) başka bir ifade ile beslenme miktarı 3.198 hm^3 elde edilmektedir (Çizelge 5.3).

CKS akiferini oluşturan Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonunun yüzeylendiği alanı ($\sim 8.4 \text{ km}^2$) akiferin beslenme alanı olarak kabul edildiğinde 1989-1990 yılları arası efektif yağış miktarı 380.8 mm/yıl hesaplanmıştır. Çokrağan Kaynağı ve yakın dolayında 1989 ve 1990 yıllarında kaydedilen uzun yıllar yıllık toplam yağış miktarı sırası ile 710.9 mm/yıl ve 695.7 mm/yıl olup, hesaplanan efektif yağış miktarı bu değerlerin ortalama %54’üne karşılık gelmektedir. Benzer hesaplamalar, 1980-2020 yılları arası ardışık her yıl için gerçekleştirilmiş olup, Çizelge 5.3’de verilmektedir. Çizelge 5.3’de görüldüğü üzere CKS’de iki çekilme dönemi arasında gerçekleşen efektif yağış miktarı 1.834 hm^3 (218.3 mm/yıl) ile 9.649 (1148.7 mm/yıl) hm^3 arasında değişmekte olup, ortalama 5.184 hm^3 (617.2 mm/yıl) elde edilmiştir. Söz konusu ortalama, en düşük ve en yüksek efektif yağış miktarları CKS 1980-2020 uzun yıllar ortalama toplam yağış miktarının (888.5 mm/yıl) sırası ile %69.5, %24.6 ve %129.3’üne karşılık gelmektedir. Bununla birlikte 1980-2020 yılları arası CKS ve yakın dolayında gerçekleşen uzun yıllar ortalama toplam gerçek buharlaşma-terleme miktarı 379.5 mm/yıl ile 453.4 mm/yıl (Bkz. Bölüm 3) olup, CKS ve yakın dolayı için hesaplanan uzun yıllar ortalama toplam yağış miktarının (888.5 mm/yıl) %42.7’si ile %51.0’ine karşılık gelmektedir.

Çizelge 5.3. Çokrağan Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları (Maillet Yöntemi).

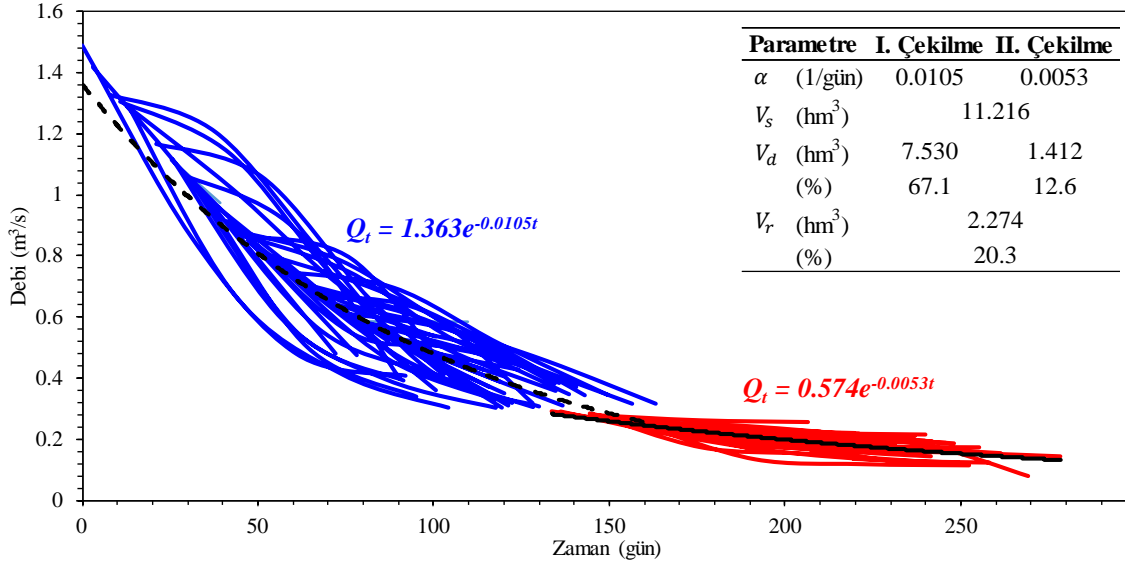
Yıl	Q_{0_1}	Q_{0_2}	Q_{t_1}	Q_{t_2}	α_1	α_2	t_1	t_2	t_t	V_s	V_{d_1}	V_{d_2}	V_{d_t}	V_r	V_{d_1}	V_{d_2}	V_{d_t}	V_r	P_e		
	(m^3/s)				$(gün^{-1})$		$(gün)$				(hm^3)				$(\%)$			(hm^3)	(mm)	$(\%)$	
1980	0.829	0.277	0.262	0.256	0.0087	0.0014	124	61	185	8.229	5.431	1.177	6.608	1.621	66.0	14.3	80.3	19.7			
1981	0.890	0.263	0.262	0.237	0.0097	0.0033	124	30	154	7.930	5.548	0.431	5.979	1.951	70.0	5.4	75.4	24.6	6.309	751.1	89.7
1982	0.743	0.245	0.246	0.220	0.0088	0.0018	124	61	185	7.294	4.845	0.980	5.824	1.470	66.4	13.4	79.9	20.1	5.343	636.1	57.4
1983	0.628	0.250	0.254	0.220	0.0092	0.0024	93	61	154	5.933	3.400	0.985	4.385	1.549	57.3	16.6	73.9	26.1	4.464	531.4	74.7
1984	0.929	0.285	0.291	0.235	0.0092	0.0035	124	61	185	8.707	5.931	0.878	6.809	1.898	68.1	10.1	78.2	21.8	7.158	852.2	80.5
1985	0.622	0.233	0.235	0.210	0.0109	0.0019	93	61	154	4.932	3.142	0.970	4.113	0.819	63.7	19.7	83.4	16.6	3.034	361.2	42.2
1986	0.529	0.259	0.272	0.215	0.0099	0.0024	62	92	154	4.621	2.118	1.595	3.713	0.907	45.8	34.5	80.4	19.6	3.801	452.6	51.7
1987	0.707	0.223	0.223	0.210	0.0126	0.0019	93	30	123	4.850	3.347	0.471	3.818	1.032	69.0	9.7	78.7	21.3	3.943	469.4	57.2
1988	0.760	0.221	0.220	0.198	0.0130	0.0034	93	31	124	5.052	3.544	0.410	3.954	1.098	70.2	8.1	78.3	21.7	4.021	478.7	55.3
1989	0.548	0.249	0.252	0.186	0.0119	0.0032	62	92	154	3.981	2.076	1.403	3.480	0.502	52.2	35.2	87.4	12.6	2.883	343.2	37.8
1990	0.557	0.246	0.248	0.186	0.0130	0.0046	62	62	124	3.700	2.047	0.863	2.910	0.789	55.3	23.3	78.7	21.3	3.198	380.8	53.6
1991	0.608	0.241	0.242	0.218	0.0102	0.0017	93	61	154	5.151	3.156	1.028	4.184	0.967	61.3	20.0	81.2	18.8	4.362	519.2	74.6
1992	0.577	0.201	0.201	0.180	0.0117	0.0036	93	31	124	4.259	2.825	0.366	3.190	1.069	66.3	8.6	74.9	25.1	3.293	392.0	52.1
1993	0.508	0.203	0.205	0.167	0.0149	0.0034	62	61	123	2.951	1.778	0.785	2.563	0.388	60.2	26.6	86.8	13.2	1.882	224.0	32.9
1994	0.529	0.196	0.235	0.173	0.0112	0.0022	62	92	154	4.073	2.043	1.225	3.268	0.805	50.2	30.1	80.2	19.8	3.685	438.7	50.1
1995	0.592	0.206	0.206	0.198	0.0121	0.0013	93	30	123	4.221	2.853	0.464	3.316	0.905	67.6	11.0	78.6	21.4	3.416	406.7	43.5
1996	0.917	0.256	0.256	0.237	0.0206	0.0024	62	31	93	3.847	2.774	0.569	3.343	0.504	72.1	14.8	86.9	13.1	2.942	350.2	41.7
1997	0.501	0.235	0.236	0.196	0.0129	0.0030	62	61	123	3.342	1.844	0.937	2.781	0.561	55.2	28.0	83.2	16.8	2.838	337.9	43.0
1998	1.013	0.234	0.233	0.206	0.0153	0.0040	93	31	124	5.740	4.350	0.406	4.756	0.984	75.8	7.1	82.9	17.1	5.178	616.5	79.1
1999	1.111	0.238	0.262	0.208	0.0137	0.0043	124	30	154	6.988	5.716	0.339	6.055	0.932	81.8	4.9	86.7	13.3	6.004	714.8	75.0
2000	0.694	0.215	0.216	0.188	0.0132	0.0023	93	61	154	4.548	3.214	0.849	4.063	0.485	70.7	18.7	89.3	10.7	3.616	430.4	52.4
2001	0.668	0.259	0.268	0.193	0.0093	0.0034	93	92	185	6.222	3.597	1.290	4.886	1.335	57.8	20.7	78.5	21.5	5.737	683.0	93.5
2002	1.538	0.228	0.227	0.205	0.0127	0.0034	154	30	184	10.498	9.004	0.332	9.336	1.162	85.8	3.2	88.9	11.1	9.163	1090.8	109.4
2003	0.970	0.234	0.241	0.182	0.0122	0.0046	124	61	185	6.872	5.358	0.613	5.971	0.901	78.0	8.9	86.9	13.1	5.710	679.8	79.0
2004	0.905	0.211	0.215	0.172	0.0119	0.0036	124	61	185	6.601	5.082	0.638	5.720	0.881	77.0	9.7	86.7	13.3	5.700	678.6	70.5
2005	1.118	0.222	0.229	0.179	0.0131	0.0040	124	61	185	7.403	5.935	0.634	6.568	0.834	80.2	8.6	88.7	11.3	6.522	776.4	100.2
2006	1.361	0.259	0.265	0.205	0.0133	0.0042	123	61	184	8.854	7.126	0.715	7.841	1.013	80.5	8.1	88.6	11.4	8.020	954.8	96.0
2007	0.542	0.190	0.193	0.156	0.0165	0.0035	62	62	124	2.847	1.821	0.741	2.561	0.286	64.0	26.0	90.0	10.0	1.834	218.3	28.9
2008	0.739	0.157	0.161	0.123	0.0130	0.0044	123	61	184	4.914	3.920	0.425	4.345	0.569	79.8	8.7	88.4	11.6	4.629	551.0	59.4
2009	1.543	0.177	0.177	0.159	0.0171	0.0035	124	30	154	7.804	6.866	0.283	7.149	0.656	88.0	3.6	91.6	8.4	7.235	861.3	116.5
2010	1.031	0.193	0.194	0.144	0.0140	0.0049	123	61	184	6.367	5.228	0.481	5.709	0.658	82.1	7.6	89.7	10.3	5.711	679.9	49.0
2011	0.786	0.212	0.211	0.195	0.0110	0.0013	124	61	185	6.197	4.605	0.916	5.521	0.676	74.3	14.8	89.1	10.9	5.539	659.4	64.5
2012	1.595	0.216	0.220	0.173	0.0149	0.0039	124	61	185	9.228	7.779	0.621	8.401	0.828	84.3	6.7	91.0	9.0	8.552	1018.1	106.5
2013	1.398	0.218	0.220	0.182	0.0115	0.0031	154	61	215	10.477	8.703	0.649	9.352	1.126	83.1	6.2	89.3	10.7	9.649	1148.7	99.3
2014	0.579	0.263	0.278	0.185	0.0107	0.0044	62	92	154	4.665	2.266	1.311	3.578	1.087	48.6	28.1	76.7	23.3	3.539	421.3	38.5
2015	1.346	0.275	0.284	0.215	0.0132	0.0046	124	61	185	8.792	7.088	0.719	7.807	0.986	80.6	8.2	88.8	11.2	7.705	917.3	82.7
2016	0.820	0.256	0.247	0.218	0.0095	0.0013	123	92	215	7.428	5.130	1.625	6.755	0.673	69.1	21.9	90.9	9.1	6.442	766.9	75.9
2017	0.783	0.132	0.134	0.114	0.0136	0.0026	124	61	185	4.991	4.062	0.465	4.526	0.464	81.4	9.3	90.7	9.3	4.318	514.1	63.8
2018	0.941	0.218	0.218	0.198	0.0090	0.0016	154	61	215	9.048	6.782	0.860	7.642	1.406	75.0	9.5	84.5	15.5	8.584	1021.9	111.0
2019	0.968	0.175	0.173	0.128	0.0139	0.0049	124	61	185	6.007	4.939	0.432	5.371	0.636	82.2	7.2	89.4	10.6	4.601	547.7	58.4
2020	1.061	0.180	0.181	0.157	0.0123	0.0023	154	61	215	7.438	6.322	0.617	6.939	0.499	85.0	8.3	93.3	6.7	6.802	809.8	117.8
Ave	0.866	0.226	0.229	0.191	0.0123	0.0031	106	58	164	6.171	4.478	0.768	5.246	0.925	70.3	14.3	84.6	15.4	5.184	617.2	69.1
Min	0.501	0.132	0.134	0.114	0.0087	0.0013	62	30	93	2.847	1.778	0.283	2.561	0.286	45.8	3.2	73.9	6.7	1.834	218.3	28.9
Max	1.595	0.285	0.291	0.256	0.0206	0.0049	154	92	215	10.498	9.004	1.625	9.352	1.951	88.0	35.2	93.3	26.1	9.649	1148.7	117.8

CKS 1980-2020 yılları arası ortalama efektif yağış miktarı ~617 mm/yıl ile gerçek buharlaşma-terleme miktarı ~450 mm/yıl dikkate alındığında bu iki bütçe bileşeninin toplamı 1067 mm/yıl olup, uzun yıllar ortalama toplam yağışın (888.5 mm/yıl) 178.5 mm/yıl üzerinde elde edilmektedir. Bu durum Çokrağan Kaynağının ortalama 0.349 m³/s debi ile boşalım sağlayabilmesi için ortalama 178.5 mm/yıl oranında beslenime ihtiyaç

olduğunu işaret etmektedir. Başka bir ifade ile bu durum, CKS’de yüzeysel drenaj alanı ile yeraltı drenaj alanının çakışmadığı ve CKS’ye yüzeysel drenaj alana dışından katkı geldiği şeklinde yorumlanmıştır. Bölüm 3 kapsamında gerçekleştirilen CKS su bütçesi hesaplamalarında bu durumu desteklemektedir. Ekinlik Deresi için gerçekleştirilen su bütçesi hesaplamalarında, bütçe Çokrağan Kaynağı boşalımı için su eksigi verirken, CKS’nin doğusunda yer alan Fındıklı Deresi ile Ekinlik Deresinin birlikte değerlendirildiği su bütçesi hesaplamasında ise bütçe ± 10 hata payı içinde denge sağlanmıştır (Mutreja,1986; Viessman ve Lewis, 1996).

Bu çalışma kapsamında, Posavec ve ark. (2010) tarafından geliştirilen MRC yöntemi ile 1980-2020 yılları arasındaki Çokrağan Kaynağı’nın debileri ile çekilme katsayıları belirlenmiştir. Maillet Eşitliğini kullanılarak her yıl için ayrı ayrı çekilme grafiğinde çift çekilme dönemi belirlenmiştir. Bundan dolayı, MRC yönteminde de debi-süreklilik Çokrağan Kaynağı 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerlerine uygulanmış, ikinci çekilme döneminin ortalama başlangıç debisi tüm veri serisinin %42’lik akım değerine ($\sim 0.290 \text{ m}^3/\text{s}$) karşılık geldiği belirlenmiş ve MRC programı iki kırılma eğrisi için çalıştırılmıştır (Şekil 5.5).

MRC yöntemi ile birinci (kanal akım) ve ikinci (yaygın akım) çekilme dönemleri sırası ile 0.0105 gün^{-1} ve 0.0053 gün^{-1} çekilme katsayıları ile temsil edilmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında CKS’nin toplam hacmi 11.216 hm^3 elde edilirken, birinci ve ikinci çekilme dönemlerinde boşalan su hacmi ile çekilme dönemi sonunda kalan su hacmi sırası ile 7.530 hm^3 (%67.1), 1.412 hm^3 (%12.6) ve 2.274 hm^3 (%20.3) olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Çokrağan Kaynağı çekilme analizi (MRC Yöntemi).

CKS 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerleri ile gerçekleştirilen kaynak çekilme analizi sonuçları birbirlerine yakın değerler sunarken, Maillet Yöntemi ile gerçekleştirilen değerlendirmenin daha temsil edici olduğu düşünülmektedir. Çünkü MRC Yönteminde; iki çekilme dönemi arasında meydana gelen kırılma noktasının göreceli olarak değişmesi, kümülatif bir değerlendirme yapması, Posavec ve ark. (2010)'da da belirtildiği gibi MRC Yönteminin günlük akım değerleri ile çalıştırılmasının daha güvenilir sonuçlar vereceğinin belirtilmesi, bu yöntemin zayıf taraflarını oluşturmaktadır. Ancak, uzun gözlem verisine sahip karst akiferlerinde kaynak çekilme analizi değerlendirmelerinde genel ve hızlı sonuç almak için MRC Yöntemi avantaj sunmaktadır.

CKS'nin kaynak çekilme analizinde birinci çekilme döneminin nispeten yüksek çekilme katsayısı ile temsil edilmesi söz konusu çekilme döneminde karstik kanallarda depolanan suların, düşük çekilme katsayısı ile temsil edilen ikinci çekilme döneminde ise kırık-çatlak sistemlerinde depolanan suların Çokrağan Kaynağından deşarj olduğunu düşündürmektedir. Başka bir ifade ile CKS birinci çekilme dönemi karst akiferinde iletimliliğin yüksek ve depolamanın düşük olduğu kanal akım koşullarını temsil ederken, ikinci çekilme dönemi ise nispeten iletimliliğin düşük ve depolamanın yüksek olduğu yaygın akım koşullarını temsil etmektedir.

Benzer şekilde, ülkemizde yer alan karstik akiferlerin boşalmasını gerçekleştirilen kaynak akımlarından itibaren iki çekilme eğrisi ile temsil edilen karstik akiferlerde, birinci çekilme dönemi akiferde iletimliliğin yüksek, depolamanın düşük ve yeraltısu hızı nispeten yüksek kanal akım ile karakterize edilirken ve ikinci çekilme dönemi ise iletimliliğin düşük, depolamanın yüksek ve yeraltısu hızı nispeten düşük yaygın akım koşulları ile karakterize edilmektedir (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Geçmiş dönemde yapılmış kaynak çekilme analiz sonuçları.

Referans	Akifer	Litoloji	α (1/gün)
Ekmekçi ve ark. (2003)	Tacin Karst Kaynağı (Kayseri)	Kireçtaşı	0.0013 - 0.0200
Aydın (2005)	Döşkaya Kaynağı (HBKS, Bilecik) - I. Çekilme	Kireçtaşı	0.0345 - 0.0459
			- II. Çekilme
	Beyyala Kaynağı (HBKS, Bilecik)		0.0233 - 0.0275
	Nardın Kaynağı (HBKS, Bilecik)		0.0369 - 0.0394
Açıkel (2012)	Gökova- Azmak Karst Kaynağı (Muğla) - I. Çekilme	Kireçtaşı	0.0400 - 0.0460
			- II. Çekilme
Maillet Yöntemi (bu çalışma)	Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme	Dolomitik	0.0087 - 0.0206
		- II. Çekilme	Kireçtaşı
MRC Yöntemi (bu çalışma)	- I. Çekilme		0.0105
	- II. Çekilme		0.0053

5.2.1. Akifer Parametrelerin Belirlenmesi

Karstik ortamların hidrodinamik özelliklerinin ortaya konulmasına yönelik yapılan birçok çalışmada tümsel parametre/kara-kutu modelleri (TP-lumped parameter/black-box model) ve dağınık parametrelili modeller (DP-distributed parameter models) kullanılarak sistem tanımlanmaya çalışılmıştır. TP modellerde, sistem bir bütün olarak değerlendirilmekte ve sistem içindeki değişimler dikkate alınmamaktadır (Boussinesq, 1877; Maillet, 1905; Berkaloff, 1967; Bagaric, 1978; Bear, 1979; Atkinson, 1977; Milanovic, 1981; Ford ve Williams, 1989; Aydın, 2005). Bundan dolayı, gözenekli ortamlara göre oldukça yüksek anizotrop ve heterojen yapıya sahip olan karstik ortamlarının kara-kutu olduğu düşünüldüğünde, TP modele göre karstik ortamda veya sistemi etkileyen faktörlerde meydana gelen değişim, ortamdan boşalan kaynak akımlarındaki ölçümlerle gözlemlenecektir. Bu bilgi ışığında, kaynak boşalmaları kayıt edilerek oluşturulan hidrografların analizleriyle karstik akiferlerin hidrolik parametrelerinin (hidrolik iletkenlik, iletimlilik katsayısı, depolama katsayısı, hidrolik

gradyan) belirleneceği ortaya konulmuştur (Atkinson, 1977; Samani ve Ebrahimi, 1996; Eisenlohr, 1996; Shevenell, 1996; Cornaton, 1999; Bakalowicz, 2000; Bonacci, 2000; Amit ve ark., 2002; Kiraly, 2002; Dewandel ve ark., 2003; Aydın, 2005).

Karstik ortamlarda yapılan çalışmalarda, kaynak boşalım değerleri ile TP model sonucunda hesaplanan boşalım değerleri arasında temsil edici bir ilişki olduğunu ifade edilmiştir (Yurtsever ve Payne, 1986; Wanakule ve Anaya, 1993; Barret ve Charbeneau, 1996; Zhang ve ark., 1996; Scanion ve ark., 2003). Ancak, TP modellerde, verinin sağlanması ve birbiri ile ilişkilendirilmesi hızlı olmasına rağmen, hidrolik yük dağılımı ile yeraltısuyu akım yönü ve hızı hakkında konumsal bilgi sağlayamamaktadır (Scanion ve ark., 2003).

Anizotrop ve heterojen yapıya sahip karstik sistemlerde girdi ve boşalımın yanı sıra sistem içindeki hidrolik ve jeohidrolojik parametrelerin konum ve zamana bağlı değişimini değerlendirilen DP modelleriyle de karst sisteminin hidrodinamik davranışının açıklanabileceği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (Kiraly ve Morel, 1976a; 1976b; Eisenlohr, 1996; Cornaton, 1999; Scanion ve ark., 2003; Kovac ve ark., 2005).

5.2.2. CKS’de Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında elde edilen verilerin konum ve zamana bağlı değişimi temsil etmediğinden ve CKS’nin anizotrop ve heterojen yapıya sahip olmasından dolayı akifer parametrelerinin belirlenmesi çalışmalarında TP modeller/kara kutu yaklaşımı uygulanmıştır. Akiferin geometrik özellikleri, başlangıç ve sınır koşulları ile ifade edilen denklemler ile CKS’nin hidrolik parametreleri hesaplanmıştır.

Boussinesq (1877) ve Maillet (1905) tarafından tek bir rezervden boşalan kaynak hidrograflarını ve kaynak gerisindeki hidrolik yük sınır koşullarını dikkate alan TP modelleri exponansiyel bir denklem ile açıklanmıştır (Bkz. Eşt. 5.1). Türetilen bu eşitlik, belirli bir t zamanında karst akiferlerinin kırık-çatlak sistemlerinden boşalan ve kaynak çekilme eğerisinin taban akım kısmını ifade etmektedir. Bear (1979) ve Milanovic (1981) tarafından yapılan çalışmalarda ise kaynak boşalımının kaynak gerisindeki hidrolik yük

ile doğru orantılı ($Q \propto h$) olduğunu ortaya koymuşlardır (başlangıç ve sınır koşulları $t=t_0$, $h=h_0$, $Q=Q_0$).

Berkaloff (1967), sabit yük sınırı ile sınırlandırılmış ve $t = 0$ anında dengeli akım koşullarının geçerli olduğu kütlede meydana gelen tek boyutlu yaygın akım (diffuse flow) için aşağıda tanımlanan kaynak çekilme eşitliğini türetmiştir.

$$Q_t = \frac{2TR_0}{SL} \exp\left(-\frac{\pi^2 Tt}{4SL^2}\right) \quad (5.7)$$

$$\alpha = \frac{\pi^2 Tt}{4SL^2} \quad (5.8)$$

Burada; Q_t : t anındaki kaynağın debisini (L^3/T), α : çekilme katsayısını (T^{-1}), t: çekilme süresini (T), T: iletimlilik katsayısını (L^2/T), S: depolama katsayısını, R_0 : sabit beslenmeyi (L), ve L: akiferin beslenme alanına uzaklığını (L) ifade etmektedir.

Atkinson (1977) ve Shevenell (1996), Rorabaugh (1964) tarafından yapılan çalışmada önerilen eşitlikten itibaren T/S oranının tek boyutlu yaygın akım için aşağıdaki eşitlikle ortaya koymuşlardır.

$$\log\left(\frac{Q_0}{Q_t}\right) = 2T \left(\frac{h_0}{L}\right) \exp\left(-\frac{\pi^2 Tt}{4SL^2}\right) \rightarrow \frac{T}{S} = \left(\frac{\log\left(\frac{Q_0}{Q_t}\right)L^2}{1.071 \Delta t}\right) \quad (5.9)$$

Burada; Q_0 : kaynağın azalmaya başladığı zamandaki debisini (L^3/T), Q_t : t anındaki kaynağın debisini (L^3/T), α : çekilme katsayısını (T^{-1}), t: çekilme süresini (T), T: iletimlilik katsayısını (L^2/T), S: depolama katsayısını, h_0 : akiferdeki su yükünü (L) ve L: akiferin beslenme alanına uzaklığını (L) ifade etmektedir.

Bagaric (1978) yukarıda belirtilen benzer akım ve sınır koşullarının geçerli olduğu ancak Berkaloff (1967) modelinde de geçerli olan süzülme parametresi ihmal edilen bir blokta meydana gelen tek boyutlu yaygın akım için aşağıda verilen eşitliği türetmiştir.

$$Q_t = Q_0 \exp\left(-\frac{2Tt}{SL^2}\right) \quad (5.10)$$

$$\alpha = \frac{2Tt}{SL^2} \quad (5.11)$$

Burada; Q_0 : kaynağın azalmaya başladığı zamandaki debisini (L^3/T), Q_t : t anındaki kaynağın debisini (L^3/T), α : çekilme katsayısını (T^{-1}), t: çekilme süresini (T), T: iletimlilik katsayısını (L^2/T), S: depolama katsayısını ve L: akiferin beslenme alanına uzaklığını (L) ifade etmektedir.

Akiferlerde hidrodinamik koşulları açıklamak için kullanılan parametreler içinden en karakteristik özelliklerinden ikisini iletimlilik (T) ve etkin gözeneklilik/depolama (S) oluşturmaktadır. Bir karstik akiferin kaynak boşalımı, tüm akiferin iletimlilik ve etkin gözenekliliği hakkında bilgi verebilmektedir (Milanovic, 1981). Milanovic (1981) karstik akiferlerin olası beslenme alanlarının bilinmesi koşulu ile karst akiferleri için gerçekleştirilen kaynak çekilme analizi sonucunda elde edilen parametreler ile bu akiferlere ait T ve S değerlerinin hesaplanabileceğini önermektedir.

$$\Delta R = \frac{86.4 (Q_0 - Q_t)}{\alpha A} \quad (5.12)$$

$$T = \frac{0.183 \times Q_a}{C} \quad (5.13)$$

$$C = \frac{\Delta R_2 - \Delta R_1}{\log t_2 - \log t_1} \quad (5.14)$$

Burada; ΔR : dinamik hacimdeki değişimi (L), Q_0 : t_0 anındaki kaynak debisini (L^3/T), Q_t : t anındaki kaynak debisini (L^3/T), α : çekilme katsayısını (T^{-1}), A: beslenme alanını (L^2), T: iletimlilik katsayısını (L^2/T), Q_a : çekilme dönemindeki ortalama debiyi (L^3/T) ve C: akifer dinamik hacminin logaritmik olarak zamana oranını (L) ifade etmektedir.

Bu bölüm kapsamında, CKS'de akifer parametrelerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen hesaplamalarda, akiferin beslenme alanı 8.4 km^2 ve beslenme alanı ile boşalım noktası

arasındaki mesafe ise 3.5 km kabul edilmiştir. CKS için 1980-2020 yılları arası gerçekleştirilen kaynak çekilme analizi sonuçları (Bkz. Çizelge 5.3) Milanovic (1981) tarafından önerilen eşitliklerde (Eş. 5.12-14) değerlendirilerek karst akiferine ait akifer parametreleri hesaplanmıştır.

CKS 1. ve 2. çekilme dönemleri için hesaplanan en düşük ve en yüksek iletimlilik katsayısı değerleri sırası ile 21854–47545 m²/gün ve 2861–10332 m²/gün arasında değişmektedir (Çizelge 5.5). Bununla birlikte önceki çalışmalarda (Eagon ve Johe, 1972; Wolansky ve Corral 1984; El-Naqa, 1994; Fabbri, 1997; Mace, 1997); kırıklı-çatlaklı ve karbonatlı akiferlerde yapılan pompa deneyleri sonucunda iletimlilik katsayısı değerinin 1 m²/gün ile 100000 m²/gün arasında değiştiği belirtilmektedir. Söz konusu çalışmalarda, ileri derecede karstlaşmaya sahip heterojen ve anizotrop karst akiferlerinde yüksek iletimlilik katsayısının gözlemlendiği belirtilirken nispeten düşük iletimlilik katsayısının ise kırıklı-çatlaklı akiferleri temsil ettiği belirtilmektedir.

Çizelge 5.5. Çokrağan Kaynağı iletimlilik katsayısı değeri.

Referans	Akifer	Litoloji	T (m ² /gün)
Fabbri (1997)	Eugani Havzası, Kuzey-Doğu İtalya	Kırıklı-Çatlaklı Karbonatlı Birim	6 - 2500
Mace (1997)	Edwards Akiferi, USA	Kırıklı-Çatlaklı/Karstik Karbonatlı Birim	1 - 100000
El-Naqa (1994)	Amman Vadi es-Sir Akiferi, Ürdün	Kırıklı-Çatlaklı Karbonatlı Birim	10 - 26000
Wolansky&Corral (1984)	Florida Akiferi, USA	Kırıklı-Çatlaklı/Karstik Karbonatlı Birim	100 - 100000
Eagon&Johe (1972)	Kuzeybatı Ohio Akiferi, USA	Kırıklı-Çatlaklı Karbonatlı Birim	10 - 2000
Milanovic Yöntemi (bu çalışmada)	Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme - II. Çekilme	Dolomitik Kireçtaşı	21854-47545 2861-10332

Bu çalışma kapsamında elde edilen iletimlilik katsayısı değerleri, literatürde yer alan çalışmalar ile kıyaslandığında, 1. çekilme dönemine ait yüksek T değerlerinin CKS'de yüksek iletimliliğe sahip karstik kanallarda meydana gelen yeraltısuyu akımını karakterize ettiği, düşük iletimliliğe sahip 2. çekilme dönemine ait T değerlerinin ise kırık-çatlak sistemlerinden kaynaklanan yeraltısuyu akımını karakterize ettiği şeklinde düşünülmektedir.

Çokrağan Kaynağı kaynak çekilme analizi sonuçları Berkaloff (1967), Atkinson (1977) ve Bagaric (1978) tarafından önerilen eşitliklerde (Eş. 5.7-11) kullanılarak CKS 1. ve 2. çekilme dönemleri için T/S oranları hesaplanmıştır (Çizelge 5.6).

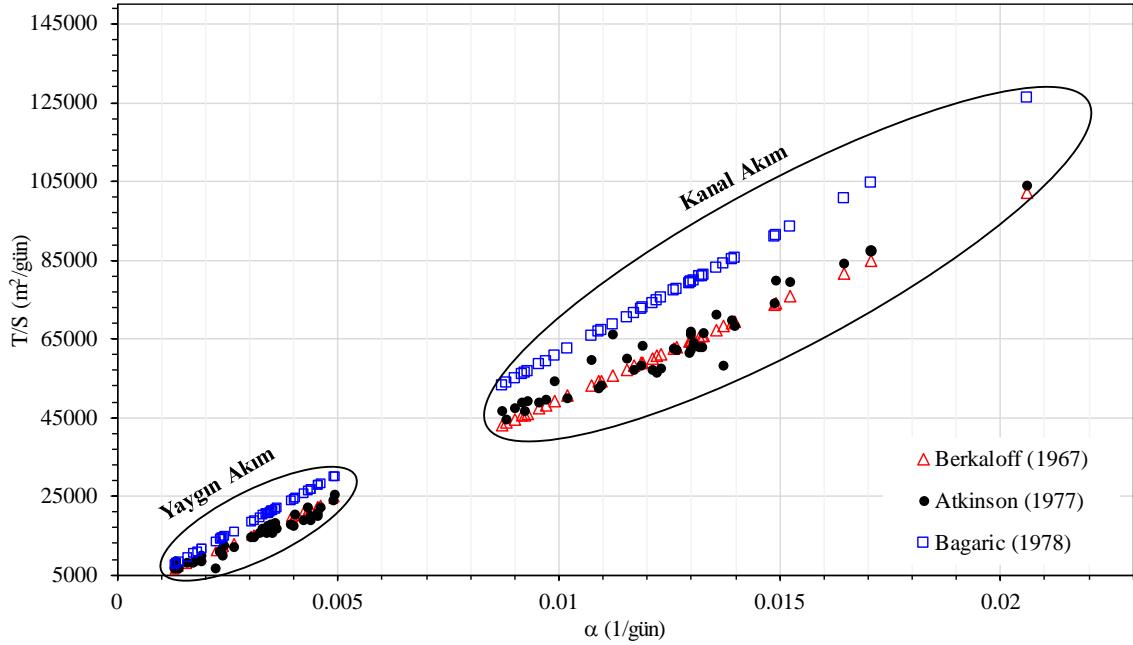
Çizelge 5.6. Çokrağan Kaynağı T/S oranları.

Referans	Akifer	Litoloji	T/S (m ² /gün)
Atkinson (1977)	The Mendip Hills (İngiltere)	Kireçtaşı	291100
Shevenell (1996)	The Oak Ridge (USA)	Kireçtaşı	1391-13669
Aydın (2005)	Döşkaya Kaynağı (HBKS, Bilecik) - I. Çekilme	Jura Kireçtaşı	31460-51638
		II. Çekilme	7933-19463
	Beyyala Kaynağı (HBKS, Bilecik)		5100-7734
	Nardın Kaynağı (HBKS, Bilecik)		302839-588434
Atkinson&Shevenell (bu çalışmada)	Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme	Dolomitik	44683-104060
		Kireçtaşı	651-25566
Berkalof (bu çalışmada)	Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme		43193-102274
		- II. Çekilme	6405-24526
Bagaric (bu çalışmada)	Çokrağan Karst Sistemi - I. Çekilme		53288-126175
		- II. Çekilme	7901-30258

CKS'de iletimliliğin yüksek ve depolamanın düşük olduğu 1. çekilme dönemi için hesaplanan T/S oranı 43193 m²/gün ile 126175 m²/gün arasında değişirken ve iletimliliğin düşük ve depolamanın yüksek olduğu 2. çekilme dönemi için hesaplanan T/S oranı ise oranı 651 m²/gün ile 30258 m²/gün arasında değişmektedir. Bununla birlikte, Atkinson (1977), Shevenell (1996) ve Aydın (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda T/S oranının 1391 m²/gün ile 588434 m²/gün arasında değiştiği belirtilmektedir. Buna ek olarak Aydın (2005), Harmanköy-Beyyala Karst Sisteminde iki çekilme dönemi ile karakterize edilen ileri derecede anizotrop ve heterojen Döşkaya Kaynağı karst akiferi için T/S oranının hesaplamıştır. Söz konusu çalışmada, kanal akımın baskın olduğu akiferde 1. çekilme dönemi için hesaplanan T/S oranının 31460-51638 m²/gün ve kırık-çatlak sistemlerinde depolanan ve yaygın akımın baskın olduğu 2. çekilme dönemi için hesaplanan T/S oranının ise 7933-19463 m²/gün arasında olduğu belirtilmektedir.

CKS 1. ve 2. çekilme dönemleri kaynak çekilme katsayıları ile her iki dönem için Berkaloff (1967), Atkinson (1977) ve Bagaric (1978) tarafından önerilen eşitlikler dikkate alınarak hesaplanan T/S oranları arasındaki ilişki Şekil 5.6'da verilmektedir. Şekil 5.6'da görüldüğü üzere, bu iki parametre arasında doğrusal bir ilişki söz konusu olup, akiferdeki depolama ve iletimlilik hakkında ayırt edici bilgi sunmaktadır. CKS'de nispeten yüksek çekilme katsayısı ile temsile edilen 1. çekilme dönemi için hesaplanan T/S oranları, yüksek iletimlilik ve düşük depolama katsayısına sahip karstik kanallarda depolanan ve kanal akımın baskın olduğu ortamı ifade etmektedir. 1. çekilme dönemine

oranla düşük çekilme katsayısı ile temsil edilen 2. çekilme dönemi için hesaplanan düşük T/S oranları ise CKS'de düşük iletimlilik ve yüksek depolama katsayısına sahip kırık-çatlak sistemlerinde depolanan ve yaygın akımın baskın olduğu ortamı göstermektedir.

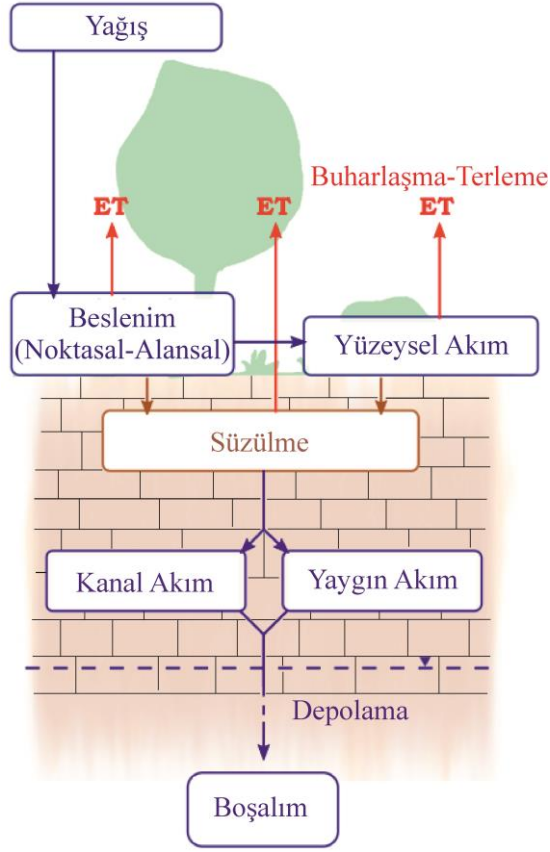


Şekil 5.6. Çokrağan Kaynağı α – T/S grafiği.

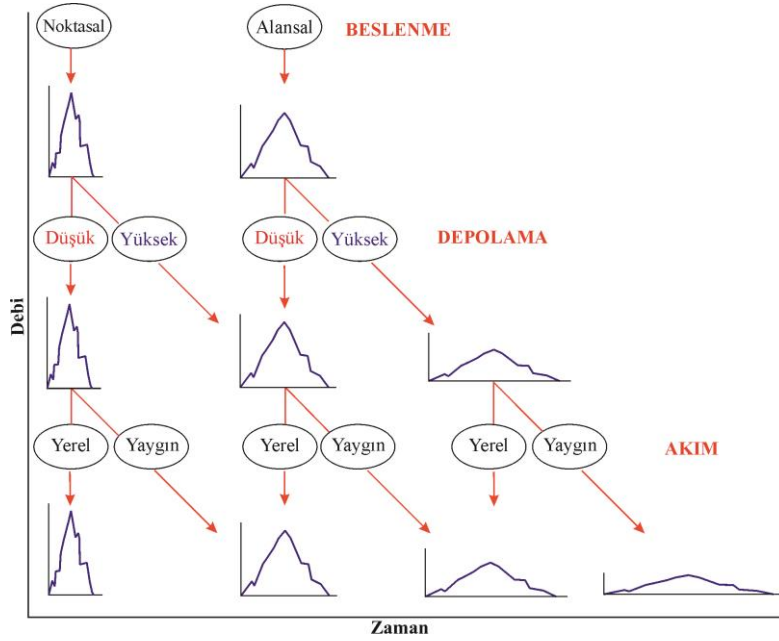
5.3. CKS'de Kavramsal Model Çalışmaları

Hidrolojik ve hidrojeolojik sistemlerin kavramsal model çalışmalarında, sistemdeki etki ve tepkinin göstergesi olan beslenme-dolaşım-depolama-boşalım bileşenleri üzerinde etken olan jeolojik, morfolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmaların birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Karst akiferlerinde beslenme noktasal ve alansal uç bileşenleri arasında değişmekte olup, akifer içindeki dolaşım kırık-çatlak sistemleri boyunca yaygın akım şeklinde gerçekleşirken, karstik kanallar boyunca kanal akım şeklinde de gerçekleşmektedir (White, 2003; Ollivier ve ark., 2019; Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Karst akiferlerinde beslenme-dolaşım-depolama-boşalım ilişkisi (Ollivier ve ark., 2019).



Şekil 5.8. Karst akiferlerinde beslenme-depolama-dolaşım süreçlerindeki değişimlerin kaynak akım hidrografına etkisi (Smart ve Hobbs, 1986).

Karstik sistemlerin en belirgin özelliği olan jeolojik yapının dışında beslenme kaynağı ile akiferdeki depolamayı ve akım ortamların sistem üzerindeki etkisini Smart ve Hobbs (1986) araştırarak, bu akiferler için üç bileşenli (beslenme, depolama, akım) bir kavramsal model oluşturmuştur (Şekil 5.8). CKS'nin kavramsal modelinin ortaya konulması amacı ile tez çalışması kapsamında önceki bölümlerde gerçekleştirilen jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar birlikte değerlendirilmiştir.

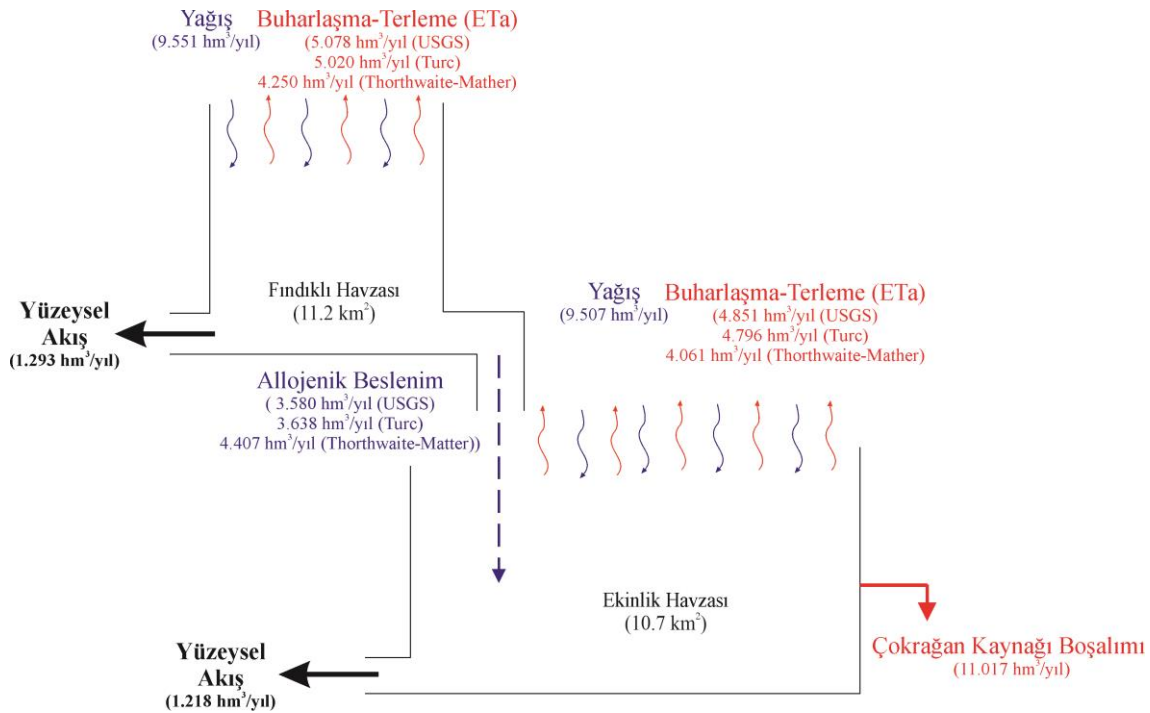
İnceleme alanında Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Arıkaya Formasyonu, Jura yaşlı ve Çiçeklikaya Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı Alüvyon birimler bu birimlerden boşalım sağlayan kaynaklar dikkate alınarak geçirimli birim olarak ayırt edilmiştir. İnceleme alanında yüzeylenen Triyas-Alt Jura yaşlı Aşağıbelova ve Orta-Alt Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonları yer yer içermiş oldukları çakıllı ve kumlu seviyeler nedeni ile yarı geçirimli birimleri oluşturmaktadır. İnceleme alanındaki Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Baybuyan Formasyonu'nu oluşturan gnays, şist ve kuvarsitlerden oluşan metamorfik kayalar, Kretase yaşlı Muratdağı Melanjı ve Orta-Alt Miyosen yaşlı andezit, tuf ve riyolit içeren Karacahisar Volkanitleri de geçirimsiz birimler olarak tanımlanmıştır.

CKS'de boşalım yapan Çokrağan Kaynağı boşalım değerlerine ait nispeten düşük CV ve Q_{max}/Q_{min} oranları bu akiferde otojenik yaygın beslenimin baskın olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kaynak hidrograflarının şekli ile iki çekilme dönemine ait kaynak çekilme katsayıları ve jeolojik ile hidrojeolojik yapı dikkate alındığında taban akımın kısmen uzun gerçekleştiği, akarsu ve/veya benzeri bir kaynaktan beslenen karst sistemlerinin boşalmasını gösteren ve azalan bir çekilme katsayısı ile temsil edilen düşük depolamalı dip savak akımlı kaynak sınıfında yer almaktadır. Bununla birlikte su bütçesi ve kaynak çekilme analizi sonuçları, CKS'de yüzeysel drenaj alanı dışında beslenim olabileceğini ve sistemin fiziksel yapısı dikkate alındığında söz konusu katkının Çokrağan Kaynağının doğusunda yer alan Fındıklı Dereden olduğu sonucuna varılmıştır.

Yapılan değerlendirmelerde, CKS'de beslenimin önemli bir kısmının sistemin yüzeysel drenaj alanı içinde otojenik yaygın beslenim şeklinde gerçekleştiği ve sistemin doğusunda yer alan Fındıklı Dereden, yüzeysel drenaj alanı içinde yüzeylenen Jura yaşlı dolomitik kireçtaşlarından, otojenik yaygın ve yağışlı dönemlerde ise Fındıklı Deresi yüzey sularından allojenik noktasal beslenimin olduğu belirlenmiştir.

Çokrağan Kaynağı 1980-2020 yılları arası akım hidrografları, çekilme analiz sonuçları ve T/S oranları, CKS’de depolamanın 1. çekilme döneminde baskın olarak yüksek iletimlilik ve düşük depolama katsayısına sahip karstik kanallarda (hızlı akım) gerçekleştiğini gösterirken, 2. çekilme döneminde ise baskın olarak düşük iletimlilik ve yüksek depolama kapasitesine sahip kırık-çatlak sistemleri (taban akım) boyunca gerçekleştiğini işaret etmektedir.

Çokrağan Kaynağının boşalım yaptığı Ekinlik Havzasına (10.7 km²) yağıştan yıllık ortalama beslenme 9.507 hm³ hesaplanmıştır. Bu havzadan yüzeysel akış ile yıllık ortalama 1.218 hm³/yıl ve Çokrağan Kaynağından 11.017 hm³/yıl su boşalım yapmaktadır. Bu çalışma kapsamında, buharlaşma-terleme miktarı ise Thorthwaite-Mather yöntemi ile 4.061 hm³/yıl, Turc yöntemi ile 4.796 hm³/yıl ve USGS yöntemi ile 4.851 hm³/yıl hesaplanmıştır. Ekinlik Havzasının doğusunda yer alan Fındıklı Havzasından yaklaşık yıllık ortalama 3.875 hm³/yıl allojenik beslenme söz konusudur. Bu bilgiler doğrultusunda, CKS’nin hidrojeolojik kavramsal modeli Şekil 5.9’da verilmektedir.



Şekil 5.9. CKS hidrojeolojik kavramsal modeli.

6. CKS SU KAYNAKLARININ MİKTAR VE KALİTE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sanayi Devrimi ile birlikte kentleşme, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler plansız ve hızlı gelişmekte olup, bu faaliyetlerin etkisinden kaynaklanan sera gazlarının artışına bağlı olarak küresel iklim sorunları, yerel ve bölgesel ölçekte kullanabilir yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının miktar ve kalite açısından tehlike altındadır. Ayrıca, yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarında değişik boyutlarda gözlenmeye başlayan değişimler (miktar ve kalite), ekosistemdeki dengelerin korunması ve insan sağlığı için şimdi ve gelecek açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu durum, son yüzyılın en önemli sorunlarından biri olan temiz su kaynaklarının hızlı bir şekilde azalması ve su fakirliğinin giderek artması anlamına gelmektedir. Bundan dolayı, nüfus, tarım ve sanayi faaliyetlerinin sürekli artışı, her dönemde geçmiş dönemlerden daha fazla su kullanılması gerekliliğini doğurmakta ve su kaynakları yönetiminin sürdürülebilir olması koşulunu ortaya çıkarmaktadır.

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi; hidrolojik çevrim içerisinde suyun, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörleri dikkate alan hem miktar hem de kalite bakımından optimum şekilde kullanımını sağlayan sistematik bir yapıyı oluşturmak gerekmektedir. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri içinde yer alan 6. Hedef (Temiz Su ve Sanitasyon) su kaynakları yönetimini ifade etmekte olup, söz konusu yönetimde; talep-ihitiyaç-kullanım dengesi, su kaynağının sürdürülebilir verimi (gelecekte kullanılabilirliği) ve suya erişimde adil ve eşitlikçi bir yaklaşımın güvence altına alınması gibi koşulların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Burada suya erişimde adil ve eşitlikçi bir yaklaşımın güvence altına alınması koşulu etkileşen sistemlerin ve suya bağımlı ekosistemlerin sürdürülebilirliğini içermektedir. Bununla birlikte su kaynakları sürdürülebilir yönetimi yalnız sorunlu olan bölgelerde yapılması gereken bir yöntem olarak düşünülmemelidir; sorunlu olmayan bir bölgede de kaynağın en iyi şekilde korunarak, kaynak potansiyelini tehlikeye atmadan etkin kullanımın sağlanması da iyi bir su kaynakları yönetimi gerektirmektedir.

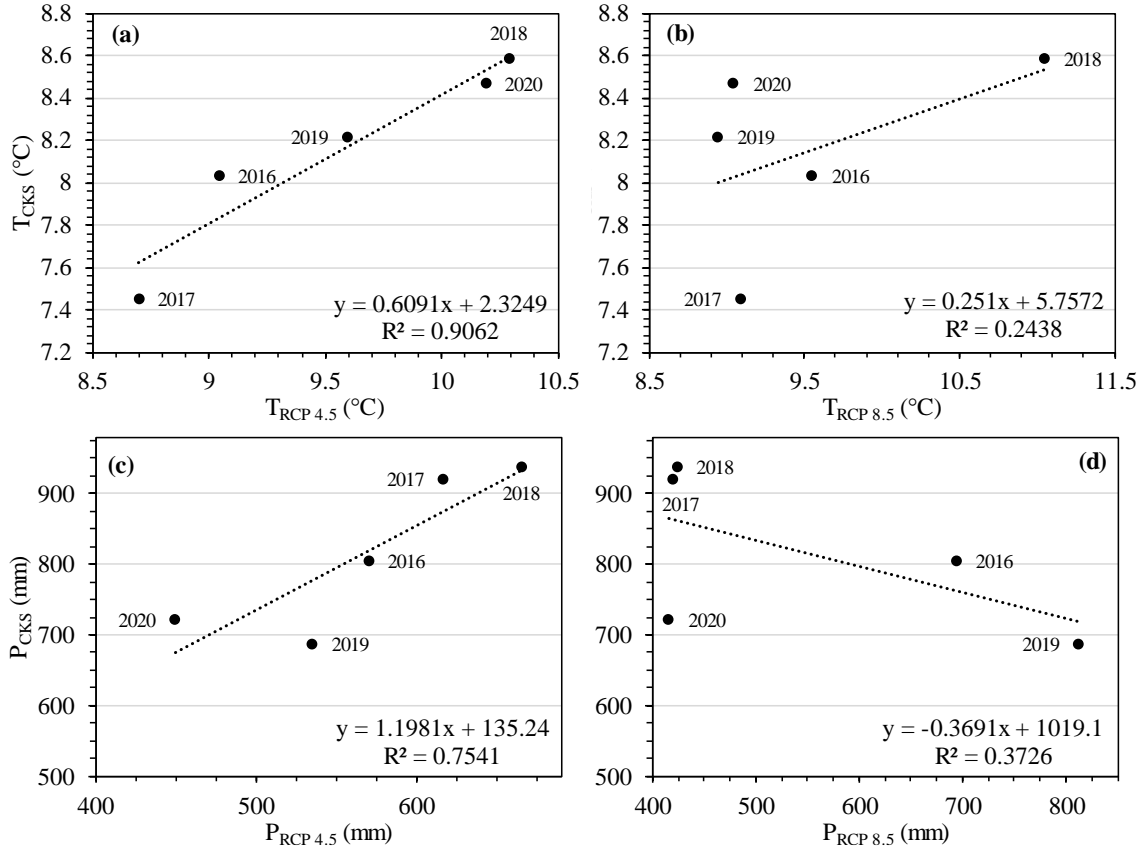
Günümüzde Çokrağan Kaynağı, Uşak ili içme-kullanım suyunun önemli bir kısmını karşılamaktadır. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, su kaynağının içinde yer aldığı sistemde suyun miktar ve kalitesinin konum ve zaman içinde değişimi ve bu değişim üzerinde etken olan süreçlerin açıklanmasını gerektirmektedir. Bu bölüm kapsamında;

CKS hidrojeolojik kavramsal modeli temel alınarak su kaynakları miktar ve kalite açısından değerlendirilecektir.

6.1. CKS ve Yakın Dolayı İklim Değişimi

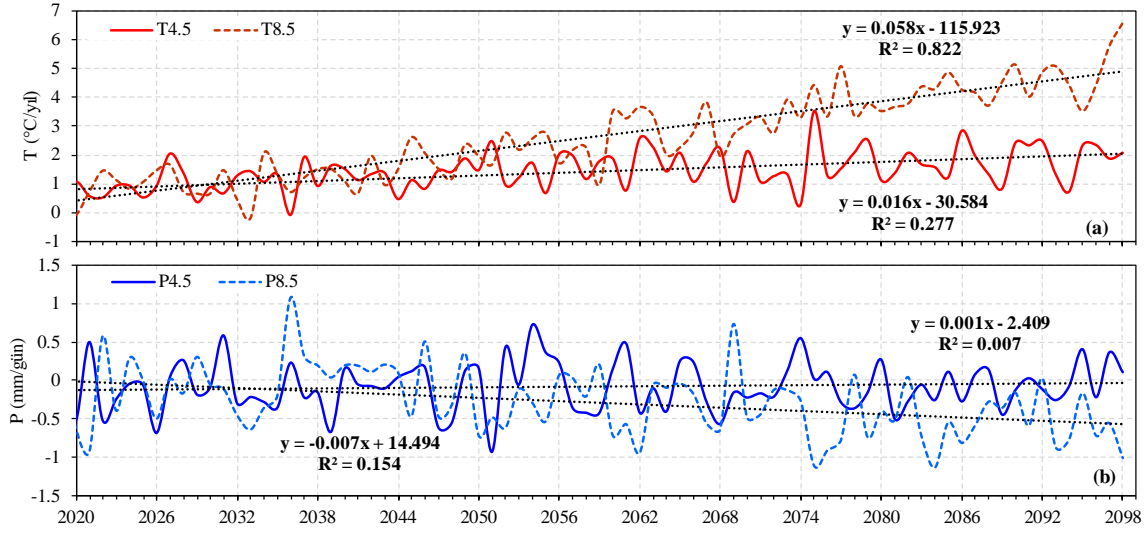
CKS’de beslenimin ana kaynağını meteorik yağışlar oluşturmakta olup, meteorik yağışlar ise bir bölgede gerçekleşen iklimsel süreçler ile kontrol edilmektedir. Dolayısı ile CKS ve yakın dolayında gelecekte su miktarı ve kalitesi ile ilgili öngörülerde bulunmak ve olası iklimsel süreçlerinin su miktarı ve kalitesi üzerinde doğuracağı etkileri göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

MGM (2015), Ülkemiz için Max Planck Meteoroloji Enstitüsü Küresel İklim Model (MPI-ESM-MR) verilerini RegCM4 bölgesel iklim modelinde kullanılarak dinamik ölçek küçültme yöntemiyle ve RCP4.5 (iyimser) ve RCP8.5 (kötümser) iklim senaryolarını dikkate alınarak yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış projeksiyonları gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışmada 1970-2000 yılları referans dönemi kabul edilmiş ve 20×20 km çözünürlüğe sahip yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri, 2016-2099 yılları arasında kalan dönemi kapsayacak şekilde üretilmiştir. Söz konusu iklim projeksiyon verileri (2016-2099) MGM’den talep edilmiş ve tez çalışması kapsamında değerlendirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle CKS ve yakın dolayı için tez çalışması kapsamında 2016-2020 yılları arası elde edilen yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri (Bkz. Bölüm 3), söz konusu model sonuçları ile karşılaştırılmış ve model sonuçlarının temsil ediciliği kontrol edilmiştir (Şekil 6.1). RCP4.5 iklim senaryosu sonucunda 2016-2020 yılları arasında kalan dönem için tahmin edilen sıcaklık (Şekil 6.1a) ve yağış (Şekil 6.1c) değerleri ile CKS çevresinde gözlenen veriler arasında yüksek determinasyon katsayısı (0.75-0.91) gözlenirken, RCP8.5 iklim senaryosu sonucunda elde edilen veriler ile zayıf bir ilişki elde edilmiştir (Şekil 6.1b,d). Dolayısı ile bu çalışma kapsamında RCP4.5 iklim senaryosu sonucunda 2016-2099 yılları arasında kalan dönem için tahmin edilen yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerinin CKS için daha anlamlı olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 6.1. CKS yakın dolayında gözlenen ve RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları dikkate alınarak tahmin edilen yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması (2016-2020 yılları arası).

RCP4.5 iklim senaryosuna göre CKS ve yakın dolayında 2020-2099 yılları arası ortalama sıcaklığın referans döneme oranla (1970-2000) 1.4 °C (Min.–Max.: -0.4 – 3.5 °C) artacağı öngörülürken, RCP8.5 iklim senaryosuna göre ise 2.5 °C (Min.–Max.: -0.2 – 6.6 °C) artacağı öngörülmektedir (Şekil 6.2a). Benzer şekilde RCP4.5 iklim senaryosu ile referans döneme oranla 2020-2099 yılları arası günlük ortalama toplam yağış miktarı 0.08 mm/gün (29.2 mm/yıl) oranında azalırken, RCP8.5 iklim senaryosuna göre ise 0.27 mm/gün (98.6 mm/yıl) oranında azalacağı tahmin edilmiştir (Şekil 6.2b). RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ile hesaplanan yıllık toplam yağıştaki azalma miktarı 1980-2020 yılları arası CKS ve yakın dolayında gözlenen uzun yıllar ortalama toplam yağış miktarının (888.5 mm) sırası ile %3.3 ve %11.1'ine karşılık gelmektedir.



Şekil 6.2. CKS ve yakın dolay 2016-2099 yılları arası yıllık ortalama sıcaklık ve günlük toplam yağışların referans periyottan farkları (RCP4.5 ve RCP8.5: MPI-ESM-MR/RF:1971-2000).

6.2. Su Kalitesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan sular CaHCO_3 , MgHCO_3 ve CaSO_4 türü sular olup, Uşak ili içme-kullanım suyunun sağlandığı ana kaynak olan Çokrağan Kaynağından drene olan sular CaHCO_3 türü sulardır. Çalışma kapsamında su kirliliğini belirlemek amacıyla Temmuz ve Kasım 2021 dönemlerinde alınan toplam 13 adet su örneğinden civa (Hg), demir (Fe), bakır (Cu), arsenik (As), bor (B), nikel (Ni), kobalt (Co), çinko (Zn), antimon (Sb), mangan (Mn), berilyum (Be) gibi metal ve ağır metallerin analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 6.1).

Sularda ağır metal içeriği, jeojenik kaynaklı olmakla birlikte kanalizasyon, madencilik, endüstriyel, tarımsal, katı atık depolama alanı, vb. faaliyetleri sonucu antropojenik kaynaklı da olabilmektedir (Domenico ve Schwartz, 1998). Özellikle son yüzyılda gözlenen antropojenik kaynaklı kirlilik yüzey suları ile yeraltısularında ağır metal içeriğinin önemli ölçüde arttırmıştır. Bölgede (Muratdağı: altın, kurşun, çinko, bakır, vb. maden sahaları) pek çok madencilik faaliyetleri olmasına rağmen, CKS sistemin beslenme alanında madencilik, tarımsal, endüstriyel ve kentsel faaliyetleri bulunmamaktadır. Çalışma alanındaki kaynaklardan Temmuz 2021 döneminde alınan örneklerinin eser element analiz sonuçları incelendiğinde; Zn 0-6.25 $\mu\text{g/l}$, Cr 0.70-17.59 $\mu\text{g/l}$, Fe 0-87.95 $\mu\text{g/l}$, Ni 0.15-13.69 $\mu\text{g/l}$, As 0.12-3.36 $\mu\text{g/l}$ ve B 0-2.95 $\mu\text{g/l}$ arasında

değiştirdiği görülmektedir. İnceleme alanındaki su noktalarından Kasım 2021 döneminde alınan örneklerin eser element analiz sonuçları incelendiğinde ise; Zn 0-0.80 µg/l, Cr 4.34-9.14 µg/l, Fe 8.39-62.08 µg/l, Ni 1.78-14.05 µg/l, As 1.61-7.16 µg/l ve B 2.14-17.77 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. İnceleme alanındaki su örneklerinin iz element analiz sonuçları.

Kod	Tarih	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Se	Ti	Tl	V	Zn	
		(µg/l)																						
CKR1	Temmuz 2021	0	0	2.19	0	6.12	0.01	0.01	0.17	5.27	0.91	37.16	0.01	0	1.71	5.61	0	1.41	7.99	1.57	0.01	0.79	6.25	
CKR2		0	0	3.36	0	7.27	0.01	0.01	0.28	4.85	1.72	53.40	0	0	1.85	9.02	0	2.79	8.45	1.98	0	0.19	0.95	
CSK		0	0	1.17	2.95	15.91	0.01	0	0.43	2.67	2.31	87.95	0	0.01	1.26	13.69	0	0.67	8.18	1.98	0.01	0.45	1.91	
FDN		0	0	0.19	0	1.83	0	0	0.13	0.70	0.24	20.83	0	0	0.17	3.64	0	0.05	7.65	0.68	0	0.13	0	
AGO		0	0	0.14	0	2.50	0.01	0	0.25	1.06	0.24	48.96	0	0.23	0.15	7.80	0	0.17	6.99	0.98	0	0.11	0	
GYK		0	0	0.12	0	1.05	0.01	0	0.01	17.59	0.19	0.35	0	0	0.16	0.47	0	0.15	7.55	1.23	0	0.25	0	
EKÇ		0	0	0.45	0	0.58	0.01	0	0.01	12.26	0.18	0	0.01	0	0.31	0.15	0	0.42	7.41	0.71	0	0.29	0	
KRD	0	0	0.41	0	1.57	0.01	0	0.09	2.34	0.21	16.95	0	0	0.66	2.70	0	0.28	6.99	0.87	0	0.41	0		
CKR1	Kasım 2021	0	0	4.39	6.43	11.37	0	0	0	9.14	0	20.41	0	0	2.12	3.84	0	2.95	0.02	2.37	0	0	0	
CKR2		0	0	7.04	3.85	14.54	0	0	0	8.62	0	35.28	0	0	4.01	5.36	0	8.70	0	2.28	0	0	0	0.31
CSK		0	0	1.61	17.77	28.11	0	0	0.19	4.34	0	62.08	0	0	2.21	14.05	0	1.24	0.55	3.09	0	0	0	0.80
MAG1		0	0	7.16	2.30	13.22	0	0	0	7.01	0	20.62	0	0	3.80	3.02	0	5.97	0.01	1.68	0	0	0	0
MAG2		0	0	2.28	2.14	11.58	0	0	0	5.92	0	8.39	0	0	2.02	1.78	0	1.31	0.05	1.41	0	0	0	0

Çokrağan Kaynağının Uşak ili içme-kullanım suyunu karşılaması nedeni ile hem CKR1 ve CKR2 hem de CKS ve yakın dolayında örnekleme yapılan diğer su noktalarının kimyasal analiz sonuçları TSE 266 (2005), Avrupa Birliği (2020), WHO (2017) ve EPA (2006) gibi yaygın kullanılan içme-kullanım suyu standartları ile kıyaslanmıştır (Çizelge 6.2). İz element analiz sonuçları incelendiğinde, Fe ve Ni analiz sonuçlarının su-kayaç etkileşim süreçlerine bağlı olarak diğer iz element analiz sonuçlarına oranla yüksek çıkmasına karşın, CKS ve yakın dolayında örneklenen su noktalarında iz element analiz sonuçları ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarında belirten limitleri aşmamaktadır.

Majör iyon analiz sonuçları standartlar ile kıyaslandığında CSK, CKR2 ve GYK su noktalarında F, Mg ve SO₄ iyonları hariç diğer majör iyonlar tüm su noktalarında standartlarda öngörülen limit değerlerin altında gözlenmiştir. Temmuz 2021’de CKR2 ve CSK su örneklerinde F değerleri sırasıyla 1.559 mg/l ve 3.202 mg/l, GYK su örneğinde Mg değeri 54.811 mg/l, aynı dönemde CSK su örneğinde SO₄ değeri 411.136 mg/l iken Kasım 2021’de CKR2 ve CSK aynı parametre değerleri sırasıyla 285.810 mg/l ve 461.960 mg/l ölçülmüş olup, ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarını aştığı belirlenmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2. CKS ve yakın dolaylı su noktaları kimyasal analiz sonuçlarının ulusal ve uluslararası içme-kullanım suyu standartları ile karşılaştırılması (mg/l).

Standartlar	TSE 266	EC	WHO	EPA	CKS	
					Min	Max
Alüminyum (Al)	0.2	0.2	0.2		0.000	0.000
Arsenik (As)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.000	0.007
Bakır (Cu)	2	2	2	1	0.000	0.002
Baryum (Ba)				2	0.001	0.028
Berilyum (Be)				0.004	0.000	0.000
Bor (B)	1	2	2		0.000	0.018
Çinko (Zn)	5			5	0.000	0.006
Civa (Hg)	0.001	0.001	0.001		0.000	0.000
Demir (Fe)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.000	0.088
Florür (F)	1.5	1.5	1.5	2	0.080	3.207
Kadmiyum (Cd)	0.005	0.005	0.003	0.005	0.000	0.000
Kalsiyum (Ca)	200		100		3.620	179.810
Klorür (Cl)	250	250	250	250	2.960	10.705
Krom(Cr)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.001	0.018
Kurşun (Pb)	0.01	0.01	0.01	0.015	0.000	0.000
Magnezyum (Mg)	50	50			6.753	55.177
Mangan (Mn)	0.05	0.05	0.1	0.05	0.000	0.000
Nikel (Ni)	0.02	0.02	0.02		0.000	0.014
Nitrat (NO ₃)	50	50	50	10	0.000	7.427
Nitrit (NO ₂)	0.5	0.5	0.5	1	0.000	0.360
Potasyum (K)	12				0.160	1.180
Selenyum (Se)	0.01	0.01	0.01	0.005	0.000	0.008
Sodyum (Na)	175	200	200		0.959	2.420
Sülfat (SO ₄)	250	250	250	250	7.783	461.960

TS266: Türk Standartları Enstitüsü; EC: Avrupa Birliği; WHO: Dünya Sağlık Örgütü; EPA: Amerika Çevre Koruma Ajansı.

CKS'de boşalım sağlayan özellikle CKR1 kaynağı (ana kaynak) ile drene olan yeraltı suları hem majör ve iz element içerikleri bakımında ilgili standartlarda belirtilen limit değerlerin altında kalması hem de kaynağın beslenme alanında antropojenik bir kirlilik oluşturacak faaliyetin bulunmaması nedeni ile güvenli bir kaynak özelliği taşımaktadır.

6.3. Su Miktarı

CKS 1980-2020 yılları arası kaynak çekilme analiz sonuçları, çekilme dönemleri başlangıcında bu sistemde depolanan toplam su miktarının 2.847 hm³ ile 10.498 hm³ arasında değiştiği ve ortalama 6.171 hm³ olduğunu göstermiştir. Söz konusu toplam depolanan suyun yaklaşık %85'i (Min.-Max.: %74-%93) çekilme dönemi boyunca sistemden deşarj olurken, %15'i (%7-%26) ise akiferde kalmaktadır. Bölüm 6.1 kapsamında yapılan değerlendirmeler dikkate alındığında CKS ve yakın dolayında iyimser (RCP4.5) ve kötümser (RCP8.5) iklim değişim senaryolarına göre sıcaklıklar 2020-2099 yılları arasında sırası ile 1.4 °C ile 2.5 °C artarken, yağışlar ise %3.3 ile %11.1 oranında azalacaktır. Başka bir ifade ile söz konusu değişimler, CKS su potansiyelini benzer oranlarda olumsuz yönde etkileyecektir. Dolayısı ile gelecekte olası iklim değişimi ile birlikte nüfus artışı da mevcut su kaynaklarına talebi de arttıracaktır.

Günümüzde Çokrağan Kaynağı, Küçükler Barajı ile birlikte Uşak ili merkez ilçesinin içme-kullanım suyu ihtiyacını karşılamaktadır. 2020 yılı itibari ile 256050 kişi olan Uşak ili merkez ilçesinin nüfus artış katsayısını belirlemek amacıyla 1965-2007 yıllar arasında gerçekleştirilen nüfus sayım sonuçları ve 2008-2021 yılları arası adrese dayalı nüfus sayımı verileri derlenmiştir (TÜİK, 2021; Çizelge 6.3). Kocaman (2002) ve Okuroğlu (1998)'de belirtilen eksponansiyel eşitlik kullanılarak nüfus artış katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 6.4).

$$P_n = P_s \times \left[1 + \left(\frac{r}{100} \right) \right]^t \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte; P_n : son sayım nüfusu (kişi), P_s : bir önceki sayım nüfusu (kişi), r : nüfus artış hızını ve t : iki sayım arasındaki yıl farkını (T) ifade edilmektedir. Ayrıca nüfus artış katsayısının 1'den küçük hesaplanması koşulunda, $p=1$, 3'ten büyük hesaplanması koşulunda $p=3$ ve 1-3 arasında hesaplanması koşulunda ise kendisinin alınacağı değer kuralına bağlı kalınmıştır (İstanbuluoğlu ve ark., 2007). Bu koşullara bağlı olarak Uşak ili Merkez ilçesinin ortalama nüfus artış oranı 1.49 (%) hesaplanmıştır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3.Uşak ili merkez ilçesi 1965-2020 yılları arası nüfus sayım sonuçları (TÜİK, 2021)

Yıl	İl Merkez Nüfusu (kişi)	Nüfus Artış Oranı (%)
1965	69593	1.00
1970	80283	1.00
1975	96394	1.00
1980	110255	1.00
1985	128378	1.00
1990	145146	1.00
2000	179458	1.00
2007	209033	1.00
2008	209912	1.40
2009	212859	1.56
2010	216172	1.29
2011	218953	1.61
2012	222484	1.84
2013	226583	2.20
2014	231563	2.05
2015	236301	2.65
2016	242566	3.00
2017	250006	1.00
2018	252044	1.83
2019	256669	1.00
2020	256050	1.87
Ortalama		1.49

Sönmez (1983)'te, şehir nüfuslarının 200000'den büyük olması durumunda içme-kullanım suyu planlamalarında günlük kişi başı su tüketiminin 250 l/gün olduğunu belirtmektedir. Uşak ili nüfus artış oranı 1.49 (%) dikkate alındığında 2022, 2025, 2050, 2075 ve 2099 yıllarında şehir nüfusu sırası ile 263741, 275712, 399125, 577778 ve 824115 kişi olarak hesaplanmıştır. İçme-kullanma suyu ihtiyacının günlük kişi başı 250 l kabul edildiğinde söz konusu yıllarda ihtiyaç duyulacak su miktarı sırası ile 24.1 hm³ (0.763 m³/s), 25.2 hm³ (0.798 m³/s), 36.4 hm³ (1.155 m³/s), 52.7 hm³ (1.672 m³/s) ve 75.2 hm³ (2.385 m³/s) olarak elde edilmektedir. Ancak, Çokrağan Kaynağının 1980-2020 yılları arası uzun yıllar aylık ortalama (0.349 m³/s) ve en yüksek (0.527 m³/s) akım değerleri dikkate alındığında, 2099 yılında iklim değişikliğini göz ardı edilse bile söz konusu kaynağının su ihtiyacını karşılayamayacağı ortaya çıkmıştır. MGM (2015) tarafından hazırlanan iklim projeksiyonuna göre sıcaklık miktarının artacağı ve yağış miktarının azalacağından, bu durum Çokrağan Kaynağının beslenme ve boşalımının azalmasına neden olacaktır.

7. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

İnceleme alanı, Ege Bölgesi sınırları içinde yer almakta olup, Gediz Nehri Havzası beslenme alanında yer almaktadır. İnceleme alanı, Banaz (Uşak) ilçesi kuzeybatısında yer alan Karacahisar köyü kuzeydoğusunda yüzeylenen Jura yaşlı dolomitlerden boşalım sağlayan Çokrağan Karst Kaynağı yüzeysel drenaj alanıdır. “Çokrağan (Banaz-Uşak) Karst Sisteminde Beslenim-Boşalım İlişkisinin Araştırılması” konulu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar kısaca aşağıda özetlenmiştir.

- CKS’yi oluşturan Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu, batı, doğu ve kuzeyinde yanal geçişli olarak Aşağıbelova Formasyonu ve güneyde ise Karacahisar Volkanitleri ile sınırlanırken tabanda ise Baybuyan Formasyonu(?) ile sınırlanmaktadır. Jeolojik kesitler ve arazi gözlemleri sonucunda Çiçeklikaya Formasyonu’nun kalınlığı 40-155 m arasında değişmekte olup, ortalama kalınlığı yaklaşık 105 m olarak hesaplanmıştır.
- CKS için 1980-2020 yılları arası uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağış ve sıcaklık değeri sırasıyla 888.5 mm/yıl ve 7.67 °C hesaplanmıştır. USGS yöntemine göre ortalama toplam ETp ve Eta değerleri sırasıyla 504.7 mm/yıl ve 453 mm/yıl, Thorthwaite yöntemine göre ortalama toplam ETp ve Eta değerleri sırasıyla 558.5 mm/yıl ve 379.5 mm/yıl ve Turc yöntemine göre ortalama toplam Eta 448.2 mm/yıl hesaplanmıştır. Çokrağan Kaynağı ile Ekinlik ve Fındıklı dereleri 1980-2020 yılları arası aylık ortalama akım değerleri sırasıyla, 0.349 m³/s, 0.039 m³/s ve 0.041 m³/s hesaplanmıştır.
- CKS’nin su bütçesi hesaplamalarında, Ekinlik (10.7 km²) ve Fındıklı (11.2 km²) dereleri yüzeysel drenaj alanları için ayrı ayrı ve Ekinlik Dere ile doğusunda yer alan Fındıklı Dere yüzeysel drenaj alanlarının birlikte değerlendirilmesi (21.9 km²) olmak üzere üç şekilde su bütçesi hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Su bütçesi hesaplama sonuçları, Çokrağan Kaynağının 0.349 m³/s uzun yıllar ortalama debi ile Ekinlik Deresi yüzeysel drenaj alanı içinde boşalım sağlayabilmesi için bu sisteme havza dışından yeraltısuyu katkısı olması

gerektiğini göstermektedir. Başka bir deyişle, CKS’de yüzeysel drenaj alanı ile yeraltı drenaj alanının çakışmadığı şeklinde yorumlanmıştır. Söz konusu katkının Ekinlik Dere yüzeysel drenaj alanı doğusundan yer alan Fındıklı Dere yüzeysel drenaj alanından gelebileceği öngörülmektedir.

- CKS ve yakın dolayında nispeten düşük iyon içeriğine ($EC_{25} < 500 \mu S/cm$) sığ dolaşımli memba kaynakları (FDN, AGO, GYK, EKÇ ve KRD), nispeten yüksek iyon içeriğine ($EC_{25} < 1200 \mu S/cm$) sahip derin dolaşımli Sarıkız Kaynağı (CSK) ile bu iki uç bileşen arasında yer alan karstik kaynaklar (CKR1, CKR2, MAG1 ve MAG2) açık bir şekilde ayırt edilmektedir.
- İnceleme alanı ve yakın dolayında EKÇ ile GYK ($MgHCO_3$) ve AGO, KRD ile FDN ($CaHCO_3$) kaynakları nispeten düşük iyon içeriğine sahip sular grubunda yer almakta olup, söz konusu kaynaklar inceleme alanında memba kesiminde sığ dolaşım ile boşalım sağlamaktadır. Çokrağan Kaynağı kaptaj alanı içinde boşalım sağlayan nispeten yüksek iyon içeriğine sahip CSK kaynağı ($CaSO_4$) diğer uç bileşeni oluşturmaktadır. CKS’deki karstik kaynaklar (CKR1 ($CaHCO_3$), CKR2, MAG1 ve MAG2) bu iki uç bileşen arasında yer almaktadır. Özellikle CKR2 ile MAG1 kaynakları CKR1 ve CSK kaynakları arasında yer alan karışım doğrusu üzerinde kalmaktadır.
- İnceleme alanında CKS ve yakın dolayında yer alan CKS, CKR1, CKR2, MAG1 ve MAG2 su noktaları için hesaplanan SI_{Ca} değerleri -0.3 değerinden büyük olması, bu kaynakların drene olduğu karst akiferinde yaygın dolaşımın baskın ve su-kayaç etkileşim sürecinin nispeten uzun olduğunu işaret etmektedir.
- Çalışma kapsamında CKS su noktalarında alınan örneklerin $\delta^{18}O$ ve δ^2H değerleri sırası ile -10.39 – -9.99 ‰ ve -65.61 – -61.78‰ arasında değişmektedir. CKS’nin boşalımını sağlayan; kaynak suları, GMWL ile MMWL arasında yer almakta olup, bölgedeki yağışların Marmara ve Akdeniz kökenli yağışlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Çokrağın Kaynağı çekilme analizlerinde I. çekilme döneminde kaynak boşalımları nispeten yüksek çekilme katsayısı (Min/Max: 0.00870 gün⁻¹ ve 0.02060 gün⁻¹) ile temsil edilen hızlı akım (karstik kanallar) ve II. çekilme döneminde düşük çekilme katsayısı (Min/Max: 0.0013 gün⁻¹ ile 0.0049 gün⁻¹) ile temsil edilen taban akım (kırık-çatlak sistemleri) olmak üzere iki çekilme dönemi mevcuttur.
- Çokrağın karst akiferinde kanal akım ile temsil edilen I. Çekilme döneminde kaynak gerisinde depolanan suyun yaklaşık %45.8'i ile %88.0'i (Ort.: %70.3) boşalırken kırık-çatlak sistemlerinde depolanan suların boşalım sağladığı II. Çekilme döneminde ise %3.2'si ile %35.2'si (%14.3) boşalmaktadır. Çokrağın Kaynağı karst akiferinin toplam depolama kapasitesinin ortalama %15.4'ü (Min.-Max.: %6.7-%26.1) çekilme dönemleri sonunda akiferde kalmaktadır.
- MRC yöntemi ile birinci (kanal akım) ve ikinci (yaygın akım) çekilme dönemleri sırası ile 0.0105 gün⁻¹ ve 0.0053 gün⁻¹ çekilme katsayıları ile temsil edilmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonrasında CKS'nin toplam hacmi 11.216 hm³ elde edilirken birinci ve ikinci çekilme dönemlerinde boşalan su miktarı ile çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarı sırası ile 7.530 hm³ (%67.1), 1.412 hm³ (%12.6) ve 2.274 hm³ (%20.3) hesaplanmıştır.
- CKS için hesaplanan iletimlilik ve T/S değerlerine göre görece yüksek çekilme katsayısı ile temsile edilen I. çekilme dönemi, yüksek iletimlilik ve düşük depolama katsayısına sahip, karstik kanallarda depolanan ve kanal akımın baskın olduğu ortamı ifade etmektedir. Ancak, I. çekilme dönemine oranla düşük çekilme katsayısı ile temsil edilen II. çekilme dönemi, düşük iletimlilik ve yüksek depolama katsayısına sahip, kırık-çatlak sistemlerinde depolanan ve yaygın akım baskın olduğunu ifade etmektedir.
- CKS'deki etki ve tepkinin göstergesi olan beslenme-dolaşım-depolama-boşalım bileşenleri üzerinde etken olan jeolojik, morfolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmaların birlikte değerlendirilerek CKS hidrojeolojik kavramsal modeli

oluşturulmuştur. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, CKS'nin besleniminin önemli bir kısmının sistemin yüzeysel drenaj alanı içinde otojenik yaygın beslenme şeklinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca, yağışlı dönemlerde sistemin doğusunda yer alan Fındıklı Havzası yüzeysel drenaj alanı içindeki yüzeyleyen Jura yaşlı dolomitik kireçtaşları ile allojenik noktasal beslenimin olduğu belirlenmiştir.

- CKS su kaynaklarının miktar ve kalite açısından değerlendirilmesinde, Çokrağan kaynağından alınan su örneklerinin analizleri açısından kaynağın beslenme alanında antropojenik bir kirlilik oluşturacak faaliyetin bulunmaması nedeni ile Çokrağan Kaynağı güvenli bir kaynak özelliği taşımaktadır. Ancak, Çokrağan Kaynağının miktar açısından yapılan iklim ve nüfus projeksiyon çalışmalarına göre 2022-2099 yılları arasında Uşak ilinin su ihtiyacını karşılayamayacağı belirlenmiştir.

7.2. Tartışma ve Öneriler

“Çokrağan (Banaz-Uşak) Karst Sisteminde Beslenme-Boşalım İlişkisinin Araştırılması” başlıklı tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlara bağlı olarak tartışmalar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- CKS, ileri derecede heterojen ve anizotrop bir yapıya sahip olmasından dolayı hidrodinamik davranışının belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında karşılaşılan en önemli belirsizlik, sistemin girdi ve boşalım noktalarında yapılan hidrolojik ölçüm, örnekleme ve analiz sıklığında yaşanmıştır. Örneğin, inceleme alanı ve yakın dolaylarındaki MGİ ve AGİ verilerinin aylık gözlenmesi ve veri serilerinde eksik gözlemler nedeniyle yağış ve akım değerleri arasında sağlıklı bir ilişki kurulamamıştır. Bu durum, CKS'nin girdisi ve bu girdi sonucu gözlenen tepki arasında geçen sürenin muhtemelen akım ve yağış değerlerinin gözlem süresinden daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Çokrağan kaynak akımlarının günlük veya en fazla haftalık aralıkta kayıt altına alınması, bu sistemin hidrodinamik davranışının daha temsil edici şekilde ortaya konmasına katkı sunacaktır.

- CKS'nin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenlerini detaylandırmak amacıyla Çokrağan Kaynağı debi ve fizikokimyasal parametre (pH, T, EC, TDS, vb.) ölçümlerinin en fazla haftalık aralıkta anlık ve/veya depolamalı veri kaydediciler ile kayıt altına alınması önerilmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan kaynak çekilme analizlerinde elde edilen iletimlilik, depolama ve kaynak çekilme katsayısı ile rezerv hacmi gibi akifer özelliklerinin anlık ölçümlerle hesaplanarak su miktarı ve kalite değerlendirmeleri tekrarlanmalıdır.
- CKS'nin su bütçesi çalışmaları Çokrağan Kaynağının Fındıklı Havzasından allojenik beslenme olduğunu göstermektedir. Bu ilişkinin sistemin fiziksel yapısı ile uyumlu bir şekilde aydınlatılması amacı ile boya izleme deneylerinin yapılması önerilmektedir. Yapılacak boya izleme deneyi sonuçları ile kaynak koruma alanları belirlenmelidir.

8. KAYNAKLAR

- AB (EU), Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Union, L435/1, Brussels **2020**.
- Açıkel, Ş., Gökova-Azmac (Muğla) Karst Kaynaklarında Akım ve Tuzlu Su Karışımı Dinamiğinin Kavramsal Modellenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2012**.
- Akdeniz, N., Konak, N., Simav-Emet-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi, MTA Derleme Raporu, No: 6547, Ankara, **1979**.
- Akkuş, M., Kütahya-Gediz arasındaki sahanın jeolojisi, MTA Dergisi, 58 (**1962**) 21-30.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., Crop Evapotranspiration—guide for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, **1998**.
- Amit, H., Lyakhovsky, V., Katz, A., Starinsky A., Burg, A., Interpretation of spring recession curves, Groundwater, 40(5) (**2002**) 543-551.
- APHA, AWWA and WPCF, Standart Methods for the Estimation of Water and Waste Water (17th Edition), American Dublic Health Association, Washington, USA, **1989**.
- Appelo, C.A.J, Postman, D., Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd Edition, A.A. Balkema, **2010**.
- Aslan, İ., Banaz (Uşak) Havzasındaki Sedimanter Birimlerin Mineralojik Petrografik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, **2019**.
- Atilla, A.Ö., Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Teknikleri Kullanarak Hidrojeokimyasal Verilerin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1996**.
- Atkinson, T.C., Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), Journal of Hydrology, 35(1-2) (**1977**) 93-110.
- Aydın, H., Sızır (Gemerek-Sivas) Karst Kaynakları ve Yakın Dolayının Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1999**.
- Aydın, H., Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji – Hidrojeoloji

- İlişkileri Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Ankara, **2005**.
- Aydın, H., Ekmekçi, M., Soylu, M.E., Characterization and conceptualization of a relict karst aquifer (Bilecik, Turkey), *Acta Carsologica*, 42(1) (**2013**) 75-92.
- Aydın, H., Ekmekçi, M., Soylu, M.E., Effects of sinuosity factor on hydrodynamic parameters estimation in karst systems: A dye tracer experiment from the Beyyayla Sinkhole (Eskişehir, Turkey), 71(9) (**2014**) 3921-3933.
- Aydın, H., Karakuş, H., Estimation of evaporation for Lake Van, *Environmental Earth Sciences*, 75 (**2016**) 1275.
- Aydın, H., Karakuş, H., Mutlu, H., Hydrogeochemistry of geothermal waters in eastern Turkey: Geochemical and isotopic constraints on water-rock interaction, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 390 (**2020**) 106708.
- Aydoğan, M. S., Baklan Graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) Civarındaki Baz Metal Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi, Metal Zonlanması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası ile Saptanması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, **2006**.
- Bagaric, I., Determination of storage and transportation characteristics of karst aquifers, Milanović, P.T. (Ed.), *Karst Hydrogeology*, Water Resources Publications, Littleton, CO, USA, 434, **1978**.
- Bakalowicz, M., Pinault, J.L., Plagnes, V., Characterizing karst aquifer function by inverse modelling of natural tracers, 6th International Symposium and Field Seminar on Present State and Future Trends of Karst Studies, Marmaris (Turkey), 17-26 September 2000, UNESCO (Karst 2000), **2000**, p. 347-354.
- Barbieri, M., Boschetti, T., Petitta, M., Tallini, M., Stable isotope (^2H , ^{18}O and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy), *Applied Geochemistry*, 20 (**2005**) 2063-2081.
- Başarı, E., Çine Güneyindeki Metamorfitlerin Petrografisi ve Bireysel İndeks Minerallerin Doku İçerisindeki Gelişimleri, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, **1970**.
- Başarı, E., Geology and Petrography of the rocks of the Southern Menderes Massif, East of Bafa Lake, *Scientific Reports of the Faculty of Science, Ege University*, 102 (**1970**) 1-44.
- Bayazıt, M., Hidroloji, 1.Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, **2011**.

- Baykara, M.O., Çokrağan-Yukarı Karacahisar (Banaz-Uşak) Karstik Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, **2007**.
- Bear, J., *Hydraulics of Groundwater*, 1st Edition, McGraw – Hill Companies, **1979**.
- Berkaloff, E., Limite de validité des formules courantes de tarissement de débit, *Chronique d'Hydrogéologie* 10 (**1967**) 31-41.
- Bingöl, E., Murat Dağı jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi, *TJK Bülteni*, 20 (**1977**) 12-16.
- Bonacci, O., Heterogeneity of hydrologic and hydrogeologic parameters in karst: examples from dinaric karst, 6th International Symposium and Field Seminar on Present State and Future Trends of Karst Studies, Marmaris (Turkey), 17-26 September 2000, UNESCO (Karst 2000), **2000**, p. 393-399.
- Boussinesq, J., Essai sur la théorie des eaux courantes: du mouvement nonpermanent des eaux souterraines, *Acad. Sci. Inst. Fr*, 23 (**1877**) 252-260.
- Brinkmann, R., Das kristalline grundgebirge von atolien, *Geologische Rundschau*, 60 (**1971**) 886-889.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., *Applied Hydrology*, 1st Edition, McGraw-Hill, **1988**.
- Clark, I.D., Fritz, P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, New York, **1997**.
- Colin, H., Afyonkarahisar 72/2 ve 72/4 Paftaları İzahnamesi, MTA Derleme Raporu, No: 2244, Ankara, **1955**.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., The Lycian Mèlange, South-West Turkey: An Emplaced Accretionary Complex, *Geology*, 25(3) (**1997**) 255-258.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., Processes of Late Cretaceous to Late Miocene Episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey, *Journal of the Geological Society*, 155(5) (**1998**) 759-772.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F, Evoluton of the Lycian Allochthon, Western Turkey, as A North-Facing Late Palaeozoic to Mesozoic Rift and Passive Continental Margin, *Geological Journal*, 34 (**1999**) 107-138.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., Kinematic evidence for Late Mesozoic-Miocene emplacement of the Lycian Allochton Over the Western Anatolide Belt, SW Turkey, *Geological Journal*, 38 (**2003**) 295-310.
- Cornaton, F., Utilisation des Modèles Continu Discret et A Double Continuumpour

- L'analyse des Réponses Globales de L'aquifère Karstique, Travail de Diplôme, Université de Neuchâtel, Suisse, **1999**.
- Craig, H., Isotopic Variations in Meteoric Waters, *Science*, 133 (3465) (**1961**) 702–1703.
- Crowther, J., Groundwater chemistry and cation budgets of tropical karst outcrops, Peninsular Malaysia, I.Calsium and magnesium, *Journal of Hydrology*, 107 (**1989**) 169-192.
- Davis, J.C., *Statistics and Data Analysis in Geology*, 1st Edition, John Wiley&Sons Inc., New York, **1986**.
- DSİ, Uşak İli İçme Suyu Projesi “Uşak Merkez-Yukarı Karacahisar Çokrağan Kaynağı ile Ayrancı Ovasının” Hidrojeolojik Etüt Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, **2006**.
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., Weng, Ph., Al-Malki, A., Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs: Application to the Oman Ophiolite hard – rock aquifer, *Journal of Hydrology*, 274 (**2003**) 248-269.
- Dora, O., Menderes Masifi’nde petroloji ve feldspat incelemeleri, *Yerbilimleri Dergisi*, 7 (**1981**) 54-63.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, H., Obershansli, R., New Evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif, *Proceedings of the International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region (IESCA-95)*, Izmir (Turkey), 9-14 October 1995, IESCA, Izmir, **1995**, p. 53-72.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Kaya, O., Koray, E., Dürr, S., Revision of “Leptitegneisses” in the Menderes Massif: a supracrustal metasedimentary origin, *International Journal of Earth Sciences*, 89 (**2001**) 836-851.
- Dürr, S., *Über Alter und Geotektonische Stellung des Menderes-Kristallins/SW-Anatolien und Seine Aquivalente in der Mittleren Agais*, Unpublished Habil Thesis, Universität Marburg, Marburg (Germany), **1975**.
- Eisenlohr, L., *Variabilité des Réponses Naturelles des Aquifères Karstiques*, Thèse, Université de Neuchâtel, Suisse, **1996**.
- Eisenlohr, T., The thermal spring of the Armutlu Peninsula (8NW Turkey) and their relationship to geology and tectonic, In: *Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project*, edited by C.Schindler and M. Pfister, Zurich, vdf, Hochschulver, an der ETH-Zürich, 197-228, **1997**.
- Ekmeççi, M., Akdeniz, U., Coşkun, T. ve Yurdaer, D., Tacin (Bünyan -Kayseri) karst kaynağının hidrokinamik özellikleri, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri

- Kitabı, 14 – 20 Nisan, Ankara, 154-156, **2003**.
- El-Naqa, A., Estimation of transmissivity from specific capacity data in fractured carbonate rock aquifer, Central Jordan, *Environ. Geol.*, 23 (**1994**) 73–80.
- Eagon, H.B., Jr.; Johe, D.E., Practical solutions for pumping tests in carbonate-rock aquifers. *Groundwater*, 10 (**1972**) 6–13.
- EPA, National Primary Drinking Water Regulations, EPA 8616-F09-004, USA, **2009**.
- Ercan, T., Dincel, A., Türkecan, A., Günay, E., Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi, *TJK Bülteni*, 21 (**1978**) 17-28.
- Erendil, M ., Geological features of Anatolian Peninsula, MTA Publication, Ankara, **2003**.
- Everitt, B., Cluster Analysis for Applications, 1st Edition, Academic Press, **1993**.
- Fitts, Groundwater Science, 1st Edition, Academic Press, **2002**.
- Ford, D.C. , Williams, P.W., Karst Geomorphology and Hydrology, 1st Edition, Springer Dordrecht, **1989**.
- Fabbri, P., Transmissivity in the geothermal Euganean Basin; a Geostatistical Analysis, *Groundwater*, 35 (**1997**) 881–887.
- Gat, J.R., Carmi, I., Evolution of the Isotopic Composition of Atmospheric Waters in the Mediterranean Sea Area, *Journal of Geophysical Research*, 75 (**1970**) 3039-3048.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., *Groundwater*, 1st Edition, Prentice-Hall, **1979**.
- Graciansky, P.C., Le Massif Cristallin du Menderes (Taurus Occidental, Asie Mineure), un exemple de Vieux Socle Granitique Remobilisé, *Revue de Geographie Physique et de Geologie Dynamique.*, 8 (**1966**) 289-306.
- Günay E., Akdeniz, N., Şaroğlu F., Çağlayan A., Murat Dağı-Gediz Dolaylarının jeolojisi, MTA Derleme Raporu, No: 8046, Ankara, **1986**.
- Herman, E.K., Toran, L., White, W.B., Quantifying the place of karst aquifers in the groundwater to surface water continuum: A time series analysis study of storm behavior in Pennsylvania water resources, *Journal of Hydrology*, 379 (**2009**) 307-317.
- Huang, H., Chen, Z., Wang, T., Zhang, L., Zhou, G., Sun, B., Wang, Y., Characteristics and processes of hydrogeochemical evolution induced by long-term mining activities in karst aquifers, southwestern China, *Environmental Science and Pollution Research*, 26 (**2019**) 30055-30068.
- İstanbulluoğlu, A., Konukcu, F., Kocaman, İ, Göçmen, E., Trakya Bölgesi İçme ve Kullanma Suyu İhtiyacının Belirlenmesi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4/2,

(2007) 187-194.

Kalafatçioğlu, A., Tavşanlı-Dağardı arasındaki bölgenin jeolojisi ve serpantin ile kalkerlerin hakkında not, MTA Dergisi, 58 (1962) 38-46.

Kalafatçioğlu, A., Balıkesir-Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi, TJK Bülteni, 9(1-2) (1964) 46-62.

Kalaycı, Ş., SPSS Uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri, 4. Baskı, Asil Yayın Dağıtım, 2009.

Kalhor, K., Ghasemizadeh, R., Rajic, L., Alshwabkeh, A., Assesment of groundwater quality and remediation in karst aquifer: A review, groundwater for sustainable development, 8 (2019) 104-121.

Ketin, İ., Tectonic Units of Anatolia (Asia Minor), MTA Bülteni, 66 (1966) 23-35.

Király, L., FEM-301-A Three-dimensional model for groundwater flow simulation, NAGRA Technical Report, 96 (1985) 84 – 89.

Király, L., Morel, G., Etude de régularisation de l'areuse par modèle mathématique, Bulletin d'Hydrogéologie, 1 (1976a) 19-36.

Király, L., Morel, G., Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simule par modèles mathématiques, Bulletin d'Hydrogéologie, 1 (1976b) 19-36.

Király, L., Karstification and Groundwater Flow, Evolution of Karst: from Prekarst to Cessation, Gabrovsek, F. (Ed.), Postojna-Ljubljana, Zalozba ZRC, 2002, 155-190.

Kocaman, T., Plan Nüfus Projeksiyon Yöntemleri, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, 2002.

Koç, H.F., Erhan, N., Tansuğ, Z., Dinçol, A., Uşak, Banaz ve Sivaslı Ovaları Hidrojeolojik Etüt Raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1976.

Kogovsek, J., Petric, M., Tracer Test as A Tool for planning the monitoring of negative impacts of the Mozelj Landfill (SE Slovenia) on karst waters, Acta Carsologica, 39(2) (2010) 301-311.

Konak, N., Akdeniz, N., Öztürk, E.M., Geology of the South of Menderes Massif, In Guide Book for the Field Excursion along Western Anatolia, for the IGCP Project No. 5: Correlation of Variscan and Pre-Variscan Events of the Alpine-Mediterranean Mountain Belt, Mineral Research and Exploration Institute (MTA), Ankara, 1987, p.42-53.

Kovács, A., Perrochet, P., Király, L., Jeannin, P.Y., A Quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis, Journal of Hydrology, 303(1-4) (2005) 152 – 164.

- Koyuncu, H., Batı Toroslar Karst Sistemi Hidrojeolojik Özelliklerinin Uydu Görüntülerinin Sayısal Analizi ile İrdelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2003**.
- Kresic, N., Papic, P., Specific chemical composition of karst groundwater in the Ophiolite Belt of the Yugoslav Inner Dinarides: A case for covered karst, Environ. Geol. Water Sci., 15(2) 1990 131-135.
- Kurttaş, T, Gökova (Muğla) Karst Kaynaklarının Çevresel İzotop İncelemesi, Doktora Tez, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1997**.
- Lorette, G., Lastennet, R., Peyraube, N., Denis, A., Groundwater-flow characterization in a multilayered karst aquifer on the edge of a sedimentary basin in western France, Journal of Hydrology, 566 (2018) 137-149.
- Lorr, M.: Cluster Analysis for Social Scientists, 1st Edition, Jossey-Bass Publishers, **1983**.
- Mace, R.E., Determination of transmissivity from specific capacity tests in a karst aquifer., Groundwater, 35 (1997) 738-742
- Maillet, E., Essais D'Hydraulique Souterraine et Fluviale, Librairie Sci., A. Hermann, **1905**.
- Mariko, T., Murat Dağı bölgesindeki (Banaz-Uşak) civa cevheri yatakları ve jeolojisi, MTA Derleme Raporu, No: 4572, Ankara, **1970**.
- Mather, J.R., The Climatic Water Balance in Environmental Analysis, DC Heath and Company, Lexington, Massachusetts, **1978**.
- Mather, J.R., Use of the climatic water budget to estimate streamflow, in Mather, J.R., ed., Use of the climatic water budget in selected environmental water problems: Elmer, N.J., C.W. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, 32 (1) (1979) 1-52.
- Mazor, E., Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Open University Press, Buckingham, **1991**.
- McCabe, G.J., Wolock, D.M., Future snowpack conditions in the western United States derived from general circulation model climate simulations, Journal of the American Water Resources Association, 35 (1999) 1473-1484.
- McCabe, G.J., Markstrom, S.L., A Monthly Water-Balance Model Driven by A Graphical User Interface, U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1088, Virginia, **2007**.
- MGM, İklim Sınıflandırılması Uşak, <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-128>

- siniflandirmalari.aspx?m=USAK (Erişim tarihi: **24 Mayıs 2022**).
- MGM, Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği, MGM Araştırma Dairesi Başkanlığı Klimatoloji Őube M¼d¼rl¼ę¼, TR2015-CC, Ankara, **2015**.
- Milanovic, P.T., Karst Hydrogeology, 1st Edition, Water Resources Publications, **1981**.
- Mutreja, K.N, Applied Hydrology, 2nd Edition, Tata McGraw-Hill, **1986**.
- Nathan, R.J., McMahon, T.A., Evaluation of automated tecniques for base flow and recession analyses, Water Resources Research, 69 (**1990**) 1465-1473.
- Nguyet, V.T.M., Thanh, V.P., Hai, V.D., Roi, N.D., Tra, D.T.T., Hydrogeochemical characterization and groundwater quality of the Dong Giao karst aquifer in Tam Diep, Ninh Binh, Vietnam, Acta Carsologica, 45(3) (**2016**) 233-242.
- Okay, A.I., Statigraphic and metamorphic inversions in the Central Menderes Massif: A New Structural Model, International Journal of Earth Sciences, 89 (**2001**) 709-727.
- Okuroğlu, M., İçme ve Kullanma Suyu Sağlanması, Atat¼rk Üniwersitesi Ziraat Fak¼ltesi Ders Notları, Yayın No: 202, Erzurum, **1998**.
- Ollivier, C., Mazzilli, N., Oliosio, A., Chalikakis, K., Carriere, S.D., Danquignya, C., Emblanchet, C., Karst recharge-discharge semi distributed model to assess spatial variability of flows, Science of the Total Environment, 703 (**2019**) 134368.
- Özt¼rk, A., Koğyiğit, A., Menderes Grubu kayalarının temel-ört¼ ilişkisine yapısal bir yaklaşım (Selimiye-Muğla),TJK B¼lteni, 2 (**1983**) 99-106.
- Özt¼rk, A., Yukarıkaracahisar (Banaz-Uşak) Yöresi Ofiyolitlerinde Platin Grubu Metallerin Dağılımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniwersitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, Konya, **2001**.
- Parkhurst, D.L., User's guide to PHREEQC--A computer program for speciation, reaction-path, advective-transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4227, USA, **1995**.
- Posavec, K., Parlov, J., Nakic, Z.. Fully automated objective-based method for master recession curve separation, Groundwater, 48 (**2010**) 598–603.
- Pu, J., Yuan, D., Zhang, C., Hydrogeochemistry and possible sulfate sources in karst groundwater in Chongqing, China, Environ. Earth Sci. 68 (**2013**) 159-168.
- Reischmann, T., Kröner, A., Todt, W., Dürr, S., Şengör, A.M.C., Episodes of crustal growth in the Menderes Massif, Western Turkey, Inferred from Zircon Dating, Terra Abstracts, 3 (**1991**) 34.

- Rosenberry, D.O, Stannard, D.I., Winter, T.C., Martinez, M.L., Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a Prairie Wetland, Cottonwood Lake Area, North Dakota, USA, *Wetlands*, 24 (2004) 483–497.
- Rosenberry, D.O., Winter, T.C., Buso, D.C., Likens, G.E., Comparison of 15 evaporation models applied to a Small Mountain Lake in the Northeastern USA., *Journal of Hydrology* 340(3-4) (2007) 149–166.
- Samani, N., Ebrahimi, B., Analysis of spring hydrographs for hydrogeological evaluation of karst aquifer system, *Journal of Theoretical and Applied Karstology*, 8 (1996) 97-112.
- Sanchez, D., Barbera, J.A., Mudarra, M., Andreo, B., Hydrogeochemical tools applied to the study of carbonate aquifers: examples from some karst systems of Southern Spain, *Environ. Earth Sci.*, 74 (2015) 199-215.
- Satır, M., Friedrichsen, H., The Origin and evolution of the Menderes Massif, W-Turkey: A Rubidium/Strontium and Oxygen isotope study, *Geologische Rundschau*, 3 (1986) 703-714.
- Scanion, B.R., Mace, R.E., Barrett, M.E., Smith, B., Can we simulate regional groundwater flow in a karst system using equivalent porous media models? Case study, Barton Springs Edwards Aquifer, USA, *Journal of Hydrology*, 276(1-4) (2003) 137-158.
- Schuiling, R.D., On Petrology, Age and structure of the Menderes Migmatites Complex (SW Turkey), *Bulletin of the Mineral Research and Exploration (MTA Dergisi)*, 58 (1962) 71-84.
- Şen, Z., *Su Bilimi (Hidroloji) Temel Konuları*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R., Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African Basement in Turkey, *Tectonics*, 3 (1984) 693-707.
- Şentürk, M., *Banaz (Uşak) Neojen Havzasının Jeolojisi ve Kömür Potansiyeli*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2017.
- Shevenell, L., Analysis of well hydrographs in a karst aquifer: Estimates of specific yields and continuum transmissivities, *Journal of Hydrology*, 174(3-4) (1996) 331-355.
- Sibson, R., *A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation*, John Wiley&Sons, New York, 1981.
- Smart, P.L., Hobbs, S.L., Characterisation of carbonate aquifers - a conceptual base, *Cave and Karst Science*, 13(2) (1986) 67.

- Sönmez, F., Tesisat,4.Baskı, Üçer Matbaa, İstanbul, **1983**.
- Tallaksen, L.M., A Review of Baseflow Recession Analysis, Journal of Hydrology, 165 (1995) 349-370.
- Thornthwaite, C.W., An approach toward a rational classification of climate, Geographical Review, 38 (1948) 55-94.
- Thornthwaite, C.W., and Mather, J.R, The water balance: Centerton, N.J., Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, 8 (1) (1955) 1–104.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance; Laboratory in Climatology, 10 (1957) 181–311.
- TS 266, İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü, ICS 13.060.20, Ankara, **2005**.
- Turc, L., The Water balance of soils, relation between precipitation, evaporation and flow, Annales Agronomiques, 5 (1954) 491-596.
- TÜİK, Genel Nüfus Sayımları ve Adrese Dayalı Nüfus Sistemi Sonuçları, <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Nufus-ve-Demografi-109> (Erişim Tarihi: **07 Haziran 2021**).
- Valiantzas, J.D., Simplified Versions For The Penman evaporation equation using routine weather data, Journal of Hydrology 331 (2006) 690–702.
- Viessman W Jr, Lewis GL, Introduction to Hydrology, 4th Edition. Harper Collins College Publishers, **1996**.
- Watson, D., Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data, Pergamon Press, London, **1992**.
- White, W.B., Conceptual Models for Karstic Aquifers. Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers, Palmer, A.N., Palmer, M.V., and Sasowsky, I.D. (eds.), Karst Modeling: Special Publication 5, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA), 11-16, **2003**.
- Wilson, J. L., Carbonate Facies in Geologie History, 1st Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, **1975**.
- WHO, Guidelines for Drinking-water Quality, 4th Edition, WHO Library Cataloguing in Publication Data, **2017**.
- Wolansky, R.M.; Corral, M.A. Aquifer Tests in West-Central Florida, 1952–1976; USGS Water-Resources Investigations Report, 84 4044, Orlando, **1984**.
- Wolock, D.M., McCabe, G.J., Effects of potential climatic change on annual runoff in the

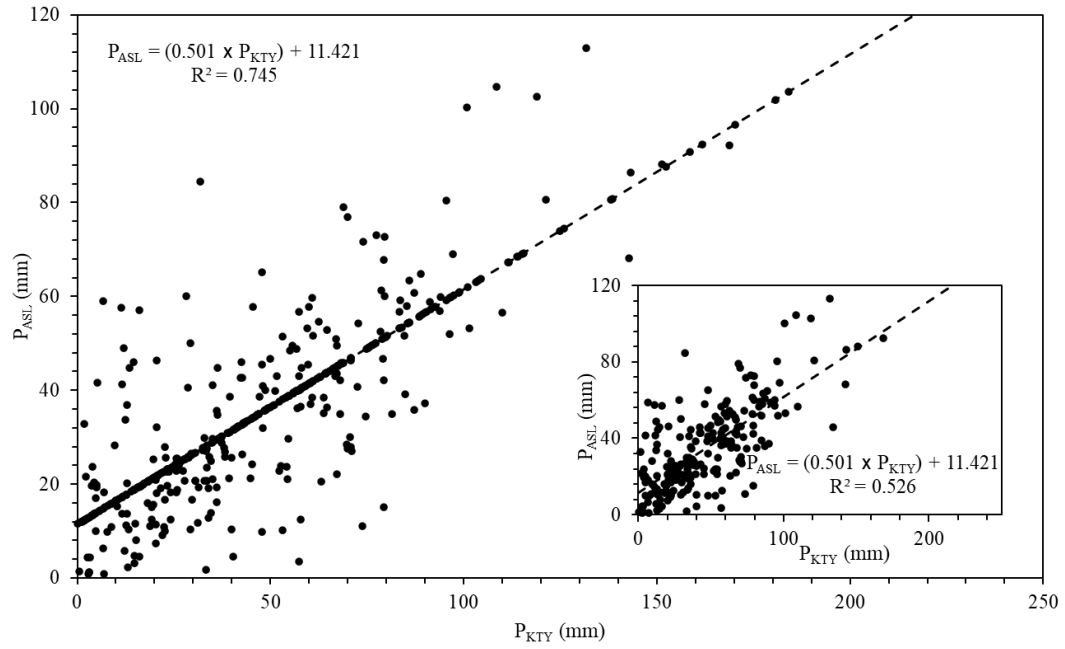
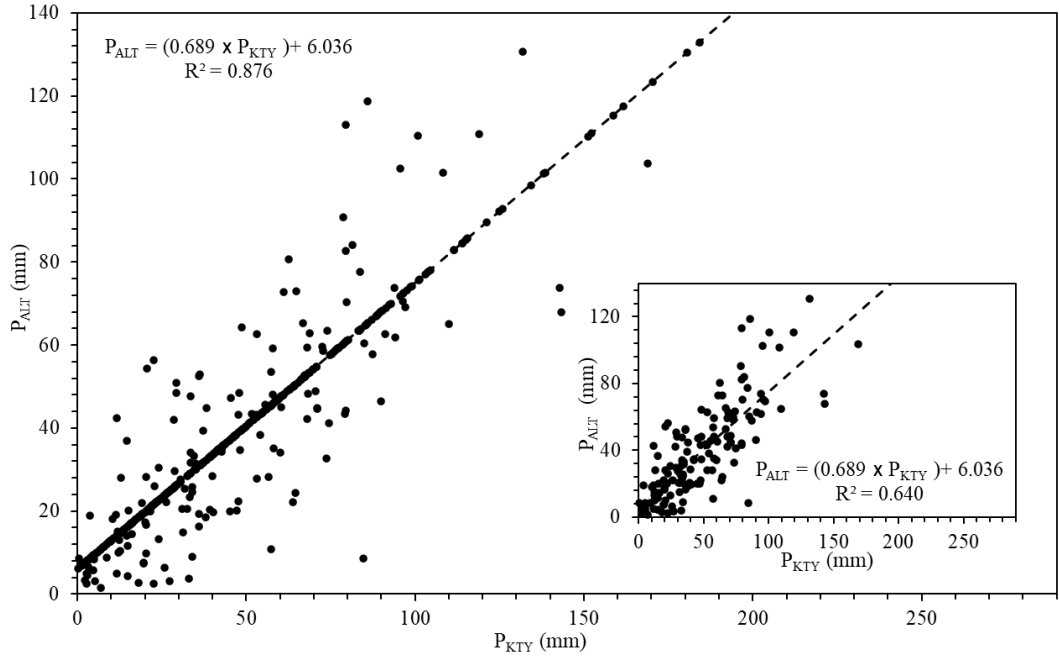
conterminous United States, *Journal of the American Water Resources Association*, 35 (1999) 1341-1350.

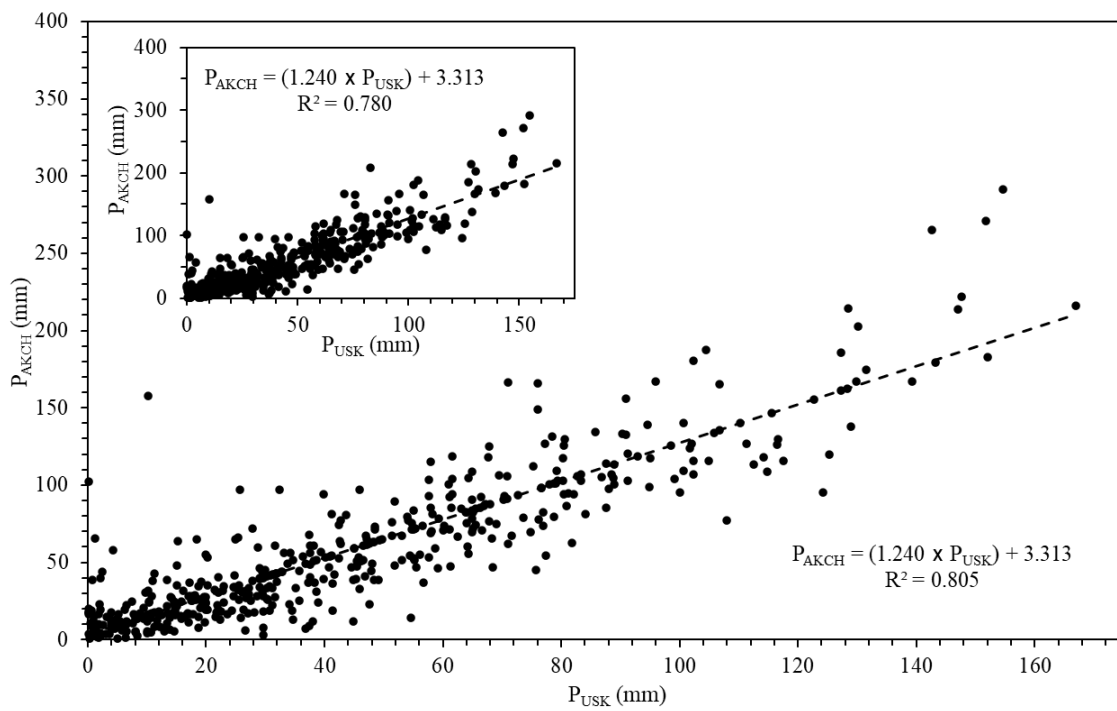
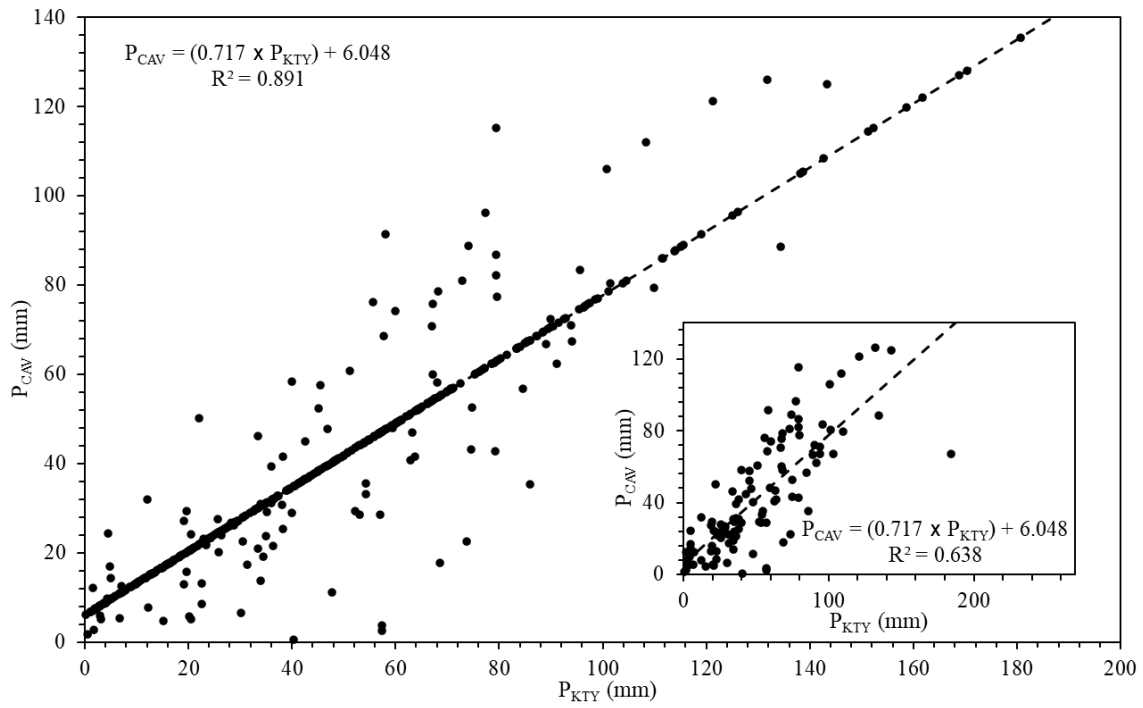
Worthington, S.R.H., *Karst Hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains*, PhD Thesis, MCMaster University Hamilton, Ontario, 1991.

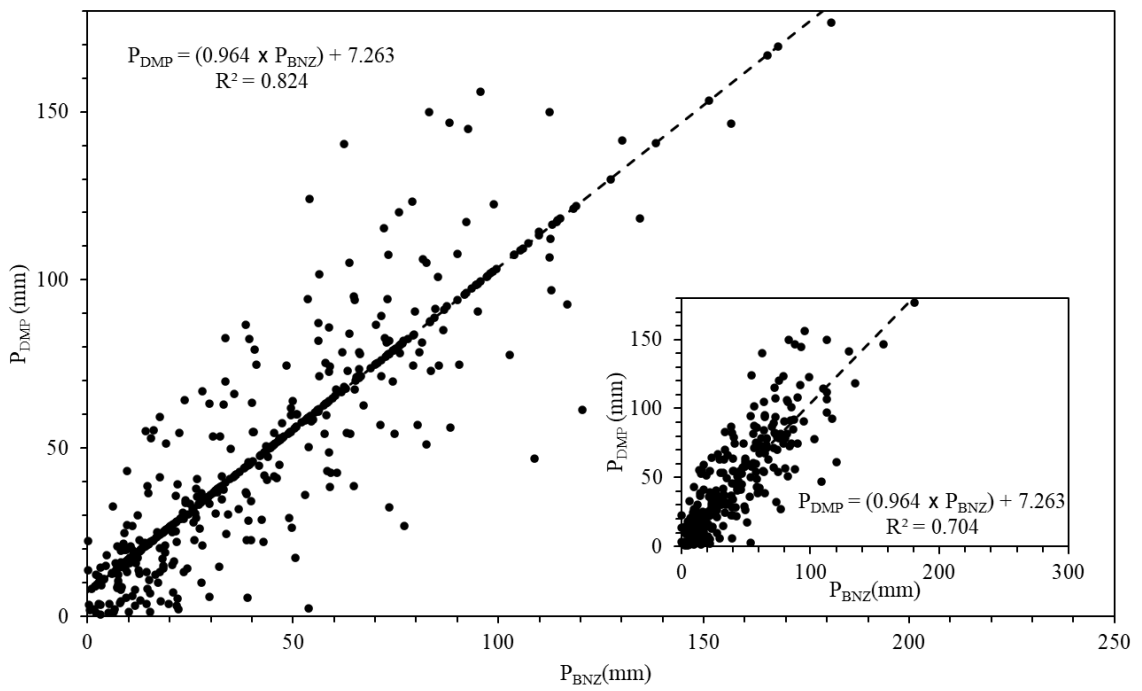
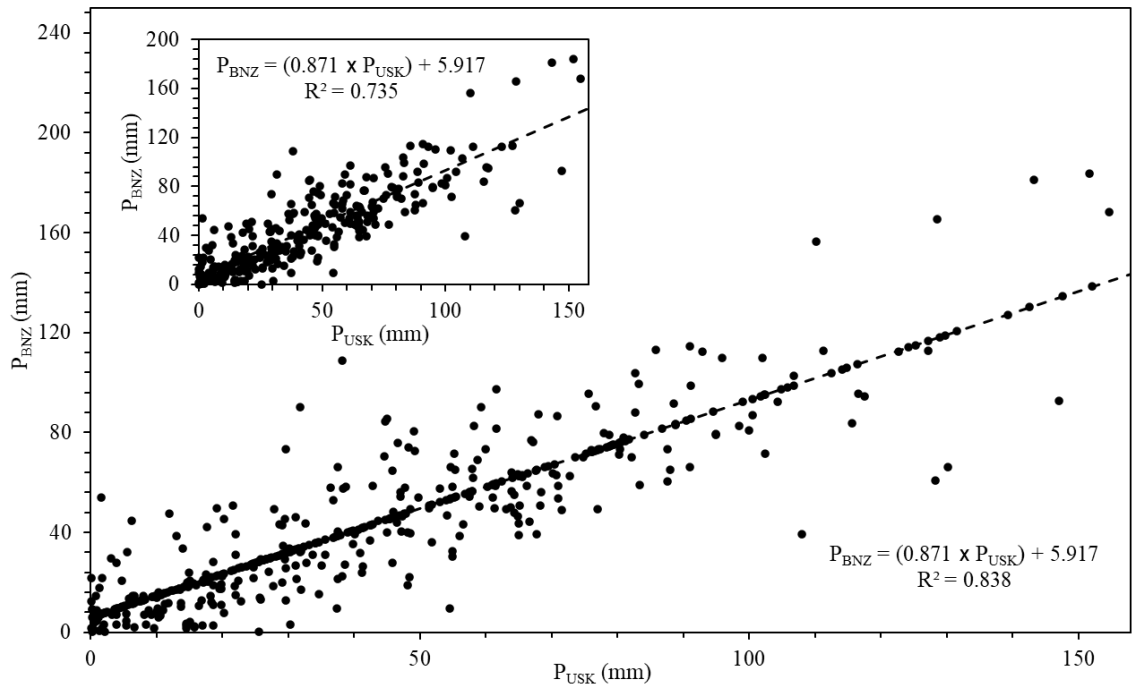
Xiao, Q., Jiang, Y., Shen, L., Yuan, D., Origin of calcium sulfate-type water in the Triassic carbonate thermal water system in Chongqing, China: A chemical and isotopic reconnaissance, *Applied Geochemistry*, 89 (2019) 49-58.

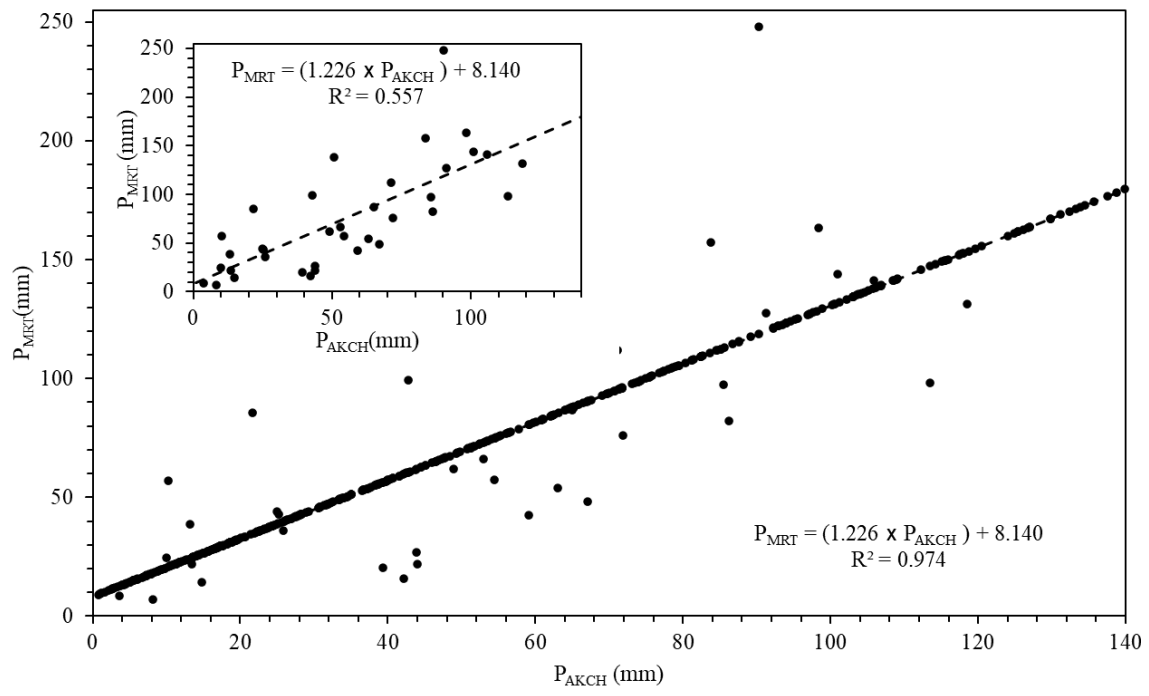
EKLER

EK 1 – Yağış Verileri Dağılım Grafikleri

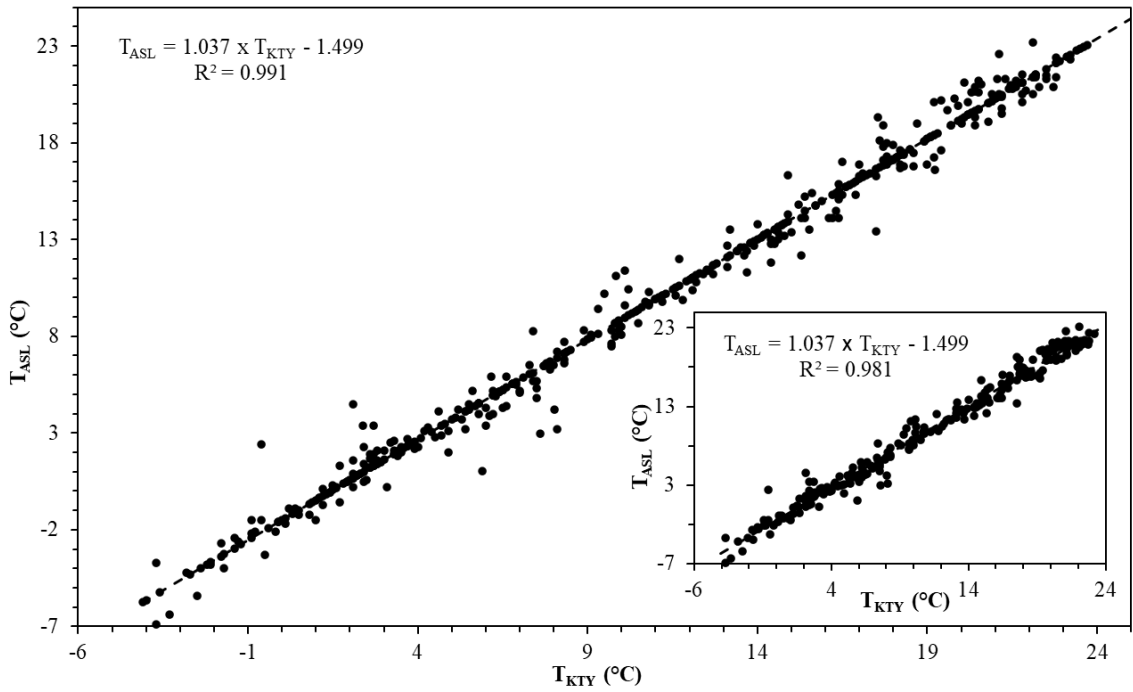
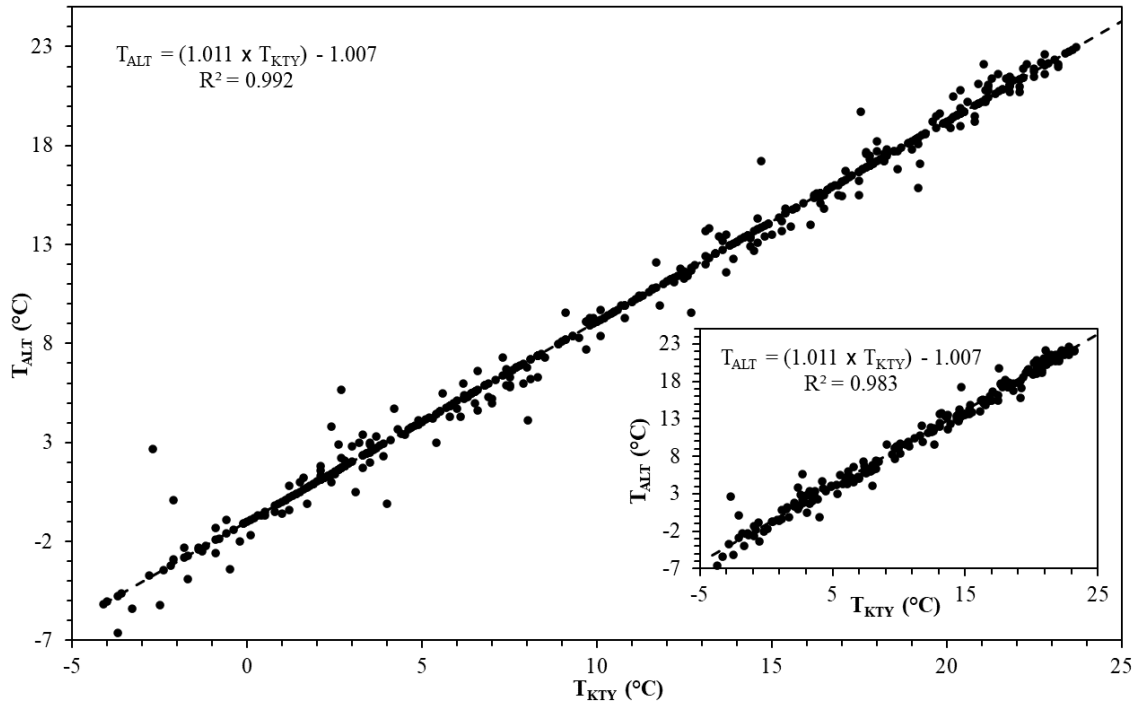


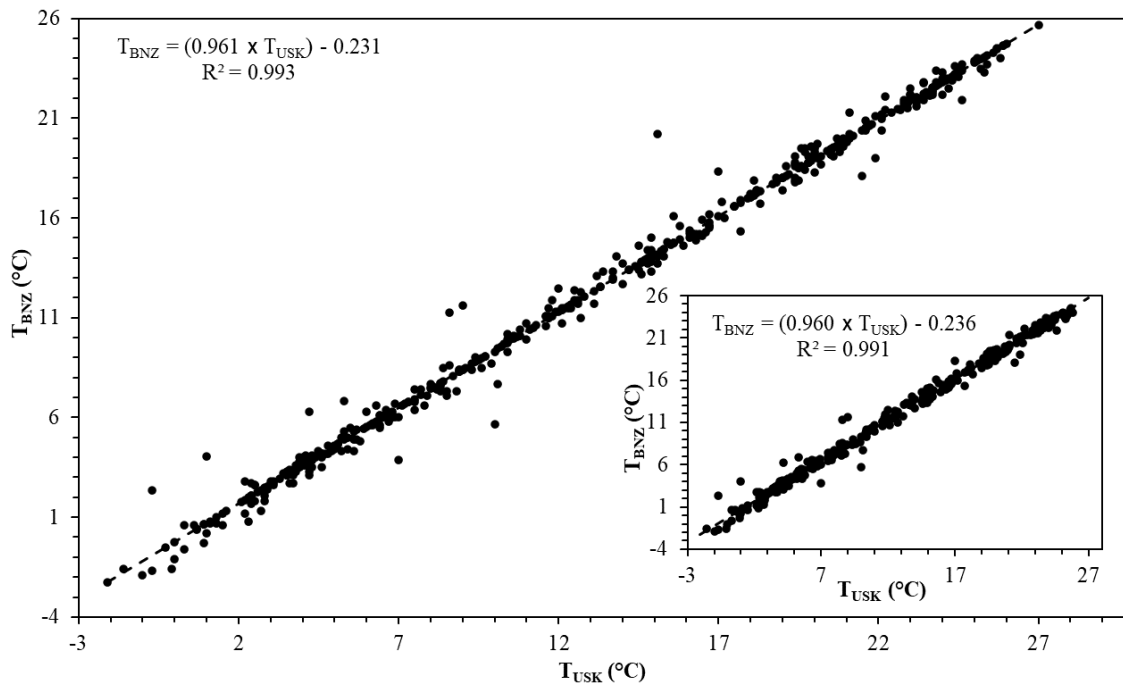
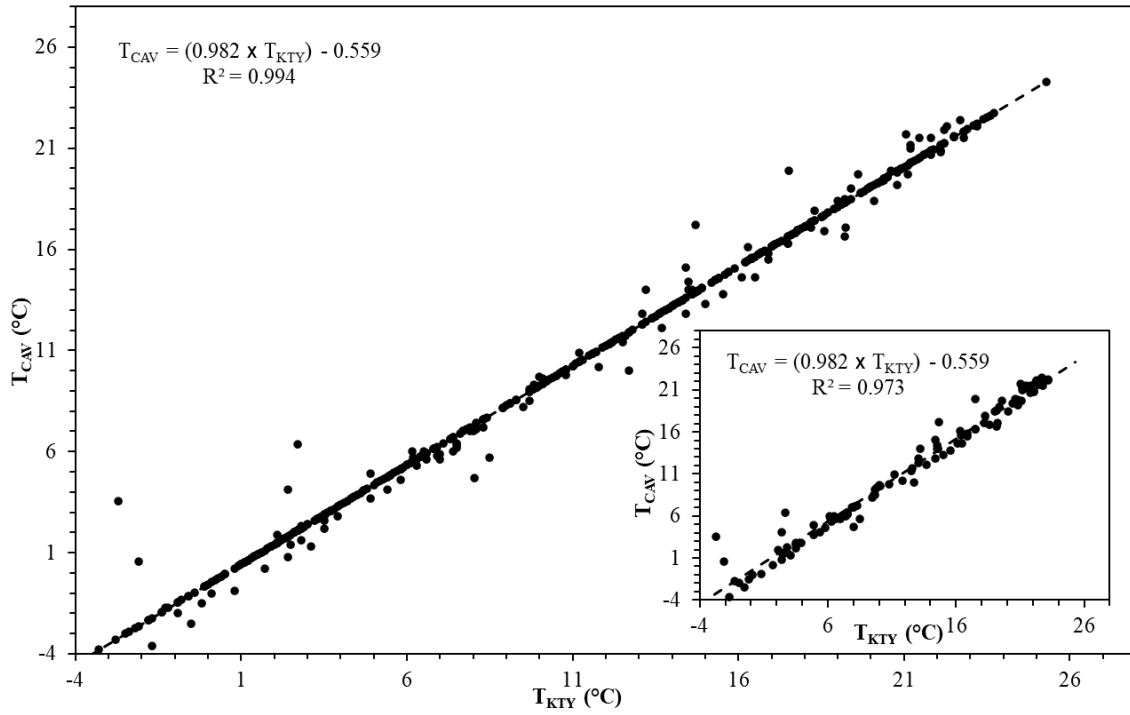


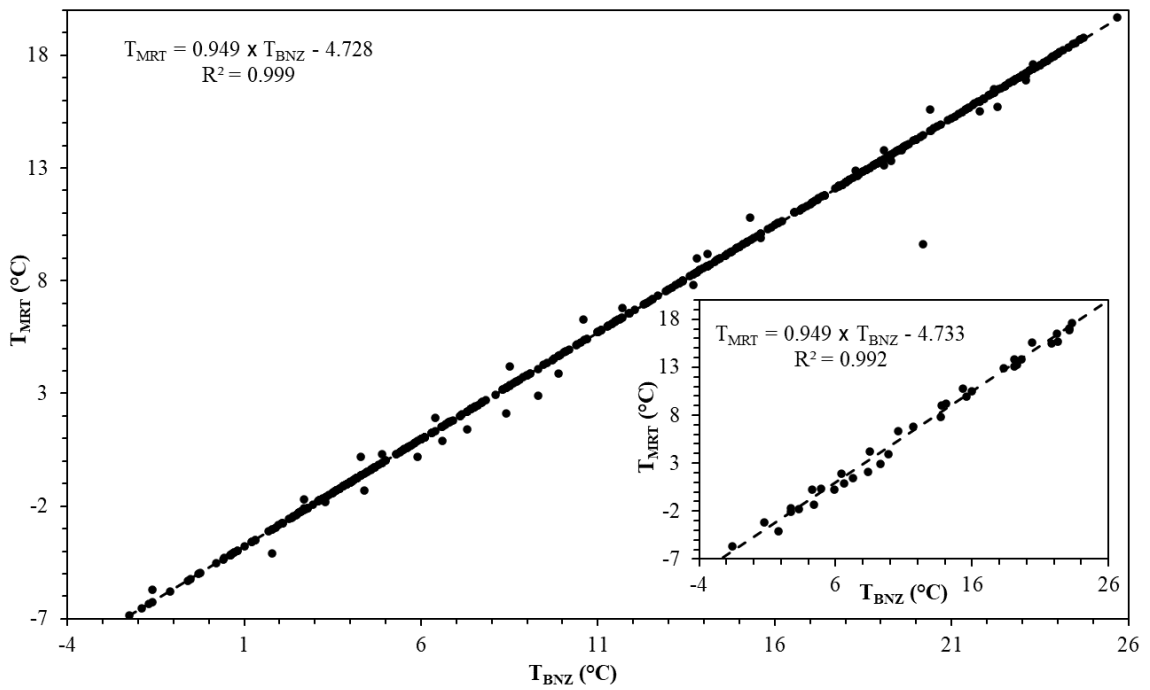
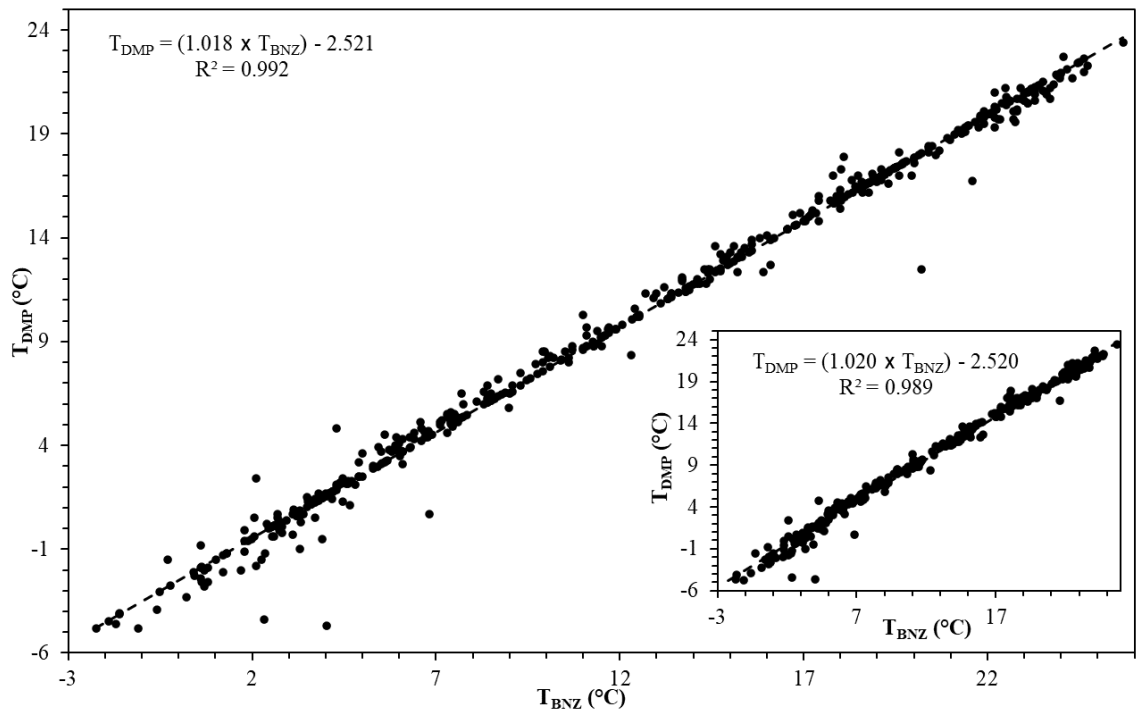




EK 2 – Sıcaklık Verileri Dağılım Grafikleri







EK 3 – Akım Verileri Dağılım Grafikleri

