

**HARMANKÖY – BEYYAYLA (BİLECİK) KARST SİSTEMİNİN
MORFOLOJİ – HİDROJEOLOJİ İLİŞKİLERİ AÇISINDAN
İNCELENMESİ**

*Investigation of Morphology – Hydrogeology Relations in
Harmankoy – Beyyayla (Bilecik) Karst System*

Harun AYDIN

Hacettepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

DOKTORA TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLojİ (HİDROJEOLojİ) ANABİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

: Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK

Üye (Danışman)

: Doç. Dr. Mehmet EKMEKÇİ

Üye

: Prof. Dr. Fikret KAÇAROĞLU

Üye

: Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN

Üye

: Yrd. Doç. Dr. Türker KURTTAŞ

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

..... / /

Anahtar Kelimeler: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik), hidrodinamik, hidrojeoloji, karst, morfoloji, yeraltı suyu.

Prof. Dr. Ahmet R. ÖZDURAL
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Danışman: Doç. Dr. Mehmet EKMEKÇİ, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

HARMANKÖY – BEYYAYLA (BİLECİK) KARST SİSTEMİNİN MORFOLOJİ – HİDROJEOLOJİ İLİŞKİLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Harun AYDIN

ÖZ

Orta Sakarya Havzasında, topoğrafik olarak en yüksek kotları oluşturan Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi (HBKS), Bilecik ve Eskişehir illeri idari sınırları içinde yaklaşık 49.5 km²'lik bir alanda yüzeylenen Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarından oluşmaktadır. Sunulan tez çalışmasında, sınır koşulları tanımlanabilen HBKS'de morfoloji – hidrojeoloji ilişkileri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle jeoloji, tektonizma ve morfoloji gibi fiziksel parametreler ile yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özelliklerden itibaren alanın hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur.

Morfoloji, hidroloji, hidrojeokimyasal ve hidrodinamik özelliklerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda HBKS'nin Beyyayla, Döşkaya ve Nardın olmak üzere üç farklı alt sistemden oluştuğu belirlenmiştir. Beyyayla ve Döşkaya alt sistemlerinin yukarıda anılan özellikler açısından benzer olduğu gözlenirken, Nardın alt sisteminin ise bu iki sistemden farklı olduğu gözlenmiştir.

HBKS'de beslenme, allojenik yerel ve otojenik yaygın beslenme olmak üzere iki uç bileşen şeklinde gerçekleşmektedir. Beyyayla ve Döşkaya alt sistemlerinin drenaj alanlarında bulunan Paleozoyik yaşlı granitlerden drene olan yüzey suları, Beyyayla ve Tozman düdenlerinden sistemi allojenik yerel olarak beslerken, kireçtaşı üzerine düşen yağış suları ise bu sistemleri otojenik yaygın beslemektedir. Nardın alt sisteminde ise yağışlardan itibaren otojenik yaygın beslenme söz konusudur. Sistemleri drene eden kaynaklarının Q_{max}/Q_{min} oranı ve kimyasal yapılarının zaman içindeki (CV) değişimleri dikkate alındığında Beyyayla, Döşkaya ve Nardın alt sistemlerinde yerel dolaşımın baskın olduğu gözlenmektedir. Buna ek olarak Beyyayla ve Döşkaya alt sistemlerinde yapılan izleme deneyleri, türbülanslı akım koşullarının geçerli olduğu iyi gelişmiş karstik kanallarda hızlı yeraltısuyu akımının gerçekleştiğini ve advectif taşınımın söz konusu olduğu göstermektedir.

Beyyayla ve Döşkaya alt sistemlerinde karstlaşmayı kontrol eden tektonizma, karbonatlı kayacın litolojisi ve iklimsel süreçlere oranla daha etkin olan enerji gradyanı baskın olduğu belirlenmiştir. Erozyon tabanındaki değişim, başlangıçta Nardın alt sistemi ile aynı oranda karstlaşma derecesine sahip olan bu alt sistemlerin drenaj alanlarında allojenik noktasal beslenimi oluşturan granitlerin yüzeylenmesine neden olmuştur. Bu durum alt sistemlerin bugün farklı morfolojik, hidrolojik ve hidrodinamik özelliklere göstermelerine neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik), hidrodinamik, hidrojeoloji, karst, morfoloji, yeraltısuyu.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet EKMEKÇİ, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

INVESTIGATION OF MORPHOLOGY – HYDROGEOLOGY RELATIONS IN HARMANKÖY – BEYYAYLA (BİLECİK) KARST SYSTEM

Harun AYDIN

ABSTRACT

Harmanköy – Beyyayla Karst System (HBKS) forms the highlands in the Central Sakarya Basin. HBKS which is made of Jurassic Bilecik limestone is located within the province boundaries of Bilecik and Eskişehir and extends over a surface area of 49.5 km². In this study, the HBKS whose boundary conditions are well defined was investigated in terms of morphology – hydrogeology relationships. Within this context, hydrogeological conceptual model of the study area was developed based on the physical parameters such as geology, tectonic, morphology and dynamic properties such as precipitation regime, infiltration, recharge, flow and storage.

Upon the evaluation of morphological, hydrologic, hydrogeological and hydrodynamic properties, it was concluded that HBKS consists of three distinct subsystems, namely the Beyyayla, Döşkaya and Nardın subsystems. It was further determined that Beyyayla and Döşkaya subsystems are similar by the properties mentioned above, while the Nardın subsystem differs from these two subsystems.

Recharge in HBSK occurs in two different forms; allogenic-point and autogenic-diffuse. Surface waters which are drained from Paleozoic age granites located in Beyyayla and Döşkaya subsystems' recharge these systems as allogenic-point from Beyyayla and Tozman sinkholes. On the other hand, precipitation which falls on the limestone rock-mass supplies the autogenic diffuse recharge to the systems. Recharge to the Nardın subsystem on the other hand, is autogenic diffuse from direct precipitation on to the limestone area. The Q_{max}/Q_{min} ratio and the variation coefficient (CV) of chemical compositions of the springs which drain these subsystems, imply that concentrated flow is dominant in all these three systems. In addition, trace experiments carried out in Beyyayla and Döşkaya subsystems suggest that the flow is turbulent and rapid within the well – developed karstic channels. Advective – dispersive transport is controlling the solute transport in the system.

It was speculated that the energy gradient is more important than tectonic, lithologic characteristics and climatic changes in karst evolution Beyyayla and Döşkaya subsystems. Lowering of erosion base caused exposure of granites which consequently supplied the allogenic-point recharge to these subsystems. This was resulted in distinct morphologic, hydrologic and hydrodynamic properties of the subsystem.

Keywords: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik), hydrodynamic, hydrogeology, karst, morphology, groundwater.

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Hydrogeological Engineering Programme

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın çeşitli aşamalarında destek ve katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Doç. Dr. Mehmet Ekmekçi (Tez Danışmanı), çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve deneyimleri ile araştırma konusu ve yöntemlerinin belirlenmesinde, arazi ve laboratuvar çalışmalarının gerçekleştirilmesinde, değerlendirme ve tezin oluşum aşamasında yol gösterici olmuştur.

Sunulan tez çalışması için her türlü maddi destek, Hacettepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenen 02.0.602.009 no'lu *“Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi”* isimli proje kapsamında sağlanmıştır.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları süresince Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) olanaklarından faydalanılmıştır.

Tez İzleme Komitesi üyeleri, Yrd. Doç. Dr. Levent TEZCAN (HÜ) ve Yrd. Doç. Dr. Türker KURTTAŞ (HÜ) dönem raporlarının ve sunumları özenle incelemişler ve katkıda bulunmuşlardır. Tez İzleme Komitesi üyelerinin yanı sıra Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (HÜ) ve Prof. Dr. Fikret KAÇAROĞLU (CÜ) tez metninin son şeklini almasında öneri ve yorumları ile katkı sağlamışlardır. Prof. Dr. Serdar BAYARI (HÜ) tezin çeşitli aşamalarında önerileri ile yol gösterici olmuştur.

Hidrojeoloji Yük. Müh. M. Evren SOYLU (HÜ), arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesinde ve değerlendirme aşamasında yardımcı olmuştur.

Hidrojeoloji Yük. Müh. Hüseyin KARAKUŞ (HÜ), Hidrojeoloji Yük. Müh. Erkan DİŞLİ (HÜ) arazi çalışmaları sırasında ve değerlendirme aşamasında fikirleriyle destek olmuşlardır. Hidrojeoloji Yük. Müh. Türkay COŞKUNER (HÜ), Hidrojeoloji Yük. Müh. Devrimer YAVUZ, Hidrojeoloji Yük. Müh. Emrah PEKKAN (Anadolu Üni.) ve Hidrojeoloji Müh. Barış ELBAŞOĞLU arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesinde yardımcı olmuşlardır.

Dr. Lütfi NAZİK (MTA – MAG) ve Dr. Kadir TUNCER (MTA – MAG) öneri ve görüşlerinin yanı sıra gerekli her türlü arşiv taraması ve harita temini konusunda yardımcı olmuştur. Jeofizik Yük. Müh. İsmail AKKAYA (ODTÜ), Jeoloji Müh. Turgay ESER (DSİ III. Bölge) ve Jeofizik Yük. Müh. Serkan AZDİKEN (DSİ III. Bölge) jeofizik çalışmalarının değerlendirme aşamasında katkıda bulunmuşlardır.

Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ), Hidrojeoloji Yük. Müh. Orhan GÖKDEMİR (NETCAD), Dr. A. Özlem ATILLA (HÜ), Dr. B. Teoman MERİÇ (Çevre Bakanlığı), İnşaat Yük. Müh. Cumhur ÖZTÜRK (HÜ) ve Yük. Pey. Mim. A. Nüket BENZER (Ankara Üni.) tez çalışmasının çeşitli aşamalarında katkıda bulunmuşlardır. Harita Kadastro Teknikeri Bülent TOPUZ (UKAM) kesit ve harita çizimlerini gerçekleştirmiştir. Kimya Müh. Füsun MUSLU (HÜ) ve Kimyager Esin ÖNCEL (HÜ) su kimyası analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Bugünkü birikimlerimin oluşmasında, maddi ve manevi katkılarından dolayı annem Zeliha AYDIN ve babam Ahmet AYDIN'a teşekkür ederim. Son olarak; bu çalışmanın gerçekleşmesi aşamasında özverili, destekleyici ve teşvik edici tavırlarından dolayı eşim Funda AYDIN ve oğlum Serdar AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2005, Ankara

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİN	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri	2
1.3. Coğrafi Özellikler	6
1.3.1. Konum	6
1.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü	6
1.4. Önceki Çalışmalar	8
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	16
2.1. Stratigrafik Yapı	16
2.1.1. Orta Sakarya Temel Karmaşığı	16
2.1.2. Mesozoyik Yaşlı Paraotokton Örtü Birimler.....	21
2.1.3. Tersiyer Yaşlı Örtü Birimler	27
2.1.4. Kuvaterner Yaşlı Güncel Çökeller	31
2.2. Tektonik Yapı.....	32
2.2.1. Çizgisel Unsurlar.....	34
2.2.2. Uyumsuzluklar	34
2.3. Jeolojik Evrim ve Paleocoğrafya	37
2.4. Sınır Koşulları	41

2.4.1. Jeolojik Kesitler.....	41
2.4.2. Jeofizik Çalışmaları.....	41
3. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER	46
3.1. Drenaj Ağı ve Fluvial Özellikler	46
3.2. Aşınım Yüzeyleri.....	48
3.3. Karstik Yapılar	49
3.3.1. Yüzey Yapıları	51
3.3.1.1. Çözünme Yapıları	51
3.3.1.2. Düdenler ve Dolinler	53
3.3.1.3. Çöküntü Yapılarının Yönelimi	57
3.3.2. Yeraltı Yapıları	57
3.3.2.1. Mağaralar	57
3.3.2.2. Paleo Kaynak Çıkışları ve Askıda Kalmış Mağara Kolları.....	74
3.4. Karst Morfometrisi.....	75
3.4.1. Yoğunluk Analizleri	76
3.4.2. Çöküntü Yapılarının Düzlemselliği	83
4. HİDROLOJİ.....	90
4.1. Su Noktaları	90
4.1.1. Akarsular.....	90
4.1.2. Göller	90
4.1.3. Kaynaklar.....	91
4.2. Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi.....	94
4.2.1. Yağış istasyonları	94
4.2.2. Akım gözlemleri	97
4.2.3. Yağış ve akım arasındaki ilişki.....	104
4.3. Su Bütçesi.....	106

4.3.1. Bütçe bileşenlerinin hesaplanması	107
4.3.2. Bütçe hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi.....	112
5. HİDROJEOKİMYA	114
5.1. Hidrojeokimyasal Örnekleme, Analiz ve Değerlendirme Çalışmaları	114
5.2. Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	115
5.2.1. Ortalama Değerler	115
5.2.2. Aylık değişimle ilgili bulgular	119
5.2.3. Değişim katsayısı değerlendirmeleri	123
5.2.4. Bileşim ve karışım değerlendirmeleri	125
5.2.5. Doygunluk analizleri.....	128
6. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ	131
6.1. Sınır Koşullarının Kaynak Boşalımını Açısından Değerlendirilmesi	131
6.2. Kemograf Analizi	134
6.3. Kaynak Çekilme Analizi	137
6.3.1. Beyyayla sistemi	139
6.3.2. Döşkaya sistemi.....	141
6.3.3. Nardın sistemi.....	141
6.4. Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi.....	144
6.4.1. HBKS'de akifer parametrelerinin belirlenmesi.....	146
6.4.2. İletimlilik/depolama katsayısı oranı (T/S)	149
6.5. Yeraltısuyu Akım Hızının İzleme Deneyleri ile Belirlenmesi.....	150
6.5.1. Beyyayla sistemi izleme deneyi	151
6.5.2. Döşkaya sistemi izleme deneyi.....	157
6.5.3. İzleme deneyi sonuçlarının irdelenmesi.....	161
6.6. Kavramsal Modele İlişkin Çalışmalar	162
6.6.1. Beslenme.....	164

	<u>Sayfa</u>
6.6.2. Dolaşım.....	166
6.6.3. Depolama	166
6.6.4. Boşalım.....	167
6.6.5. HBKS'nin kavramsal modeli.....	167
7. MORFOLOJİ – HİDROJEOLojİ İLİşKİLERİ	170
7.1. HBKS'de Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri	171
7.2. HBKS'de Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkilerinin Karstlaşma Açışından İrdelenmesi	175
8. SONUÇLAR	178
9. TARTIşMA VE ÖNERİLER	183
KAYNAKLAR	185
EKLER	194
Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)	195
Ek 2: HBKS kaynaklarının doygunluk indisi analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)	202
ÖZGEÇMİş	206

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	7
Şekil 2.1: HBKS ve yakın dolayının jeoloji haritası	17
Şekil 2.2: HBKS ve yakın dolayının jeolojik kesitleri (Soylu, 2004'den düzeltilmiştir)	18
Şekil 2.3: Çalışma alanının stratigrafik istifi (Saner,1977; Şentürk ve Karaköse, 1979; Yılmaz vd., 1981; Göncüoğlu vd., 1996'dan uyarlanmıştır)	19
Şekil 2.4: Türkiye'nin neotektonik bölgeleri (Şengör vd., 1985).....	33
Şekil 2.5: HBKS ve yakın dolayına ait çizgisel unsurlar.....	36
Şekil 2.6: İnceleme alanı gül diyagramları	37
Şekil 2.7: İnceleme alanının sınırlarına ait jeolojik kesitler	42
Şekil 2.8: HBKS Jeofizik çalışması lokasyon haritası	43
Şekil 2.9: Sarıcakaya Yaylası – Nardın Kaynağı topografik kesiti	45
Şekil 3.1: HBKS ve yakın dolayının akarsu ağları (Soylu, 2004)	47
Şekil 3.2: HBKS'nin jeomorfoloji haritası (Tuncer, 2004'den düzeltilmiştir).	50
Şekil 3.3: İnceleme alanında bulunan çöküntü yapılarının gül diyagramları	58
Şekil 3.4: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi çöküntü yapılarının yönelimi.....	58
Şekil 3.5 Harmanköy – Beyyayla karst sistemi mağaralar	59
Şekil 3.6: Beyyayla düdeni ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti	60
Şekil 3.7: Beyyayla düdeninin haritası (Nazik vd. (2001)'den değiştirilmiştir)	62
Şekil 3.8: Sarıcakaya Platosu mağaraları ve yakın dolayının jeoloji haritası	66
Şekil 3.9: Güvercin İninin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir).....	67
Şekil 3.10: Afarın düdeninin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)	68
Şekil 3.11: Sarıkız Sulatanının haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)	69
Şekil 3.12: Tozman düdeni ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti	70
Şekil 3.13: Tozman düdeninin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)	72
Şekil 3.14: Çöküntü yoğunluğu dağılımına ait histogram.....	77
Şekil 3.15: HBKS çöküntü yoğunluğu dağılım haritası	80
Şekil 3.16: HBKS'de karstlaşmış alan dağılım haritası.....	80
Şekil 3.17: Karstlaşmış alan oranına ait histogram.....	81
Şekil 3.18: HBKS çukurlaşma indisi haritası.....	82

Şekil 3.19: Çukurlaşma indisi histogramı.....	83
Şekil 3.20: Kapalı çöküntü yapılarına ait uzun/kısa (L/W) eksen frekans histogramı.....	84
Şekil 3.21: Kapalı çöküntü yapılarına ait uzun ve kısa eksen arasındaki ilişki.....	85
Şekil 3.22: Açık çöküntü yapılarına ait L/W histogramı.....	86
Şekil 3.23: Açık çöküntü yapılarına ait uzun ve kısa eksen arasındaki ilişki.....	86
Şekil 3.24: Tüm çöküntü yapılarına ait alan ve uzun/kısa eksen arasındaki ilişki.....	87
Şekil 3.25: Dairesellik indisi histogramı	88
Şekil 3.26: HBKS dairesellik indisi haritası	89
Şekil 4.1: İnceleme alanında yer alan su noktaları	90
Şekil 4.2: İnceleme alanı ve yakın dolayının hidrolojik gözlem ağı haritası	94
Şekil 4.3: İnceleme alanında yer alan YGI'da gözlenen yağış değerlerinin zamansal değişimi.....	96
Şekil 4.4: Tozman düdeni girişleri ve Döşkaya kaynağı akım hidrografları.....	101
Şekil 4.5: Tozman düdeni giriş akımları ile Döşkaya kaynağı boşalımları arasındaki ilişki.....	102
Şekil 4.6: Nardın kaynağı ve akış aşağısı akım hidrografı.....	102
Şekil 4.7: Beyyayla düdeni girişi, çıkışı ve Beyyayla kaynağı akım hidrografı	103
Şekil 4.8: Beyyayla düdeni girdisi ile düden çıkışı toplam boşalımlarına ait saçılım grafiği	104
Şekil 4.9: Yağış ve akım değerlerine ait grafikler.....	105
Şekil 4.10: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi alt drenaj alanları.....	108
Şekil 4.11: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi alt drenaj alanlarına ait bütçe hesaplama sonuçları ($\text{Değer} \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$).....	113
Şekil 5.1: Beyyayla sistemine ait EC ₂₅ , TI içeriği ve QBEY I zamansal değişimi	120
Şekil 5.2: Döşkaya sistemine ait EC ₂₅ , TI içeriği ve Q _{TOZ} zamansal değişimi	121
Şekil 5.3: Nardın sistemine ait EC ve TI içeriğinin zamansal değişimi.....	122
Şekil 5.4: İnceleme alanı sularına ait değişim katsayısı histogramı	124
Şekil 5.5: İnceleme alanı sularına ait TI – Na grafiği (Nisan 2004)	125
Şekil 5.6: İnceleme alanı sularına ait TI – Cl grafiği (Nisan 2004)	126

Şekil 5.7: İnceleme alanı sularına ait TI – Ca ve TI – HCO ₃ grafikleri (Nisan 2004)	127
Şekil 5.8: İnceleme alanı sularına ait SICa doygunluk indisinin zaman içindeki değişim	129
Şekil 5.9: İnceleme alanı sularına ait Log pCO ₂ – SICa grafiği	130
Şekil 6.1: Çekilme eğrisinin şekline göre kaynak türleri (Ekmekçi vd., 2003b, Worthington, 1991).....	133
Şekil 6.2: DOS kaynağı kemografı (21 – 29 Nisan 2004)	137
Şekil 6.3: Kaynak azalma grafiği (Beyyayla Kaynağı)	140
Şekil 6.4: Kaynak azalma grafiği (Döşkaya Kaynağı)	142
Şekil 6.5: Kaynak azalma grafiği (Nardın Kaynağı)	142
Şekil 6.6: 2003 ve 2004 yılları çekilme dönemi süresince Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde boşalan su hacmi	144
Şekil 6.7: Bir akiferi drene eden basit bir kaynak modeli (Bear, 1979)	148
Şekil 6.8: Beyyayla sistemi ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti	154
Şekil 6.9: Beyyayla sistemi boya izleme deneyi zaman – konsantrasyon eğrisi .	156
Şekil 6.10: Döşkaya sistemi ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti	158
Şekil 6.11: Döşkaya sistemi boya izleme deneyi zaman – konsantrasyon eğrisi (Uranin)	161
Şekil 6.12 Beslenme, depolama ve akım süreçlerindeki değişimlerin karst kaynaklarına ait hidrografa etkisi (Smart and Hobss (1986)'dan düzeltilmiştir)	163
Şekil 6.13: HBKS'nin kavramsal modeli (Ölçeksiz).....	169

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Jeofizik çalışmaları sonuçları.....	44
Çizelge 3.1: Sarıcakaya Platosu mağaralarına ait bilgiler (Nazik vd., 2001)	68
Çizelge 3.2: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi, karst morfometrisi analiz sonuçları	77
Çizelge 3.3: Farklı karstik ortamlara ait çöküntü yoğunluğu değerleri.	78
Çizelge 3.4: Kapalı ve açık çöküntü yapılarına ait morfometrik parametreler	84
Çizelge 4.1: İnceleme alanında yer alan su noktalarına ait bilgiler	92
Çizelge 4.2: Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi yakın dolayında DMI'ne ait YGİ bilgileri.....	95
Çizelge 4.3: Yağış Gözlem İstasyonlarında gözlenen yağış değerleri.....	97
Çizelge 4.4: İnceleme alanında debi ölçümü yapılan noktalara ait bilgi.....	98
Çizelge 4.5: İnceleme alanında ölçülen aylık ortalama akım değerleri.....	100
Çizelge 4.6: İnceleme alanı geneli ve alt bölümlerle ilgili bilgileri.....	107
Çizelge 5.1: İnceleme alanındaki su noktalarında yerinde yapılan ölçüm sonuçlarının ortalama, minimum, maksimum, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	116
Çizelge 5.2: İnceleme alanında toplanan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçlarının ortalama, minimum, maksimum, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri.....	117
Çizelge 5.3: İnceleme alanı sularına ait değişim katsayısı değerleri (%).....	123
Çizelge 6.1: Kaynak boşalımlarına göre kaynakların sınıflandırılması (Worthington, 1991)	132
Çizelge 6.2: HBKS kaynaklarına ait akım ve değişim katsayısı bilgileri.....	134
Çizelge 6.3: 21 – 29 Nisan 2004 tarihleri arasında ölçülen parametrelerin özeti	135
Çizelge 6.4: Kaynak çekilme analiz sonuçları.....	140
Çizelge 6.5: HBKS alt sistemlerinin akifer karakteristikleri	150
Çizelge 6.6: Beyyayla sistemi 2003 ve 2004 yılı izleme deneyi sonuçları	155
Çizelge 6.7: Döşkaya sistemi 2004 yılı izleme deneyi 2004 yılı izleme deneyi sonuçları	160
Çizelge 6.8: Kaynak boşalımlarında gözlenen beslenme türünün etkisi.....	165
Çizelge 7.1. HBKS morfolojik parametrelerine ait istatistik analiz sonuçları (ANOVA)	172
Çizelge 7.2. HBKS'de yer alan alt sistemlerin hidrojeolojik özellikleri	173

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Foto 2.1: Bayırköy formasyonu (Jba) ve Bilecik kireçtaşları (Jkb) dokanağı (Beyyayla Köyü Yolu)	22
Foto 2.2: Bilecik kireçtaşları (Jkb) (Beyyayla Köyü Yolu)	23
Foto 2.3: Kireçtaşları içindeki çört yumruları (Tozman Düdeni)	24
Foto 2.4: Akköy Formasyonu (Tpla) (Akköy'ün K'i)	31
Foto 2.5: Suuçtu Mevkiinde yer alan travertenler (Qt) (Nardın Köyü'nün güneyi)	32
Foto 2.6: Sarıcakaya Yaylasında yapılan jeofizik çalışmasına ait fotoğraflar	43
Foto 3.1: HBKS ve yakın dolayında gözlenen aşınma yüzeyleri	49
Foto 3.2: İnceleme alanında gözlenen çözünme yapıları	52
Foto 3.3: İnceleme alanında yer alan düdenler	55
Foto 3.4: İnceleme alanında yer alan dolinler	56
Foto 3.5: Beyyayla Düdeni	59
Foto 3.6: Beyyayla düdeninin B'da yer alan kapılmış dolin	63
Foto 3.7: Beyyayla Düdeni çıkışı ve tavanı çökmüş mağara	63
Foto 3.8: Beyyayla düdeninde gözlenen sarkıt ve dikitler	64
Foto 3.9: Beyyayla düdeninde gözlenen mağara içi yapılar	65
Foto 3.10: Tozman Düdeni Girişleri	70
Foto 3.11: Tozman düdeninde gözlenen mağara içi yapılar	73
Foto 3.12: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi paleo kaynak çıkışları	75
Foto 4.1: Dolin ve Polyelerde geçici göllenme (Sarıcakaya Yaylası)	91
Foto 4.2: Tozman Göleti (Tozman Yaylası, Nisan 2004)	91
Foto 4.3: Özer Mermer Ocağı havuzu (Sarıcakaya Yaylası, Mayıs 2004)	91
Foto 4.4: HBKS'nin boşalımını gerçekleştiren ana kaynaklar	93
Foto 4.5: İnceleme alanına kurulan Yağış Gözlem İstasyonları	95
Foto 4.6: Debi ölçümü yapılan lokasyonlara ait fotoğraflar	99
Foto 6.1: Beyyayla sistemi boya izleme deneyi öncesi ve sonrasına ait fotoğrafları	153
Foto 6.2: Döşkaya sistemi boya izleme deneyi öncesi ve sonrasına ait fotoğrafları	159

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	Kaynak azalma katsayısı (T^{-1}),
A	Yeraltısuyu akımının meydana geldiği kesit alanı (L^2),
A_{DC}	Hücre içindeki toplam çöküntü alan (L^2)
A_E	Eşdeğer çöküntü alanı (L^2)
A_K	Toplam karstik alan (L^2)
A_{KC}	Hücre içindeki toplam karstik alan (L^2)
ALF	Alfat Pınarı
A_M	Ölçülen çöküntü alanı (L^2)
ANOVA	Varyans analizi (Analysis of Variance)
AVD	Avdan Pınarı
b	Akiferdeki ortalama su yükü kalınlığı (L)
BEY I	Beyyayla Düdeni Girişi
BEY II	Beyyayla Kaynağı
BE III	Beyyayla Düdeni Çıkışı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CV	Değişim katsayısı (Coefficient of Variation, %)
CV_A	Alkaliniteye ait değişim katsayısı (%)
CV_B	Bikarbonata ait değişim katsayısı (%)
CV_C	Kalsiyuma ait değişim katsayısı (%)
CV_Q	Debiye ait değişim katsayısı (%)
D I	Alt – Orta Miyosen Aşınma yüzeyi
D II	Üst Miyosen aşınma yüzeyi
D_D	Çöküntü yoğunluğu ($1/L^2$)
D_{DC}	Hücre içindeki çöküntü yoğunluğu ($1/L^2$)
D_{KA}	Hücre içindeki karstlaşmış alan (L^2/L^2)
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DOS I	Döşkaya Kaynağı
DOS II	Döşkaya Kaynağı Akış Aşağısı
DP	Dağınık parametrelili model (Distributed Parameter Model)
ΔQ	Depolamadaki değişim (L^3/T)
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC_{25}	Özgül elektriksel iletkenlik ($\mu S/cm$)
EİEİ	Elektrik İşleri Etüd İdaresi
ET_g	Gerçek buharlaşma – terleme (L^3/T)

HBKS	Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi
I_C	Dairesellik indisi (L^2/L^2)
KUT	Kutluca Pınar
L/W	Uzun/Kısa eksen oranı
MAH	Mahmutun Kaynağı
NAR I	Nardın Kaynağı
NAR II	Nardın Kaynağı Akış Aşağısı
N_D	Toplam çöküntü sayısı
N_{DC}	Hücre içindeki toplam çöküntü sayısı
P	Alansal yağış girdisi (L^3/T)
P_{IC}	Hücre içindeki çukurlaşma indisi (L^2/L^2)
P_M	Ölçülen çöküntü çevresi (L)
Q_{bes}	Toplam beslenme (L^3/T)
$Q_{boş}$	Toplam boşalım (L^3/T)
Q_{min}	Minimum debi (L^3/T)
Q_{max}/Q_{min}	Maksimum/minimum debi oranı
Q_n	Ortalama debi (L^3/T)
Q_o	Kaynağın azalmaya başladığı andaki debisi (L^3/T)
Q_s	Sistemden kaynak boşalımı ile çıkan su (L^3/T)
Q_t	Kaynağın t anındaki debisi (L^3/T)
Q_{max}	Maksimum debi (L^3/T)
Q_Y	Sistemden yan sistemlere kaçan veya giren yeraltısuyu (L^3/T)
R	Sisteme yan sistemlerden noktasal (allojenik) giren yüzey suyu (L^3/T)
r	Korelasyon katsayısı
R_0	Sabit beslenme (L)
r_E	Eşdeğer çöküntü yarı çapı (L)
S	Depolama
SAR	Sarıkaya Kaynağı
SD	Standart sapma
SOG	Söğütlü Pınar
SUU	Su Uçtu
t	Kaynağın yıl içinde aktığı gün sayısı (T)
T	İletimlilik katsayısı (L^2/T),
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TDS	Toplam çözünmüş madde (g/l)

TI	Toplam iyon (meq/l)
TOZ I	Tozman Düdeni GD Girişi
TOZ II	Tozman Düdeni KB Girişi
TP	Tümsel parametrelili model (Lumped Parameter Model)
V_d	Akiferde belirli bir t anında boşalan su (L^3),
V_r	Çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su (L^3),
V_s	Akiferin depolama kapasitesi (L^3),
YGİ	Yağış Gözlem İstasyonlarının

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Doğal suların etkisiyle kırık ve çatlakların çözünmesi ve genişlemesi sonucunda oluşan yüksek anizotropi ve ileri derecede heterojenite, karstik ortamlarda klasik yeraltısuyu hidroliği yasalarının uygulanmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle, karstik sistemlerde hidrodinamik yapı genellikle beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım ilişkilerine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Karstik yeraltısuyu sistemlerinin yayıldığı alanlarda morfoloji – hidrojeoloji ilişkileri, hidrodinamik yapıyı belirleyen beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım türü ve rejimini denetlemektedir.

Orta Sakarya Havzasında, ana drenaj elemanı olan Sakarya Nehrinin bugünkü yatağına gömülme sürecinde etkili olan tektonik hareketler sonucunda parçalanarak birbirleri ile hidrolojik ilişkileri kesilen Bilecik kireçtaşı blokları, “*parçalanmış platform karst*”ın son dönemlerini karakterize eden “*kalıntı karst*”ı temsil etmektedirler. Bu nedenle, karst, bölgede daha çok karstlaşmanın son evresini temsil eden, yüksek kesimlerde yüzeyleyen, geçirimsiz litolojiler ile sınırları üç boyutta belirgin ve beslenme – boşalım ilişkileri görece kolay tanımlanabilen bir yapıdadır (Ekmekçi, 2003). Üç boyutlu geometrisi tanımlanabilen Bilecik kireçtaşı bloklarının oluşturduğu karst akiferlerinde, bu nedenle sınır koşullarının da belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Yaklaşık 49.5 km²’lik bir alana sahip, bölgedeki en büyük blok olan Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) kireçtaşı bloğu, aktif yerel bir karst akiferi oluşturması nedeniyle, Orta Sakarya havzasındaki karstlaşmayı ve bu tür bir karst ortamındaki beslenme, depolama, dolaşım ve boşalım ilişkilerini temsil edebilecek niteliklere sahiptir.

Gerçekleştirilen tez çalışmasında, sınır koşulları tanımlanabilen güncel karst akiferinde öncelikle bir “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde olmak üzere, jeoloji, tektonizma ve morfoloji gibi fiziksel yapılar ile yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özellikler arasındaki ilişkilerin tanımlanması ve bu ilişkilerin içerdiği belirsizliklerin kaynaklarının analizi amaçlanmıştır.

Bu amaç doğrultusunda;

- a. Harmanköy – Beyyayla Karst Sisteminin (HBKS) fiziksel yapısının üç boyutlu tanımlanması,
- b. Karst akiferinin geçirgenlik – depolama özelliklerini denetleyen tektonik ve morfolojik yapılar ile akiferin hidrodinamik özellikleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması,
- c. Klasik yeraltısuyu hidroliği yasalarına uymayan karst sistemlerinin hidrolik davranışlarına örnek olarak HBKS'nin beslenme rejimine gösterdiği hidrolojik tepkiler değerlendirilerek, karst akiferlerinde yeraltısuyu beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım koşullarının olayın fiziksel anlamı doğrultusunda yorumlanması hedeflenmiştir.

1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

“Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi” başlıklı tez çalışmasında, yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda tanımlanan hedeflere ulaşmak için sınır koşulları denetlenebilir karst akiferi özelliğinde olan Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi (HBKS) çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Sistem yaklaşımı'na göre tanımlanan kütleye ilişkin mevcut ve bu çalışma kapsamında üretilen verilerin, sistemin bir “*kara kutu*” modelinden fiziksel parametrelerin daha yoğun olarak yer aldığı fiziksel, olabilirse matematiksel model kullanılarak tanımlanması çalışmada izlenen yaklaşımın ana çatısını oluşturmuştur. Bu yaklaşım, karst akiferlerinin fiziksel özelliklerine bağlı olarak hidrodinamik davranışlarının açıklanması amacının temelini oluşturmaktadır.

Tez çalışmasının amacı doğrultusunda belirlenen hedeflere ulaşmak üzere oluşturulan teknik yaklaşımın gerçekleştirilmesi için izlenen yöntemler ile bu yöntemlerin gerektirdiği veriler aşağıda belirtilen program çerçevesinde elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

1. İnceleme alanı ve yakın dolayının jeolojik yapısı; HBKS'nin bugünkü konumunu tanımlayacak şekilde ArcMap 8.2 (ESRI, 2002) programı aracılığı

ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS – GIS) tabanlı bir modele yansıtılmıştır. Bu kapsamda, bölgesel ve yerel ölçeklerde mevcut olan topoğrafik (1/25 000), jeolojik (1/25 000 ve 1/100 000) ve jeomorfolojik (1/25 000) haritaları ile hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri sayısal (bilgisayar) ortama aktarılmıştır. Sayısal ortama aktarılan veriler ve bu verilerin yer aldığı raporların yanı sıra tez çalışması kapsamında yapılan arazi çalışmalarında elde edilen bilgilerin bir bütünlük içerisinde değerlendirilmesi sonucunda, inceleme alanının jeolojik yapısı CBS tabanlı bir model üzerinde elde edilmiştir (Bkz. Bölüm 2). Söz konusu CBS tabanlı model, tez kapsamında yapılan morfolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrodinamik çalışmalarının altlığını oluşturmaktadır. Ayrıca söz konusu yapıların yoğunluğu, dağılımı, boyutu vb... gibi morfolojik analizler ise inceleme alanının 250 × 250 m’lik hücrelere/gridlere bölünmesi ve her bir hücre içinde kalan karstik yapının özellikleri dikkate alınarak bu yapıların, karst sisteminin hidrodinamik yapısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. Kütlenin fiziksel – yapısal özellikleri, öncelikle arazi çalışmaları kapsamında yapılan yerinde kırık – çatlak ve morfolojik ölçüm ve analizleri ile hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve jeolojik yapının birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. İnceleme alanının jeomorfolojik yapısı, arazi çalışmaları kapsamında yapılan ölçümler ile hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve mevcut jeomorfolojik çalışmaların birlikte değerlendirilmesi ile oluşturulmuştur (Bölüm 3). Karstik yapıların uzun ve kısa eksenleri ile bu yapıların yönelimleri ArcMap 9.0 (ESRI, 2004) bilgisayar programının “zonalgeometry” fonksiyonu ile belirlenmiştir.
3. *Sistem yaklaşımı*’na göre tanımlanan inceleme alanının hidrodinamik yapısının sağlıklı bir şekilde ortaya konması, jeolojik ve morfolojik çalışmaların yanı sıra yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özelliklerinde araştırılmasını gerektirmektedir. Bu amaçla söz konusu parametrelerin belirlenmesine yönelik bilgilerin elde edilebileceği alanlar belirlenmiş ve bu alanlarda 18 ay süresince maksimum aylık aralıklarda arazide ölçüm ve örnekleme yapılmıştır Bkz. Bölüm 4 ve 5). Bu kapsamda;

- ✓ Karst sistemlerinde hidrodinamik yapının bir bileşeni olan beslenme, HBKS'de yağışlar ve sisteme noktasal girdiyi oluşturan akarsular tarafından gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla inceleme alanı üzerine düşen yağış miktarının belirlenmesine yönelik Beyyayla Köyü ile Sarıcakaya ve Tozman Yaylalarına birer adet yağış gözlem istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlarda 18 ay boyunca aylık toplam yağış değerleri ölçülmüş ve alınan ölçümler inceleme alanına en yakın yağış gözlem istasyonunda (Bilecik ve Eskişehir) kaydedilen yağışlarla ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca inceleme alanında, beslenme bileşenini oluşturan akarsu akımları ise Beyyayla düdeni girişi ile Tozman düdeni girişlerinde aylık aralıkta A.OTT Kempten marka cüce muline ile ölçülmüştür. İnceleme alanında, Beyyayla ve Tozman düdenlerinin akış yukarısında yüzeyleyen Karbonifer yaşlı Sarıcakaya granitleri üzerine düşen yağış miktarı ile düdenler giren akımlar arasında kalan fark buharlaşma – terleme kayıpları olarak kabul edilmiştir. Sistem üzerine düşen yağış miktarı ile buharlaşma – terleme kayıpları arasında kalan fark ve sisteme noktasal olarak giren akarsu akımları beslenme olarak kabul edilmiştir (Bkz. Bölüm 4).
- ✓ Karst sistemlerinde beslenme ile sağlanan etkiye karşı tepkinin bir göstergesi olan kaynak boşalımları, özellikle inceleme alanının kuzeyinde yer alan Beyyayla, Döşkaya, Nardın ve Sarıkaya kaynakları ile bu kaynakların yakın dolayında bulunan mevsimsel kaynaklarda 18 ay süresince cüce muline ile ölçülmüştür. HBKS'nin boşalımını gerçekleştiren Beyyayla, Döşkaya ve Nardın kaynaklarının 2003 ve 2004 yılları akım değerleri ile kaynak çekilme analizi yapılmış ve bu analizler sonucunda sisteme ait hidrolik ve geometrik parametreler belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 6).
- ✓ HBKS ile ilgili olarak bugüne kadar yapılan çalışmaların birlikte değerlendirilmesi sonucunda, sistemin üç alt sistem altında değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Söz konusu alt sistemler inceleme alanının doğusundan batısına doğru Beyyayla, Nardın ve Döşkaya sistemleridir (Bkz. Bölüm 5). Kütlenin korunumu yasası dikkate alınarak

söz konusu sistemler için su bütçesi hesaplamaları yapılmıştır (Bkz. Bölüm 6).

- ✓ Karstik akiferlerde beslenme, dolaşım ve depolama gibi dinamik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir araç olarak kullanılan hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında, inceleme alanında bulunan 16 su noktasında arazi çalışmaları süresince yerinde ölçümler ve laboratuvar analizleri için örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Bölüm 5). Bu kapsamda, inceleme alanı ve yakın dolayında bulunan su noktalarına ait pH, elektriksel iletkenlik ($EC - \mu S/cm$), sıcaklık ($T - ^\circ C$), çözünmüş oksijen ($DO - mg/l$), çözünmüş oksijen doygunluğu ($DO_{sat} - \%$), redoks potansiyeli (Eh), toplam çözünmüş madde ($TDS - g/l$) ve bulanıklılık gibi özellikler kaynak başında ölçülmüştür. Laboratuvar analizleri için alınan örnekler üzerinde yapılan majör iyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{-2} , Cl^- , SO_4^{-2}) analizleri ise T.S.E. Belgeli Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası Laboratuvarlarında elektronötralite $< \pm \% 5$ olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alınan örneklerde F, Br, Si, Li, Fe, Mn, Ni, Cu, Pb, Zn, Cr ve Cd gibi iz elementler ile azot bileşikleri (NH_3 , NO_2^- , NO_3^-) ve PO_4^{-3} analizleri de yapılmıştır. Hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında yapılan tüm örnekleme ve analiz çalışmaları Uluslararası Standartlara (APHA et al., 1989) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Suların mineral doygunluk analizleri ise Parkhurst & Appelo (1999) tarafından hazırlanan PHREEQC 2.8 bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.
- ✓ Ayrıca, farklı girdilere akiferin vereceği tepkinin belirlenmesi; böylece karst akiferinin dolaşım ve depolamaya ilişkin davranışının anlaşılması ve akım yollarının belirlenmesi amacı ile 2003 ve 2004 yıllarında Beyyayla düdeni girişi ile çıkışı ve Tozman Düdeni – Döşkaya kaynağı arasında yapay izleyiciler (floresan boya) kullanılarak farklı enjeksiyon koşulları altında izleme deneyleri yapılmıştır. İzleme deneyi sonuçları, QTRACER 2.0 (Field, 2002) bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, karst akiferinde farklı girdiler sonucu meydana gelen

yeraltısuyu hızı ve akımın meydana geldiği kanalların geometrik yapıları ile ilgili bilgiler elde edilmiştir (Bölüm 6).

Bu çalışmada, izlenen yöntem ve yöntemin dayandığı teknik yaklaşımın ana çatısını *sistemin fiziksel olarak tanımlanması* oluşturduğundan, çalışma başlıca doğrudan ölçümlerle elde edilen veriler, ikincil olarak da yapılan ölçümlerden itibaren türetilen verilerin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu nedenle, verilerin zaman ve uzamdaki dağılımına, yoğunluğuna, ölçeğine ve hassasiyetine bağlı olarak değerlendirme sonuçları yorumlanmıştır.

HBKS'nin görece denetlenebilir sınır koşullarına sahip olmasının sağladığı olanak kullanılarak bu tür karst akiferlerinin hidrodinamik davranışı incelenmiş ve *hidrojeolojik kavramsal model* çerçevesinde olmak üzere, beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım ilişkileri ile sistemin geometrik ve morfolojik yapısı birlikte değerlendirilmiş ve sistemin kavramsal modeli oluşturulmuştur.

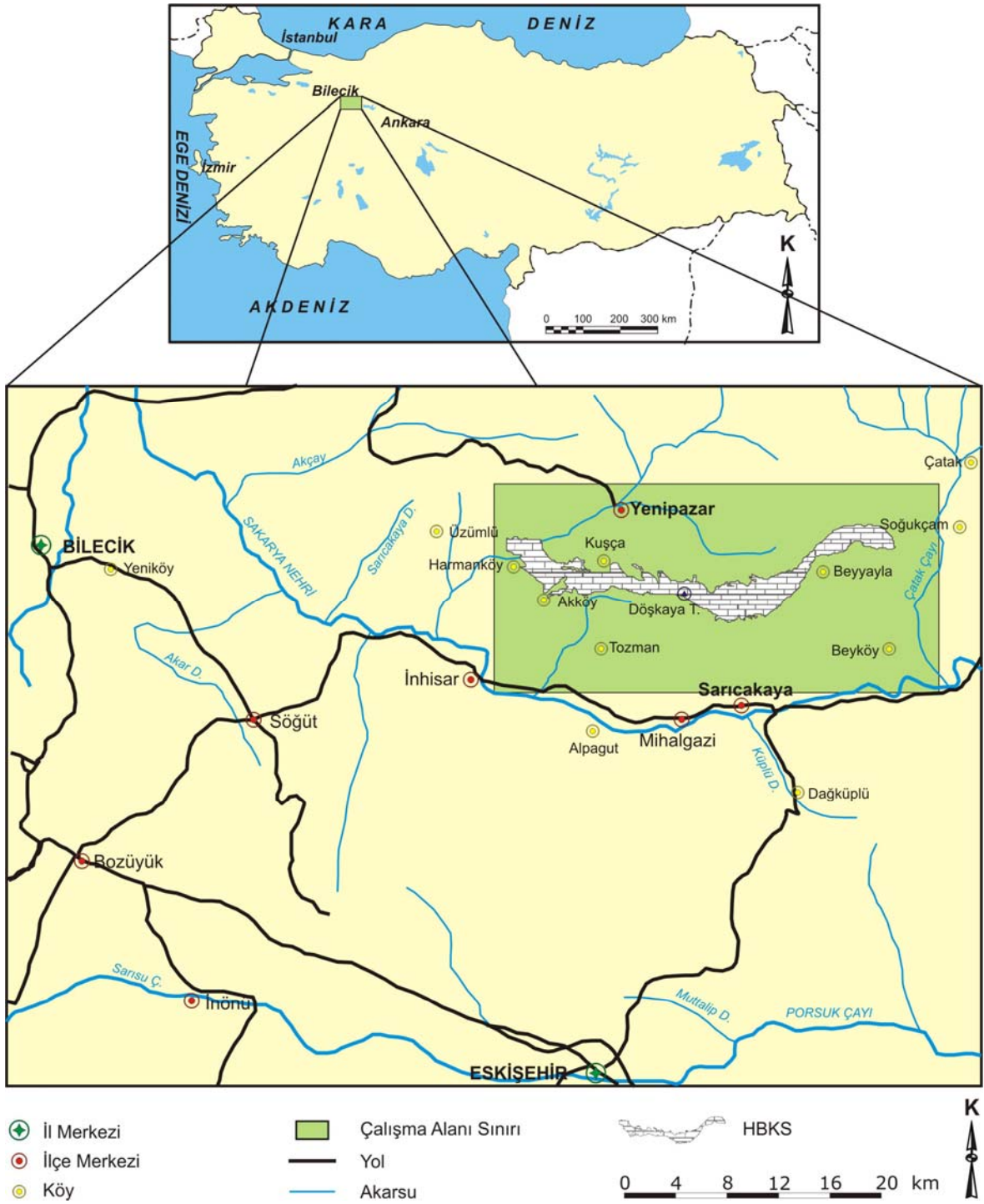
1.3. Coğrafi Özellikler

1.3.1. Konum

Marmara, İç Anadolu ve Karadeniz bölgeleri sınırları içinde kalan Orta Sakarya vadisinde yer alan inceleme alanı, Harmanköy (Bilecik) – Beyyayla (Eskişehir) köyleri arasında yaklaşık 49.5 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. İnceleme alanı, Bilecik ve Eskişehir il merkezlerine sırasıyla 70 ve 50 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 1.1). Adı geçen alan, 1/25000 ölçekli H24 (c₂, c₃) ve H25 (c₁, c₄, d₁, d₂, d₃, d₄) paftalarında yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında söz konusu bölgede, doğu – batı yönünde yaklaşık 22 km ve kuzey – güney yönünde ise yaklaşık 2,5 km uzanımlı Jura yaşlı Bilecik kireçtaşları incelenmiştir.

1.3.2. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı Yazıcı (1998)'ya göre “Karadeniz – ardı alanında” kalmakta ve kıyı iklimi ile iç bölge iklimleri arasında bir “geçiş iklimi alanını” oluşturmaktadır. Ancak doğu – batı uzanımlı olan Orta Sakarya vadisinin batısında Marmara Bölgesi'ne açılması, sahanın bu bölge ikliminden de etkilenmesine neden olmuştur. Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) Genel Müdürlüğü Sarıcakaya ve Yenipazar meteoroloji istasyonlarında ölçülen sıcaklık değerleri kış aylarında 3.5 ile 5 °C arasında iken yaz aylarında ise 25 °C'nin üzerine çıkmaktadır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

HBKS yakın dolayında yer alan Bilecik, Gölpazarı ve Yenipazar DMI istasyonlarında kaydedilen uzun yıllar ortalama yağış miktarı ise sırasıyla 449, 434 ve 429 mm'dir. Ortalama sıcaklıkların yıl içindeki dağılımına bakarak yörede kışların görece soğuk, geçiş mevsimlerinin serin ve yazların da oldukça sıcak geçtiği söylenebilir (Yazıcı,1998). Bölgenin geçiş tipi iklim koşullarına sahip olması

çok çeşitli bitki türlerinin burada yetişmesine olanak sağlamıştır. Orman örtüsü ile maki ve step elemanlarının aynı sahada bulunması bunun güzel bir örneğidir. İnceleme alanında ise meşe, çam, ardıç ve palamut ağaçlarının yaygın olmasının yanı sıra kuzey kesiminde ise ceviz ve fındık ağaçları bulunmaktadır.

1.4. Önceki Çalışmalar

Harmanköy – Beyyayla karst sistemi, yakın dolayı ve tez konusu ile ilgili değişik araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiş çalışmalara ilişkin bilgi aşağıda verilmiştir.

Çoğulu vd. (1965) tarafından yapılan çalışmada, Söğüt Metamorfitlelerinin yaşının Paleozoik (Karbonifer) olabileceği ve bu birimin bölgedeki diğer birimlerin temelini oluşturduğu belirtilmiştir.

Eroskay (1965) tarafından yapılan çalışmada, Paşalar Boğazı – Gölpazarı arasında kalan bölgenin jeolojisi incelenmiş ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır. Söz konusu çalışma, formasyonların litoloji özelliklerini, kalınlıklarını ve genelleştirilmiş stratigrafik kesitini içermektedir.

Altınlı (1973a ve 1973b) yaptığı çalışmalarda, Orta Sakarya'nın jeolojisini incelemiş ve bu birimlerin litolojik özelliklerini, fasiyes değişimlerini, yaşlarını, çökeltme ortamlarını ve yapısal jeolojilerini açıklamıştır.

Demirkol (1973) tarafından yapılan Üzümlü – Tuzaklı (Bilecik) Dolayının Jeolojisi konulu çalışmada bölgede yüzeylenen Üst Kretase – Paleosen arasında çökelen birimleri ayrıntılı bir şekilde tanımlamıştır.

Altınlı (1975) tarafından yapılan çalışmada, Orta Sakarya bölgesindeki Paleosen yaşlı Kızılçay Formasyonunun çökeltme ortamını konu alan 5 stratigrafi kesiti sunulmuştur. Ayrıca karasal kökenli Kızılçay Formasyonunun yayılımı ve çökeltme ortamı tanımlanmıştır.

Atkinson (1977), Mendip Hill bölgesinde (İngiltere) yaptığı çalışmada kaynak akım hidrografları ve kemografları ile boya izleme deneyi sonucunda yeraltısuyu akımının, kanal akım (conduit flow) ve yaygın akım (diffuse flow) bileşenlerinden

oluştugu belirtilmektedir. Ayrıca yapılan çalışma, kaynak akım hidrograflarından itibaren akifer parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmaları içermektedir.

Saner (1977), Sakarya – Bilecik illeri arasında kalan bölgenin stratigrafisini; temel karmaşık, Permien kayaçlar ile Tersiyer, Neojen ve Kuvaterner çökeller başlıkları altında toplamıştır. Havzanın temelini oluşturan granitik ve metamorfik kayaçlar ile Permien çökeller arasında belirgin bir dokanak olmadığına değinen araştırmacı, Alt Jura'da temel karmaşığı üzerine deniz transgresyonu ile Bakırköy kumtaşlarının, havzaya detritik malzemenin getirilmediği Orta Jura – Alt Kretase'de ise Bilecik kireçtaşlarının çökeldiğini belirtmiştir. Üst Kretase başında denizin derinleşmesiyle Vezirhan formasyonunun çökeldiğine, Üzümlü formasyonu ve fliş tipi çökellerin ise denizin en derin olduğu evrenin çökelleri olduğuna değinmiştir. Üst Kretase sonunda regresyonun başladığını vurgulamış ve Taraklı formasyonun kaba taneli detritik kayaçlarının çökeldiğini belirtmiştir. Paleosen başında, çok sığ suda Selvipınar kireçtaşının, Alt Eosen'e kadar da Kızılçay formasyonunun çökmesinden sonra yeni bir transgresyonun başladığına değinen araştırmacı, Halidiye ve Ciciler Formasyonlarının bu transgresif denizin çökelleri olduğunu vurgulamıştır.

Saner (1978), Orta Sakarya'daki Üst Kretase – Paleosen – Eosen çökeltme ilişkileri ve Anadolu'da petrol aramalarındaki önemini araştırmıştır. Araştırmacıya göre, Orta Sakarya'nın kuzeyde Üst Kretase sonlarında başlayan ve güneyden kuzeye doğru meydana gelen regresyonu, Paleosen'de de devam etmiştir. Havzada tümüyle sığlaşma olmuşsa da deniz tamamen çekilmemiştir. Havza kuzeyde denizel birimler Üst Kretase, Paleosen ve Eosende devamlıdır. Havza G'de ise denizel Üst Kretase ve Eosen arasında karasal Paleosen bulunmaktadır. Regresyonuna bağlı olarak gelişmiş Taraklı formasyonu üste doğru irileşmeli kırıntılardan oluşmaktadır. Paleosen'de, resifal Selvipınar kireçtaşı, akıntıların etkilemediği ortamda çökelmiştir. Kızılçay grubu, kıyı ovasında çökelmiş karasal oluşuktur. Eosen'de ise transgresyonla Çataltepe, Halidiye ve Ciciler formasyonları çökelmişlerdir. Ayrıca havzada Üst Kretase – Paleosende bir regresyon ve Eosen'de ise bir transgresyon meydana geldiği belirtilmiştir.

Saner (1980) tarafında, Mudurnu – Göynük havzasının Jura ve sonrası çökeltim nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması konulu çalışma yapılmıştır. Söz konusu

çalışmaya göre, bölgenin güneyinde Sakarya vadisi boyunca yüzeyleyen granitler üzerine 5 km kalınlığında Mesozoyik – Tersiyer bir istif çökelmiştir. Bölgede ilk Mesozoyik çökelişi Alt Jura’da söz konusu alan kara halindeyken başlamıştır. Orta – Üst Jura ve Alt Kretase’de ise deniz ilerlemiştir. Bu dönemde, bölgenin D ve kuzey doğu tarafı daha derin özellikler göstermektedir. Üst Kretase’de bölge tamamen derinleşmiş ve tüm havzada fliş çökelişi olmuştur. Üst Kretase’nin sonlarında bölgenin güneyi orojenik hareketlerle yükselmiş ve su yüzüne çıkmıştır. Paleosen’de de regresyon devam etmiş ve Alt Eosen’de bir transgresyon olsa da Üst Eosen – Oligosen’de yeniden regresyon oluşmuş ve bölge o zamandan beri kıtasal halini korumuştur. Miyosen’de ve Kuvaterner’de özellikle tektonik çöküntü alanlarında bazı göller gelişmiştir.

Yılmaz vd. (1981) tarafında yapılan çalışmada, Abant (Bolu) ve Dokurcun (Sakarya) arasında kalan bölgede Kuzey Anadolu Fay Zonu’na göre biri K’de, diğeri ise güneyinde olmak üzere iki farklı kaya topluluğunun yer aldığı belirtilmektedir. Araştırmacılara göre, bu birimler komşu olmalarına rağmen, birimleri oluşturan istifler tabandan Üst Eosen’e kadarki kesimde, fayın yanal atımıyla açıklanamayacak kadar farklı zaman, ortam ve koşullarda gelişmiş topluluklar olarak açıklanmaktadır.

Worthington (1991) karst hidrojeolojisi ile ilgili yaptığı çalışmada, sınır koşullarının kaynak boşalımları ve kimyası açısından değerlendirilmesi ve karstik ortamlardaki yeraltı suyu akımı konularını ayrıntılı olarak irdelemiştir.

Samani and Ebrahimi (1996), kaynak akım hidrografını karst akifer sistemlerinin hidrojeolojik evrimi açısından değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kaynak çekilme analizi için önerilen Mangin ve Coutagne eşitliklerinin yanı sıra kendi önerdikleri eşitliği kullanmışlardır. Her üç yöntem ile kaynak hidrografının hızlı ve taban akım bileşenlerine ait azalma katsayılarını ve çekilme dönemi süresince akiferden boşalan su miktarını hesaplayarak hidrojeolojik açıdan değerlendirmişlerdir.

Raeisi and Karami (1997), akifer parametrelerinin belirlenmesi açısından Berghan (İran) karst kaynağının hidrograf ve kemograflarını inceledikleri çalışmalarında, elektriksel iletkenlik, kalsiyum ve bikarbonat iyonları ile su sıcaklığının çalışma

süresince önemli bir değişim sergilemediği ve bu sitemde yeraltısuyu akımının yaygın akım (diffuse flow) olduğu belirtilmektedir.

Denizman (1998) Suwannee (Florida – Amerika) havzasındaki karstlaşma evrimini belirlediği çalışması, karstik çöküntü yapılarının morfometrik ve alansal dağılımını, bu yapıların oluşumunu etkileyen faktörleri ve evrimini içermektedir.

Gabrovsek et al. (2001) yaptıkları çalışmada, karst akiferlerinin iki boyutta (uzunluk ve derinlik) evriminin modellenebileceğini ileri sürmüşlerdir. Söz konusu çalışmada, başlangıç durumunda akiferin masif olduğu, üzerinde eşit dağılmış çok küçük açıklığa sahip kırıkların bulunduğu ve belli bir hidrolik iletkenlik değerine sahip olduğu varsayılmıştır. Sınır koşulları bilinen akiferin başlangıç koşullarındaki su seviyesi hesaplanmış ve bir zaman adımı boyunca su tablasının altında kalan tüm kırıkların çözünerek genişleme miktarı doğrusal olmayan kireçtaşı çözünme kinetiği ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Martin and Screatton (2001), Florida (Amerika) akiferinde, kanallarda (conduit) ve matrikslerde (matrix) bulunan yeraltısuları arasındaki değişimleri inceledikleri çalışmalarında, söz konusu akiferin matriks porozitesinin çok yüksek olduğu belirtilmektedir. Ayrıca kanallarda ve matrikslerde bulunan yeraltısuları arasındaki değişimin miktar ve kalite açısından çok önemli olduğu belirtilmektedir.

Nazik vd. (2001) tarafından yapılan çalışma, Orta Sakarya havzasının (Eskişehir ve Bilecik doğusu) doğal mağaralarının coğrafik, hidrolojik, hidrojeolojik, jeolojik, morfolojik ve speleolojik bilgilerini kapsamaktadır.

Amit et al. (2002), gözenekli, kırıklı – çatlaklı ve karstik ortamlara ait çekilme eğrilerinin, söz konusu ortamlara ait depolama ve iletimlilik gibi akifer parametreleri ile ortamın geometrik özellikleri hakkında bilgi içerdiğini belirtmektedir. Ayrıca kaynak azalma analizinde büyük azalma katsayısı, akım hidrografının hızlı akımı bileşenini ve büyük iletimlilik ve küçük depolama katsayılarını ifade etmektedir. Küçük azalma katsayısı ise taban akım bileşenini ve küçük iletimlilik ve büyük depolama katsayılarını temsil ettiğini belirtmektedir.

Field (2002), karstik ortamlarda yapılan izleme deneyi sonuçlarının bilgisayar ortamında değerlendirilmesi amacı ile QTRACER2 bilgisayar programını

geliştirmiştir. Söz konusu program ile karstik ortamlarda yapılan izleme deneylerinden itibaren akımın meydana geldiği kanalın geometrisi, akışkan dinamik modeli, sınır koşullarının etkisi ve izleyici geçiş süresi, yeraltı suyu hızı ve geri kazanım oranı gibi parametrelere ilişkin bilgiler elde edilmektedir.

White (2002), tarafından yapılan çalışmada, karst akiferlerinin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenlerinden oluşan kavramsal modeli ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Dewandel et al. (2003) kaynak çekilme eğrilerinin analizi ile akifer kalınlığının evrimini inceledikleri çalışmalarında, farklı araştırmacıların kaynak çekilme analizlerini irdelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, kaynak boşalım ağzının altında kalan akifer kalınlığı çok büyük ise akım hidrografi eksponansiyel bir çekilme sergileyecek ve Maillet eşitliği ile bu hidrografın analizinin yapılabileceği belirtilmektedir.

Ekmekçi (2003) Ülkemiz de karstlaşmayı kontrol eden beş ana faktör olduğunu belirtmektedir. Bunlar; karbonat kayacının litolojisi, kalınlığı, etkisi altında kaldığı tektonik rejim, enerji gradyanı ve erozyon tabanıdır. Bu faktörleri göz önüne alarak Türkiye’de genel anlamda iki çeşit karstlaşmanın olduğu söylenebilir. Bunlardan ilki karstlaşmaya başladığından beri hiç kesintiye uğramadan karstlaşan evrimsel (evolutionary) karst, diğeri ise kesintiye uğrayarak karstlaşan ancak daha sonra yeniden gençleşen/faaliyete geçen (rejuvenated) karst’tır. Türkiye’yi karstlaşmanın kendi içinde benzer olduğu 13 adet karst zonuna ayırmıştır.

Ekmekçi vd. (2003a), tarafından yapılan çalışma, *Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi* konulu projenin III. Çalışma Dönemi raporunu kapsamaktadır. Söz konusu çalışma, HBKS’nin jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, hidrodinamik ve paleohidrolojik yapısının aydınlatılmasına yönelik Nisan 2003 – Mart 2004 tarihleri arasında yapılan ofis ve arazi çalışmaları ile elde edilen ön bulguları kapsamaktadır.

Ekmekçi vd. (2003b), tarafından yapılan çalışma, Tacin (Bünyan – Kayseri) karst kaynağının hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Kaynak akımlarının 1965 – 1998 yılları arasındaki hidrografları incelenmiştir. Kaynak

akımlarında gözlenen yüksek varyans katsayısı, akiferin iyi derecede karstlaşmış olduğu yönünde değerlendirilmiştir. Çalışmada kaynak akımları ile oluşturulan kaynak çekilme analizleri sonucunda, azalma katsayısının farklı seviye – depolama koşulları altında farklı değerler aldığı belirlenmiştir. Ayrıca çekilme eğrisi analizinde ardışık yıllara ait dinamik hacimler arasında kalan fark beslenme rejimi açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Tacin akiferinin ileri derecede heterojen ve anizotropik bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

Aydın vd. (2004) tarafından yapılan çalışma, karst akiferlerinde akım özelliklerinin izleme teknikleri ile tanımlanması örnek olarak HBKS'nin doğu kesiminde yer alan Beyyayla Düdeni ile Düden çıkışında bulunan kaynak arasındaki akım yolunun geometrik ve hidrolik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile izleme deneyi çalışmalarını kapsamaktadır. Söz konusu çalışmada, kaynak çıkışında elde edilen derişim – zaman eğrisinden ortalama yeraltısuyu hızı $2,03 \times 10^{-2}$ m/s olarak hesaplanmıştır. Ayrıca izleme deneyi süresinde ölçülen kaynak debisi ile hesaplanan yeraltısuyu hızı arasındaki ilişkiye göre, kanallarda meydana gelebilecek maksimum boşalım 76,1 l/s olarak hesaplanmıştır. Bu boşalımın gerçekleşebileceği ortalama kanal kesit alanı ve çapı sırasıyla 0,91 m² ve 1,08 m olarak hesaplanmıştır. Arazi çalışmaları ve izleme deneyi sonuçlarına göre, Beyyayla Düdeni karst akiferinde; yeraltısuyu akımının türbülanslı kanal akım şeklinde ve akiferin besleniminin noktasal olduğu belirlenmiştir.

Ekmekçi ve Nazik (2004) yaptıkları çalışmada, Gölpazarı – Hüyük karst sisteminin evrimini, tektonik ve iklimsel kontrolleri dikkate alarak açıklamışlardır.

Ekmekçi vd. (2004), tarafından yapılan çalışma, *Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi* konulu projenin IV. Çalışma Dönemi raporunu kapsamaktadır. Söz konusu çalışma, HBKS'nin jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, hidrodinamik ve paleohidrolojik yapısının aydınlatılmasına yönelik Nisan 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında yapılan ofis ve arazi çalışmaları ile elde edilen ön bulguları kapsamaktadır.

Screaton et al. (2004), Florida (Amerika) serbest akiferinde, kanal özellikleri ve karstlaşma konulu çalışmasında, karst sistemlerindeki kanallar ve matrikslerde

bulunan yeraltısuları arasındaki değişimin, su kimyası, karstlaşma miktarı ve su kalitesi üzerindeki etkisinin çok önemli olduğu belirtilmektedir. Çalışmada, karstik kanallardaki su seviyesinin yüksek olduğu dönemlerde kanallardan matrikslere doğru, düşük olduğu dönemlerde ise matrikslerden kanallara doğru bir yeraltısuyu akımı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca kaynak sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin söz konusu değişimin açıklanması açısından doğal izleyici olarak kullanılabileceğine değinmektedir.

Soylu (2004), HBKS'deki mağara çökellerini karstlaşma açısından irdelemiştir. Çalışmada, karstlaşma evrimine etkiyen parametrelerin başında gelen iklim ve tektonizma gibi faktörlerin jeolojik dönemlerdeki durumlarını saptamak amacı ile karstlaşma evrimi kayıtlarının depolandığı mağaralardan yararlanılmış ve bu amaçla çalışma alanında paleoortam kurgulamasında kullanılması uygun görülen ikisi çökel, biri aşınma yapısı olmak üzere üç adet morfolojik yapı incelenmiştir.

Soylu vd. (2004) tarafından yapılan çalışma, HBKS'nin kuzey kenarında yer alan Nardın mağarası çökellerinde kayıt izlerinin karstlaşma evrimi açısından yorumlanmasını kapsamaktadır.

Tuncer (2004), oluşum ortamları ve yapısal özellikleri açısından farklılık gösteren Anatolidler ve Toridler'in yan yana geldiği karmaşık bir kuşakta bulunan Sakarya Nehri, Güynük Çayı ve Çatak Çayı arasında kalan bölgenin karst jeomorfolojisini incelemiştir. Söz konusu çalışmada, Orta Miyosen sonrası neotektonik dönemde gelişen doğrultu ve düşey atımlı faylar ile epirojenik hareketler sonucu bölgede yüzeylenen kireçtaşlarının, daha karmaşık bir durum almasına neden olduğu belirtilmektedir. Bu karmaşık jeolojik yapı; bölgenin jeomorfolojik gelişimini önemli ölçüde etkilediği ve özellikle karstlaşmanın gelişim ve şekil açısından farklılıklar gösterdiği belirtilmektedir. Çalışmada, söz konusu bölgede karstlaşmada etkili olan birincil (kökensel) ve ikincil (şekillendirici) faktörler incelenmiş ve karstlaşma evrimi ortaya konmuştur.

Ekmekçi (2005), tarafından yapılan çalışmada, litolojinin türü, kalınlığı ve yapısal unsurları karstlaşmanın gelişiminde etkili olan önemli faktörler olmakla birlikte karstlaşma daha çok kimyasal erozyonu sağlayan yeraltısuyu akışını denetleyen enerji gradyanının kaynağına ve karstlaşma derinliğini denetleyen erozyon

tabanının türü ve derinliğine bağlı olduğu belirtilmektedir. Söz konusu çalışmada, tektonik gelişim ile iklimsel değişimler, karstlaşmayı denetleyen temel süreçler olarak ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan karstlaşma, karbonatlı kayaçların atmosferle temas halinde olmayı gerektiği başka bir deyişle, karstlaşma, karbonatlı kayacın hidrolojik çevrim içinde bulunmasının gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca karstlaşma evrimi ile tektonik evrim ve eşzamanlı paleocoğrafik gelişim arasında belirli bir uyumun söz konusu olabileceği vurgulanmaktadır.

Ekmekçi vd. (2005), tarafından yapılan çalışma, *Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi* konulu projenin final raporunu kapsamaktadır. Söz konusu çalışma, HBKS'nin jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, hidrodinamik ve paleohidrolojik yapısının aydınlatılmasına yönelik Nisan 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında yapılan ofis ve arazi çalışmaları ile elde edilen bulguları ve HBKS'nin evrimini kapsamaktadır.

Kovacs et al. (2005), kaynak hidrograf analizleri ile karst akiferlerinin karakterize edilmesi konulu çalışmalarında, kaynak azalma katsayısının akiferin geometrik ve hidrolik parametrelerinin yanı sıra akifer içindeki kanal iletimlilik katsayısı ve kanal frekansını temsil ettiği belirtilmektedir. Kanal iletimlilik katsayısı ve kanal frekansını dikkate alan yazarlar, karstik ortamlardaki akım rejimini iki gruba ayırmaktadır. Birinci grup, kanal etkili akım rejimi (conduit – influenced flow regime) olup kanal iletimlilik katsayısının küçük, frekans sayısının büyük ve heterojenitenin küçük olduğu genç karstik sistemlerdeki (early karst system) yeraltısuyu akımını ifade etmektedir. Bu ortamlarda meydana gelen yeraltısuyu akımı, gözenekli ortamlarda meydana gelen yeraltısuyu akımına benzeştirilebileceği ve farklı bir azalma katsayısı ile sistemin temsil edilmesi gerektiği belirtilmektedir. İkinci grup akım rejimi, kanal iletimlilik katsayısının büyük, frekans sayısının küçük ve heterojenitenin oldukça büyük olduğu olgun karstik sistemlerdeki (mature system) yeraltısuyu akımını ifade etmekte olup matriks kontrollü akım rejimini (matrix – restrained flow regime) olarak adlandırmaktadırlar. Bu ortamlarda meydana gelen yeraltısuyu akımı, tümsel yaklaşım modelleri ile çözülebileceği belirtilmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

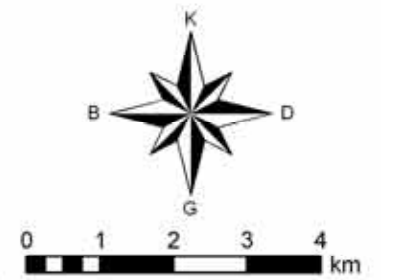
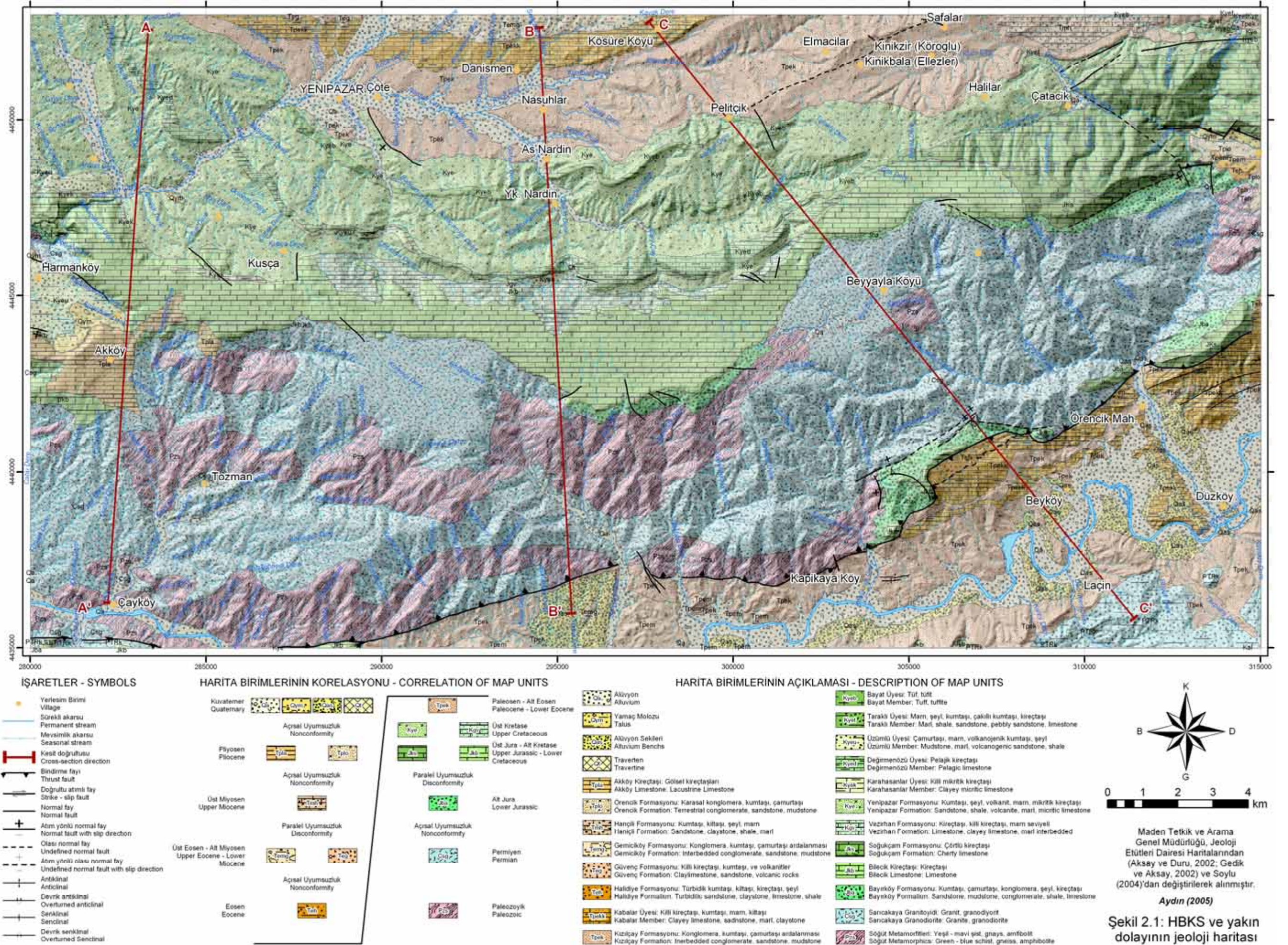
2.1. Stratigrafik Yapı

Neotetis Suture Zonu üzerinde yer alan Orta Sakarya Havzasındaki jeolojik birimler, Neotetis'in açılıp kapanması döneminde farklı tektonik konumlarda yer almalarından dolayı birbirlerinden farklı jeolojik evrim geçirmişlerdir (Göncüoğlu vd., 1996). Araştırmacılar söz konusu farklılaşmadan dolayı Orta Sakarya Havzasındaki jeolojik birimleri, Sömdiken Birliği, Dağköplü Karışığı ve Orta Sakarya Birliği olmak üzere üç ana yapısal birliğe ve bu birlikleri ortak örten Tersiyer yaşlı birimler olarak sınıflamışlardır. Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi (HBKS) ve yakın dolayındaki jeolojik birimler, Göncüoğlu vd. (1996)'nin yaptığı sınıflamaya göre Orta Sakarya Birliği içinde yer almaktadır. Orta Sakarya Birliği, jeodinamik açıdan Neotetis'in kuzey kenarında yer almakta ve Şengör vd. (1985) tarafından *Sakarya Mikrolevhası* olarak tanımlanmaktadır. İnceleme alanı ve yakın dolayında yüzeylenen Orta Sakarya Birliğine ait jeolojik birimler, Paleozoyik yaşlı Orta Sakarya Temel Karmaşığı, Mesozoyik yaşlı Paraotokton Örtü, Tersiyer yaşlı Örtü birimler ve Kuvaterner yaşlı güncel çökellerden oluşmaktadır.

HBKS ve yakın dolayında yüzeylenen Paleozoyik yaşlı Orta Sakarya Temel Karmaşığı Söğüt Metamorfikleri ve Sarıcakaya Granitoidinden oluşmaktadır. Paleozoyik yaşlı bu birimlerin üzerine açılmal uyumsuzlukla Mesozoyik yaşlı Paraotokton Örtü birimleri gelmektedir. Bayırköy Formasyonu ile başlayan söz konusu birimler tez çalışmasına konu olan Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarını da içermektedir. Mesozoyik yaşlı Paraotokton örtü birimlerinin üzerinde ise Kızılçay Formasyonu ile başlayan Tersiyer yaşlı örtü birimler ve Kuvaterner yaşlı güncel çökeller yer almaktadır. HBKS ve yakın dolayının jeoloji haritası, jeolojik kesitleri ve stratigrafik istif sırasıyla Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de verilmektedir.

2.1.1. Orta Sakarya Temel Karmaşığı

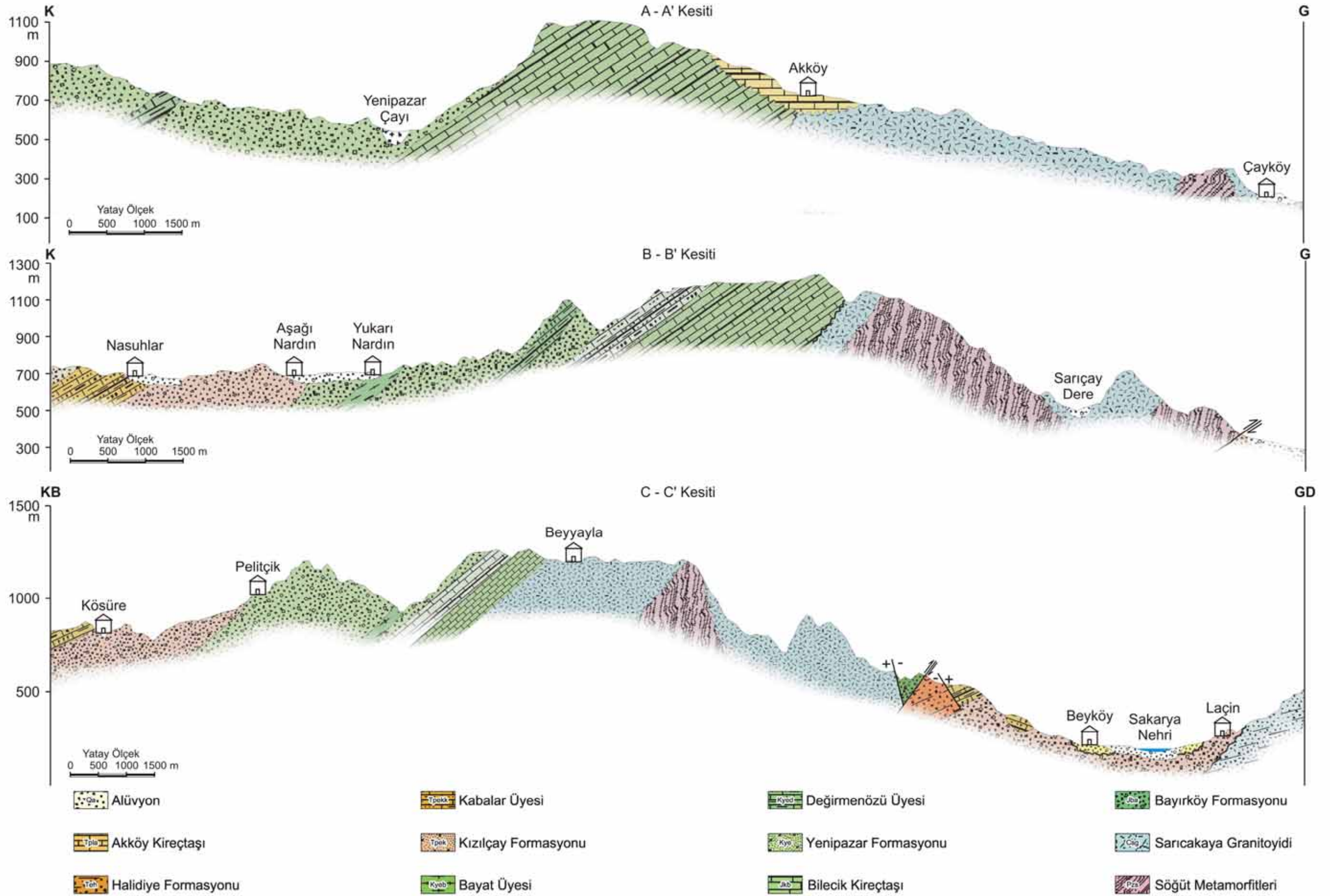
Orta Sakarya Temel Karmaşığı, değişik araştırmacılar tarafından "Ayırtlanmamış Temel Karmaşığı" (Altınlı, 1975; Yılmaz, 1977), "Eski Temel Karmaşığı veya Güney Topluluk" (Yılmaz, 1981) ve Orta Sakarya Temel Karmaşığı (Göncüoğlu vd., 1996) olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada Göncüoğlu vd. (1996) tarafından önerilen "Orta Sakarya Temel Karmaşığı" benimsenmiştir.



Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Haritalarından (Aksay ve Duru, 2002; Gedik ve Aksay, 2002) ve Soylu (2004)'dan değiştirilerek alınmıştır.

Aydın (2005)

Şekil 2.1: HBKS ve yakın dolayının jeoloji haritası



Şekil 2.2: HBKS ve yakın dolayının jeolojik kesitleri (Soylu, 2004'dan değiştirilerek alınmıştır).

Zaman	Devir	Devre	Formasyon	h (m)	Simge	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner		Güncel Çökeller	~300-500	Qt - Qa		Silt, kil, kum, çakıl, yamaç molozu ve traverten
			Akköy ve Örencik	~100-200	Tplo-Tpla		Açısal Uyumsuzluk Gösel kireçtaşı
	Tersiyer	Neojen	Haniçli	~100	Tmh		Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı Açısal Uyumsuzluk
			Gemiciköy ve Güvenç	~300-500	Teg - Tmeg		Kumtaşı, kilitaşı, şeyl, marn ve kireçtaşı Paralel Uyumsuzluk
		Paleojen	Halidiye	~500-1000	Teh		Konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı Killi kireçtaşı, kumtaşı, bitümlü şeyl
			Kızılçay	~1000-1500	Tpek		Açısal Uyumsuzluk Türbiditik kumtaşı, şeyl, kilitaşı, marn ve killi kireçtaşı
	Kretase	Üst	Yenipazar	~1000-1750	Kye		Kabalar Üyesi: killi kireçtaşı Çapraz tabaklanmalı, kırmızı renkli ve kötü boylanmalı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ardaalanması
							İnce - orta tabakalı kumtaşı ve şeyl ardaalanması ile yeşil ve kahve renkli volkanik kayalar, yeşil renkli marn ve beyaz, bej, kırmızı, pembe renkli ve ince tabakalı mikritik kireçtaşı ve az miktarda konglomera. Yenipazar Formasyonu; Karahasanlar, Değirmenözü, Üzümlü, Taraklı ve Bayat Üyelerinden oluşmaktadır.
		Alt	Vezirhan	500	Kgv		Pembe ve bej renkli ve ince - orta tabakalı kireçtaşı, kumtaşı ve şeyl
			Soğukçam	~400-1500	Jks		Beyaz, krem ve pembemsi renkli, çörtlü ve kumtaşı ve şeyl aratabakalı pelajik kireçtaşı
	Jura	Üst	Bilecik Kireçtaşı	~100-950	Jkb		Altan üste doğru beyaz, beyazımsı sarı, yer yer pembe ve gri renkli, bol kırıklı - çatlaklı ve erime boşluklu karstik kireçtaşı
		Alt	Bayırköy	~80-1280	Jba		Paralel Uyumsuzluk Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, şeyl, marn ve konglomera
PALEOZOYİK	Permian	Üst	Sarıcakaya Granitoidi	?	Csg		Açısal Uyumsuzluk
		Alt	Söğüt Metamorfileri	?	Pzs		Granit, granodiorit, migmatit, diyorit, aplit ve pegmatit kompleksi
							Gnays, paragnays, amfibolit, biyotit ve mikaşist

Aydın (2005)

Şekil 2.3. Çalışma alanının stratigrafik istifi (Saner,1977; Şentürk ve Karaköse, 1979; Yılmaz vd., 1981; Göncüoğlu vd., 1996'dan uyarlanmıştır)

İnceleme alanı ve yakın dolayında temel kayayı oluşturan ve Orta Sakarya Temel Karmaşığı içinde yer alan Söğüt Metamorfitle (Pzs), Demirkol (1977) ve Göncüoğlu vd. (1996), Sarıcakaya Granitoyidi (Csg) ise Göncüoğlu vd. (1996) ve Delaloye ve Bingöl (2000) tarafından adlandırılmıştır.

Söğüt Metamorfitle ve Sarıcakaya Granitoyidi, Sakarya Nehrinin kuzeyi ile HBKS'nin güneyi arasında kalan geniş bir alanda ve Beyyayla ve Tozman düdenlerinin drenaj alanlarında yüzeilenmektedir. Birimler Liyas yaşlı Bayırköy Formasyonu ile yer yer Üst Jura – Alt Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşları tarafından açısal uyumsuzlukla örtülmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Ayrıca Söğüt Metamorfitle Sarıcakaya Granitoyiti tarafından kesilmektedir (Bkz. Şekil 2.3).

Söğüt Metamorfitle, genel olarak gnays, paragnays, amfibolitler ve mikaşistlerden oluşmakta olup hakim kaya türü türü biyotit gnayslardır. Amfibolit ve gnayslar genelde siyah renkli, ince taneli, bantlı ve merceksi yapılıdır. Mikaşistler ise gri, kahve renkli, bantlı ve yapraklanmalı biyotit şist ve biyotit–muskovit şistlerden oluşmaktadır. Birim içinde bloklar halinde metagabro, metadiyabaz ve metaultramafitler ile mercekler halinde mermerler bulunmaktadır. Sarıcakaya Granitoyiti ise granit, granodiyorit, migmatit, diyorit, aplit ve pegmatit kompleksinden oluşmakta olup hakim kaya türü granodiyorittir (Göncüoğlu vd., 1996). Ayrıca Sarıcakaya Granitoyiti'nin kalkalen özellikte olması (Yılmaz, 1977; Kibici, 1982) ve içinde bulunduğu metamorfitlelerin ortamı göz önünde bulundurularak Sarıcakaya Granitoyiti'nin, volkanik yay ürünü olabileceği belirtilmektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1996).

Çok kıvrımlı ve kırıklı olan Söğüt Metamorfitle, Göncüoğlu vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada GB – KD uzanımlı güneye devrik bir antiform yapı göstermesi ve bu yapının orijinal yapımı olduğu veya Miyosen sonrası sıkışma rejimine bağlı mı geliştiğinin bilinmemesinden dolayı birimin kalınlığının belirlenmesinin mümkün olmadığı belirtilmektedir. Çoğulu vd. (1965) tarafından Söğüt Metamorfitlelerini kesen granitlerde yapılan radyometrik yaş tayinine göre granitlerin yaşı 290 milyon yıl (Alt Permiyen) olarak belirlenmiştir. Delaloye ve Bingöl (2000) ise, granitlerden aldıkları örneklerde 213 – 348 milyon yıl arasında değişen yaşlar saptarken, isokron yaşını 278 milyon yıl olarak belirtmektedirler. Göncüoğlu vd. (1996) ise

Söğüt Metamorfikleri Alt Permiyen öncesi metamorfizmasını tamamladığı ve Karbonifer yaşı olduğunu belirtmektedir.

2.1.2. Mesozoyik Yaşı Paraotokton Örtü Birimler

Bayırköy Formasyonu (Jba)

Kırmızı, alacalı renkli kumtaşı, kumlu kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, şeyl, marn ve çakıltası ardalanmasından oluşan birim, ilk olarak Granit ve Tintant (1960) tarafından “Bayırköy Kumtaşı” olarak adlandırılmış, daha sonraları ise Altınlı (1975) tarafından “Bayırköy Formasyonu” olarak adlandırılmış ve Göncüoğlu vd. (1996) bu adı kullanmışlardır. Bayırköy Formasyonu, HBKS’nin güney kenarı boyunca Avdan Tepe ile Iğdır Yaylası arasında kalan Beyyayla Köyü yolu üzerinde gözlenmektedir (Foto 2.1). Orta Sakarya Temel Karmaşığı üzerini açısız uyumsuzlukla örten Formasyon, üstten ise Üst Jura – Alt Kretase yaşı Bilecik Kireçtaşları tarafından paralel uyumsuzlukla örtülmektedir (Bkz. Şekil 2.1).

Bayırköy Formasyonu, başlıca kumtaşı, kumlu kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, şeyl, marn ve konglomeradan oluşmuş olup kırmızı, yeşilimsi gri, kahverengimsi renkli, ince – orta – kalın tabakalı ve/veya masif görünümlüdür. Konglomera, çamurtaşı ve şeyl gibi diğer dentritik kayalar istifle ara katkılar olarak görülmekle birlikte, yer yer de hakim kaya türlerini oluşturmaktadır. Bayırköy Formasyonu tabanında, çakılları daha yaşı birimlerden türemiş düzensiz tane boyu dağılımlı, köşeli ve iri boyutlu (2 – 40 cm) konglomeralar görülmektedir. Formasyonun üst düzeylerinde ise daha belirgin bir tane boyu (1 – 10 cm) dağılımına sahip yuvarlak, polijenik çakıllar gözlenmektedir (Göncüoğlu vd., 1996; Tuncer, 2004).

Formasyon Jura öncesi meydana gelen paleo topoğrafyanın şekline bağlı olarak çökeldiği için genel olarak değişken bir kalınlığa sahiptir (Saner, 1977; Göncüoğlu vd., 1996). Fakat değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, formasyonun kalınlığı 1112 m (Eroskay, 1965), 1280 m (Şentürk ve Karaköse, 1979), 200 m (Göncüoğlu vd., 1996) ve 80 m (Akyazı vd., 2001) olarak belirtilmiştir. Fosil açısından oldukça zengin olan Bayırköy Formasyonun, yaşı değişik araştırmacılar tarafından Alt Pliyensbahiye (Altınlı, 1975), Alt – Orta – Üst Liyas (Şentürk ve Karaköse, 1979) ve Liyas (Göncüoğlu vd., 1996) olarak belirtilmektedir.



Foto 2.1: Bayırköy formasyonu (Jba) ve Bilecik kireçtaşları (Jkb) dokanağı (Beyyayla Köyü Yolu)

Bilecik Kireçtaşları (Jkb)

HBKS'ni oluşturan ve ilk olarak Granit ve Tintant (1960) tarafından “Bilecik Kireçtaşları” olarak adlandırılan birim Altınlı, 1973a, Saner, 1977 ve 1980, Demirkol, 1977, Şentürk ve Karaköse, 1979, Göncüoğlu vd., 1996 ve Akyazı vd., 2001 tarafından aynı ad altında incelenmiştir.

Bilecik kireçtaşları, güneyden kuzeye doğru Sarıcakaya ile Yenipazar ilçeleri ve doğudan batıya doğru ise Beyyayla Köyü ve Harmanköy Boğazı arasında kalan yüksek kesimlerde 2.5 km genişliğinde ve 22 km uzunluğunda plato karakterli bir alanda yüzeylenmektedir (Bkz. Şekil 2.1 ve Foto 2.2). Bayırköy Formasyonu üzerine paralel uyumsuz olarak gelen Bilecik Kireçtaşları, Soğukçam Formasyonu ile yanal yönde tedrici geçişli olup (Altınlı, 1973a), üstten ise Yenipazar Formasyonunun farklı seviyeleri su altı uyumsuzluğu şeklinde örtmektedir (Bkz. Şekil 2.3).

Tez çalışmasına konu olan ve HBKS'ni oluşturan Bilecik Kireçtaşları, alttan üste doğru beyaz, beyazımsı sarımsı, yer yer pembe ve gri renkli olup ammonitce

zengin yumrulu kireçtaşıdan oluşmaktadır (Altınlı, 1973a; Altıner vd., 1991; Göcüoğlu vd., 1996; Akyazı vd., 2001). Bilecik kireçtaşlarının kuzey ve güney sınırları boyunca tabaka doğrultu ve eğimleri kolayca gözlenirken, plato üzerinde ise masif bir görünüm sergilemektedir. Ayrıca Bilecik Kireçtaşları içinde gelişen Tozman düdeninin içinde yoğun bir şekilde çört yumruları gözlenmektedir (Foto 2.3). Göcüoğlu vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada Bilecik Kireçtaşlarının yüzeyinde kırık – çatlak sistemlerinin iyi geliştiği ve genel olarak mikritik kireçtaşı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca Tuncer (2004), Sarıcakaya Yaylası ve Kuşça'nın kuzeyinde aldığı örneklerin petrografik analizi sonucunda sparikalsitik kireçtaşları olduğunu belirtmektedir. Bilecik kireçtaşlarının çökme ortamı; karadan malzemenin gelmediği, sıcak, özellikle gelgit düzlüğü, lagün ortamını karakterize eden karbonat kıyı çizgisi fasiyesinin geliştiği Göncüoğlu vd. (1996) tarafından belirtilirken Tuncer (2004)'de ise derin deniz ortamında çökeldiği belirtilmektedir.



Foto 2.2: Bilecik kireçtaşları (Jkb) (Beyyayla Köyü Yolu)

Bilecik Kireçtaşlarının kalınlığı değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda 100 – 950 m (Altınlı, 1975), 750 m (Şentürk ve Karaköse, 1979), 200 m (Göncüoğlu vd., 1996) ve 110 m (Akyazı vd., 2001) olarak belirtilmektedir. HBKS'nin geometrik yapısının belirlenmesine yönelik Temmuz 2003 tarihinde

Sarıcakaya Yaylasında yapılan jeofizik çalışmaları sonucunda Bilecik Kiretaşların kalınlığı yaklaşık 120 m olarak belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 2.4.2). Mikro ve Makro fosil açısından zengin olan Bilecik Kireçtaşlarının yaşı şentürk ve Karaköse (1979), Göncüoğlu vd. (1996) ve Akyazı vd. (2001)'de st Jura – Alt Kretase olarak belirtilmektedir.

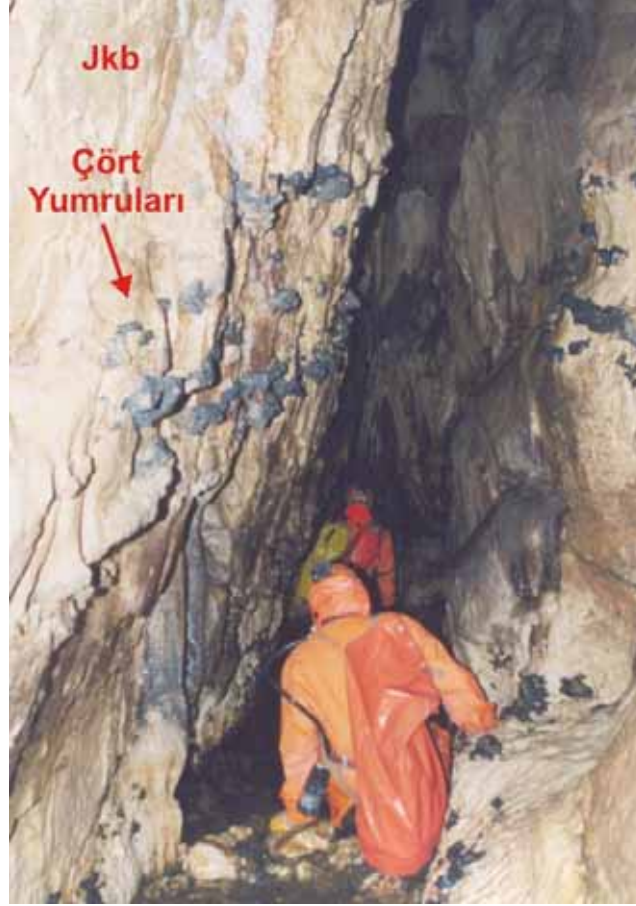


Foto 2.3: Kireçtaşları içindeki rt yumruları (Tozman Düdeni)

Soğukçam Formasyonu (Jks)

Beyaz, krem, pembemsi renkli, porselenimsi görünümlü, çörtlü, kil ara katmanlı, ince – orta taneli, bol kıvrımlı yarı pelajik kireçtaşlarından oluşan birim, ilk olarak Tuna (1974), daha sonraları ise Saner (1980) tarafından Soğukçam Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Söz konusu birimi, Göncüoğlu vd. (1996) ise Soğukçam Formasyonu adı altında incelemişlerdir.

Soğukçam Formasyonu, HBKS'nin doğusunda yer alan Beyyayla Köyü ile atak Köyü arasında yüzeylendiği gözlenmektedir (Bkz. şekil 2.1). Bayırköy Formasyonu

üzerine paralel uyumsuz olarak gelen birim, Bilecik Kireçtaşları ile yanal yönde tedrici geçişli olup (Altınlı, 1973a), üstten ise Yenipazar Formasyonunun farklı seviyeleri su altı uyumsuzluğu şeklinde örtmektedir (Bkz. Şekil 2.3).

Soğukçam Formasyonu, beyaz, krem ve pembemsi renkli, ince – orta taneli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Yer yer ince çört arakatmanlı ve çört yumrulu olan Soğukçam Formasyonunun alt bölümlerinde yer yer kumtaşı ve şeyl arakatmanları, üst bölümlerinde ise şeyl ara katmanları gözlenmektedir (Göncüoğlu vd., 1996).

Altınlı (1975) ve Saner (1980) tarafından yapılan çalışmalarda Soğukçam Formasyonunun kalınlığı 1400 – 1500 m olarak belirtilirken Göncüoğlu vd. (1996) da ise 400 m olarak belirtilmektedir. Bilecik Kireçtaşları ile yanala ve düşey yönde geçişli olan Soğukçam Formasyonunun tabanında Bayırköy Formasyonunun yer alması nedeniyle, bu birimin yaşının Bilecik Kireçtaşı'nın yaşı ile aynı olması (Üst Jura – Alt Kretase) gerektiği belirtilmektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Aksay ve Duru, 2002).

Vezirhan Formasyonu (Kgv)

İnce taneli çörtlü kireçtaşı, kumtaşı, şeyl ve killi kireçtaşlarından oluşan birim ilk olarak Eroskay (1965) tarafından Vezirhan Formasyonu olarak adlandırmıştır. Söz konusu birim daha sonraları, Harmanköy Formasyonu (Şentürk ve Karaköse, 1979) ve Hamamboğazı Formasyonu (Göncüoğlu vd., 1996) olarak da adlandırılmıştır.

Vezirhan Formasyonu, HBKS'nin kuzey kenarı boyunca batıda yer alan Kuşça Köyü yakınlarından başlayıp doğuya doğru giderek incelen ve 20 km uzunluğuna sahip çörtlü kireçtaşı, kumtaşı, şeyl ve killi kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır (Bkz. Şekil 2.1). Vezirhan Formasyonu Kuşça Köyü ve Döşkaya Kaynağı mevkiinde Bilecik Kireçtaşları üzerine uyumlu gelirken, Beyyayla Düdeni çıkışında ise uyumsuz gelmektedir. Üste ise Yenipazar Formasyonu ile geçişli bir dokanağı bulunmaktadır (Göncüoğlu vd., 1996).

Göncüoğlu vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada Vezirhan Formasyonunun alt bölümü pembe ve bej renkli, ince – orta katmanlı mikritik kireçtaşlarından, orta

bölümü kumtaşı, şeyl ve killi kireçtaşı araldanmasından ve üst bölümü ise mikritik kireçtaşı arakatmanlı killi kireçtaşlarından oluştuğu belirtilmektedir.

HBKS'nin kuzey kenarında yer alan Nardin Kaynağı yakınlarında söz konusu birimin kalınlığını Göncüoğlu vd. (1996) 550 m olarak belirlemişlerdir. Saner (1977) ve Akyazı vd. (2001) tarafında yapılan çalışmalarda ise Vezirhan Formasyonunun kalınlığı sırasıyla 50 – 200 m ve 70 – 120 m arasında değıştiğı belirtilmektedir. Vezirhan Formasyonunun yaşı Göncüoğlu vd. (1996) ve Akyazı vd. (2001)'ne göre Üst Kretase (Apsiyen – Alt Maestrihtiyen)'dir.

Yenipazar Formasyonu (Kye)

Yenipazar Formasyonu ilk olarak Saner (1980) tarafından adlandırılmıştır. Daha sonraları ise Göncüoğlu vd. (1996), Gedik ve Aksay (2002) ve Aksay ve Duru (2002)'da yaptıkları çalışmalarda Yenipazar Formasyonu adını kullanmışlardır. Yenipazar Formasyonu, HBKS'nin kuzeyinde, Yenipazar ile Çatak Çayı arasında ve Sarıcakaya Yaylası ile Beyyayla Düdeninin kuzeyinde geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Sinsedimanter tektonizmanın etkin olduğu değışik yaş dönemlerinde Soğukçam Formasyonu, Bilecik Kireçtaşı ve daha yaşlı birimler üzerinde paralel ve açısal uyumsuz olarak gelen Yenipazar Formasyonunun üzerine ise Selvipınar ve Kızılçay Formasyonları geçişli olarak gelmektedir (Saner, 1980, Göncüoğlu vd., 1996).

Yenipazar Formasyonu genel olarak grimsi yeşil renkli, ince – orta tabakalı kumtaşı – şeyl araldanması ile yeşil ve kahve renkli volkanit, yeşil renkli marn ve beyaz, bej, kırmızı, pembe renkli, ince tabakalı mikritik (pelajik-yarı pelajik) kireçtaşı ve az miktarda konglomeradan oluşmaktadır. Saner (1980) tarafından yapılan çalışmada, Formasyon kendi içinde bazı alt üyelere ayrılmıştır. Bu kaya türlerinden kırmızı renkli mikritik kireçtaşı Karahasanlı Üyesi (Kyek), kahve renkli volkanitler Üzümlü Üyesi (Kyeü), beyaz, bej, kırmızı renkli mikritik kireçtaşları, Değirmenözü Üyesi (Kyed), yeşil renkli tuf ve tüfitler Bayat Üyesi (KyeB) ve en üstte kumtaşı, konglomera ve marnlar Taraklı Üyesi (Kyet) olarak ayrırtlanmıştır.

Göncüoğlu vd. (1996)'nin yaptıkları çalışmada, Yenipazar ilçesi yakınlarında birimin kalınlığının yaklaşık 800 m olduğu belirtilmektedir. Yenipazar Formasyonunun yaşı ise Üst Kretase (Üst Maestrihtiyen)'dir.

2.1.3. Tersiyer Yaşlı Örtü Birimler

Kızılçay Formasyonu (Tpek)

Kırmızı renkli karasal çökellerden oluşan Kızılçay Formasyonu ilk olarak Eroskay (1965) tarafından adlandırılmıştır. Kızılçay Formasyonu, Göncüoğlu vd. (1996) tarafından ise Hatlı ve Demirköy Formasyonlarından oluşan Kızılçay Grubu adı altında incelenmiştir. HBKS'nin kuzeyinde Yenipazar, Çöte, Nasuhlar, Pelitçik, Elmacılar ve Hatlılar dolaylarında yüzeyleyen birim güneyde ise Kapıkaya, Beyköy, Örencik Mahallesi ve Düzköy dolaylarında yüzeylenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Kızılçay Formasyonunun tavanında Kabalar Üyesi yer alırken, altta Selvipınar Formasyonu ile onun olmadığı yerlerde de Yenipazar Formasyonu'nun Taraklı Üyesi ile tedrici geçişlidir.

Birim, genel olarak kırmızı alacalı renkli, kötü boylanmalı konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı ar dalanmasından oluşmaktadır. Çapraz tabakalıdır. Formasyonun üst bölümünde yer alan yeşil renkli ince tabakalı şeyl, marn, kıltaşı, yeşilimsi beyaz renkli, ince – orta tabakalı killi kireçtaşı, kumtaşı ar dalanmasından ve yeşilimsi gri renkli bitümlü şeyllerden oluşan bölümü Kabalar Üyesi (Tpekk) olarak ayırtlanmıştır. Birimde nadir ince seviyeler halinde kömür ve yer yer de jipsler bulunmaktadır. Yer yer volkanitlidir, bu volkanitler andezit, trakiandezit ve bazalt – andezit içeren birim, pembe ve yeşil renkli, karasal lavlardan oluşmaktadır. Meyildere Volkaniti olarak ayırtlanmıştır. Volkanitler Formasyonunun içinde bulunduğu gibi, Kabalar Üyesi içerisinde de bulunmaktadır.

Göncüoğlu vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada, Kızılçay Formasyonunun kalınlığı Yenipazar yakınlarında yaklaşık 1500 m ve Hatlı dolaylarında ise yaklaşık 1000 m olarak belirtilmektedir. Altınlı, (1973b) birimin kırıntılı seviyelerinde Landeniyen'i işaret eden fosiller tespit etmiştir. Taka ve Şener (1988)'de, formasyonun yaşını Orta – Üst Paleosen – Alt Eosen olarak belirtmiştir. Göncüoğlu vd. (1996) ise formasyonun yaşını Orta – Geç Paleosen – Erken Eosen olarak belirtmektedirler.

Kabalar Üyesi (Tpekk)

Killi kireçtaşı, bitümlü şeyl, marn, kıltaşı, kumtaşından oluşan üye, Saner (1978) tarafından Kabalar Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Sürekliliği olmaması

nedeniyle Göncüoğlu vd. (1996) bu birimi üye mertebesinde incelemişlerdir. Kabalar Üyesi, HBKS'nin kuzeyinde yer alan Yenipazar ve Çöte'nin kuzey – kuzeydoğusunda bulunan Danişmen ve Köşüre Köyleri arasında ve güneyde ise Kapıkaya Köyünün kuzeydoğusunda Örencik Mahallesi ve Düzköyü civarında yüzeylenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Altan Kızılçay Formasyonu ile tedrici geçişli olan Kabalar Üyesi üstte ise Güvenç Formasyonu ile keskin dokanaklı ve uyumlu veya paralel uyumsuzdur.

Gölsel ortamda çökelen birim, yeşilimsi beyaz renkli, ince – orta tabakalı, killi kireçtaşı, yeşil renkli kumtaşı ve yeşilimsi gri renkli, kartonumsu ayrılmalı bitümlü şeyl aralanmasından oluşmaktadır. Birim, ince kömür ara seviyeleri de içermektedir. Kalınlığı 20 – 300 m arasında değişen üye, önemli bir litolojik değişim göstermemektedir. Fosil içermeyen üyenin yaşı stratigrafik konumuna göre Üst Paleosen – Alt Eosen kabul edilmiştir ve birim, gölsel ortamda çökeldiği belirlenmiştir (Gedik ve Aksay, 2002; Aksay ve Duru, 2002).

Halidiye Formasyonu (Teh)

Türbiditik kumtaşı, şeyl, kiltası, marn ve kireçtaşından oluşan birim, Saner (1977) tarafından adlandırılmıştır. HBKS'nin kuzeydoğusunda yer alan Germinus dolaylarında ve Beyköy'ün kuzeybatısında yüzeylenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Halidiye Formasyonu tabanda Çataltepe Formasyonu ile geçişli olmasına rağmen çalışma alanında Kabalar Üyesi ile faylı bir sınır gözlenmektedir. Türbiditik kumtaşı, şeyl, kiltası, marn ve kireçtaşından oluşur. Kiltaları ile başlayan birim, kumtaşı, şeyl, marn aralanması şeklinde devam eder. Kiltaları boz renkli, ince tabakalı olup laminalıdır. Birim üste doğru tane boyu irileşerek sarımsı, boz renkli kalın tabakalı kumtaşlarına geçer. Tabaka tabanlarında akma, oygu ve dolgu gibi sedimenter yapıları vardır. Bunlarda büyük ölçekli çapraz ve yatay laminalanmalar görülebilir. Yaklaşık 500 – 1000 m kalınlığa sahip olan formasyon Alt – Orta Eosen yaşındadır (Saner, 1977; 1978).

Güvenç Formasyonu (Teg)

Kireçtaşı, konglomera, kumtaşı, marn ve volkanitlerle temsil edilen formasyon, Gedik ve Aksay (2002) ve Aksay ve Duru (2002) tarafından adlandırılmış olup, Yenipazar'ın kuzey – kuzeybatısında küçük bir alanda yüzeylenmektedir (Bkz.

Şekil 2.1). Güvenç Formasyonu, tabanda Yenipazar Formasyonu ve Kabalar Üyesi ile açılı uyumsuz, üstte ise Gemiciköy Formasyonu ile paralel uyumsuzdur. Formasyon, altta çakıllı kumtaşlarıyla başlar, üste doğru kireçtaşı – marn ardalanmasına dönüşmektedir. Kireçtaşları, sarımsı – boz renkli, sıkı tutturulmuş, sert, köşeli kırıklı olup nummulites, discocyclina, alg ve lamelli kavkı kırıkları içermektedir. Üst kesimleri konglomera ve volkanit ara katkılı olan formasyon, sarımsı, yeşilimsi gri, gri, bej ve alacalı renkli, ince – orta tabakalı kumtaşı – şeyl ardalanması şeklinde devam etmektedir. Kumtaşları sıkı tutturulmuş, sert, spart çimentoludur. Yer yer kalın tabakalı ve masif görünümlü türbiditik ve olistostromal konglomera düzeyleri kireçtaşı, serpantinit, magmatit çakılları içermektedir. Volkanitler dasitik, andezitik ve bazaltik lav, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Yaklaşık 150 – 200 m kalınlık gösterir formasyon Üst Eosen – Alt Miyosen yaşlıdır (Gedik ve Aksay, 2002; Aksay ve Duru, 2002).

Gemiciköy Formasyonu (Temg)

Karasal konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı ardalanmasından oluşan formasyon, Eroskay (1965) tarafından adlandırılmıştır. Gemiciköy Formasyonu, inceleme alanının kuzeyinde yer alan Danişmen ve Köşüre Köylerinin kuzeyinde küçük bir alanda yüzeylemektedir (Bkz. Şekil 2.1). Altında Güvenç Formasyonu ile paralel uyumsuz, üstte ise Kuvaterner yaşlı güncel çökeller tarafından açıl uyumsuz olarak örtülmektedir. Konglomera, kumtaşı çamurtaşı ardalanmasından oluşan Gemiciköy Formasyonu kırmızı, turuncu, boz renkli, orta – kalın tabakalıdır. Konglomeralar kötü boylanmış ve gevşek tutturulmuştur. Kumtaşları kaba dokulu olup orta boylanmalı, oldukça sert ve yanal yönde devamsızdır. Yer yer çapraz tabakalanma gösterir. Kireçtaşları, beyaz – boz renkli, orta – kalın tabakalı, ince dokulu, sert, seyrek fosilli mikrit, dismikrit karakterdedir. Birim karasal ve gölsel ortamda çökelmiştir. Üst Eosen – Alt Miyosen yaşlı birimin kalınlığı 150 – 225 m arasında gözlenmektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Aksay ve Duru, 2002).

Hançili Formasyonu (Tmh)

Kumtaşı, kiltası, şeyl, marn, tuf ve kireçtaşından oluşan formasyon, Akyürek vd. (1984) tarafından Hançili Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Söz konusu formasyon, Taka (1981) ve Şener ve Şengüler (1992) tarafından Himmetoğlu

Formasyonu adı altında incelenmiştir. Haniçli Formasyonu, HBKS'nin kuzeydoğusunda Çatacık Köyü'nün kuzeyinde yüzeilenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Kendinden yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla yer alan formasyonun üstü aşınmalıdır. Kumtaşı, kilitaşı, şeyl, marn, tuf ve kireçtaşı ardaanmasından oluşan Haniçli Formasyonu tabanda kötü boylanmalı kırmızı renkli konglomeralarla başlar ve üste doğru yeşil renkli kumtaşı, linyit ara düzeyi, sileksit bantlı ve bitümlü şeyl, kilitaşı ve marn ardaanması şeklide devam etmektedir. Kalınlığı 100 m dolayında olan Haniçli Formasyonu'nun yaşı, bulunan fosillere göre (mikro memeli faunası) Orta Miyosen olarak belirtilmektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Aksay ve Duru, 2002).

Örencik Formasyonu (Tplo)

Örencik Formasyonu, Saner (1980) tarafından Yörük Üyesi olarak adlandırılmıştır. Akarsu ortamında çökelmiş olan formasyon HBKS'nin kuzeydoğusunda Germenus dolaylarında yüzeilenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Kendinden yaşlı tüm birimler üzerinde açısal uyumsuz olarak yer alır ve Kuvaterner yaşlı birimler tarafından da açısal uyumsuz olarak örtölür. Kırmızı, sarımsı kırmızı, kahverenkli konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ardaanması ile temsil edilir. Birim, genelde az tutturulmuş olup, orta – kalın tabakalanma gösterir. Yer yer tabakalanması belirsizdir. Konglomeralar, aşınmalı tabanlı, kötü boylanmalı olup, çakılları yuvarlak – az yuvarlaktır. Kumtaşlarında sarımsı kırmızı renk hakim olup, ince – orta – kaba tanelidir. Stratigrafik konumuna dayanarak birime Pliyosen yaşı verilmiş olup kalınlığı 50 – 100 m arasında değişmektedir (Gedik ve Aksay, 2002; Aksay ve Duru, 2002).

Akköy Kireçtaşları (Tpla)

Saner (1977) ve Şentürk ve Karaköse (1979) tarafından Akköy Formasyonu olarak tanımlanan formasyon HBKS'nin güneybatısında yer alan Akköy çevresinde yaklaşık 6 km²'lik bir alanda yüzeilenmektedir (Bkz. Şekil 2.1). Kendinden yaşlı tüm birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla yer almaktadır. Ayrıca birimin tavanı aşınmalı olup, üzerinde herhangi bir birim gözlenmemektedir. Tabanda konglomeralar ile başlar, üste doğru kireçtaşlarına geçen birim, sarımsı, boz ve kırmızımsı renklerde orta – kalın tabakalı, sert ve sparlaşmış mikrit hamurludur. Çakıllar iyi yuvarlanmış, kötü boylanmalı ve gevşek tutturulmuştur. Killi kireçtaşı

özelliğinde olan kesimler boz ve kül renginde, kalın tabakalı, kırılğan ve dağılgan özelliktedir. Normal kireçtaşı özelliğindeki seviyeler, gri renkli ve bol eklemlidir. Bol eklem nedeniyle kıymıksı ayrılma özelliği kazanmıştır. Kireçtaşları yer yer sarımsı boz renkli olup travertenimsi görünümündedir (Foto 2.4). Ayrıca tavanı çökmüş mağaraların oluşturduğu Akköy Arşivi de bu birim içinde yer almaktadır (Soylu, 2004). Akköy Kireçtaşlarını oluşturan karbonatlar göl ortamını karakterize etmektedir. Pliyosen yaşlı olan birimin kalınlığı 50 – 100 arasında değişmektedir (Saner, 1977; Şentürk ve Karaköse, 1979) .



Foto 2.4: Akköy Formasyonu (Tpla) (Akköy'ün K'i)

2.1.4. Kuvaterner Yaşlı Güncel Çökeller

Traverten (Qt)

İnceleme alanında travertenler, Yukarı Nardın Köyü'nün güneyinde (Suuçtu Mevkii) mostra vermektedir (Foto 2.5). Nardın Kaynağından çıkan sular, kaynak çıkışından yaklaşık 200 – 250 m akış aşağıda travertenleri çökeltmektedir. Bu noktada travertenler içinden geçen su yaklaşık 50 m yüksekliğinde bir şelale oluşturmaktadır. Ayrıca yerel ölçekte Döşkaya Kaynağının çıktığı bölgede de akarsu yatağı boyunca travertenler görülmektedir.



Foto 2.5: Suuçtu Mevkiinde yer alan travertenler (Qt) (Nardin Köyü'nün güneyi)

Alüvyon Sekileri (Qas)

Alüvyon Sekiler (tıraca), Sakarya Nehri vadisinde gözlenmektedir. Çakıl, kumtaşı ve kilaşından oluşmuşlardır. Sekileri oluşturan malzemeler, çevredeki yüzeyleyen kayalardan türemiş olup genellikle gevşek tutturulmuştur.

Yamaç Molozu (Qym) ve Alüvyon (Qa)

Tutturulmamış veya az tutturulmuş, blok ve çakıllar, dağların yamaçlarında veya eteklerinde yer yer birikintiler halinde gözlenmektedir. İnceleme alanının kuzey ve güney sınırları ile Akköy Kireçtaşlarının kuzey sınırında yüzeylemektedir. Alüvyonlar ise, akarsu yataklarında, eski çukurluklar üzerine gelişmiş düz alanlardaki çakıl, kum, çamur çökelleridir.

2.2. Tektonik Yapı

Litolojinin türü, kalınlığı ve yapısal unsurları, karstlaşmanın gelişiminde etkili olan önemli faktörler olmakla birlikte karstlaşma daha çok kimyasal erozyonu sağlayan yeraltısuyu akışını denetleyen enerji gradyanının kaynağına ve karstlaşma derinliğini denetleyen erozyon tabanının türü ve derinliğine bağlıdır. Tektonik hareketler nedeniyle yükselme ve/veya iklim değişikliklerine bağlı olarak meydana gelen deniz seviyesi değişimleri, karstlaşmayı denetleyen enerji gradyanının temel kaynağını oluşturmaktadır. Karstlaşma derinliğini denetleyen erozyon (karstlaşma)

tabanı ise karbonatlı kayaçların altında bulunan geçirimsiz birimler veya karstlaşmayı sağlayan suyun enerjisini yitirdiği deniz, göl ve akarsu seviyeleri belirlemektedir. Bu bağlamda, tektonik rejim ile iklimsel değişimler, karstlaşmayı denetleyen temel süreçler olarak ortaya çıkmaktadır (Ekmekçi, 2003; Ekmekçi, 2005). Dolayısıyla karstlaşmayı etkileyen ana etmenlerin başında gelen tektonik rejimin anlaşılması, çalışılan sistemin yapısının ve özelliklerinin tanımlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Ekmekçi, 2003; Ekmekçi ve Nazik, 2004; Orhan, 2004; Ekmekçi, 2005).

Türkiye, Serravaliyan'da Anadolu plakası ile Arap plakasının Bitlis kenet kuşağı boyunca çarpışmaları ile günümüzde de halen devam etmekte olan yeni bir tektonik rejimin etkisi altına girmiştir. Neotektonik dönem olarak adlandırılan bu yeni rejimden önceki dönemlerdeki tektonizmaya ise paleotektonik dönem denmektedir (Yılmaz ve Şengör, 1981). Neotektonik dönemde Arap plakasının Avrasya plakasıyla çarpışması sonucu Anadolu bloğu batıya doğru kaçış sürecine girmiştir. Şengör vd. (1985) ile Bozkurt (2001), bu süreçte Anadolu plakasında tektonik olarak kendi içinde homojen olan bölgelerini; *Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi*, *Kuzey Anadolu Bölgesi*, *Orta Anadolu "Ova" Bölgesi* ve *Batı Anadolu Gerilme Bölgesi* olmak üzere dört grupta sınıflamışlardır. Türkiye neotektoniğinde etkin olan kuvvetler ve Anadolu plakasındaki tektonik bölgeleri Şekil 2.4'de verilmektedir.



Şekil 2.4: Türkiye'nin neotektonik bölgeleri (Şengör vd., 1985)

HBKS, Şengör vd. (1985) tarafından yapılan sınıflamaya göre *Orta Anadolu Ova Bölgesi*'nin hüküm sürdüğü alanın kuzey batısında yer almaktadır. Bozkurt (2001)'de ova rejiminin hüküm sürdüğü bu bölgenin, Anadolu ve Afrika plakalarının Kıbrıs yayı boyunca çarpışma süreci nedeniyle gerçekleşen K – G ve KKD – GGB yönlerinde bir sıkışmaya maruz kaldığı ve bunun sonucunda bölgede saatin tersi yönünde bir rotasyon oluştuğu belirtilmektedir. Diğer taraftan Ekmekçi ve Nazik (2004) de ise bu bölgenin, Alt Miyosen'den beri neotektonik açıdan zayıf fakat devamlı bir aktif tektonik rejim sergilediği belirtilmektedir. Bu tektonik rejimin, bölgenin sürekli ve yavaş olarak yükselimine neden olduğu, başka bir deyişle Orta Anadolu'nun özellikle Üst Pliyosen'den beri homojen olarak hareket ettiği vurgulanmaktadır.

2.2.1. Çizgisel Unsurlar

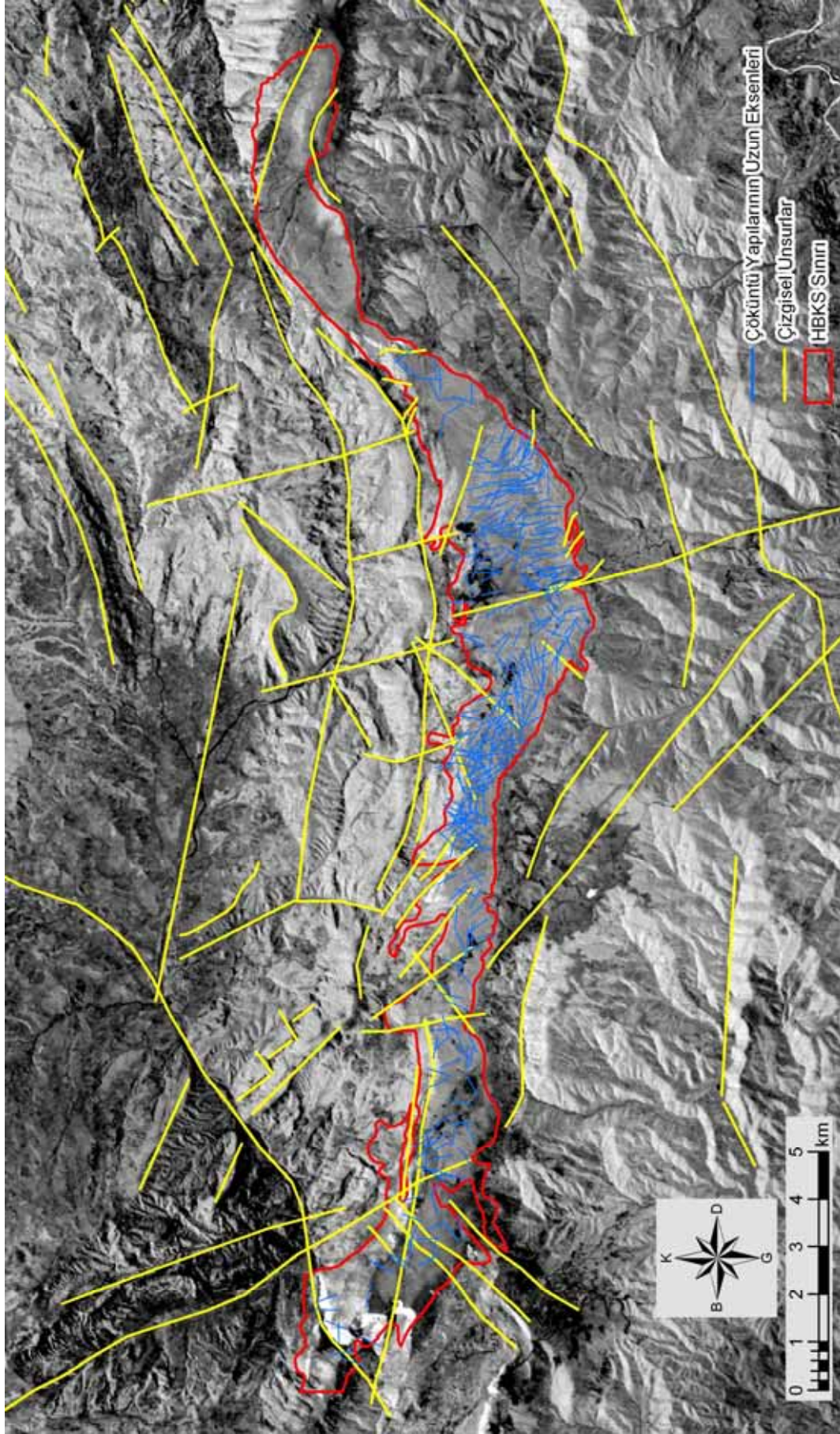
Orta Sakarya Bölgesinde, litostratigrafik özellikleri bir birinden farklı üç ana tektonik birlik ve bu birliklerin otokton ve paraotokton örtüleri yer almaktadır (Göncüoğlu vd., 1996). Gerek bu birliklerin bir araya gelmeleri sırasında, gerekse daha sonraki dönemlerdeki tektonik hareketlerle, bölge morfolojisini etkileyen değişik karakterlerde faylar gelişmiştir. Özellikle Triyas sonunda, Tetis Okyanusu'nun kapanması sırasında, hakim olan K – G doğrultulu sıkışmalar sonucunda D – B, KD – GB ve KB – GD yönlü bindirme fayları, yaklaşık D – B yönlü antiklinal ve senklinaler ile değişik doğrultularda faylar gelişmiştir. Bu bindirme faylarının en belirginini HBKS'nin güneyinde ve Sakarya Nehri'nin geçtiği bölgede yer almaktadır. Ayrıca HBKS'nin kuzeyinde ise D – B yönlü antiklinal ve senklinal aralanmaları bulunmaktadır (Bkz. Şekil 2.1). Bu tektonik yapılar, bölgede paleotektonik dönem boyunca etkin olan K – G yönlü sıkışmanın varlığını işaret etmektedir (Gözler vd., 1996). Nazik vd. (2001)'de HBKS'nin morfolojisini belirleyen ve gelişmelerini günümüzde de devam ettiren D – B, KD – GB ve KB – GD doğrultulu düşey atımlı fayların Miyosen sonrasında oluştukları belirtilmektedir. Ayrıca neotektonik dönem boyunca K – G yönlü gerilmeler neticesinde oluşan bu fayların, Orta Sakarya Bölgesinde çok sayıda mağaranın oluşmasında birinci derecede etken olduğu vurgulanmaktadır.

Faylar, kırık – çatlak sistemleri, antiklinal ve senklinal eksenleri gibi çizgisel unsurlar, karstik sistemlerde beslenme alanlarının, yeraltısuyu olası hareket

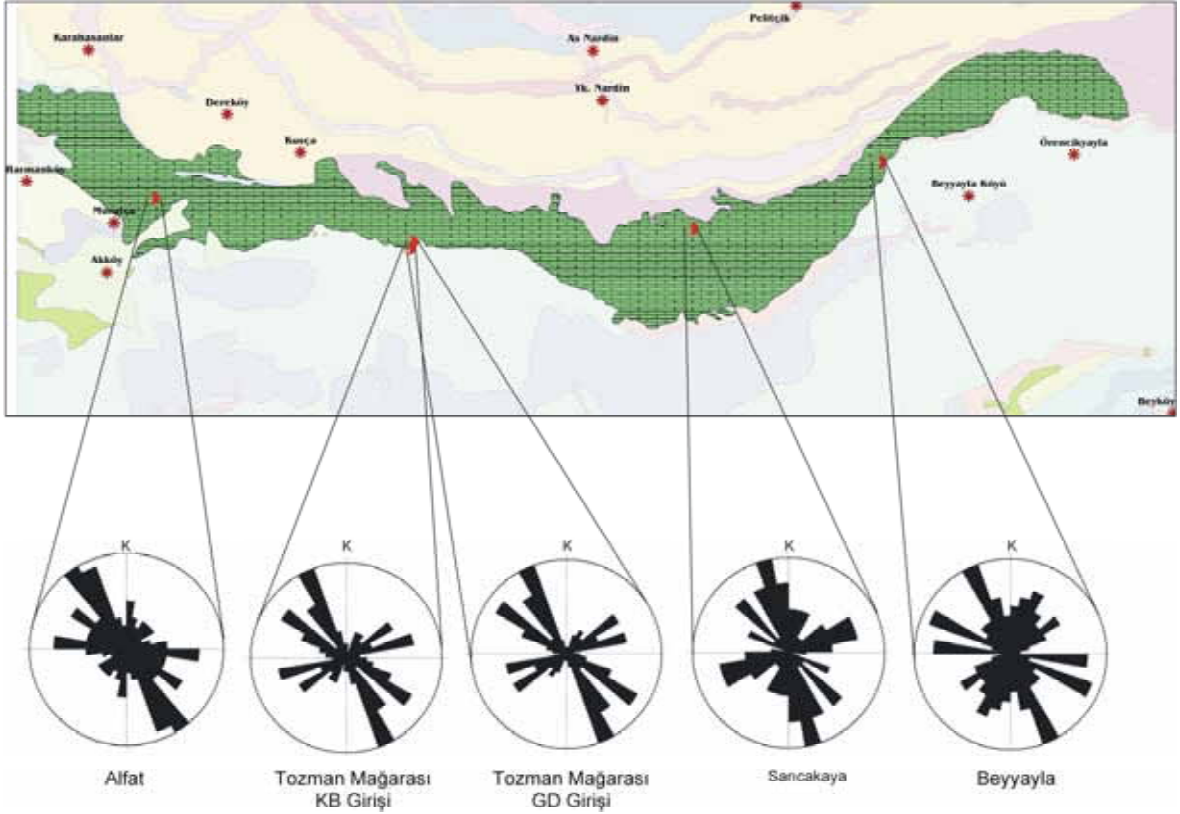
yönünün ve boşalım noktalarının belirlenmesinde öneli bir araçtır (Milanovic, 1981; Kurttaş, 1997; Koyuncu, 2003). Ayrıca, Kurttaş (1997) ve Koyuncu (2003)'da çizgisel unsurların belirlenmesinde, aynı doğrultuya sahip çöküntü yapıları, akarsu yataklarındaki ani yön değişimleri, faylar, antiklinal ve senklinal eksenleri gibi yapısal ve tektonik süreksizlikler, uçurum ve kanyonlar ile bitki örtüsündeki süreksizlikler gibi unsurların belirleyici olduğu belirtilmektedir. Buna ek olarak, karstik ortamların yüzey morfolojisini oluşturan dolin, polye ve uvala gibi çöküntü yapılarının uzun eksenleri ise muhtemel yeraltı drenaj yapısını temsil etmektedir (Worthington, 1999). Başka bir deyişle çöküntü yapıları, enerji gradyanına bağlı olarak kırık – çatlak sistemleri boyunca geliştiği belirtilmektedir. Dolayısıyla, karstlaşmayı etkileyen ana etmenlerin başında gelen tektonizmanın anlaşılması, karstik bölgede neotektonik dönem boyunca hüküm süren tektonik rejimin ve bu rejime bağlı olarak gelişen çizgisel unsurların ortaya konmasını da gerektirmektedir.

Bu bağlamda, HBKS ve yakın dolayındaki çizgisel unsurlar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, karst morfolojisi ve arazi çalışmalarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. HBKS ve yakın dolayındaki çizgisel unsurların belirlenmesi ve sayısallaştırılması öncelikle LANDSAT 7 ETM+ pankromatik görüntüsü ile kontrast ve kenar zenginleştirmeye tabi tutulan LANDSAT 7 TM 7'ci bant görüntüsünün 741 (RGB) kompoziti ve değişik açılardan gölgelendirilmiş rölyef modelleri üzerinde belirlenmiştir. Buna ek olarak çizgisel unsurların belirlenmesinde, hava fotoğraflarından ve çöküntü yapılarından da faydalanılmıştır. Yukarıda yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen çizgisel unsurla arazide belirlenen çizgisel unsurlarla karşılaştırılmış ve uyumlulukları kontrol edilmiştir. HBKS ve yakın dolayındaki çizgisel unsurlar Şekil 2.5'de verilmektedir.

Diğer taraftan, arazi çalışmaları süresince HBKS'ni oluşturan Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarında, kırık – çatlak ölçümleri yapılmış ve doğrultu dağılımları 10° aralıkla incelenmiştir (Şekil 2.6). HBKS'nin doğusunda (Beyyayla) ve batısında (Alfat Gölü) KB – GD ve D – B yönlü kırık – çatlak sistemleri tespit edilirken, Tozman ve Sarıcakaya yaylalarında ise KB – GD ve KD – GB yönlü eklem sistemleri tespit edilmiştir. Bu durum bölgedeki tektonik rejim ile uyum göstermektedir.



Şekil 2.5: HBKS ve yakın dolayına ait çizgisel unsurlar



Şekil 2.6: İnceleme alanı gül diyagramları

2.2.2. Uyumsuzluklar

Orta Sakarya Bölgesinde en önemli uyumsuzluk, Orta Sakarya Temel Karmaşığı ile metamorfik olmayan Mesozoyik örtü arasında yer almaktadır. Göncüoğlu vd. (1996) bu uyumsuzluğu, Kuzey Anadolu'yu etkisi altına almış olan Karakaya Orojeninin kapanması ile ilişkilendirmektedir. HBKS ve yakın dolayında, Orta Sakarya Temel Karmaşığı üzerine belirgin bir aşınma dokanağı ile Mesozoyik yaşlı Bayırköy Formasyonu gelmektedir.

HBKS'ni oluşturan Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşları ile tabanda yer alan Bayırköy Formasyonu arasında paralel uyumsuzluk gözlenirken, üste ise Yenipazar Formasyonunun farklı seviyeleri ile su altı uyumsuzluğu gözlenmektedir (Göncüoğlu vd., 1996).

2.3. Jeolojik Evrim ve Paleocoğrafya

Ekmekçi (2005)'de karstlaşmanın meydana gelebilmesi için karbonatlı kayaçların atmosferle temas halinde olması gerektiği belirtilmektedir. Başka bir deyişle, karstlaşma, karbonatlı kayacın hidrolojik çevrim içinde bulunmasını

gerektirmektedir. Bu durum, karstlaşmanın büyük oranda karasal ve erozyonun hakim olduğu bir fasiyesi tanımlamaktadır. Karbonatlı kayaçların deniz veya göl suları ile örtülmesi sonucunda karstlaşma genellikle kesintiye uğramaktadır. Denizel veya gölssel çökelimler sonucunda düşük geçirgenliğe sahip kırıntılılar altında kalan karbonatlı kayaçların yeniden karstlaşma süreçleri etkisi altında kalmaları, öncelikle yeniden hidrolojik çevrim içinde yer alabilmelerine bağlıdır. Bu süreç ise çoğunlukla uzun jeolojik dönemler gerektirdiğinden, bu tür fasiyes değişimleri karstlaşmanın kesintiye uğramasına neden olmaktadır. Kesintiye uğramış karstik birim, karasallaşma ve erozyon fasiyesine geçme sonucunda yeniden faaliyete geçebilmektedir. Görüldüğü gibi, tektonik evrimin yanı sıra paleocoğrafik gelişim de karstlaşmanın jeolojik dönemler boyunca gelişimini belirleyen bir etken olarak tanımlanabilir. Bu durumda, karstlaşma evrimi ile tektonik evrim ve eşzamanlı paleocoğrafik gelişim arasında belirli bir uyumun söz konusu olabileceği ortaya çıkmaktadır (Ekmekçi, 2003; Ekmekçi, 2005).

Yılmaz ve Şengör (1981) Sakarya Kıtasını, Kuzey Anadolu Fay Zonunun güneyinde yer alan Mudurnu, Nallıhan, Eskişehir, Söğüt, Bilecik ve Geyve yerleşim birimleri arasında kalan bölge olarak tanımlamışlardır. Orta Sakarya Bölgesinde temelde, volkanik yay kompleksini temsil eden Paleozoyik yaşlı Söğüt Metamorfikleri ve bunları kesen Sarıcakaya Granitoidi yer almaktadır (Göncüoğlu vd., 1996). Yılmaz vd. (1981)'e göre, bölgede çoğunlukla metamorfik ve granitik temel tarafından tabanlanan Mesozoyik istif, ana hatları ile Jura yaşlı sıg denizel karbonatlar, Alt Kretase'de bunu izleyen daha derin denizel kireçtaşları ve Üst Kretase'de ise fliş ile temsil edilmektedir.

Alt Jura

Bölgede, metamorfik ve granitik temelin üzerine çökelmiş Mesozoyik – Tersiyer bir istif gözlenmektedir. Sakarya Kıtasına yapısal iskeletini kazandıran jeolojik olaylar, bu temel üzerinde, Üst Kretase'den Oligosen'e kadar devam eden, bölge çapında gelişmiş Alt Jura yaşlı bir transgresyonla başlamaktadır (Yılmaz vd., 1981). Paleozoyik sonrası çökel istifin tabanını, paleotopoğrafik çukur alanları dolduran metamorfik ve granitik temelden türeme kırıntılı malzemeden oluşan Bayırköy Formasyonu oluşturmaktadır (Saner, 1980, Yılmaz ve Şengör, 1981). Bayırköy Formasyonuna ait kırıntılı malzemelerde gözlenen sparit çimento, oksitleşme ve

taşınmaya karşı duyarsız feldispatlar, bu formasyonun kırıntılı malzemenin kaynağına yakın sığ denizel ortamda çökeldiğini göstermektedir (Göncüoğlu vd., 1996).

Orta Jura – Alt Kretase

Transgresyonun devam ettiği Orta Sakarya Bölgesinde, Jura – Alt Kretase’de sığ bir karbonat platformu gelişmiş ve Bilecik Kireçtaşları geniş bir alanda çökelmiştir. Bayırköy Formasyonu’nun çökelemediği engebeli yükseltilerde de metamorfik ve granitik temelin hemen üzerine Bilecik Kireçtaşları çökelmiştir. Sığ bentonik fauna, corall ve alg gibi fosiller içeren ve biyomikrit, oomikrit, pelmikrit ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Bilecik Kireçtaşları sığ resif ve resif gerisini temsil eden şelf bölgesinde çökelmiştir (Şentürk ve Karaköse, 1979; Saner, 1980; Göncüoğlu vd., 1996). Jura’da gelişen karbonat platformu, Alt Kretase’de bölgenin giderek çökmesi ve derin denizel bir ortamın oluşmasıyla da çökeline devam etmiş ve bu dönemde Soğukçam Kireçtaşları çökelmiştir. Göncüoğlu vd. (1996)’ne göre Soğukçam Kireçtaşları, derin deniz ortamda duraylı koşulların hakim olduğu alanlarda çökeldiği belirtilmektedir.

Üst Kretase

Alt Kretase’yi izleyen evrede, Sakarya Kıtasının hemen her kesimi daha derin denizel çökellerle örtülmüş olup şeyl ve türbiditik kumtaşlı fliş tipi çökeller bölgeye egemen olmuştur (Yılmaz vd., 1981). Bölgedeki fliş istif, Jura’dan başlayan transgresyonun giderek derinleşmesinin ürünü olup Kampaniyen’e kadar kesintisiz devam etmiştir. Kampaniyen’de önemli bir rejim değişikliği olmuş ve çökeltme ortamına değişik boyda ofiyolitik kayaçlar gelmeye başlamıştır. Yılmaz ve Şengör (1981)’e göre Kampaniyen’de meydana gelen rejim değişikliği, Üst Kretase’de Sakarya Kıtası ile Pontid Kıtası arasında kalan Neotetis Okyanusu’nun kuzey kolunun Pontid Kıtası’nın altına dalmaya başlamasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu olaya sonucunda bölgede, yüksek basınç metamorfizmasının ürünü olan ofiyolit, metaofiyolit ve mavi şistler oluşmuştur. Bu birimleri, bazı bölgelerde Maesthiyen yaşlı sığ denizel kumtaşı (Altınlı, 1973b; Saner, 1977) izlerken bazı bölgelerde ise sığ denizel karbonat çökelleri (Eroskay, 1965) izlemektedir. Denizin Kampaniyen’de başlayıp bu denli sığlaşmasını gösteren çökel dizisi regresif bir

istifin kesintisiz olarak gelişmeye başladığını işaret etmektedir. Denizin sığlaşması nedeni ile Üst Kretase sonundan itibaren bölgede denizel çökelimin yerini karasal birimler almaya başlamıştır (Yılmaz vd., 1981). Üst Kretase sonlarında, bölgenin güney kısmı karasal hale gelmiş ve alüvyon çökelişi başlamıştır (Saner, 1980; Yılmaz ve Şengör, 1981).

Paleosen – Eosen

Bölgede, Üst Kretase sonlarında başlayan hızlı yükselimin neden olduğu regresyon ile çökme dönemi Paleosen’de sona ermiş olup karasal çökellere geçiş (Kızılçay Formasyonu) dereceli fakat hızlı olmuştur. Örneğin Sakarya Kıtasının güney kenar çökel istifinde flişin yerini önce sığ denizel birimler (Taraklı Üyesi) daha sonra da karasal çökeller (Kızılçay Formasyonu) almıştır (Saner, 1977). Bu hızlı değişime büyük olasılıkla Sakarya kıtası ile Pontidlerin birbirlerine yaklaşmaları sonucu kuzeyden yaklaşan ofiyolit dilimlerinin bölgede geliştirdiği hızlı yükselimi neden olmuştur (Saner, 1980; Yılmaz ve Şengör, 1981). Yılmaz (1981)’a göre, Maestrihtiyen – Alt Eosen arası dönemde bu istifin ve platformun üzerine ofiyolit dilimleri yerleşmiştir. Sakarya Nehri’nin kuzeyinde kalan bölgede Üst Kretase sonunda gözlenen karasal ortam, daha kuzeyde ise Paleosen’de gözlenmektedir (Saner, 1977; Gözübol, 1978). Bu bulgu, kabuksal yükselimin güneyde başlayıp kuzeye doğru geliştiğini buna bağlı olarak da regresyonun kuzeye ilerlediğini kanıtlamaktadır (Yılmaz, 1981). Üst Kretase’den sonra Paleosen boyunca da regresyon devam etmiş ancak deniz tamamen yok olmamıştır. Çalışma alanının kuzeyinde denizel birimlerin çökelişi devam etmiştir (Saner, 1980). Regresyon ancak Eosen başlarında bitmiş ve transgresyonun başlamasıyla sahil çizgisi tekrar güneye doğru ilerlemiştir. Eosen denizinin güneyde nereye kadar ilerlediği bugünkü mostralara aşınmış olması nedeniyle bilinmemektedir.

Oligosen – Kuvaterner

Eosen’den daha genç yaştaki denizel birimlere ait yüzeylerin aşınmış olmasından dolayı bundan sonraki çökme gelişiminin yorumlanması güçtür. Sadece bölgedeki gölsel Neojen çökelişine bakarak Neojen ile Eosen arasında olası Oligosende başka bir regresyon dönemiyle denizin çekildiği ve günümüze kadar

da kara halinde bulunduğu anlaşılmaktadır (Saner, 1980). Neojen’de kara halinde bulunan bölgedeki tektonik çöküntü alanlarında bazı göller gelişmiştir (Saner, 1980). HBKS’ni oluşturan Bilecik Kireçtaşları, bölgenin Oligosen’den sonra karasal hale geçmesi ve aşınma fasiyesinin etkili olmasına bağılı olarak karstlaşmaya başlamıştır. Kuvaterner boyunca Sakarya Nehri’nin gömülmesi nedeniyle bölgenin morfolojisi tamamen değişmiş ve çalışma alanının özellikle güney bölümü oldukça aşınmıştır.

2.4. Sınır Koşulları

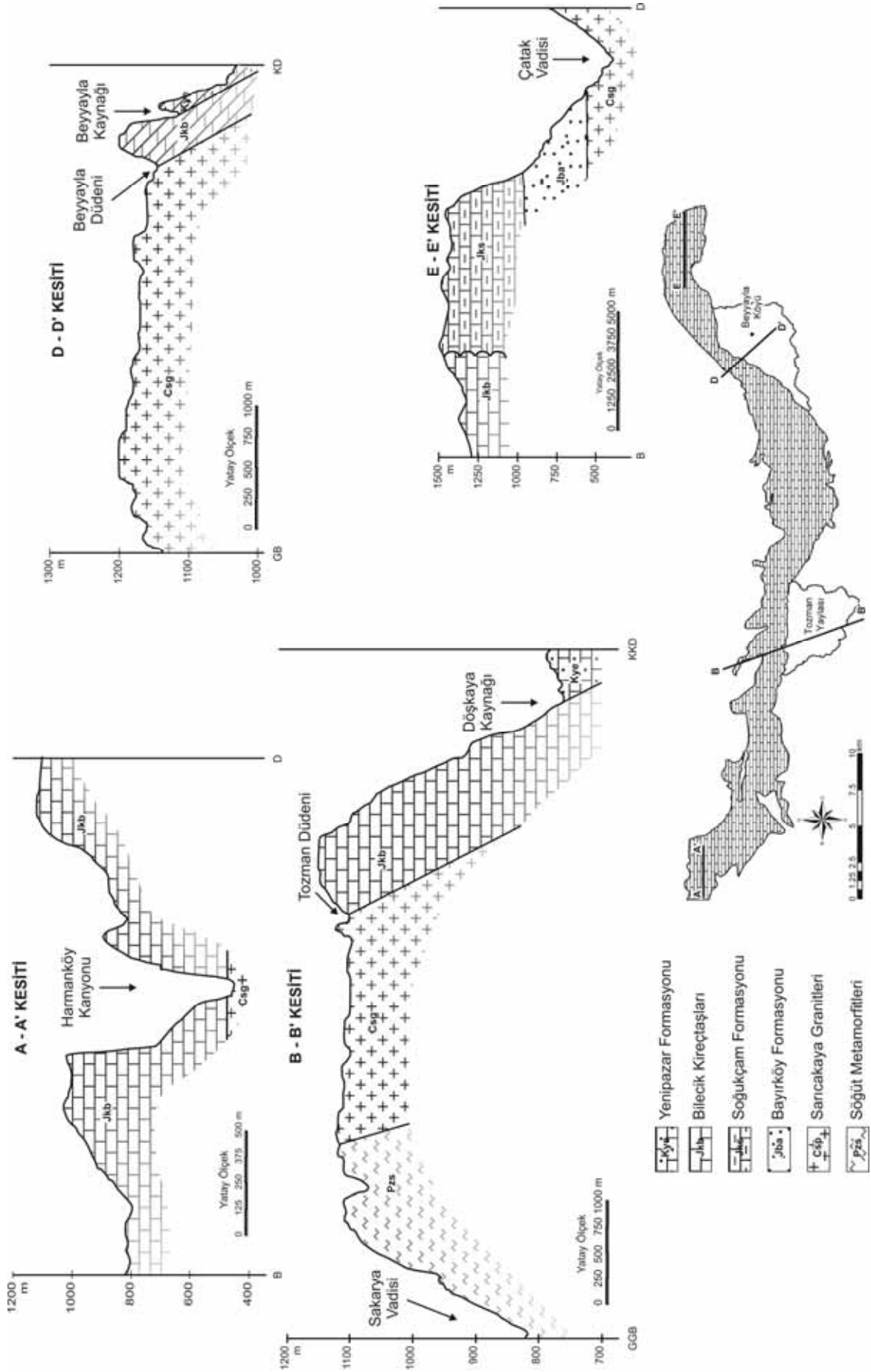
2.4.1. Jeolojik Kesitler

HBKS, önceleri bir bütün halinde bulunan ileri derecede karstlaşmış Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarının, Miyosen sonrası Sakarya nehrinin yatağına gömülmesi ve buna bağılı olarak drenaj yapısının ve enerji gradyanının değişmesi ile tektonizma ve iklimsel değişimler sonucunda ayrılmış olan parçalarından biridir. Bugün, bölgede en yüksek noktada plato şeklinde bulunan inceleme alanı, doğuda Çatak Deresi, batıda Harmanköy Boğazı, kuzey ve güneyde ise sırasıyla Yenipazar Deresi ve Sakarya Nehrine bağılı gelişen yüksek uçurumlar ile sınırlanmaktadır. Sistemin tabanının da ise inceleme alanının doğusunda ve batısında Paleozoyik yaşlı Sarıcakaya Granitoyidi, orta kesiminde ise Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu yer almaktadır (Şekil 2.7, Bkz. Şekil 2.1 ve 2.2).

2.4.2. Jeofizik Çalışmaları

HBKS’nin kalınlığının belirlenmesine yönelik Temmuz 2003 tarihinde yapılan arazi çalışması kapsamında jeofizik çalışmaları yapılmıştır (Foto 2.6). Jeofizik çalışmalarında: H. Ü. Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) bünyesinde bulunan ABEM TERRAMETER SAS 300B marka jeofizik aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu alet ile inceleme alanında yüzeylenen birimlerin kalınlıklarının belirlenmesine yönelik Schlumberger Elektrot Dizilimi yöntemi uygulanmış ve birimlerin rezistivite değerleri belirlenmiştir.

İnceleme alanının engebeli bir topografyaya ve yoğun bitki örtüsüne sahip olmasından dolayı bölgede yüzeylenen kireçtaşları üzerinde 5 ve granitler üzerinde ise 1 noktada jeofizik çalışması yapılabilmektedir.

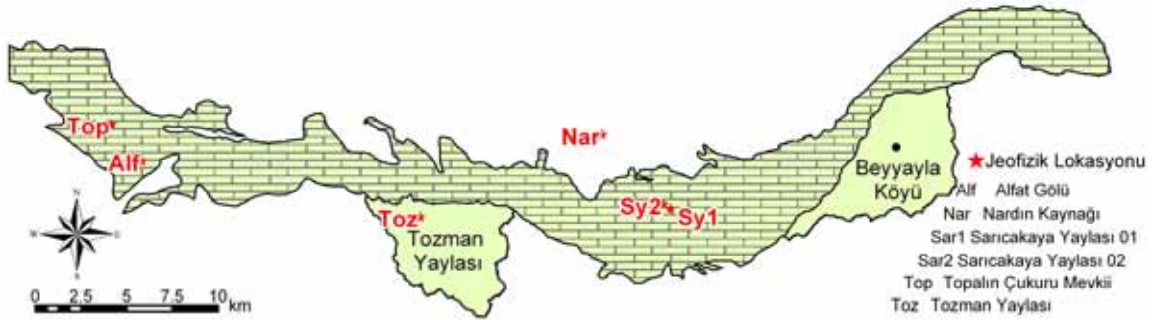


Şekil 2.7: İnceleme alanının sınırlarına ait jeolojik kesitleri



Foto 2.6: Sarıcakaya Yaylasında yapılan jeofizik çalışmasına ait fotoğraflar

Jura yaşlı Bilecik kireçtaşlarının kalınlıklarının belirlenmesine yönelik Sarıcakaya Yaylası (2), Nardin Kaynağı, Alfat Gölü ve Topalın Çukuru Mevkiinde yapılan jeofizik çalışmaları lokasyon haritası Şekil 2.8'de verilmiştir. Tozman düdeni yakınlarında yapılan jeofizik çalışmasında ise kireçtaşları altında yüzeylenen granitlerin rezistivite değerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Rezistivite çalışması sonuçları, WinSev 6 (Jenny et. all., 2002) ve IPES 5.0 (Başokur, 1984) bilgisayar programları kullanılarak değerlendirilmiştir. Birimlere ait hesaplanan rezistivite ve kalınlık sonuçları Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.8: HBKS Jeofizik çalışması lokasyon haritası

Genellikle her iki yöntem ile yapılan değerlendirmeler birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir. Sarıcakaya yaylasında Özer Mermer Ocağı yakınlarında yapılan jeofizik çalışması (SY1) sonucunda, yüzeyden itibaren yaklaşık 20 m'lik bir killi birim geçildikten sonra Jura yaşlı kireçtaşlarına ulaşılmaktadır. Bu seviyenin altında ise yaklaşık 100 m'lik karstik kireçtaşı geçildikten sonra kırıklı – çatlaklı

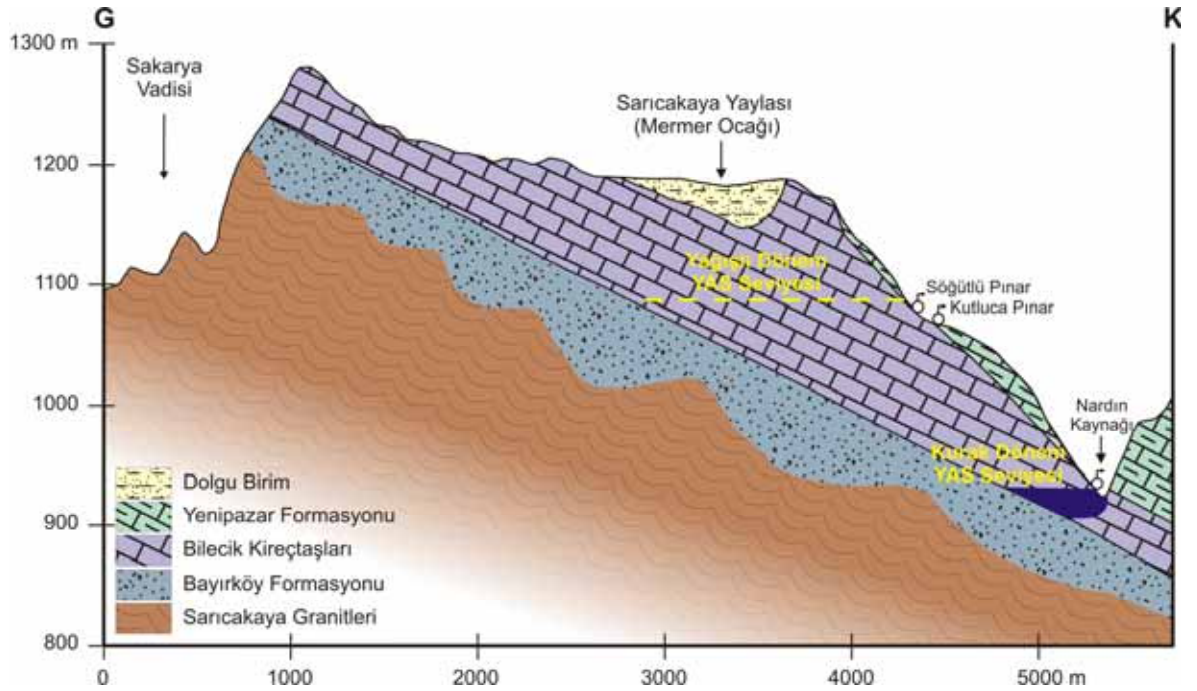
kireçtaşlarına ulaşılmıştır. Paleopolye tabanı niteliğindeki bir alanda yer alan SY2 nolu noktada ise 7.5 m'lik killi birimden sonra karstik kireçtaşlarına geçildiği görülmektedir. Nardın kaynağı yakınlarında yapılan çalışma sonucunda 3,5 m'lik yüzey örtüsünden sonra yaklaşık 60 m'lik karstik kireçtaşına ulaşılmıştır.

Çizelge2.1: Jeofizik çalışmaları sonuçları

Sarıcakaya Yaylası 1 (SY1)									
WinSev	ρ	Ωm	6.5	7.8	15.0	60.0	56.0	76.0	2720.0
	Kalınlık	m	2.6	2.4	3.5	11.5	48.0	51.0	?
	Derinlik	m		2.6	5.0	8.5	20.0	68.0	119.0
İpes	ρ	Ωm	14.0	6.1	217.0	2352.0			
	Kalınlık	m	0.5	6.0	109.5	?			
	Derinlik	m		0.5	6.5	116.0			
Sarıcakaya Yaylası 2 (SY1)									
WinSev	ρ	Ωm	9.3	11.0	15.0	64.0	?		
	Kalınlık	m	11.0	11.0	5.4	9.6	?		
	Derinlik	m		11.0	22.0	27.4	37.0		
İpes	ρ	Ωm	7.4	20.0	3.6	62.0			
	Kalınlık	m	2.5	5.2	7.4	?			
	Derinlik	m		2.5	7.6	15.0			
Nardın Kaynağı (Nar)									
WinSev	ρ	Ωm	115.0	22.0	1506.0				
	Kalınlık	m	3.1	29.9	?				
	Derinlik	m		3.1	33.0				
İpes	ρ	Ωm	113.0	21.0	174.0	1650.0			
	Kalınlık	m	3.4	20.6	39.0	?			
	Derinlik	m		3.4	24.0	63.0			
Topalın Çukuru Mevkii (Top)									
WinSev	ρ	Ωm	7.1	16.0	2252.0				
	Kalınlık	m	5.0	2.3	?				
	Derinlik	m		5.0	7.3				
İpes	ρ	Ωm	11.0	7.2	2.6	2864.0			
	Kalınlık	m	0.2	2.5	1.3	?			
	Derinlik	m		0.2	2.7	4.0			
Alfat Gölü (Alf)									
WinSev	ρ	Ωm	6.9	1318.0					
	Kalınlık	m	7.4	?					
	Derinlik	m		7.4					
İpes	ρ	Ωm	160.0	6.5	1592.0				
	Kalınlık	m	0.2	7.4	?				
	Derinlik	m		0.2	7.6				
Tozman Yaylası (Toz)									
WinSev	ρ	Ωm	68.0	258.0					
	Kalınlık	m	4.6	?					
	Derinlik	m		4.6					
İpes	ρ	Ωm	1749.0	60.0	244.0				
	Kalınlık	m	0.3	3.4	?				
	Derinlik	m		0.3	3.7				

Bu noktadan sonra ise kırıklı – çatlaklı kireçtaşları yer almaktadır. Ayrıca bu noktada yapılan çalışma sonucunda 60 m kalınlığındaki karstik kireçtaşının yeraltısuyu içerdığı belirlenmesine rağmen, bu dönemde Nardın kaynağının kuru olduğu gözlenmiştir. Başka bir deyişle Nardın kaynağı boşalım noktasının altında yaklaşık 60 m kalınlığında statik rezervden söz etmek olasıdır. Topalın Çukuru Mevkiinde ve Alfat Gölünde yapılan jeofizik çalışmalarında ise yaklaşık 7,5 m'lik bir dolgundan sonra kireçtaşlarına ulaşılmaktadır. Yapılan jeofizik çalışmalarında kireçtaşlarının toplam kalınlığının belirlenememe nedeni ise topografyanın engebeli ve alanın yoğun bitki örtüsü ile kaplı olmasından kaynaklanmaktadır. Schlumberger Elektrot Dizilimi yönteminin uygulanabilmesi, açılım alanının düz olmasını gerektirmektedir.

Jeofizik çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular sonucunda, Sarıcakaya Yaylası ile Nardın kaynağı arasındaki jeolojik kesit oluşturulmuştur (Şekil 2.9). İnceleme alanında yapılan arazi gözlemlerinde, Nardın kaynağının Nisan ve Temmuz 2003 dönemleri arasında sistemin boşalmasını gerçekleştirirken Temmuz 2003 tarihinden itibaren kuruduğu gözlenmiştir. Fakat yapılan jeofizik çalışmaları sonucunda, Nardın kaynağı boşalım noktası altında 60 m kalınlığında statik rezerv belirlenmiştir.



Şekil 2.9: Sarıcakaya Yaylası – Nardın Kaynağı topografik kesiti

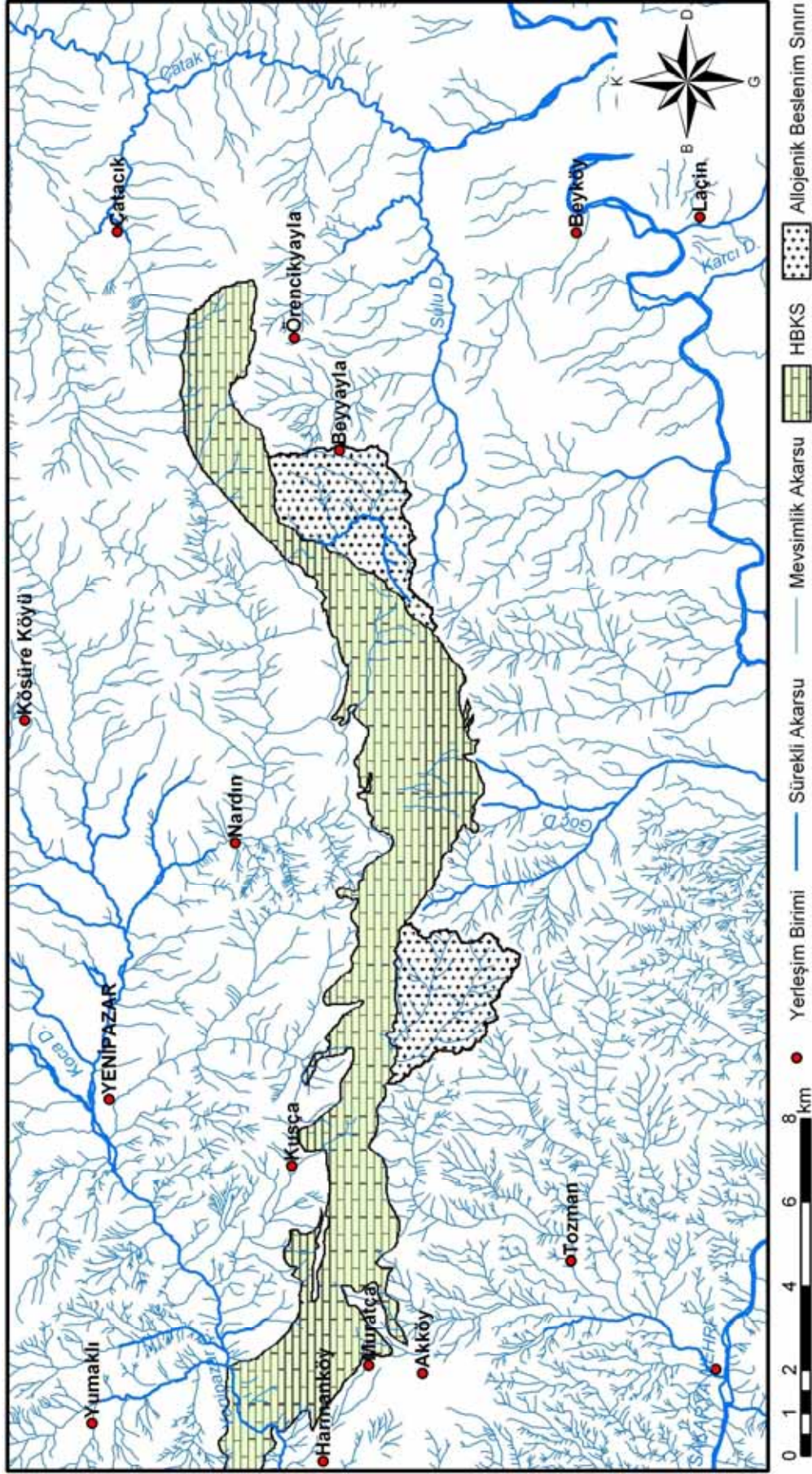
3. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER

Sakarya Nehri'nin kuzeyinde kalan inceleme alanı, kuzey – güney yönlü akarsuların oluşturduğu derin kanyon veya boğazlarla (Harmanköy ve Çatak kanyonu) yarılmış plato karakteri sergilemektedir. İnceleme alanının jeomorfolojik yapısı, tektonizma, enerji gradyanı, iklimsel değişimler ve fluvial faaliyetlere sonucu Miyosen'den günümüze kadar kesintisiz süren karstlaşmaya bağlı olarak gelişmiştir (Nazik vd., 2001; Ekmekçi, 2003).

3.1. Drenaj Ağı ve Fluvial Özellikler

İnceleme alanındaki drenaj ağı, büyük ölçüde Miyosen sonrasında kurulmuştur (Ekmekçi ve Nazik, 2004). Bu dönemde Neojen havzalarına bağlı olarak gelişen doğu – batı, kuzeydoğu – güneybatı ve kuzeybatı – güneydoğu yönlü paleo vadiler; Sakarya Nehri ve onun kuzey – güney uzanımlı genç kolları tarafından kapılarak yön değiştirmişler veya askıda kalarak kuru vadi, polye ve uvalalara dönüşmüşlerdir (Nazik vd., 2001). İnceleme alanında Kuvaterner döneminde Sakarya Nehri'nin gömülmesine bağlı olarak Miyosen sonrası drenaj ağının büyük oranda yeniden işlendiği gözlenmektedir. HBKS ve yakın dolayına ait akarsu ağlarına ait harita Şekil 3.1'de verilmektedir.

HBKS, genelde 1000 – 1200 m'ler arasında yer alan düz bir plato şeklindedir. Kuzeye doğru hafif eğimli bir topografyaya sahip olan sistem, bölgede en yüksek kesimini oluşturmaktadır. Söz konusu alan bölgedeki en yüksek kota sahip olduğu için Sakarya Nehri ve Yenipazar Deresi arasında su bölüm hattını oluşturmaktadır. HBKS'nin güney bölümü Sakarya Nehri'nin kolları tarafından drene edilirken kuzey bölümü ise Yenipazar Dere'sinin drenaj alanı içinde kalmaktadır. Yenipazar Deresi, aynı zamanda HBKS'nin batı sınırını oluşturan Harmanköy Boğazı'nı kat ederek Sakarya Nehri ile birleşmektedir. Ayrıca inceleme alanı üzerinde sürekli bir akarsu bulunmamaktadır. Buna ek olarak inceleme alanının güneyinde Harmanköy ve Tozman yaylalarında yüzeyleyen granitleri drene eden mevsimsel akarsular bulunmaktadır. Sakarya Nehri ve kollarının derinleşmesine bağlı olarak inceleme alanının batı ve doğu sınırını oluşturan sırasıyla Harmanköy ve Çatak kanyon ve vadileri oluşmuştur. Buna bağlı olarak mevcut dolin, uvala ve polyeler de dış drenaja açılarak flüvyo – karstik depresyonlar haline dönüşmüşler veya asılı kalarak parçalanmışlardır.



Şekil 3.1: HBKS ve yakın dolayının akarsu ağıları

3.2. Aşınım Yüzeyleri

İnceleme alanındaki aşınım düzeyleri Nazik vd. (2001) ve Tuncer (2004)'e bağlı kalınarak açıklanmıştır. Araştırmacılar tarafından HBKS ve yakın dolayında, Alt – Orta Miyosen ve Üst Miyosen olmak üzere iki adet aşınma yüzeyi ayırt edilmiştir (Şekil 3.2).

Alt – Orta Miyosen (D I)

İnceleme alanında, topografyanın en üst kesimlerini Miyosen Anadolu Penepleni'ne ait parçalar oluşturmaktadır. Söz konusu Peneplen bölgede 450 – 1500 m kotları arasında yer almaktadır (Tuncer, 2004). Bu Peneplenin üst kesimlerine karşılık gelen Alt – Orta Miyosen aşınma yüzeyleri, inceleme alanının doğusunda Balpınar, Dededoruğu, Karlık ve Güvemlik Tepeleri civarında (1370 – 1500 m) yaklaşık 1.8 km²'lik bir alanda gözlenmektedir (Şekil 3.2).

Üst Miyosen (D II)

Üst Miyosen aşınma yüzeyi, inceleme alanının genel jeomorfolojik yapısını oluşturmaktadır. Tuncer (2004)'de, söz konusu aşınma yüzeyinin Alt – Orta Miyosen aşınma yüzeylerinin etrafında, doğudan batıya doğru 1250 m ile 450 m'ler arasında değişen eğime sahip olduğu ve doğu – batı yönünde geliştiği belirtmektedir. HBKS'nin büyük bir kısmını oluşturan Üst Miyosen aşınma yüzeyi inceleme alanının batısında Harmanköy Boğazında başlamakta ve Beyyayla köyünün doğusuna kadar uzanan alanda ve buna ek olarak, Beyyayla ve Tozman yaylalarında yüzeylenen granitler de söz konusu aşınma yüzeylerini oluşturmaktadır. İnceleme alanında Üst Miyosen aşınma yüzeyi yaklaşık 64.3 km²'lik bir alanda gözlenmektedir (Şekil 3.2 ve Foto 3.1). Bu yüzeyler, Sakarya Nehri ve yan kolları tarafından epijenik bir şekilde yarılmışlardır (Harmanköy Boğazı). Neotektonik dönemde gelişen düşey atımlı faylar, Miyosen yüzeylerin farklı yükselti ve değişik yönlerde eğim kazanmasına neden olmuştur. Genel olarak faylar ve akarsularca parçalanarak jeomorfolojik yükselmeye uğrayan bölgelerdeki Miyosen yüzeyleri, plato karakteri almışlardır. HBKS üzerinde gelişen platolarda (Sarıcakaya, Tozman ve Beyyayla Platosu) yoğun bir karst gelişmiştir. (Tuncer, 2004; Nazik vd., 2001).

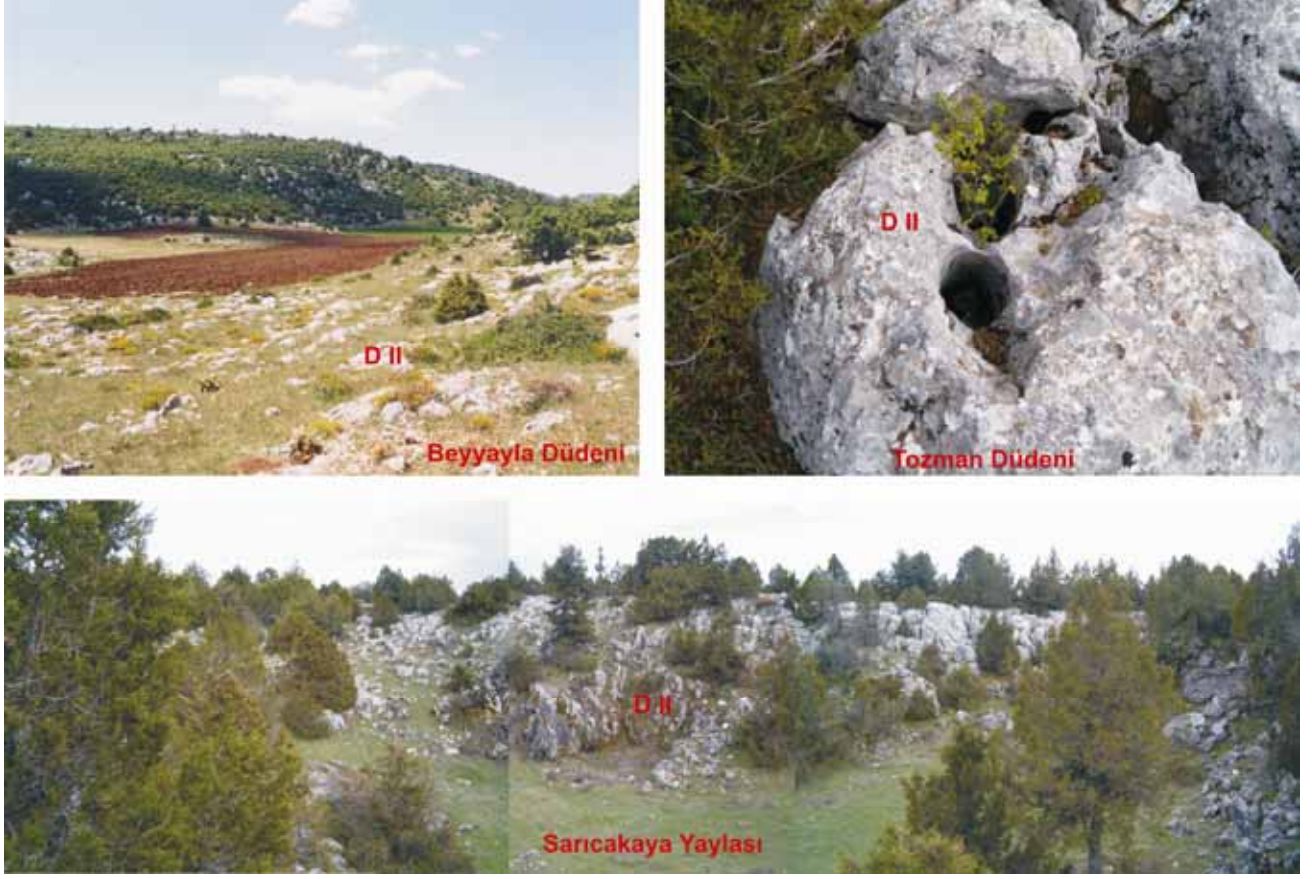
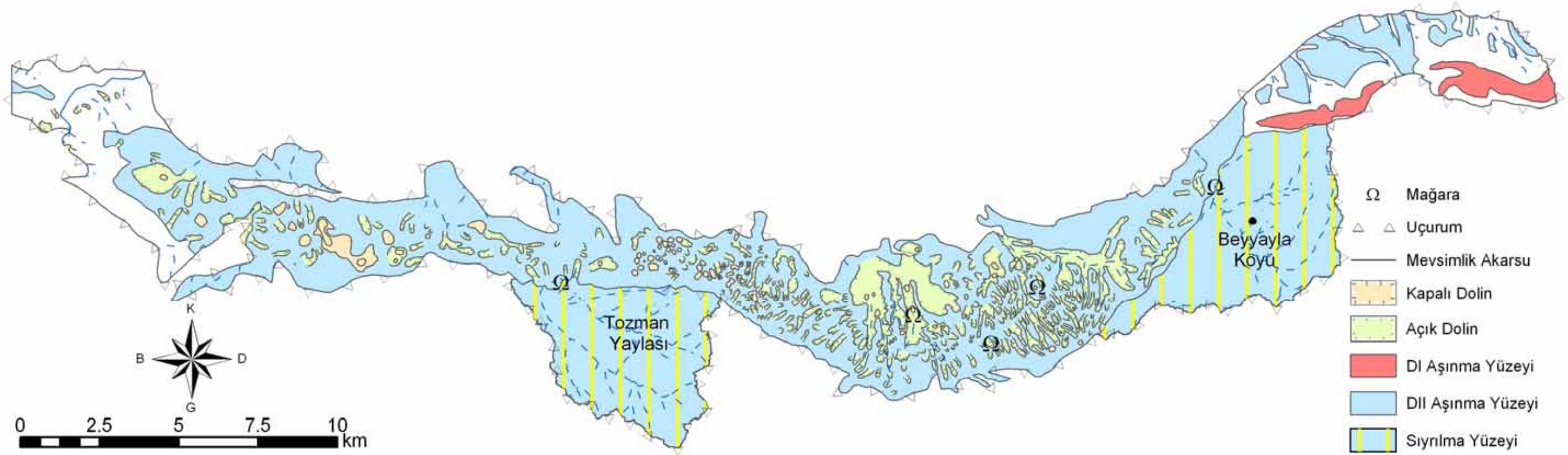


Foto 3.1: HBKS ve yakın dolayında gözlenen aşınma yüzeyleri

3.3. Karstik Yapılar

İnceleme alanının karstik yapısı genel olarak Ekmekçi (2003)'ye bağlı alınarak açıklanmıştır. Ekmekçi (2003)'de Ülkemiz de karstlaşmayı kontrol eden beş ana faktör olduğunu belirtilmektedir. Bunlar; karbonat kayacının litolojisi, kalınlığı, etkisi altında kaldığı tektonik rejim, enerji gradyanı ve erozyon tabanıdır. Bu faktörleri göz önüne alan yazar, Türkiye’de karstlaşmanın genel anlamda iki grup altında toplanabileceğini ileri sürmektedir. Bunlardan ilki karstlaşmaya başladığından beri hiç kesintiye uğramadan karstlaşan evrimsel (evolutionary) karst, diğeri ise kesintiye uğrayarak karstlaşan ancak daha sonra yeniden gençleşen/faaliyete geçen (reactivated) karst’tır. Ekmekçi (2003), Türkiye’yi karstlaşmanın kendi içinde benzer olduğu 13 adet karst bölgesine ayırmıştır. Yapılan inceleme kapsamında çalışılan bölge bu sınıflamaya göre “Orta Anadolu Bölgesi – Evrimsel Karstı” içine girmektedir. Evrimsel karst, genç – aktif karsttan parçalanmış – kalıntı karsta kadar geniş aralıkta karst türlerini kapsamaktadır.



Şekil 3.2: HBKS'nin jeomorfoloji haritası (Tuncer, 2004'den düzeltilerek alınmıştır).

Orta Anadolu Bölgesi – Evrimsel Karstı'nın özellikleri, Ekmekçi (2003)'de aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- ✓ Bu bölgede yüzeyleyen karbonatlı kayaçların kalınlıkları, Erken Miyosen'den beri süre gelen sürekli yükselim ve erozyon süreçleri sonucunda çok fazla değildir,
- ✓ Bölgede sürekli fakat zayıf bir tektonik rejim hüküm sürmektedir,
- ✓ Sürekli yükselim ve buna bağlı olarak büyük nehirlerin bölgeye yerleşmesi enerji gradyanına birinci derecede kontrol ederken, Kara Deniz'in seviye değişimleri ise ikinci derecede kontrol etmektedir,
- ✓ Erozyon tabanını, karbonatlı kayaçların altında yer alan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı geçirimsiz birimler oluşturmaktadır,
- ✓ Bölgede, Miyosen'den günümüze kadar kesintiye uğramadan yatay ve dikey yönde karstlaşan karbonatlı kayaçlar genellikle faylar ve akarsular tarafından parçalanmıştır.

3.3.1. Yüzey Yapıları

3.3.1.1. Çözünme Yapıları

İnceleme alanında gözlenen erime yapıları karen ve kamenitzalardan oluşmaktadır. Karen, kireçtaşı yüzeyinin su ile teması sonucunda meydana gelen yuvarlak veya köşeli ark şeklindeki erime yapılarıdır. Literatürde lapyra olarak da adlandırılan bu tür yapılar, birkaç mm'den birkaç m'ye kadar değişen boyutlarda gelişebilmektedir. Kamenitza ise yatay veya yataya yakın kireçtaşı yüzeyinde meydana gelen yuvarlak veya oval erime tabanı veya tavaya benzer bir yapı sergilemektedir (Ford and Williams, 1989; Bögli, 1980; Sweeting, 1973).

HBKS'nin yoğun bitki örtüsü (meşe ve ardıç) ile kaplı olması ve bitki örtüsünün çözünme artığı olan toprağı (terra rossa) tutmasından dolayı bölgede örtülü/toprak altı karenler gözlenmektedir (Foto 3.2). Bu tür yapılar genellikle toprak örtüsü ile dolu olan dolinlerin çevresinde açığa çıkan hafif eğimli kireçtaşı blokları, kapılmış dolinlerin çevresi, mermer ocakları ve tarım yapılan alanların sürülmesi sırasında ortaya çıkan büyük kireçtaşı blokları üzerinde gözlenmektedir (Foto 3.2).



Beyyayla Düdeninin KB'da yer alan erime artığı toprak ve açığa çıkmış karenler



Akköy'ün kuzeyinde açığa çıkmış toprak altı karen



Sarıcakaya Yaylasında karen



Sarıcakaya Yaylasında karen



Tozman Yaylasında karen

Foto 3.2: İnceleme alanında gözlenen çözünme yapıları

Yüzeyde gözlenen karenlerin genişliği birkaç cm ile 1 – 1.5 m arasında değişirken derinlikleri ise metre mertebesine ulaşabilmektedir. Söz konusu yapıların toprağa gömülü olmasından dolayı uzunlukları hakkında kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Ayrıca, toprak altında oluşup üzerindeki toprak örtüsünün sıyrılmasıyla ortaya çıkan karenler ile birlikte yatay veya yataya yakın kireçtaşı yüzeylerinde biriken durgun suların eritmesiyle oluşan kamenitzalar gözlenmektedir (Foto 3.2).

3.3.1.2. Düdenler ve Dolinler

Karstik ortamların diğer ortamlardan ayırt edilmesinde önem arz eden yüzey yapılarından biri olan dolinler, genellikle çanak şeklinde ve kapalı çöküntülerdir. Dolinlerin çapları 10 – 1000 m ve derinlikleri ise 2 – 100 m arasında değişmektedir. Düdenler ise derinlikleri çaplarından çok daha büyük olup yüzey sularının karstik kanallara ulaşmasını sağlamaktadır (Ford and Williams, 1989, White, 1988, Milanovic, 1981, Bögli, 1980 ve Sweeting, 1973). Karstik yapıların geometrik sınıflamasına göre; çöküntü yapılarının uzun (l) ve kısa (w) eksenlerinin oranı yaklaşık 1 ($l/w \cong 1$) ve kısa eksenin derinliğe oranının ($w/d \geq 1$) ise 1'den büyük olması halinde dolin, 1'den ($w/d < 1$) çok küçük olması halinde ise düden olduğu belirtilmektedir (White, 1988). Kireçtaşları üzerinde bulunan kırık – çatlakların ve fayların makaslama zonlarından itibaren oluşmaya başlayan düdenler ve dolinler, genellikle yeraltındaki karstik kanalların ve mağara sistemlerinin üzerinde yer almaktadır (Milanovic, 1981). Oluşum mekanizmalarına göre ise dolinler; çözünme (solution), alüviyal (alluvial), oturma (subsidence) ve çökme (collapse) dolin olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Çözünme dolinleri, toprak altındaki kireçtaşının makaslama zonlarından itibaren çözünmesi ve genişlemesi şeklinde oluşmaktadır. Alüviyal dolinler ise çözünme dolinlerine benzer olarak gelişirken, üsteki toprak ve çözünme artığı malzeme erozyon ve fluvial süreçler ile taşınmaktadır. Toprak altında çözünen kireçtaşı üzerinde yer alan toprak, çözünme artığı malzeme ve kireçtaşı ağırlığından dolayı dikey yönde meydana gelen yavaş hareket sonucunda oturma dolinleri oluşurken, hızlı bir şekilde meydana gelen hareket sonucunda ise çökme dolinleri oluşmaktadır (Bögli, 1980; Sweeting, 1973).

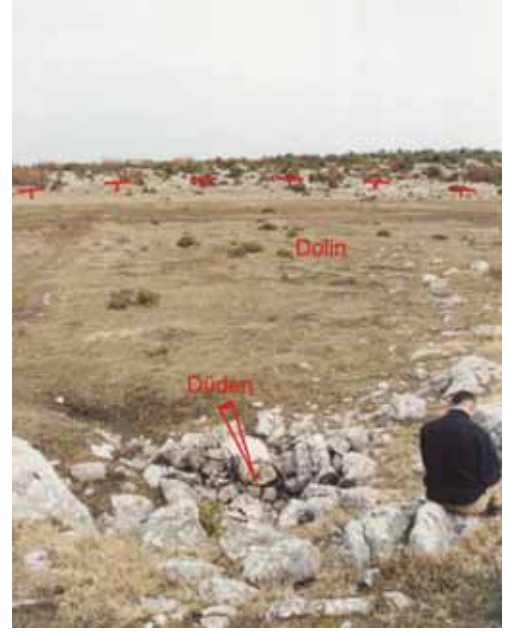
HBKS'nde, büyük ölçekte Tozman, Beyyayla, Afarın, Sarıkız ve Güvercin düdenleri ile dolinler içinde veya kenarlarında bulunan çapları 50 cm ile 1.5 m

arasında değişen çok sayıda düden yer almaktadır. İnceleme alanının doğusunda yer alan Beyyala düdeni çevresinde yapılan arazi çalışmaları sırasında uzun eksenini 40 cm ile 10 m ve kısa eksenini ise 30 cm ile 4 m arasında değişen 15 adet düden gözlenmiştir. Bu yapıların derinlikleri ise 50 cm ile 30 m arasında değişmekte olup çoğunun çakıl, mil ve toprak ile dolu olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Sarıcakaya Platosu, Tozman yaylası ve Topalın ukuru mevkiinde çok sayıda düden yer almaktadır. Ddenlerin bir kısmı kireçtaşı kütlesi üzerinde yer alan dolinleri drene ederken büyük bir kısmı ise dolgu malzemesi ile tıkanmıştır (Foto 3.3 ve Bkz. şekil 3.2).

HBKS üzerinde bulunan dolinler, Sweeting (1973) ve Bögli (1980) tarafından yapılan tanımlamaya göre çözünme dolinleridir. Günümüzde st Miyosen aşınma düzeylerini oluşturan inceleme alanında, 88 kapalı ve 269 kapılmış (yüzey drenaja açılmış) olmak üzere toplam 357 adet dolin belirlenmiştir (Foto 3.4 ve Bkz. şekil 3.2). Miyosen aşınım yüzeyi üzerinde gelişmiş olan bu dolinlerin önemli bir kısmı (%75), iklim değişiklikleri ve tektonizmaya bağlı olarak görülen Karadeniz'in seviyesindeki değişimlere ve bunun sonucunda gerçekleşen Sakarya nehrinin yatağına gömülmesine bağlı olarak kapılmışlardır (yüzey drenajına açılmışlardır). İnceleme alanındaki dolinlerin uzun eksenlerinin doğrultuları ile kireçtaşının çatlak sistemlerinin yönleri arasında bir uyum gözlenmektedir. Alandaki 357 dolinin genel doğrultuları KKB – GGD, KKD – GGB ve K – G'dir. İnceleme alanında bulunan dolinler genellikle uzunlamasına gelişmiş olup bu dolinlerin tabanları 20 m'ye varan çözünme atığı toprak (terra rossa) ile doludur (Bkz. Bölüm 2.4.2.).



Beyyayla Düdeni Üstü



Alfat Düdeni



Sarıcakaya Yaylası

Foto 3.3: İnceleme alanında yer alan düdenler



Beyyayla Düdeni (Kapılmış Dolin)



Sarıcakaya Yaylası



Yenipazar Yolu - Kuşca (Kapılmış Dolin)



Sarıcakaya Yaylası



Alfat Dolini

Foto 3.4: İnceleme alanında yer alan dolinler

3.3.1.3. Çöküntü Yapılarının Yönelimi

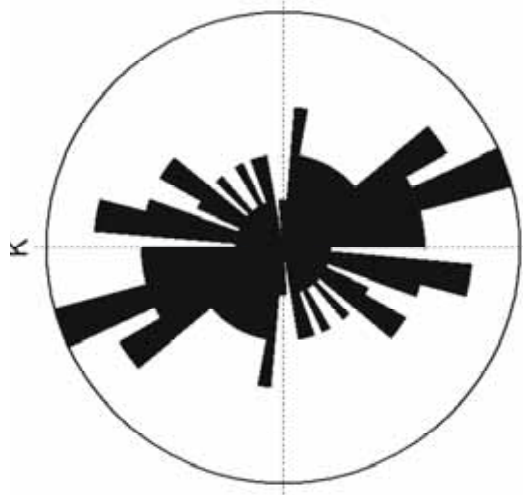
HBKS üzerinde bulunan, 357 adet çöküntü yapısının uzun eksenlerinin kuzeyle yaptığı açılar belirlenerek, bu çöküntü yapılarının yönelimi belirlenmiştir (Şekil 3.3). Açık çöküntü yapılarının baskın olarak K22B doğrultusuna sahip olduğu gözlenirken, kapalı çöküntü yapılarının K13B ve K75B doğrultularına sahip oldukları gözlenmektedir. Diğer taraftan, inceleme alanında yüzeyleyen kireçtaşlarında bulunan kırık – çatlak düzlemleri ile çöküntü yapılarının doğrultuları arasında benzer bir ilişki belirlenmiş olup çöküntü yapılarının söz konusu doğrultular boyunca geliştiği gözlenmektedir (Bkz. Bölüm 2.2.1).

Kireçtaşları üzerinde bulunan kırık – çatlakların ve fayların kesişme noktalarından itibaren oluşmaya başlayan çöküntü yapıları, yeraltındaki karstik kanalların ve mağara sistemlerinin üzerinde yer almaktadır (Worthington, 1999, Milanovic, 1981). Diğer bir ifadeyle, inceleme alanında bulunan çöküntü yapılarının doğrultuları, karst sisteminin yeraltı drenaj ağı hakkında bilgi sağlamaktadır. HBKS üzerinde yer alan çöküntü yapıları genel anlamda güneyden kuzeye doğru yönelmişlerdir (Şekil 3.4). Sistemin boşalmasını gerçekleştiren kaynakların kütlenin kuzeyinde yer alması, sistem içindeki yeraltı drenajının da güneyden kuzeye doğru gerçekleştiğini göstermektedir.

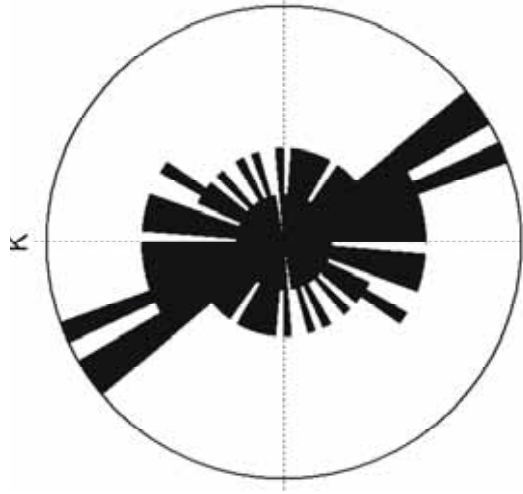
3.3.2. Yeraltı Yapıları

3.3.2.1. Mağaralar

HBKS'ni oluşturan Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşları üzerinde, Miyosen'den günümüze kadar hüküm süren tektonizma ve iklimsel etkilerle değişen enerji gradyanı ile birlikte kayacın kimyasal yapısı, kalınlığı ve karstlaşma tabanına bağlı olarak gelişen düden niteliğinde 5 adet mağara belirlenmiştir. Bunlar inceleme alanının doğusundan batısına doğru sırasıyla, Beyyayla Düdeni, Sarıkız Subatanı, Güvercini Düdeni, Afarın Düdeni ve Tozman Düdeni'dir (Şekil 3.5). Bunların yanı sıra HBKS'nin güney ve özellikle kuzey kenarı boyunca çok sayıda askıda kalmış paleokaynak çıkışı ve karstik kanallar bulunmaktadır. İnceleme alanında bulunan mağaralar White (1988) tarafından yapılan sınıflamaya göre, Tozman ve Beyyayla düdenleri dirsekli pasaj/geçit (angulate passage) mağara olup diğerleri ise dikey mağaralardır.

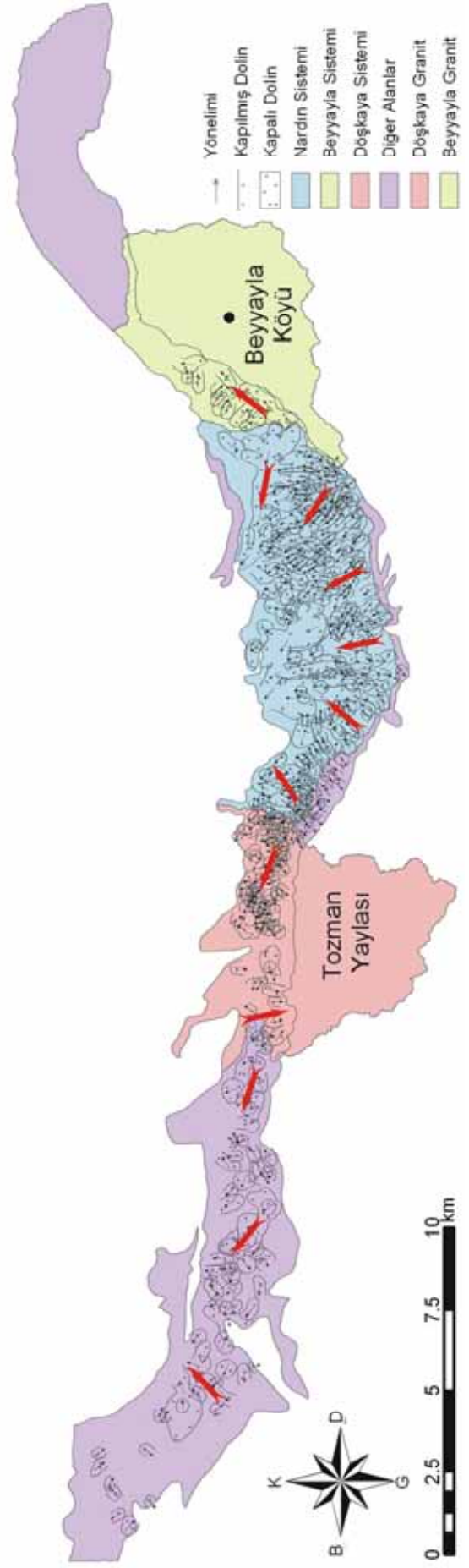


Kapalı Çöküntü Yapıları

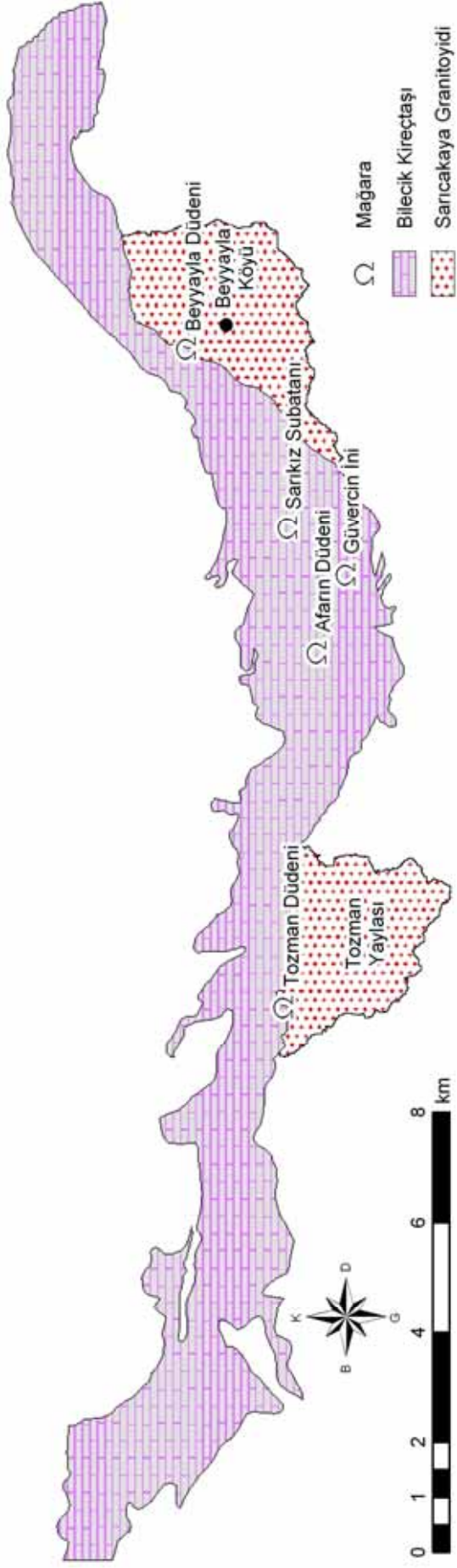


Açık Çöküntü Yapıları

Şekil 3.3: İnceleme alanında bulunan çöküntü yapılarının gül diyagramları



Şekil 3.4: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi çöküntü yapılarının yönelimi



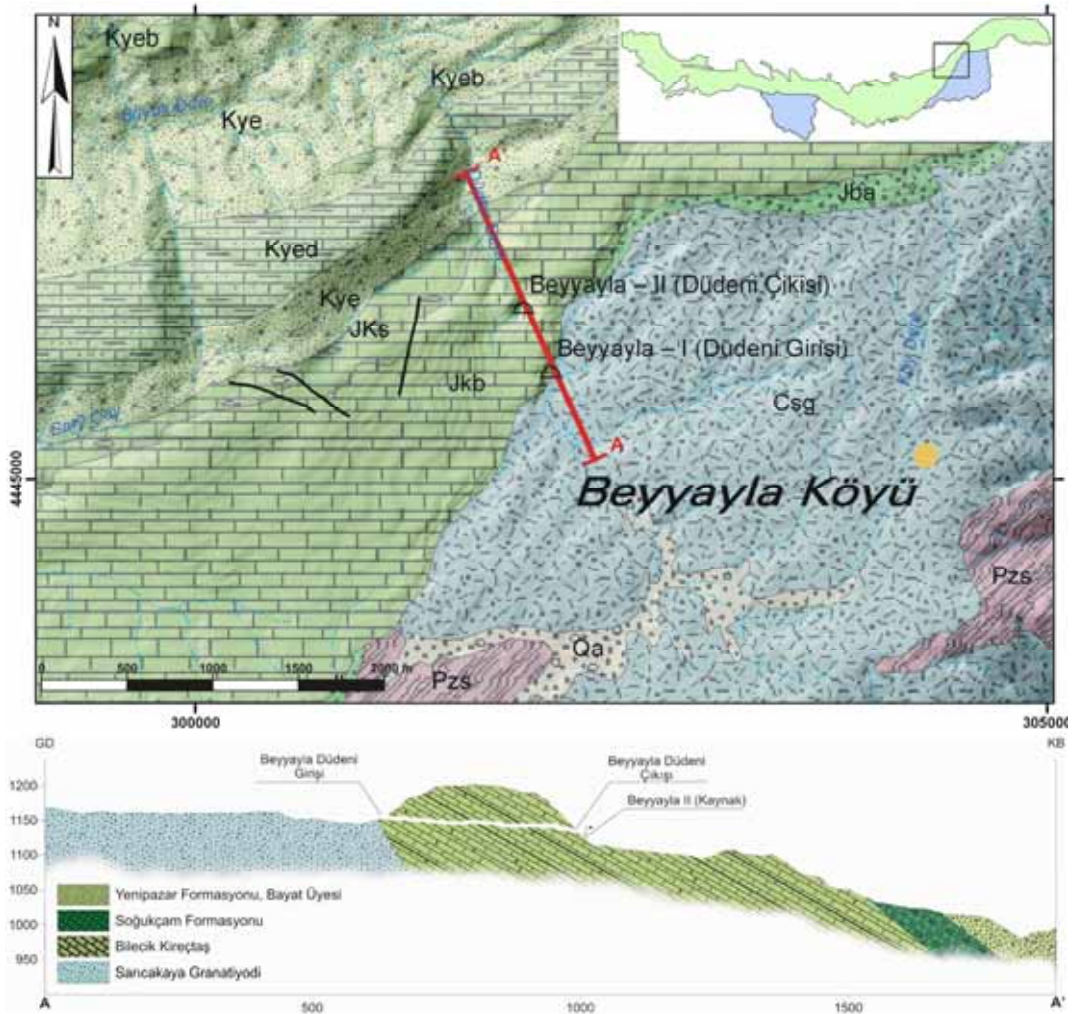
Şekil 3.5: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi mağaralar



Foto 3.5: Beyyayla Düdeni

Beyyayla Düdeni:

Beyyayla düdeni, Sakarya Nehri vadisinde bulunan Sarıcakaya (Eskişehir) ilçesinin 19 km kuzeydoğusunda yer alan Beyyayla Köyü'nün 1,5 km kuzey batısında yer almaktadır (Foto 3.5). Harmanköy – Beyyayla karst platosu üzerinde, Yenipazar Havzası'na (kuzeye) doğru yatay olarak gelişmiş, yer köprü konumlu yarı aktif bir mağaradır. Düdenin yakın çevresinde, Paleozoyik yaşlı Sarıcakaya Granatiodi ve bunların üzerine açısız uyumsuzlukla gelen Jura – Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşları ve yer yer Bayırköy Formasyonu yüzeylenmektedir. Sarıcakaya Granatiodi üzerine açısız uyumsuzlukla gelen birimlerin doğrultuları doğu – batı ve eğim yönleri ise kuzey – kuzeybatı'dır. Beyyayla düdeni, Sarıcakaya Granatiodi ile Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarının dokanağında, kuzeydoğu – güneybatı ve kuzeybatı – güneydoğu yönlü belirgin bir makaslama zonuna bağlı olarak kireçtaşları içinde gelişmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Beyyayla düdeni ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti

Miyosenden günümüze kadar çok dönemli gelişimi karakterize eden Beyyayla Düdeni, iki ucu açık yer köprü niteliğinde bir mağaradır. Birbirine bağlı iki girişi ve bir çıkış noktası olan Beyyayla düdeninin toplam uzunluğu ve girişe göre derinliği sırasıyla 438 m ve -26 m olup, tavan yüksekliği yer yer 25 m ve genişliği ise ortalama 6 m'dir. Nazik vd. (2001) tarafından yapılan Beyyayla düdeni'nin haritası Şekil 3.7'de verilmiştir.

İnceleme alanının doğusunda ve Bilecik kireçtaşlarının güneyinde yer alan Beyyayla düdeninin girişi, Kuvaterner'de meydana gelen aşınma sonucu yok olmuş ve günümüzdeki ağız kısmı oluşmuştur (Ekmekçi vd., 2004; Soylu, 2004). Mağaranın bugünkü girişinin ortaya çıkmasında etkili olan kuzeydoğu – güneybatı yönlü olası fay hattı boyunca küçük çapta mağara kolu kalıntıları görülmektedir. Buna ek olarak, Soylu (2004), mağara girişinin güneybatı bölümünde görülen söz konusu kalıntıların, mağaranın devamı niteliğinde olduğunu belirtmiştir.

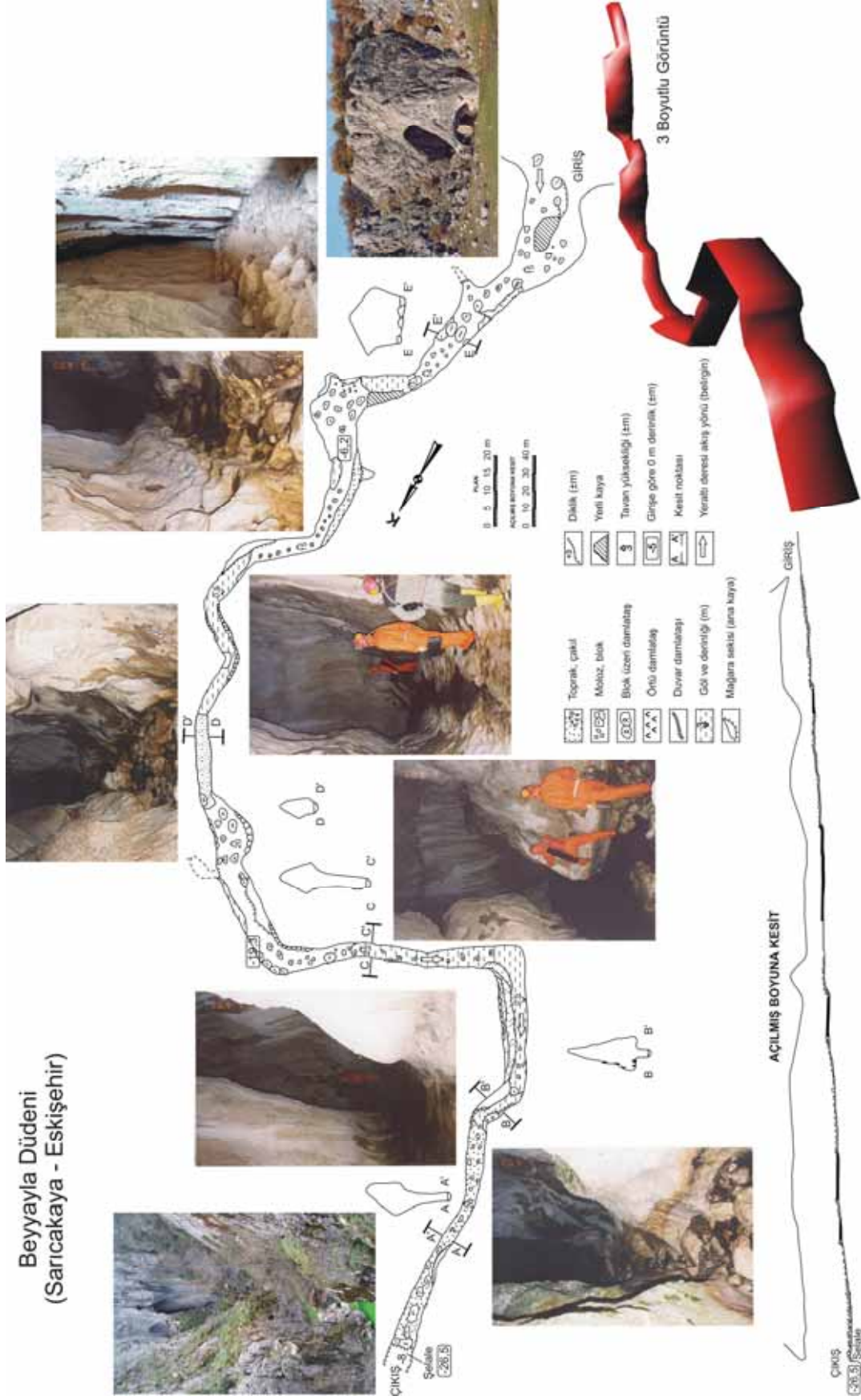
Ayrıca Beyyayla düdeninin günümüzdeki giriş kısmının ortaya çıkmasında etkili olan kuzeydoğu – güneybatı yönlü fayın güneyinde kalan kısmının yükseldiği ve Sakarya Nehri'nin de yatağına gömülmesinin etkisiyle burada bulunan Bilecik Kireçtaşları tamamen aşındığı belirtilmektedir (Bkz. Foto 3.5).

Beyyayla düdeninin B'da, KB'na doğru hafif eğimli ve oldukça geniş yayılıma sahip bir dolin bulunmaktadır (Foto 3.6). Söz konusu dolin, Beyyayla düdeni çıkışında yer alan K – KB yönlü devam eden yaklaşık 80 m derinliğinde derin bir kanyona doğru kapılmıştır. Soylu (2004) tarafından yapılan çalışmada, söz konusu kanyonun, mağaranın devamı olduğu ve çöktüğü belirtilmektedir (Foto 3.7).

Mağaranın üzerinde, dolin benzeri herhangi bir drenaj alanı bulunmamasına rağmen boyları 40 cm ile 10 m arasında değişen çok sayıda kapalı düden yer almaktadır. Bu düdenlerle beraber mağara girişinin GB'daki kapılmış dolinin etrafındaki kireçtaşlarında kamenitzalara rastlanması, önceden daha kalın olan kireçtaşlarının yüzeyinin aşınarak incelendiğini göstermektedir (Bkz. Foto 3.2 ve 3.3).

Günümüzde artık son dönemlerini yaşayan Beyyayla Düdeni'nin iç yapısı (kesiti) genelde anahtar deliği şeklindedir. Bunun nedeni, düdenin uzun süredir vadoz koşullarda gelişimini sürdürmesidir.

**Beyyayla Düdeni
(Sarıcakaya - Eskişehir)**



Şekil 3.7: Beyyayla düdeni'nin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilerek alınmıştır)



Foto 3.6: Beyyayla düdeninin B'da yer alan kapılmış dolin

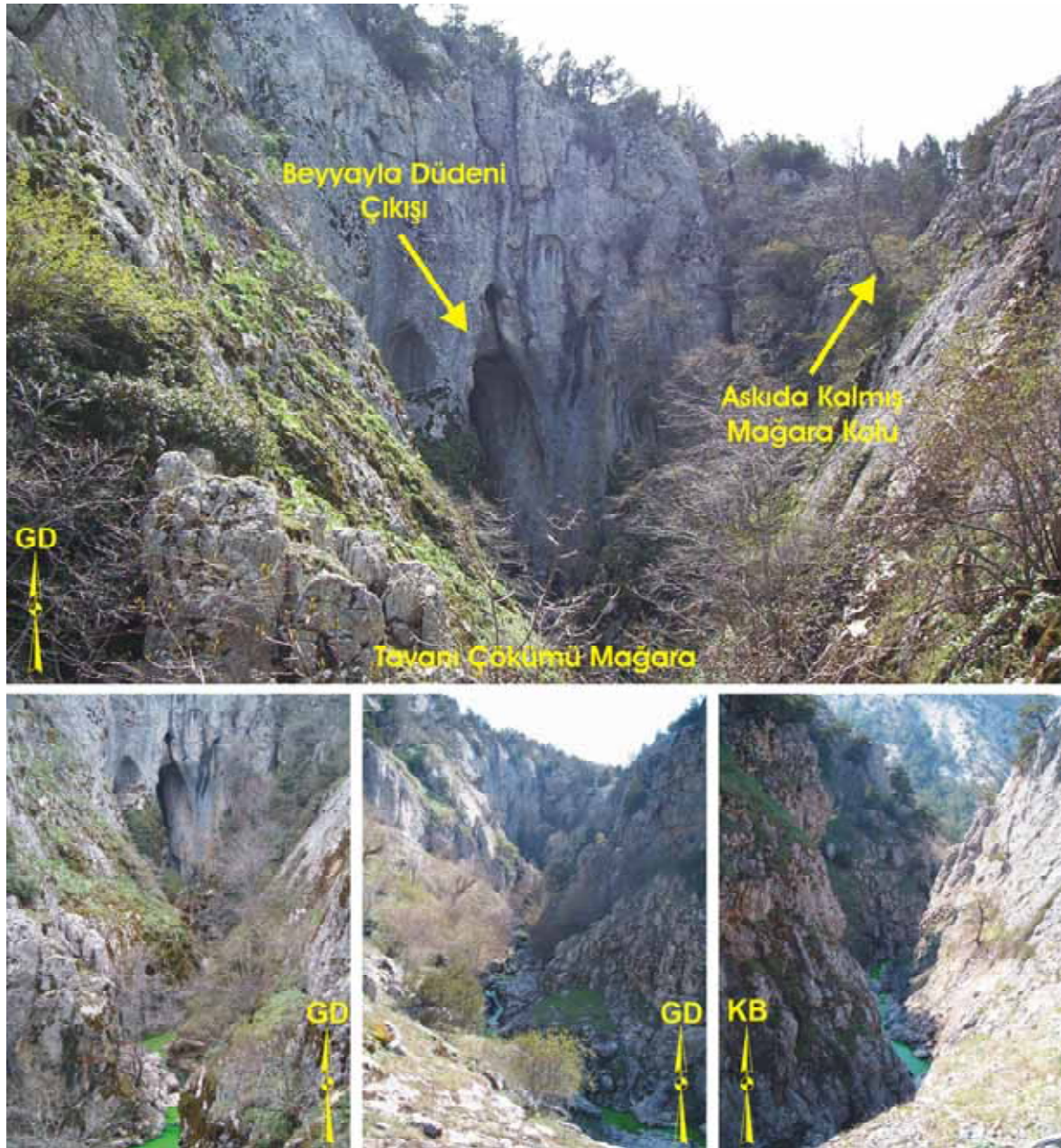


Foto 3.7: Beyyayla Düdeni çıkışı ve tavanı çökmüş mağara

Mağara içi yapılar açısından fakir olan Beyyayla düdeninde, nadiren duvar akma taşları, sarkıtlar ve dikitler gözlenmektedir. Ayrıca yoğun bir şekilde mağara duvarlarında ve tabanında 5 cm ile 1 m arasında değişen skalloplar gözlenmektedir. Bilecik Kireçtaşları'nın altındaki geçirimsiz birimler nedeniyle sığlaşan karstlaşma tabanına başka bir ifadeyle kartlaşma tabanının hızlı düşüşüne bağlı olarak mekanik erozyonun ve kimyasal korozyonun baskın hale gelmesi, düdenin içinde önceden oluşmuş mağara içi yapıları aşındırarak yok etmektedir (Soylu, 2004; Tuncer, 2004; Nazik vd., 2001). Mağara tabanda ise çakıl ve kum yığınları ile büyüklükleri 3m'ye varan bloklar yer almakla birlikte yer yer bunların arasında derinlikleri 1 m'ye kadar ulaşan sığ göller bulunmaktadır (Foto 3.8 ve 3.9).

Beyyayla düdeninin beslenme alanında yüzeyleyen yaklaşık 8.3 km²'lik Sarıcakaya Granitoyidinden drene olan yüzey suları Köy deresi aracılığı ile noktasal olarak düdene girmekte ve düden çıkışında 8 m yüksekliğe sahip bir şelale yaparak (Bey III) yeniden yüzeye çıkmaktadır. Ayrıca düden çıkışında sürekli boşalıma sahip Beyyayla kaynağı (Bey II) yer almaktadır.



Foto 3.8: Beyyayla düdeninde gözlenen sarkıt ve dikitler



Perdeler



Aşınmış duvar akma taşları



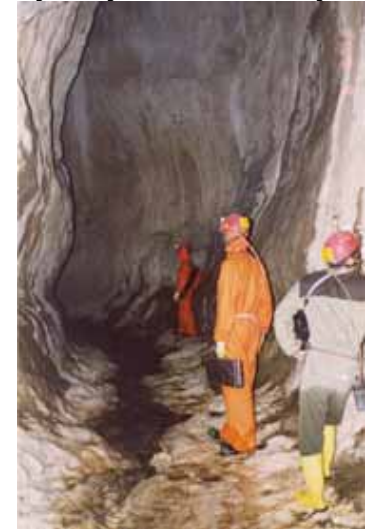
Aşınmış duvar akma taşları



Mağara tabanındaki skalloplar



Mağara tabanındaki kırıntılı malzemeler
Foto 3.9: Beyyayla düdeninde gözlenen mağara içi yapılar

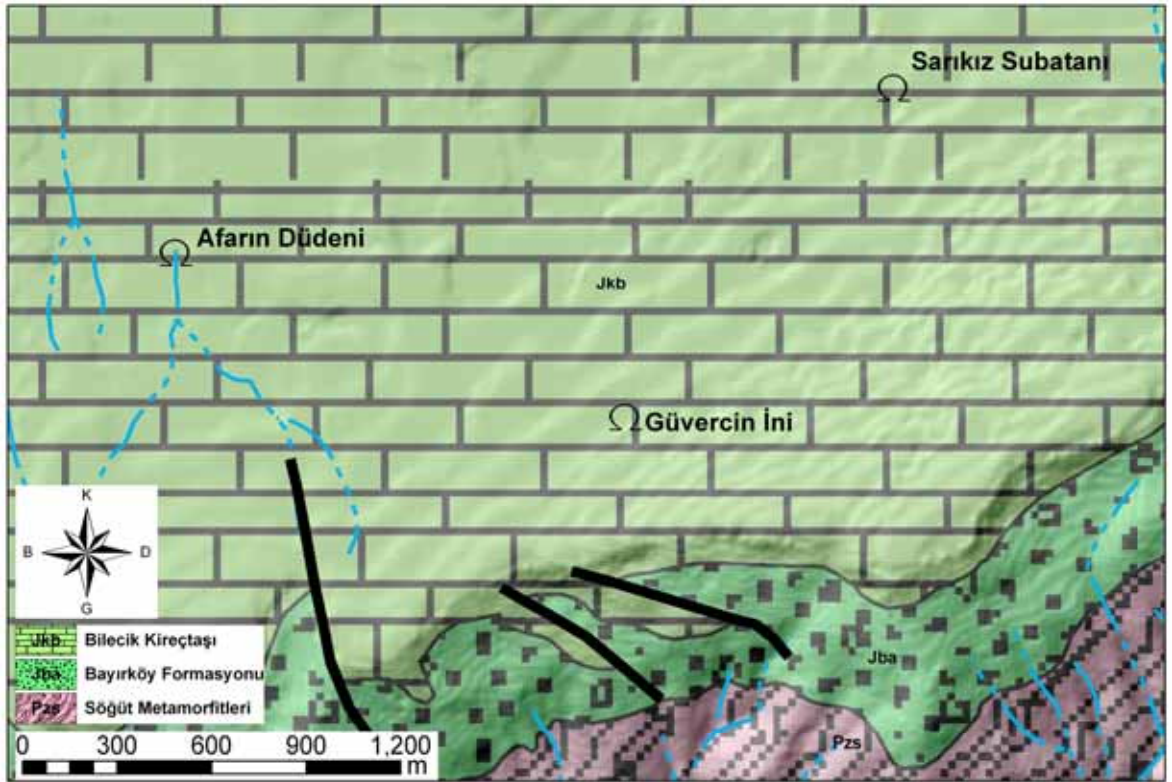


Mağara pasaj görüntüsü

Söz konusu noktalarda açığa çıkan sular Düden Deresi'nin başlangıcını oluşturmakta ve sırasıyla Yenipazar Havzasını ve Harmanköy Boğazını kat ederek Sakarya Nehrine ulaşmaktadır (Bkz Şekil 3.1). Beyyayla Düdeni girişi ve çıkışı arasında kalan 7 noktada Ağustos 2004 tarihinde yapılan ölçümler sonucunda mutlak nem ve sıcaklık değerlerinin sırasıyla % 52.5 – 67 ve 14.3 – 18 °C arasında yer aldığı belirlenmiştir (Nazik vd., 2001).

Güvercin İni, Sarıkız Subatanı ve Afarın Düdeni

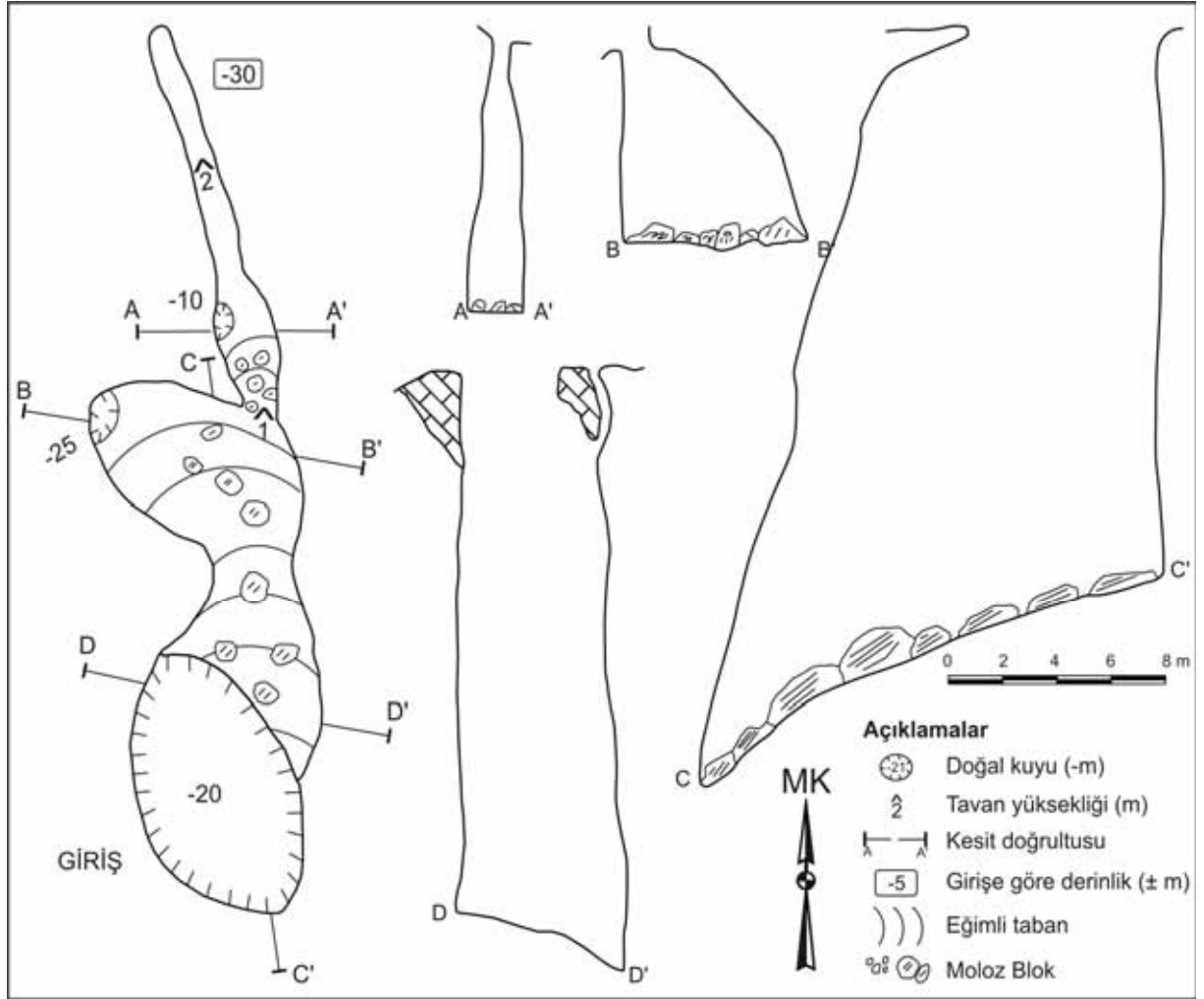
Güvercin İni, Sarıkız Subatanı ve Afarın Düdeni, Sarıcakaya (Eskişehir) ilçesinin 10 km kuzeyinde yer alan Sarıcakaya Platosu üzerinde dikey olarak gelişmiş, düden konumlu fosil mağaralardır (Bkz. Şekil 3.5). Güvercin İni, Sarıkız Subatanı ve Afarın Düdeni, Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşları içinde kuzeybatı – güneydoğu ve kuzeydoğu – güneybatı yönlü belirgin bir fay ve kırık – çatlak düzlemleri üzerinde, dikey olarak gelişmiştir. Bölgede karstlaşma tabanını oluşturan Bayırköy Formasyonu ve Söğüt Metamorfitleti üzerinde bulunan ve Bilecik Kireçtaşları'nda gelişen söz konusu mağaralar 1200 m yükseltili karst platosunda yer almaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Sarıcakaya Platosu mağaraları ve yakın dolayının jeoloji haritası

Güvercin İni'nin ana girişi 9 x 5 m genişliğinde ve 30 m derinliğinde kuyu şeklindedir. Bu girişten ayrı olarak daha küçük ve doğal baca özelliğinde – 25 ve – 15 m'de de iki girişi daha bulunmaktadır (Şekil 3.9 ve Çizelge 3.1). Mağaranın tabanında, iri blok ve moloz bulunmakta ve kuzeye doğru dar bir çatlakta sonlanmaktadır. Başlangıçta düden konumunda gelişen Güvercin İni, günümüzde fosilleşmiş ve kireçtaşları altında bulunan geçirimsiz birimler nedeniyle, bölgede görülen jeomorfolojik gençleşmeye ayak uyduramadığından asılı kalmıştır.

Mağara içinde herhangi bir damlataş oluşumu yoktur. Temmuz 2000 tarihinde Nazik vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, mağara girişinde 20 °C sıcaklık ve % 67 mutlak nem ölçülürken mağara sonunda ise 11 °C sıcaklık ve % 80 mutlak nem ölçülmüştür.

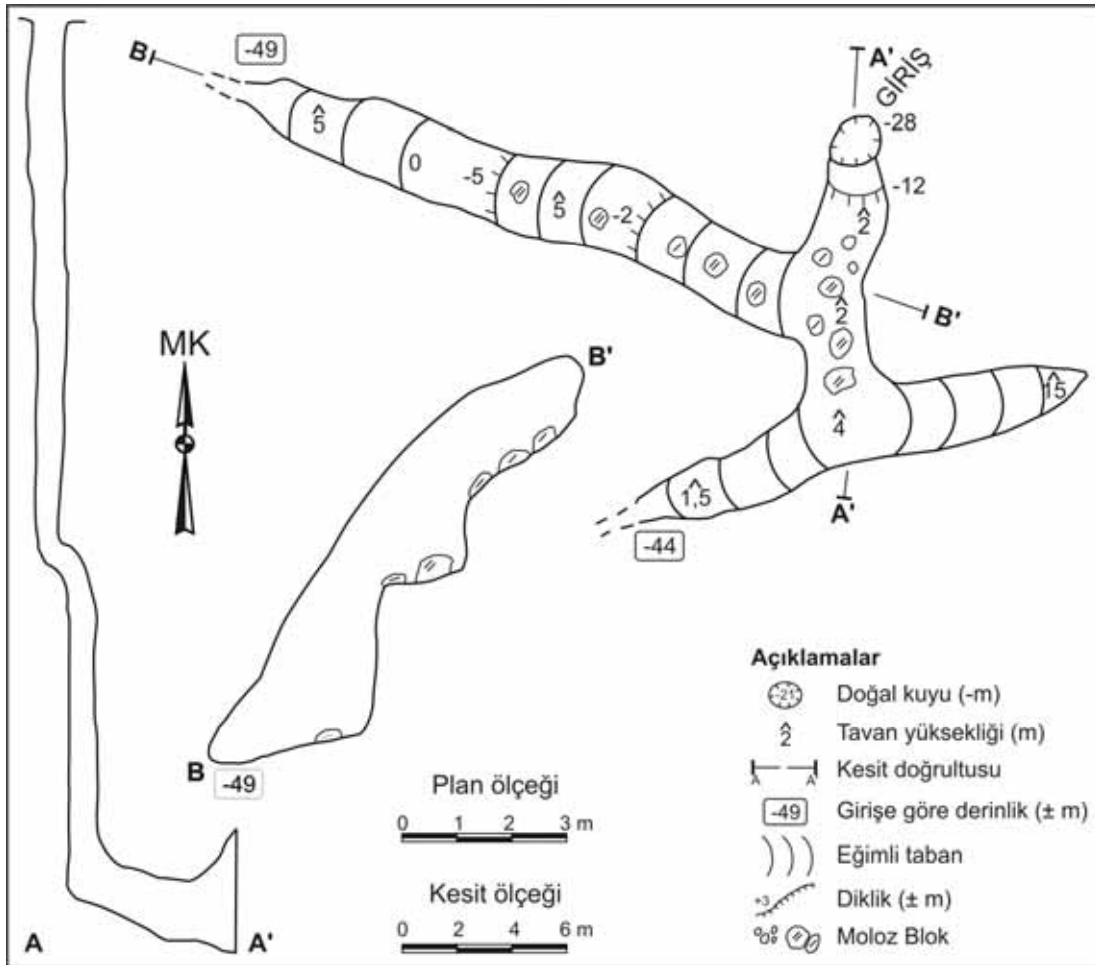


Şekil 3.9: Güvercin İni'nin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)

Çizelge 3.1: Sarıcakaya Platosu mağaralarına ait bilgiler (Nazik vd., 2001)

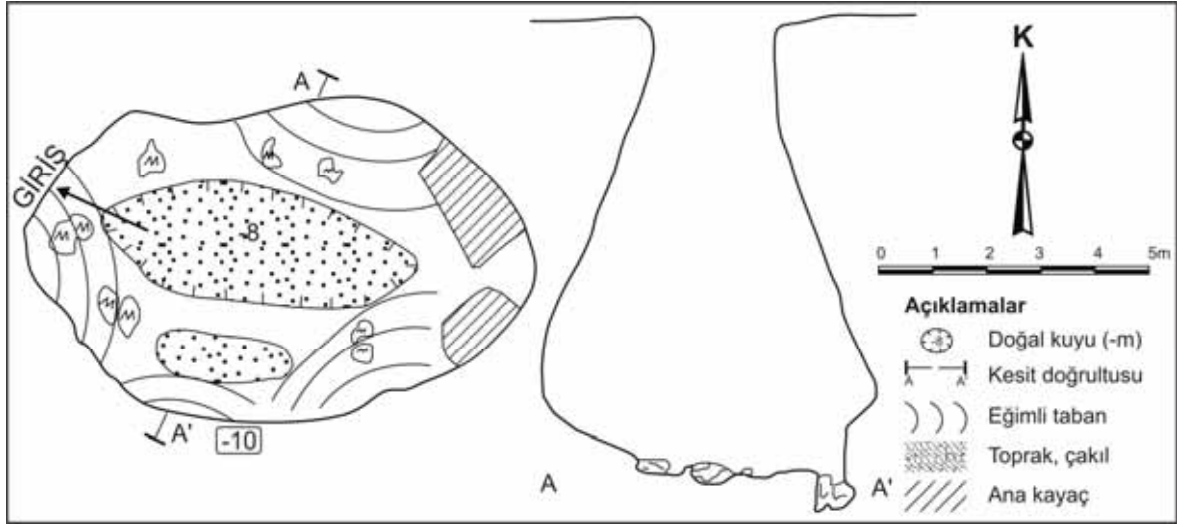
Mağara Adı	Uzunluk m	Derinlik m	Uzanım	Hidrolojik	
				Durum	Konum
Afarın Düdeni	64	-49	Dikey	Fosil	Düden
Güvercin İni	53	-30	Dikey	Fosil	Düden
Sarıköz Subatanı	15	-10	Dikey	Fosil	Düden

Afarın Düdeni, 64 m uzunluğunda ve kuyu şekilli girişi ile – 28 ve – 12 m’de iki basamaktan oluşmaktadır. Bu – 40 metrelik dik inişten sonra mağara, iki kola ayrılmakta ve güneybatı – kuzeydoğu yönünde – 2 ve – 5 m’lik belirgin inişleri olan kolun girişe göre derinliği – 49 m’dir (Şekil 3.10 ve Çizelge 3.1). Buna karşılık doğu – batı yönlü kol ise – 44 m derinliğindedir. Tabanı, moloz ve bloklarla kaplı olan mağarada herhangi bir damlatış oluşumu gelişmemiştir. Kuyu şekilli bir girişi olan ve üzeri erime artığı topraklarla kaplı olan Afarın Düdeni, soğuk ve kuru bir havaya sahiptir. Nazik vd. (2001) tarafından Ağustos 2000 tarihinde yapılan çalışmada, mağara içinde 15,4 °C sıcaklık ve % 56,6 mutlak nem ölçülmüştür.



Şekil 3.10: Afarın düdeni'nin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)

Sarıköz Subatanı, doğu – batı yönlü bir fay üzerinde gelişmiş ve daire şekilli bir yapısı olup toplam uzunluğu 15 m'dir (Şekil 3.11 ve Çizelge 3.1). Mağaranın girişi, doğu – batı yönlü, elips şeklinde olup –8 m'lik kuyudan oluşmaktadır. Bu iniş, mağaranın ortasına inmekte ve mağara tabanının güney kenarında –2 m'lik bir iniş daha bulunmaktadır. Başlangıçta düden konumunda gelişen Sarıköz Subatanı, günümüzde fosil mağara konumundadır. Mağara içinde herhangi bir damlataş oluşumu yoktur. Tabanı, toprak, moloz ve bloklarla kaplı olan mağarada herhangi bir damlataş oluşumu gelişmemiştir. Nazik vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, Sarıköz Subatanı mağara içi sıcaklığı 16 °C ve mutlak nem ise % 57 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.11: Sarıköz Subatanı'nın haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)

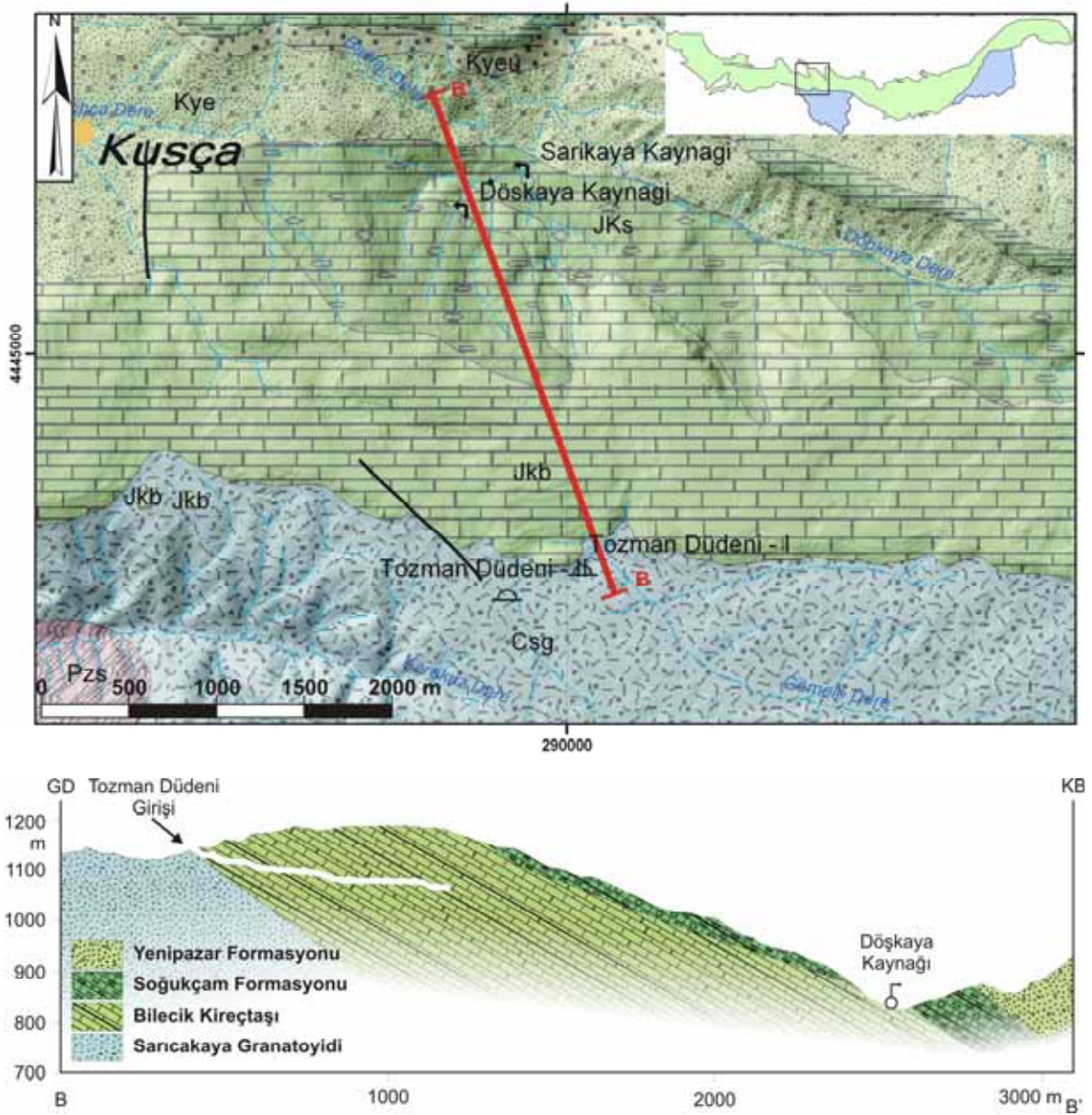
Tozman Düdeni

Tozman Düdeni, Mihalgazi (Eskişehir) ilçesinin 15 km kuzeybatısında bulunan Tozman Köyü'nün 6 km kuzeydoğusunda ve ortalama 1100 m kotlarında yer alan Tozman Yaylasında yer almaktadır. İnceleme alanının batısında ve Harmanköy – Beyyayla karst platosunun güney kenarında, Yenipazar Havzası'na (kuzeye) doğru yatay gelişmiş ve iki girişi olan aktif – yarı aktif bir mağaradır (Bkz. Şekil 3.4, Foto 3.10).

Tozman Düdeni yakın çevresinde, Paleozoyik yaşlı Sarıcakaya Granatiodi ve bunların üzerine açılal uyumsuzlukla gelen Jura – Kretase yaşlı Bilecik Kireçtaşları yüzeylenmektedir (Şekil 3.12).



Foto 3.10: Tozman Dödeni Girişleri



Şekil 3.12: Tozman düdeni ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti

Sarıcakaya Granatiodi üzerine açısız uyumsuzlukla gelen birimlerin doğrultuları doğu batı ve eğim yönleri ise kuzey – kuzeybatıdır. Söz konusu düdenler, Sarıacakaya Granatiodi ile Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarının dokanağında, kuzeybatı – güneydoğu yönlü belirgin bir fay ve kuzeydoğu – güneybatı kırık – çatlak düzlemlerine bağılı olarak kireçtaşları içinde gelişmiştir.

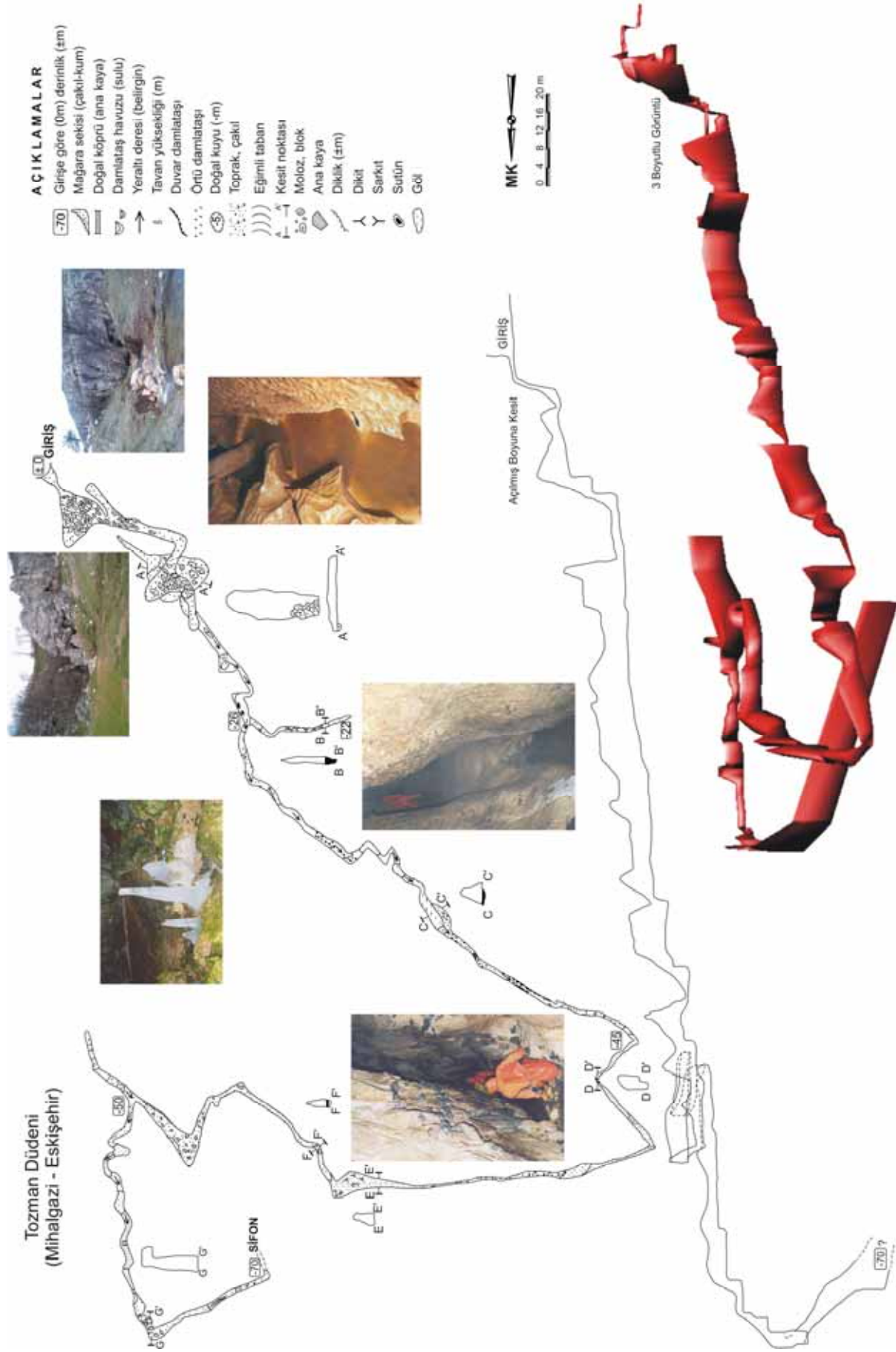
Birbirine bağılı iki girişı olan ve bir sifonda sonlanan Tozman düdeninin toplam uzunluğu ve girişe göre kotu sırasıyla 770 m ve -70 m olup, tavan yüksekliğı yer yer 15 m ve genişliğı ise ortalama 2.5 m'dir. Nazik vd. (2001) tarafından yapılan Tozman Düdeni'nin haritası Şekil 3.13'de verilmektedir.

Alt Jura'dan Üst Kretase'ye kadar sığ denizel bir ortamda çökelen Bilecik Kireçtaşları, Oligosen'e kadar yer yer karasal hale gelse de genelde denizel ortamda kalmıştır. Ancak Oligosen'den günümüze kadar tamamen karasal ortamda kalmıştır. Dolayısıyla atmosferik koşullara maruz kalan Bilecik kireçtaşları Oligosen'de karasal hale gelmesinden sonra karstlaşmaya başlamıştır.

Üst Pliyosen – Alt Pleyistosen'de hızla yatağına gömülen Sakarya Nehri; Miyosen ve Pliyosen sistemlerini parçalayarak yeni bir jeomorfolojik dönemin başlangıcına yol açmıştır. Buna bağılı olarak bölgenin önceki morfolojisi tamamen değişmiş ve yeni bir jeomorfolojik görünüm kazanmıştır.

Birbirine bağılı iki girişı olan düden, fay, kırık – çatlak ve kireçtaşı tabakalarının doğrultu ve dalımlarına bağılı olarak dönüşler yapan bir geometriye sahiptir. Girişten itibaren – 4 ve – 10 m arasında değişen çok sayıda inişe sahip olan Tozman düdeni, bazı bölümlerinde yatay, bazı bölümlerinde ise eğimli bir tabana sahiptir.

Mağara oluşumları açısından fakir olan Tozman düdeninde, yer yer akma taşları ve dikitler bulunmaktadır. Buna ek olarak mağara duvarlarında ve tabanında skolloplar gözlenmektedir. Tozman düdeni duvarlarında aşınma sonucu ortaya çıkmış olan çört yumruları bulunmaktadır (Foto 3.11). Mağara tabanda ise çakıl – kum – blok boyutlu çökme kalıntıları yer almakla birlikte bunların arasında yer yer derinlikleri 2 m'ye kadar ulaşan sığ göller bulunmaktadır. Ayrıca Tozman düdeni sonunda ise derinliğı 2 m'ye kadar varan bir sifon bulunmaktadır (Foto 3.11).



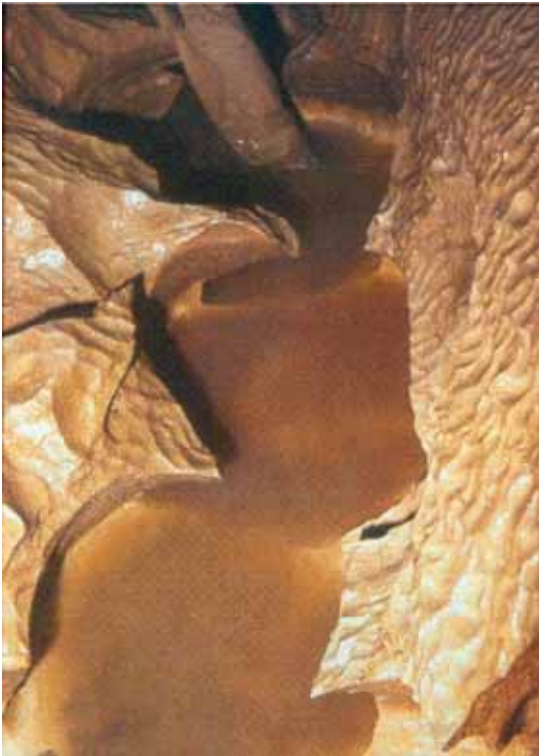
Şekil 3.13: Tozman düdeni'nin haritası (Nazik vd., 2001'den değiştirilmiştir)



Mağara pasaj görüntüsü – Çört Yumruları



Akma taşlar



Mağara tabanındaki skallop



Mağara girişinde oluşan buz dikitler

Foto 3.11: Tozman düdeninde gözlenen mağara içi yapılar

Tozman düdeninin beslenme alanında yüzeylenen yaklaşık 7.2 km²'lik Sarıcakaya Granitoyidinden drene olan yüzey suları noktasal olarak düdene girmekte ve kireçtaşı kütlesinin yaklaşık 2.5 km kuzeyinde ve 800 m kotunda bulunan Döşkaya Kaynağında (Dos) açığa çıkmaktadır. Söz konusu noktada yüzeye çıkan sular sırasıyla Yenipazar Havzasını ve Harmanköy Boğazını kat ederek Sakarya Nehrine ulaşmaktadır (Bkz Şekil 3.1).

Nazik vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, Tozman Düdeni içinde 5 noktada yapılan mutlak nem ve sıcaklık ölçümleri sırasıyla % 57 – 94 ve 10.5 – 18 °C arasında yer aldığı belirtilmektedir.

3.3.2.2. Paleo Kaynak Çıkışları ve Askıda Kalmış Mağara Kolları

HBKS'nin özellikle kuzey kesiminde, Miyosen'den günümüze kadar hüküm süren tektonizma ve iklimsel faaliyetlerle değişen enerji gradyanına bağlı olarak çok sayıda paleo kaynak çıkışı ve askıda kalmış mağara kolları (freatik tüpler) bulunmaktadır (Foto 3.12).

İnceleme alanının, güney ve özellikle kuzey sınırları boyunca yer alan uçurumlar üzerinde çok sayıda askıda kalmış mağara kolları bulunmaktadır. HBKS'nin doğusunda ve Bilecik kireçtaşlarının güneyinde yer alan Beyyayla düdeninin girişinin aşınma sonucu yok olmasından dolayı bugün mağara girişinin kuzeybatısında eski mağara kalıntılarının yanı sıra fosil mağara kolları da bulunmaktadır (Foto 3.12.a, Bkz. Beyyayla Düdeni). Bunun yanı sıra inceleme alanının batı sınırını oluşturan Harmanköy Boğazında da benzer yapılar yer almaktadır (Foto 3.12.b)

HBKS'nin kuzeyinde yer alan Döşkaya kaynağı yakın dolayında çok sayıda paleo kaynak çıkışı bulunmaktadır. Bunlardan üç tanesi Döşkaya kaynağının doğusunda yer almakta bir tanesi ise kaynağın yaklaşık 50 m üstünde bulunmaktadır. Döşkaya kaynağı doğusunda bulunan paleo kaynak çıkışlarından iki tanesi fosil durumda iken (Foto 3.12.c), Sarıkaya mevkiinde bulunan paleo kaynak çıkışı, sistemdeki yeraltısuyu seviyesinin yükselmesine bağlı olarak yağışlı dönemlerde sistemi drene etmektedir (3.12.d). Döşkaya kaynağı üstünde bulunan paleo kaynak çıkışı yaklaşık 2 m yüksekliğinde ve 5 m genişliğinde olup hidrolojik olarak fosil konumdadır (Foto 3.12.e).



a. Beyyayla Düdeni Girişi
(Askıda kalmış mağara kolları)



b. Harmanköy Boğazı
(Askıda kalmış mağara kolu)



c. Döşkaya Kaynağı D'su
(Paleo kaynak çıkışları)



d. Döşkaya Kaynağı D'su - Sarıkaya
(Paleo kaynak çıkışı, yarı aktif)



e. Döşkaya Kaynağının Üstü (~50 m, Paleo kaynak çıkışı)

Foto 3.12: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi paleo kaynak çıkışları

3.4. Karst Morfometrisi

Karst morfometrisi, birçok karstik bölgede, karstik yapıların ve özellikle çöküntü yapılarının sayısal olarak tanımlanmasında kullanılan çok etkili bir tekniktir (Denizman, 1998; Ford and Williams, 1989; White, 1988, Troester et al., 1984).

Orta Sakarya bölgesinde, yüzey morfoloji açısından farklılıklar sunan HBKS'de yer alan çöküntü yapılarının dağılımı, yoğunluğu ve bunların hidrodinamik yapı

üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile morfometrik analizler yapılmıştır. İnceleme alanındaki çöküntü yapılarının belirlenmesinde ve morfometrik analizlerinde, arazi çalışmaları ile birlikte 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve Tuncer (2004) tarafından yapılan çalışmadan faydalanılmıştır (Bkz. Şekil 3.2).

3.4.1. Yoğunluk Analizleri

Çöküntü yoğunluğu (Depression density), ilgilenilen alandaki çöküntü sayısının toplam karstik alana oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Ford and Williams, 1989).

$$D_D = \frac{\sum N_D}{\sum A_K} \quad (3.1)$$

D_D Çöküntü yoğunluğu ($1/L^2$)

N_D Toplam çöküntü sayısı

A_K Toplam karstik alan (L^2)

HBKS'de Eş. 3.1 temel alınarak hesaplanan çöküntü yoğunluğu, toplam çöküntü sayısının (357), toplam karstik alana (49.5 km^2) oranı sonucunda 7.24 1/km^2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca inceleme alanındaki çöküntü yoğunluğu ve karstlaşmış alan dağılımının belirlenmesi amacı ile HBKS'ni oluşturan Bilecik kireçtaşları $250 \times 250 \text{ m}$ 'lik hücrelere/gridlere bölünmüş ve her bir hücre için çöküntü yoğunluğu ve karstlaşmış alan dağılımı hesaplanmıştır. İnceleme alanının hücrelere ($250 \times 250 \text{ m}$) bölünmesi sonucunda 997 hücre elde edilmiş ve bu hücrelerin % 51.7'sin de (515 hücre) çöküntü yapısı bulunmazken, % 48.3'de (482 hücre) çöküntü yapısı bulunmaktadır. Bu kapsamında, her bir hücre içindeki çöküntü yoğunluğu hücre içinde kalan çöküntü toplam çöküntü sayısının, aynı hücre içindeki toplam karstik alana oranı şeklinde tanımlanmıştır (Eş. 3.2).

$$D_{DC} = \frac{\sum N_{DC}}{\sum A_{KC}} \quad (3.2)$$

D_{DC} Hücre içindeki çöküntü yoğunluğu ($1/L^2$)

N_{DC} Hücre içindeki toplam çöküntü sayısı

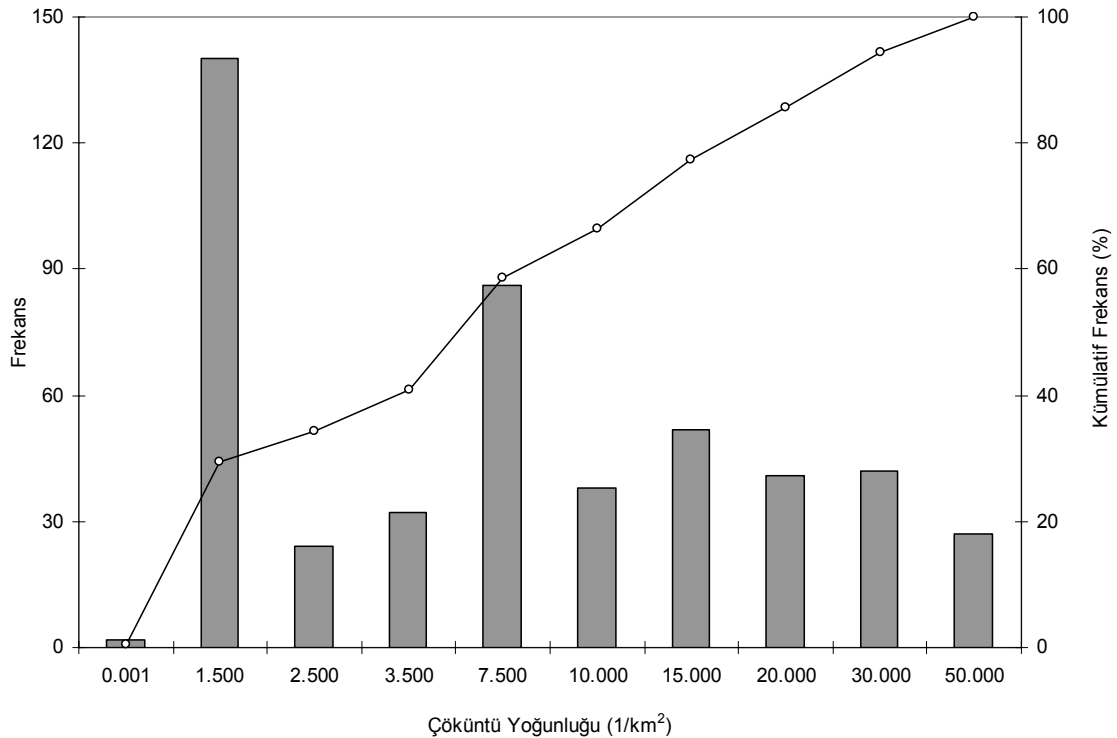
A_{KC} Hücre içindeki toplam karstik alan (L^2)

HBKS için Eş. 3.2 temel alınarak, oluşturulan 250×250 m'lik hücreler için hesaplanan çöküntü yoğunluğunun 0.001 ile 49,54 $1/km^2$ arasında değiştiği gözlenmektedir. Ayrıca hesaplanan çöküntü yoğunluğunun ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 7.22 $1/km^2$ ve 8.19 olarak elde edilmiştir. İnceleme alanında, çöküntü yapıları içeren hücrelerin yaklaşık % 58.7'si 0.001 ile 7.5 $1/km^2$ arasında değişen çöküntü yoğunluğuna sahip olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.2 ve Şekil 14). 0.32, 0.0, 1.0 ve 0.24'dür

Çizelge 3.2: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi, karst morfometrisi analiz sonuçları

	D_{DC} $1/km^2$	D_{KA} m^2/m^2	P_I m^2/m^2	L_c/W_c m/m	L_o/W_o m/m	I_c m^2/m^2
Ortalama	7.22	0.32	6.40	1.47	2.30	1.72
Min	0.001	0.00	1.00	1.03	1.05	1.03
Max	49.54	1.00	60.30	3.88	6.58	17.82
SD	8.19	0.24	8.70	0.39	1.02	1.36

D_{DC} : Hücre içindeki çöküntü yoğunluğu; D_{KA} : Hücre içindeki karstlaşmış alan dağılımı; P_I : Çukurlaşma indisi; L_c/W_c : Kapalı çöküntü yapılarının uzun eksen / kısa eksen oranı; L_o/W_o : Açık çöküntü yapılarının uzun eksen / kısa eksen oranı; I_c : Dairesellik indisi



Şekil 3.14: Çöküntü yoğunluğu dağılımına ait histogram

HBKS'deki çöküntü yoğunluğunun dağılımı Şekil 3.15'de verilmektedir. HBKS üzerinde yer alan Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemleri ile bu üç sistem dışında kalan alanları için hesaplanan çöküntü yoğunluğu sırasıyla 4.64, 7.93, 10.75 ve 4.07 1/km² olarak elde edilmiştir. Şekil 3.16'da ve yukarıda verilen değerlerde de görüldüğü gibi maksimum çöküntü yoğunluğu, inceleme alanının orta kesiminde ve Nardın kaynağının beslenme alanında bulunan Sarıcakaya Platosu üzerinde gözlenmektedir.

Farklı tektonik, litolojik ve iklimsel koşulların hüküm sürdüğü karstik ortamlar ile HBKS'de karst morfometrisine ait yapılarına çalışmalar sonucunda elde edilen çöküntü yoğunluğu değerleri Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3: Farklı karstik ortamlara ait çöküntü yoğunluğu değerleri.

Alan	Çöküntü Sayısı	Çöküntü Yoğunluğu 1/km ²	Kaynak
Papua Yeni Gine	1228	10.00 – 22.10	Williams (1972) ⁺
Wiatomo, Yeni Zelanda	1930	55.30	Pringle (1973) ⁺
Yucatan (Carrillo Puerto Fm.)	100	3.52	Day (1978) ⁺
Yucatan (Chichen Itza Fm.)	25	3.15	Day (1978) ⁺
Barbados	360	3.50 – 13.90	Day (1978) ⁺
Antigua	45	0.39	Day (1978) ⁺
Guatemala	524	13.10	Day (1978) ⁺
Belize	203	9.70	Day (1978) ⁺
Guadelope	123	11.20	Day (1978) ⁺
Jamaika (Browns Town-Walderston Fm.)	301	12.50	Day (1978) ⁺
Jamaika (Swanswick Fm.)	273	12.40	Day (1978) ⁺
Porto Riko (Lares Fm.)	459	15.30	Day (1978) ⁺
Porto Riko (Aguada Fm.)	122	8.70	Day (1978) ⁺
Guangxi, Çin	566	1.96 – 6.51	Fang (1984) ⁺
Sierra de Segura, İspanya	817	18.00 – 80.00	Lopez Lima (1986) ⁺
Suwannee, Florida	25157	6.06	Denizman (1998)
HBKS (Bilecik Kireçtaşları)	357	7.24	Bu Çalışma
Beyyayla Sistemi (HBKS)	13	4.64	Bu Çalışma
Döşkaya Sisitemi (HBKS)	42	7.93	Bu Çalışma
Nardın Sisitemi (HBKS)	215	10.70	Bu Çalışma
Diğerleri (HBKS)*	87	4.07	Bu Çalışma

* HBKS'de yer alan Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemleri dışında kalan alanı ifade etmektedir.

⁺ Ford and Williams, 1989'dan alınmıştır.

Guadelope, Guatemala, İspanya, Jamaika, Papua Yeni Gine, Porto Riko ve Yeni Zelanda'daki karstik bölgeler için elde edilen çöküntü yoğunluğu değeri HBKS için elde edilen çöküntü yoğunluğu değerinden büyük, diğer alanlar için belirlenen çöküntü yoğunluğu değerlerinin ise küçük olduğu görülmektedir (Bkz. Çizelge 3.3). Bu durum farklı iklimsel koşulların hüküm sürdüğü karstik ortamlar yüzey morfolojisinin tektonizma, litoloji ve iklimsel süreçlerin kontrolünde geliştiğini göstermektedir.

Ayrıca inceleme alanındaki karstlaşmış alan dağılımı, oluşturan 250 × 250 m'lik hücrelere içinde kalan toplam çöküntü alanının, aynı hücre içinde kalan toplam karstik alana oranı şeklinde tanımlanmıştır (Eş. 3.3). Bu eşitlikte karstlaşmış alan oranı 0 ile 1 arasında bir değer almakta olup değer, 1 olması alanın tamamen karstlaştığını ifade etmektedir.

$$D_{KA} = \frac{\sum A_{DC}}{\sum A_{KC}} \quad (3.3)$$

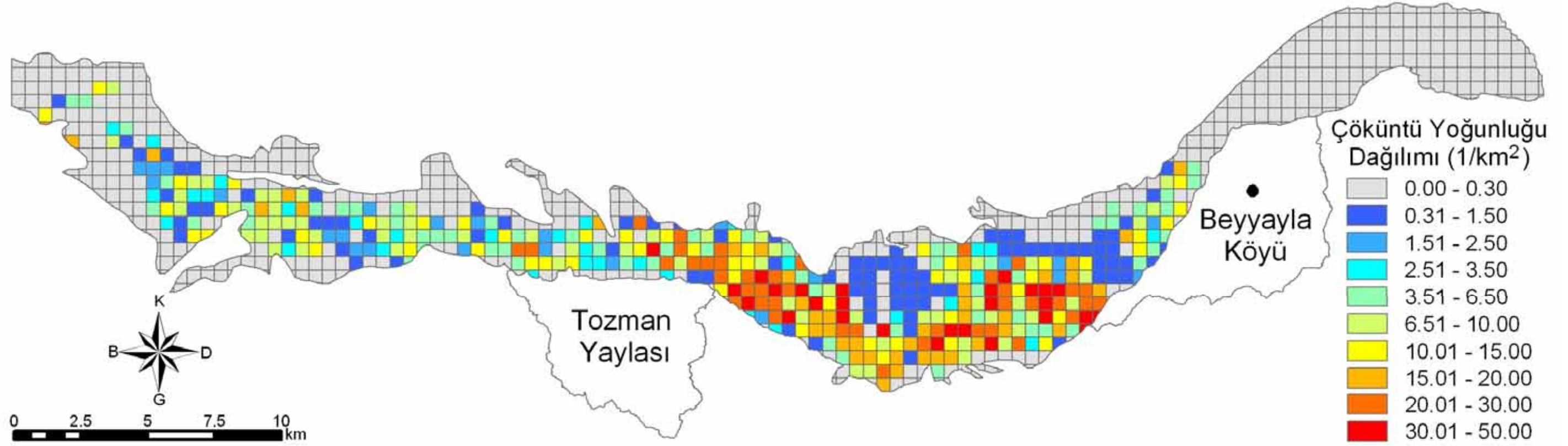
D_{KA} Hücre içindeki karstlaşmış alan (L^2 / L^2)

A_{DC} Hücre içindeki toplam çöküntü alan (L^2)

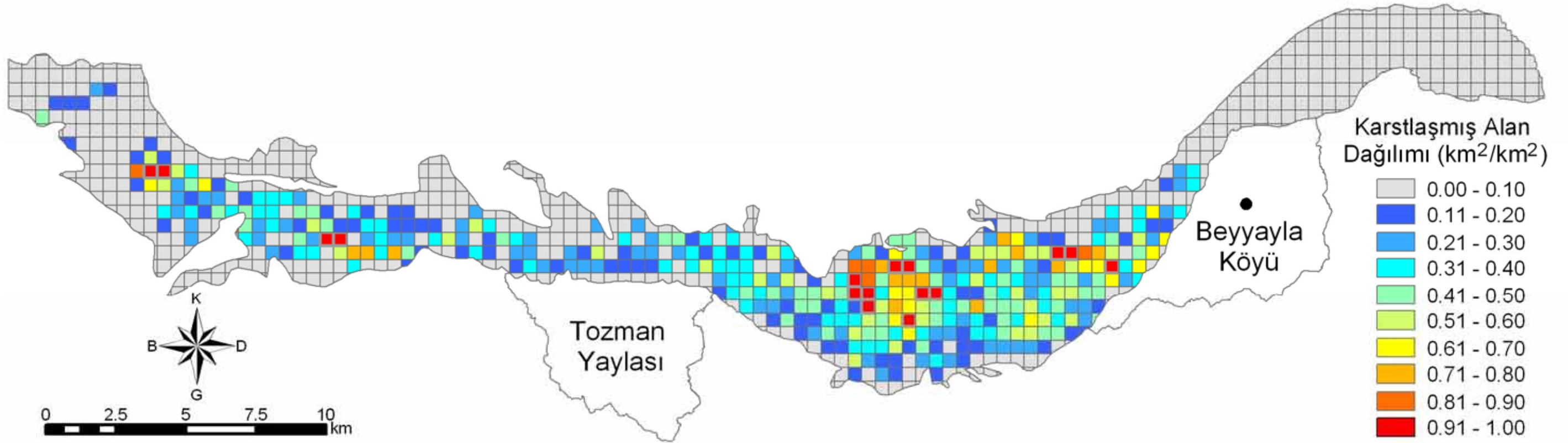
A_{KC} Hücre içindeki toplam karstik alan (L^2)

HBKS için Eş. 3.3 temel alınarak hesaplanan karstlaşmış alan dağılımının ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri sırasıyla 0.32, 0.0, 1.0 ve 0.24'dür (Bkz. Çizelge 3.2). İnceleme alanında bulunan toplam çöküntü alanının (9.2 km²), kireçtaşı alanına (49.5 km²) oranı sonucunda ise karstlaşmış alan dağılım oranı 0.19 km²/km² elde edilmiştir. Maksimum karstlaşmış alan, inceleme alanının orta kesiminde ve Nardın kaynağının beslenme alanında bulunan Sarıcakaya Platosu üzerinde gözlenmektedir (Şekil 3.16). İnceleme alanında, çöküntü yapıları içeren hücrelerin yaklaşık % 70'i 0.1 ile 0.4 m²/m² arasında değişen karstlaşmış alana sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.17).

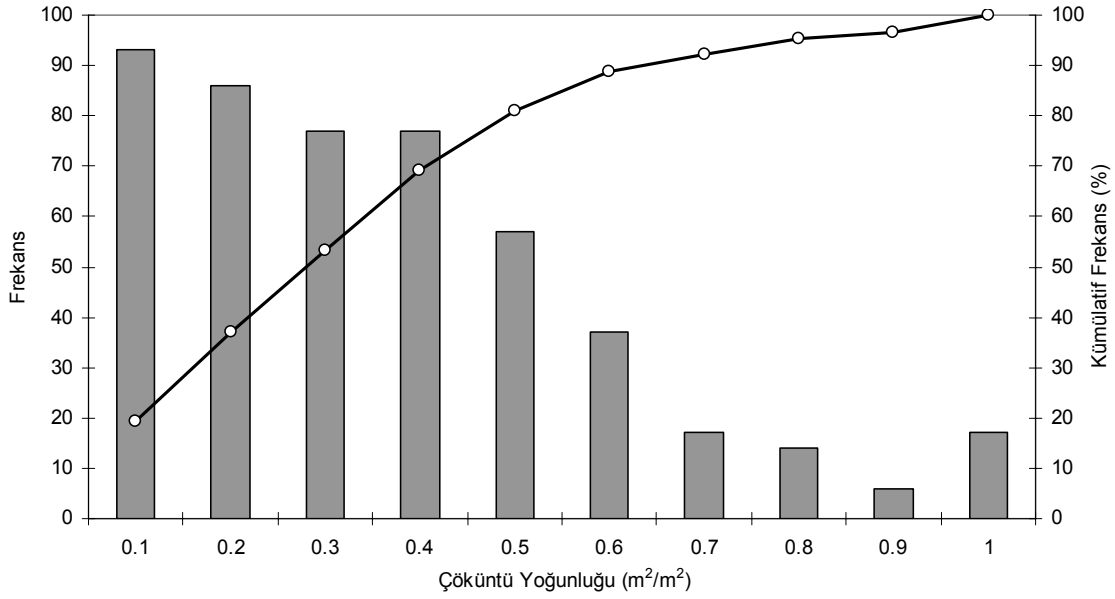
Çukurlaşma indisi (Pitting index), karstik ortamlarda yüzeydeki çöküntülerin derecesini veya yayılımını ifade etmektedir (Ford and Williams, 1989). İlgilenilen alandaki toplam kireçtaşı alanının toplam çöküntü alanına oranı olarak tanımlanan



Şekil 3.15: HBKS çöküntü yoğunluğu dağılım haritası



Şekil 3.16: HBKS'de karstlaşmış alan dağılım haritası



Şekil 3.17: Karstlaşmış alan oranına ait histogram

çukurlaşma indisi 1 ile sonsuz arasında bir değer almakta olup değer 1 olması alanın tamamen çukurlaştığını başka bir deyişle alanın tamamen çöküntü yapısı ile kaplı olduğunu ifade etmektedir. HBKS'ini oluşturan Bilecik kireçtaşlarının çukurlaşma indisi, alanın 250 × 250 m'lik hücrelere/gridlere bölünmesi ve her bir hücre içinde kalan karstik alanın, aynı hücre içindeki çöküntü alanına oranı şeklinde belirlenmiştir (Eş. 3.4).

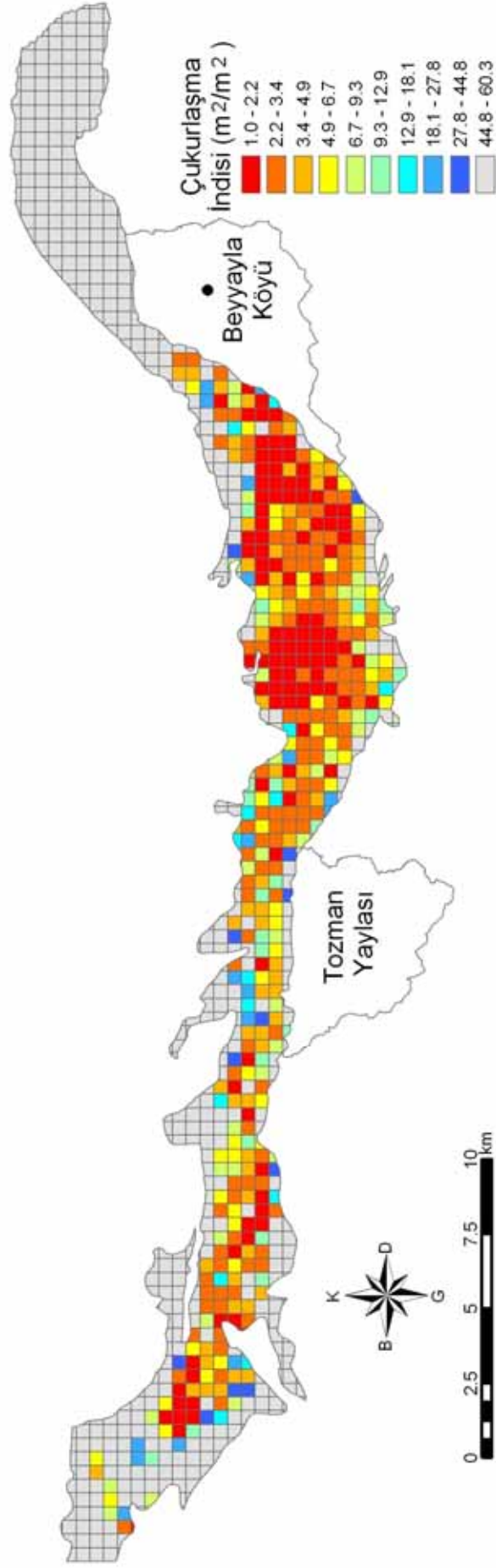
$$P_{IC} = \frac{\sum A_{KC}}{\sum A_{DC}} \quad (3.4)$$

P_{IC} Hücre içindeki çukurlaşma indisi (L^2 / L^2)

A_{KC} Hücre içindeki toplam karstik alan (L^2)

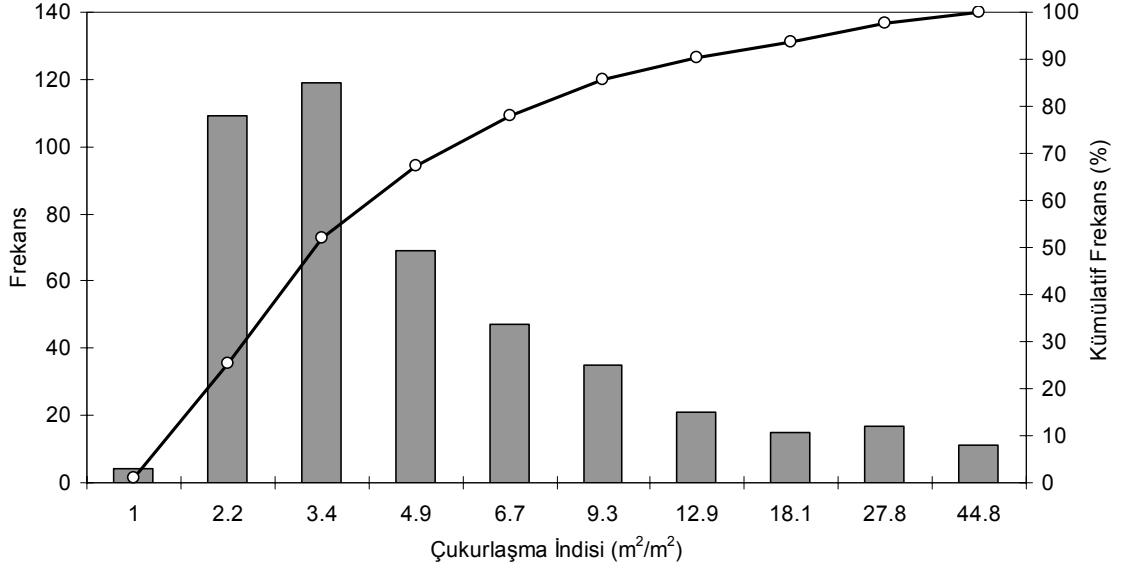
A_{DC} Hücre içindeki toplam çöküntü alan (L^2)

İnceleme alanı için, Eş. 3.4 temel alınarak hesaplanan ortalama çukurlaşma indisi 6.4 m²/m² olup minimum, maksimum ve standart sapma değerleri ise sırasıyla 1.0, 60.3 ve 8.7'dir (Şekil 3.18 ve Bkz. Çizelge 3.2). İnceleme alanında bulunan toplam kireçtaşı alanının (49.5 km²), toplam çöküntü alanına (9.2 km²) oranı sonucunda ise çukurlaşma indisi 5.4 km²/km² elde edilmiştir. İnceleme alanında maksimum çukurlaşma, çöküntü yoğunluğu ve karstlaşmış alan oranı dağılımında olduğu gibi



Şekil 3.18: HBKS çukurlaşma indisi haritası

Sarıcakaya Platosu üzerinde gözlenmektedir. İnceleme alanında, çöküntü yapıları içeren hücrelerin yaklaşık % 77'si 2.2 ile 6.7 m²/m² arasında değişen çukurlaşma indisi değerine sahiptir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Çukurlaşma indisi histogramı

3.4.2. Çöküntü Yapılarının Düzlemselliği

Düzlemsellik, çöküntü yapısının uzun ekseninin (L) kısa eksenine (W) oranı ve dairesellik indisi ile ifade edilmektedir (Denizman, 1998, Ford and Williams, 1989). Uzun eksenin kısa eksene oranı 1 değerini alması eş boyutlu dairesel çöküntüyü (equidimensional depression), bu değer 1'den çok büyük olması ise ovalleşen (extremely elongated depression) çöküntüyü başka bir deyişle eski vadi tabanlarını veya kapılmış dolinleri temsil etmektedir. İnceleme alanında bulunan toplam 357 adet çöküntünün 88'i kapalı, geriye kalan 269'u ise kalpmış durumdadır.

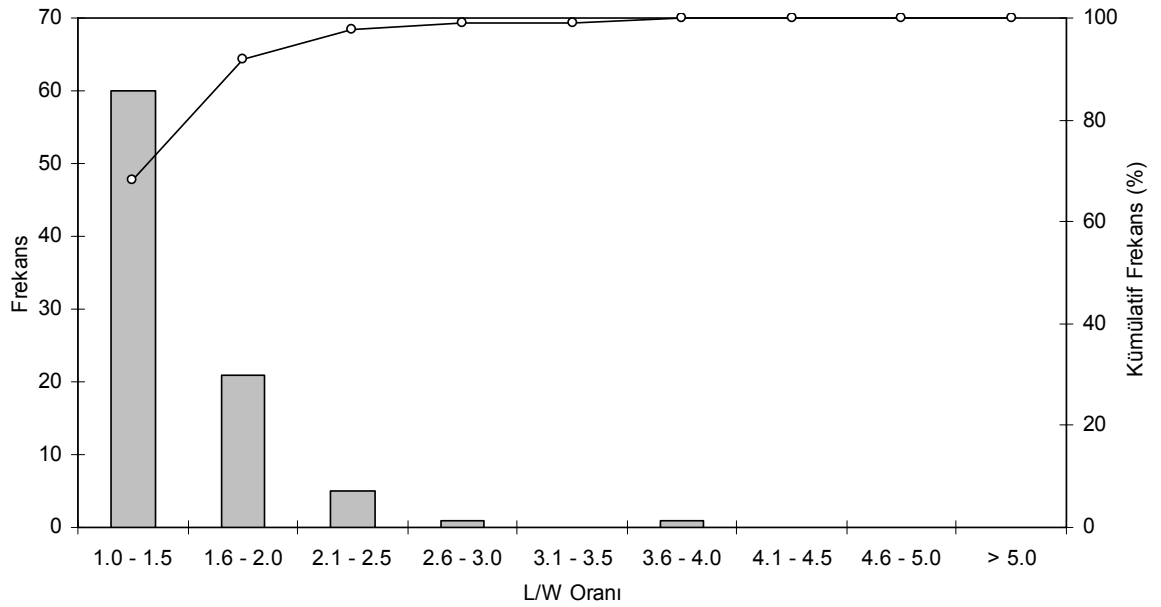
Kapalı Çöküntü Yapıları

Kapalı çöküntü yapıları, özellikle inceleme alanının orta kesiminde yer alan Sarıacakaya Platosu üzerinde bulunmaktadır (Bkz. Şekil 3.2). Bu çöküntü yapılarının uzun eksenlerine ait ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri sırasıyla 55.6, 11.8, 266.6 ve 36.0 m'dir. Kısa eksenlerine ait değerler ise sırasıyla 37.5, 10.1, 106.1 ve 19.1 m'dir. Diğer taraftan kapalı çöküntü yapılarının uzun eksenlerinin kısa eksenlerine oranına ait ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri sırasıyla 1.47, 1.03, 3.88 ve 0.39 m/m'dir. İnceleme alanında bulunan kapalı çöküntü yapılarının % 68.2'ne ait uzun eksenin kısa

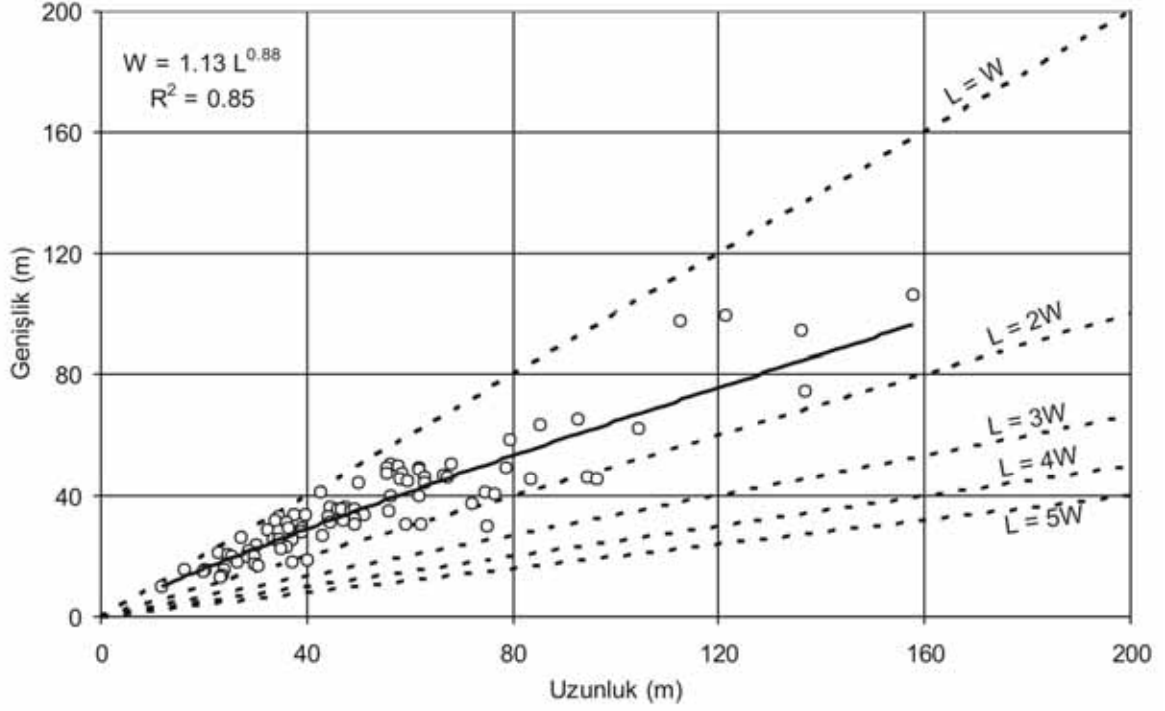
eksene oranı 1 ile 1.5 m/m arasında değişmektedir (Şekil 3.20 ve Çizelge 3.4). Ayrıca kapalı çöküntü yapılarının uzun eksenlerine ile kısa eksenleri arasında yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen regresyon eşitliği $W = 1.13L^{0.88}$ olup 0.92 korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir (Şekil 3.21). Şekil 3.21’de inceleme alanında bulunan kapalı çöküntü yapılarının uzun eksenleri ile kısa eksenlerinin birbirine yaklaşık eşit ve uzun eksenlerin kısa eksenlerden en fazla 2 kat daha büyük olduğu görülmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda HBKS’de bulunan kapalı çöküntü yapılarının çoğunlukla eş boyutlu dairesel çöküntüler olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.4: Kapalı ve açık çöküntü yapılarına ait morfometrik parametreler

		Alan (A)	Uzun Eksen (L)	Kısa Eksen (W)	L/W
		m ²	m	m	m/m
Kapalı (n = 88)	Ortalama	8305	55.6	37.5	1.47
	Min	375	11.8	10.1	1.03
	Max	57525	266.6	106.1	3.88
	SD	10465	36.0	19.1	0.39
Açık (n = 269)	Ortalama	32205	120.3	52.7	2.30
	Min	1825	27.8	17.0	1.05
	Max	1109100	969.9	507.6	6.58
	SD	103051	108.3	44.4	1.02



Şekil 3.20: Kapalı çöküntü yapılarına ait uzun/kısa (L/W) eksen frekans histogramı



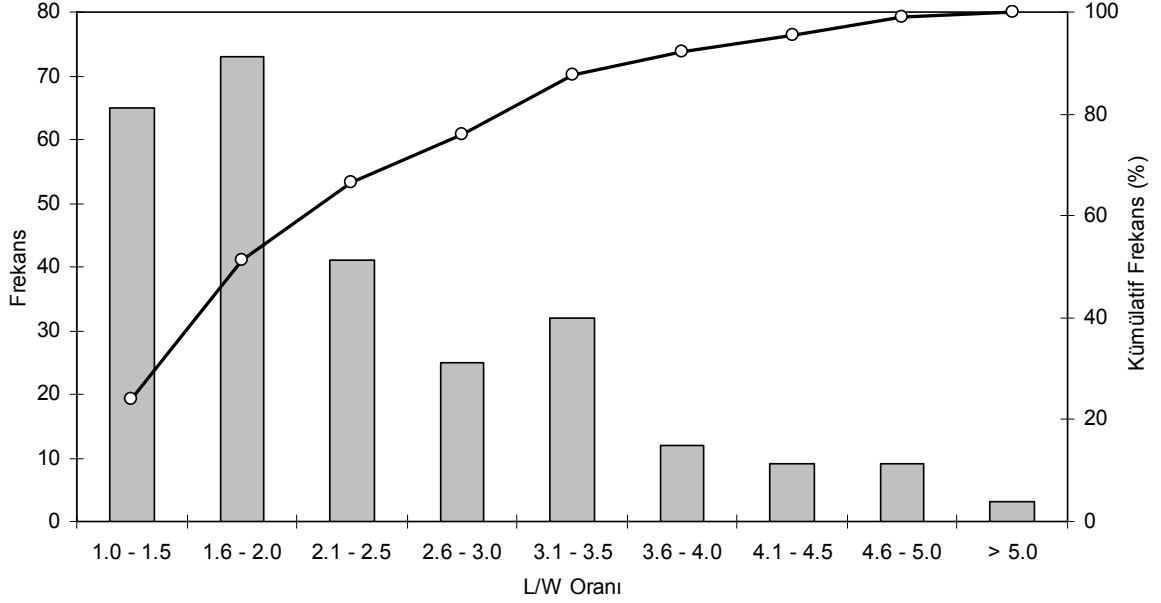
Şekil 3.21: Kapalı çöküntü yapılarına ait uzun ve kısa eksen arasındaki ilişki

Açık Çöküntü Yapıları

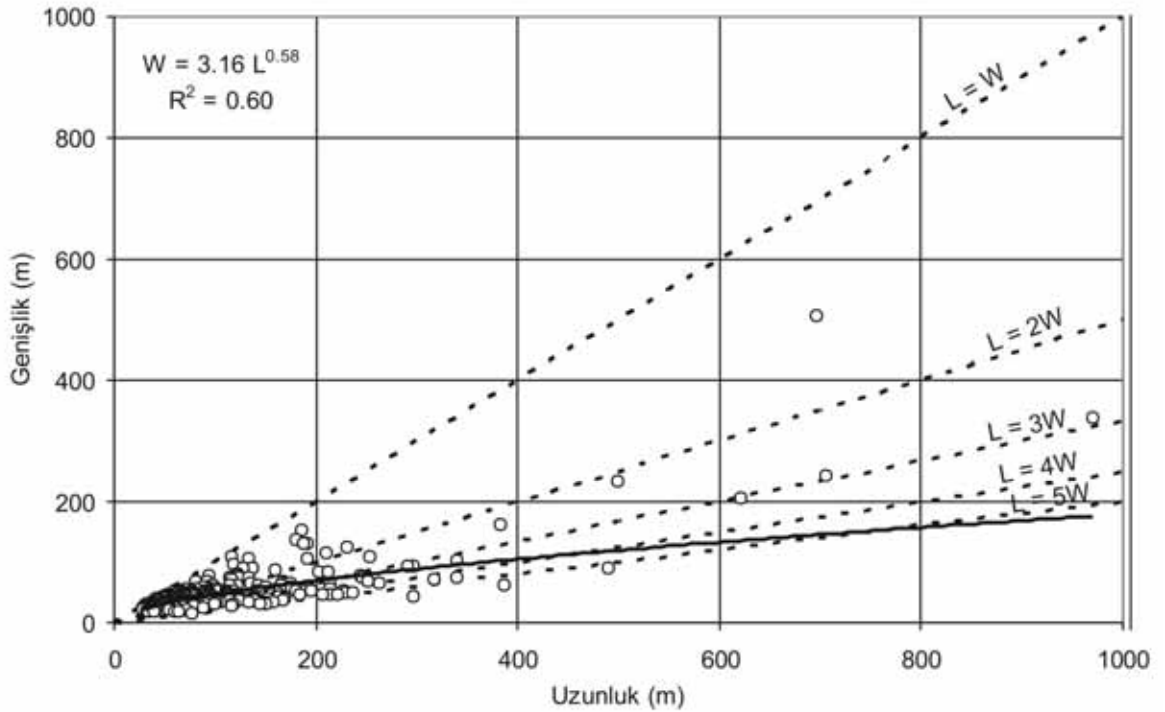
Tektonik ve iklimsel faktörler sonucunda dış drenaja açılmış veya akarsu yatağı şekline dönüşmüş açık (kapılmış) çöküntü yapıları, inceleme alanının genelinde gözlenmektedir. Bu çöküntü yapılarının uzun eksenlerine ait ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri sırasıyla 120.3, 27.8, 969.9 ve 108.3 m'dir. Kısa eksenlerine ait değerler ise sırasıyla 52.7, 17.0, 507.6 ve 44.4 m'dir (Bkz. Çizelge 3.4).

Diğer taraftan açık çöküntü yapılarının uzun eksenlerinin kısa eksenlerine oranına ait ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri sırasıyla 2.30, 1.05, 6.58 ve 1.02 m/m'dir. İnceleme alanında bulunan açık çöküntü yapılarının % 51.7'sine ait uzun eksenin kısa eksene oranı 1.5 ile 3 m/m arasında değişmektedir (Şekil 3.22 ve Bkz. Çizelge 3.4). Ayrıca açık çöküntü yapılarının uzun eksenlerine karşılık, kısa eksenleri arasında yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen regresyon eşitliği $W = 3.16 L^{0.58}$ olup 0.77 korelasyon katsayısı ile temsil edilmektedir (Şekil 3.23). Şekil 3.24'de inceleme alanında bulunan açık çöküntü yapılarının uzun eksenlerin kısa eksenlerine oranı sonucunda uzun eksenlerin kısa

eksenlerden yaklaşık 4 kat daha büyük olduğu görülmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda HBKS'de bulunan açık çöküntü yapılarının ovalleşen veya kapılmış çöküntüler olduğu belirlenmiştir.

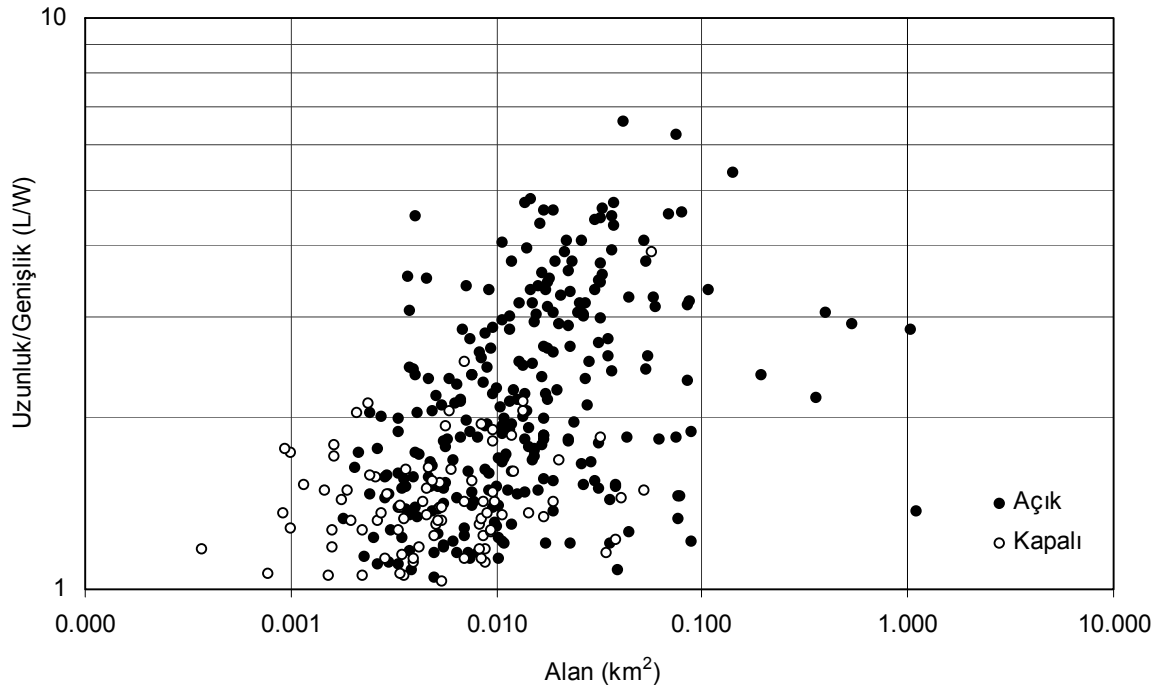


Şekil 3.22: Açık çöküntü yapılarına ait L/W histogramı



Şekil 3.23: Açık çöküntü yapılarına ait uzun ve kısa eksen arasındaki ilişki

Yukarıda yapılan hesaplama sonuçlarına göre, Harmanköy –Beyyayla karst sistemi üzerinde bulunan kapalı çöküntü yapıları dairesel, açık çöküntü yapıları ise dairesellikten uzaklaşan başka bir deyişle ovalleşen çöküntülerdir. Ayrıca inceleme alanında bulunan açık ve kapalı çöküntü yapılarının, alanları ile L/W oranı arasında yapılan analizler sonucunda da kapalı çöküntü yapılarının dairesel, açık çöküntü yapılarının da ovalleşen çöküntüler olduğu belirlenmiştir. Bu durum çöküntü yapılarının ana kırık çatlak düzlemlerini bağlı olarak geliştiğini göstermektedir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24: Tüm çöküntü yapılarına ait alan ve uzun/kısa eksen arasındaki ilişki

Çöküntü yapılarının uzun ekseninin (L) kısa eksenine (W) oranının yanı sıra dairesellik indisi de çöküntü yapılarının düzlemselliğini temsil etmekte olup ölçülen çöküntü alanının eşdeğer çöküntü alanına oranı şeklinde ifade edilmektedir (Eş.. 3.5). İdeal dairesel çöküntüler için dairesellik indisi 1 değerini almaktadır. Söz konusu değerin 1'den itibaren pozitif yönde artması ise çöküntünün dairesellikten uzaklaşmış ovalleşen çöküntüler olduğunu göstermektedir.

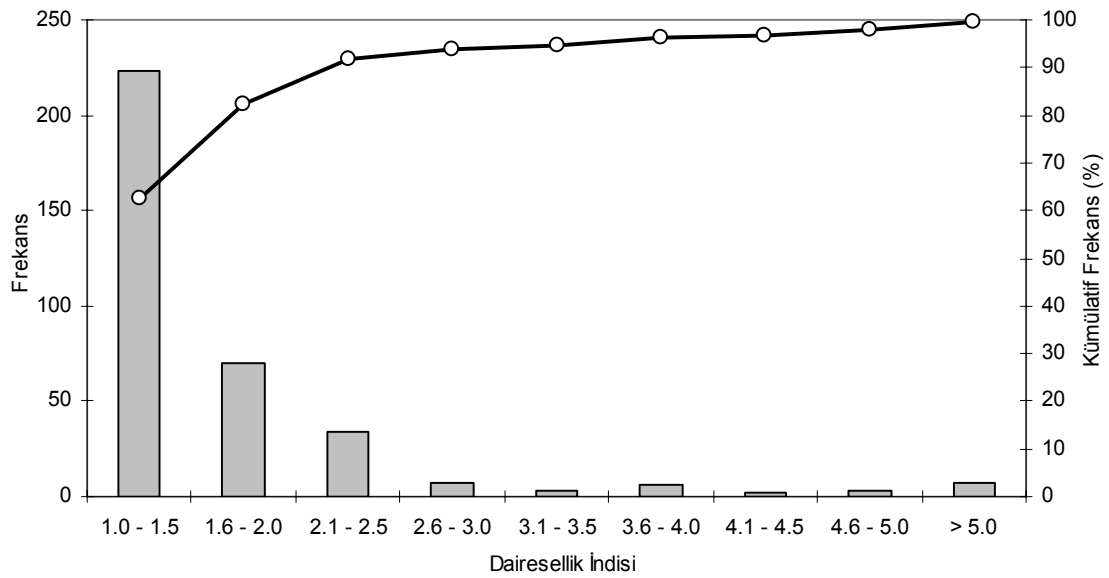
$$I_C = (A_M / A_E) \quad (3.5)$$

$$A_E = \pi \times r_E^2$$

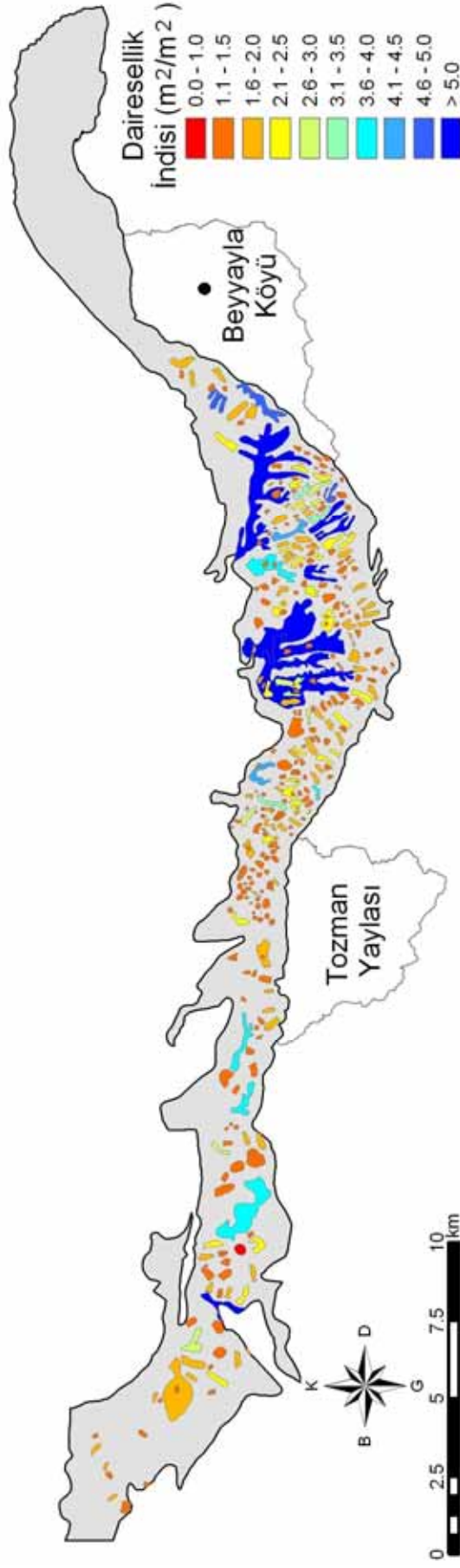
$$r_E = 2 \times (A_M / P_M)$$

I_C	Dairesellik indisi (L^2 / L^2)
A_M	Ölçülen çöküntü alanı (L^2)
A_E	Eşdeğer çöküntü alanı (L^2)
r_E	Eşdeğer çöküntü yarı çapı (L)
P_M	Ölçülen çöküntü çevresi (L)

İnceleme alanı için, Eş. 3.5 temel alınarak hesaplanan ortalama dairesellik indisi $1.72 \text{ m}^2/\text{m}^2$ olup minimum, maksimum ve standart sapma değerleri ise sırasıyla 1.03, 17.82 ve $1.36 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 'dir (Şekil 3.25 ve Bkz. Çizelge 3.2). Harmanköy – Beyyayla karst platosu üzerinde bulunan toplam 357 adet çöküntü yapısının yaklaşık 62.6'sı 1 ile $1.5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ arasında değişen dairesellik indisi değerine sahiptir (Şekil 3.26).



Şekil 3.25: Dairesellik indisi histogramı



Şekil 3.26: HBKS dairesellik indisi haritası

4. HİDROLOJİ

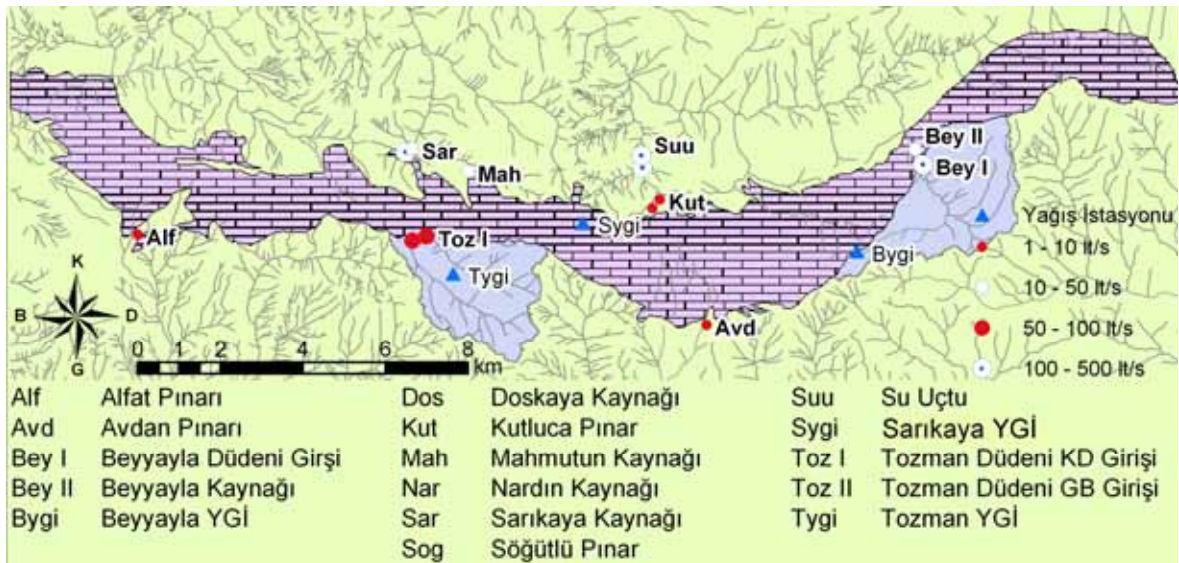
4.1. Su Noktaları

4.1.1. Akarsular

HBKS üzerinde yer alan akarsular Tozman Yaylasında ve Beyyayla Köyü yakınlarında yer almaktadır. Bu akarsular genellikle mevsimsel akışlı olup yağışlı dönemin sona ermesi ile kurumaktadır. İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Düden, Suuçtu ve Döşkaya Dereleri ise kaynak boşalımlarına bağlı olarak ya kurumakta ya da 3 – 4 l/s debi ile akmaktadırlar. İnceleme alanında yer alan su noktaları Şekil 4.1’de verilmiştir.

4.1.2. Göller

İnceleme alanı içinde sürekli göl bulunmamaktadır. HBKS’nin orta kesiminde bulunan Sarıcakaya Yaylasında yer alan dolinler ve polyeler ile inceleme alanının batısında yer alan Alfat dolininde yağış miktarına bağlı olarak kısa süreli göllenmeler oluşmaktadır (Foto 4.1). Bunun yanı sıra Tozman Düdeninin kuzeybatı girişine boşalan dere üzerinde Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından sulama amaçlı yapılan bir gölet bulunmaktadır (Foto 4.2). Buna ek olarak Sarıcakaya Yaylasında özel bir kuruluş olan Özer Mermer Ocağına su sağlamak amacı ile oluşturulan yaklaşık 40×20×8 m boyutunda bir havuz bulunmaktadır (Foto 4.3).



Şekil 4.1: İnceleme alanında yer alan su noktaları



Foto 4.1: Dolin ve Polyelerde geçici göllenme (Sarıcakaya Yaylası)



Foto 4.2: Tozman Göleti (Tozman Yaylası, Nisan 2004)



Foto 4.3: Özer Mermer Ocağı havuzu (Sarıcakaya Yaylası, Mayıs 2004)

4.1.3. Kaynaklar

Beyyayla, Döşkaya ve Nardın kaynaklar, HBKS'nin boşalmasını gerçekleştiren önemli kaynaklardır. Nardın kaynağının, Ağustos 2003 ve Eylül 2004 tarihlerinden itibaren kuruduğu, Döşkaya ve Beyyayla kaynaklarının ise debilerinin önemli bir miktarda azaldığı gözlenmiştir. Döşkaya, Nardın ve Beyyayla kaynaklarına ait fotoğraflar Foto 4.4'te verilmiştir. Bunun yanı sıra yağışların kesilmesinden itibaren yaklaşık 1 ay sonra tamamen kuruyan veya 0,1 l/s debi ile boşalan Avdan,

Söğütlü, Sarıkaya, Kutluca ve Alfat Pınarları yer almaktadır. Ayrıca inceleme alanında doğusunda Beyyayla Düdeni yakınlarında yüzeylenen granitlerin boşalmasını gerçekleştiren Düden Çeşme bulunmaktadır. İnceleme alanında yer alan su noktalarına ait bilgiler Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1: İnceleme alanında yer alan su noktalarına ait bilgiler

Kod	Adı	Koordinat			Tür	Açıklama
		X	Y	Z		
		UTM		m		
Alf	Alfat Pınarı	283099	4443941	1080	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Avd	Avdan Pınarı	296873	4441762	1195	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Bey I	Beyyayla Düdeni Girişi	302094	4445477	1160	Akarsu	Granit
Bey II	Beyyayla Kaynağı	301926	4446008	1119	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Bey III	Beyyayla Düdeni Çıkışı	301825	4445920	1136	Akarsu	Bilecik Kireçtaşları
Dos I	Döşkaya Kaynağı	289415	4445794	801	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Dos II	Döşkaya Kaynağı Akış Aşağısı	289564	4445987	795	Akarsu	Alüvyon
Kut	Kutluca Pınar	295564	4444584	1065	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Mah	Mahmutun Kaynağı	291103	4445475	1025	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Nar I	Nardın Kaynağı	295328	4445399	926	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Nar II	Nardın Kaynağı Akış Aşağısı	295357	4445524	920	Akarsu	Alüvyon
Sar	Sarıkaya Kaynağı	289766	4446022	767	Kaynak	Alüvyon
Sog	Söğütlü Pınar	295747	4444788	1085	Kaynak	Bilecik Kireçtaşları
Suu	Su Uçtu	295286	4445852	895	Akarsu	Alüvyon
Toz I	Tozman Düdeni GD Girişi	290093	4443744	1100	Akarsu	Granit
Toz II	Tozman Düdeni KB Girişi	289659	4443601	1100	Akarsu	Granit



Beyyayla Kaynağı (Mart 2004)



Beyyayla Kaynağı (Eylül 2004)



Döşkaya Kaynağı (Nisan 2004)



Döşkaya Kaynağı (Ağustos 2004)



Nardin Kaynağı (Mayıs 2004)

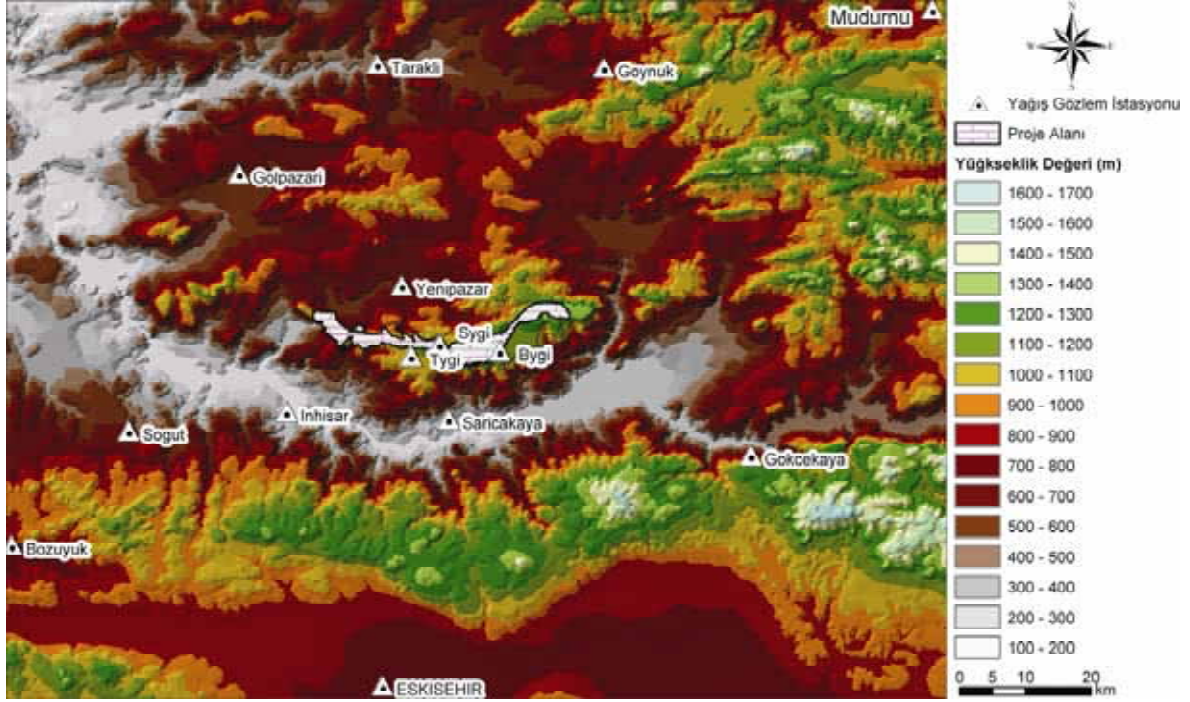


Nardin Kaynağı (Ağustos 2004)

Foto 4.4: HBKS'nin boşalımını gerçekleştiren ana kaynaklar

4.2. Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi

İnceleme alanı ve yakın dolayında yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DMİ) ait yağış gözlem İstasyonlarının (YGI) yer aldığı hidrolojik gözlem ağı haritası Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: İnceleme alanı ve yakın dolayının hidrolojik gözlem ağı haritası

4.2.1. Yağış istasyonları

HBKS üzerine düşen yağış miktarının belirlenmesi amacıyla çalışma kapsamında Beyyayla, Sarıcakaya ve Tozman yaylalarına Yağış Gözlem İstasyonları (YGI) kurulmuş ve bu istasyonlarda Mayıs 2003 ile Eylül 2004 tarihleri arasında minimum aylık aralıkta yağış ölçümleri yapılmıştır.

Kurulu istasyonların yanı sıra, HBKS yakın dolayında ancak çalışma alanının ortalama yüksekliğinden daha düşük kotlarda DMİ'ne ait 15 adet YGI yer almaktadır (Çizelge 4.2). Bölgede, DMİ tarafından işletilen yağış gözlem istasyonlarının kotları 75 m ile 840 m arasında değişmektedir. HBKS'inin ortalama kotu ise yaklaşık 1200 m'dir. Mevcut istasyonlar arasında, inceleme alanının sahip olduğu yükseklik değerine eşdeğer bir yağış gözlem istasyonu bulunmamaktadır. Dolayısı ile mevcut DMİ istasyonların inceleme alanının temsil etmediği

varsayılmış ve üç adet yağış gözlem istasyonu kurulmuştur (Foto 4.5). İnceleme alanına kurulan yağış gözlem istasyonlarında Mayıs 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında minimum aylık aralıkta yağış gözlemleri yapılmıştır.

Çizelge 4.2: Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi yakın dolayında DMI'ne ait YGİ bilgileri.

İstasyon Adı	DMI İstasyon No	İstasyon Kotu	İstasyonun Gözlem Periyodu
Bilecik	17122	526	1950 – 2004
Eskişehir	17706	801	1950 – 2004
Gölpazarı	2354	430	1987 – 1992
Göynük	2186	725	1979 – 1980
Mudurnu	2190	840	1980 – 1996
Sarıcakaya	2983	225	1980 – 1992
Söğüt	2980	725	1979 – 1995
Taraklı	2183	350	1985 – 1986
Yenipazar	2707	525	1987 – 1996
Beyyayla*	-	1240	
Sarıcakaya*	-	1220	Mayıs 2003 – Eylül 2004
Tozman*	-	1133	

* Çalışma kapsamında kurulan Yağış Gözlem İstasyonları



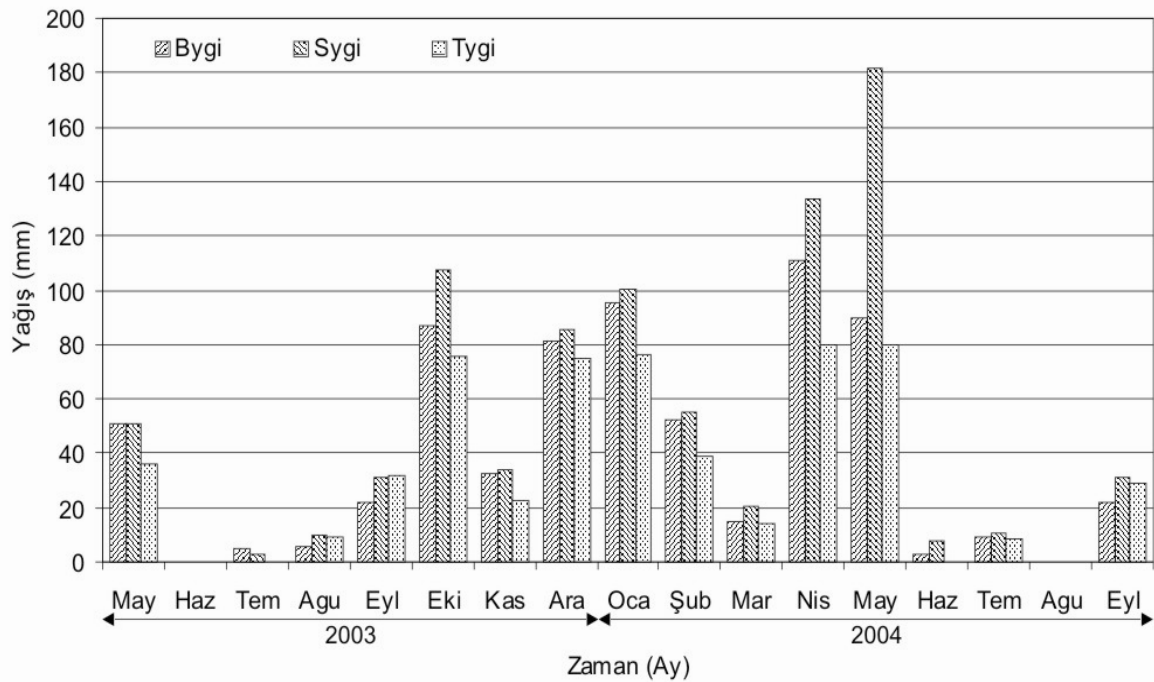
Foto 4.5: İnceleme alanına kurulan Yağış Gözlem İstasyonları

Yağış

Beyyayla, Sarıcakaya ve Tozman YGI'da Mayıs 2003 ve Eylül 2004 tarihleri arasında gözlenen yağış değerlerinin aylık değişimi histogramı Şekil 4.3'de ve bu istasyonlarda gözlenen aylık toplam yağış değerleri ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Gözlem döneminde inceleme alanının orta kesiminde yer alan Sarıcakaya YGI'da Beyyayla ve Tozman YGI'na oranla en yüksek yağış değerleri gözlenmiştir (181.5 mm, Mayıs 2004). Ayrıca Beyyayla, Sarıcakaya ve Tozman YGI'da gözlenen yıllık yağış değerleri (Ekim 2003 – Eylül 2004) sırasıyla 597.2, 767.9 ve 497.9 mm'dir.

İnceleme alanında düşen yağış miktarı ya DMI YGI'da gözlenen uzun yıllar aylık ortalama yağış değerleri ile inceleme alanına tez çalışması kapsamında kurulan YGI'da gözlenen aylık ortalama yağış değerleri arasındaki ilişkiden ya da alanda ölçülen değerlerin kullanılması ile elde edilmesi planlanmıştır. Beyyayla, Sarıcakaya ve Tozman YGI'da gözlenen yağış değerleri ile mevcut DMI istasyonlarda aynı aylarda gözlenen yağış değerlerinin uzun yıllar ortalamaları arasında yapılan istatistiksel analiz sonucu elde edilen korelasyon katsayıları sırasıyla 0,63 – 0,93, 0,55 – 0,90 ve 0,55 – 0,88 arasında değişmektedir (Ekmekçi vd., 2004).



Şekil 4.3: İnceleme alanında yer alan YGI'da gözlenen yağış değerlerinin zamansal değişimi

Çizelge 4.3: Yağış Gözlem İstasyonlarında gözlenen yağış değerleri

	B_{YGi}	S_{YGi}	T_{YGi}	Ort
	(mm)			
May 03	51.2	51.2	35.8	46.1
Haz 03	0.0	0.0	0.0	0.0
Tem 03	4.9	2.5	0.0	2.5
Ağu 03	5.5	10.2	9.4	8.4
Eyl 03	21.6	31.3	31.8	28.3
Eki 03	87.0	107.4	75.6	90.0
Kas 03	32.3	33.8	22.4	29.5
Ara 03	81.6	85.8	75.1	80.8
Oca 04	95.5	100.5	76.1	90.7
Şub 04	52.2	55.0	38.5	48.6
Mar 04	14.9	20.4	13.9	16.4
Nis 04	110.7	133.8	79.8	108.1
May 04	89.5	181.5	79.6	116.9
Haz 04	2.5	7.7	0.0	3.4
Tem 04	9.4	10.7	8.2	9.4
Ağu 04	0.0	0.0	0.0	0.0
Eyl 04	21.6	31.3	28.7	27.2
Toplam*	597.2	767.9	497.9	621.0

B_{YGi}: Beyyayla YGi; **S_{YGi}**: Sarıcakaya YGi; **T_{YGi}**: Tozman YGi; * Ekim 2003 – Eylül 2004

Dolayısıyla çalışma kapsamında yapılacak hesaplama ve değerlendirmeler için inceleme alanına kurulan YGi'da Ekim 2003 – Eylül 2004 (su yılı) tarihleri arasında gözlenen yağış değerleri kullanılmıştır. Buna göre HBKS üzerine düşen yıllık toplam yağış miktarı 621 mm olarak kabul edilmiştir.

4.2.2. Akım gözlemleri

İnceleme alanında Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüd İdaresine (EİEİ) ait akım gözlem istasyonları bulunmamaktadır. HBKS'nin hidrodinamik yapısının aydınlatılmasına yönelik inceleme alanında yer alan akarsu ve kaynaklardan 18

dönem (Nisan, Mayıs, Haziran (3), Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık 2003 ve Ocak, Şubat, Mart, Nisan (2), Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Kasım 2004) akım ölçümleri yapılmıştır. Bu kapsamda, inceleme alanında yer alan Beyyayla – I, Beyyayla – III, Tozman – I ve Tozman – II düdenlerinde, Beyyayla – II, Döşkaya, Nardın ve Sarıkaya kaynaklarında Moline ile Alfat, Avdan, Kutluca ve Söğütlü Pınarda ise hacmi bilinen bir kap yardımı ile debi ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 4.4 ve Foto 4.6).

Çizelge 4.4: İnceleme alanında debi ölçümü yapılan noktalara ait bazı bilgiler

Kod	Lokasyon			Açıklama
	X	Y	Z	
	(UTM)		(m)	
Alf	283076	4443964	1080	Alfat Pınar
Avd	296866	4441755	1195	Avdan Pınarı
Bey I	302094	4445477	1160	Beyyayla Düdeni Girişi
Bey II	301926	4446008	1119	Beyyayla Kaynağı
Bey III	301825	4445920	1136	Beyyayla Düdeni Çıkışı
Dos I	289415	4445794	801	Döşkaya Kaynağı
Dos II	289564	4445987	795	Döşkaya Kaynağı ve Yan Kollar
Kut	295741	4444813	1065	Kutluca Pınar
Nar I	295328	4445399	926	Nardın Kaynağı
Nar II	295357	4445524	920	Nardın Kaynağı ve Yan Kollar
Sar	289744	4445977	797	Sarıkaya Kaynağı
Sog	295564	4444596	1085	Söğütlü Pınar
Toz – I	290093	4443744	1100	Tozman Düdeni GD Girişi
Toz – II	289659	4443601	1100	Tozman Düdeni KB Girişi

Akım

İnceleme alanında debi ölçümü yapılan noktalarda akım kanalı geometrisi dikkate alınarak hesaplanan ortalama akım değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Nardın – I ve Döşkaya – I kaynaklarında yapılan debi ölçümleri kaynak çıkışlarını temsil etmekte olup bu kaynakların akış aşağısında yapılan debi ölçümleri ise kaynak çıkışları ile yan kollardan gelen akım miktarını göstermektedir.



Tozman düdeni güneydoğu girişi
(Toz – I)



Tozman düdeni kuzeybatı girişi
(Toz – II)



Döşkaya kaynağı (Dos – I)



Döşkaya kaynağı akış aşağısı (Dos – II)



Nardın kaynağı (Nar – I)



Beyyayla düdeni girişi (Bey – I)

Foto 4.6: Debi ölçümü yapılan lokasyonlara ait fotoğraflar

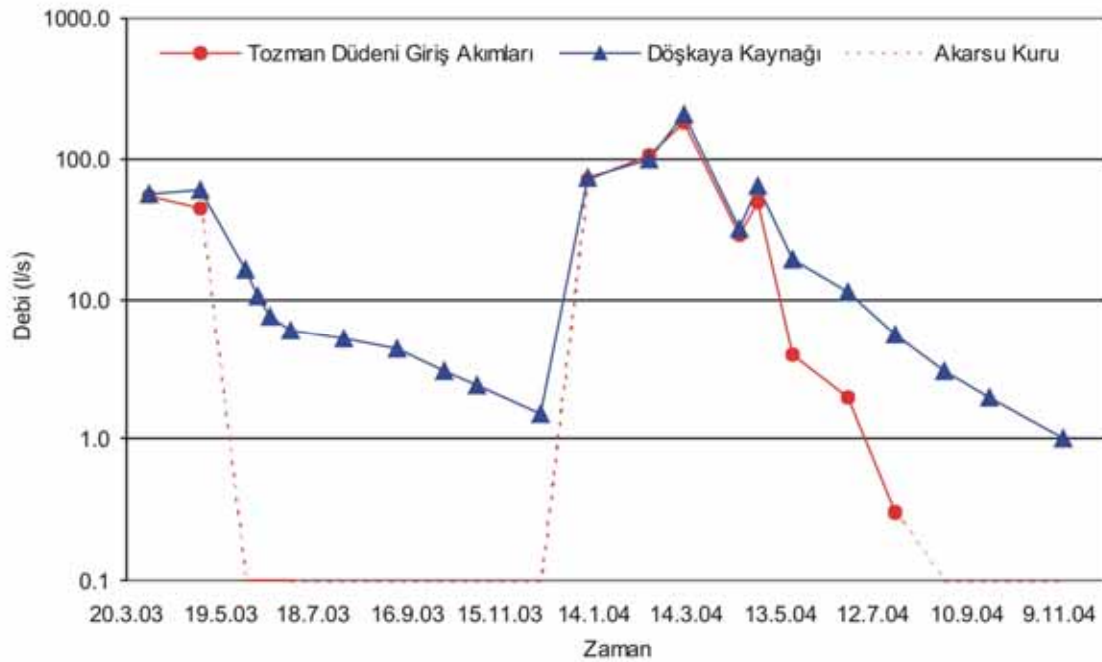
İnceleme alanında yer alan akarsulardan ve kaynaklardan Toz – I (Haz 2003 ve Tem 2004) ve Toz – II (Haz 2003 ve 2004) girişi ile Alf, Kut ve Sog Pınar (Haz 2003) akımları yağışların kesilmesi ile birlikte kurumuştur. Diğer kaynak ve akarsularda önemli miktarda debi düşüşü olması ile Nardın Kaynağı Temmuz 2003 sonunda tamamen kurumuş ve Ocak 2004 tarihinde ise tekrar boşalmasını gerçekleştirmeye başlamıştır. Ayrıca söz konusu kaynak Ağustos 2004 tarihinden sonra tekrar kurumuştur. Bununla birlikte Bey I ve II ile Sar su noktalarındaki debi miktarının 2 l/s'nin altına düştüğü gözlenmiştir. Bey II debi ölçüm noktasının Nisan – Mayıs 2003 ile Ocak – Şubat 2004 tarihlerinde, ölçüm noktasının yapıldığı yerin kanyon içerisinde bulunmasından ve söz konusu aylarda buraya ulaşımın güç olmasından dolayı bu noktada debi ölçümü yapılamamıştır. Bu dönemlere ait debi ölçümleri Bey I ve Bey II noktalarında yapılan mevcut ölçümler arasında elde edilen ilişkiden ($r = 0,99$) türetilmiştir.

Çizelge 4.5: İnceleme alanında ölçülen aylık ortalama akım değerleri

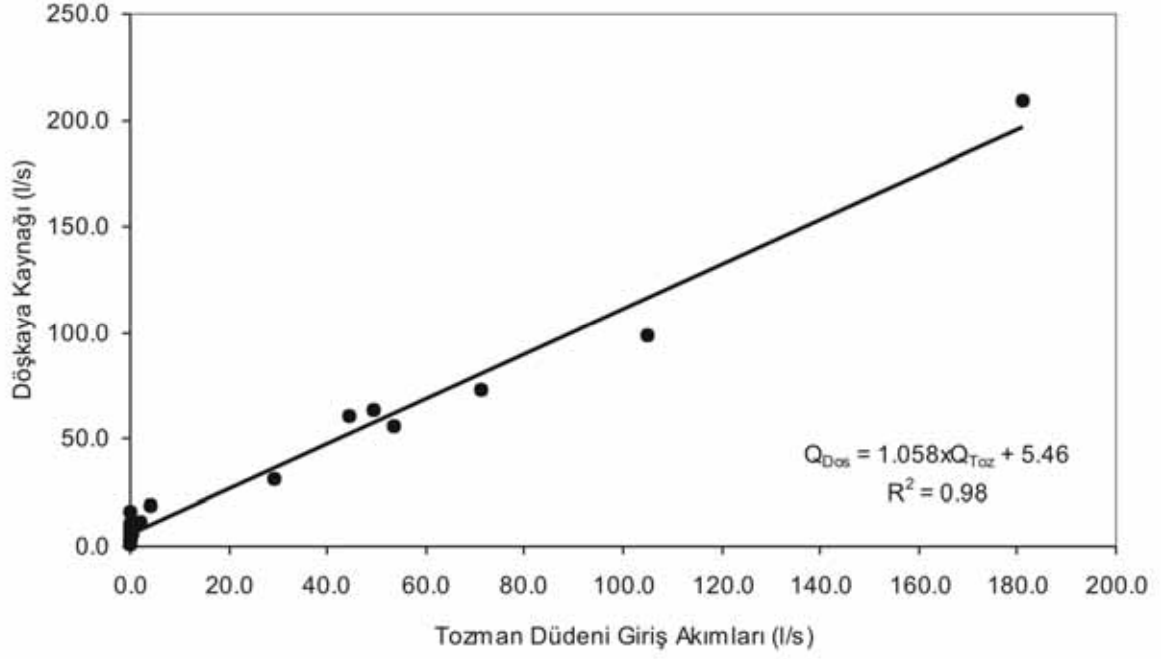
İstasyonlar	Bey - I	Bey - II	Bey - III	Dos - I	Dos - II	Nar - I	Nar - II	Toz – I	Toz - II
	(l/s)								
03.04.2003	147.8	70.0*	173.3*	56.0	72.5	251.9	298.7*	27.5	26.1
06.05.2003	61.7	47.2*	73.2*	60.4	77.0	386.2	420.2	23.4	21.0
05.06.2003	12.4	18.5	18.5	16.1	18.9	92.1	97.2	0.2	+
13.06.2003	8.3	11.4	11.4	10.6	14.4	74.5	81.3	+	+
20.06.2003	6.7	10.7	10.7	7.6	12.0	75.5	79.5	+	+
04.07.2003	3.5	6.9	6.9	5.9	7.3	42.2	43.8	+	+
07.08.2003	1.0	2.9	2.9	5.2	7.0	+	+	+	+
10.09.2003	0.5	2.0	2.0	4.4	5.3	+	+	+	+
10.10.2003	0.2	1.0	1.0	3.0	4.4	+	+	+	+
01.11.2003	0.5	1.5	1.5	2.4	3.4	+	+	+	+
11.12.2003	1.6	2.2	2.2	1.5	2.4	+	+	0.1	+
11.01.2004	78.4	57.2*	92.6*	73.4	87.8	50.8	53.1	35.0	36.3
19.02.2004	109.5	70.0*	128.8*	98.9	118.3	223.0	241.5	63.0	42.1
13.03.2004	295.3	67.4	345.4	208.9	342.1	395.8	509.1	80.7	100.2
17.04.2004	22.4	19.6	27.2	31.6	35.2	166.2	176.1	19.2	10.0
29.04.2004	81.8	51.2	91.4	63.6	80.2	138.3	166.9	28.2	21.3
21.05.2004	50.7	52.0	64.4	19.5	28.1	156.2	160.6	2.5	1.5
26.06.2004	13.4	15.2	15.2	11.3	14.1	250.0	265.0	1.0	1.0
26.07.2004	1.5	3.1	3.1	5.5	8.5	49.8	51.6	0.3	+
27.08.2004	0.5	1.5	1.5	3.0	4.0	10.0	10.5	+	+
25.09.2004	0.2	1.0	1.0	2.0	3.0	+	+	+	+
11.11.2004	0.1	0.5	0.5	1.0	1.5	+	+	+	+

*: Yapılan ölçümlerden türetilmiştir; +: Kaynak veya akarsu kuru

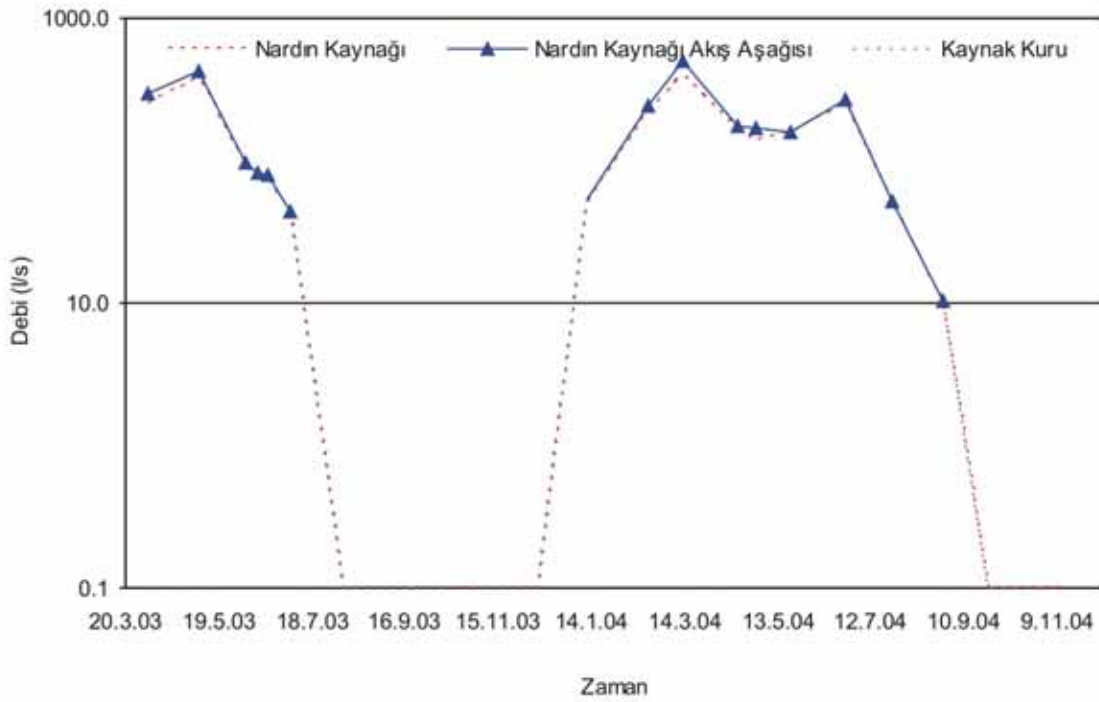
Ayrıca Bey – III akım gözlem noktasında ölçülen değerleri, Beyyayla düdeni çıkışını ve kaynağı temsil etmektedir. Söz konusu düden çıkışında Ocak – Mayıs 2004 tarihleri arasında akım meydana gelirken, diğer aylarda tamamen kurumaktadır. Dolayısıyla düden çıkışının kuru olduğu dönemlerde Bey – II akımları Beyyayla sisteminin boşalımını temsil etmektedir. Tozman düdeni güneydoğu ve kuzeybatı girişlerinde meydana gelen toplam girdi ile Döşkaya kaynağı akım hidrografı Şekil 4.4’de verilmiştir. Hidrograflarda en yüksek değer Mart 2004 tarihinde Tozman düdeni güneydoğu ve kuzeybatı girişlerinde sırasıyla 80,7 ve 100,2 l/s olarak gözlenirken Döşkaya kaynağında ise 208.9 l/s gözlenmiştir. Tozman düdeni toplam girdisi ile Döşkaya kaynağı boşalımları arasında oluşturulan $Q_{DOS}=1.058Q_{TOZ}+5.46$ regresyon eşitliğinde 0,98 korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Şekil 4.5). Bu durum, Tozman düdeni – Döşkaya kaynağı karst sisteminde, sistemde meydana gelen etkinin tepkisinin çok hızlı olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, sisteme giren yağışların ve akımların etkisi çok kısa sürede sistemin boşalımını sağlayan Döşkaya Kaynağında görülmektedir. Ayrıca Döşkaya kaynağı boşalımında, Tozman düdeninin toplam girdisine ek olarak yaklaşık 5.46 l/s’lik bir akım fazlalığı gözlenmektedir. Bu katkı, yağışlardan itibaren DOS kaynağı beslenme alanında bulunan kireçtaşlarından otojenik beslenme ile gerçekleştiği göstermektedir.



Şekil 4.4: Tozman düdeni girişleri ve DOS kaynağı akım hidrografları



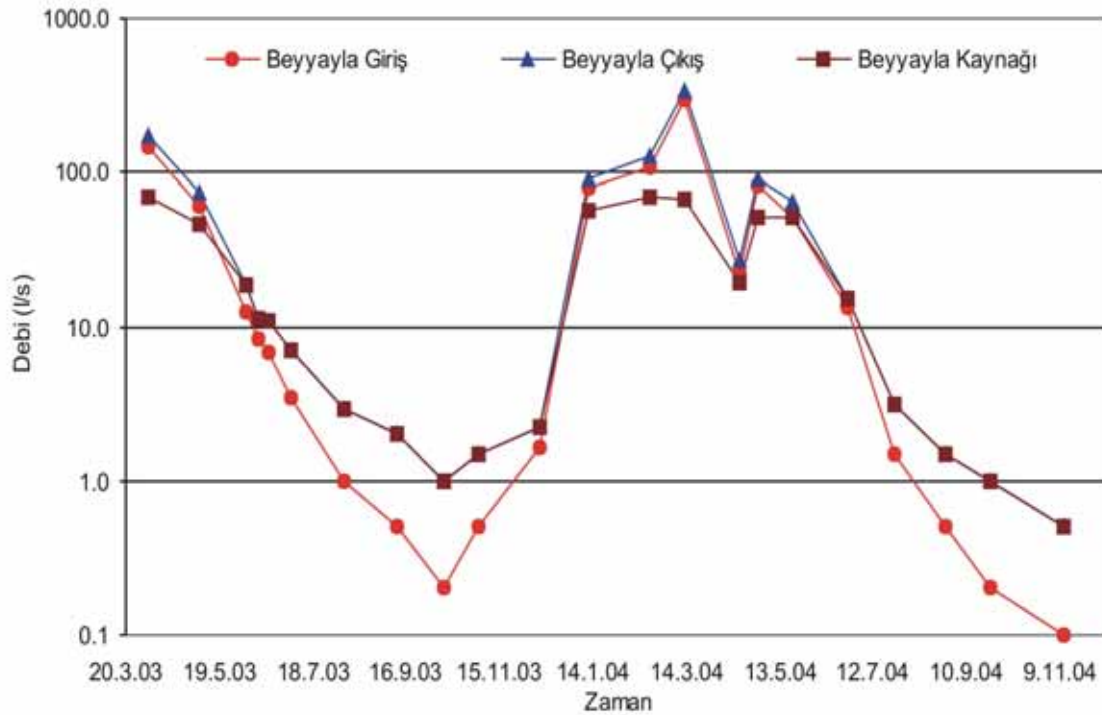
HBKS'nin ana boşalımını oluşturan kaynaklardan bir diğeri ise Nardın kaynağı'dır. Nardın kaynağı (Nar I) ve akış aşağısı (Nar II) için oluşturulan akım hidrografları Şekil 4.6'da verilmiştir. Söz konusu hidrograflardan, en yüksek değer Nardın kaynağı ve akış aşağısında sırasıyla 395,8 l/s ve 509,1 l/s olarak Mart 2004 tarihinde gözlenmektedir.



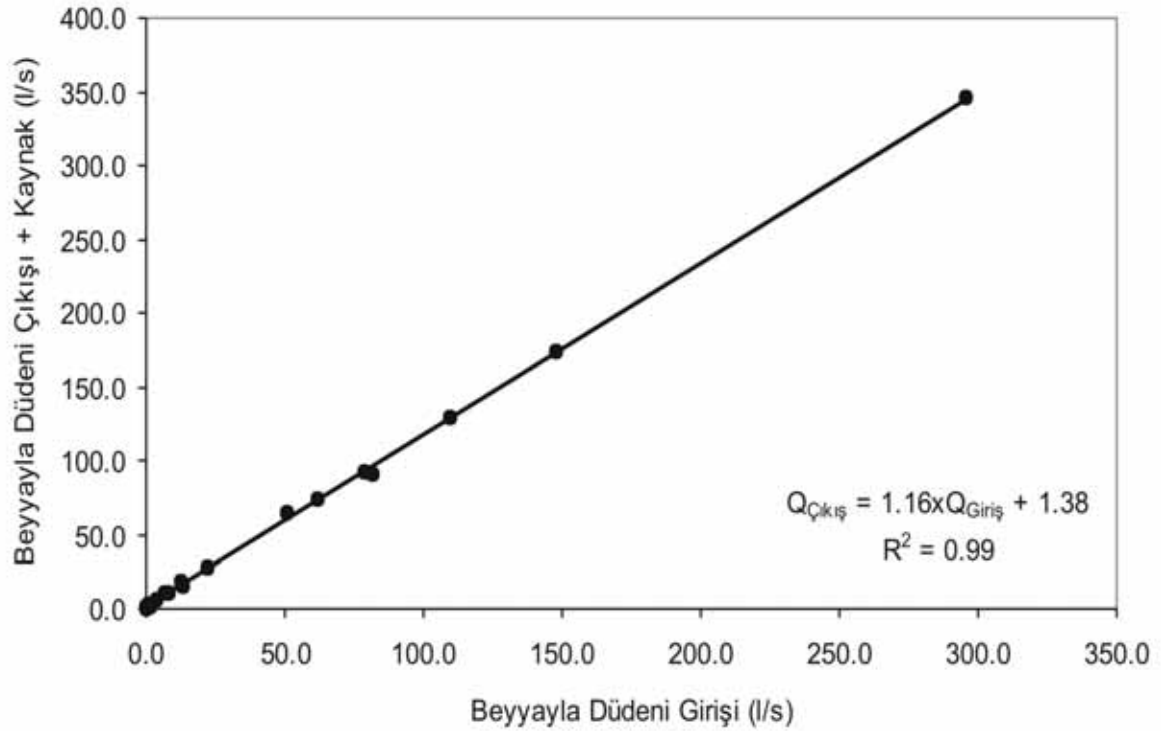
Beyyayla düdeni girişi (Bey I) ve çıkışı (Bey III) ile Beyyayla kaynağı (Bey II) için oluşturulan akım hidrografı Şekil 4.7’de verilmiştir. Adı geçen su noktaları için oluşturulan akım hidrografındaki dalgalanma sistemin drenaj alanında meydana gelen yağışlara bağlı olduğunu göstermektedir.

Yağışların kesilmesi ile birlikte Beyyayla düdeni girişinde gözlenen akım değeri yaklaşık 1 l/s dolaylarında gözlenirken, düden çıkışında akım meydana gelmemektedir. Ayrıca kaynak debisi ise 3 l/s’dir. Bu durum, Beyyayla düdeni sisteminin herhangi bir etkiye karşı çok hızlı bir şekilde tepki verdiğini göstermektedir. Başka bir deyişle depolamadaki katkı yaklaşık 2 l/s’dir. Beyyayla düdeni girdisi ile düden çıkışındaki toplam akım miktarı arasında oluşturulan $Q_{Çıkış} = 1.16 Q_{Giriş} + 1.38$ regresyon eşitliğinde 0,99 korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Şekil 4.8).

Ayrıca sistemi boşalımında, Beyyayla düdeninin girdisine ek olarak yaklaşık 1.38 l/s’lik bir akım fazlalığı gözlenmektedir. Bu katkı, yağışlardan itibaren Beyyayla sistemi beslenme alanında süzülme ile gerçekleştiği göstermektedir.



Şekil 4.7: Beyyayla düdeni girişi, çıkışı ve Beyyayla kaynağı akım hidrografı



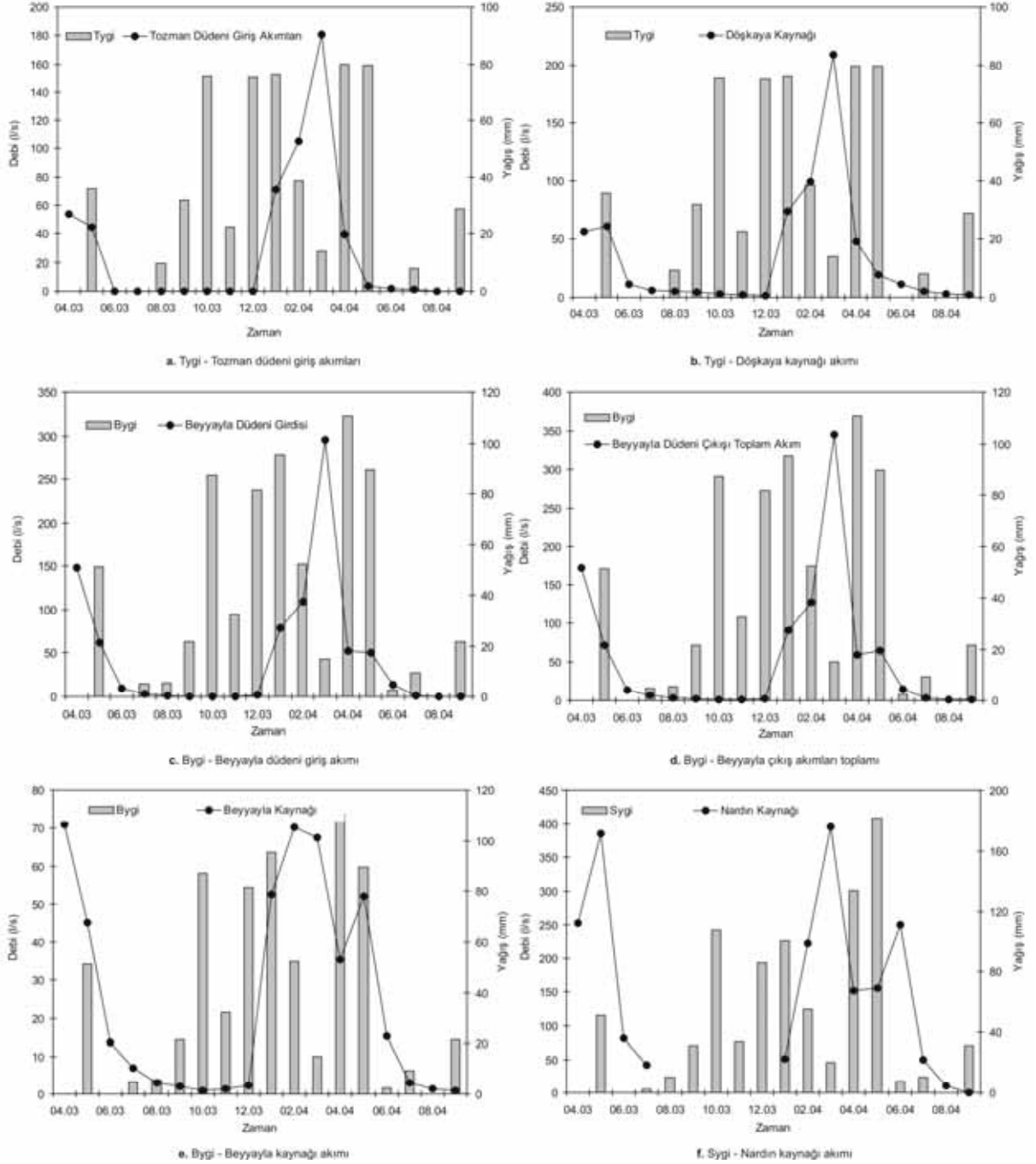
Şekil 4.8: Beyyayla düdeni girdisi ile düden çıkışı toplam boşalımlarına ait saçılım grafiği

4.2.3. Yağış ve akım arasındaki ilişki

HBKS'nin batısında yer alan Tozman düdeni – Döşkaya sisteminde girdiyi oluşturan yağış değerleri (T_{YGI}) ile sistemin boşalımını gerçekleştiren akım değerleri (Dos) arasında oluşturulan grafikler Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 4.9.a'da Tozman YGI'da gözlenen yağış değerleri ile Tozman düdeninin (güneydoğu ve kuzeybatı) girişlerinde meydana gelen toplam akım değerleri arasında oluşturulan grafik verilmektedir. Şekil 4.9.b'de ise Tozman YGI'da gözlenen yağış değerleri ile Döşkaya kaynağı boşalımları için oluşturulan grafik verilmiştir.

İnceleme alanının doğusunda yer alan Beyyayla düdeni sisteminde girdiyi oluşturan yağış değerleri (B_{YGI}) ile sistemin boşalımını gerçekleştiren akım değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler Şekil 4.9'da verilmiştir. Beyyayla YGI'da gözlenen yağış değerleri ile Beyyayla düdeninin girişinde, Beyyayla düdeni çıkışında (kaynak + düden çıkışı) ve Beyyayla kaynağında meydana gelen akım değerleri ile oluşturulan grafikler sırasıyla Şekil 4.9.c, Şekil 4.9.d ve Şekil 4.9.e'de verilmiştir.

HBKS'nin orta kesiminde yer alan Nardın kaynağı sisteminde girdi, sistem üzerine düşen yağışların kırık – çatlaklardan ve yüzeyden süzülme şeklinde oluşmaktadır. Bu bölgede Tozman ve Beyyayla sistemleri gibi noktasal girdi bulunmamaktadır. Sistemin boşalımı ise Nardın kaynağı tarafından gerçekleştirilmektedir. Söz konusu bölge için Sarıcakaya YĞİ yağışları ve Nardın kaynağı akım değerleri arasında oluşturulan grafikler Şekil 4.9.f'de verilmiştir.



Şekil 4.9: Yağış ve akım değerlerine ait grafikler

Kırıklı – çatlaklı ve yer yer karstlaşmalı Paleozoyik yaşlı Sızır mermer akiferinde, sistemin girdisini oluşturan yağışların etkisi yaklaşık 55 gün sonra Sızır kaynak akımlarında gözlenmektedir (Aydın, 1999). Şekil 4.10'da görüldüğü üzere, HBKS'nin girdisini ve boşalımını gerçekleştiren yağış ve akım değerleri arasında her hangi bir ilişki görülmemektedir. Bu durum, sistemin girdisi ve bu girdi sonucu gözlenen tepki arasında geçen sürenin muhtemelen akım ve yağış değerlerinin gözlem süresinden daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır. HBKS'de akım ölçümleri minimum aylık aralıkta anlık ölçümlerden oluşurken, yağış ölçümleri ise inceleme alanına kurulan YGi'da toplanan aylık toplam yağışlardan oluşmaktadır. Dolayısıyla, inceleme alanında yapılan gözlem sıklığının aylık aralıkta olmasından dolayı değerlendirmeler belirsizlik içermektedir.

4.3. Su Bütçesi

Su bütçesi hesaplamaları, HBKS'nin hidrodinamik yapısının aydınlatılması amacı ile tez çalışmaları kapsamında elde edilen verilerle yapılmıştır. Bu hesaplamalarda kütlelenin korunumu yasası temel alınmıştır. Bu ilişkilere dayanarak ve sistemin kararlı olduğu varsayımıyla bütçe,

$$\Delta Q = Q_{bes} - Q_{boş} \text{ veya } P + R = ET_g + Q_s \pm Q_y \quad (4.1.)$$

şeklinde verilmektedir. Burada;

Q_{bes} sistemdeki toplam beslenme (L^3/T),

$Q_{boş}$ sistemde toplam boşalım (L^3/T),

ΔQ depolamadaki değişim (L^3/T),

P sistem üzerindeki alansal yağış girdisi (L^3/T),

ET_g bölgede buharlaşma – terleme ile çıkan su (L^3/T),

Q_s sistemden kaynak boşalımı ile çıkan su (L^3/T),

Q_y sistemden yan sistemlere kaçan veya giren yeraltısuyu (L^3/T)

R sisteme yan sistemlerden noktasal (allojenik) giren yüzey suyu (L^3/T).

4.3.1. Bütçe bileşenlerinin hesaplanması

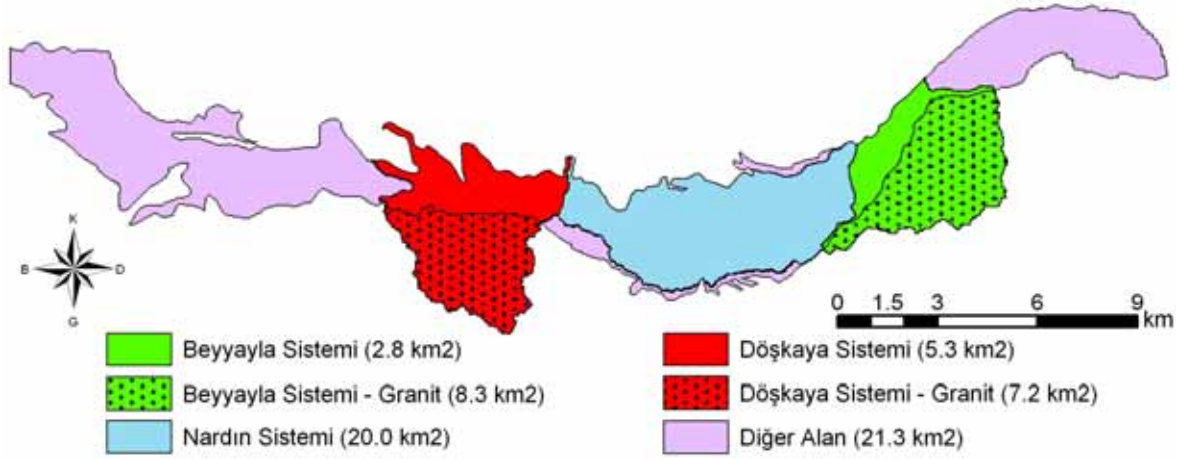
Bütçe hesaplamalarında kullanılan akım değerleri, inceleme alanında akarsu ve kaynaklarda yapılan akım ölçümlerinden sağlanmıştır. Söz konusu ölçümler, Nisan 2003 ile Eylül 2004 tarihleri arasında aylık aralıkta yapılmıştır. Yağış ölçümlerini ise Mayıs 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında inceleme alanına kurulan yağış gözlem istasyonlarında yapılan yağış gözlemleri oluşturmaktadır. Bütçe hesaplamalarında kullanılan yağış ve akım değerleri, bir su yılını kapsayacak şekilde Ekim 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında inceleme alanında gözlenen değerlerden elde edilmiştir. Sıcaklık verileri ise inceleme alanının kuzeyinde yer alan Yenipazar ve Gölpazarı YGI'da 1987 – 1992 yılları arasında yapılan aylık sıcaklık gözlemlerinin ortalamasından elde edilmiştir.

Bütçe hesaplamaları, HBKS'nin hidrolojisi ve morfolojisi dikkate alınarak üç alt bölümde gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanının üç alt bölüme ayrılmasında, sistemin boşalımını gerçekleştiren kaynakların davranışı (akım ve su kimyası), sistemin beslenme koşulları ve inceleme alanının morfolojik yapısı dikkate alınmıştır. I. bölümü, inceleme alanının batısında yer alan Tozman düdeni – Döşkaya kaynağını (Döşkaya sistemi), II. bölüm inceleme alanının doğusunda yer alan Beyyayla düdeni ve yakın dolayını (Beyyayla sistemi), III. bölüm ise Beyyayla ve Tozman yaylaları arasında kalan Sarıcakaya yaylası – Nardın kaynağı çevresini (Nardın sistemi) kapsamaktadır. Bu bölümlerle ilgili drenaj alanı, ortalama akım ve yağış değerleri ile ilgili bilgiler Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.6: İnceleme alanı geneli ve alt bölümlerle ilgili bilgileri

Havza Adı	Drenaj Alanı		Toplam Alan	Toplam Yağış	Ortalama Akım
	Kireçtaşı	Granit			
	(km ²)	(km ²)	(km ²)	(mm)	(l/s)
Beyyayla Sistemi	2.8	8.3	11.1	597.2	59.7
Döşkaya Sistemi	5.3	7.2	12.5	497.9	56.2
Nardın Sistemi	20.0	*	20.0	767.9	161.0
Çalışma Alanı Geneli	49.5	15.5	65.0	621.0	298.7

HBKS'ni oluşturan Jura yaşı Bilecik kireçtaşları inceleme alanında yaklaşık 49.5 km²'lik bir alanda yüzeilenmektedir. Beyyayla sisteminin drenaj alanında yüzeilen kireçtaşı ve granitleri alanları sırasıyla 2.8 ve 8.3 km²'dir. Döşkaya sisteminin drenaj alanının 5.3 km²'sinde kireçtaşları 7.2 km²'sinde ise granitler yüzeilenmektedir. Granitlerden drene olan yağış suları Tozman ve Beyyayla düdenlerinden noktasal (allojenik) olarak sisteme girmektedir. Nardın sisteminin drenaj alanında yüzeilen kireçtaşlarının alanı ise yaklaşık 20 km²'dir (Bkz. Çizelge 4.6 ve Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi alt drenaj alanları

İnceleme alanında yüzeilen Jura yaşı kireçtaşlarının toplam alanından bu üç sistemin drenaj alanlarında yüzeilen kireçtaşı miktar çıkarıldığında yaklaşık 21.3 km²'lik bir alan alt bölümlerin bütçe hesaplamaları dışında kalmaktadır. Jura yaşı kireçtaşlarının yüzeildiği söz konusu alanda önemli miktarda boşalım sağlayan kaynak ve yüzeysel akış gerçekleştirecek akarsu bulunmadığından dolayı bu alan inceleme alanı geneli için yapılacak bütçe hesaplamalarında dikkate alınacaktır. Ayrıca inceleme alanı geneli için yapılacak hesaplamalarda söz konusu kireçtaşlarının toplam alanı kullanılacaktır.

a. alansal yağış (P)

Bütçe hesaplamalarında kullanılan alansal yağış girdisi, arazi çalışması süresince inceleme alanına kurulan yağış gözlem istasyonlarından sağlanmıştır. Alansal yağış girdisi her alt bölüm için bu alanlarda yer alan yağış gözlem istasyonlarında

gözlenen yıllık toplam yağış değerleri ile havza geneli için ise bu istasyonların ortalamaları kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Beyyayla Sistemi	: $1.692 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Döşkaya Sistemi	: $2.653 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Nardın Sistemi	: $15.358 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Çalışma alanı geneli	: $30.740 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

b. granitlerden allojenik beslenme (R)

Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin drenaj alanlarında sırasıyla 8.3 ve 7.2 km²'lik alanlarda yüzeyleyen granitlerden drene olan yüzey suları, Tozman ve Beyyayla düdeni girişlerinde sisteme noktasal (allojenik) olarak girmektedir. Söz konusu katkı, Tozman ve Beyyayla düdeni girişinde aylık aralıkta ölçülen akım değerlerinden hesaplanmıştır:

Beyyayla Sistemi	: $1.587 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Döşkaya Sistemi	: $1.060 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Çalışma alanı geneli	: $2.647 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

c. akış (kaynak boşalımları – Q_s)

Bu bölümde yapılan hesaplamalarda, HBKS'de yüzeysel akışa geçen her hangi bir akarsu bulunmadığından dolayı sistemin boşalımını gerçekleştiren kaynaklarda aylık aralıkta ölçülen akım değerleri kullanılmıştır. HBKS'de meydana gelen akış miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Beyyayla Sistemi	: $1.883 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Döşkaya Sistemi	: $1.772 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Nardın Sistemi	: $5.077 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
Çalışma alanı geneli	: $9.420 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

d. buharlaşma (ET_g)

Alansal buharlaşma – terleme (ET_g) kayıplarının hesaplanması amacıyla Turc eşitliğinden (Turc, 1954), yağış ve sığ dolaşımli kaynak sularında korunumlu bir iyon olan Cl⁻ derişimlerinden ve Döşkaya ve Beyyayla sistemlerinin drenaj alanlarında yüzeylenen granitlerin üzerine düşen yağış miktarı ve düden girişlerinde ölçülen akım miktarları arasında kalan faktan yararlanılmıştır. Bilindiği gibi Turc eşitliği:

$$ET_g = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (4.2)$$

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3 \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada:

ET_g gerçek buharlaşma – terleme (mm),

P sisteme alansal yağış girdisi (mm),

T alansal sıcaklık (°C),

L sıcaklığa bağılı katsayı,

Alansal sıcaklık değeri, inceleme alanının kuzeyinde yer alan Gölpazarı ve Yenipazar yağış gözlem istasyonlarında ölçülen sıcaklık değerlerinden elde edilmiştir. İnceleme alanı için ortalama sıcaklık değeri 11.05 °C olarak hesaplanmıştır. Beyyayla, Döşkaya ve Nardın alt sistemleri ile havza geneli için hesaplanan ET_g değeri yıllık yağışın sırasıyla % 80.0, % 85.4, % 75.2 ve % 80.1'ini oluşturmaktadır. Başka bir deyişle Turc yöntemine göre HBKS'de yıllık yağışın (621 mm/yıl) yaklaşık % 80.0'i (496.8 mm/yıl) buharlaşma – terleme yolu ile kaybolmaktadır.

Bunun yanı sıra, yağış ve sığ dolaşımli kaynak sularında korunumlu bir iyon olan Cl⁻ derişimleri kullanılarak hesaplanan buharlaşma – terleme değeri yıllık yağışın yaklaşık % 76.4'ünü (474.4 mm/yıl) oluşturmaktadır.

İnceleme alanının güney kesiminde Döşkaya ve Beyyayla sistemleri drenaj alanlarında yüzeyleyen granitleri üzerine düşen yağış miktarı ile Tozman ve Beyyayla düden girişlerinde ölçülen akım miktarları arasında kalan fark gerçek buharlaşma – terleme ve toprak yüzeyinde tutulma olarak kabul edilmiştir. Beyyayla sistemi drenaj alanında yüzeyleyen granitler üzerine düşen yağışın yaklaşık %68'i buharlaşma – terleme ve toprak yüzeyinde tutulma olarak kaybolmaktadır. Döşkaya sistemi granitleri için yapılan hesaplamada ise yağışın yaklaşık % 57'si gerçek buharlaşma – terleme (ET_g) ve toprak yüzeyinde tutulma olarak belirlenmiştir. Söz konusu alanda ET_g değerinin Beyyayla sisteminden küçük çıkması, Tozman düdeni kuzeybatı girişinin memba kesiminde yer alan sulama amaçlı göletten kaynaklanmaktadır. Bu nedenden dolayı, Döşkaya sistemi drenaj alanı için ET_g hesaplaması, Tozman düdeninin güneydoğu girişinin drenaj alanına düşen yağış değeri ve bu alandan drene olan akım değeri ile yapılmıştır. Söz konusu hesaplama sonucunda Döşkaya sistemi drenaj alanında yüzeyleyen granitler üzerine düşen yağışın yaklaşık %70'i buharlaşma – terleme ve toprak yüzeyinde tutulma olarak kaybolmaktadır. Bu değerlendirmelere göre Döşkaya ve Beyyayla sistemleri üzerine düşen yağışın ortalama % 69'u (428.5 mm/yıl) gerçek buharlaşma – terleme ve toprak yüzeyinde tutulma olarak kaybolmaktadır.

Her üç yöntemle hesaplanan gerçek buharlaşma – terleme değerlerinden, Turc ve Cl⁻ yöntemi ile yapılan hesaplamalarda birbirlerine yakın değerler elde edilmiştir. Turc yöntemi ile yapılan hesaplamalarda kullanılan sıcaklık değerlerinin sağlandığı DMİ istasyonlarının kotunun inceleme alanı kotundan düşük olması bu yöntem ile yapılan ET_g hesaplamalarının çok sağlıklı olmadığı sonucunu doğurmaktadır. Bunun yanı sıra inceleme alanına kurulan yağış gözlem istasyonlarında toplanan su örneklerinin Cl⁻ iyonu içeriği ile yapılan ET_g hesaplamalarında ise yağış istasyonunda elde edilen suların anlık olmaması başka bir deyişle bir aylık toplam yağışı temsil etmektedir. Bekleme süresinde dolayı bu suların kirliliğe (kuş pisliği) maruz kaldığını gözlenmiştir. Dolayısıyla inceleme alanında meydana gelen ET_g 'yi temsil etmemektedir. Buna ek olarak, Turc ve Cl yöntemi ile hesaplanan ET_g değerleri yağışın % 75 – 80'ne denk gelmektedir. Fakat sisteme girdiyi oluşturan akım değerleri ise bu durumu desteklememektedir. Bu çalışma kapsamında, Döşkaya ve Beyyayla sistemleri drenaj alanlarında yüzeyleyen granitler üzerine düşen yağış ve bu alanlarda meydana gelen boşalımlar arasında kalan fark gerçek

buharlaşma – terleme kayıpları ve toprak yüzeyinde tutulma (% 69) olarak kabul edilmiştir. Başka bir deyişle HBKS’de yıllık yağışın 428.5 mm’si gerçek buharlaşma – terleme ve toprak yüzeyinde tutulma olarak kaybolmaktadır.

İnceleme alanı için ET_g değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Beyyayla Sistemi : $1.167 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Döşkaya Sistemi : $1.830 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Nardın Sistemi : $10.597 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Çalışma alanı geneli : $21.210 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

4.3.2. Bütçe hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi

Hesaplamalar sonucu elde edilen verilerin yorumlanmasında kolaylık sağlaması amacıyla 3.1 nolu eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$[P (\text{m}^3/\text{yıl}) + R (\text{m}^3/\text{yıl})] = [ET_g (\text{m}^3/\text{yıl}) + Q_s (\text{m}^3/\text{yıl})] \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte:

$P = 0$ ise sisteme girdi, buharlaşma – terleme ve kaynak boşalımları birbirlerine eşitir; bütçe denktir.

$P < 0$ ise sisteme girdi, buharlaşma – terleme ve kaynak boşalımlarından küçüktür; havza yüzeysel drenaj alanı dışından katkı gelmektedir.

$P > 0$ ise sisteme girdi, buharlaşma – terleme ve kaynak boşalımlarından büyüktür; drenaj alanı dışına yeraltısuyu akımı vardır.

İnceleme alanı için hesaplanan bütçe değerleri Eş. 4.4 nolu eşitlikte yerine konduğunda;

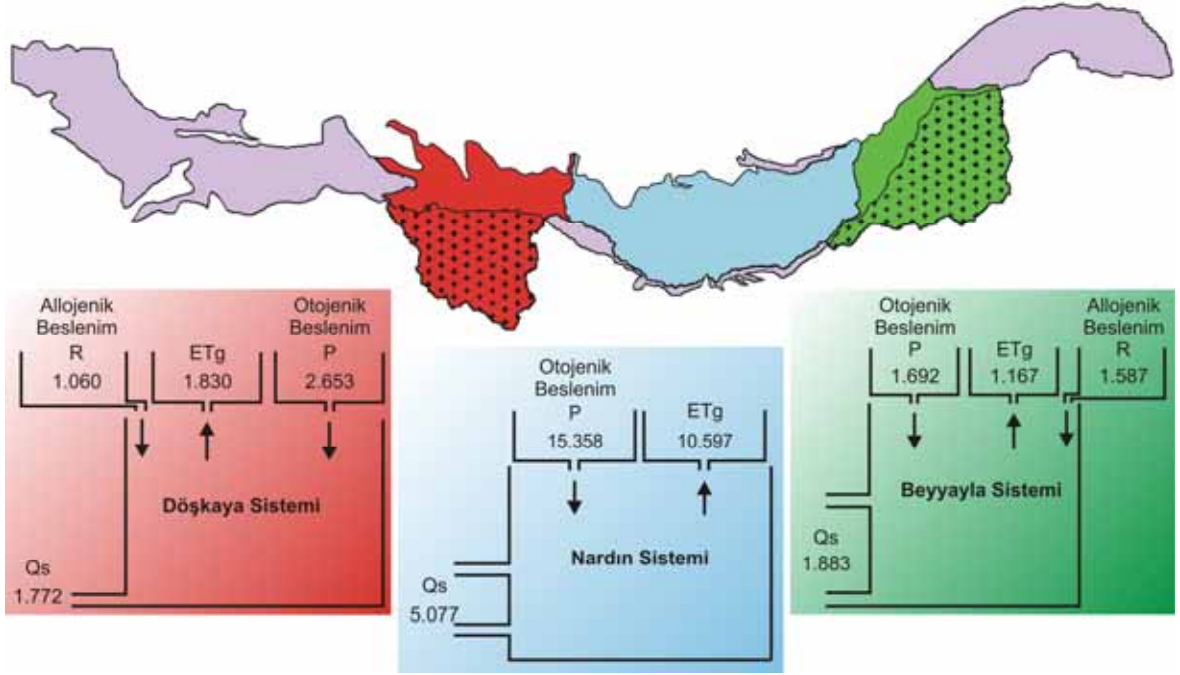
Beyyayla Sistemi : $[P+R] > [ET_g + Q_s]$ $3.279*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} > 3.050*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Döşkaya Sistemi : $[P+R] > [ET_g + Q_s]$ $3.713*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} > 3.602*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Nardın Sistemi : $[P] < [ET_g + Q_s]$ $15.358*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} < 15.674*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Çalışma alanı geneli : $[P+R] > [ET_g + Q_s]$ $33.387*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} > 30.630*10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Bütçe hesaplama sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir. Beyyayla ve Döşkaya sistemleri ile havza geneli için yapılan hesaplamalarda sisteme girdi, kayıplardan yüksek çıkmaktadır. Nardın sisteminde ise düşük çıkmaktadır. Başka bir deyişle sisteme dışardan katkı olduğunu göstermektedir. Fakat HBKS’nin çalışma alanı ve yakın dolayında topoğrafik olarak en yüksek noktalarda bulunmasından dolayı böyle bir durumun söz konusu olması mümkün görülmemektedir.



Şekil 4.11: Harmanköy – Beyyayla karst sistemi alt drenaj alanlarına ait bütçe hesaplama sonuçları (Değer $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$)

HBKS için yapılan bütçe hesaplama sonucunda, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde sırasıyla yaklaşık 0.627 ve 0.304 l/gün kadar ETg ve akım eksikliği gözlenirken Nardın sisteminde ise $1.58 \cdot 10^{-5} \text{ mm/yıl}$ yağış eksikliği gözlenmektedir. Bu farklılık, yağış ve akım değerlerinin ölçüm hassasiyeti sınırları içinde kalmaktadır. Ayrıca sistemin boşalımını gerçekleştiren Beyyayla, Döşkaya ve Nardın kaynakları gibi ana boşalım noktalarından başka debileri ölçülmeyen mevsimsel özellik sergileyen kaynak boşalımları dikkate alınmamıştır. Sonuç olarak, kütlenin korunumu temel alınarak yapılan bütçe hesaplamaları ölçüm hassasiyetleride dikkate alındığında, Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin dengede olduğunu göstermiştir.

5. HİDROJEOKİMYA

5.1. Hidrojeokimyasal Örnekleme, Analiz ve Değerlendirme Çalışmaları

Çalışma kapsamında, HBKS'nin girdisini ve boşalımını sağlayan su noktalarından hidrokimyasal davranışının belirlenmesine yönelik, Nisan 2003 ile Kasım 2004 tarihleri arasında aylık aralıkta kaynak, çeşme ve akarsulardan su kimyası amaçlı yerinde ölçümler ve alınan örneklerin laboratuvarında analizlerinin gerçekleştirilmesi amacı ile örnekleme yapılmıştır. Bu amaçla inceleme alanında 5 adet kaynaktan (Beyyayla, Düden, Döşkaya, Nardın ve Sarıkaya kaynakları) aylık aralıkta, 7 adet kaynaktan (Ali Osman, Alfat, Avdan, Kutluca, Mahmut, Söğütlü ve Yeni Pınar) ise birer dönem olmak üzere toplam 10 su noktasından örnek alınmıştır. Bunun yanı sıra sistemin girdisini oluşturan 3 adet akarsu (Tozman düdeni GD ve KB girişi ile Beyyayla düdeni girişi) ve Nardın Kaynağı mansabında yer alan Suuçtu mevkiinde aylık aralıkta su kimyası amaçlı örnekleme yapılmıştır. Buna ek olarak, inceleme alanında kurulan 3 adet yağış gözlem istasyonunda Mayıs 2003 ile Eylül 2004 tarihleri arasında aylık yağış örnekleri ve Kasım 2003 ile Ocak 2004 tarihleri arasında ise kar örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır (Bkz. Şekil 4.1). Bu çalışma kapsamında, Nisan 2003 ile Kasım 2004 tarihleri arasında kalan dönemlere ait analiz sonuçları verilmiştir. Suların mineral doygunluk analizleri ise Parkhurst and Appelo (1999) tarafından hazırlanan PHREEQC bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır.

HBKS ve yakın dolayında bulunan su noktalarına ait pH, elektriksel iletkenlik (EC – $\mu\text{S/cm}$), sıcaklık (T – $^{\circ}\text{C}$), çözünmüş oksijen (DO – mg/l), çözünmüş oksijen doygunluğu (DO_{sat} – %), redox (mV), toplam çözünmüş madde (TDS – g/l) ve bulanıklılık gibi özellikler arazide ölçülmüştür. İnceleme alanı sularına ait EC değerlerinin daha sağlıklı değerlendirilebilmesi amacı ile APHA et. al. (1989) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak 25 $^{\circ}\text{C}$ 'deki eşdeğerleri hesaplanmıştır.

$$\text{EC}_{25^{\circ}\text{C}} = [\text{EC}_A \times K] / [1 + 0.0191(t_A - 25)] \quad (5.1)$$

EC_{25°C}: özgül elektriksel iletkenlik (μS/cm)

EC_A : arazide ölçülen elektriksel iletkenlik (μS/cm)

K : iletkenlik ölçer hücre sabiti (K = 1 cm⁻¹)

t_A : arazide ölçülen örnek sıcaklığı (°C)

Alınan örnekler üzerinde yapılan majör iyon (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻²) analizleri, T.S.E. belgeli Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası Laboratuvarlarında elektronötrallite < ± % 5 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alınan örneklerde F, Br, Cd, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Si ve Zn, gibi iz element analizleri yapılmıştır. Bununla beraber, sulardaki inorganik kirliliği incelemek amacı ile azot bileşikleri (NH₃, NO₂⁻, NO₃⁻) ile PO₄⁻³ analizleri de yapılmıştır (Ek 1). Hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında yapılan tüm örnekleme ve analiz çalışmaları Uluslararası Standartlara (APHA et. al., 1989)'a uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

5.2. Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

5.2.1. Ortalama Değerler

İnceleme alanındaki su noktalarında gözlenen pH, elektriksel iletkenlik, sıcaklık, çözünmüş oksijen, çözünmüş oksijen doygunluğu, redox potansiyeli, toplam çözünmüş madde ve bulanıklılık parametrelerine ait ortalama, minimum, maksimum, standart sapma ve değişim katsayısı değerler Çizelge 5.1'de, toplanan su örneklerinde majör iyon, ağır metal ve kirlilik parametrelerine ait değerler ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu bölüm kapsamında, HBKS'nin boşalımını gerçekleştiren Nardın (NAR), Döşkaya (DOS), Sarıkaya (SAR) ve Beyyayla (BEY II) kaynaklarında yerinde yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. DOS, SAR ve BEY II kaynak çıkışlarında ölçülen minimum ve maksimum sıcaklık değerleri arasındaki fark 6,9 – 8,6 °C iken, NAR kaynağında 3,8 °C'dir. Ayrıca söz konusu kaynakların minimum ve maksimum özgül EC değerleri arasındaki fark 521 – 862 μS/cm arasında gözlenirken, bu değer NAR kaynağında 218 μS/cm olarak gözlenmektedir.

Çizelge 5.1: İnceleme alanındaki su noktalarında yerinde yapılan ölçüm sonuçlarının ortalama, minimum, maksimum, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

Kod		T (° C)	pH	EC _A (µS/cm)	EC ₂₅	DO (mg/l)	DO (%)	Redox (mV)	Turbi	Salinity (g/l)	Açıklama
BEY I	Ort	13.89	8.00	327.80	420.76	6.10	66.18	309.00	32.43	0.20	Akarsu
	Min	0.15	7.59	144.70	237.84	4.08	43.20	202.00	0.00	0.10	
	Max	23.96	8.36	475.00	722.13	8.80	96.20	383.00	55.10	0.30	
	SD	7.15	0.26	91.35	124.73	2.42	26.51	61.65	17.83	0.07	
	CV	51.43	3.22	27.87	29.64	39.73	40.06	19.95	54.97	35.36	
BEY II	Ort	11.09	7.57	407.16	556.84	7.50	76.27	331.38	37.04	0.26	Kaynak
	Min	6.00	6.90	242.00	328.61	5.03	46.22	120.90	18.80	0.20	
	Max	14.60	7.85	608.00	849.41	10.40	98.11	404.00	91.60	0.40	
	SD	2.35	0.26	113.21	160.41	1.87	18.49	118.24	24.86	0.09	
	CV	21.17	3.38	27.80	28.81	24.94	24.24	35.68	67.10	33.12	
BEY III	Ort	8.31	8.53	275.10	404.07	7.70	72.53	+	+	0.18	Akarsu
	Min	4.86	8.48	154.40	239.48	5.61	45.50	+	+	0.10	
	Max	12.37	8.57	333.00	515.17	8.80	94.30	+	+	0.20	
	SD	3.35	0.04	81.88	121.35	1.81	24.82	+	+	0.05	
	CV	40.35	0.44	29.76	30.03	23.54	34.22	+	+	28.57	
DOS	Ort	9.89	7.23	512.38	711.20	10.14	95.62	387.25	32.21	0.33	Kaynak
	Min	5.00	6.84	160.30	249.37	9.44	84.10	358.00	10.00	0.10	
	Max	11.90	7.88	800.00	1110.91	11.38	99.94	425.00	52.00	0.50	
	SD	1.92	0.28	197.66	259.25	0.66	5.41	20.81	14.90	0.12	
	CV	19.42	3.91	38.58	36.45	6.48	5.66	5.37	46.25	36.99	
DUD	Ort	12.17	7.19	204.33	272.06	6.62	57.87	331.33	18.66	0.11	Çeşme
	Min	5.90	6.56	66.80	105.17	4.09	35.80	189.30	0.00	0.00	
	Max	17.57	7.81	304.00	475.17	10.73	86.30	416.00	42.70	0.20	
	SD	4.14	0.31	56.03	84.40	3.59	25.84	103.32	21.65	0.05	
	CV	34.01	4.33	27.42	31.02	54.18	44.66	31.19	116.01	46.77	
NAR	Ort	15.89	6.87	596.47	721.54	7.12	71.58	355.43	21.26	0.37	Kaynak
	Min	13.70	6.38	483.00	615.94	3.25	31.40	241.00	0.00	0.30	
	Max	17.46	7.18	687.00	833.45	8.80	90.00	430.00	63.50	0.40	
	SD	1.14	0.20	64.50	69.81	2.28	24.05	68.82	23.56	0.05	
	CV	7.17	2.84	10.81	9.68	32.09	33.60	19.36	110.85	12.26	
SAR	Ort	11.42	7.76	653.47	883.90	8.89	87.86	360.20	15.07	0.40	Kaynak
	Min	6.09	7.45	448.30	615.11	7.80	81.80	341.00	0.00	0.20	
	Max	13.65	8.24	950.00	1217.40	10.00	97.50	391.00	34.70	0.50	
	SD	1.80	0.19	133.24	182.60	0.90	7.10	18.94	13.31	0.08	
	CV	15.72	2.51	20.39	20.66	10.07	8.08	5.26	88.31	20.90	
SUU	Ort	15.65	8.02	575.78	702.75	7.22	75.83	+	+	0.34	Akarsu
	Min	13.00	7.80	469.00	509.06	3.77	35.50	+	+	0.30	
	Max	20.88	8.24	671.00	806.57	9.00	98.00	+	+	0.40	
	SD	2.45	0.15	85.18	106.91	2.99	34.99	+	+	0.05	
	CV	15.64	1.83	14.79	15.21	41.37	46.14	+	+	15.30	
TOZI	Ort	10.89	7.73	186.34	262.87	8.06	90.25	243.00	50.42	0.10	Akarsu
	Min	0.20	7.28	28.00	53.20	8.02	87.50	213.00	17.10	0.00	
	Max	22.70	8.02	414.00	691.49	8.09	93.00	278.00	125.00	0.20	
	SD	7.75	0.25	98.27	173.65	0.05	3.89	27.07	43.79	0.06	
	CV	71.19	3.21	52.74	66.06	0.63	4.31	11.14	86.85	60.30	
TOZII	Ort	11.02	7.77	193.82	270.41	9.43	95.43	337.00	27.37	0.10	Akarsu
	Min	0.10	7.14	86.90	146.03	8.09	92.10	292.00	0.00	0.10	
	Max	22.91	8.30	280.00	533.35	10.66	99.67	378.00	47.10	0.10	
	SD	8.36	0.35	59.40	105.15	1.16	3.86	43.14	24.46	0.00	
	CV	75.90	4.53	30.6	38.9	12.3	4.0	12.8	89.4	0.0	
ALF	Ort	8.27	7.68	365.00	538.27	+	+	384.00	8.45	0.20	Kaynak
ALİ	Ort	12.16	7.35	448.0	593.6	12.41	111.9	+	18.70	+	Çeşme
AVD	Ort	12.85	7.50	462.50	600.05	+	+	380.00	12.70	0.30	Çeşme
KUT	Ort	10.48	7.22	331.0	458.0	+	+	385	23.5	0.2	Çeşme
MAH	Ort	11.93	6.86	537.0	715.7	+	+	397	14.3	0.3	Kaynak
SOG	Ort	10.30	7.21	394.0	547.8	+	+	386	22.0	0.3	Çeşme
YEN	Ort	12.25	7.27	348.0	460.0	+	+	+	+	+	Çeşme

ALF: Alfat Pınarı, AVD: Avdan Pınarı, BEY I: Beyyayla Düdeni Girişi, BEY II: Beyyayla Kaynağı, BEY III: Beyyayla Düdeni Çıkışı, DOS I: Döşkaya Kaynağı, DOS II: Döşkaya Kaynağı Akış Aşağısı, KUT: Kutluca Pınarı, MAH: Mahmutun Kaynağı, NAR I: Nardın Kaynağı, NAR II: Nardın Kaynağı Akış Aşağısı, SAR: Sarıkaya Kaynağı, SOG: Söğütlü Pınar, SUU: Su Uçtu, TOZ I: Tozman Düdeni GD Girişi, TOZ II: Tozman Düdeni KB Girişi, Ort: ortalama, Min: minimum, Max: maksimum, SD: standart sapma, CV: değişim katsayısı (%), EC_A: Arazide ölçülen elektriksel iletkenlik, EC₂₅: 25 °C için hesaplanan elektriksel iletkenlik, +: hesaplama yapılmadı,

Çizelge 5.2: İnceleme alanında toplanan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçlarının ortalama, minimum, maksimum, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri

Kod		Alk meq/l	Br mg/l	Ca meq/l	Cd mg/l	Cl meq/l	CO ₃ meq/l	Cr mg/l	Cu mg/l	F mg/l	Fe mg/l	HCO ₃ meq/l	K meq/l	Li mg/l	Mg meq/l	Mn mg/l	Na meq/l	NH ₄ mg/l	Ni mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Pb mg/l	PO ₄ mg/l	SO ₄ meq/l	Zn mg/l
BEY I	Ort	3.323	0.000	2.914	0.000	0.066	0.166	0.000	0.003	0.098	0.347	3.157	0.044	0.001	0.408	0.042	0.307	0.166	0.002	0.001	1.811	0.000	0.005	0.214	0.009
	Min	2.093	0.000	1.717	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.056	0.070	2.093	0.023	0.000	0.287	0.000	0.215	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.000
	Max	4.703	0.000	3.918	0.000	0.150	1.500	0.000	0.031	0.179	0.692	4.703	0.110	0.008	0.658	0.105	0.969	0.595	0.032	0.024	8.691	0.000	0.100	0.428	0.045
	SD	0.744	0.000	0.686	0.000	0.031	0.384	0.000	0.008	0.028	0.183	0.660	0.020	0.002	0.098	0.025	0.160	0.143	0.007	0.006	2.273	0.000	0.023	0.096	0.012
	CV	22.4	x	23.5	x	46.9	231.9	x	304.3	28.9	52.6	20.9	44.6	142.5	24.1	60.3	52.1	85.9	435.9	412.3	125.5	x	435.9	44.8	135.3
BEY II	Ort	4.459	0.000	4.255	0.000	0.056	0.087	0.000	0.002	0.074	0.235	4.372	0.033	0.001	0.374	0.024	0.221	0.148	0.002	0.002	2.398	0.000	0.005	0.183	0.003
	Min	2.850	0.000	2.695	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	2.850	0.023	0.000	0.297	0.000	0.148	0.000	0.000	0.000	0.300	0.000	0.000	0.085	0.000
	Max	5.891	0.000	5.936	0.000	0.150	1.000	0.000	0.016	0.106	0.673	5.891	0.046	0.003	0.576	0.066	0.282	0.328	0.032	0.028	6.525	0.000	0.053	0.287	0.011
	SD	1.009	0.000	1.038	0.000	0.027	0.264	0.000	0.004	0.026	0.218	1.000	0.007	0.001	0.077	0.019	0.037	0.110	0.008	0.007	1.517	0.000	0.015	0.061	0.004
	CV	22.6	x	24.4	x	47.1	303.4	x	290.7	34.5	92.9	22.9	19.6	101.5	20.7	80.2	16.9	74.6	412.3	374.2	63.2	x	288.6	33.2	151.1
BEY III	Ort	2.694	0.000	2.361	0.000	0.089	0.125	0.000	0.005	0.093	0.236	2.569	0.033	0.001	0.465	0.031	0.254	0.213	0.000	0.000	2.423	0.000	0.033	0.271	0.001
	Min	2.378	0.000	2.023	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	0.084	0.165	2.050	0.026	0.000	0.350	0.021	0.236	0.035	0.000	0.000	1.460	0.000	0.000	0.262	0.000
	Max	3.050	0.000	2.623	0.000	0.150	0.500	0.000	0.021	0.099	0.301	3.050	0.037	0.003	0.576	0.039	0.274	0.398	0.000	0.000	4.324	0.000	0.099	0.285	0.005
	SD	0.294	0.000	0.298	0.000	0.041	0.250	0.000	0.011	0.008	0.057	0.444	0.005	0.001	0.092	0.008	0.019	0.181	0.000	0.000	1.646	0.000	0.057	0.011	0.003
	CV	10.9	x	12.6	x	45.8	200.0	x	200.0	8.5	24.3	17.3	14.4	97.6	19.8	26.2	7.5	85.1	x	x	67.9	x	173.2	3.9	200.0
DOS	Ort	5.641	0.021	5.579	0.000	0.063	0.093	0.000	0.001	0.045	0.227	5.548	0.033	0.001	0.334	0.025	0.210	0.188	0.002	0.004	3.262	0.000	0.006	0.225	0.010
	Min	2.426	0.000	2.206	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	2.426	0.016	0.000	0.296	0.000	0.136	0.012	0.000	0.000	0.803	0.000	0.000	0.087	0.000
	Max	8.119	0.320	8.389	0.000	0.150	0.800	0.000	0.013	0.082	1.184	8.119	0.065	0.002	0.422	0.089	0.476	0.580	0.046	0.066	9.581	0.000	0.099	0.547	0.026
	SD	1.954	0.073	2.044	0.000	0.023	0.246	0.000	0.003	0.020	0.259	1.907	0.013	0.001	0.032	0.017	0.069	0.165	0.010	0.015	1.860	0.000	0.023	0.138	0.009
	CV	34.6	352.8	36.6	x	36.3	264.6	x	458.3	43.4	114.2	34.4	41.2	143.4	9.5	70.0	32.8	87.7	458.3	424.3	57.0	x	354.5	61.1	89.2
DUD	Ort	1.904	0.000	1.622	0.000	0.057	0.000	0.000	0.001	0.110	0.036	1.904	0.028	0.002	0.303	0.006	0.326	0.127	0.000	0.000	1.838	0.000	0.003	0.263	0.004
	Min	1.189	0.000	1.090	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	1.189	0.015	0.000	0.213	0.000	0.250	0.000	0.000	0.000	0.689	0.000	0.000	0.239	0.000
	Max	2.188	0.000	1.994	0.000	0.150	0.000	0.000	0.010	0.175	0.080	2.188	0.050	0.005	0.350	0.019	0.485	0.305	0.000	0.000	5.319	0.000	0.048	0.292	0.030
	SD	0.277	0.000	0.232	0.000	0.025	0.000	0.000	0.003	0.030	0.027	0.277	0.009	0.002	0.034	0.006	0.065	0.112	0.000	0.000	1.597	0.000	0.012	0.014	0.009
	CV	14.5	x	14.3	x	44.2	x	x	387.3	27.0	74.9	14.5	32.2	90.6	11.4	110.1	20.0	88.3	x	x	86.9	x	387.3	5.4	242.4
NAR	Ort	6.358	0.006	6.451	0.000	0.051	0.000	0.000	0.003	0.054	0.059	6.358	0.022	0.001	0.203	0.010	0.100	0.091	0.000	0.000	3.499	0.000	0.008	0.135	0.014
	Min	5.857	0.000	5.585	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	5.857	0.011	0.000	0.161	0.000	0.061	0.000	0.000	0.000	2.435	0.000	0.000	0.109	0.000
	Max	7.056	0.097	7.136	0.000	0.150	0.000	0.000	0.014	0.097	0.210	7.056	0.033	0.006	0.288	0.025	0.156	0.303	0.000	0.000	4.366	0.000	0.099	0.177	0.129
	SD	0.291	0.025	0.472	0.000	0.027	0.000	0.000	0.006	0.019	0.049	0.291	0.007	0.002	0.030	0.007	0.027	0.105	0.000	0.000	0.498	0.000	0.026	0.019	0.031
	CV	4.6	387.3	7.3	x	53.0	x	x	180.6	35.5	82.2	4.6	31.0	163.6	14.7	66.8	26.6	115.7	x	x	14.2	x	316.2	13.9	219.3

Çizelge 5.2: Devam ediyor

Kod		Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO ₃	Cr	Cu	F	Fe	HCO ₃	K	Li	Mg	Mn	Na	NH ₄	Ni	NO ₂	NO ₃	Pb	PO ₄	SO ₄	Zn
		meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	meq/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	meq/l	mg/l
SAR	Ort	6.704	0.000	6.819	0.000	0.059	0.068	0.000	0.003	0.056	0.090	6.636	0.022	0.002	0.243	0.022	0.169	0.128	0.004	0.000	0.410	0.005	0.005	0.206	0.013
	Min	5.143	0.000	4.542	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.143	0.009	0.000	0.208	0.000	0.111	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.139	0.000
	Max	7.919	0.000	8.050	0.000	0.150	1.300	0.000	0.021	0.103	0.324	7.919	0.058	0.004	0.329	0.098	0.402	0.306	0.074	0.000	1.222	0.096	0.095	0.325	0.080
	SD	0.824	0.000	1.063	0.000	0.024	0.298	0.000	0.006	0.023	0.082	0.850	0.011	0.001	0.026	0.025	0.077	0.102	0.017	0.000	0.428	0.023	0.022	0.037	0.018
	CV	12.3	x	15.6	x	40.1	435.9	x	239.4	40.3	90.7	12.8	51.0	90.3	10.7	112.8	45.8	79.6	424.3	x	104.4	424.3	424.3	17.9	144.1
SUU	Ort	5.499	0.000	5.733	0.000	0.058	0.111	0.000	0.005	0.056	0.063	5.388	0.020	0.000	0.218	0.013	0.114	0.207	0.000	0.000	3.617	0.012	0.018	0.158	0.004
	Min	3.667	0.000	3.600	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.021	0.029	3.667	0.010	0.000	0.180	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	3.110	0.000	0.000	0.130	0.000
	Max	6.373	0.000	6.879	0.000	0.200	1.000	0.000	0.018	0.142	0.210	6.373	0.033	0.002	0.329	0.053	0.192	0.964	0.000	0.000	4.190	0.112	0.075	0.262	0.012
	SD	0.798	0.000	0.933	0.000	0.053	0.333	0.000	0.007	0.037	0.056	0.915	0.006	0.001	0.045	0.016	0.041	0.339	0.000	0.000	0.356	0.037	0.034	0.042	0.005
	CV	14.52	x	16.27	x	91.61	300.00	x	153.73	66.32	90.26	16.98	32.20	185.51	20.64	130.51	35.88	164.05	x	x	9.85	300.00	185.32	26.55	131.40
TOZ I	Ort	1.891	0.000	1.509	0.000	0.051	0.083	0.000	0.003	0.070	0.817	1.807	0.034	0.002	0.280	0.264	0.320	0.195	0.000	0.000	1.421	0.000	0.010	0.179	0.006
	Min	0.856	0.000	0.733	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.016	0.175	0.856	0.014	0.000	0.178	0.014	0.231	0.000	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.077	0.000
	Max	4.571	0.000	4.027	0.000	0.150	1.000	0.000	0.021	0.188	1.567	3.571	0.069	0.007	0.450	1.778	0.601	0.517	0.000	0.000	6.219	0.000	0.069	0.295	0.024
	SD	0.974	0.000	0.936	0.000	0.042	0.289	0.000	0.007	0.047	0.501	0.738	0.018	0.002	0.083	0.485	0.119	0.181	0.000	0.000	1.790	0.000	0.023	0.068	0.007
	CV	51.51	x	62.03	x	81.35	346.41	x	241.18	66.38	61.29	40.83	53.09	152.72	29.64	183.69	37.21	92.77	x	x	125.98	x	229.82	37.95	125.61
TOZ II	Ort	1.373	0.000	1.200	0.000	0.056	0.000	0.000	0.002	0.067	0.961	1.373	0.037	0.001	0.541	0.137	0.358	0.159	0.000	0.008	3.349	0.000	0.023	0.723	0.006
	Min	0.761	0.000	0.742	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.042	0.109	0.761	0.018	0.000	0.389	0.017	0.246	0.032	0.000	0.000	0.103	0.000	0.000	0.395	0.000
	Max	1.800	0.000	1.427	0.000	0.150	0.000	0.000	0.014	0.096	1.803	1.800	0.069	0.004	0.628	0.333	0.714	0.341	0.000	0.065	13.696	0.000	0.096	0.950	0.028
	SD	0.333	0.000	0.212	0.000	0.040	0.000	0.000	0.005	0.020	0.702	0.333	0.020	0.002	0.075	0.115	0.150	0.133	0.000	0.023	4.573	0.000	0.036	0.189	0.009
	CV	24.25	x	17.69	x	71.70	x	x	300.00	29.37	73.01	24.25	53.40	154.92	13.92	83.91	41.79	83.80	x	282.84	136.53	x	154.46	26.12	150.80
ALF	Ort	3.833	0.000	3.683	0.000	0.033	0.000	0.000	0.000	0.090	0.036	3.833	0.017	+	0.423	0.005	0.105	+	0.000	0.000	17.430	0.000	0.000	0.276	0.000
ALİ	Ort	4.455	0.000	3.795	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.112	0.072	4.455	0.065	0.004	0.424	0.055	0.155	0.461	0.000	0.000	6.591	0.000	0.402	0.215	0.000
AVD	Ort	4.820	0.000	3.828	0.000	0.058	0.242	0.000	0.000	0.150	0.140	4.579	0.041	0.000	1.061	0.005	0.197	0.254	0.000	0.000	5.956	0.000	0.000	0.311	0.000
KUT	Ort	3.807	0.000	3.389	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.105	0.025	3.807	0.219	+	0.221	0.005	0.165	+	0.000	0.000	0.229	0.000	0.000	0.120	0.000
MAH	Ort	6.904	0.000	7.135	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.024	0.029	6.904	0.025	0.001	0.184	0.007	0.086	0.052	0.000	+	1.767	0.000	0.000	0.147	0.000
SOG	Ort	4.061	0.000	3.922	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.122	0.023	4.061	0.046	+	0.228	0.000	0.189	+	0.000	0.000	0.659	0.000	0.000	0.265	0.000
YEN	Ort	3.911	0.000	3.139	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.082	0.000	3.911	0.012	0.003	0.401	0.022	0.196	0.237	0.000	0.000	4.450	0.000	0.000	0.127	0.000

Alf: Alfaz Pınarı, Avd: Avdan Pınarı, Bey I: Beyayla Düdeni Girişi, Bey II: Beyayla Kaynağı, Bey III: Beyayla Düdeni Çıkışı, Dos I: Döşkaya Kaynağı, Dos II: Döşkaya Kaynağı Akış Aşağısı, Kut: Kutluca Pınarı, Mah:

Mahmutun Kaynağı, Nar I: Nardın Kaynağı, Nar II: Nardın Kaynağı Akış Aşağısı, Sar: Sarıkaya Kaynağı, Sog: Söğütü Pınarı, Suu: Su Uçtu, Toz I: Tozman Düdeni GD Girişi, Toz II: Tozman Düdeni KB Girişi, Ort: ortalama,

Min: minimum, Max: maksimum, SD: standart sapma; CV: değişim katsayısı (%), *: hesaplama yapılmadı, +: aletsel hassasiyet limitinin altında

Allojenik ve otojenik noktasal beslenimin baskın olduğu sistemlerin boşalımını sağlayan kaynak sularının fiziksel ve kimyasal yapısında beklenen mevsimsel değişimler, Döşkaya ve Beyyayla sistemlerinde de gözlenmektedir. Allojenik noktasal beslenimin ve yerel dolaşımın baskın olduğu Döşkaya sisteminin boşalımını gerçekleştiren DOS kaynağında çalışma süresince gözlenen minimum ve maksimum sıcaklık ve özgül EC değerleri sırasıyla 5.0 – 11.9 °C ve 249 – 1100 µS/cm'dir. Döşkaya sistemi ile benzer beslenme ve dolaşım özellikleri gösteren Beyyayla sisteminin boşalımını gerçekleştiren BEY II kaynağında gözlenen minimum ve maksimum sıcaklık ve özgül EC değerleri ise sırasıyla 6.0 – 14.6 °C ve 242 – 608 µS/cm'dir. Diğer taraftan otojenik yaygın beslenme ve yerel dolaşımın baskın olduğu Nardın sisteminin boşalımını gerçekleştiren NAR kaynağında gözlenen sıcaklık değeri 13.7 – 14.5 °C arasında değişirken özgül EC değeri 616 – 834 µS/cm arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 5.1).

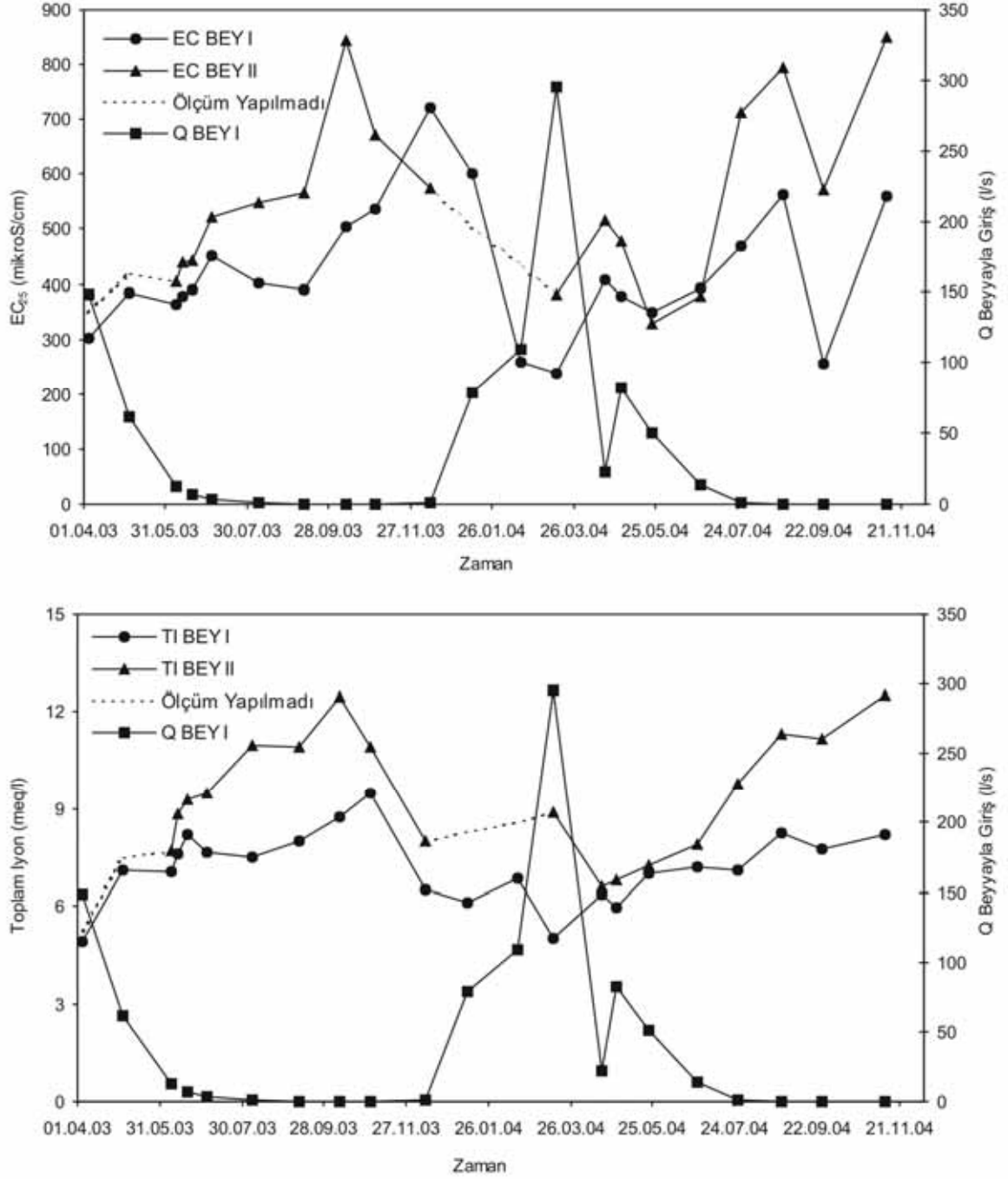
5.2.2. Aylık değişimle ilgili bulgular

Karst sistemlerini boşalımı sağlayan kaynakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde zaman içinde gözlenen değişimler, sistemin beslenme, dolaşım ve depolama özellikleri ve bu özellikler arasındaki ilişkileri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır.

Beyyayla Sistemi

Beyyayla sisteminin girdisini ve boşalımını gerçekleştiren akarsuda (BEY I) ve kaynakta (BEY II) Nisan 2003 ile Kasım 2004 tarihleri arasında arazide yapılan ölçüm ve laboratuarda yapılan analiz sonuçlarına göre oluşturulan özgül elektriksel iletkenlik (EC_{25}), toplam iyon (TI) içeriği ve Beyyayla düdeni girişi debi (Q) değerlerine ait grafikler Şekil 5.1'de verilmiştir.

Şekil 5.1'de görüldüğü üzere, BEY I ve BEY II sularının hem özgül elektriksel iletkenlik değerinde hem de TI içeriğinde mevsimsel değişim gözlenmektedir. Yağışların kesilmesinden itibaren (Haziran – Ağustos 2003 ve 2004) başka bir ifadeyle allojenik noktasal beslenimin etkisinin azalmaya başladığı tarihten sonra suların TI içeriğinin ve özgül elektriksel iletkenlik değerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum allojenik noktasal beslenme etkisinin azaldığı ve otojenik yaygın beslenimin etkisinin arttığı karstik sistemlerin davranışına benzemektedir.

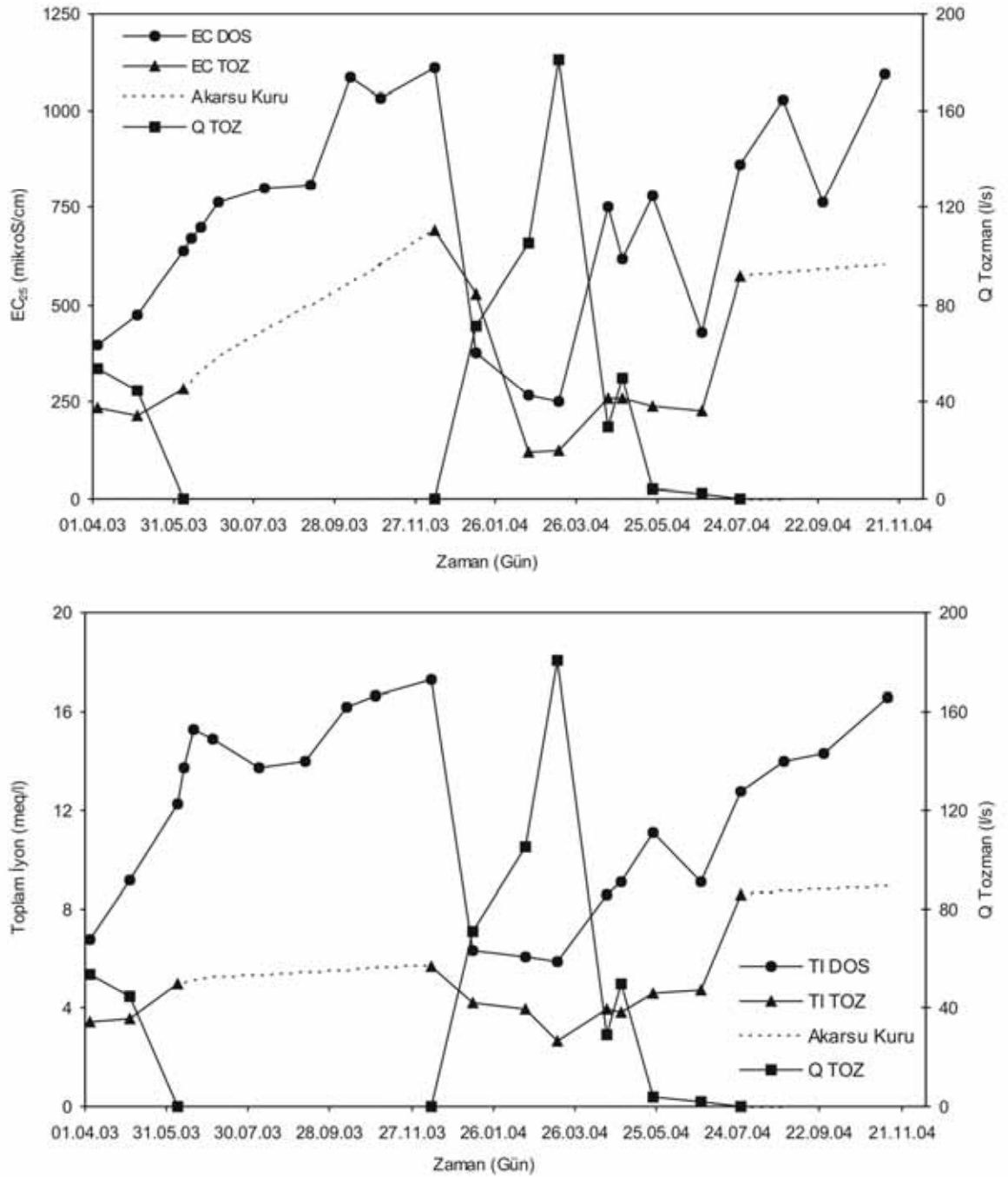


Şekil 5.1: Beyyayla sistemine ait EC₂₅, TI içeriği ve Q_{BEY I} zamansal değişimi

Döşkaya Sistemi

Döşkaya sistemini oluşturan Tozman düdeni (TOZ) ile Döşkaya kaynağında (DOS) Nisan 2003 ile Kasım 2004 tarihleri arasında arazide yapılan ölçüm ve laboratuvarında yapılan analiz sonuçlarına göre oluşturulan EC₂₅, toplam iyon (TI) içeriği ve Tozman düdeni girişi debi değerleri ile oluşturulan grafikler Şekil 5.2’de verilmiştir.

Allojenik noktasal beslenimin baskın olduğu Beyyayla sisteminde olduğu gibi Döşkaya sisteminde de sistemin giriş debisinin değişimine bağlı olarak Döşkaya kaynağı boşalımlarının EC_{25} ve TI içeriğinde mevsimsel değişimler gözlenmektedir. Döşkaya sistemi boşalımlarında, özellikle yağışlı dönem süresince (Kasım 2003 – Nisan 2004) allojenik noktasal beslenimin etkisi görülmektedir (Şekil 5.2). Diğer dönemlerde ise sistemin boşalımını, yağışlardan itibaren otojenik yaygın beslenimden gelen suları oluşturmaktadır.

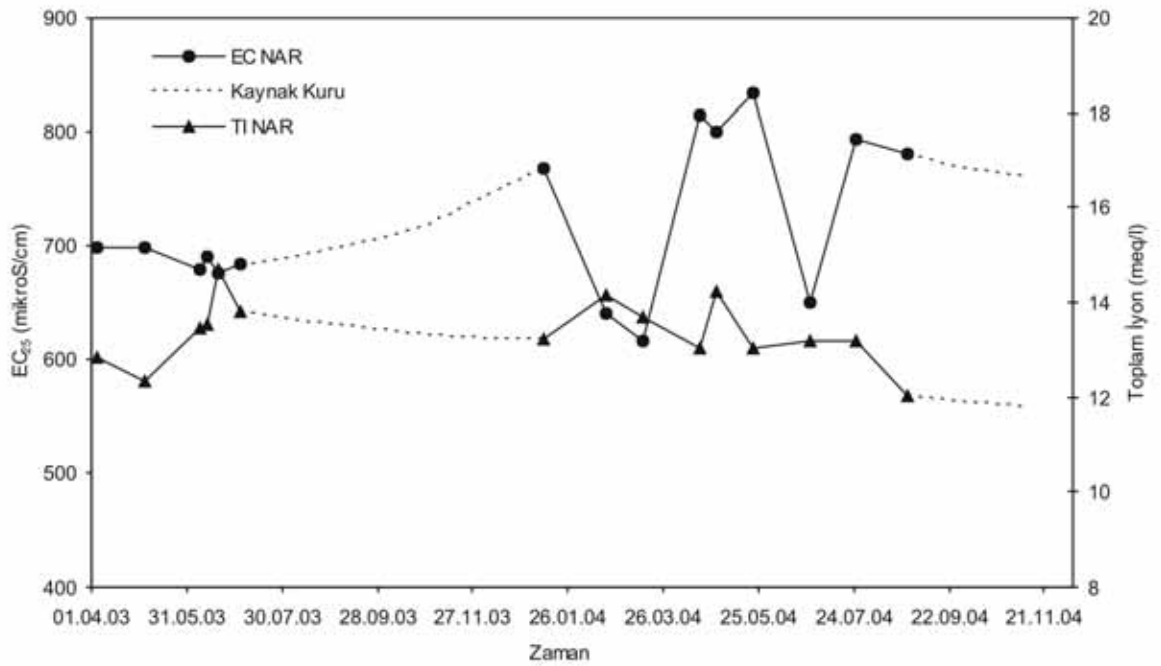


Şekil 5.2: Döşkaya sistemine ait EC_{25} , TI içeriği ve Q_{TOZ} zamansal değişimi

Ayrıca Döşkaya sistemi girdiye karşı çok hızlı bir tepki vermektedir. Özellikle Aralık 2003 tarihinde Tozman düdeninden sisteme allojenik noktasal girdinin başlamasından itibaren Döşkaya kaynağının özgül elektriksel iletkenlik değeri yaklaşık 3 kat azalmıştır (Bkz. Şekil 5.2). Bu durum Döşkaya sisteminde de, Beyyayla sistemine benzer olarak allojenik noktasal beslenimden etkilenen sistemlerin davranışını göstermektedir.

Nardın Sistemi

HBKS'de Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin arasında yer alan Nardın sisteminde Nisan 2003 ile Kasım 2004 tarihleri arasında arazide ve laboratuvarında yapılan ölçüm ve analiz sonuçlarına göre oluşturulan EC_{25} ve TI içeriği grafiği Şekil 5.3'de verilmiştir. Şekil üzerinde kesikli çizgi, Ağustos – Aralık 2003 ile Temmuz 2004 tarihinden itibaren kaynağın kuru olduğunu göstermektedir. Şekil 5.3'de görüldüğü üzere Beyyayla ve Döşkaya sistemleri sularına oranla, Nardın sisteminin boşalmasını gerçekleştiren suların EC_{25} ve TI içeriğinin mevsimsel değişiminin daha az olduğu görülmektedir. Otojenik yaygın beslenme ve yerel dolaşımın baskın olduğu karstik sistemlerde suların kimyasal yapılarındaki kararlı durum, Nardın sisteminde de gözlenmektedir.



Şekil 5.3: Nardın sistemine ait EC ve TI içeriğinin zamansal değişimi

5.2.3. Değişim katsayısı değerlendirmeleri

Karstik sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren kaynakların kimyasal yapısında zaman içinde gözlenen değişkenlik, sistem üzerinde hüküm süren beslenme rejimi (allojenik ve otojenik) ile sistem içindeki depolama ve dolaşım (yerel ve yaygın) koşullarına bağlıdır. Söz konusu değişim, incelenen parametrenin standart sapmasının ortalamasına oranının yüzde ifadesi ($CV = (SD/Ave) \times 100$) olarak tanımlanmakta ve değişim katsayısı (*Coefficient of Variation*, CV) olarak adlandırılmaktadır. Burada; CV Değişim katsayısını, SD Standart sapmayı ve Ave ise ortalama değerleri ifade etmektedir. Quinlan and Ewers (1985) tarafından karstik ortamlarda yapılan çalışmada yıl içinde sistemin tepkisinin göstergesi olan kaynak boşalımları ve kimyasında gözlenen değişim katsayısı değerinin % 5 – 10 arasında olması durumunda sistemdeki akımın yerel ve yaygın akım bileşenlerinden oluştuğu belirtilmektedir. Bu değer % 5'den küçük olması durumunda ise yaygın akımın baskın olduğu vurgulanmaktadır.

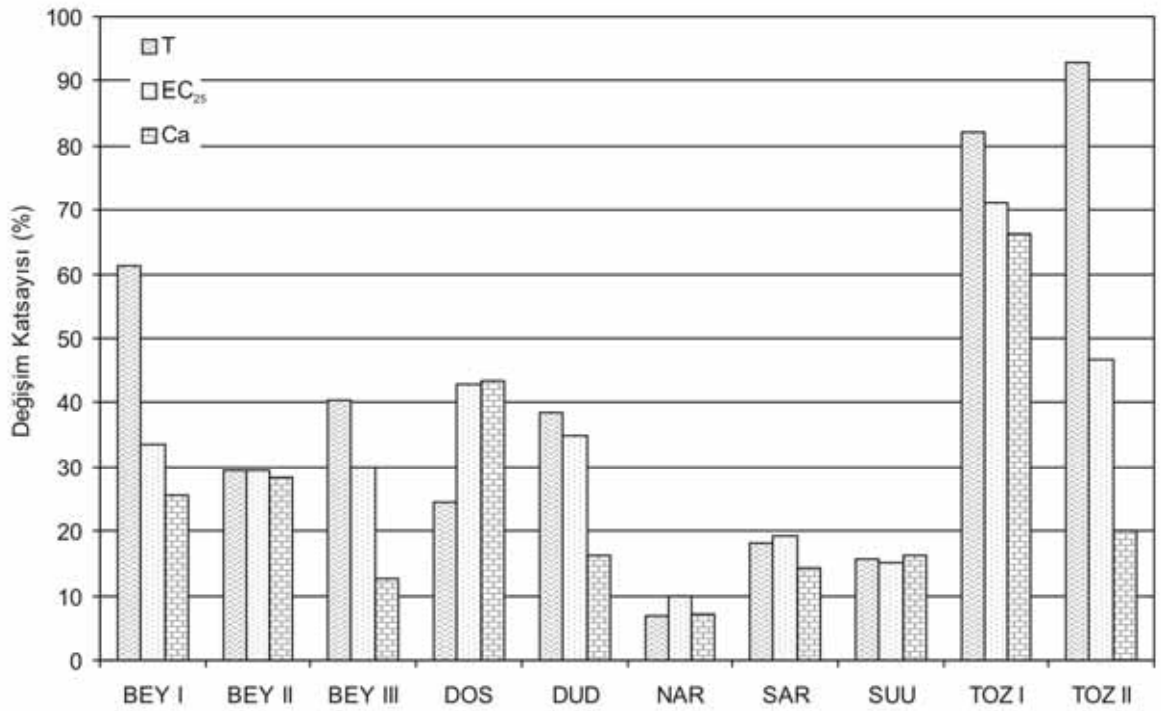
HBKS su noktalarında, Ekim 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında elde edilen bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin zaman içindeki değişimleri dikkate alınarak hesaplanan CV'sı sonuçları Çizelge 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Beyyala ve Döşkaya sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren BEY II ve DOS kaynaklarında yıl içinde ölçülen EC_{25} değerlerine ait CV'sı % 29.4 ile 43.0 arasında değişmesi bu sistemlerin allojenik noktasal beslenimden etkilenen yerel dolaşımlı sistemlerin davranışına bir örnek oluşturmaktadır. Diğer taraftan Nardın sisteminde ise EC_{25} değerine ait CV'nın (9.8) diğer sistemlere oranla küçük olması, bu sistemde,

Çizelge 5.3: İnceleme alanı sularına ait değişim katsayısı değerleri (%)

	n	T	pH	EC_{25}	Q	Na	K	Ca	Mg	HCO_3	Cl	SO_4	TI	Alk
								(%)						
Bey I	20	61.1	3.3	33.6	163.9	57.7	47.2	25.5	25.8	23.5	33.8	40.1	25.3	17.1
Bey II	18	29.3	3.9	29.4	107.4	16.0	18.2	28.2	24.1	26.0	45.1	33.7	26.2	20.8
Bey III	4	40.4	0.4	30.0	109.5	7.5	14.4	12.6	19.8	17.3	45.8	3.9	10.9	13.1
Dos	22	24.3	4.5	43.0	148.8	35.9	43.4	43.3	10.4	40.1	43.3	62.9	40.0	36.5
Dud	16	38.5	4.3	34.9		21.9	35.2	16.3	13.0	16.4	48.5	5.1	16.4	13.6
Nar	16	6.8	3.7	9.8	74.8	29.8	30.6	7.1	16.3	4.5	63.9	11.2	4.5	5.1
Sar	19	18.2	2.6	19.1		51.1	58.1	14.2	11.7	12.1	46.3	21.2	11.2	11.9
Suu	9	15.6	1.8	15.2	82.9	35.9	32.2	16.3	20.6	17.0	91.6	26.5	14.5	15.7
Toz I	12	82.1	3.5	71.2	115.8	37.2	53.6	66.3	30.9	43.4	77.0	40.6	55.3	42.9
Toz II	9	92.7	3.8	46.7	114.5	43.9	51.2	20.0	15.9	24.4	71.1	28.6	24.4	15.6

otojenik yaygın beslenimden gelen suların sistem içinde yerel dolaşım ile hareket etmesinden kaynaklanmaktadır. Allojenik noktasal beslenimin baskın olduğu BEY II ve DOS kaynak boşalımlarına ait CV'sı değerleri sırası ile % 107.4 ve 148.8'dir. Bu değer NAR kaynağında % 74.8 olarak elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren kaynaklarda yapılan ölçüm ve analizler sonucunda T, Ca ve HCO₃ parametrelerine ait CV'ları ise EC₂₅ ve kaynak boşalımları ile elde edilen değişim katsayılarına benzerlik göstermektedir (Şekil 5.4 ve Bkz. Çizelge 5.3).

İnceleme alanındaki karstik sistemlerde meydana gelen etkiye karşı tepkinin göstergesinin oluşturan kaynaklardan, Ekim 2003 – Eylül 2004 tarihleri arasında gözlenen fiziksel ve kimyasal parametrelerin CV'sı değerlerinin Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde biri birlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu sistemleri drene eden BEY II ve DOS kaynaklarına ait fiziksel ve kimyasal parametreler için hesaplanan CV'sı değerlerinin Nardın sistemi için hesaplanan değerlere oranla yüksek olması bu kaynakların allojenik noktasal beslenimden etkilendiklerini göstermektedir. Nardın sisteminde ise hesaplanan CV'sı değerinin diğer sistemler için hesaplanan CV'sı değerlerinden küçük olması, bu sistemi drene eden kaynağın otojenik yaygın beslenimin etkisi altında olduğunu göstermektedir.

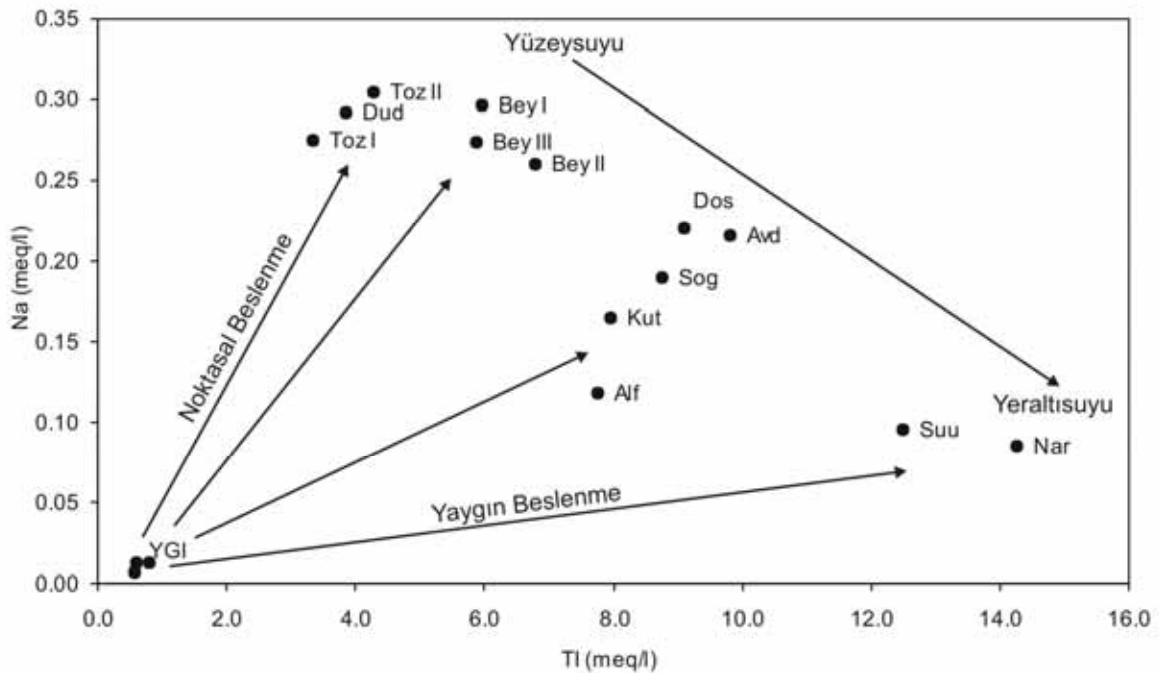


Şekil 5.4: İnceleme alanı sularına ait değişim katsayısı histogramı

5.2.4. Bileşim ve karışım değerlendirmeleri

Suların, toplam iyon (TI) derişimine karşı majör iyon derişimleri kullanılarak oluşturulan bileşim grafikleri yorumlanarak suların kökeni, farklı kökenden gelen suların karışımı, karışım oranları, seyrelme dereceleri vb... gibi bilgiler elde edilmektedir (Mazor, 1991). İnceleme alanı su noktalarında Nisan 2004 dönemine ait Na, Cl, Ca ve HCO₃ iyon içerikleri ile TI miktarı arasında oluşturulan grafikler sırasıyla Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

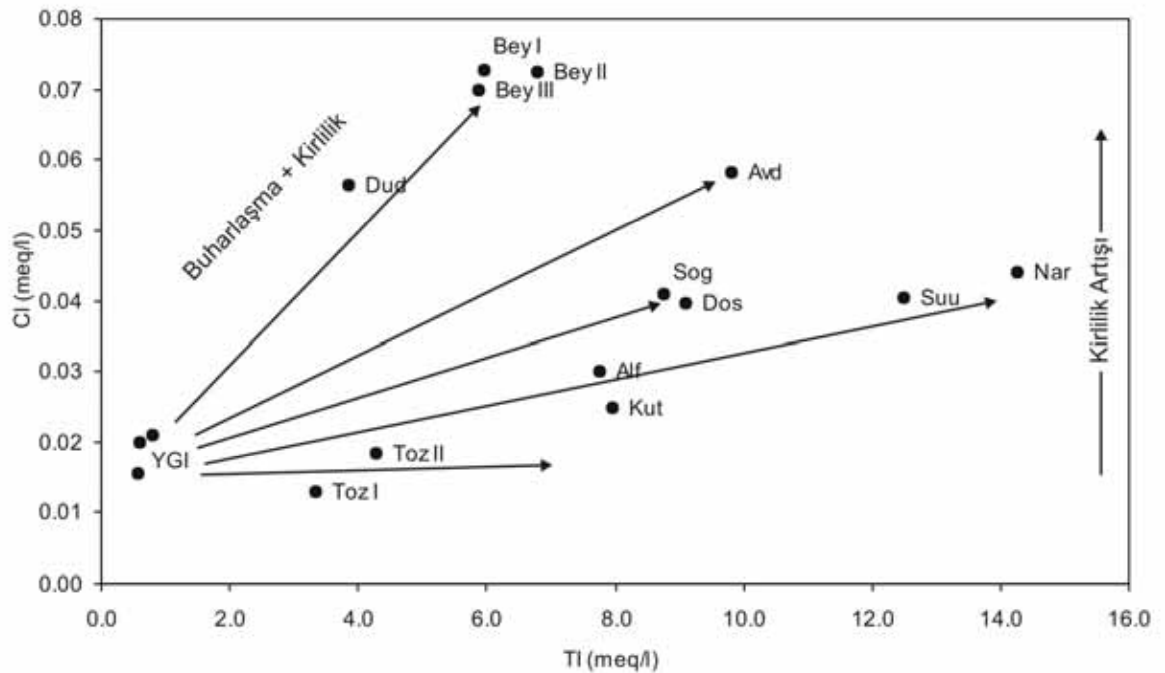
İnceleme alanında bulunan sularının Na ve TI içeriği arasında oluşturulan grafikte suların iki farklı küme oluşturduğu görülmektedir (Şekil 5.5). Bu gruplardan birincisi, yağışlardan itibaren Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin drenaj alanında bulunan granitlerden drene olan ve Na iyon içeriğinin diğer sulara oranla fazla olduğu yüzey sularından (BEY I, BEY III, TOZ I ve TOZ II) ile otojenik yaygın beslenme ve sığ dolaşım ile temsil edilen mevsimsel özellikli kaynaklardan (ALF, AVD, KUT ve SOG) oluşmaktadır. Bu su noktalarına ek olarak Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine allojenik noktasal beslenimden gelen suları boşaltan BEY II ve DOS kaynaklarından bu grupta yer almaktadır. Yağışlardan itibaren granitlerden drene olan sular, Beyyayla ve Tozman düdenlerinden sisteme allojenik noktasal olarak dahil olmaktadır. Yaklaşık aynı oranda Na iyonu içeren bu sular Döşkaya sisteminde Beyyayla sistemine oranla daha fazla seyrelmektedir.



Şekil 5.5: İnceleme alanı sularına ait TI – Na grafiği (Nisan 2004)

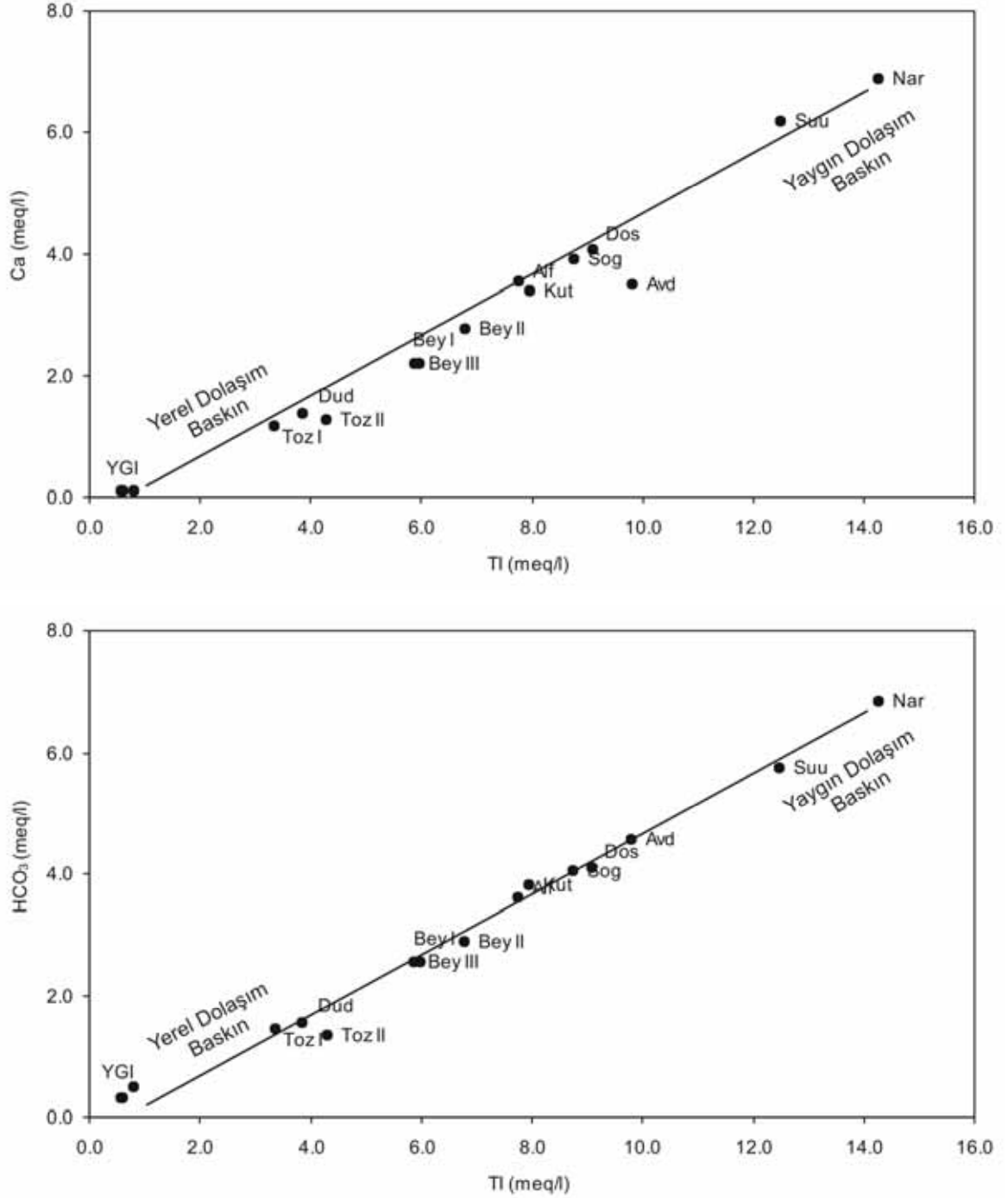
Başka bir ifadeyle bu durum haznede uzun süre kalan sular ile yeni suların karışımı veya akım yolu boyunca Na'ca fakirleşmeyi ifade etmektedir. Diğer taraftan otojenik yaygın beslenme ve yerel dolaşımli sistemlerin davranışına benzer özellik gösteren Nardın sistemini drene eden NAR kaynağı ve Nar kaynağının akış aşağısında örnekleme yapılan yüzey suyu (SUU) ise ikinci grubu oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 5.5). NAR kaynağına ait Na miktarının yağış suları ile yaklaşık aynı değerde olması, bu kaynağın drenaj alanında ve sistem içerisinde Na iyonu getirebilecek herhangi bir kaynağın bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

HBKS'de bulunan sularının Cl ve TI içeriği arasında oluşturulan grafikte suların iki farklı küme oluşturduğu görülmektedir (Şekil 5.6). BEY I, BEY II, BEY III VE DUD su noktalarından oluşan birinci grup Beyyayla sisteminde yer almaktadır. Bu grupta yer alan su noktalarındaki Cl iyonunun artışı, sistemin girdisini oluşturan yağış sularının akış yolu boyunca buharlaşması ve Beyyayla sistemi drenaj alanında bulunan Beyyayla köyünün evsel atıklarından kaynaklanmaktadır. İkinci grupta yer alan su noktalarında gözlenen Cl iyonundaki artışının nedeni ise yağışlardan itibaren suların buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Beyyayla sisteminin drenaj alanındaki bitki örtüsü yoğunluğunun Döşkaya ve Nardın sistemlerine oranla daha az olması, bu sistemdeki suların daha fazla buharlaşmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.6: İnceleme alanı sularına ait TI – Cl grafiği (Nisan 2004)

HBKS'nde örnekleme yapılan noktalara ait TI – Ca ve TI – HCO₃ grafiklerinde, inceleme alanında bulunan suların bir hat üzerinde seyreltik (yüzey suyu) ve derişik (yeraltısuyu) olmak üzere iki farklı küme oluşturduğu görölmektedir (Şekil 5.7). Başka bir ifadeyle bu durum haznede uzun süre kalan sular ile yeni suların karışımı veya akım yolu boyunca su – kayaç etkileşiminden kaynaklanan zenginleşmeyi ifade etmektedir.



Şekil 5.7: İnceleme alanı sularına ait TI – Ca ve TI – HCO₃ grafikleri (Nisan 2004)

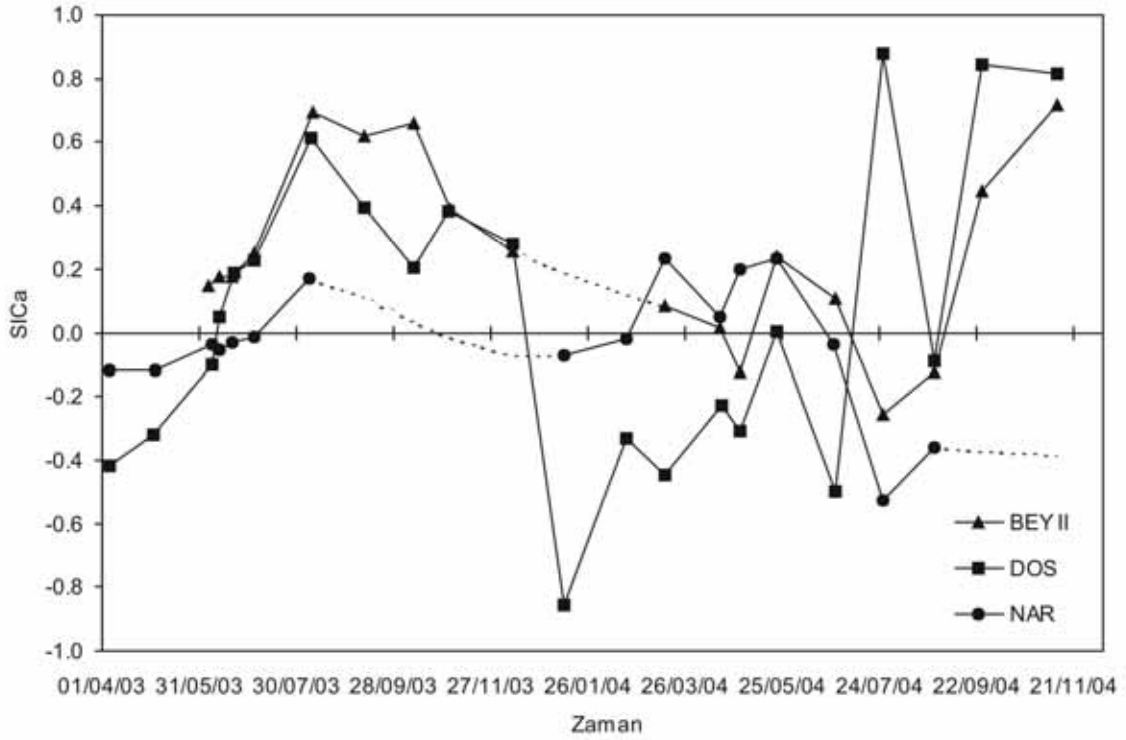
Karstik sistemlerde, otojenik yaygın beslenme ve yaygın dolaşım ile boşalan suların kimyasal yapısında, su – kayaç etkileşiminden kaynaklanan zenginleşmenin olacağı bilinmektedir. Bu durum, inceleme alanında otojenik yaygın beslenme ve yerel dolaşımlı sistemler ile benzer özellik gösteren Nardın sisteminin boşalmasını gerçekleştiren NAR kaynağında da görülmektedir. NAR kaynağı suları inceleme alanında bulunan diğer sulara oranla daha olgun bir yapıdadır. Diğer taraftan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalmasını gerçekleştiren BEY II ve DOS kaynak suların ise iki uç bileşen arasında yer almakta olup allojenik noktasal beslenimin etkisinde olduklarını göstermektedirler.

5.2.5. Doygunluk analizleri

HBKS ve yakın dolayında Nisan 2003 – Kasım 2004 tarihleri arasında toplanan su örneklerinin mineral doygunluk değerleri PHREEQC bilgisayar programı kullanılarak, Anhidrit (CaSO_4), Aragonit (CaCO_3), Kalsit (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Gotit (FeOOH), Jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Hematit (Fe_2O_3) ve Siderit (FeCO_3) mineralleri ile kısmi karbondioksit (pCO_2) için hesaplama yapılmıştır (Ek 2). Bir çözeltinin herhangi bir minerale göre doygunluk durumu; doygun olmayan ($\text{SI} = \log(K_{\text{IAP}}/K_{\text{T}}) < 0$), doygun ($\text{SI} = 0$) ve aşırı doygun ($\text{SI} > 0$) çözelti olarak sınıflandırılmaktadır (Stumm and Morgan, 1981).

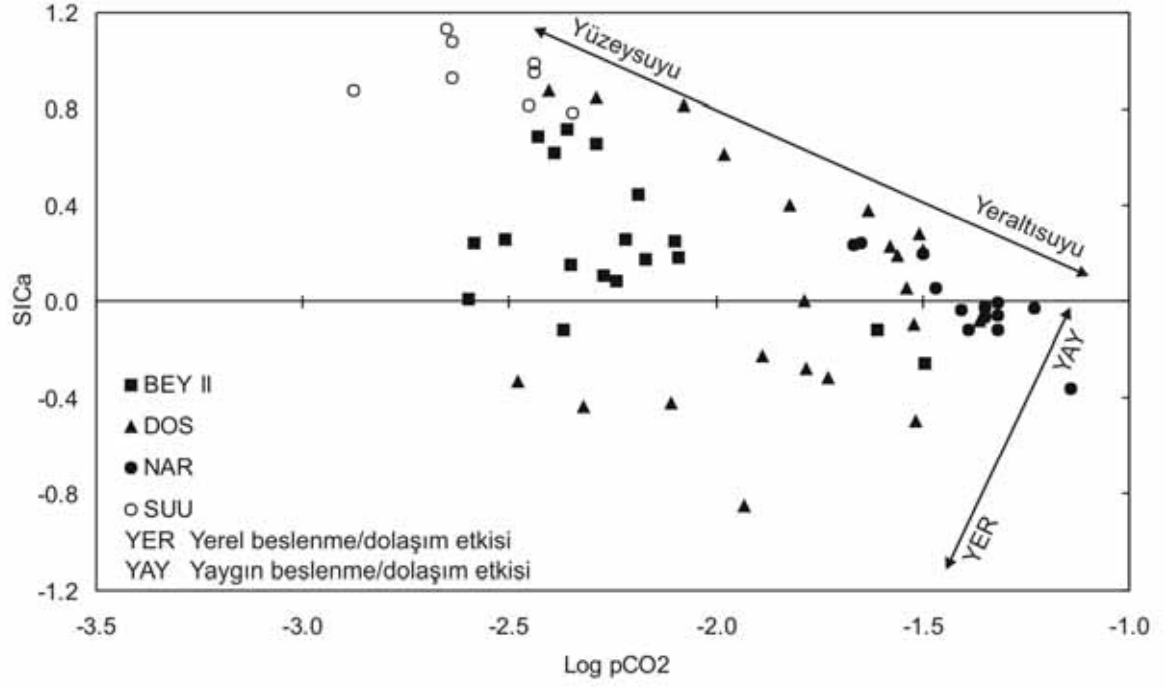
HBKS’de yer alan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalmasını gerçekleştiren BEY II ve DOS kaynak sularının kalsit mineraline göre doygunluğu mevsimsel olarak değişmektedir (Şekil 5.8). Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde allojenik noktasal beslenimin etkisinin azaldığı kurak dönemde BEY II ve DOS kaynak sularının kalsit mineraline göre doygun oldukları görülmektedir. Diğer taraftan allojenik noktasal beslenimin etkisinin arttığı yağışlı dönemde ise söz konusu kaynak sularının kalsit mineraline doygunluğu, doygunluk sınırının altına düşmektedir. Bu durum yağışlı döneme ait örneklerin doygunluk indisi değerinin, allojenik noktasal beslenimin etkisiyle akiferdeki suyun seyrelmesine ve yeni CO_2 katılımı sonucunda doygunluk sınırı altına düşmesine neden olmaktadır. BEY II ve DOS kaynak sularının kalsit mineraline göre doygunluğu sırasıyla - 0.26 ile 0.72 ve - 0.85 ile 0.88 arasında değişmektedir. Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinden farklı beslenme koşullarına sahip olan Nardın sisteminde ise sistemin boşalmasını gerçekleştiren NAR kaynağı suların kalsit mineraline doygunluğu - 0.53 ile - 0.24

arasında değişmektedir. Ayrıca BEY II ve DOS kaynaklarının Log $p\text{CO}_2$ değeri - 2.60 ile - 1.36 arasında değişirken, NAR kaynağının Log $p\text{CO}_2$ değeri - 1.67 ile - 0.87 arasında yer almaktadır (Şekil 5.9). Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalmasını gerçekleştiren BEY II ve DOS kaynaklarının mineral doygunluklarında gözlenen mevsimsel değişim, bu kaynak sularının Log $p\text{CO}_2$ değerlerinde de gözlenmektedir. Bu durum söz konusu kaynakların, atmosferin etkisine açık ve allojenik noktasal beslenimin etkili olduğu yerel dolaşımli sistemleri drene ettiğini göstermektedir.



Şekil 5.8: İnceleme alanı sularına ait SI_{Ca} doygunluk indisinin zaman içindeki değişim

Diğer taraftan NAR kaynağı sularının Log $p\text{CO}_2$ ve SI_{Ca} değerlerinin zaman içinde sabit olması başka bir deyişle değişimin diğer kaynak sularına oranla az olması, bu kaynağın otojenik yaygın beslenim ve yerel dolaşımli bir sisteminin boşalımından etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca NAR kaynağının yaklaşık 500 m akış aşağısında travertenlerin bulunduğu alanda örnekleme yapılan noktada (SUU) ise Nardın sisteminde boşalan ve SI_{Ca} minerali açısından doyun olmayan suların, atmosferik koşullara çıkmasından sonra bünyesindeki CO_2 kaybetmesi sonucunda (yeraltısularının atmosfer ile dengeye gelmesi), SI_{Ca} mineraline doyun olduğu gözlenmektedir. Bu örnekleme noktasından itibaren Su Uçtu Şelalesi olarak adlandırılan travertenler çökelmektedir.



Şekil 5.9: İnceleme alanı sularına ait Log pCO₂ – SI_{Ca} grafiği

6. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ

6.1. Sınır Koşullarının Kaynak Boşalımına Açısından Değerlendirilmesi

Karst kaynaklarının boşalımlarında gözlenen miktar ve kalite değişimleri büyük ölçüde, kaynağın beslenme alanında meydana gelen yağış ve kar erimesi gibi beslenme parametreleri ile akifere Beyyayla ve Tozman düdenleri ile noktasal girdiyi oluşturan akarsuların miktarı ve kalitesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra hidrolik iletkenlik, depolama katsayısı ve hidrolik gradyan gibi akiferin hidrodinamik özellikleri de kaynak boşalımlarının hidrolojik ve hidrokimyasal özelliklerindeki değişimlerde etkili olmaktadır. Bu nedenle, kaynaklara ait hidrograf ve kemograflarda gözlenen değişimlerin analizi ile karst akiferlerinin beslenme rejimi, hidrolik ve hidrodinamik özellikleri ile sınır koşullarına ilişkin bilgiler elde etmek olanaklı olabilmektedir. Nitekim Jakucs (1959) beslenme türünün karst kaynaklarının boşalımlarında gözlenen değişimlerin en önemli kaynağı olduğu ve yıl içinde kaynak boşalımları arasında yüksek değişim katsayısının veya varyansın noktasal beslenmeyi, düşük değişim katsayısının ise yaygın beslenmeyi gösterdiğini ileri sürmüştür. Karst akiferlerinin hidrodinamik davranışlarının tanımlanmasına yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Kaynakların sınıflandırılmasında kullanılan ve yıllık maksimum boşalımın ($Q_{\max}$) yıllık minimum boşalıma ($Q_{\min}$) oranına göre değerlendirme, en basit yöntemlerden biridir. Bu oranın yüksek ve yılın her gününde kaynak boşalımını 0'dan büyük "tam akım"lı (fullflow) bir kaynağın göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu oranın düşük ve yıl içindeki kaynak boşalımını 0'dan büyük olması durumunda ise kaynak "dip savak akım" (underflow) şeklinde boşalmaktadır. Maksimum ve minimum boşalımlar oranının ∞ doğru artması ise "dolu savak" (overflow) veya "dip savak – dolu savak" (underflow – overflow) kaynakları ifade etmektedir (Ekmekçi vd., 2003b, Worthington, 1991). Bu tür kaynaklar yıl içinde tamamen kurumaktadır (Çizelge 6.1).

Bununla birlikte kaynak boşalımlarının, yıl içinde düzenli elde edilememesinin yanı sıra karstik kaynakların minimum ve maksimum boşalımlarının belirlenmesindeki güçlükten dolayı yukarıda yapılan sınıflama pratikte geçerliliğini kısmen de olsa

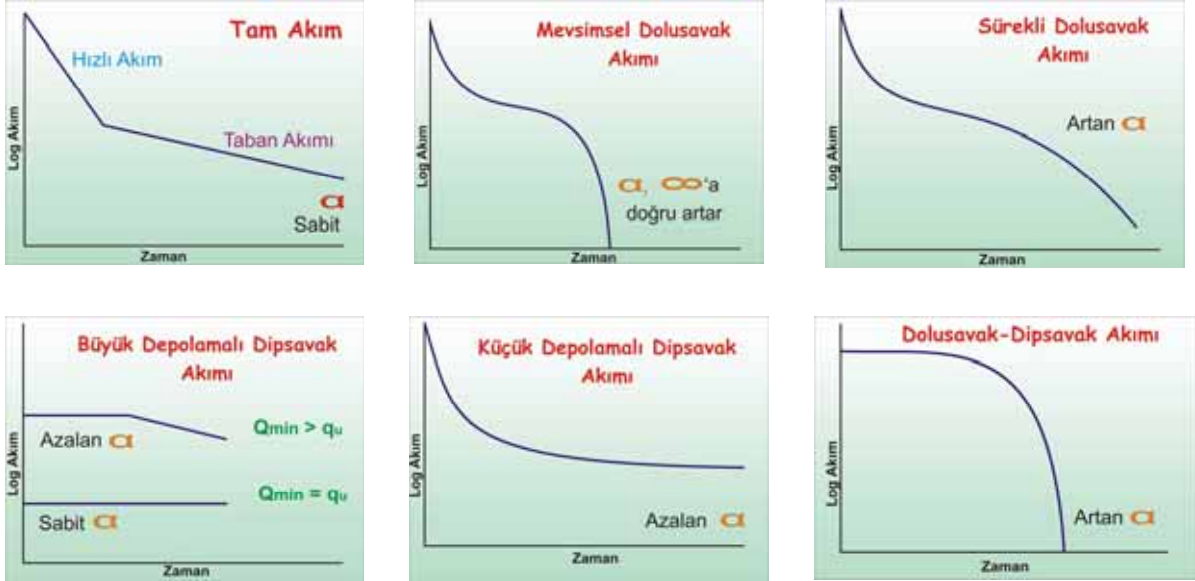
Çizelge 6.1: Kaynak boşalımlarına göre kaynakların sınıflandırılması (Worthington, 1991)

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

ytirmektedir. Bunun yanı sıra karstik kaynakların sınıflandırılmasında, hızlı (quickflow) ve taban akım (baseflow) bileşenlerinden oluşan ve eksponansiyel bir azalma sergileyen akım hidrografları kullanılmaktadır. Worthington (1991) tarafından yapılan çalışmada, kaynak çekilme eğrisinin şekli, akiferin sınır koşulları tarafında kontrol edildiği belirtilmektedir. Söz konusu çalışmada, çekilme eğrisinin şekli ve azalma katsayısı dikkate alınarak 6 farklı kaynak türü belirlenmiştir (Şekil 6.1). Buna göre;

1. Doğrusal log – normal çekilme gösteren, hızlı ve taban akım bileşenlerine sahip, yıl içerisinde sürekli boşalım sağlayan ve azalma katsayısının sabit olduğu tam akımlı (fullflow) kaynaklar,
2. Yıl içindeki minimum kaynak boşalımının 0 olduğu ve azalma katsayısının ∞ doğru arttığı mevsimsel dolu savak akımlı (seasonal overflow) kaynaklar,
3. Artan bir azalma katsayısına ve yıl içindeki boşalımı 0'dan büyük olan sürekli dolu savak akımlı (perennial overflow) kaynaklar,
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,
5. Kaynak hidrografı bileşenlerinden taban akımın çok uzun olduğu, akarsu veya benzeri bir kaynaktan beslenen akifer sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren ve azalan bir azalma katsayısı ile temsil edilen küçük depolamalı dip savak akımlı (gaining or low – stage underflow) kaynaklar,

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



Şekil 6.1: Çekilme eğrisinin şekline göre kaynak türleri (Ekmekçi vd., 2003b; Worthington, 1991)

HBKS'nin doğusunda ve batısında yer alan, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin BEY II ve DOS kaynaklarının yıl içindeki Q_{max}/Q_{min} oranları sırasıyla 70 ve 139.3'dür. Söz konusu kaynak akımları arasındaki değişim katsayısı değerleri ise sırasıyla 107.4 ve 148.8'dir. Ayrıca kaynak boşalmalarında su kimyası amaçlı yapılan analizler sonucunda, BEY II ve DOS kaynaklarının alkalinite, bikarbonat ve kalsiyum iyonlarına ait değişim katsayısı değerleri ise yine yüksek çıkmaktadır (Çizelge 6.2). Söz konusu kaynak akımlarına ait değişim katsayısı ve Q_{max}/Q_{min} oranının yüksek olmasının yanı sıra her iki kaynağın da beslenme alanlarında bulunan granitlerden drene olan suların, düdenler aracılığı ile noktasal olarak sisteme dahil olmaktadır.

Bu durum, noktasal beslenme ve yerel dolaşım ile temsil edilen Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren BEY II ve DOS kaynaklarının küçük depolamalı dip savak akımlı (gaining or low – stage underflow) kaynaklar olduğunu göstermektedir.

Çizelge 6.2: HBKS kaynaklarına ait akım ve değişim katsayısı bilgileri

Kaynak Adı	$Q_{\max}$ lt/s	$Q_{\min}$ lt/s	Q_n lt/s	$Q_{\max}/Q_{\min}$	α gün ⁻¹	t gün	CV_Q %	CV_A %	CV_B %	CV_C %
Beyyayla Kaynağı (BEY II)	70.0	1.0	26.4	70.0	0.023	365	107.4	28.8	26.0	28.2
Döşkaya Kaynağı (DOS)	208.9	1.5	40.5	139.3	0.046	365	148.8	36.5	40.1	43.3
Nardın Kaynağı (NAR)	395.8	0.0	160.0	∞	0.037	245	74.8	5.1	4.5	7.1

Qx: maksimum debi, Qm: minimum debi, Qn: Ortalama debi, α : çekilme katsayısı, t: kaynağın yıl içinde aktığı gün sayısı, CV_Q : debiye ait değişim katsayısı, CV_A : alkaliniteye ait değişim katsayısı, CV_B : bikarbonata ait değişim katsayısı, CV_C : kalsiyuma ait değişim katsayısı

HBKS'nin orta kesiminde yer alan Nardın sisteminin boşalımını gerçekleştiren NAR kaynağının $Q_{\max}/Q_{\min}$ oranının ∞ ve yıl içindeki kaynak akımları arasındaki değişim katsayısı değer 74.8'dir (Bkz. Çizelge 6.2). Yaygın beslenim ve yerel dolaşım ile Nardın sisteminin boşalımı NAR kaynağı boşalımında gözlenen değişim katsayısı değerinin, noktasal beslenim ve yerel dolaşım ile temsil edilen Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalımını sağlayan BEY II ve DOS kaynakları ait değişim katsayısı değerlerinden küçük olduğu gözlenmektedir. Bu durum NAR kaynağının mevsimsel dolu savak akımlı (overflow) kaynak olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan kaynak boşalımları ile alkalinite, kalsiyum ve bikarbonat iyonlarına ait değişim katsayıları da, BEY II ve DOS kaynaklarının NAR kaynağından farklı bir sistemi drene ettiğini göstermektedir (Bkz. Çizelge 6.2). Ayrıca NAR kaynağı yıl içinde tamamen kuru iken BEY II ve DOS kaynakları sürekli akmakta olup debileri 0.2 l/s'ye kadar düşmektedir (Bkz. Bölüm 4.2.2). Yapılan morfolojik, hidrolojik ve hidrojeokimyasal değerlendirmeler HBKS'ni oluşturan Beyyayla, Döşkaya ve Nardın alt sistemlerinin farklı hidrodinamik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle söz konusu alt sistemler aşağıda ayrı ayrı ele alınmıştır.

6.2. Kemograf Analizi

Karst kaynaklarının ait oldukları sisteme ait parametrelerinin belirlenmesinde hidrografların yanı sıra kaynak boşalımları ile suların fiziksel ve kimyasal yapılarında zaman içinde gözlenen değişimlerin birlikte değerlendirildiği kemograflardan da

faaydalanılmaktadır. Kemograflar özellikle ani yağışlarla eş zamanlı olarak sistemin boşalımını gerçekleştiren kaynaklardan, Q, T, EC, majör ve minör iyon gibi parametrelerin ölçülmesi ile oluşturulmaktadır. Karstik ortamlarda kaynak kemografları ile yapılan çok sayıda çalışmada, kaynağın ait olduğu sistemdeki beslenme, depolama ve dolaşım parametrelerine ait bilgilerin elde edildiği belirtilmektedir (Atkinson, 1977; Williams, 1977; Scanlon and Thrailkill, 1987; Gillieson, 1996; Raeisi and Karami, 1997; Andreo et al., 2002; Desmarais and Rojstaczer, 2002; Grasso and Jeannin, 2002; Vesper and White, 2003).

HBKS'de Nisan 2004 tarihinde Döşkaya sisteminde yapılan izleme deneyi ile birlikte sistemin boşalımını gerçekleştiren DOS kaynağında 21 – 29 Nisan 2004 tarihleri arasında cüce muline ile debi ölçümü ve Quanta marka yerinde ölçüm sistemleri ile de T, EC ve pH ölçümlerinin yanı sıra çalışmanın yapıldığı tarihler arasında meydana gelen yağış miktarları da hacmi bilinen bir kaba toplanarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümlere ait bilgiler  izelge 6.3'de ve DOS kaynağı için oluşturulan kemograf ise Şekil 6.2'de verilmiştir.

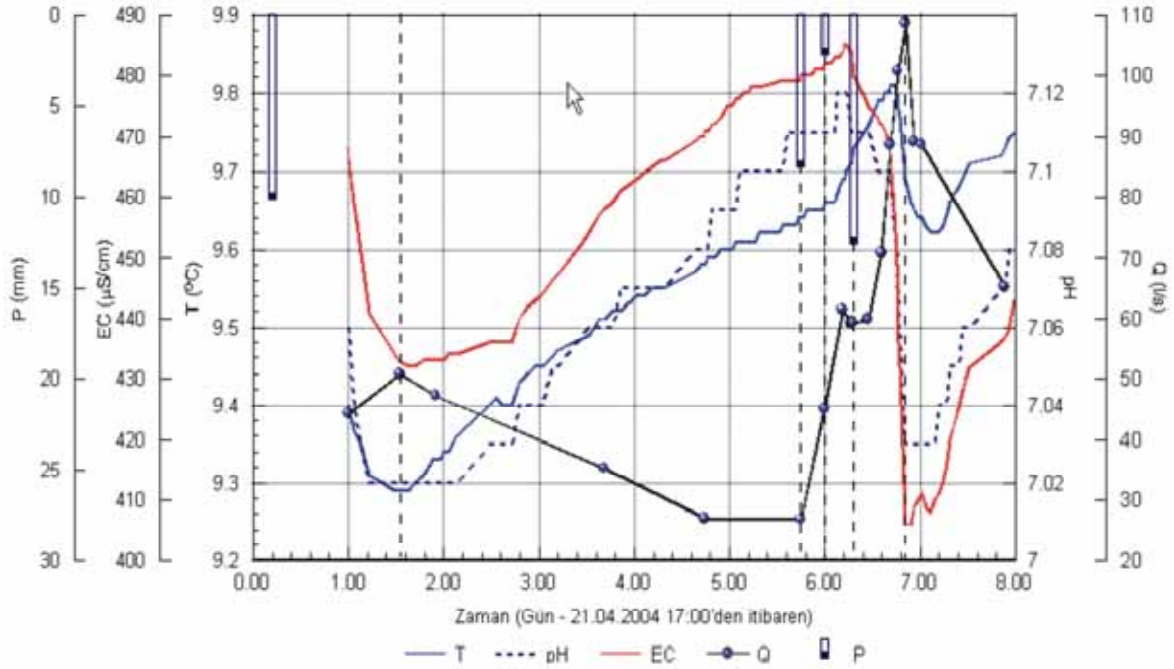
Çizelge 6.3: 21 – 29 Nisan 2004 tarihleri arasında ölçülen parametrelerin  zeti

Parametre	n	Max	Ort	Min	SD	CV (%)
Sıcaklık (T – �C)	115	9.81	9.59	9.29	0.14	1.46
pH	115	7.12	7.07	7.02	0.03	0.47
Elektriksel İletkenlik (EC – �S/cm)	115	485	455	406	24.17	5.31
Yağış (P - mm)	4	12.4	8.1	2.0	4.43	54.56
Debi (Q - l/s)	18	108.5	62.1	26.8	24.73	39.81

Yağış tarihi		Yağış Süresi (saat)	Yağış Miktarı (mm)
Başlangıç	Bitiş		
21.04.2004 17 ⁰⁰	22.04.2004 08 ⁰⁰	15.0	9.9
27.04.2004 11 ⁰⁰	27.04.2004 15 ⁴⁵	4.75	8.2
27.04.2004 17 ³⁰	27.04.2004 18 ⁰⁵	0.58	2.0
28.04.2004 00 ⁴⁵	28.04.2004 14 ³⁰	13.75	12.4

Şekil 6.2’de verilen kemografıta debi ve kimya değęerlerinin zaman ekseninde farklı konumlarda pik oluşturduğu gözlenmektedir. Bu durum 27 ve 28 Nisan 2004 tarihlerinde meydana gelen yağışın dağılımından kaynaklanmaktadır. İlk pike neden olan ve 27 Nisan 2004 tarihinde meydana gelen yağışların etkisinin yaklaşık 5 saat sonra DOS kaynağı akımlarında gőzlendięini ve yağışlardan itibaren yaklaşık 10 saat sonra ise pik değere ulaştığını göstermektedir (Şekil 6.2). 27 Nisan 2004’te meydana gelen yağışın oluşturduğu ilk pik değerin oluşması için geçen sürede beslenimin etkisine bağlı olarak sistemde bulunan suların EC değerin 485 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. Söz konusu yağışlardan itibaren hızlı bir şekilde noktasal beslenim ile Tozman ddeninden Döşkaya sistemine giren yeni su (yağış suyu), sistemde bulunan yağış suyuna oranla kimyasal açıdan daha olgun suyun piston hareketi ile DOS kaynağından boşalmasına neden olmuştur.

Bu noktadan itibaren 28 Nisan 2004 tarihinde meydana gelen yağış DOS kaynağı boşalımlarında ikinci piki oluşturmuştur. 27 Nisan 2004 tarihinde meydana gelen yağış Döşkaya sisteminde yağış suyuna oranla daha olgun olan sular sistemden drene ettikten sonra ikinci piki oluşturan yağış değeri ise kaynak sularının EC değerin 485 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’den 406 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ya düşmesine neden olmuştur. DOS kaynağının debi değerin maksimum olduğu anda kaynak sularının EC değerin minimum olduğu gözlenmiştir. Bu durum yağışlardan itibaren düşük derişime sahip olan beslenme suyunun sistemde bulunan daha olgun suyu seyreltmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan karstik ortamlarda yapılan kemograf çalışmalarında, EC ve pH değęerlerine oranla sistemdeki etkiye karşı tepkiyi daha iyi temsil ettiği varsayılan T değerin, Döşkaya sisteminde meydana gelen yağışların neden olduğu etkiye karşı daha geç tepki verdiği Şekil 6.2’de gőrlmektedir. Bu durum yağışlardan önce sistemde, su – kayaç etkileşim süresi uzun ve dolayısıyla yüksek EC ve düşük sıcaklığa sahip bir su ile bu suya oranla su – kayaç etkileşim süresinin kısa, EC değerin düşük ve sıcaklık değerin ise yüksek olduğu iki farklı su kütlesi olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla 27 Nisan 2004 tarihlerinde meydana gelen yağışa bağlı olarak öncelikle sistemde, kimyasal açıdan olgun olan sular drene olmaktadır.



Şekil 6.2: DOS kaynağı kemografı (21 – 29 Nisan 2004)

28 Nisan 2004 tarihinde meydana gelen yağış ise önceki boşalım suyuna oranla düşük EC ve yüksek T değerine sahip sular sistemde drene etmekte ve yaklaşık 5 saat sonra ise yağış suyunun etkisi gözlenmektedir. Yapılan çalışma, Döşkaya sisteminin, beslenmeye karşı hızlı bir şekilde tepki veren, noktasal beslenimli ve yerel dolaşımli sistemlerin davranışını benzer bir davranış sergilediği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

6.3. Kaynak Çekilme Analizi

Kaynak hidrograflarının şekli genellikle birbirlerine benzemekle birlikte bir akiferden veya kaynaktan bir diğerine farklılık göstermektedir. Eğrinin 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, et al., 2003; Kovacs, et al., 2005).

Tallaksen (1995) tarafından yapılan çalışmada, çekilme eğrisinde bulunan her bir azalma katsayısı, akiferin farklı kesimlerini temsil etmekte olduğu ve bu alanlara ait

iletimlilik ve depolama katsayılarının azalma katsayıları ile orantılı olduğu belirtilmektedir. Başka bir deyişle kaynak azalma katsayısının büyük olması, büyük iletimlilik katsayısı ve küçük depolama katsayısını, bunun tersi durumda ise küçük iletimlilik katsayısı ve büyük depolama katsayısını ifade etmektedir. Adı geçen çalışmada, yüksek çekilme katsayısı ve yüksek iletimlilik katsayısına sahip karstik kanallarda meydana gelen hızlı akımı ve boşalımı, düşük çekilme katsayısı ise kırık – çatlak sistemlerinde depolanan suların boşalımını (taban akımı) göstermektedir. Ayrıca çeşitli araştırmacılar tarafından arazi ve laboratuvar koşullarında yapılan çalışmalar sonucunda, kaynak azalma katsayısının, karstik kanal sistemlerinin artması/yoğunlaşması ile azaldığı belirtilmektedir. Başka bir ifadeyle, akiferin hidrolik ve geometrik parametrelerinin azalma katsayısı ile orantılı olduğu vurgulanmaktadır (Bear, 1979; Milanovic, 1981; Kiraly, 1985; Eisenlohr, 1996; Cornaton, 1999; Kovacs, et al., 2005).

Diğer taraftan çekilme eğrisinin eğiminin değişmesi, başka bir deyişle birden fazla azalma katsayısının bulunması, heterojen bir akiferi temsil etmektedir. Çekilme eğrisinin tek bir azalma katsayısı ile temsil edildiği koşullarda ise akiferin, homojen iletimlilik katsayısına ve depolama özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir (Milanovic, 1981; Amit et al., 2002).

HBKS akiferinin hidrodinamik özelliklerinin ve akifer geometrisinin belirlenmesi amacı ile BEY II, DOS ve NAR kaynak boşalımları için çekilme analizleri yapılmıştır. Belirli bir t zamanında kaynaktan boşalan su miktarı Maillet (1905) eşitliğine göre:

$$Q_t = Q_o * e^{-\alpha * t} \Rightarrow \alpha = \frac{\log Q_t - \log Q_o}{t * \log e} \quad (6.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikten, akiferin depolama kapasitesi, belirli bir zamanda boşalan ve akiferde kalan su miktarları da aşağıdaki eşitliklerle belirlenmektedir:

$$V_s = \frac{Q_o}{\alpha} \quad (6.2)$$

$$V_d = \frac{Q_o}{-\alpha} * \left[e^{-\alpha * t} \right]_0^t \quad (6.3)$$

$$V_r = V_s - V_d \quad (6.4)$$

Bu eşitliklerde:

Q_o kaynağın azalmaya başladığı andaki debisi (m^3/s),

Q_t kaynağın t anındaki debisi (m^3/s),

α kaynak azalma katsayısı ($gün^{-1}$),

t çekilme süresi (gün),

V_s akiferin depolama kapasitesi (m^3),

V_d akiferde belirli bir t anında boşalan su (m^3),

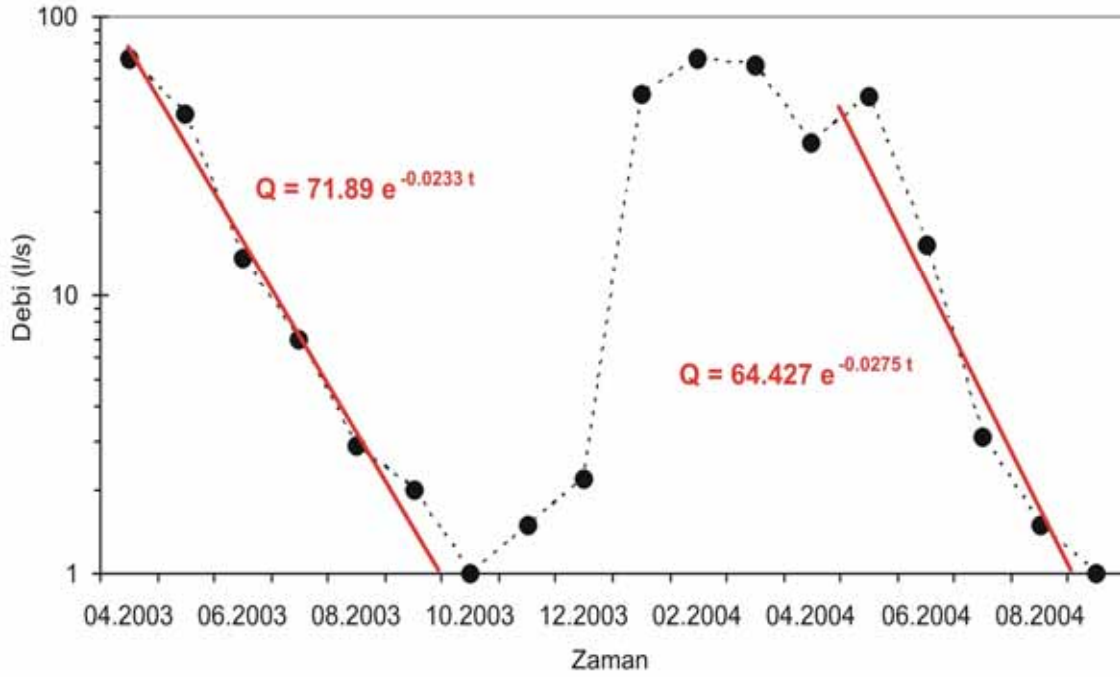
V_r çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su (m^3),

6.3.1. Beyyayla sistemi

HBKS yer alan BEY II kaynağı, inceleme alanının doğusunda yer alan Beyyayla düdeni'nin çıkışında Beyyayla sistemini boşaltmaktadır. İnceleme alanında yapılan gözlemler sonucunda, Beyyayla düdeni çıkışında yer alan kaynağın çekilme dönemi, Mayıs – Kasım 2003 ve 2004 tarihleri arasında kalan sürede gerçekleştiği belirlenmiştir.

BEY II kaynağının, 2003 ve 2004 yılları debi değerleri ile oluşturulan kaynak çekilme analizi grafiği Şekil 6.3'de verilmiştir. Söz konusu kaynak akımları ile oluşturulan kaynak çekilme grafiğinde, kaynak boşalımının 2003 yılında 0.0233 gün^{-1} ve 2004 yılında ise 0.0275 gün^{-1} kaynak azalma katsayısı ile temsil edildiği belirlenmiştir. BEY II, DOS ve NAR kaynakları için yapılan çekilme analizi sonuçları Çizelge 6.4'de verilmiştir. 2003 ve 2004 yılları çekilme dönemi akım değerleri ile yapılan hesaplamalar sonucunda, Beyyayla sisteminin toplam hacminin sırasıyla 263000 ve 202000 $m^3/yıl$ olduğu belirlenmiştir. Her iki çekilme dönemi için yapılan

değerlendirmeler, Beyyayla sisteminin toplam hacminin yaklaşık % 98'nin BEY II kaynağı ile boşaldığını göstermektedir.



Şekil 6.3: Kaynak azalma grafiği (Beyyayla Kaynağı)

Çizelge 6.4: Kaynak çekilme analiz sonuçları

Parametre	Beyyayla Kaynağı		Döşkaya Kaynağı				Nardın Kaynağı	
	2003	2004	2003 I. Dön	2004 II. Dön	2003 I. Dön	2004 II. Dön	2003	2004
Çekilme katsayısı (gün ⁻¹)	0.0233	0.0275	0.0459	0.0087	0.0345	0.0173	0.0369	0.0394
Çekilme süresi (gün)	190	196	45	174	69	174	59	87
Toplam hacim (*10 ⁶ m ³)	0.267	0.202	0.191		0.546		0.806	0.860
Çekilme dönemi süresince boşalan su miktarı (*10 ⁶ m ³)	0.263	0.202	0.141		0.465		0.715	0.832
Çekilme dönemi sonunda kalan su miktarı (*10 ⁶ m ³)	0.003	0.001	0.050		0.081		0.091	0.028
Kalan su miktarının toplam hacime oranı (%)	1.20	0.44	26.4		14.9		11.34	3.25
İki yıl arasındaki beslenme miktarı (*10 ⁶ m ³)	0.199		0.496		0.769			

Beyyayla sistemine ait çekilme katsayısı, hidrolik iletkenlik ve iletimlilik katsayılarının yüksek, depolama katsayısının düşük ve türbülanslı akımın baskın olduğu iyi gelişmiş karstik kanallar ve kırık çatlak sistemleri ile temsil edilen noktasal beslenimli ve yerel dolaşimli sistemlerinin davranışını göstermektedir.

6.3.2. Döşkaya sistemi

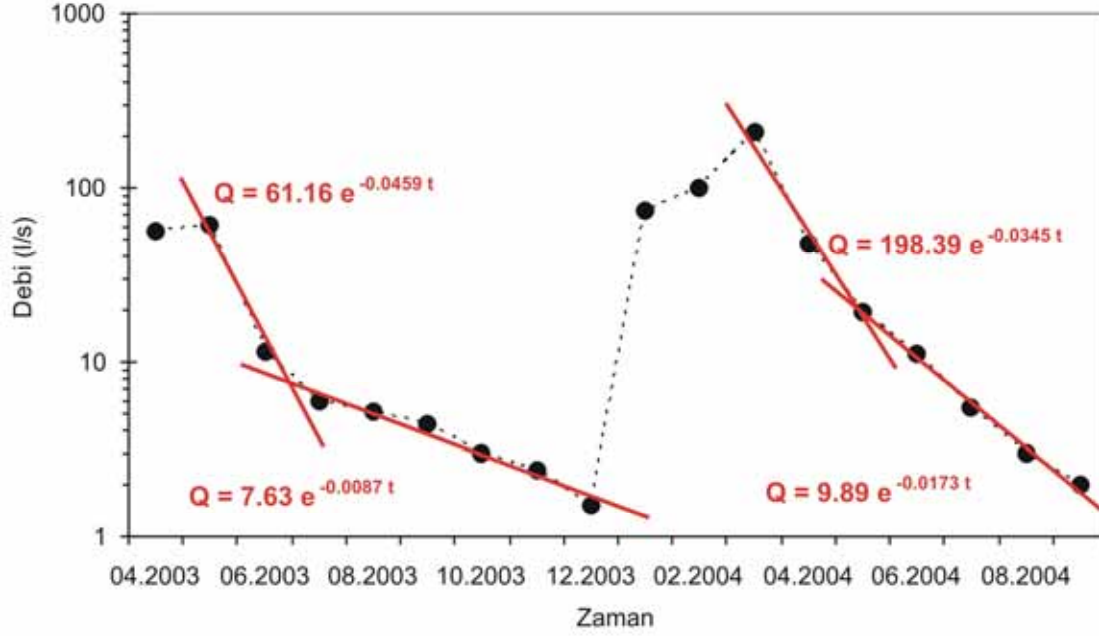
HBKS'de yer alan Döşkaya sisteminin boşalımını gerçekleştiren DOS kaynağı inceleme alanının batsında yer almaktadır. DOS kaynağında çekilme dönemi, Mayıs – Aralık 2003 ve Mart – Kasım 2004 tarihleri arasında gerçekleşmiştir. DOS kaynağı 2003 ve 2004 yılı akımları ile oluşturulan kaynak çekilme analizi grafiği Şekil 6.4'de verilmiştir. Döşkaya sisteminin boşalımını gerçekleştiren DOS kaynağı 2003 yılı çekilme dönemi akımları ile oluşturulan kaynak çekilme grafiğinde, kaynak boşalımının 0.0459 ve 0.0087 gün^{-1} kaynak azalma katsayısı ile iki evrede gerçekleştiği görülmektedir. Benzer durum, 2004 yılı için yapılan analizlerde de (0.0345 ve 0.0173 gün^{-1}) elde edilmiştir. DOS kaynağı akımları ile yapılan çekilme analiz sonuçları Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Her iki yılda da birinci evreye ait çekilme katsayısı, hidrolik iletkenlik ve iletimlilik katsayılarının yüksek, depolama katsayısının düşük ve türbülanslı akımın baskın olduğu iyi gelişmiş karstik kanalları ve kırık çatlak sistemlerini temsil etmektedir. Döşkaya sistemine ait akiferin toplam hacminin yaklaşık % 60'ı bu evreyi kapsayan 50 günlük sürede boşalmaktadır. İkinci evreye ait çekilme katsayısı ise birinci evreye oranla hidrolik iletkenlik ve iletimlilik katsayılarının düşük ve depolama katsayısının nispeten yüksek kısmen karstlaşmış kırık – çatlak sistemlerini temsil etmekte olup yaklaşık 174 günde gerçekleşmektedir. Bu durum, Beyyayla sistemin bezer şekilde Döşkaya sisteminde de noktasal beslenim ve yerel dolaşımın etkisini göstermektedir.

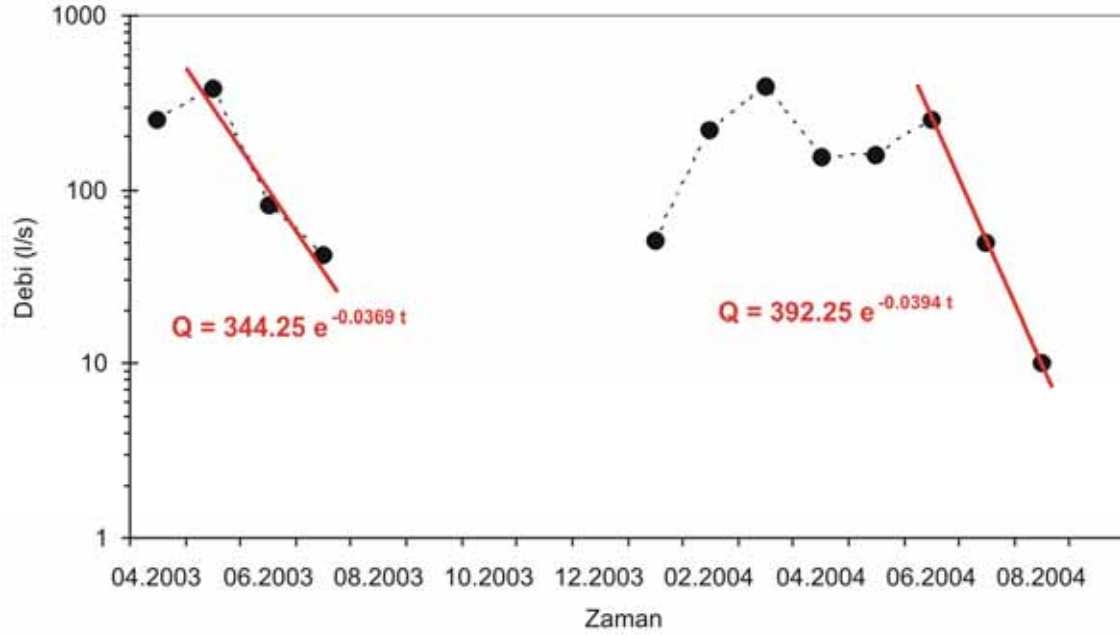
6.3.3. Nardın sistemi

Nardın sisteminin boşalımını gerçekleştiren NAR kaynağı, Temmuz 2003 ve Ağustos 2004 tarihi sonunda tamamen kurumuştur. NAR kaynağı, 2003 yılı için Nisan – Ağustos 2003, 2004 yılı için ise Haziran – Temmuz ayları arasında çekilme dönemini gerçekleştirmiştir. NAR kaynağı akımları ile 2003 ve 2004 yılları için oluşturulan

kaynak çekilme analizi grafiği Şekil 6.5’de verilmiştir. Nardın sisteminin boşalmasını gerçekleştiren kaynak akımlarının değerlendirilmesi sonucunda kaynak azalma katsayısı 2003 ve 2004 yılları için sırasıyla 0.0369 ve 0.0394 gün⁻¹ olarak



Şekil 6.4: Kaynak azalma grafiği (Döşkaya Kaynağı)



Şekil 6.5: Kaynak azalma grafiği (Nardın Kaynağı)

hesaplanmış ve analiz sonuçları Çizelge 6.4'de verilmiştir. Söz konusu azalma katsayıları, hidrolik iletkenlik ve iletimlilik katsayılarının yüksek, depolama katsayılarının düşük ve türbülanslı akımın baskın olduğu iyi gelişmiş karstik kanallar ve kırık çatlak sistemler ile temsil edilen yerel dolaşımli sistemleri ifade etmektedir.

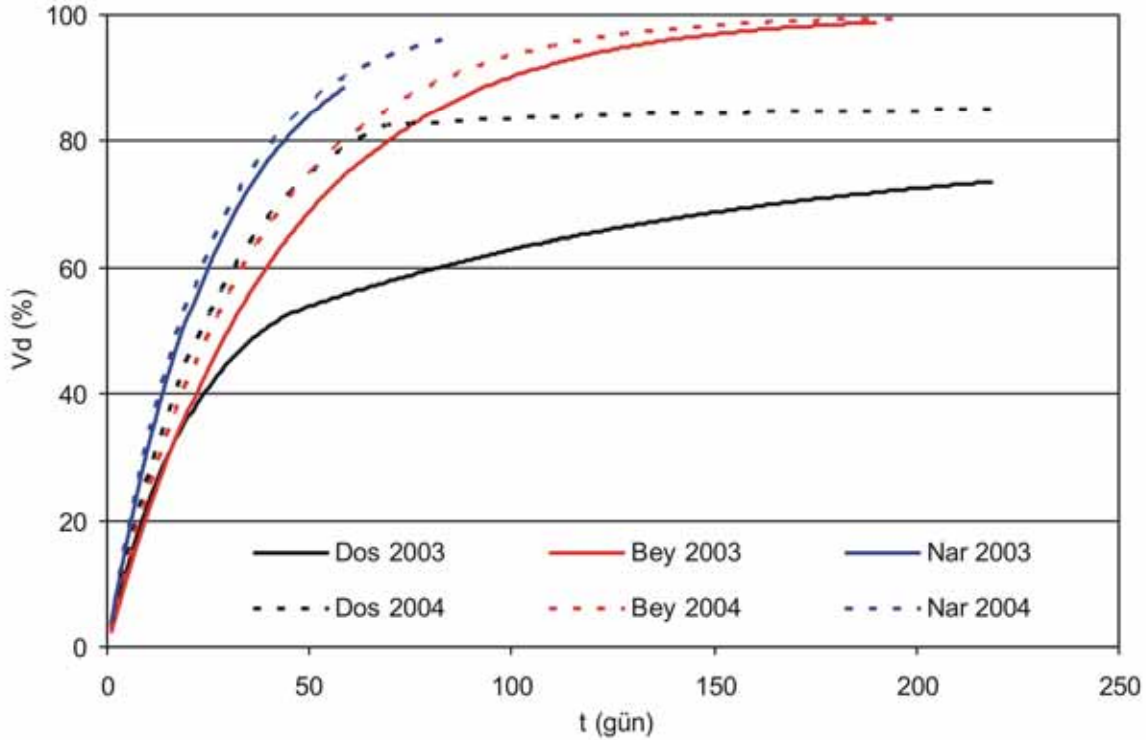
Nardın sistemi, HBKS'de yer alan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine oranla depolama kapasitesi en büyük sistem olduğu yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalar, NAR kaynağı Nardın sisteminin yaklaşık % 90'ını drene ettiğini göstermektedir (Bkz. Çizelge 6.4).

Kaynak hidrografları ile yapılan birçok çalışmada, birbirini takip eden iki çekilme dönemi arasında meydana gelen beslenme miktarının belirlenebileceği belirtilmektedir. Beyyayla sistemi drenaj alanında 2003 ve 2004 yılları arasında meydana gelen beslenme miktarı, 2004 yılı çekilme dönemi toplam hacminden ($0.202 \times 10^6 \text{ m}^3$), 2003 yılı çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarının ($0.003 \times 10^6 \text{ m}^3$) çıkarılması sonucunda $0.20 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Döşkaya ve Nardın sistemleri drenaj alanlarında meydana gelen beslenme miktarı ise sırasıyla 0.50×10^6 ve $0.77 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 6.4).

Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde 2003 ve 2004 yıllarında maksimum debinin gözlenmesinden itibaren çekilme dönemi süresince boşalan su miktarları ile oluşturulan grafik Şekil 6.6'da verilmiştir. Şekil 6.6'da, NAR kaynağının BEY II ve DOS kaynaklarına oranla çok hızlı bir şekilde sistemini boşalttığı görülmektedir. Bu durum, Nardın sisteminde hüküm süren depolama ve dolaşım koşullarının diğer sistemlerden farklı olduğunu göstermektedir. Döşkaya sisteminin farklı hidrolojik zonlarının farklı gözeneklilik, hidrolik iletkenlik ve iletimlilik katsayısına sahip olması, kaynak boşalımlarının birden fazla azalma katsayısı ile temsil edilmesine neden olmaktadır. Ayrıca yapılan değerlendirmeler sonucunda, Döşkaya sisteminin depolama kapasitesi başka bir deyişle doymun zonü diğer kaynak akiferlerine oranla daha yüksek olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Sonuç olarak, HBKS'nin boşalımlını gerçekleştiren kaynakların 2003 ve 2004 yılları için rezerv hacimleri sırasıyla 1.264×10^6 ve $1.609 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak belirlenmiştir. 2003

yılında toplam hacmin yaklaşık % 88.5'i çekilme dönemi süresince kaynaklar tarafından boşaltılmakta olup % 11.5'i ise akiferde kalmaktadır. 2004 yılında ise toplam hacmin %93.1'i kaynaklar tarafından boşaltılmakta ve % 6.9'u ise akiferde kalmaktadır (Bkz. Çizelge 6.4).



Şekil 6.6: 2003 ve 2004 yılları çekilme dönemi süresince Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde boşalan su hacmi

6.4. Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi

Karst akiferlerinin hidrodinamik davranışının sağlıklı bir şekilde kurgulanması için gerçekçi hidrolik ve geometrik parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Karst akiferlerinin hidrolik ve geometrik parametrelerin belirlenmesi amacı ile izleme deneyleri, kuyu testleri, mağara araştırmaları, hidrojeokimyasal çalışmalar ile jeolojik ve jeofizik çalışmalardan faydalanılmaktadır. Bununla birlikte, anizotrop ve heterojen karst akiferlerinde, söz konusu yöntemlerle sistemi karakterize edebilecek noktasal ölçekte veri elde edilememektedir. Örneğin karstik bir ortamda açılan bir kuyuda yapılan kuyu testleri veya karst sistemi içinde yer alan mağaralarda yapılan çalışmalar sonucunda daha çok sistemin incelenen kısmı hakkında bilgi sağlanmaktadır. Yukarıda yapılan

alışmalar sonucunda elde edilen veriler, gözenekli ortamlar için istatistiksel yöntemlerle konumsal olarak (spatial) genelleştirilebilirken, anizotrop ve heterojen bir yapıya sahip olan karst akiferlerinin, geometrik özellikleri ve hidrolik parametreleri hakkında çok sınırlı bilgi sağlamaktadır.

Karstik sistemlerin hidrodinamik davranışının belirlenmesine yönelik yapılan çok sayıda çalışmada tümsel parametre/kara – kutu modelleri (TP–lumped parameter/black–box model) ve dağınık parametrelili modeller (DP–distributed parameter models) kullanılmıştır. TP modellerde, sistem bir bütün olarak dşnlmekte ve sistem içindeki değişimler dikkate alınmamaktadır (Boussinesq, 1877; Maillet, 1905; Berkaloﬀ, 1967; Bagaric, 1978; Bear, 1979; Atkinson, 1977; Milanovic, 1981; Ford and Williams, 1989). Dolayısıyla oldukça anizotrop ve heterojen bir yapıya sahip olan karstik sistemlerinin kara–kutu olduğu düşünülecek olursa, TP modele göre sistemde meydana gelen her hangi bir etkiye karşı tepki, sistemi drene eden kaynak akımları ile oluşturulan hidrograflardan gözlenecektir. Bu bağlamda, kaynak boşalımları ile oluşturulan kaynak çekilme analizleri ile de karstik akiferlerin hidrolik parametrelerinin (hidrolik iletkenlik, iletimlilik katsayısı, depolama katsayısı, hidrolik gradyan) ve geometrik özelliklerinin (beslenme alanı, akiferin uzunluğu, genişliği, kalınlığı) belirlenebileceği belirtilmektedir (Atkinson, 1977; Samani and Ebrahimi, 1996; Eisenlohr, 1996; Shevenell, 1996; Cornaton, 1999; Bakalowicz, 2000; Bonacci, 2000; Amit, et al., 2002; Kiraly 2002; Dewandel et al., 2003).

Yurtsever and Payne (1986), Wanakule and Anaya (1993), Barrett and Charbeneau (1996), Zhang et al. (1996) ve Scanlon et al. (2003) tarafından TP modeller kullanılarak yapılan çalışmalarda, kaynak başında gözlenen boşalım değerleri ile model sonucunda hesaplanan boşalım değerleri arasında iyi bir ilişki elde edildiği belirtilmektedir. TP modellerinin kullanımında en önemli avantaj, veri gereksiniminin minimum ve benzeşime sürecinin hızlı olmasıdır. Bu modelin en önemli dezavantajı ise etkin bir su kaynakları yönetimi için zorunlu olan hidrolik yük dağılımı ile yeraltısuyu akım yönü ve hızı hakkında konumsal olarak bilgi sağlamamasıdır (Scanlon et al., 2003).

Karst akiferlerinde TP modeller ile bu akiferlerin hidrolik ve geometrik özellikleri genel olarak belirlenebilirken, su kaynakları yönetimi için gerekli olan söz konusu parametrelerin yanı sıra yeraltı suyu akım hızı ve yönü gibi dinamik özelliklerin zamana ve konuma bağlı olarak meydana gelen değişim sürecinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan bir çok çalışmada, karstik sistemlerde girdi ve boşalımın yanı sıra sistem içindeki hidrolik ve jeohidrolojik parametreleri konum ve zaman içinde değişimini dikkate alan, DP modelleri ile de karst sisteminin hidrodinamik davranışının açıklanabileceği belirtilmektedir (Király and Morel, 1976a; 1976b; Eisenlohr, 1996; Cornaton, 1999; Scanlon et al., 2003; Kovacs, et al., 2005). Scanlon et al. (2003) tarafından anizotrop ve heterojen bir karst sistemin boşalımını sağlayan Barton kaynağında (USA) sistemin davranışını belirlemek amacı ile yapılan çalışmada TP ve DP modelleri kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda, TP ve DP modelleri tarafından hesaplanan kaynak boşalım değerleri ile gözlenen boşalım değerlerinin uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra karst akiferinin anizotrop ve heterojen yapısından dolayı, bu modeller ile bölgesel yeraltı suyu akım yönünün belirlenebileceği belirtilmektedir. Quinlan et al. (1996)'da karst akiferlerinde yeraltı suyu akım hızı ve yönünün belirlenmesinde en iyi yöntemin izleme deneyleri olduğu vurgulanmaktadır. Dolayısıyla karstik sistemlerde izleme deneyleri sonucunda elde edilen yeraltı suyu akım hızı ve yönü gibi dinamik parametrelerin yanı sıra bu akiferlerin geometrik ve hidrolik özelliklerinin DP modellerde birlikte kullanılması su kaynakları yönetimi için çok daha faydalı bilgi sağlayacaktır.

6.4.1. HBKS'de akifer parametrelerinin belirlenmesi

HBKS'de, akifer parametrelerinin belirlenmesinde TP modeller/kara kutu yaklaşımı izlenmiştir. Çünkü HBKS'nin oldukça anizotrop ve heterojen yapıya sahip olması ve yapılan çalışmalar kapsamında elde edilen verilerin konumsal (spatial) olmayışı, akifer parametrelerinin TP modeller ile belirlenmesine olanak verebilmiştir.

TP modelleri temel alan ve akarsu ve kaynakların akım değerleri ile oluşturulan kaynak çekilme analizi, ilk olarak tek bir rezervden boşalan ve kaynak gerisindeki su yükü dikkate alınarak Boussinesq (1877) ve Maillet (1905) tarafından exponansiyel olarak ifade edilmiştir. Bu exponansiyel eşitlikte, belirli bir t zamanında sistemden

boşalan su miktarı $Q_t = Q_o * \exp(-\alpha t)$ şeklinde tanımlanmaktadır. Söz konusu eşitlik daha çok karst akiferinin, kırık – çatlak sistemlerinden boşalan ve kaynak çekilme eğrisinin taban akım kısmını temsil etmektedir. Bu bölüm kapsamında incelenen eşitliklere ait kısaltmalar aşağıda belirtilmiştir.

Q_o kaynağın azalmaya başladığı andaki debisi (L^3T^{-1}),

Q_t kaynağın t anındaki debisi (L^3T^{-1}),

α kaynak azalma katsayısı (T^{-1}),

t çekilme süresi (T),

T iletimlilik katsayısı (L^2T^{-1}),

S depolama,

R_o sabit beslenme (L),

L akiferin uzunluğu (L),

W akiferin genişliği (L),

A akımın meydana geldiği kesit alanı (L^2),

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

$$Q_t = \frac{2TR_o}{SL} \exp\left(-\frac{\pi^2 T t}{4SL^2}\right) \text{ ve } \alpha = \left(\frac{\pi^2 T}{4SL^2}\right) \quad (6.5)$$

Atkinson (1977) ve Shevenell (1996), Rorabaugh (1964) tarafından yapılan çalışmada önerilen eşitlikten itibaren T/S oranının aşağıdaki şekilde belirlemişlerdir. Söz konusu araştırmacılar tarafından önerilen eşitlikte elde edilen T/S oranı, kaynak hidrografının taban akım kısmını oluşturan yaygın/difüz akım bileşenini temsil etmektedir.

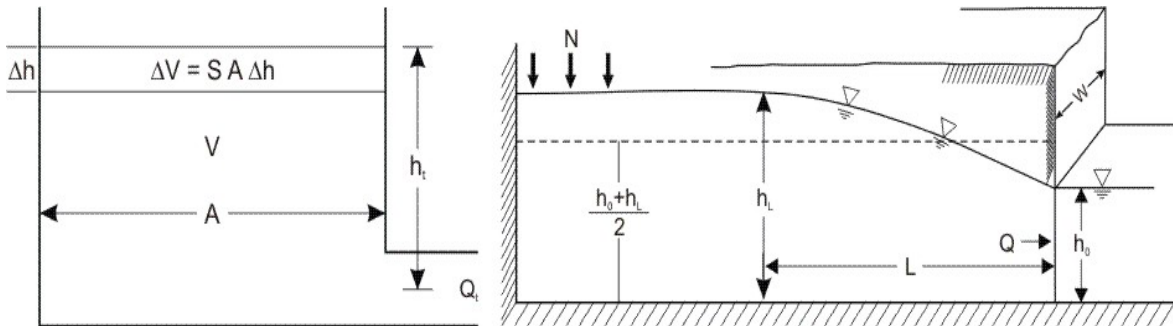
$$\log(Q_0/Q_t) = 2T \left(\frac{h_0}{L} \right) \exp \left(-\frac{\pi^2 T t}{4 S L^2} \right) \text{ ve } \frac{T}{S} = \left(\frac{\log(Q_0/Q_t) L^2}{1.071 \Delta t} \right) \quad (6.6)$$

Bagaric (1978) yukarıda belirtilen benzer akım ve sınır koşullarının geçerli olduğu bir blokta meydana gelen tek boyutlu difüzyon akımları için aşağıda verilen analitik eşitliği geliştirmiştir. Bu analitik eşitlikte, Barkeloff (1967) modelinde geçerli olan süzülme parametresi ihmal edilmiştir.

$$Q_t = Q_0 \exp \left(-\frac{2Tt}{SL^2} \right) \text{ ve } \alpha = \left(\frac{2T}{SL^2} \right) \quad (6.7)$$

Bear (1979) ve Milanovic (1981) tarafından yapılan çalışmalarda ise kaynak boşalımının kaynak gerisindeki su yükü ile doğru orantılı ($Q \propto h$) olduğu belirtilmiştir (Şekil 6.7). Başlangıç ve sınır koşulları ($t=t_0, h=h_0, Q=Q_0$) dikkate alınarak bu eşitlik ile Dupuit – Forchheimer eşitliğinin birlikte çözümü sonucunda, herhangi bir t anında sistemde meydana gelen boşalım ve azalma katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir.

$$Q_t = Q_0 \exp \left(-\frac{WT}{SAL} \right) \text{ ve } \alpha = \left(\frac{WT}{SAL} \right) \quad (6.8)$$



Şekil 6.7: Bir akiferi drene eden basit bir kaynak modeli (Bear, 1979; Şekil üzerindeki simgeler metin içinde belirtilmektedir)

6.4.2. İletimlilik/depolama katsayısı oranı (T/S)

HBKS'ni oluşturan Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren BEY II, DOS ve NAR kaynakları, 2003 ve 2004 yılı akım hidrografları ile çekilme analizleri yapılmıştır (Bkz. Bölüm 6.3). İnceleme alanında alt sistem gibi davranan, Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemleri arasında, yapılan çalışmalar sonucunda hidrojeolojik açıdan her hangi bir ilişkinin varlığı ortaya konamamıştır (Bkz. Bölüm 3, 4 ve 5). Dolayısıyla farklı sistemleri drene eden kaynakların çekilme analizleri sonucunda elde edilen azalma katsayılarından itibaren, Bölüm 6.4.1'de verilen yaklaşımlar ile sistemlerin T/S oranları hesaplanmıştır (Çizelge 6.5).

HBKS'de alt sistemler şeklinde davranan Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin boşalımını gerçekleştiren BEY II, DOS ve NAR kaynakları 2003 ve 2004 yıllarına ait kaynak çekilme analizlerinden elde edilen kaynak azalma katsayılarından itibaren bu sistemler için T/S oranı hesaplanmıştır. Çizelge 6.5'te Berkaloff (1967), Atkinson (1977), Bagaric (1978) ve Shevenell (1996) tarafından önerilen yaklaşımlar ışığında yapılan T/S oranı hesaplamalarının birbirlerine yakın olduğu görülmekle birlikte Bear (1979) ve Milanovic (1981)'e göre yapılan hesaplamaların diğer üç yöntemle elde edilen değerlerden daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durum büyük bir olasılıkla, Bear (1979) ve Milanovic (1981) tarafından önerilen eşitlikte yer alan sistemin geometrik özelliklerine ait parametrelerin belirsizliğinden veya ortalama değerler kullanılmasından kaynaklanmaktadır. İlk üç yöntemde sistemin geometrik yapısına ait L dikkate alınırken, Bear (1979) ve Milanovic (1981) tarafından önerilen eşitlikte L, W, b ve A dikkate alınmaktadır.

Her bir sistem için hesaplanan T/S oranlarının sistemlere ait kaynak azalma katsayısı ile birlikte değerlendirildiğinde, T/S ile azalma katsayıları arasında doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Bu ilişkiye göre azalma katsayısı arttıkça T/S oranı da artmaktadır. Dolayısıyla azalma katsayısının büyük olması sistemdeki iletimliliğin yüksek ve depolamanın küçük olduğu anlamına gelmektedir. Çizelge 6.5'de Nardın sistemi için hesaplanan T/S oranı Beyyayla ve Döşkaya sistemleri için hesaplanan T/S oranından belirgin bir şekilde büyük olduğu görülmektedir. Bu durum Nardın sisteminde, iletimlilik katsayısının yüksek ve depolama katsayısının düşük olduğunu

göstermektedir. Başka bir ifadeyle, Nardın sisteminde meydana gelen yeraltısuyu akımı, iletimlilik katsayısının yüksek ve depolama katsayısının düşük olduğu iyi gelişmiş karstik kanalları ve kırık çatlak sistemleri boyunca meydana geldiğini göstermektedir. Diğer taraftan, iki çekilme katsayısı ile temsil edilen Döşkaya sistemi için hesaplanan T/S oranının bir birlerinden farklı olduğu görülmektedir.

Her bir çekilme dönemi için hesaplanan T/S oranının ve azalma katsayılarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda, yüksek T/S oranının sistemdeki iletimlilik katsayısının yüksek ve depolama katsayısının düşük olduğu iyi gelişmiş karstik kanalları ve kırık çatlak sistemlerini temsil ettiği düşünülmektedir. Döşkaya sisteminde meydana gelen ikinci çekilme dönemi ve Beyyayla sistemi için hesaplanan T/S oranı ise iletimlilik katsayısının düşük ve depolama katsayısının nispeten yüksek kısmen karstlaşmış kırık – çatlak sistemlerini temsil edilmektedir.

Çizelge 6.5: HBKS alt sistemlerinin akifer karakteristikleri

Sistem	Yıl	Q_0 l/s	Q_t	t gün	α gün ⁻¹	L m	b m	W m	A m ²	(1)	T/S m ² /gün (2)	(3)	(4)
Beyyayla	2003	70.0	1.0	190	0.0233	750	50	1250	37500	5312	5100	6553	874
	2004	51.2	0.5	196	0.0275	750	50	1250	37500	6269	5387	7734	1031
Döşkaya	2003 ₁	61.2	7.6	45	0.0459	1500	100	3600	324000	41856	42201	51638	6885
	2003 ₂	7.6	1.5	174	0.0087	1500	100	3600	324000	7933	8529	9788	1305
	2004 ₁	198.4	9.9	69	0.0345	1500	100	3600	324000	31460	39652	38813	5175
	2004 ₂	9.9	1.0	138	0.0173	1500	100	3600	324000	15776	15150	19463	2595
Nardın	2003	251.9	0.5	92	0.0369	4500	90	6300	567000	302839	555360	373613	14945
	2004	255.0	0.5	87	0.0394	4500	90	6300	567000	323356	588432	398925	15957

(¹): Berkaloﬀ (1967); (²): Atkinson (1977) ve Shevenell (1996); (³): Bagaric (1978); (⁴): Bear (1979) ve Milanovic (1981); Q_0 : kaynağın azalmaya başladığı andaki debisi; Q_t : kaynağın t anındaki debisi; α : kaynak azalma katsayısı; t: çekilme süresi; T: iletimlilik katsayısı; S: depolama; L: akiferin uzunluğu; W: akiferin genişliği; A: akımın meydana geldiği kesit alanı; b: akiferdeki ortalama su yükü kalınlığı; 2003₁, 2003₂, 2004₁ ve 2004₂ DOS kaynağında iki evrede meydana gelen çekilme dönemlerini ifade etmektedir.

6.5. Yeraltısuyu Akım Hızının İzleme Deneyleri ile Belirlenmesi

Gözenekli ortamlarda yeraltısuyu akımı gözenekler boyunca, kırıklı – çatlaklı ortamlarda ise kırık – çatlak sistemleri boyunca gerçekleşmektedir. Kırıklı – çatlaklı

ortamlarda yeraltısuyu hızı Hagen – Poiseuille eşitliği ile belirlenebilirken, gözenekli ortamlarda ise Darcy Yasası'nı temel alan yöntemlerle hesaplanmaktadır. Darcy Yasası'nın geçersiz olduğu karstik akiferlerde ise yeraltısuyu akımı yaygın ($< 10^{-3}$ m/s) ve kanal/yerel ($> 10^{-3}$ m/s) akım bileşenlerinden oluşmaktadır (White and Schmidt, 1966). Bu tür akiferlerde yeraltısuyu akımı Darcy – Weisbach eşitliğine uyar ve genellikle ortamın geometrisinin bilinmemesi/değişken olması nedeniyle izleme deneyi ile belirlenmektedir. Hauns et al. (2001) ve Greene (1999), karstik ortamlarda yapılan izleme deneyleri ile karst kaynaklarının beslenme alanlarının ve genel ölçekte de olsa sistem içindeki kanal ağlarının karakteristikleri ile ilgili bilgi elde edilebileceği, zaman – konsantrasyon eğrisinin sistem içindeki karstik kanalların geometrisi ve dağılımı tarafından kontrol edildiğini belirtmektedirler.

HBKS'de akiferin farklı girdilere vereceği tepkinin belirlenmesi; böylece karst akiferinin dolaşım ve depolamaya ilişkin davranışının anlaşılması ve akım yollarının belirlenmesi amacı ile Haziran 2003 (Ekmekçi vd., 2003a) ve Nisan 2004 tarihlerinde Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde yapay izleyiciler (floresan boya) kullanılarak farklı enjeksiyon koşulları altında izleme deneyleri yapılmıştır. Boya izleme deneylerinde alınan örneklerdeki Uranin ve Rodamin konsantrasyonları, Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), Karst Araştırma Laboratuvarında Turner Model 111 Spektroflorometresi yardımı ile belirlenmiştir. İzleme deneyi sonuçları, QTRACER 2.0 (Field, 2002) bilgisayar programı ile değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, karst akiferinde farklı girdiler sonucu meydana gelen yeraltısuyu hızı ve akımın meydana geldiği kanalların geometrik yapıları ile ilgili bilgiler elde edilmiştir.

6.5.1. Beyyayla sistemi izleme deneyi

İnceleme alanının doğusunda yer alan Beyyayla sisteminde 06.06.2003 ve 24.04.2004 tarihlerinde iki ayrı izleme deneyi yapılmıştır (Foto 6.1 ve Şekil 6.8). Beyyayla sisteminde noktasal girdiyi oluşturan düdeni girişinde (BEY I) Haziran 2003 ve Nisan 2004 yılında yapılan izleme deneylerinde sırasıyla 500 ve 450 gr Uranin ile hazırlanan çözelti Beyyayla düdeni girişinde yer alan akarsuya ani enjeksiyon yöntemi ile enjekte edilmiştir. Beyyayla sisteminde, izleme deneyi öncesi boya miktarının

belirlenmesine yönelik boya enjekte edilmeden önce düden girişinde (BEY I), düden çıkışında (BEY III), Beyyayla kaynağında (BEY II) ve BEY II ve BEY III noktalarının akış aşağısında (BC) örnek alınmıştır (Foto 6.1). 2003 yılında yapılan izleme deneyi esnasında düden çıkışının kuru olmasından dolayı gözlemler, BEY II kaynağında, 2004 yılında yapılan izleme deneyinde ise boya gözlemleri BEY II, BEY III ve BC’de yapılmıştır. Haziran 2003 ve Nisan 2004 tarihlerinde yapılan boya izleme deneyi sonuçlarından elde edilen zaman – konsantrasyon eğrileri Şekil 6.9’da verilmiştir.

Beyyayla sisteminde 2003 ve 2004 yılı izleme deneylerinde, söz konusu gözlem noktaları dışında başka her hangi bir noktada boya gözlenmemiştir. Haziran 2003 tarihinde yapılan izleme deneyi sırasında BEY I düden girişi ve BEY II kaynağı debileri sırası ile 13.4 ve 18.1 l/s olarak ölçülmüştür. Nisan 2004 tarihinde yapılan izleme deneyi sırasında BEY I, BEY II, BEY III ve bu iki noktanın akış aşağısında (BC) ölçülen debi değerleri ise sırasıyla 30.0, 25.5, 9.0 ve 34.5 l/s’dir (Çizelge 6.6). Şekil 6.9.b’de görüldüğü gibi 2004 yılı boya izleme deneyinde, BEY II kaynağının zaman – konsantrasyon eğrisinin iki farklı pik oluşturduğu gözlenmektedir. 2004 yılı izleme deneyinde, Beyyayla düdeni girişinde ani enjeksiyon yöntemi ile enjekte edilen boyanın büyük bir kısmının düden girişindeki sifonda kaybolduğu gözlenirken geri kalan kısmının ise düden içinde aktığı gözlenmiştir. Dolayısıyla BEY II kaynağı zaman – konsantrasyon eğrisinde gözlenen ikinci pik, düden içinde akan boyanın iletimliliği düşük kırık – çatlak sistemleri aracılığı BEY II kaynağına ulaştığını göstermektedir.

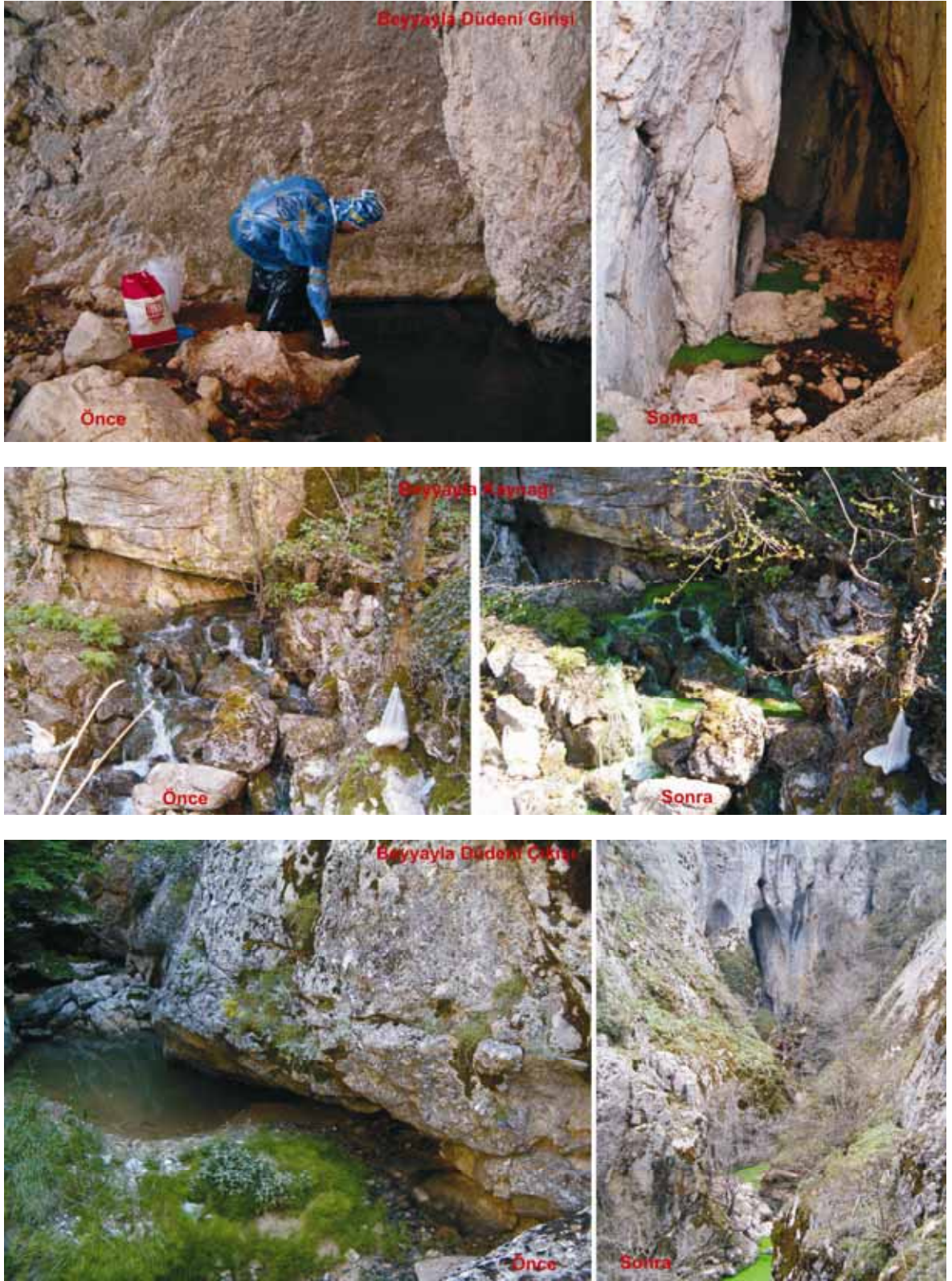
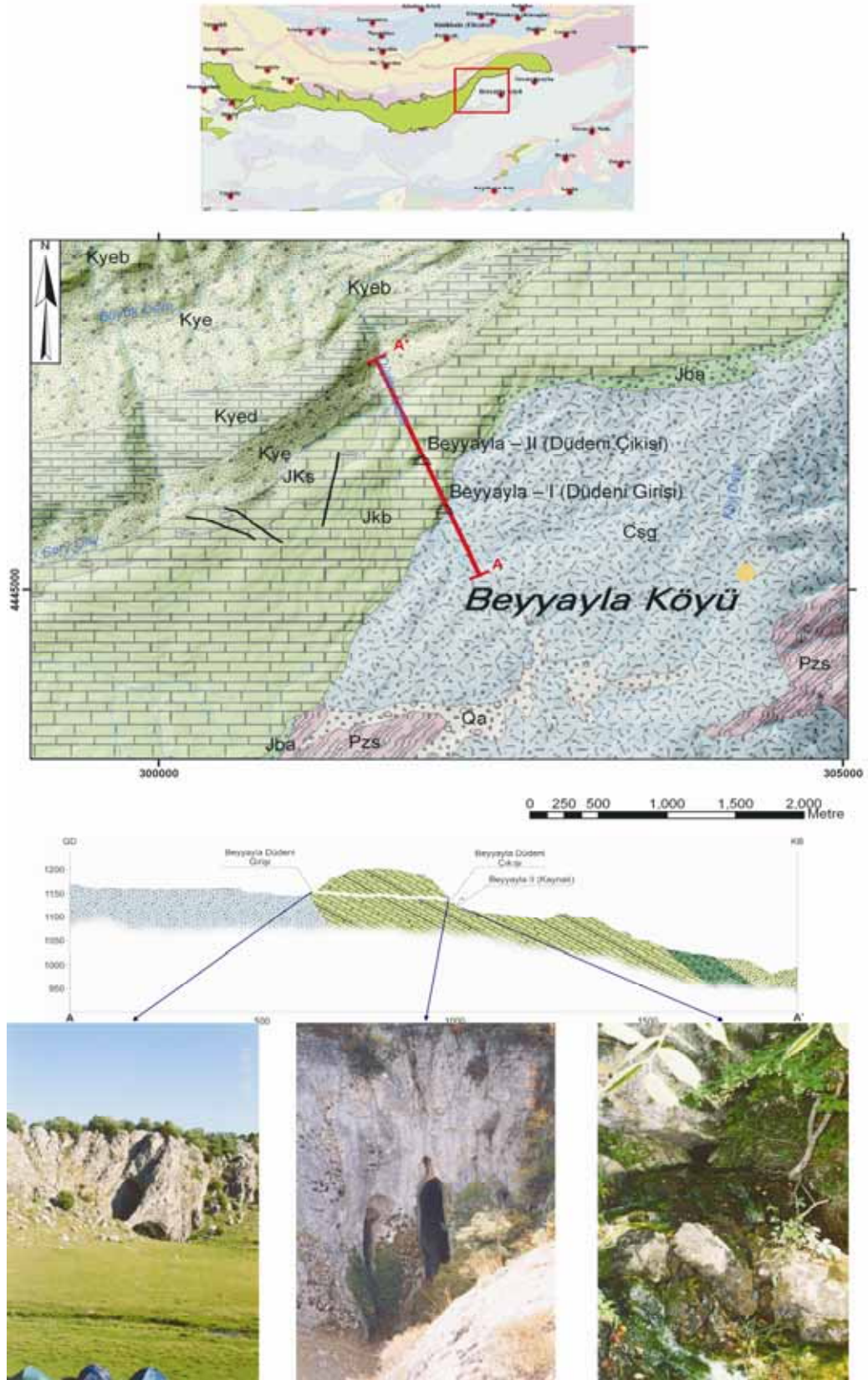


Foto 6.1: Beyyayla sistemi boya izleme deneyi öncesi ve sonrasına ait fotoğrafları



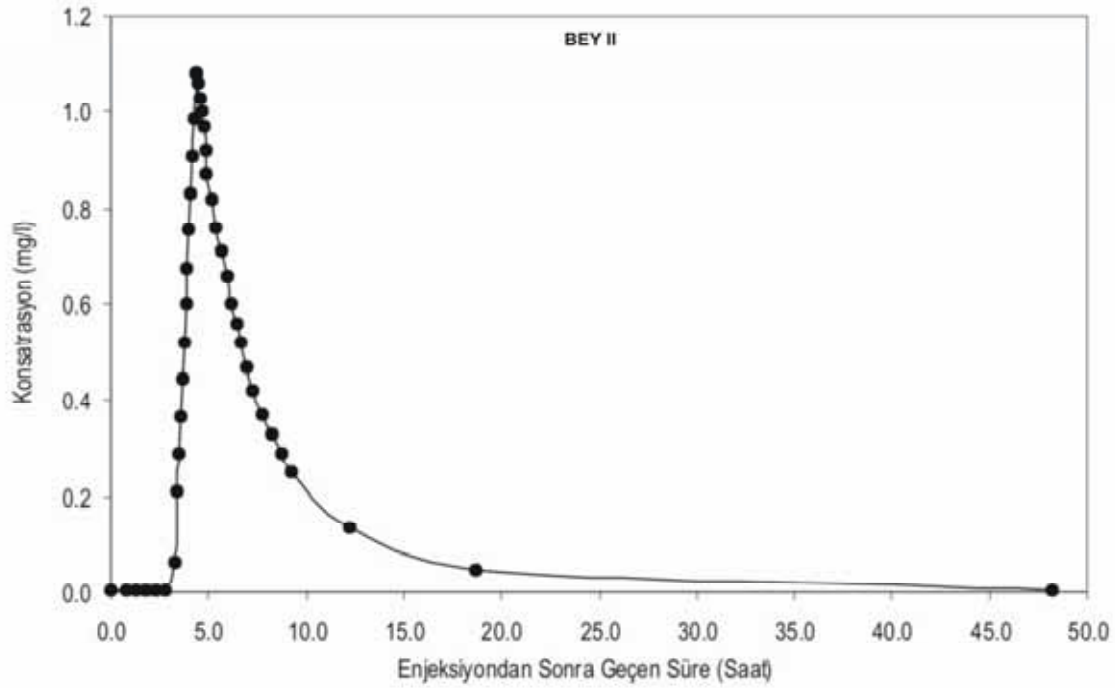
Şekil 6.8: Beyyayla sistemi ve yakın dolayının jeoloji haritası ve kesiti

İzleme deneyi sonuçları, QTRACER 2.0 (Field, 2002) bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve Beyyayla düdeni girişinde 2003 yılında yapılan izleme deneyinde enjekte edilen boya, enjeksiyondan yaklaşık 3.25 saat sonra BEY II kaynağında, 2004 yılında yapılan deneyde ise yaklaşık 2 saat sonra BEY II kaynağında ve 3 saat sonra ise düden çıkışından (BEY III) gözlenmiştir (Çizelge 6.6). Ayrıca enjekte edilen boyanın % 74'ü, 2003 yılı izleme deneyinde BEY II kaynağında geri kazanılmıştır. 2004 yılında yapılan deneyde ise BEY II kaynağı ve Düden çıkışında (BEY III) geri kazanılan boya miktarı sırasıyla % 80.8 ve % 14.9'dür.

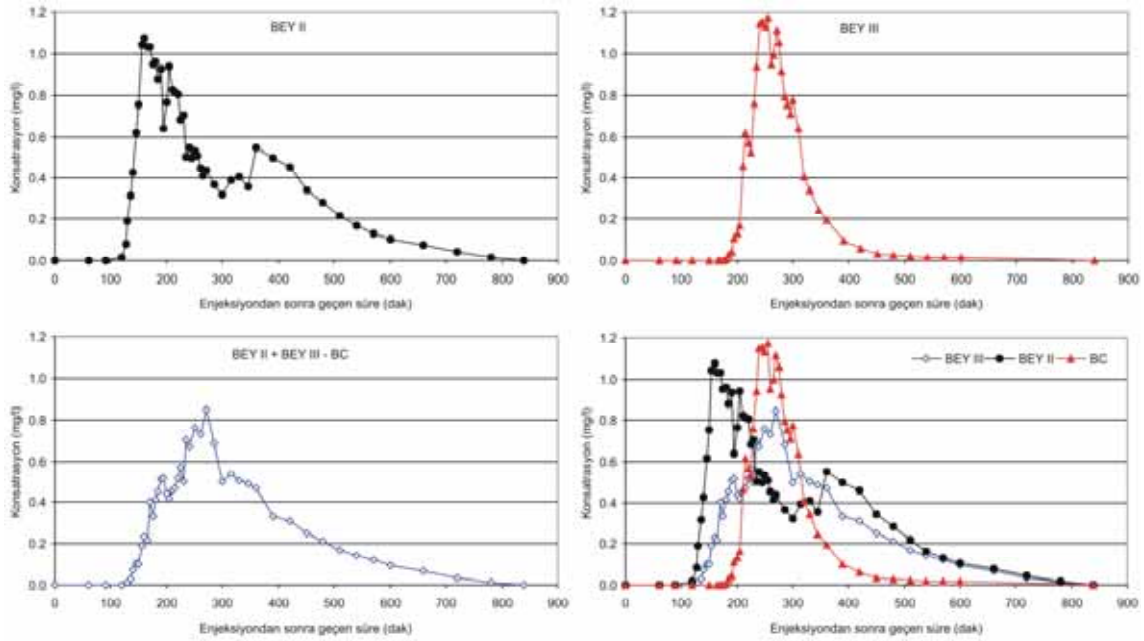
Çizelge 6.6: Beyyayla sistemi 2003 ve 2004 yılı izleme deneyi sonuçları

Parametre	Birim	2003		2004	
		BEY II	BEY II	BEY III	BC
Gözlem noktası debileri	l/s	18.1	25.5	9.0	34.5
Enjeksiyon ve gözlem noktası arasındaki doğrusal uzaklık	m	450	450	450	450
Doğrusallıktan sapma düzeltmesi = (Doğrusal Uzaklık *1.5)	m	675	675	450	675
Enjekte edilen boya miktarı	gr	500	450	450	450
Geri kazanılan boya miktarı	gr	372.2	363.4	67.2	431.0
Geri kazanılan boya yüzdesi	%	74.0	80.8	14.9	95.8
Enjeksiyondan sonra izleyicinin göz nok gözlendiği zaman	saat	3.25	2.00	3.00	2.20
Enjeksiyondan itibaren gözlenen pik zamanı	saat	4.3	2.7	4.3	4.5
İzleyicinin toplam geçiş süresi	saat	6.2	5.8	5.3	6.1
Ortalama yeraltısuyu hızı	m/gün	1754	2796	2026	2647
	m/s	0.020	0.032	0.023	0.031
Maksimum yeraltısuyu hızı	m/gün	4985	8100	3600	7476.9
	m/s	0.058	0.094	0.042	0.087
Dispersiyon katsayısı	m ² /s	0.460	0.423	0.080	0.763
Boyuna dispersivite	m	22.8	13.1	3.4	24.9
Peclet sayısı		29.63	51.63	132.56	27.1
Reynold sayısı		19165	28153	14377	33097
Akımın meydana geldiği kanal çapı	m	1.08	1.00	0.70	1.23
Akımın meydana geldiği kanal kesit alanı	m ²	0.92	0.77	0.38	1.19
Akımın meydana geldiği kanal hacmi	m ³	616.2	521.44	172.76	804.26
Akiferin yüzey alanı (×10 ⁶)	m ²	1.033	1.610	0.752	1.630

BEY II: Beyyayla kaynağı; BEY III: düden çıkışı; BC: BEY II ve BEY III akış aşağısı



(a) 2003 yılı boya izleme deneyi zaman – konsantrasyon eğrisi



(b) 2004 yılı boya izleme deneyi zaman – konsantrasyon eğrisi

Şekil 6.9: Beyyayla sistemi boya izleme deneyi zaman – konsantrasyon eğrisi

Toplamda ise enjekte edilen boyanın % 95.8'i geri kazanılmıştır (Çizelge 6.6). Bu durum sağlıklı bir izleme deneyi yapıldığının göstergesidir. 2003 ve 2004 yılında yapılan izleme deneyleri sonuçlarına göre Beyyayla sisteminde ortalama ve maksimum yeraltısuyu hızı sırasıyla 1754 – 2026 ve 3600 – 4985 m/gün arasında

değişmektedir. Bu değerler Beyyayla sisteminin boşalmasını gerçekleştiren BEY II kaynağında gözlenen boya değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çünkü BEY III noktasında yapılan gözlemler, beslenme alanında bulunan granitlerden drene olan suların BEY I noktasından sisteme girmesi ve yer köprü konumunda olan Beyyayla düdeni içinde akarsu karakterinde akmasından dolayı Beyyayla sistemini temsil etmediği düşünülmektedir. Buna ek olarak Beyyayla düdeni içinde derinliği 1 – 1.5 m arasında değişen çok sayıda göl bulunduğundan dolayı, boyanın geçiş süresini de etkilemektedir. Beyyayla sisteminde meydana gelen, ortalama yeraltısuyu hızından ve hesaplanan kanal çapından yola çıkarak Reynold Sayısının 14377 ile 19165 arasında değiştiği ve bu değerlerin türbülanslı akım koşullarını temsil ettiği belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 6.6).

İzleme deneyi süresinde ölçülen kaynak debisi ile hesaplanan yeraltısuyu hızı arasındaki ilişkiye göre, kanallarda meydana gelebilecek maksimum akım başka bir ifade ile BEY II kaynağının maksimum boşalımı 76.03 l/s olarak hesaplanmıştır. Bu boşalımın gerçekleşebileceği ortalama kanal kesit alanı ve çapı sırasıyla 0.91 m² ve 1.08 m olarak hesaplanmıştır.

6.5.2. Döşkaya sistemi izleme deneyi

İnceleme alanının batısında yer alan Döşkaya sisteminde 07.06.2003 ve 21.04.2004 tarihlerinde iki defa boya izleme deneyi yapılmıştır (Foto 6.2 ve Şekil 6.10). Bilecik kireçtaşları içerisinde gelişen ve Tozman yaylasında yer alan Tozman düdeni girişe göre yaklaşık 70 m derinliğe ve 770 m uzunluğa sahip olup mağara dar bir çatlakta sonlanmaktadır. 2003 yılında yapılan izleme deneyinde, Tozman düdeni girişindeki akarsuya 250 gr Uranin ve düden sonunda ki sifona ise Rodamin enjekte edilmiştir.

2004 yılında yapılan izleme deneyi için 2000 gr Uranin ile hazırlanan çözelti düden sonunda yer alan sifondan ani enjeksiyon yöntemi ile sisteme enjekte edilmiştir. Sistemdeki boya miktarının belirlenmesi amacı ile enjeksiyondan önce düden içinden örnek alınmıştır. İzleme deneyi gözlemleri ise düden girişinden yaklaşık 250 m aşağıda ve 2250 m uzaklıkta bulunan DOS kaynağında yapılmıştır (Bkz. Foto 6.2).



Foto 6.2: Döşkaya sistemi boya izleme deneyi öncesi ve sonrasına ait fotoğrafları

Nisan 2004 tarihinde Döşkaya sisteminde yapılan izleme deneyi sırasında, sistemin girdisini oluşturan Tozman düden girişinde (TOZ I + TOZ II) 61.3 l/s ve sistemin boşalımını oluşturan DOS kaynağında ise ortalama 64.8 l/s debi ölçülmüştür (Çizelge 6.7). Nisan 2004 tarihinde yapılan izleme deneyi süresince DOS kaynağı debisinin, yağışlara bağlı olarak 26.8 ile 106.5 l/s arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu bölüm kapsamında yapılan hesaplamalarda debi değişimi dikkate alınmıştır.

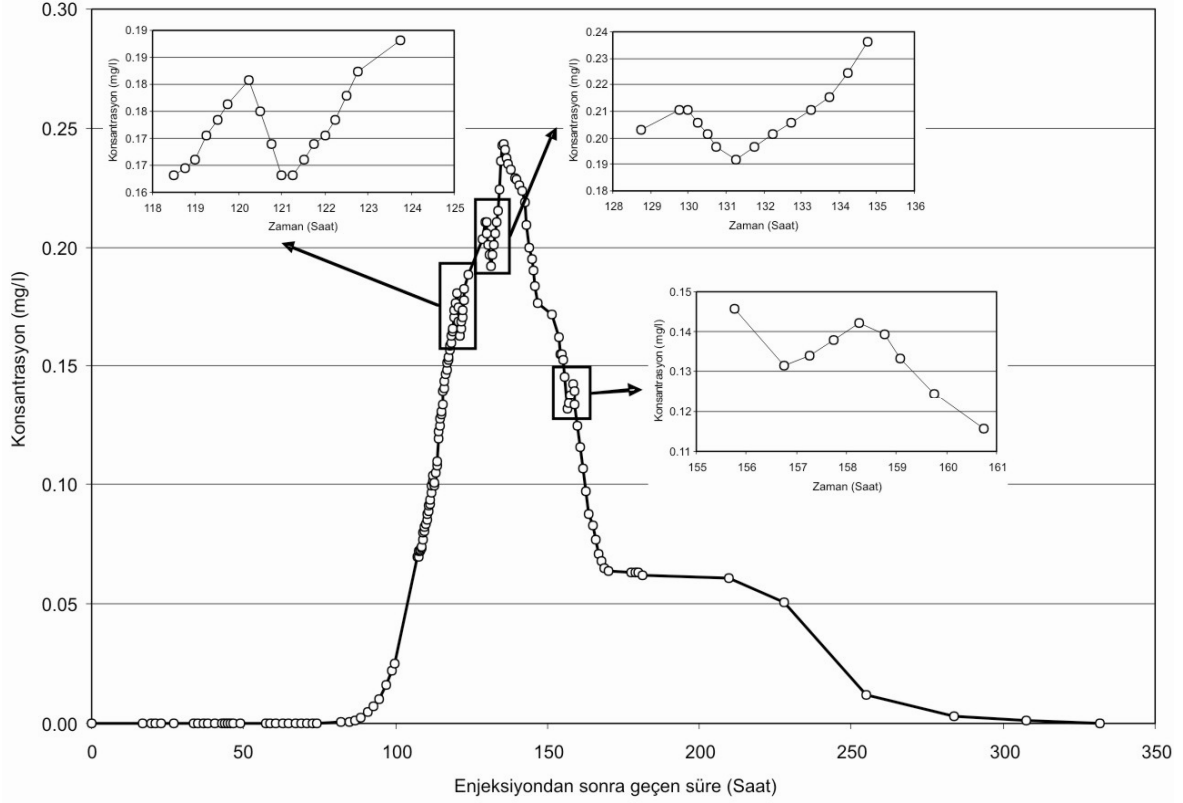
Döşkaya sisteminde, 2003 yılında yapılan izleme deneyinde, 7 – 14 Haziran tarihleri arasında maksimum 2 saatte bir, 21 Haziran ve 4 Temmuz tarihlerinde ise birer örnek olmak üzere toplam 122 örnek alınmıştır. Döşkaya kaynağında alınan örneklerin analiz sonuçlarında Uranin ve Rodamin gözlenmemiştir. Ayrıca 2003 yılı izleme deneyi süresince, Döşkaya kaynağının akış aşağısında yer alan Sarıkaya kaynağında

yapılan gözlemler sonucunda da Tozman düdeninde enjekte edilen Uranine gözlem döneminde rastlanmamıştır.

Döşkaya sisteminde Nisan 2004 tarihlerinde yenilenen boya izleme deneyi süresince maksimum saatte bir, 30 Nisan ve 5 Mayıs tarihleri arasında ise birer örnek olmak üzere toplam 165 örnek alınmıştır. Alınan örneklerin analizi sonucunda elde edilen zaman – konsantrasyon eğrisi Şekil 6.11’de verilmiştir. Döşkaya sisteminde 2004 yılında yapılan izleme deneyinde enjekte edilen boya, enjeksiyondan yaklaşık 3.4 gün sonra DOS kaynağında gözlenmiştir. Tozman düdeni sonunda enjekte edilen boyanın yaklaşık % 94.6’sı izleme deneyi örnekleme süresinde geri kazanılmıştır (Bkz. Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7: Döşkaya sistemi 2004 yılı izleme deneyi 2004 yılı izleme deneyi sonuçları

Parametre		
Gözlem noktası debileri	l/s	64.8
Enjeksiyon ve gözlem noktası arasındaki doğrusal uzaklık	m	1350
Doğrusallıktan sapma düzeltmesi = (Doğrusal Uzaklık *1.5)	m	2120
Enjekte edilen boya miktarı	gr	2000
Geri kazanılan boya miktarı	gr	1891.8
Geri kazanılan boya yüzdesi	%	94.6
Enjeksiyondan sonra izleyicinin gözlem noktasında gözlendiği zaman	saat	82.25
Enjeksiyondan itibaren gözlenen pik zamanı	saat	135.75
İzleyicinin toplam geçiş süresi	saat	167.17
Ortalama yeraltısuyu hızı	m/gün	290.7
	m/s	0.0034
Maksimum yeraltısuyu hızı	m/gün	590.9
	m/s	0.007
Dispersiyon katsayısı	m ² /s	0.084
Boyuna dispersivite	m	24.8
Peclet sayısı		81.53
Reynold sayısı		10480
Akımın meydana geldiği kanal çapı	m	3.55
Akımın meydana geldiği kanal kesit alanı	m ²	9.902
Akımın meydana geldiği kanal hacmi	m ³	20052
Akiferin yüzey alanı (×10 ⁶)	m ²	0.913



Şekil 6.11: Döşkaya sistemi boya izleme deneyi zaman – konsantrasyon eğrisi (Uranin)

Döşkaya sisteminde yapılan izleme deneyi sonuçlarına göre ortalama ve maksimum yeraltısuyu hızı sırasıyla 290.7 ve 590.9 m/gün olarak belirlenmiştir. Döşkaya sisteminde meydana gelen, ortalama yeraltısuyu hızından ve hesaplanan kanal çapından yola çıkarak Reynold Sayısının 10480 olarak hesaplanmış ve türbülanslı akım koşullarını temsil ettiği belirlenmiştir. İzleme deneyi süresinde Döşkaya sisteminde akımın gerçekleşebileceği ortalama kanal kesit alanı ve çapı sırasıyla 9.9 m² ve 3.55 m olarak hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 6.7).

6.5.3. İzleme deneyi sonuçlarının irdelenmesi

Hauns et al. (2001) tarafından arazi koşullarında (Milandre Mağarası, İsviçre) farklı ölçeklerde (10 – 1000 m) yapılan izleme deneyleri sonucunda, ortalama yeraltısuyu akım hızı ile dispersiyon ve dispersivite katsayılarının sırasıyla 0.037 – 0.1 m/s, 0.03 – 0.53 m²/s ve 0.57 – 12.99 m arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada dispersiyon katsayısının artmasına bağlı olarak tutulmanın azalacağı ve

türbülanslı akımın geçerli olacağı belirtilmektedir. Başka bir ifadeyle sistemde advectif taşınımın baskın olduğu vurgulanmaktadır. Diğer taraftan, gözenekli ortamlarda yapılan kütle taşınım çalışmalarında, advectif (advaction) ve difüzif (diffusion) taşınım arasındaki sınırın göstergesi olan Peclet sayısının, 0.4 den küçük olması durumunda difüzif, 0.4 ile 6 arasında değişmesi difüzif – advectif ve 6'dan büyük olması durumunda ise advectif taşınımı ifade etmektedir (Fetter, 1992). Field (2002) ise gözenekli olmayan birçok ortamda yapılan kütle taşınım çalışmalarında, Peclet sayısının 6'dan büyük olduğu ve karstik kanallardaki kütle taşınımına örnek olabileceğini vurgulamaktadır.

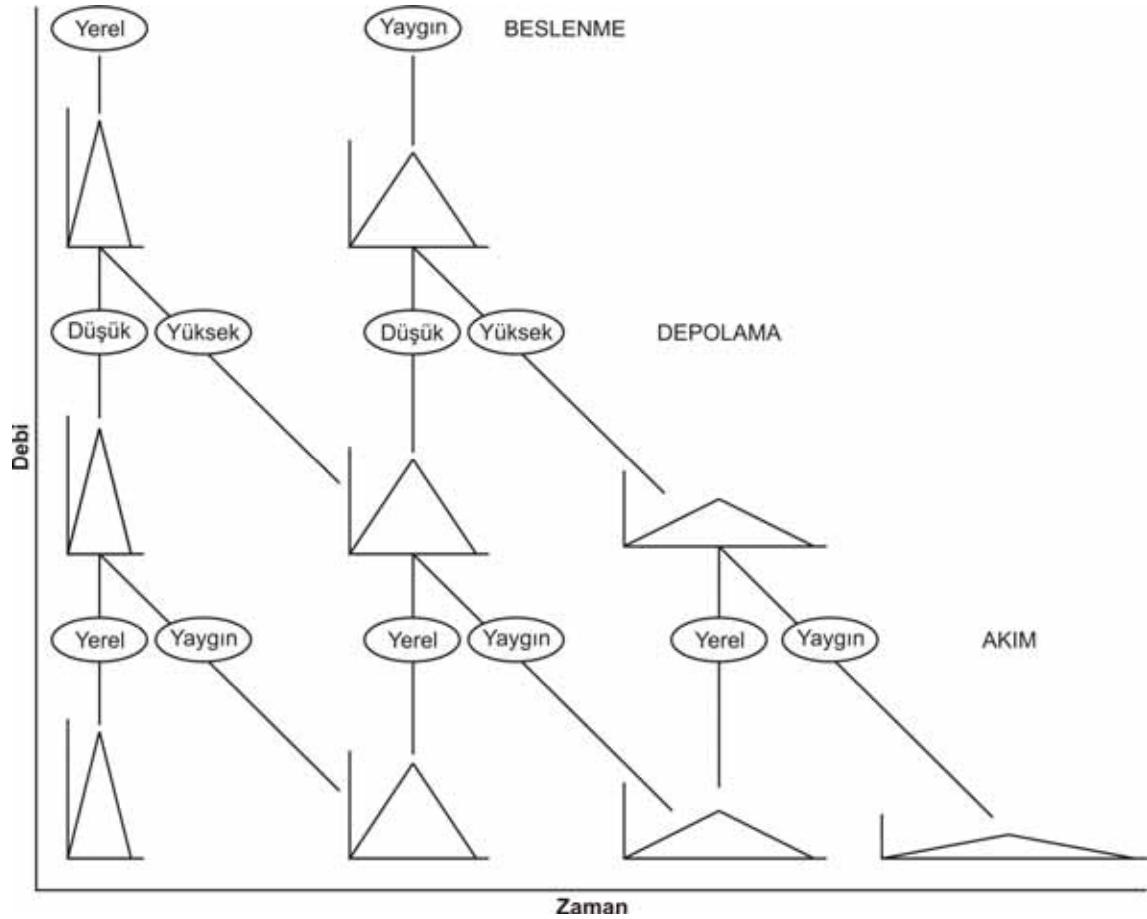
HBKS'de 2003 ve 2004 yılında yapılan izleme deneyi çalışmaları sonucunda, Beyyayla sisteminde ortalama yeraltısuyu akım hızının 0.020 ile 0.032 m/s arasında değiştiği gözlenirken Döşkaya sisteminde ise 2004 yılında yapılan izleme deneyi sonucunda ortalama yeraltısuyu akım hızı 0.003 m/s elde edilmiştir. Diğer taraftan Beyyayla sisteminde 2003 ve 2004 yılı izleme deneylerinde elde edilen dispersiyon, boyuna dispersivite ve Peclet sayısı değerleri de sırasıyla 0.46 – 0.42 m²/s, 22.18 – 13.1 m ve 29.6 – 51.6 arasında değişmektedir. Döşkaya sisteminde yapılan izleme deneyinde ise söz konusu parametreler sırasıyla 0.08 m²/s, 24.84 m ve 81.5'dir. Yukarıda yapılan değerlendirmeler, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde, advectif taşınımın, hızlı yeraltısuyu akımının ve türbülanslı akım koşullarının geçerli olduğu karstik sistemlerin davranışını göstermektedir. Buna ek olarak Beyyayla sisteminde yer akan BEY III ve Döşkaya sistemi için yapılan hesaplamalarda dispersiyon katsayılarının yaklaşık aynı (0.080 ve 0.084 m²/s), dispersivite katsayılarının ise farklı olduğu (3.4 ve 24.8 m) belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 6.6 ve 6.7). Bu durum BEY III akarsu akım sisteminde meydana gelen akım hızının, Döşkaya karstik sistemindeki yeraltısuyu akım hızına oranla çok daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır ($V_{BEYIII} >> V_{DOS}$).

6.6. Kavramsal Modele İlişkin Çalışmalar

Karst akiferlerine ait ilk kavramsal model çalışmaları, jeolojik yapının değişimleri ve bu değişimlerin yeraltısuyu akım şekline etkilerini ortaya koyan White (1969) tarafından yapılmıştır. Daha sonraları Schuster ve White (1971) geçirimsizliği de dikkate alarak

karstik akiferlerde meydana gelen yeraltısuyu akımını kanal/yerel ve yaygın akım bileşenlerine ayırmışlardır. Smart ve Hobbs (1986) ise jeolojik yapının yanı sıra beslenme kaynağı ile akiferdeki depolamayı ve akım koşullarını da dikkate alarak karst akiferleri için üç parametrelili bir kavramsal model geliştirmiştir (Şekil 6.12). White (2003) tarafından yapılan çalışmada ise karst akiferlerinin kavramsal modelinin oluşturulması için sistemde etki ve tepkinin göstergesi olan beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenlerinin jeolojik, morfolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar sonucunda ortaya konması gerektiği belirtilmektedir.

HBKS, Miyosen sonrası Sakarya nehrinin bugünkü yatağına gömülmesi sürecine bağlı olarak, bugün askıda kalmış ve dört taraftan sınırları belirgin bir karst akiferidir. Diğer taraftan tez çalışması kapsamında yapılan jeolojik kesitler ve jeofizik çalışmaları HBKS'nin kalınlığının doğudan batıya doğru arttığını göstermektedir (Bkz. Bölüm 2.4).



Şekil 6.12: Beslenme, depolama ve akım süreçlerindeki değişimlerin karst kaynaklarına ait hidrografa etkisi (Smart and Hobbs, 1986).

Tez çalışması kapsamında HBKS’de yapılan jeolojik, jeofizik, morfolojik ve hidrolojik çalışmalar ile arazi gözlemlerinin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenleri ve bu bileşenleri etkileyen faktörler açısından değerlendirilmesi sonucunda, sistemi drene eden BEY II, DOS ve NAR kaynaklarının birbirlerinden bağımsız üç farklı sistemi temsil ettikleri belirlenmiştir.

6.6.1. Beslenme

Jakucs (1959) tarafından yapılan çalışmada beslenme türünün, karst kaynaklarının boşalımlarında gözlenen değişimlerin en önemli kaynağı olduğu ve yıl içinde kaynak boşalımları arasında yüksek değişim katsayısı veya varyans noktasal beslenmeyi, düşük değişim katsayısı ise yaygın beslenmeyi gösterdiği belirtilmektedir.

White (2003)’de ise karst akiferlerinde beslenme, allojenik yerel/noktasal, otojenik yerel, otojenik yaygın ve tünek akiferlerden beslenme (recharge from perched catchments) olmak üzere en az dört gruba ayrılmaktadır. Yerel beslenim, toplam havzası karbonatlı kayaç kütlelerinde olan (otojenik) akarsuların bir düden veya dolinde sınırlanması şeklinde olabileceği gibi karbonatlı olmayan (allojenik) bir havzaya sahip akarsuyun karbonatlı kütlede sonlanması ile de olabilir. Otojenik yaygın beslenim ise kireçtaşları üzerine düşen yağış sularının kırık – çatlak sistemleri boyunca ve dolinler içinde biriken topraktan süzülme şeklinde de gerçekleşmektedir.

Tezcan (1993)’de yerel beslenimin gözlemlendiği karstik ortamlarda, karstlaşmanın alansal olarak yayılamayacağı ve bu ortamlarda yerel karstik kanalların ve mağara sistemlerinin gelişeceği belirtilmektedir. Tam tersi durumda başka bir deyişle yaygın beslenimin gözlemlendiği ortamlarda ise daha düzenli ve alansal/yaygın bir karstlaşmanın oluşacağı belirtilmektedir.

HBKS’de beslenme, allojenik yerel ve otojenik yaygın+yerel beslenim olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. BEY II ve DOS kaynaklarının beslenme alanlarında bulunan granitlerden drene olan yüzey suları, Beyyayla ve Tozman düdenlerinden sistemi allojenik noktasal olarak beslerken, kütle üzerine düşen yağış suları ise sistemi otojenik yaygın beslemektedir. Nardın sisteminde ise Beyyayla ve Döşkaya sistemlerindeki gibi allojenik noktasal beslenimi oluşturan her hangi bir kaynak

bulunmamaktadır. Bu sistem de yağışlardan itibaren otojenik yaygın beslenimin baskın olmasının yanı sıra otojenik yerel beslenimde söz konusudur.

Beyyayla ve Tozman düdenlerinden sisteme allojenik noktasal olarak giren yüzey suları ile BEY II ve DOS kaynak akımları arasında yapılan istatistiksel analiz sonucunda çok iyi bir korelasyon ($r_{\text{Bey}} = 0.99$ ve $r_{\text{Dos}} = 0.99$) katsayısı elde edilmiştir. Ayrıca yapılan analizler sonucunda BEY II ve DOS kaynak boşalımında allojenik noktasal beslenimin yanı sıra sırasıyla 1.38 ve 5.46 l/s'lik bir katkının da otojenik yaygın beslenimden geldiği belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 4.2.2).

HBKS'de yer alan alt sistemlerde meydana gelen allojenik yerel ve otojenik yaygın+yerel beslenme oranlarının belirlenmesi amacı ile sistemlere allojenik noktasal girdiyi oluşturan akarsu akımları ile sistemlerin boşalmasını gerçekleştiren kaynak akımları arasında yapılan hesaplama sonuçları Çizelge 6.8'de verilmiştir. Beyyayla sistemi boşalımının % 84.6'sını, beslenme alanında yüzeyleyen granitler üzerine düşen yağışın Beyyayla düdeni girişinde sisteme allojenik noktasal girdisi oluştururken % 15.4'ünü ise otojenik yaygın beslenme oluşturmaktadır.

Çizelge 6.8: Kaynak boşalımında gözlenen beslenme türünün etkisi

Kaynak Adı	Beslenme Türü	
	Allojenik	Otojenik
Beyyayla Kaynağı	% 84.6	% 15.4
Döşkaya Kaynağı	% 84.3	% 15.7
Nardın Kaynağı	*	% 100

Döşkaya sisteminin boşalımını ise Tozman yaylasında yüzeyleyen granitler üzerine düşen yağışın Tozman düdeninde allojenik noktasal girdisi ve kütle üzerinden otojenik yaygın beslenme oluşturmaktadır. Döşkaya sisteminde meydana gelen allojenik ve otojenik beslenme oranları sırasıyla % 84.3 ve % 15.7'dir. Nardın sisteminin boşalımını ise otojenik yaygın+yerel beslenimden gelen suları oluşturmaktadır (Bkz. Çizelge 6.8). Ayrıca, HBKS'de allojenik ve otojenik beslenme oranları sırasıyla % 65.5 ve % 35.5 olarak elde edilmiştir.

6.6.2. Dolaşım

Karst akiferlerinde yeraltısuyu akımı, kanal/yerel (conduit) ve yaygın (diffuse) dolaşım uç bileşenleri arasında değişmektedir (Schuster ve White, 1971). Yerel dolaşım, karstik kanallar boyunca gerçekleşmekte olup, yüksek yeraltısuyu hızı ve dolayısıyla türbülanslı akım koşullarını karakterize etmektedir. Yerel dolaşımın etkili olduğu sistemleri drene eden kaynak boşalımlarının maksimum ve minimum debi (Q_{max}/Q_{min}) oranı ve kimyasal yapılarındaki değişim çok yüksektir. Yaygın dolaşım ise kısmen karstlaşmış karstik kanallar, kırık – atlak sistemleri ve az da olsa birincil gözenekliliğin baskın olduğu ortamları karakterize etmektedir. Bu ortamlarda drene olan yeraltısularının yıl içindeki kimyasal yapılarındaki değişim küçük veya çok küçüktür.

HBKS'ni drene eden BEY II ve DOS kaynaklarının Q_{max}/Q_{min} oranı ve kimyasal yapılarındaki değişim NAR kaynağına oranla çok yüksektir (Bkz. Bölüm 4 ve Bölüm 6.1). Ayrıca Tozman düdeni – DOS kaynağı ve Beyyala düdeni – BEY II kaynağı arasında yapılan izleme deneyi sonucunda yüksek yeraltısuyu hızı ve türbülanslı akım koşullarını temsil eden büyük Reynold katsayısı değerleri elde edilmiştir (Bkz. Bölüm 6.5). Yukarıda yapılan değerlendirmeler sonucunda, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde yerel dolaşım baskın iken, otojenik yaygın beslenimin baskın olduğu Nardın sisteminde ise yerel dolaşım söz konusudur.

6.6.3. Depolama

Heterojen ve anizotrop bir yapıya sahip olan karst akiferleri “*kara kutu*” modeline benzetilmektedir. Bu akiferlerin heterojen ve anizotrop yapılarından dolayı, gözenekli ortamlar için geçerli olan yöntemler ile karst akiferleri hakkında bilgi elde etmek g ve maliyetlidir. Dolayısıyla karst akiferleri hakkında bilgiyi doğrudan speleolojik araştırmalardan ve dolaylı olarak da izleme deneyleri ve kaynak boşalımları ve kimyasından elde etmek mümkündür.

HBKS'ni drene eden BEY II, DOS ve NAR kaynak boşalımları ile yapılan çekilme analizleri sonucunda, her üç kaynağın çekilme dönemi süresince ait oldukları sistemi neredeyse tamamen drene ettikleri gözlenmektedir. Bu üç kaynağa ait yapılan

analizler, akım hidrografında maksimum debinin gözleendiği anda itibaren yaklaşık 45 gün içinde sistemlerinde yaklaşık % 60'nı boşalttıkları görülmektedir. Çekilme analizleri sonucunda, azalma katsayısı ve bu değerden itibaren hesaplanan akifer parametreleri (T/S), iletimliliğin büyük ve depolamanın küçük olduğu sistemleri temsil etmektedir (Bkz. Bölüm 6.3). Yukarıda yapılan değerlendirmeler sunucunda Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde iletimlilik katsayısı büyük ve depolama katsayısı küçüktür. Başka bir deyişle beslenmeden itibaren sisteme dahil olan yağış ve yüzey suları iyi gelişmiş karstik kanallar aracılığı ile sistemi terk etmektedir.

6.6.4. Boşalım

HBKS'nin doğusunda ve batısında yer alan BEY II ve DOS kaynaklarının yıl içindeki Q_{max}/Q_{min} oranları sırasıyla 70 ve 139.3'dür. Kaynak akımları arasındaki değişim katsayısı değerleri ise sırasıyla 107.4 ve 148.8'dir (Bkz. Bölüm 4 ve Bölüm 6.1). Söz konusu kaynak akımlarına ait değişim katsayısı ve Q_{max}/Q_{min} oranının yüksek olması, her iki kaynağın beslenme alanlarında bulunan granitlerden drene olan suların, sistemlere allojenik noktasal girmesinden kaynaklanmaktadır (Bkz. Bölüm 5.1.1). Dolayısı ile bu durum BEY II ve DOS kaynaklarının küçük depolamalı dip savak akımlı (gaining or low – stage underflow) kaynaklar olduğunu göstermektedir.

HBKS'nin boşalımını gerçekleştiren diğer bir kaynak ise inceleme alanının orta kesiminde yer alan NAR kaynağıdır. NAR kaynağının Q_{max}/Q_{min} oranı ∞ ve yıl içindeki kaynak akımları arasındaki değişim katsayısı değeri 74.8'dir (Bkz. Bölüm 4 ve Bölüm 6.1). NAR kaynağı boşalımlarında gözlenen değişim katsayısı değerinin, BEY II ve DOS kaynakları ait değişim katsayısı değerlerine oranla küçük çıkması, bu kaynağın otojenik yaygın+yerel beslenimden etkilendiğini göstermektedir. NAR kaynağı, mevsimsel dolu savak akımlı (overflow) kaynak özelliğindedir.

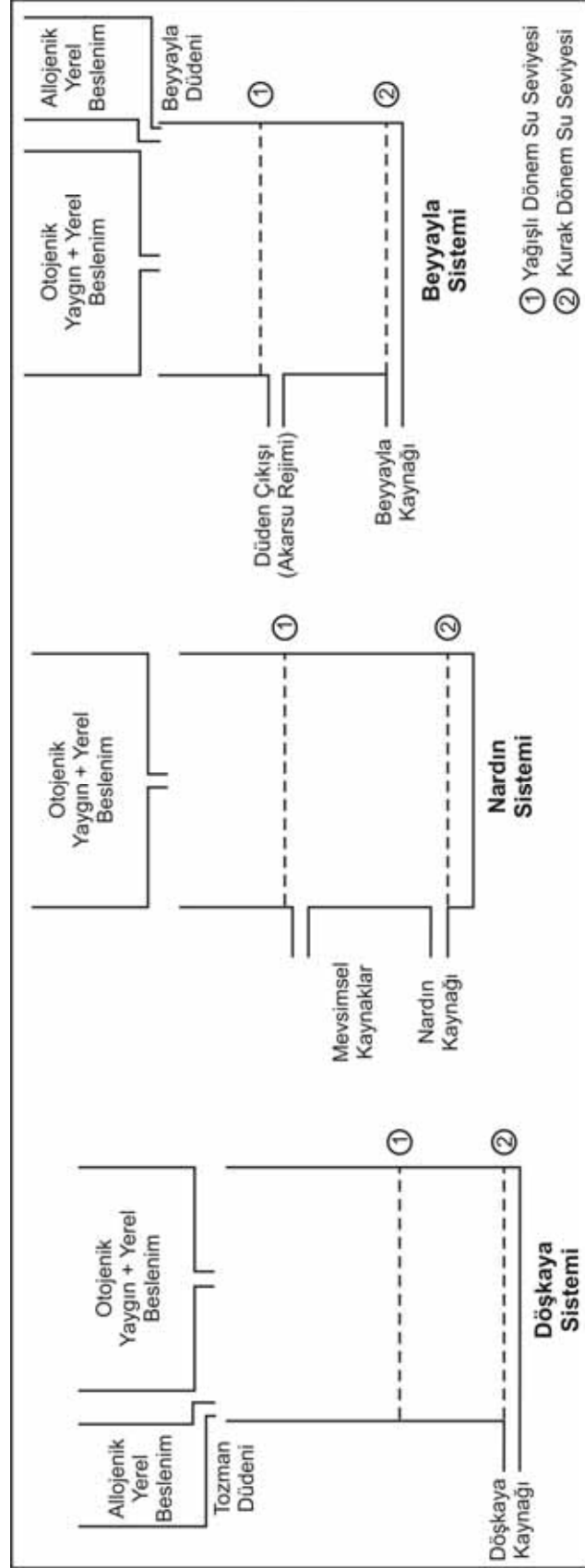
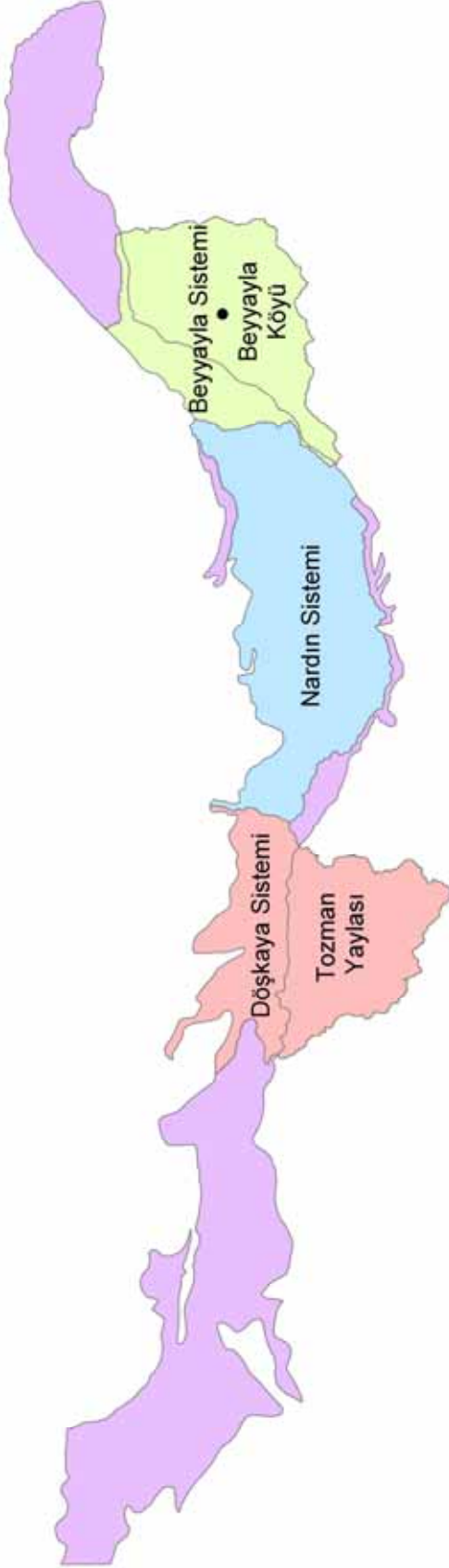
6.6.5. HBKS'nin kavramsal modeli

HBKS'de tez çalışması kapsamında elde edilen verilerin bir bütünlük içinde değerlendirilmesi sonucunda birbirlerinden bağımsız üç farklı sistem belirlenmiştir (Şekil 6.13).

Bunlardan birincisi, inceleme alanının doğusunda yer alan Beyyala Sistemi olup, bu sistemin girdisini inceleme alanına düşen yağışlar ve granitlerden drene olan sular oluşturmaktadır. Sistemin boşalımı, yeraltısuyu seviyesinin yüksek olduğu dönemlerde düden çıkışından ve BEY II kaynağında gerçekleşirken, yeraltısuyu seviyesinin düşük olduğu ve allojenik beslenimin olmadığı dönemlerde ise düden çıkışında yer alan kaynaktan (BEY II) meydana gelmektedir. Bu sistem ile diğer iki sistem arasında her hangi bir ilişki belirlenmemiştir. Beyyala sistemi, allojenik yerel beslenimin baskın olduğu yerel dolaşımlı bir yapı göstermektedir.

İkinci sistem ise inceleme alanının orta kesiminde yer alan Nardın sistemidir. Nardın sisteminde beslenme, yağışlardan itibaren kireçtaşları üzerine düşen yağışların kırık – çatlaklardan süzülmesi ve dolinlerde biriken suların düdenler aracılığı sisteme dahil olmasından oluşmaktadır (otojenik yerel + yaygın beslenme). Bu sistemin boşalımını NAR kaynağı ile mevsimsel özellik gösteren KUT ve SOG Pınarlar gerçekleştirmektedir. Nardın sistemi, otojenik yaygın beslenimin baskın olduğu yerel dolaşımlı bir yapı ortaya koymaktadır.

Üçüncü sistem ise inceleme alanının batısında yer alan Döşkaya sistemidir. Döşkaya sisteminde beslenme, Tozman yaylasından yer alan granitlerden drene olan yüzey suları ile inceleme alanı üzerine düşen yağışlar oluşturmaktadır (allojenik yerel ve otojenik yaygın beslenme). Sistemin boşalımı ise, DOS kaynağı aracılığı ile gerçekleşmektedir. Döşkaya sistemi, allojenik noktasal beslenimin baskın olduğu yerel dolaşımlı bir yapı sergilemektedir.



Şekil 6.13: HBKS'nin kavramsal modeli (Ölçeksiz)

7. MORFOLOJİ – HİDROJEOLOJİ İLİŞKİLERİ

Gözenekli ve kırıklı – çatlaklı ortamlara oranla farklı bir yüzey morfolojisine sahip karstik sistemlerde, beslenme rejimi ve beslenme rejimine bağlı olarak dolaşım, depolama ve boşalım parametreleri üzerinde yüzey morfolojisinin etkisi çeşitli çalışmalarda belirtilmektedir (Shuster and White, 1971; Atkinson, 1977; Gunn, 1983; Smart and Hobbs, 1986; Scanlon and Thrailkill, 1987; Field, 1993; White, 1999; Worthington et al., 2002; Vesper and White, 2003). Karstik ortamlarda yüzey morfolojisini oluşturan düden, dolin, polye, vb... çöküntü yapılarının varlığı, yoğunluğu ve alansal dağılımı, karst yeraltısuyu sistemi beslenme rejimini denetlemektedir.

Karstik ortamlarda, yüzey morfolojisinin denetiminde meydana gelen beslenme rejimi, yerel (noktasal) ve yaygın olmak üzere iki uç bileşen arasında değişmektedir (White, 1988; Ford and Williams, 1989). Noktasal beslenme, toplam havzası karbonatlı kayaç kütlelerinde olan akarsuların bir düden veya dolinde sınırlandırılması şeklinde olabileceği gibi karbonatlı olmayan bir havzaya sahip akarsuyun karbonatlı kütlede sonlanması ile de olabilir. Gerek miktar gerekse kalite açısından sisteme giren suyun nitelikleri üzerinde etkisi bulunan birinci durum “allojenik” ikinci durum ise “otojenik” beslenme olarak adlandırılmaktadır.

Yapılan birçok çalışma, beslenme türünün sistem içindeki dolaşım ve depolama üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu durum, sistemde meydana gelen her hangi bir etkiye karşı tepkinin göstergesi olan kaynak boşalımlarından itibaren elde edilen hidrograf ve kemograf analizlerinde gözlenmektedir. Karst sistemlerinin iletimlilik ve depolama özelliklerinin yanı sıra beslenme türünün de, sistemin boşalmasını gerçekleştiren kaynak sularının kimyasal yapısındaki değişimler üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır (Atkinson, 1977; Scanlon and Thrailkill, 1987; Worthington et al., 2002). Karstik ortamlar için yapılan birçok kavramsal model, kaynak sularının kimyasal yapısında gözlenen yüksek değişimin yerel/noktasal beslenimden kaynaklandığını ve bu tür sistemlerde iletimliliğin yüksek ve depolamanın küçük olduğunu göstermektedir (Shuster and White, 1971; Gunn, 1983; Smart and Hobbs, 1986; Field, 1993; White, 1999; Vesper and White, 2003). Vesper and White (2003)’de kaynak sularının, kalite ve miktarının değerlendirilmesinde, yerel ve yaygın uç bileşenler arasında değişen beslenme

türünün ortaya konması gerektiği belirtilmektedir. Diğer taraftan, kaynak hidrorafları karstik sistemde beslenme rejimi tarafından kontrol edilen dolaşımı ve depolama parametreleri hakkında önemli bilgi sağlamaktadır.

Beyyayla, Döşkaya ve Nardın alt sistemlerinin yer aldığı HBKS’de yüzey morfolojisinin, her bir sistemde beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım parametrelerinden oluşan hidrodinamik yapı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile istatistik analizler yapılmıştır. Söz konusu istatistiksel analizler, HBKS’de yer alan alt sistemlerin bir birleri ile benzerliklerinin veya farklılıklarının belirlenmesini kapsamaktadır. Bu kapsam doğrultusunda, HBKS’de karst morfometrisine ait yapıların, çöküntü yoğunluğu (D_D), çöküntü sayısı (N_D), uzun/kısa eksen oranı (L/W), karstlaşmış alan dağılımı (D_{KA}), eşdeğer çöküntü alanı (A_E), eşdeğer çöküntü yarıçapı (R_E) ile çukurlaşma (P_I) ve dairesellik indislerinin (I_C) varyans analizleri (ANOVA), SPSS bilgisayar programı ile yapılmıştır. Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin yüzey alanlarının bir birlerinden farklı olmasından dolayı (Bkz. Bölüm 4) analizlerde kullanılan D_D , N_D , D_{KA} , P_I ve I_C parametreler alandan bağımsız hale getirilmiştir (Bkz. Bölüm 3). Elde edilen D_D , N_D , L/W , D_{KA} , P_I ve I_C parametreleri, Beyyayla – Döşkaya, Beyyayla – Nardın ve Nardın – Döşkaya sistemleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları ise % 5 serbestlik derecesi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Serbestlik derecesinin % 5’de küçük olması durumunda, sistemler arasındaki farkın önemli, büyük olması durumunda ise farkın önemsiz olduğu kabul edilmiştir.

7.1. HBKS’de Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri

HBKS’de morfolojik parametreler dikkate alınarak yapılan istatistiksel analizler soncunda, Beyyayla ve Döşkaya sistemleri arasında yüzey morfolojisi açısından önemli bir fark bulunmazken, Nardın sistemi ile bu iki sistem arasında yapılan analizler ise belirgin bir fark olduğunu göstermektedir (Çizelge 7.1). Bu farklılık özellikle, uzun/kısa eksen oranı (L/W) ile birim alandaki karstlaşmış alan dağılımı (D_{KA}), eşdeğer çöküntü alanı (A_E), eşdeğer çöküntü yarıçapı (R_E), çukurlaşma indisi (P_I) ve dairesellik indisi (I_C) arasında görülmektedir. Söz konusu farklılık, Bölüm 3.4’de yapılan karst morfometrisi analizlerinde de belirgin bir şekilde gözlenmiştir.

Çizelge 7.1. HBKS morfolojik parametrelerine ait istatistik analiz sonuçları (ANOVA)

Parametre		Beyyayla – Döşkaya					Beyyayla - Nardın					Döşkaya - Nardın				
		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F	Önem
Çöküntü yoğunluğu (D_b)	Gruplar arası	3.715	1	3.715	0.038	0.845	151.462	1	151.462	1.098	0.296	187.494	1	187.494	1.534	0.217
	Grup içi	10239.307	106	96.597			37525.658	272	137.962			37901.114	310	122.262		
	Toplam	10243.023	107				37677.120	273				38088.608	311			
Çöküntü sayısı (N_b)	Gruplar arası	0.488	1	0.488	1.768	0.186	1.781	1	1.781	3.773	0.053	0.535	1	0.535	1.173	0.279
	Grup içi	29.235	106	0.276			128.363	272	0.472			141.234	310	0.456		
	Toplam	29.723	107				130.144	273				141.770	311			
Çukurlaşma İndisi (P_i)	Gruplar arası	18.996	1	18.996	0.058	0.809	2159.232	1	2159.232	15.653	0.000	3157.109	1	3157.109	21.893	0.000
	Grup içi	34428.767	106	324.800			37520.917	272	137.945			44704.021	310	144.207		
	Toplam	34447.763	107				39680.149	273				47861.131	311			
Dairesellik İndisi (I_c)	Gruplar arası	32.714	1	32.714	0.378	0.540	1200.761	1	1200.761	7.173	0.008	3101.542	1	3101.542	20.675	0.000
	Grup içi	9163.195	106	86.445			45533.414	272	167.402			46504.204	310	150.014		
	Toplam	9195.909	107				46734.176	273				49605.746	311			
Uzun/kısa eksen oranı (L/W)	Gruplar arası	6.250	1	6.250	10.870	0.001	1.132	1	1.132	1.046	0.308	11.144	1	11.144	13.095	0.000
	Grup içi	47.751	83	0.575			209.860	194	1.082			217.122	255	0.851		
	Toplam	54.001	84				210.922	195				228.266	256			
Karstlaşmış alan dağılımı (D_{KA})	Gruplar arası	0.008	1	0.008	2.774	0.099	0.522	1	0.522	9.160	0.003	2.003	1	2.003	40.060	0.000
	Grup içi	3.096	106	0.003			15.501	272	0.057			15.505	310	0.050		
	Toplam	3.177	107				16.022	273				17.507	311			
Eşdeğer çöküntü alanı (A_E)	Gruplar arası	3.00E+07	1	3.00E+07	1.349	0.248	5.10E+08	1	5.10E+08	4.480	0.035	1.52E+09	1	1.52E+09	15.176	0.000
	Grup içi	2.36E+09	106	2.23E+07			3.10E+10	272	1.14E+08			3.11E+10	310	1.00E+08		
	Toplam	2.39E+09	107				3.15E+10	273				3.26E+10	311			
Eşdeğer çöküntü yarıçapı (R_E)	Gruplar arası	133.318	1	133.318	0.386	0.536	4797.974	1	4797.974	7.167	0.008	12431.854	1	12431.854	20.721	0.000
	Grup içi	36652.534	106	345.779			182098.877	272	669.481			185991.540	310	599.973		
	Toplam	36785.852	107				186896.851	273				198423.395	311			

HBKS'de yer alan alt sistemlerin hidrojeolojik özellikleri Çizelge 7.2'de verilmiştir. Dolayısıyla, HBKS'de yer alan alt sistemlerin yüzey morfolojilerinde gözlenen farklılık, bu sistemlerin beslenme rejimlerinin de farklı olmasına neden olmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmaları süresince, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin drenaj alanlarında yüzeyleyen granitlerden drene olan yüzeysuları, Beyyayla ve Tozman düdenleri aracılığı ile bu sistemleri allojenik noktasal olarak beslendiği gözlenmiştir. Buna ek olarak, yapılan hidrolojik değerlendirmeler, Beyyayla ve Döşkaya sistemleri boşalımlarının yaklaşık % 85'inin allojenik/noktasal beslenimden, geri kalan % 15'inin ise otojenik/yaygın beslenimden kaynaklandığı belirlenmiştir (Bkz. Bölüm 4.3 ve 5.1).

Benzer şekilde, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalımının sağlayan BEY II ve DOS kaynak sularının kimyasal yapısının zaman içinde değişken ve noktasal beslenimden etkilenmesi, CV'nın yüksek olmasını sağlamaktadır (Bkz. Bölüm 5). Bunun yanı sıra noktasal beslenim sonucunda, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde yeraltısuyu akımı yerel dolaşım ile gerçekleşmektedir. Yapılan boy izleme deneylerinin değerlendirilmesi sonucunda ise Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde türbülanslı akım koşullarının geçerli olduğunu belirlenmiştir. Başka bir ifade ile bu sistemlerde yer alan karstik kanallarda meydana gelen yeraltısuyu akımının hızlı olduğunu göstermektedir (Bkz. Bölüm 6.5).

Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalımını sağlayan BEY II ve DOS kaynaklarının 2003 ve 2004 yılı kaynak akımları ile oluşturulan kaynak çekilme analizlerinde, bu iki sistemin depolama kapasitesinin Nardın sistemine oranla küçük olduğu hesaplanmıştır (Bkz. Bölüm 6.3).

Çizelge 7.2. HBKS'de yer alan alt sistemlerin hidrojeolojik özellikleri

Alt Sistem	Beslenme				Depolama				Dolaşım	
	Allojenik		Otojenik		Düşük	Yüksek	Freatik	Vadoz Zon	Yerel	Yaygın
	Yerel	Yaygın	Yerel	Yaygın						
Beyyayla	⊗⊗	—	⊗	⊗	⊗	—	⊗	—	⊗	—
Döşkaya	⊗⊗	—	⊗	⊗	⊗	—	⊗	—	⊗	—
Nardın	—	—	⊗	⊗⊗	⊗	—	—	⊗	⊗	—

⊗: Var; ⊗⊗: Baskın özellik; —: Yok

Bu durum depolamada bulunan yeraltısularının büyük bir kısmının karstik kanallarda bulunduğunu ve yağışların kesilmesinden itibaren de çok kısa bir sürede kaynaklardan boşaldığını göstermektedir. Diğer taraftan yapılan istatistiksel analizler Nardın sisteminin, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinden farklı bir morfolojik yapıya sahip olduğunu göstermektedir (Bkz. Çizelge 7.1). Nardın sisteminin diğer sistemlere oranla yüzey morfolojisinde gözlenen farklılık, bu sistemin hidrolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine oranla farklı olmasını gerektirmektedir. Çalışmalar kapsamında, Nardın sisteminde noktasal girdiyi oluşturacak her hangi bir kaynak gözlenmemiştir. Bunun yanı sıra, hidrojeokimyasal çalışmalar, Nardın sisteminin boşalımını sağlayan NAR kaynağının yıl içindeki kimyasal yapısındaki değişimin, BEY II ve DOS kaynaklarına oranla daha düşük olduğunu göstermiştir (Bkz. Bölüm 5). Nardın sistemindeki yeraltısularının kimyasal yapısındaki değişimin küçük olması, bu sistemin beslenme rejiminde baskın olan otojenik yaygın beslenime ek olarak otojenik yerel beslenimin katkısından kaynaklanmaktadır.

Kireçtaşları üzerinde bulunan kırık – çatlakların ve fayların kesişme noktalarından itibaren oluşmaya başlayan çöküntü yapılarının, yeraltındaki karstik kanalların ve mağara sistemlerinin üzerinde yer aldığı Milanovic (1981) ve Worthington (1999)'da belirtilmektedir. Başka bir ifadeyle düden gibi çöküntü yapıları karstik kanalların membasını oluşturduğu düşünülecek olursa, düdenlerden itibaren sistemin boşalım noktası olan kaynak/kaynaklar arasında bir dizi karstik kanal/kanallar oluşacağı belirtilmektedir. Söz konusu karstik kanal/kanalların sistem içindeki dağılımı, yüzeyde gelişen morfolojik yapıların dağılımı ile orantılı olacaktır. Dolayısıyla HBKS'de yer alan çöküntü yapılarının bu yaklaşım ile değerlendirilmesi sonucunda, Beyyala ve Döşkaya sistemlerine oranla Nardın sisteminde daha fazla çöküntü yapısı bulunması, bu sistemde akarsu drenaj ağlarında gözlenen dendritik yapıya benzer karstik kanalların olabileceğini göstermektedir (Bkz. Şekil 3.3 ve 3.5). Bu durum, Nardın sisteminde yağışlardan itibaren, otojenik yaygın + yerel beslenme ile sisteme giren yüzeysularının sistem içinde yerel dolaşım ile hareket etmesini gerektirmektedir. Buna ek olarak, Nardın kaynağının 2003 ve 2004 yılları kaynak akımları ile yapılan kaynak çekilme analizlerinde, Nardın sisteminin kaynak gerisindeki depolama kapasitesinin, Beyyala ve Döşkaya sistemlerinin depolama kapasitesinden büyük olduğu

hesaplanmıştır. Ayrıca her iki çekilme döneminde de Nardın sistemi diğer sistemlere oranla büyük çekilme katsayısı ile temsil edilmiştir (Bkz. Çizelge 6.4). NAR kaynağının, iletimlilik katsayısı yüksek ve depolama katsayısının düşük olduğu iyi gelişmiş karstik kanallarda depolanan yeraltısularını drene ettiğini göstermektedir.

HBKS'de alt sistemler şeklinde davranan Beyyala, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin yüzey morfolojilerinin hidrojeolojik açıdan değerlendirilmesini içeren bu bölüm kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda:

- ✓ HBKS'de yer alan Beyyala ve Döşkaya sistemlerinin yüzey morfolojileri benzerlik gösterirken, inceleme alanının orta kesiminde bulunan Nardın sisteminin ise bu iki sistemden farklı bir yüzey morfolojisine sahip olduğu,
- ✓ Sistemlerin yüzey morfolojileri dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde, Beyyala ve Döşkaya sistemlerinin boşalımlarında allojenik yerel, Nardın sisteminin boşalımlarında ise otojenik yaygın beslenimin baskın olduğu,
- ✓ Sistemlerin morfolojik yapısı ile beslenme rejimi, kaynak boşalımları ve kaynak sularının kimyasal yapılarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda ise Beyyala, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde yeraltısuyu dolaşımının yerel olduğu,

belirlenmiştir.

7.2. HBKS'de Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkilerinin Karstlaşma Açısından İrdelenmesi

HBKS'de Nisan 2003 – Kasım 2004 tarihleri arasında yapılan arazi çalışmaları ve arazi çalışmaları sonucunda elde edilen verilerin analiz ve değerlendirme aşamaları sonucunda Beyyala, Döşkaya ve Nardın olmak üzere üç farklı alt sistem belirlenmiştir. Söz konusu üç sistemin, morfoloji, hidroloji ve hidrojeokimyasal açıdan bir birlerinden farklı oldukları görülmüştür. Sunulan çalışmaya konu olan, yaklaşık 49.5 km²'lik bir yüzey alanına sahip Jura yaşlı Bilecik kireçtaşlarından oluşan ve benzer tektonik rejim ve iklimsel süreçlerin etkisinde kalan HBKS'de üç farklı alt sistemin gelişmesinin olası nedenleri aşağıda irdelenmiştir.

HBKS'nin, doğusunda ve batısında yer alan sırasıyla Beyyayla ve Döşkaya sistemleri morfolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik açıdan benzerlik gösterirken bu iki sistem arasında yer alan Nardın sistemi ise farklılık göstermektedir. Oligosen'den itibaren karasal duruma geçerek aşınma süreçlerinin başladığı Bilecik kireçtaşları, başlangıçta tek bir sistem şeklinde davranırken, bu dönemde tektonizman, karbonat kayacının litolojisi, kalınlığı ve iklimsel süreçlerin yanı sıra enerji gradyanındaki değişim/değişimler bölgedeki karstlaşmayı denetlemiştir. Bununla birlikte, karstlaşma üzerinde etken olan tektonik rejim, karbonat kayacının litolojisi, kalınlığı ve iklimsel süreçler gibi faktörlerin yerel ölçekte, bugün HBKS'de gözlenen farklılığı oluşturacak kadar değişken olacağı mümkün görülmemektedir. Dolayısıyla, HBKS'de üç farklı sistem oluşmasında enerji gradyanındaki değişimler, diğer süreçlere oranla büyük rol oynamaktadır.

Kuvaterner'de Sakarya Nehri'nin yatağına gömülmesi, bölgedeki enerji gradyanı artışının kaynağını oluşturmuştur. Orta Sakarya Havzasında ana drenaj elemanı olan Sakarya Nehri'nin gömülmesi enerji gradyanının karstlaşma üzerindeki etkisini arttırmış ve başlangıçta tek bir sistem olan Bilecik Kireçtaşlarının parçalanmasına ve hidrolojik olarak aralarındaki ilişkinin kesilmesine neden olmuştur. Bugün, Orta Sakarya Havzasında "*parçalanmış platform karst*"ın son dönemlerini karakterize eden "*kalıntı karst*"ın bloklarından biri de HBKS'dir. Bölge genelinde enerji gradyanında meydana gelen değişim süreci, HBKS'ni oluşturan Jura yaşlı kireçtaşlarının parçalanıp kopmasına ve Beyyayla ile Döşkaya sistemlerinin drenaj alanında bulunan granitlerin açığa çıkmasına neden olmuştur. Aynı oranda enerji gradyanının etkisinde kalan Nardın sisteminin tabanında yer alan Paleozoyik yaşlı granitlerin, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerindeki gibi açığa çıkmaması, bu bölgede kireçtaşlarının palatopoğrafik çukurluklara çökmesinden kaynaklanmaktadır.

Sakarya Nehri'nin yatağına gömülmesinden önce, aynı oranda karstlaşmanın bulunduğu HBKS'de üç farklı sistemin oluşması, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin drenaj alanlarında bulunan granitlerin yüzeylenmesinden başka bir ifadeyle, bu sistemlerin allojenik noktasal/yerel beslenimin etkisi altına girmesinden itibaren başlamıştır. Bu noktadan sonra enerji gradyanındaki değişim, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde karstlaşmanın alansal olarak yayılımını engellerken düşey yönde gelişmesine neden olmuştur. Bu durum Beyyayla ve Tozman düdenleri içinde belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Beyyayla ve Tozman düdenlerinin

ortalama genişliği 2 m'yi geçmez iken tavan yüksekliklerinin ise ortalama 25 m'nin üzerinde olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan bu sistemlerde, otojenik yerel+yaygın beslenimden gelen yağış sular ile allojenik yerel beslenimden gelen yüzey suları, kırık – çatlaklar ve sınırlı sayıda gelişen düdenler boyunca hızlı bir şekilde, Beyyayla ve Tozman düdenlerini oluşturan ana kanallara ulaşmakta ve kaynaklardan sistemi terk etmektedir. Yüksek enerji gradyanı ve buna bağlı sistem içindeki hızlı yeraltısuyu hareketi, su – kayaç etkileşim süresinin kısalması ve mekanik aşındırmanın baskın olmasına neden olmuştur. Buna ek olarak BEY II ve DOS kaynaklarının boşalım noktalarında, bu kaynakların beslenme alanında yüzeylenen granitlerin bozunması sonucu oluşan granitik kumların bulunması, bu sistemlerde yeraltısuyu hareketinin hızlı ve yerel dolaşım ile gerçekleşmesinin göstergesidir.

Nardın sisteminde ise tektonizma, karbonatlı kayacın litolojisi, kalınlığı, iklimsel süreçler ve enerji gradyanının nispeten ortak etkisi sonucunda karstlaşma gelişmiştir. Bunun yanı sıra, Nardın sisteminin drenaj alanında allojenik yerel beslenimi oluşturacak herhangi bir kaynağın bulunmaması, bu sistemin Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinden farklı olmasına neden olmuştur. Diğer taraftan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine oranla, Nardın sisteminde su – kayaç etkileşim süresinin uzun oluşu ve otojenik yerel+yaygın beslenme sonucunda karstlaşma hem alansal hem de düşey yönde yaklaşık aynı oranda gelişmiştir.

Sonuç olarak, HBKS'ni oluşturan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde tektonizma, karbonatlı kayacın litolojisi ve iklimsel süreçlere oranla daha etkin olan enerji gradyanı bu sistemlerin drenaj alanında allojenik noktasal beslenimi oluşturan granitlerin yüzeylenmesine neden olmuştur. Başlangıçta Nardın sistemi ile aynı oranda karstlaşma derecesine sahip olan bu sistemlerin, bugün farklı morfolojik, hidrolojik ve hidrodinamik özelliklere göstermeler söz konusu etkenlerden kaynaklanmaktadır. Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine oranla daha derin paleotopoğrafik çukurluklarda bulunan Nardın sisteminde gözlenen karstlaşma ise bu sistemin drenaj alanında allojenik yerel beslenimi oluşturan herhangi bir kaynağın bulunmamasından kaynaklanmaktadır.

8. SONUÇLAR

“Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sistemi’nin Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi” başlıklı tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Harmanköy – Beyyayla Karst Sistemi (HBKS), Bilecik ve Eskişehir illeri idari sınırları içinde yaklaşık 49.5 km²’lik bir alana sahiptir. Orta Sakarya Havzasında topoğrafik olarak en yüksek kotları oluşturan HBKS, doğuda Çatak Deresi, batıda Harmanköy Boğazı, kuzey ve güneyde ise sırasıyla Yenipazar Deresi ve Sakarya Nehrine bağlı gelişen yüksek uçurumlar ile sınırlanmaktadır. HBKS, doğu – batı yönünde yaklaşık 22 km ve kuzey – güney yönünde ise yaklaşık 2,5 km uzanımına sahiptir.

HBKS, ileri derecede karstlaşmış, Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bilecik kireçtaşlarının tabanında ise inceleme alanının doğusunda ve batısında Paleozoyik yaşlı Sarıcakaya Granitoyidi, orta kesiminde ise kumtaşları ile temsil edilen Jura yaşlı Bayırköy Formasyonu yer almaktadır. Yapılan jeofizik çalışmaları, HBKS’deki Bilecik Kireçtaşlarının kalınlığının 100 – 150 m arasında değiştiğini ve sistemin kalınlığının doğudan batıya doğru arttığını göstermiştir.

Tez çalışması kapsamında HBKS’de yapılan jeolojik, jeofizik, morfolojik, hidrolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar ile arazi gözlemlerinin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenleri ve bu bileşenleri etkileyen faktörler açısından değerlendirilmesi sonucunda, HBKS’ni boşaltan BEY II, DOS ve NAR kaynaklarının üç farklı alt sistemi temsil ettikleri belirlenmiştir. Bu sistemler inceleme alanının doğusundan batısına doğru sırasıyla Beyyayla, Nardın ve Döşkaya olarak adlandırılmıştır. Söz konusu sistemlerin drenaj alanlarında yüzeylenen kireçtaşı alanları sırasıyla 2.8, 5.3 ve 20 km²’dir. Ayrıca, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin drenaj alanlarında yaklaşık 8.3 ve 7.2 km²’lik alanlarda yüzeylenen granitlerden drene olan yüzey sularının, bu sistemleri allojenik yerel olarak beslediği, Nardın sisteminde ise allojenik beslenimi oluşturacak herhangi bir kaynağın bulunmadığı belirlenmiştir.

HBKS, Ekmekçi (2003)’de yapılan sınıflamaya göre “Orta Anadolu Bölgesi – Evrimsel Karstı” içine girmekte olup parçalanmış – kalıntı karst tipini temsil

etmektedir. Günümüzde, Üst Miyosen aşınma düzeylerini oluşturan HBKS'de, 88 kapalı ve 269 kapılmış (yüzey drenaja açılmış) olmak üzere toplam 357 adet dolin belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, HBKS'de bulunan kapalı çöküntü yapılarının eş boyutlu dairesel çöküntüler, kapılmış çöküntü yapılarının ise ovalleşen çöküntüler olduğu belirlenmiştir. Kapılmış çöküntü yapılarının baskın olarak K22B doğrultusuna sahip olduğu, kapalı çöküntü yapılarının K13B ve K75B doğrultularına sahip oldukları gözlenmiştir.

İnceleme alanında yüzeyleyen kireçtaşlarında ölçülen kırık – çatlak düzlemleri ile çöküntü yapılarının doğrultuları arasında benzer bir ilişki belirlenmiş ve çöküntü yapılarının söz konusu doğrultular boyunca geliştiği gözlenmiştir. HBKS'nin boşalmasını gerçekleştiren kaynakların kütlenin kuzeyinde yer alması, sistem içindeki yeraltı drenajının da güneyden kuzeye doğru gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer taraftan inceleme alanı geneli ile Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemleri için hesaplanan çöküntü yoğunluğu sırasıyla 7.24, 4.64, 7.93 ve 10.75 7.24 1/km² olarak hesaplanmıştır. Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine oranla Nardın sisteminin hem çöküntü sayısı hem de alansal dağılım açısından daha fazla çöküntü yapısı içerdiği belirlenmiştir.

HBKS'ni oluşturan Jura yaşlı Bilecik Kireçtaşları üzerinde, Miyosen'den günümüze kadar hüküm süren tektonizma ve iklimsel etkiler sonucunda değişen enerji gradyanı ile birlikte kayacın kimyasal yapısı, kalınlığı ve karstlaşma tabanına bağlı olarak gelişen düden niteliğinde 5 adet mağara belirlenmiştir. Bunlar inceleme alanının doğusundan batısına doğru sırasıyla, Beyyayla Düdeni, Sarıkız Subatanı, Güvercini Düdeni, Afarın Düdeni ve Tozman Düdeni'dir. Bunların yanı sıra HBKS'nin güney ve özellikle kuzey kenarı boyunca çok sayıda askıda kalmış paleokaynak çıkışı ve karstik kanallar bulunmaktadır.

HBKS'de beslenmeyi oluşturan yağış girdisi Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin drenaj alanlarına kurulan yağış gözlem istasyonlarında Mayıs 2003 – Eylül 2004 zaman aralığında aylık toplam yağış şeklinde ölçülmüştür. Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemleri ile inceleme alanı geneline gözlem süresince düşen yağış miktarı sırasıyla 597.2, 497.9, 767.9 ve 621.0 mm'dir. İnceleme alanı ve yakın dolayında meydana gelen gerçek buharlaşma – terleme (ET_g) kayıpları, Turc eşitliği, yağış ve sığ dolaşımli kaynak sularının Cl⁻ derişimleri ve Döşkaya ve

Beyyayla sistemlerinin drenaj alanlarında yüzeyleyen granitlerin üzerine düşen yağış miktarı ile granitlerin mansabında ölçülen akım değerleri arasında kalan farktan itibaren hesaplanmıştır. Üç yöntem ile hesaplanan ET_g değerleri sırasıyla 497, 474 ve 428.5 mm olarak hesaplanmış olup üçüncü yöntem ile hesaplanan ET_g 'nin inceleme alanı ve yakın dolayını temsil ettiği kabul edilmiştir. Diğer taraftan Beyyayla (BEY II), Nardın (NAR) ve Döşkaya (DOS) kaynakları ortalama 59.7, 161.0 ve 56.2 l/s debi ile sistemlerinin boşalmasını gerçekleştirmektedir. Bu kaynaklarda çalışma süresince gözlenen maksimum boşalım Mart 2004 tarihinde gözlenmiş olup ölçülen debiler sırasıyla 70.0, 395.8 ve 208.9 l/s'dir. Kütlenin korunumu temel alınarak yapılan bütçe hesaplamaları, Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin dengede olduğunu göstermiştir.

Sistem	Yağış (P)	Noktasal Beslenim (R)	Kaynak Boşalımları (Q_s)	Gerçek Buharlaşma – Terleme (ET_g)
			$10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$	
Beyyayla	1.692	1.587	1.883	1.167
Döşkaya	2.653	1.060	1.772	1.830
Nardın	15.358	0.000	5.077	10.597

HBKS'de beslenme, allojenik/yerel ve otojenik yerel+yaygın beslenme olmak üzere iki uç bileşen şekilde gerçekleşmektedir. Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin drenaj alanlarında bulunan granitlerden drene olan yüzey suları, Beyyayla ve Tozman düdenlerinden sistemi allojenik noktasal olarak beslerken, kütle üzerine düşen yağış suları ise sistemi otojenik yaygın+yerel beslemektedir. Beyyayla ve Döşkaya sistemleri boşalımlarında allojenik ve otojenik beslenme oranları sırasıyla % 85 ve % 15 olarak hesaplanmıştır. Nardın sisteminde ise Beyyayla ve Döşkaya sistemlerindeki gibi allojenik noktasal beslenimi oluşturan her hangi bir kaynak bulunmamaktadır. Bu sistemde yağışlardan itibaren otojenik yaygın+yerel beslenme söz konusudur.

HBKS'deki yeraltısuyu dolaşımı ise kanal/yerel dolaşım olup sistemleri drene eden kaynaklarının $Q_{\max}/Q_{\min}$ oranı ve kimyasal yapılarının zaman içindeki (CV) değişimleri dikkate alındığında Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde yerel dolaşımın baskın olduğu gözlenmektedir.

Beyyayla, Döşkaya ve Nardın alt sistemlerinden oluşan HBKS'ni boşalmasını sağlayan BEY II, DOS ve NAR kaynaklarının 2003 ve 2004 yılı boşalımları ile yapılan kaynak çekilme analizleri, her üç kaynağın çekilme dönemi süresince ait oldukları sistemi neredeyse tamamen boşalttıkları belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, söz konusu kaynaklar akım hidrografında maksimum debinin gözlemlendiği anda itibaren yaklaşık 45 gün içinde sistemlerinin yaklaşık % 60'nı drene ettikleri görülmektedir. Bunun yanı sıra Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin kaynak gerisindeki depolama kapasiteleri sırasıyla $0.235 \cdot 10^6$, $0.369 \cdot 10^6$ ve $0.833 \cdot 10^6$ m³ olarak hesaplanmıştır. Kaynak çekilme analizlerinde, Döşkaya sisteminin akım hidrografının hızlı ve taban akım bileşenlerinden oluşan iki azalma katsayısı ($\alpha_{\text{hızlı}} = 0.040$ ve $\alpha_{\text{taban}} = 0.013$) ile, Beyyayla ve Nardın sistemlerinin ise birer azalma katsayısı ($\alpha_{\text{Bey}} = 0.025$ ve $\alpha_{\text{Nar}} = 0.038$) ile temsil edildiği belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, azalma katsayısı ve bu değerden itibaren hesaplanan akifer parametreleri (T/S), Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde iletkenlik katsayısının büyük ve depolama katsayısının ise küçük olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle beslenmeden itibaren sisteme dahil olan yağış ve yüzey suları iyi gelişmiş karstik kanallar aracılığı ile sistemi terk etmektedir.

HBKS'de 2003 ve 2004 yılında yapılan izleme deneyi çalışmaları sonucunda, Beyyayla sisteminde ortalama yeraltısuyu akım hızının 1728 ile 2765 m/gün arasında değiştiği gözlenirken, Döşkaya sisteminde ise 2004 yılında yapılan izleme deneyi sonucunda ortalama yeraltısuyu akım hızı 260 m/gün elde edilmiştir. Diğer taraftan Beyyayla sisteminde izleme deneylerinde elde edilen dispersiyon, boyuna dispersivite ve Peclet sayısı değerleri de sırasıyla 0.46 – 0.42 m²/s, 22.18 – 13.1 m ve 29.6 – 51.6'dır. Döşkaya sisteminde yapılan izleme deneyinde ise söz konusu parametreler sırasıyla 0.08 m²/s, 24.84 m ve 81.5'dir. Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde yapılan izleme deneyleri, türbülanslı akım koşullarının geçerli olduğu iyi gelişmiş karstik kanallarda hızlı yeraltısuyu akımının gerçekleştiğini ve advectif taşınımın söz konusu olduğu göstermektedir.

HBKS'de alt sistemler şeklinde davranan Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin yüzey morfolojilerinin hidrojeolojik açıdan değerlendirilmesini kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda:

- ✓ HBKS'de yer alan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin yüzey morfolojileri benzerlik gösterirken, inceleme alanının orta kesiminde bulunan Nardın sisteminin ise bu iki sistemden farklı bir yüzey morfolojisine sahip olduğu,
- ✓ Sistemlerin yüzey morfolojileri dikkate alınarak yapılan değerlendirmelerde, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin boşalımlarında allojenik yerel, Nardın sisteminin boşalımlarında ise otojenik yaygın beslenimin baskın olduğu,
- ✓ Sistemlerin morfolojik yapısı ile beslenme rejimi, kaynak boşalımları ve kaynak sularının kimyasal yapılarının birlikte değerlendirilmesi sonucunda ise Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinde yeraltısuyu dolaşımının yerel olduğu,

belirlenmiştir.

HBKS'ni oluşturan Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde karstlaşmayı kontrol eden tektonizma, karbonatlı kayacın litolojisi ve iklimsel süreçlere oranla daha etkin olan enerji gradyanı baskın olduğu belirlenmiştir. Enerji gradyanındaki değişim, başlangıçta Nardın sistemi ile aynı oranda karstlaşma derecesine sahip olan bu sistemlerin drenaj alanlarında allojenik noktasal beslenimi oluşturan granitlerin yüzeylenmesine ve bugün farklı morfolojik, hidrolojik ve hidrodinamik özelliklere göstermelerine neden olmuştur. Beyyayla ve Döşkaya sistemlerine oranla daha derin paleotopoğrafik çukurluklarda bulunan Nardın sisteminde gözlenen karstlaşma ise bu sistemin drenaj alanında allojenik beslenimi oluşturan herhangi bir kaynağın bulunmayışından kaynaklanmaktadır.

9. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

“Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sistemi’nin Morfoloji – Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi” başlıklı tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlara ilişkin tartışma ve değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir.

Öncelikle ileri derecede heterojen ve anizotrop bir yapıya sahip olan HBKS’nin hidrodinamik davranışının belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalar kapsamında karşılaşılan en önemli belirsizlik, sistemin girdi ve boşalım noktalarında yapılan ölçüm, örnekleme ve analiz sıklığında yaşanmıştır. Örneğin HBKS’nin girdi ve boşalımını oluşturan yağış ve kaynak akımları arasında her hangi bir ilişki gözlenmemiştir. Bu durum, sistemin girdisi ve bu girdi sonucu gözlenen tepki arasında geçen sürenin muhtemelen akım ve yağış değerlerinin gözlem süresinden daha kısa olmasından kaynaklanmaktadır. Bu noktada, 21 – 29 Nisan 2004 tarihleri arasında meydana gelen yağış ve bu yağışa sistemin verdiği tepkinin gözlendiği Döşkaya kaynağında yapılan anlık ölçümler, Döşkaya sisteminin girdiye karşı yaklaşık 5 saat gibi çok kısa bir sürede tepki verdiğini göstermiştir. Dolayısıyla, inceleme alanında yapılan gözlem sıklığının aylık aralıkta olması, hidrolojik değerlendirmeler ve bütçe hesaplamalarının yanı sıra HBKS’nin hidrodinamik yapısının belirlenmesinde de belirsizlik içermektedir.

HBKS’de, aylık aralıkta yapılan yağış, debi ve kimyasal parametre (T, EC, TDS, vb...) ölçümlerinin yanı sıra zaman serisi oluşturacak anlık ölçümlerin, olaya duyarlı veri toplayıcı (Data Logger) veya benzeri cihazlar ile sağlanması, sistemin beslenme, dolaşım, depolama ve boşalım bileşenlerinden oluşan hidrodinamik yapısının ortaya konmasında daha faydalı olacaktır. Bu aşamada, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin beslenme alanlarında noktasal girdiyi oluşturan Beyyayla ve Tozman düdenleri girişinde ve bu sistemlerin boşalımını gerçekleştiren BEY II ve DOS kaynaklarında debi ölçümlerinin yanı sıra kütleden/yaygın beslenimi oluşturan yağış değerlerinin eş zamanlı ve minimum 5 saat aralıkla ölçülmesi gerekmektedir. Buna ek olarak benzer gözlemlerin Nardın sisteminde de yapılması, bu sistemlerin herhangi bir etkiye karşı meydana gelen tepkinin daha sağlıklı bir şekilde belirlenmesini sağlayacaktır.

Tez çalışması kapsamında yapılan kaynak çekilme analizlerinde elde edilen iletimlilik, depolama ve kaynak azalma katsayısı ile rezerv hacmi gibi akifer özelliklerinin anlık ölçümlerle hesaplanması, su miktarı ve kalitesi açısından sorun yaşanan bölgede, su kaynakları yönetimi ile ilgili çalışmalara temel oluşturacaktır.

Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinde yapılan boya izleme deneylerinin yanı sıra Nardın sistemi ve diğer iki sistemde de farklı akım koşullarında bir dizi izleme deneyi yapılması gerekmektedir. HBKS’de yapılması önerilen boya izleme deneyleri sonucunda elde edilen yeraltısuyu hızı, akım türü, akımın meydana geldiği ortamın hidrolik özellikleri, kütle taşınımı parametreleri, vb... bilgiler, karstik sistemlerde yerel/noktasal ve yaygın/kütleden beslenme ile yerel ve yaygın dolaşım uç bileşenleri arasında değişen beslenme ve dolaşım özelliklerine örnek oluşturacaktır.

Diğer taraftan HBKS’ni oluşturan Bilecik Kireçtaşlarının kalınlığının belirlenmesine yönelik yapılan jeofizik çalışmalarında kullanılan Elektriksel Rezistivite Yöntemine oranla engebeli topoğrafyadan etkilenmeyen ve jeolojik birimlerin kalınlığının belirlenmesinde daha efektif bir yöntem olan Sismik Yönteminin kullanılması, kireçtaşlarının kalınlığının ve tabanında bulunan birim/birimler ile ilişkisinin ortaya çıkarılmasında daha faydalı olacaktır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Beyyayla, Döşkaya ve Nardın sistemlerinin morfolojik olarak farklı olmalarına karşın, Beyyayla ve Döşkaya sistemlerinin hidrojeolojik özellikler açısından benzer oldukları ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışma, morfoloji – hidrojeoloji ilişkilerini ortaya konmasını genelde sağladı. Fakat ileri derecede karstlaşmış olan HBKS’nin, örneğin beslenme açısından otojenik yaygın, otojenik yerel ve allojenik yerel uç noktalarını tam temsil etmemesi, morfolojinin hidrojeolojiye etkisini belirli bir ölçüde belirsizleştirmiştir. Karstik ortamlarda, morfoloji – hidrojeoloji ilişkilerinin inceleneyeceği çalışmaların, farklı litolojik, tektonik, morfolojik ve iklimsel süreçlerin etkisinde kalmış sistemlerde yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aksay, A. ve Duru, M., 2002, 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Adapazarı H24 Paftası, MTA yayınları, Pafta No: 37.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Değer, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y., 1984, Ankara – Elmadağ – Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, Say: 20, 31 – 46 s.
- Altınır, D., Koçyiğit, A., Farrinacci, A., Nicosia, U. and Conti, U., 1991, Jurassic – Lower Cretaceous stratigraphy and paleogeographic evolution of the southern part of North – Western Anatolia (Turkey), Geology and Paleontology of Western Pontides, Turkey. (Eds. A. Farrinacci, D. V. Ager, U. Nicosia), Geologica Romana.
- Akyazı, M., Toprak, Ö., Erdoğan, T., Karabaşoğlu, A., Ursavaş, T. Ş., 2001, Bilecik yöresinin Mesozoyik stratigrafisi, Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, Yerbilimleri, Sivas, Cilt: 18, Sayı: 1, 27 – 46s.
- Altınlı, İ. E., 1973a, Bilecik Jurasigi, Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğler, MTA Yayını, Ankara, 103 – 111 s.
- Altınlı, İ. E., 1973b, Orta sakaryanın jeolojisi. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, MTA Yayını, Ankara, 159 – 191 s.
- Altınlı, İ. E., 1975, Paleosen yaşı Kızılçay Formasyonunun çökeltme ortamı, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Mecmuası, İstanbul, Seri: B, Cilt: 40, Sayı: 1 – 2.
- Amit, H., Lyakhovsky, V., Katz, A., Starinsky A. & Burg, A., 2002, Interpretation of spring recession curves, Groundwater, Volume: 40, No: 5, 543 – 551 pp.
- Andreo, B., Carrasco, F., Bakalowicz, M., Mudry, J. and Vadillo, I., 2002, Use of hydrodynamic and hydrochemistry to characterise carbonate aquifers. Case study of the Blanca – Mijas unit (Málaga, southern Spain), Environmental Geology, 43 (1 – 2), 108 – 119 pp.
- APHA – AWWA and WPCF, 1989, Standart Methods for the estimation of water and waste water (17th Edition), American Public Health Association, Washington, USA, 1134 p.
- Atkinson, T. C., 1977, Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain), Journal of Hydrology, Volume: 35, Issues: 1 – 2, 93 – 110 pp.
- Aydın, H., 1999, Sızır (Gemerek – Sivas) Kaynakları ve Yakın Dolayının Hidrojeoloji İncelemesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Mühendislik Tezi, 116 s.
- Aydın, H., Ekmekçi, M. ve Soylu, M. E., 2004, Karst akiferlerinde akım özelliklerinin izleme teknikleri ile tanımlanması: Beyyayla Düdeni

(Eskişehir) örneği, 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, 57 – 58 s.

Bagarić, I., 1978, Determination of storage and transportation characteristics of karst aquifers. In: P.T. Milanović, Editor, Karst Hydrogeology, Water Resources Publications, Littleton, CO, USA, 434 p.

Bakalowicz, M., 2000, Analysing natural tracing by inverse modelling for characterising karst aquifer functioning, Karst 2000, International Symposium and field seminar on present state and future trends of karst studies. Marmaris (Turkey), 17 – 26/09/2000.

Barrett, M. E. and Charbeneau, R. J., 1996, A parsimonious model for simulation of flow and transport in a karst aquifer. Center for Research in Water Resources, Technical Report 269, 149 p.

Başokur, A. T. 1984, A numerical direct interpretation method of resistivity soundings using the Pekeris model, Geophysical Prospecting, 32, 1131 – 1146.

Bear, J., 1979, Hydraulics of Groundwater, McGraw – Hill Companies, 544 p.

Berkaloff, E., 1967, Limite de validité des formules courantes de tarissement de débit, Chronique d'Hydrogéologie 10, 31 – 41 pp.

Bögli, A., 1980, Karst Hydrology and Physical Speleology, Springer – Verlag, Berlin Heidelberg, New York

Bonacci, O., 2000, Heterogeneity of hydrologic and hydrogeologic parameters in karst: examples from Dinaric karst, Karst 2000, International Symposium and field seminar on present state and future trends of karst studies. Marmaris (Turkey), 17 – 26/09/2000.

Boussinesq, J., 1877, Essai sur la théorie des eaux courantes du mouvement nonpermanent des eaux souterraines. Acad. Sci. Inst. Fr. 23, 252 – 260 pp.

Bozkurt, E. 2001, Neotectonics of Turkey – a synthesis, Geodinamica Acta, Volume: 14, Issues: 1, 3 – 30 pp.

Cornaton, F., 1999, Utilisation des modèles continu discret et a double continuum pour l'analyse des réponses globales de l'aquifère karstique. Travail de diplôme. CHYN:Université de Neuchâtel.

Çoğulu, E., Delaloye, E., Chessex, R., 1965, Sur l'âge de quelques roches intrusives acides de la region Eskişehir (Turquie), Arch. Sci. Soc. Phys. et Hist. Nat., Geneve, 18, 692 – 699.

Delaloye, E. and Bingöl, E., 2000, Granitoids from western and Northwestern Anatolia; Geochemistry and Modeling of Geodynamic Evolution, International Geology, Review vo: 42, 241 – 263 pp.

- Demirkol, C., 1973, Üzümlü – Tuzaklı (Bilecik) Dolayının Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doktora Tezi.
- Demirkol, C., 1977, Üzümlü – Tuzaklı (Bilecik) dolayının jeolojisi. TJK Bülteni, 20/1, 9 – 16 s.
- Denizman, C., 1998, Evolution of Karst in the Lower Suwannee River Basin, Florida, PhD thesis, University of Florida, 214 p.
- Desmarais, K. and Rojstaczer, S., 2002, Inferring source waters from measurements of carbonate spring response to storms, Journal of Hydrology, Volume 260, Issues 1 – 4, 18 – 134 pp.
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., Weng, Ph. & Al-Malki, A., 2003, Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard – rock aquifer, Journal of Hydrology, Volume: 274, 248 – 269 pp.
- Eisenlohr, L., 1996, Variabilité des réponses naturelles des aquifères karstiques. Thèse, Université de Neuchâtel.
- Ekmekçi, M., 2003, Review of Turkish karst with emphasis on tectonic and paleogeographic controls, Acta Carsologica, Volume: 32 – 2, 205 – 218 pp.
- Ekmekçi, M., 2005, Karst in Turkish thrace: Compatibility between geological history and karst type, Turkish Journal of Earth Sciences, Volume: 14, 1 – 18 pp.
- Ekmekçi, M. Aydın, H., Soylu, M. E., Tezcan, L. ve Kurttaş, T., 2003a, Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi, II. Çalışma Dönemi Raporu, H. Ü. Bilimsel Araştırmalar Birimi Projesi (Proje No: 02.0 .602.009), 70 s.,
- Ekmekçi, M., Akdeniz, U., Coşkun, T. ve Yurdaer, D., 2003b, Tacin (Bünyan – Kayseri) karst kaynağının hidrodinamik özellikleri, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 14 – 20 Nisan 2003, 154 – 156 s.
- Ekmekçi, M. Aydın, H., Soylu, M. E., Tezcan, L. ve Kurttaş, T., 2004, Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi, III. Çalışma Dönemi Raporu, H. Ü. Bilimsel Araştırmalar Birimi Projesi (Proje No: 02.0 .602.009), 128 s.,
- Ekmekçi, M. and Nazik, L., 2004, Evolution of Gölpazarı – Hüyük karst system (Bilecik): Indications of tectonic and climatic controls, International Journal of Speleology, Volume: 33 (1/4), 49 – 64 pp.
- Ekmekçi, M. Aydın, H., Soylu, M. E., Tezcan, L. ve Kurttaş, T., 2005, Karst Sistemlerini Paleohidrolojik Kayıt Arşivleri Olarak Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması: Harmanköy – Beyyayla (Bilecik) Karst

Sisteminin Paleohidrolojisinin İncelenmesi, Final Raporu, H. Ü. Bilimsel Araştırmalar Birimi Projesi (Proje No: 02.0 .602.009), 220 s.,

Eroskay, S. O., 1965, Paşalar Boğazı – Gölpazarı sahasının jeolojisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Mecmuası, İstanbul, Seri: B, Cilt: XXX, Sayı: 3 – 4, 135 – 170 s.

ESRI, 2002, ESRI ArcMap™ 8.2, Build (700), Copyright© 1999 – 2002, ESRI Inc.

ESRI, 2004, ESRI ArcMap™ 9.0, Build (580), Copyright© 1999 – 2004, ESRI Inc.

Field, M., 2002, The QTRACER Program for Tracer-Breakthrough Curve Analysis for Karst and Fractured-Rock Aquifers; and A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology, EPA/600/R-02/001.

Ford, D., C. and Williams, P., w., 1989, Karst Geomorphology and Hydrology, Unwin Hyman.

Gabrovsek, F., Dreybrodt, W., 2001, A model of the early evolution of karst aquifers in limestone in the dimensions of length and depth, Journal of Hydrology, Volume: 240, 206 – 224 pp.

Gedik, İ. ve Aksay, A., 2002, 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. Adapazarı H25 Paftası. MTA yayınları, Pafta no: 38.

Gillieson, D., 1996, Caves: Processes, Development and Management, Blackwell Publishers, 324 p.

Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk. Ş., Uysal. Ş. ve Özcan, A., 1996, Orta Sakarya'da Nallıhan – Sarıcakaya arasındaki yapısal birimlerin jeolojik özellikleri, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 10094.

Gözler, M. Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H. J., 1996, Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 9973.

Gözübol, A. M., 1978, Mudurnu – Dokurca – Abant (Bolu İli) Alanının Jeoloji İncelemesi ve Kuzey Anadolu Yarılımının Yapısal Özellikleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doktora Tezi.

Granit, Y. ve Titant, H., 1960, Observations Préliminaires sur le Jurassique de la region de Bilecik (Turquie). Lab. De Geol., Faculté des Sciences, Dijon.

Grasso, D. A. and Jeannin, P. Y., 2002, A global experimental system approach of Karst Springs' hydrographs and chemographs, Groundwater, Volume: 40, No: 6, 608 – 607 pp.

Greene, E. A., 1999, Characterizing recharge to wells in carbonate aquifers using environmental and artificial tracers using environmental and artificially recharged tracers, U.S.G.S., Water – Resources Investigations Report, 99 – 4018C, Proceedings of the technical Meeting, Toxic Substances

- Hydrology Program, Charleston, South Carolina, March 8–12, 803 – 808 pp.
- Gunn, J., 1983, Point – recharge of limestone aquifers – A model from New Zealand karst, *Journal of Hydrology*, Volume: 61, Issues: 1 – 3, 19 – 29 pp.
- Hauns, M., Jeannin, P. Y. and Atteia, O., 2001, Dispersion, retardation and scale effect in tracer breakthrough curves in karst conduits, *Journal of Hydrology*, Volume 241, Issues 3 – 4, 177 – 193 pp.
- Jakucs, L., 1959, Neue Methoden der Höhlenforschung in Ungarn und ihre Ergebnisse.- Auffinden von Höhlen aus Indizien, *Hydrologie*, 10 (4), 88 – 98 pp.
- Jenny, J., Borreguero, A. and Burgisser, A., 2002, WinSev 6, Instruction manual, Electrical soundings processing for Windows® XP,NT, 95, 98, W – GeoSoft, 20 p.
- Kibici, Y., 1982, Sarıcakaya (Eskişehir) Masifinin Jeolojisi, Petrografisi ve Petrolojik Etüdü, Masife İlişkin Kalay Araştırması, Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Doktora Tezi.
- Király, L. and Morel, G., 1976a, Etude de régularisation de l'Areuse par modèle mathématique, *Bulletin d'Hydrogéologie*, Neuchâtel 1, 19 – 36 pp.
- Király, L. and Morel, G., 1976b, Remarques sur l'hydrogramme des sources karstiques simule par modèles mathématiques, *Bulletin d'Hydrogéologie*, Neuchâtel 1, 37 – 60 pp.
- Király, L., 1985, FEM – 301 – A three-dimensional model for groundwater flow simulation. NAGRA Technical Report 96, 84 – 49 pp.
- Király, L., 2002, Karstification and groundwater flow. In: *Proceedings of the Conference on Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation*. Postojna-Ljubljana. 155 – 190 p.
- Kovács, A., Perrochet, P., Király, L. and Jeannin, P. Y., 2005, A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis, *Journal of Hydrology*, Volume: 303, Issues: 1 – 4, 152 – 164 pp.
- Koyuncu, H., 2003, Batı Toroslar Karst Sistemi Hidrojeolojik Özelliklerinin Uydu Görüntülerinin Sayısal Analizi ile İrdelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 129 s.,.
- Kurttaş, T, 1997, Gökova (Muğla) Karst Kaynaklarının Çevresel İzotop İncelemesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 220 s.,.
- Maillet, E., 1905, *Mécanique et physique du globe. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Hermann, Paris.

- Martin, J.B. and E.J. Screaton, 2001, Exchange of matrix and Conduit water with examples from the floridan aquifer, in U.S. Geological Survey Karst Interest Group Proceedings, St. Petersburg, Florida, Water-Resources Investigations Report 01 – 4011, 38 – 44 p.
- Mazor, E., 1991, Applied chemical and isotopic groundwater hydrology, Halsted Press, Burns & Smith Ltd., Open University Press, Great Britain, 273 p.
- Milanovic, P. T., 1981, Karst Hydrogeology, Water Resources Publications, LLC, 434 p.
- Nazik, L., Törk, K., Acar, C., Özel, E., Mengi, H., Aksoy, B., Tuncer, K., Güner, İ. N., Ekmekçi, M. ve Başal, A., 2001, Orta Sakarya Havzasının (Eskişehir ve Bilecik doğusu) Doğal Mağaraları, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 10420, Ankara, 179 s.
- Orhan, Ç. G., 2004, Batı Toroslar Bölgesinde Karst Türü ve Evriminin Neotektonik ve Paleocoğrafik Gelişim İle İlişkilerinin Araştırılması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 86 s.,.
- Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., 1999, User's guide to PHREEQC (Version 2) – A Computer Program For Speciation, Batch – Reaction, 1 D Transport, and Inverse Geochemical Calculations: U.S. Geological Survey Water – Resources Investigations Report 99 – 4259, 310 p.
- Raeisi, E. and Karami, G. H., 1997, Hydrochemographs of Berghan karst spring as indicator of aquifer characteristics. Journal of Cave and Karst Studies, 59(3): 112 – 118 pp.
- Quinlan, J. F. and Ewers, R. O., 1985, Ground water flow in limestone terranes; strategy rationale and procedure for reliable and efficient monitoring of ground water quality in karst areas. In Proceedings, Fifth national symposium on aquifer restoration and ground water monitoring, Natl. Water Well Association: 197 – 234 pp.
- Quinlan, J. F., Davies, G. J., Jones, S. W. and Huntoon, P. W., 1996, The applicability of numerical models to adequately characterize ground-water flow in karstic and other triple-porosity aquifers. In: Ritchy, J.D., Rumbaugh, J.O. (Eds.), Subsurface Fluid-Flow (Ground-Water and Vadose Zone) Modeling, ASTM STP 1288, American Society for Testing and Materials, 114 – 133 pp.
- Samani, N. and Ebrahimi, B., 1996, Analysis of spring hydrographs for hydrogeological evaluation of karst aquifer system: Journal of Theoretical and Applied Karstology, Volume: 8, 97 – 112 pp.
- Saner, S., 1977, Geyve – Osmaneli – Gölpazarı – Taraklı Alanının Jeolojisi; Eski Çökme Alanları ve Çökmenin Evrimi, MTA Raporu, Ankara, No: 6306.
- Saner, S., 1978, Orta Sakarya'daki Üst Kretase – Paleosen – Eosen çökme ilişkileri ve Anadolu'da petrol aramalarındaki önemi, 4. Petrol Kongresi Tebliğleri, Sayfa: 95 – 114.

- Saner, S., 1980, Mudurnu – Göynük havzasının Jura ve sonrası çökelme nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlaması, TJK Büleni, Ankara, Cilt: 23, Sayı: 1, Sayfa: 39 – 52.
- Scanlon, B. R., and Thrailkill, J., 1987, Chemical similarities among physically distinct spring types in a karst terane, Journal of Hydrology, Volume: 89, 259 – 279 pp.
- Scanlon, B. R., Mace, R. E., Barrett, M. E and Smith, B., 2003, 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, Volume: 276, Issues 1 – 4, 137 – 158 pp.
- Shuster, E. T. and White, W. B., 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: a possible means for characterizing carbonate aquifers. Journal of Hydrology, Volume: 14, 93 – 128 pp.
- Screaton, E., Martin, J. B., Ginn, B. and Smith, L., 2004, Conduit properties and karstification in the santa fe river sink – rise system of the floridan aquifer, Ground Water, 42, 338 – 346 pp.
- Shevenell, L., 1996, Analysis of well hydrographs in a karst aquifer: estimates of specific yields and continuum transmissivities, Journal of Hydrology, Volume: 174, Issues: 3 – 4, 331 – 355 pp.
- Smart, P. L. and Hobbs, S. L., 1986, Characterisation of carbonate aquifers - A conceptual base, Cave and Karst Science, Volume: 13 (2), p 67.
- Soylu, M. E., 2004, Harmanköy (Bilecik) – Beyyayla (Eskişehir) Karst Sistemindeki Mağara Çökellerinin İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76 s.,.
- Soylu, M. E., Ekmekçi, M. ve Aydın, H., 2004, Nardın mağarası (Bilecik) çökellerinde kayıtlı izlerin karstlaşma evrimi açısından yorumlanması 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, 52 – 53 s.
- Stumm, W. and Morgan, J. J., 1981, Aquatic Chemistry; Introduction Emphasizing Equilibria in Natural Waters, New York., Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication No: 37, 227 – 264 pp.
- Sweeting, M. M., 1973, Karst Landforms, Columbia University Pres, 362 p.
- Şener, M. ve Şengüler, İ., 1992, Hatıldağı (Bolu – Göynük) Bitümlü Şeyl Sahasının Jeolojisi ve Teknolojik Kullanım Olanakları, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 9445.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985, Strike – slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, In: BÝDDLE, K. & CHRÝSTÝE-BLÝCK, N. (eds), Strike – Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, 37, 227 – 64.

- Şentürk, K., Karaköse, C., 1979, Orta Sakarya Dolayının Temel Jeolojisi, MTA Raporu, Ankara, No: 6642.
- Taka, M., 1981, Göynük – Hatıldağ Bitümlü Şist Sondajları Raporu, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 9318.
- Taka, M. ve Şener, M., 1988, Himmetoğlu (Göynük – Bolu) Sahasının Bitümlü Şeyl Olanakları ve Sondajları, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 8533.
- Tallaksen, L. M., 1995, A review of baseflow recession analysis, Journal of Hydrology, Volume: 165, Issues: 1 - 4, 349 – 370 pp.
- Tezcan, L., 1993, Karst Akifer Sistemlerinin Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 125 s.,.
- Troester, J. W., White, E. L. and White, W. B., 1984, A comparison of sinkhole depth frequency distributions in temperate and tropical karst regions, in Beck, B.F., ed., Sinkholes: Their geology, engineering, and environmental impact: Rotterdam, Balkema, 65 – 73 p.
- Tuna, E., 1974, Çatak – Soğukçam (Bolu İli) Alanının Jeoloji İncelemesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, İstanbul.
- Tuncer, K., 2004, Sakarya Nehri – Göynük Çayı – Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.,
- Turc, L., 1954, The water balance of soils, relation between precipitation, evaporation and flow, Annales Agronomiques, 5, 491 – 569 pp.
- Vesper, D. J. and White, W. B., 2003, Metal transport to karst springs during storm flow: an example from Fort Campbell, Kentucky/Tennessee, USA, Journal of Hydrology, Volume: 276, Issues: 1 – 4, 20 – 36 pp.
- Wanakule, N. and Anaya, R. A., 1993, A lumped parameter model for the Edwards aquifer. Texas Water Resources Institute, Technical Report No. 163, 84 p.
- White, W. B., 2003, Conceptual models for karstic aquifers, Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers 1 (1), www.speleogenesis.info , 6 pages, re-published from: Palmer, A.N., Palmer, M.V., and Sasowsky, I.D. (eds.), 1999. Karst Modeling: Special Publication 5, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA), 11 – 16.
- White, W. B., 1969, Conceptual models for limestone aquifers, Groundwater, Volume: 7 (3), 15 – 21 pp.
- White, W. B., 1988. Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains, Oxford University Press, New York, 464 p.
- White, W. B., 2002, Karst hydrology: recent developments and open questions, Engineering Geology, Volume: 65, Issues: 2 – 3, 85 – 105 pp.

- White, W. B. and Schmidt, V. A., 1966, Hydrology of a karst area in east – central West Virginia, Water Resources Research, 2, 549 – 560 pp.
- Worthington, S. R. H., 1999, A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifers, In: Palmer, A. N., Palmer, M.V., and Sasowsky, I.D. (eds.), 1999. Karst Modeling: Special Publication 5, The Karst Waters Institute, Charles Town, West Virginia (USA), 30 – 37 pp.
- Worthington, S. R. H., 1991, Karst Hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains, Ph.D. Thesis, McMaster University Hamilton, Ontario, 227 p.
- Yazıcı, H., 1998, Orta Sakarya Vadisi'nin Coğrafi Etüdü – Yenice Alpagut Arası, Anadolu Üniversitesi yayınları; No: 1040.
- Yılmaz, Y., 1977 Bilecik – Söğüt Dolayındaki Eski Temel Karmaşığının Petrografik Evrimi, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü, Doçentlik Tezi.
- Yılmaz, Y., 1981, Sakarya Kıtası güney kenarının tektonik evrimi. Yerbilimleri, Cilt: 1, Sayı: 1 – 2, Sayfa: 33 – 52.
- Yılmaz, Y. ve Şengör, A. M. C., 1981, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach; Tectonophysics. 75, 181 – 241.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. M. ve Yiğitbaş, E. J., 1981, Abant (Bolu) – Dokurcan (Sakarya) Arasında Kalan Kaf Zonunun Kuzey ve Güneyinde Kalan Tektonik Birliklerin Jeolojik Evrimi, MTA Raporu, Ankara, No: 7085.
- Yurtsever, Y. and Payne, R. B., 1986, Mathematical Models Based on Compartmental Simulation Approach for Quantitative Interpretation of Tracer Data in Hydrological Systems, Proceedings of the 5th International Symposium of Underground Water Tracing, IGME, Athens, Greece, 341 – 353 pp.
- Zhang, Y. K., Bai, E. W., Libra, R., Rowden, R. and Liu, H., 1996, Simulation of spring discharge from a limestone aquifer in Iowa. Hydrogeol. J. 4, 41 – 54 pp.

EKLER

- Ek 1. HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)
- Ek 2. HBKS kaynaklarının doygunluk indisi analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
BEY I	06/04/03	2.132	0.000	1.717	0.000	0.075	0.000	0.000	0.000	0.113	0.430	2.132	0.036	-	0.403	0.044	0.248	0.000	-	0.000	1.585	0.000	0.000	0.300	0.000
BEY I	04/05/03	3.147	0.000	2.876	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.125	0.614	3.147	0.049	-	0.440	0.005	0.277	0.000	-	0.000	0.820	0.000	0.000	0.233	0.000
BEY I	05/06/03	3.198	0.000	2.979	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.100	0.648	3.198	0.026	0.002	0.416	0.080	0.250	0.000	0.025	-	1.141	0.000	0.000	0.154	0.045
BEY I	20/06/03	3.909	0.000	3.417	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.091	0.512	3.909	0.029	0.002	0.400	0.042	0.284	0.000	0.005	-	0.409	0.000	0.000	0.129	0.014
BEY I	04/07/03	3.962	0.000	3.493	0.000	0.037	0.566	0.000	0.000	0.085	0.692	3.396	0.037	0.001	0.326	0.057	0.236	0.000	0.055	0.000	0.895	0.000	0.000	0.140	0.025
BEY I	09/08/03	3.961	0.000	3.563	0.000	0.024	0.676	0.000	0.000	0.098	0.413	3.285	0.023	0.000	0.287	0.105	0.215	0.000	0.225	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111	0.008
BEY I	10/09/03	3.762	0.000	3.480	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.100	0.070	3.762	0.044	0.002	0.311	0.021	0.231	0.032	0.085	0.024	0.208	0.000	0.000	0.119	0.000
BEY I	02/11/03	4.703	0.000	3.918	0.000	0.071	0.000	0.000	0.031	0.056	0.236	4.703	0.067	0.002	0.320	0.051	0.278	0.000	0.210	0.000	0.996	0.000	0.000	0.140	0.027
BEY I	11/12/03	2.574	0.000	2.643	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	0.086	0.355	2.574	0.029	0.001	0.408	0.045	0.318	0.000	0.055	0.000	0.401	0.000	0.100	0.428	0.019
BEY I	11/01/04	2.616	0.000	2.108	0.000	0.109	0.000	0.000	0.000	0.060	0.138	2.616	0.051	0.000	0.539	0.015	0.316	0.000	0.113	0.000	8.691	0.000	0.000	0.369	0.011
BEY I	19/02/04	2.854	0.000	2.060	0.000	0.089	0.000	0.000	0.022	0.070	0.125	2.854	0.110	0.008	0.410	0.017	0.969	0.000	0.096	0.000	6.212	0.000	0.000	0.341	0.005
BEY I	13/03/04	2.093	0.000	1.802	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000	0.119	0.224	2.093	0.056	0.001	0.352	0.035	0.370	0.000	0.198	0.000	4.837	0.000	0.000	0.285	0.000
BEY I	17/04/04	2.800	0.000	2.451	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000	0.116	0.374	2.800	0.027	0.000	0.474	0.059	0.277	0.000	0.259	0.000	1.446	0.000	0.000	0.275	0.015
BEY I	29/04/04	2.550	0.000	2.210	0.000	0.073	0.000	0.000	0.000	0.119	0.311	2.550	0.039	0.002	0.540	0.044	0.297	0.000	0.193	0.000	1.091	0.000	0.000	0.256	0.000
BEY I	21/05/04	3.000	*	2.630	0.000	0.150	0.000	0.000	0.000	*	0.433	3.000	0.029	*	0.658	0.053	0.279	0.000	*	*	*	0.000	*	0.281	0.000
BEY I	27/06/04	3.300	0.000	2.798	0.000	0.059	0.000	0.000	0.000	0.095	0.415	3.300	0.049	0.000	0.533	0.041	0.294	0.000	0.349	0.000	0.944	0.000	0.000	0.160	0.000
BEY I	26/07/04	4.071	0.000	3.686	0.000	0.057	1.500	0.000	0.000	0.179	0.263	2.571	0.032	0.001	0.363	0.050	0.233	0.000	0.595	0.000	1.067	0.000	0.000	0.153	0.000
BEY I	27/08/04	4.381	0.000	3.650	0.000	0.057	0.571	0.000	0.000	0.067	0.144	3.810	0.042	0.000	0.291	0.000	0.230	0.000	0.094	0.000	2.154	0.000	0.000	0.157	0.006
BEY I	25/09/04	3.619	0.000	3.241	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.086	0.199	3.619	0.056	0.000	0.338	0.028	0.293	0.000	0.161	0.000	0.718	0.000	0.000	0.133	0.000
BEY I	11/11/04	3.822	0.000	3.556	*	0.051	0.000	*	*	0.092	*	3.822	0.046	0.002	0.349	*	0.250	*	0.109	0.000	0.787	*	0.000	0.122	*
BEY II	06/06/03	3.503	0.000	3.374	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.100	0.653	3.503	0.023	0.003	0.388	0.060	0.226	0.000	0.024	-	0.870	0.000	0.000	0.159	0.011
BEY II	13/06/03	4.061	0.000	3.942	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.069	0.251	4.061	0.034	0.002	0.384	0.023	0.234	0.000	0.017	-	0.575	0.000	0.000	0.139	0.010
BEY II	20/06/03	4.467	0.000	3.995	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.084	0.220	4.467	0.046	0.002	0.360	0.017	0.261	0.000	0.311	-	1.765	0.000	0.000	0.144	0.000
BEY II	04/07/03	4.670	0.000	4.644	0.000	0.037	0.566	0.000	0.000	0.081	0.083	4.104	0.033	0.002	0.333	0.013	0.200	0.000	0.065	0.000	1.953	0.000	0.000	0.147	0.000
BEY II	09/08/03	5.362	0.000	4.904	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.086	0.118	5.362	0.038	0.000	0.298	0.015	0.197	0.000	0.316	0.000	3.629	0.000	0.000	0.149	0.000
BEY II	10/09/03	5.297	0.000	4.922	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.052	0.028	5.297	0.027	0.000	0.321	0.000	0.148	0.032	0.065	0.028	3.215	0.000	0.000	0.148	0.000
BEY II	10/10/03	5.891	0.000	5.873	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.204	5.891	0.031	0.001	0.357	0.033	0.180	0.000	0.050	0.000	2.369	0.000	0.000	0.085	0.000
BEY II	02/11/03	5.396	0.000	4.750	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.083	0.042	5.396	0.046	0.002	0.327	0.012	0.226	0.000	0.218	0.000	1.603	0.000	0.000	0.151	0.000
BEY II	11/12/03	3.564	0.000	3.520	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.106	0.116	3.564	0.032	0.000	0.313	0.018	0.234	0.000	0.223	0.000	0.300	0.000	0.000	0.287	0.005
BEY II	13/03/04	4.090	0.000	3.914	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	0.052	0.122	4.090	0.031	0.000	0.327	0.015	0.202	0.000	0.044	0.000	6.525	0.000	0.053	0.279	0.000
BEY II	17/04/04	2.850	0.000	2.695	0.000	0.075	0.000	0.000	0.000	0.091	0.310	2.850	0.027	0.002	0.439	0.034	0.253	0.000	0.328	0.000	1.923	0.000	0.000	0.271	0.008
BEY II	29/04/04	2.900	0.000	2.781	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000	0.104	0.529	2.900	0.034	0.000	0.479	0.066	0.261	0.000	0.191	0.000	2.101	0.000	0.036	0.255	0.004

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
BEY II	21/05/04	3.200	*	2.772	0.000	0.150	0.000	0.000	0.016	*	0.475	3.200	0.028	*	0.576	0.046	0.252	0.000	*	*	*	0.000	*	0.277	0.000
BEY II	27/06/04	3.600	0.000	3.252	0.000	0.056	0.000	0.000	0.010	0.084	0.673	3.600	0.040	0.003	0.506	0.039	0.282	0.000	0.229	0.000	1.080	0.000	0.000	0.159	0.000
BEY II	26/07/04	5.095	0.000	4.939	0.000	0.044	1.000	0.000	0.000	0.090	0.058	4.095	0.027	0.002	0.341	0.009	0.185	0.000	0.152	0.000	2.749	0.000	0.000	0.160	0.000
BEY II	27/08/04	5.238	0.000	5.237	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.054	0.040	5.238	0.041	0.000	0.327	0.000	0.271	0.000	0.000	0.000	2.932	0.000	0.000	0.168	0.007
BEY II	25/09/04	5.286	0.000	5.138	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	0.070	0.065	5.286	0.031	0.001	0.297	0.011	0.186	0.000	0.156	0.000	4.294	0.000	0.000	0.172	0.000
BEY II	11/11/04	5.791	0.000	5.936	*	0.050	0.000	*	*	0.063	*	5.791	0.029	0.000	0.359	*	0.189	*	0.130	0.000	2.883	*	0.000	0.148	*
BEY III	13/03/04	2.378	0.000	2.023	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	0.097	0.222	2.378	0.033	0.001	0.350	0.021	0.236	0.000	0.035	0.000	4.324	0.000	0.000	0.285	0.000
BEY III	17/04/04	2.800	0.000	2.623	0.000	0.074	0.000	0.000	0.000	0.099	0.165	2.800	0.037	0.000	0.461	0.039	0.267	0.000	0.398	0.000	1.460	0.000	0.000	0.275	0.005
BEY III	29/04/04	2.550	0.000	2.200	0.000	0.070	0.500	0.000	0.000	0.084	0.301	2.050	0.036	0.003	0.475	0.036	0.274	0.000	0.207	0.000	1.485	0.000	0.099	0.264	0.000
BEY III	21/05/04	3.050	*	2.600	0.000	0.150	0.000	0.000	0.021	*	0.256	3.050	0.026	*	0.576	0.028	0.239	0.000	*	*	*	0.000	*	0.262	0.000
Bygi	03/05/03	0.152	0.000	0.388	0.000	0.695	0.000	0.000	0.000	0.169	0.040	0.152	0.284	0.001	0.125	0.000	0.098	0.000	0.662	-	2.095	0.000	0.000	0.136	yüksek
Bygi	04/07/03	0.386	0.000	0.523	0.000	0.301	0.000	0.021	0.000	0.000	0.054	0.386	0.095	0.000	0.145	0.118	0.132	0.000	0.174	0.000	0.000	0.000	0.000	0.302	4.104
Bygi	07/08/03	0.347	0.000	0.531	0.000	0.222	0.000	0.000	0.124	0.525	0.129	0.347	0.091	0.000	0.143	0.253	0.153	0.033	2.910	0.000	4.542	0.000	0.049	0.433	1.300
Bygi	10/09/03	*	-	0.443	-	*	*	-	-	-	-	*	0.027	0.000	0.083	-	0.096	-	1.982	-	-	-	-	*	-
Bygi	10/10/03	0.248	0.000	0.225	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.248	0.016	0.000	0.030	0.030	0.028	0.000	0.635	0.000	0.339	0.000	0.000	0.044	3.163
Bygi	01/11/03	0.099	0.000	0.158	0.000	0.047	0.000	0.000	0.009	0.039	0.083	0.099	0.013	0.000	0.019	0.025	0.050	0.000	0.197	0.000	1.105	0.000	0.000	0.112	yüksek
BygiK	01/11/03	0.149	0.000	0.067	0.000	0.042	0.000	0.000	0.014	0.000	0.083	0.149	0.039	0.000	0.009	0.019	0.079	0.000	0.351	0.000	1.172	0.000	0.000	0.022	0.046
Bygi	11/12/03	0.048	0.000	0.022	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.056	0.049	0.048	0.001	0.000	0.001	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.834	0.000	0.000	0.012	yuksek
BygiK	11/12/03	0.048	0.000	0.041	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.048	0.002	0.000	0.003	0.000	0.006	0.000	0.166	0.000	0.736	0.000	0.000	0.279	0.069
Bygi	10/01/04	0.048	0.000	0.081	0.000	0.017	0.000	0.000	0.017	0.043	0.064	0.048	0.010	0.000	0.007	0.000	0.024	0.000	0.646	0.000	1.698	0.000	0.000	0.308	yuksek
BygiK	10/01/04	0.048	0.000	0.027	0.000	0.017	0.000	0.000	0.020	0.000	0.096	0.048	0.010	0.000	0.005	0.000	0.016	0.000	0.418	0.000	3.618	0.000	0.000	0.024	0.071
Bygi	19.02.04	0.428	0.000	0.127	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.021	0.036	0.428	0.004	0.000	0.011	0.019	0.022	0.000	0.017	0.000	0.999	0.000	0.000	0.174	yüksek
Bygi	13.03.04	0.300	0.000	0.384	0.000	0.093	0.000	0.000	0.000	0.078	0.093	0.300	0.070	0.000	0.056	0.055	0.063	0.000	4.023	0.000	4.271	0.000	0.489	0.352	yüksek
Bygi	18.04.04	0.300	*	0.105	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	*	0.054	0.300	0.020	*	0.020	0.020	0.013	0.000	*	*	*	0.000	*	0.112	yüksek
Bygi	29.04.04	0.500	0.000	0.106	0.000	0.022	0.000	0.000	0.046	0.038	0.245	0.500	0.029	0.000	0.016	0.000	0.012	0.000	6.837	0.017	1.599	0.000	0.401	0.109	0.073
Bygi	22.05.04	0.200	0.000	0.198	0.000	0.028	0.000	0.000	0.012	0.016	0.000	0.200	0.031	0.000	0.012	0.014	0.023	0.000	2.321	0.017	1.513	0.000	0.000	0.096	yüksek
Bygi	27.06.04	1.524	0.000	1.057	0.000	0.422	0.000	0.000	0.077	0.818	0.000	1.524	0.407	0.000	0.312	0.032	0.296	0.000	25.096	0.952	9.946	0.000	4.695	0.982	yüksek
Bygi	27.07.04	1.381	0.000	0.581	0.000	0.145	0.000	0.000	0.036	0.059	0.121	1.381	0.153	0.000	0.084	0.102	0.060	0.000	12.349	0.215	7.168	0.000	0.000	0.303	yüksek
Bygi	11.11.04	5.600	0.000	5.589	*	0.053	1.130	*	*	0.141	*	4.470	0.063	0.000	0.513	*	0.272	*	2.225	1.140	2.989	*	0.000	0.272	*
Dos	05/04/03	2.893	0.000	2.819	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.059	0.509	2.893	0.024	-	0.350	0.033	0.222	0.000	-	0.000	0.803	0.000	0.000	0.416	0.000
Dos	03/05/03	4.010	0.000	4.183	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.052	0.448	4.010	0.035	-	0.325	0.030	0.231	0.000	-	0.000	1.285	0.000	0.000	0.324	0.000

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
Dos	08/06/03	5.838	0.000	5.709	0.000	0.057	0.000	0.000	0.000	0.063	0.200	5.838	0.025	0.001	0.296	0.016	0.159	0.000	0.026	-	2.172	0.000	0.000	0.149	0.022
Dos	13/06/03	6.396	0.000	6.643	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.040	0.141	6.396	0.027	0.002	0.319	0.018	0.174	0.000	0.023	-	1.374	0.000	0.000	0.143	0.008
Dos	21/06/03	7.107	0.114	7.398	0.000	0.064	0.000	0.000	0.000	0.074	0.095	7.107	0.047	0.001	0.339	0.024	0.214	0.000	0.012	-	4.504	0.000	0.000	0.145	0.007
Dos	04/07/03	7.172	0.000	7.497	0.000	0.062	0.472	0.000	0.000	0.082	0.059	6.700	0.028	0.002	0.306	0.026	0.161	0.000	0.051	0.000	3.086	0.000	0.000	0.143	0.015
Dos	08/08/03	7.391	0.000	6.391	0.000	0.065	0.773	0.000	0.000	0.056	0.124	6.618	0.022	0.000	0.309	0.023	0.197	0.000	0.333	0.000	3.833	0.000	0.000	0.138	0.000
Dos	10/09/03	7.030	0.000	6.327	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.032	0.057	7.030	0.017	0.000	0.298	0.036	0.136	0.046	0.052	0.066	3.844	0.000	0.000	0.132	0.020
Dos	10/10/03	7.673	0.000	7.781	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.074	7.673	0.061	0.001	0.344	0.034	0.217	0.000	0.345	0.000	2.479	0.000	0.000	0.087	0.018
Dos	01/11/03	7.822	0.000	8.197	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.039	0.033	7.822	0.017	0.002	0.321	0.021	0.142	0.000	0.132	0.000	3.266	0.000	0.000	0.112	0.014
Dos	11/12/03	8.119	0.000	8.389	0.000	0.065	0.000	0.000	0.000	0.034	0.109	8.119	0.030	0.001	0.352	0.019	0.188	0.000	0.441	0.000	3.766	0.000	0.000	0.121	0.017
Dos	11/01/04	2.569	0.000	2.206	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000	0.029	0.234	2.569	0.050	0.000	0.422	0.013	0.476	0.000	0.035	0.000	9.581	0.000	0.000	0.547	0.021
Dos	19/02/04	2.426	0.000	2.383	0.000	0.065	0.000	0.000	0.013	0.040	0.103	2.426	0.047	0.000	0.334	0.009	0.295	0.000	0.160	0.000	3.831	0.000	0.000	0.526	0.013
Dos	13/03/04	2.473	0.000	2.396	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.035	0.393	2.473	0.027	0.000	0.297	0.017	0.206	0.000	0.027	0.000	3.376	0.000	0.099	0.425	0.000
Dos	18/04/04	4.000	0.320	3.724	0.000	0.047	0.000	0.000	0.000	0.030	0.189	4.000	0.032	0.000	0.312	0.024	0.199	0.000	0.300	0.000	2.270	0.000	0.034	0.238	0.014
Dos	29/04/04	4.100	0.000	4.063	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.080	0.292	4.100	0.022	0.000	0.337	0.028	0.220	0.000	0.212	0.000	1.337	0.000	0.000	0.303	0.000
Dos	22/05/04	5.200	*	4.888	0.000	0.150	0.000	0.000	0.000	*	0.293	5.200	0.016	*	0.411	0.026	0.205	0.000	*	*	*	0.000	*	0.243	0.007
Dos	27/06/04	4.250	0.000	4.023	0.000	0.063	0.000	0.000	0.000	0.046	1.184	4.250	0.065	0.000	0.328	0.089	0.214	0.000	0.580	0.000	1.416	0.000	0.000	0.165	0.000
Dos	26/07/04	6.229	0.000	6.552	0.000	0.066	0.800	0.000	0.000	0.054	0.143	5.429	0.039	0.000	0.324	0.020	0.192	0.000	0.358	0.000	3.696	0.000	0.000	0.165	0.005
Dos	27/08/04	6.762	0.000	6.439	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.032	0.030	6.762	0.029	0.000	0.344	0.000	0.181	0.000	0.105	0.000	4.234	0.000	0.000	0.155	0.026
Dos	25/09/04	6.762	0.000	6.738	0.000	0.086	0.000	0.000	0.000	0.042	0.052	6.762	0.030	0.000	0.340	0.010	0.231	0.000	0.149	0.000	4.535	0.000	0.000	0.147	0.000
Dos	11/11/04	7.874	0.000	7.989	*	0.061	0.000	*	*	0.028	*	7.874	0.028	0.000	0.346	*	0.164	*	0.239	0.000	3.808	*	0.000	0.133	*
Dud	20/06/03	2.081	0.000	1.601	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.122	0.032	2.081	0.029	0.004	0.294	0.000	0.330	0.000	0.012	-	0.781	0.000	0.000	0.239	0.000
Dud	04/07/03	2.123	0.000	1.629	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.107	0.039	2.123	0.029	0.004	0.300	0.000	0.301	0.000	0.051	0.000	0.775	0.000	0.000	0.261	0.000
Dud	09/08/03	1.981	0.000	1.598	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.117	0.070	1.981	0.019	0.000	0.282	0.007	0.269	0.000	0.079	0.000	0.791	0.000	0.000	0.245	0.000
Dud	02/11/03	2.178	0.000	1.994	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.099	0.045	2.178	0.030	0.003	0.330	0.014	0.318	0.000	0.041	0.000	2.129	0.000	0.000	0.256	0.005
Dud	11/12/03	2.178	0.000	1.877	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.094	0.080	2.178	0.031	0.003	0.334	0.008	0.324	0.000	0.305	0.000	1.215	0.000	0.000	0.285	0.030
Dud	11/01/04	2.188	0.000	1.658	0.000	0.047	0.000	0.000	0.000	0.060	0.077	2.188	0.046	0.005	0.326	0.006	0.468	0.000	0.049	0.000	5.050	0.000	0.000	0.241	0.023
Dud	19/02/04	1.902	0.000	1.345	0.000	0.053	0.000	0.000	0.010	0.130	0.044	1.902	0.050	0.002	0.267	0.011	0.485	0.000	0.000	0.000	5.319	0.000	0.000	0.292	0.000
Dud	13/03/04	1.189	0.000	1.090	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.094	0.053	1.189	0.026	0.000	0.213	0.019	0.250	0.000	0.039	0.000	3.864	0.000	0.000	0.259	0.000
Dud	17/04/04	1.650	0.000	1.404	0.000	0.055	0.000	0.000	0.000	0.095	0.000	1.650	0.022	0.003	0.272	0.000	0.290	0.000	0.280	0.000	1.894	0.000	0.000	0.269	0.000
Dud	29/04/04	1.550	0.000	1.374	0.000	0.057	0.000	0.000	0.000	0.071	0.022	1.550	0.019	0.000	0.282	0.000	0.292	0.000	0.182	0.000	1.626	0.000	0.048	0.264	0.000
Dud	21/05/04	1.600	*	1.563	0.000	0.150	0.000	0.000	0.000	*	0.000	1.600	0.015	*	0.350	0.000	0.261	0.000	*	*	*	0.000	*	0.267	0.000
Dud	26/06/04	1.900	0.000	1.671	0.000	0.057	0.000	0.000	0.000	0.093	0.027	1.900	0.026	0.002	0.336	0.000	0.323	0.000	0.267	0.000	0.701	0.000	0.000	0.263	0.000

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
Dud	26/07/04	1.905	0.000	1.671	0.000	0.062	0.000	0.000	0.000	0.153	0.000	1.905	0.027	0.005	0.312	0.010	0.323	0.000	0.281	0.000	0.689	0.000	0.000	0.267	0.000
Dud	27/08/04	2.000	0.000	1.809	0.000	0.053	0.000	0.000	0.000	0.109	0.030	2.000	0.025	0.000	0.332	0.000	0.314	0.000	0.041	0.000	0.731	0.000	0.000	0.253	0.000
Dud	25/09/04	2.000	0.000	1.815	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	0.130	0.014	2.000	0.027	0.001	0.307	0.010	0.364	0.000	0.076	0.000	1.179	0.000	0.000	0.269	0.000
Dud	11/11/04	2.043	0.000	1.849	*	0.055	0.000	*	*	0.175	*	2.043	0.026	0.000	0.309	*	0.305	*	0.199	0.000	0.823	*	0.000	0.271	*
Nar	05/04/03	6.294	0.000	6.088	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.051	0.047	6.294	0.013	-	0.206	0.012	0.061	0.000	-	0.000	3.511	0.000	0.000	0.133	0.000
Nar	04/05/03	6.091	0.000	5.774	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.047	0.064	6.091	0.033	-	0.161	0.000	0.086	0.000	-	0.000	2.866	0.000	0.000	0.152	0.000
Nar	08/06/03	6.244	0.000	6.749	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.065	0.044	6.244	0.020	0.001	0.180	0.013	0.082	0.000	0.044	-	3.162	0.000	0.000	0.124	0.008
Nar	13/06/03	6.294	0.000	6.790	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.060	0.043	6.294	0.026	0.006	0.196	0.012	0.097	0.000	0.080	-	2.435	0.000	0.000	0.115	0.010
Nar	20/06/03	7.056	0.000	7.136	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.066	0.038	7.056	0.033	0.002	0.199	0.010	0.103	0.000	0.013	-	3.377	0.000	0.000	0.117	0.010
Nar	04/07/03	6.509	0.000	6.808	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.097	0.054	6.509	0.027	0.002	0.189	0.013	0.102	0.000	0.148	0.000	3.410	0.000	0.000	0.113	0.011
Nar	07/08/03	6.232	0.000	5.915	0.000	0.061	0.000	0.000	0.000	0.067	0.118	6.232	0.026	0.000	0.194	0.019	0.108	0.000	0.303	0.000	3.883	0.000	0.000	0.109	0.129
Nar	11/01/04	6.373	0.000	6.280	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.042	0.068	6.373	0.027	0.000	0.225	0.007	0.156	0.000	0.000	0.000	4.170	0.000	0.000	0.135	0.014
Nar	19/02/04	6.563	0.000	7.017	0.000	0.044	0.000	0.000	0.013	0.030	0.030	6.563	0.031	0.001	0.197	0.000	0.126	0.000	0.011	0.000	4.366	0.000	0.099	0.177	0.005
Nar	13/03/04	6.468	0.000	6.769	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.045	0.044	6.468	0.016	0.000	0.162	0.010	0.075	0.000	0.000	0.000	3.378	0.000	0.000	0.165	0.000
Nar	17/04/04	6.250	0.097	6.287	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.043	0.012	6.250	0.016	0.000	0.213	0.007	0.079	0.000	0.291	0.000	3.911	0.000	0.000	0.140	0.010
Nar	29/04/04	6.850	0.000	6.898	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.016	0.040	6.850	0.018	0.001	0.225	0.009	0.085	0.000	0.161	0.000	3.679	0.000	0.024	0.130	0.000
Nar	22/05/04	6.350	*	6.003	0.000	0.150	0.000	0.000	0.012	*	0.084	6.350	0.011	*	0.288	0.015	0.091	0.000	*	*	*	0.000	*	0.151	0.007
Nar	26/06/04	6.100	0.000	6.639	0.000	0.039	0.000	0.000	0.014	0.047	0.210	6.100	0.018	0.000	0.185	0.025	0.081	0.000	0.047	0.000	3.485	0.000	0.000	0.142	0.000
Nar	26/07/04	6.190	0.000	6.483	0.000	0.058	0.000	0.000	0.000	0.069	0.000	6.190	0.019	0.001	0.207	0.009	0.111	0.000	0.072	0.000	3.766	0.000	0.000	0.133	0.005
Nar	27/08/04	5.857	0.000	5.585	0.000	0.041	0.000	0.000	0.010	0.061	0.049	5.857	0.019	0.000	0.227	0.000	0.152	0.000	0.013	0.000	3.089	0.000	0.000	0.131	0.018
Sar	13/06/03	6.294	0.000	6.574	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.041	0.075	6.294	0.014	0.003	0.221	0.011	0.118	0.000	0.033	-	0.210	0.000	0.000	0.202	0.018
Sar	21/06/03	7.919	0.000	8.050	0.000	0.048	0.000	0.000	0.000	0.068	0.051	7.919	0.029	0.002	0.231	0.000	0.152	0.000	0.008	-	0.509	0.000	0.000	0.202	0.012
Sar	04/07/03	7.405	0.000	7.975	0.000	0.054	0.000	0.000	0.000	0.071	0.076	7.405	0.020	0.004	0.235	0.013	0.145	0.000	0.087	0.000	0.409	0.000	0.000	0.205	0.010
Sar	08/08/03	5.169	0.000	5.077	0.000	0.058	0.000	0.000	0.000	0.084	0.084	5.169	0.019	0.000	0.236	0.021	0.166	0.000	0.205	0.000	0.000	0.000	0.000	0.196	0.000
Sar	10/09/03	5.842	0.000	5.153	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	0.065	0.053	5.842	0.018	0.003	0.218	0.000	0.165	0.074	0.256	0.000	0.209	0.000	0.000	0.191	0.080
Sar	10/10/03	6.931	0.000	7.337	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.204	6.931	0.014	0.002	0.239	0.059	0.122	0.000	0.255	0.000	0.000	0.000	0.000	0.139	0.019
Sar	01/11/03	7.574	0.000	7.789	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.055	0.122	7.574	0.017	0.002	0.243	0.047	0.121	0.000	0.035	0.000	n.a.	0.000	0.000	0.163	0.009
Sar	11/12/03	7.030	0.000	7.560	0.000	0.047	0.000	0.000	0.013	0.035	0.324	7.030	0.013	0.002	0.235	0.098	0.134	0.000	0.083	0.000	0.035	0.000	0.000	0.198	0.028
Sar	11/01/04	7.086	0.000	7.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.053	0.041	7.086	0.058	0.003	0.261	0.010	0.402	0.000	0.011	0.000	0.225	0.000	0.000	0.170	0.017
Sar	19/02/04	6.658	0.000	7.067	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000	0.069	0.034	6.658	0.040	0.001	0.208	0.008	0.340	0.000	0.006	0.000	1.078	0.000	0.000	0.231	0.010
Sar	13/03/04	6.468	0.000	6.906	0.000	0.059	0.000	0.000	0.000	0.067	0.054	6.468	0.020	0.000	0.241	0.009	0.111	0.000	0.094	0.000	1.083	0.000	0.000	0.232	0.000
Sar	18/04/04	6.350	0.000	6.387	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.031	0.046	6.350	0.017	0.001	0.221	0.012	0.127	0.000	0.266	0.000	1.016	0.000	0.000	0.209	0.007

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
Sar	29/04/04	7.200	0.000	7.816	0.000	0.053	0.000	0.000	0.000	0.041	0.225	7.200	0.017	0.004	0.234	0.037	0.127	0.000	0.151	0.000	1.222	0.000	0.095	0.235	0.007
Sar	22/05/04	7.250	*	6.744	0.000	0.150	0.000	0.000	0.021	*	0.000	7.250	0.009	*	0.329	0.012	0.126	0.000	*	*	*	0.096	*	0.325	0.008
Sar	27/06/04	7.700	0.000	7.904	0.000	0.054	0.000	0.000	0.012	0.057	0.023	7.700	0.021	0.000	0.262	0.010	0.166	0.000	0.306	0.000	0.487	0.000	0.000	0.211	0.000
Sar	26/07/04	7.014	0.000	7.110	0.000	0.065	1.300	0.000	0.000	0.064	0.047	5.714	0.021	0.000	0.253	0.021	0.170	0.000	0.212	0.000	0.310	0.000	0.000	0.211	0.000
Sar	27/08/04	5.143	0.000	4.542	0.000	0.057	0.000	0.000	0.000	0.041	0.083	5.143	0.018	0.000	0.249	0.000	0.153	0.000	0.059	0.000	0.179	0.000	0.000	0.206	0.006
Sar	25/09/04	5.429	0.000	5.398	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.061	0.081	5.429	0.033	0.000	0.269	0.030	0.237	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.207	0.000
Sar	11/11/04	6.922	0.000	7.171	*	0.055	0.000	*	*	0.103	*	6.922	0.022	0.002	0.240	*	0.128	*	0.195	0.000	0.000	*	0.000	0.190	*
Suu	11/01/04	5.232	0.000	5.327	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.040	0.065	5.232	0.033	0.000	0.208	0.000	0.192	0.000	0.000	0.000	4.190	0.000	0.000	0.130	0.004
Suu	19/02/04	6.373	0.000	6.879	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.064	0.038	6.373	0.023	0.000	0.197	0.009	0.167	0.000	0.005	0.000	3.999	0.000	0.075	0.167	0.012
Suu	13/03/04	6.278	0.000	6.442	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.050	0.030	6.278	0.020	0.000	0.185	0.014	0.099	0.000	0.036	0.000	3.315	0.000	0.070	0.173	0.000
Suu	17/04/04	5.750	0.000	5.888	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.021	0.046	5.750	0.022	0.000	0.221	0.009	0.100	0.000	0.439	0.000	3.392	0.000	0.000	0.133	0.000
Suu	29/04/04	5.750	0.000	6.198	0.000	0.040	0.000	0.000	0.000	0.048	0.054	5.750	0.022	0.002	0.235	0.012	0.095	0.000	0.140	0.000	3.686	0.000	0.000	0.143	0.000
Suu	22/05/04	5.650	*	5.951	0.000	0.200	0.000	0.000	0.013	*	0.041	5.650	0.010	*	0.329	0.016	0.065	0.000	*	*	*	0.112	*	0.262	0.008
Suu	26/06/04	5.650	0.000	5.907	0.000	0.039	0.000	0.000	0.012	0.028	0.210	5.650	0.017	0.000	0.180	0.053	0.080	0.000	0.067	0.000	3.693	0.000	0.000	0.147	0.000
Suu	26/07/04	5.143	0.000	5.404	0.000	0.048	1.000	0.000	0.000	0.142	0.029	4.143	0.019	0.000	0.206	0.000	0.107	0.000	0.964	0.000	3.549	0.000	0.000	0.133	0.000
Suu	27/08/04	3.667	0.000	3.600	0.000	0.040	0.000	0.000	0.018	0.059	0.050	3.667	0.015	0.002	0.199	0.000	0.121	0.000	0.003	0.000	3.110	0.000	0.000	0.133	0.011
Sygi	03/05/03	0.152	0.000	0.363	0.000	0.668	0.000	0.000	0.000	0.057	0.000	0.152	0.268	0.000	0.129	0.000	0.088	0.000	0.868	-	1.905	0.000	0.000	0.130	yüksek
Sygi	07/08/03	0.446	0.000	0.534	0.000	0.158	0.000	0.000	0.028	0.223	0.033	0.446	0.088	0.000	0.096	0.055	0.060	0.000	1.651	0.000	5.500	0.000	0.000	0.232	3.166
Sygi	10/09/03	*	-	0.309	-	*	*	-	-	-	-	*	0.133	0.000	0.110	-	0.078	-	19.548	-	-	-	-	*	-
Sygi	10/10/03	0.248	0.000	0.191	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.248	0.041	0.000	0.027	0.027	0.023	0.000	6.909	0.000	0.425	0.000	0.438	0.046	2.962
Sygi	01/11/03	0.149	0.000	0.391	0.000	0.108	0.000	0.000	0.010	0.025	0.167	0.149	0.104	0.000	0.028	0.033	0.069	0.000	2.319	0.000	1.760	0.000	0.000	0.321	yüksek
SygiK		0.099	0.000	0.064	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.076	0.099	0.016	0.000	0.004	0.020	0.030	0.000	0.191	0.000	0.543	0.000	0.000	0.018	0.149
Sygi	19.02.04	0.476	0.000	0.209	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.146	0.258	0.476	0.007	0.000	0.086	0.030	0.057	0.000	0.248	0.000	1.855	0.000	0.000	0.228	yüksek
Sygi	13.03.04	0.150	0.000	0.324	0.000	0.057	0.000	0.000	0.000	0.053	0.177	0.150	0.034	0.000	0.029	0.053	0.043	0.000	2.958	0.033	4.248	0.000	0.000	0.454	yüksek
Sygi	22.05.04	0.250	0.000	0.103	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.250	0.046	0.000	0.020	0.009	0.029	0.000	4.175	0.007	1.859	0.000	0.482	0.076	yüksek
Sygi	27.06.04	0.476	0.000	0.306	0.000	0.076	0.000	0.000	0.000	0.453	0.206	0.476	0.029	0.008	0.101	0.035	0.066	0.000	1.385	0.000	3.432	0.000	0.000	0.170	yüksek
Sygi	27.07.04	2.238	0.000	2.411	0.000	0.061	0.000	0.000	0.030	0.068	0.763	2.238	0.233	0.001	0.106	0.800	0.024	0.000	0.015	0.472	2.123	0.000	0.589	0.237	yüksek
Toz I	04/04/03	1.218	0.000	0.948	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.071	0.486	1.218	0.018	-	0.197	0.043	0.231	0.000	-	0.000	0.398	0.000	0.000	0.213	0.008
Toz I	03/05/03	1.421	0.000	0.970	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.077	1.088	1.421	0.026	-	0.233	0.222	0.250	0.000	-	0.000	1.077	0.000	0.000	0.147	0.000
Toz I	07/06/03	2.284	0.000	1.956	0.000	0.035	0.000	0.000	0.000	0.087	1.402	2.284	0.030	0.001	0.311	0.245	0.250	0.000	0.051	-	1.118	0.000	0.000	0.123	0.010
Toz I	11/12/03	2.426	0.000	2.322	0.000	0.068	0.000	0.000	0.000	0.054	0.288	2.426	0.045	0.001	0.287	0.120	0.289	0.000	0.271	0.000	0.355	0.000	0.000	0.225	0.007

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
Toz I	10/01/04	1.427	0.000	0.949	0.000	0.066	0.000	0.000	0.000	0.027	0.223	1.427	0.064	0.004	0.230	0.014	0.601	0.000	0.000	0.000	6.219	0.000	0.000	0.295	0.024
Toz I	19.02.04	1.237	0.000	0.735	0.000	0.055	0.000	0.000	0.013	0.082	0.175	1.237	0.046	0.000	0.178	0.019	0.540	0.000	0.000	0.000	2.886	0.000	0.069	0.267	0.005
Toz I	13.03.04	0.856	0.000	0.733	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.059	0.401	0.856	0.027	0.001	0.195	0.033	0.266	0.000	0.090	0.000	1.928	0.000	0.043	0.224	0.000
Toz I	18.04.04	1.650	0.000	1.136	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.016	0.981	1.650	0.023	0.000	0.259	0.246	0.269	0.000	0.406	0.000	0.406	0.000	0.000	0.172	0.007
Toz I	29.04.04	1.450	0.000	1.163	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.027	0.740	1.450	0.019	0.007	0.275	0.161	0.275	0.000	0.225	0.000	0.544	0.000	0.000	0.155	0.000
Toz I	22.05.04	1.850	*	1.432	0.000	0.150	0.000	0.000	0.021	*	1.567	1.850	0.014	*	0.370	0.218	0.283	0.000	*	*	*	0.000	*	0.160	0.000
Toz I	27.06.04	2.300	0.000	1.735	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.085	1.025	2.300	0.027	0.000	0.370	0.071	0.298	0.000	0.199	0.000	0.122	0.000	0.000	0.077	0.000
Toz I	27.07.04	4.571	0.000	4.027	0.000	0.109	1.000	0.000	0.000	0.188	1.433	3.571	0.069	0.000	0.450	1.778	0.292	0.000	0.517	0.000	0.574	0.000	0.000	0.086	0.005
Toz II	04/04/03	1.015	0.000	1.168	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.082	0.463	1.015	0.025	-	0.518	0.043	0.296	0.000	-	0.000	0.416	0.000	0.000	0.933	0.007
Toz II	03/05/03	1.320	0.000	1.142	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.085	1.387	1.320	0.021	-	0.569	0.196	0.277	0.000	-	0.065	1.876	0.000	0.000	0.735	0.000
Toz II	10/01/04	1.332	0.000	1.327	0.000	0.080	0.000	0.000	0.000	0.074	0.155	1.332	0.050	0.000	0.610	0.017	0.488	0.000	0.032	0.000	13.696	0.000	0.041	0.931	0.028
Toz II	19.02.04	1.427	0.000	1.041	0.000	0.065	0.000	0.000	0.014	0.045	0.109	1.427	0.069	0.004	0.500	0.019	0.714	0.000	0.042	0.000	4.644	0.000	0.000	0.950	0.005
Toz II	13.03.04	0.761	0.000	0.742	0.000	0.053	0.000	0.000	0.000	0.042	0.358	0.761	0.025	0.001	0.389	0.024	0.246	0.000	0.082	0.000	4.717	0.000	0.000	0.697	0.000
Toz II	18.04.04	1.600	0.000	1.284	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.057	1.793	1.600	0.028	0.001	0.507	0.333	0.300	0.000	0.341	0.000	0.924	0.000	0.000	0.574	0.007
Toz II	29.04.04	1.350	0.000	1.271	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.056	1.016	1.350	0.028	0.000	0.628	0.201	0.305	0.000	0.156	0.000	0.419	0.000	0.047	0.689	0.006
Toz II	22.05.04	1.750	*	1.427	0.000	0.150	0.000	0.000	0.000	*	1.803	1.750	0.018	*	0.617	0.227	0.305	0.000	*	*	*	0.000	*	0.601	0.000
Toz II	27.06.04	1.800	0.000	1.403	0.000	0.033	0.000	0.000	0.000	0.096	1.567	1.800	0.066	0.000	0.535	0.169	0.296	0.000	0.300	0.000	0.103	0.000	0.096	0.395	0.000
Tygi	03/05/03	0.152	0.000	0.356	0.000	0.657	0.000	0.000	0.000	0.082	0.000	0.152	0.194	0.001	0.133	0.000	0.099	0.000	1.066	-	0.000	0.000	0.000	0.052	yüksek
Tygi	07/08/03	2.772	11.299	*	0.000	1.173	0.000	0.000	0.058	0.000	0.026	2.772	*	*	*	0.057	*	0.029	*	0.586	32.844	0.000	0.000	1.715	4.346
Tygi	10/09/03	*	-	0.528	-	*	*	-	-	-	-	*	0.361	0.000	0.272	-	0.139	-	23.251	-	-	-	-	*	-
Tygi	10/10/03	0.297	0.000	0.243	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.024	0.000	0.297	0.057	0.000	0.033	0.026	0.040	0.000	8.324	0.000	0.526	0.000	0.000	0.054	4.192
Tygi	01/11/03	0.099	0.000	0.228	0.000	0.150	0.000	0.000	0.021	0.125	0.294	0.099	0.191	0.000	0.088	0.040	0.095	0.000	11.558	0.327	1.950	0.000	0.325	0.418	yüksek
TygiK	01/11/03	0.099	0.000	0.037	0.000	0.030	0.000	0.000	0.011	0.000	0.059	0.099	0.025	0.000	0.006	0.014	0.054	0.000	0.200	0.000	0.795	0.000	0.000	0.017	0.068
Tygi	11/12/03	0.048	0.000	0.036	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.038	0.559	0.048	0.004	0.000	0.004	0.051	0.009	0.000	3.427	0.000	0.783	0.000	0.000	0.015	yuksek
TygiK	11/12/03	0.048	0.000	0.088	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.014	0.092	0.048	0.016	0.000	0.018	0.000	0.007	0.000	0.185	0.000	1.496	0.000	0.129	0.312	0.086
Tygi	10/01/04	0.048	0.000	0.030	0.000	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.196	0.048	0.001	0.000	0.003	0.000	0.008	0.000	0.069	0.000	1.314	0.000	0.310	0.370	yuksek
TygiK	10/01/04	0.095	0.000	0.052	0.000	0.010	0.000	0.000	0.016	0.000	0.056	0.095	0.037	0.001	0.013	0.000	0.013	0.000	0.865	0.000	0.493	0.000	0.000	0.007	0.036
Tygi	19.02.04	0.380	0.000	0.280	0.000	0.072	0.000	0.000	0.000	0.047	0.174	0.380	0.016	0.000	0.109	0.026	0.080	0.000	0.795	0.000	2.822	0.000	0.149	0.386	yüksek
Tygi	13.03.04	0.200	0.000	0.394	0.000	0.088	0.000	0.000	0.000	0.073	0.624	0.200	0.013	0.000	0.023	0.063	0.036	0.000	1.319	0.041	5.663	0.000	0.036	0.593	yüksek
Tygi	18.04.04	0.300	*	0.083	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	*	0.134	0.300	0.016	*	0.019	0.021	0.039	0.000	*	*	*	0.000	*	0.194	yüksek
Tygi	29.04.04	0.300	0.000	0.098	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.036	0.068	0.300	0.004	0.000	0.007	0.000	0.006	0.000	0.621	0.020	1.440	0.000	0.185	0.151	0.003
Tygi	22.05.04	0.100	0.000	0.133	0.000	0.018	0.000	0.000	0.000	0.012	0.108	0.100	0.010	0.000	0.011	0.010	0.009	0.000	1.729	0.000	1.276	0.000	0.130	0.116	yüksek

Ek 1: HBKS kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları (Nisan 2003 – Kasım 2004)

Ad	Tarih	Alk	Br	Ca	Cd	Cl	CO3	Cr	Cu	F	Fe	HCO3	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	NH4	NO2	NO3	Pb	PO4	SO4	Zn
		meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	ppm	meq/l	ppm	meq/l	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	ppm
Tygi	27.06.04	0.429	0.000	0.468	0.000	0.152	0.000	0.000	0.011	0.060	0.459	0.429	0.153	0.000	0.051	0.152	0.060	0.000	1.351	0.013	6.629	0.000	0.000	0.219	yüksek
Ygi	21.04.04	1.200	0.000	0.977	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.046	0.093	1.200	0.222	0.001	0.055	0.031	0.171	0.000	3.364	0.473	0.143	0.000	0.110	0.064	yüksek
Ygi	28.04.04	1.000	0.000	1.026	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.024	0.093	1.000	0.013	0.001	0.039	0.000	0.016	0.000	0.781	0.026	0.711	0.000	0.000	0.023	yüksek
ALF	04/04/03	4.061	0.000	3.817	0.000	0.037	0.000	0.000	0.000	0.099	0.039	4.061	0.010	-	0.692	0.010	0.091	0.000	-	0.000	21.420	0.000	0.000	0.279	0.000
ALF	03/05/03	3.604	0.000	3.548	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.081	0.033	3.604	0.025	-	0.153	0.000	0.118	0.000	-	0.000	13.440	0.000	0.000	0.272	0.000
ALİ	02/11/03	4.455	0.000	3.795	0.000	0.031	0.000	0.000	0.000	0.112	0.072	4.455	0.065	0.004	0.424	0.055	0.155	0.000	0.461	0.000	6.591	0.000	0.402	0.215	0.000
AVD	03/05/03	4.568	0.000	3.493	0.000	0.058	0.000	0.000	0.000	0.149	0.201	4.568	0.053	-	1.099	0.000	0.216	0.000	-	0.000	7.211	0.000	0.000	0.318	0.000
AVD	07/08/03	5.072	0.000	4.162	0.000	0.058	0.483	0.000	0.000	0.151	0.079	4.589	0.030	0.000	1.022	0.010	0.179	0.000	0.254	0.000	4.700	0.000	0.000	0.305	0.000
KUT	03/05/03	3.807	0.000	3.389	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.105	0.025	3.807	0.219	-	0.221	0.005	0.165	0.000	-	0.000	0.229	0.000	0.000	0.120	0.000
MAH	12/06/03	6.904	0.000	7.135	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.024	0.029	6.904	0.025	0.001	0.184	0.007	0.086	0.000	0.052	-	1.767	0.000	0.000	0.147	0.000
SOG	03/05/03	4.061	0.000	3.922	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.122	0.023	4.061	0.046	-	0.228	0.000	0.189	0.000	-	0.000	0.659	0.000	0.000	0.265	0.000
YEN	02/11/03	3.911	0.000	3.139	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.082	0.000	3.911	0.012	0.003	0.401	0.022	0.196	0.000	0.237	0.000	4.450	0.000	0.000	0.127	0.000

Beyyayla Düdeni Girişi (BEY I)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
06.04.03	-2.820	-0.240	-0.080	-2.960	-0.980	8.730	-2.560	-9.320	19.380	-0.420
04.05.03	-2.780	0.150	0.300	-2.580	-0.190	8.670	-2.540	-9.410	19.310	-0.540
05.06.03	-2.940	-0.030	0.120	-2.350	-0.590	8.550	-2.700	-9.670	19.080	-0.240
20.06.03	-2.980	0.550	0.700	-2.600	0.580	8.470	-2.750	-9.900	18.950	-1.260
04.07.03	-2.940	0.420	0.570	-2.500	0.190	8.650	-2.700	-9.710	19.290	-0.740
09.08.03	-3.030	0.460	0.610	-2.640	0.140	8.560	-2.790	-9.910	19.080	-0.820
10.09.03	-3.010	0.690	0.840	-2.920	0.670	7.390	-2.770	-9.700	16.750	-2.570
02.11.03	-2.910	0.560	0.710	-2.630	0.280	8.400	-2.660	-9.330	18.740	-0.840
11.12.03	-2.500	-0.180	-0.010	-2.800	-1.120	8.420	-2.250	-9.050	18.720	-0.260
11.01.04	-2.640	-0.210	-0.040	-2.860	-0.980	8.110	-2.390	-9.050	18.090	-0.640
19.02.04	-2.700	0.080	0.240	-3.050	-0.490	8.360	-2.450	-8.650	18.610	-0.910
13.03.04	-2.840	0.170	0.330	-3.290	-0.150	8.480	-2.580	-9.180	18.900	-1.580
17.04.04	-2.760	0.400	0.550	-3.110	0.340	8.640	-2.510	-9.300	19.230	-1.310
29.04.04	-2.830	0.370	0.520	-3.170	0.400	8.530	-2.580	-9.280	19.010	-1.570
21.05.04	-2.739	0.618	0.765	-3.091	1.003	8.486	-2.503	-9.017	18.959	-1.903
26.06.04	-2.948	0.063	0.208	-2.327	-0.192	8.328	-2.722	-9.406	18.656	-0.761
26.07.04	-2.884	0.212	0.359	-2.243	-0.208	8.148	-2.649	-9.524	18.284	-0.724
27.08.04	-2.882	0.364	0.514	-2.426	-0.050	8.035	-2.636	-9.516	18.039	-1.000
25.09.04	-2.990	0.763	0.915	-3.101	0.844	8.289	-2.741	-9.346	18.538	-1.904
11.11.04	-2.992	0.753	0.907	-3.087	0.734	*	-2.737	-9.518	*	*

Beyyayla Kaynağı (BEY II)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
05.06.03	-2.890	-0.010	0.150	-2.350	-0.690	8.520	-2.640	-9.670	18.990	-0.040
13.06.03	-2.910	0.020	0.170	-2.170	-0.690	7.930	-2.650	-9.710	17.810	-0.400
20.06.03	-2.890	0.020	0.180	-2.090	-0.720	7.780	-2.640	-9.670	17.520	-0.420
04.07.03	-2.830	0.100	0.250	-2.100	-0.700	7.330	-2.580	-9.770	16.620	-0.830
09.08.03	-2.820	0.540	0.690	-2.430	0.110	8.030	-2.560	-9.710	18.000	-0.820
10.09.03	-2.800	0.470	0.620	-2.390	-0.030	7.670	-2.550	-9.800	17.270	-1.020
10.10.03	-3.010	0.500	0.660	-2.290	0.000	8.130	-2.750	-9.740	18.190	-0.360
02.11.03	-2.900	0.110	0.260	-2.220	-0.670	7.190	-2.650	-9.410	16.310	-1.080
11.12.03	-2.620	0.100	0.260	-2.510	-0.650	7.920	-2.360	-9.400	17.770	-0.760
13.03.04	-2.590	-0.080	0.080	-2.240	-1.090	7.340	-2.330	-9.510	16.590	-0.680
17.04.04	-2.720	-0.150	0.010	-2.600	-0.920	8.290	-2.460	-9.330	18.500	-0.350
29.04.04	-2.740	-0.280	-0.120	-2.370	-1.110	8.220	-2.490	-9.340	18.380	-0.150
21.05.04	-2.724	0.086	0.238	-2.586	-0.235	8.601	-2.472	-9.045	19.156	-0.447
26.06.04	-2.909	-0.043	0.109	-2.270	-0.605	8.470	-2.659	-9.427	18.898	-0.046
26.07.04	-2.782	-0.411	-0.258	-1.495	-1.731	5.609	-2.529	-9.721	13.165	-1.375
27.08.04	-2.743	-0.276	-0.121	-1.609	-1.521	5.729	-2.489	-9.518	13.400	-1.436
25.09.04	-2.739	0.290	0.445	-2.190	-0.428	7.430	-2.484	-9.609	16.800	-0.875
11.11.04	-2.767	0.565	0.720	-2.360	0.128	*	-2.512	-9.653	*	*

Düden Çeşme (DUD)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
20.06.03	-2.950	-1.020	-0.870	-2.010	-2.480	6.080	-2.700	-9.450	14.120	-1.710
04.07.03	-2.910	-0.960	-0.810	-2.040	-2.350	6.310	-2.660	-9.430	14.580	-1.580
09.08.03	-2.940	-0.790	-0.640	-2.240	-2.010	7.100	-2.690	-9.490	16.170	-1.250
02.11.03	-2.840	-0.990	-0.840	-1.960	-2.500	5.980	-2.590	-9.450	13.900	-1.620
11.12.03	-2.810	-0.830	-0.670	-2.290	-2.270	6.660	-2.550	-9.440	15.230	-1.210
11.01.04	-2.920	-1.180	-1.030	-1.980	-2.930	5.750	-2.670	-9.250	13.430	-1.500
19.02.04	-2.910	-1.200	-1.040	-2.180	-2.960	5.910	-2.660	-9.170	13.720	-1.670
13.03.04	-3.030	-1.040	-0.880	-2.770	-2.600	7.240	-2.770	-9.580	16.410	-1.440
17.04.04	-2.930	-1.220	-1.070	-2.180	-2.960	*	-2.680	-9.390	*	*
29.04.04	-2.950	-1.240	-1.080	-2.220	-2.950	5.770	-2.690	-9.380	13.480	-2.000
21.05.04	-2.904	-1.131	-0.977	-2.204	-2.672	*	-2.650	-9.010	*	*
26.06.04	-2.893	-1.053	-0.902	-2.031	-2.505	5.982	-2.645	-9.348	13.926	-1.830
26.07.04	-2.885	-1.510	-1.360	-1.541	-3.431	*	-2.639	-9.317	*	*
27.08.04	-2.882	-0.944	-0.794	-2.016	-2.294	6.206	-2.638	-9.402	14.384	-1.729
25.09.04	-2.856	-0.230	-0.079	-2.768	-0.920	7.049	-2.609	-9.310	16.065	-2.307
11.11.04	-2.844	-0.270	-0.116	-2.791	-1.070	*	-2.590	-9.382	*	*

Döşkaya Kaynağı (DOS)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
06.04.03	-2.520	-0.580	-0.420	-2.110	-1.880	7.400	-2.260	-9.590	16.720	-0.340
04.05.03	-2.520	-0.470	-0.320	-1.730	-1.830	6.800	-2.260	-9.620	15.550	-0.460
05.06.03	-2.770	-0.260	-0.100	-1.520	-1.580	6.230	-2.520	-9.670	14.400	-0.760
13.06.03	-2.750	-0.110	0.050	-1.540	-1.300	6.240	-2.500	-9.710	14.420	-0.840
20.06.03	-2.720	0.030	0.190	-1.560	-1.050	6.220	-2.470	-9.510	14.380	-0.930
04.07.03	-2.720	0.070	0.230	-1.580	-1.020	-2.470	-22.240	-1.900	-9.640	-43.700
09.08.03	-2.790	0.460	0.610	-1.980	-0.150	7.590	-2.530	-9.530	17.120	-0.500
10.09.03	-2.810	0.240	0.400	-1.820	-0.600	6.870	-2.550	-9.660	15.690	-0.840
10.10.03	-2.930	0.050	0.210	-1.500	-1.030	6.000	-2.680	-9.670	13.950	-1.050
02.11.03	-2.810	0.230	0.380	-1.630	-0.720	6.100	-2.560	-9.810	14.140	-1.260
11.12.03	-2.770	0.120	0.280	-1.510	-0.930	6.220	-2.520	-9.560	14.370	-0.850
11.01.04	-2.480	-1.010	-0.850	-1.930	-2.610	6.200	-2.230	-9.090	14.310	-0.980
19.02.04	-2.460	-0.490	-0.330	-2.480	-1.710	7.310	-2.210	-9.320	16.540	-0.920
13.03.04	-2.550	-0.600	-0.440	-2.320	-1.960	7.570	-2.300	-9.620	17.050	-0.420
17.04.04	-2.680	-0.390	-0.230	-1.890	-1.640	6.800	-2.430	-9.650	15.520	-0.710
29.04.04	-2.550	-0.440	-0.280	-1.780	-1.750	6.710	-2.300	-9.680	15.350	-0.610
21.05.04	-2.606	-0.155	0.000	-1.787	-1.167	7.022	-2.351	-9.141	15.981	-0.437
26.06.04	-2.821	-0.651	-0.496	-1.519	-2.168	6.657	-2.566	-9.495	15.252	-0.201
26.07.04	-2.698	0.725	0.879	-2.407	0.379	8.128	-2.443	-9.537	18.198	-0.690
27.08.04	-2.729	-0.241	-0.087	-1.364	-1.524	5.132	-2.475	-9.526	12.204	-1.634
25.09.04	-2.743	0.690	0.845	-2.290	0.321	7.613	-2.489	-9.344	17.168	-1.013
11.11.04	-2.747	0.661	0.815	-2.078	0.188	*	-2.492	-9.645	*	*

Nardın Kaynağı (NAR)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
06.04.03	-2.81	-0.27	-0.12	-1.32	-1.72	5.47	-2.56	-10.21	12.89	-1.43
04.05.03	-2.76	-0.27	-0.12	-1.39	-1.82	5.68	-2.51	-10.09	13.32	-1.27
05.06.03	-2.81	-0.18	-0.03	-1.35	-1.62	5.61	-2.57	-10.08	13.19	-1.41
13.06.03	-2.85	-0.21	-0.06	-1.32	-1.63	5.52	-2.60	-10.11	13.01	-1.45
20.06.03	-2.83	-0.18	-0.03	-1.23	-1.59	5.35	-2.59	-10.01	12.66	-1.50
04.07.03	-2.85	-0.16	-0.01	-1.32	-1.55	5.71	-2.61	-10.01	13.39	-1.31
11.01.04	-2.80	-0.23	-0.07	-1.35	-1.60	5.71	-2.55	-9.89	13.38	-1.24
19.02.04	-2.650	-0.170	-0.020	-1.350	-1.600	*	-2.400	-9.900	*	-1.580
13.03.04	-2.690	0.080	0.240	-1.650	-1.180	*	-2.430	-10.130	*	-1.180
17.04.04	-2.780	-0.100	0.050	-1.470	-1.370	*	-2.530	-10.080	*	-1.880
29.04.04	-2.790	0.050	0.200	-1.500	-1.070	*	-2.550	-10.080	*	-2.260
21.05.04	-2.765	0.082	0.232	-1.666	-0.850	6.743	-2.517	-9.511	15.450	-0.871
26.06.04	-2.755	-0.186	-0.035	-1.408	-1.632	6.302	-2.506	-10.144	14.563	-0.733
26.07.04	-2.792	-0.676	-0.527	-0.869	-2.525	*	-2.547	-9.845	*	*
27.08.04	-2.838	-0.511	-0.361	-1.143	-2.098	4.981	-2.592	-9.853	11.930	-1.601

Sarıkaya Kaynağı (SAR)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
13.06.03	-2.610	0.510	0.660	-2.170	-0.220	7.580	-2.350	-9.880	17.100	-0.780
20.06.03	-2.560	0.680	0.840	-2.080	0.060	7.400	-2.310	-9.780	16.750	-0.880
04.07.03	-2.550	0.650	0.810	-2.110	0.010	7.580	-2.300	-9.750	17.100	-0.730
09.08.03	-2.690	0.420	0.570	-2.290	-0.230	7.740	-2.440	-9.650	17.440	-0.890
10.09.03	-2.700	0.370	0.520	-2.130	-0.360	7.400	-2.450	-9.670	16.760	-0.980
10.10.03	-2.740	0.730	0.880	-2.280	0.190	-2.490	-23.600	-13.680	18.350	-0.390
02.11.03	-2.670	0.640	0.790	-2.050	0.040	7.760	-2.410	-9.930	17.470	-0.540
11.12.03	-2.570	0.850	1.010	-2.490	0.340	8.580	-2.310	-9.830	19.080	-0.170
11.01.04	-2.670	0.510	0.670	-2.100	-0.210	7.170	-2.410	-9.370	16.270	-0.970
19.02.04	-2.530	0.600	0.750	-2.210	-0.110	*	-2.270	-9.280	16.540	-1.110
13.03.04	-2.530	0.660	0.820	-2.320	0.080	*	-2.280	-9.820	17.190	-0.960
17.04.04	-2.600	0.650	0.800	-2.330	0.070	*	-2.340	-9.840	*	-1.080
29.04.04	-2.500	0.900	1.050	-2.410	0.500	*	-2.240	-9.810	18.670	-0.490
21.05.04	-2.404	0.842	0.997	-2.406	0.600	*	-2.149	-9.363	*	*
26.06.04	-2.549	0.836	0.990	-2.279	0.426	7.290	-2.294	-9.689	16.520	-1.357
26.07.04	-2.573	0.502	0.655	-2.028	-0.196	7.215	-2.319	-9.598	16.377	-0.950
27.08.04	-2.697	0.106	0.259	-2.041	-0.799	7.274	-2.444	-9.688	16.493	-0.801
25.09.04	-2.651	0.460	0.612	-2.267	-0.108	7.724	-2.399	-9.422	17.402	-0.899
11.11.04	-2.622	1.172	1.325	-2.725	1.141	*	-2.369	-9.796	*	*

Su Uçtu (SUU)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
11.01.04	-2.850	0.770	0.930	-2.640	0.400	7.840	-2.600	-9.670	17.630	-1.480
19.02.04	-2.680	0.840	0.990	-2.440	0.410	7.550	-2.430	-9.770	17.060	-1.470
13.03.04	-2.680	0.800	0.950	-2.440	0.330	7.460	-2.430	-9.960	16.870	-1.540
17.04.04	-2.820	0.930	1.080	-2.640	0.740	7.640	-2.570	-10.110	17.250	-1.840
29.04.04	-2.780	0.980	1.130	-2.650	0.850	7.680	-2.530	-10.060	17.330	-1.890
21.05.04	-2.531	1.067	1.218	-2.793	1.193	7.575	-2.284	-9.532	17.117	-2.246
26.06.04	-2.773	0.632	0.783	-2.345	0.046	8.216	-2.524	-10.153	18.393	-0.660
26.07.04	-2.837	0.667	0.817	-2.455	0.240	7.367	-2.592	-9.935	16.704	-1.794
27.08.04	-2.945	0.727	0.874	-2.879	0.573	7.540	-2.710	-9.961	17.068	-2.548

Tozman Düdeni GD Girişi (TOZ I)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
06.04.03	-3.17	-0.95	-0.79	-2.79	-2.32	8.44	-2.92	-9.8	18.84	-0.56
04.05.03	-3.32	-1.04	-0.89	-2.35	-2.3	8.48	-3.09	-9.93	18.95	-0.28
05.06.03	-3.17	-0.12	0.03	-2.72	-0.72	9.04	-2.92	-9.68	20.05	-0.33
11.12.03	-2.83	-0.07	0.09	-2.93	-0.95	8.57	-2.57	-9.29	19.05	-0.49
11.01.04	-3	-1.4	-1.24	-2.49	-3.4	6.72	-2.75	-8.97	15.33	-1.02
19.02.04	-3.14	-1.26	-1.09	-2.85	-3.1	7.52	-2.89	-9.09	16.92	-0.91
13.03.04	-3.22	-1.08	-0.92	-3.26	-2.64	8.62	-2.96	-9.58	19.14	-0.66
17.04.04	-3.21	-0.42	-0.27	-3.03	-1.24	9.03	-2.95	-9.89	20	-0.5
29.04.04	-3.24	-0.52	-0.36	-3.03	-1.42	8.89	-2.98	-10.04	19.73	-0.58
21.05.04	-3.161	-0.099	0.049	-3.013	-0.433	9.078	-2.922	-8.994	20.138	-0.899
26.06.04	-3.409	-0.303	-0.155	-2.519	-0.920	8.784	-3.170	-9.892	19.551	-0.328
26.07.04	-3.119	-0.031	0.120	-1.973	-0.704	8.456	-2.871	-9.133	18.878	0.353

Tozman Düdeni KB Girişi (TOZ II)

Tarih	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Gotit	Jips	Halit	Hematit	Siderit
06.04.03	-2.50	-0.43	-0.27	-3.44	-0.94	8.71	-2.25	-9.51	19.38	-1.50
04.05.03	-2.60	-1.17	-1.02	-2.25	-2.24	8.32	-2.37	-9.75	18.64	-0.20
11.01.04	-2.42	-0.58	-0.42	-3.27	-1.48	8.37	-2.17	-8.99	18.61	-0.90
19.02.04	-2.50	-0.82	-0.65	-3.07	-1.93	7.94	-2.25	-8.91	17.75	-0.97
13.03.04	-2.76	-0.73	-0.57	-3.75	-1.64	8.85	-2.50	-9.46	19.60	-1.35
17.04.04	-2.66	-0.68	-0.53	-2.77	-1.53	9.08	-2.41	-9.60	20.11	0.10
29.04.04	-2.59	-0.65	-0.50	-2.97	-1.40	8.97	-2.34	-9.85	19.87	-0.29
21.05.04	-2.615	-0.447	-0.299	-2.724	-0.906	9.075	-2.376	-8.966	20.131	-0.306
26.06.04	-2.788	-0.741	-0.595	-2.341	-1.519	8.719	-2.556	-9.636	19.431	-0.053

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Harun AYDIN

Doğum Yeri : Erzurum

Doğum Yılı : 1975

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise	1988 – 1991	Horasan Endüstri Meslek Lisesi
Lisans	1991 – 1996	Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996 – 1999	Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi:

1996 – 1997	Çevre Bakanlığı, Denizli İl Çevre Müdürlüğü, Hidrojeoloji Mühendisi
1997 – 1998	Çevre Bakanlığı, Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, Hidrojeoloji Mühendisi
1998 – 2000	Erciyes Üniversitesi, Yozgat Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi
2000 – 2001	Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi
2001 –	Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, Araştırma Görevlisi