

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESKİŞEHİR-SİVRİHİSAR-GÜNYÜZÜ HAVZASI
HİDROJEOLJİSİ VE HİDROJEOKİMYASI**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Muhterem DEMİROĞLU

Anabilim Dalı: JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı: JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ

ŞUBAT 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ESKİŞEHİR-SİVRİHİSAR-GÜNYÜZÜ HAVZASI
HİDROJEOLJİSİ VE HİDROJEOKİMYASI**

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Muhterem DEMİROĞLU
0505022064

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Kasım 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 4 Şubat 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Yüksel ÖRGÜN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mustafa ERDOĞAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Mehmet EKMEKÇİ (H.Ü.)
Doç.Dr.Ali Malik GÖZÜBOL (İ.Ü.)
Yrd. Doç.Dr. Tolga YALÇIN (İ.T.Ü.)

ŞUBAT 2008

ÖNSÖZ

Maden Fakültesi, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği programında hazırlanan bu çalışma ile Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzasının hidrodinamik özelliklerinin, doğal kaynakların sürdürülebilirliği temelinde belirlenmesi hedeflenmiştir.

Sakarya havzası içinde küçük bir alan olmasına rağmen, hem sıcak hem de soğuk yeraltısu kaynaqlarına sahip Günyüzü havzası, Sivrihisar bölgesinin içme, sulama ve endüstriyel su ihtiyacını karşılamaktadır. Havza bugüne kadar hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan yeteri kadar incelenmemiştir. Buradan hareketle Günyüzü havzasının jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve su kimyası verileri toplanmış, sistemli su örnekleme yapılarak hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş ve tüm veriler GIS ortamında değerlendirilerek hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur.

Tez çalışmalarımı yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Yüksel ÖRGÜN'e yardım ve katkıları için çok teşekkür ederim. Tez çalışmalarım süresince yaptıkları yönetsel ve idari katkılarından dolayı Jeoloji Mühendisliği, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı üyelerinin tümüne başta Prof. Dr. Erdoğan YÜZER, Prof. Dr. Mahir VARDAR ve Prof. Dr. Mustafa ERDOĞAN olmak üzere teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmayı, maddi açıdan destekleyen TUBİTAK-ÇAYDAG Başkanlığına, çalışmaya başından sonuna kadar, göstermiş olduğu maddi ve manevi destekten dolayı başta UKAM Müdürü Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ ve birim çalışanlarına, havza genelinde tüm verilerini aktaran, arazi çalışmalarında DSİ imkanlarından yararlanmamıza izin veren DSİ Eskişehir Bölge Müdürlüğü'ne ve DSİ Genel Müdürlüğü-Karst Şube Müdürü Uğur AKDENİZ'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımın başlangıcından sonuna kadar her aşamasında katkıda bulunan Yrd. Doç.Dr. Tolga YALÇIN'a, Yük. Müh. Orhan DUMLU'ya, Dr. Rahmi EYÜBOĞLU'na ve çalışmam esnasında bilgi ve fikirlerini paylaşan Dr. Cenk YALTIRAK'a sayısal arazi modelinin oluşturulmasında gerekli olan topoğrafik verileri ve MTA tarafından yapılan Bouger gravite haritasından yararlanmama imkan sağlayan Jeofizik Yük. Müh. Selim ARSLAN'a ve Dr.Necati TURHAN'a teşekkür ederim. Deneylerime yardım eden ve ince kesitlerimi hazırlayan Yüksel ILGAR ve M.Ali ORAL'ada teşekkür ederim.

Doktora çalışmam esnasında kuyu loglarını sayısal ortama aktarmama ve yazmama yardım eden, varlıklarıyla hep daha iyisini yapma şevki veren sevgili kızlarım Işıl, Başak ve Akanay'a sonsuz teşekkür ederim. Canım annem Yıldız DEMİROĞLU'na, çalışmam sırasında kaybettiğim babam Mehmet DEMİROĞLU'na ve başta ablam Türkan KOLAT olmak üzere aileme ve arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÖZET	xii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması	2
1.2.1 İklim ve bitki örtüsü	4
1.2.2 Sosyo-ekonomik yapı	4
1.3 Çalışma Yöntemleri	4
1.3.1 Hazırlık ve büro çalışmaları	5
1.3.2 Arazi çalışmaları	5
1.3.3 Laboratuvar çalışmaları	6
1.3.4 Değerlendirme çalışmaları	7
1.4 Önceki Çalışmalar	7
2. BÖLGE JEOLJİSİ	15
2.1 İstanbul Zonu	16
2.2 İç-Pontid Kenet Zonu	16
2.3 Sakarya Zonu	16
2.4 Tavşanlı Zonu	17
2.4.1 Ofiyolitik birimler	17
2.4.2 Kretase yığılma karmaşığı	18
2.5 Anadolu-Torit Platformu Metamorfik Birimleri	18
3. JEOLJİ	19
3.1 Stratigrafi	19
3.1.1 Sivrihisar metamorfikleri (Psm)	19
3.1.1.1 Göktepe birimi (Psmg)	22
3.1.1.2 Kertek birimi (Psmk)	23
3.1.1.3 Eryiğit birimi (Psme)	24
3.1.2 Sivrihisar granodiyoriti (Tsg)	26
3.1.3 Miyosen serisi	28
3.1.3.1 Hisar formasyonu (Tmh)	28
3.1.3.2 Çakmak formasyonu (Tmç)	30
3.1.3.2 Mercan formasyonu (Tmm)	31
3.1.4 Kuvaterner çökelleri	32
3.1.4.1 Kepen formasyonu (Plk)	32
3.1.4.2 Traverten (Qtrv)	34
3.1.4.2 Alüvyon (Qal)	34

3.2 Yapısal Jeoloji ve Tektonik	35
3.2.1 Permo-Karbonifer yapıları	35
3.2.2 Eosen ve sonrası yapıları	36
3.2.3 Oligo-Miyosen yapıları	37
3.2.4 Kuvaterner yapıları	42
3.3 Jeolojik Evrim	43
4. JEOMORFOLOJİ	45
4.1 Drenaj Ağı ve Fluviyal Özellikler	47
4.2 Aşınım Yüzeyleri	49
4.2.1 Miyosen	49
4.2.2 Pliyosen	49
4.2.3 Kuvaterner	49
4.3 Karstlaşma ve Karst	49
4.3.1 Karstlaşma ve karst	49
4.3.2 Bölgesel karstlaşma ve karstlaşmayı denetleyen parametreler	50
4.3.3 Gözeneklilik ve geçirimsizlik	52
4.3.4 Süreksizlik özellikleri	53
4.4 Karst Yapıları	
4.4.1 Karen (Lapya-erime oluğu)	54
4.4.2 Düdenler ve dolinler	55
4.4.3 Mağaralar	56
5. HİDROJEOLOJİ	58
5.1 Hidroloji	58
5.1.1 Akarsular	58
5.1.2 Kaynaklar	58
5.1.3 Kuyular	60
5.2 Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi	62
5.2.1 Yağış	62
5.2.2 Buharlaşma - Terleme (ET),	66
5.3 Meteorolojik Su Bütçesi	72
5.4 Yağış ve Akım Arasındaki İlişki	72
5.4.1 Babadat kaynağı(K9)	73
5.4.2 Nasrettin Hoca (Hortu) kaynağı (K8)	73
5.4.3 Çardak Hamamı kaynağı (K7)	74
5.4.4 Atlas kaynağı (K6)	74
5.4.5 Subaşı kaynağı (K5)	75
5.4.6 Yeniçirkı kaynağı (K1)	76
5.5 Akiferler ve Hidrolik Özellikleri	77
5.5.1 Kaynak çekilme analizi	77
5.5.2 Kuyu deneylerinden yararlanarak akifer parametrelerinin belirlenmesi	78
5.5.3 Süzülme katsayısının hesaplanması	79
5.6 Hidrojeolojik Ortamlar	81
5.7 Yeraltısuyu Bütçesi	83
6. HİDROJEOKİMYA	88
6.1 Giriş	88
6.2 Suların Yerinde Ölçülen (in-situ) Parametreleri	89
6.2.1 Sıcaklık (T)	89

6.2.2 İletkenlik (EC) ve Toplam çözülmüş madde (TDS)	91
6.2.3 Çözülmüş oksijen (DO)	92
6.2.4 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve redoks (Eh)	93
6.2.5 Alkalinite ve asidite	94
6.2.6 Toplam sertlik ($^{\circ}\text{F}$)	95
6.3 Suların Anyon ve Katyon Değerleri	96
6.3.1 Kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+})	96
6.3.2 Sodyum (Na^{+}) ve potasyum (K^{+})	98
6.3.3 Bikarbonat (HCO_3^{-})	98
6.3.4 Sülfat (SO_4^{-})	98
6.3.5 Klorür (Cl^{-})	99
6.3.6 Nitrit (NO_2), nitrat (NO_3) ve amonyak (NH_4)	99
6.3.7 Flor (F)	100
6.4 Suların Ana Anyon ve Katyon Değerlerinin Toplam İyon Değerleri ile Karşılaştırılması	101
6.5 Suların İz Element İçerikleri	106
6.6 Suların Kimyasal Bileşiminin Litoloji ile İlişkisi ve Suların Sınıflandırılması	107
6.7 Doygunluk Analizleri	108
6.8 Su Kalitesi	110
6.9 Suların İzotopik Özellikleri	114
6.9.1 Oksijen-18 Döteryum ilişkisi	114
6.9.2 Tritiyum verilerinin değerlendirilmesi	117
7. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ VE HİDROJEOLOJİK MODELLEME	121
7.1 Beslenim	121
7.2 Dolaşım	123
7.2.1 Yeraltısuyu akış tipinin sıcaklıkla belirlenmesi	124
7.2.2 Yeraltısuları dolaşım derinliğinin sıcaklıkla belirlenmesi	125
7.3 Depolama	125
7.4 Boşalım	126
7.5 Kavramsal Hidrojeolojik Model	128
8. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	130
KAYNAKLAR	137
EKLER	144
A-1 Sivrihisar Kayakent Civarının Jeoloji Haritası	144
A-2 Sivrihisar Kayakent Civarının Uydu Görüntüsü	145
A-3 Sivrihisar Kayakent Civarının Sayısal Arazi Modeli	146
A-4 Sivrihisar Kayakent Civarının Hidrojeoloji Haritası	147
A-5 Sondaj kuyu logları	148
B-1 Su örneklerinin 2001-2006 Yılı Fizikokimyasal Parametreleri	171
ÖZGEÇMİŞ	181

KISALTMALAR

α	: Boşalım katsayısı
A	: Mutlak sıcaklıktaki doymuş su buharı ile günlük sıcaklık arasındaki ilişkiyi belirleyen katsayı (boyutsuz)
AB	: Avrupa Birliği
B	: Boltzman katsayısı, mm.su/gün,
CBS	: Coğrafik bilgi sistemleri
cm	: Santimetre
CV	: Değişim katsayısı (Coefficient of Variation, %)
CV_{ca}	: Kalsiyuma ait değişim katsayısı
CV_{ec}	: Elektriksel iletkenlik değişim katsayısı
CV_Q	: Debiye ait değişim katsayısı
ÇAYDAG	: Çevre Atmosfer Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu
DF	: Döteryum fazlası
DO	: Çözülmüş oksijen (mg/l)
DSİ	: Devlet Su İşleri
E	: Günlük potansiyel buharlaşma mm. su/gün
e_a	: Havzanın su buharı basıncı, mm.Hg,
EC	: Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
e_d	: Günlük ortalama sıcaklıktaki havanın doymuş su buharı basıncı, mm.Hg
Eh	: Redox potansiyeli
EİE	: Elektrik İşleri Etüd İdaresi
Ep	: Potansiyel buharlaşma (mm)
ET	: Buharlaşma-terleme (mm)
ETg	: Gerçek buharlaşma-terleme
Fm.	: Formasyon
g_k	: Kuru birim hacim ağırlığı
g_d	: Doymuş birim hacim ağırlığı
İAE	: İzmir-Ankara-Erzincan
İTÜ-BAP	: İstanbul Teknik Üniversitesi-Bilimsel Araştırma Projeleri
K	: Hidrolik iletkenlik (m/gün)
K1	: Yeniçıkırı kaynağı
K2	: Musluk çeşmesi
K3	: Çukurçeşme kaynağı
K4	: 55886/A No'lu kuyu
K5	: Subaşı kaynağı
K6	: Atlas kaynağı
K7	: Çardakhamamı kaynağı
K8	: Nasrettin Hoca (Hortu) kaynağı
K9	: Babadat kaynağı
KAF	: Kuzey Anadolu fayı
Keq	: Termodinamik denge
L	: Türce eşitliğinde sıcaklığa bağlı katsayı

M	: Mermer
m	: Metre
MBR	: Kütlesel beslenim (Mass Block Recharge)
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
n	: Ortalama güneşleme süresi, saat./gün
P	: Sisteme alansal yağış girdisi (mm)
Plk	: Kepen formasyonu
Psm	: Sivrihisar metamorfitleri
Psme	: Eryiğit birimi
Psmg	: Göktepe birimi
Psmk	: Kertek birimi
Q	: Kaynağın kurak dönem sonundaki debisi
Qalv	: Alüvyon
Qmax	: Maksimum debi (l/sn)
Qmin	: Minumum debi (l/sn)
Qo	: Kaynağın yağışlı dönem sonundaki debisi
Qtrv	: Traverten
r :	: Albedo değeri,
R_A :	: Atmosferüstü güneş enerjisi, mm. su/gün,
R_H	: Bağıl nem %,
S	: Depolama katsayısı
s	: Saniye
SD	: Standart sapma
SI	: Doygunluk indisi (Saturation Index)
t	: Kaynağın yıl içinde aktığı gün sayısı
t_g	: Ortalama günlük sıcaklık, °C
T	: Sıcaklık (°C)
TDS	: Toplam çözünmüş madde (mg/l)
Tesg	: Sivrihisar granodiyoriti
TI	: Toplam iyon (meq/l)
Tmç	: Çakmak formasyonu
Tmh	: Hisar formasyonu
Tmm	: Mercan formasyonu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TU	: Tritiyum birimi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
U	: Rüzgar hızı, m/sn,
HÜ-UKAM	: Hacettepe Üniversitesi Karst Su Kaynakaları Uygulama ve Araştırma Merkezi
Vo	: Akiferin depolama hacmi
Vson	: Kaynak azalma sonundaki depolama hacmi
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
ΔT	: Derinliğe bağlı değişen sıcaklık
δ¹⁸O	: ¹⁸ O/ ¹⁶ O izotop oranının standart ortalama okyanus suyu olarak (SMOW) bilinen standarda göre, binde kısım veya ‰ (δ) şeklinde ifadesi
δ²H	: ² H / ¹ H izotop oranının standart ortalama okyanus suyu olarak (SMOW) bilinen standarda göre, binde kısım veya ‰ (δ) şeklinde ifadesi

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1	İnceleme alanındaki temel birimlere ait porozite deneyleri..... 52
Çizelge 5.1	İnceleme alanındaki kaynaklara ait bilgiler..... 60
Çizelge 5.2	İnceleme alanındaki kuyulara ait bilgiler..... 61
Çizelge 5.3	Alansal yağış hesabı..... 65
Çizelge 5.4	Penman yöntemi ile hazırlanmış potansiyel buharlaşma..... 70
Çizelge 5.5	Penman yöntemi ile hazırlanmış meteorolojik su bilançosu 71
Çizelge 5.6	Babadat, Nasrettin H., Atlas, Subaşı, Çardak hamamı, Yeniçıkırı kaynakları boşalım katsayıları ve depolama kapasiteleri..... 77
Çizelge 5.7	Kuyulardan hesaplanan akiferlerin iletkenlik değerleri 78
Çizelge 5.8	Su noktalarının ortalama Cl değerleri (meq/l)..... 80
Çizelge 5.9	Günyüzü havzası yeraltısuyu bütçesi..... 85
Çizelge 6.1	Kurak döneme ait yerinde yapılan ölçümlerin ort. Değerleri..... 90
Çizelge 6.2	Yağışlı döneme ait yerinde yapılan ölçümlerin ort. Değerleri..... 90
Çizelge 6.3	Oksijenin sudaki çözünürlüğü (deniz seviyesinde)..... 92
Çizelge 6.4	Suların sertlik sınıflamalarına örnekler..... 96
Çizelge 6.5	Kurak döneme ait anyon ve katyonlar (meq/l)..... 97
Çizelge 6.6	Yağışlı döneme ait anyon ve katyonlar(meq/l)..... 97
Çizelge 6.7	Mayıs 2006 tarihinde alınan su örn.ağır metal içerikleri..... 106
Çizelge 6.8	Su noktalarının yağışlı dönem doygunluk indeksi analiz sonuçları..... 109
Çizelge 6.9	Su noktalarının kurak dönem doygunluk indeksi analiz sonuçları..... 109
Çizelge 6.10	Türk Standartları (TS -266), Avrupa Birliği (AB) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçmesuyu standartlarının tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri..... 112
Çizelge 6.11	T.C. Çevre Bakanlığı kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (4 Eylül 1988 tarih ve 19919 sayılı Resmi Gazete)..... 113
Çizelge 6.12	Kurak dönem izotop verileri..... 114
Çizelge 6.13	Yağışlı dönem izotop verileri..... 115
Çizelge 6.14	Kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerinden belirlenen ortalama beslenme yükseklikleri..... 117
Çizelge 6.15	Yağışlı dönem ^3H ve DO ortalamlarına göre hesaplanan sığ ve derin dolaşım oranları..... 118
Çizelge 6.16	Su noktalarının kurak dönem ^3H verileri ile yeraltısu dolaşım yaşı..... 119
Çizelge 6.17	Su noktalarının yağışlı dönem ^3H verileri ile yeraltısu dolaşım yaşı 120
Çizelge 7.1	Su noktalarına ait akım ve değişim katsayısı bilgileri..... 123
Çizelge 7.2	Su noktalarına ait sıcaklık değerleri..... 124
Çizelge 7.3	Su noktalarına ait dolaşım derinlikleri..... 125
Çizelge 7.4	Kaynak boşalımına göre kaynakların sınıflandırılması..... 127

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2 : Dağönü beslenimi (Wilcox ve diğ., 1997' den alınarak düzenlenmiştir).....	11
Şekil 1.3 : Süzülmeyi kontrol eden faktörler (Wilson ve Guan 2004).....	14
Şekil 2.1 : Bölgenin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).....	15
Şekil 3.1 : Çalışma alanının basitleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	20
Şekil 3.2 : Sivrihisar-Günyüzü yolunda yüzeylenen metaofiyolitlerden bir görünüş, bakış yönü kuzeye doğru.....	22
Şekil 3.3 : Sivrihisar-Günyüzü yolunda Göktepe birimi: MO metaofiyolit, MS: metasediment, ÇM çörtlü mermer, A: Bakış yönü güneye, B: bakış yönü kuzey batı.....	23
Şekil 3.4 : Kertek biriminin mermer, şist, gnays, kalkışist ardalanmalı kesimlerinden görünüşler. A: Yiğitleryatağı tepe (bakış yönü batıya), B: Sivrihisar kuzeyi dereyatağında Kertek birimi C: Adatepe' de siyah mermerler, D: Eryiğit tepe doğusunda siyah çörtlü mermerler Ş: şist G: gnays, M: mermer, KŞ: kalkışist... E: Eryiğit biriminin muhtelif görünümü. A: Selami Kutlu taş ocağında Eryiğit birimi masif mermerleri ve şistlerin ilişkisi (bakış kuzey doğuya), B: Eryiğit dağı yolu başlangıcında mermerleri kesen diyabaz daykları (bakış kuzeye), C: Eryiğit dağından batıya bakış, D: Eryiğit dağından doğuya doğru mermerlerin görünümü.....	24
Şekil 3.5 : Sivrihisar granodiyoritinden görünüm. A: Sivrihisar yüzleğinin morfolojik görünümü (bakış kuzeybatıya); B: Sivrihisar batısında taş ocaklarında bir görünüm, (bakış kuzeybatı) C. Sivrihisar granodiyoriti dokusu; D: Sadıkbağı kuzeyinde yer alan sırtlardan yüzleklerin morfolojik görünümü; E: Tekören-Günyüzü yolunda anklavlar ve aplitik damarlar, F: Birbirini kesen aplit damarlar.....	25
Şekil 3.6 : Hisar formasyonundan görünüm; A: Sivrihisar Polatlı yolunda Hisar formasyonu içinde çamurtaşı, çakıltası aradalanması (bakış doğuya), B: Yukarı Kertek- Sivrihisar yolu yukarı Kertek alt geçidi doğusundaki mostralarda kırmızı kalişli çamurtaşları (bakış kuzeye doğru).....	27
Şekil 3.7 : Çakmak köyü batısında Çakmak formasyonunun görünümü, (bakış doğuya).....	29
Şekil 3.8 : Mercan formasyonunun görüntüsü, A: Gölgelek tepe doğusunda Günyüzü-Çakmak yolundaki vadilerde Mercan formasyonu, bakış güneybatı; B: Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünde Mercan formasyonunun oluşturduğu tepeler, (bakış 2 km yukardan kuzey doğuya 20° açıyla). C: Nasrettin Hoca kaynağında Mercan formasyonunun kireçtaşı tabakaları (bakış kuzeye)	30
Şekil 3.9 :	32

Şekil 3.10 :	Kepen formasyonunun Sivrihisar kuzeydoğusunda bulunan yol kesitinde görünümü, A: Kepen formasyonuna ait kötü boylanmış ve yuvarlanmış konglomera tabakaları; B Kepen formasyonunun (KF) arazide düşük eğimli topoğrafik görünümü, ilerde görülen kırmızı formasyon Sivrihisar-Polatlı yolundaki Hisar formasyonu (HF).....	33
Şekil 3.11 :	Ahiler’de travertenlerin görünümü.....	34
Şekil 3.12 :	Çalışma sahasının enine kesitlerinin konumsal görünümü.....	36
Şekil 3.13 :	Permo-karbonifer birimlerde yapısal unsurlar.....	37
Şekil 3.14 :	Çalışma sahası ve çevresinin Bouger Gravite haritasında Trakya-Eskişehir fay zonunun yaklaşık konumu (Selim Arslan, MTA sözlü görüşme).....	40
Şekil 3.15 :	Hisartepi bindirme fayının görüntüsü, A: Sakarya’dan batıya bakış, B: Uydu görüntüsü giydirilmiş sayısal arazi modelinde fayın konumu, iki resimde de beyaz kesimler aynı mostralardır.....	42
Şekil 3.16 :	Çalışma sahası Miyosen faylarının sağ yanal arazi modeli	41
Şekil 3.17 :	Büyükeşeklitepe fayının uydu görüntüsündeki çizgisel görünümü.....	42
Şekil 3.18 :	Geç Miyosen’de bölgenin basitleştirilmiş paleocoğrafyası	44
Şekil 4.1 :	Sivrihisar ilçesi civarında granitik kayaçlarının yüzeylendiği dağlardan görünüm	45
Şekil 4.2 :	Mermerlerin yüzeylendiği yumuşak topoğrafya.....	46
Şekil 4.3 :	Neojen birimlerin yüzeylendiği tepelere bir örnek	46
Şekil 4.4 :	Nasrettin Hoca kaynağı civarında görülen kireçtaşı, marn tabakalarında gelişen kornişler.....	47
Şekil 4.5 :	Günyüzü havzası ve civarının drenaj haritası.....	48
Şekil 4.6 :	Karen tipleri, A: Paleozoik mermerlerde yüzey karstı ve süreksizliklerin kesişme noktalarında gelişen erime olukları B: Yüzey ve fissür-damar ağı gelişimi.....	54
Şekil 4.7 :	Neojen kireçtaşlarında gelişen erime olukları.....	54
Şekil 4.8 :	A:Gökyatağı tepede mermerlerde gelişen çöküntü yapıları B: İstiklalbağı köyü kuzeyinde Akbaba çukuru mevkiinde çöküntü yapıları.....	55
Şekil 4.9 :	Selami Kutlu taş ocağında mermerler içinde gelişmiş düden, A: Üsten görünüş B:,C: Dikey yönde gelişim.....	55
Şekil 4.10 :	A: Adatepede mağara girişi, B: Mağaranın D-B yönünde uzanımı.....	56
Şekil 4.11 :	Yelini mağarası girişi.....	57
Şekil 4.12 :	A:,B: Yelinüstü mağarası girişi C:, D: Karlık düdeni mağarası	57
Şekil 5.1 :	K1a, Yeniçıkırı kaynağı civarı (kuzeye bakış),.K1b,c Yeniçıkırı kaynağı, K2a,b Musluk çeşmesi, K3a,b Çukurçeşme kaynağı, K4 55886/A no’lu kuyu, K5 Subaşı kaynağı, K6 Atlas kaynağı, K7 Çardakhamamı kaynağı, K8a, Nasrettin Hoca kaynağı (üstten bakış), b Nasrettin Hoca kaynağı, K9a, Babadat kaynağı mansabında yüzeylenen mermerler. K9b c, Babadat kaynağı boşalımı ve akışı.....	59
Şekil 5.2 :	Yağış istasyonlarının yer bulduru haritaları (Ölçeksiz).....	63
Şekil 5.3 :	Günyüzü (Kozagacı), Yörme (Gümüşkonak), Ahiler ve Sivrihisar yağış istasyonunun yükseklik yağış korelasyonu.....	64

Şekil 5.4 :	Sivrihisar yağış istasyonunun 1924-2005 yılları, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma eğrileri.....	65
Şekil 5.5 :	Tüm istasyonların 1988-2005 yılları, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma eğrileri.....	66
Şekil 5.6 :	Sakarya havzasında EİE akım gözlem istasyonlarının yeri.....	67
Şekil 5.7 :	Ayvalı yaylası baz akım grafiği.....	67
Şekil 5.8 :	Kavuncu köprüsü baz akım grafiği.....	68
Şekil 5.9 :	Babadat kaynağı yağış-debi grafiği.....	73
Şekil 5.10 :	Nasrettin Hoca kaynağı yağış-debi grafiği.....	73
Şekil 5.11 :	Çardakhamamı kaynağı yağış-debi grafiği.....	74
Şekil 5.12 :	Atlas kaynağı yağış-debi grafiği.....	75
Şekil 5.13 :	Subaşı kaynakları yağış-debi grafiği.....	76
Şekil 5.14 :	Yeniçıkırı kaynağı yağış-debi grafiği.....	76
Şekil 5.15 :	Geçirimsiz kaya ortam granitlerden muhtelif görünüm.....	81
Şekil 5.16 :	Mermerlerin tabanında yeralan şistlerden görünüm, A: Geçirimsiz perdeler oluşturan diyabaz-andezit daykları, B: Şist, mermer dokanağı.....	82
Şekil 5.17 :	Eryiğit dağında yüzeyleyen mermerlerde gelişen kırık-çatlak sistemi.....	82
Şekil 5.18 :	Yerel ve yaygın geçirimli kaya ortam olarak sınıflandırılan Kuru tepe civarındaki kireçtaşlarından görünüm.....	83
Şekil 5.19 :	Yerel ve yaygın geçirimli kaya ortam olarak sınıflandırılan konglomeralardan görünüm.....	83
Şekil 6.1 :	Suların EC-TDS ilişkisi.....	91
Şekil 6.2 :	Su noktalarının DO-derinlik grafiği.....	93
Şekil 6.3 :	İnceleme alanında ölçülen suların pH-Eh ilişkisi.....	94
Şekil 6.4 :	İncelenen suların alkalinite-HCO ₃ diyagramı.....	95
Şekil 6.5 :	İnceleme alanı kurak dönem sularına ait TI-Ca grafiği.....	102
Şekil 6.6 :	İnceleme alanı yağışlı dönem sularına ait TI-Ca grafiği.....	102
Şekil 6.7 :	İnceleme alanı kurak dönem sularına ait TI-Na grafiği.....	102
Şekil 6.8 :	İnceleme alanı yağışlı dönem sularına ait TI-Na grafiği.....	103
Şekil 6.9 :	İnceleme alanı kurak dönem sularına ait TI-HCO ₃ grafiği.....	103
Şekil 6.10 :	İnceleme alanı yağışlı dönem sularına ait TI-HCO ₃ grafiği.....	103
Şekil 6.11 :	İnceleme alanı kurak dönem sularına ait TI-Cl grafiği.....	104
Şekil 6.12 :	İnceleme alanı yağışlı dönem sularına ait TI-Cl grafiği.....	104
Şekil 6.13 :	Kurak dönem majör anyon ve katyon verileri ile yapılan kümeleme analizi ile örnek noktalarının gruplandırılması.....	105
Şekil 6.14 :	Yağışlı dönem majör anyon ve katyon verileri ile yapılan kümeleme analizi ile örnek noktalarının gruplandırılması.....	105
Şekil 6.15 :	Su noktalarına ait Schoeller grafiği.....	107
Şekil 6.16 :	Tüm su noktalarına ait dönem Piper grafiği.....	108
Şekil 6.17 :	İnceleme alanında yer alan kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.....	115
Şekil 6.18 :	Kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ - yükseklik grafiği.....	116
Şekil 6.19 :	İnceleme alanında yer alan kaynakların Tritiyum-EC grafiği....	118
Şekil 7.1 :	Havzanın kavramsal beslenme modeli (Lerner ve diğ. 1990'dan değiştirilerek alınmıştır).....	122
Şekil 7.2 :	Su noktalarının çekilme eğrileri.....	127
Şekil 7.3 :	Günyüzü havzasının kavramsal hidrojeolojik modeli.....	129

ESKİŞEHİR-SİVRİHİSAR-GÜNYÜZÜ HAVZASI HİDROJEOLOJİSİ VE HİDROJEOKİMYASI

ÖZET

Bu çalışma ile, Eskişehir-Sivrihisarın güney batısında, Sakarya nehri ana drenaj alanı içerisinde kalan Günyüzü havzasının hidrojeoloji ve hidrojeokimyası çalışılarak, havzanın hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur.

Yıllık ortalama yağışı 393 mm. olan havza 548 km²'lik bir alanı kaplamaktadır. Bütçe hesaplarının önemli bileşenlerinden yağış girdisi, Sivrihisar ve Günyüzü meteoroloji istasyonu, ve Yörme (Gümüşkonak) ile Ahiler DSI yağış istasyonunun yağış verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu çevre istasyonlarının kotları ile ortalama yıllık yağış miktarları arasındaki ilişki belirlendikten sonra, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS-GIS) tabanlı ArcMap 9 (ESRI 2002) programı kullanılarak havzaya düşen yağış miktarı, 215 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ortalama yağıştan eklenik sapma grafikleri çizilerek, bölgede 1991-1995 yılları arası kurak, 1995-2000 yılları arasında yağışlı ve 2000 yılından sonra tekrar kurak döneme geçildiği görülmüştür.

İnceleme alanında, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Eosen yaşlı granitik kayalar, Neojen yaşlı sedimanter kayalar ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer alır. Temel kayaları, radyolarit, serpantin, spilitik bazalt ve diyabazlarla başlar, bunların üzerine mikasit, kuvarsit, kalkşit, mermer istifi gelir. Kahverengi, bej, açık gri renkte izlenen mermerler yüzlerce metre kalınlıkta devam eder ve genellikle bütün bu serilerin üzerinde yeralır. Bu seri, granitik kayalar ve diyabaz dayklar tarafından kesilmiştir. Genelde geçirimsiz ortam olarak sınıflandırılan metamorfik şistler, granitik kayalar ve diyabaz dayklarıyla sınırlanan mermerler, sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayaç niteliğindedir.

Çalışma alanını oluşturan formasyonlar, hidrojeolojik özelliklerine göre verimi iyi, orta, zayıf akiferler ve su taşımazlar olarak gruplandırılmıştır. Paleozoyik mermerleri, verimi iyi yerel akifer özelliğini, tektonizmanın etkisiyle oluşan ikincil süreksizler (kırık-çatlak sistemi, faylar) sonunda kazanmıştır. Yüksek kotlarda yer alan mermerler havzanın besleniminde de önemli rol oynar. Mermerler içinde açılan sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre hidrolik iletkenlikleri 1,19 ve 98,9 m/gün ve özgül debileri 0,64 ve 75 l/sn/m. olarak hesaplanmıştır. Bu değerler kısmen karstik ortamın heterojenitesini göstermektedir. Metamorfik seri üzerinde uyumsuz olarak gelen Neojen istifte yeralan kireçtaşları, çalışma alanında ikinci önemli akiferdir, Kireçtaşlarında açılan kuyularda yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre hidrolik iletkenlikleri 1.39-4.1 m/gün ve özgül debileri 1.8-2.9 l/sn/m. olarak hesaplanmıştır. Neojen konglomeralar ve alüvyonlarda açılan sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre hidrolik iletkenlikleri 0,27 ve 0,39 m/gün ve özgül debileri 0.38 ve 0.55 l/sn/m.

olarak hesaplanmıştır. Ofiyolitik kayalar, metamorfik seri içindeki şistler, Eosen granitik kayalar, diyabaz dayklar ve Neojen marn ve killler havzada geçirimsiz ortamları oluşturmaktadır.

Sakarya havzası içinde baz akım ölçüm istasyonları bulunan Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) akım verilerinden baz akım grafikleri çizilmiş ve bölgesel buharlaşma, yüzeysel akış ve yeraltısu yüzdeleri hesaplanmıştır. Ayrıca potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri, Penman ve Turc yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Buna göre yağışın % 84-89'u gerçek buharlaşma sonucu yeniden atmosfere dönmektedir. Yağışın ancak %11-16'sı akışa geçer.

Çalışmada, hidrolojik ve hidrojeolojik verilerin, hidrojeokimyasal ve izotop verileriyle desteklenmesi amacıyla 9 su noktasında yerinde ve laboratuvarında ölçümler yapılmıştır. pH değerleri 6.59-7.56, sıcaklıkları ise 14-35°C arasında değişen yeraltısularının kimyasal yapısında etken olan litolojinin belirlenmesi ve suların sınıflandırılmasında Piper üçgen grafikleri ve Schoeller yarılogaritmik grafikleri kullanılmıştır. Buna göre, kurak ve yağışlı dönem su örnekleri genel olarak $Ca^{++}>Mg^{++}>Na^{+}>K^{+}$ ve $HCO_3^{-}>SO_4^{-2}>Cl^{-}$ şeklinde bir katyon-anyon trendi sergilemektedir. Bu trende karbonatlı kayalardan gelen suların trendlerine benzemektedir ki bu da akifer kayaların litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir. Sular baskın olarak $Ca^{++}-Mg^{++}-HCO_3^{-}$ lı sular sınıfında yer almaktadırlar. Yalnız Çardakhamamı (K7) $Ca^{++}>Na^{+}>Mg^{++}>K^{+}$ ve $HCO_3^{-}>Cl^{-}>SO_4^{-2}$ şeklinde bir trend sergileyerek, $Ca^{++}-Na^{+}-HCO_3^{-}$ lı sular sınıfında yer almıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen $\delta^{18}O$ (‰ -11,2 -‰ -8,9) ve δ^2H (‰ -79 - ‰ -60) değerleri, Ankara meteorik doğrusu ($\delta^2H = 8.\delta^{18}O + 14,5$) ve Dünya meteorik su doğrusu ($\delta^2H = 8.\delta^{18}O + 10$) ile karşılaştırılmış ve Çukurçeşme (K3) dışındaki tüm sular Ankara meteorik doğrusu ile Dünya meteorik su doğrusu arasında kalmıştır. Sonuç olarak inceleme alanındaki suların atmosferik kökenli olduğu söylenebilir. İnceleme alanında $\delta^{18}O$ /yükseklik ilişkisi ‰ -0,32 olarak belirlenmiştir. $\delta^{18}O$ /yükseklik ilişkisi kullanılarak kaynakların beslenme yükseklikleri hesaplanmıştır.

Trityum - EC grafiği çizilerek, farklı kökenli suların gruplandırılması sonucu; düşük trityum (0-4 TU) ve yüksek EC' li (590-1216 mg/l) sular derin dolaşım (K4, K5, K7), yüksek trityum (4-10 TU) ve düşük EC'li (309-440 mg/l) suların sığ dolaşım sular (K2, K3, K6, K8, K9) olduğu görülmüştür. Bu sular aynı zamanda belli oranlarda birbirleriyle de karışmaktadır.

Örnek sularda, kurak ve yağışlı dönemde yapılan ölçümler suların boşalım oranının (Q_{max}/Q_{min}) düşük olduğunu, sıcaklık değerlerinin hemen hemen değişmediğini, kimyasal yapılarındaki değişimin çok düşük olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar havza genelinde karstik kaynakların boşaldığı sistemde yeraltısu akışının, kırık-çatlaklar boyunca gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Kaynak çekilme analizleriyle, sığ dolaşım Atlas kaynağında boşalım katsayılarının $10^{-2}gün^{-1}$ ve diğerlerinde $10^{-3}gün^{-1}$ mertebesinde değiştiği görülmüştür. Ayrıca kaynak debilerindeki sellenmelere bağlı olarak gözlemlenen ani artışlara bakılarak yeraltısu akışının, doymun olmayan zonda kısmen karstik kanallar, doymun zonda ise kırık-çatlak sistemleri boyunca olduğu anlaşılmıştır.

Hidrolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop verileri havzanın iki ana akifer sisteminden oluştuğunu göstermiştir. Yüksek kotlarda yer alan gelişmiş kırık-çatlak sistemine sahip mermerler üst akiferi oluşturur ve sık dolaşım (12 m.- 378 m.) kaynaklar olan K3 ve K2, bu akifer sistemini drene etmektedir. Sık dolaşım K6, K8, K9 kaynaklarının beslenim ve dolaşımı ağırlıklı olarak söz konusu yüksek kotlardaki mermerlerde, boşalımı ise Neojen birimlerden olmaktadır. Faylanmalarla düşük kotlarda Neojen birimlerin altında gömülü olan Paleozoyik yaşlı mermerler ise alt akiferi oluşturmaktadır. Derin dolaşım (622 m.-788 m.) K1, K4, K5, K7 suları bu alt akifer sistemini ve Neojen birimlerini drene etmektedir; özellikle K4 kuyusu Neojen akifer sisteminden büyük oranda etkilenmektedir. Bu sular aynı zamanda farklı oranlarda birbirleriyle de karışmaktadır. Her iki sistemde de yeraltısuyu akışı laminardır. Ancak doygun olamayan zonda kısmen gelişmiş karstik sistem ve türbülanslı akış koşulları geçerlidir.

Sakarya nehri ana drenaj alanı içindeki Günyüzü havzası su bölüm hattı karstik özellikler gösteren mermerlerden geçmektedir. Mermerlerin doğrultu ve eğim yönü, kırık-çatlak sistemi ağırlıklı Günyüzü havzasını besler konumdadır. Buradan hareketle yüksek kotlarda yüzeylenen mermerler üzerine düşen yağış miktarı ayrıca hesaplanmış ve Günyüzü havzası bütçesine dahil edilmiştir. Buna göre Günyüzü havzası toplam yıllık beslenimi, toplam yağıştan yerel geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz ortamlardan süzülme olarak $29,6 \times 10^6$ m³/yıl, boşalımı ise kuyularla çekim, kaynaklar, yüzey akışı ve yeraltısuyundan buharlaşma olarak $31,8 \times 10^6$ m³/yıl hesaplanmıştır. Günyüzü havzası akiferleri geçirimsiz birimlerle sınırlandırıldığı için ortaya çıkan beslenme-boşalım arasındaki boşalım fazlası (beslenme eksikliği), mermerlerdeki dike yakın tabaka ve kırık-çatlak sistemi nedeniyle yoğun noktasal beslenmeler, kar yağışı ve bu nedenlerden dolayı buharlaşma yüzdesinin hesaplanandan daha düşük olmasıyla açıklanmıştır. Yarı kurak iklim özelliği gösteren havzada beslenme-boşalım eşitliğinin sağlanamayışı mermerlerde depolanan statik su fazlalığı ve depolama süresinin uzunluğundan da kaynaklanmaktadır. Bu akifer sistemindeki trityum değerleri (0-4 TU) yaşlı suların varlığını göstermektedir.

Bölgede içme, kullanma ve sulama amaçlı su ihtiyacının artmasına ve küresel kuraklık beklentisine bağlı olarak emniyetli verim tesbiti önem kazanmaktadır. Bu çalışma ile oluşturulan kavramsal hidrojeolojik modellerle akifer sistemi açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak, havzada var olan statik su ve yukarı doğru hareket eden derin dolaşım sistemindeki suların varlığı emniyetli verim tesbitini güçleştirmektedir. Havzadaki çalışmalar süresince Yeniçıkırı ve Subaşı kaynağı civarında açılan kuyulardan su çekimine başlanmasından sonra yeraltısuyu seviyesinde değişiklik olduğu ve Yeniçıkırı kaynağının kuruduğu gözlenmiştir. Bu kaynaklar civarında kuyulardan çekimlere su seviyesi değişimleri dikkate alınarak izin verilmelidir.

HYDROGEOLOGY AND HYDROGEOCHEMISTRY OF ESKİŞEHİR-SİVRİHİSAR-GÜNYÜZÜ BASIN

SUMMARY

In this study hydrogeological and hydrogeochemical properties of the aquifers in the Günyüzü Basin located in the Sakarya River catchments area at the SW of Eskişehir-Sivrihisar were studied and a conceptual hydrogeological model was constructed.

The study area covers an area of 548 km² with an annual average precipitation of 393 mm/year. Precipitation data, which are the main component of a water budget, were obtained from the local stations of the region, such as Sivrihisar, Günyüzü meteorological stations, Yörme (Gümüşkonak) and Ahiler DSİ (State Hydraulic Works) stations. The main factors controlling the precipitation are elevation, time, type and intensity of rainfall. The amount of precipitation for basin, 215x10⁶ m³/year, was calculated by using GIS and Arc-Map 9 applications based on the relationship between precipitation and altitude. The cumulative deviation from the mean annual precipitation plots revealed that the periods from 1991-1995 was dry, 1995-2000 was wet and 2000 to present was dry seasons, respectively.

The study area comprises Paleozoic metamorphic rocks, Eocene granite, Neogene sedimentary rocks and recent alluvium. The metamorphic basement begins with radiolarite, serpentinite, splitic basalt and diabases which are overlain by micaschist, quartzite, calcschist and marble, where the thickness of brown, beige, light gray marble is more than 100 meters and seen at the top of metamorphic series. These series are cut by igneous rocks and diabases. Marbles, main reservoir rocks for hot and cold water, are bordered by these impermeable intrusions at sides and by impermeable schists at the bottom within the studied area.

The geological units in the study area are hydrogeologically classified as local rich, medium, poor aquifers and aquicludes. Paleozoic marbles have been jointed and faulted and evaluated as local permeable units. They contain and conduct significant amount of groundwater. According to data obtained from pumping tests at wells drilled in the marbles, the hydraulic conductivity is 1.19 and 98.9 m/day and specific capacity is between 0.64 and 75 l/sec/m. Although these measurements do not represent the whole aquifer, they provide an idea of the heterogeneity of the system. Most of the springs discharge from this aquifer. Marbles also play an important role on recharge of the basin, because the thickness of marbles are more than 100 meters and seen at the top of metamorphic series at higher altitudes of basin. Neogene limestones are secondary important aquifers in the basin. According to data obtained from the pumping tests carried out at the wells drilled in the basin, the hydraulic conductivity of the Neogene limestones varies between 1.39 and 4.1 m/day and specific capacity varies between 1.8 and 2.9 l/sec/m. The hydraulic conductivity of the Neogene conglomerates and Quaternary alluvium are 0.27 and 0.39 m/day and

specific capacity is between 0.38 and 0.55/sec/m. The ophiolite, schists of the metamorphic complex, Eocene granites, Neogene marl, clays and diabases are impermeable levels in the basin.

In the study area and its vicinity, there are stream gauging stations administered by EIE (Electrical Survey and Administration). Using flow data of EIE for the Sakarya River, regional evapotranspiration (ET), surface runoff and base flow were calculated. Potential and real ET were calculated by the Penman and Turc methods and 84-89 % of the total annual precipitation turns back to the atmosphere through ET and the rest 11-16 % flows either as surface water runoff or percolates to form groundwater.

Hydrological and hydrogeological data were supported by hydrochemical and isotopic analyses. In order to represent aquifer characteristics samples obtained from 9 locations, springs and wells, within the research area have been examined. The groundwater has pH values ranging from 6.59 to 7.56, and temperatures changes between 14 - 35°C. Piper and Schoeller semilogarithmic diagrams are both used in order to specify the dominant lithology in the formation of chemical composition, and to classify water samples with respect to their chemical composition. Results indicate that they generally show $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}$ and $\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$ character indicating that carbonate rocks are dominant in the formation of chemical composition. The chemical composition of water samples is consistent with the lithological properties of the researched area. Only Çardakhamamı spring (K7) is characterized by $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^{+}$ cations and $\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$ anions.

The $\delta^{18}\text{O}$ (-11,2 ‰ - -8,9 ‰) and $\delta^2\text{H}$ (-79 ‰ - -60 ‰) values show that all waters (thermal and cold) samples except Çukurçeşme spring are located in between the Ankara meteoric line ($\delta^2\text{H} = 8.\delta^{18}\text{O} + 14,5$) and Global meteoric line ($\delta^2\text{H} = 8.\delta^{18}\text{O} + 10$). These results indicate that all waters (thermal and cold) are of meteoric origin. The elevation- oxygen-18 plot of precipitation is found to be -0,32 ‰ / 100 m. The recharge elevation of the springs was calculated by using $\delta^{18}\text{O}$ -elevation relationship.

Springs in the Günyüzü basin mostly displayed low discharge rates ($Q_{\text{max}}/Q_{\text{min}}$) nearly at constant temperature, low variation chemical composition and low variation of the measurements in both dry and wet season. These results reveal that fracture permeability controls groundwater flow in the Günyüzü basin. Recession coefficients of springs were calculated in the order of 10^{-3} day^{-1} , representing slow drainage through small voids and fractures (aperture < 1cm). Only recession coefficient of the Atlas spring is in the order 10^{-2} day^{-1} , indicates rapid drainage through well interconnected large fractures. Besides, rapid discharge rates of springs after storms show partly developed conduit permeability and point infiltration in vadose zone.

The hydrochemical and isotopic characteristics of waters showed the existence of two main groups of groundwater systems. Marbles are at the top of the metamorphic series at higher altitudes of basin represent upper part of the aquifer system. Springs (K3 and K2) recharge, circulate and discharge from this system. This shallow

circulation of water (12-378 m.) has laminar flow conditions. Other shallow circulated water (K6, K8, K9) mostly recharges from the marbles but discharges from Neogene units Marbles, at bottom of the basin by faults, recharge and store deep circulating water (622 m.-788 m.) where fracture permeability and diffuse infiltration (laminar flow conditions) controls groundwater flow (K1, K4, K5, K7). These deep circulating water discharge from Neogene units as well. However, partly developed conduit permeability and point infiltration from old karstic structures (sinkholes), fractures and joints of marbles reveals turbulent regime in this karstic area where reflections of these on discharge rates of Subaşı spring has been observed.

Groundwater lithological drainage area doesn't coincide with topographic drainage area in the Günyüzü basin. After defining geological structures of the area, recharge on marbles was added to the Günyüzü basin. Also, total groundwater recharge through percolation from local permeable, semi-permeable formations and irrigation water was calculated to be $29,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Groundwater discharge, through the springs, groundwater evaporation and from the wells, was calculated to be $31,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$. Based upon these findings, the recharge is less than discharge in the Günyüzü Basin. The lack of calculated recharge can not be explained by the recharge from adjacent basins, because of the impermeable aquifer boundary conditions. The most likely cause is the miscalculation of evapotranspiration, where in fact the structural properties of area such as faults and fractures allow fast percolation and reduces evapotranspiration. Another factor is the recharge mainly occurs from snow melts at higher altitudes where evapotranspiration is minimum and long groundwater residence time. Tritium values show (0-4 TU) the existence of old static water in these aquifer systems.

During the recent, there has been a shift from agricultural to domestic land use within study area. This shift has led to an increased need for groundwater supplies. So the concept of sustainable water management is important because of expanding the groundwater pumping within Günyüzü basin. In this study, aquifer systems tried to be explained by formed a conceptual hydrogeological model but defining of safe yield isn't possible in basin because of existence of old static water. However, water level drawdown can be controlled by limited pumping rates and by avoiding new drilling in especially Gümüşkonak and Yeniçıkırı area.

1. GİRİŞ

Yeraltısularını, diğer yeraltı zenginliklerinden ayıran en önemli özellik, yenilenebilir olmalarıdır. Ancak bazı sistemler, binlerce yıllık paleoklimatik şartlarda oluşan yağış yükseklik farklarıyla beslenim-boşalımda dengesizliğe sebep oldukları için yenilenme süresinin bilinmesi çok önemlidir. Bu anlamda, özellikle yarı kurak-kurak bölgelerde paleoklimatik şartlarda oluşan akiferler hızla tüketilmeyecek ve kirlenemeyecek kadar değerlidir. Bu bölgelerde çoğu zaman tek su kaynağı olan yeraltısuları, bölge ekonomisini doğrudan etkiler. Bu tür havzaların yönetiminde, en önemli girdi olan beslenim hesaplamaları, yakın zamanda önemli gelişme kaydetmiştir (Gieske ve De Vries, 1990; Lerner ve diğ.,1990; Shurbaji ve diğ.,1997; Dennis ve Murray, 2002; Aquilina ve diğ.,2005). Karstik alanlarda, beslenme alanı ile yüzey topoğrafik drenaj alanı çakışmadığı için yağıştan ve yüzeyden süzülme hesapları güçleşir (Dennis ve Murray, 2002). Karst akiferlerinin hidrodinamik yapılarının tanımlanmasında ve su bütçesi hesaplamalarında, duraylı-duraysız izotop analiz sonuçlarının kullanıldığı ve coğrafik bilgi sistemleri veri toplama ve işleme yeteneğinden faydalanılarak, havzaların bütçe hesaplamalarının doğru tahmin edilmesine yönelik metodoloji oluşturulmaya çalışıldığı görülmektedir (Erikson 1975; Tezcan 1993; Allison ve diğ., 1994; Zuber ve diğ., 2001; Özaydın ve diğ., 2001; White, 2002; Dennis ve Murray 2002; Wilson ve Guan 2004; Aydın, 2005; Israil ve diğ., 2006; Shaban ve diğ., 2006).

Sakarya havzası içerisinde yer alan yarı kurak iklim özelliğindeki inceleme alanı, DSİ tarafından Günyüzü havzası olarak adlandırılmıştır. Günyüzü havzasında kısmen karstik Paleozoik mermerleri ve Neojen kireçtaşları ana akifer sistemini oluşturmaktadır. Henüz kirlilik problemi olmayan havzada, akifer sistemlerinin doğru olarak anlaşılması, havzanın kontrol edilebilirliğini beraberinde getirecektir. Sivsihisar ilçesine bağlı belde ve köylerin içme ve sulama suyu ihtiyaçlarının tamamı yeraltısularından karşılanmaktadır. Bu nedenle çalışma alanındaki artan kuyu sayısına bağlı olarak emniyetli verim belirlenmesi önem kazanmıştır. Emniyetli verim hesaplarında beslenim-boşalım ilişkisi kısa süreli ölçümlerle

belirlenmektedir. Beslenme-boşalım eşitliği gerçeği yansıtmadığı gibi beslenme kadar boşalım olursa yeraltısu seviyesi değişmez düşüncesi de doğru değildir. (Devlin ve Sophocleous 2005; Dumlu ve diğ., 2006). Oysa yukarıda bahsedildiği gibi yarı kurak iklimlerdeki binlerce yılda biriken sularla oluşan yeraltısu seviyesinin ya da doğal dengenin uzun vadede korunabilmesi önemlidir. Bu noktadan hareketle gelişmiş ülkelerde sürdürülebilir su yönetimi kavramı gündeme getirilmiştir. Ülkemizde yeni yeni gündeme gelen sürdürülebilir su yönetimi bu çalışmada da tartışılmıştır.

1.1 Amaç

Tez çalışması ile yarı kurak karasal iklim özellikleri gösteren, Eskişehir-Sivrihisar ilçesi güneydoğusunda yeralan Sakarya ana drenaj alanı içerisindeki Günyüzü havzasının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası incelenerek, akiferlerin beslenme-dolaşım-depolama-boşalım ilişkilerindeki belirsizlikler açıklanmıştır. Elde edilen arazi verileri izotop analiz sonuçlarıyla desteklenerek, hidrojeolojik kavramsal model oluşturulmuştur.

Buradaki asıl amaç, ekonomisi sulu tarıma dayalı bölgede, su potansiyelinin belirlenmesi ve belirlenen potansiyelin sürdürülebilir su yönetimi kapsamında gerçekçi ve etkin bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamaktır.

Karmaşık jeolojik yapısına bağlı olarak beslenme, depolanma ve akım rejimindeki heterojenlikler ile karmaşık sınır koşullarına sahip sahanın jeolojisi üzerine hidrojeoloji ve su kimyası verileri işlenerek, bilinmeyen sayısı kadar denklem oluşturulması ve yorumlanması planlanmıştır.

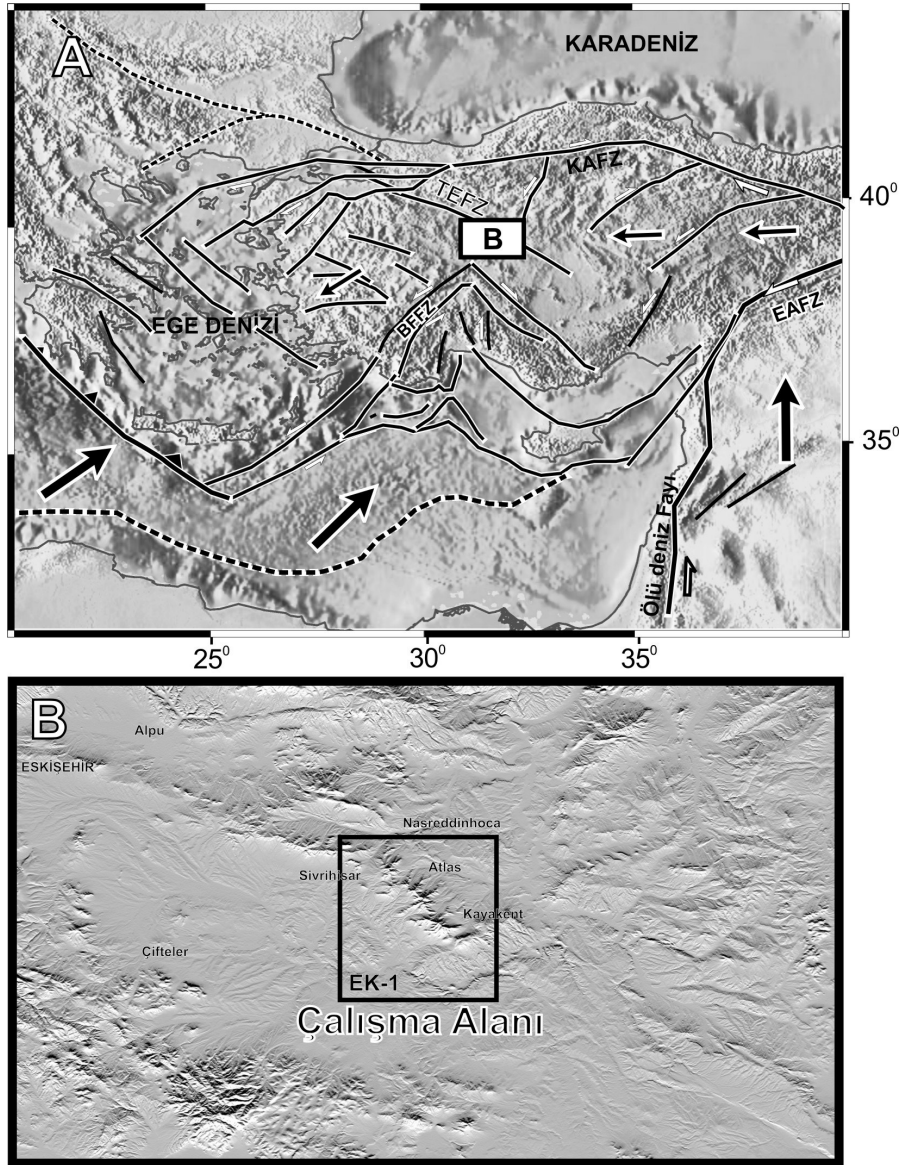
Bunun yanı sıra;

- 1- Önceki çalışmalar ışığında ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları ile bölge jeolojisi ve jeolojik yapısını açıklayan önceki çalışmalar revize edilmiş,,
- 2- Bölgenin sahip olduğu zengin litolojik çeşitlilik ve karmaşık jeolojik yapının su kimyası üzerindeki etkisini ortaya koyarak, suların hidrojeokimyasal karakteristikleri tanımlanmış,

3- Elde edilen su kalitesi parametreleri standartlarla karşılaştırılarak bölge sularının içilebilirlik açısından sınıflandırması yapılmıştır.

1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı, Sakarya havzası içinde, Eskişehir ili, Sivrihisar ilçesi, Günyüzü-Gümüşkonak-Kayakent çevresi ile bu yörenin güney ve doğusunda yer almaktadır. Saha, 1/100 000 ölçekli Ankara İ26, J26, J27, İ27 topoğrafik paftaları içinde, yaklaşık 1200 km² alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: A: Türkiye tektonik haritası KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu (Yaltrak 2002) B: Çalışma alanının ve çevresinin sayısal topografya ve yer bulduru haritası

Çalışma alanının kuzeydoğusunda Ankara ili, kuzeybatısında Eskişehir ili yer almaktadır. Çalışma alanı içinden Eskişehir-Ankara karayolu geçer. Sivrihisar'dan Polatlı istikametinde yaklaşık 5 km. sonra ana yoldan ayrılarak tali yollarla çalışma alanına ulaşılır. Günyüzü havzasına Ankara-Polatlı karayolundan, Polatlı içinde Konya-Yunak yolu takip edilerek de ulaşılmaktadır.

1.2.1 İklim ve bitki örtüsü

İnceleme sahası, İç Anadolu iklim kuşağında yer almakta olup yarı kurak karasal iklim özelliklerini taşır. Yazları kurak ve sıcak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Ortalama sıcaklık 11.3⁰C dir. Bölgede bitki örtüsü, genellikle yüksek alanlarda doğal çalılıklar, topoğrafik eğimin az olduğu yumuşak birimlerin yer aldığı kesimlerde ise tarım alanlarında yetiştirilen hububat, pancar vb. bitkilerden oluşur. Sakarya nehri çevresinde sulu tarım, özellikle de pancar tarımı hakimdir.

1.2.2 Sosyo-ekonomik yapı

Sivrihisar ve Günyüzü ilçelerinin nüfusunun yaklaşık % 70 'i köyde yaşamaktadır. ve tarım sektöründe çalışanların oranı Günyüzü'nde % 85 Sivrihisar'da % 76 civarındadır. Ekonomisi tarıma dayalıdır. Başlıca tarım ürünleri şekerpancarı, arpa, buğday, baklagiller, patates, yulaf ve üzüm olup, soğan, elma, armut yetiştirilir. Yüksek kesimlerde hayvancılık yaygın olarak yapılır. Tarımsal üretimde ülke içindeki payı ise % 4-10 arasındadır (Dinçer ve Özaslan, 2004). Sivrihisarda tarım ve hayvancılıktan istenilen gelirin elde edilmemesi nedeniyle halkın bir bölümü geçimini ilçe dışında aramakta, bu nedenle göç olmaktadır. Görüldüğü gibi, bölge ekonomisinin tarıma dayalı olması, bu yöre halkının suya bağımlılığının içme-kullanma suyu ihtiyacı ile sınırlı olmadığını göstermektedir. Gerek günümüz gerekse gelecek için su kaynaklarına bağımlılığın yüksek olması en küçük su kaynağının dahi dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

1.3 Çalışma Yöntemleri

Amaç kapsamında belirtilen çalışmalar ve kullanılan yöntemler aşağıdaki şekilde dört başlık altında toplanmıştır.

- Hazırlık ve büro çalışmaları
- Arazi çalışmaları

- Laboratuvar alışmaları
- Değerlendirme alışmaları

1.3.1 Hazırlık ve büro alışmaları

Hazırlık çalışmalarına, çalışma alanına ait jeolojik ve hidrojeolojik literatür verilerinin toplanmasıyla başlanmıştır. Bu amaçla, bölgede yapılan çalışmalardan elde edilen jeolojik ve hidrojeolojik veriler, çalışma amacına uygun olarak derlenmiş ve sayısal ortama aktarılmıştır.

1.3.2 Arazi alışmaları

Arazi alışmaları, esas olarak jeolojik gözlem, ölçüm ve örnek alımına dayandırılmıştır. 2003 yılında başlayan ve 3 yaz dönemi süren arazi çalışmaları kapsamında;

1- Bölgede daha önce yapılan haritalardan da yararlanarak sahanın 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Arazi çalışmalarında 1/100 000 ve 1/25 000 ölçekli topoğrafik ve jeolojik haritalar kullanılmıştır. Çalışmaların ileriki evrelerinde, havzanın hidrodinamik yapısını tektono-stratigrafik yapısıyla birlikte tam olarak açıklayabilmek için bir proje (İTÜ-BAP proje no:31880) hazırlanarak IRS-IC merge uydu görüntüsü temin edilmiştir. Merge uydu görüntüsü, mekansal çözünürlüğü 5.8 m. olan siyah-beyaz tek bantlı (IRS-IC PAN) uydu görüntüleri ile mekansal çözünürlüğü 23 m. olan renkli, çok bantlı (IRS-IC LISSIII) uydu görüntüleri birleştirilerek oluşturulmuştur. Öncelikle tüm arazinin formasyon sınırları ve yapısal özellikleri uydu görüntüleri üzerinden çalışılmış daha sonra yerinde kontrollerle havzanın kaynak beslenme alanlarının 1/25 000 ölçekli jeoloji ve hidrojeoloji haritaları hazırlanmıştır (EK A-1, 4).

2-Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzasının hidrojeolojisi ve sistemin hidrodinamik davranışının açıklanmasında temel oluşturacak, hidrolojik verilerin sağlanacağı ölçüm noktalarında, havzanın hidrojeokimyasal yapısının aydınlatılmasına yönelik su kimyası amaçlı yerinde ölçümler ve örneklemeler yapılmıştır. Bu amaçla 9 su noktasında kurak dönemi temsilen ağustos-eylül 2005 ve yağışlı dönemi temsilen mart-nisan-mayıs 2006 aylarında yerinde ölçümler yapılmış olup analiz için örnek sular toplanmıştır.

3- Her iki dönemde de su örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik (EC $\mu\text{S/cm}$), sıcaklık ($T^{\circ}\text{C}$), çözülmüş oksijen (DO-mg/l), redoks potansiyeli (Eh mV), toplam çözülmüş madde (TDS-g/l) ve tuzluluk (NaCl) gibi özellikleri YSI 556 MPS model Portable Multi-parametre cihazı kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Cihazın kalibrasyonu standart çözelti kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca su örneklerinin alkalinite değerleri, Aquamerck 1.11109.0001 Alkalinite Test, asidite değerleri ise Aquamerck 1.11108 Asidite Test yöntemiyle arazide ölçülmüştür.

4-Yukarıdaki parametreleri ölçülen su noktalarının her birinden değişik amaçlı 4'er adet örnek alınmıştır. Önce her örnek noktasından 500 ml polietilen şişelerle 2'şer adet su örneği alınmıştır. Bir örneğe, katyon analizleri (Ca, Mg, Na, K) ve ağır metal analizleri için konsantre nitrik (%2 HNO_3) asit eklenmiş, diğer örnek ise anyon analizleri (NO_2 , NO_3 , F, SO_4 ve Cl) için asit eklemekten olduğu gibi alınmıştır. 1000 ml'lik polietilen şişelerle trityum analizleri için 250 ml'lik polietilen şişelerle ise ^{18}O , ^2H analizleri için örnek alınmıştır.

1.3.3 Laboratuvar çalışmaları

İnceleme alanı ve yakın dolayı, jeolojik yapısının bugünkü konumunu tanımlayacak şekilde bölgesel ve yerel ölçeklerde var olan topoğrafik (1/100 000, 1/25 000), jeolojik (1/100 000) haritaları ve uydu görüntüleri ArcMap 9 (ESRI 2002) programı aracılığıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS-GIS) tabanlı bir modele yansıtılmıştır.

Sistemin hidrodinamik davranışının açıklanmasında temel oluşturacak hidrolojik verilerin sağlanacağı 9 su noktasında yerinde ölçümler ve alınan örneklerle de laboratuvar kimyasal analizler yapılmıştır. Alınan örnekler üzerinde majör iyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{-2} , Cl^- , SO_4^{-2}) analizleri T.S.E belgeli Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası laboratuvarında elektronötralite $< \pm \%5$ olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örneklerin iz element (F, Br, Cd, Cr, Cu, Fe, Al, Mn, Ni, Pb ve Zn) analizleri yapılmıştır. Sulardaki inorganik kirliliği incelemek amacı ile azot bileşikleri (NH_3^- , NO_2^- , NO_3^-) ile PO_4^3 analizleri de aynı laboratuvarda yapılmıştır.

Bir hidrolik dönemi temsilen (2002-2003) alınan su örneklerinin izotop analizleri (^{18}O , ^2H , ^3H) DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı'nda yapılmıştır. İkinci dönem (2005-2006 yılları) su örneklerinin ^{18}O , ^2H izotop

analizleri ise Nevada Duraylı İzotop laboratuvarında yapılmıştır. ³H analizleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası laboratuvarında yapılmıştır. Analiz sonuçları çeşitli yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında yer alan birimlerin mineralojik ve petrografik tanımlaması için 20 adet ince kesit, polarizan mikroskopta incelenmiştir.

1.3.4 Değerlendirme çalışmaları

Günyüzü havzasında önceki çalışmalardan derlenen jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik veriler üzerine, bu çalışma kapsamında yapılan arazi gözlem ve incelemelerinde elde edilen veriler eklenmiştir. Tüm bu veriler sayısallaştırılarak sahanın jeolojik tanımlamaları ve haritası revize edilmiştir. Bu çalışma kapsamında 9 su noktasında yapılan sistemli yerinde ölçümler ve kimyasal analiz sonuçları DSI verilerinden de yararlanılarak tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Suların sınıflaması yapılmış, litolojiyle ilişkisi belirlenmiş ve suların içme suyu kalitesi ortaya konmuştur. Havzanın hidrodinamik yapısını ortaya koymak için jeolojik ve hidrojeolojik veriler, su kimyası ve izotop analizleriyle birlikte değerlendirilmiş ve havzanın kavramsal hidrojeolojik modeli oluşturulmuştur.

1.4 Önceki Çalışmalar

Eskişehir-Sivrihisar bölgesinde birçok araştırmacı tarafından değişik zamanlarda, değişik amaçlı çok sayıda çalışmalar yapılmıştır (Weingart, 1954; Erol, 1955; Altınlı 1973; Erdinç, 1978; Kulaksız, 1981; Gautier, 1984; Kibici, 1993; Gözler ve diğ. 1996; Okay ve Tüysüz, 1999; Göncüoğlu, 1996; İçten, 2001; Whitney, 2002; Örgün ve diğ., 2004 ve 2005; Whitney ve Davis, 2006). Ancak bu bölgenin güney doğusunda yer alan Günyüzü havzasını kapsayan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmalar, genellikle bölgenin litolojik, tektonik, mağmatizma ve metamorfizma özelliklerini tanımlamaya yöneliktir. Bölgede ilk çalışma Romieux (1942) tarafından yapılmış, sonraki araştırmacılar Romieux (1942) tarafından ortaya konan görüşler doğrultusunda çalışmalarını geliştirmişlerdir. Bu çalışmanın ana konusunu oluşturan, havzanın hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini tanımlamaya yönelik çalışmalar sınırlı olup genellikle MTA ve DSI tarafından yürütülmüştür (Erişen, 1974; Biçer ve diğ., 1978; Önder, 1994; Önhon, 1999; Nazik ve diğ., 2001;

Mutlu ve Sarıiz, 2001; Akdeniz ve diğ., 2005). İnceleme alanında yapılan bu çalışmaların yanı sıra, yarı kurak bölgelerde yapılan bütçe hesaplamalarında önemli gelişmeler kaydeden yayınlar da değerlendirilmiştir. (Lerner ve diğ.,1990; Tezcan, 1993; Wilcox ve diğ., 1997; White, 1997, 2002; Wilson ve Guan, 2004; Karimi ve diğ., 2005; Shaban ve diğ., 2006; Vincent ve Bruce, 2006).

Anılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir

Romieux (1942), inceleme alanını da içine alan Sivrihisar, Paşadağları ve Emirdağları bölgelerinin 1/100 000 ölçekli jeoloji haritasını çıkarmış ve çalışmasında özellikle tektonik durum üzerinde ayrıntılı olarak durmuştur. Sivrihisar doğusunda KB-GD gidişli masiflerin bir granit antiklinal çekirdeği etrafında kurulu olduğunu, antiklinalin güneye doğru devrilmesi sonucu geriye dönmüş kıvrımların oluştuğunu, bu olayın da Karakaya-Sivrihisar plütonundan ileri geldiğini belirtmiştir.

Weingart (1954), Eskişehir'in batısında geniş bir alanı kaplayan araştırmasında, çalışma alanı içinde kalan şistlerin Paleozoyik yaşlı olduğunu, bunların üzerinde yer alan mermerlerin, Permo-Karbonifer kalkerlerinin kontak metamorfizmasıyla oluştuğunu ve Triyas'tan daha yaşlı olduğunu belirtmiştir. Bölgedeki granitik sokulumun da Paleozoyik sonlarında olduğunu varsaymaktadır.

Erol (1955), inceleme alanında kristalize kalkerlerin genellikle metamorfik şistler üzerine geldiğini ve bunların şistlerin arasında bazen merccekler bazen de şeritler halinde bulunduğunu söyleyerek, bunların rekristalize kalkerlerden ayrılmasının gerekli olduğunu belirtmiştir.

Erişen (1974), Hamamkarahisar (Sivrihisar) kaplıcasına ilişkin M.T.A tarafından hidrojeoloji etütleri programı çerçevesinde yapılan incelemede, çalışma alanındaki kaynaklardan biri olan Çardakhamamı kaynağının yer aldığı sahanın jeolojik yapısını incelemiş ve kaynağın KD-GB uzanımlı bir fayla DB uzanımlı bir fayın kesim noktasından çıktığını belirtmiştir. İncelemede, kaynağın Cl ve SiO₂ içerikleri ile Na/K atomik oranı verilerinden yararlanarak hazne sıcaklığının 50-70° olduğu hesaplanmıştır.

Erdinç (1978), Eskişehir iline bağlı Sivrihisar ilçesinin yakın çevresinde yapmış olduğu çalışmasında, yaklaşık 300 km²'lik alanın 1/25 000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış, bölgenin stratigrafisini çıkarmış ve Sivrihisar magmatik kompleksindeki

bileşim ve yapı özelliklerinde farklılık gösteren birimleri ayırt etmiştir. Ayrıca yapmış olduğu jeokimyasal analizler sonucu magmatik kayaların granodiyoritik bileşimde ve kalkalkalen karakterde olduğunu belirlemiştir. Bölgedeki Paleozoyik yaşlı bölgesel metamorfik kayaları ise 3 farklı zona ayırmış ve metamorfizma derecesinin kuzeyden güneye doğru arttığını belirtmiştir.

Biçer ve Mumcu. (1978), Sivrihisar-Günyüzü ovasının hidrojeolojik ve rezistivite etüt raporunu hazırlamıştır. Bölgenin sulama suyu ihtiyacının yeraltısuyundan karşılanması amacıyla yapılan bu çalışma ile Günyüzü havzasının emniyetli çekim rezervi, $4,5 * 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Lerner ve diğ. (1990), çalışmalarında beslenme kaynakları mekanizmasını kavramsal olarak belirlemiş, bunları doğrudan, dolaylı ve lokal beslenme olarak gruplandırmışlardır. Birçok yerde bunların kombinasyonu olmaktadır. Yeraltısuyuna süzülme işlemleri ise yayılarak süzülme (piston tipi akış, kırık-çatlak ve kök kanalları boyunca süzülme), makroboşluk süzülmesi, stabil olmayan nem durumu ve zeminin fiziksel özelliklerinin farklılığından oluşan tercihli akış olarak açıklanmıştır.

Umut ve diğ. (1991), çalışma sahasının bir bölümünün de içinde kaldığı “Çifteler-Holanta (Eskişehir) Çeltik (Konya) ve dolayının jeolojisi” başlıklı çalışmalarında bölgenin 1/100 000 ölçekli jeoloji haritasını yapmışlardır. Ayrıca bölgedeki Neojen birimleri ayrıntılı olarak incelemiş ve adlandırmışlardır. Sunulan tez çalışmasında da Umut ve diğ. (1991)’in formasyon adlandırmaları kullanılmıştır.

Monod ve diğ. (1991), göre Türkiye, güneyde Gondwana kuzeyde Avrasya kenarına kadar Alpin orojenik kuşağın tümünü içeren nadir ülkelerden biridir. Araştırmada, Güney ve Orta Anadolu’daki ofiyolitik kuşaklar, Neotetis okyanusunun daralarak kaybolmuş olduğu ve yalnızca Kuzeybatı Anadolu’da kıta-kıta çarpışması sonucu gelişen ortamda oluşan YB-DS mavişistlerin varlığı işaret edilmektedir. Yazarlar, araştırmalarında, Avrasya-Gondwana kıta kenedinin özelliklerini, bilhassa birbirini izleyen deformasyonlar, bunların şiddeti ve kıta kıta çarpışması esnasında ortaya çıkan metamorfizma şartlarını belirlemeye yarayan mineral parajenezleri açısından açıklığa kavuşturmaya çalışmışlardır. Bölgede yeralan birimleri Pontid Dürmek birimi, Karkın ofiolitleri, Torid-Anotolid karbonat platformu olarak üçe ayırmışlardır. Karbonat platformu Halilbağı mavişistleri ve

Sivrihisar birimi olarak ayrıca gruplandırılmış ve Sivrihisar birimi, Tavşanlı zonunun Orhaneli biriminin eşleniği olarak kabul edilmiştir.

Sivrihisar bölgesindeki Tavşanlı zonu, mermer-şist ardalanması şeklindedir ve çok gelişmiş foliasyon ve izoklinal kıvrımlanmalar görülür. Bu dizi genellikle yeşilşist fasiyesinde mineraller içerir, ancak lawsonit ve sodik amfibol izlerinin mavişist metamorfizmasının ilk periyodunu işaret etmekte olduğu ifade edilmiştir.

Tezcan (1993), karst akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla matematiksel modellemesi başlıklı tez çalışmasında, karst akım ve izotop dağılım modellerini kullanarak Kırkgöz kaynaklarında örnek uygulama yapmıştır. Tüm sistemi tek bir sistem fonksiyonu ile tanımlayan tümsel modeller (lumped models) ile karmaşık ve heterojen hidrojeolojik sistemi, homojen ve dinamik yapısı tanımlanabilen alt sistemlere yada hücelere ayırarak yapılan dağılık parametrelili modeller (distributed parameters models) Antalya-Kırkgöz kaynakları hidrojeolojik sisteminde uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kibici (1993), Sivrihisar-Günyüzü (Eskişehir) granitoid kuşağında yapmış olduğu çalışmada, Sivrihisar'ın güneydoğusunda geniş alanlarda mostra veren kayaçların diyorit, granodiyorit ve granit bileşiminde olduğunu, bu kayaçların magmatik kütlelerin soğumasına paralel olarak gelişen, KD-GB ve KB-GD doğrultulu, 55-65° GB-KD eğimli pegmatit-aplit damarları tarafından kesildiğini belirtmiştir. Bu damar kayaçların kalınlıklarının 5-70 cm. olduğu ifade edilmiştir.

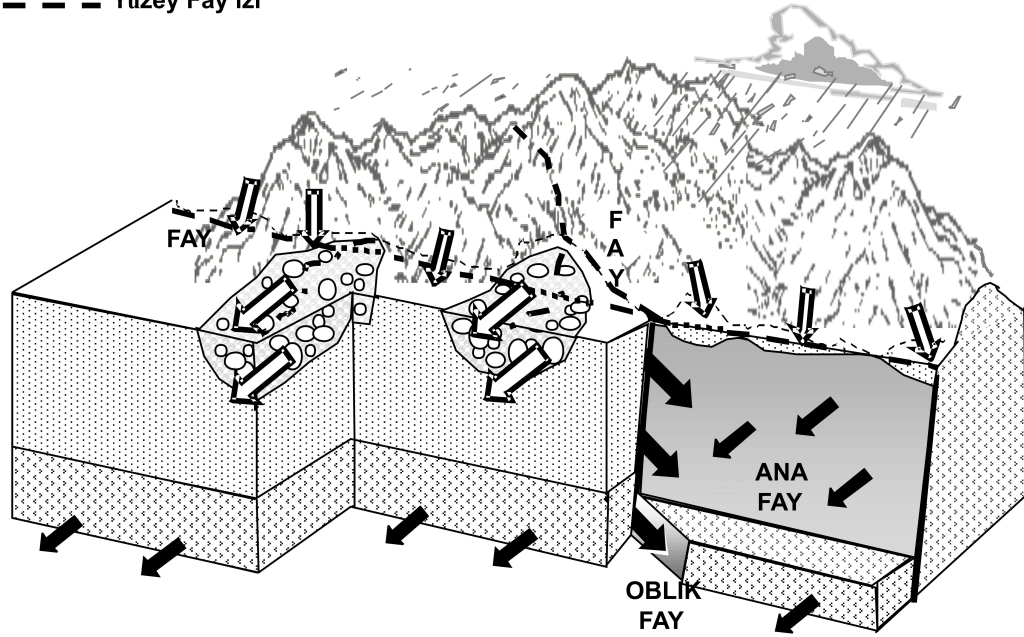
Önder (1994), Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü- Gümüşkonak yöresini içine alan 2500 km² lik bir alanın rezistivite etüdünü yapmışlardır. Yapılan ölçümlerin değerlendirilmesiyle hazırlanan eş rezistivite ve elektrik yapı kesitleriyle, Neojen ara birimlerinin rezistivite, kalınlık ve yapısal konumu belirlenmiştir.

Göncüoğlu ve diğ. (1996), Orta Sakarya'da Nallıhan-Sarıcakaya arasında kalan alanda yaptıkları çalışmada, temeli oluşturan seyrek mermer bantları içeren şistler, metariyolit, metaporfir ve metabazitlerden oluşan metamorfitle Göktepe metamorfitleleri olarak adlandırılmışlardır. Karbonifer yaşında olduğu düşünülen metamorfitlelerin üzerine paralel uyumsuzlukla gelen Neojen birimlerce kuşatılan ve bölgede ada tepeler şeklinde mostra veren mermerler Kayapınar mermerleri olarak adlandırılmıştır.

Gözler ve diğ. (1996), Orta Sakarya ve güneyini kaplayan çalışmalarında, sahadaki mermerleri Sivrihisar mermerleri olarak adlandırmışlardır. Kalınlığı 150-200 m. olarak düşünülen mermerlerin Permo-Triyas yaşlı olacağı ifade edilmiştir.

Wilcox ve diğ. (1997), beslenme hesaplarında en önemli bilinmeyenlerden süzülme işleminde yağış, hidrolik eğim, buharlaşma, bitki örtüsü, geçirimsizlik, akifer taban topografyası gibi faktörlerden, belirleyici olan faktörün, suyun uygunluğu olduğunu vurgulamışlardır. Suyun uygunluğu ile yağışın hızlı bir şekilde süzülüp akifere ulaşma işlemi kastedilmektedir. Buna en iyi örnek dağönü beslenimidir. Yani kütsel beslenimin gerçekleştiği dağ önü besleniminin önemi, Şekil 1.2’de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, yağmur suları buharlaşmadan kırık, çatlak ve fay sistemlerini kullanarak doğrudan doygun zona ulaşmaktadır.

— — — Yüzey Fay izi



Şekil 1.2: Dağönü beslenimi (Wilcox ve diğ., 1997’ den alınarak düzenlenmiştir).

Okay ve Tüysüz (1999), yaptıkları derleme çalışmada Türkiye’nin kuzeyinde Sakarya havzasının da içinde yer aldığı alanda iki önemli kenet kuşağını (kenet zonu) incelemiş ve bunları oluşturan üniteleri gruplandırmışlardır.

Türkiye’nin kuzeyindeki İzmir-Ankara-Erzincan (İAE) ve İntra Pontid kenet zonları, Tetis Okyanusu’nun kuzeye doğru dalması sonucu oluşmuşlardır. İAE kenet kuşağı, 2000 km. boyunca, kuzey kıtasının üst seviyelerine ait Paleosen yaşlı ve daha genç birimlerin, Kretase yaşlı yığılma karmaşığında oluşan hat boyunca güney kıtasının

birimleri üzerine bindirmesi şeklinde kendini gösterir. Bu bindirmeler stratigrafik, yapısal, magmatik ve metamorfik boşluklar içerirlerse de en azından bu bindirmeler Geç Karbonifer'den Paleosen'e kadar farklı bir jeolojik yapı sunmakta ve Türkiye'deki Lavrasya-Gondwana sınırını oluşturmaktadır. İAE kenet kuşağı Karbonifer'den Triyas'a kadar bir okyanusun (Paleotetis) Triyas-Kratese aralığında ise başka bir okyanusun (Neotetis) kuzeye doğru dalma-batma ile tüketildiğini kanıtlamaktadır. Paleotetis dalma-batma zonunda gelişen yığışım karmaşığ, silisli, iyi çimentolanmamış tortul kayaçların baskın olması ve radyolaritli çört ve pelajik kireçtaşlarının ise az olmasıyla Neotetis dalma-batma zonu yığışım karmaşığından ayrılır. İntra-Pontid kenet zonunun ise Paleosen-Eosen, hatta batı kısmında Oligosen aralığında bir yığışım karmaşığının, İzmir-Ankara-Erzincan okyanusunun son kıta çarpışmasına bağlı olarak yok olması sonucu geliştiği belirtilmiştir. Geç Miyosen'de başlayan Kuzey Anadolu fayının İntra Pontid zonunun bir kısmından geçtiği ifade edilmiştir.

Önhon ve diğ. (1999), Eskişehir-Günyüzü Atlas Kaynağı ve Çevresi Karst Hidrojeolojisi'' başlıklı raporda, çalışma alanı içindeki kaynaklardan Atlas kaynağı ve civarının hidrojeolojisi incelenmiştir. Çalışmada karstik sistemin yeraltısuyu bilânçosu hazırlanmış, $1,65 \cdot 10^6$ m³/yıl olarak hesaplanan beslenimin boşalma karşılık geldiği tespit edilerek ilave üretim kuyusu açılmasına izin verilmemesi istenmiştir.

Sherlock ve diğ. (1999), çalışma alanında yüzeylenen granitik kayaçların yaşlarını, ⁴⁰Ar-³⁹Ar izotoplarında Infrared lazerleri ile yaptıkları yaşlandırma ile 53±3 milyon olarak belirlemişlerdir. Tavşanlı zonu içinde iri mika kristallerinde ⁴⁰Ar-³⁹Ar izotoplarıyla yapılan yaşlandırmada 160-175 My aralığında yaşlar tayin edilirken, Rb-Sr yaşlandırmasıyla 79,2-82,8 My olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada Tavşanlı zonuna ait yüksek basınç metamorfik kayaçların yaşlandırılmasındaki problemlere özellikle de kalıntı argon konusuna açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

Metamorfik birimlerin jeokronolojisi ve zonun yüzeylenme aşamalarını araştırmışlardır. Çalışmalarında Tavşanlı zonunun basınç-sıcaklık-zaman evrimini inceleyerek zonda yer alan kalk-alkalin granitik kayaçlarının yaklaşık 950 °C de meydana geldiklerini ve 53 My yaşında olduklarını belirlemişlerdir. 100 km'lik alana yayılan magmatik etkinliğin 6 My'dan az sürdüğüne dikkat çekmişlerdir.

İçten (2001), Sivrihisar-Günyüzü granitik sokulumuna bağlı damar kayaçlarının mineralojik ve petrografik incelemesini yaparak, sokulumuna ait çatlak sistemlerinin ve masif içinde yeralan damarlara ait gül diyagramları hazırlamıştır.

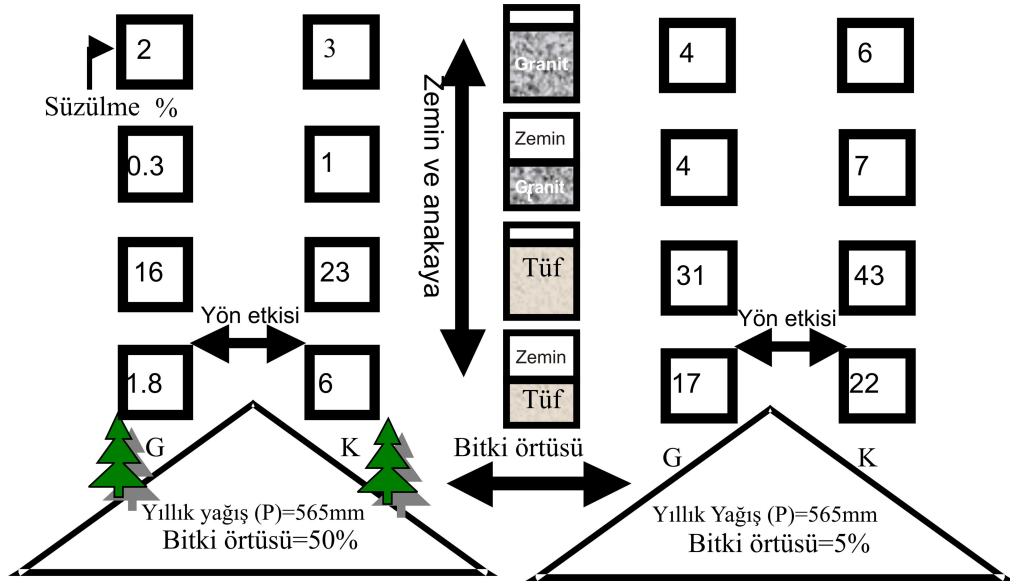
Nazik ve diğ. (2001), Orta Sakarya havzasının doğal mağaralarını inceledikleri çalışmalarında, çalışma alanı sınırları içinde kalan Yelini, Yelinüstü ve Karlık düdeni mağaralarını çalışmışlardır. Dar ve alçak tavanlı girişi olan Yelini mağarasının, Pliyosen'in karakteristik bir şekli olduğu ve KB-GD yönlü belirgin bir faya bağlı olarak, aynı doğrultuda yatay olarak geliştiği düşünülmüştür. Toplam uzunluğunun 271 m. girişe göre (0 m.) en derin noktası (havuzlu salon) -26m., son noktası ise -18 m. olarak ölçülmüştür. Damlataş ve tavandan düşen iri bloklarla birçok salon ve odaya bölünen Yelini'nin sarkıt, dikit, sütun, makarna sarkıtlar, örtü ve duvar damlataşları ile kaplı olduğu gözlenmiştir. Vadoz zonda bulunan ve gelişimini tamamlamış fosil bir mağara olan Yelini'nin geliştiği mermerlerin alttan geçirimsiz kayalarla kuşatılmış olması nedeniyle bölgede görülen morfolojik gençleşmeye ayak uyduramadığı ifade edilmiştir.

Yelinüstü mağarasının, farklı dönemlerde oluşmuş ve birbirine bağlı iki bölümden meydana geldiği, giriş bölümünün kuzey-güney yönünde gelişen ve mermerlerin doğrultu ve çatlak sistemine uygun olarak doğu-batı yönünde çatallandığı ifade edilmiştir. Pliyosen'de kaynak konumlu olmaya başlayan giriş bölümünün, bu dönem sonundaki tektonik hareketler sonucu morfolojik ve karst taban düzeyinin alçalmasına bağlı olarak, yeraltısuyu zonlarının durumunun da değişmiş olması ile dikey yönde hızlı bir gelişim göstermeye başladığı, ova tabanına kadar inen mağaranın şekillenmesinin günümüzde de devam ettiği belirtilmiştir.

Karlık düdeni mağarasının kuyu şeklinde dikey olarak geliştiği ve KB-GD yönlü bir fay üzerinde yer aldığı düşünülmüştür. Toplam uzunluğu 24m., en derin yeri -18,5 m. ölçülmüştür. Düdenin ilk girişinin -13 m.'lik diklikle ilk tabana, -3 m. derinliğindeki ikinci bir diklikle alt tabana bağlandığı gözlenmiştir. Anahtar deliği şekilli profili olan mağaranın çok dönemli gelişim özelliği gösteren gelişimini tamamlamış fosil mağara olduğu ifade edilmiştir.

Wilson ve Guan (2004), Meksika'da yaptıkları uzun süreli araştırmada, beslenim hesaplarında tümsel yaklaşım yerine dağınık parametrelili modeller kullanmış ve sonuç olarak daha düşük beslenim miktarları hesaplamışlardır.

Ana kaya üzerindeki farklı toprak örtü kalınlıkları, farklı geçirirmliliğe sahip ana kaya (kırık, çatlak geçirirmliliği: granit ve matiks geçirirmliliği: tuf), topoğrafik eğim, ana kaya topoğrafyası, bitki örtüsü ve yönü dikkate alan, uzun süreli araştırmaları sonunda (Şekil 3.1), beslenimde en etken faktörün ana kaya geçirirmliliği ve yeraltısuyu buharlaşması (net süzülme=süzülme-yeraltısuyu buharlaşması) olduğunu belirtmişlerdir. Şekil 1.3’ de açık olarak görüldüğü gibi, en yüksek süzülme oranları, matiks geçirirmliliğine sahip, örtü kalınlığı düşük olan tüflerde % 31-43 olarak hesaplanmıştır. Ancak, kütsel beslenimin gerçekleştiği, dağ önu besleniminin süzülme işleminde belirleyici olduğunu vurgulayan Wilcox ve diğ., (1997) aynı görüşte olduklarını da belirtmişlerdir.



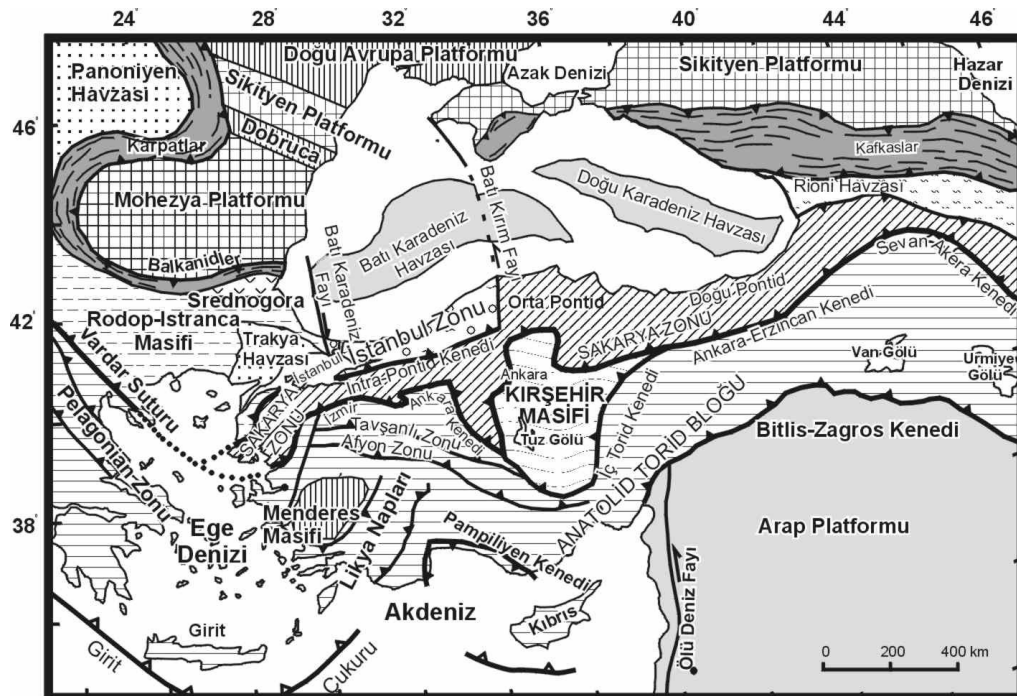
Şekil 1.3: Süzölmei kontrol eden faktörler (Wilson ve Guan, 2004)

Akdeniz ve diğ. (2005), ‘Eskişehir-Sivrihisar-Kayakent Yeniçıkırı Kaynağı Karst Hidrojeolojisi Etüt Raporu’ başlıklı çalışma ile alandaki kaynaklardan Yeniçıkırı kaynağı ve civarının hidrojeolojisini incelemişlerdir. Çalışmada, karstik sistemin yeraltısuyu bilânçosu hazırlanmış, Yeniçıkırı kaynağı rezervuarından sondaj kuyuları vasıtasıyla alınabilecek yeraltısuyu miktarı % 70 emniyetle $1,04 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak belirlenmiştir.

2. BÖLGE JEOLJİSİ

Kuzeybatı Anadolu sınırları içerisinde kalan Sakarya havzası, oldukça karmaşık tektonik özellikler sergileyen bir bölge içinde yer almaktadır. Genel olarak İzmir-Ankara-Erzincan okyanus kolunun Geç Kretase’de kapanması ile bir araya gelmiş üç ana tektonik birlik ve bu birliklerin otokton ve para-otokton örtüleri yer almaktadır. Kuzeyden güneye sırayla İstanbul zonu, İntra-Pontid suture zonu, Sakarya zonu, İzmir-Ankara-Erzincan suture zonunun güneyinde Anatolit-Torit bloğunun pasif kuzey kenarında yer alan Tavşanlı zonu ve Anatolit-Torit platformuna ait metamorfik birimler ve bu birimlerin üzerinde Tersiyer çökeller yer almaktadır (Göncüoğlu ve diğ., 2000).

Sahanın karmaşık yapısı, bölgeyi inceleyen araştırmacıların farklı yorumlarıyla da birleşince, birimlere farklı isimler ve açıklamalar getirilmesine yol açmıştır. Bu çalışmada birimler, tektonik geçmişleri açısından sınıflandırılarak kısaca özetlenmiştir.



Şekil 2.1: Bölgenin paleo-tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999)

2.1 İstanbul Zonu

İstanbul zonu, Karadeniz'in kuzeybatısında 400 km. uzunluğunda, 70 km. genişliğinde bir kıta parçasıdır. Bölge, kristalin Prekambriyen temel üzerine Ordovisiyen-Karbonifer aralığında çok iyi gelişmiş transgresif tortul istiften oluşur. Bu istif, Karbonifer'de Hersinyen orojenezi ile deformasyona uğramıştır. Sakarya havzası, İstanbul ve Zonguldak zonu olarak tekrar ikiye ayrılan bu bölgenin, Sakarya nehrinin denize boşaldığı Zonguldak bölümünde kalmaktadır.

Zonguldak kısmında Üst Karbonifer yaşta silisli klastik kayalar kuzeyden taşınmış ve Lavrasya kıtasına ait geniş bir delta havzasında depolanmıştır. Bu özellikler ve İstanbul Paleozoik birimlerinden alınan paleomanyetik sonuçlar, bu kıtanın Lavrasya'ya ait olduğunu göstermektedir (Okay ve Tüysüz, 1999).

2.2 İç-Pontid Kenet Zonu

İç-Pontid kenet zonu ise Paleosen-Eosen hatta batı kısmında Oligosen aralığında İzmir-Ankara-Erzincan denizinin son kıta çarpışmasına bağlı olarak yok olması sonucu gelişmiştir. Geç Miyosen'de başlayan Kuzey Anadolu fayı İç-Pontid zonunun bir kısmından geçer (Okay ve Tüysüz, 1999).

2.3 Sakarya Zonu

İstanbul zonundan İç Pontid kenet zonu ile ayrılan Sakarya zonu, Neotetis kenet zonu üzerinde yer almaktadır. Orta Sakarya havzasındaki jeolojik birimlerden Anatolidleri temsil eden Güney birlik (Sömdiken Birliği) en alt yapısal birliği oluşturur. Dağküplüce karmaşığı (Sarıyar karmaşığı) ile Pontidlere ait Orta Sakarya birliği ise bunların para-otokton örtüleri ve bu tektonik birlikleri ortak olarak örten Tersiyer havzası çökellerinden oluşmaktadır (Göncüoğlu ve diğ.,1996). Orta Sakarya birliği Neotetis'in kuzey kenarında yer almakta ve Şengör ve diğ. (1985) tarafından Sakarya mikrolevhası olarak da tanımlanmaktadır. Pontid kenar topluluklarının en belirgin özelliği Silüryen-Triyas arası yaşlı kayaların başkalaşım ve deformasyon geçirmiş olması ve genellikle Üst Triyas ile başlayan tortul bir istifin (kumtaşı ve kireçtaşlarının) başkalaşıma uğrayan temel üzerine gelmesidir (Monod ve diğ., 1991).

Temeli oluşturan metamorfik kayalar Bingöl ve diğ.,(1975)'ce Karakaya karmaşığı adı altında tanımlanmıştır. Karakaya karmaşığı, İzmir-Ankara-Erzincan kenedinin hemen kuzeyinde, kenet zonu boyunca yer yer kesikliklere uğrayarak yüzlekler vermektedir.

Karmaşık genel olarak metabazit, fillit ve mermer serileri içeren Nilüfer birimi ve ekzotik bazalt ve Karbonifer-Triyas yaşlı kireçtaşı blokları içeren Kızılcaören grovak ve şeylerden oluşmaktadır. Bulunan fosillere göre Nilüfer birimi Permo-Triyas, grovak ve şeyler ise Triyas yaşlıdır (Okay ve Tüysüz, 1999). Karakaya karmaşığı Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarınca (Zey, Bilecik) üzerlenmiştir. Karmaşık, Karakaya okyanusu olarak bilinen okyanusa ait birimlerden oluşur. Sözkonusu okyanusun bir yayardı okyanusu mu yoksa Paleotetis mi olduğu hakkındaki tartışmalar halen devam etmektedir.

2.4 Tavşanlı Zonu

Neotetisin güney kanadında Anatolid-Torid platformunun kuzeyinde yer alan zon, izotop yaşlandırmasıyla Kratese olarak tesbit edilen ve Eosen granitoyitlerince kesilen mavişistlerle başlar. Tektonik dilimler olarak görülen Kratese yığışım karmaşığı, mavi şistleri tektonik olarak üzerler ve ofiyolitik birimler, Kratese yığışım karmaşığı ve mavişistler üzerine düşük eğimli, keskin bir fayla gelmektedir. Sözkonusu zon, Göncüoğlu ve diğ. (1996) tarafından Dağköplüce karmaşığı (Sarıyar karmaşığı) olarak adlandırılmıştır. Dağköplüce karmaşığı ile İzmir-Ankara okyanusal kolunun (Neotetis) kapanması ile oluşan sütur zonunun kalıntısı olan tektonik karışık içinde ofiyolitik diziye ait bloklar yanında mavişist, rekristalize kireçtaşları, andezit ve benzeri bloklarla mafik-ultramafik kayalar tariflenmiştir.

2.4.1 Ofiyolitik birimler

Kulaksız (1977), tarafından Karabayır metaofioliti olarak adlandırılan birime, Monod ve diğ. (1991) Karkın ofiyolitik birimi adını vermişlerdir. Ancak Gözler ve diğ. (1996) Kratese yığışım karmaşığını da bu başlık altında incelemiştir. Birim peridotitler ve serpantinitle, radyolarit ara tabakalı yastık lavlara kadar ofiyolitik seri için karakteristik kayaç tiplerini içermektedir. Birimin tabanında izole olmuş yüksek sıcaklık granat-amfibolit dilimleri yer alır. Makaslama ve bindirme

zonlarında peridotitler genelde serpantinleşmiş olarak görülür. Birim içinde yer yer gabro ve diyabaz daykları da gözlenmektedir.

2.4.2 Kretase yığışım karmaşığı

Bir yığışım karmaşığı ya da tektonik melanj niteliğinde olan birim, ardalanmalı ve yoğun tektonizmaya maruz kalmış bazalt, bazik metavolkanikler, radyolaryalı çört, metaçört, pelajik kireçtaşı, şeyl, metaşeyl ve serpantinlerden oluşur. Gözler ve diğ.,(1996) yığışım karmaşığını, Karakaya karmaşığını da içeren Karkın formasyonu adı altında incelemişlerdir.

2.5 Anatolit-Torit Platformuna ait Metamorfik Birimler

Türkiye'nin güneyinde geniş bir alan kaplayan bu metamorfik birimler, Pontidler'in aksine Arap platformuna benzer. Bu anlamda Gondwana'yı temsil ettiği düşünülen birimler dalma-batma ve kıta çarpışması esnasında daha fazla Alpin deformasyona ve rejyonel metamorfizmaya uğramıştır. Bunlar, yüksek basınç mineral parajenezlerinin geliştiği, güneye doğru glokofanitik yeşilşistlere geçen aralarında kalkışt ve mermer bantları içeren, üste doğru mermerlere geçiş gösteren birimlerdir. Birimin kuzey kenarı okyanus kabuğunun 50 km. altında YB-DS metamorfizmasına uğramıştır. Sıkışma rejimi sonucu ofiyolitik birimler ve yığışım karmaşığından oluşan kalın bir malzeme bu birimin üstüne bindirmiştir. Paleosen'de kıta kıta çarpışmasının başlaması ile Anatolit-Torit platformuna ait metamorfik birimler kendi içinde dilimlenmiş ve güney ve güneydoğuya devrik bindirmeler gelişmiştir. Bu da birimin farklı koşullarda metamorfizmaya uğramasına ve farklı yapısal özellikler kazanmasına neden olmuştur. Bu sıkışma rejimi Alt ve Orta Miyosen'e kadar devam etmiştir (Okay ve Tüysüz, 1999).

3. JEOLojİ

3.1 Stratigrafi

Çalışma alanında yer alan birimler, dört ayrı zaman dilimine aittir (Şekil 3.1). Bunların en yaşlısı sahada temeli oluşturan Sivrihisar metamorfitleleridir (EK A-1) ve Şekil 3.1). Bu birimin üzerine, inceleme alanında farklı büyüklükte yüzleklerle temsil edilen Sivrihisar granodiyoriti gelir. Sivrihisar granodiyoriti ile Sivrihisar metamorfitleleri arasındaki dokanakta yer yer magmatik sokulum esnasında oluşmuş kontak metamorfik kayalar bulunur. Bu iki birimin üzerinde açısız uyumsuzlukla yer alan Miyosen serisi, üç ayrı formasyondan oluşur. Bunlar, en altta Hisar formasyonu karasal kırıntılıları, üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak silt, kil, marn ve çamurtaşından oluşan açık renkli Çakmak formasyonu ve bunun üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak yeralan Mercan formasyonudur. Mercan formasyonu karbonat yüzdesi yüksek silt, kil, marn ve kireçtaşı aralanmasından oluşur. Söz konusu üç formasyon birbirlerini yanal ve düşey geçişli olarak izler ve yan yana ortamların ürünü olarak yer yer birbirlerini üzerlerler. Sivrihisar metamorfitleleri, Sivrihisar granodiyoriti ve Miyosen serisi üzerinde uyumsuz olarak yer alan, değişken kalınlıklı diğer bir birim ise Pleyistosen yaşlı Kepen formasyonudur. Çalışma sahasında en genç birim vadilere yerleşmiş Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleridir.

3.1.1 Sivrihisar metamorfitleleri (Psm)

Paleozoyik yaşlı Sivrihisar metamorfitleleri çalışma alanının temelini oluşturur (Şekil 3.1). İlk defa Romieux (1942) tarafından yapılan 1/100 000 ölçekli bölge haritasında metamorfik masif olarak tanımlanmıştır. Weingart (1954), Eskişehir batısına kadar yaygın bir alanda gözlemlediği bu masifi oluşturan şist ve mermerlere Permo-Karbonifer yaşını vermiştir. Erol (1955), çalışmasında metamorfik masifin içindeki ince mermer dilimlerinin daha kalın tabakalı açık renkli mermerlerden metamorfizma derecesine göre ayrılması gerektiğini düşünmüştür. Erdinç (1978) ise metamorfik masifi ayrıntılı haritalamış ve özellikle

mermerlerin metamorfik istifile ilişkisinin tektonik olmadığını bir bütün olduğunu ileri sürerek KB-GD doğrultulu Sivrihisar yükseliminde yüzeylenen masifin metamorfizma derecesinin kuzeyden güneye doğru arttığını ifade etmiştir.

YAŞ	BİRİM	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
HÜLOSEN	Alüvyon Qal Traverten (Qt)		Kum, çakıl ve tarım toprağı, Traverten — UYUMSUZ —
PLEYİSTOSEN	KEPEN P _{lk}		Karmaşık kötü boylanmış blok ve çakıl yamaç molozu alüvyal yelpaze ortamında çökelmiş — UYUMSUZ —
MİYOSEN	MERCAN T _{mm}		Gölsel beyaz sarı renkli kireçtaşı, marn, silttaşı ardalanması jips mercekli yer yer sileks yumrulu
	ÇAKMAK T _{mç}		Gölsel, açık yeşil- sarı renkli kum-silt-kil ardalanması seyrek çakıl tabakası arakatlı
	HISAR T _{mh}		Temelden türemiş akarsu ortamında çökelmiş koyu kırmızı renkli polijenik konglomera yer yer kumtaşı ve kalışlı camurtaşı arakatlı — UYUMSUZ —
EOSEN	SIVRIHISAR GRANODİYORİDİ T _{esg}		Gri renkli granodiyorid orta-iri kristalli yer yer aplit ve diyabaz dayklı — UYUMSUZ —
PERMO-KARBONİFER	SIVRIHISAR METAMORFİTLERİ P _{sm}		Krem renkli yer yer siyah bantlı seviyeler içeren masif mermer Granit dokanaklarında aşırı altere rekristalize
			Gri bantlı kalın tabakalı ince şist arakatlı mermer
			Gnays-feldspatik mika şist ardalanması seyrek beyaz renkli mermer mercekli
			Metabazit yeşil renkli gnays ardalanması çeşitli kalınlıklarda kalkışt ve mermer ardalanması mermer seviyeleri bir kaç metre ile 100-150 m arası kalınlıklarda Gri renkli siyah bantlı çört mercekli orta kalın tabakalı şist arakatlı mermer Siyahi yeşil şist fillat serisi yer yer metabazit arakatlı Koyu yeşil renkli metabazit, metaofiyolit-ince çört bantlı mermer dilimli

M.DEMİROĞLU-2007

Şekil 3.1: Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesidi (Ölçeksiz).

Umut ve diğ. (1991), Sivrihisar ilçesi batısında yer alan Kertek köyü ve çevresindeki metakırınıtlıları Kertek formasyonu, metakarbonatları ise Eryiğit

formasyonu olarak adlandırmışlardır. Bu çalışmada yapılan gözlemlerde mermerlerin, granit sokulumun dokanaklarında, sokulumdan kaynaklanan hidrotermallerin etkisiyle rekristalize olduğu ve kontak zonlarda az da olsa sülfür cevherlerinin meydana geldiği gözlenmiştir. Bu tür rekristalizasyonların en iyi görüldüğü yerlerden biri Adatepe'dir (Şekil 3.4). Burada sokulumun, siyah renkli mermer kantağında geliştiği, mermerlerin daha masif yapıda olduğu, ikincil kuvars ve kalsit damarları içerdiği ve bunlara silikat mineralleri (gröna, epidot gibi) ve sülfür minerallerinin (pirit, kalkopirit gibi) eşlik ettiği gözlenmiştir. Bu nedenle çalışmada, birbirinin devamı ve ilişkileri geçişli olan metamorfik birimler Sivrihisar metamorfikleri ve alt birimleri olarak tanıtılacaktır. Sivrihisar metamorfikleri kendi içinde metaofiyolitik temel, onun üzerinde yer alan amfibolit-mermer aralanması ve şist, fillat, mermer egemenliğinde olan ayrı birimler olarak haritalanmıştır. Çalışma alanında bunlar, birbiriyle geçişli, yapısal olarak alttan üste doğru üç temel ünitelerden oluşur. Bu çalışmada söz konusu edilen birimler, yapısal konumuna göre alttan üste doğru metaofiyolitlerden oluşan Göktepe birimi, amfibolit, şist ve gnays hâkimiyetinde mermer ara katkılı kesimler Kertek birimi, mermer hakimiyetinde şist-fillat arakatlı kesimler ise Eryiğit birimi olarak adlandırılmıştır. Çalışma amacına uygun olarak yeraltısuyu bulundurma potansiyeli olan mermerler ve geçirimsiz metamorfik birimler haritalara işlenmiş (EK A-1), çalışmada kullanılan litolojik tanımlamalar yapılmış, ağırlıklı olarak mermerler üzerinde durulmuştur (EK A-4, m: mermer).

Çalışma alanında yapılan gözlemlere göre Kertek metamorfikleri, Eosen öncesine ait, yeşil şist-amfibolit fasiyesinde metamorfize olmuş, dike yakın bir foliasyon gösteren, kapalı kıvrımlı çok sayıda farklı kalınlıkta mermer seviyesi içermektedir. Birim, dike yakın foliasyondan dolayı mercerler ve bantlar halinde haritalanabilen bir manzara sunar.

Bölgede çalışan araştırmacılardan Sherlock ve diğ. (1999) Ar/Ar yöntemine göre masifin metamorfizma yaşının Kretase olduğunu belirtmişlerdir. Ancak metamorfik masifi oluşturan kayaların birincil yaşları hakkında bir veri bulunmamaktadır. Genel kanı, aynı kuşakta yer alan metamorfiklerin Paleozoyik, olasılıkla Permo-Karbonifer yaşlı olduğu yönündedir (Weingart, 1954; Erdinç, 1978; Monod ve diğ., 1991; Göncüoğlu ve diğ., 1996; Gözler ve diğ., 1996)

3.1.1.1 Göktepe birimi (Psmg)

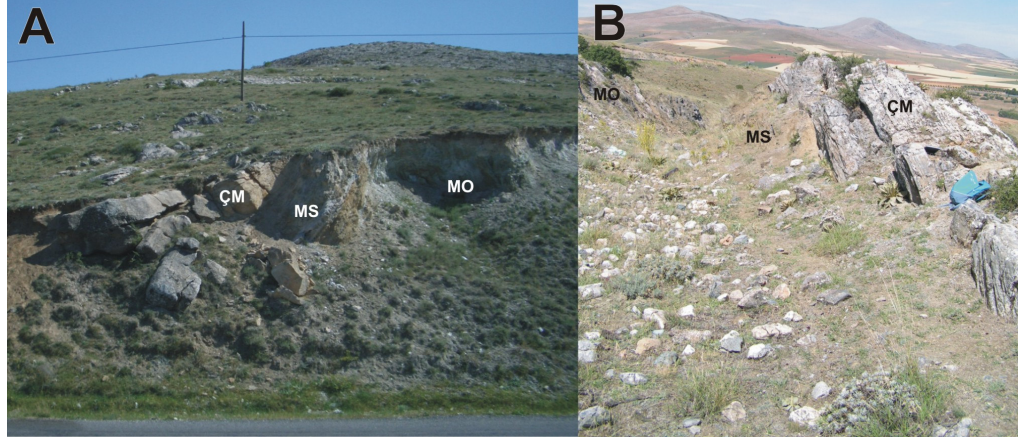
Çalışma sahasında Sivrihisar metamorfitlelerinin en alt kesimini oluşturur (EK-1 Şekil 3.1). Bunlar, Sivrihisar-Polatlı yolu üzerinde, Günyüzü yol ayrımının ilk birkaç kilometresinde, gözlenen oldukça ezik, yer yer ileri derecede altere olmuş metaofiyolitik kayalardır (Şekil 3.2). Çalışmada Göktepe birimi olarak



Şekil 3.2: Sivrihisar-Günyüzü yolunda yüzeyleyen metaofiyolitlerden bir görünüş. (Bakış yönü kuzeye doğru)

tanımlanan metaofiyolitlerin, yol yarmalarında açıklıkla gözlenebilen yüzleklerinde yapılan arazi gözlem ve incelemeleri sonucunda, bir antkilinalin çekirdeğinde yüzlek vermiş olduğu anlaşılmıştır. Mermerlerin hemen altında yer alan ve hâkim yeşil rengi ile dikkat çeken Göktepe birimi, serpantinit, metabazit, amfibolit ve ince çört ara katkılı ince mermer bantlarından oluşmuştur. Göktepe biriminin mermerlerle olan dokanağında yeralan ince meta-sedimanter kesim, mermer ile metaofiyolitlerin dokanağının birincil olduğunu düşündürmektedir. Geçiş dokanağında, metaofiyolitik temelin hemen üzerinde ince-orta tabakalı metaçörtlü koyu renkli bir mermer (Şekil 3.3), üzerinde ise tabakalı bir metabazit bulunur. Yer yer yastık lav görünümü sunan metabazitleri koyu renkli şistler izler ve dereceli olarak mermerlere geçiş yaparlar. Bu özellikler, okyanus tabanında gelişmiş birimler izlenimi verir. Söz konusu birimler ya bir okyanus tabanı üzerinde gelişmiş

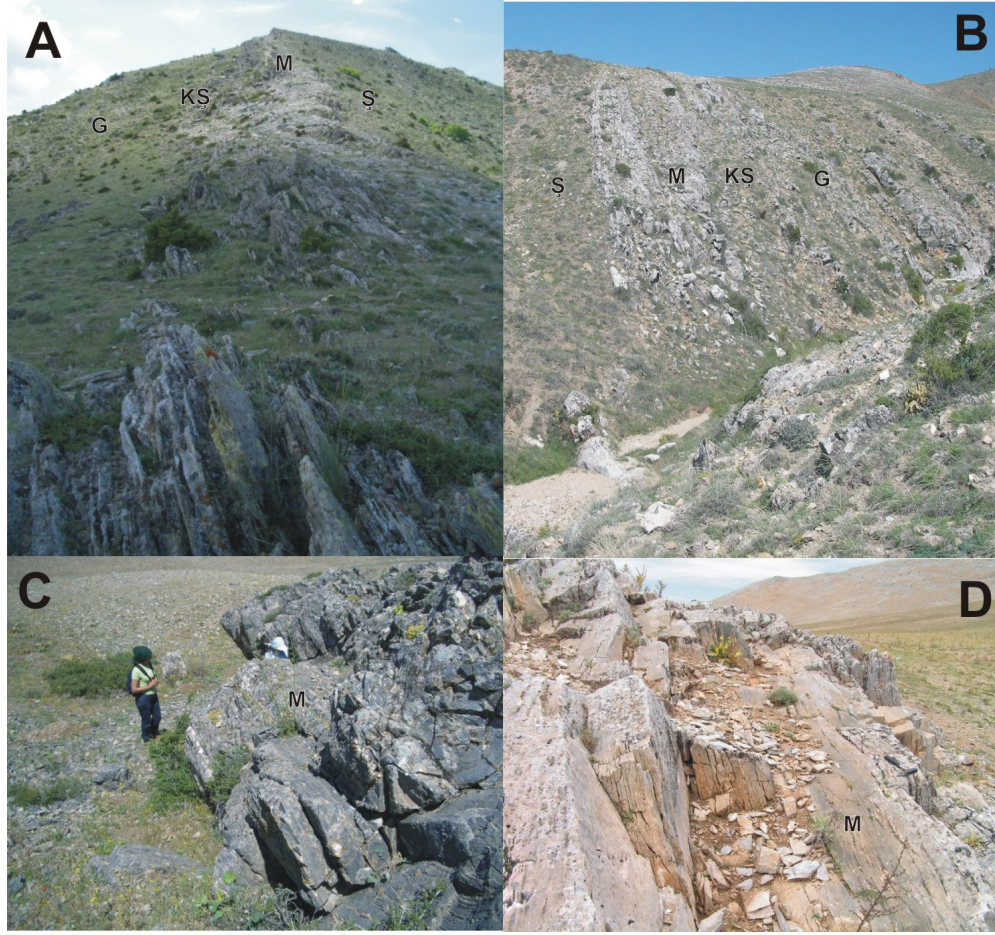
veya ofiyolitlerin üzerinde ondan malzeme olarak gelişmiş uyumsuz bir istif temsil eder. Bu haliyle metaofiyolitik kayaçlar çalışma sahasının en yaşlı birimidirler.



Şekil 3.3: Sivrihisar-Günyüzü yolunda Göktepe birimi: MO metaofiyolit, MS: metasediment, ÇM çörtlü mermer, A: Bakış yönü güneye B: Bakış yönü kuzey batı

3.1.1.2 Kertek birimi (Psmk)

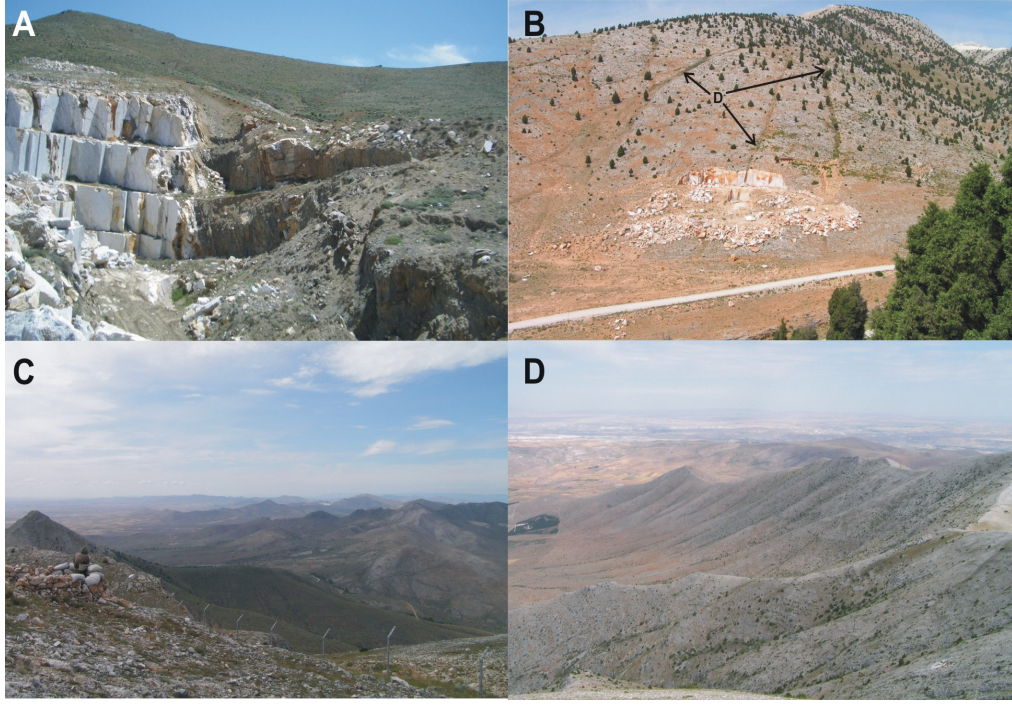
Göktepe birimi üzerinde yer alan, gri, yeşil, yeşilimsi kahverengi, gnays amfibolit şist, kalkışist, mikaşist, kuvars şist, metabazit ve ince mermer ara katkıları, bu çalışmada Kertek Birimi olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.1). Birim, Sivrihisar'ın kuzeyinde, Dutlu köyü güneyi, Yiğitleryatağı tepesi ve Sivrihisar-Günyüzü yolunun güneydoğu kesimlerinde yüzeylenir (EK A-1 ve Şekil 3.4) . Mermerlerle ara katkılı olan kalkışist, amfibolit şist seviyelerinin gnays seviyeleri ile ilişkisi en açık şekilde Sivrihisar kuzeyi, Yiğitleryatağı tepesi ve Ekinyeri tepesinin birbirine bağlayan sırtın kenarlarında görülmektedir (EK A-1). Kertek birimi sahanın bu kesiminde dike yakın foliasyonu ve ince mercekleri ile kolayca izlenebilmekte, uydu görüntüsünde sarp kesimleri haritalanabilmektedir. Mikaşistlerin egemen olduğu kesimlerinde ara katkılı olarak ince kuvarsit ve mermerler bulunur. Mermerler orta kalınlıkta tabakalı ve siyah gri bantlıdır. Mermerlerin içindeki kalınlıkları değişken ince çört bantları ve yumrularının miktarının Göktepe birimine yakın kesimlerde arttığı gözlenmiştir. Mikaşistler ince, kalkışist ve kuvarsşistler ise orta kalınlıkta yapraklanma sunarlar. Kıvrımlanma ve yapraklanmanın yoğun görüldüğü şistlerde yapıya paralel yönde aplit ve kuvarsit damarları gelişmiştir. Sahanın batı kesimlerinde gözlenen diyabaz daykları tüm bu seriyi kesmektedir.



Şekil 3.4: Kertek Birimi'nin mermer, mika şistler, gnays, kalkışist ardalanmalı kesimlerinden görünümler A:Yiğitleryatağı tepe bakış yönü batıya, B: Sivrihisar kuzeyi dereyatağında Kertek birimi C: Adatepe'de siyah mermerler, D: Eryiğit tepe doğusunda siyah çörtlü mermerler Ş: mika şist G: gnays, M: mermer, KŞ: kalkışist

3.1.1.3 Eryiğit birimi (Psme)

Çalışma sahasında, Sivrihisar metamorfitlelerinin en üst seviyesini ince taneli kuvarso feldispatik şistler, fillatlar ve kalın tabakalı yer yer masif görünümlü mermerlerden oluşan Eryiğit birimi oluşturur (Şekil 3.1). Eryiğit biriminin hâkim kayacı mermerlerdir. Kuzören ve İstiklalbağı köyleri ile Eryiğit dağı Andikini tepesi civarında gözlenir. Bu kesimlerde mermerler dik, dike yakın tabakalı, şist ve fillatlarda dike yakın bir foliasyon sunar (Şekil 3.5). Birim Tutlu, Yazır, Çaykoz ve Atlas köyleri civarında, Kayakent kuzeybatısında Kuzören güneyinde, Eskişehir-Sivrihisar yolu kuzeyinde mostraları gözlenebilir. Saha genelinde şistler daha dar ve sıkışık kıvrımlar oluştururken, mermerler ya dike yakın tabakalı mercerler ya da daha geniş kıvrımlı bir yapıdadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5: Eryiğit biriminin muhtelif görünümü A: Selami Kutlu taş ocağında Eryiğit birimi masif mermerleri ve şistlerin ilişkisi,(bakış kuzey doğuya) B: Eryiğit dağı yolu başlangıcında mermerleri kesen diyabaz daykları(D), (bakış kuzeye) C: Eryiğit dağından batıya bakış D: Eryiğit dağından doğuya doğru mermerlerin görünümü

Bu kesimlerin hâkim birimi olan krem renkli mermerler, tabanlarında yer alan şist-fillat ar dalanması ile geçişlidir. Kayakent güneybatı ve güneyinde, Eryiğit dağı, Hasanbabadağ, Boz tepe, Kale tepe civarında, Koçaş kuzeybatısında ve Yörme batısında Kuru tepede gözlenen beyaz krem renkli mermerler, tabanda tabakalanması daha belirgin üste doğru masif görünüşlüdür. Mermerlerin, granitik plutona yakın olan kesimleri kontak metamorfizmasına uğradığı için daha masif ve silis içeriği daha zengindir, bu nedenle diğer kesimlerden aldatıcı bir şekilde farklı görülür.

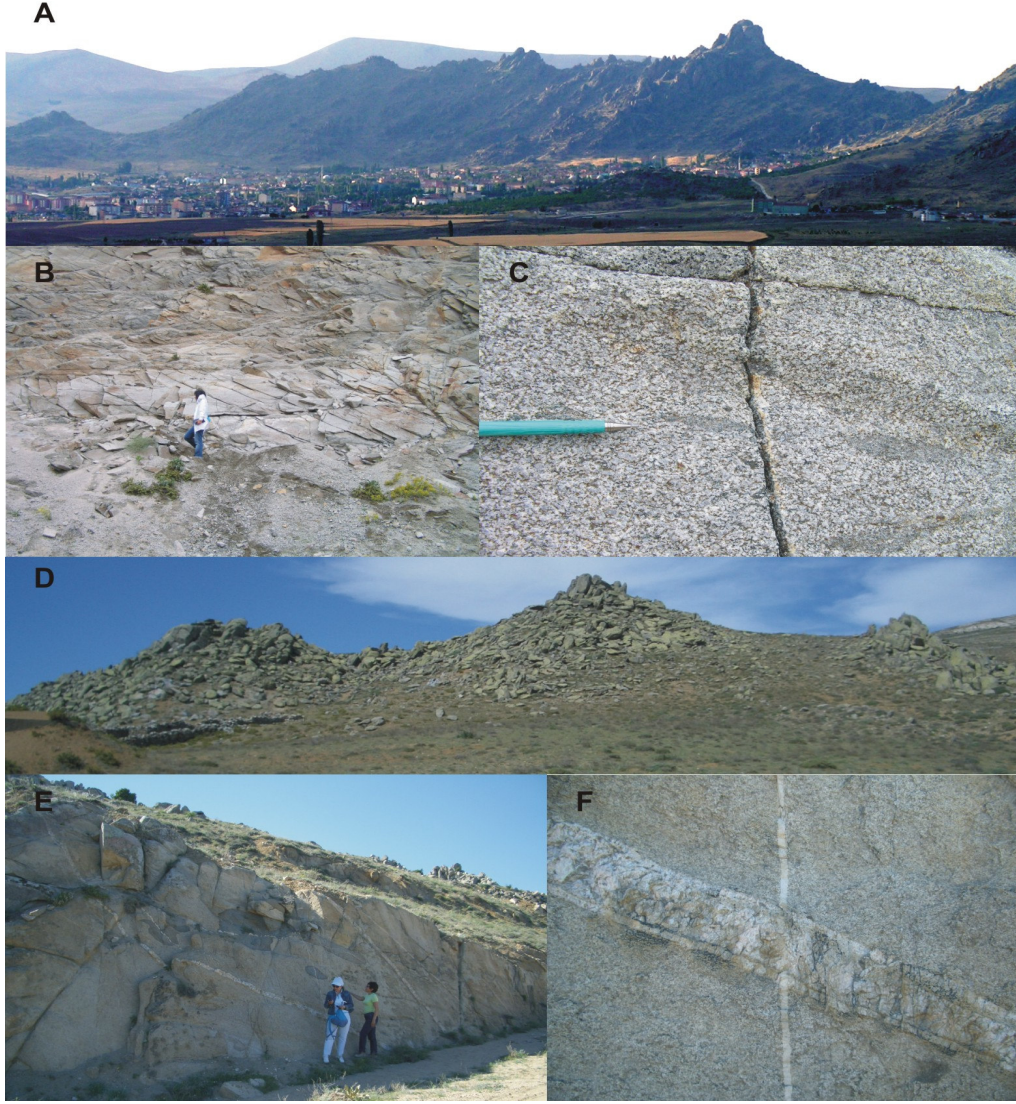
Kuzören arasında gri, kirli beyaz renkli, orta-kalın tabakalı rekristalize kireçtaşları, Holanta (Kayakent) güneyi, Ardıçburnu tepe ve Eryiğit dağında ince-kalın katmanlı mermerler olarak gözlenir. Bazı kesimleri breşik bir yapı sunar. Bu breşik yapılar, olasılıkla Eskişehir fay zonuna bağlı tali faylar üzerinde gelişen karstik boşluklara dolan kireçtaşı bloklarının, yeniden çözünme ve kalsit çökelimi ile oluşmuşlardır.

3.1.2 Sivrihisar granodiyoriti (Tesp)

Çalışma sahasında Sivrihisar metamorfitlelerini kesen ve geniş alanda yüzeyleyen plutonik kayalar, bu çalışmada Sivrihisar granodiyoriti başlığı altında değerlendirilmiştir (EK A-1, Şekil 3.1). 1/500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritasında da yekpare bir kütle olarak gösterilen kütle, Erdinç (1978) tarafından Sivrihisar plütoniti, Kibici ve diğ. (1993) ve İçten (2001) tarafından ise Kadıncık granodiyoriti, Tekören granodiyoriti ve Karacaören granodiyoriti şeklinde isimlendirilmiş ve farklı mostralara olarak haritalanmıştır.

EK A-1'de verilen sahanın jeoloji haritasında görüldüğü gibi Sivrihisar granodiyoriti, Sivrihisar, Tekören, doğuda Dinek, Kadıncık ve güneyde Karacaören köyleri arasında geniş bir alana yayılır. Sokulumun topoğrafik görüntüsü Sivrihisar, Karadağ tepede sarp kayalıklar halinde olup yer yer arenalaşmanın gözlemlendiği kısımlar da bulunmaktadır. Sivrihisar ilçesinde, oldukça yüksek ve dik yamaçlı kütleler hemen göze çarpmaktadır (Şekil 3.6A). Fakat kuzeye doğru bu görünüm yok olur ve düşük eğimli bir topoğrafyada ince bir örtünün altında yer alır. Sadıkbağı kuzey doğusundaki sırtlar ve Karadağ tepesinin morfolojik görünümü Sivrihisar yerleşiminin kuzeyindekine benzer bir görüntü sunar (Şekil 3.6D). Bu yüzleğin batı kesiminde magmatik kayaların yerleşmesine koşut olarak temel kayaları sıklıkla kesen (aplit, pegmatit ve diyabaz sil ve daykları) gözlenir (Şekil 3.6 E ve F). Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünden (EK A-2) haritalanabilen daykların KKD-GGB doğrultusunda olduğu görülmektedir (EK A-1). Dayklar, Sivrihisar metamorfitlelerinde ve Sivrihisar granodiyoritinde aynı yönde gelişmiştir. Sivrihisar ilçesinin kuzeyinde yeralan sarp kesimlerde de aynı yönde gelişmiş çok sayıda ince aplit daykı gözlenmiştir.

Sivrihisar granodiyoriti kendi içerisinde yapısal ve dokusal farklılıklar sunarken genelde gri-koyu gri renk tonlarındadır. Makroskopik olarak kuvars, feldispat, hornblend ve biyotitler rahatlıkla tanınmaktadır. Sivrihisar ilçe merkezi ve yakın civarında yüzeyleyen sokulumda, Örgün ve diğ., (2004 ve 2005) yaptıkları çalışmada, sokulumun mineralojik bileşiminin kuvars (%10-15), ortoklas ve mikroklin (%30-35), andezin (%20-25), hornblend (%20-25), biyotit (%1-2), aksesuar ve opak minerallerden (%1-2 sfen, zirkon, apatit, manyetit, pirit ve kalkopirit) meydana geldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 3.6: Sivrihisar granodiyoritinden görünümeler. A: Sivrihisar yüzleğinin morfolojik görünümü, bakış kuzeybatıya; B: Sivrihisar batısında taş ocaklarında bir görünüm bakış kuzeybatı; C. Sivrihisar granodiyoriti dokusu; D: Sadıkbağı kuzeyinde yer alan sırtlardan yüzleklerin morfolojik görünümü; E: Tekören-Günyüzü yolunda anklavlar ve aplitik damarlar F: Birbirini kesen aplit damarları

Aynı araştırmacılar orta düzey silis (%57- 60 SiO_2), yüksek kalsiyum (%5.83-6.50 CaO) ve sodyum (%4.10-4.32 Na_2O) içeriğiyle metaluminous ve alkali bileşim sergileyen kütlelerin, kalk-alkalin bir magmadan türediğini, ağırlıkla monzodiyorit ve daha az oranda kuvarsdiyorit bileşimli I-tipi bir sokulum olduğunu ifade etmişlerdir.

Bölgede çalışan İçten (2001)' de yaklaşık benzer mineralojik ve kimyasal sonuçlar vererek kütlenin I-tipi granitlere benzediğini belirtmiştir. Sivrihisar plütunu için değişik araştırmacılar tarafından farklı yaşlar verilmiştir. Zirkon mineraline göre Gautier (1984) 90.8 ± 2.14 My. yaşını verirken, Sherlock ve diğ. (1999), $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ izotoplarında yaptıkları yaşlandırma ile sokulumun 53 ± 3 My (Eosen) yaşında olduğunu belirtmişlerdir.

Tüm bu mineralojik ve jeokimyasal veriler, yaptığımız arazi gözlem ve incelemeleri ile birlikte değerlendirildiğinde, yüzeyde gözlenen birbirinden bağımsız kütlelerin, derinde tek bir plütone bağlı olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle çalışmada tümü Sivrihisar granodiyoriti olarak adlandırılmıştır.

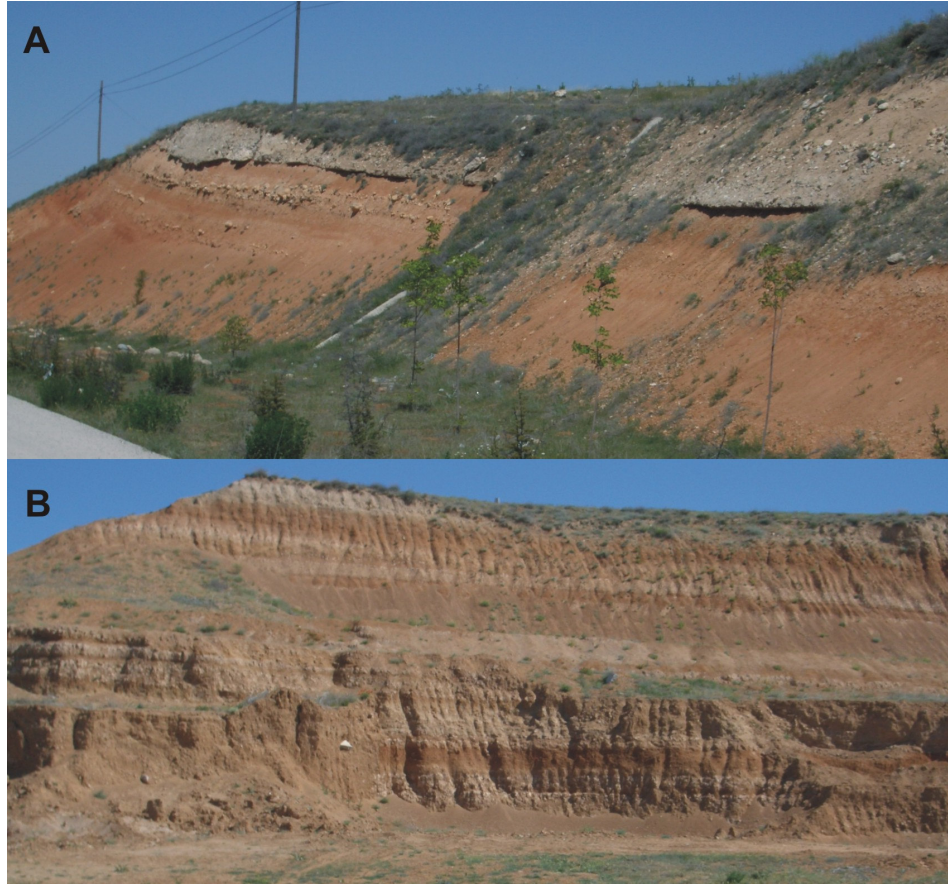
3.1.3 Miyosen serisi

Miyosen yaşlı seriler, çalışma sahasında KB-GD eksenli Sivrihisar dağlarının kuzey ve güney kenarlarında geniş alanları kaplamaktadır (EK A-1). Seri, hafif kıvrımlı yanal ve düşey geçişli göl ve göl kıyısı ortamları temsil etmektedir. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden renk farklarıyla kolaylıkla ayırdedilebilen bu birimler, laboratuvar ortamında haritalanmış ve arazide yol boyu güzergâhlarında dokanakları ve temel nitelikleri denetlenmiştir. Farklı renkleri ve morfolojik özellikleriyle arazide yapılan gözlemlerde, Miyosen gölünde olan seviye değişimleri nedeniyle en altta yer alan birimler, havza kenarlarında diğer birimler ile ardalı bir yapı sergilemektedir.

Bu çalışmada temelin hemen üzerinde yer alan kırmızı renkli kongomeralar ve çamurtaşları, Hisar formasyonu, üzerindeki yanal ve düşey geçişli kil, silt, marn istifi Çakmak formasyonu ve en üstte bulunan jips mercekli marn-kireçtaşı istifi ise Mercan formasyonu olarak tanıtılacaktır (Şekil 3.1).

3.1.3.1 Hisar formasyonu (Tmh)

Hisar formasyonu karbonat çimentolu, kalın katmanlı, kötü boylanmalı kırmızı renkli çakıltaşları, kumtaşları ve çamurtaşlarından oluşur (Şekil 3.7). Birimin adı Sivrihisar güneybatısındaki Hisar köyünden alınmıştır (Umut ve diğ.,1991). Aynı birim, Kibici ve diğ. (1993) tarafından, Miyosen yaşlı birimlerin tümünü kapsayan Günyüzü formasyonu içindeki konglomera seviyeleri olarak açıklanmıştır.



Şekil 3.7: Hisar formasyonundan görünümeler; A: Sivrihisar Poltalı yolunda Hisar formasyonu içinde çamurtaşı çakıлтаşı aradalanması, bakış doğuya B: Yukarı Kertek- Sivrihisar yolu yukarı Kertek alt geçidi doğusundaki mostralarda kırmızı kalışlı çamurtaşları, bakış kuzeye doğru

Hisar formasyonu, Dutlu-Atlas-Koçaş ve Dinek köyü civarında yüzeylenmekte olup, diğer birimlerle yanal geçişlidir. Kaba taneli matriks destekli çakıлтаşları, temel kayalardan uzaklaştıkça yani dış çeperlere doğru gidildikçe küçülen tane boyu, birimin yelpaze çökelleri olarak yorumlanmasını getirmektedir. Çakıлтаşının çakılları, güneybatıda şist-mermer-granit, güneydoğuda ise şist-mermer kökenlidir. Kuzeyde ise mermer ve metabazitler yaygın olarak görülür. Sivrihisar yükseliminin, kuzeyinde ve güneyinde yer alan transgressif özellik gösteren göl çökelleri ile yanal geçişli olduğu göz önüne alındığında, havzanın gelişimi boyunca, Sivrihisar yükseliminden havzaya uzanan akarsuların malzeme taşıdığı, gölün maksimum kıyı sınırı üzerinde kalan alanda sürekli olduğu düşünülebilir. Birimde herhangi bir fosile rastlanılmamış, ancak Üst Miyosen yaşında olduğu belirlenen Kadınhanı civarındaki Kızılbayır formasyonu ile benzer özellikler gösterdiğinden aynı yaşta olduğu kabul edilmiştir.

Polatlı-Haymana ile Cihanbeyli-Tuz gölü havzalarının en kuzeybatı kenarı olan çalışma sahasında Miyosen öncesi temel üzerine uyumsuz gelen çakıllı formasyonların (Erdoğan, 1978) aynı havzanın kuzeybatıya uzanımı olan Günyüzü ve Çifteler havzaları temelinde yeralan konglomeraları ile aynı dönemde, Orta-Geç Miyosen döneminde, çökeldiği söylenebilir.

3.1.3.2 Çakmak Formasyonu (Tmç)

Açık yeşil sarı renkli kum, silt, kil ardalı, orta-kalın tabakalı, sileksli kireçtaşı ile beyaz, yeşil, kahverenkli marn, çakıltası, jips ve turba arakatlı birim Çakmak formasyonu olarak adlandırılmıştır (EK A-1 ve Şekil 3.1) (Umut ve diğ.,1991). Çalışma alanında Günyüzü ve Çifteler havzalarını ayıran Sivrihisar yükseliminin iki tarafında da yer alan formasyon belirgin olarak, Çakmak köyü batısında gözlenir. Birim ayrıca Miyosen istifini yükselmiş kesimlerinde, derin kazmış vadilerin yamaçlarında gözlenmektedir. Sivrihisar yükseliminin etrafında, Hisar formasyonu ile Mercan formasyonu arasında kalan kesimlerde, iki formasyonun arasındaki geçiş fasiyeslerini oluşturan kil, kum, marn ve çakıldan oluşan yumuşak topoğrafyası ve açık yeşil sarı boz rengi ile arazide kolaylıkla ayırt edilir (Şekil 3.8). İçinde yer yer



Şekil 3.8: Çakmak köyü batısında Çakmak formasyonunun görünümü (Bakış doğuya).

kırmızı renkli alacalı bir görünüm veren bantlar halinde çamurtaşı seviyeleri bulunur. Yer yer mercekler halinde çakıltası arakatlıları da görülmektedir. Ayvalı ve Gümüşkonak doğusunda, Sakarya nehrinin kuzeyinde geniş bir alanı kapsayan Çakmak formasyonu, batıdan doğuya doğru gidildikçe fasiyes değişiklikleri gösterir.

Kayakent güneydoğusunda Deliklikaya dere içinde birim, temeli oluşturan metamorfik şistlerin üzerindeki Hisar formasyonundan sonra yeralır. Sivri tepe kuzeyindeki Yeniçıkırı kaynağı civarında ise yatay katmanlı kireçtaşı arakatkıları doğrudan temel üzerine gelmektedir.

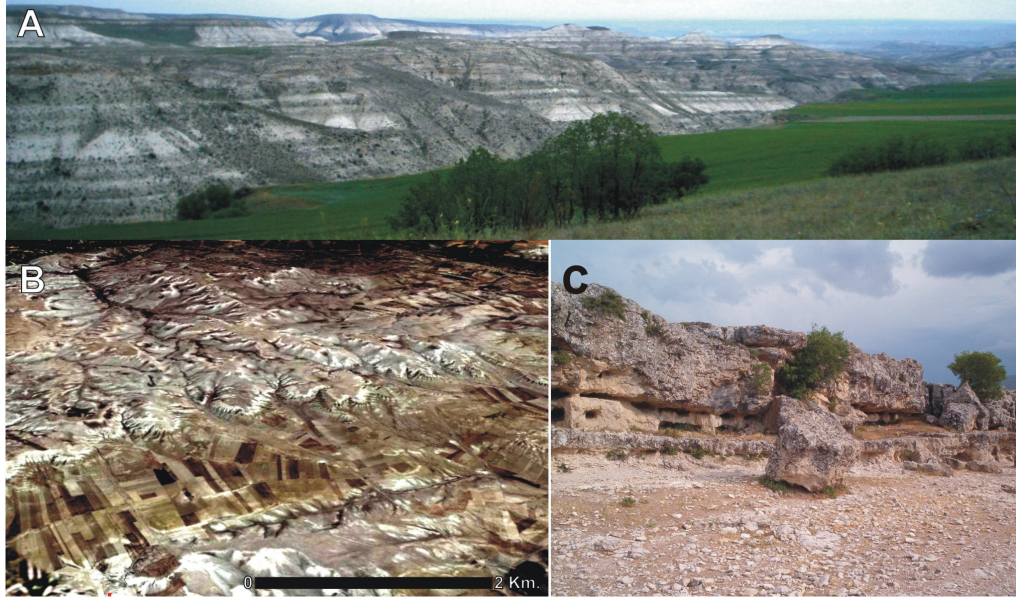
Göl kıyısı ve göl çökeli niteliğindeki Çakmak formasyonu, Hisar formasyonu tarafından yer yer üzerlenir. Formasyon, yanal ve düşey geçişli olduğu Hisar formasyonu ile eş yaşıdır.

3.1.3.3 Mercan formasyonu (Tmm)

Beyaz, gri renkli, ince-orta-kalın tabakalı kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, marn, kiltası, jips araldanması ve yer yer turba arakatkılarından oluşan birim Mercan formasyonu olarak ayırtlanmıştır (EK A-1 ve Şekil 3.1) (Umut ve diğ., 1991).

Mercan formasyonu, Günyüzü, Kayakent, Gümüşkonak, Mercan köyü doğusu ve Hamamdere kuzeydoğusunda yayılım gösterir. Çalışma sahasında Miyosen çökellerinin olduğu alanda korniş yapan tüm tepelerin genellikle en üst kesimini oluşturur (Şekil 3.9). Üzerinde gölün en son evresine ait kırmızı renkli ince bir seviye bulunur. Formasyonu oluşturan kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, marn ve kiltası ile araldanmalıdır. Kireçtaşları beyaz, gri renkli, ince-orta kalın tabakalıdır. Çörtler, kireçtaşları arasında yer yer bantlar, yer yer de yumrular halinde bulunur. Kiltaları, yeşil, beyaz renkli, masif görünümlüdür. Yer yer gözlenen siyah renkli ince bantlar, kil- silt oranı yüksek turba arakatkılarıdır.

Mercan formasyonu içinde üst seviyelerde kalınlığı 3 m'yi bulan jipsler yer yer kalın mercerler olarak izlenir. Mercan formasyonunun temsil ettiği göl seviyeleri olasılıkla Messiniyen'de Akdeniz'de yaşanan kuraklaşma krizi ile eş zamanlıdır. Kireçtaşları ile araldanmalı olarak bulunan jipsler, zaman zaman gölün bir tuz gölüne dönüştüğünü göstermektedir. En üstte yer alan ince kırmızı seviyeler gölün kuruma evresine karşılık gelmektedir.

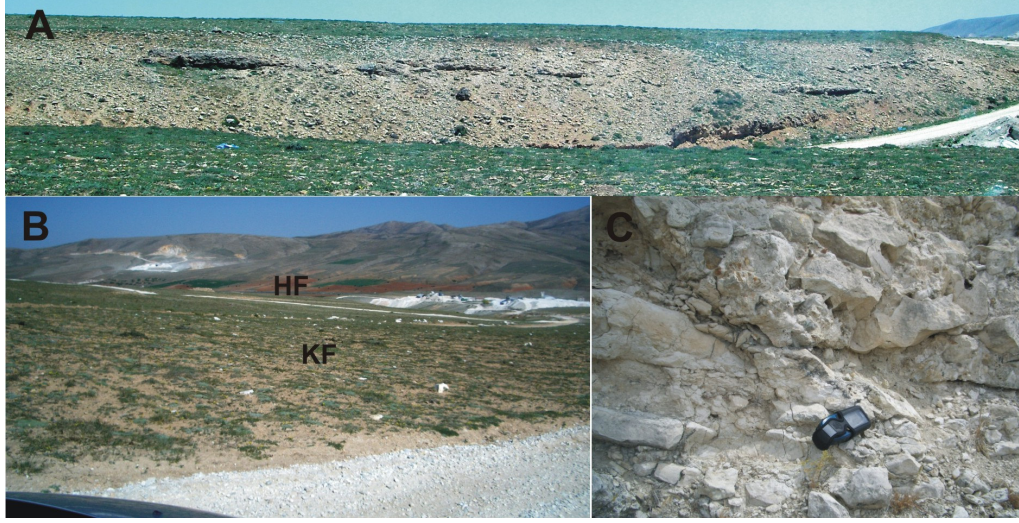


Şekil 3.9: Mercan formasyonunun görüntüsü A: Gölgecik tepe doğusunda Günyüzü-Çakmak yolundaki vadilerde Mercan formasyonu (bakış güneybatı), B: Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünde Mercan formasyonunun oluşturduğu tepeler (bakış 2 km yukardan kuzeydoğuya 20° açıyla.) C: Nasreddin Hoca kaynağında Mercan formasyonunun kireçtaşı tabakaları, (bakış kuzeye)

3.1.4 Kuvaterner Çökelleri

3.1.4.1 Kepen formasyonu (Plk)

İlk defa Umut ve diğ. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Sahada hakim olarak Miyosen serileri üzerine uyumsuz olarak gelir. Yer yer bu serileri aşarak Sivrihisar yükseliminin eteklerinde Sivrihisar metamorfite ve Sivrihisar granodiyorit üzerinde de uyumsuz olarak bulunmaktadır (EK A-1 ve Şekil 3.1) Genellikle, kaba boylanmış farklı kökenlerden gelen blok ve çakıllardan oluşur. Kalınlığı bir kaç m.'den 15 m.'ye kadar değişir (Şekil 3.10). Malzemesini yer yer Hisar formasyonu oluşturur. Bu kesimlerde kırmızımsı kahverengi çakıltası, çamurtaşı ve kumtaşlarından oluşan birim, Hisar formasyonu üzerinde yer aldığı kesimlerde birbirine çok benzerdir. Kepen köyünde yüzeylenen Hisar formasyonunun kırmızı renkli, kalış arakatlı çamurtaşları ile karıştırılmaması gerekir.



Şekil 3.10: Kepen formasyonunun Sivrihisar kuzeydoğusunda bulunan yol kesitinde görünümü A: Kepen formasyonuna ait kötü boylanmış ve yuvarlanmış konglomera tabakaları; B Kepen formasyonunun (KF) arazide düşük eğimli topoğrafik görünümü, ilerde görülen kırmızı formasyon Sivrihisar-Polatlı yolundaki Hisar formasyonu (HF) C: Formasyonun yakın görünümü

Sivrihisar kuzeyi, Atlas, Kayakent, Dutlu köyü kuzeyi, Dinek köyü güneyinde temel kayaların üzerinde geniş alanda ince örtü şeklinde mostralar verir. Oldukça heterojendir. Mermer mostraları çevresinde tamamen mermer çakılları, şist ve fillat gibi metamorfik birimlerin egemen olduğu kesimlerde karışık, yer yer karstik breş görünümlü zayıf kahverengi karbonat çimentolu, yer yer yuvarlak ve hafif tutturulmuştur. Çakıllar, blok boyutundan 2 cm.'ye kadar değişen büyüklükte ve genellikle metamorfik kayaç kökenlidir. Matriks destekli kaba çakıltaşları ile aratabakalı olarak görülen dane destekli kaba çakıltaşları, alüvyon yelpazesi ortamında depolanmış çökellerdir. Eskişehir-Günyüzü arasında uzanan temel birimlerin oluşturduğu topoğrafyaya uygun olarak gelişmiştir. Tabaka eğimleri ve çakıl petrografisi birimin bulunduğu bölgedeki yerel temelden kaynaklandığını göstermektedir. Temel döküntüsü, alüvyal yelpaze, akarsu çökeli, yamaç molozu fasiyeslerinde çökelmiştir. Bu fasiyesler bulunduğu yerdeki temelin ve eğimin niteliğine bağlı olarak değişir.

Formasyon, bölgedeki drenaj ağı ile eş yaşlı olarak Sivrihisar yükseliminden düşük profilli topoğrafyanın olduğu kesimdeki vadi eksenlerine doğru kalınlaşır. Eskişehir civarında benzer özellikler gösteren birimlerden Pleyistosen yaş alınmıştır (Gözler ve diğ. 1996). Bölgesel drenaja eş yaşlı olarak gelişen birim için bu çalışmada Pleyistosen yaş önerilmektedir.

3.4.1.2 Traverten (Qtrv)

Çalışma sahasındaki travertenler haritalanabilecek ölçekte değildir. Birkaç metre kalınlığında ve birkaç on metre genişliğinde olan mostralar, Nasrettin Hoca, Hamamkarahisar (Çardakhamamı) ve Subaşı (Ilıca) kaynakları etrafında, vadilerin kenarlarında dar alanlarda gözlenir. Beyaz, sarı, krem renkli, bitki kalıntılı olan travertenlerin en kalın ve yaygın görüldüğü yer Ahiler lokalitesidir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11: Ahiler’de travertenlerin görünümü

3.4.1.3 Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında geniş vadilerde özellikle Miyosen yaşlı birimlerin üzerinde gelişen alüvyonlar, sahanın en genç oluşuklardır (Sekil 3.1, EK A-1). Günyüzü havzasında akarsu çevrelerinde, özellikle Sakarya nehri boyunca geniş alanlar kaplarlar. Kalınlıkları 1-30 m. arasında değişir. Sakarya nehri ekseninde mil boyutlu malzemeden oluşan alüvyonlar verimli tarım alanlarını oluşturur.

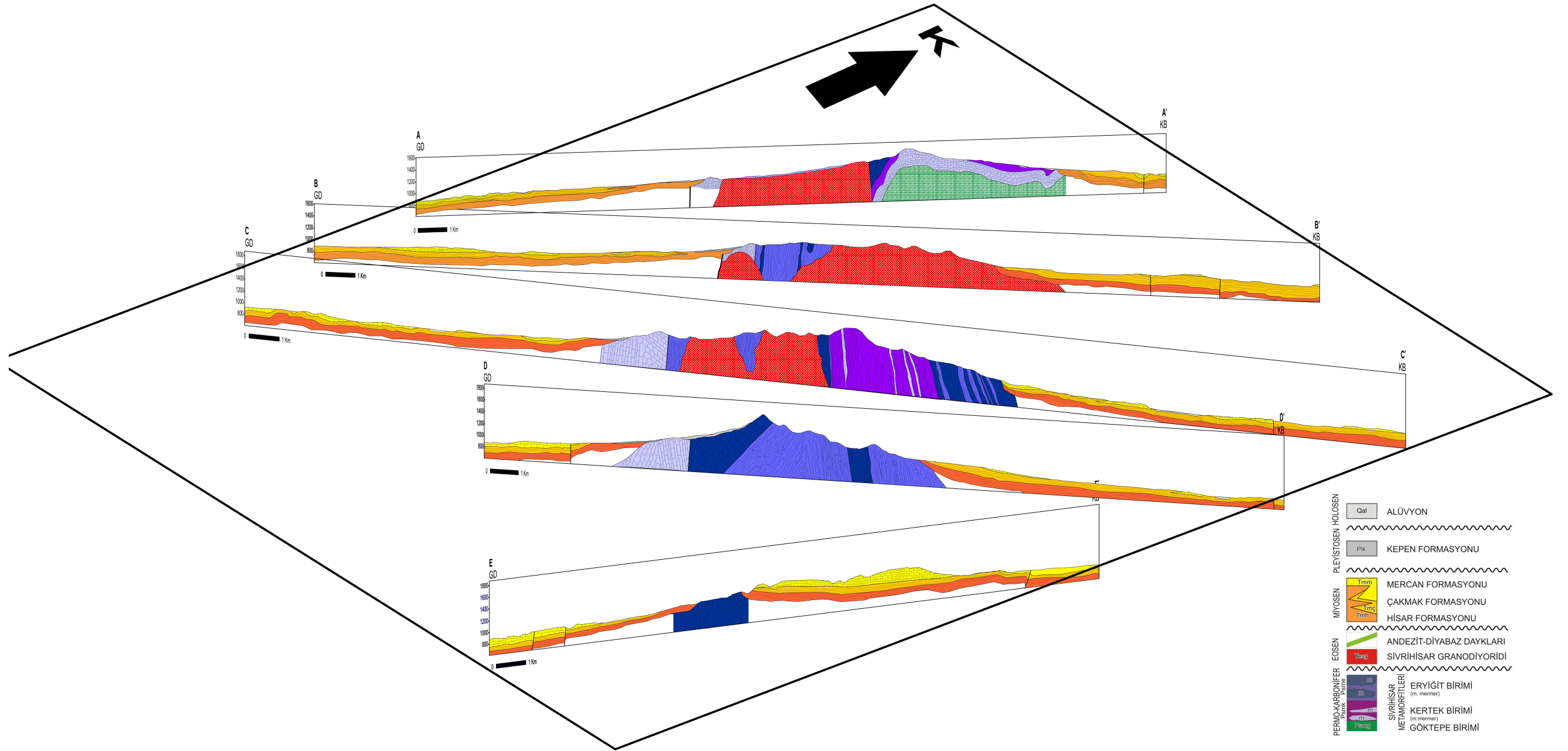
3.2 Yapısal Jeoloji ve Tektonik

Çalışma sahası dört ayrı deformasyon ile temsil edilen bir tektonik evrime sahiptir. Bunlardan ilki Sivrihisar metamorfitlerinin (Permo-Karbonifer) yapısal özelliklerini oluşturur ve en yaşlı yapılar bu döneme aittir. İkinci dönem (Paleosen-Eosen) Sivrihisar granodiyoritinin sokulması ile eş yaşlı olan deformasyondur ve bu deformasyon Sivrihisar metamorfitlerinin yapısal özelliklerinin değişmesine neden olmuştur. Üçüncü dönem (Oligosen-Miyosen) ise Sivrihisar metamorfitlerinin ve Sivrihisar granodiyoritinin yükselmesi ve faylanarak yüzeylenmesi ile temsil edilir. Son dönem ise bölgede eski fayların reaktivasyonu ile meydana gelen güncel sismik aktivite ile temsil edilmektedir.

3.2.1 Permo-Karbonifer yapıları

Sivrihisar metamorfitlerinin en önemli özelliği, yapısal ekseninin KB-GD eksenli morfolojik yükselimin eksenine paralel olmasıdır; bu nedenle K-G yönündeki yapıyı dik kesen vadilerde ve yol yarmalarında açık olarak izlenir. Mermerler ve diğer metamorfik kayalarda foliasyon, KB-GD yönlü yapısal eksen izler. Mermerlerde tabakalar dik ve dike yakın hakim olarak kuzeye eğimlidir. Litolojik birimlerin uydu görüntüsünden elde edilen sınırları ile foliasyon arasında bariz bir ilişki bulunmaktadır. Kıvrımlar kapalı asimetrik biçimlidir (EK A-1, Şekil 3.12).

Mermerlerde görülen tabakalanmaların kıvrım kanatlarında genel eğim kuzeye doğrudur. Metamorfik birimlerin arasında bulunan mermerlerin tabakalarının eğimi, genel olarak dik ve dike yakın olduğu kolaylıkla görülmektedir (EK A-1, Şekil 3.4). Kıvrımların ana eksenleri de foliasyona paralel olarak gelişmiştir (Şekil 3.13). Metamorfik birimlerin içinde bulunan küçük ölçekli ters faylar KB-GD yapısal eksene uyumludur. Mermerler içinde Z ve S tipi kıvrımlar gelişmiştir. Bu kıvrımlar metamorfizma ve deformasyonla eş yaşlıdır (Şekil 3.13). Olasılıkla Permo-Triyas döneminde gelişen bu deformasyon, yaklaşık KD-GB doğrultulu bir sıkışma ve kuzeyden güneye doğru bir itilmenin sonucudur. Mermerlerde ölçülen çatlak takımlarının, ana doğrultuları KB-GD doğrultulu yapıya, dik ve paralele yakın doğrultudadır, eğimleri dik ve dike yakındır. Bu ana doğrultular dışında ikincil olarak gruplaşan çatlaklar KD-GB yönlü bir çekme gerilmesinin ürünüdür. Birçok dayk söz konusu doğrultulara yerleşmiş durumdadır (Şekil 3.13).



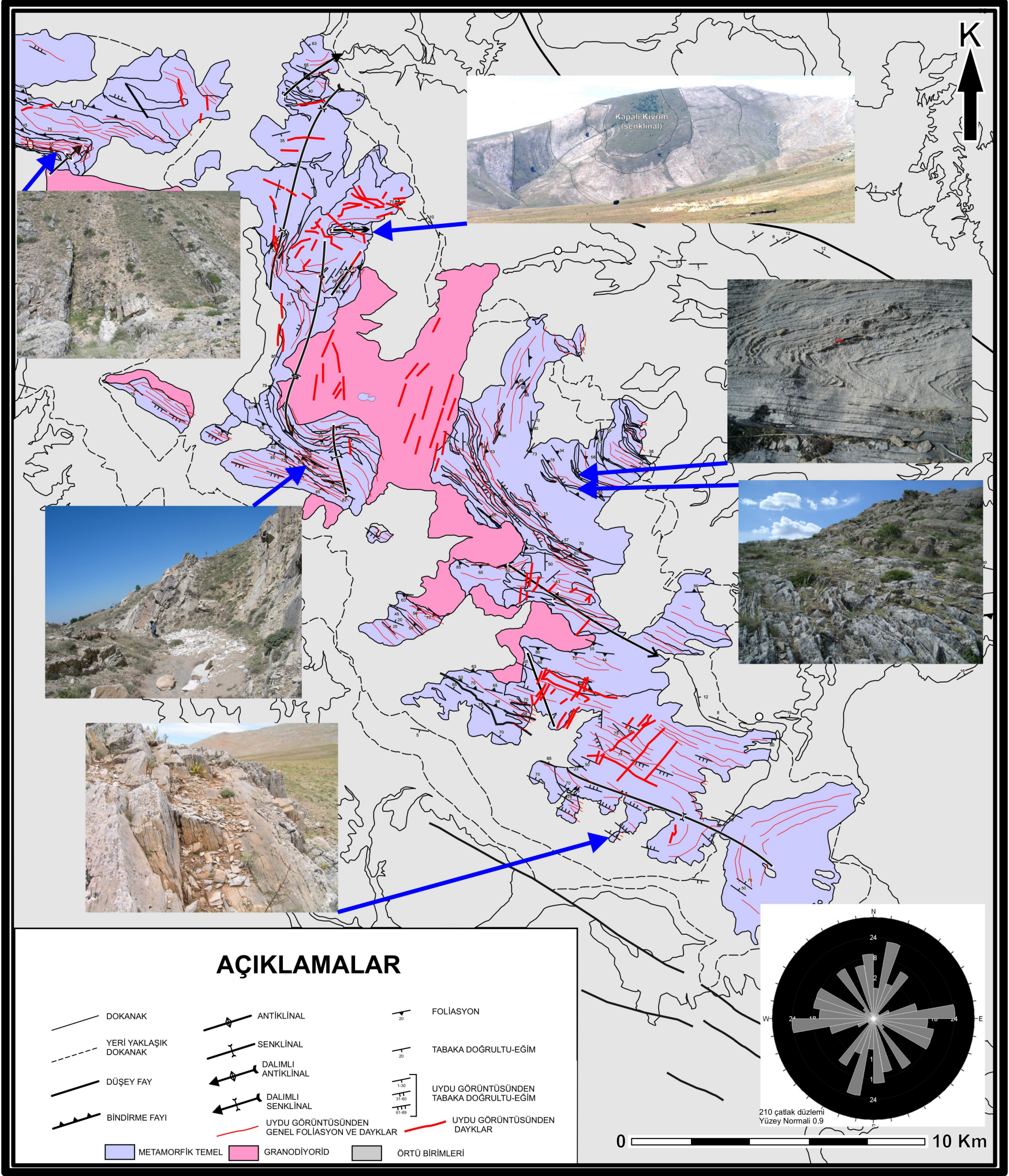
Şekil 3.12: Çalışma sahasının enine kesitlerinin konumsal görünümü

3.2.2 Eosen ve sonrası yapıları

Çalışma sahasında Eosen ve sonrası yapılar olarak tanımlanacak unsurlar, Sivrihisar granodiyoritinin yerleşmesi esnasında oluşmuş olan yapılardır. Bunların başında Sivrihisar granodiyoritinin dokanaklarında oluşan yönsel değişimlerdir. Bunun en etkin olduğu alan Koçaş, Tekören ve Sadıkbağı arasındaki Sivrihisar metamorfitlerinin bulunduğu kesimdir. Sivrihisar granodiyoritinin itmesiyle oluşan kıvrımlar mostranın hemen batısında K-G yönlüdür (Şekil 3.13). Aynı şekilde mostranın doğu kesiminde de genel foliasyonun kuzeye doğru saptığı görülür (Şekil 3.13). Bu nedenle burada açık bir senklinal oluşmuştur. Dikkat çekici olan, granodiyorit kütleleri içinde gelişen yaklaşık K-G yönlü dayklar ile mermerleri Eryiğit dağı civarında kesen daykların benzer yönde olmasıdır (EK A-1). Mermerler içinde elde edilen yaklaşık K-G yönlü çatlak ölçümlerinin dayk doğrultuları ile aynı olması, Eosen yaşlı granodiyoritinin yerleşmesi ile süren deformasyonun sürekli olduğunu göstermektedir. Bu durum, yaklaşık K-G yönünde sıkışma olarak açıklanabilir. Granodiyorit'in çatlaklı yapısı ve birbirini kesen aplitik ve pegmatitik damarlar söz konusu sıkışmaya uyumlu olarak yorumlanabilir. K-G yönlü diyabaz dayklarının en önemli etkisi mermer tabakalarını dikine keserek karstik yapıyı yer yer geçirimsiz perdeler şeklinde bölmüş olmasıdır (EK A-1).

3.2.3 Oligo-Miyosen yapıları

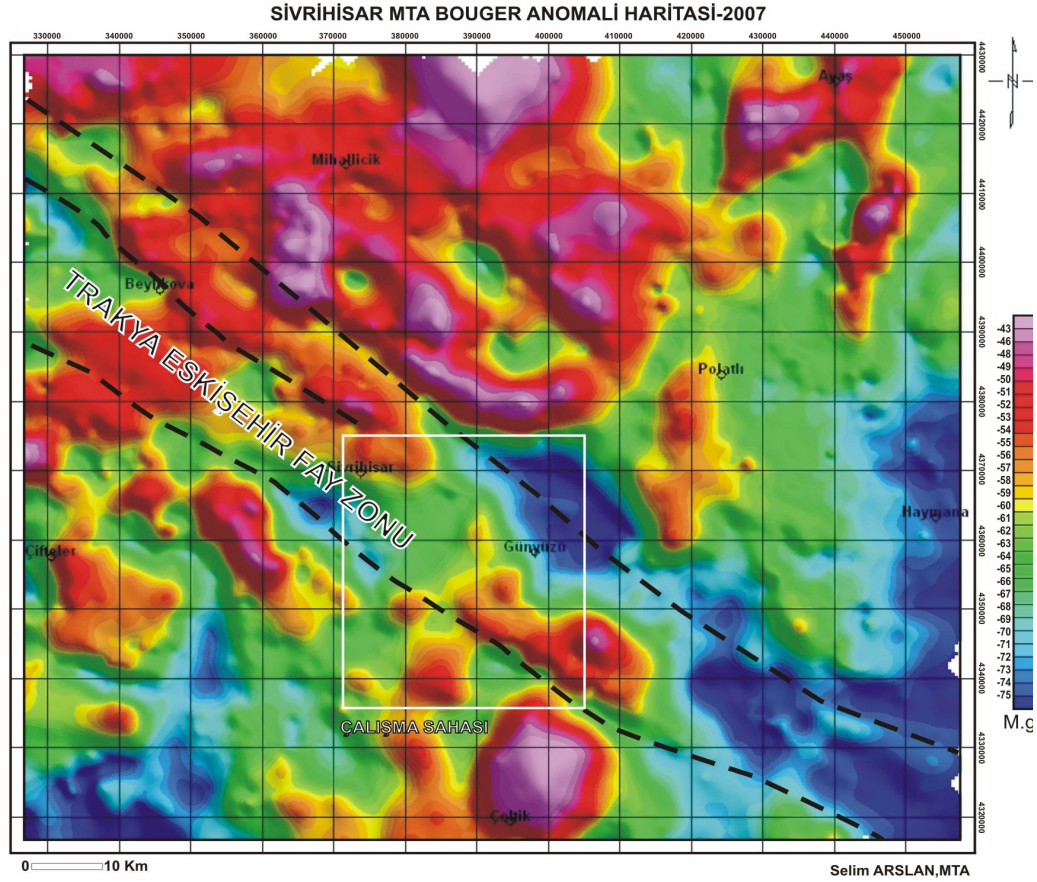
Çalışma alanının bugünkü morfolojik şeklinin ana hatlarının, Miyosen serileri ile eş zamanlı geliştiği söylenebilir. KB-GD eksenli Sivrihisar yükseliminin kuzeydoğu ve güneybatı cephelerinde Miyosen birimlerinin dokanakları bir çizgisel hattı izler. Bu hat KB-GD yönündedir. Bu hattın kuzeyinde ve güneyinde iki ayrı havza bulunmaktadır. Kuzeyde Günyüzü, güneyde Çifteler havzası olarak bilinen bu havzaları Yaltırak ve diğ., (2005) Trakya-Eskişehir fay zone üzerinde gelişen havzalar olarak göstermişlerdir. Birçok araştırmacı tarafından Eskişehir fay zone olarak bilinen bu hat, değişik araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Birkaç fay zonundan oluştuğu için Eskişehir-Sultanhanı fay sistemi olarak adlandırılan bu yapı, Tuz gölünün güneyinde Sultanhanı civarından itibaren gözlenir (Dirik ve Erol 2000).



Şekil 3.13: Permo Karbonifer birimlerinde yapısal unsurlar

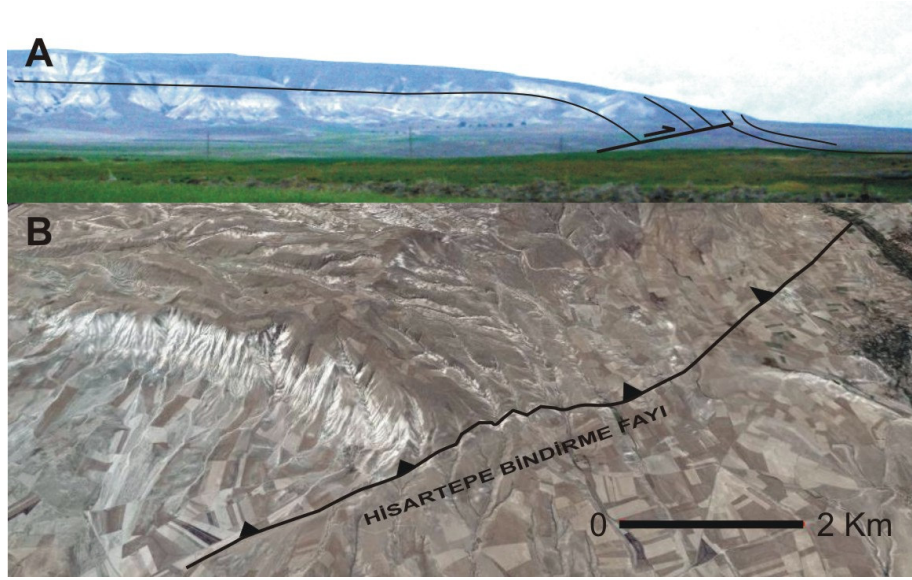
KB yönünde Cihanbeyli-Günyüzü ve Eskişehir'e kadar uzanarak muhtemelen Eskişehir fay zone ile birleşir. Bu zone, ilk olarak Koçyiğit (1991) tarafından Haymana güneybatısında Ilıca fay zone olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık KB-GD doğrultulu olan fay zone, Yeniceoba ovasının kuzey kenarına kadar izlenmekte olup Ilıcaözü vadisinin çizgisel yapısı ve sıcak su kaynakları bu fay zone boyunca gözlenen önemli özelliklerdir. Yeniceoba ve Cihanbeyli fay zonları ilk olarak Çemen ve diğ. (1999) tarafından adlandırılmıştır. KB-GD doğrultulu fay zonları, birbirine paralel-yarı paralel, yüksek açılı normal fay bileşenli sağ-yanal doğrultu atımlı faylardan oluşur. Fay zone boyunca temele ait birimlerde dahil olmak üzere yaşlı birimler Miyosen-Pliyosen yaşlı çökellerle yan yana gelmiştir (Dirik, 2000). Mastroietyen'de geliştiği düşünülen Eskişehir-Sultanhanı fay sistemi, Miyosen'de bölgedeki havzaların gelişimini kontrol etmiştir. Bu çalışmaların dışında Yaltırak, (2002), Eskişehir-Tuz gölü arasında yer alan KB-GD doğrultulu söz konusu fayların devamı tek bir zone ait sağ yanall bir doğrultu atımlı fay zone olduğunu öne sürmüşlerdir. Yaltırak, (2002) Trakya-Eskişehir fayı adını verdikleri bu fay zoneunun, Kuzey Anadolu fayı tarafından Marmara bölgesinde üç yerden kesildiğini ve fay zoneunun doğrultu atımlı işlevini yitirdiğini, artık KAF ile ilişkili bir normal fay zoneuna dönüşerek faaliyeti sürdürdüğünü belirtmişlerdir. Bu fay zoneunun üzerindeki genç havzalarda yer alan DSİ kuyularında, 1999 depremleri öncesi ve sonrası ölçülen değişimleri, KAF etkisinin fay zone üzerinde yarattığı deformasyona bağlamıştır (Yaltırak ve diğ., 2005).

Çalışma sahası, söz konusu fay zoneunun morfolojik olarak yüksekliğini yitirmeye başladığı ve genç çökellerce örtüldüğü bir kesimini temsil eder. MTA tarafından yapılan Bouger gravite haritasında örtülü olan ana hatlar rahatlıkla izlenebilmektedir (Şekil 3.14). Arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlemlerle, bu fayların morfolojisinin Pliyo-Kuvaterner döneminde gelişen aşınma ve çökme olayları ile büyük ölçüde kaybolduğu söylenebilir. Önder (1994), çalışma sahasını içeren rezistivite çalışmasında Miyosen temelinin faylar tarafından şekillendirildiğini bildirmekte, Eosen-Miyosen istifinin kalınlığının maksimum 1600 m. civarında olduğunu rapor etmektedir. Önder (1994), yaptıkları rezistivite etüdünde Sivrihisar yükseliminin güneyinde basamaklı bir yapı, kuzeyde ise birbirine paralel faylarla sınırlanarak yükselmiş kesimler bulmuşlardır.



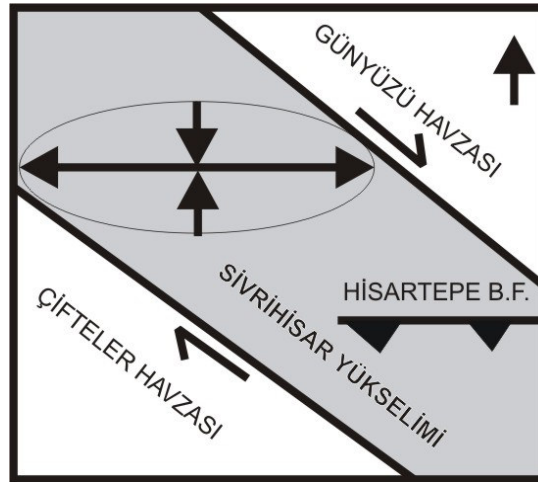
Şekil 3.14: Çalışma sahası ve çevresinin Bouger gravite haritasında (Selim Arslan MTA sözlü görüşme) Trakya-Eskişehir fay zonunun yaklaşık konumu

Miyosen yaşlı yapıların içinde Hisartepe bindirme fayı arazide gözlenebilmektedir (EK A-1). D-B doğrultulu olan bu fay, kör bindirme denilen türden, fay düzlemi yüzeylenmeyen bir yapıdır. Bindiren bloğun yarattığı monoklinal kıvrımının bir kanadının dike yakın olması ile ayırt edilir. Tabakalar, bindiren blokta yataya yakın, fayın yüzeye yaklaştığı kesimde dike yakın, bindirdiği blokta ise yer yer devriktir, bu yapılar ve Hisartepe bindirme fayı sahada, Sakarya nehrinden batıya bakarken ve uydu görüntüsü ile sayısal arazi modelinin üst üste gelmesiyle elde edilen görüntüsünde kolaylıkla ayırt edilmektedir (Şekil 3.15). Hisartepe bindirme fayı, gravite haritasında bulunan gömülü fayların nasıl çalışmış olacağı konusunda önemli bir veri sağlamaktadır.



Şekil 3.15: Hisartepe bindirme fayının görüntüsü A: Sakarya'dan batıya bakış B: Uydu görüntüsü giydirilmiş sayısal arazi modelinde fayın konumu, iki resimde de beyaz kesimler aynı mostralardır.

Buna göre fayların çalışması, Trakya-Eskişehir fay zonunun sağ yanal hareketi ile mümkün olabilmektedir. Sağ yanal faylarda, ana fay zonuna 45° açılı bindirme fayları ve normal faylar meydana gelir. KB-GD doğrultulu sağ yanal zonlarda bindirme fayları D-B yönünde gelişir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Çalışma sahası Miyosen faylarının sağ yanal arazi modeli

3.2.4 Kuvaterner yapıları

Çalışma sahasında Kuvaterner yapıları olarak tanımlanabilecek ve sınırlı aktivite gösteren iki ayrı yapı vardır. Bunlardan ilki Günyüzü havzasında Çardaközü kuzeyinde yeralan Büyükeşeklitepe fayıdır. Bu fay, uydu görüntüsünde çizgisel genç bir vadi ile fark edilir (Şekil 3.17). Vadi kuzeyi ve güneyinde tabakalar farklı



Şekil 3.17: Büyükeşeklitepe fayının uydu görüntüsündeki çizgisel görünümü

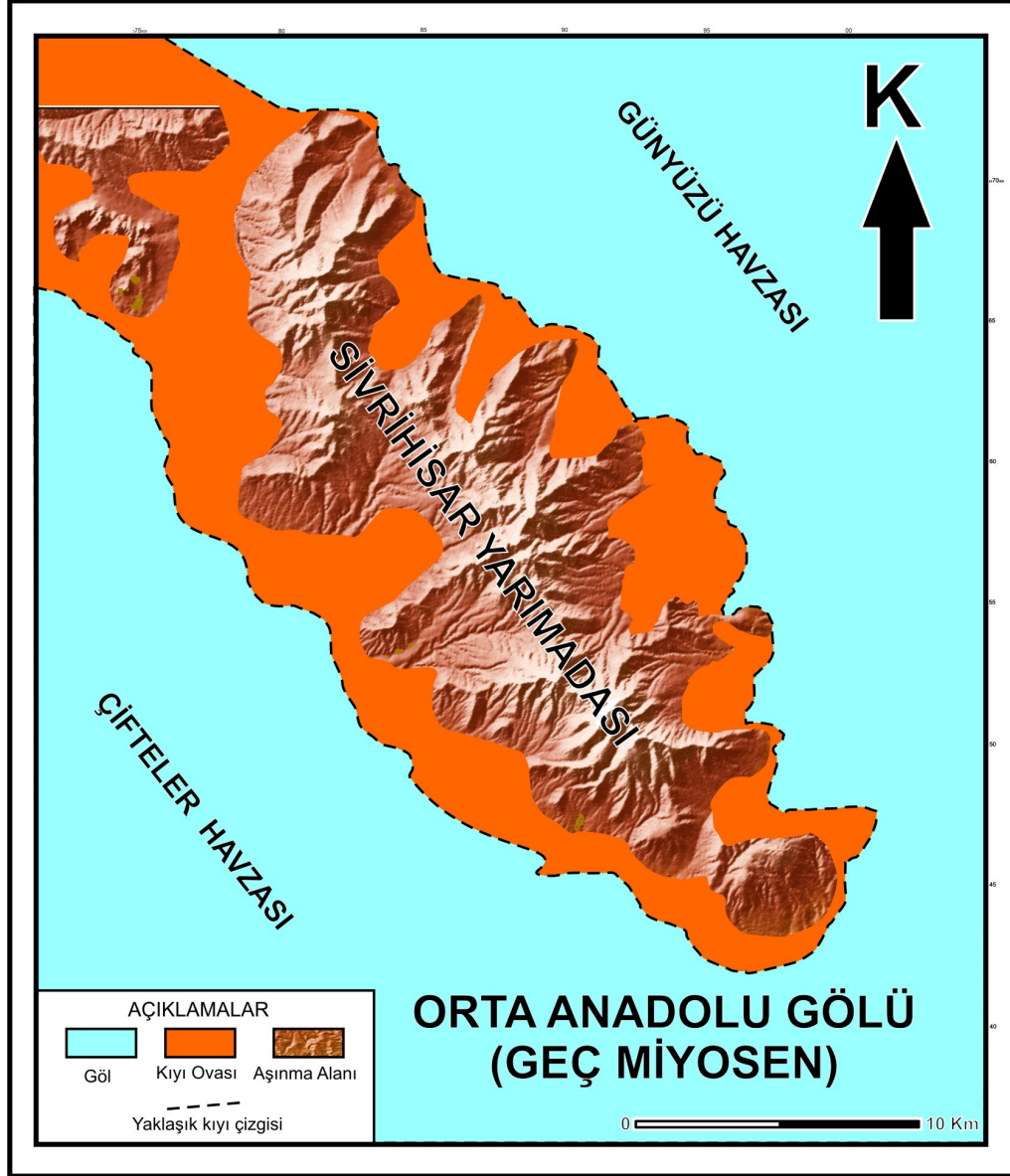
yönlere eğimlidir, yumuşak birimlerde geliştiği için karakteri hakkında veri yoktur (EK A-1). Düşey atımlı bir faydır. Olasılıkla Miyosen sisteminin reaktivasyonu ile yüzylemiş temeldeki faylardan biridir.

Sivrihisar yükseliminin güneyinde yer alan diğer yapı ise Çakmak fay zonudur (EK A-1). Arazide kıvrımlı birimleri keserler. Sakarya nehrinden Kayakent'e giden yol üzerinde farklı yöne eğimli tabakalar ve farklı renkli fasiyesleri yan yana getirirler. Her iki fay zone da olasılıkla Sivrihisar yükselimini güneyden sınırlayan basamak fayların reaktivasyonu sonucu yüzylemiş yapılardır. Günyüzü ve Çifteler havzalarındaki düşük sismik aktivite (Yaltırak ve diğ. 2005) dikkate alındığında bu havzaların oluşumunu denetleyen fayların kısmen de olsa aktif olduğu düşünülebilir. Tüm birimleri kestiğinden dolayı yaşları Kuvaterner olarak yorumlanabilir. Sivrihisar yükseliminin etrafında alüvyal yelpaze karakterli Kepen formasyonunun bulunması bunu destekleyen diğer bir veridir.

3.3 Jeolojik Evrim

Çalışma alanının jeolojik evrimi dört ayrı dönemin ürünüdür. Sahada bulunan Sivrihisar metamorfizmaları, bölge kayalarının derin denizel ortamda Permo-Karbonifer’de bir okyanus kabuğu (Göktepe birimi) üzerinde geliştiğini ve okyanus tabanında gelişen volkanizmanın olduğunu göstermektedir (Kertek birimi). Kalın tabakalı karbonat kayalarının varlığı daha sonra ortamın sıkıştığını göstermektedir (Eryiğit birimi). Permo-Karbonifer döneminde bir okyanus ve onun kenar zonunu temsil eden bölgenin, muhtemelen Erken Triyas’ta derine gömüldüğü ve yeşil şist-amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirirken şiddetli bir kıvrımlanmaya maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu kıvrımlanmayı yaratan sıkışma, günümüze göre KD-GB doğrultuludur. Monod ve diğ. (1991) bölgedeki yeşilşist ve mavişist metamorfizması geçirmiş birimleri, Neotetis’in bölgede Geç Kretase’de kapanması ile ilişkilendirmiştir. Eğer böyle ise Sivrihisar metamorfizmaları çok daha genç bir seri olarak değerlendirilebilir. Fakat Monod ve diğ. (1991) aynı zamanda sahanın hemen kuzeyinde Kızılcaören formasyonunun düşük dereceli metamorfik kayalarının içinde bulunan bloklardan, Karbonifer-Orta Triyas arasında yaş almışlardır. Bu durumda yeşil şist-amfibolit fasiyesinde metamorfize olmuş Sivrihisar metamorfizmaları ile benzer yaşlı düşük dereceli metamorfizmaya maruz kalmış Kızılcaören formasyonu grovakları arasındaki ilişki bir fay ile açıklanabilir. Sahada, Geç Triyas-Paleosen arasındaki döneme ait bir veri bulunmamaktadır. Eosen döneminde bölgede çarpışma ile kabuk kalınlaşmış, kalınlaşan kabuk kısmi ergimeye uğrayarak Sivrihisar granodiyoritinin kaynak magmasını oluşturmuş ve magmatizma Sivrihisar granodiyoritinin yerleşmesi ile sonuçlanmıştır. Oligosen-Erken Miyosen’de bölgede metamorfik masif yüzeylemeye başlamış ve bölgede daha çukur alanlara bu mostralardan kaynaklanan çökeller toplanmıştır. Erken Miyosen sonu Orta Miyosen başından itibaren bölgede meydana gelen faylanma ile Sivrihisar yükselimi iyice şekillenmiş, hem kuzeydoğusu hem güneybatısında yer alan faylar ile Orta Anadolu baseni içinde yükselmiştir. Söz konusu KB-GD doğrultulu faylar Geç Miyosen’de bölgede oluşan Hisarönü bindirme fayına bakarak sağ yanal bir zonu işaret eder. Geç Miyosen’de faylarla denetlenen havzada gelişen rejim ile Orta Anadolu gölü olarak adlandırılabilir büyük bir göl, Sivrihisar yükselimi bir yarımada haline getirir (Şekil 3.18). Erken Pliyosen’de Akdeniz’deki “Lago Mare” kuraklık döneminin sona ermesi (Hsü ve diğ., 1973) ve

Trakya-Eskişehir fay zonunun Marmara denizinde Kuzey Anadolu fayı tarafından kesilerek hareketinin engellenmesiyle (Yaltırak, 2002) bölgedeki evaporitik gölssel dönem ve tektonik rejimi sona erdirmiştir.



Şekil 3.18: Geç Miyosen’de bölgenin basitleştirilmiş paleocoğrafyası

Kuvaterner döneminde bölgede bulunan Miyosen serisi ve temel kayalar, aşınma dönemine girmiş, Kepen formasyonu ve Miyosen birimleri üzerindeki drenaj gelişmeye başlamıştır. Bu vadilerde alüvyonal havzaların oluşması, bölgenin jeolojik evriminin son halini yansıtmaktadır.

4. JEOMORFOLOJİ

İnceleme alanının morfolojik yapısını dağlar, hafif dalgalı düzlükler, masa şeklinde düzlükler, yamaç döküntüleri ve vadiler teşkil eder. Bunlar Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner röliyef sistemine ait şekillerdir.

Dağlar, deniz seviyesinden 1400-1800m. yükseklikte bulunan Sivrihisar'a doğru KB-GD doğrultusunda uzanarak çalışma alanı içindeki Neojen çökelleri arasında bir eşik meydana getirir. Bunlar, litolojiye bağlı olarak farklı görünüm sunmaktadır. Sivrihisar ilçesi civarında gözlenen belirgin yükseltilerin tamamı granitik kayalar yüzlekleri olup, oldukça sarp bir morfolojiye sahiptir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Sivrihisar civarında granitik kayaların yüzeylendiği dağlardan görünüm

Metamorfik birimlerin görüldüğü alanlar genellikle yumuşak bir topoğrafyaya sahiptir ve iyi gelişmiş dentritik drenaj ağı ile dikkat çekmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Mermerlerin yüzeylendiği yumuşak topoğrafya

Bölgede geniş bir alanda görülen ve 1250-1350 metre kotlarında uzanan hafif dalgalı masa şekilli düzlükler (Yahya, Karpuzluğunbaşı, Ulukoyak ve Gölgelik tepeler), çoğunlukla Paleozoik temel üzerinde gelişmiş Neojen çökelleri ile örtülü yerlerde oluşmuştur (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Neojen çökellerinin yüzeylendiği masa yapılı düzlüklere bir örnek

Neojen çökellerinin kireçtaşı-marn ardalanması halinde olduğu yerlerde, sert tabaka özelliğindeki kireçtaşlarına bağlı olarak korniş yapıları oluşmuştur (Şekil 4.4).



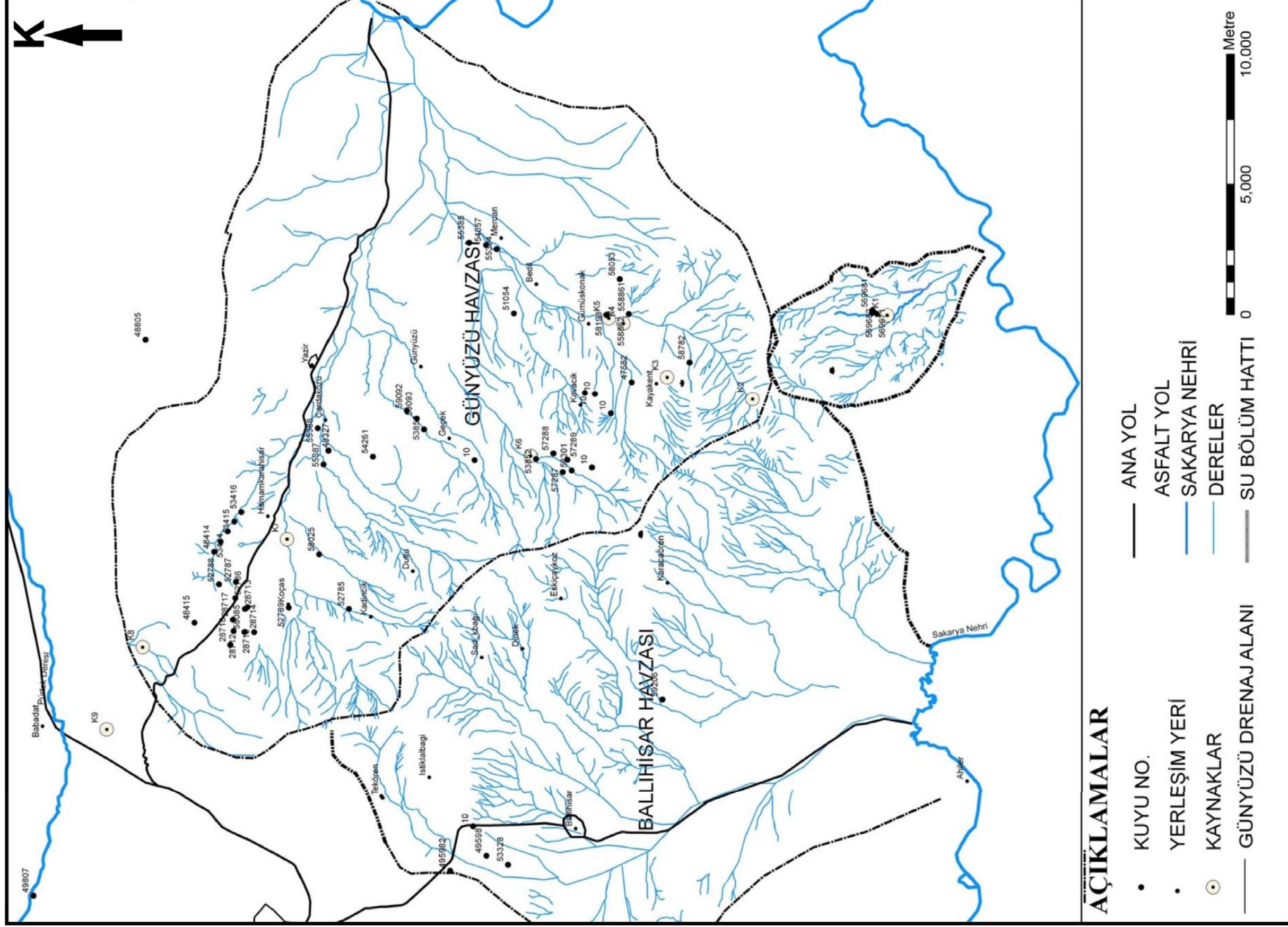
Şekil 4.4 Nasrettin Hoca kaynağı civarındaki kireçtaşı-marnlarda gelişen korniş yapıları

Yatay ve yataya yakın tabakalara bağlı olarak gelişen, alçak ve hemen hemen aynı yüksekliklerdeki masa şekilli düzlükler veya hafif kubbeleşmiş sırt ve tepeler, hafif dalgalı yaylalar ile bu yer şekilleri arasında kurulu dallanmış bir vadi ağı gözlenmektedir. Yamaç döküntüleri dağların eteklerinde gelişmiştir. Bu döküntülerin elemanları çeşitli boyutlarda kristalize kireçtaşı, mermer, kuvarsit ve grantik kayaç parçalarıdır.

4.1 Drenaj Ağı ve Fluviyal Özellikler

Drenaj havzası içinde yüksek alanlar şist, mermer ve granitik kayalardan oluşur. Şistlerin görüldüğü yerler yumuşak bir topoğrafyaya sahiptir ve iyi gelişmiş dentritik (ağaçsı) drenaj ağı ile dikkat çekmektedir (Şekil 4.5).

Mermerlerin yüzeylendiği alanlarda ise paralel drenaj ağı gelişmiştir. Belirli alanlarda drenaj ağının oluşmaması kırık-çatlak sisteminin gelişmiş olmasıyla açıklanabilir. Düşük kotlarda Neojen birimler içinde drenaj ağının zayıf gelişmesi yağış azlığı ve yüksek buharlaşmadan kaynaklanabilir. Bölgede, genel olarak ana drenaj ağının yapısal unsurlarla kontrol edilmekte olduğu söylenebilir.



4.2 Aşınım Yüzeyleri

İnceleme alanındaki aşınım yüzeyleri Nazik ve diğ. (2001) kullandıkları gruplandırmaya bağlı kalınarak açıklanmıştır. Araştırmacılar aşınım yüzeylerini, Miyosen, Pliyosen ve Alt Pleistosen olarak gruplandırılmıştır.

4.2.1 Miyosen

Sivrihisar dağlarının en yüksek kesimlerinde Miyosen aşınım yüzeyleri yer alır. Kayakent kasabasının batısındaki Eryiğit dağı ve kuzeybatıya doğru devamı şeklinde uzanan dağlarda 1650-1819 m.'ler arası yükseltilerde, Paleozoik şist ve mermerleri üzerinde uzanan bu yüzeyler, Miyosen Anadolu pennepleninin parçalarıdır. İnce uzun sırtlar halinde uzanan bu oluşumların etrafında Pliyosen'e ait aşınım yüzeyleri gelişmiştir.

4.2.2 Pliyosen

Miyosen aşınım yüzeyleri etrafında Pliyosen'e ait aşınım yüzeyleri gelişmiştir. Kuvaterner dereleri tarafından yarılan Pliyosen yüzeylerinin alt bölümlerinde Alt Pleistosen'e ait aşınım ve dolgu düzlükleri yer alır. Pliyosen çökelleri üzerinde gelişen ve Sakarya nehri kolları tarafından işlenen ve yarılan bu şekiller, hafif eğimlerle ova tabanına bağlanırlar. Dolayısıyla, inceleme alanının Pliyosen morfolojisini büyük ölçüde Sakarya nehri belirlemiştir.

4.2.3 Kuvaterner

Pliyosen ve Alt Pleistosen aşınım yüzeyleri ile çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşan birikim konileri, Sakarya nehri ve kollarının aşındırmasına bağlı olarak gelişmiştir

4.3 Karstik Yapılar

4.3.1 Karstlaşma ve karst

İnceleme alanın karstik yapısı genel olarak Öztaş (1988) ve Ekmekçi (2003)' den hareketle açıklanmıştır. Çalışma kapsamında çözünebilir kayalar olarak, Paleozoyik

mermerler ve Neojen kireçtaşları incelenmiştir. Neojen birimleri içinde yer alan jipsler yararlanabilir yeraltısuyu içermemesi nedeniyle incelenmemiştir.

Günümüzdeki anlamıyla karst; esas olarak kireçtaşı gibi karbonatlı ve jips gibi sülfatlı olan çözünabilir kayaç ve minerallerde, kimyasal ve fiziko-mekanik olaylar ve karstlaşmanın şeklini belirleyen jeomorfolojik, jeolojik ve hidrojeolojik olaylara bağlı gelişen bir olgudur (Öztaş, 1988).

4.3.2 Bölgesel karstlaşma ve karstlaşmayı denetleyen parametreler

Karstlaşma olayının başlaması ve gelişimi için zorunlu olan birincil etmenler, jeolojik (eriyebilir kayaçların varlığı, süreksizlikler) ve hidrojeolojik (geçirimsizlik, boşlukluluk, yerüstü ve yeraltı drenaj niteliği) olaylardır. Bu olaylar fiziko-mekanik (fiziksel ayrışma, aşınma, taşınma) ve kimyasal (çözünme, erime, yeniden kristallenme) işlevlerin sürekli denetimi altında bölgesel karst oluşumunu belirler. İklim, bitki örtüsü, jeomorfoloji gibi bölgesel ikincil etmenler ise başlangıcından günümüze kadar geçen süre içinde güncel karst türünü ve karst yapılarını belirler.

Ekmekçi (2003)'ye göre litoloji, kalınlık ve yapısal unsurlar, karstlaşmanın gelişiminde etkili olan önemli faktörler olmakla birlikte karstlaşma daha çok kimyasal ayrışmayı 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 iki temel kaynağını oluşturur. Karstlaşma derinliğini denetleyen erozyon tabanını; karbonatlı kayaçların altında bulunan geçirimsiz birimler veya karstlaşmayı sağlayan suyun enerjisini yitirdiği deniz, göl, akarsu seviyeleri belirler. Bu anlamda, tektonik gelişim ile iklimsel değişimler, karstlaşmayı sağlayan temel unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, karstlaşma, karbonatlı kayaçların atmosferle temas halinde olmayı gerektirir. Diğer bir deyişle, karstlaşma, karbonatlı kayacın hidrolojik evrim içinde bulunmasını gerektirmektedir. Bu durum, karstlaşmanın büyük oranda karasal ve erozyonun hakim olduğu bir fasiesi tanımlar.

Türkiye, karstlaşmanın kendi içinde benzer olduğu 13 karst bölgesine ayrılmıştır (Ekmekçi, 2003). Çalışılan bölge bu sınıflamaya göre “Orta Anadolu Bölgesi-Evrimsel Karstı”içine girmektedir. Evrimsel karst, genç-aktif karstdan, parçalanmış-

kalıntı karsta kadar geniş bir aralıkta değişen karst türlerini kapsamaktadır. Orta Anadolu Bölgesi-evrimsel karstının özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 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 Sakarya nehrinin bölgeye yerleşmesi enerji gradyanını birinci derecede kontrol ederken, Karadeniz'in seviye değişimleri ise ikinci derecede kontrol etmektedir.
- Erozyon tabanını, karbonatlı kayaçlar arasında 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.

İnceleme alanındaki eriyebilir kayaçlar olarak Paleozoyik mermerler ve Neojen kireçtaşları incelenmiştir. Neojen formasyonlarda yer alan jipsler faydalanılabilir yeraltısını içermemesi nedeniyle önem arzetmemektedir. Gri renkli siyah bantlı çört mercekli olan mermerler daha sert, kırılğan, kalın tabakalı çok çatlaklıdır. Mermerlerin mikroskobik incelenmesinde, birbirine kenetlenmiş eş boyutlu kalsit, dolomit kristallerinin oluşturduğu şekersi doku görülmektedir. Beyaz krem yer yer siyah bantlar içeren daha masif görünümlü mermerler mineralojik bileşim ve tane boyutları açısından da genelde homojen bir görünüm sergilerler. Bazı zonlarda mikritik görünüm sunan kalsit ve dolomit kristalleride tanımlanmıştır.

Neojen kireçtaşları, genellikle beyaz, gri renkli, orta-kalın katmanlı ve çört içeriklidir. Kireçtaşları mikroskobik incelenmesinde biomikritik kireçtaşları olarak adlandırılmıştır, kriptokristalen kalsitler ile bunlarla düzensiz geçişli mikrokristalen kalsitler, pelletik görünümlü zonlar içermektedir. Kesitlerde gözlenen fosillerin tanımlamaları yapılamamıştır. Kireçtaşları, biyotit ve hornblend gibi Fe-Mg'lu minerallerin ayrışması sonucu gelişen killi oluşumları ile yer yer killi kireçtaşı yapısı kazanmıştır.

4.3.3 Gözeneklilik ve geçirimsizlik

Karstlaşma olayının başlaması ve gelişimi için zorunlu olan hidrojeolojik özelliklerin en önemlileri olan gözeneklilik ve geçirimsizlik, fiziko-mekanik ve kimyasal işlevlerin gerçekleşebilirliğini doğrudan belirler. Gözeneklilik terimi, kayaç içindeki tüm gözenekleri ve tüm süreksizlikleri kapsamakta, diğer bir deyişle toplam gözenekliliği tanımlamaktadır. Geçirimsizlik ise farklı tip ve boyuttaki tüm boşluklar arasında bulunan ilişkinin bir göstergesidir. Çözünabilir kayaçların birincil gözenekliliği sedimantasyon sırasında kazandıkları ilksel gözeneklilik olup, küçük bir değere sahiptir. Etkili olan ikincil gözeneklilik ise, sedimantasyondan sonra tektonizmanın etkisiyle kazanılan (eklem, kırık, çatlak) yapısal unsurlar ve bunların çözünerek gelişmesiyle oluşan erime kanallarının bir toplamı olan gözenekliliktir.

Çalışma kapsamında yapılan porozite deneyi, inceleme alanındaki birimlerinden hazırlan örnekler üzerinde ve T.S.699'a uygun olarak yapılmıştır; sonuçlar Çizelge 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1: İnceleme alanında temel birimler ait porozite deney sonuçları

Örnek No:	Birim	Kuru Ağırlık (gr)	Doygun Ağırlık parafin(gr)	Hacim (cm ³)	g _k (gr/cm ³)	g _d (gr/cm ³)	Ortalama Porozite (%)
1	Mermer	550,46	553,15	206,72	2,66	2,67	1,30
2	Mermer	333,16	333,64	123,47	2,69	2,70	0,30
	Marn	432,43	438,19	165,86	2,61	2,64	3,4
3	Granit	128,16	129,49	48,02	2,67	2,70	2,77
4	Kalkışist	666,53	670,1	250,7	2,66	2,67	1,42
5	Kalkışist	1104,49	1110,11	433,34	2,55	2,56	1,30
6	Şist	210,54	212,53	81,73	2,58	2,60	2,43
7	Şist	99,07	99,97	36,34	2,73	2,75	2,48
8	Pegmatit	244,16	246,5	96,01	2,54	2,57	2,44
9	Kireçtaşı	294,63	301,88	110,61	2,66	2,73	6,55
10	Traverten	586,37	588,94	221,7	2,64	2,66	1,16
11	Konglomera	214,77	226,13	89,67	2,40	2,52	12,67
12	Konglomera	77,99	81,12	32,13	2,43	2,52	9,74
13	Kumtaşı	72,77	75,33	28,44	2,56	2,65	9,00
14	Aragonit	328,32	338,51	143,21	2,29	2,36	7,12
15	Jips	155,85	192,27	92,44	1,69	2,08	39,40

Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü gibi (Çizelge 4.1), inceleme alanındaki mermerlerin oluşum sırasında kazandıkları kayaç gözenekliliği ve geçirimsizliği, hidrojeolojik açıdan pratik bir önem taşımamaktadır. Suyun hidrojeolojik ortamlar içindeki hareketi, tümüyle oluşum sonrası kazanılan değişik boyutlu süreksizliklerin belirlediği ortam gözenekliliğine, geçirimsizliğine ve hidrolik döngü içinde yer almasına bağlıdır.

4.3.4 Süreksizlik özellikleri

Tektonik hareketler sonucu kazanılan yapı ve konum, karbonatların beslenme boşalım ilişkilerini belirleyen ana etkenlerdir. Geç Miyosen’de faylarla denetlenen havzada gelişen rejim ile oluşan göldeki seviye değişimleri, o dönemde tabakaların doğrultu eğim ve çatlak sistemine ve faylanmalara bağlı olarak yatay ve dikey yönde gelişen karstlaşmanın gelişiminde önemli rol oynamıştır (bkz., Şekil 3.18). Bugün askıda kalan fosil mağaralar (Yelini, Yelinüstü, Adatepe, Karlık düdeni) o dönemde gelişmiş olmalıdır. Daha sonra bölgedeki evaporitik gölsel dönem ve tektonik rejim sona ermiş ve Kuvaterner döneminde bölgede bulunan Miyosen serisi ve temel kayalar aşınma dönemine girmiştir. Bu dönemde kireçtaşlarında karstlaşma gelişmeye başlamıştır.

Bölgede yüzeylenen mermerlerin kalınlıkları, sürekli yükselim ve erozyon süreçleri nedeniyle fazla değildir. Ayrıca alttan granit ve şist gibi geçirimsiz seviyelerle kuşatılması ve mermerlerin çözünabilirliğinin düşük olması nedeniyle günümüzde gelişmiş önemli karstik yapılar gözlenememiştir. Mermerlerde gelişmiş karstik rezervuarın varlığını işaret eden Yeniçıkırı bölgesinde, basamak faylarla yeniden hidrolik döngü içinde yeralan karstik yapıların varlığı düşünülmüştür. Sakarya nehrinin bölgeye yerleşmesi enerji gradyanını birinci derecede kontrol etmektedir.

Çalışma alanındaki kaynak boşalımının maksimum ve minimum debi (Q_{max}/Q_{min}) oranı ve kimyasal yapılarındaki değişimin düşük olması, kısmen karstlaşmış karstik kanallar ve kırık-çatlak sistemleri ile karakterize edilen, depolanma süresi uzun olan ortamın etken olduğunu göstermektedir.

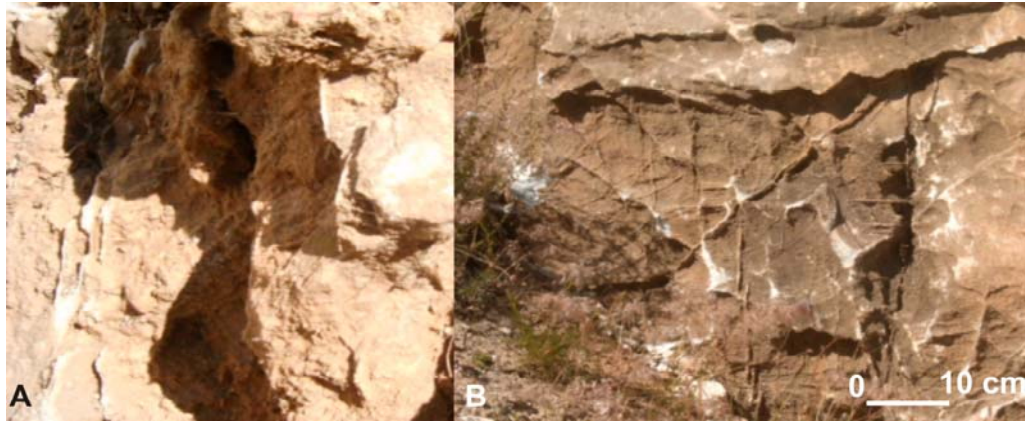
4.4 Karst Yapıları

Karstlaşma sonucunda oluşan yapılar, karstik ortamları diğer ortamlardan ayıran en belirgin özelliklerdir. Karst alanlarında yaygın olarak gözlenen karstik yapılar

karrenler, düdenler, kuru vadiler, şaftlar, mağaralar, polyeler, karst kaynakları, alıcı verici düdenler, dolinlerdir. Çalışma alanındaki başlıca karst yapılarını oluşturan karen ve mağaralar ile dolinler aşağıda tanıtılmıştır.

4.4.1 Karen (Lapya-Erime oluğu)

Karen terimi, esas olarak kireçtaşı üzerindeki erime kanalcıklarını tanımlasa da günümüzde bu terim, karstlaşmış karbonat kayalarında görülen birçok karst şekli için kullanılmaktadır. Uzunlukları ve derinlikleri birkaç mm.'den birkaç m.'ye, hatta bazen 5-10 m.'ye kadar olabilir (Öztaş, 1988). İnceleme alanında görülen karen tipleri birkaç mm.'den yarım m.'ye kadar değişen boyuttadır. Mermerlerde süreksizliklerin kesişme noktalarında gelişen erime oluklarının derinlikleri en fazla 20-30 cm. civarında iken Neojen kireçtaşlarında derinlikleri yarım m.'ye ulaşan erime olukları gözlenmiştir (Şekil 4.6 ve 4.7).



Şekil 4.6: Karen tipleri A: Paleozoik mermerlerde yüzey karstı ve süreksizliklerin kesişme noktalarında gelişen erime olukları B: Yüzey ve fissur-damar ağı gelişimi

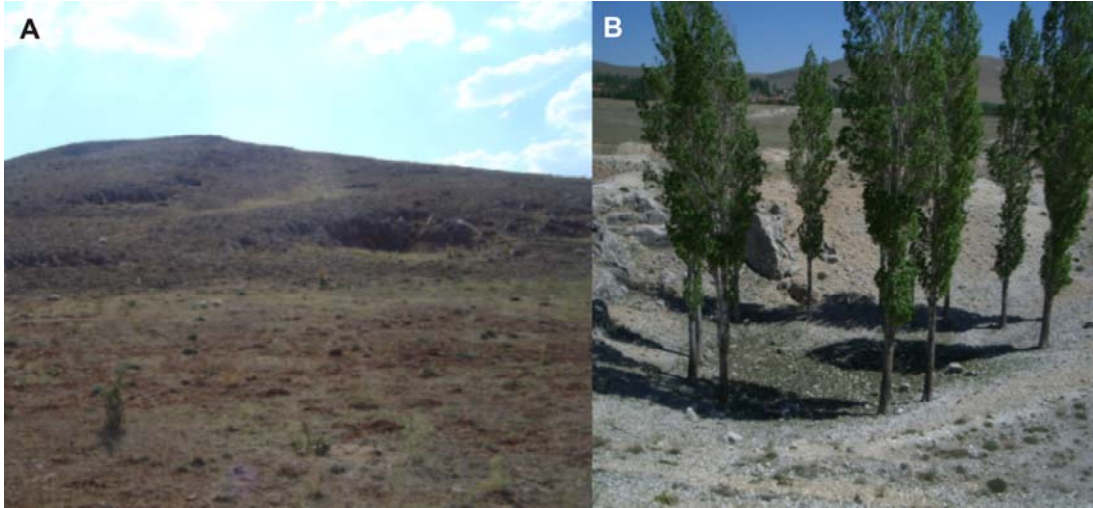


Şekil 4.7: Neojen kireçtaşlarında gelişen erime olukları

4.4.2 Düdenler ve dolinler

Dolinler, çapları 1 m.'den birkaç yüz m.'ye kadar olan çukurluklardır. Düdenler ise derinlikleri çaplarından çok daha büyük olup yüzey sularının karstik kanallara ulaşmasını sağlamaktadır (Ketin, 1977; Aydın, 2005). Arazide kapalı çukurluklar-çöküntüler şeklinde görülen dolinler ve düdenler karst alanlarına özgü gerçek karst yapılarıdır.

Mermerler ve 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; Milanoviç, 1981). Nasretin Hoca kaynağını besleyen Gökyatağı Tepe eteklerinde mermerlerde gözlenen çöküntü yapıları Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8: A: Gökyatağı tepede mermerlerde gelişen çöküntü yapıları B: İstiklalbağı köyü kuzeyinde Akbaba çukuru mevkiinde çöküntü yapıları

Düdenler, dolinler içinde yer alabildiği gibi, dolin gelişiminin olmadığı yerlerde de görülür (Öztaş, 1988). Sadıkbağı köyünün kuzeybatısında 1241 kotunda, Bademlik tepe mevkiinde bir taş ocağında, mermerler içinde gözlenen düden, Şekil 4.9'da verilmiştir. Yüzeyde 10-20 cm. yapay açıklıklardan 0.5-1 m. çapındaki dikey yönde gelişim gösteren düden, çalışma alanında az sayıda gözlenen önemli karstik su alma yapılarından.



Şekil 4.9: Bademlik tepe mevkiinde bir taş ocağında, mermerler içinde gelişmiş düden A: Üsten görünüş B:,C: Dikey yönde gelişim

4.4.3 Mağaralar

Çalışma alanı içinde Kayakent civarında Yelini ve Yelinüstü mağaraları ve Karacaören köyünün kuzeydoğusunda Karlık düdeni mağarası vardır. Bu mağaralar M.T.A tarafından incelenmiş olup Bölüm 2’de önceki çalışmalar başlığında kısaca özetlenmiştir. Arazi çalışmaları esnasında Ada tepede bir adet mağara bulunmuştur. Söz konusu mağara girişi malzeme ile tıkanmıştır. Mağaranın girişi 1m. genişliğinde ve 0,75 m. yüksekliğinde olup uzun eksen D-B yönündedir. Mağara içi çalışılmamıştır (Şekil 4.10).



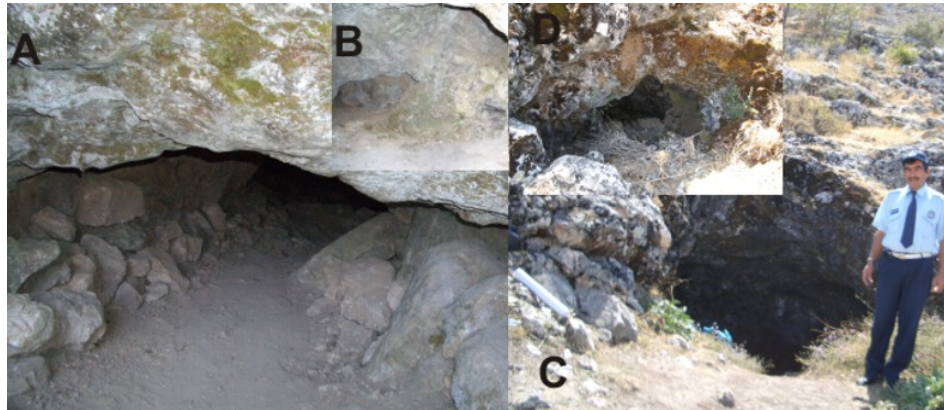
Şekil 4.10: A: Adatepede mağara girişi B: Mağaranın D-B yönünde uzanımı

Yelini mağarası Karpuzluğunbaşı tepenin (1320m.) güneybatısında 1100 m. kotunda bulunmaktadır (Şekil 4.11). Karpuzluğunbaşı tepe, doğu-batı yönünde 1250-1300 m.'ler arasında Pliyosen aşınım yüzeyinin geliştiği masa yapılı dağlık alanın başlangıcıdır (Yahya t., Ulukoyak t., Gölgelek tepe). Dar ve alçak tavanlı girişi olan mağaranın uzun eksenı KB-GD yönündedir.Yelinüstü mağarası ise Kayakent kasabasının kuzeybatısında Arayit dağının yamacında Ardıç tepenin (1131m.) hemen altında ve 1120m. yükseklikte yer alır. Yelinüstü mağarası girişi K-G yönündedir. Halen gelişimi devam eden mağaranın, dikey yönde geliştiği ve ova tabanına kadar indiği gözlenmiştir (Nazik ve diğ., 2001).



Şekil 4.11: Yelini mağarası girişi

Kuyu şeklinde dikey olarak gelişen Karlık düdeni mağarası Arayit dağının (1819 m.) kuzeybatısında bulunan Karlıkkale tepe (1737m.) nin kuzey kenarında yer alır. Askıda fosil bir mağaradır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: A;B; Yelinüstü mağarası girişi C: D: Karlık düdeni mağarası

5. HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde, inceleme alanının hidrojeolojisi yönünden yapılan araştırmaların yorumlaması yapılmıştır. Çalışmalara öncelikle meteorolojik ve hidrolojik verilerin değerlendirilmesi ile başlanmış, daha sonra litolojik birimler jeohidrolojik özelliklerine göre ayırtlanarak 1/25 000 ölçekli hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (EK A-4). Bu verilerin ışığında akifer parametreleri hesaplanarak yeraltısuyu bütçesi oluşturulmuştur.

5.1 Hidroloji

Havzanın yüzey drenaj alanındaki su noktalarına ait özellikleri tanıtılmış, meteorolojik ve hidrolojik veriler değerlendirilerek havzanın meteorolojik su bilançosu çıkartılmıştır.

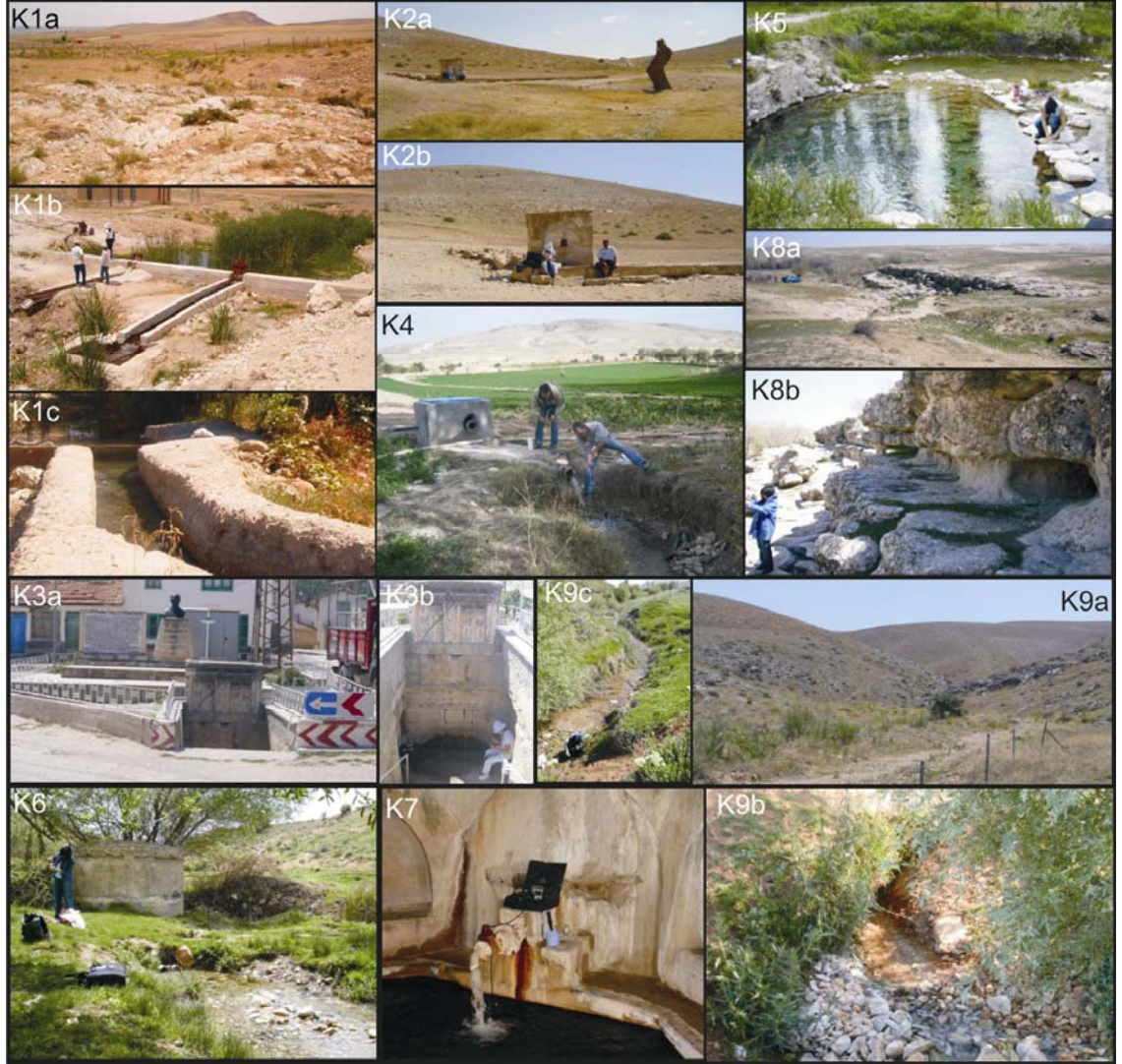
5.1.1 Akarsular

Günyüzü havzasının devamlı akarsuları Çaydere, Kızlarağılı, Kayalıboğazözü ve Özdenk deredir. Bu derelerin debileri 25-100 lt/sn civarındadır (Biçer ve diğ.,1978). Yaz aylarında sulamada da kullanıldıkları için sular aşağı kotlara ulaşamamaktadır. Sulamanın sona erdiği dönemlerde, Özdenk deresinin Sakarya nehrine boşaldığı Kovunyayla köyüne kadar ulaşabilirler. Bir noktadan sonra alüvyonlar içinde kaybolurlar. Dolayısıyla yüzeysel akış halinde Sakarya nehrine çok az miktarda ulaşmaktadırlar (EK A-4, bkz. Şekil 4.5)

5.1.2 Kaynaklar

Günyüzü havzasında değişik kotlarda 6'sı yüksek debili (45–170 l/sn) 8 kaynak bulunmaktadır. Sakarya nehri ana drenaj alanı içindeki Günyüzü havzası içinde yeraltıları yüksek kotlarda büyük debili kaynaklar olarak tekrar havzaya boşalmaktadır. Tüm sistemi ise 702-709 m. kotlarında akan Sakarya nehri drene eder. Kaynakların adları, coğrafi koordinatları, boşalım kotları, debileri, sıcaklıkları ve gözlem tarihlerine ait bilgiler Çizelge 5.1'de, görüntüleri ise Şekil 5.1'de

verilmiştir. Kaynaklara ait bu veriler DSİ tarafından farklı yıllarda yapılmıştır. Örneğin Yeniçıkırı kaynağında 1986'da başlamış aralıklarla 2005 yılına kadar devam etmiştir.



Şekil 5.1: K1a, Yeniçıkırı kaynağı civarı, kuzeye bakış.b,c Yeniçıkırı kaynağı, K2a,b Musluk çeşmesi, K3a,b Çukurçeşme kaynağı, K4 55886/A no'lu kuyu, K5 Subaşı kaynağı, K6 Atlas kaynağı, K7 Çardakhamamı kaynağı, K8a, Nasrettin Hoca kaynağı, üstten bakış, b Nasrettin Hoca kaynağı, K9a, Babadat kaynağı mansabında yüzeylenen mermerler. K9b c, Babadat kaynağı boşalımı ve akışı

Bu tarihler arasında, kaynaklarda ana anyon ve ana katyon analiz sonuçları bu çalışma kapsamında yerinde ve laboratuarda yapılan analiz sonuçlarıyla birlikte Bölüm 6'da su kalitesi başlığı altında değerlendirilmiştir. Kaynakların yerleri sahanın hidrojeoloji haritasında gösterilmiştir (EK A-4). Çizelge 5.1'de K2 ve K3

ile gösterilen düşük debili kaynaklar izotop çalışmaları kapsamında seçilmiştir. K2 kaynağı yağmur suyunu temsilen seçilen kaynaktır.

Çizelge 5.1: İnceleme alanında yer alan kaynaklara ait bilgiler.

Kaynak No	Adı	X (K) m.	Y (D) m.	Kot (m.)	Debi lt/sn	T (°C)	Gözlem Tarihi
K1	Yeniçıkırı kaynağı	4341980	399353	887	Kuru	22,8	1986-2005
K2	Musluk çeşmesi	4347658	395851	1068	0,2	24,9	2004-2005
K3	Çukurçeşme	4351171	396769	1011	5	14,0	2004-2005
K5	Subaşı kaynağı (toplam)	4353611	399217	961	137	30,0	2000-2005
K6	Atlas kaynağı	4356938	393466	1055	81	19,0	1998-2005
K7	Çardakhamamı	4366839	390127	925	45	35,0	1991-2005
K8	Nasrettin hoca	4373481	385292	943	170	22,7	1994-2005
K9	Babadat kaynağı	4374508	320558	917	87	20,5	1979-2005

5.1.3 Kuyular

Çalışma alanında, sulama ve içmesuyu amaçlı olarak 1981-2006 yılları arasında değişik derinliklerde çok sayıda kuyu açılmıştır. Bunların verimli olanları DSİ tarafından açılan, sulama amaçlı üretim kuyularıdır. Kuyuların adları, yerleri, açıldığı yıl, coğrafi koordinatları, kotları, derinlikleri, verimleri ve statik seviyeleri Çizelge 5.2’ de verilmiştir. Bu kapsamda 60 adet kuyuya ait litolojik veriler değerlendirilerek her bir kuyunun kuyu logu hazırlanmış ve EK A-5’ de verilmiştir. Bu çalışma, DSİ destekli bir TÜBİTAK projesi ile de desteklenmiştir (ÇAYDAG Proje No: 105Y145). Bu nedenle tüm kuyulara ait kuyu logları bilgileri ve Çizelge 5.2’de verilen bilgiler GIS tabanlı Arc-Map programı yardımıyla sayısallaştırılarak DSİ’nin kullanımına sunulmuştur.

Kuyu logu bilgilerinden sahanın jeolojik kesitlerinin hazırlanmasında da yararlanılmış olup elde edilen tüm veriler havzanın hidrojeolojik modelinin oluşturulmasında kullanılmıştır.

Sabit debili pompalama deneyleri ve yükselim deneyleri sonuçları mevcut olan 20 adet derin kuyuda Jacob, Theis yükselim ve dengeli rejime ulaşan kuyularda Dupuit formülleri kullanılarak akiferlerin iletkenliği hesaplanmıştır. Kayakent-Yeniçıkırı kaynağı yakınında açılan kuyularından 56968/B’nolu kuyunun faaliyete geçmesinden sonra 2005 yılında Yeniçıkırı kaynağı kurumuştur.

Çizelge 5.2: İnceleme alanında yer alan kuyulara ait bilgiler

Kuyu No:	Yeri	X (K) m.	Y (D). m.	Kot (m.)	Derinlik (m.)	Verim lt/sn	Statik Sev. (m.)	Özgül Debi lt/sn/m
28712	Koçaş	386175	4369225	1018	200	47	26	1.67
28714	Koçaş	387100	4368750	1034	201	11	3	1.1
28713	Koçaş	387175	4368650	1021	197	11	31	0.45
28716	Koçaş	386125	4368375	1031	196	9	3	0.46
28717	Koçaş	386650	4369250	1013	200	11	4	0.63
28718	Koçaş	385600	4369350	1020	128	1	1	-
10 (Köy Hiz.)	Kavacık	396060	4354175	1012	87	15	0	0.23
48414	Hkarahisar	389475	4370025	960	213	22	9	0.43
47582	Kayakent	396550	4352650	1015	295	2	29	0.02
48415	Nasrettinhoca	386525	4370850	1010	185	-	37	-
49327	Cardakozu	393700	4365275	861	93	28	9	0.55
49598	İstiklalbağı	58625	76800	1037	205	5	60	0.22
51054	Bedil	399425	4357550	856	152	4	9	0.06
52785	Koçaş	387100	4364425	1008	189	11	22	0.19
52786	Koçaş	387550	4369150	1010	210	7	26	0.2
52787	Koçaş	388225	4369125	990	200	11	26	0.32
52788	Koçaş	388125	4369825	990	200	12	22	0.31
52789	Koçaş	387150	4366925	997	182	13	10	0.16
54413	Hkarahisar	389900	4369760	951	175	16	8	0.33
53414	Hkarahisar	390325	4369460	943	169	16	6	0.27
53328	İstiklalbağı	76450	57780	1025	200	15	49	0.35
53415	Hkarahisar	390750	4369190	936	170	18	4	0.38
53416	Hkarahisar	391150	4368900	925	175	10	0	0.17
54057	Mercan	402300	4358725	785	69	14	1	0.33
53852	Atlas	393350	4356625	1055	131	20	5	0.38
53856	Gecek	394575	4361300	930	223	15	13	0.24
54261	Yazır	393450	4363425	913	200	0	20	-
54260	Yazır	393300	4364150	887	100	3	7	0.04
55384	Mercan	402125	4358275	785	86	15	1	0.27
55387	"	393125	4365475	870	98	35	16	1.16
55388	"	394630	4365720	847	100	38	1	1.28
55886/A	Gümüşkonak	399400	4352775	920	215	65	1	2.86
10 (Köy Hiz.)	Kayakent	395250	4353525	1100	100	20	54	1.82
55886/B	Gümüşkonak	399400	4352775	920	55	45	0	1.86
10 (Köy Hiz.)	Kavacık	396100	4354600	1023	65	28	19	1.47
57287	Kuzoren	392807	4355522	1136	176	6	19	0.11
57288	"	393581	4355910	1114	170	10	1	0.16
57289	"	393319	4355329	1131	164	18	12	0.34
10 (Köy Hiz.)	Gecek	393300	4359200	1050	160	11	20	0.37
569681	Kayakent	399557	4342676	917	110	25	26	0.63

Çizelge 5.2: İnceleme alanında yer alan kuyulara ait bilgiler (devam)

Kuyu No:	Yeri	X (K) m.	Y (D). m.	Kot (m.)	Derinlik (m.)	Verim lt/sn	Statik Sev.(m.)	Özgül Debi Lt/sn/m
569672	Kayakent	399407	4342776	913	116	28	21	0.63
569671	Kayakent	399424	4342510	904	85	75	13	75
569682	Kayakent	399390	4342450	893	93	68	2	17
56969	Kayakent	397697	4351121	1000	170	0	0	-
10 (Köy. Hiz.)	Kuzören	393000	4354300	1160	100	5.5	42	0.21
58085	Koçaş	386138	4368766	1024	200	38	28	0.61
58053	Gümüşkonak	400860	4353156	950	243	10	51	0.16
58198	Gümüşkonak	399359	4353693	900	76	45	+4	0.71
58025	Kadıncık	389370	4365658	978	248	25	15	0.55
58301	"	392869	4355149	1149	116	2	28	0.03
58665	Dinek	381683	4356700	1052	170	27	52	1
58666	Dinek	382700	4356447	1047	147	30	36	0.88
58667	Dinek	382336	4356053	1030	150	41	23	1.08
58668	Dinek	381240	4355971	1036	150	21	38	0.73
58669	Dinek	380730	4355519	1010	152	42	12	0,34
58745	Günyüzü	245404	4325906	930	170	21	57	0,37
58782	Kayakent	397441	43501960	1055	172	kuru	140	—
59092	Gecek	395354	4362019	901	240	kuru	17	—
59093	Gecek	395031	4361609	915	330	12	7	0.16
59206	Çaykoz	383310	4351344	980	188	16	68	1.48

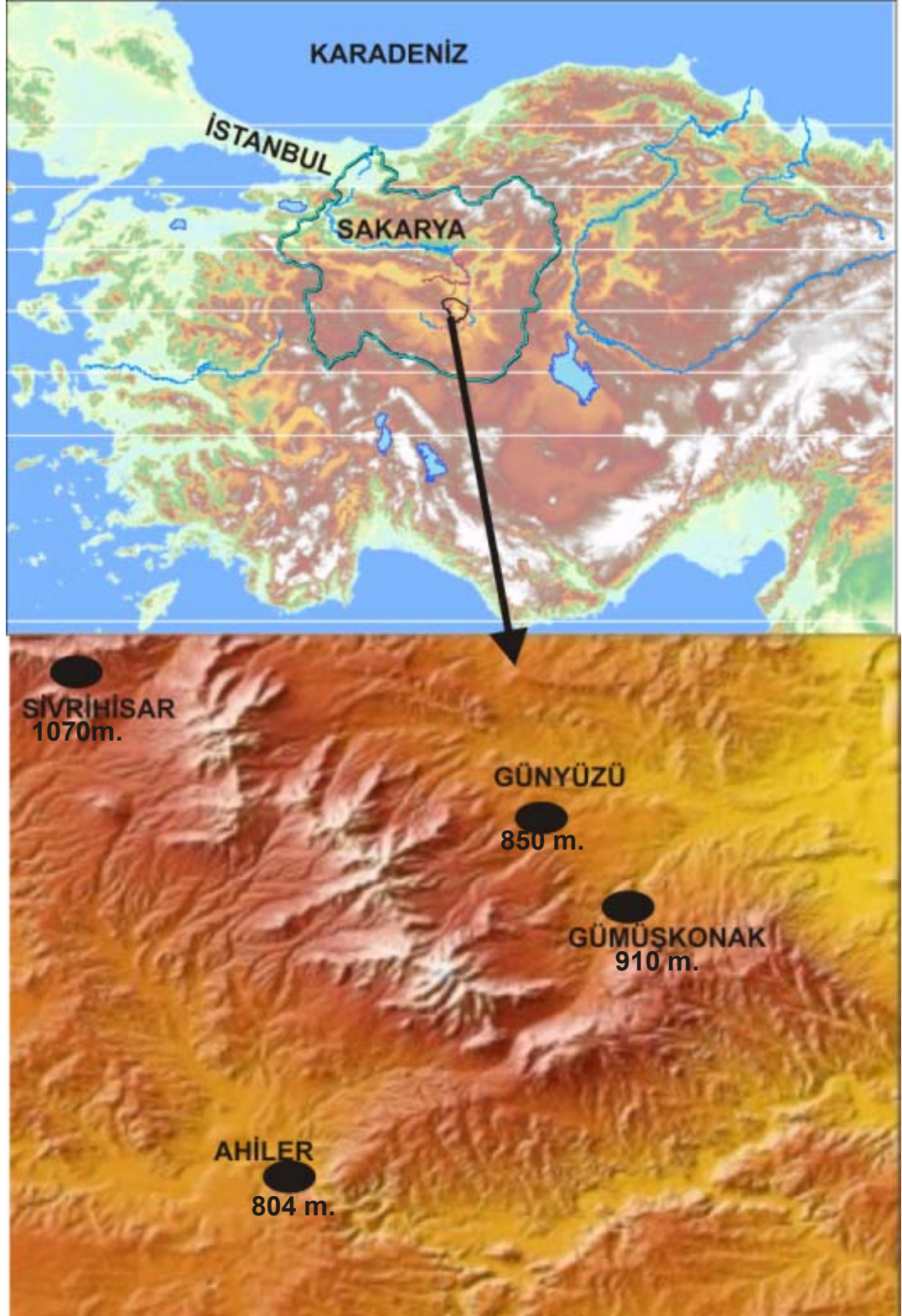
5.2 Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında yapılan hidrolojik ve hidrojeolojik değerlendirmelerde, çalışma alanı ve yakın dolayında yer alan Sivrihisar ve Günyüzü meteoroloji istasyonlarının, Yörme (Gümüşkonak) ve Ahiler DSİ yağış istasyonlarının yağış değerlerinden yararlanılmıştır. Bu istasyonlarının yeri Şekil 5.2’de verilmiştir.

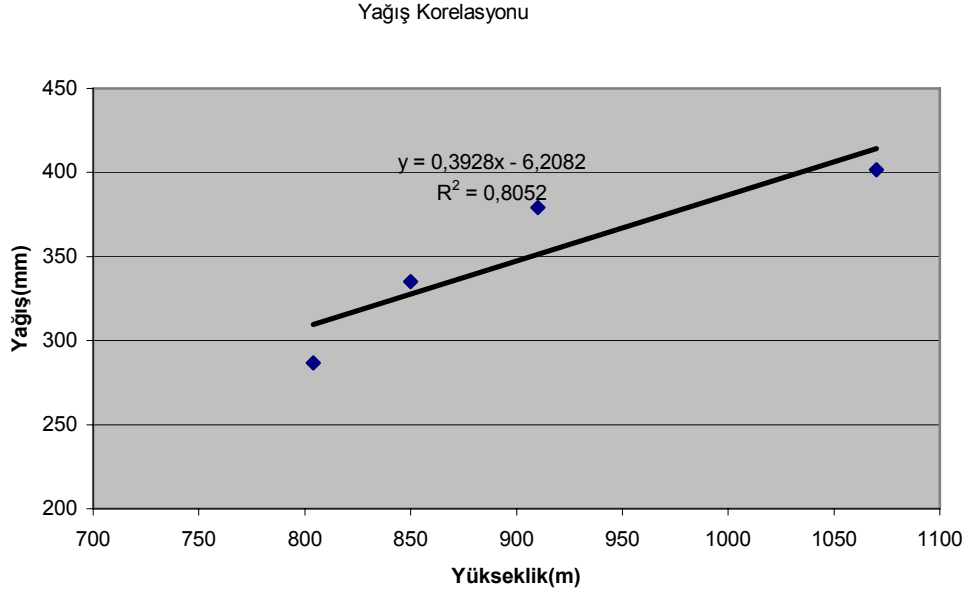
5.2.1 Yağış

Beslenim hesaplarında en önemli girdi olan yağış miktarının doğru olarak hesaplanması gerekmektedir. Günyüzü havzasına düşen alansal yağış miktarının belirlenmesi için Günyüzü meteoroloji istasyonunun (Kot 950 m.)1969-2000 yılları arasında, Yörme (Gümüşkonak) DSİ yağış istasyonunun (Kot: 910 m.) 1964-2000 yılları arasında, Ahiler DSİ yağış istasyonunun (Kot:804 m.) 1964-2003 yılları arasında ve Sivrihisar meteoroloji yağış istasyonunun (Kot:1070 m.) 1924-2005

yılları arasındaki yağış verilerinden faydalanılmıştır. Yağış istasyonlarının yükseklik yağış korelasyonu grafiği çizilmiş ve Şekil 5.3’ de verilmiştir.



Şekil 5.2: Yağış istasyonları'nın yer bulduru haritaları (Ölçeksiz)



Şekil 5.3: Günyüzü, Gümüşkonak, Ahiler ve Sivrihisar yağış istasyonlarının yükseklik yağış korelasyonu.

Şekilde görüldüğü gibi istasyonların yükseklikleri ile yağış miktarı arasında güçlü bir ilişki vardır ($R^2 = 0,8$) Çalışma alanının yüksekliği 800-1820 m. arasında değişmektedir. Bu yükseklikler alansal yağış hesabının yapılabilmesi için Çizelge 5.3’de görüldüğü gibi gruplandırılmış ve ARC-MAP programının işlem yeteneğinden faydalanılarak yükseklik alanları hesaplanmıştır. Çevre istasyonlarının kotları ile ortalama yıllık yağış miktarları arasındaki ilişki belirlendikten sonra (Şekil 5.3) havzaya düşen yağış miktarı, yükseklik alan gruplandırması yapılarak, 393 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.3). Aynı şekilde 80 km², lik alanda yüzeylenen mermerlere düşen alansal ortalama yağış miktarı 500 mm. olarak hesaplanmıştır.

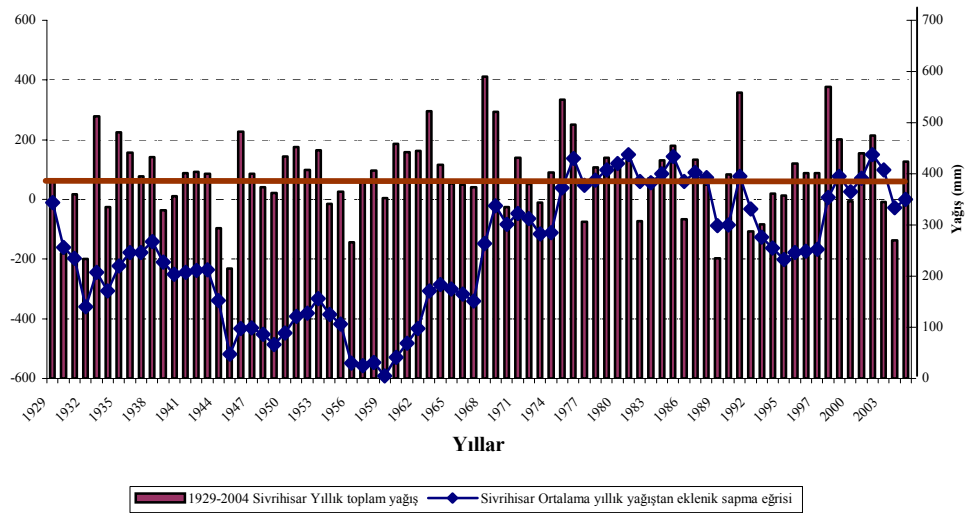
Sivrihisar meteoroloji istasyonu ortalama yıllık yağış miktarı havzanın hesaplanan yıllık ortalama yağış miktarına yakındır. Bu sonuçta Sivrihisar meteoroloji istasyonu verilerinin havzanın aldığı yıllık ortalama yağış miktarını temsil ettiği gösterebilir. Sivrihisar meteoroloji yağış istasyonunun (Kot:1070 m.) 1924-2005 yılları arasında yapılmış olan ölçümlere göre ortalama yıllık yağış 393,20 mm.dir. 81 yıllık verilere göre de yağışlar mayıs ayında en yüksek düzeyde olup, ağustos ayında ise en düşüktür. Bilindiği gibi akiferlerde yeraltısuyu seviyesi ve yeraltısuyu boşalımı yalnız inceleme yılının değil önceki yıllara ait yağışların da etkisi altındadır.

Çizelge 5.3:Alansal yağış hesabı

Yükseklik (m.)	Yağış (mm)	Alan (km ²)	A*Yağış
1820-1800	700,83	0,04	28,03
1800-1700	661,55	1,7	1124,64
1700-1600	622,27	2,8	1742,36
1600-1550	602,63	3,5	2109,21
1550-1500	582,99	4,5	2623,46
1500-1400	543,71	10,9	5926,46
1400-1300	504,43	44	22195
1300-1200	465,15	47	21862,13
1200-1100	425,87	83	35347,36
1100-1000	386,59	96	37112,81
1000-900	347,31	170	59043,01
900-800	308,03	79,2	24396,12
800-700	276,5	5,2	1437,8
Toplam Alan		548,64	215434,43
Ortalama Yağış			393mm

Bu nedenle ortalama yağıştan eklenik sapma eğrileri çizilerek kurak ve yağışlı dönemlerin kaynak debilerine etkisi incelenmiştir (Şekil 5.3 ve 5.4).

Ortalama Yıllık Yağıştan Eklenik Sapma Eğrisi

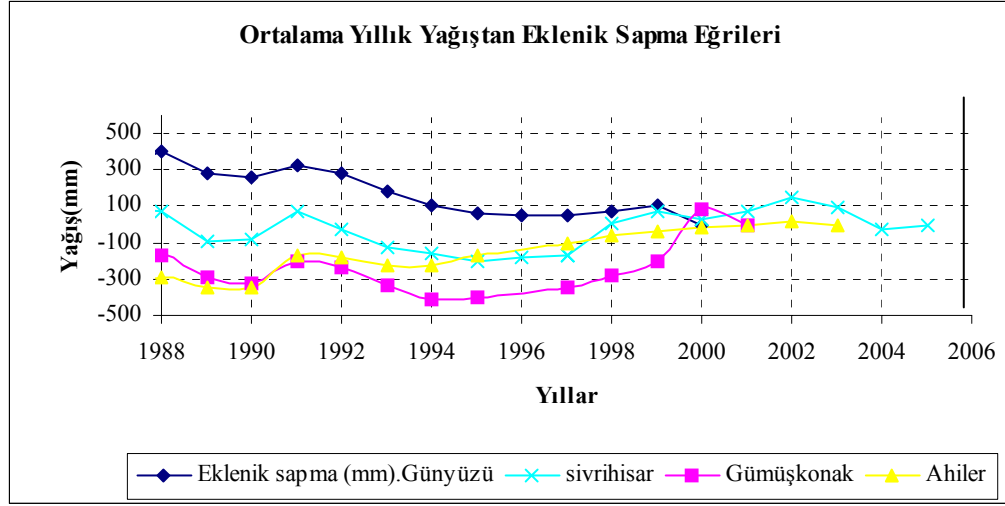


Şekil 5.4: Sivrihisar yağış istasyonunun 1924-2005 yılları, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma eğrileri

Sivrihisar meteoroloji istasyonu yağış istasyonunun 1924-2005 yılları arasında yağış değerlerinin eklenik sapma grafiği çizildiğinde (Şekil 5.4), genel olarak 1924-1960

yıllarında tüm Dünyada yaşanan kurak dönemden etkilendiği 1960'dan itibaren ise yağışlı döneme geçildiği görülmektedir.

Çalışma kapsamında ölçüm sonuçları 4 istasyonun 1988 den itibaren yağış verileri topluca değerlendirilğinde, istasyonlardaki yağışlı ve kurak dönemlerin az da olsa farklılık göstermesi, ölçümlerde homojenliğin olmayışından kaynaklanabileceğini düşündürmüştür (Şekil 5.5).



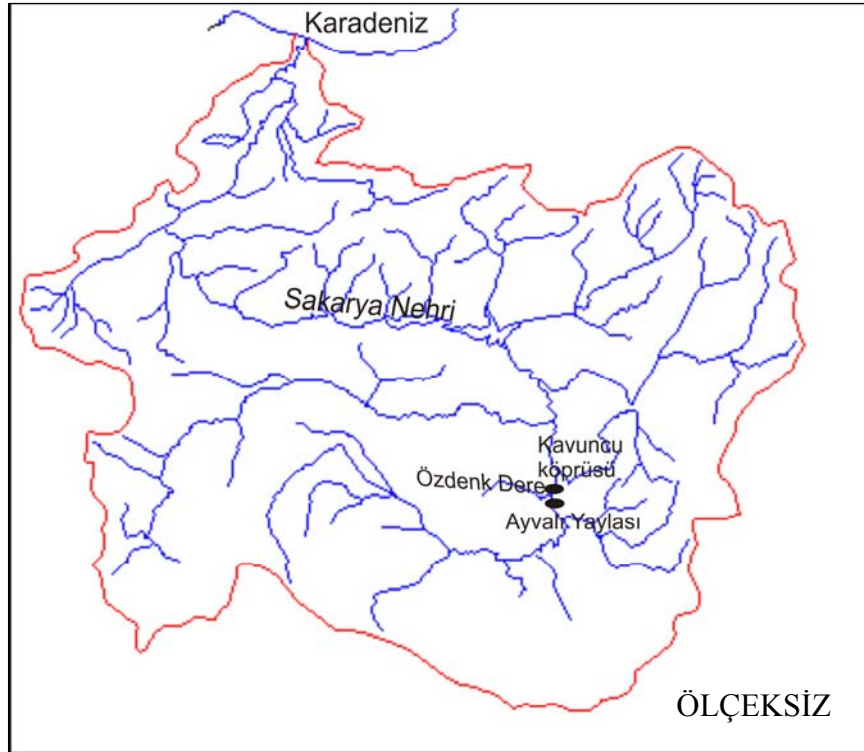
Şekil 5.5: Tüm istasyonların 1988-2005 yılları, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma eğrileri

Her iki şekil birden değerlendirildiğinde genel olarak bölgede 1988-1991 nisbeten kararlı devreden sonra 1991-1995 yılları arası kurak, 1995-2000 yılları arasında yağışlı ve 2000 yılından itibaren kurak devreye girildiği görülmektedir

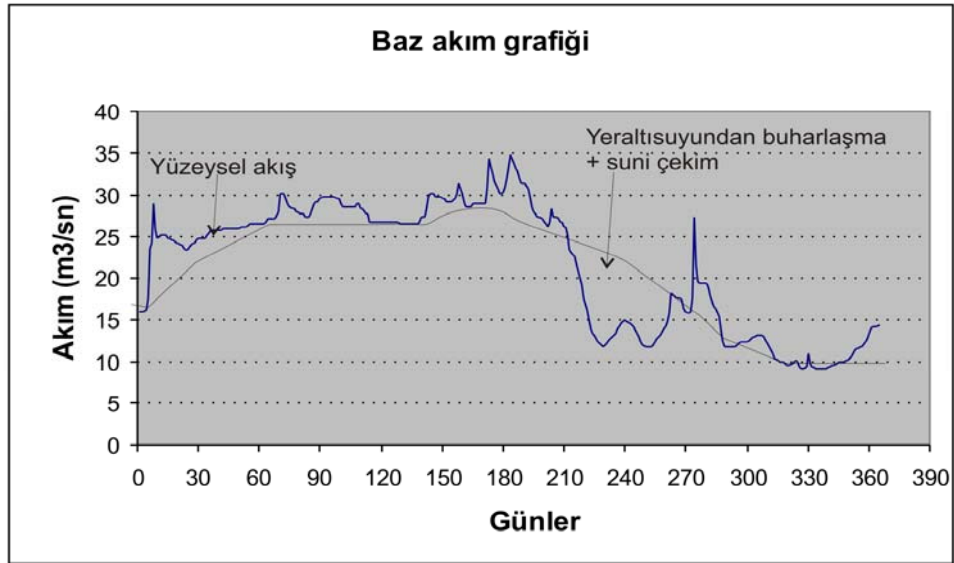
5.2.2 Buharlaşma-Terleme (ET),

Beslenim hesaplarında en önemli girdi olan yağış miktarının belirlenmesinden sonra buharlaşma-terleme kayıplarının, hesaplanması için öncelikle Sakarya havzası içinde baz akım ölçüm istasyonları bulunan Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) akım verileri temin edilmiştir. Şekil 5.6'da EİE akım verileri istasyonları Sakarya havzası drenaj alanı içindeki yerleri gösterilmiştir.

Şekil 5.6' da yerleri gösterilen Kavuncu köprüsünün mansabında (EİE akım verileri, 1959-1989) ve Ayvalı yaylası girişi köprü mansabında (EİE akım verileri, 1988-1990)) ölçülen akım verileri ortalamalarından faydalanılarak baz akım grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.7 ve 5.8) ve bölgesel buharlaşma, yüzeysel akış ve yeraltısuyu yüzdeleri hesaplanmıştır (Dumlu ve diğ., 2006).



Şekil 5.6: Sakarya havzasında EİE akım gözlem istasyonlarının yeri



Şekil 5.7: Ayvalı yaylası baz akım grafiği

Ayvalı yaylası akış istasyonu, toplam baz akış ve yüzeysel akış miktarları ;

Drenaj alanı : 14211 km²

Drenaj alanına düşen ortalama yağış: 384.9 mm. (Günay 2006) : $5469.9 \cdot 10^6$ m³/yıl

Toplam baz akım: $619 \cdot 10^6$ m³/yıl

Yüzeysel akış: $41 \cdot 10^6$ m³/yıl Buna göre yüzeysel akış; % 0,8

Buharlaşma: $5469.9 \cdot 10^6 - 660 \cdot 10^6 = 4809,9 \cdot 10^6$ m³/yıl

Yağış = Yüzeysel akış + yeraltısuyu + buharlaşma

Buharlaşma = Yağış - (yüzeysel akış + yeraltısuyu)

Buharlaşma: % 88.

Süzülme + Yeraltından buharlaşma: %11,2 olarak hesaplanmıştır.

Aynı şekilde Kavuncu köprüsü akış istasyonu, toplam baz akış, yüzeysel akış miktarları;

Drenaj alanı: 14243 km²

Drenaj alanına düşen ortalama yağış: 384.9 mm. (Günay, 2006) : 5482* 10⁶ m³/yıl

Toplam baz akım: 719*10⁶ m³/yıl

Yüzeysel akış: 162*10⁶ m³/yıl , buna göre, yüzeysel akış % : 2.9

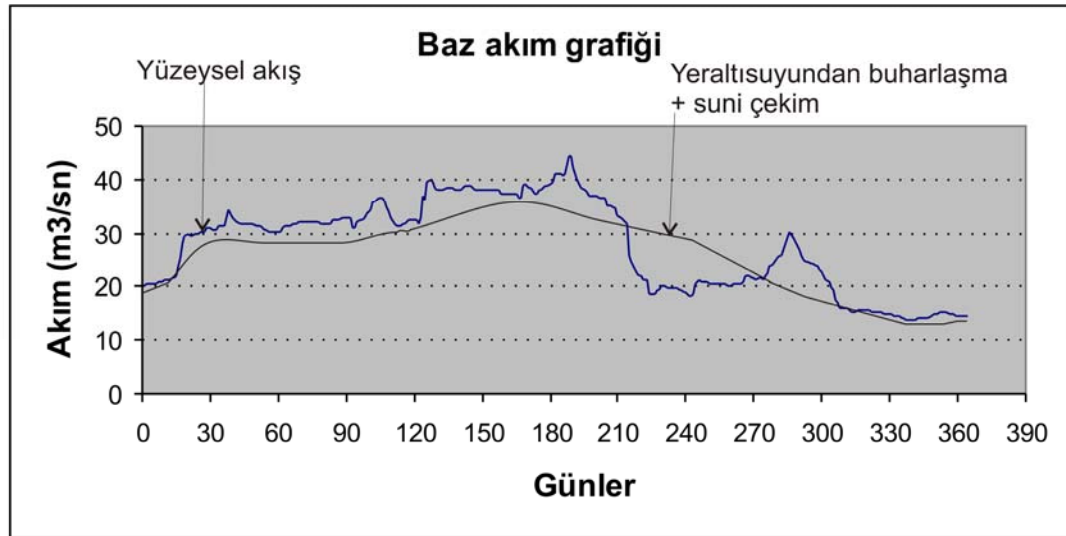
Buharlaşma: 5482*10⁶ – 881*10⁶ = 4601*10⁶ m³/yıl

Yağış = Yüzeysel akış + yeraltısuyu + buharlaşma

Buharlaşma=Yağış - (yüzeysel akış + yeraltısuyu)

Süzülme + Yeraltından buharlaşma : %13,1

Buharlaşma = % 84 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.8: Kavuncu köprüsü baz akım grafiği

Bu sonuçlardan bölge genelinde buharlaşma oranının toplam yağışın % 84 ila % 88 arasında değiştiği, yüzeysel akışın ise % 1-3 civarında olduğu hesaplanmıştır.

Günyüzü havzasında içine alan akarsu baz akım ölçümlerinden bölge geneli için hidrolik parametreler belirlendikten sonra ayrıca inceleme alanının potansiyel ve gerçek buharlaşması ile su bilançosu, Sivrihisar meteorolojik istasyonu verileri

kullanılarak, PENMAN (Penman, 1948) ve TURC (Turc, 1954) yöntemlerine göre hesaplanmıştır. Penman yöntemine göre hazırlanan çizelgeler incelendiğinde bölgede büyük bir potansiyel buharlaşma açığı olduğu görülür (Çizelge 5.4 ve 5.5). Çizelgeler incelendiğinde potansiyel buharlaşmanın en fazla olduğu haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında gerçek buharlaşma en düşüktür. Aralık, ocak ve şubat aylarında ortaya çıkan su fazlalığı, yağışın gerçek buharlaşmadan yüksek olmasına ve ortamın suya doymuş bulunmasına bağlı olarak akışa geçmektedir. 393 mm/yıl'lık uzun yıllar ortalamasının 346 mm/yıl'lık miktarı, yani yağışın % 88 si, gerçek buharlaşma sonucu yeniden atmosfere dönmektedir. Yağışın ancak 47 mm/yıl'ını oluşturan %12' si akışa geçer (Çizelge 5.5). Burada sözü edilen akış, yüzey, yüzeyaltı ve yeraltı akışı şeklindeki toplam akıştır.

Alansal buharlaşma-terleme (ET_g) kayıplarının hesaplanması amacıyla Turc eşitliğinden (Turc, 1954) yararlanılmıştır.

Turc eşitliği;

$$ET_g = P / \sqrt{0,9 + P^2/L^2}$$

$$L = 300 + 25 * T + 0,05 * T^3$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Burada:

ET_g: Gerçek buharlaşma-terleme

P: Sisteme alansal yağış girdisi

T: Sıcaklık

L: Sıcaklığa bağlı katsayı

İnceleme alanı için ortalama sıcaklık değeri 11,35 °C olarak hesaplanmıştır. Turc yöntemine göre havzada yıllık yağışın (393 mm/yıl) yaklaşık % 89 buharlaşma terleme yolu ile atmosfere dönmektedir. Ayrıca potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri Penman yöntemine göre de hesaplanmıştır. Enerji dengesi ve kütle transferi eşitliklerine dayanan bu yöntem, hidrolojik araştırmalarda en doğru sonucu veren yöntemdir. Temel bağlantıda yer alan ve yöntemin uygulanmasında kullanılan veriler ile bunların hangi kaynaklardan sağlandığı aşağıda kısaca özetlenmiştir.

$$E = \frac{A[R_A(1-r)(0,18 + 0,55n/N) - B(0,56 - 0,92) \sqrt{e_a} (0,10 + 0,90 n/N) + 0,27 * 0,35(e_a - e_d)(1 + 0,0098U_2)]}{A + 0,27}$$

E: Günlük potansiyel buharlaşma mm. su/gün

t: Ortalama günlük sıcaklık, °C

A: Mutlak sıcaklıktaki doymuş su buharı ile günlük sıcaklık arasındaki ilişkiyi belirleyen katsayı (boyutsuz)

R_A : Atmosferüstü güneş enerjisi, mm. su/gün,

r: Albedo değeri, boyutsuz,

n: Aylık ortalama güneşleme süresi, saat/gün,

B: Boltzman katsayısı, mm.su/gün,

e_a : Havzanın su buharı basıncı, mm.Hg,

e_d : Günlük ortalama sıcaklıktaki havanın doymuş su buharı basıncı, mm.Hg

R_H : Bağlı nem %,

U_1 : Rüzgar hızı,, U_2 : Yüzeyden 2m. yükseklikteki rüzgarın aylık ortalama hızı, m/sn

N: Aylık ortalamaAstronomik güneşleme süresi, saat/gün,

E_a : Havanın su buharlaştırma gücü, mmsu/gün

RB: $B (0.56 - 0.92\sqrt{e_d})$

Rc: $R_A(1-r)0.18+0.55 n/N$

Çizelge 5.4: Penman yöntemi ile hazırlanmış potansiyel buharlaşma

POTANSİYEL BUHARLAŞMA												
Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SICAKLIK(C)	0,3	1,7	5,0	10,1	14,7	18,8	21,9	22,1	17,7	12,7	8,0	3,2
A	0,762	0,818	0,971	1,272	1,629	2,036	2,415	2,441	1,918	1,462	1,137	0,884
RA(mm.su/gün)	6,20	9,00	11,45	14,00	16,10	16,85	16,40	14,70	12,15	9,65	6,95	5,75
n(saat/gün)	2,87	4,32	5,03	6,92	9,30	10,33	11,40	10,87	8,77	7,28	5,33	3,07
N(saat/gün)	9,70	10,75	11,90	13,25	14,35	14,90	14,60	13,75	12,45	11,25	10,10	9,40
Rc: $R_A(1-r)0.18+0.55 n/N$ (mmsu/gün)	1,59	2,71	3,54	4,91	6,48	7,09	7,50	6,78	5,17	3,88	2,45	1,55
B	11,06	11,34	12,00	13,02	13,94	14,76	15,38	15,42	14,54	13,54	12,60	11,64
RH	0,79	0,77	0,71	0,65	0,62	0,57	0,51	0,49	0,53	0,58	0,70	0,79
ea(mmHg)	4,68	5,18	6,54	9,26	12,53	16,26	19,69	19,93	15,18	11,00	8,04	5,76
RB: $B (0.56-0.92\sqrt{e_d})$	1,55	1,97	2,09	2,48	2,89	2,99	3,31	3,41	3,19	3,03	2,48	1,67
U_1 (m/sn)	2,80	2,80	3,00	3,10	3,00	3,30	3,80	3,30	2,70	2,90	2,00	3,00
U_2 (m/sn)	1,50	1,50	1,70	1,80	1,70	2,00	2,50	2,00	1,40	1,60	0,80	1,70
Ea	0,349	0,423	0,675	1,155	1,695	2,495	3,460	3,628	2,531	1,643	0,851	0,431
E(mm.su/gün)	0,122	0,659	1,287	2,203	3,317	3,914	4,109	3,395	2,047	0,975	0,143	0,011
Ep(mm.su/ay)	3,79	18,45	39,89	66,08	102,84	117,43	127,39	105,23	61,41	30,23	4,30	0,35
Ep(mm.su/yıl)	677,38											

Çizelge 5.5: Penman yöntemi ile hazırlanmış meteorolojik su bilançosu (Sivrihisar meteoroloji istasyonu verileri)

Veriler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Sıcaklık, $t_a(^{\circ}\text{C})$	0,30	1,70	5,00	10,10	14,70	18,80	21,90	22,10	17,70	12,70	8,00	3,20	11,35
Potansiyel Buharlaşma (Ep, mm)	3,79	18,45	39,89	66,08	102,84	117,43	127,39	105,23	61,41	30,23	4,30	0,35	677,38
Yağış (P, mm)	49,90	42,40	43,90	36,40	52,90	29,90	14,20	3,80	17,90	23,60	29,90	48,40	393,20
P-Ep (mm)	46,11	23,95	4,01	-29,68	-49,94	-87,53	-113,19	-101,43	-43,51	-6,63	25,60	48,05	-284,18
Rezerv Su (mm)	100,00	100,00	100,00	70,32	20,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,60	73,65	489,95
Gerçek Buharlaşma (Er, mm)	3,79	18,45	39,89	66,08	102,84	50,28	14,20	3,80	17,90	23,60	4,30	0,35	345,48
Eksik Su (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,15	113,19	101,43	43,51	6,63	0,00	0,00	352,29
Fazla Su (mm)	19,76	23,95	4,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,72
Akış (mm)	9,88	16,92	10,46	5,23	2,62	1,31	0,66	0,33	0,17	0,08	0,04	0,02	47,72

5.3 Meteorolojik Su Bütçesi

Yağış= Akış (yüzey + yüzeyaltı + yeraltısuyu).+ Buharlaştırma,terleme

Toplam yağış:215*10⁶ m³/yıl

Akış (Yüzey + yüzeyaltı + yeraltısuyu): 30*10⁶ m³/yıl'

Buharlaştırma Terleme (ET):185 *10⁶ m³/yıl

A (km²):548

Sıcaklık (°C):.....11.35

ET (%):.....86

Buharlaştırma-Terleme yüzdesi olarak baz akım analizleri ile hesaplanan % 84-% 88'in ortalaması olan % 86 alınmıştır. Havzaya düşen toplam yağıştan buharlama-terleme çıkarılarak bulunan 30*10⁶ m³/yıl'a karşın Kavuncu yaylası ve Ayvalı yaylası ölçümleri arasındaki fark 100*10⁶ m³/yıl civarındadır. Kavuncu yaylası ve Ayvalı yaylası istasyonlarından eş zamanlı ölçümlerin olmaması nedeniyle hidrolojik bütçe verileri genel anlamda fikir vermektedir. Ancak yeraltısuyu bütçesindeki beslenme eksikliğiyle uyumludur. Aynı sonuç Sakarya havzası içinde yer alan Sakarbaşı kaynakları havzasında da belirlenmiştir (Günay, 2006). Günay (2006), bu durumun yan havzalardan beslenmele kaynaklandığını ifade etmiştir.

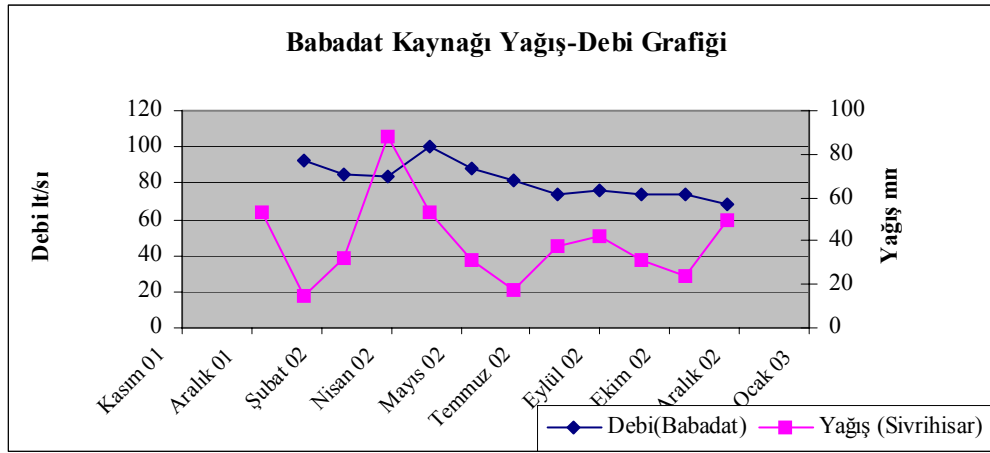
Günyüzü havzası akiferleri, sahadaki geçirimsiz birimler olarak tanımlanan metamorfik şistler ve magmatik kayalarla sınırlandırılmıştır. Bu anlamda havza genelinde ortaya çıkan beslenme-boşalım arasındaki boşalımı yönelik artı değer (beslenme eksikliği) yan akiferlerden beslenme olarak açıklanamamaktadır. Bölüm 1.4'de anlatılan dağönü beslenimi nedeniyle noktasal beslenme yüksek buna karşın buharlaştırma çok düşük olmasıyla beslenme ve boşalım arasındaki farka bir açıklama getirilebilir.

5.4 Yağış ve Akım Arasındaki İlişki

Günyüzü havzasında kısmen karstik olan sistemin boşalımını gerçekleştiren kaynaklar ile sistemde girdiyi oluşturan yağış değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler oluşturularak tek tek değerlendirilmiştir. Akım verileri, DSİ tarafından yapılan 3. bölge sınırları içinde kalan kaynaklara ait akım rasat değerlerinden alınmıştır. Her kaynak için farklı yıllarda yapılan ölçümler vardır. Her bir kaynaktan 2 hidrolik dönemi kapsayan ölçümler mevcuttur. Yağış ve akım arasındaki ilişki, çalışma alanındaki 6 önemli kaynağın verileri kullanılarak aşağıda değerlendirilmiştir. Kaynaklar kuzeyden güneye sıralanmıştır.

5.4.1 Babadat kaynağı (K9)

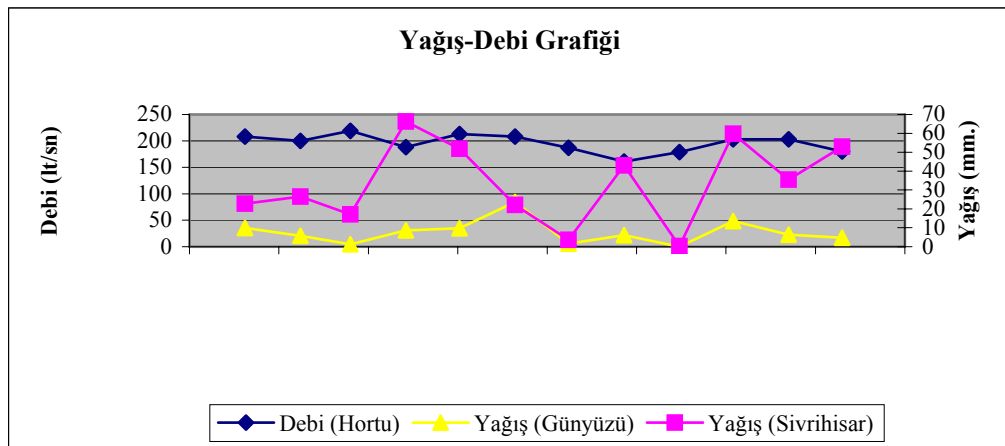
Kaynağa en yakın yağış istasyonu olan Sivrihisar yağış istasyonu yağış verileriyle, Babadat kaynağının, kaynak boşalım ve yağış ilişkisi araştırılmıştır. Kaynağın yıllık ortalama debisi 87 lt/sn'dir. Şekil 5,9'da görüldüğü gibi sisteme giren yağışların etkisi bir ay gecikmeyle sistemin boşalmasını sağlayan Babadat kaynağına yansımaktadır.



Şekil 5.9: Babadat kaynağı yağış-debi grafiği

5.4.2 Nasrettin Hoca (Hortu) kaynağı (K8)

Nasrettin Hoca kaynağının, kaynak akım verileri ile kaynağa yakın iki istasyon olan Sivrihisar ve Günyüzü meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak yağış-debi grafiği çizilmiştir. Şekil 5.10'dan görüldüğü gibi kaynak verimi aylık yağışlardan birkaç aylık gecikmeyle etkilenmektedir.

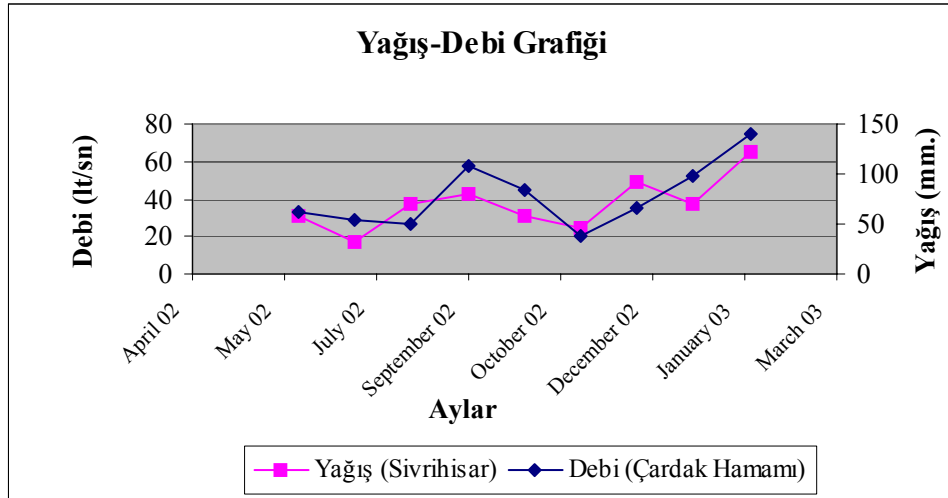


Şekil 5.10: Nasrettin Hoca kaynağı yağış-debi grafiği

Nasrettin Hoca kaynağı, Babadat kaynağı gibi kısmen karstik sistemden noktasal, kısmen de üsteki Neojen örtüden yaygın beslenimle gelen sulardan etkilenmektedir.

5.4.3 Çardakhamamı kaynağı (K7)

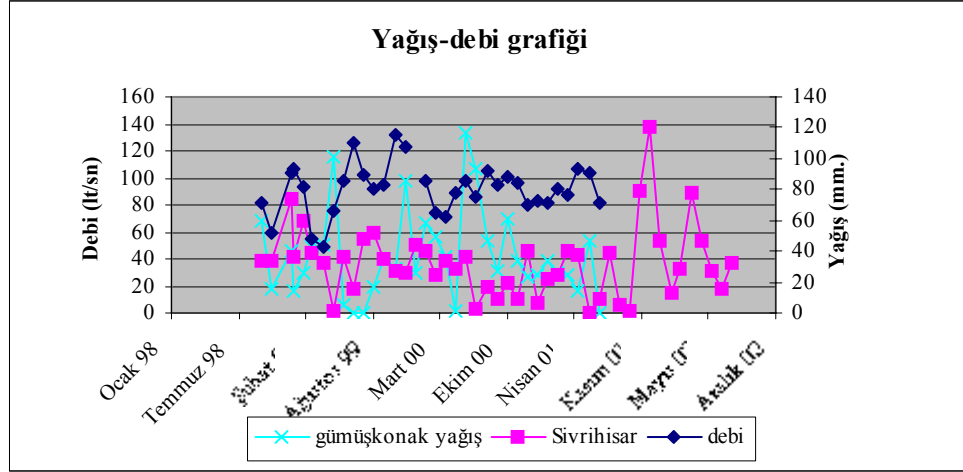
Çardakhamamı kaynağı, inceleme alanındaki sıcak su kaynağı olup, ortalama 45 lt/sn debi ve 35 °C sıcaklıktadır. Yaltırak (2002), tarafından Trakya-Eskişehir fay zone olarak adlandırılan Eskişehir fay hattı ile ilişkili olduğu düşünülen Çardakhamamı kaynağının hazne kayacı, çalışma alanının jeoloji haritasında (EK A-1) Eryiğit birimi olarak adlandırılan mermerler ve Neojen yaşlı kireçtaşlarıdır. Neojen yaşlı marn ve killer ise kaynağın örtü kayası niteliğindedir. Kaynağın yağış-debi ilişkisi incelendiğinde, yağışın çok kısa sürede kaynak verimini etkilediği Şekil 5.11’ de görülmektedir. Bu da derin dolaşimli olan Çardakhamamı kaynağının kısmen yüzeysel beslenme ve boşalım sistemi içinde olduğunu göstermektedir. Derin dolaşım ile gelen sıcak suların sığ dolaşım ile gelen soğuk sularla karışması doğal olarak kaynağın sıcaklığını düşürmektedir.



Şekil 5.11: Çardakhamamı kaynağı yağış-debi grafiği

5.4.4 Atlas kaynağı (K6)

Atlas kaynağının 1998–2003 yılları arasında akım ölçümleri değerlerine göre ortalama debisi 81 lt/sn dir. Sivrihisar ve Gümüşkonak meteoroloji istasyonu verileriyle yağış-debi grafiği çizilmiştir (Şekil 5.12). Şekilde görüldüğü gibi kaynak verimi her iki istasyon yağış değerlerinden doğrudan ve birkaç aylık gecikmeyle etkilenmektedir. Yağıştan etkilenme, yağış türüne ve zeminin doygun olmasına (kurak, yağışlı dönem) bağlı olarak değişmektedir.

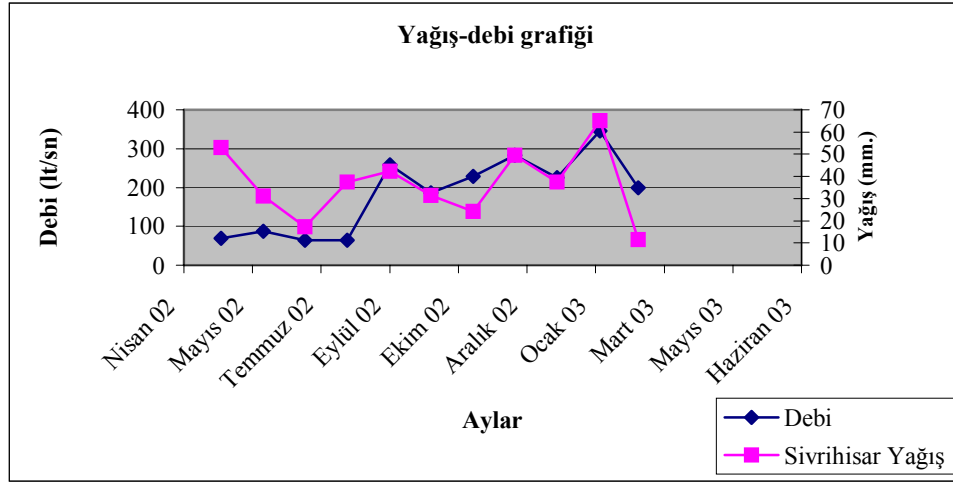


Şekil 5.12: Atlas kaynağı yağış-debi grafiği

5.4.5 Subaşı kaynağı (K5)

Subaşı kaynakları, muhtemelen Çardakhamamı kaynağı ile aynı fay sisteminden etkilenmektedir. Subaşı olarak değerlendirilen üç adet kaynağın sıcaklıkları 27-30 °C arasında değişmektedir. Farklı sıcaklıklarda olmaları bir kısmına daha çok soğuk yeraltısuyunun karıştığını gösterebilir.

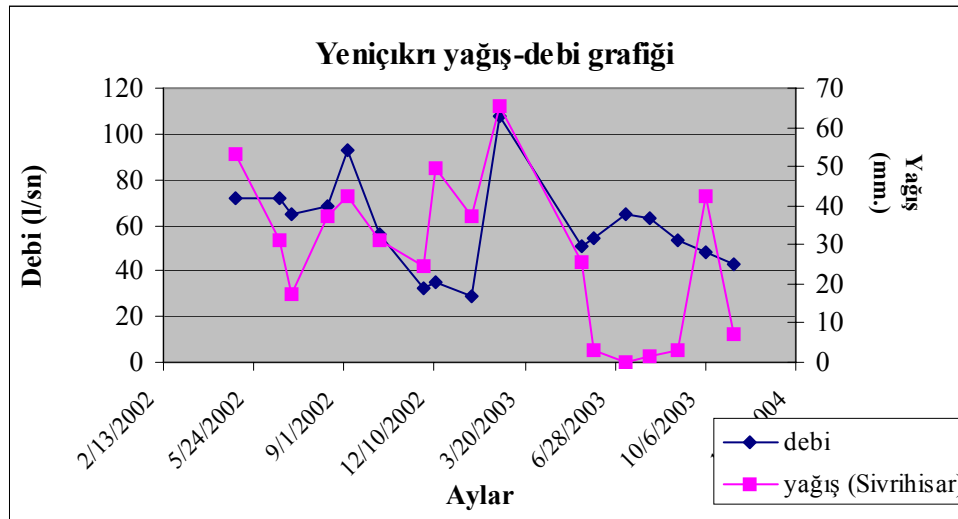
Subaşı kaynaklarının 2000–2003 yıllarında yapılan ölçümlerine göre debisi 41-273 l/sn arasında değişiklik göstermekte olup ortalama debisi 137.3 lt/sn’ dir. Ağustos 2002 yılında 64 lt/sn olarak ölçülen debi, eylül ayında 254 lt/sn’ ye yükselmiştir. Bu durum, yağışlardaki ani artıştan kaynaklanmıştır. Uzun yıllar eylül ayı yağış yüksekliği 15 mm. iken Eylül 2002’de 42,4 mm. olmuştur. Şekil 5.13’de görüldüğü gibi sisteme giren yağışların etkisi çok kısa sürede sistemin boşalmasını sağlayan Subaşı (Gümüşkonak) kaynaklarına yansıdığı görülmekle birlikte gecikmeli olarak yağışla ters orantılı debi artışı da gözlenmektedir. Bu, sistemin hem yüzeysel hem de derin dolaşımli iki ayrı akifer sisteminden oluştuğunu gösterir. Doygun olmayan zonda (vadoz) mermerlerde ve Neojen kireçtaşlarında kısmen karstik sistem gelişmiştir. Mermerlerde zamana bağlı olarak gelişen ve günümüzde askıda olan fosil mağara ve düdenlerin bir kısmı faylanmalara bağlı olarak yeniden hidrolik döngü içerisinde yer almıştır. Ani yağışlara ve sellenmelere bağlı olarak çalışan bu üst sistem hızlı bir şekilde de boşalmaktadır.



Şekil 5.13: Subaşı kaynakları yağış-debi grafiği

5.4.6 Yeniçıkırı kaynağı (K1)

Kaynağın 1986-2004 yılları arasında yapılan debi ölçümlerine göre baz akım grafikleri çizilerek ortalama baz akım 47 lt/sn. hesaplanmıştır. Kaynak etrafında açılan derin kuyulardan statik su seviyesi kotu, kaynak boşalım kotu olan 890 m. ile aynıdır. Bu durum kaynağın dolusavak şeklinde çalıştığını göstermektedir. Yağış-debi grafiği çizildiğinde (Şekil 5.14) sistemin yağışlardan eş zamanlı etkilendiği görülmektedir.



Şekil 5.14: Yeniçıkırı kaynağı yağış-debi grafiği

Haziran-Temmuz 2003 aylarında yağış olmadığı halde debide artış karstik sisteme gecikmeli olarak karışan sular olarak yorumlanmıştır. D.S.İ tarafından Kayakent belediyesi sulama suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı açılan kuyuların işletmeye alınmasından kısa bir süre sonra karst akifer kaynağının Eylül 2005 tarihinde

yapılan arazi çalışmasında kurduğu gözlenmiştir. Bütün bu sonuçlar havzadaki kaynakların tümünün farklı oranlarda sığ ve derin dolaşımli sistemden etkilendiğini göstermektedir.

5.5 Akiferler ve Hidrolik Özellikleri

5.5.1 Kaynak çekilme analizi

Kaynakların akım değerleri ile oluşturulan kaynak çekilme analizi, ilk olarak tek bir rezervden boşalan ve kaynak gerisindeki su yükü dikkate alınarak Maillet (1905) tarafından üstel olarak ifade edilmiştir. Bu üstel eşitlikte belli bir t zamanında sistemden boşalan su miktarı $Q_t = Q_0 * e^{-\alpha t}$ şeklinde tanımlanmaktadır. Babadat, Hortu, Çardakhamamı, Subaşı, Atlas, ve Yeniçıkırı kaynaklarının boşalım katsayıları hesaplanmış ve Çizelge 5.6’de sunulmuştur. Akiferin depolama kapasitesi, belirli bir zamanda boşalan su miktarlarında aşağıdaki eşitliklerle belirlenmektedir. Hesaplamalarda DSİ akım verilerinden yararlanılmış, yağışın olmadığı aylardaki debi düşümleri dikkate alınmıştır. Sellenmelere bağlı debi yükselim ve düşümleri yeraltısu depolama kapasitesinin belirlenmesinde dikkate alınmamıştır.

$V_0 = Q_0 / \alpha$ Akiferin depolama kapasitesi

$V_{son} = Q_{son} / \alpha$ Azalma sonundaki depolama kapasitesi

Çizelge 5.6: Babadat, Nasrettin Hoca (Hortu), Atlas, Subaşı, Çardakhamamı, Yeniçıkırı kaynakları boşalım katsayıları ve depolama kapasiteleri

Yıl	Q_0 (m ³ /gün)	Q (m ³ /gün)	t_2-t_1 (gün)	α (gün ⁻¹)	V_0 (m ³)	V_{son} (m ³)	Rezervden Boşalan Su(m ³)
Tem.-Eylül 2004 Babadat	5443	2592	90	0,008	653753	311310	342442
Temmuz-Ağustos 1997 Hortu	16157	13910	30	0,005	3204886	2759173	445712
Ağustos-Eylül 2002 Çardakhamamı.	9331	7344	53	0,0045	2073555	1632000	441555
Ağustos – Eylül 2000 Atlas	7949	5530	30	0,01	639776	445058	194718
May.- Ağustos 2004 Subaşı	11578	10022,4	90	0,0012	9528889	8248889	1280000
Haziran- Ağustos 2002 Y.çıkırı	5616	4838	60	0,0025	2237450	1927649	309800

Boşalım katsayısı, karstik akiferin iletkenlik katsayısına, depolama katsayısına ve geometrik olarak büyüklüğüne bağlıdır.

Çalışma alanında, Atlas kaynağı dışında (10^{-2} gün⁻¹), ortalama boşalım katsayısı 10^{-3} gün⁻¹ mertebesinde olduğu için karst akiferlerinde yeraltısuyu akımı çatlaklar-kırıklar boyunca meydana gelmektedir.

5.5.2 Kuyu Deneylerinden Yararlanarak Akifer Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışma alanında açılan derin kuyularda sabit debili pompalama deneyleri ve yükselim deneyleri Jacob, Theis yükselim ve dengeli rejime ulaşan kuyularda Dupuit formülleri (Kresic, 1997) kullanılarak akiferlerin hidrolik iletkenliği hesaplanmıştır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7: İnceleme alanında yer alan kuyulardan hesaplanan akiferlerin iletkenlik değerleri.

Kuyu No:	Derinlik (m.)	Statik Sev. (m.)	Dinamik Sev. (m.)	Düşüm (m.)	Qp (lt/sn)	Hidrolik İletkenlik (K) (m/gün)
51054	152	9,1	79,65	70,55	4	0,02
54057	69	0,6	43,62	43,02	14	0,65
53852	131	5,4	58,46	53,06	20	0,27
53856	223	13,4	65,15	51,75	15	0,06
55384	86	1,0	56,86	55,86	15	0,93
55387	98	16	45,71	29,71	34,58	2,78
55886-A	215	0,7	22,02	22,72	64,93	1,39
55886-B	55	0,23	24,17	23,94	44,63	4,1
57287	176	19	89,43	70,43	5,93	0,11
57288	170	0,5	61,96	61,46	10,1	0,11
57289	164	12	63,81	51,81	18	0,26
56968-A	110	26	65	25	39	1,19
56967-B	116	21	63	35	28	1,9
56967-A	85	13	14	1	75	98,9
56968-B	93	2	6	4	68	14,4
58085	200	27,90	61,97	34,07	38,35	0,68
58053	243	52	116,44	64,44	10,1	0,46
58198	76	3,8	17,3	13,5	45	1,75
58025	248	14,6	59,91	45,31	25	0,39
58301	116	27,85	96,4	68,55	2	0,05

Yeniçıkırı kaynağının 30–50 m. yakınında açılan 56967-A ve 56968-B kuyularında akiferin iletimliliği (transmissibilitesi) $1326\text{--}7117\text{ m}^2/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, alanda gelişmiş bir karstik rezervuar olduğunu göstermektedir.

Yeniçıkırı kaynağı civarında açılan 56967-A, 56967-B ve 56968-A kuyuları da gözlem kuyusu olarak ölçülmüştür. Jacop yaklaşımı ile mermerlerde depolama katsayısı % 6-12 olarak hesaplanmıştır. Depolama katsayısı verilerini kontrol etmek amacıyla veriler Warren Root yöntemi ile PUMPZ programı kullanılarak hesaplamalar tekrarlanmış ve depolama katsayısı kırıklı çatlaklı ortam için % 6 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler yalnızca Yeniçıkırı kaynağı civarı için geçerlidir.

5.5.3 Süzülme Katsayısının Hesaplanması

Süzülme, yeryüzündeki mevcut suyun zemine girişi olarak tanımlanmaktadır. Bir hidrolojik kavram olan süzülme kapasitesi, yeryüzünde yapılan gözlemlere dayalı olarak geliştirilen bir kavramdır. Süzülme hızı, zemin yüzeyde doymun olana kadar yağış hızına eşittir ve K_o 'a (K_o : zeminin doymun hidrolik iletkenliği) eşit bir değere doğru asimptotik olarak azalır. Erken evrede zeminin gözenekleri su ile dolarken hidrolik yük zamana bağlı olarak artmakta ve aşağı doğru olan hidrolik eğim ise azalmaktadır. Bu azalım, artan basınç yüklerinin etkisiyle oluşan hidrolik iletkenlik değerindeki artış ile dengelenir. Süzülme hızındaki azalım, zemindeki eğimlerin ve iletkenliklerin kombinasyonunun yağış ile sağlanan suyu daha fazla alamayacağı zamana karşılık gelen noktada oluşur. Zemin tarafından adsorplanamayan süzülme suyu veya 10 cm. derinlikteki birikme suyundan fazlası akış durumuna geçer (Freeze ve Cherry, 1979). Karstik sistemde süzülme ise yüzey ve yeraltı drenaj sisteminin gelişimine bağlı olarak çok daha hızlı süzülme kapasitesine sahiptir. Süzülmeyi kontrol eden faktörler yamaç eğimi, bitki örtüsü, ana kaya üzerindeki bitki örtüsü kalınlığı, permeabilitesi ve ana kaya topoğrafyasıdır. Daha öncede ifade edildiği gibi, Wilson ve Guan (2004), Meksika'da yaptıkları çalışmada en etken faktörün anakaya geçirimsizliği ve yeraltısu buharlaşması (net süzülme = süzülme – yeraltısu buharlaşma) olduğunu göstermişlerdir. Ancak, kütle beslenimin gerçekleştiği, dağ önü besleniminin süzülme işleminde belirleyici olduğunu vurgulayan Wilcox ve diğ., (1997) aynı görüşte olduklarını da belirtmişlerdir (Bölüm 1.4).

Çalışma alanında 80 km²'lik alanda yüzeylenen mermerler için süzülme katsayısı, tümsel model yaklaşımı ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Yüzeylenen mermer alanı = 80 km²

Mermer alana düşen alansal yıllık yağış = 500 mm.

Toplam kaynak boşalımı = $16,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Toplam kaynak boşalımının toplam yağışa oranı (süzülme katsayısı) = % 41

Ayrıca Klor (Cl) miktarından yararlanarak (Çizelge 5.8) dolaşım sırasında kayaç su ilişkisinden Cl miktarında artma beklenmeyen Babadat, Yeniçıkırı ve Nasrettin Hoca kaynakları için süzülme yüzdesi hesaplanmıştır. Çünkü bu kaynaklar diğer kaynaklara göre Cl açısından kaynak görevi yapan Neojen örtü birimlerinden daha az yaygın beslenime maruz kalmaktadır. Beslenim hesaplarında Cl miktarından yararlanılması en yaygın kullanılan yöntemdir (Scanlon ve diğ., 2006). Yeraltısuyunun zemin içindeki hareketi sırasında, diğer iyonların hemen hepsi genelde bazen artış, bazen de azalış gösterirlerken Cl iyonu yeraltısuyu içinde sadece artış gösterir. Sular, taşıdıkları Cl iyonunu terkedemediklerinden Cl bakımından giderek zenginleşirler. Bu özellik nedeniyle Cl iyonu, yeraltısularında doğal izleyici olarak kullanılmaktadır (Edmunds ve Gaye, 1994).

Çizelge 5.8: Su noktalarının ortalama Cl değerleri (meq/l), standart Sapması ve değişim katsayıları

		Cl	SD	CV
K1	Yeniçıkırı kaynağı	0.183	0.026	14.084
K2	Musluk çeşmesi	0.085	0.006	6.490
K3	Çukurçeşme	0.326	0.085	26.108
K4	55886/Asondaj	0.191	0.024	12.475
K5	Subaşı kaynağı (İlica)	0.191	0.017	9.029
K6	Atlas kaynağı	0.063	0.009	14.182
K7	Çardak hamamı	0.956	0.196	20.529
K8	Nasrettin Hoca	0.108	0.028	26.152
K9	Babadat kaynağı	0.160	0.027	16.704

*: CV :Değişim Katsayısı , *SD : Standart sapma

Beslenim = Yağış* Co/C (Eriksson 1975) dan yararlanılarak süzülme katsayısı hesaplanmıştır.

Co = Yağmur suyu Cl miktarı

C = Buharlaşma sonrası Cl miktarı

Co/C = Süzülme yüzdesi

Yeniçıkırı kaynağı= 0.34, Babadat kaynağı= 0.39, Nasrettin Hoca kaynağı= 0.58 olarak hesaplanmıştır. Musluk kaynağı verileri yerine Atlas kaynağı verileri yağmur suyunu temsilen kullanılmıştır. Musluk suyu kaynağında litolojik olarak klor kirlenmesi Atlas kaynağına göre fazla olmaktadır. Atlas kaynağında süzülmenin, hidrolik eğim ve litolojiye bağlı, çok hızlı gerçekleştiği ve buharlaşmanın çok düşük

olduğu söylenebilir. Ortalama süzülme katsayısı bu değerlerin aritmetik ortalaması olan 0.43 olarak alınmıştır.

5.6 Hidrojeolojik Ortamlar

Bu bölümde, çalışma alanını oluşturan birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre verimi iyi, orta, zayıf akiferler ve su taşımazlar olarak gruplandırılmıştır. Bunlar, özgül debileri 0.1 lt/sn/m'den az olan, verimi zayıf akifer ve su taşımazlar, özgül debileri 2 lt/sn/m'den fazla olan, verimi iyi yerel akifer, özgül debileri 0.1 lt/sn/m, ve 2 lt/sn/m arasında olan, verimi orta yerel akifer olarak haritalanmıştır (EK-A-4).

Genel olarak geçirimsiz-erimesiz kaya ortam olarak sınıflandırılan metamorfik şistler ve granitik kayalar, yüzeyde kırıklı-çatlaklı örtü kalınlığı dışında geçirimsiz kaya ortamı oluşturmurlar (Şekil 5.15, 5.16). Sivrihisar Granodiyoriti başlığı altında toplanan plütonik kayalar kırıklı zonlarda zayıf yerel akifer ve şistler su taşımazlar olarak haritalanmıştır (EK-A-4).



Şekil 5.15: Geçirimsiz kaya ortam olan granitlerden görünümeler.

Diyabaz daykları ve silleri, mermerler içinde geçirimsiz perdeler oluşturmaktadır. Ayrıca bölge, düşük geçirimsizliğe sahip ortam özelliğini, volkanik kayalardaki kayaç yapıcı minerallerden feldispatların ayrışarak killeşmesi ve Neojen istifindeki kil çökelişi sonunda kazanmıştır. Gerek ayrışma gerekse çökeltme işlevleriyle oluşan killi, kayaçların tektonik etkiler altında ortaya çıkan, çatlaklar gibi ikincil süreksizlik boşluklarını doldurmuş ve kayaçların geçirimsizliğini ve iletimsizliğini düşürmüştür.



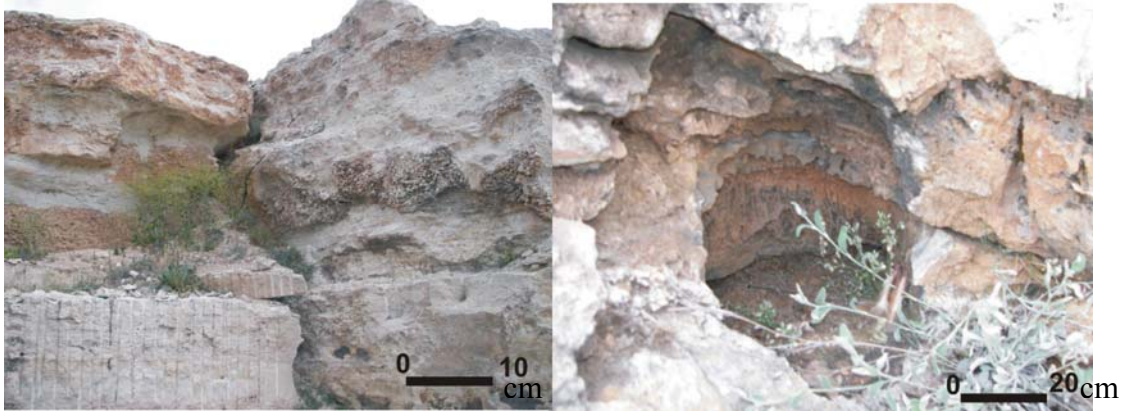
Şekil 5.16: Mermerlerin tabanında yer alan şistlerden görünüm A; Geçirimsiz perdeler oluşturan diyabaz-andezit daykları, B; Şist-mermer dokanağı

Karstlaşma ve mağara gelişimine uygun litostratigrafik ve yapısal özelliklere sahip mermerler, metamorfik seri içinde ve üstünde yer almaktadır. Seri üstünde yer alan ve yüzlerce m. kalınlığındaki mermerler (Şekil 5.17), çözünebilir kayalar olup karst hidrojeolojisi açısından yerel geçirimli- erimeli kaya ortamı oluşturur. Mermerler, verimi orta ve verimi iyi yerel akifer olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 5.17: Eryiğit dağında yüzeyleyen mermerlerde gelişen kırık-çatlak sistemi

Mermerlerin, sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre (Çizelge 5.7) hidrolik iletkenlikleri 1,19–98,9 m/gün ve özgül debileri 0,64-75 l/sn/m. olarak hesaplanmıştır. Metamorfik seri üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen istif içinde yer alan kireçtaşları çalışma alanında yerel ve yaygın geçirimli kaya ortam olarak formasyonlara yerel akifer özelliğini kazandırmıştır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18: Yerel ve yaygın geçirimli kaya ortam olarak sınıflandırılan Kuru tepe civarında yüzeyleyen kireçtaşlarından görünüm.

Neojen kireçtaşlarının hidrolik iletkenlikleri 1,39 - 4,1 m/gün ve özgül debileri 1,8-2,9 l/sn/m. olarak hesaplanmıştır. Neojen konglomeralar (Şekil 5.19) ve kum, kil, mil ve çakıllardan oluşan alüvyonlar, yerel ve yaygın geçirimli taneli ortamı oluştururlar. Konglomeralarda açılan, sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre özgül debileri 0,39 - 0,55 l/sn/m, ve hidrolik iletkenlikleri 0,27 - 0,39 m/gün olarak hesaplanmıştır. Ağırlıklı konglomeralardan oluşan Hisar ve Kepen formasyonları verimi orta yerel akifer olarak sınıflandırılmıştır (EK-A-4).



Şekil 5.19: Yerel ve yaygın geçirimli ortam olarak sınıflandırılan konglomeralardan görünüm.

5.7 Yeraltısuyu Bütçesi

Sakarya nehri ana drenaj alanı içindeki Günyüzü havzası su bölüm hattı, karstik özellikler gösteren mermerlerden geçmektedir. Mermerlerin tabaka doğrultu ve eğim yönüyle kırık-çatlak sistemi, ağırlıklı Günyüzü havzasını besler konumdadır. Bu nedenle yüksek kotlarda yüzeyleyen mermerler üzerine düşen yağış miktarı ayrıca

hesaplanmış ve Günyüzü havzası bütçesine dahil edilmiştir. Aşağıda ayrıntıları açıklanan su bütçesi toplu olarak Çizelge 5.9’da verilmiştir. Bütçe hesaplamalarında, alan hesaplamaları hidrojeoloji haritasından ARC-MAP programı kullanılarak yapılmıştır.

Drenaj alanında yüzeyleyen toplam mermer alanı: 80 km²

Toplam yağış miktarı: 500 mm/yıl.

Süzülme Katsayısı: 0.43

Mermerlerde toplam beslenim: $80 \times 0,500 \times 0,43 = 17,2 \times 10^6 \text{ m}^3$
(Kertek + Eryiğit birimi EK A-1))

Ağırlıklı olarak 1000 m. kotu üzerinde ve yaklaşık 100 km²,lik alanda yüzeyleyen Hisar ve Kepen formasyonu için alansal yağış ortalaması 443 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Kavuncu köprüsü ve Ayvalı yaylası baz akım analizlerinde hesaplanan % 11,2 ve %13,1 oranları (Bölüm 5.2.2) dikkate alınarak süzülme katsayısı 0.1 olarak alınmıştır. Buna göre Hisar ve Kepen formasyonlarından toplam beslenim;

$100 \times 0,443 \times 0,1 = 4,44 \times 10^6 \text{ m}^3$ hesaplanmıştır.

Neojen Kireçtaşları ve, Alüvyonların (Mercan, Çakmak formasyonu EK A-1) yüzeylendiği 1100-800 m. kotlarında alansal yağış ortalaması 363 mm/yıl olarak hesaplanmıştır.

Buna göre söz konusu birimlerden beslenim de; $100 \times 0,363 \times 0,10 = 3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ dür.

Geçirimsiz ve düşük geçirimli seviyeler’de Mercan, Çakmak, Tesg, EK A-1) süzülme katsayısı 0.01 kabulü yapılarak; $268 \times 0,393 \times 0,01 = 1,05 \times 10^6 \text{ m}^3$,

Yüksek kotlarda kaynaklarla yeniden havzaya boşalan sulama suyundan süzülme de $16 \times 10^6 + 10 \times 10^6 \times 0,1 = 2,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ hesaplanmıştır.

Yeraltısu düzeyinden buharlaşma-terleme ile boşalım:

Pratikte, yeraltısu düzeyinin topoğrafya yüzeyinden 2m.’den derin olduğu yerlerde su düzeyinden herhangi bir buharlaşma- terlemenin olmadığı varsayılır. Gerçekte ise kökleri derinlere inen bitkilerin bulunduğu alanlarda buharlaşma daha derinde de olabilir. Yeraltından buharlaşma hesabında Penman bilançosundaki “eksik su”dan yararlanılır. Çalışma alanında yüzey ve yüzey altı akışın olduğu alüvyonlarda ve su düzeyinin yüksek olduğu 30 km²,lik alanda yeraltından buharlaşma hesabı yapılmıştır. Penman su bilançosundan elde edilen eksik su miktarı 352,29 mm/yıl dır (Çizelge 5.5).

Yeraltından buharlaşma-terlemenin olduğu toplam alan: 30 km²

Eksik su: 352,29 mm/yıl

Buharlaşma-terleme oranı: $E_p(1-S_{\text{Sev}}/2)^2$ (Lohman, 1972) formülü ile hesaplanmıştır.

Potansiyel buharlaşma E_p : 677 mm/yıl (Çizelge 5.5)

Statik Seviye: 0,5 m. kabulü yapıldı.

Su tablasından buharlaşma-terleme ile boşalım: $30 \times 10^6 \times 0.352 \times 0.5 = 5.3 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.9)

Çizelge 5.9: Günyüzü havzası yeraltısuyu bütçesi

Beslenim (milyon m3)		Boşalım (milyon m3)	
Yağıştan süzölme (yerel geçirimli)	17,2	Kaynak boşalım	16,5
Yağıştan süzölme (geçirimli)	8,6	Kuyu çekim	10
Yağıştan süzölme (düşük geçirimli)	1,1	Yeraltından buharlaşma	5.3
Sulama suyundan beslenim	2,7		
Yeraltısuyu toplam beslenim	29,6	Yeraltısuyu toplam boşalım	31,8

Su bütçesi hesaplamaları en basit ifadesiyle; Beslenim= Boşalım $\pm$ Depolanan su hacmindeki değişikliktir. Buna göre Günyüzü havzasında eşitlik

$$29,6 \times 10^6 = 31.8 \times 10^6 - 2.2 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

Çizelge 5.9’da verilen bütçedeki $2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ lık boşalım fazlalığı, çalışma alanındaki karstik özellikler gösteren mermerlerin yüzeylediği alanlarda kar yağışı ve yağıştan direkt beslenimin hesaplanandan da fazla olması ile açıklanabilir. Çünkü kurak-yarı kurak bölgelerde karstik alanların varlığı havzaların beslenimini, önemli oranda arttırmaktadır. Yağışın, beslenmeye doğrudan etki eden faktörleri yağışın süresi, yükseklik ve yağışmurun şiddeti ile türüdür (Sutcliffe., 2004). Karstik arazilerde noktasal beslenmelere paralel olarak ani yağışmurlar çok etkili olur. Örneğin Suudi Arabistan’da karstik bölgelerde ortalama yağışın % 47’sinin dolin ve çatlakların kesiştiği alanlarda yok olduğu rapor edilmiştir (Milanoviç, 1981). De Vries ve Schwan (2000), kurak ve sıcak yazla temsil edilen Portekiz’de karstik dolomit ve marnlı bölgelerde 550 mm olan yıllık yağışın 150-300 mm.’sinin süzölüdüğünü ortaya koymuşlardır. Benzer değerler Akdeniz iklimiyle temsil edilen İsrail kireçtaşı akiferlerinde de rapor edilmiştir (Issar ve Passchier, 1990). Yugoslavya’nın çeşitli bölgelerinde kaynak boşalımlarından faydalanılarak % 70-90

arasında süzülme yüzdeleri hesaplanmıştır (Milanoviç, 1981). Türkiye’de Tecer kireçtaşlarında (Sivas-Ulaş) süzülme yüzdesi %55 olarak bulunmuştur (Ekemen ve Kaçaroğlu, 2001). Dolayısıyla Akdeniz bölgesi kireçtaşlarında gözlenen beslenme fazlalığının, bölgede karstik yapılardan kaynaklanan noktasal beslenimden ileri geldiği söylenebilir.

Sakarya havzasının başlangıcında yer alan Sakaryabaşı karst kaynakları için yapılan yeraltısuyu bütçe hesaplarında, beslenme eksikliği, havza genelinde olduğu gibi komşu akiferlerden yanal beslenmelerle tamamlanmıştır. Günyüzü havzası akiferleri, geçirimsiz birimlerle sınırlandırıldığı için Sakaryabaşı karst kaynaklarında olduğu gibi yanal bir beslenme söz konusu değildir. Bu durumda ortaya çıkan beslenme-boşalım arasındaki boşalığa yönelik artı değer (beslenme eksikliği), mermerlerdeki faylar, dike yakın çatlak ve kırık sistemi nedeniyle yoğun noktasal beslenmelere bağlı olarak buharlaşma yüzdesinin de hesaplanandan daha düşük olmasıyla ve yukarıda belirtilen çalışmalarda vurgulanmayan kar yağışı ile açıklanabilir. Bütün bunların yanısıra yarı kurak iklim özelliği gösteren Günyüzü havzasında, beslenme-boşalım eşitliğinin sağlanamayışı Bölüm 6.9.2 de tartışıldığı gibi, mermerlerde depolanan statik su fazlalığı ve dolaşım süresinin uzunluğundan da kaynaklanabilir ve pompajla sistemde depolan suyun bir kısmının çekildiği söylenebilir.

Yağışların eklenik sapma eğrilerinden (Şekil 5.5) görüldüğü gibi 2000 yılından itibaren kurak döneme girilmiştir. Kuyu bilgileri Çizelge 5.2’de verilen 58085, ve 52786, 56967A, 56968/A, 56967B no’lu kuyularda DSI’ tarafından rasatlar yapılmış; buna göre, kurak döneme girilmesine rağmen 58085 ve 52786 no’lu kuyuların statik seviyelerinde önemli bir değişim(± 30 cm) gözlenmemiştir. Ancak havzanın güney doğusunda yer alan Yeniçıkırı kaynağı, kaynak etrafında açılan kuyulardan yalnızca birinin (56968/A) faaliyete geçmesinden sonra kurumuştur. Bu kaynağın etrafında açılan kuyularda ölçülen seviyeler, Haziran 2007 itibarıyla 56968/A da; 26 m.’den 31m.’ye, 56967A’da; 13 m.’den 18 m.’ye 56967B’de; 21m.’den 28 m.’ye düşmüştür.

Günyüzü havzasında son yıllarda artan nüfus ve tarımsal faaliyetler su talebini artırmıştır. Bu nedenle emniyetli verim tesbiti ve sürdürülebilir su yönetimi önem kazanmıştır. Emniyetli verim öncelikle depolanan suyun kalıcı azalmaya izin vermeden çekilmesi olarak tariflenmiş (Todd, 1955; Sutcliffe ve diğ., 2004), daha

sonra ekonomik ve çevresel faktörler bu tarife eklenmiş ve sürdürülebilir su yönetimi kavramı gündeme gelmiştir. Sürdürülebilir su yönetiminde rezerv sudan çekimin sıfır olması veya var olan bu statik depodaki suyun ne kadar sürede ve ne şekilde kullanılacağına belirlenmesi gerekmektedir. DSİ tarafından yapılan su bütçesi hesaplamalarında, beslenim-boşalım eşitliği sağlanmış ve emniyetli verim, beslenimin % 80'i olarak belirlenmiştir. Ancak, Günyüzü havzasında yaptığımız bu çalışmada tüm yarı kurak-kurak iklim özelliğindeki havzalarda olduğu gibi beslenim-boşalım eşitliğinin kısa sürelerde gerçekleşmediği anlaşılmıştır. Çünkü paleoklimatik şartlarda oluşan yağış farkları sistemlerde beslenim-boşalımda dengesizliğe sebep olmaktadır.

Emniyetli verim, öncelikle suyun kalitesini bozmadan korunmasını içerir. Günyüzü havzasında varolan statik rezerv tüketilirse jipsli birimlerin yaygın olduğu Neojen örtüden süzülen su, yeraltısuyunun kalitesinde etken olacak ve büyük olasılıkla su kalitesi düşecektir. Emniyetli verim tesbitinde önemli olan ikinci faktör ekonomik su üretimidir. Yukarıda da bahsedilen Yeniçıkırı kaynağında olduğu gibi kendi cazibesi ile akan su, bir zaman sonra pompajla derinlerden alınabilir hale gelmektedir. Günyüzü havzasında Biçer ve diğ., (1975) tarafından hazırlanan su bütçesinde beslenim $9.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak belirlenmiş olmasına rağmen bugün kuyularla çekim $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'e ulaşmıştır. Doğa var olan haliyle dengesini kurmuş ve emniyetli verim karstik sistemde kendiliğinden boşalan su olarak belirlenmiştir ($16.5 \times 10^6 \text{ m}^3$). Ancak, havza geneli için emniyetli verim tespiti yapılamamıştır. Çalışmalar süresince, Yeniçıkırı ve Subaşı kaynağı civarında açılan kuyulardan yapılan su çekimine bağlı olarak yeraltısuyu seviyesinde değişiklik olduğu ve Yeniçıkırı kaynağının kuruduğu gözlenmiştir. Yapılan çekimlerin artarak devam etmesi halinde mevcut kaynakların kurummasına, kuyularda dinamik seviyenin derinleşmesine, Sakarya nehrine giden suyun azalmasına ve kirlenmeye açık hale gelmesine neden olacaktır. Özellikle bu kaynaklar civarında kuyulardan çekimlere su seviyesi değişimleri dikkate alınarak izin verilmelidir. Yıllık su kullanım raporları hazırlanarak, su tüketimin azaltılması, etkin sulama yöntemleri geliştirilmesi konusunda halkın bilgilendirilmesi ve sulu tarım yerine alternatif tarım araştırmaları yapılmalıdır.

6. HİDROJEOKİMYA

6.1 Giriş

Yeraltısuları normal koşullarda yağış sularıyla beslenir. Bu suların kimyası, beslenme alanından boşalım alanına doğru birçok jeokimyasal sürecin etkisiyle değişmektedir. Karbonat, silikat, sülfat ve/veya evaporit grubu minerallerin çözünmesi ve ayrışması bu minerallerin yapısındaki elementlerin sulara geçmesini sağlar. Suların kimyasal bileşimi üzerinde en etkili olan kayaç grubu suda hızlı çözünen karbonatlar ve evaporitlerdir. Örneğin karbonatlı kayaçlar kalsit ve dolomitçe zengin olduğu için bu tür kayaçlarla temas halinde olan sularda Ca^{++} , Mg^{++} ve HCO_3^- iyonları hakimdir. En önemli ve en yaygın kayaç yapıcı mineral grubundan olan silikatlar ise çok güç çözündükleri için suyun kimyasal yapısı üzerinde daha az etkiye sahiptir. Bu nedenle suların kimyasal bileşimi, geldikleri veya temas halinde oldukları kayaçların litolojik özelliklerini yansıtır. Yeraltısularının akışı ve konaklama süresi karstik boşlukların gelişme derecesine bağlıdır. Karst gelişimi sınırlıysa su akışı yavaştır ve akiferde suyun konaklama süresi uzundur. Bu durumda, mineralizasyon genellikle artar; kimyasal bileşim de zamanla değişir (Drever, 1982; Appelo ve Postma, 1993).

Bu nedenle yeraltısularının kimyasal bileşimi, suların içinden geçip geldikleri akiferlerin mineralojik ve kimyasal özelliklerinin, akiferlerde suyun akış hızının, akış koşullarının ve akiferdeki konaklama süresinin bir fonksiyonudur (Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Pastma, 1993; Örgün ve diğ., 1995, 1996, 2004; Örgün,1997; Andreo ve Carrasco, 1999). Dolayısıyla suların ana ve iz element içeriklerinin tanımlanması ve elde edilen sonuçların yorumu, suların yeryüzünde ve yeraltında temas ettikleri kayaçlar, kayaçlarla etkileşme mekanizmaları, kayaç-su etkileşme hızları gibi pek çok sorunun cevaplandırılmasına yardımcı olur. Suların kimyasal bileşimi, içinden geçip-geldikleri kayaçların bir fonksiyonu olduğuna göre, su analizlerinde elde edilen sonuçlar, maden aramalarında veri olarak kullanılabilir.

Çalışma kapsamında elde edilen su kimyası verileri ile Günyüzü havzasının hidrojeokimyasal özelliklerini tanımlamanın yanı sıra, havzadaki akifer sistemlerinin beslenme-dolaşım-depolama-boşalım ilişkilerindeki belirsizliklerin açıklanmasında kullanılan hidrojeolojik verilerin desteklenmesi de amaçlanmıştır. Ayrıca bölge için önemli bir potansiyel su kaynağı olan Günyüzü havzası yeraltısularının sınıflandırılması ve içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi de çalışma kapsamında hedeflenmiş ve gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla, Giriş bölümünde 1.3 başlığı altında örnek alma koşulları ve analiz yöntemleri açıklanan 9 noktadan su örneği alınmıştır. Bir havzada değerlendirme yapılabilmesi için iki hidrolik dönem için analizlerin yapılması gerekmektedir (Mazor, 1991). Bu anlamda proje kapsamında kurak dönemi temsilen temmuz-ağustos-eylül ayları, yağışlı dönemi temsilen mart-nisan-mayıs aylarında su örnekleri alınmıştır. Suların fizikokimyasal özellikleri yerinde ölçümler ve laboratuvar analizleriyle tanımlanmıştır. Analiz sonuçları kurak ve yağışlı dönem olarak gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Bu verilerin yanı sıra havzanın hidrojeokimyasal özelliklerini daha sağlıklı değerlendirmek için uzun yıllardır değişik amaçlarla havzada çalışan DSİ verilerinden de yararlanılmıştır.

6.2 Suların Yerinde Ölçülen (in-situ) Parametreleri

Çalışma kapsamında su noktaları olarak seçilen 8 kaynak ve bir artezyen kuyusunda kurak dönem (temmuz-ağustos-eylül 2005) ve yağışlı dönem (mart- nisan-mayıs 2006) sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş madde (TDS- Total Dissolved Solid), çözünmüş oksijen (DO-Dissolved Oxygen), pH, Eh, asitite ve alkalinite değerleri ölçülmüştür. Herbir su noktasında kurak dönemde iki kez, yağışlı dönemde ise üç kez ölçüm yapılmış ve yapılan ölçümlerin ortalama değerleri Çizelge 6.1 ve 6.2’de verilmiştir. Çizelgelerde verilen parametreler bağımsız başlıklar altında dönemsel karşılaştırmaları yapılarak aşağıda açıklanmıştır.

6.2.1 Sıcaklık (T)

Bölüm 5’te hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri anlatılan kaynakların sıcaklıkları Çizelge 6.1 ve 6.2’de görüldüğü gibi kurak ve yağışlı dönemde K2 kaynağı dışında çok az farklılık göstermiştir. Bununla birlikte çizelgelerden görüleceği üzere yağışlı dönemde sıcaklık değerleri kurak döneme göre bir miktar düşmüştür. Örneğin

Yeniçıkırı kaynağına(K1) sıcaklık kurak dönemde 22.82 °C iken yağışlı dönemde 22.91 °C olmuştur.

Çizelge 6.1: Su noktalarında kurak döneme ait yerinde yapılan ölçümlerin ortalama değerleri

No:	T (°C)	EC (us/cm)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	pH	Eh (mV)	Asitite (mmol/l)	Alkalinite (mmol/l)
K1	22.82	590	400	7.49	7.08	153,2	0.60	6.20
K2	24.88	411	268	8.90	8.27	188,9	0.40	4.00
K3	14.02	346	286	9.11	7.15	170,2	0.30	4.00
*K4	29.76	1216	724	4.12	6.98	162,5	1.70	6.50
K5	30.65	778	456	4.81	6.94	187,4	1.50	7.10
K6	18.99	418	304	8.13	6.80	171,8	1.30	5.50
K7	34.75	935	512	2.89	6.93	179,7	1.50	7.90
K8	22.75	403	274	7.68	7.17	110,1	0.30	4.50
K9	20.50	405	288	8.06	6.92	153,2	0.40	4.60

*:Artezyen kuyu.

Çizelge 6.2: Su noktalarında yağışlı döneme ait yerinde yapılan ölçümlerin ortalama değerleri

No:	T (°C)	EC (us/cm)	TDS (mg/l)	DO (mg/l)	pH	Asidite (mmol/l)	Alkalinite (mmol/l)
K1	22.91	603.00	464.00	4.90	6.96	0.80	4.90
K2	9.35	309.50	272.00	10.52	7.34	0.20	4.30
K3	13.49	331.50	276.00	8.89	7.21	0.30	3.90
*K4	31.06	803.00	467.50	4.69	6.87	1.05	6.60
K5	29.92	798.00	474.00	4.46	6.86	1.20	6.40
K6	18.90	440.00	323.50	7.96	6.68	0.65	5.75
K7	34.44	958.50	525.00	2.21	7.02	1.40	7.45
K8	22.18	404.50	278.50	7.36	7.16	0.35	4.55
K9	20.46	415.50	296.00	7.75	7.09	0.35	4.50

*:Artezyen kuyu.

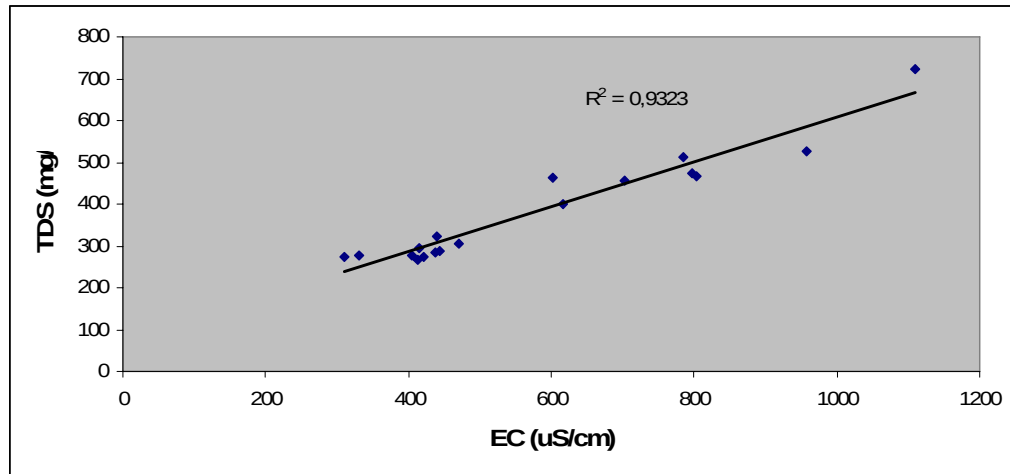
Atlas kaynağında (K6) ise sıcaklık kurak dönemde 18.99 °C den yağışlı dönemde 18.90 °C'ye düşmüştür. Bu durum, örnekleme dönemine göre normal bir sonuçtur.

Öte taraftan en büyük düşüş, çalışmada yağmur suyunu temsilen seçilen en sık ve kısa dolaşım K2 kaynağında ölçülmüştür (9.35-24.88 °C). Çalışmada sıcak suyu temsil eden K4, K5 ve K7'no'lu örneklerdeki mevsimsel sıcaklık değişimleri ise çizelge 6.1 ve 6.2'de görüldüğü gibi yok denecek kadar azdır. Her iki örnekleme döneminde de en yüksek sıcaklığın ölçüldüğü K7 kaynağı tarihi bir kaplıca olup halen tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Eskişehir-Trakya fay hattının tali kolları üzerinde yer alan K4 ve K5'no'lu örnekler, sahadaki derin dolaşım suları temsil etmektedirler.

Bu değerler suların sıcaklığının jeotermal sistemden fazla etkilenmediğini gösterebilir. Bölüm 5’de tartışıldığı gibi kaynaklar ve kuyu suları yüzey sularından hem eş zamanlı hem de gecikmeli olarak (noktasal ve yaygın beslenime bağlı) etkilendikleri için çizelgelerde verilen değerler ilksel değerlerinden daha düşüktür.

6.2.2 Elektriksel İletkenlik (EC) ve Toplam Çözünmüş Madde (TDS)

Genelde, sularda paralel davranan ve aralarında güçlü bir ilişki olan EC ve TDS değerleri (Şekil 6.1) Çizelge 6.1 ve 6.2’de verilmiştir. Çizelgelerden görüldüğü gibi yağışlı dönem suların (K2, K3, K4 dışında) EC ve TDS değerleri kurak döneme göre artmıştır. Bu durum, suların yağışlardan gecikmeli olarak etkilendiğini göstermektedir. K2, K3 ve K4’ün ise yağışlardan eş zamanlı yüksek oranda etkilendiği söylenebilir. Bununla birlikte soğuk sularda her iki dönemde de hem EC hemde TDS değerlerinin karstik sistemin geliştiği bilinen Jura kireçtaşlarından gelen sularla karşılaştırıldığı zaman düşük olması (Örgün ve diğ., 2004; Aydın, 2005), havzadaki ana akifer sistemini oluşturan mermerlerin masif yapıda olduğunu dolayısıyla düşük erimeli olduğunu söyleyebiliriz. Sıcak sularda EC ve TDS değerlerinin yüksek olması beklenen sonuçken Yeniçıkırı kaynağının (K1) diğer soğuk sulara göre yüksek olan EC ve TDS değerleri bu suyun, derin ve sık dolaşımli sistem arasında kalmasından kaynaklanabilir (bkz., Şekil 6.19).



Şekil 6.1: Suların EC-TDS ilişkisi

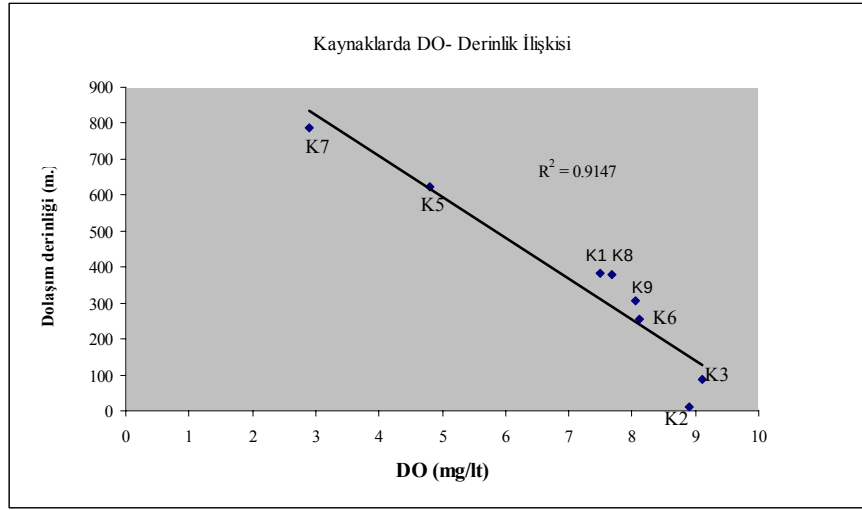
6.2.3 Çözünmüş Oksijen (DO)

Doğal sulara, az miktarda da olsa çözünmüş oksijen bulunur. Sudaki çözünmüş oksijen miktarını, suyun sıcaklığı, basıncı, toplam tuz miktarı ve atmosferdeki oksijenin kısmı basıncı belirler. Yağmur ve yüzeysuları, hava ile denge durumuna ulaştığı zaman çözünmüş oksijene doymuş hale gelir. Bu denge reaksiyonu, suya doymuş bölgeye ulaşıncaya yani atmosferle bağlantısı kesilene kadar devam eder. Beslenimdeki suların çözünmüş oksijen miktarının deniz seviyesinde sıcaklığa bağlı olarak değişen miktarı Çizelge 6.3’de verilmiştir (Şahinci, 1991). Normal şartlarda yüzeysuları oksijene doymuş halde bulunur ve süzülme bölgesinde hava ile su tablası arasında maksimuma erişir. Ancak hesaplanan O_2 ile doğada ölçülen arasında her zaman eksik vardır. Çünkü pirit gibi oksijen tüketen minerallerin varlığı ve biyolojik aktivite O_2 ’nin hızla tükenmesine sebep olur. Yaşlı sulara çözünmüş oksijen hemen hemen yok gibidir. Serbest akiferlerde belirli bir miktar O_2 ölçülürken basınçlı ekiferlerde çok az ya da yoktur. Dolayısıyla çözünmüş oksijen miktarının ölçülmesi yeraltısuları hakkında aşağıda sıralanan konular hakkında fikir verir.

Çizelge 6.3: Oksijenin sudaki çözünürlüğü (deniz seviyesinde)

T°C	DO(mg/l)	T°C	DO(mg/l)	T°C	DO(mg/l)
0.00	14,66	10.00	11,33	20.00	9,17
1.00	14,23	11.00	11,08	21.00	8,99
2.00	13,84	12.00	10,83	22.00	8,83
3.00	13,48	13.00	10,60	23.00	8,68
4.00	13,13	14.00	10,37	24.00	8,93
5.00	12,80	15.00	10,15	25.00	8,22
6.00	12,48	16.00	9,95	26.00	8,07
7.00	12,17	17.00	9,74	27.00	7,92
8.00	11,87	18.00	9,54	28.00	7,77
9.00	11,99	19.00	9,35	29.00	7,63

- O_2 tüketimi suyun yaşı hakkında fikir verir.
- Varolan bir akifer sisteminde O_2 azalması kirliliği işaret eder.
- Beslenimden boşalma belirli bir miktarın korunması, çok uzun mesafelerde olursa gelişmiş kanalları ve hızlı akış şartlarını gösterir. Çalışma alanında yerinde ölçümle belirlenen DO (mg/l) ile Bölüm 7’ de suların dolaşım derinlikleri ile yapılan korelasyonda, parametreler arasında çok güçlü bir ilişki ortaya konmuştur (Şekil 6.2).



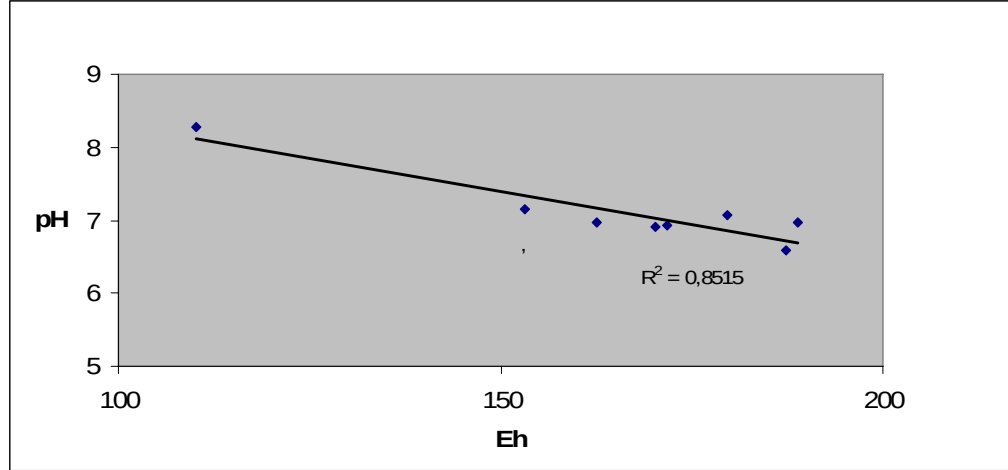
Şekil 6.2: Su noktalarının DO-derinlik grafiği

6.2.4 Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH) ve Redoks Potansiyeli(Eh)

Suların pH değerleri 6,68-8,27 arasında değişmektedir. Bilindiği gibi normal koşullarda karbonatlı kayalardan gelen suların pH değerleri 7'nin üzerindedir. Çizelge 6.1 ve 6.2'de görüldüğü gibi kurak dönemde K4, K5, K6 ve K7 değerleri 7'nin altındadır. Yağışlı dönemde pH değerleri K3 ve K7 hariç kurak döneme göre düşüktür. Bu değerlerin çoğu da 7'nin altındadır. Yapılan optik mikroskop incelemelerinde özellikle Neojen yaşlı kireçtaşlarında gelişen mafik minerallerin alterasyonu ile kil oluşumları meydana gelmiş ve bunun sonucu olarak karbonatlı kayaçların killi kireçtaşı yapısı kazandığı gözlenmiştir. Bu süreçte kayaçların yapısında bulunan opak minerallerden prit'inde oksitlendiği ve kayaçlara kahverenginin tonlarında bir renk kazandırdığı saptanmıştır. Diğer taraftan sulara çözünmüş oksijen miktarının yüksekliği sistemde organik maddenin fazla olmadığını göstermektedir (Çizelge 6.1 ve 6.2). Çizelge 6.5 ve 6.6'da görüldüğü gibi suların sülfat değerleri de nisbeten yüksektir. Bütün bu veriler suların pH değerinin çoğunlukla 7'nin altında olmasını açıklayabilir.

Sulu ortamlarda H^+ iyon konsantrasyonundaki değişim, elektriksel akımın doğmasına neden olacağından, Eh ile pH arasında sıkı bir ilişki olduğu bilinmektedir. Çalışmada sadece kurak dönemi temsilen alınan örneklerin Eh değerleri ölçülmüş ve +110 ile +189 aralığında değiştiği ortaya konmuştur. Yapılan Eh-pH diyagramında iki parametre arasındaki değişim parametresinin $R^2 = 0.85$ şeklinde güçlü bir ilişki ortaya çıkmıştır (Şekil 6.3).

Yağış suları başlangıçta fazla miktarda oksijen içerdiklerinden Eh değerleri yüksek olup 400 mV'un üzerindedir. Bu miktar, yüzeyden derine inildikçe, zemindeki organik madde miktarı ve bulunduğu derinliğe, zeminin geçirgenliğine, yağışların sıklığına ve sıcaklığa bağlı olarak azalır. Sahada ölçülen Eh değerleri de yukarıda açıklanan nedenlerin sonucu olarak yorumlanabilir.

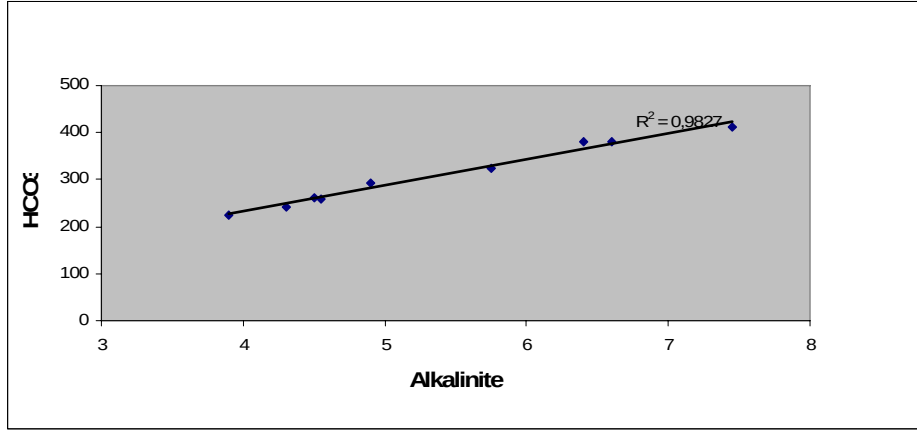


Şekil 6.3: Çalışma alanındaki suların pH-Eh ilişkisi

6.2.5 Alkalinite ve asidite

Alkalinite, sularda bulunan bikarbonat, karbonat ve hidroksitlerin toplamına eşittir. Asidite ise sularda H^+ ve OH^- iyonlarına bağlı olarak değişen büyüklüktür. Çizelge 6.1 ve 6.2’ de verilen alkalinite değerleri incelendiğinde, EC ve TDS değerlerinde olduğu gibi K2, K3, K8, K9 no’lu örneklerin alkalinite değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. K4, K5, K6, K7’ de ölçülen asidite değerlerinin ise pH değerleriyle az da olsa örtüştüğü ve diğerlerine göre yüksek olduğu gözlenmiştir. Örneklerdeki düşük alkalinite değerleri bölüm 6.2.2’de de belirtilmiş olduğu gibi ana akiferi oluşturan mermerlerin masif yapılarından dolayı su kayaç etkileşiminin zayıf olmasıyla açıklanabilir. Bu durum Şekil 6.4’de verilen HCO_3^- alkalinite ilişkisiyle de uyumludur.

Çalışma alanındaki mermerler, düşük erimeli kayaçlar olmasına rağmen, vadoz zonda gelişmiş karstik yapıların varlığı tektonizma ve sistemin çok uzun zaman hidrolik döngü içinde kalmasıyla açıklanabilir.



Şekil 6.4: İncelenen suların alkalinite-HCO₃ diyagramı

6.2.6 Toplam sertlik (°F)

Sertlik, Ca²⁺, Mg²⁺, Al²⁺, Sr²⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, Fe³⁺ ve Ba²⁺ gibi iki değerlikli metal katyonlardan ileri gelir. Bunlardan önemli olan ve hesaplamada dikkate alınan sadece Ca²⁺ ve Mg²⁺ dur. Diğerlerinin sudaki miktarları son derece düşük olduğu için dikkate alınmazlar. Bu katyonlar çökelek oluşturmak için karbonat ya da sülfat gibi belirli anyonlarla reaksiyona girerler. Suları sertliğine göre sınıflandıran pek çok sınıflama vardır. Bunlardan 3'ü Çizelge 6.4'de verilmiştir. Bunlardan sınıflama A ve B Gray (1994)'den alınmıştır. Fransız sertliği aralık değerleri ise Şahinci (1991)'den alınmıştır. Çalışma kapsamında incelenen suların sertliği, aşağıdaki formül kullanılarak Fransız sertliği cinsinden hesaplanmıştır: Fransız sertliği 100 ml suda bulunan 1 mg CaCO₃ miktarı ile tanımlanır.

$$(Ca \text{ (mg/l)} + Mg \text{ (mg/l)}) / 2 * 10$$

(EK- B1-9)'de verilen kaynakların fiziko-kimyasal analiz sonuçları tablolarında ki sertlik değerleri Çizelge 6.4'deki konsantrasyon aralıkları ile karşılaştırıldığında, suların sertliğinin 19 °F ila 39 °FS arasında değiştiği görülmektedir. Bu sonuçlar sahada hakim akiferlerin mermer, kireçtaşı ve killi kireçtaşları olmasıyla örtüşmektedir. Çalışma alanında suların sertliğinden, özellikle çaydanlıkların dibinde kabuk bağlanmasından şikayet edilmesi dışında herhangi bir şikayetle karşılaşılmamıştır. İçme suyu standartlarına bakıldığında WHO 'nun ve Çevre Bakanlığı'nın toplam sertlik için her hangi bir limit değer vermediği, AB ve TS 266 'nın ise tavsiye edilen limit değer belirtmeksizin 150 mg CaCO₃/l değerini müsaade edilen değer olarak verdiği görülmektedir. Buna göre incelenen sular bu değeri aşmamaktadır.

Çizelge 6.4: Suların sertlik sınıflamalarına örnekler

Sınıflama A*		Sınıflama B*		Fransız Sertliği**	
<i>Konsantras.</i> (mg/l)	<i>Sertlik derecesi</i>	<i>Konsantras.</i> (mg/l)	<i>Sertlik derecesi</i>	<i>Konsantras.</i> (mg/)	<i>Sertlik derecesi</i>
0-50	Yumuşak			0.0 – 7.2	Çok yumuşak
50-100	Orta yumuşak			7.2 – 14.5	Yumuşak
100-150	Hafif sert	0-75	Yumuşak	14.5 – 21.5	Az sert
150-250	Orta sert	75-150	Orta sert	21.5 -32.5	Oldukça sert
250-350	Sert	150-300	Sert	32.5 – 54	Sert
350<	Son derece sert	300<	Çok sert	54 <	Çok sert

*:Gray, 1994

** : Şahinci, 1994

6.3 Suların Anyon ve Katyon Değerleri

Literatürde suların ana anyonları olarak HCO_3 , CO_3 , SO_4 ve Cl , ana kation olarak da Ca , Mg , Na ve K değerleri dikkate alınmaktadır. İncelenen sularda ölçülen ana anyon ve kation değerleri, ortalama değerler şeklinde kurak dönem ve yağışlı dönem olarak ayrı ayrı Çizelge 6.5 ve 6.6’da verilmiştir. Gerek bu çalışmada yapılan ölçüm sonuçlarında gerekse DSI’nin 1997 yılından itibaren elde ettiği sonuçlar topluca karşılaştırıldığında suların iyon bileşimlerinde önemi bir değişimin olmadığı gözlenmiştir.

6.3.1 Kalsiyum (Ca^{++}), magnezyum (Mg^{++})

Kalsiyum, yerkabuğunda ağırlık yüzdesine göre oksijen, silisyum, alüminyum ve demirden sonra beşinci sırada yer alır. Sularda kalsiyum çoğunlukla Ca^{++} iyonu şeklinde bulunur. Kalsiyumun 385 minerali olmasına rağmen, en çok rastlanan mineralleri kalsit, dolomit, jips, anhidrit, apatit ve flüorittir. Ayrıca magmatik ve metamorfik kayaların ana kayaç yapıcı minerallerinin de ana elementleri arasındadır. Yeraltısularında kalsiyumun kaynağı da esas olarak bu minerallerin bozunumundan ortaya çıkan kalsiyumdur. Çalışma alanındaki suların, alkalinite ve toplam sertlik parametreleriyle orantılı olarak kalsiyum içerikleri de kısmen yüksek çıkmıştır. Kurak ve yağışlı dönemde suların kalsiyum içeriklerinde bariz bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir. Ancak K4 örneğinin yağışlı dönemde Ca^{++} içeriğinin belirgin olarak azalması, yağış sularının etkisinin daha kısa sürede

yansıdığını göstermektedir. Çizelge 6.4 ve 6.5’ den görüldüğü gibi en yüksek Ca^{++} , Mg^{++} ve SO_4^{-} değerleri de bu örnekte ölçülmüştür.

Çizelge 6.5: Kurak döneme ait anyon ve katyonlar (meq/l).

Kurak dönem 8-9.2005	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	HCO_3^{-}
Yeniçıkıtlı kaynağı(K1)	3,58	2,07	0,47	0,04	0,18	1,12	4,23
Musluk çeşmesi (K2)	3,74	0,36	0,21	0,02	0,09	0,27	3,51
Çukurçeşme (K3)	2,6	1,55	0,26	0,23	0,29	0,34	3,44
55886/A no'lu Sondaj (K4)	5,32	2,65	0,55	0,07	0,21	2,85	5,1
Subaşı kaynağı (K5)	4,65	2,05	0,55	0,06	0,195	0,88	5,51
Atlas kaynağı (K6)	3,88	1,08	0,2	0,03	0,06	0,15	4,58
Çardakhamamı (K7)	3,89	1,23	1,37	0,06	0,8	0,32	5,03
Nasrettin Hoca (K8)	3,21	1,04	0,25	0,02	0,09	0,23	3,73
Babadat kaynağı(K9)	3,11	1,14	0,33	0,03	0,15	0,22	3,73

Çizelge 6.6: Yağışlı döneme ait anyon ve katyonlar (meq/l).

Yağışlı dönem 3-4-5.2006(meq/l)	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	SO_4^{-}	HCO_3^{-}
Yeniçıkıtlı kaynağı (K1)	3,89	2,34	0,48	0,04	0,19	0,7	4,69
Musluk çeşmesi (K2)	3,83	0,48	0,23	0,01	0,09	0,17	3,89
Çukurçeşme (K3)	2,54	1,72	0,32	0,29	0,37	0,42	3,54
55886/A no'lu Sondaj (K4)	4,66	2,19	0,54	0,06	0,18	0,57	5,97
Subaşı kaynağı (K5)	4,69	2,18	0,52	0,06	0,19	0,66	5,92
Atlas kaynağı (K6)	3,84	1,19	0,2	0,032	0,07	0,1	4,95
Çardakhamamı (K7)	4,7	1,68	1,82	0,07	1,07	0,38	6,68
Nasrettin Hoca (K8)	3,12	1,09	0,27	0,02	0,12	0,27	3,87
Babadat kaynağı(K9)	3,18	1,26	0,32	0,02	0,17	0,31	4,03

EKA-4’de görüldüğü gibi K4 su noktası K5 kaynağının hemen yanında yer almaktadır. Her ikisi de Neojen örtüden etkilenmektedir, ancak Ca^{++} , Mg^{++} hatta Na^{+} değerleri dikkate alındığında K4 örneğinin Neojen örtüden daha çok su aldığı ortaya çıkmaktadır. EK-A-5’de verilen kuyu logunda da açıkça görüldüğü gibi sondaj, Neojen kilitaşı, çamurtaşı, killi siltli seviyeleri ve kireçtaşlarını kesmektedir. Bunlar içinde baskın olan kireçtaşlarıdır ve suyun kimyasal yapısını da fay sisteminden gelen sulardan çok bu litolojik birimler belirlemiştir.

Yeraltısularında magnezyum çoğunlukla Mg^{++} iyonu şeklinde bulunur ve bulunuş oranı genelde kalsiyum iyonlarından daha azdır. Çizelge 6.1 ve 6.2’de görüldüğü gibi suların Mg^{++} içerikleri oldukça yüksektir ve suların Mg^{++} içerikleri Ca^{++} aksine yağışlı dönemde az da olsa yükseldiği gözlenmiştir. Sularda ölçülen magnezyum

değerlerinin kaynağını da esas olarak litoloji belirlediğine göre mermerlerin dolomitik mermerler olması beklenir. Bölgede çalışan Erdinç (1978)'de mermerlerin dolomitik mermerler olduğunu belirtmiştir.

6.3.2 Sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+)

Sodyum ve potasyum yer kabuğunda yaklaşık eşit miktarlarda bulunmasına rağmen, potasyum sulara önemsiz miktarlarda bulunur. Oysa sodyum, nemli iklimlerde yüzey sularında iyonlar arasında üçüncü sırayı alırken, buharlaşmanın etkin olduğu küçük akarsularda ve termal sulara sodyum başlıca iyon olabilir.

Çizelge 6.5 ve 6.6'de görüldüğü gibi suların Na^+ ve K^+ değerleri karbonatlı kayalardan gelen suların değerlerini temsil etmektedir. Ölçülen en yüksek Na^+ ve K^+ değerleri K7 örneğine aittir. K7 örneğindeki kadar olmamakla birlikte K4, K5 ve K1 örneklerinde K^+ ve Na^+ değerleri diğer örneklere göre yüksektir. Çizelge 6.1 ve 6.2'de görüleceği üzere K4, K5 ve K7 örneklerinin ortalama sıcaklıkları 30°C nin üzerindedir. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi K7 kaplıca suyudur. K4 ve K5 örnekleri ise Bölüm 6.2.1'de belirtildiği gibi fay zonu üzerinde yer almaktadır. Dolayısıyla bu sular fay zonu boyunca derine inerek ısınır, tekrar yüzeye çıkan derin dolaşımli sularıdır.

6.3.3 Bikarbonat (HCO_3^-)

Çalışma sahasındaki sulara HCO_3^- değerleri 3.1- 6.77 meq/l arasında değişmektedir. Sulara Ca^{++} 'un baskın katyon olmasına ve alkalinite değerlerinin de 3,90-7,90 mmol/l arasında ölçülmesine paralel olarak HCO_3^- de baskın anyon olarak ortaya çıkmıştır. Alkalinite- HCO_3^- arasındaki güçlü ilişki Şekil 6.4'den de açıkça görülmektedir.

6.3.4 Sülfat ($\text{SO}_4^{=}$)

Kükürdün göçü çoğunlukla $\text{SO}_4^{=}$ şeklindedir. Oldukça büyük iyon yarıçapına sahip olan $\text{SO}_4^{=}$ çok hareketlidir. Sülfat iyonunun başlıca kaynakları, volkanlar, pirit mineralinin oksitlenmesi, jips ve anhidritlerin çözünmesi, atmosferdeki H_2S gazlarının fotokimyasal olarak oksitleşmesi, deniz sularının buharlaşması ve rüzgar etkisiyle atmosfere taşınması sayılabilir.

Suların sülfat değerleri genelde düşüktür. Ancak Çizelge 6.1 ve 6.2’de verilen değerler incelendiğinde suların $\text{SO}_4^{=}$ değerlerinin kurak dönemde daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek değer K4 örneğine aittir. Yukarda anlatıldığı gibi K4 sondaj kuyusu Neojen örtü birimlerinin içinde açılmıştır ve EK- A-5’deki sondaj logunda da görüldüğü gibi yaklaşık 100 m. killi birimler kesilmiştir. Bilindiği gibi $\text{SO}_4^{=}$ iyonları en fazla killi birimler içinde tutulmaktadır. Dolayısıyla katyonlarda olduğu gibi suyun $\text{SO}_4^{=}$ içeriği de esasen Neojen örtü birimlerle ilişkilidir. K4 ‘ün yağmur sularından direkt etkilendiği bilindiğine göre başta bu örnek olmak üzere diğer örneklerin de $\text{SO}_4^{=}$ değerlerindeki değişim, yağıştan etkilenmenin bir sonucu olarak açıklanabilir. Bununla birlikte sahada tarımsal faaliyetlerin yaygın olmasından dolayı kullanılan gübreler de suların sülfat içerikleri üzerinde etkili olabilir.

6.3.5 Klorür (Cl^-)

Klorür, magmadan HCl şeklinde yüzeye taşınır ve yerkabuğunun üst seviyelerinde, asitik kayalar içinde birikir. Magmatik kayalarda klorun önemli kaynakları arasında feldispatoyid grubu mineraller, klorapatit, mikalar ve hornblend sayılabilir. Ancak klorun asıl kaynağı evaporitler, özellikle halit (NaCl) mineralidir. Bunların dolayısıyla minarelerin bozunumuyla oluşan kiltaşları, şeyl, marn vb ince taneli kayalar, içinden geçen suları klorür yönünden zenginleştirir. Klorür doğal sularda sadece Cl^- formunda bulunur. Eksi yüklü oluşu klorürün, kolloidler tarafından tutulmasını engeller ve ayrıca iyonunun yarıçapının ($1.81\text{\AA}$) büyük olması Ca , Mg , Na , K , Sr , Ba ve diğer elementlerle yaptığı tuzların suda kolayca çözünmesine neden olur. İncelenen suların Cl^- içerikleri yağışlı ve kurak dönemde yaklaşık aynı kalmıştır. Değerler K7 hariç son derece düşüktür. K7 termal su olduğu için Na değerlerinde olduğu gibi Cl^- değerlerinin de yüksek olması normaldir.

6.3.6 Nitrit (NO_2) ve nitrat (NO_3), amonyak (NH_4)

Doğada oldukça bol miktarda bulunan azot (N), +5 (HNO_3) ila -3 (NH_4) arasında redoks tepkimesine girer. Oksijen ve flüordan sonra elektronegatifliği en yüksek olan (-3) azotun, NH , NH_3 ve NH_4 serileri bulunur. N_2 şeklinde moleküler bağ kurması, azotun daha çok atmosferde toplanmasına neden olmuştur. Bununla birlikte hemen tüm magmatik kayaların minerallerinde NH_3 şeklinde 27-67 ppm oranında azot bulunur. Sedimanter kayalarda ise daha yüksek oranlarda azot bulunur ve

kaynağı organik maddelerdir. Örneğin, kireçtaşlarında 70 ppm, şeyllerde 600 ppm, kumtaşlarında 150 ppm gibi oranlarda bulunur (Şahinci, 1991). NH_4 ise atom yarıçapı potasyuma yakın olduğu için silikatlarda potasyumun yerini alır. Oksitleyici ortamlarda ve pH 5-8 aralığında NH_3 oksitlenerek önce nitrite (NO_2), sonra da nitrata (NO_3) dönüşür.

Suların içilebilirliğini belirleyen en önemli parametrelerden birisi NO_2 değeridir. EK-B 1-9 incelendiğinde örneklerin NO_2 değerleri arasında belirgin bir farklılığın olduğu görülecektir. Yağışlı dönemi temsilen alınan örneklerde NO_2 değerleri 0,16-0,08 ppm arasında değişirken, kuru dönemi temsil eden örneklerde NO_2 ölçülmemiştir. NO_2 miktarının akifer kayaçlarla bir ilişkisi saptanamamıştır. Ölçülen bu değerler litolojik kökenli olmaktan çok antropojenik kökenli (gübre, evsel atık vb.) olmalıdır.

İçme sularında nitrat (NO_3), nitrite göre çok daha az tehlikelidir ve daha fazla bulunabilmektedir. NO_3 değerleri 2,5-35 ppm arasında değişmektedir (EK-B 1,9). Nitrit değerlerinde olduğu gibi nitrat değerlerinin de litolojiyle anlamlı bir ilişkisi gözlenmemiştir. K3 kaynağında ölçülen yüksek değerler, Kayakent belediyesince kaynak beslenim alanında, Kolağası tepe civarında mermerleri üzerindeki çöküntü yapıları atık saha olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Sularında ölçülen NO_3 değerleri, K3 kaynağı hariç TS 266 'nın içme sularında tavsiye ettiği 25mg/l'nin altında kalmıştır; Bununla birlikte, tüm nitrat değerlerinin, içme suları için izin verilen maksimum değer olan 50 mg/l'nin altında kalarak sağlık açısından herhangi bir risk oluşturmadığı anlaşılmıştır

Aynı şekilde NH_4 değerleri 0,1-0,7 ppm arasında değişmektedir ve izin verilen maksimum değer olan 1,5 ppm'in altında kalarak sağlık açısından risk oluşturmamaktadır.

6.3.7 Flor (F)

Güçlü elektronegatif özelliğe sahip olan flor (F), silika içeriği yüksek olan granitik ve volkanik kayaçlarda zenginleşme ve yatak oluşturma eğilimindedir. 150 den fazla minerali olan florun en yaygın ve canlı yaşamı için de en önemli olan mineralleri flüorit (CaF_2), apatit ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{-F}$), topaz ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$) ve kriyolittir (Na_3AlF_6). Ultrabazik kayalarda ortalama 100 ppm oranında bulunan F, şeyllerde ortalama 340 ppm, kumtaşlarında 270 ppm, kireçtaşlarında 330 ppm, nötr kayalarda

400 ppm, asidik kayalarda ise 800 ppm oranında bulunur (Şahinci, 1991). Ayrıca iyon çapının büyük olmasından dolayı apatit, mika, amfibol ve diğer pek çok mineralin kafes yapısındaki başta OH⁻ olmak üzere O⁼ ve Cl⁻ iyonlarının yerini alabilir. Flüor minerallerine, özellikle flüorit mineraline, magmatik ve sedimanter kayalarda eser miktarda da olsa rastlanır. Ancak önemli yataklanmalar pnömo-hidrotermal çözeltiler tarafından damar, dolgu ya da yığınlar şeklinde epijenetik olarak granitik kayalarda meydana getirilir. Bu tip flüorit oluşumlarına greizenleşmiş granitlerde, pegmatit damarlarında, karbonatitlerde, skarn yataklarında ve/veya çeşitli hidrotermal cevher damarlarında rastlanabilir. Bu tip F-cevherleşmelerinin olduğu yerlerdeki suda, toprakta, dolayısıyla sebze ve meyvede ve bu topraklarda otlayan hayvanların etinde ve sütünde insan sağlığı için belirlenen sınırların çok üstünde flor bulunacağından ciddi sağlık problemleri meydana çıkmaktadır. Özellikle alkali ortamlarda kaynak kayalardan çözünen flüor, F⁻ şeklinde taşınarak toprakta ve yeraltısularında birikir.

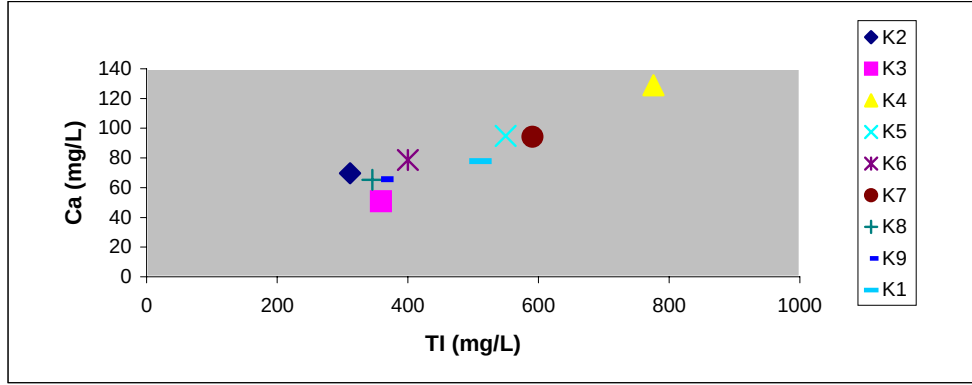
İnsanlar için en önemli F kaynağı içme sularıdır. Bunun yanı sıra solunum ve/veya yiyeceklerle de F alınabilir. WHO içme sularında en fazla 1.5 mg/l F bulunabileceğini belirtmiştir. Bu değerin üzerinde F içeren sular insan sağlığı için ciddi riskler taşımaktadır. İnceleme alanında flor değerleri 0,001-0,25 mg/l arasında olup içmesuyu açısından sakınca oluşturmamaktadır.

6.4 Suların Ana Anyon ve Katyon Değerlerinin Toplam İyon Değerleri ile Karşılaştırılması

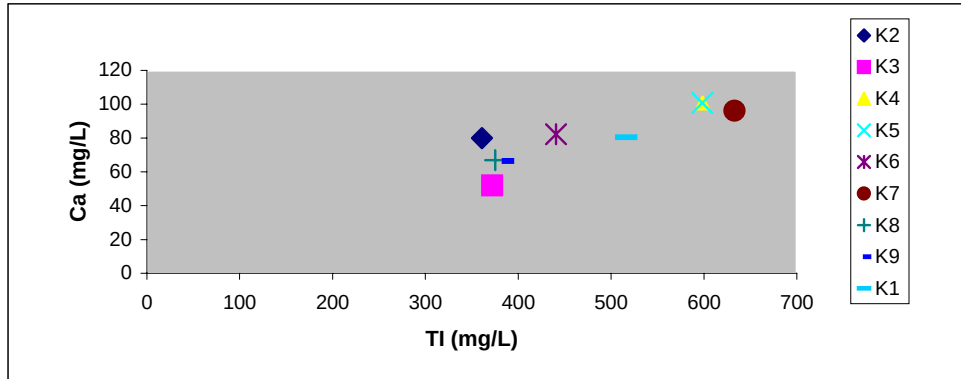
Suların toplam iyon (TI) derişimine karşılık majör iyonlarla oluşturulan grafiklerle suların kökeni, karışımı ve karışım oranları gibi bilgiler elde edilmektedir (Mazor, 1991) Bu bilgileri elde etmek içinde genelde TI-Ca, TI-(Na + K), TI-Cl, TI-HCO₃⁻ ilişkileri incelenmektedir. Çalışma alanında kurak ve yağışlı döneme ait Ca, Na, HCO₃⁻, Cl-TI grafikleri çizilmiş ve Şekil 6.5-6.12'de verilmiştir. Elde edilen grafikler topluca incelendiğinde yağışlı dönemde K4 ve K5'in düzensizlik gösterdikleri ortaya çıkmıştır. Kurak dönemde üstüste çakışan bu iki örnek, yağışlı dönemde grafiklerin farklı alanlarında yer almışlardır. Bu durum yukarda anlatıldığı gibi K4'ün yağışlardan direk etkilenmesinin bir sonucudur.

Suların kurak dönem grafiklerinde 3 farklı küme oluşturduğu görülmektedir. Buna göre K2, K3, K6, K8, K9 bir küme oluşturarak sık dolaşımli sular alanında, K7 ise

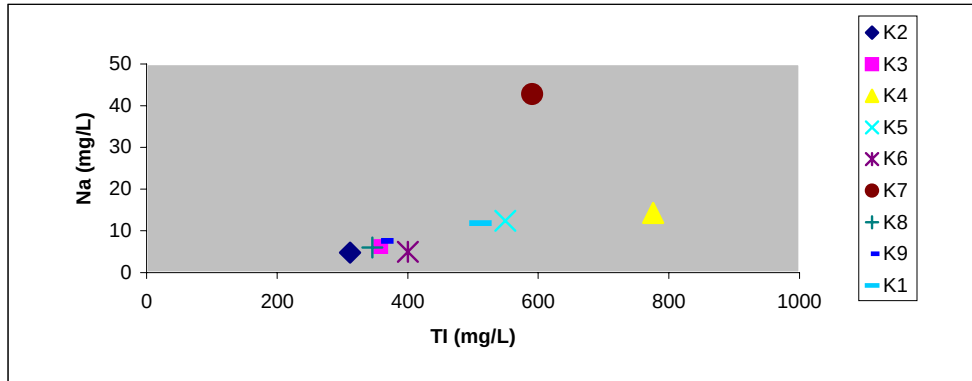
derin dolaşım su alanında yer almıştır. K1 ve K5, tüm grafiklerde bu iki kümenin arasında kalmıştır. K4 tüm grafiklerde kurak dönemde SO_4 değerindeki yükseklik nedeniyle grafiklerin en sağında yer almıştır. K4 hariç bu sonuçlar Bölüm 6'da verilen izotop verileriyle de örtüşmüştür.



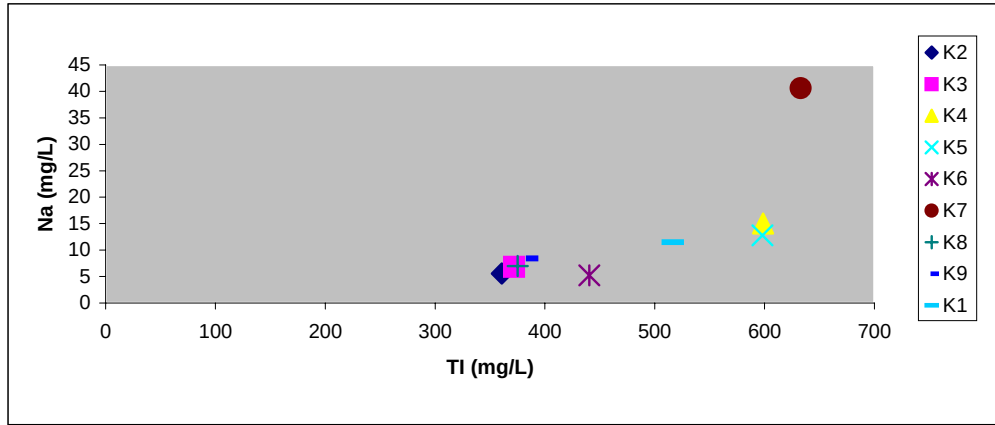
Şekil 6.5: Çalışma alanı kurak dönem sularına ait TI-Ca grafiği



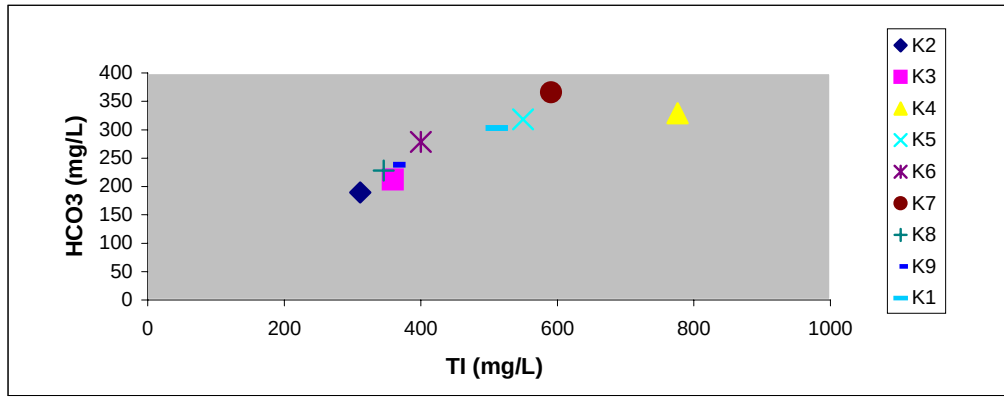
Şekil 6.6: Çalışma alanı yağışlı dönem sularına ait TI-Ca grafiği



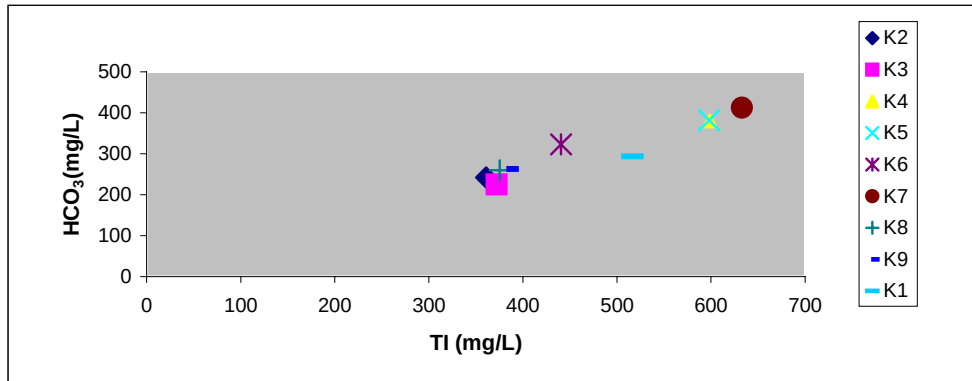
Şekil 6.7: Çalışma alanı kurak dönem sularına ait TI-Na grafiği



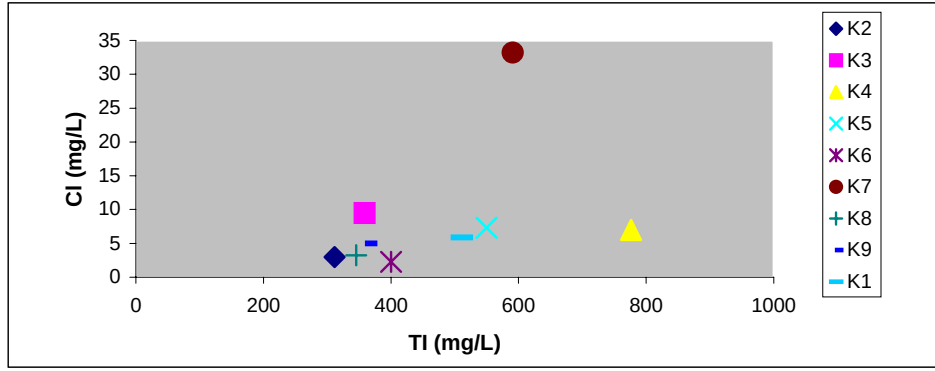
Şekil 6.8: Çalışma alanı yağışlı dönem sularına ait TI-Na grafiği



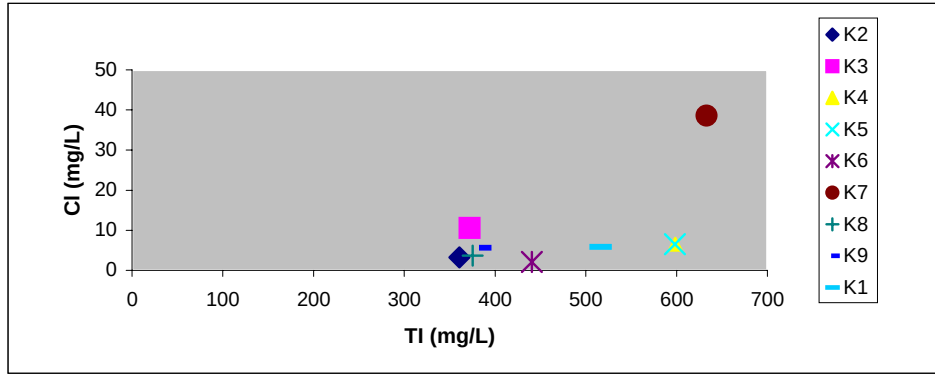
Şekil 6.9: Çalışma alanı kurak dönem sularına ait TI-HCO₃ grafiği



Şekil 6.10: Çalışma alanı yağışlı dönem sularına ait TI-HCO₃ grafiği



Şekil 6.11: Çalışma alanı kurak dönem sularına ait TI-Cl grafiği

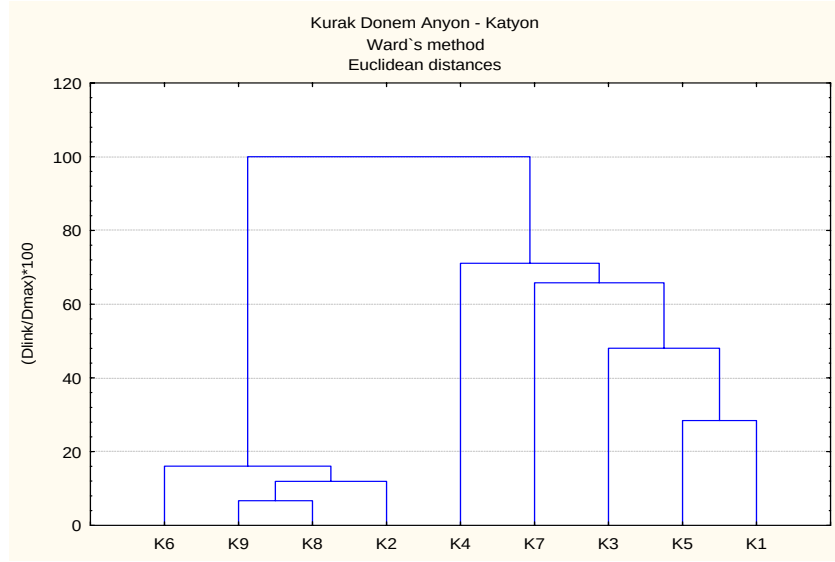


Şekil 6.12: Çalışma alanı yağışlı dönem sularına ait TI-Cl grafiği

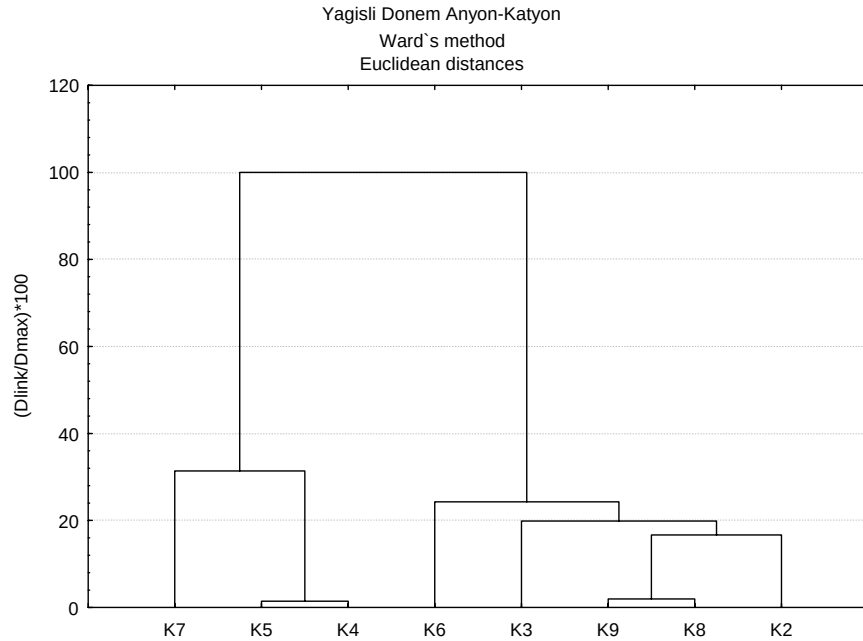
Ayrıca bu çalışmada ana anyon ve katyonları toplu halde karşılaştırıp değerlendirmek için ‘Statistica’ bilgisayar programı ve hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden Ward analiz yöntemi kullanılarak kurak ve yağışlı dönem verileri majör anyon ve katyonlara göre gruplandırılmıştır. Davis, (1986) tarafından geliştirilen bu yöntemle çok değişkenli istatistiksel analiz tekniklerinden örnekler arasında benzerlikleri ve farklılıkları bulmaya yarayan kümeleme analizi kullanılarak, yerinde ve laboratuarda yapılan ölçümlerin özetlenmesi, yorumlanması ve kolay anlaşılabilir biçime sokularak karar verme aşamasında kullanımı amaçlanmıştır. Hiyerarşik kümeleme analizinde, sonuçlar dendogram adı verilen ağaç grafikler ile gösterilmektedir. Bu grafikler, örneklerin oluşturdukları grupların birbirlerine göre uzaklıklarına bağlı olarak oluşturulurlar. İki örneği (ya da değişkeni) birleştiren dallar ne kadar kısa ise bu örnekler (değişkenler) öklid uzayında birbirlerine o ölçüde yakın bulunmaktadır.

Şekil 6.13 ve 6.14’de suların kurak ve yağışlı dönem dendogramları görülmektedir. Buna göre kurak ve yağışlı dönem major anyon ve katyonlara bakılarak, ağırlıklı olarak beslenim, dolaşım ve boşalımı mermerlerden olan kaynaklar ile beslenimi

ağırlıklı olarak mermerler, dolaşım ve boşalımı ise Neojen birimlerden olan kaynaklar olarak iki ana gruba ayrılmıştır. Yağışlı dönem sonuçlarına bakılarak suları aynı zamanda iyon-TI gruplandırılmalarında olduğu gibi ayrıca sık ve derin dolaşımli olarak da gruplandığı görülmektedir. Bir sarnıçta depolandıktan sonra çeşmeye verilen K3 kaynağının kurak dönemde derin dolaşımli sular arasında yer alması, yüksek buharlaşmadan kaynaklanmıştır.



Şekil 6.13: Kurak dönem majör anyon ve katyon verileri ile yapılan kümeleme analizi ile örnek noktalarının gruplandırılması.



Şekil 6.14: Yağışlı dönem majör anyon ve katyon verileri ile yapılan kümeleme analizi ile örnek noktalarının gruplandırılması.

6.5 Suların İz Element İçerikleri

Çalışma kapsamında sadece Mayıs 2006 döneminde alınan örnekler, Ag, Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn açısından analiz edilmiştir. Analizler, TSE belgeli Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası laboratuvarlarında yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 6.7’de verilmiştir

Çizelge 6.7: Mayıs 2006 tarihinde alınan su örneklerinin ağır metal içerikleri ($\mu\text{g/l} = \text{ppb}$)

Su Nok.	Ag	Al	B	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Co
K1	0,02	1,74	162	0,18	0,26	26,6	0,08	1,57	0,02	1,22	0,05	0,05
K2	0,01	3,22	130	0,17	1,46	11,4	0,17	2,55	0,06	1,06	0,14	0,1
K3	0,03	1,56	90	0,11	1,72	57,9	0,12	1,56	0,04	1,39	<0,04	0,07
K4	0,01	0,64	100	0,19	0,62	18,6	0,09	2,17	0,07	0,34	0,05	0,02
K5	0,03	1,41	93	0,26	1,04	13,4	0,11	1,03	0,03	0,73	0,04	0,02
K6	0,05	0,32	62	0,2	1,22	19,4	0,14	0,58	0,02	0,49	<0,04	0,11
K7	0,06	1,34	313	0,13	0,73	16,1	0,19	0,86	0,03	1,37	<0,04	0,05
K8	<0,01	1,11	227	0,21	0,54	10,9	0,09	0,5	0,04	0,55	<0,04	0,03
K9	0,03	0,62	480	0,4	0,56	17,5	0,05	0,99	0,02	1,18	0,05	0,01

Suların iz element içerikleri karbonatlı arazilerden gelen suların yansıttığı bileşimlere benzerdir. Çizelge 6.7’de verilen değerler incelendiğinde element bazında dikkat çekici herhangi bir yüksek değer gözlenmemiştir. Termal bir su olan K7’de bile beklenilenin aksine B, Mn, Cu, Zn, değerleri sıcaklıkları 23°C nin altında olan K8 ve K9’un değerlerine yakın çıkmıştır.

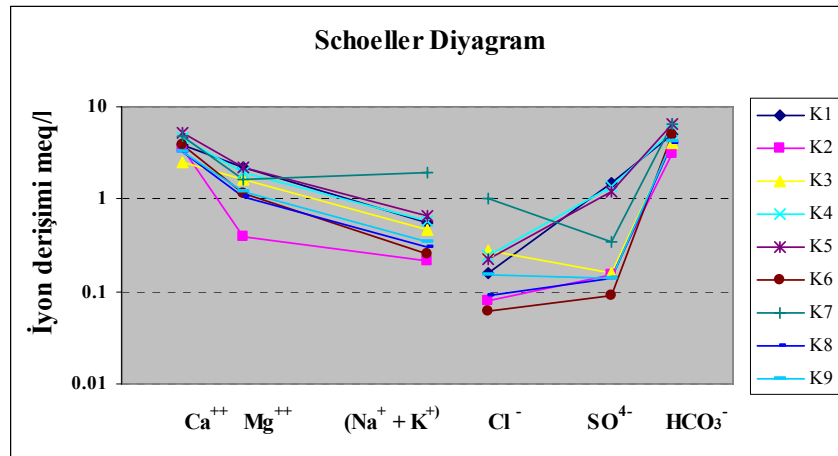
Cr, Ni, Co ve Fe bilindiği gibi ultrabazik kayalarda zenginleşir. Sahada yüzeyleyen ofiyolitik kayalara en yakın su örneği K9’dur. Bu örneğin Cr değeri elde edilen en yüksek değeri temsil etmektedir. Ancak Ni, Fe ve Co değerleri ortalama değerlerdir. Bu dört elementten hareketle suların iz element içeriklerinin oluşmasında hakim akifer kaya olan dolomitik mermerlerin belirleyici olduğu ve mermerlerin de Çizelge 6.7’de verilen iz elementlerin içeriklerini zenginleştirecek oksit ya da sülfür mineralleri içermediği ifade edilebilir. Akifer sistemlerini oluşturan karbonatlı kayalardan alınan örneklerin ince kesitlerinin optik mikroskop incelemelerinde de pirit ve az oranda manyetit tanımlanmıştır. Bu durum yukarıdaki element içerikleriyle uyumlu bir sonuçtur.

6.6 Suların Kimyasal Bileşiminin Litolojiyle İlişkisi ve Suların Sınıflandırılması

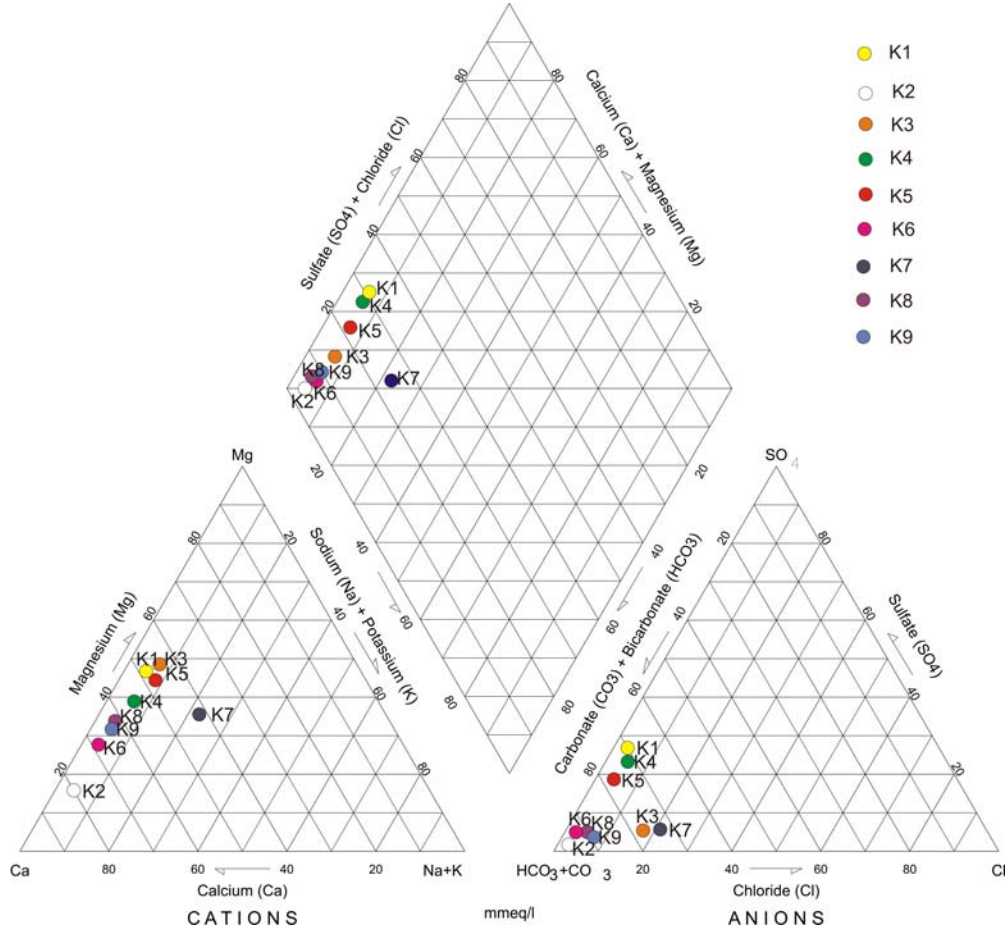
Giriş kısmında da belirtilmiş olduğu gibi yeraltısuları normal koşullarda çok az çözünmüş gaz ve tuz içeren yağış sularıyla beslenirler. Bu sular akifer kayalara ulaşmadan önce süzildükleri ortamlarla ve içinde depolandıkları akifer kayalarla iyon alış verişinde bulunarak fizikokimyasal yapılarını kazanırlar. Dolayısıyla, yeraltısularının kimyasal bileşimleri büyük oranda, temas halinde oldukları kayaların mineralojik ve kimyasal bileşimlerinin, ortamındaki pH, Eh ve sıcaklık koşullarının, akifer kayalarda suyun akış hızının ve suyun akiferdeki konaklama süresinin bir fonksiyonudur.

Çalışma kapsamında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya koymak, anyon ve katyon miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirilebilmesi için yarılogaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır. Suların kimyasal sınıflanmasını yapmak ve kimyasal bileşimlerinin şekillenmesinde etken olan litolojiyi tanımlamak için de Piper üçgen grafikleri çizilmiştir (Piper, 1944). Öncelikle kurak ve yağışlı dönem grafikleri ayrı ayrı çizilmiş belirli bir farklılık gözlenemediği için tek bir grafik olarak verilmiştir (Şekil 6.15 ve Şekil 6.16).

Şekil 6.15 ve 6.16’ da görüldüğü gibi su örnekleri $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ve $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$ şeklinde anyon-katyon dizilimi sergilemiştir. Yalnız Çardakhamamı $\text{Ca}^{++} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{++}$ ve $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ şeklinde bir dizilim sergilemiştir. Bu dizilim karbonatlı kayalardan gelen suların dizilimlerine benzemektedir. Bu veri, akifer sisteminin litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir.



Şekil 6.15: İnceleme alanındaki su noktalarına ait Schoeller grafiği.



Şekil 6.16: İnceleme alanında yer alan tüm su noktalarına ait dönem Piper grafiği.

Suların sınıflamasında yaygın olarak kullanılan Piper diyagramında, K7 dışında tüm sular Ca-Mg-HCO_3^- lı sular sınıfında yer almıştır (Şekil 6.16). K7 ise $\text{Ca-(Na+K)-Mg-HCO}_3^-$ lı sular sınıfında yer almıştır. Piper diyagramında ortaya çıkan bu su sınıflama, Şekil 6.15’de verilen yarılogaritmik Schoeller diyagramında ortaya çıkan litolojiyle birebir örtüşmüş ve suların kimyasal bileşimlerinde etken olan litolojik birimin karbonatlı kayalar olduğu bir kez daha doğrulanmıştır.

6.7 Doygunluk Analizleri

Belirlenen su noktalarının kurak ve yağışlı dönem için mineral doygunluk değerleri WATEQ4F bilgisayar programı kullanılarak, anhidrit (CaSO_4), aragonit (CaCO_3), brüst Mg(OH)_2 , kalsit (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg(CO}_3)_2$), jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), halit (NaSO_4), magnezit (MgCO_3) ve kısmi karbondioksit için hesaplanmıştır (Çizelge 6.8 ve 6.9). Bir çözeltinin herhangi bir minerale göre doygunluk durumu; ürünlerin iyon aktivite çarpımının denge sabitine oranıdır.

$$SI = Q/K_{eq}$$

Q = İyon aktivite çarpımı

K_{eq} = Belirli sıcaklık ve pH koşullarındaki termodinamik denge

Doygunluk indisi logaritmik olarak ifade edilerek; doymun olmayan (SI= log(K_{IAP}/K_T)<0), doymun (SI=0) ve aşırı doymun (SI>0) çözelti olarak sınıflandırılmaktadır (Deutsch, 1997). Doymun olmayan sular çözücü özelliğinde iken aşırı doymun sularda çökelim gerçekleşir.

Çizelge 6.8 ve 6.9’da görüldüğü gibi K2, K4 ve K7 dışında diğer sular yağışlı ve kurak dönemde bu minerallere göre doymun olmayan sular konumundadır Yağışlı dönemde K7 kaynağının kalsit ve aragonite, K4 kaynağının ise yalnızca kalsite mineraline doymun olduğu ortaya çıkmıştır. K7 kaynağının etrafında gözlenen travertenler geçmişte bu kaynağın SI_{Ca} doymun olduğunuda göstermektedir.

Çizelge 6.8: Su noktalarının yağışlı dönem doymunluk indeksi analiz sonuçları

Yağışlı Dönem	Anhidrit	Aragonit	Brusit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Flourit	Jips	Halit	Magnezit
K1	-1.92	-0.35	-6.18	-0.2	-0.02	-1.07	-2.67	-1.69	-8.75	-0.88
K2	-2.79	-0.21	-7.04	-0.05	-0.009	-1.75	-1.53	-2.53	-9.27	-1.61
K3	-2.91	-0.49	-6.44	-0.34	-0.01	-1.48	-2.38	-2.67	-8.68	-1.08
K4	-1.99	-0.12	-5.87	0.02	-0.05	-0.11	-2.21	-1.8	-8.61	-0.7
K5	-1.99	-0.14	-5.97	-0.004	-0.05	-0.7	-2.03	-1.79	-8.67	-0.76
K6	-3.07	-0.6	-7.27	-0.45	-0.06	-1.93	-2.54	-2.83	-9.52	-1.47
K7	-2.45	0.09	-5.49	0.23	-0.04	-0.28	-2.43	-2.27	-7.42	-0.6
K8	-2.9	-0.24	-6.13	-0.1	-0.02	-1.13	-3.45	-2.67	-9.15	1.04
K9	-2.91	-0.33	-6.33	-0.19	-0.02	-1.28	-3.03	-2.67	-8.89	-1.09

Çizelge 6.9: Su noktalarının kurak dönem doymunluk indeksi analiz sonuçları

Kurak Dönem	Anhidrit	Aragonit	Brucit	Kalsit	pCO ₂	Dolomit	Flourit	Jips	Halite	Magnesite
K1	-1.97	-0.23	-5.98	-0.08	-0.02	-0.85	-2.47	-1.74	-8.74	-0.79
K2	-8.91	0.85	-4.16	1	-0.001	0.64	-1.83	-2.69	-9.41	-0.38
K3	-3.05	-0.58	-6.54	-0.42	-0.01	-1.65	-2.5	-2.8	-8.77	-1.17
K4	-1.35	-0.05	-5.62	0.09	-0.03	-0.45	-2	-1.15	-8.62	-0.6
K5	-4.11	-0.15	-5.8	-0.01	-0.04	-0.73	-2.5	-1.78	-8.64	-0.78
K6	-3.15	-0.55	-7.06	-0.41	-0.04	-1.86	-3.02	-2.91	-9.51	-1.44
K7	-2.52	-0.05	-5.66	0.09	-0.05	-0.55	-2.41	-2.34	-7.46	-0.73
K8	-3	-0.28	-6.08	-0.14	-0.01	-1.21	-2.88	-2.77	-9.28	-1.08
K9	-3.01	-0.55	-6.69	-0.4	-0.03	-1.72	-2.76	-2.78	-8.98	-1.32

Yağmur suyunu temsil eden K2 örneğinde kurak dönemde aragonit, kalsit ve dolomit mineraline doymun olduğu görülmüştür. Dolaşım derinliği 2-10 m. civarında olan K2 kaynağı yağışa bağlı olarak zaman zaman kuruyan, düşük debili yağmur suyunu temsilen seçilen kaynaktır. Kurak dönemde buharlaşmaya bağlı olarak iyon miktarı artabileceğinden mineral çökelişi beklenebilir. İncelen sulardaki CO₂ kısmi basıncının atmosferdeki P_{CO2} (10^{-3.5} bar) den yüksek olması yeraltısularının dolaşım sırasında CO₂’ ce zenginleştiğini göstermektedir

Yağışlı ve kurak dönemde doymunluk indeksi değerlerinin değişiminin az olması suların yerel beslenimden çok yaygın beslenimden etkilendiğini ya da rezervuarın büyük olduğunu göstermektedir. Ayrıca suların doymun olmaması, hesaplanan dolaşım süreleriyle uyumlu değildir (bakınız bölüm 6.9.2). Normal laboratuvar şartlarında kalsitin çözünüp denge durumuna gelmesi için gerekli süre, günler en fazla aylarla sınırlıdır (Freeze ve Cherry, 1979). Suyun kalsit mineraline doymun olmaması o mineralin ortamda olmadığını gösterir (Deutsch, 1997). Çalışma alanında olduğu gibi akifer sisteminin yaşlı karbonatlı kayalardan oluştuğu bilinen ortamlarda Freeze ve Cherry (1979), aynı sonuçla karşılaşmış ve suların dolaşım boyunca yağışlardan etkilenmeye devam ettiği şeklinde açıklanmıştır. Kısmen de sularla karbonat yüzey arasında reaksiyonun silisli kırıntılar veya organikler tarafından engellenmesiyle açıklanmaya çalışılmıştır. Ancak White (2002), yakın zamanda doymun iki farklı suyun karışmasının suya tekrar doymun olmayan özellik kazandırmakta olduğunu ifade etmiştir. Çalışma alanındaki akifer sistemlerinde suların doymun olmayışı, farklı doymunlukta suların bir araya gelmesi şeklinde açıklanabilir.

Ayrıca sular yeraltındaki depresyonlarda toplanmakta olup kaynaklar dolusavak boşalımı şeklinde çalışmaktadır. Bu durumda çözünme de etken olan suyun temas halinde olduğu yüzey azlığı da suların kalsit mineraline doymun olmayışını açıklayabilir.

6.8 Su Kalitesi

Çalışma kapsamında incelenen suların bir kısım parametreleri yukarda belirtildiği gibi arazide diğerleri de laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. Arazide yerinde incelenen parametrelerin başlıcaları ve laboratuvar ortamında analiz edilen Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, NO₂, NO₃ ve metal element içerikleri, önceki yılların DSİ

değerleriyle birlikte standart sapma ve değişim katsayıları hesaplanarak EK-B’de çizelgeler halinde verilmiştir. Toplam sertlik Ca ve Mg değerlerinden yararlanarak hesaplanmıştır.

Su kalitesi araştırmalarının ana amacı, suyun kalitesini belirleyen çeşitli fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve radyolojik parametrelerin sudaki konsantrasyonlarının belirlenerek, elde edilen verilerin belirli standartlarla karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Kalite sözcüğünün kendisi anlam olarak bir kriter veya standartla karşılaştırma işlemini içermektedir. Bu nedenle su kalitesi standartları kalite araştırmalarının kullandığı en temel araçtır. Herhangibir su kaynağına kirli veya temiz diyebilmek için o kaynağın hangi amaç için kirli veya temiz olduğu sorusu cevaplandırılmalıdır. Çünkü kaynağın kullanım amacı kalitesini belirlemektedir. Örneğin tarımda, sulama suyu için çok uygun olan bir su kaynağı, içme suyu kaynağı olarak kullanılamaz derecede kirli olabilir veya ancak belirli bir arıtmadan geçirildikten sonra kullanılabilir bir kaliteye kavuşabilir. Çizelge 6.11 ’de verilen ve T.C. Çevre Bakanlığı tarafından yayınlanan “Kıtaçi Su kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” (4 Eylül 1988 tarih ve 19919 sayılı Resmi Gazete) bu bakış açısıyla hazırlanmış, bu sınıflamada her kalite sınıfı için belirli kullanım amaçları belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında incelenen suların su kalitelerini araştırmak için seçilen parametreler, günümüzde de geçerli olan Avrupa Birliği (AB), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Türk İçmesuyu (TS 266) standartlarıyla (Çizelge 6.10) ve T.C. Çevre Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan ve “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” içinde yer alan akarsu, göl ve baraj rezervuarlarında biriktirilen kıtaçi yüzeysel suların “Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri” ne göre (Çizelge 6.11 değerlendirilmiştir.

EK-B’de verilen parametreler, TS 266, AB ve WHO içme suyu standartlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Buna göre çalışma alanında incelenen sularda okunan değerler, bu sınır değerlerle karşılaştırıldığında (Çizelge 6.10 ve 6.11) örneklerin tümü, K4, K5 ve K7’nin sıcaklık değerleri dışında, izin verilebilir değerin altında kalarak içilebilir sular grubuna girmiştir. Çizelge 6.11’e göre de K1,2,3,6,8,9 1.kalite sular sınıfına K4,5,7, ise 3. kalite sular grubuna girmektedir.

Su örnekleri, ağır metal analizleri kapsamında Ag, Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn açısından analiz edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.10: Türk (TS -266), Avrupa Birliği (AB) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçmesuyu Standartlarının tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri

Parametreler	Birim	TS 266 Tavsiye Edilen	Maksimum İzin Verilen	AB Tavsiye Edilen	Maksimum İzin Verilen	WHO Tavsiye Edilen
Fizikokimyasal Parametreler						
Sıcaklık	oC	12	25	12	25	-
pH		6.5-8.5	6.5-9.2	6.5-8.5	-	-
EC ¹	µS/cm	400	2000	400	-	-
TDS ²	mg /l	-	-	-	-	1000
DO ³	mg /l	-	-	-	-	-
Klorür	mg /l	25	600	25	-	250
Sülfat	mg /l	25	250	25	250	250
Kalsiyum	mg /l	100	200	100	-	-
Magnezyum	mg /l	30	50	30	50	-
Sodyum	mg /l	20	175	20	175	200
Potasyum	mg /l	10	12	10	12	-
Toplam sertlik	mgCaCO3/l	-	150		150	-
Sağlığa ve / veya içilebilme özelliğine etki eden maddeler						
Amonyak	mg/l	0.05	0.5	0.05	0.5	1.5
Nitrat	mg /l	25	50	25	50	50
Nitrit	mg /l	-	0,1	-	0,1	0.2
Alüminyum	µg /l	50	200	50	200	200
Bor	µg /l	1000	2000	1000	-	500
Demir	µg /l	50	200	50	200	300
Mangan	µg /l	20	50	20	50	50
Bakır	µg /l	100	3000	100	2000	2000
Çinko	µg /l	100	5000	100	5000	3000
Fosfor	µg /l	400	5000	400	5000	-
Florür	µg /l	-	1500	-	1500	1500
Baryum	µg /l	100	300	100	-	700
Zehirli (Toksik) maddeler						
Kadmiyum	µg /l	-	5	-	5	3
Krom	µg /l	-	50	-	50	50
Nikel	µg /l	-	50	-	50	20
Kurşun	µg /l	-	50	-	10	10
Gümüş	µg /l	-	10	-	10	-
Radyoaktif Bileşenler						
Alfa aktivitesi	Bq/l	0.037	0.037	-	-	0.1
Beta aktivitesi	Bq/l	0.37	0.037	-	-	1

-: Herhangi bir değer verilmemiştir

1: Elektrik iletkenliği

2: Toplam çözünmüş madde

3: Çözünmüş oksijen (mg O₂/l)

Çizelge 6.11: T.C. Çevre Bakanlığı kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (4 Eylül 1988 tarih ve 19919 sayılı Resmi Gazete)

SU KALİTE PARAMETRELERİ	SU KALİTE SINIFLARI			
	1.Kalite	2.Kalite	3.Kalite	4.Kalite
Fiziksel ve inorganik kimyasal parametreler				
Sıcaklık (oC)	25	25	25	>30
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışında
Çöz. Oks. (mg O ₂ /l)	8	6	3	<3
Klorür (mg Cl/l)	25	200	400	>400
Sülfat (mg SO ₄ /l)	200	200	400	>400
Nitrit azotu (mg NO ₂ -N/l)	0.002	0,01	0,05	>0.05
Nitrat azotu (mg NO ₃ -N/l)	5	10	20	>20
Top.Fosfor (mg PO ₄ ⁻³ -P/l)	0.02	0.16	0.65	>0.65
Sodyum (mg Na/l)	125	125	250	>250
İnorganik kirlenme parametreleri				
Kadmiyum (µg Cd/l)	3	5	10	>10
Kurşun (µg Pb/l)	10	20	50	>50
Bakır (µg Cu/l)	20	50	200	>200
Krom (µg Cr/l)	çok az	20	50	>50
Kobalt (µg Co/l)	10	20	200	>200
Nikel (µg Ni/l)	20	50	200	>200
Çinko (µg Zn/l)	200	500	2000	>2000
Florür (µg F/l)	1000	1500	2000	>2000
Demir (µg Fe/l)	300	1000	5000	>5000
Mangan (µg Mn/l)	100	500	3000	>3000
Bor (µg B/l)	1000	1000	1000	>1000
Baryum (µg Ba/l)	1000	2000	2000	>2000
Alüminyum (µg Al/l)	30	300	1000	>1000
Radyoaktivite				
Alfa aktivitesi (Bq/l (pCi/l))	0.037(1)	0.37 (10)	0.37 (10)	>0.37 (10)
Beta aktivitesi (Bq/l (pCi/l))	0.37(10)	3.7 (100)	3.7 (100)	>3.7 (100)

^a: Klorüre karşı hassas bitkilerin sulanmasında bu konsantrasyon limiti düşürmek gerekebilir

^b: Bora karşı hassas bitkilerin sulanmasında limiti 300µg /l ye kadar düşürmek gerekebilir

Değerlendirmeler sonucunda elde edilen ağır metal içeriklerinin tümünün müsaade edilen değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Bu durum, ağır metallerin bölge içme sularında herhangi bir sakınca oluşturmayacağını göstermektedir.

6.9 Suların İzotopik Özellikleri

İzotop verileri, hidrolojik ve hidrojeolojik problemlerin çözülmesini kolaylaştırmakta ve kullanılan diğer yöntemlere destek sağlamaktadır. Hidrolojide çevresel izotopların kullanılması ile yeraltısuyu-yüzeysuyu ilişkileri, suların kökeni, beslenme alanları ve mekanizmalarının belirlenmesi, karışım süreçlerinin ortaya konması ve yeraltısuyu yaş tayini gibi konularda çalışmalar yapılmaktadır. Hidrolojik çevrimin değişik aşamalarında kullanılan kimyasal ve yapay izleyicilerin hidrolojik sistem içerisindeki davranışları oldukça karmaşıktır. İzotopların hidrolojik sistem içerisindeki davranışları diğer birçok izleyiciye göre daha ayrıntılı bilinmektedir. Bu anlamda hidrolojik sisteme giren ve sulara doğal olarak bulunan çevresel izotoplardan yaygın olarak kullanılan oksijen ve hidrojen izotoplarıdır. Suyun moleküllerini oluşturan oksijen ve hidrojenin izotopları su ile birlikte hareket ettikleri için ideal birer izleyicidir ve karstik sistemlerde de karst akiferleri arasındaki ilişkilerin, akifer beslenme alanlarının belirlenmesinde faydalı olmaktadır.

6.9.1 Oksijen-18 döteryum ilişkisi

Çalışma alanında ölçülen iki hidrolik döneme ait $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H değerleri, kurak ve yağışlı dönem gruplandırması yapılarak Çizelge 6.12 ve 6.13’de sunulmuştur. Çizelge 6.12 ve 13 deki verilerden yararlanılarak çalışma alanında yeralan su noktalarının oksijen-18 değerlerine karşılık döteryum değerleri de gösterilmiştir. Genelde kayaç-su etkileşiminin daha yoğun olarak beklendiği sıcak sularda daha yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerin izlenmesi beklenirken, çalışma alanında bu durum belirgin olarak gözlenememiştir.

Çizelge 6.12: Kurak dönem izotop verileri

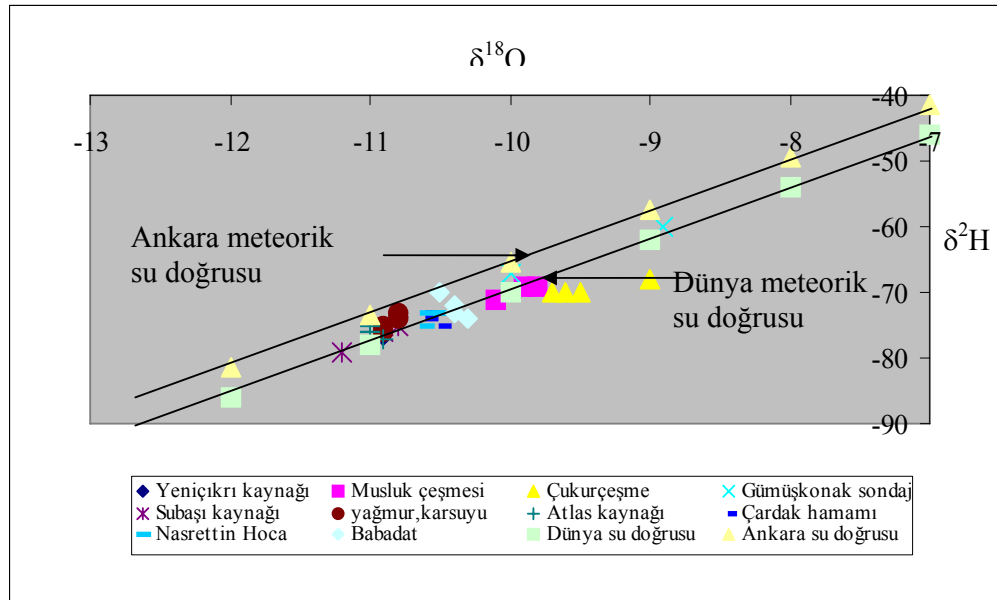
Kurak Dönem Ort.	$\delta^{18}\text{O}$	SD	$\delta^2\text{H}$	SD	^3H (TU)	SD	DF
Yeniçıkırı kaynağı (K1)	-10.35	0.78	-75.36	2.3	2.47		7.44
Musluk çeşmesi (K2)	-10.4	0.4	-74.16	4.4	12.61	1.67	9.04
Çukurçeşme (K3)	-9.35	0.4	-70.31	3.49	7.37	1.18	4.49
Gümüşkonak 55886/A(K4)	-11.24	0.36	-79.38	4.58	2.21	1.38	10.54
Subaşı kaynağı (K5)	-10.34	0.97	-75.13	0.8	3.68	0.26	7.59
Atlas kaynağı (K6)	-11	0.1	-78.5	3.5	6.9	0.4	9.5
Çardakhamamı(K7)	-10.14	0.7	-74.31	0.5	1.46	1.26	6.81
Nasrettin Hoca (K8)	-9.72	1.5	-70.15	6.7	4.05	0.79	7.61
Babadat kaynağı (K9)	-10.53	0.33	-75.87	4.15	4.2	0.62	8.37

*DF: Döteryum fazlası

Çizelge 6.13: Yağışlı dönem izotop verileri

Yağışlı Dönem Ort.	$\delta^{18}\text{O}$	SD	$\delta^2\text{H}$	SD	^3H (TU)	SD	DF
Yeniçıkırı kaynağı (K1)	-11.54		-83.14		3.55		9.18
Musluk çeşmesi (K2)	-10.04	0.25	-72.91	4.91	10.92	2.2	7.41
Çukurçeşme (K3)	-9.83	0.23	-71.88	2.47	7.95	1.06	6.7425
Gümüşkonak 55886/A(K4)	-11.05	0.19	-79.28	3.59	3.82	0.94	9.118
Subaşı kaynağı (K5)	-10.58	0.36	-74.84	3.63	5.30	3.95	9.765
Atlas kaynağı (K6)	-11.20	0.35	-75.50	0.71	4.46	0.87	14.127
Çardakhamamı (K7)	-10.57	0.06	-73.00	0.00	1.92	0.08	11.587
Nasrettin Hoca (K8)	-10.71	0.37	-73.00	0.00	4.83	1.26	12.707
Babadat kaynağı (K9)	-10.62	0.32	-70.67	1.15	4.35	0.39	14.313

Döteryum fazlasının (DF) (Çizelge 6.12 ve 6.13) kurak dönemden yağışlı döneme geçerken 6.81-10.54’aralığından 7.41-14.31’e doğru yönelmesi, günümüz yeraltısularının Akdeniz kökenli yağışlarla beslendiği şeklinde açıklanabilir. Bilindiği gibi döteryum fazlası denizel iklimlerin etkisiyle artarken kutuplarda sıfırdır.

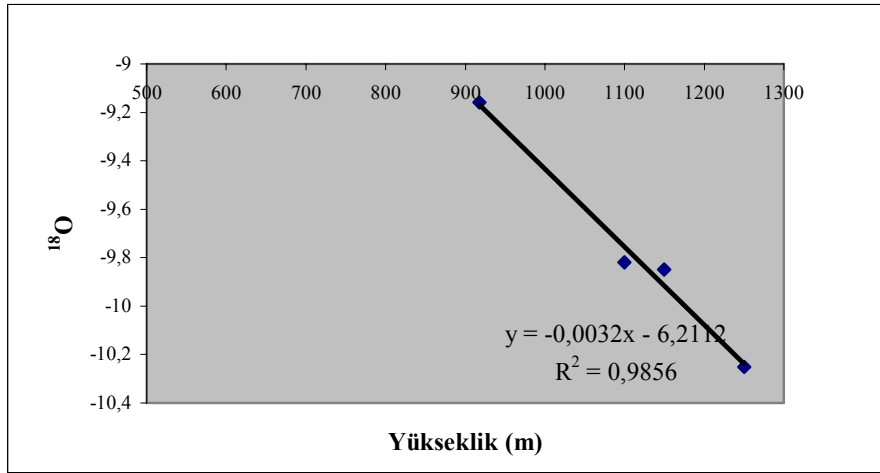


Şekil 6.17: İnceleme alanında yer alan kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

Çalışma kapsamında elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri Ankara meteorik doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8.8^{18}\text{O} + 14,5$) ile Dünya meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8.8^{18}\text{O} + 10$) (Özaydın, 2001) ile karşılaştırılmış ve sonuç Şekil 6.17’ de gösterilmiştir.

Şekil 6.17 incelendiğinde, Çukurçeşme (K3) dışındaki tüm sular Ankara meteorik doğrusu ile Dünya meteorik su doğrusu arasında kaldığı görülmektedir. Tarihi bir çeşme olan Çukurçeşme kaynağında, su önce bir sarnıçta biriktirilip sonra Çukurçeşme'ye verilmektedir. Bu süreçte buharlaşma olacağından, duraylı izotop zenginleşmesi normaldir. Sonuç olarak inceleme alanındaki suların atmosferik kökenli olduğu söylenebilir.

İzotop hidrolojisi konusunda geçmişte yürütülen çalışmalar sonunda $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin, coğrafi konum, enlem vb. parametrelerin yanı sıra esas olarak yükselti ile ters orantılı biçimde azaldığı gösterilmiştir. Genel olarak her 100 m.'lik yükseklik artışına karşılık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalma ‰-0,15 ile ‰-0,50 arasında değişmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Sakarya havzası içinde daha önce yağmur suyunu temsil eden kaynakların verileri ile çalışma alanındaki yağmur suyunu temsil eden musluk çeşmesi verileri kullanılarak inceleme alanında $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik ilişkisi ‰-0,32 olarak belirlenmiştir (Şekil 6.18). Buna göre, her 100 m.lik yükseklik artışına karşılık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalma ‰-0,32 dir ve yukarıda verilen aralık içinde kalmıştır.



Şekil 6.18: İnceleme alanındaki yağmursuyunu temsil eden kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ - yükseklik grafiği

$\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik grafiğinden yararlanılarak kaynakların ortalama beslenme yükseklikleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.14).

İncelenen suların beslenme yükseklikleri Çizelge 6.14’de görüldüğü gibi 1309-1465 m. leri kapsamaktadır. Buna göre, Yeniçıkırı ve Babadat kaynağının (bkz. Şekil 4.5) Günyüzü havzası içindeki yüksek alanlardan beslendiği anlaşılmıştır. Beslenim sınırlarının çizilmesinde ve bütçe hesaplamalarında çok önemli olan bu tespitle söz konusu kaynaklar Günyüzü havzasına dahil edilmiştir. Boşalım kotu 991 olan K3 kaynağının ise tesbit edilen beslenim yüksekliğinin, sarnıçta depolanmadan kaynaklanan duraylı izotop zenginleşmesi nedeniyle gerçeği yansıtmadığı anlaşılmıştır. Hidrojeolojik kesitten de görüldüğü gibi K3 kaynağı yüksek kotlardan beslenen sığ dolaşimli bir kaynaktır (bakınız EK A-4 hidrojeolojik kesit).

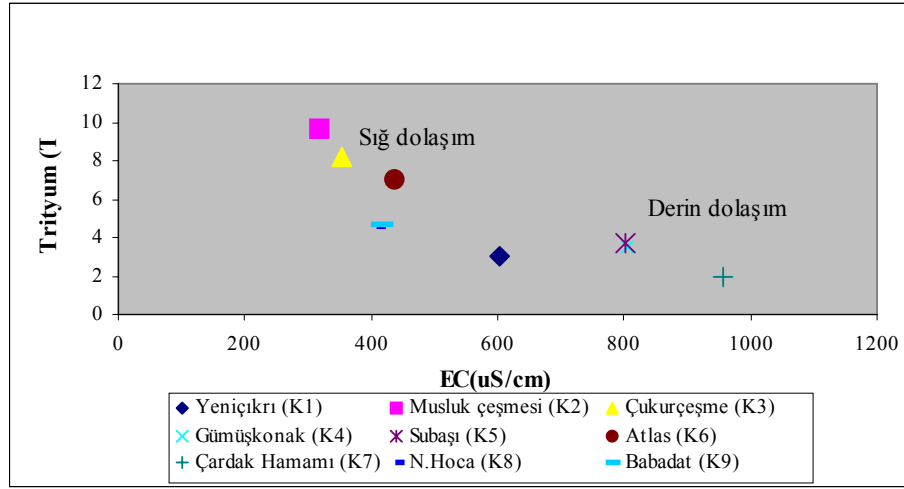
Çizelge 6.14: Kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerinden belirlenen ortalama beslenim yükseklikleri

No	Örnek Adı	$\delta^{18}\text{O}$	X (K) m.	Y (D) m.	Boşalım Yük.(m)	Beslenme Yük. (m)
K1	Yeniçıkırı kaynağı	-10,9	4341980	399353	887	1465
K3	Çukurçeşme	-9,4	4351176	396768	991	996
K4	55886/Asondaj	-10,95	4353694	399372	910	1480
K5	Subaşı kaynağı	-10,85	4352770	399411	951	1450
K6	Atlas kaynağı	-11	4356955	393445	1065	1497
K7	Çardakhamamı	-10,55	4366827	390087	919	1356
K8	Nasrettin Hoca	-10,55	4373475	385296	934	1356
K9	Babadat kaynağı	-10,4	4374508	382056	904	1309

6.9.2 Trityum verilerinin değerlendirilmesi

Trityum-EC grafiği çizilerek farklı kökenli sular gruplandırılmıştır (Şekil 6.19). Su noktalarının trityum değerleri ile yeraltısuyunun akiferden geçiş süresi, EC değerleri ile yeraltısuyunun akiferde kalış süresine göre bu değerlerde artış görülmesi mümkündür. Çalışma alanında trityum değerleri 0 ile 14 TU (ölçülen maksimum ve minimum değerler) arasında değişmektedir. EC değerlerinde ise Yeniçıkırı kaynağı hariç diğer su noktalarında mevsimsel anlamda bir değişim söz konusu değildir. Düşük trityum ve yüksek EC’ li sular derin dolaşimli, yüksek trityum ve düşük EC’li sular sığ dolaşimli suları temsil etmektedir. Bu sular aynı zamanda farklı oranlarda birbirleriyle karışmaktadır. Suların Trityum ve Çözünmüş oksijen (DO) içeriğinden faydalanarak karışım oranları hesaplanmıştır (Çizelge 6.15). Sığ dolaşımı temsilen K2 kaynağı ve derin dolaşimli kaynağı temsilen ise K7 kaynağı değerleri alınmıştır. Yağmursuyu değerlerine yakın K2 ve kimyasal içeriği diğer sulardan daha farklı bir

dizilim sergileyen K7 kaynağının sıcaklığa bağlı hesaplanan dolaşım derinlikleri bölüm 7’de verilmiştir.



Şekil 6.19: İnceleme alanındaki kaynakların Trityum-EC grafiği

$$^3\text{H}_{\text{sığ}} \cdot V_{\text{sığ}} + ^3\text{H}_{\text{derin}} \cdot V_{\text{derin}} = V_{\text{karışım}} \cdot ^3\text{H}_{\text{karışım}}$$

$$V_{\text{karışım}} = V_{\text{sığ}} + V_{\text{derin}}$$

$$^3\text{H}_{\text{sığ}} \cdot V_{\text{sığ}} + ^3\text{H}_{\text{derin}} \cdot V_{\text{derin}} = V_{\text{sığ}} \cdot ^3\text{H}_{\text{karışım}} + V_{\text{derin}} \cdot ^3\text{H}_{\text{karışım}}$$

$$^3\text{H}_{\text{sığ}} \cdot V_{\text{sığ}} - V_{\text{sığ}} \cdot ^3\text{H}_{\text{karışım}} = V_{\text{derin}} \cdot ^3\text{H}_{\text{karışım}} - ^3\text{H}_{\text{derin}} \cdot V_{\text{derin}}$$

$$V_{\text{sığ}} (^3\text{H}_{\text{sığ}} - ^3\text{H}_{\text{karışım}}) = V_{\text{derin}} (^3\text{H}_{\text{karışım}} - ^3\text{H}_{\text{derin}})$$

$$V_{\text{sığ}} / V_{\text{derin}} = (^3\text{H}_{\text{sığ}} - ^3\text{H}_{\text{karışım}}) / (^3\text{H}_{\text{karışım}} - ^3\text{H}_{\text{derin}}) \text{ (Özaydın, 2001)}$$

Buna göre yağışlı dönem ^3H ve DO ortalamalarına göre hesaplanan oranlar Çizelge 6.15 de verilmiştir. Çizelge’ de görüldüğü gibi, K1, K3, K4 ve K5’de trityum ve DO içeriğinden faydalanılarak hesaplanan sığ ve derin dolaşım oranları yaklaşık $\pm \% 10$ farklılık göstermektedir. K6, K8 ve K9’da ise trityumla hesaplanan sığ ve derin dolaşım oranları, DO ile hesaplanan değerlerden ve beklenenden farklıdır.

Çizelge 6.15: Yağışlı dönem ^3H ve DO ortalamalarına göre hesaplanan sığ ve derin dolaşım oranları

Kay.No.	^3H (TU)	$V_{\text{sığ}}$ (%)	$V_{\text{der.}}$ (%)	DO (mg/l)	$V_{\text{sığ}}$ (%)	$V_{\text{der.}}$ (%)
K1	3,55	18.10	81.90	4.90	32	68
K2	10,92	^3H (Sığ)		10.52	DO (sığ)	
K3	7,95	67.00	33.00	8.89	80	20
K4	3,82	21.14	78.86	4.69	30	70
K5	5,30	37.54	62.46	4.46	27	73
K6	4,46	28.21	71.79	7.96	69	31
K7	1,92	^3H (Derin)		2.21	DO (derin)	
K8	4,83	32.25	67.75	7.36	63	37
K9	4,35	27.01	72.99	7.75	67	33

Trityum verileriyle K6, özellikle K8 ve K9'un sığ dolaşım oranları düşük hesaplanmıştır. Toplam iyon-ana anyon ve katyon gruplandırmalarına (bkz., Bölüm 6.4), Trityum-EC gruplandırmasına (bkz., Bölüm 6.9.2) ve TDS değerlerine bakılarak sığ su oranının çok daha yüksek olması gerekirken düşük oranların hesaplanması derin dolaşımdan çok karstik yapılarda depolanan statik suların varlığını göstermektedir. Arazide yerinde ölçümlerle belirlenen DO değerleriyle hesaplanan karışım oranları kabul edilebilir oranlardır. Ayrıca Atlas kaynağında yağışlı dönemde kurak döneme göre daha düşük trityum miktarı belirlenmesi (Çizelge 6.16 ve Çizelge 6.17), Atlas kaynağında farklı bir ilişkiyi düşündürmektedir. Yağışlı dönemde statik-yaşlı sularla karışan ayrı çöküntü sistemindeki sular, yükselen su seviyesine bağlı olarak Atlas kaynağını beslediği ileri sürülebilir.

Yağışlı ve kurak dönem için ayrı ayrı piston akım modeli yöntemi kullanılarak suların dolaşım yaşı hesaplanmıştır. (Çizelge 6.16, 6.17). Piston akım modeli, yeraltısuyunun hidrojeolojik sistem içerisinde borularda olduğu gibi hareket ettiği ve birbirini takip eden iki zaman adımı içerisinde sisteme giren suların hiç karışmadığı kabulüne dayanmaktadır. Hiç karışım olmadığı durum varsayılarak belirlenen yeraltısuyu yaşı, olası yaş aralığının alt sınırını oluşturmaktadır (Tezcan, 1993).

Çizelge 6.16: Su noktalarının kurak dönem ^3H verileri ile yeraltısuları dolaşım yaşı

Kurak Dönem Ort.	^3H (TU)	SD	t (yıl)
Yeniçıkırı kaynağı (K1)	2,47		29,40
Musluk çeşmesi (K2)	12,61	1,67	0
Çukurçeşme (K3)	7,37	1,18	9,68
Gümüşkonak 55886/A(K4)	2,21	1,38	31,40
Subaşı kaynağı (K5)	3,68	0,26	22,21
Atlas kaynağı (K6)	6,9	0,4	10,87
Çardakhamamı (K7)	1,46	1,26	38,88
Nasrettin Hoca (K8)	4,05	0,79	20,48
Babadat kaynağı (K9)	4,2	0,62	19,82

Bu yöntemle suların beslenme noktasındaki yağmur suyu örneğinde ölçülen trityum içeriğini ilksel miktar (bu çalışmada K2 verileri kullanılmıştır), boşalım ya da örnekleme noktasında ölçülen içeriği ise bugünkü miktar kabul ederek, yaş hesabı

yapılmaktadır. Söz konusu bu yöntem suların görünür yaşı olarak adlandırılmaktadır.

Çizelge 6.17: Su noktalarının yağışlı dönem ^3H verileri ile yeraltısuları dolaşım yaşı

Yağışlı Dönem Ort.	^3H (TU)	SD	t (yıl)
Yeniçıkırı kaynağı (K1)	3,55		20,26
Musluk çeşmesi (K2)	10,92	2,2	0
Çukurçeşme (K3)	7,95	1,06	5,73
Gümüşkonak 55886/A(K4)	3,82	0,94	18,93
Subaşı kaynağı (K5)	5,30	3,95	13,04
Atlas kaynağı (K6)	4,46	0,87	16,17
Çardak hamamı (K7)	1,92	0,08	31,38
Nasrettin Hoca (K8)	4,83	1,26	14,72
Babadat kaynağı (K9)	4,35	0,39	16,60

Çalışma alanında sıcaklığı en yüksek olan su noktası Çardak hamamı (34-35.5 $^{\circ}\text{C}$ arasında) kaynağıdır, Kaynak, 0-3,45 TU arasında değişen maksimum ve minimum trityum değerleri ile çalışma alanında en yaşlı suları da temsil etmektedir (30-50 yıl). Çalışma alanının tektonik, jeolojik ve litolojik özellikleri bu kaynağın kimyasal özellikleriyle birlikte değerlendirildiğinde, kaynağın oluşumunda jeogradyanın yanı sıra jeotermal süreçlerin etkisi de düşünülmelidir. Çizelge 6.15 ve 6.16’ da görüldüğü gibi çalışma alanındaki en genç suları bir başka deyişle güncel yağışlar Musluk çeşmesi ile temsil edilmektedir. Atlas kaynağının her iki dönem için trityum değerlerine bakıldığında ise beslenimin kaynağa intikalinin Subaşı ve Yeniçıkırı kaynağına göre, kısa sürede olduğunu göstermektedir. Nasrettin Hoca ve Babadat kaynaklarının trityum değerlerinde mevsimsel değişim söz konusu değildir. Bu kaynakların beslenimi üst kotlardan olmakta ve yeraltı suyu, sistemde 14-20 yıl dolaştıktan sonra boşalmaktadır.

İncelenen suların trityum değerlerinde mevsimsel değişikliğin çok az olması, sularda yerel beslenimden çok yaygın beslenimin etkili olduğunu göstermektedir. Ancak yukarıda da ifade edildiği gibi tüm kimyasal veriler, özellikle farklı karışım oranlarının hesaplandığı K6, K8 ve K9’ un sistemindeki sular, yeraltındaki çöküntü yapılarında toplanmakta olup kaynakların dolusavak boşalımı şeklinde çalıştığını göstermektedir (EK A-4 Hidrojeolojik kesitler).

7. KARST AKİFERİNİN HİDRODİNAMİĞİ VE HİDROJEOLJİK MODELLEME

7.1 Beslenim

Beslenme, su tablasına ulaşan ve yeraltısuyu haznesini oluşturmak için derinlere doğru akış halindeki su olarak tariflenir. Genel anlamda beslenme; dolaylı, yerel ve doğrudan beslenme olarak gerçekleşir.

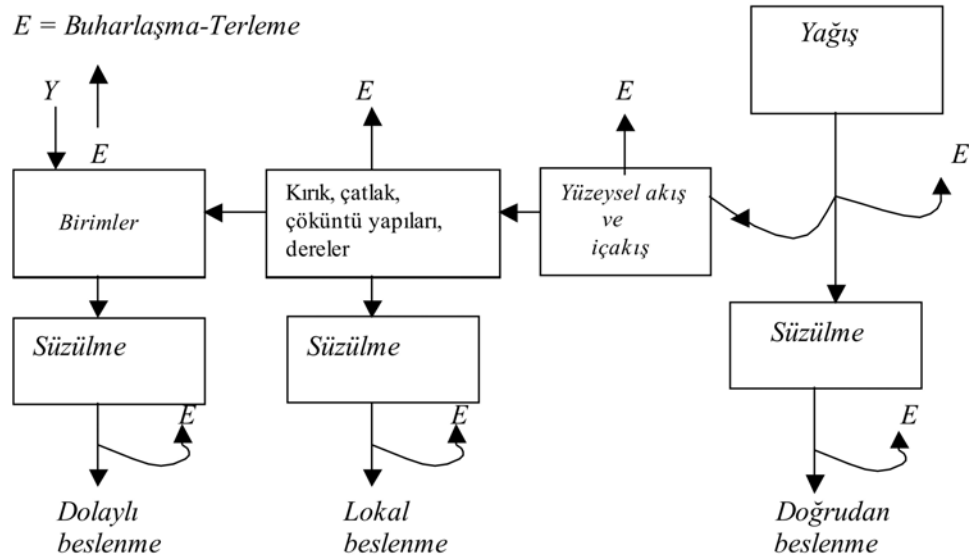
Doğrudan beslenme (Autogenic recharge): Noktasal ve alansal olmak üzere iki şekilde de gerçekleşir. Zemin nemi fazlası suyun doğrudan yeraltısuyu haznesine süzülmesiyle (alansal) veya çöküntü yapılarıyla ya da kırık-çatlak sistemi ile (noktasal) akifere karışmasıdır

Günyüzü havzasında beslenme, önemli miktarlarda kırık-çatlak sistemi gelişmiş, dik-dike yakın tabakalı mermerler ve konglomeralarla (noktasal ve alansal) doğrudan gerçekleşmektedir. Neojen birimlerinde etken olan alansal beslenimdir. Alansal (diffuse) beslenme süreci yüzey suyunun tabakalar boyunca süzülerek yeraltısuyu tablasına ulaşmasıdır. Kurak-yarı kurak bölgelerde baskın beslenme süreci olan alansal beslenimde, suyun süzülmesi piston tipi akış şeklinde olmaktadır. Burada süzülme diffusivdir. Diğer akış şekli ise hidrolik iletimliliğe bağlı olarak suyun, litolojiler içinde geçirimli seviyeleri takip ederek hareket etmesidir.

Dolaylı beslenme (allogenic recharge): Havzanın yan havzalardan ya da karstik sistemde, karbonatlı kayalardan oluşmayan kısımdan drene edilen suların akifere karışmasıdır. Günyüzü havzasında dolaylı beslenme, akifer sistemine havzada yüzeyleyen geçirimsiz birimler olan granit ve şistlerden yüzeysel akışla gelen sulardır.

Yerel beslenme: Tünek akiferlerden fazla suyun akifere karışmasıdır. Suyun çöküntü yapılarından, derelerden, dik kesmelerden veya genişleyen kırıklardan akiferi beslemesidir.

Günyüzü havzasının kavramsal beslenme modeli Lerner ve diğ. 1997'den yararlanılarak hazırlanmış ve Şekil 7.1'de sunulmuştur.



Şekil 7.1: Havzanın kavramsal beslenme modeli (Lerner ve diğ. 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

Beslenme işlemlerinde önemli faktörler sırayla yağış, buharlaşma, terleme, jeolojik yapı ve morfolojidir (Ekmekçi, 2003). Yağışın beslenmeye etki eden faktörleri ise yağışın süresi, yükseklik ve yağmurun şiddetidir. Bir bölgeye düşen yağış miktarı yükseklikle bağlı olarak artar. Ani kuvvetli yağmurların değerleri oldukça değişkendir. Büyük miktardaki yağışın süresi çok kısa olur. Yağmur süresi şiddeti ile ters orantılıdır. Karstik arazilerde noktasal beslenmelere paralel olarak bu ani yağmurlar buharlaşmanın çok düşük olması nedeniyle çok etkili olur.

Beslenim hesaplarında en önemli konu drenaj sınırlarının çizilmesi ve o alana düşen yağış ortalamasının çok dikkatli hesaplanmasıdır. Ayrıca önceki çalışmalar bölümünde anlatıldığı gibi Wilcox ve diğ. (1997), beslenim hesaplarında en önemli bilinmeyenlerden süzülme işleminde yağış, hidrolik eğim, buharlaşma, bitki örtüsü, geçirimsizlik, akifer taban topografyası gibi faktörlerden belirleyici olan faktörün suyun uygunluğu olduğunu vurgulamıştır. Suyun uygunluğu ile yağışın hızlı bir şekilde süzülüp akifere ulaşma işlemi kastedilmektedir. Buna en iyi örnek kütle beslenimin gerçekleştiği dağönü beslenimidir. Dağ önü beslenimi Günyüzü havzasında da etkili faktördür. Bölüm 5’de süzülme hesapları anlatılmıştır.

7.2 Dolaşım

Karstik sistemlerde akış oldukça anizotrop güzergâh izlemektedir. Mevcut modeller taneli, çatlaklı ve iletim kanalları olmak üzere üçlü akış sistemini içerir. , White, (2002)' a göre çapı> 1cm olan iletim kanallarıyla gerçekleşen dolaşım, yüksek yeraltısuyu hızı ve dolayısıyla türbülanslı akım koşullarını karakterize etmektedir. Hidrolik eğimi çok gelişmiş iletim kanallarıyla drene edilen kaynak boşalmalarının maksimum ve minimum debi (Q_{max}/Q_{min}) oranı ve kimyasal yapılarındaki değişim çok yüksektir. Kısmen karstlaşmış karstik kanallar ve kırık-çatlak sistemleri ile karakterize edilen ortamlarda ise Q_{max}/Q_{min} oranı ve kimyasal yapılarındaki değişim düşüktür (Aydın, 2005).

Çizelge 7.1'de kaynakların, Q, EC ve Ca miktarlarındaki değişim katsayıları ve Q_{max}/Q_{min} oranı hesaplanarak verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, suların kimyasal yapılarındaki değişim katsayıları genelde düşüktür. Bunlar içinde en yüksek değer Subaşı kaynağına ait olup, debi değişim katsayısı diğerlerine göre yaklaşık % 50,6 daha büyüktür. Bölüm 5.4.5'de anlatıldığı gibi Subaşı kaynaklarında, ani yağışlara ve sellenmelere bağlı debi değişimleri gözlenmiştir. Orta Sakarya bölgesinde Bilecik kireçtaşlarından boşalan suların debi değişim katsayısı değerleri % 74 - %163 olarak hesaplanmıştır (Aydın, 2005). Bu sonuç, çalışma alanındaki mermerlerin, Bilecik kireçtaşlarına göre daha zayıf karstik yapı geliştirdiğini göstermektedir.

Çizelge 7.1: Su noktalarına ait akım ve değişim katsayısı bilgileri

Kaynak No	Adı	Q_{max} (lt/sn)	Q_{min} (lt/sn)	Q_{max}/Q_{min}	CV_Q	CV_{EC}	CV_{Ca}
K1	Yeniçıkırı kaynağı	108	49	2,2	36,4	10,3	8,04
K2	Musluk çeşmesi	0,5	0	∞		8,3	5,21
K5	Subaşı kaynağı	181	112	1,61	50,6	11,9	8,9
K6	Atlas kaynağı	91	50	1,82	19,65	4,33	0,21
K7	Çardakhamamı	140	39	3,58	29,39	12,3	4,2
K8	Nasrettin Hoca	219	152	1,44	13,48	3,96	6,63
K9	Babadat kaynağı	100	68	1,47	22,6	4,96	6,01

Kimyasal yapılarındaki ve sıcaklık değerlerindeki değişimin çok düşük olması (bkz. Bölüm 7.2.1), havza genelinde karstik kaynakların boşaldığı sistemde akışın

genellikle kırık-çatlak sistemiyle gerçekleştiğini göstermekle birlikte, kaynakların gerisindeki çöküntü yapılarında toplanan statik sularda bu sonuç üzerinde etkili olabilir.

7.2.1 Yeraltısuyu Akış Tipinin Sıcaklıkla Belirlenmesi

Kaynaklarda yapılan sıcaklık değerlerindeki farklılıklardan yeraltısuyu akış tipini belirlemek mümkündür. Farklı iki karstik kaynakta yapılan ölçümlerle yaygın akışı temsil eden laminar akış ve iletim kanallarıyla taşınan sulardaki türbülanslı akış türü belirlenmiştir (Shuster ve White, 1971). Buna göre;

- İletim kanallarıyla gerçekleşen hızlı karstik akış, sıcaklıklarda ölçülen mevsimsel değişikliklerle temsil edilmektedir.
- Kırık-çatlak sistemi içinde hareket eden yaygın akışta ise sıcaklıklarda belirgin değişiklikler gözlenememiştir.

Çalışma alanında 2005 yılı içinde kaynak başı ölçümleri temmuz-ağustos-eylül ve mart-nisan-mayıs ölçümlerinde (Çizelge 7.2) musluk çeşmesi dışında, sıcaklıklarda belirgin değişiklikler gözlenememiştir. Musluk çeşmesi ise yüzey sıcaklığıyla yaklaşık aynı değerleri vermiştir. Ağustos 2005’ de yapılan ölçümde 24,9°C, 24 Mart 2006 tarihinde ise 5 °C olarak ölçülmüştür. Musluk çeşmesi yağmur suyunu temsil eden kaynaktır. Bu anlamda ve daha önce bölüm 5.5.1’de verilen hesaplamalarda bulunan ortalama boşalım katsayısı 10^{-3} gün⁻¹ mertebesinde olduğu için, bu su noktası hariç karst akiferlerinde yeraltısuyu akımı çatlaklar-kırıklar boyunca meydana geldiği ortaya konmaktadır.

Çizelge 7.2: Su noktalarına ait sıcaklık değerleri

Adı	Ağustos.05 (T °C)	Eylül 2005 (T °C)	Mart 2006 (T °C)	Nisan 2006 (T °C)	Mayıs 2006 (T °C)
Yeniçıkırı kaynağı (K1)	22,82			22,91	
Musluk çeşmesi (K2)	24,88		5,35	10,39	12,31
Çukurçeşme(K3)	13,95	14,09	13,44	13,36	13,56
Subaşı kaynağı ((K5)	29,9	29,76	31,07	31,06	31,06
Atlas kaynağı (K6)	18,96	19,02	18,8	18,94	18,97
Çardakhamamı (K7)	35	34,5	33,7	34,82	34,81
Nasrettin Hoca (K8)	22,7	22,8	22,07	22,25	22,21
Babadat kaynağı (K9)	20,5	20,5	20,46	20,46	20,46

7.2.2 Yeraltıları Dolaşım Derinliğinin Sıcaklıkla Belirlenmesi

Kuyularda ve maden işletmelerinde ölçülen sıcaklıklar derinliğe bağlı olarak artış sergiler (jeotermik gradyan). Jeotermik gradyan değerleri bir lokasyondan diğerine değişir ve 100 m. derinlik için 1 °C den daha küçük veya 5 °C den daha büyük değerler alabilir. Örneğin Ontaria (Kanada) ve Transvaal (Güney Afrika) da bu değer kilometre başına 9-10 °C olarak saptanmıştır (Ketin, 1977). Ancak ortalama değer 3°C /100 m. olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde yeraltıları sıcaklığı akifer kayalarla denge halindedir. Böylece kaynaklarda ve kuyularda ölçülen sıcaklıklar dolaşım derinliği hakkında bilgi verir (Mazor, 1991).

Derinlik = (T ölçülen- T yüzey)/ ΔT /100 formülü uygulandığında kaynakların dolaşım derinlikleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

T ölçülen: Çalışma alanında kaynak çıkış noktalarında ve kuyularda ölçülen su sıcaklığı

T yüzey: Günyüzü havzasının ölçülen ortalama sıcaklığı: Sivrihisar Meteoroloji istasyonunun uzun yıllar ortalaması sıcaklık değeri olan 11.35 °C alınmıştır

ΔT : Derinliğe bağlı değişen sıcaklık, çalışma alanında hakim kayaç mermerler için 3°C /100 m. olarak alınmıştır. Buna göre, su noktaları için hesaplanan dolaşım derinlikleri Çizelge 7.3’de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi, en düşük dolaşım derinliği 12 m. ile K2’no’lu kaynak en yüksek dolaşım derinliği ise 788 m. ile K7 no’lu kaynak olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.3: Su noktalarına ait dolaşım derinlikleri

Kaynak No	Adı	X (K) m.	Y (D) m.	Kot (m.)	Derinlik (m.)	T (°C)	Gözlem Tarihi
K1	Yeniçıkırı kaynağı	4341980	399353	887	382	22,80	1986-2005
K2	Musluk çeşmesi	4347658	395851	1068	12	13,20	2004-2005
K3	Çukurçeşme	4351171	396769	1011	88	14,00	2004-2005
K5	Subaşı kaynağı (toplam)	4353611	399217	961	622	30,00	2000-2005
K6	Atlas kaynağı	4356938	393466	1055	255	19,00	1998-2005
K7	Çardakhamamı	4366839	390127	925	788	35,00	1991-2005
K8	Nasrettin Hoca	4373481	385292	943	378	22,70	1994-2005
K9	Babadat kaynağı	4374508	320558	917	305	20,50	1979-2005

7.3 Depolama

Günyüzü havzası içindeki çatlaklı, karst ve taneli akifer sistemlerinin beslenmesinde önemli rol oynayan, geçirimsiz ortam olarak sınıflandırdığımız metamorfik şistler,

granitik kayaçlar ve diyabaz daykılarla sınırlanan mermerler, sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayaç niteliğindedir.

Tüm akifer sistemlerini içeren havzada, depolama bölgeleri, doymun olmayan, geçiş zonu (epikarst) ve doymun zonlar olarak ayrılmaktadır. Doymun olmayan zon, mevsimsel olarak ve sellenmelere bağılı olarak hızla dolun ve boşalan rezervuar niteliğindedir Nitekim bu bölgelerde yüksek hidrolik eğim ve daha geniş erime boşluk ve kanallarının yer alması nedeniyle boşalım katsayısı 10^{-2} gün⁻¹ mertebesinde olmaktadır (Allison ve diğ., 1994).

Ayrıca doymun zon dinamik ve statik rezerv olarak ayrılmaktadır. Çizelge 5.6 da kaynakların ayrı ayrı dinamik depolama kapasiteleri verilmiştir (bkz. Bölüm 5.5.1). Dinamik rezerv, yerçekimi etkisi ile hareket etmekte ve doymun olmayan zondaki su ile birlikte kaynağı beslemektedir. Bu bölgenin altında yer alan ve statik rezerv olarak adlandırılan kısmın ise boyutları değışkendir. Statik rezerv Tezcan (1993) tarafından sürekli depo olarak adlandırılmıştır. K2 kaynağı sığ dolaşımli kaynak olup mevsimsel olarak zaman zaman kurumaktadır. Tüm verilerin değıerlendirmeleri göstermiştir ki; K3, K6, K8; K9 kaynakları sığ dolaşımli kaynaklardır ve bu kaynakların gerisinde sürekli depolama mevcuttur. K4, K5 ve K7 kaynaklarında ise su, büyük oranda fay hattına bağılı olarak çizgisellik izler ve sürekli rezerv aynı şekilde yüksektir. K1 kaynağı ise bu iki sistemin arasında yer alan kaynaktır. Yakınında açılan kuyuların faaliyete geçmesi ile birlikte su seviyesi düşmüş ve kaynak kurumuştur. Bölüm 4.3.4’de anlatılan nedenlerden K1 kaynağı civarında zengin statik depo mevcuttur. EKA-5’deki hidrojeolojik kesitte görüldüğü gibi K1 kaynağının sürekli deposu senklinal konumundadır.

7.4 Boşalım

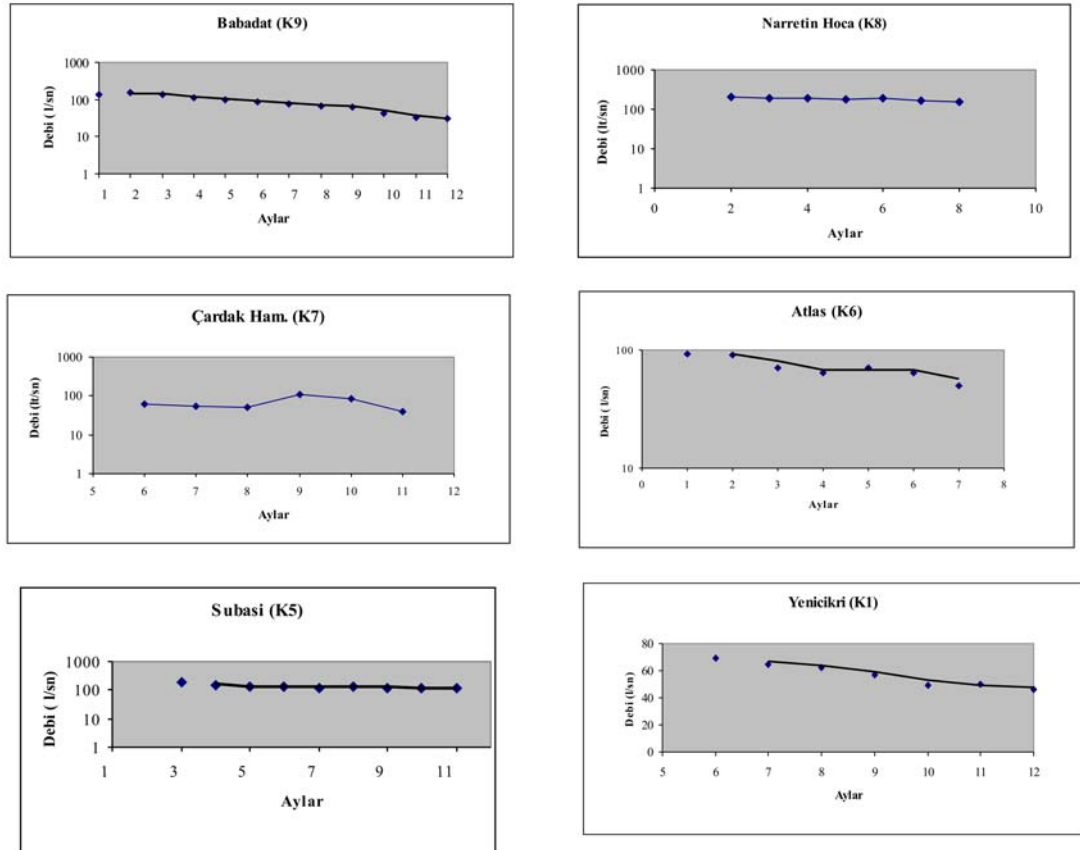
Karst akiferinin hidrodinamik davranışlarının tanımlanmasına yönelik çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Kaynakların sınıflandırılmasında yıllık maksimum boşalım (Q_{max}) ve yıllık minimum boşalım(Q_{min}) oranı kullanılmaktadır (Ekmekçi ve diğ., 2003b). Bu oranın yüksek ve yılın her gününde kaynak boşalımını 0’dan büyük olması durumunda “tam akımlı” (fullflow) bir kaynak olarak değıerlendirilmektedir. Bu oranın düşük ve yıl içindeki kaynak boşalımını 0’dan büyük olması durumunda ise kaynak “dip savak akım” (underflow) şeklinde boşalmaktadır. Maksimum ve minimum boşalım oranının ∞ ‘a doğru artması ise “dolu savak” veya “dip savak-

dolu savak” kaynakları ifade etmektedir. Bu tür kaynaklar yıl içinde tamamen kurumaktadır (Aydın, 2005). Bu sınıflandırmaya göre çalışma alanımızdaki kaynaklar gruplandırılmıştır (Çizelge 7.4)

Çizelge 7.4: Kaynak boşalımına göre kaynakların sınıflandırılması

Kaynak No	Adı	$Q_{max} (lt/sn)$	$Q_{min} (lt/sn)$	Q_{max}/Q_{min}	$Q (lt/sn)$	Kaynak Türü
K1	Yeniçikri kaynağı	108	49, 0	2,2	Sürekli	Tam akım
K2	Musluk çeşmesi	0,5	0	∞	Mevsimsel	Dolusavak
K5	Subaşı kaynağı (toplam)	181	112	1,61	Sürekli	Tam akım
K6	Atlas kaynağı	91	50	1,82	Sürekli	Tam akım
K7	Çardakhamamı	140	39	3,58	Sürekli	Tam akım
K8	Nasrettin Hoca	219	152	1,44	Sürekli	Tam akım
K9	Babadat kaynağı	100	68	1,47	Sürekli	Tam akım

Karstik kaynakların sınıflandırılmasında ayrıca hızlı ve taban akım bileşenlerinden oluşan ve eksponansiyel bir azalma sergileyen akım hidrografları kullanılmaktadır.



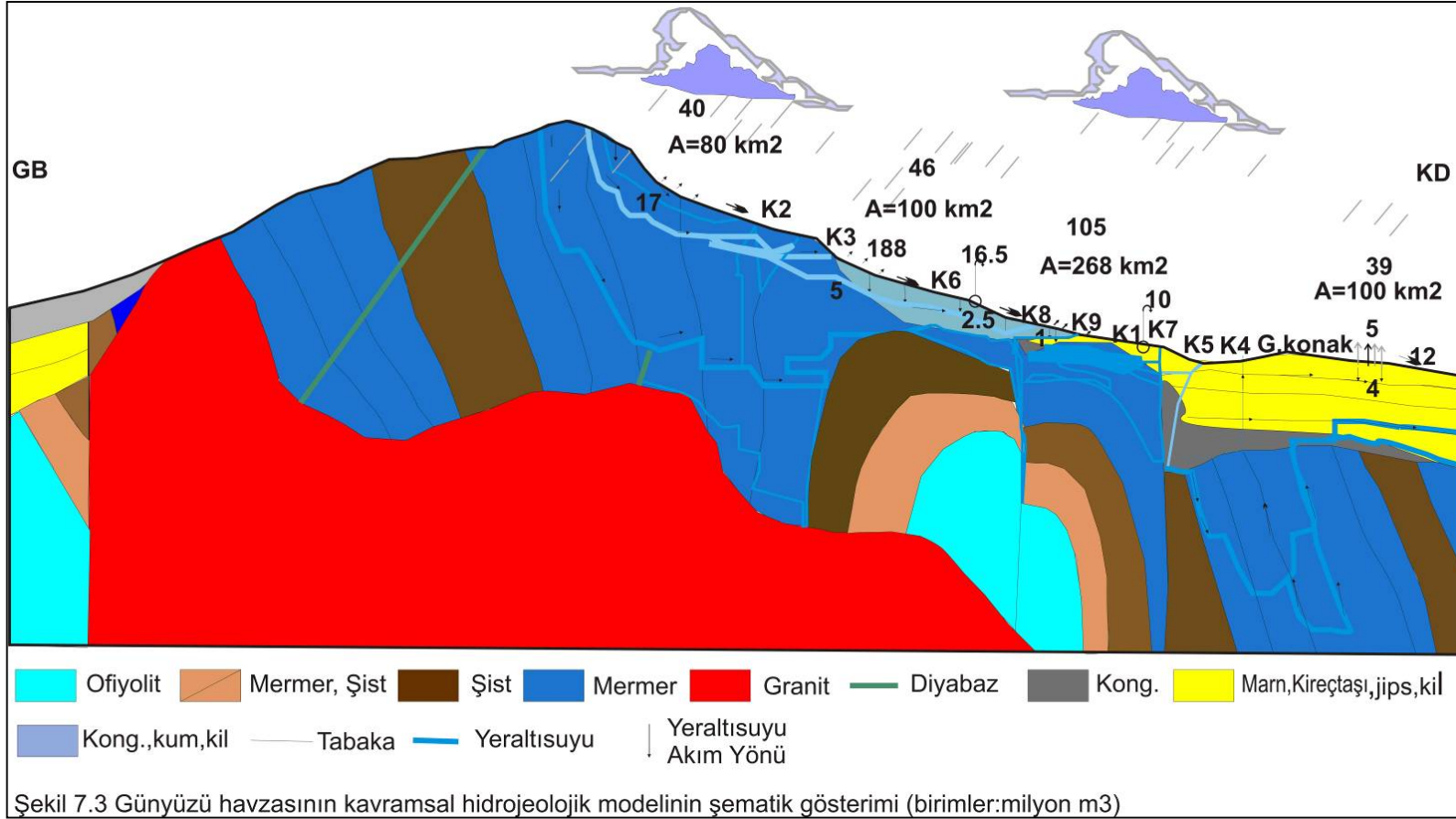
Şekil 7.2: Su noktalarının çekilme eğrileri

Çalışma alanındaki kaynakların çekilme eğrileri çizildiğinde (Şekil 7.2) Kaynakların tümünün büyük depolamalı dipsavak akımlı kaynaklar olarak gruplandığı görülmüştür.

7.5 Kavramsal Hidrojeolojik Model

Bölgeyi temsil etmesi amacıyla oluşturulan hidrojeolojik model Şekil 7.3’de sunulmuştur. Model oluşturulurken öncelikle Bölüm3’de hazırlanan jeolojik kesitler dikkate alınmıştır. Havzanın tektonik ve yapısal özellikleri göz önüne alınarak akiferler ve geçirimsiz birimlerin geometrisi de doğru olarak çizilmiştir. Bölüm 5, 6 ve 7’de anlatılan tüm veriler dikkate alınarak suların gruplandırılması yapılmıştır. Su bütçesi model üzerinde gösterilmiştir. Havza içinde yer alan ve özellikleri önceki bölümlerde açıklanan kaynakların dolaşım ve boşalımı genellikle faylarla kontrol edilmektedir. Tritiyum içeriğinden faydalanılarak suların dolaşım süreleri hesaplanmıştır.

Paleozoik yaşlı mermerler ve Neojen kireçtaşları ve konglomeralar iki ayrı akifer sistemi oluşturmaktadır. Mermerlerin yüksek kotlarda gelişmiş kırık-çatlak sistemi üst akiferi oluşturur ve sık dolaşımlyı kaynaklar olan K3 ve K2 bu akifer sistemini drene etmektedir. Sık dolaşımlyı diğerk kaynaklar (K6, K8, K9) ise Neojen birimlerden boşalmaktadır. K6 kaynağında beslenim çok hızlı ve K3 dışında dolaşım süresi en kısa olan kaynaktır. Modelde görüldüğü gibi, faylanmalarla düşük kotlarda Neojen birimlerin altında gömülü olan Paleozoik yaşlı mermerler senklinal konumunda alt akiferi oluşturmaktadır. Derin dolaşımlyı kaynaklarda (K4, K5, K7) bu akifer sistemini drene etmektedir. Bu sular aynı zamanda farklı oranlarda birbirleriyle de karışmaktadır. Bu sistemde dolaşan suların dolaşım sürelerinin uzunluğu değişmektedir (>10-50 yıl). K1 kaynağı derin dolaşımlyı sistemden çok etkilenmekle birlikte gömülü sarnıç görevi yapan karstik yapıların varlığı ile ayrı bir konuma sahiptir (bknz. Bölüm 4). K1 kaynağı civarında yaklaşık aynı derinlikte açılan kuyularda ölçülen sıcaklık farklılıkları derin dolaşımlyı sistemden farklı oranlarda kuyuların etkilendiğini göstermektedir.



8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma alanında yer alan birimler, dört ayrı zaman dilimine aittir. Bunların en yaşlısı, temeli oluşturan Sivrihisar metamorfitleridir. Bu birimin üzerine, inceleme alanında farklı büyüklükte yüzleklerle temsil edilen Sivrihisar granodiyoriti gelir. Sivrihisar granodiyoriti ile Sivrihisar metamorfitleri arasındaki dokanakta, magmatik sokulum esnasında oluşmuş kontak metamorfik kayaları bulunur. Bu iki birimin üzerinde açısız uyumsuzlukla yeralan Miyosen serisi üç ayrı formasyonla temsil edilmektedir. Bunlar, en altta Hisar formasyonu karasal kırıntılıları, üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak silt, kil, marn, kireçtaşı ve çamurtaşından oluşan açık renkli Çakmak formasyonu ve üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak yeralan Mercan formasyonudur. Mercan formasyonu karbonat yüzdesi yüksek silt, kil, marn ve kireçtaşı araldanmasından oluşur. Söz konusu 3 formasyon birbirlerini yanal ve düşey geçişli olarak izler ve yan yana ortamların ürünü olarak yer yer birbirlerini üzerlerler. Bütün bu birimlerin üzerinde uyumsuz olarak, değişken kalınlıklı Pleyistosen yaşlı Kepen formasyonu yer alır. Çalışma sahasında en genç birim, vadilere yerleşmiş Kuvaterner yaşlı akarsu çökelleridir.

Çalışma sahası, dört ayrı deformasyon ile temsil edilen bir tektonik evrim geçirmiştir. Bunlardan ilki Sivrihisar metamorfitlerinin (Permo-Karbonifer) yapısal özelliklerini oluşturmuştur ve çalışma alanındaki en yaşlı yapılarda bu döneme aittir. İkinci dönem (Paleosen-Eosen) Sivrihisar granodiyoritinin sokulması ile eş yaşlı olan deformasyondur. Bu deformasyon, Sivrihisar metamorfitlerinin yapısal özelliklerinin değişmesine neden olmuştur. Bölgedeki yüksek alanların tamamının yapısı, bu deformasyonun ürünü olan kapalı kıvrımlarla temsil edilmektedir. Bu dönemi izleyen üçüncü dönem (Oligosen-Miyosen) ise Sivrihisar metamorfitlerinin ve Sivrihisar granodiyoritinin yükselmesi ve faylanarak yüzeylenmesi ile temsil edilir. Son dönem ise Kuvaterner yaşlı birimlerin içinde yer yer gözlenebilen normal fayların, eski bir fay zonu üzerinde gelişen izleri olup bölgede, eski fayların reaktivasyonu ile meydana gelen güncel sismik aktivite ile temsil edilmektedir.

Bu çalışmanın temelini oluşturan ve yukarıda özetlenen jeoloji ve yapısal özelliklerinin açıklanmasında ve kavramsal modelin oluşturulmasında çözünürlüğü yüksek uydu görüntüleri, arazi çalışmaları ve birimlerin kalınlık ve yapısal konumlarının belirlenmesinde DSİ kuyu bilgileri, Önder ve diğ.,(1994) tarafından hazırlanan eş rezistivite ve elektriksel yapı kesitleri kullanılmıştır. Sahaya ait bu veriler, jeolojik yapının anlaşılmasında daha etkili bir yöntem olan sismik yöntemlerin kullanılmasıyla güçlendirilebilir.

Genel olarak geçirimsiz ortam olarak sınıflandırdığımız metamorfik şistler, granitik kayalar ve diyabaz daykalarıyla sınırlanan mermerler, sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayaç niteliğindedir. Yüksek kotlarda yer alan mermerler havza içindeki diğer çatlaklı, kısmen karstik ve taneli akifer sistemlerinin beslenmesinde de önemli rol oynamaktadır.

Çalışma alanını oluşturan formasyonlar, hidrojeolojik özelliklerine göre verimi iyi, orta, zayıf akiferler ve su taşımazlar olarak gruplandırılmıştır. Bunlar, özgül debileri 0.1 lt/sn/m'den az olanlar, verimi zayıf akifer ve su taşımazlar, özgül debileri 2 lt/sn/m'den fazla olanlar, verimi iyi yerel akifer, özgül debileri 0.1 lt/sn/m, ve 2 lt/sn/m arasında olanlar, verimi orta yerel akifer olarak haritalanmıştır.

Sivrihisar-Günyüzü meteoroloji istasyonu ile Yörme (Gümüşkonak) ve Ahiler DSİ yağış istasyonu yağış verilerinden yararlanılarak çizilen ortalama yağıştan eklenik sapma grafikleri, bölgenin 1991-1995 yılları arası kurak, 1995-2000 yılları arasında yağışlı, 2000 yılından itibaren de yeniden kurak döneme girdiğini ortaya koymuştur.

Günyüzü havzasına düşen ve uzun yıllar ortalaması 393 mm/yıl olan yağışın % 84-89'u gerçek buharlaşma sonucu yeniden atmosfere döndüğü ve yağışın ancak % 11-16'sının akışa geçtiği ortaya konmuştur. Burada sözü edilen yüzey, yüzeyaltı ve yeraltı akışı şeklindeki toplam akıştır. Yeraltı suları yüksek kotlarda büyük debili kaynaklar olarak tekrar havzaya boşalmakta ve tüm sistem 702-709 m. kotlarından akan Sakarya nehri tarafından drene edilmektedir.

Çalışma alanı içinde yapılan Kavuncu köprüsünün mansabında (EİE akım verileri, 1959-1989) ve Ayvalı yaylası girişi köprü mansabında (EİE akım verileri, 1988-1990) ölçülen akım verilerinden faydalanılarak baz akım grafikleri çizilmiş ve bölgesel buharlaşma

(% 84-88), yüzeysel akış (%1-3) ve yeraltısuyu yüzdeleri hesaplanmıştır. Ancak bu verilerin ortalamalarının farkından yararlanılarak oluşturulan meteorolojik su bütçesindeki akış miktarı ($100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$), sürdürülebilir su yönetimi açısından yanıltıcı olabilir. Bu nedenle Kavuncu ve Ayvalı yaylasında, en az iki hidrolik dönem için eş zamanlı ölçümler yapılmalıdır.

Örnek sularda, kurak ve yağışlı dönemde yapılan ölçümler suların sıcaklık değerlerinin hemen hemen değişmediğini, kimyasal yapılarındaki değişimin çok düşük olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, havza genelinde karstik kaynakların boşaldığı sistemde yeraltısuyu akışının, kırık-çatlaklar boyunca gerçekleştiğini göstermiştir. Kaynak çekilme analizleriyle, sık dolaşimli Atlas kaynağında boşalım katsayılarının 10^{-2} gün^{-1} ve diğerlerinde 10^{-3} gün^{-1} mertebesinde değiştiği görülmüştür. Ayrıca kaynak debilerindeki sellenmelere bağlı olarak gözlemlenen ani artışlara bakılarak yeraltısuyu akışının, doymun olmayan zonda kısmen karstlaşmış karstik kanallar ve doymun zonda kırık-çatlak sistemleri ile karakterize edildiği anlaşılmıştır. Orta Sakarya bölgesinde Bilecik kireçtaşlarından boşalan suların debi değişim katsayısı değerleri % 74-163 olarak hesaplanmıştır (Aydın, 2005). Çalışma alanındaki Paleozoyik mermerlerden boşalan kaynaklarda ise bu değerler % 13-50 arasındadır. Bu sonuç, çalışma alanındaki mermerlerin Jura kireçtaşlarına göre çok daha zayıf bir karstik yapı geliştirdiğini ve buna bağlı olarak noktasal beslenimin de düşük olduğunu göstermektedir.

Sahadaki mermer ve kireçtaşlarının kaynak çekilme analizlerinden elde edilen boşalma katsayısı ve rezerv hacmi gibi özelliklerin, anlık ölçümlerle kontrol edilmesi yararlı olacaktır. Zira DSİ tarafından yapılan aylık ölçümler ve kurak dönem sonrası yapılan ölçümler doymun sistemin doğru anlaşılmasını sağlamıştır. Ancak özellikle şiddetli yağış sonrası akım değerleri belirlenerek doymun olmayan bölgedeki depolama miktarı ve boşalım katsayısının belirlenmesi, havzada sürdürülebilir su yönetimini oluşturulabilmesi için yararlı olacaktır. Çünkü yapılan çalışmalar, yeraltısularının önemli bir miktarının doymun olmayan kısımda bulunduğunu göstermiştir. Eung ve diğ. (2002)'de Meksika'da yaptıkları çalışmada stabil izotopları izleyici olarak kullanarak, yeraltısularının boşalımının % 52'sinin doymun olmayan zondan geldiğini göstermişlerdir.

9 su noktasında yerinde ve laboratuvarında yapılan ölçümlere göre kurak ve yağışlı dönem su örnekleri genel olarak $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ve $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ şeklinde bir katyon-anyon trendi sergilemektedir. Bu trend karbonatlı kayalardan gelen suların trendlerine benzediğinden akifer kayaların litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir. Sular, baskın olarak Ca^{++} - Mg^{++} - HCO_3^- lı sular sınıfında yer almaktadır. Yalnız Çardakhamamı (K7) $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ ve $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ şeklinde bir trend sergileyerek, Ca^{++} - Na^+ - HCO_3^- lı sular sınıfında yer almıştır.

İnceleme alanındaki soğuk suların (K1, K2, K3, K8, K9) ortalama Ca ve EC değerleri sırasıyla 3.8 meq/l ve 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. Bu değerler, Antalya Jura kireçtaşlarından boşalan sularda 5,7 meq/l, 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Atilla 1996), Orta Sakarya'da yer alan ve beslenimi-boşalımı Jura kireçtaşlarından olan Nardın kaynağında ise 6.4 meq/l ve 596 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür (Aydın, 2005). Bu sonuçlarda çalışma alanındaki mermerlerin Jura kireçtaşlarına göre eriyebilirliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Sakarya havzası içinde çalışma alanına yakın Sakarya nehrinin başlangıç kısmında yer alan Çifteler havzasındaki Kaymaz kaynağı Paleozoyik yaşlı mermerlerden boşalmaktadır ve ortalama EC değeri 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür (Günay, 2006). Bu sonuçlar Çifteler havzasında yer alan mermerlerin, Günyüzü havzasında yer alan mermerlerle benzer özellikte olduğunu göstermiştir.

Çalışma alanında incelenen sularda, arazide okunan değerlerin yanı sıra ana anyon ve katyon değerleri, TS 266, AB ve WHO içme suyu standartlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Buna göre örneklerin tümü maksimum izin verilen değerin altında kalarak içilebilir sular grubuna girmiştir. Suların sertliği Fransız sertlik skalasına göre 19-39 °F aralığında kalarak oldukça sert ve sert sular sınıfında yer almışlardır ki bu sonuç sahanın litolojik özellikleriyle örtüşmektedir.

Su örnekleri, ağır metal analizleri kapsamında Ag, Al, B, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn açısından değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçların tümünün müsaade edilen değerlerin altında kaldığı görülmüştür. Bu durum, ağır metallerin bölge içme sularında herhangi bir sakınca oluşturmayacağını göstermektedir.

Bütün sonuçlar, Günyüzü havzasında yeraltısularının henüz kirlenmediğini ortaya koymuştur. Ancak havzanın güneydoğusunda kalan Kayakent kasabası içindeki

Çukurçeşme kaynağında (K3) yüksek amonyak, nitrit ve nitrat değerleri ölçülmüştür. Bu yüksek değerlerin nedeninin arazi çalışmaları esnasında Çukurçeşme kaynağının beslenme alanı içinde yeralan Kolağası tepe civarındaki mermerlerin, Kayakent belediyesinin atık sahası olarak kullanılmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Bu gözlem, başta havzanın yüksek kotlarında yeralan ve tüm bölgenin akifer sistemlerinin beslenmesinde önemli rol oynayan mermerler olmak üzere, sahadaki tüm karbonatlı birimlerin kesinlikle koruma altına alınması zorunluluğunu ortaya koymuştur.

Çalışma kapsamında elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri, Ankara meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8.\delta^{18}\text{O} + 14,5$) ve Dünya meteorik su doğrusu ($\delta^2\text{H} = 8.\delta^{18}\text{O} + 10$) değerleri ile karşılaştırılmış ve Çukurçeşme (K3) dışındaki tüm sular Ankara meteorik doğrusu ile Dünya meteorik su doğrusu arasında kalmıştır. Bu sonuç, inceleme alanındaki suların atmosferik kökenli olduğunu göstermiştir.

Sakarya havzası içinde daha önce yağmur suyunu temsil eden kaynakların verileri ile çalışma alanına ait yağmursuyu verileri kullanılarak hazırlanan diyagramda, inceleme alanında $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik ilişkisi $\%0-0,32$ olarak belirlenmiştir. Bu ilişkiden hareketle suların beslenme yüksekliklerinin drenaj sınırları içinde kaldığı ortaya çıkmıştır.

Trityum-EC grafiği çizilerek, farklı kökenli suların gruplandırılması sonucu; düşük trityum ve yüksek EC'li sular derin dolaşım (K4, K5, K7), yüksek trityum ve düşük EC'li suların sık dolaşım (K2, K3, K6, K8, K9) olduğu görülmüştür. K1 kaynağı ise bu grupların arasında yer almıştır. Havzanın oluşturulan hidrojeolojik kavramsal modelinde, Paleozoik yaşlı mermerler ile Neojen yaşlı kireçtaşları ve konglomeraların iki ayrı akifer sistemi oluşturduğu ortaya konmuştur. Yüksek kotlarda yeralan gelişmiş kırık-çatlak sistemine sahip mermerler, üst akiferi oluşturur ve sık dolaşım K3 ve K2 kaynakları, bu akifer sistemini drene etmektedir. Sık dolaşım K6, K8, K9 kaynaklarının beslenme ve dolaşımı ağırlıklı olarak sözkonusu yüksek kotlardaki mermerlerden, boşalımı ise Neojen birimlerden olmaktadır. Faylanmalarla, düşük kotlarda Neojen birimlerin altında gömülü olan Paleozoik yaşlı mermerler ise alt akiferi oluşturmaktadır. Derin dolaşım K4, K5, K7 nolu sular bu alt akifer sistemini ve Neojen birimleri drene etmektedir. Özellikle K4 kuyusu, Neojen akifer sisteminden büyük oranda etkilenmektedir. Anılan sular, aynı zamanda belli oranlarda birbirleriyle de karışmaktadır.

Yeraltısularının akiferden geçiş süreleri trityum ölçümlerinden yararlanılarak ve piston akım modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Piston akım modeli; yeraltısuyunun hidrojeolojik sistem içerisinde borularda olduğu gibi hareket ettiği ve birbirini takip eden iki zaman adımı içerisinde sisteme giren suların hiç karışmadığı kabulüne dayanmaktadır. Hiç karışım olmadığı durum varsayılarak belirlenen yeraltısuyu yaşı, olası yaş aralığının alt sınırını oluşturmaktadır. Tam karışım modelinde ise sisteme giren suyun tamamen karıştığı varsayılmaktadır. Bu durum, yeraltısuyu dolaşımının hızlı olduğu karstik sistemleri gelişmiş akiferler için geçerlidir (Tezcan, 1993). Dolaşımı ağırlıklı olarak kırık-çatlaklar boyunca gerçekleşen çalışma alanındaki su noktalarının trityum değerleri ile yeraltısuyunun akiferden geçiş süresi piston akım modeli yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre çalışma alanında sıcaklığı en yüksek olan su noktası ardakhamamı (34-35.5 °C arasında) kaynağıdır ve 0-3,45 TU arasında değişen trityum değerleri ile havzanın en yaşı suyunu temsil etmektedir (30-50 yıl). Bundan sonraki aşamada kurak dönem sonrası Çardakhamamı kaynağında ¹⁴C analizlerini yapılması planlanmıştır.

Sakarya nehri ana drenaj alanı içindeki Günyüzü havzası su bölüm hattı karstik özellikler gösteren mermerlerden geçmektedir. Mermerlerin doğrultu ve eğim yönü, kırık-çatlak sistemi ağırlıklı Günyüzü havzasını besler konumdadır. Bu nedenle yüksek kotlarda yüzeyleyen mermerler üzerine düşen yağış miktarı ayrıca hesaplanmış ve Günyüzü havzası bütçesine dahil edilmiştir. Buna göre havzanın toplam yıllık beslenimi toplam yağıştan yerel geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz ortamlardan süzölme olarak $29,6 \cdot 10^6$ m³/yıl, boşalımı ise kuyulardan çekim, kaynaklar, yüzey akışı ve yeraltısuyundan buharlaşma olarak $31,8 \cdot 10^6$ m³/yıl hesaplanmıştır. Günyüzü havzası genel su bütçesi ve yeraltısuyu bütçesinde boşalımın, beslenim ile gelen su miktarından fazla olduğu belirlenmiştir. Değişik havzalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin Antalya Kırkgöz kaynakları ve Sakaryabaşı su bütçesinde beslenim ile gelen su miktarının boşalımdan az olduğu hesaplanmıştır (Günay ve Yayan, 1979; Günay, 2006). Bu durum araştırmacılar tarafından yan havzalardan iç beslenim olarak açıklanmıştır. İç beslenimin olmadığı kapalı havzalarda ise beslenim-boşalım eşitliğinin sağlanamayışı mermerlerde dolaşım süresinin uzunluğu ve yukarı doğru hareket eden derin dolaşım sistemindeki suların miktarının bilinmemesi olarak açıklanmaktadır (Carrillo, 2000).

Günyüzü havzası akiferleri geçirimsiz birimlerle sınırlandırıldığı için ortaya çıkan beslenme-boşalım arasındaki boşalığa yönelik artı değer (beslenme eksikliği), mermerlerdeki faylar, dike yakın çatlak ve kırık sistemi nedeniyle yoğun noktasal beslenmeler, kar yağışı ve bu nedenlerden dolayı buharlaşma yüzdesinin hesaplanandan daha düşük olmasındandır. Yarı kurak iklim özelliği gösteren havzada beslenme-boşalım eşitliğinin sağlanamayışı mermerlerde depolanan statik su fazlalığı ve depolama süresinin uzunluğundan da kaynaklanmaktadır.

Günyüzü havzasının üst kotlarını oluşturan karstik sistemde, doğa var olan haliyle dengesini kurmuş ve emniyetli verim kendiliğinden boşalan su olarak belirlenmiştir (16.5 milyon m³). Günyüzü havzasında yaşlı statik suyun varlığı (Yeniçıkırı kaynağı civarı) ve derin dolaşımly yukarı doğru hareket eden suyun miktarının hesaplanamayışı, emniyetli verim tesbitini ve sürdürülebilir su yönetimini güçleştirmektedir. Havza içinde yapılacak sismik ölçümler ve derin sondajlarla, faylanmalarla Neojen örtü altında yeralan mermerlerin kalınlığı ve jeolojik yapının tam olarak aydınlanması ile statik suyun miktarını doğru olarak hesaplamak mümkün olacaktır. Burada cevaplanması gereken soru, yüzlerce yıllık yağışlarla depolanan statik suyun ne kadar sürede ve ne şekilde kullanılacağıdır. Yenilenme süresinin çok uzun olduğu anlaşılan Günyüzü havzasında yeraltı suları hızla tüketilmeyecek ve kirletilemeyecek kadar değerlidir. Sonuç olarak, havzada kapalı senklinal konumunda oluşan basınçlı akiferler bilinçli ve kontrollü olarak tüketilmelidir. Havza içinde kuyularla çekim 10x10⁶ m³'e ulaşmıştır. Çalışmalar süresince, Yeniçıkırı ve Subaşı kaynağı civarında açılan kuyulardan yapılan su çekimine bağlı olarak yeraltı suyu seviyesinde değişiklik olduğu ve Yeniçıkırı kaynağının kuruduğu gözlenmiştir. Yapılan çekimlerin artarak devam etmesi halinde mevcut kaynakların kurummasına, kuyularda dinamik seviyenin derinleşmesine, Sakarya nehrine giden suyun azalmasına ve kirlenmeye açık hale gelmesine neden olacaktır. Özellikle bu kaynaklar civarında kuyulardan çekimlere su seviyesi değişimleri dikkate alınarak izin verilmelidir. Yıllık su kullanım raporları hazırlanarak, su tüketimin azaltılması, etkin sulama yöntemleri geliştirilmesi konusunda halkın bilgilendirilmesi ve sulu tarım yerine alternatif tarım araştırmaları yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Andreo, B. and Carrasco, F.,** 1999. Application of geochemistry and radioactivity in the hydrogeological investigation of carbonate aquifers (SierrasBlanca and Mijas, southern Spain, *Applied Geochemistr*, vol. **14**, p. 283-299.
- Abdulrazzak, M. J., Sorman, A. U. and Alhames, A. S.,** 1989. Water balance approach under extreme arid conditions - a case study of Tabalah basin, Saudi Arabia. *Hydrological Processes*, vol. **3**, p. 107–122.
- Akdeniz, U., Ertürk, B., Eser, T., Sazdiken, S.,** 2005. Eskişehir-Sivrihisar-Kayakent Yeniçıkırı Kaynağı Karst Hidrojeolojisi Etüt Raporu, DSİ, (Yayınlanmamış).
- Allison, G. B., Gee, G. W. ve Tyler, S. W.,** 1994. Vadose-zone techniques for estimating ground-water recharge in arid and semiarid regions. *Soil Science Society of America Journal*, vol. **58**, p. 6–14.
- Altınlı E.,** 1973. Orta Sakarya Jeolojisi. Cumhuriyetin 50.Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler.159- 192
- Appelo, C. A. J. and Postma, D.,** 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. A. A.Balkema, Rotterdam.
- Aquilina, L., Ladouche, B. and Döfliger, N.,** 2005. Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring waters. *Applied Geochemistry* vol. **20**, p. 2189-2206.
- Atila, A.Ö.,** 1996. Çok Değişkenli istatiksel analiz teknikleri kullanılarak hidrojeokimyasal verilerin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, H.,** 2005. Harmanköy-Belyayla (Bilecik) Karst Sisteminin Morfoloji-Hidrojeoloji İlişkileri Açısından İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Biçer, A. ve Mumcu, N.,** 1978. Sivrihisar-Günyüzü ovası hidrojeolojik ve rezistivite etüt Raporu, DSİ, (Yayınlanmamış).
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B.,** 1975. Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun temel özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri*, Ankara, s. 70-76.
- Carrillo, R. J. J.,** 2000. Application of the groundwater-balance equation to indicate interbasin and vertical flow in two semi-arid drainage basins, Mexico, *Hydrogeology Journal*, vol. **8**, p. 503-520.
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M.C., Dirik, K.,** 1999. Structural evulation of the Tuzgölü basin in Central Anatolia, Turkey, *Journal of Geology*, vol. **107**, p.693-706.
- Clark, D. ve Fritz, P.,** 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology, USA.

- Dilsiz, C.**, 2006. Conceptual hydrodynamic model of the Pamukkale hydrothermal field, southwestern Turkey, based on hydrochemical and isotopic data. *Hydrogeology Journal*, vol. **14/4**, p. 562-572.
- Davis, J.C.**, 1986. Statistics and Data Analysis in Geology, John Willey and Sons Inc., New York, 646 p.
- Dennis, P. C. and Murray, B. S.**, 2002. Karst groundwater basin delineation, Fort Knox, Kentucky *Engineering Geology*, vol. **65** (2-3), p. 125-131.
- Deutsch, J.W.**, 1997. Groundwater geochemistry: fundamentals and applications to contamination CRC Press LLC. Florida.
- Devlin, F. J. ve Sophocleous, M.**, 2005. The persistence of the water budget myth and its relationship to sustainability. *Hydrogeology Journal*, vol. **12**, p. 549-554.
- Dirik, K. ve Erol, O.**, 2000. Tuzgölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi Orta Anadolu-Türkiye, *TPJD Bülteni*, Özel Sayı **5**.
- Dinçer, B. ve Özaslan M.**, 2004. İlçelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması. Devlet Planlama Teşkilatı Bölgesel Gelişme ve Yapısal Uyum Genel Müdürlüğü Raporu <http://ekutup.dpt.gov.tr/>
- Dumlu, O., Yalçın, H.T., Bozkurtoğlu, E.**, 2006. Yeraltısuyu Jeolojisi ve Hidroliği, Literatür yayıncılık, İstanbul.
- Drever, J. I.**, 1982. The Geochemistry of Natural Waters, Prentice Hall, New Jersey.
- De Vries, J. J. and Schwan, J.**, 2000. Groundwater flow and geological structure of the Algarve, Portugal. Faculty of Earth Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam, p. 104.
- De Vries, J. J. and Simmers I.**, 2002. Grounwater recharge: an overview of processes and challenges, *Hydrogeology Journal*, vol. **10**, p. 5-17.
- Edmunds, W. M. and Gaye, C. B.**, 1994. Estimating the variability of groundwater recharge in the Sahel using chloride. *Journal of Hydrology*, vol. **156**, p. 47-59.
- Ekmekçi, M.**, 2005. Karst in Turkish Thrace: compatibility between geological history and karst type, *Turkish Journal of Earth Sciences*, vol. **14**, p. 73-90.
- Ekmekçi, M.**, 2003. Review of Turkish karst with emphasis on tectonic and paleogeografic controls, *Acta Carsologica*, vol. **32-2**, p. 205-218.
- Ekemen, T., Kaçaroğlu, F.**, 2001. Tacer Dağı (Sivas-Ulaş) kaynaklarının hidrojeolojisi, Cumhuriyet Üniversitesi *Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A 2, p. 87-102.
- Erdinç, H.**, 1978. Sivrihisar kristalin masifinin jeolojisi ve petrolojisi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Fen Fakültesi, Mineraloji ve Petrografi Kürsüsü, İstanbul.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E.**, 1973. Yeraltısuları jeolojisi, s. 301-302 Özarkadaş matbaası, İstanbul.

- Eriksson, E.**, 1975. The distribution of salinity in groundwaters of the Delhi region and recharges of groundwater. *Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology proceedings of an advisory group meeting*. Vienna 27-31 January p. 171-177.
- Erişen, B.**, 1974. Hamamkarahisar (Sivrihisar) kaplıcasına ilişkin hidrojeoloji raporu (MTA, Yayınlanmamış), Ankara.
- Erol, O.**, 1955. W.Weingart'ın 2248 derleme raporuna ait korelasyon revizyonu raporu, MTA, Derleme no: 2473, Ankara.
- Eung, S. L. and Krothe, N. C.**, 2002. A four-component mixing model for water in a karst terrain in south-central Indiana, USA. Using solute concentration and stable isotopes as tracers. *Chemical Geology*, vol. **179**, p. 129-143.
- Freze, A.R. and Cherry A.J.**, 1979. Groundwater by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632 London UK.
- Gautier, Yves.**, 1984. Deformations et metamorphismes associes a la suture Tethysienne en Anatolie Centrale, (Region de Sivrihisar, Turquie), *Doc. Thesis*, Paris.
- Gieske, A. and De Vries J. J.**, 1990. Conceptual and computational aspects of the mixing cell method to determine groundwater recharge components *Journal of Hydrology*, vol. **121**, p. 277-292.
- Göncüoğlu M. C., Turhan, N., Şentürk, Ş., Uysal, Ş., Özcan, A.**, 1996. Orta Sakarya'da Nallıhan- Sarıcakaya arasındaki yapısal birimlerin jeolojik özellikleri, Jeoloji Etüdleri Dairesi, MTA Derleme, No: 9973.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, Ş., Uysal, Ş., Özcan, A., Yalnız, M.K.**, 2000. A geotraverse across Northwestern Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution, *The Geological Society of London*, Special Publications, vol. **173**, p. 139-161.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H.J.**, 1996. Orta Sakarya ve Güneyinin Jeolojisi, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 9973.
- Günay, G. ve Yayan, T.**, 1979. Antalya-Kırkgöz Karst Kaynaklarının Hidrojeolojisi, DSİ-UNDP Project, TUR/77/015, Technical Report No.32, Ankara.
- Günay, G.**, 2006. Hydrology and hydrogeology of Sakaryabaşı karstik springs, Çifteler, Turkey. *Environmental Geology*, **51**: 229-240.
- Gray, N.F.** 1994. Drinking Water Quality, Problems and Solutions, John Wiley & Sons Ltd., England.
- Hsü, K. J., Ryan, W.B.F. and Cita, M.B.**, 1973. Late Miocene dessiccation of the mediterranean *Nature* .**242**, p.240-244.
- Issar, AS. and Passchier, R.**, 1990. Regional hydrogeological concepts. IAH Int Contrib Hydrogeology 8. Heinz Heise, Hannover, p. 21-98.
- İçten, Z.**, 2001. Sivrihisar-Günyüzü Granitoidlerine bağlı damar kayaçlarının mineralojik ve petrografik incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Karimi, H., Ezatollah, R., Bakalowicz, M.,** 2005. Characterising the main karst aquifers of the Alvand basin, northwest of Zagros, Iran by hydrogeochemical approach. *Hydrogeology Journal*, vol. **13**, p. 787-799.
- Ketin, İ.,** 1977. Genel Jeoloji Yerbilimlerine Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul. Cilt 1, s. 520-525.
- Kibar, M., Gökten, E., Lünel, T., Kadioğlu, Y.,** 1992. Sivrihisar intrusiv kompleksinin ve civarının jeolojisi, *TJK Bülteni*, **7**, s.78-86.
- Kibici, Y., Dağ, N., Özgenç, İ.,** 1993. Sivrihisar-Günyüzü (Eskişehir) granitoyid kuşağının mineralojik ve petrografik özellikleri, *Yerbilimleri*, **23**, s. 97-112.
- Koçyiğit, A.,** 1991. Changing stres orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW of Central Anatolia): *TPJD Bülteni* **3/1**, s. 48-55.
- Kovacs, A., Perrochet, P., Kiraly, L., Jeannin, P. Y.,** 2005. A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis, *Journal of Hydrology*, vol. **303**, Issues: 1-4, p. 152-164.
- Kresic, N.,** 1997. Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modelling, by CRC press Lewis Publishers, 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida 33431.
- Kulaksız, S.,** 1981. Sivrihisar kuzeybatısının jeolojisi, HÜ Yerbilimleri dergisi, **8**, s. 103-124.
- Lerner, D. N., Issar, A. S. and Simmers, I.,** 1990. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge, Heinz Heise, International Contributions to Hydrogeology, 8
- Lohman, S. W.,** 1972. Groundwater Hydrology. P: 90 John Wiley and Sons. USA.
- Maillet, P.,** 1905. Essats D2Hydraulique Eluviate, Paris
- Mazor, E.,** 1991. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology, Open University Pres, Celtic Court 22, Ballmoor Buckingham.
- Monod, O., Andrieux J., Gautier Y., Kienast, J. R.,** 1991. Pontides-Torides relationships in the region of Eskişehir, *Bull. Tech. Univ. İstanbul* vol. **44**. p. 257-278.
- Milanovic, P. T.,** 1981. Karst hydrogeology, Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA, p. 434.
- Mutlu, H. ve Sariiz, K.,** 2001. Geochemical and isotopic characteristics of Eskişehir thermal waters, Turkey *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, Izmir-Turkey p. 189-196.
- Nazik, L., Türk, K., Acar, C., Özel, E., Mengi, H., Aksoy, B., Tuncer, K., Güner, İ.N., Ekmekçi, M., Başal, A.,** 2001. Orta Sakarya Havzasının (Eskişehir ve Bilecik doğusu) Doğal Mağaraları, Jeoloji Etüdler Dairesi, MTA Derleme No: 10420 Ankara.
- Okay, A. I. and Tüysüz, O.,** 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Drann, B., Jolivet, L. Horvath F. & Serranne, M.(eds) The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. *Geological Society*. London. Special Publications, **156**, p. 475-513.

- Önder, İ., 1994.** Türkiye Rejyonal Jeoelektrik Haritalar Projesi Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü-Gümüşkonak Sahaları Rezistivite Etüt Raporu, MTA Derleme No: 9921, Ankara.
- Önhon, E., Yurdaer, D., Eser, T., 1999.** Eskişehir-Günyüzü Atlas Kaynağı ve Çevresi Karst Hidrojeolojisi, Etüt Raporu, DSİ, (Yayınlanmamış).
- Örgün, Y., Ugur, Z. ve Gültekin, A. H., 1995.** Hydrogeoghemistry of waters in Sile region, *Istanbul. Min.Chem '95*, Proceedings. 133-142.
- Örgün, Y. ve Uğur, Z., 1996.** İstanbul sularının hidrojeokimyası. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, **11**, s.102-108.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G., Çelebi N., 2005.** Natural radioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in southeast part of Eskişehir, Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. **63**, p. 267-275.
- Örgün, Y., Gültekin, A. H., Altınsoy, N., Çelebi, N.& Karahan, G., 2004.** hydrogeochemical characteristics and radioactivity levels of some of the groundwaters from western Anatolia, *Proceedings of International Symposium on Earth System Sciences*, p. 643-650, 8-10 September, Istanbul.
- Özaydın, V., Şendil U., Altınbilek D., 2001.** Stable isotope mass balance method to find water budget of a lake, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol. **25**, Is. 4, p. 329-344.
- Özbek, T., 1974.** Eskişehir yöresi Jeolojisi, MTA Raporu (Yayınlanmamış) Ankara.
- Öztaş, T., 1988.** Mersin-Taşucu-Boğsak Kaynağı ve Dolayının Karst Hidrojeolojisi, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Penman, H.L., 1948.** Natural evaporation from open water, bare soil, and grass, *Proc. Roy. Soc. London*, v. **193**, p.120-145.
- Piper, A. M., 1944.** A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. **25**, p. 914-923.
- Romieux, J., 1942.** Sivrihisar Paşadağları ve Emirdağları bölgelerinin jeolojisi hakkına rapor. MTA Rap., No: 1431 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Şahinci, A., 1991.** Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, s. 151-246, İzmir.
- Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, M., Simmers I., 2006.** Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions, *Hydrological Processes*, vol. **20**, p. 3335-3370.
- Scanlon, B. R., Reedy, R. C., Tachovsky, J., 2007.** Semiarid unsaturated zone chloride profiles: archives of past land-use change impacts on water resources in the southern High Plains, United States, *Water Resour. Res.*, **43**,
- Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985.** Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tektonic escape Turkey as a case study. In: K.T. Biddle and N. Christie-Blick (Editors), *Strike-slip Deformation Basin Formation and Sedimentation. Soc. Econ. Palentol. Mineral*, spec. publ. **37**, p. 227-264.

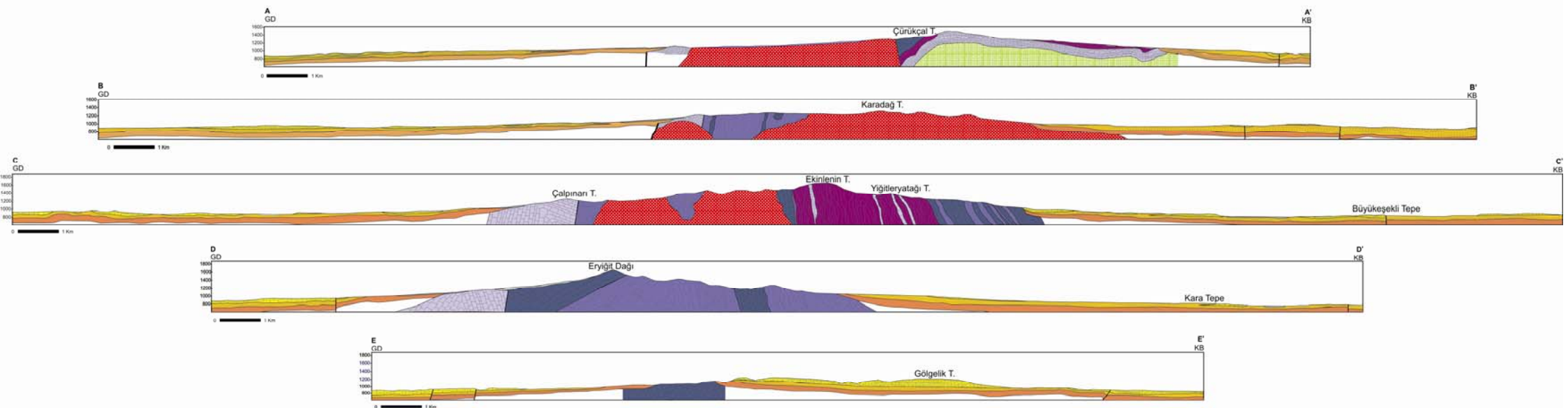
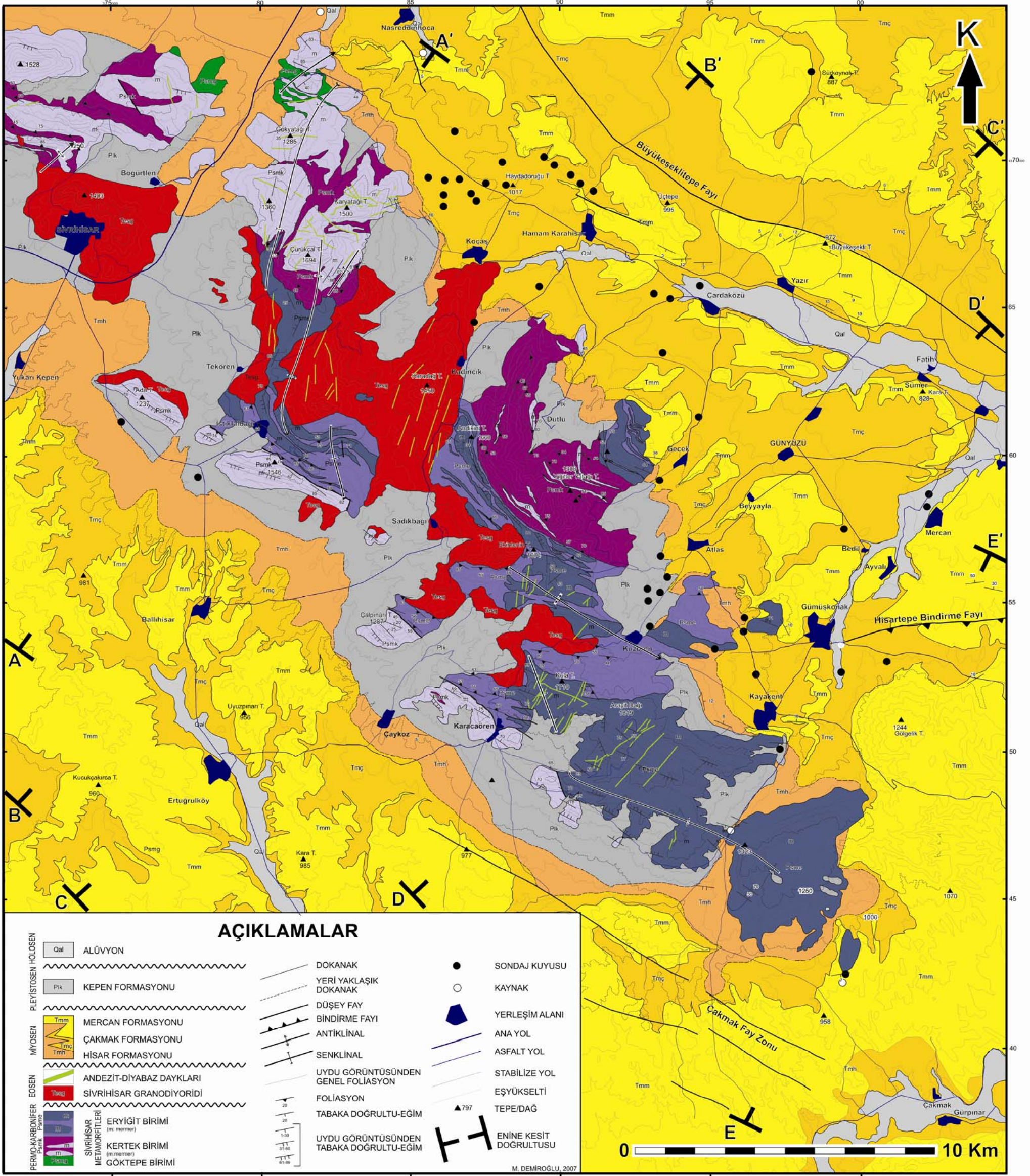
- Shaban, A., Khawlie M., Abdallah Chadi.,** 2006. Use of remote sensing and GIS to determine recharge potenyial zones: the case of Occidental Lebanon *Hydrogeology Journal*, **14/4**, p. 433-443.
- Sherlock, S., Kelley, S., Inger S., Haris, N., Okay A.,** 1999. $^{40}\text{Ar} - ^{39}\text{Ar}$ and Rb-Sr geochronology of high-pressure metamorphism and exhumation history of the Tavsanlı Zone, NW Turkey, *Contrib Mineral Petrol*, vol. **137**, p. 46-58.
- Shuster, E.T., White, W.B.,** 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs: a possible means of characterising carbonate aquifers. *J. Hydrol.*, vol. **14**, p. 93-128.
- Sutcliffe, J.V.,** 2004. Hydrology: a Question of Balance, IAHS Press, Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX10 8BB, UK
- Shurbaji, A. R., Campbell A.R.,** 1997. Study of evaporation and recharge in desert soil using environmental tracers, New Mexsico, USA. *Engineering Geology*, **29** (3/4) p. 147-151.
- Tezcan, L.,** 1993. Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Todd, D.K.,** 1959. Groundwater Hydrology, John wiley, Newyork
- Turc, L.,** 1954. The water balance of soils, relation between precipitation, evaporation and flow, *Annales Agronomiques*, **5**, p. 491-569.
- TS 699,** 1987. Tabi Yapı Taşları Muayene Deney Metotları, *TSE*, Ankara.
- Umut, M., Acarlar M., Gedik İ., Güner E., Saçlı L., Şen, A.M.,** 1991. Çifteler-Holanta (Eskişehir İli) Çeltik (Konya İli) ve dolayının jeolojisi, Jeoloji Etüdleri Dairesi, MTA Derleme No: 9204.
- Vincent, P.F., Bruce, D.R.M.,** 2006. Estimating groundwater recharge through tills: a sensitivity analysis of soil moisture budgets and till properties in Ireland. *Hydrogeology Journal*, vol. **14/4**, p. 548-561.
- Weingard, W.,** 1954. 56/4 (Sivrihisar) ve 57/1, 57/3 (Ankara) paftalarının jeoloji haritası hak. MTA rap., no: 2248 (Yayınlanmamış).
- WHO,** 1993. Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations, vol. 1, 2nd Edition. *World Health Organization*, Geneva.
- White, W. B.,** 1997. Thermodynamic equilibrium, kinetics, activation barriers, and reaction mechanism for chemical reaction in Karst Terrains, *Environmental Geology*, vol. **30** (1/2), p. 46-58.
- White, W. B.,** 2002. Karst hydrology; recent developments and open questions *Engineering Geology*, vol. **65** (2-3), pp. 85-105.
- Whitney, D.L.,** 2002. Coexisting andalusite, kyanite, and sillimanite: Sequential formation of three Al_2SiO_5 polymorphs during progressive metamorphism near the triple point, Sivrihisar, Turkey. *American Mineralogist*, vol. **87**, p. 405-416.
- Whitney, D.L., Davis P.B.,** 2006. Why is lawsonite eclogite so rare? Metamorphism and preservation of lwsonite eclogite, Sivrihisar, Turkey *Geological Society of America.*, vol. **34/6**, p. 473-476.

- Wilcox, B.P., Newman, B.D., Brandes D., Davenport D.W., Reid., K.,** 1997. Runoff from a semiarid ponderosa pine hillslope in New Mexico *Water Resources Research*, **33**, 2301-2314.
- Wilson, J. I. and Guan, H.,** 2004. Mountain block hydrology and mountain front recharge. In Groundwater Recharge in a desert Environment: The southwestern United States. Water Science and Applications Series. vol. **9**. edited by Hogan JF Phillips FM. Scanlon BR. America Geophysical Union: Washington. DC.113-137
- Worthington, S.R.,** 1991. Karst Hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains, *Ph.D. Thesis*, Mc master University Hamilton, Ontario, p. 227
- Yalçın, T.,** 2001. Discussion of “Hydrochemical and isotopic properties of the Mahmutlu and Bağdatoğlu mineralized thermal springs, Kırşehir, Turkey” (Ünsal and Afşin,1999), *Hydrogeology Journal*, vol. **9**, p. 623.
- Yaltırak, C.,** 2002. Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. *Marine Geology*, vol. 190, p. 493-530.
- Yaltırak, C.,** 2004. Batı Anadolu Miyosen-güncel tektonik evrimi'ne yeni bir bakış: Trakya Eskişehir fayı problemi, *27.ATAG-8*, 22-24 Kasım 2004, Elazığ.
- Yaltırak, C., Yalçın, T., Yüce, G., Bozkurtoğlu, E.,** 2005. Water-level changes in shallow wells before and after the 1999 İzmit and Düzce earthquakes and comparison with long-term water level observations (1999-2004), NW Turkey, *Turkish J. Earth Sci.*, vol. **14**, p. 281-309.
- Zuber, A.,** 1983. On the environmental isotope method for determining the water balance components of some lakes, *Journal of Hydrology*, vol. **61**, p. 409-427.

EKLER

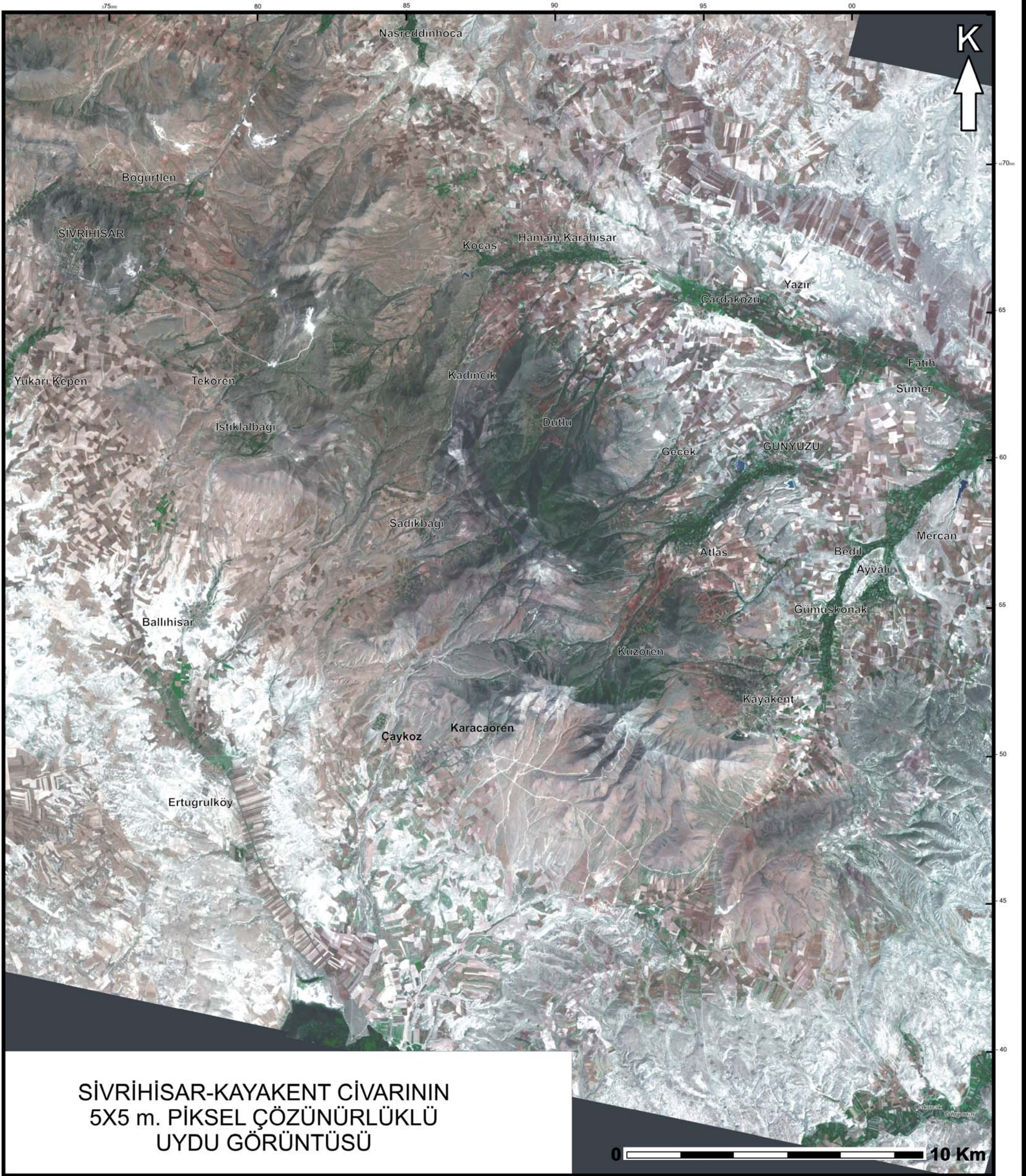
Şekil A-1

EK A-1: SİVRİHİSAR-KAYAKENT CİVARININ JEOLojİ HARİTASI



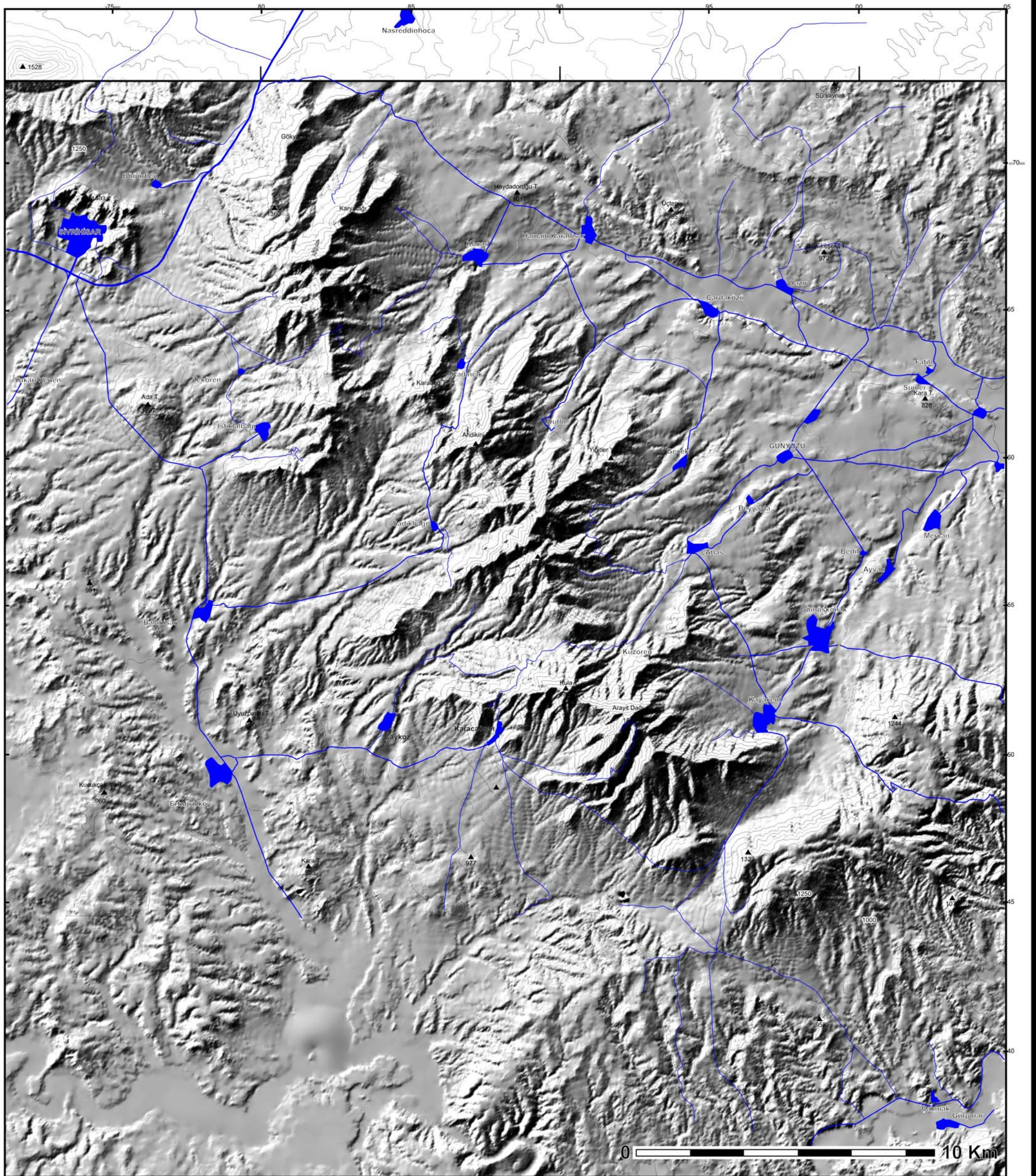
Şekil A-2

EK A-2: SİVRİHİSAR-KAYAKENT CİVARININ UYDU GÖRÜNTÜSÜ



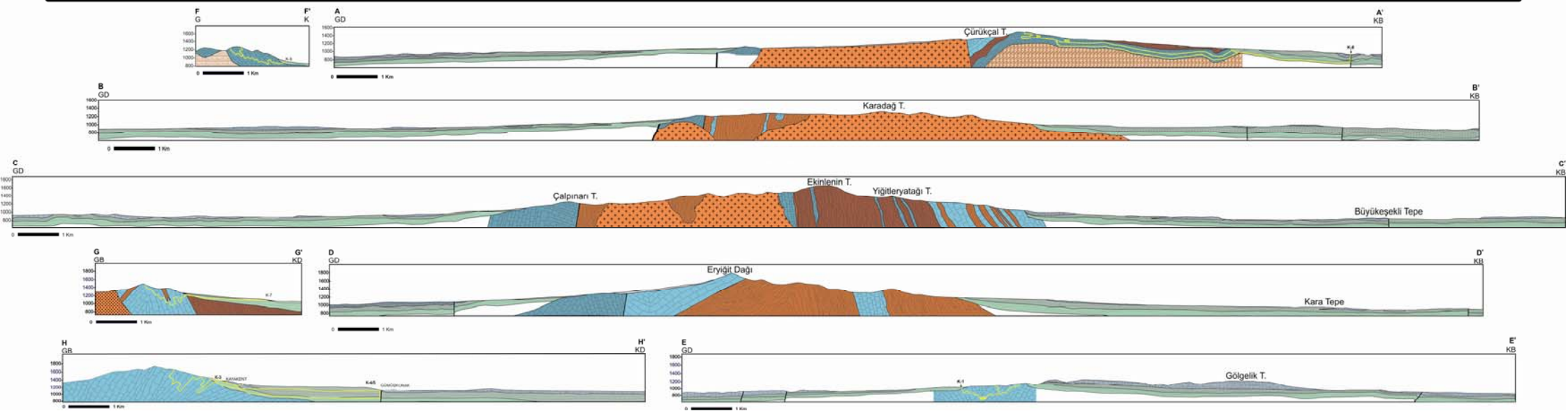
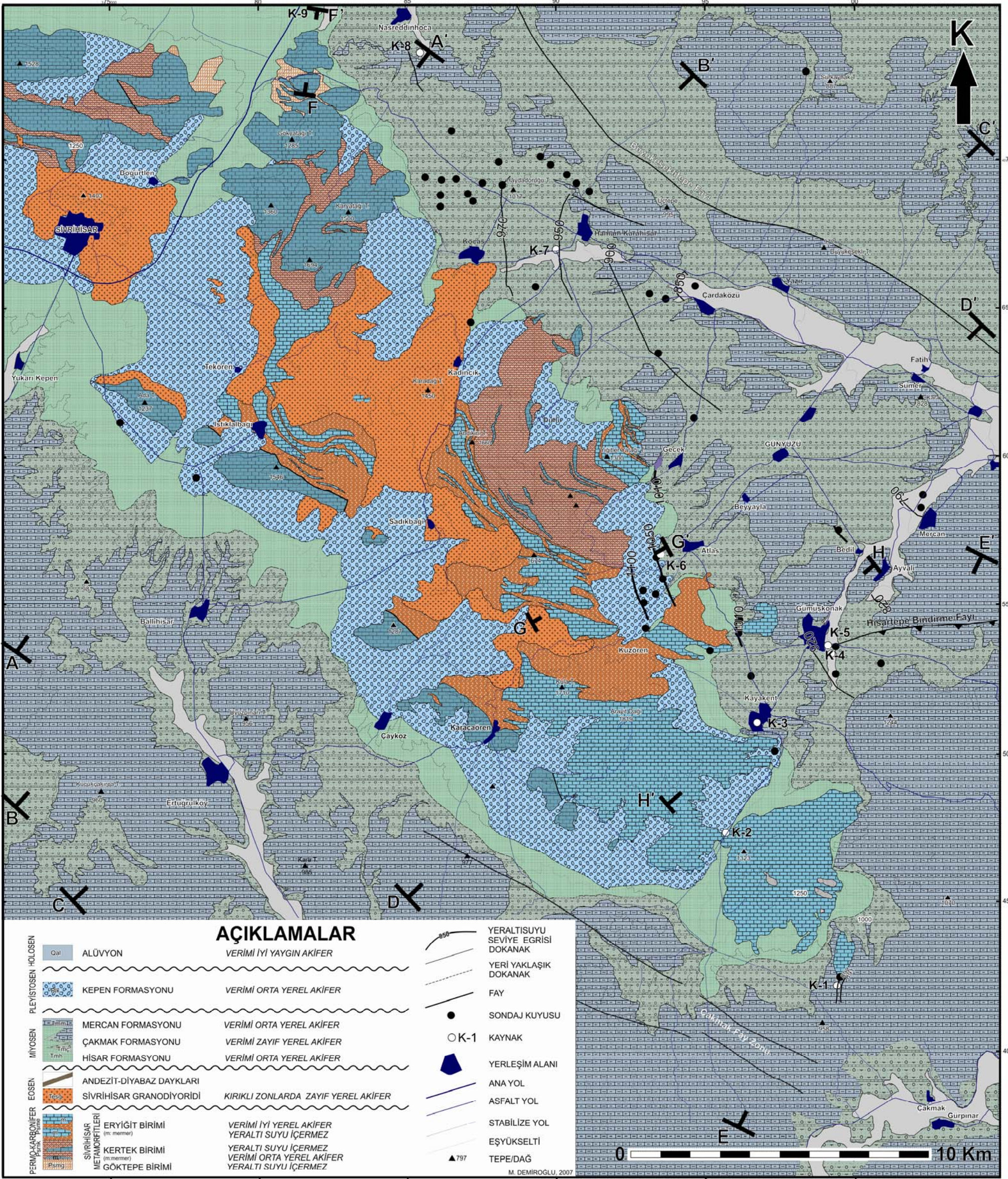
Şekil A-3

EK A-3 SİVRİHİSAR-KAYAKENT CİVARININ SAYISAL ARAZİ MODELİ

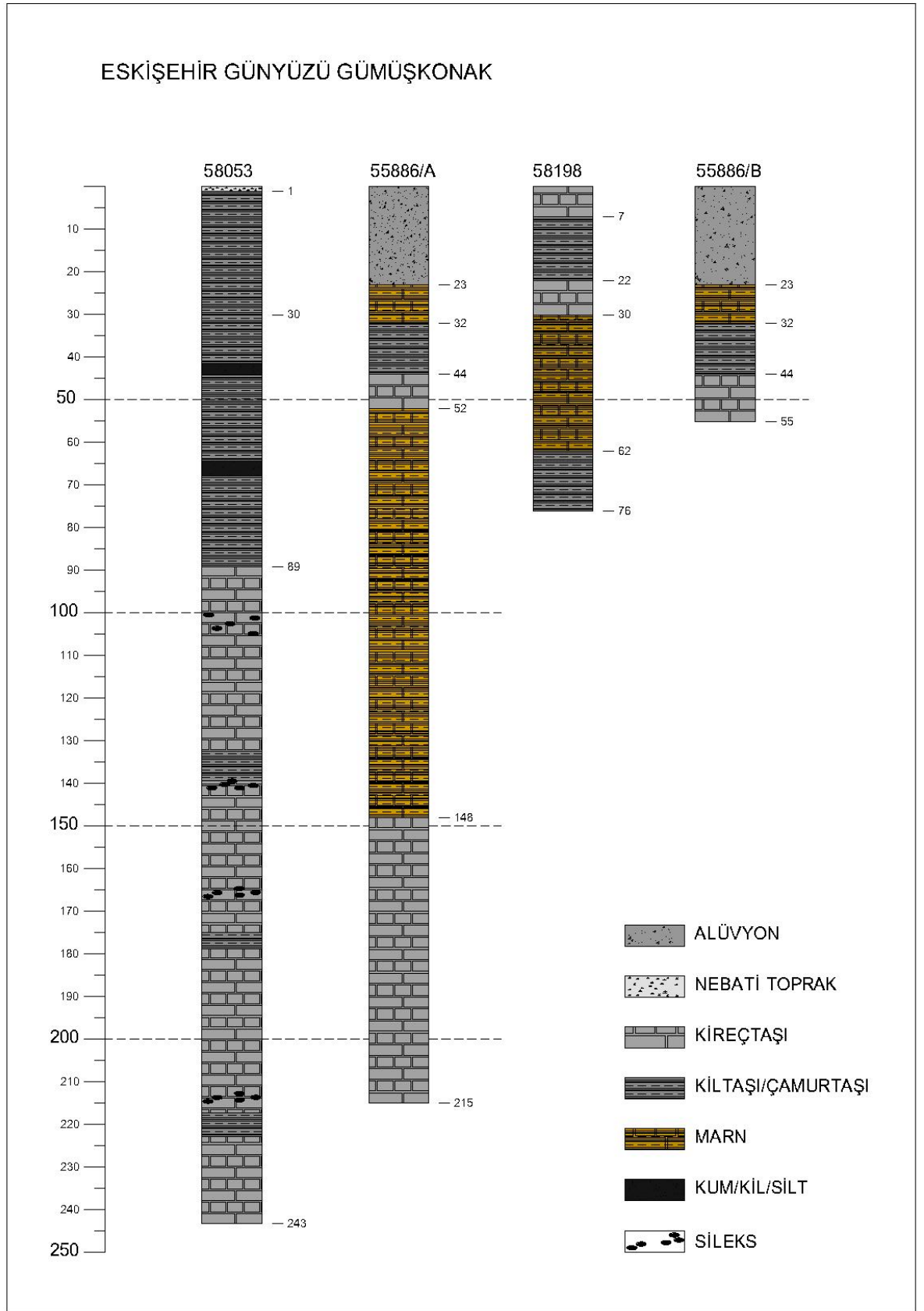


Şekil A-4

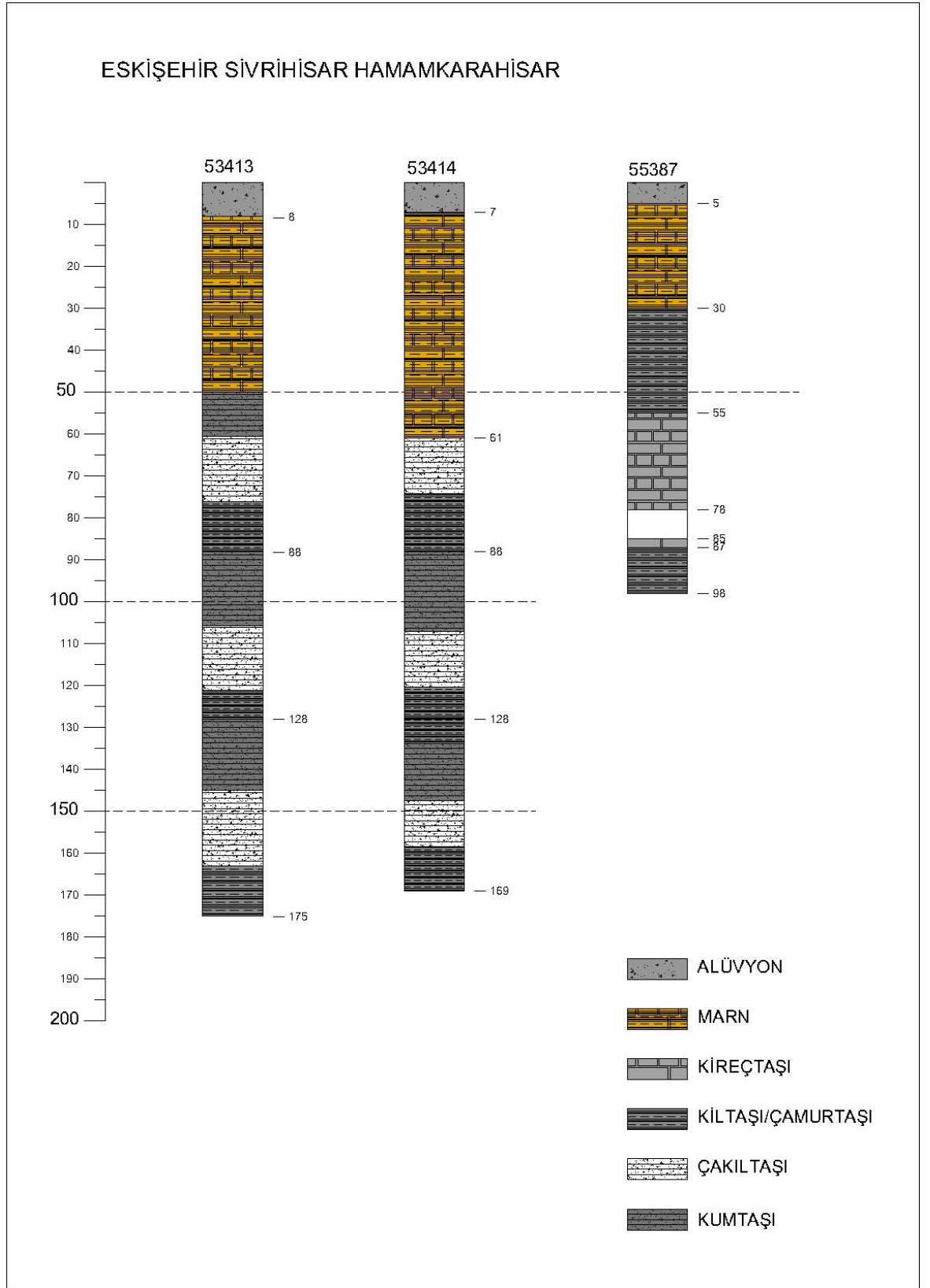
EK A-4 SİVRİHİSAR-KAYAKENT CİVARININ HİDROJEOLOJİ HARİTASI



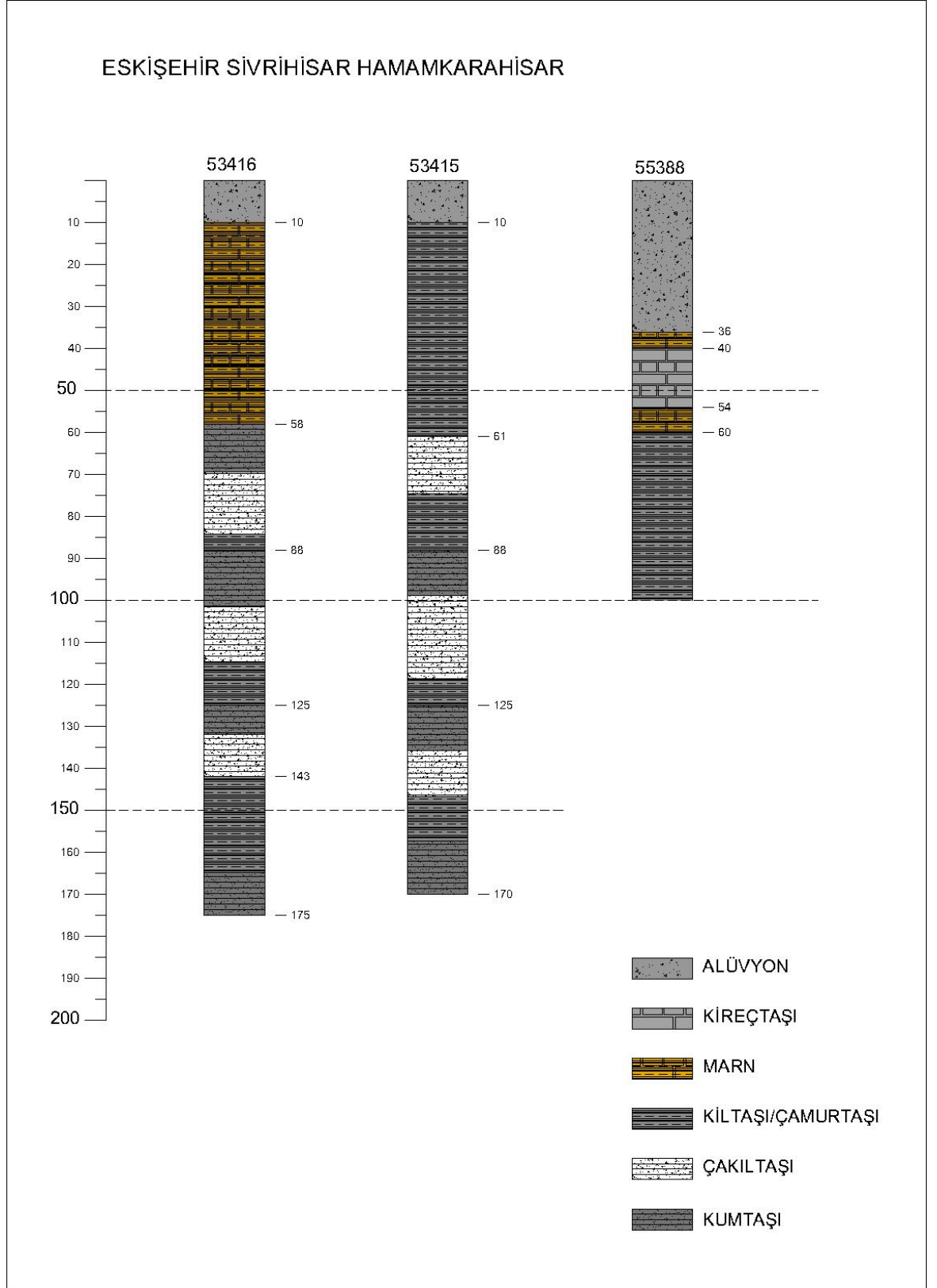
Şekil A-5. 1,...,22



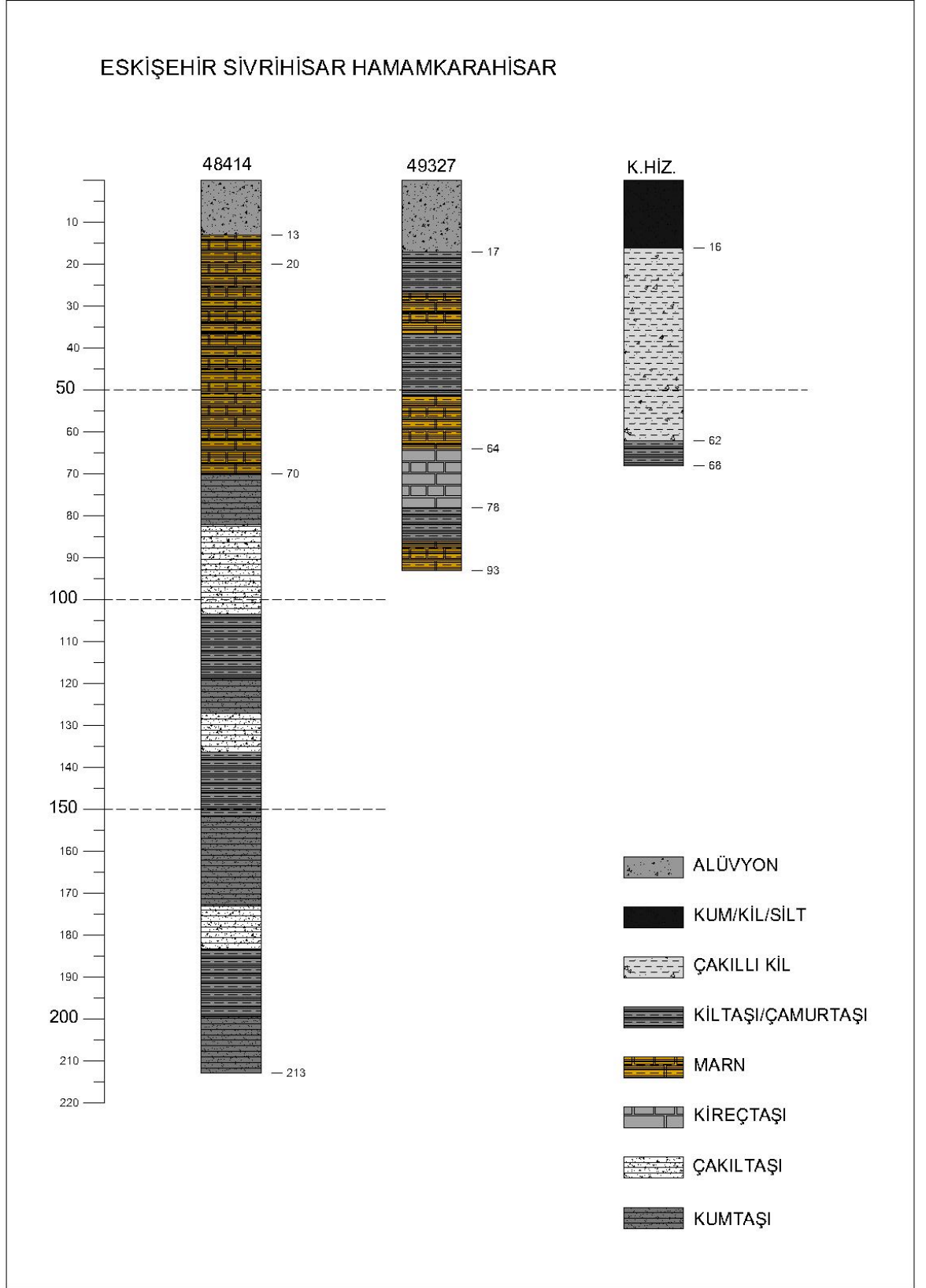
Şekil A-5.1: Eskişehir Günyüzü Gümüşkonak kuyuları



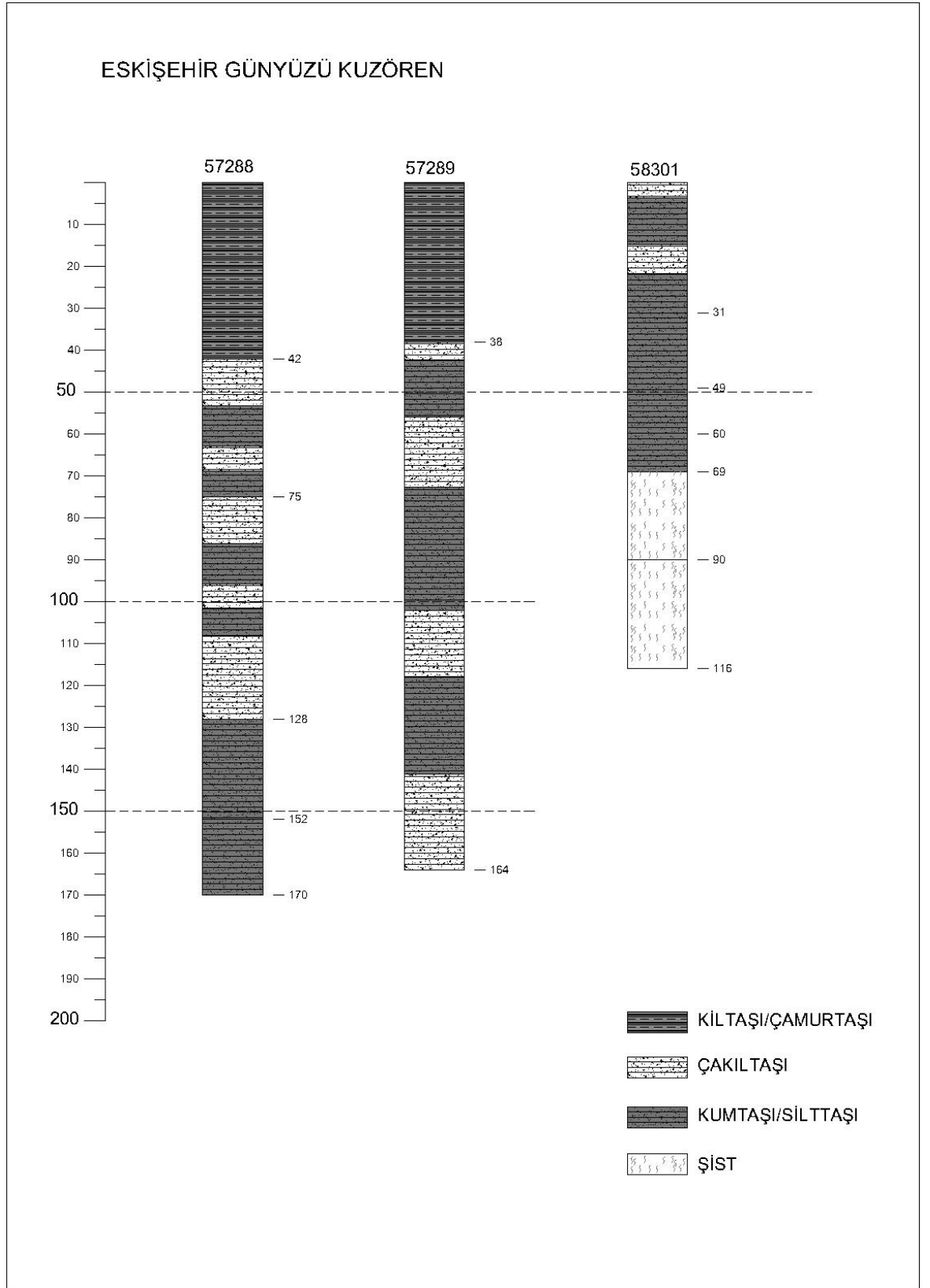
Şekil A-5.2: Eskişehir Günyüzü Hamamkarahisar kuyuları



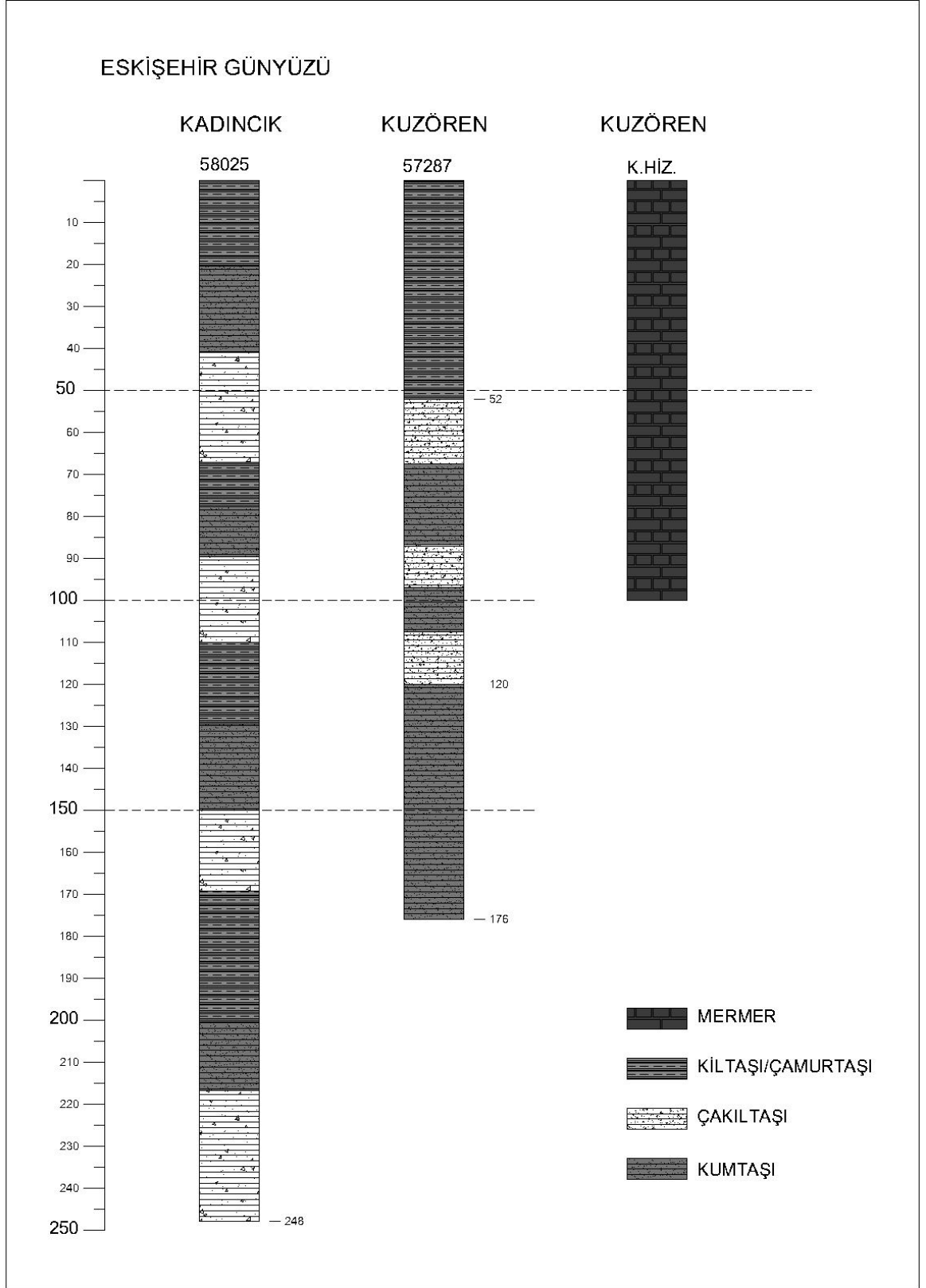
Şekil A-5.3: Eskişehir Günyüzü Hamamkarahisar kuyuları



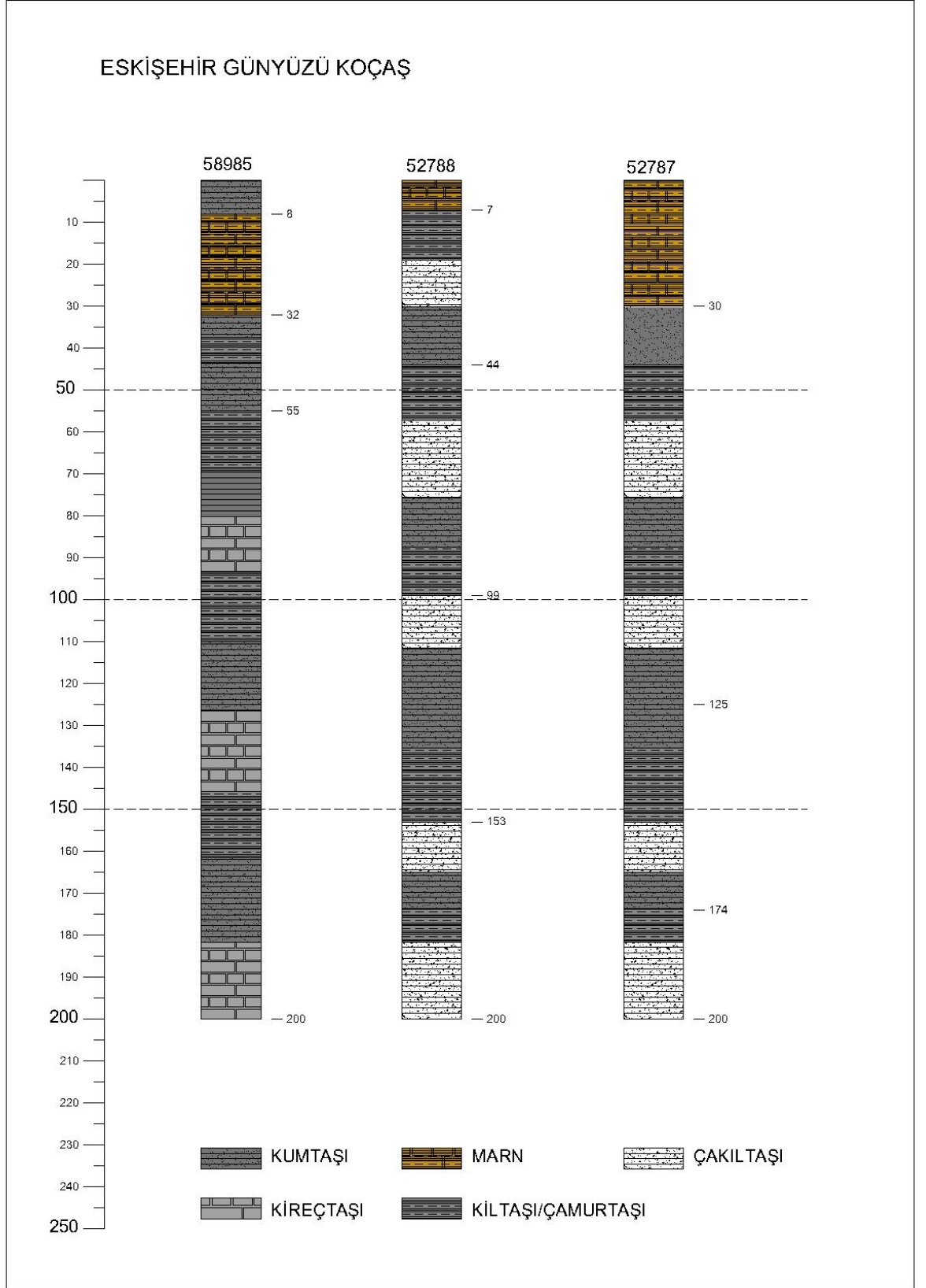
Şekil A-5.4: Eskişehir Günyüzü Hamamkarahisar kuyuları



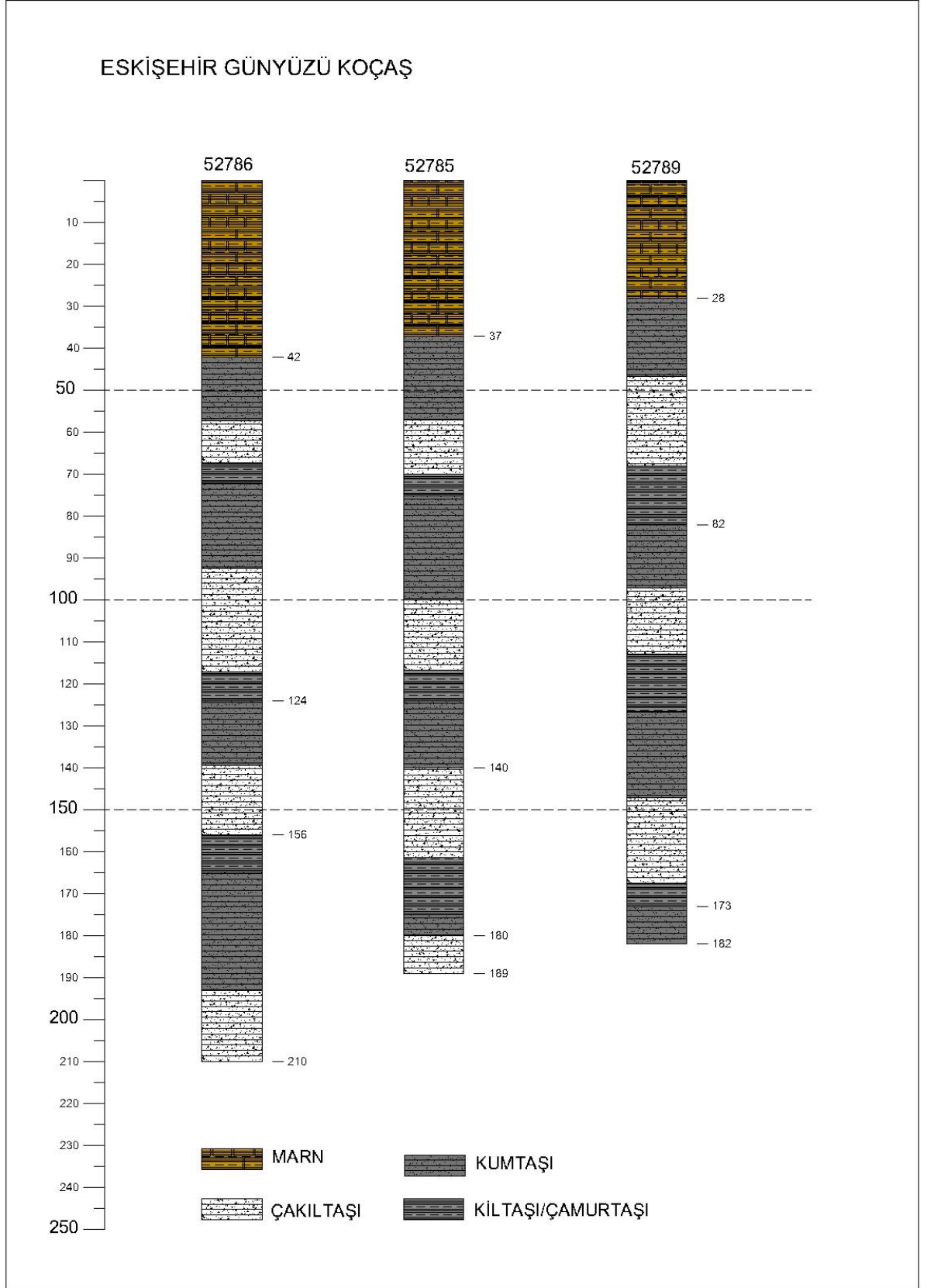
Şekil A-5.5: Eskişehir Günyüzü Kuzuören kuyuları



Şekil A-5.6: Eskişehir Günyüzü Kadıncık. Kuzuören kuyuları

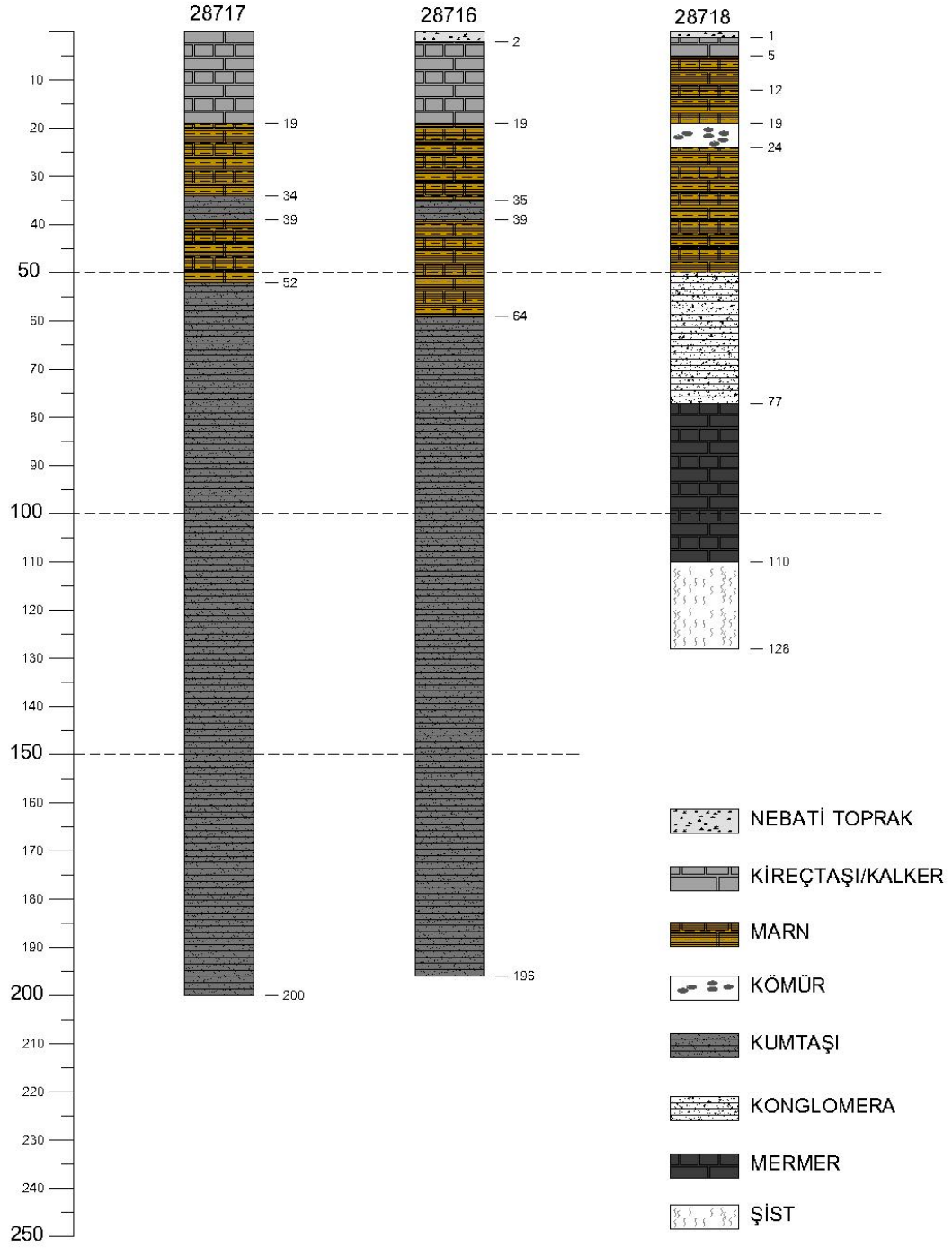


Şekil A-5.7: Eskişehir Günyüzü Koçaş kuyuları



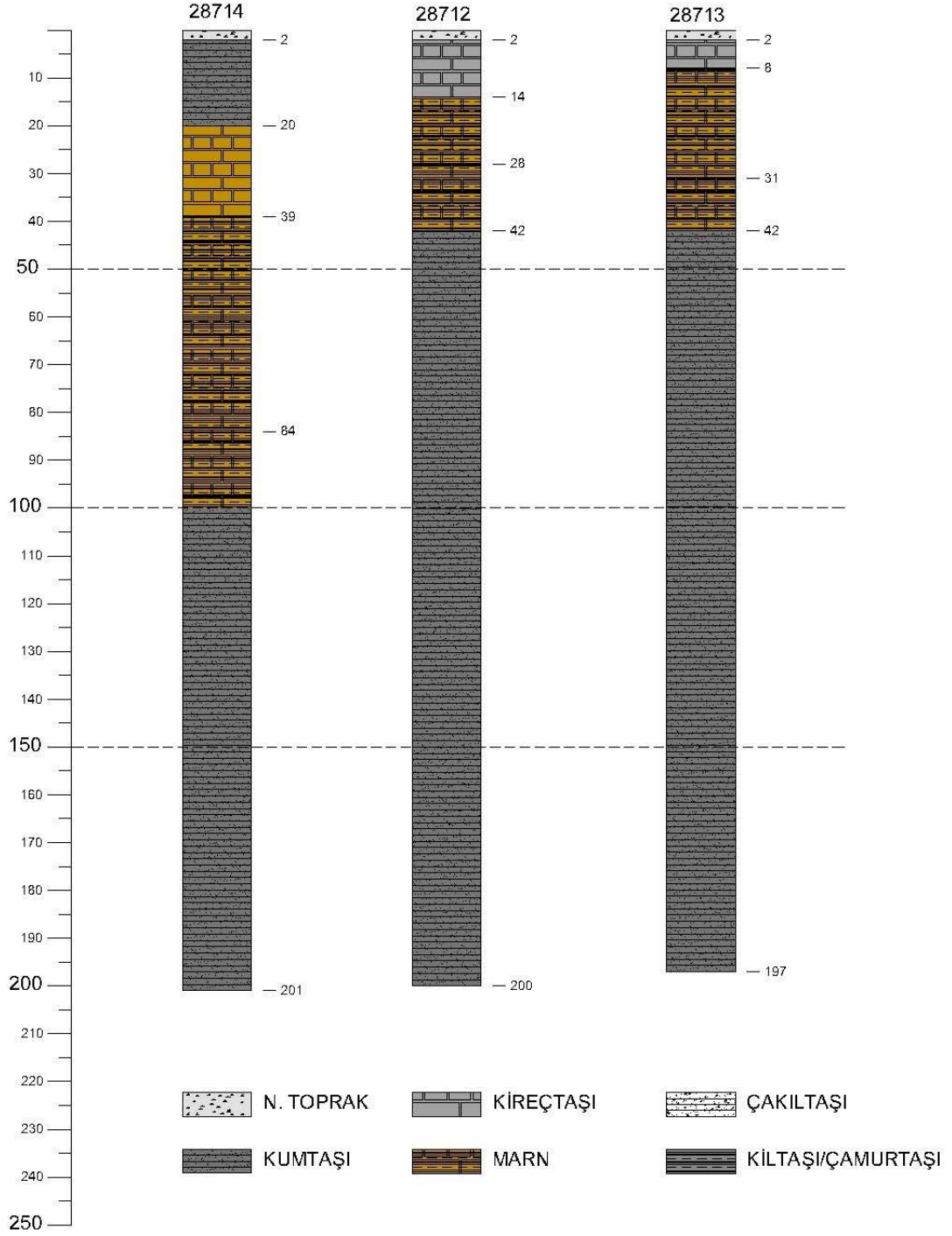
Şekil A-5.8: Eskişehir Günyüzü Koçaş kuyuları

ESKİŞEHİR GÜNYÜZÜ KOÇAŞ

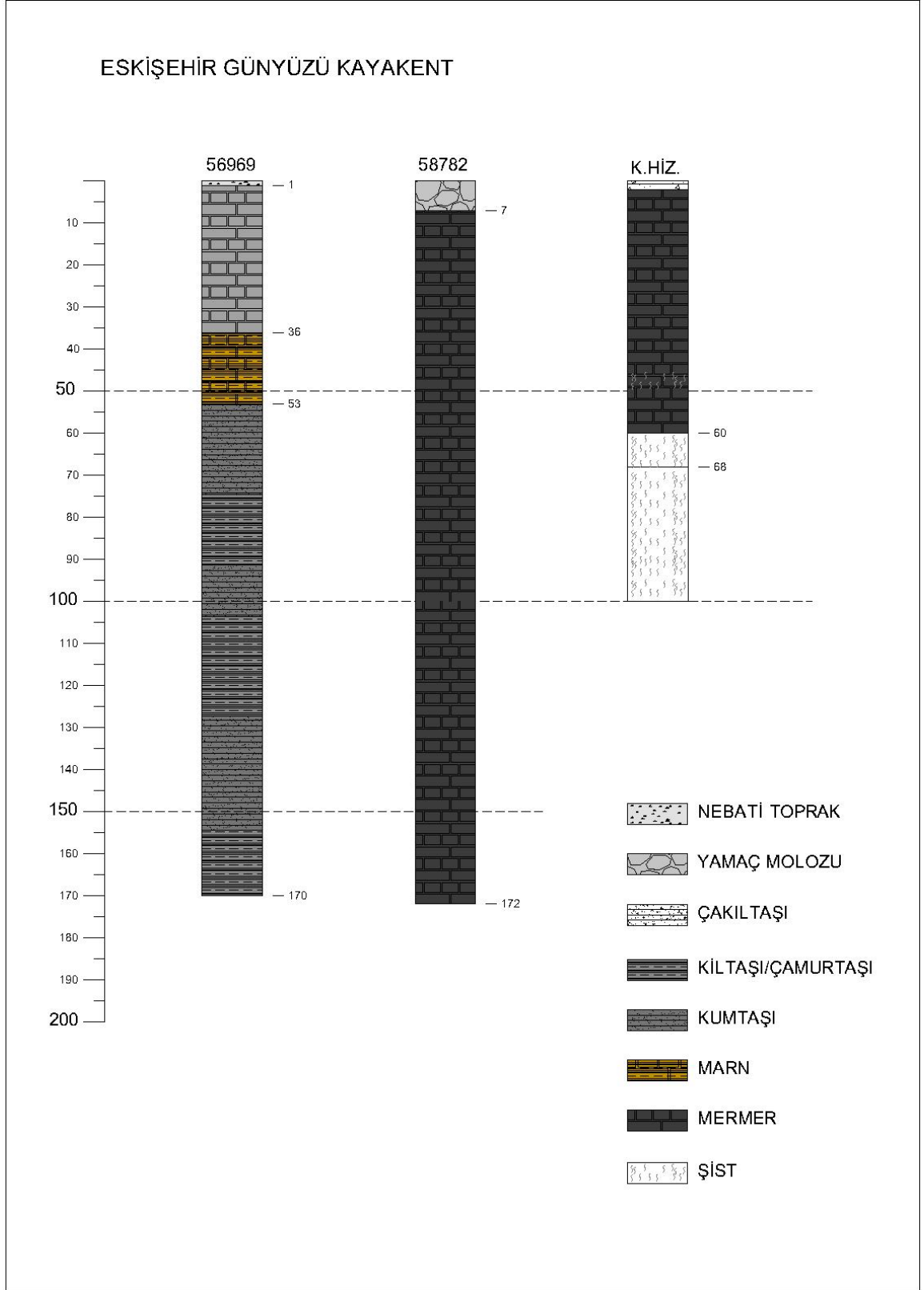


Şekil A-5.9: Eskişehir Günyüzü Koçaş kuyuları

ESKİŞEHİR GÜNYÜZÜ KOÇAŞ

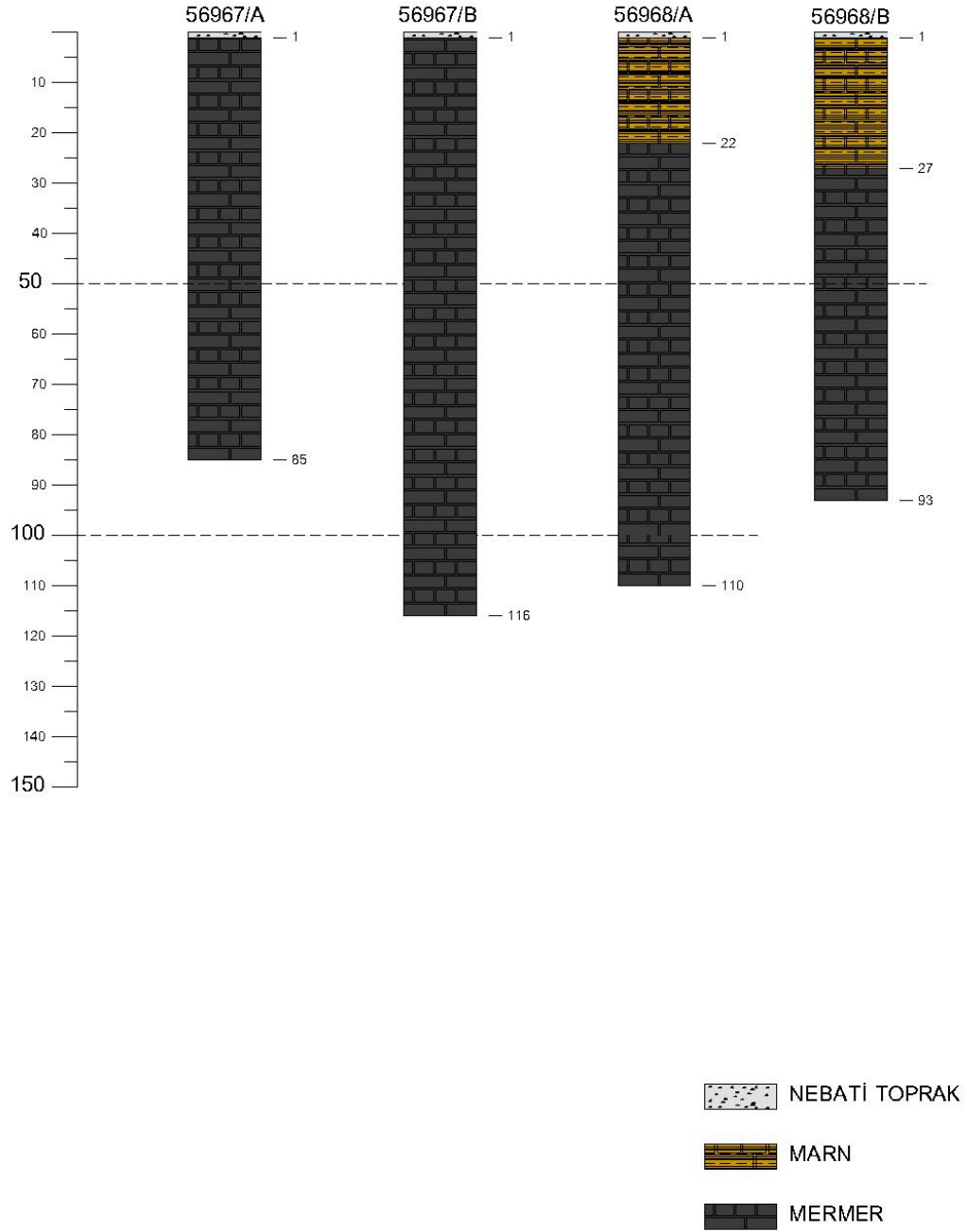


Şekil A-5.10: Eskişehir Günyüzü Koçaş kuyuları

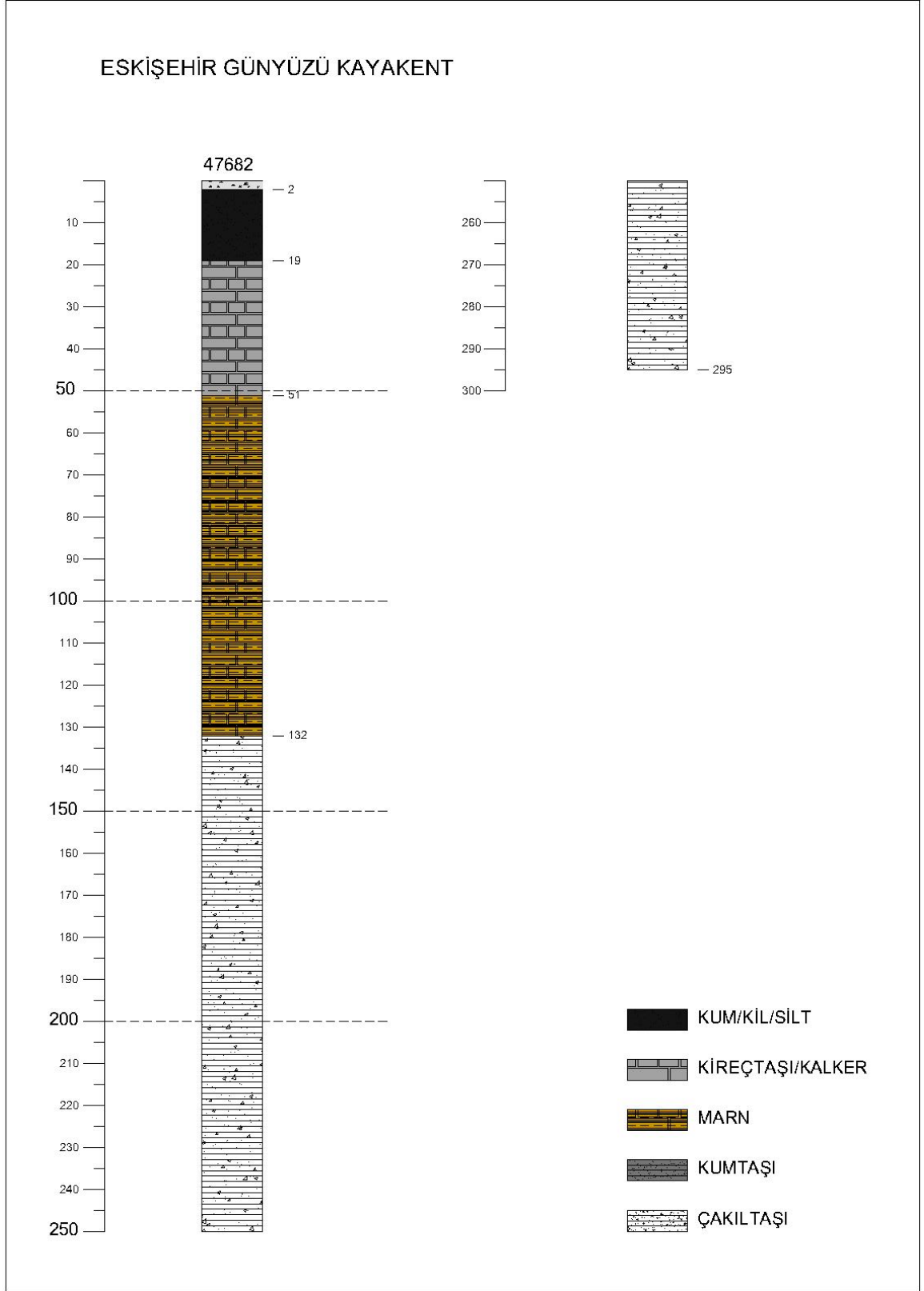


Şekil A-5.11: Eskişehir Günyüzü Kayakent kuyuları

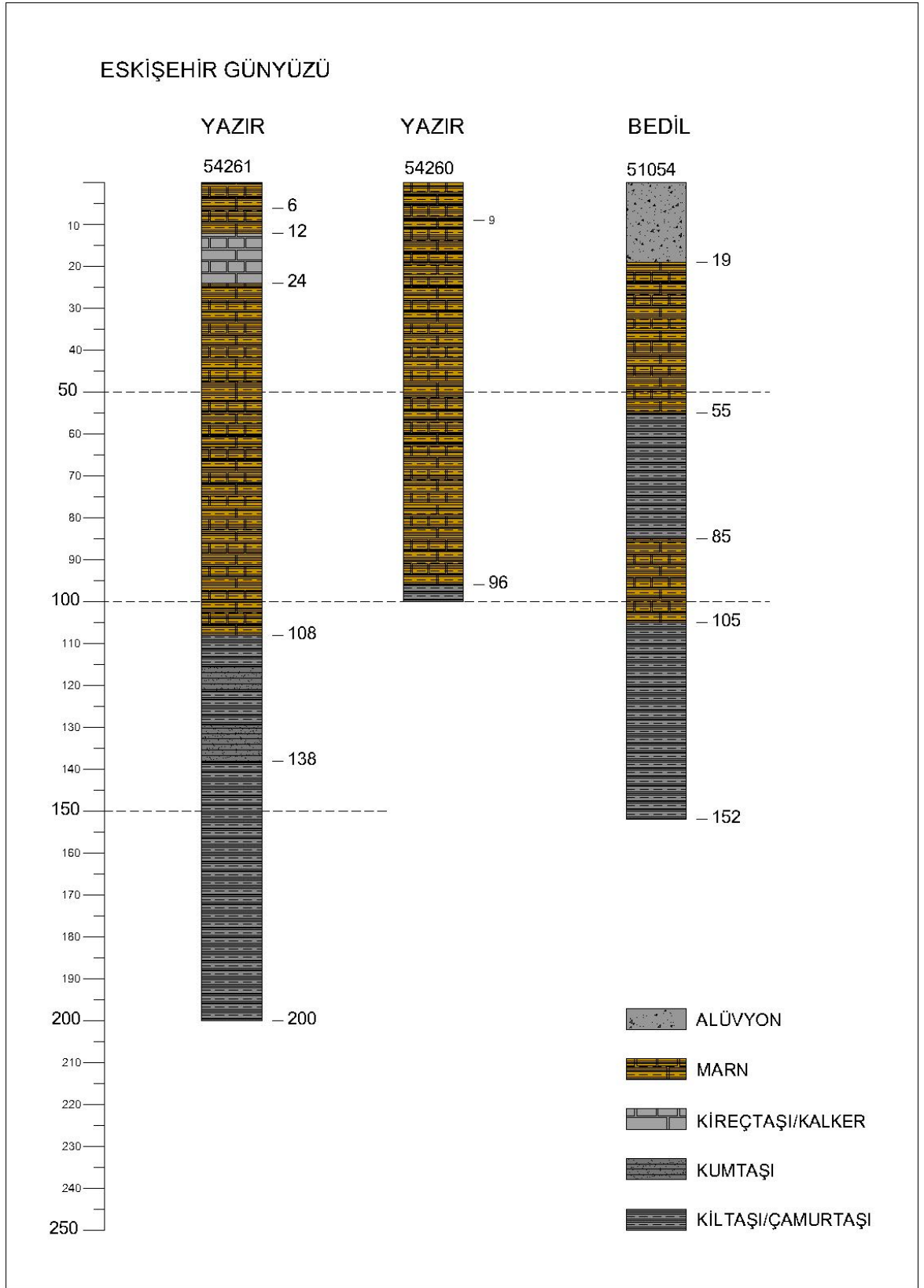
ESKİŞEHİR GÜNYÜZÜ KAYAKENT



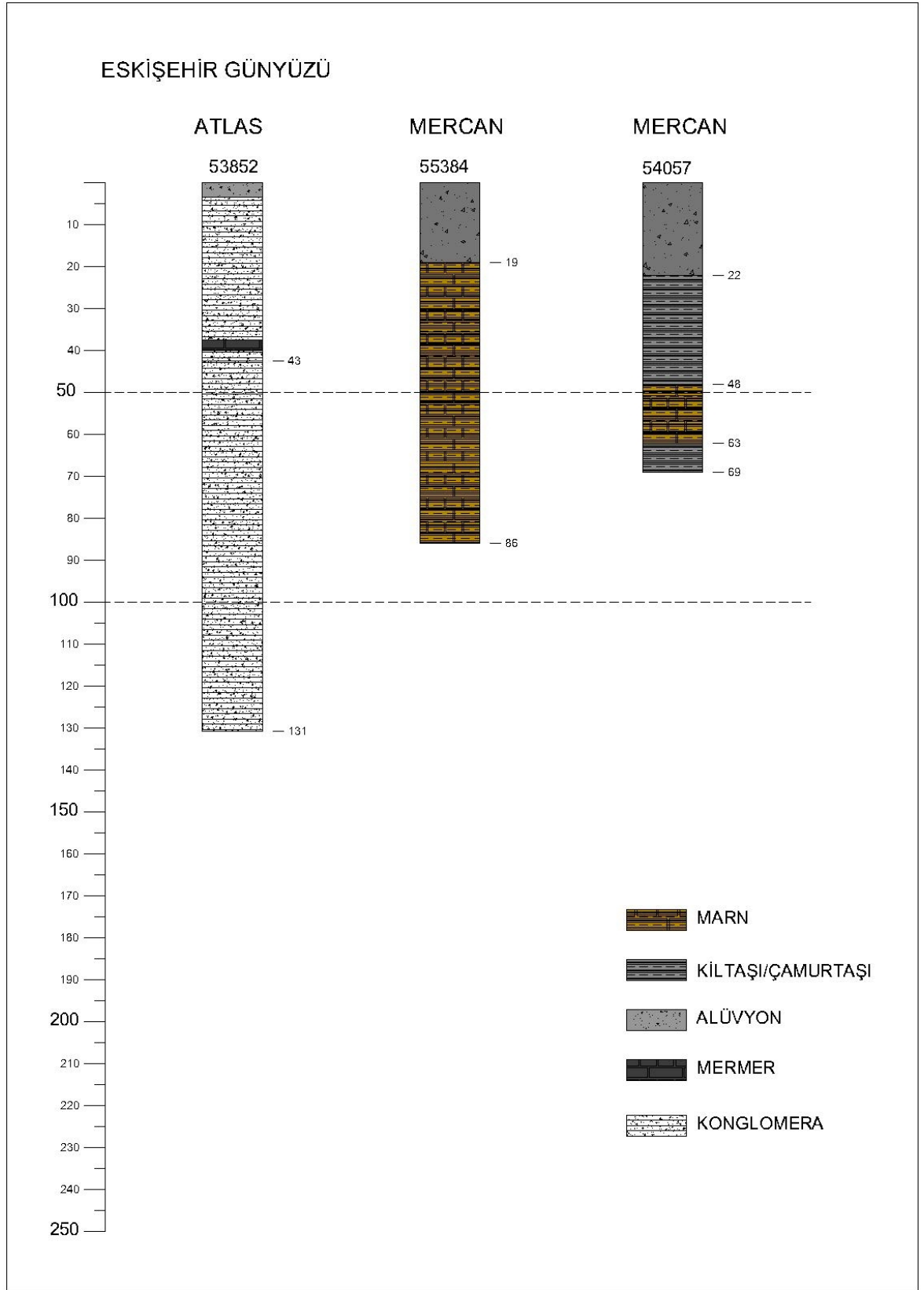
Şekil A-5.12: Eskişehir Günyüzü Kayakent kuyuları



Şekil A-5.13: Eskişehir Günyüzü Kayakent kuyusu

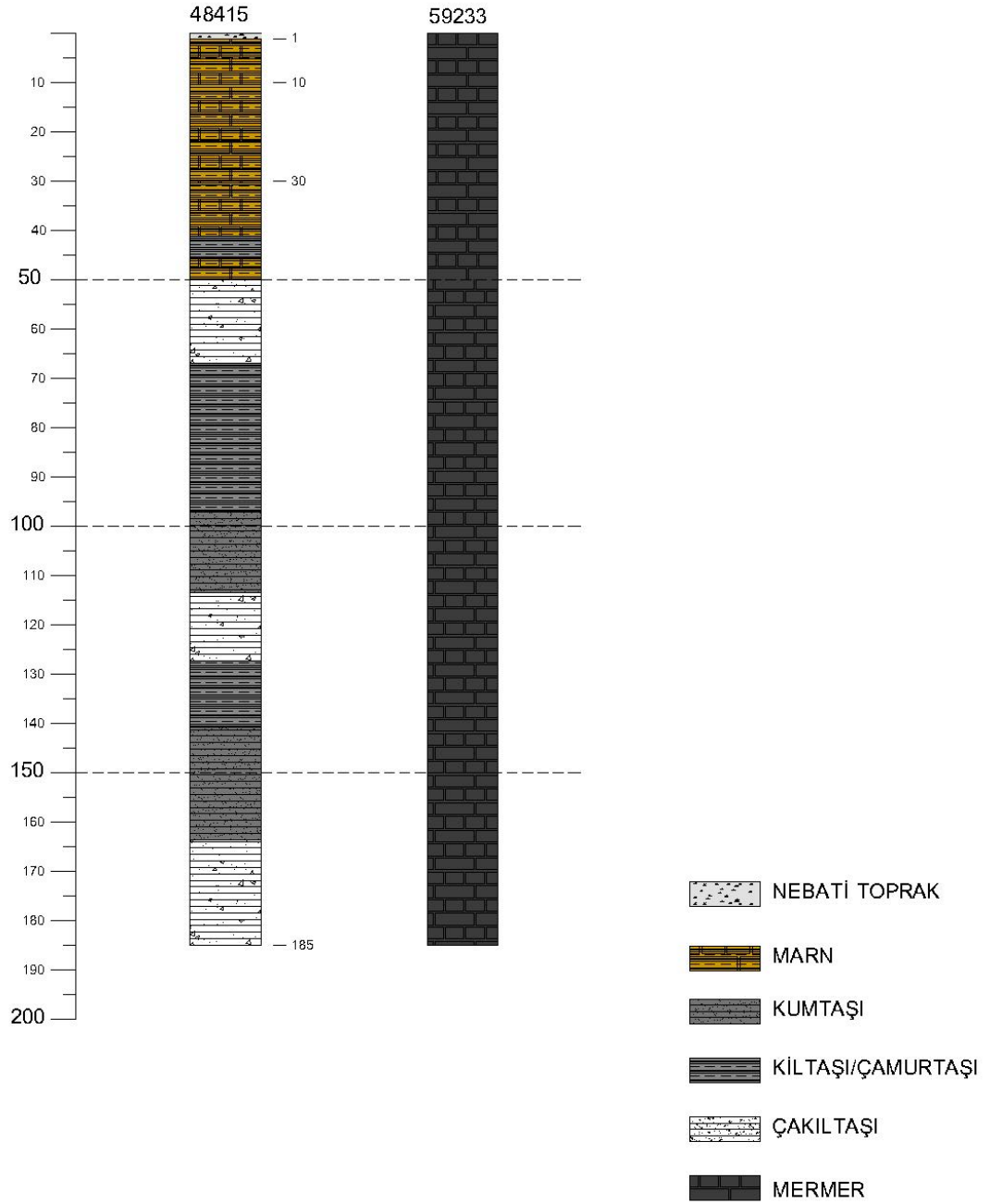


Şekil A-5.14: Eskişehir Günyüzü Yazır ve Bedil kuyuları

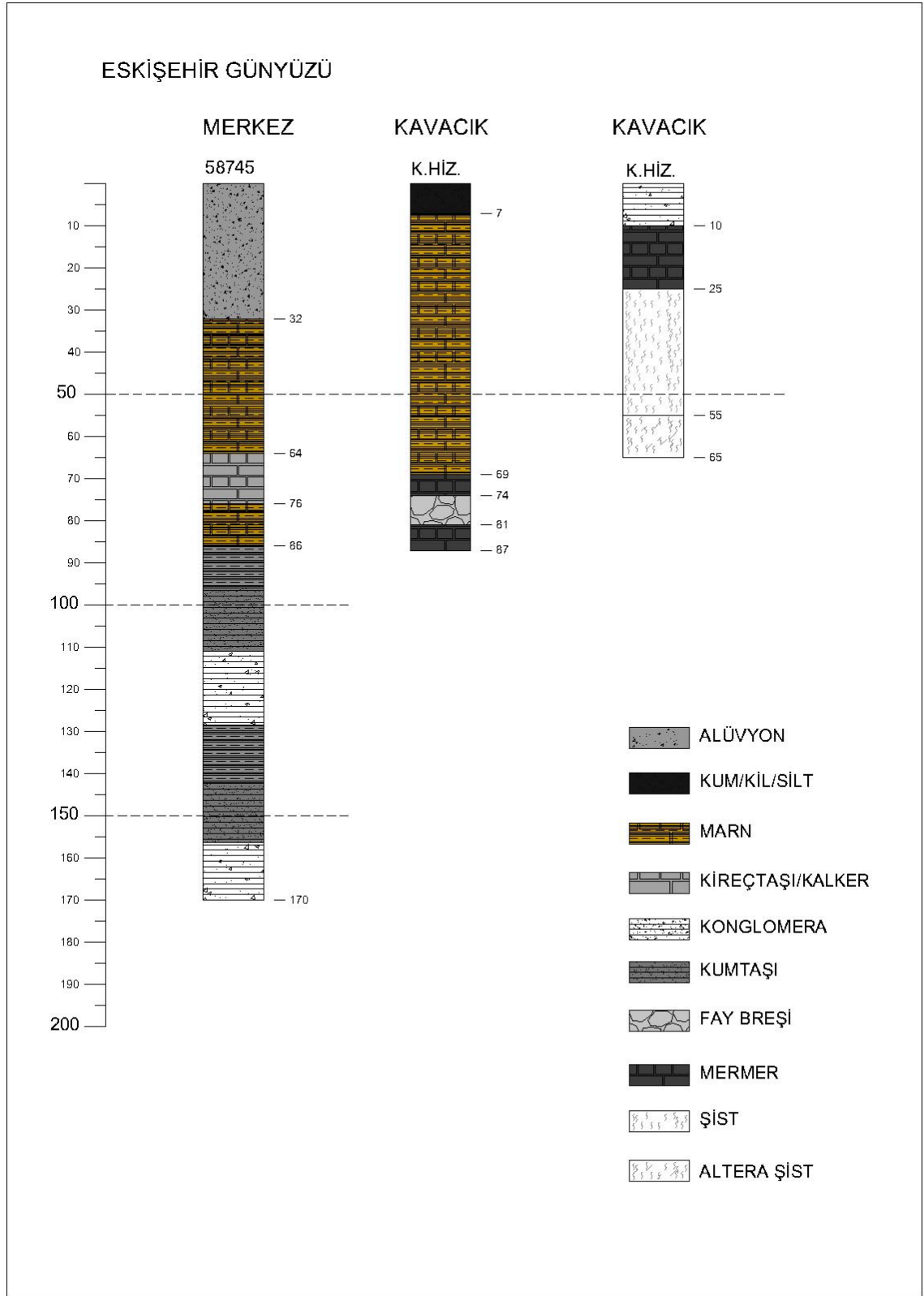


Şekil A-5.15: Eskişehir Günyüzü mercan kuyuları

ESKİŞEHİR GÜNYÜZÜ NASREDDİN HOCA

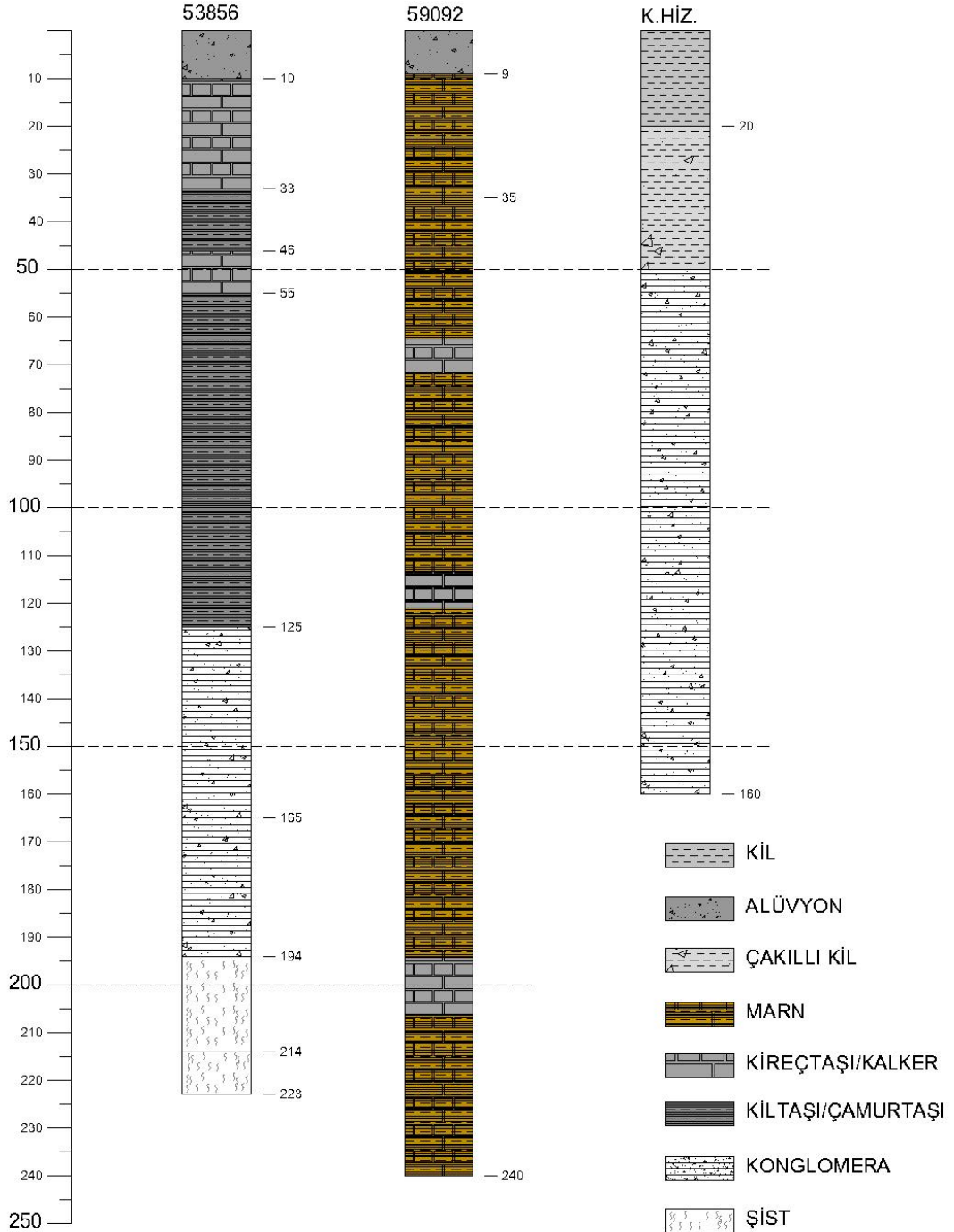


Şekil A-5.16: Eskişehir Günyüzü Nasrettin Hoca kuyuları

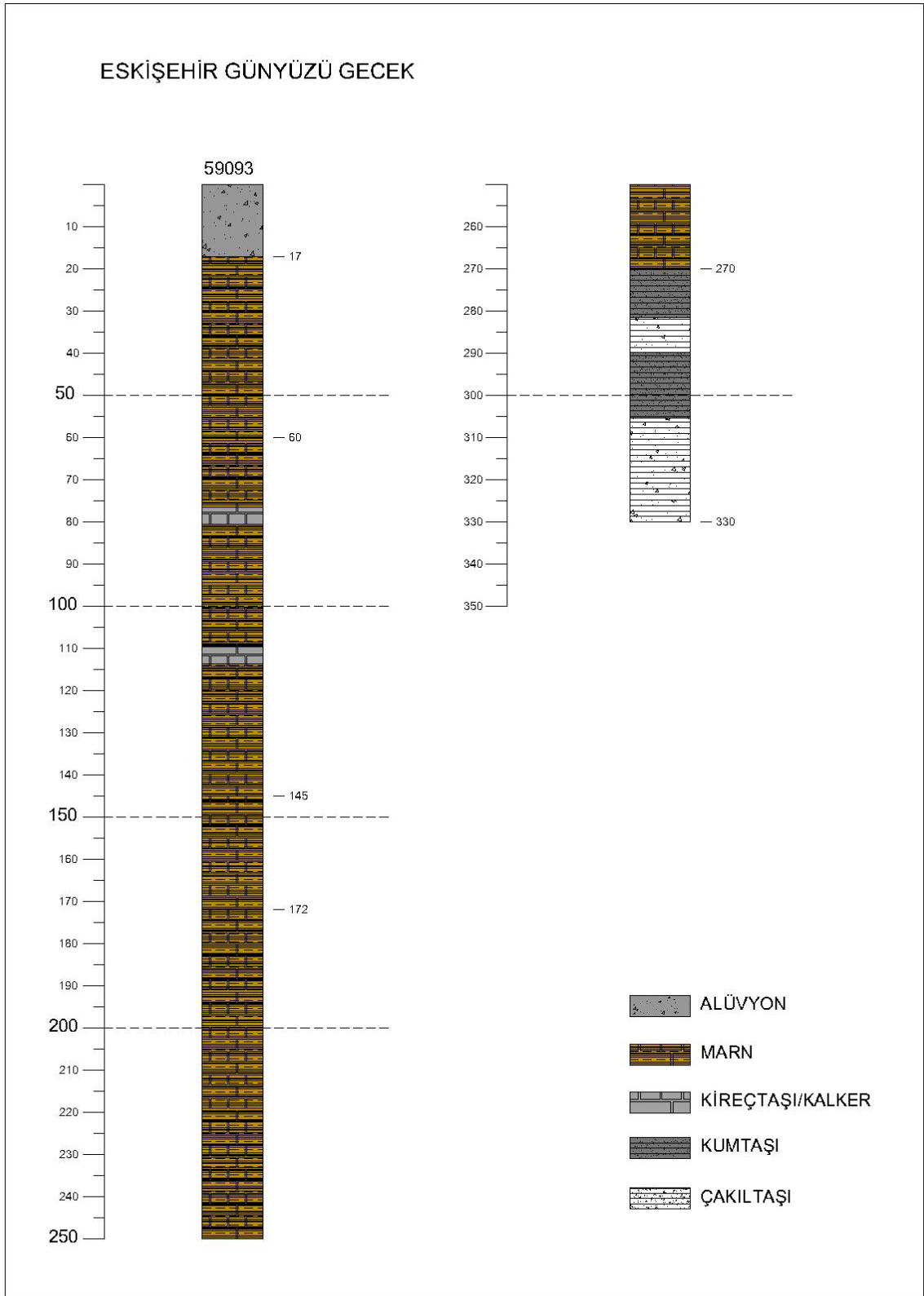


Şekil A-5.17: Eskişehir Günyüzü Merkez, Kavacık kuyuları

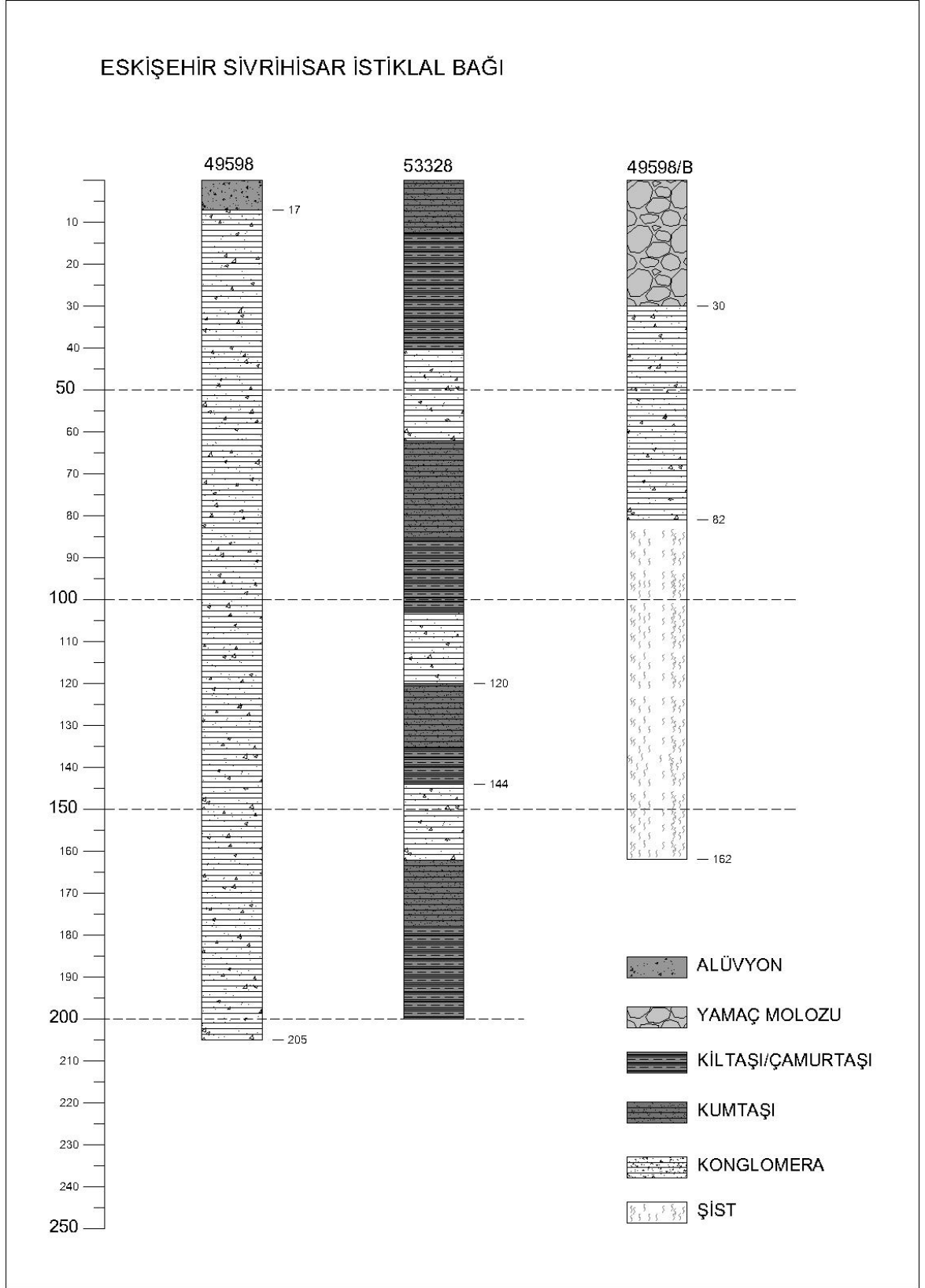
ESKİŞEHİR GÜNYÜZÜ GECEK



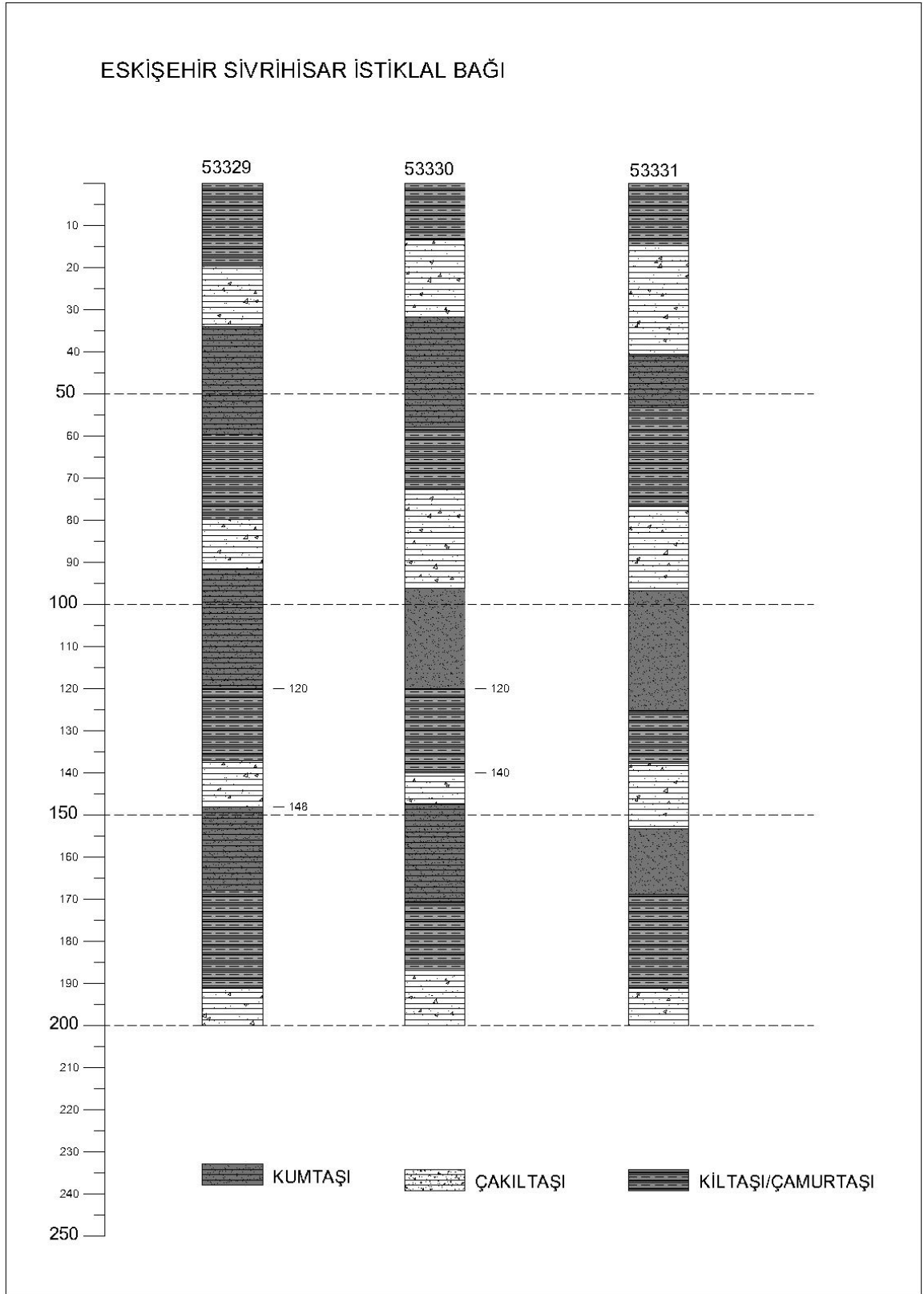
Şekil A-5.18: Eskişehir Günyüzü Gecek kuyuları



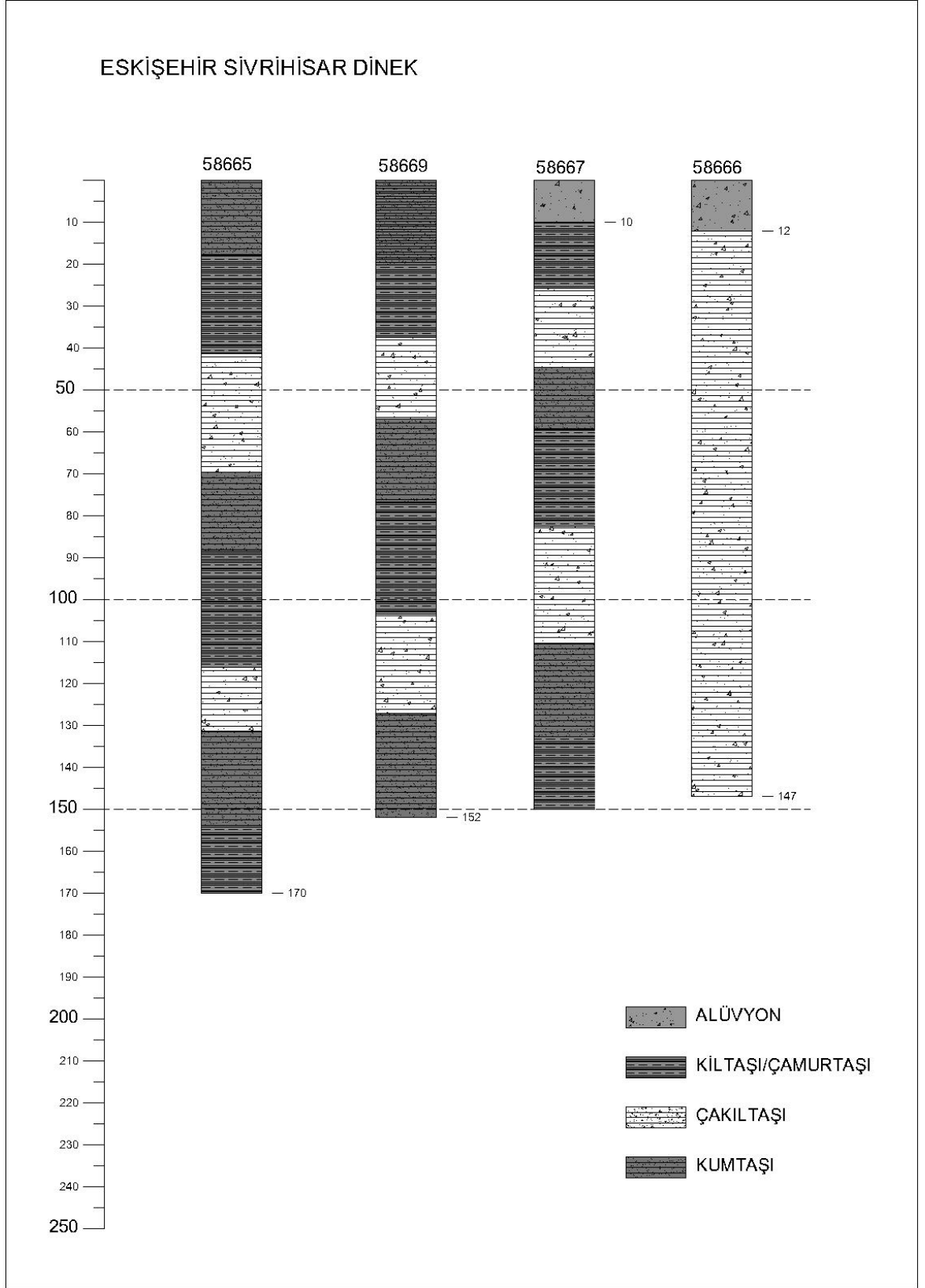
Şekil A-5.19: Eskişehir Günyüzü Gecek kuyusu



Şekil A-5.20: Eskişehir Sivrihisar İstiklalbağı kuyuları



Şekil A-5.21: Eskişehir Sivrihisar İstiklalbağı kuyuları



Şekil A-5.22: Eskişehir Sivrihisar Dinek kuyuları

Çizelge B-1,9

Çizelge 1: K1 (Yeniçıkırı kaynağı) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi	K-1	K-1	K-1	K-1	K-1	K-1	K-1	K-1	K-1
Numunenin Alındığı Yer	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı	Yeniçıkırı
	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı
Numunenin Alındığı Tarih	17.10.2001	15.04.2002	17.10.2002	05.05.2003	05.08.2005	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH	7,82	6,97	7,71	7,50	7,08	6,96	7,34	0,39	5,25
Elektriksel Geçirgenlik 25 C, umhos/cm	480,00	610,00	586,00	667,00	590,00	603,00	589,33	61,01	10,35
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,43	0,50	0,46	0,45	0,51	0,49	0,47	0,03
	Potasyum(K ⁺)	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	3,16	3,80	3,71	3,88	3,88	4,01	3,74	0,30
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	1,77	2,32	2,19	2,22	2,25	2,48	2,21	0,24
	Toplam	5,40	6,66	6,39	6,59	6,68	7,02	6,46	0,56
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	3,44	4,63	4,30	4,63	4,96	4,81	4,46	0,55
	Klorür (Cl ⁻)	0,16	0,21	0,22	0,18	0,16	0,17	0,18	0,03
	Sülfat (SO ₄ ⁻)	1,61	0,22	0,25	0,22	1,49	1,67	0,91	0,75
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,19	1,60	1,62	1,56	0,18	0,20	0,89	0,77
	Toplam	5,40	6,66	6,39	6,59	6,79	6,85	6,45	0,54
% Sodyum	7,96	7,51	7,20	6,83	7,63	6,98	7,35	0,43	5,80
Sodyum Adsorbsiyon Oranı	0,27	0,29	0,27	0,26	0,29	0,27	0,23	0,01	5,88
Suyun Sınıfı	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1		
Sertlik F.S	24,65	30,60	29,50	30,50	30,65	32,45	29,73	2,66	8,96
Toplam Tuz (mg/l)	307,00	390,00	375,00	427,00	378	386	374,75	50,18	13,39
Florür (mg/l)	0,00	0,20	0,20	0,29	0,18	0,01	0,15	0,12	79,67
Amonyak-N (mg/l)	0,05	0,03	0,05	0,05	0,52	0,02	0,10	0,24	236,28
Nitrit-N (mg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
Nitrat-N (mg/l)	2,70	3,08	3,50	3,04	10,88	12,5	5,95	5,48	75,34

Çizelge 2: K2 (Muslukçeşmesi) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-2	K-2	K-2	K-2	K-2	K-2	K-2	K-2	K-2	K-2	K-2
Numunenin Alındığı Yer		Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk	Musluk
		Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi	Çeşmesi
Numunenin Alındığı Tarih		30.03.2001	17.10.2001	15.04.2002	17,10,2002	05,05,2003	20.09,2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,50	7,86	7,53	7,68	7,75	8,27	7,10	7,43	7,64	0,34	4,50
Elektriksel Geçirgenlik 25 C, umhos/cm		405,00	398,00	406,00	390,00	421,00	411,00	380,00	317,00	391,00	32,44	8,30
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,20	0,23	0,25	0,21	0,20	0,20	0,21	0,28	0,22	0,03	13,10
	Potasyum(K ⁺)	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	63,41
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	3,59	3,90	3,64	3,85	3,93	3,48	3,99	3,99	3,80	0,20	5,21
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	0,38	0,33	0,60	0,35	0,45	0,40	0,47	0,48	0,43	0,09	20,15
	Toplam	4,17	4,49	4,50	4,43	4,59	4,09	4,68	4,77	4,47	0,24	5,27
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,00	0,00	0,08	0,21	282,84
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	3,73	3,73	3,83	3,71	3,97	3,10	3,98	3,96	3,75	0,29	7,65
	Klorür (Cl ⁻)	0,10	0,09	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08	0,01	6,49
	Sülfat (SO ₄ ⁼)	0,07	0,41	0,25	0,25	0,17	0,15	0,18	0,17	0,21	0,01	2,67
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,27	0,26	0,30	0,36	0,37	0,21	0,22	0,22	0,28	0,06	22,64
	Toplam	4,17	4,49	4,50	4,43	4,59	4,15	4,47	4,44	4,40	0,16	3,63
% Sodyum		4,80	5,12	5,56	4,74	4,36	4,89	4,48	5,87	4,98	0,52	10,40
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,14	0,16	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14	0,19	0,15	0,02	11,77
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1			
Sertlik F.S		19,85	21,15	21,20	21,00	21,90	19,40	22,30	22,35	21,14	1,08	5,09
Toplam Tuz (mg/l)		259,00	255,00	260,00	250,00	269,00	263	243	203	258,60	7,02	2,72
Florür (mg/l)		0,20	0,20	0,30	0,40	0,45	0,37	0,03	0,02	0,25	0,16	67,15
Amonyak-N (mg/l)		0,05	0,00	0,03	0,04	0,02	0,27	0,01	0,02	0,05	0,09	162,78
Nitrit-N (mg/l)		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,07	0,01	0,00	126,87
Nitrat-N (mg/l)		3,75	3,60	3,46	3,50	2,32	12,96	12,9	14,02	7,06	5,19	73

Çizelge 3: K3 (Çukurçeşme) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-3	K-3	K-3	K-3	K-3	K-3	K-3	K-3	K-3	K-3	K-3
Numunenin Alındığı Yer		Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur	Çukur
		Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme	Çeşme
Numunenin Alındığı Tarih		17.10.2001	15.04.2002	17.10.2002	05.05.2003	05.08.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,99	7,28	7,58	7,58	6,93	7,36	7,04	7,24	7,38	0,34	4,58
EC 25 C, umhos/cm		399,00	453,00	446,00	466,00	348,00	344,00	423,00	352,00	403,88	50,48	12,50
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,23	0,38	0,29	0,30	0,26	0,28	0,28	0,31	0,29	0,04	14,96
	Potasyum(K ⁺)	0,24	0,36	0,27	0,32	0,21	0,22	0,25	0,22	0,26	0,05	20,40
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	2,80	2,36	2,54	2,60	2,46	2,60	2,65	2,55	2,57	0,13	5,06
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	1,08	1,76	1,73	1,57	1,61	1,77	1,78	1,76	1,63	0,24	14,50
	Toplam	4,35	4,86	4,83	4,79	4,54	4,87	0,59	0,59	3,68	1,91	52,05
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0	0			
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	3,34	3,30	3,46	3,47	3,97	2,98	3,89	3,49	3,49	0,32	9,13
	Klorür (Cl ⁻)	0,22	0,47	0,40	0,39	0,28	0,25	0,30	0,30	0,33	0,09	26,11
	Sülfat (SO ₄ ⁻)	0,36	0,63	0,69	0,61	0,16	0,14	0,21	0,21	0,38	0,23	61,56
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,43	0,46	0,28	0,37	0,53	0,47	0,59	0,57	0,46	0,10	22,43
	Toplam	4,35	4,86	4,83	4,79	4,94	4,64	4,99	4,57	4,75	0,21	4,49
% Sodyum		5,29	7,82	6,00	6,26	5,73	5,75	5,65	6,40	6,11	0,78	12,69
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,17	0,26	0,20	0,21	0,18	0,19	0,19	0,21	0,20	0,03	13,63
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	0,00		
Sertlik F.S		19,40	20,60	21,35	20,85	20,35	21,85	22,15	21,55	21,01	0,90	4,27
Toplam Tuz (mg/l)		255,00	290,00	285,00	298,00	223	220	271	225	282,00	18,78	6,66
Florür (mg/l)		0,00	0,30	0,30	0,19	0,18	0,01	0,01	0,01	0,13	0,13	106,30
Amonyak-N (mg/l)		0,00	0,03	0,05	0,02	0,62	0,02	0,02	0,02	0,10	0,21	220,11
Nitrit-N (mg/l)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	282,84
Nitrat-N (mg/l)		6,70	8,85	9,67	8,57	32,71	28,95	35,39	36,47	20,9	13,53	65

Çizelge 4: K4 (55886-A) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	K-4	
Numunenin Alındığı Yer		55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	55886/A	
		no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	no'lu Sondaj	
Numunenin Alındığı Tarih		30.03.2001	17.10.2001	15.04.2002	17,10,2002	05,05,2003	05.08.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,54	7,79	6,78	7,15	7,08	6,90	6,98	6,95	6,83	7,11	0,34	4,78
Elektriksel Geçirgenlik 25 C, umhos/cm		620,00	582,00	677,00	651,00	740,00	1090,00	1216,00	645,00	804,00	780,56	223,23	28,60
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,42	0,53	0,50	0,50	0,48	0,51	0,65	0,56	0,74	0,54	0,10	17,77
	Potasyum(K ⁺)	0,05	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,09	0,07	0,05	0,06	0,01	22,53
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	3,75	4,35	4,72	4,64	4,79	4,65	7,65	5,08	4,97	4,96	1,08	21,84
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	2,07	1,88	2,18	2,14	2,15	1,96	4,64	2,30	2,23	2,39	0,85	35,58
	Toplam	6,29	6,83	7,45	7,33	7,48	7,18	13,03	8,01	7,99	7,95	1,98	24,85
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,08	0,23	300,00
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	5,65	5,13	5,88	5,50	5,87	5,47	4,33	6,34	6,13	5,59	0,60	10,66
	Klorür (Cl ⁻)	0,19	0,18	0,20	0,21	0,16	0,24	0,17	0,18	0,19	0,19	0,02	12,48
	Sülfat (SO ₄ ⁻)	0,27	1,34	0,18	0,18	0,18	1,40	8,49	1,10	1,14	1,59	2,64	166,54
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,18	0,18	1,19	1,44	1,27	0,21	0,10	0,19	0,17	0,55	0,57	103,95
	Toplam	6,29	6,83	7,45	7,33	7,48	7,32	13,77	7,81	7,63	7,99	2,21	27,71
% Sodyum		6,68	7,76	6,71	6,82	6,42	7,10	4,99	6,99	9,26	6,97	1,13	16,28
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,25	0,30	0,27	0,27	0,26	0,28	0,26	0,29	0,39	0,29	0,04	14,69
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C3S1	C3S1	C3S1	C3S1	0,00	0,00	0,00
Sertlik F.S		29,10	31,15	34,50	33,90	34,70	33,05	61,45	36,90	36,00	36,75	9,56	26,02
Toplam Tuz (mg/l)		397,00	372,00	433,00	417,00	474,00	698	778	413	515	418,60	38,46	9,19
Florür (mg/l)		0,20	0,00	0,30	0,30	0,26	0,21	0,02	0,01	0,02	0,15	0,13	90,20
Amonyak-N (mg/l)		0,10	0,00	0,04	0,05	0,02	0,63	0,02	0,01	0,01	0,10	0,20	205,23
Nitrit-N (mg/l)		0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	183,95
Nitrat-N (mg/l)		2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	12,94	5,93	10,51	11,98	6,42	4,66	73

Çizelge 5: K5 (Subaşı Kaynağı) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-5	K-5	K-5	K-5	K-5	K-5	K-5	K-5	K-5	K-5	
Numunenin Alındığı Yer		Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	Subaşı	
		Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	
Numunenin Alındığı Tarih		17.10.2001	15.04.2002	17,10,2002	05,05,2003	05.09.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,28	7,19	7,90	7,39	6,91	6,96	7,01	6,83	7,18	0,35	4,84
EC 25 C, umhos/cm		613,00	649,00	590,00	692,00	774,00	781,00	643,00	802,00	693,00	82,49	11,90
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,53	0,50	0,50	0,45	0,59	0,57	0,52	0,59	0,53	0,05	9,30
	Potasyum(K ⁺)	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,06	0,01	15,87
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	4,62	4,37	3,98	4,34	5,19	4,81	5,06	4,99	4,67	0,42	8,95
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	1,81	2,18	2,02	2,03	2,22	2,16	2,28	2,23	2,12	0,15	7,30
	Toplam	7,03	7,10	6,55	6,87	8,06	7,61	7,93	7,88	7,38	0,56	7,62
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68			0,09	0,28	326,60
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	5,55	5,64	5,08	5,52	6,45	4,96	6,25	6,27	5,72	0,56	9,76
	Klorür (Cl ⁻)	0,20	0,20	0,19	0,18	0,22	0,17	0,17	0,20	0,19	0,02	9,03
	Sulfat (SO ₄ ⁻)	1,13	0,17	0,24	0,20	1,18	0,96	1,13	1,14	0,77	0,47	61,53
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,15	1,09	1,04	0,97	0,18	0,14	0,17	0,18	0,49	0,45	92,10
Toplam		7,03	7,10	6,55	6,87	8,03	6,91	7,72	7,79	7,25	0,53	7,26
% Sodyum		7,54	7,04	7,63	6,55	7,32	7,49	6,56	7,49	7,20	0,44	6,08
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,30	0,28	0,29	0,25	0,31	0,31	0,27	0,31	0,29	0,02	7,24
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C3S1	C3S1		C3S1			
Sertlik F.S		32,15	32,75	30,00	31,85	37,05	34,85	36,70	36,10	33,93	2,60	7,66
Toplam Tuz (mg/l)		392,00	415,00	378,00	443,00	495	500	412	513	407,00	28,44	6,99
Florür (mg/l)		0,00	0,40	0,40	0,37	0,19	0,01	0,02	0,02	0,17	0,19	108,22
Amonyak-N (mg/l)		0,15	0,04	0,07	0,03	0,65	0,02	0,01	0,02	0,12	0,22	175,13
Nitrit-N (mg/l)		0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,22	0,02	0,01	0,01	102,19
Nitrat-N (mg/l)		2,10	2,31	3,33	2,86	10,92	8,86	10,97	10,71	6,51	4,19	64

Çizelge 6: K6 (Atlas Kaynağı) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	K-6	
Numunenin Alındığı Yer		Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	
		Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	
Numunenin Alındığı Tarih		02.06.1998	17.10.2001	15.04.2002	17.10.2002	05.05.2003	05.08.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,14	7,82	6,90	7,51	7,20	6,59	7,00	6,87	6,68	7,08	0,39	5,55
EC 25 C, umhos/cm		461,00	440,00	442,00	428,00	448,00	416,00	419,00	475,00	436,00	440,56	19,07	4,33
Kasyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,19	0,23	0,19	0,17	0,20	0,22	0,21	0,23	0,23	0,21	0,02	10,43
	Potasyum(K ⁺)	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	18,35
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	3,83	4,00	3,50	3,69	3,66	3,91	3,92	4,15	4,06	3,86	0,21	5,42
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	1,02	0,82	1,28	1,18	1,14	1,14	1,19	1,29	1,24	1,14	0,15	12,84
	Toplam	5,07	5,08	5,00	5,06	5,03	5,31	5,35	5,71	5,56	5,24	0,26	4,90
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68			0,08	0,26	340,17
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	4,85	4,60	4,67	4,59	4,64	5,03	4,11	5,40	5,19	4,79	0,38	7,98
	Klorür (Cl ⁻)	0,10	0,05	0,07	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,02	22,50
	Sülfat (SO ₄ ⁻)	0,12	0,43	0,10			0,09	0,08	0,10	0,10	0,11	0,13	111,13
	Nitrat (NO ₃ ⁻)		-	0,16	0,39	0,33	0,08	0,07	0,09	0,09	0,13	0,13	98,37
Toplam	5,07	5,08	5,00	5,06	5,03	5,26	5,00	5,65	5,44	5,18	0,23	4,42	
% Sodyum		3,75	4,53	3,80	3,36	3,98	4,14	3,93	4,03	4,14	3,96	0,32	8,11
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,12	0,15	0,12	0,11	0,13	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,01	9,63
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1		C2S1			
Sertlik F.S		24,25	24,10	23,90	24,35	24,00	25,25	25,55	27,20	26,50	25,01	1,20	4,79
Toplam Tuz (mg/l)		295,00	282,00	283,00	274,00	287,00	266	268	304	279	157,89	7,66	4,85
Florür (mg/l)		0,20	0,00	0,30	0,20	0,11	0,09	0,00	0,00	0,01	0,10	0,11	108,28
Amonyak-N (mg/l)		0,03	0,00	0,04	0,04	0,01	0,61	0,02	0,00	0,04	0,09	0,20	224,78
Nitrit-N (mg/l)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,15	0,00	0,00	201,02
Nitrat-N (mg/l)		1,35	1,25	1,35	1,33	1,07	5,22	4,42	5,57	5,58	3,02	2,1	70

Çizelge 7: K7 (Çardakhamamı Kaynağı) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-7	K-7	K-7	K-7	K-7	K-7	K-7	K-7	K-7	K-7
Numunenin Alındığı Yer		Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.	Çardak Ham.
		Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı
Numunenin Alındığı Tarih		15.04.2002	17.10.2002	05.05.2003	06.08.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		6,88	7,08	7,06	7,16	6,69	6,97	7,07	6,99	0,16	2,27
EC 25 C, umhos/cm		753,00	765,00	815,00	937,00	933,00	705,00	957,00	837,86	103,08	12,30
Kasyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	2,00	0,58	1,72	1,88	1,84	1,82	1,72	1,65	0,48	29,20
	Potasyum(K ⁺)	0,07	0,02	0,07	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,02	32,13
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	4,55	4,29	4,66	4,81	4,57	4,90	4,68	4,64	0,20	4,26
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	1,75	0,85	1,65	1,61	1,65	1,70	1,62	1,55	0,31	20,11
	Toplam	8,37	3,74	8,10	8,38	8,14	8,50	8,09	7,62	1,72	22,54
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,00	0,00	0,11	0,46	404,15
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	6,60	3,09	6,58	6,52	5,49	6,77	6,75	5,97	1,34	22,51
	Klorür (Cl ⁻)	1,08	0,55	1,02	1,00	0,87	1,13	1,04	0,96	0,20	20,53
	Sülfat (SO ₄ ⁼)				0,34	0,31	0,38	0,38	0,20	0,03	16,90
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,69	0,10	0,50	0,05	0,04	0,05	0,05	0,21	0,27	126,95
	Toplam	8,37	3,74	8,10	7,91	7,50	8,33	8,22	7,45	1,66	22,33
% Sodyum		23,89	15,51	21,23	22,43	22,60	21,40	21,26	21,19	2,68	12,66
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		1,13	0,46	0,97	1,05	1,04	1,00	0,97	0,95	0,22	23,41
Suyun Sınıfı		C3S1		C3S1	C3S1	C3S1		C3S1			
Sertlik F.S		31,50	15,70	31,55	32,10	31,10	33,00	31,50	29,49	6,11	20,73
Toplam Tuz (mg/l)		482,00	234,00	522,00	600	597	451	612	412,67	156,02	37,81
Florür (mg/l)		0,30	0,20	0,24	0,19	0,01	0,01	0,01	0,14	0,12	89,84
Amonyak-N (mg/l)		0,04	0,05	0,04	0,77	0,00	0,02	0,03	0,13	0,28	207,37
Nitrit-N (mg/l)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	264,58
Nitrat-N (mg/l)		0,58	0,50	0,71	2,89	2,26	3,38	3,13	0,69	1,01	146,80

Çizelge 8: K8 (Nasrettin Hoca Kaynağı) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8	K-8
Numunenin Alındığı Yer		Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin	Nasrettin
		Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca Kay.	Hoca	Hoca .	Hoca .
Numunenin Alındığı Tarih		10.06.1997	17.10.2001	15.04.2002	17.10.2002	05.05.2003	06.08.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,94	7,85	7,18	7,60	7,44	6,97	7,36	7,08	7,20	7,40	0,34	4,56
EC 25 C, umhos/cm		368,00	379,00	407,00	397,00	417,00	402,00	403,00	410,00	409,00	399,11	15,81	3,96
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,19	0,25	0,31	0,25	0,25	0,28	0,23	0,32	0,29	0,26	0,04	15,54
	Potasyum(K ⁺)	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	34,45
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	2,76	3,18	2,88	3,17	3,25	3,23	3,27	3,44	3,25	3,16	0,21	6,63
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	0,79	0,82	1,32	1,15	1,06	1,07	1,10	1,18	1,09	1,06	0,17	15,69
	Toplam	3,75	4,28	4,52	4,59	4,59	4,60	4,62	4,96	4,65			
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68			0,08	0,26	340,17
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	3,04	3,57	3,86	3,86	3,95	4,09	3,38	4,36	4,15	3,81	0,41	10,82
	Klorür (Cl ⁻)	0,17	0,08	0,13	0,12	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,03	26,15
	Sülfat (SO ₄ ⁻)	0,54	0,40	0,23	0,26	0,23	0,14	0,13	0,18	0,17	0,25	0,13	53,18
	Nitrat (NO ₃ ⁻)	0,84	0,23	0,30	0,35	0,32	0,19	0,17	0,24	0,22	0,32	0,20	64,45
	Toplam	3,75	4,28	4,52	4,59	4,59	4,51	4,45	4,88	4,64			
% Sodyum		5,07	5,84	6,86	5,45	5,45	6,09	4,97	6,45	6,23	5,82	0,64	10,97
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,14	0,18	0,21	0,17	0,17	0,19	0,16	0,21	0,20	0,18	0,02	13,33
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1		C2S1			
Sertlik F.S		17,75	20,00	21,00	21,60	21,55	21,50	21,85	23,10	21,70	21,12	1,50	7,10
Toplam Tuz (mg/l)		236,00	243,00	260,00	254,00	267,00	257	258	262	262	252,00	12,55	4,98
Florür (mg/l)		0,10	0,00	0,40	0,20	0,14	0,10	0,01	0,00	0,00	0,11	0,13	124,11
Amonyak-N (mg/l)		0,03	0,05	0,05	0,04	0,02	0,49	0,02	0,00	0,01	0,08	0,16	196,09
Nitrit-N (mg/l)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,11	0,00	0,00	141,42
Nitrat-N (mg/l)		3,60	3,20	3,27	3,67	3,21	12,33	10,81	14,24	15,10	7,71	5,26	68

Çizelge 9: K-9 (Babadat Kaynağı) 2001-2006 yılı su örneklerinin fizikokimyasal parametreleri

Numunenin İsmi		K-9	K-9	K-9	K-9	K-9	K-9	K-9	K-9	K-9	K-9	K-9
Numunenin Alındığı Yer		Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat	Babadat
		Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı	Kaynağı
Numunenin Alındığı Tarih		10.06.1997	17.10.2001	15.04.2002	05.05.2003	06.08.2005	20.09.2005	20.03.2006	20.04.2006	Ort.	SD	CV
PH		7,92	7,82	7,41	7,63	6,97	6,86	7,23	7,00	7,36	0,41	5,51
EC 25 C, umhos/cm		431,00	370,00	421,00	435,00	405,00	405,00	422,00	415,00	413,00	20,47	4,96
Katyon Durumu Meq/l	Sodyum (Na ⁺)	0,25	0,33	0,31	0,30	0,33	0,33	0,37	0,37	0,32	0,04	12,01
	Potasyum(K ⁺)	0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	37,91
	Kalsiyum (Ca ⁺⁺)	3,14	2,80	2,94	3,19	3,25	3,28	3,36	3,26	3,15	0,19	6,01
	Magnezyum (Mg ⁺⁺)	1,11	0,97	1,41	1,25	1,21	1,25	1,29	1,26	1,22	0,13	10,70
	Toplam	4,51	4,14	4,69	4,77	4,81	4,89	5,04	4,91	4,72	0,28	6,00
Anyon Meq/lt	Karbonat (CO ₃ ⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57			0,07	0,23	326,60
	Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	3,59	3,37	3,98	4,00	4,22	3,59	4,36	4,24	3,92	0,36	9,23
	Klorür (Cl ⁻)	0,22	0,16	0,16	0,14	0,15	0,13	0,16	0,16	0,16	0,03	16,70
	Sülfat (SO ₄ ⁻)	0,70	0,41	0,23	0,27	0,14	0,12	0,17	0,17	0,28	0,19	70,46
	Nitrat (NO ₃ ⁻)		0,20	0,32	0,36	0,23	0,19	0,26	0,24	0,23	0,06	27,72
Toplam	4,51	4,14	4,69	4,77	4,74	4,60	4,95	4,81	4,65	0,25	5,28	
% Sodyum		5,54	7,97	6,61	6,29	6,86	6,74	7,34	7,54	6,86	0,76	11,10
Sodyum Adsorbsiyon Oranı		0,17	0,24	0,21	0,20	0,22	0,22	0,24	0,25	0,22	0,03	11,70
Suyun Sınıfı		C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1	C2S1			
Sertlik F.S		21,25	18,85	21,75	22,20	22,30	22,65	23,25	22,60	21,86	1,36	6,20
Toplam Tuz (mg/l)		276,00	237,00	269,00	278,00	259	259	270	266	265,00	19,06	7,19
Florür (mg/l)		0,10	0,00	0,30	0,17	0,15	0,01	0,01	0,00	0,09	0,11	119,15
Amonyak-N (mg/l)		0,04	0,05	0,05	0,02	0,28	0,02	0,00	0,02	0,06	0,09	151,18
Nitrit-N (mg/l)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,03	0,00	0,00	0,00
Nitrat-N (mg/l)		3,60	2,85	3,27	3,75	14,02	11,9	15,30	15,98	8,83	5,97	68

ÖZGEÇMİŞ

25.01.1962 yılında Yozgat'ta doğdu. İlk öğrenimini 1968–1972 yıllarında Boğazlıyan Kaymakam Kemal Bey İlkokulunda, orta ve lise öğrenimini 1972-1978 yıllarında İstanbul Kandilli Kız Lisesinde tamamladı. 1978–1979 öğrenim yılında başladığı Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 11.07.1984 tarihinde mezun oldu. Stajlarını Ankara Maden Tetkik Araştırma'nın Fizibilite Dairesinde ve Antalya Devlet Su İşleri Yeraltısuları Dairesi'nde yaptı.

Ankara Ekonomik Basın Ajansında (EBA) 1 yıl süreyle teknik araştırmacı olarak, Ankara Büro-Form Madencilik ve Mühendislikte 2 yıl jeoloji mühendisi olarak çeşitli maden sahalarının araştırma, işletme ve fizibilite raporları hazırladı. 1987 yılında atandığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü'nün değişik birimlerinde görev aldı. Türkiye'nin birçok yerinde içme suyu ve sulama suyu amaçlı sondaj ve göletler konusunda etüt, proje ve uygulama aşamasında çalıştı.

1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Mühendislik Jeolojisi Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başlayan Demiroğlu, İstanbul-Silivri-Kavaklı Havzası ve Dolayının Hidrojeolojik İncelenmesi başlıklı tezi 1997 yılında bitirdi. 2002 yılında sondaj şefi olarak görev yaptığı İstanbul Köy Hizmetleri 18. Bölge Müdürlüğü'nden İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalına geçiş yaptı. Araştırmacı, bilimsel içerikli bir Türkçe makalede, 2 genişletilmiş bildiride, 3 bildiri özünde, 3 proje raporunda, Köy Hizmetlerinde çalıştığı dönemde 50 nin üzerinde teknik etüd raporunda yazar olarak yer almaktadır.