

**KAYSERİ VOLKANİK AKİFER SİSTEMİNDE  
YERALTISUYU AKIMININ MODELLENMESİ**

**MODELLING OF GROUNDWATER FLOW IN THE  
KAYSERİ VOLCANIC AQUIFER SYSTEM**

**OTGONBAYAR NAMKHAI**

**PROF. DR. MEHMET EKMEKÇİ**

**Tez Danışmanı**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ LEVENT TEZCAN**

**Eş Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

# ÖZET

## KAYSERİ VOLKANİK AKİFER SİSTEMİNDE YERALTISUYU AKIMININ MODELLENMESİ

Otgonbayar NAMKHAI

Doktora,  
JEOLJİ (HİDROJEOLJİ) MÜHENDİSLİĞİ Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ

Eş Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi. Levent TEZCAN

Aralık 2022, 196 sayfa

Bu tez çalışmasında Kayseri Kenti'nin içme-kullanma, sanayi ve sulama suyunu sağlayan Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sistemi (KVAS) incelenmiştir. Çalışmada öncelikle, volkanik kayaç akifer sisteminin hidrojeolojik kavramsal modelinin ortaya konulması amacıyla inceleme alanı jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik karakteristikleri tanımlanmış, bu doğrultuda hidrojeokimyasal ve izotop hidrolojisi yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Tüm bu çalışmalardan elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek sisteminin girdi ve çıktı bileşenleri ayrıntılı bir şekilde tanımlanmıştır ve hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur. Buradan, KVAS'ın besleniminin Erciyes Dağı'na düşen karın erimesiyle oluşan kar suları, Sarımsaklı Ovası'ndan gelen yeraltısuyu akımı ile yüzeysel akışın yeraltına süzülmesiyle gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Yeraltısuyu boşalımı ise Karasazlık alt sistemine olan boşalım ve kuyularla çekim olarak tanımlanmıştır.

Daha sonra, KVAS'in beslenme-depolama-dolaşım-boşalım ilişkisini ifade eden bu hidrojeolojik kavramsal modelinin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla sayısal yeraltısuyu modeli oluşturulmuştur.

Oldukça karmaşık bir hidrolik yapıya sahip olan Kayseri Kenti volkanik kayaç akifer sisteminde çok sayıda kuyu açılmış olmasına karşın, hidrojeolojik sistemin dinamik yapısını yansıtacak şekilde gerek işletme öncesinde gerekse sonrasında yeraltısuyu seviyesi gözlemleri sistematik olarak yapılmaması, bu tez kapsamında KVAS'ı tanımlayan sayısal matematiksel yeraltısuyu akım modelinde türetilmiş veriler ile kalibrasyon yapılması gerekmiştir.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında ortaya konulan hidrojeolojik kavram modeline dayanan sayısal yeraltısuyu akım modeli kullanılarak Kayseri Kenti volkanik kayaç akifer sisteminin sürdürülebilir yöntemine yönelik öneriler geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kayseri-Erciyes, kar erimesi, volkanik kayaç, heterojen ve anizotrop, kavramsal hidrojeolojik model, matematiksel yeraltısuyu model

# **ABSTRACT**

## **MODELLING OF GROUNDWATER FLOW IN THE KAYSERI VOLCANIC AQUIFER SYSTEM**

**Otgonbayar NAMKHAI**

**Doctor of Philosophy,  
Department of GEOLOGICAL (HYDROGEOLOGICAL) ENGINEERING**

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ**

**Co-Supervisor: Assisst. Prof. Dr. Levent TEZCAN**

**December 2022, 196 pages**

In this thesis, the Kayseri City Volcanic Rock Aquifer System (KVAS), which provides drinking, industrial and irrigation water of Kayseri City, was examined. Firstly in the study, in order to reveal the hydrogeological conceptual model of the volcanic rock aquifer system, the geological, hydrological and hydrogeological characteristics of the study area were defined, and in this direction, hydrogeochemical and isotope hydrology methods were used.

By evaluating the data obtained from all these studies together, the input and output components of the system were defined in detail and a hydrogeological conceptual model was created. It has been revealed that the recharge of the KVAS is realized by the snow waters formed by the melting of the snow falling on Mount Erciyes, the groundwater flow from the Sarimsakli Plain and the infiltration of the surface flow into the underground. Groundwater discharge is defined as discharge to the Karasazlık Subsystem and withdrawal by wells.



Then, a mathematical groundwater model was created in order to test the validity of this hydrogeological conceptual model, which expresses the recharge-storage-circulation-discharge relationship of the KVAS.

Many wells have been drilled in this volcanic rock aquifer system of Kayseri City, which has a very complex hydraulic structure. However, groundwater level observations have not been made systematically, both before and after the operation, reflecting the dynamic nature of the hydrogeological system. Therefore, within the scope of this thesis, it was necessary to calibrate with the derived data in the numerical mathematical groundwater flow model that defines the KVAS.

As a result, suggestions have been developed for the sustainable method of the volcanic rock aquifer system of Kayseri City by using the numerical groundwater flow model based on the hydrogeological conceptual model set forth in this thesis.

**Keywords:** Kayseri-Erciyes, snow melting, volcanic rock, heterogeneous and anisotropic, hydrogeological conceptual model, mathematical groundwater model

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarımın tüm aşamalarında araştırma konuları ile yöntemlerin belirlenmesinde, seçilmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde değerli bilimsel bilgi birikimlerini esirgemeyerek yapıcı, yönlendirici fikirlerini ve tüm desteklerini hiç esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof.Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye,

Tezin yeraltısuyu modellemesi ile coğrafi bilgi sistemleri tabanlı çalışmalarına ilişkin bilimsel katkılarını esirgemeyen eş tez danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Levent TEZCAN'a,

Tez çalışma sürecinde değerli bilimsel katkılarını esirgemeyen tez izleme komitesi üyeleri Prof.Dr. Mustafa DEĞİRMENCİ (TÜBİTAK-ÇAYDAG-107Y170 nolu proje yürütücüsü), emekli öğretim üyesi Prof.Dr. Hasan YAZICIGİL ve Dr.Öğr.Üyesi Türker KURTTAŞ'a; tez savunma sınavında desteklerini sunan Prof.Dr. Mehmet ÇELİK, Doç.Dr. Harun AYDIN olmak üzere Tez Savunma Sınavı Diğer Tüm Jüri Üyeleri'ne,

Tez çalışmamın arazi-veri-laboratuvar çalışmalarında ÇAYDAG-107Y170 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a; işbu proje kapsamında birlikte çalışan Değerli Proje Ekibi Hocalarım ve Arkadaşlarım'a; arazi ve karotlu sondaj çalışmasında maddi-lojistik destek sağlayan KASKİ eski genel müdürü Sayın Ender BATUKAN'a; su kimyası ile izotop analizlerini yapan İlgili Tüm Laboratuvar Uzmanları'na,

Tez çalışması sürecinde burs desteği sağlayan TÜBİTAK (BİDEB-2215) ile Hacettepe Üniversitesi'ne; meteorolojik, toprak örtüsü ile arazi kullanım ile kar örtüsü verilerini ücretsiz paylaşan T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı'na ve ABD NASA-NSDIC'ya,

Tez süresince farklı aşamalarında fikir-önerileri ile tüm desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Dr.Öğr.Üyesi Şükran AÇIKEL ile Dr. Elif YILMAZ TURALI'ya, ve harita çalışmaları ile bilgisayar donanım/yazılımlar konusundaki özverili desteklerinden ötürü arkadaşım harita kadastro teknikeri Bülent TOPUZ'a,

Tez çalışmamın tüm süreçlerinde benimle yol kat eden maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen her daim yanımda olan burada adlarını saymadığım Sevgili Tüm Can Arkadaşlarım'a; rahmetli sevgili babam Namkhai ISHDORJ ile rahmetli sevgili annem Önör JADAMBAA'ya, ve Sevgili Kardeşlerime.,

Herkese İçtenlikle Sonsuz Sevgiler ve Teşekkürler...

Aralık-2022, Ankara / Otgonbayar NAMKHAI

# İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Amaç ve Kapsam .....	1
1.2. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu.....	2
1.3. İnceleme Alanının Nüfus ve Sosyo-Ekonomik Yapısı .....	4
1.4. İnceleme Alanının İklimi .....	5
1.5. Kayseri Kenti Su İhtiyacı ve Kaynakları .....	5
1.6. Yeraltısuyu (YAS) Model Alanı .....	8
1.7. Önceki Çalışmalar.....	9
2. JEOLojİ .....	14
2.1. Bölgesel Jeoloji.....	14
2.1.1. Bölgesel Tektonizma .....	17
2.1.2. Bölgesel Volkanizma .....	17
2.2. Yeraltısuyu Model Alanı ile Çevresinin Jeolojisi .....	20
2.2.1. Litostratigrafi .....	20
2.2.2. Paleocoğrafya.....	28
3. HİDROLOJİ.....	31
3.1. İnceleme Alanının Drenaj Alanı Sınırları ve Özellikleri .....	31
3.2. İnceleme Alanının Fiziki Coğrafyası .....	33
3.3. İnceleme Alanının Oroğrafyası .....	34
3.4. İnceleme Alanının Yüzeysel Akışını Denetleyen Faktörlerin İncelenmesi .....	36
3.5. İklim Analizi .....	39
3.5.1. Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının Dağılımı ve Temsil Edicilikleri .....	39
3.5.2. Yağış .....	42
3.5.3. Sıcaklık .....	43
3.5.4. Hidrolojik Su Bütçesi Hesaplama Yöntemi ve Bileşenlerinin Belirlenmesi .....	44
3.5.4.1. Kar erimesinin belirlenmesi için uygun yöntemin seçilmesi.....	44
3.5.4.2. İnceleme alanındaki kar örtüsü erime sıcaklığının belirlenmesi.....	45

3.5.4.3. Alansal kar örtüsü verilerinin incelenmesi .....	48
3.6. Yüzey ve Yeraltı Suyu İlişkisi .....	57
3.7. Hidrolojik Su Bütçesi .....	58
4. HİDROJEOLOJİK YAPI VE KARAKTERİZASYONU .....	61
4.1. İnceleme Alanının Hidrostratigrafisi .....	61
4.1.1. Hidrojeolojik Sistemin Temelini Oluşturan Birimler .....	66
4.1.2. Akifer Birimlerinin Yayılımı ve Kalınlıkları .....	67
4.1.2.1. Kırıntılı sondaj teknikleriyle açılan kuyularda kesilen jeolojik birimlerinin özellikleri .....	68
4.1.2.2. Karotlu sondaj teknikleriyle açılan kuyularda kesilen jeolojik birimlerinin özellikleri .....	78
4.1.3. Yeraltısuyu Seviyelerinin Değerlendirilmesi .....	87
5. HİDROJEOKİMYA VE İZOTOP HİDROLOJİSİ .....	105
5.1. Örnekleme ve Analiz Yöntemleri .....	105
5.2. Yerinde Ölçüm Parametrelerinin Değerlendirilmesi .....	109
5.3. Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler .....	115
5.3.1. Sığ kuyu suları .....	117
5.3.2. Kaynak ve yüzey suları .....	121
5.3.3. Derin kuyu suları .....	128
5.3.4. Bütün suların genel hidrojeokimyasal değerlendirilmesi .....	133
5.4. İzotop Hidrolojisi .....	136
5.4.1. Duraylı izotoplar ile radyoaktif izotopu trityum .....	136
5.4.2. Örnekleme ve analiz yöntemi .....	137
5.4.3. İzotop Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	138
6. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİK KAVRAMSAL MODELİ .....	150
6.1. Akifer Birimleri, Yayılımları ve Kalınlıkları .....	152
6.2. Beslenme Kaynakları, Yeraltısuyu Potansiyeli ve Boşalım .....	152
6.3. Hidrojeolojik Su Bütçesi .....	155
7. İNCELEME ALANININ SAYISAL YERALTISUYU AKIM MODELİ .....	159
7.1. Kullanılan Model Programı - MODFLOW 2005 .....	159
7.2. Model Alanının ve Hidrojeolojik Özellikleri .....	161
7.3. Model Kurgusu .....	165
7.3.1. Sonlu Farklar Grid Tasarımı .....	165
7.3.2. Sınır Koşulları .....	166
7.3.3. Başlangıç Koşulları .....	168
7.3.4. Model Parametreleri ve Kalibrasyon .....	168
7.3.5. Yeraltısuyu Bütçesi .....	174
7.4. Değerlendirmeler .....	174
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	176
8.1. Bulgular ve Sonuçlar .....	176

8.2. Öneriler .....	179
9. KAYNAKLAR .....	181
EKLER .....	187
EK 1 - 1975-2018 yıllarına ait hidrolojik su bütçesi bileşenleri .....	187
EK 2 - Örnekleme noktalarına ait yerinde ölçümler, majör iyonlar ile izotop analiz sonuçları.....	188
EK 3 - Tezden Türetilmiş Yayınlar .....	192
EK 4 - Tezden Türetilmiş Bildiriler .....	193
EK 5 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu .....	194
ÖZGEÇMİŞ .....	195

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.1.</b>	İnceleme alanının konum haritası (DSİ, 2019; HGK K34 ve K35 paftaları 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritaları ile Google Earth Pro <sup>®</sup> 2022, v7.3.6.9345'den yararlanılmıştır).....	3
<b>Şekil 1.2.</b>	İnceleme alanında yer alan ilçelerin yıllara göre nüfus dağılım grafiği ( <a href="https://biruni.tuik.gov.tr">https://biruni.tuik.gov.tr</a> 'den yararlanılmıştır).....	4
<b>Şekil 1.3.</b>	Kayseri MGI'ye ait yağış değerlerinin yıllık toplam ile uzun yıllar ortalamadan eklenik sapma grafiği (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	6
<b>Şekil 1.4.</b>	İnceleme alanı ve çevresinde yer alan KASKİ tarafından işletilen içme suyu kuyu tesislerinin konum haritası (tesis konumları için Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır) .....	7
<b>Şekil 1.5.</b>	İnceleme alanı ve çevresinde yer alan KASKİ tarafından işletilen içme suyu kuyu tesislerinin konum haritası (ham veriler, <a href="https://biruni.tuik.gov.tr">https://biruni.tuik.gov.tr</a> ; <a href="http://www.kaski.gov.tr">www.kaski.gov.tr</a> ). .....	8
<b>Şekil 2.1.</b>	İnceleme alanı ve dolayının 1/500.000 ölçekli bölgesel jeoloji haritasındaki konumu (MTA, 2002a ve MTA, 2002b'den yararlanılmıştır) .....	15
<b>Şekil 2.2.</b>	İnceleme alanı ve çevresinin (a) 1/100.000 ölçekli genelleştirilmiş jeolojik haritası (b) jeolojik kesitler (Dalkılıç, 2009; Dönmez ve ark.,2005 ve DSİ, 1966, 1969'den yararlanılarak Namkhai ve ark.,2011'de hazırlanmıştır) 16	
<b>Şekil 2.3.</b>	İnceleme alanı ve dolayının 1/250.000 ölçekli diri fay haritasındaki konumu (Emre ve ark., 2011a; 2011b; 2012'den yararlanılmıştır).....	18
<b>Şekil 2.4.</b>	İnceleme alanının yer aldığı Sultansazlığı ile Tuzla Havzası'nın gelişimine ilişkin üç boyutlu şematik diyagramlar (Dirik, 2001 ile Namkhai ve ark., 2011'den yararlanılmıştır).....	19
<b>Şekil 2.5.</b>	Yeraltısuyu model alanı ve çevresinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Dalkılıç, 2009; Değirmenci ve ark., 2011b; Dönmez ve ark., 2005 ile Namkhai ve ark., 2012'den yararlanılmıştır).....	21
<b>Şekil 2.6.</b>	Erciyes-Boğazköprü KB-1 kuyusuna ilişkin veriler: a) kuyunun konum haritası ile jeoloji haritası, b) kuyuda kesilen jeoloji birimleri ve kuyu donanımı (Özgür ve ark., 2000) .....	29
<b>Şekil 3.1.</b>	İnceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Havzası'nın genel hidroloji haritası (DSİ, 2019 ile HGK, 1986: K34 ve K35 paftaları 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarından yararlanılmıştır) .....	32
<b>Şekil 3.2.</b>	İnceleme alanının (a) sayısal arazi modeli, (b) eğim ve (c) bakı haritaları	33
<b>Şekil 3.3.</b>	İnceleme alanının eşit kot aralıklı sayısal arazi modeli (Şekil 3.1 ile Şekil 3.2'deki sayısal arazi modelinden yararlanılmıştır).....	35
<b>Şekil 3.4.</b>	İnceleme alanının kot-alan ilişkisi (Şekil 3.3'teki sayısal arazi modelinden yararlanılmıştır).....	36

<b>Şekil 3.5.</b>	İnceleme alanındaki toprak özelliklerinin alansal dağılımları: (a) büyük toprak grubu, (b) derinlik, (c) erozyon derecesi ve (d) eğimi (TOB, 2013'ten yararlanılmıştır).....	37
<b>Şekil 3.6.</b>	İnceleme alanına ait arazi kullanım durumu (TOB, 2013'ten yararlanılmıştır).....	38
<b>Şekil 3.7.</b>	İnceleme alanı ve çevresine ait MGİ'lerin Thiessen poligon yağış alanlarını gösterir harita (MGİ koordinat bilgileri için <a href="https://www.mgm.gov.tr/">https://www.mgm.gov.tr/</a> 'den yararlanılmıştır).....	41
<b>Şekil 3.8.</b>	İnceleme alanında yer alan MGİ'lerinin kot ile yağış ilişkisi grafiği.....	41
<b>Şekil 3.9.</b>	Kayseri MGİ'ye ait 1976-2018 su yılları için ölçülen yağışların zamansal ve eklenik sapma grafiği (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	42
<b>Şekil 3.10.</b>	Tekir MGİ, 1976-2018 su yılları için hesaplanan yağışların zamansal ve eklenik sapma grafiği (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	43
<b>Şekil 3.11.</b>	Kayseri MGİ ile Tekir MGİ'ye ait aylık ortalama sıcaklık dağılımı (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	44
<b>Şekil 3.12.</b>	2008, 2009 ve 2010 su yıllarına ait kar derinliği, ortalama sıcaklık, akım ile yeraltısuyu çekim miktarlarına ilişkin grafikler (DSİ, 2014; KASKİ, 2019 ile MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	47
<b>Şekil 3.13.</b>	Kayseri MGİ ile Tekir MGİ için belirlenen yağışın kara dönüş sıcaklıklarına ilişkin grafik (DSİ, 2014 ile MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	48
<b>Şekil 3.14.</b>	2008 yılının 039.cu takvim gününe ait inceleme alanı ve çevresinin yer aldığı 1200 km × 1200 km'lik alanı kapsayan (a) MOD10A1 ve (b) MYD10A1 kodlu kar örtüsü uydu görüntüleri (ham harita: <a href="https://nsidc.org/data">https://nsidc.org/data</a> ) (Açıklama: sarı renkli dikdörtgen=inceleme alanı, snow=kar, lake ice=göl buz, land (no snow)=kar olmayan arazi, cloud=bulut, water=su yüzeyi, undetermined=tanımlanmamış,).....	50
<b>Şekil 3.15.</b>	2008 yılının 039.cu takvim gününe ait inceleme alanı ve çevresinin (a) MOD10A1 ve (b) MYD10A1 kodlu işlenmiş kar örtüsü uydu görüntüleri ( <a href="https://nsidc.org/data">https://nsidc.org/data</a> 'den yararlanılmıştır).....	51
<b>Şekil 3.16.</b>	2008 yılının 039.cu takvim gününe ait inceleme alanı ve çevresinin (a) MOD10A1 ve (b) MYD10A1 kodlu işlenmiş kesirli kar örtüsü uydu görüntüleri ( <a href="https://nsidc.org/data">https://nsidc.org/data</a> 'den yararlanılmıştır).....	52
<b>Şekil 3.17.</b>	İnceleme alanında kar erimesi sıcaklığının belirlenmesinde kullanılan uydu görüntülerinin analiz sınırlarına ilişkin harita.....	53
<b>Şekil 3.18.</b>	Erciyes Dağı doğu ve batı bloklarına ait günlük alansal kar örtüsü alanları ile Kayseri MGİ ile Erciyes-2B KGİ'de ölçülen yeni ve eriyen kar derinliklerine ilişkin grafik (2008 su yılı) (DSİ, 2014; MGM, 2019 ile Şekil 3.17'den yararlanılmıştır).....	54
<b>Şekil 3.19.</b>	2009 su yılına ait yağış, kar derinlikleri ile akım verilerinin karşılaştırılması: a) Kayseri MGİ sıcaklık, b) Erciyes-2B KGİ kar derinliği, c) Molu-Karasu iletim hattı AGİ ve d) yeraltısuyu çekim- KASKİ (DSİ, 2014; Değirmenci ve ark., 2011b; MGM, 2019'dan yararlanılmıştır).....	56

- Şekil 3.20.** Sarımsaklı suyunda debi ölçüm noktaları: 1) Sarımsaklı giriş, 2) Şeker fabrikası kuzeyi, 3) Şeker fabrikası atık suyu kanalı, 4) Ambar suyu ve 5) Sarımsaklı çıkış (Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır)..... 57
- Şekil 3.21.** Kayseri MGİ ve Tekir MGİ'ye ait hidrolojik su bütçesi değişkenlerinin zaman içindeki dağılımı (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)..... 60
- Şekil 4.1.** Yeraltısu model alanı ve çevresinde mevcut jeolojik birimleri ile fay hatları, DES noktaları ile hatları, su kuyuları ile yüzey suyunun konumları ve jeolojik kesit doğrultularını gösterir harita (Dalkılıç,2009; Değirmenci ve ark., 2011b; Dönmez ve ark., 2005; DSİ, 1966,1969; Namkhai ve ark., 2012; 1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgileri; sözü edilen raporlar ile kuyu log bilgilerinden yararlanılmıştır)..... 62
- Şekil 4.2.** Model alanı ve çevresine ait jeolojik kesitler: Hat-Erkilet-Germiraltı ve Hat XXVIIa-VIIa (Şekil 4.1'de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)..... 63
- Şekil 4.3.** Model alanı ve çevresine ait jeolojik kesitler: Hat-IIIa, Hat-Ea ve Hat-Da (Şekil 4.1'de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)..... 64
- Şekil 4.4.** Model alanı ve çevresine ait jeolojik kesitler: Hat-XIIIa, Hat-Xa, Hat-Aa (Şekil 4.1'de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)..... 65
- Şekil 4.5.** Model alanı ve çevresinde kırıntılı sondaj teknikleriyle açılmış olan mevcut kuyuların konum haritaları ile histogramları: (a) derinlik, (b) kuyu başı kotu, (c) kuyu taban kotu (1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgilerinden yararlanılmıştır)..... 69
- Şekil 4.6.** KVAS'i oluşturan ana jeolojik birimlerinde açılan kuyulara ait (a) debi ve (b) özgül debi dağılım haritaları (1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgilerinden yararlanılmıştır) ..... 71
- Şekil 4.7.** KVAS'i oluşturan ana jeolojik birimlerinde açılan kuyuların (a) ana volkanik grubu, (b) ana jeolojik birimler, (c) debi, (d) özgül debi histogramları ..... 72
- Şekil 4.8.** KVAS'i oluşturan ana jeolojik birimlerinde açılan kuyuların a) volkanitler grubu, b) derinliği, c) kuyu başı kotu (KBK) ile kuyu taban kotu (KTK) ve d) debi ile özgül debi değerlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları grafikleri ..... 73
- Şekil 4.9.** Çaybağları mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 75
- Şekil 4.10.** Kergahbahları, Eğribucak ve Taşlıburun mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 76



- Şekil 4.11.** Beştepeler mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 77
- Şekil 4.12.** Mahrumlar mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 79
- Şekil 4.13.** Model alanında karotlu sondaj teknikleriyle açılan kuyuların konum haritası (Değirmenci ve ark., 2011b)..... 80
- Şekil 4.14.** Keykubat mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 82
- Şekil 4.15.** Karpuzatan mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006; 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 83
- Şekil 4.16.** Argıncık mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006; 2011b; Namkhai ve ark., 2012)..... 84
- Şekil 4.17.** Germiraltı ve Anneler Parkı mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006; 2011b; Namkhai ve ark., 2012) ..... 85
- Şekil 4.18.** Kayseri Beştepeler kaynağı ve yakın çevresindeki araştırma kuyularının kuyu logları blok diyagramı (Değirmenci ve ark., 2006)..... 87
- Şekil 4.19.** Model alanı ve yakın çevresinde yer alan yeraltısuyu gözlem kuyularının konum haritası (Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır) ..... 89
- Şekil 4.20.** Yeraltısuyu gözlem kuyularında 2010 su yılı boyunca ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot değerlerinin alansal dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b ve Namkhai ve ark., 2012'den yararlanılmıştır) ..... 91
- Şekil 4.21.** Yeraltısuyu gözlem kuyularında 1975-2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot değerleri ile trendlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b'den yararlanılmıştır)..... 92
- Şekil 4.22.** DSİ Bahçesi GK'da Ocak 2005 - Aralık 2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot ile eklenik sapma değerlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b'den yararlanılmıştır)..... 93
- Şekil 4.23.** Yeşilmahalle (8013) GK'da Ocak 2005 - Aralık 2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot ile eklenik sapma değerlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b'den yararlanılmıştır) ..... 94
- Şekil 4.24.** Elagöz 8826) GK'da Ocak 2005 - Aralık 2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot ile eklenik sapma değerlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b'den yararlanılmıştır)..... 94
- Şekil 4.25.** Model alanı ve çevresinde yer alan yeraltısuyu seviyesi gözlem kuyularında mevsimsel olarak yeraltısuyu dağılım grafiği (2009-2010 yılları) (Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır)..... 95
- Şekil 4.26.** KASKİ işletme tesislerince aylık ölçekte çekilen yeraltısuyu miktarları ile yeraltısuyu GK'larda ölçülen yeraltısuyu seviyesi kot dağılımlarına ilişkin grafikler (2010 su yılı) (DSİ, 2019b; Değirmenci ve ark., 2006; Değirmenci ve ark., 2011b ile KASKİ, 2019'dan yararlanılmıştır)..... 96

<b>Şekil 4.27.</b>	Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik haritası ile hidrojeolojik kesit doğrultuları gösterir harita (Dalkılıç, 2009; Değirmenci ve ark., 2011b; Dönmez ve ark., 2005; DSİ, 1966,1969; Namkhai ve ark., 2012; 1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgileri; sözü edilen raporlar ile kuyu log bilgilerinden yararlanılarak çizilmiştir).....	101
<b>Şekil 4.28.</b>	Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik kesit: Hat-Erkilet-Germiraltı ve Hat XXVIIa-VIIa (Şekil 4.27’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir).....	102
<b>Şekil 4.29.</b>	Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik kesit: Hat-IIIa, Hat-Ea ve Hat-Da (Şekil 4.27’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir).....	103
<b>Şekil 4.30.</b>	Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik kesit: Hat-XIIIa, Hat-Xa, Hat-Aa (Şekil 4.27’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir).....	104
<b>Şekil 5.1.</b>	İnceleme alanındaki örnekleme noktalarının konum haritası .....	107
<b>Şekil 5.2.</b>	İnceleme alanındaki örnekleme noktalarının Kayseri ovasındaki konumsal dağılımı.....	108
<b>Şekil 5.3.</b>	Örnekleme noktalarına ait fiziksel/kimyasal parametrelerinin konumsal dağılımı.....	114
<b>Şekil 5.4.</b>	Örnekleme noktalarına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) konumsal dağılımı.....	116
<b>Şekil 5.5.</b>	Sığ kuyu sularına ait a) Yarı Logaritmik grafik ve b) Üçgen diyagramı (1 – Aralık 2008, 2 - Haziran 2009, 3 – Eylül 2009) .....	119
<b>Şekil 5.6.</b>	Sığ kuyu sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Scheoller sıralanmasına göre dağılımı.....	120
<b>Şekil 5.7.</b>	Kaynak, yüzey ile kar sularına ait a) Yarı Logaritmik grafikler ve b) Üçgen diyagramı (1 – Aralık 2008, 2 - Haziran 2009, 3 – Eylül 2009; A – yüzey ve kar suyu, B – kaynak suyu).....	123
<b>Şekil 5.8.</b>	Kaynak sularına ait ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiğindeki sıralanmasına göre dağılımı	125
<b>Şekil 5.9.</b>	Yüzey sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiğindeki sıralanmasına göre dağılımı .....	127
<b>Şekil 5.10.</b>	Yüzey sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiğindeki sıralanmasına göre dağılımı .....	128
<b>Şekil 5.11.</b>	Derin kuyu sularına ait a) Yarı Logaritmik grafikler ve b) Üçgen diyagramı (1 – Aralık 2008, 2 - Haziran 2009, 3 – Eylül 2009; A – doğu, B – güney, C – batı).....	131
<b>Şekil 5.12.</b>	Derin kuyu sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiği sıralanmasına göre dağılımı.....	133
<b>Şekil 5.13.</b>	Örnekleme noktalarının su tipine göre konumsal dağılımı.....	135

<b>Şekil 5.14.</b>	Birinci dönem (KÖD1) - Aralık 2008 dönemine ait sıklık grafikler: a) konumsal olarak izotoplar ile beslenme yükseltisi, b) O-18, c) D, d) döteryum fazlası, e) trityum, f) beslenme yükseltisi.....	140
<b>Şekil 5.15.</b>	İkinci dönem (KÖD2) – Haziran 2009 dönemine ait sıklık grafikler: a) konumsal olarak izotoplar ile beslenme yükseltisi, b) O-18, c) D, d) döteryum fazlası, e) trityum, f) beslenme yükseltisi.....	141
<b>Şekil 5.16.</b>	Üçüncü dönem (KÖD3) – Eylül 2009 dönemine ait sıklık grafikler: a) konumsal olarak izotoplar ile beslenme yükseltisi, b) O-18, c) D, d) DF, döteryum fazlası, e) beslenme yükseltisi .....	142
<b>Şekil 5.17.</b>	İnceleme alanına ait yükselti ile $\delta^{18}\text{O}$ ilişki grafiği.....	143
<b>Şekil 5.18.</b>	İnceleme alanındaki tüm örnekleme sularına ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafikleri: a) Aralık 2008, b) Haziran 2009, c) Eylül 2009, (1) genel, (2) yakınlaştırılmış.....	145
<b>Şekil 5.19.</b>	$\delta^{18}\text{O}$ ile Trityum ilişki grafikleri: a) yüzeysuyu ile sığ kuyu, b) kaynak ile kar suyu, 1) Aralık 2008, 2) Haziran 2009.....	148
<b>Şekil 5.20.</b>	İnceleme alanında yer alan akifer sisteminin beslenme mekanizmasını gösterir şematik kesit .....	149
<b>Şekil 6.1.</b>	İnceleme alanının beslenme alanlarını gösterir harita.....	151
<b>Şekil 6.2.</b>	İnceleme alanının yeraltısuyu akifer sisteminin beslenme-boşalım ilişkisini gösterir şematik kesitler (ölçeksiz) .....	154
<b>Şekil 6.3.</b>	İnceleme alanındaki kavramsal hidrojeolojik modelinin şematik gösterimi (Değirmenci ve ark., 2011; Namkhai ve ark., 2012) .....	155
<b>Şekil 6.4.</b>	İnceleme alanındaki kavramsal hidrojeolojik modelinin üç boyutlu şematik gösterimi (Değirmenci ve ark., 2011; Namkhai ve ark., 2012) .....	158
<b>Şekil 7.1.</b>	Model alanına ilişkin haritalar: a) sayısal yükselti modeli, b) uydu görüntüsü, c) 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası, ç) hidrojeolojik kavramsal modelinin üç boyutlu şematik gösterimi .....	163
<b>Şekil 7.2.</b>	Model alanında yer alan kuyularda gözlenen jeolojik birimlerin üç boyutlu dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b).....	164
<b>Şekil 7.3.</b>	Model alanına ait üç boyutlu litolojik blok modeli (Değirmenci ve ark., 2011b).....	165
<b>Şekil 7.4.</b>	Genel yük sınırı (GHB) modülü ile tanımlanan sınır koşulları (Değirmenci ve ark., 2011b) .....	167
<b>Şekil 7.5.</b>	Model alanında yer alan kuyular ve derinlikleri (Değirmenci ve ark., 2011b).....	168
<b>Şekil 7.6.</b>	Yeraltısuyu işletme dönemi öncesi kararlı akım koşullarında hesaplanan başlangıç hidrolik yük dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b).....	169
<b>Şekil 7.7.</b>	Model alanında mevcut dinamik hidrolik yük değerlerinin konumsal dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b).....	171
<b>Şekil 7.8.</b>	Hesaplanan ve gözlenen dinamik yüklerin karşılaştırılması (Değirmenci ve ark., 2011b).....	172

**Şekil 7.9.** Kalibrasyon sonucu elde edilen yeraltısuyu işletme koşullarındaki hidrolik yük dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b) .....173

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1.</b>	İnceleme alanında yer alan ilçelerde yıllara göre nüfus dağılımı ( <a href="https://biruni.tuik.gov.tr">https://biruni.tuik.gov.tr</a> 'den yararlanılmıştır) .....	4
<b>Çizelge 1.2.</b>	2007-2019 yıllarına ait nüfus, su ihtiyacı ve su kuyusu tesis sayılarına ilişkin bilgiler (ham veriler, <a href="http://www.kaski.gov.tr">www.kaski.gov.tr</a> ). .....	7
<b>Çizelge 3.1.</b>	İnceleme alanının kot aralıkları ile bunların alan bilgilerine ilişkin veriler.....	34
<b>Çizelge 3.2.</b>	İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ'e ait bilgiler (Değirmenci ve ark., 2011b ve MGM, 2019'dan yararlanılmıştır) .....	39
<b>Çizelge 3.3.</b>	İnceleme alanındaki 1976-2018 su yıllarına ait uzun yıllar yıllık ortalama yağış değerleri (mm/yıl) (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır) .....	40
<b>Çizelge 4.1.</b>	KVAS akiferi oluşturan ana jeolojik birimlerde açılan kuyulara ilişkin temel istatistiksel analiz sonuçları .....	72
<b>Çizelge 4.2.</b>	İnceleme alanında açılan araştırma sondaj kuyularına ait bilgiler (Değirmenci ve ark., 2011b).....	80
<b>Çizelge 4.3.</b>	Model alanı ve çevresinde yer alan yeraltısuyu gözlem kuyularına ait bilgiler.....	88
<b>Çizelge 4.4.</b>	Model alanındaki yeraltısuyu gözlem kuyularında ölçülen yeraltısuyu seviye kotlarının temel istatistiksel analiz sonuçları (Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır) .....	90
<b>Çizelge 5.1.</b>	Örneklemeye noktalarına ait genel bilgiler .....	106
<b>Çizelge 5.2.</b>	Örneklemeye dönemlerine ait fiziksel/kimyasal parametre değerleri Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır) .....	111
<b>Çizelge 5.3.</b>	KÖD1, KÖD2 ve KÖD3 dönemlerine ait su örneklerinin majör iyonlarının derişimleri (meq/L).....	115
<b>Çizelge 5.4.</b>	Sığ kuyularda geçilen litolojik birimleri.....	118
<b>Çizelge 5.5.</b>	Sığ kuyulara ait suların majör iyon derişimleri (meq/L) ile iyon sıralaması .....	119
<b>Çizelge 5.6.</b>	Sığ kuyu sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L).....	120
<b>Çizelge 5.7.</b>	Sığ kuyu sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların .....	120
<b>Çizelge 5.8.</b>	Kaynağın çıkış kot ile çevresindeki litolojik birimler .....	121
<b>Çizelge 5.9.</b>	Kaynak, yüzey ve kar sularına ait suların majör iyon derişimleri (meq/L) ile iyon sıralaması .....	122
<b>Çizelge 5.10.</b>	Kaynak sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L).....	124
<b>Çizelge 5.11.</b>	Yüzeysuyu taban birimi ve çevresindeki yüzeylene jeolojik birimler ..	126

<b>Çizelge 5.12.</b>	Yüzey sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L) .....	127
<b>Çizelge 5.13.</b>	Derin kuyularda geçilen litolojik birimler.....	129
<b>Çizelge 5.14.</b>	Derin kuyu sularına ait suların majör iyon derişim değerleri (meq/L) ile iyon sıralaması .....	130
<b>Çizelge 5.15.</b>	Derin kuyu sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L) .....	132
<b>Çizelge 5.16.</b>	İnceleme alanı ve çevresinde yer alan su kaynaklarının üç dönem ortalama derişimlerine göre fasiyesleri (örnek sıraları majör iyon derişimin artış yönüne doğru sıralanmıştır) .....	134
<b>Çizelge 5.17.</b>	Su örneklerine ait izotop analiz sonuçları .....	139
<b>Çizelge 5.18.</b>	Erciyes Dağı kar suyu örneklerine ait duraylı izotop analiz sonuçları..	143
<b>Çizelge 5.19.</b>	İnceleme alanından alınan su örneklerinin izotop değerlendirmelerini örnek türü ve örnekleme dönemine göre temel istatistiksel uç parametreleri.....	146
<b>Çizelge 6.1.</b>	Yeraltısuyu bütçesi.....	157
<b>Çizelge 7.1.</b>	Model alanının 875 m ile 1050 m kotlar arasındaki üç boyutlu litolojik modelindeki litolojik birimlerin hacimsel dağılımları .....	165
<b>Çizelge 7.2.</b>	Hidrostratigrafik birimlerin kalibrasyon ile elde edilen hidrolik parametreleri .....	173
<b>Çizelge 7.3.</b>	Genel yük sınırları birim alan için hesaplanan iletimlilik değerleri (1/gün) .....	173
<b>Çizelge 7.4.</b>	Model alanı için hesaplanmış yeraltısuyu bütçesi değerler.....	174

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

<b>Fotoğraf 2.1.</b>	Talas mevkii ve doğusunda yüzeyleyen Tpla ve Tplb geçişlerine ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009).....	23
<b>Fotoğraf 2.2.</b>	Argıncık mevkii ve dolayındaki Tplg'e ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009) .....	23
<b>Fotoğraf 2.3.</b>	Talas mevkii ve doğusunda yüzeyleyen Tpli'ye ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009) .....	24
<b>Fotoğraf 2.4.</b>	Talas mevkiinin doğusunda yüzeyleyen Tplv'ye ait ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009) .....	24
<b>Fotoğraf 2.5.</b>	Yılanlı D. ile Ali D. arasında yüzeyleyen jeolojik birimlere ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009) .....	26
<b>Fotoğraf 2.6.</b>	Kavaklık mevkiinin güneyi ile doğusunda geniş alanlarda yüzlek gösteren bazaltik lav akıntılarına (Qeb) ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009) .....	26
<b>Fotoğraf 2.7.</b>	Yılanlı Dağı ve çevresindeki andezitik domlar (Qep) ile piroklastiklere (Qepr) ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009) .....	27
<b>Fotoğraf 2.8.</b>	Ali Dağı domu (Qead)'nun çevresinde yüzeyleyen jeolojik birimlerin yayılımına ait görünüm (Çekim: O.Namkhai-Temmuz 2009).....	28

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<sup>2</sup> H	Döteryum
<sup>3</sup> H	Tritiyum
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇAYDAG	Çevre, Atmosfer, Yer Ve Deniz Bilimleri Araştırma Destek Grubu
ÇO	Çözünmüş Oksijen
D	Doğu
DES	Düşey Elektrik Sondaj
DF	Döteryum Fazlası
DRAIN	Drenaj Modülü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EFZ	Ecemiş Fay Zonu
EİE	Mülga Elektrik İşleri Etüdü Genel Müdürlüğü
EOSDIS	EOS Data Information System
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ETg	Gerçek Buharlaşma
ETp	Potansiyel Buharlaşma
GK	Gözlem Kuyuları
İAFZ	İç Anadolu Fay Zonu
İAKK	İç Anadolu Kristalen Kompleksi
K	Kuzey
Ka	Kar
KASKİ	Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
KB	Kuzeybatı
KBB	Kayseri Büyükşehir Belediyesi
KGİ	Kar Gözlem İstasyonu
KÖD	Örnekleme Dönemi
KÖ-D	Derin kuyu yeraltısuyu örneği
KÖ-Kr	Kar örneği
KÖ-Ky	Kaynak suyu örneği
KÖ-S	Sığ kuyu yeraltısuyu örneği
KÖ-Y	Yüzeysuyu örneği
KVAS	Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akfer Sistemi
HDF-EOS	Hierarchical Data Format - Earth Observing System
MGİ	Meteorolojik Gözlem İstasyonun



MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODFLOW	Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water FLOW
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCSA	The National Center for Supercomputing Applications of USA
NSDIC	National Snow and Ice Data Center
O-18	Oksijen-18
ÖEİ	Özgül Elektriksel İletkenlik
P	Yağış
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SCI	Snow Cover Image
SDSs	Scientific data sets
SK	Su Kuyusu
SMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
SonK	Karotlu sondaj kuyusu
T	Sıcaklık
TGFZ	Tuzgölü Fay Zonu
TOKİ	Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TU	Trityum Birimi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UCODE	Universal Sensitivity Analysis, Calibration, And Uncertainty Evaluation
USGS	United States Geological Survey
YASSGK	Yeraltısuyu Seviyesi Gözlem Kuyusu

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Amaç ve Kapsam

Bir yerleşim yerinin gelişmesindeki ve büyümesindeki önemli faktörlerin başında sanayileşme ile yeni açılan yüksek eğitim kurumları (kolejler, üniversiteler) gelmesinin yanı sıra, verimli tarım alanları ile işletmeye değer maden sahalarının (petrol, doğalgaz, metalik maden, kömür, taş ocağı, vb.) mevcudiyeti, çevre yerleşim yerleri olmak üzere dışarıdan gelen insan göçüdür. Bu faktörlerin artmasıyla birlikte mevcut nüfusta artış meydana gelmektedir. Gerek nüfus artışının temel yaşam gereksinimleri olan gıda, ulaşım, sağlık, konaklama ve içme-kullanma suları gibi ihtiyaçların karşılanabilmesi, gerekse yukarıda sözü edilen tüm faktörlerin sağlıklı ve sürdürülebilir bir şekilde bir işletme döngüsü içinde çalışması önem arz etmektedir.

Özellikle son yıllarda küresel iklim değişikliğinden dolayı dünya genelinde hissedilen su kıtlığı (kuraklık) ve/veya fazlalığına (aşırı meteorolojik olayları) bağlı olarak su kaynaklarının beslenme miktarlarında kısa/orta/uzun vadeli değişim meydana gelirken, yüzey ve yeraltısuyundan karşılanan su ihtiyacı miktar olarak artmaya devam etmektedir. İhtiyaç gereğince gittikçe artmakta olan aşırı su çekiminin beslenme miktarını aştığı durumlarda su kaynakları sisteminde verim, düşüm ve yeraltısuyu seviyeleri, noktasal/alansal düşümler meydana gelebilmektedir. Dolayısıyla, çekilen su miktarı sürdürülebilir verimini aşmayacak şekilde belirlenmeli/projelendirilmelidir. Bunun için yeraltısuyu akifer sisteminin beslenme-depolanma-boşalım ilişkilerini sağlıklı bir şekilde ortaya konan bir hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmalı ve sonraki aşamasında matematiksel yeraltısuyu modeli ile test edilmelidir. Bu kapsamda, farklı beslenme-boşalım koşullar altında simülasyonlarla yeniden çalıştırılarak hangi beslenme-boşalım koşullar altında akifer sisteminin nasıl tepki gösterdiği tespit edilerek, sürdürülebilir yeraltısuyu işletme yönetimi oluşturulmalıdır.

Bu bağlamda, su kaynaklarının bulunduğu sistemin (havza, drenaj alanı, alt drenaj alanı, vb.) büyüklüğüne (küçük ve/veya büyük alan) bakılmaksızın, yüzey ve yeraltı sularının etkileştiği gerçeği gözönünde bulundurularak etkin bir su kaynakları yönetiminin sağlanması mümkündür.

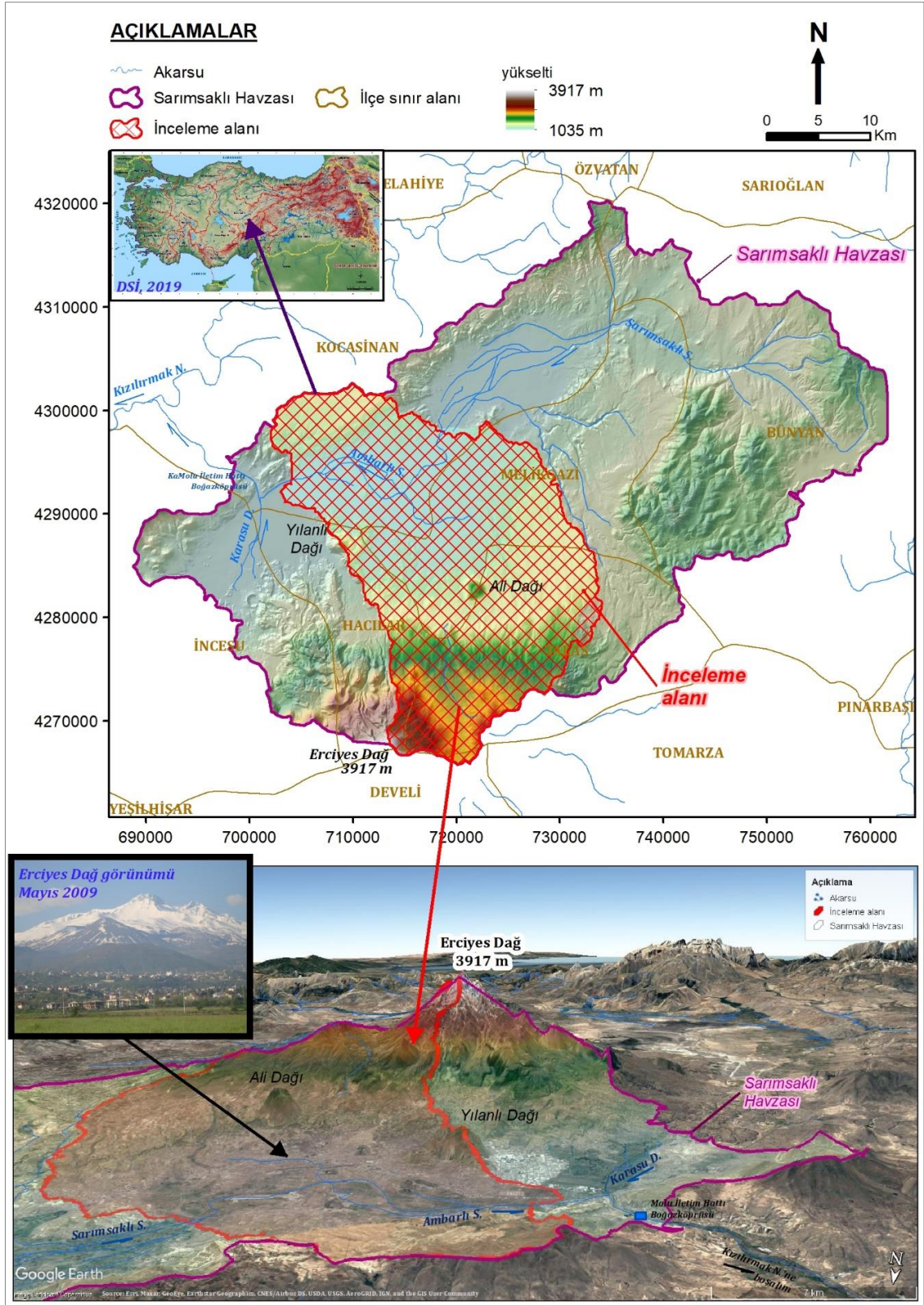
Erciyes Dağı'nın kuzey eteklerinde bulunan inceleme alanında iklim İç Anadolu (Türkiye) karasal iklim tipi ile temsil edilmektedir. İnceleme alanı ve yakın dolayında Erciyes Dağı ile Kocadağ volkanizmasının ürünlerinden oluşan volkanik kayalar yüzeylenmekte olup söz konusu volkanik kayalar, Kayseri Kenti Volkanik Akifer Sistemini (KVAS'i) oluşturmaktadır. Kayseri'nin içme-kullanma, sanayi ve sulama suyu ihtiyacı ileri derecede heterojen ve anizotrop KVAS'nden karşılanmakta olup bu sistem yer yer serbest, yer yer basınçlı ve yer yer ise yarı basınçlı akifer özelliği göstermektedir.

Tez çalışmasında, Erciyes Dağı ile Koçdağ volkanizması ürünlerinden oluşan KVAS'nin, yeraltısuyu akım modelinin oluşturulması ve uygulanabilirliği amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; ileri derecede anizotrop ve heterojen yapı sunan KVAS'in matematiksel yeraltısuyu akım modelinin oluşturulması için hedeflenmiştir. Tezin amaç ve hedeflerine ulaşmak için ortaya konan tüm çalışmalar, tez kapsamında ayrı başlıklar altında açıklanmıştır, bulgular oluşturulan hidrojeolojik kavramsal model kapsamında değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

## **1.2. İnceleme Alanının Coğrafi Konumu**

İç Anadolu Bölgesi'nde 702000D / 4265000K - 735000D / 4310000K koordinatları arasında 660 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yer alan inceleme alanı, Kızılırmak Havzası'nın alt havzalarından biri olan Sarımsaklı Havzası (2061 km<sup>2</sup>) sınırları içinde kalmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde Kayseri İli'nin Bünyan, Develi, Kocasinan, Hacılar, İncesu, Melikgazi ve Talas ilçeleri, Sarımsaklı Havzası içinde yer almaktadır (Şekil 1.1.).

İnceleme alanında ise, Kayseri Kent merkezi ve merkez ilçeleri (Kocasinan, Hacılar, Melikgazi ve Talas) yer almaktadır. İnceleme alanının güneyinde 3917 m yükseklikte yer alan Erciyes Dağı, inceleme alanındaki en yüksek noktayı oluştururken; en düşük noktayı ise inceleme alanını batısında yer alan Ambarlı mevki (1035 m) oluşturmaktadır. Kuzeyden Erkilet ve doğudan Koçdağ yükseltileriyle çevrili olan inceleme alanının güneyinde Erciyes Dağı'nın yanı sıra, Yılanlı Dağı ile Ali Dağı gibi volkanik domlar mevcut olup, içme-kullanma amaçlı su sağlayan başlıca belediyeler Kocasinan, Hacılar, İncesu, Melikgazi ve Talas belediyeleridir (Şekil 1.1.).



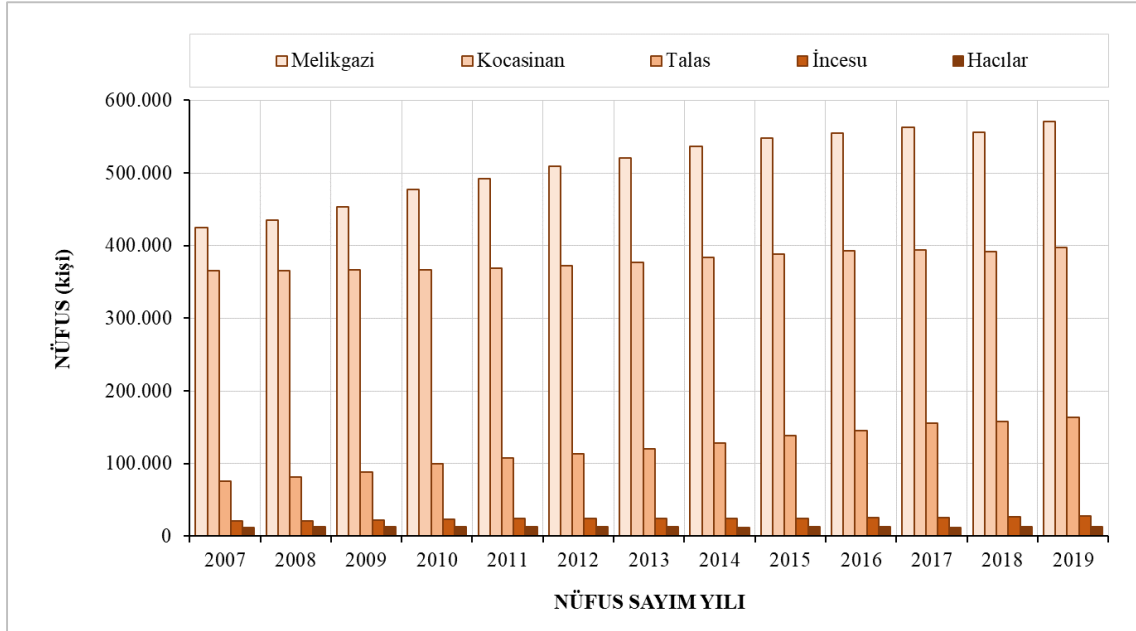
**Şekil 1.1.** İnceleme alanının konum haritası (DSİ, 2019a; HGK K34 ve K35 paftaları 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritaları ile Google Earth Pro® 2022, v7.3.6.9345'den yararlanılmıştır)

### 1.3. İnceleme Alanının Nüfus ve Sosyo-Ekonomik Yapısı

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) (<https://biruni.tuik.gov.tr>) yaptığı adrese dayalı genel nüfus sayımı verilerine göre, 2007 ile 2019 yılları arasında Kocasinan, Hacılar, İncesu, Melikgazi ve Talas ilçelerinde nüfusun arttığı görülmektedir (Çizelge 1.1. ve Şekil 1.2.). Talas ile Melikgazi ilçe nüfuslarının diğer ilçelere oranla daha fazla arttığı gözlemlenirken; nüfusun artmasıyla beraber kentin su ihtiyacında artış olacağı kaçınılmazdır.

**Çizelge 1.1.** İnceleme alanında yer alan ilçelerde yıllara göre nüfus dağılımı (<https://biruni.tuik.gov.tr>'den yararlanılmıştır)

Nüfus Sayım Yılı	İlçe Adı					Kayseri Kent
	Melikgazi	Kocasinan	Talas	İncesu	Hacılar	Toplam
2007	425.092	365.614	75.675	20.489	11.905	898.775
2008	434.980	365.153	81.399	21.433	12.723	915.688
2009	452.990	366.676	87.825	22.349	12.598	942.438
2010	476.855	367.048	99.850	22.657	12.529	978.939
2011	492.013	369.272	107.561	23.771	12.480	1.005.097
2012	509.309	372.507	113.372	24.127	12.381	1.031.696
2013	520.319	377.051	119.810	24.315	12.376	1.053.871
2014	537.035	384.203	128.414	24.405	12.290	1.086.347
2015	548.028	388.364	137.933	24.309	12.484	1.111.118
2016	554.549	393.300	144.803	25.614	12.482	1.130.748
2017	562.598	393.844	155.024	25.852	12.293	1.149.611
2018	555.671	391.661	157.695	26.353	12.426	1.143.806
2019	571.166	396.912	163.773	27.969	12.414	1.172.234



**Şekil 1.2.** İnceleme alanında yer alan ilçelerin yıllara göre nüfus dağılım grafiği (<https://biruni.tuik.gov.tr>'den yararlanılmıştır)

#### **1.4. İnceleme Alanının İklimi**

İnceleme alanı ve yakın dolayında İç Anadolu karasal iklim tipi egemen olup, yaz ayları sıcak ve kurak iken; kış ayları ise soğuk ve kar yağışlı geçmektedir. Ayrıca, inceleme alanında 1035 m ile 3917 m arasında değişen kot, iklimde önemli farklılıklara neden olmaktadır. Buna bağlı olarak, düşük topoğrafik kotlarda (ova alanlar) daha yumuşak iklimsel özellikler gözlenirken, yüksek kotlara (yaylalar, dağlık kesimlere) doğru gidildikçe daha soğuk iklimsel özellikler gözlenmektedir. En sıcak günler Temmuz ile Ağustos aylarında olup, hava sıcaklığı bazen 38°C'ye kadar yükselmektedir. Bu ayların ortalama sıcaklığı ise yaklaşık olarak 23°C'dir. En soğuk günler ise Aralık, Ocak ve Şubat aylarında olup, sıcaklığın bazen -36°C'a kadar düştüğü gözlenmiştir. Kış aylarının ortalama sıcaklık değerleri -2°C ile -6°C arasında değişmektedir. Son 83 yıllık meteorolojik gözlemlere göre, il merkezindeki ortalama sıcaklık 10,4°C olarak hesaplanmıştır.

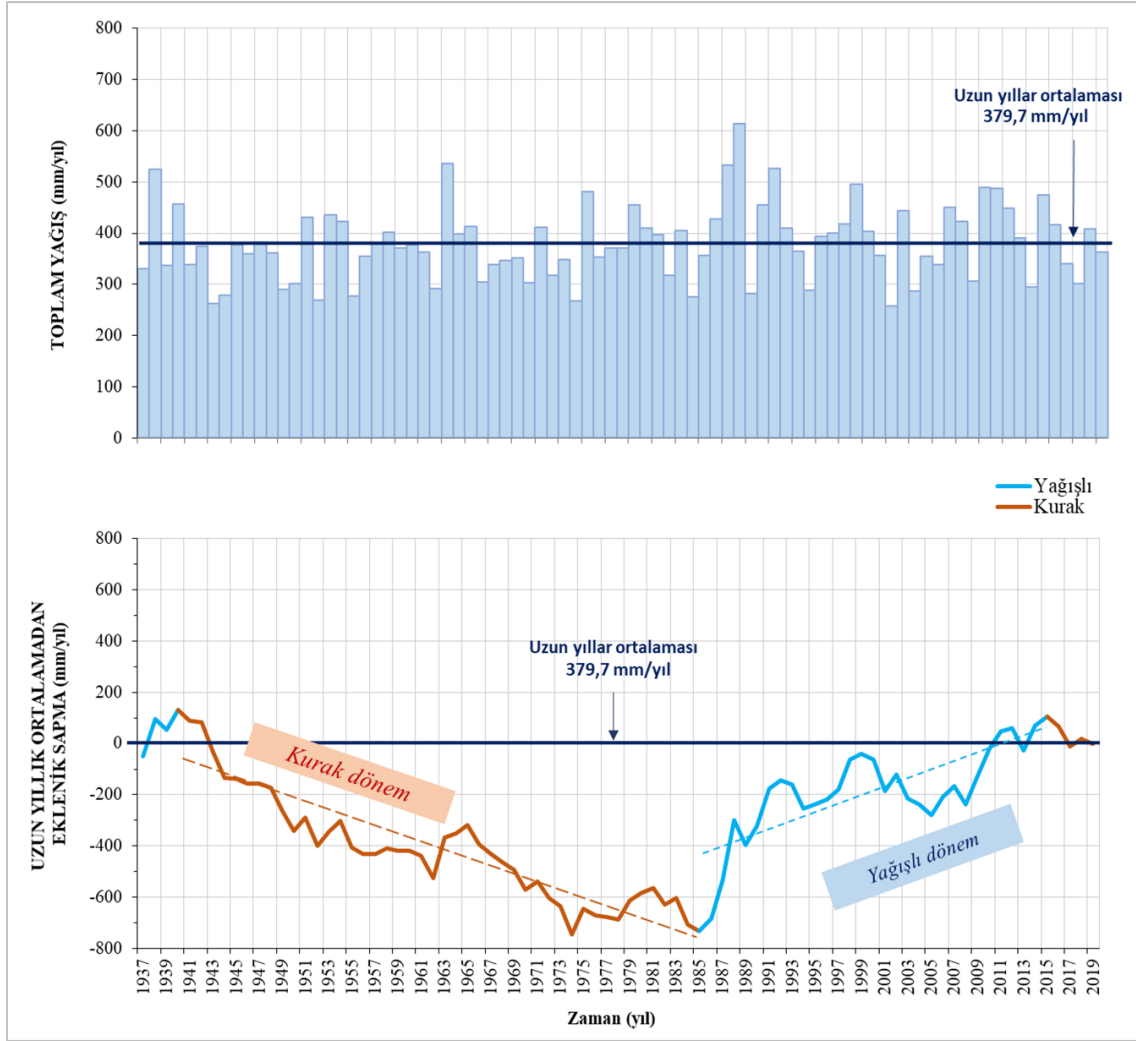
Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'e ait 17196 nolu Kayseri Meteorolojik Gözlem İstasyonunda (MGİ)'nda, 1937-2019 yılları arasında 83 yıllık yağış verileri kaydedilmiştir. İnceleme alanında yağış türleri yağmur ve kar şeklinde olup, Kayseri ilinin merkez ilçesinde uzun yıllar yıllık ortalama toplam yağışı miktarı 379,7 mm/yıl'dır. Bölgede en çok yağış Mart, Nisan ve Mayıs aylarında, en az yağış ise Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında düşmektedir. Kayseri MGİ'de gözlenen uzun yıllar yağış verileri eklenik sapma analizinde kullanılarak, bölgede hüküm süren yağışlı ve kurak dönemler belirlenmiştir (Şekil 1.3.).

#### **1.5. Kayseri Kenti Su İhtiyacı ve Kaynakları**

İnceleme alanında yer alan yerleşim yerlerinin içme ve kullanma suyu ihtiyaçları Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (KASKİ) tarafından sağlanmaktadır.

KASKİ, Kayseri Büyükşehir Belediyesi'nin su ve kanalizasyon hizmetlerini yürütmek ve bu amaçla gereken her türlü tesisi kurmak, kurulu olanları devralmak ve bir elden işletmek üzere, Türkiye Cumhuriyeti Bakanlar Kurulu'nun 14/12/1989 tarih ve 89/14886 sayılı kararı ile kurulmuştur. Hizmet alanı Kayseri Büyükşehir Belediyesi (KBB) mücavir alanı ile sınırlı bulunan KASKİ, kentin yararlandığı ancak sınırlar dışında kalan su kaynaklarının korunmasına ilişkin çalışmaları da yürütmekle görevlidir ([www.kaski.gov.tr](http://www.kaski.gov.tr)).





**Şekil 1.3.** Kayseri MGI'ye ait yağış değerlerinin yıllık toplam ile uzun yıllar ortalamadan eklenik sapma grafiği (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)

İnceleme alanında yer alan Kayseri iline bağlı merkez içme ve kullanma suyu ihtiyaçları, KASKİ tarafından işletilmekte olan Anneler Parkı, Anayurt, Beştepelere, Çaybağları, Dokuzpınarlar, Eğribucak, Erkilet, Gediris, Germiraltı, Hacılar, İncesu, Karpuzatan, Keykubat, Mahrumlar, Mimarsinan ve TOKİ olmak üzere toplam 16 adet yeraltısuyu pompaj kuyusu grup tesisince sağlanmaktadır. 2007-2019 yılları arasında çekilen yeraltısuyu miktarları KASKİ resmi web sayfasında ([www.kaski.gov.tr](http://www.kaski.gov.tr)) yer alan Performans Programları ile Faaliyet Raporlarından derlenmiş olup, sayısal değerleri Çizelge 1.3'te ve kuyu tesislerinin konum haritası ise Şekil 1.4.'te gösterilmiştir.

KASKİ tarafından işletilmekte olan sözü edilen 16 adet su kuyusu tesisi, 2007-2019 yılları arasında artan nüfus ile gelişen sanayileşme için ihtiyaç duyulan içme ve kullanma

sularının karşılanması amacıyla KASKİ tarafından 2007 yılında toplam 10 adet tesiste toplam 83 adet derin yeraltı suyu kuyusu ile 51,7 hm<sup>3</sup>/yıl su çekilmekteydi.

**Çizelge 1.2.** 2007-2019 yıllarına ait nüfus, su ihtiyacı ve su kuyusu tesis sayılarına ilişkin bilgiler (ham veriler, [www.kaski.gov.tr](http://www.kaski.gov.tr)).

Nüfus Sayım Yılı	Kayseri, Merkez 5 İlçenin Toplam Nüfusu *	İçme ve Kullanma Suyu Kuyu Tesis Sayısı **	Toplam Çekilen Yeraltı Suyu Miktarı **
	milyon kişi / yıl		hm <sup>3</sup> / yıl
2007	0,898775	10	51,7
2008	0,915688	10	53,2
2009	0,942438	10	54,4
2010	0,978939	10	57,4
2011	1,005097	10	59,2
2012	1,031696	10	64,3
2013	1,053871	12	67,3
2014	1,086347	12	70,1
2015	1,111118	12	73,6
2016	1,130748	16	87,4
2017	1,149611	16	97,3
2018	1,143806	16	89,4
2019	1,172234	16	91,7

Not: \* <https://biruni.tuik.gov.tr>, \*\* <https://www.kaski.gov.tr/performans-programi>

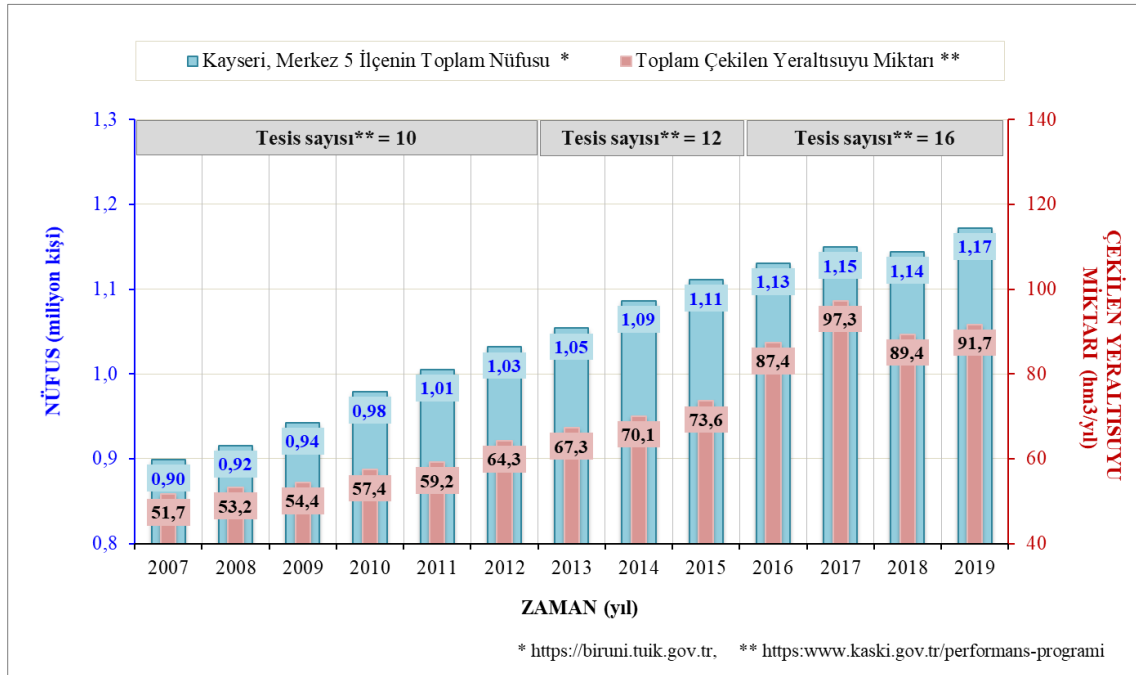


**Şekil 1.4.** İnceleme alanı ve çevresinde yer alan KASKİ tarafından işletilen içme suyu kuyu tesislerinin konum haritası (tesis konumları için Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır)



2019 yılına gelindiğinde ise tesis ile derin yeraltısuyu kuyu sayısı artarak toplam 16 adet tesiste toplam 392 derin kuyu ile 91,7 hm<sup>3</sup>/yıl su çekilmiştir (Çizelge 1.3. ve Şekil 1.6.).

2007-2019 yılları arasında inceleme alanında yer alan merkez ilçelerin (Melikgazi, Kocasinan, Talas, İncesu ve Hacılar) nüfusunda artış gözlenmiştir (Bkz. Çizelge 1.1). Bu artan nüfusun içme ve kullanma sularının sağlanması amacıyla KASKİ tarafından 2007-2012 yılları arasında Anneler Parkı, Anayurt, Beştepeler, Çaybağları, Eğribucak, Gediris, Germiraltı, Karpuzatan, Keykubat ile Mahrumlar su kuyusu tesisi olmak üzere toplam 10 adet su kuyusu tesisinden yıllık ortalama 56,7 hm<sup>3</sup>/yıl yeraltısuyu çekilmiştir. 2013-2015 yılları arasında bu tesislere ek olarak Erkilet ve Hacılar su kuyusu tesisi devreye alınmış olup, toplam 12 adet su kuyusu tesisinden yıllık ortalama 70,3 hm<sup>3</sup>/yıl yeraltısuyu çekilmiştir. 2016-2019 yılları arasında ise, sözü edilen tüm su kuyusu tesislerine ek olarak Dokuzpınarlar, İncesu, Mimarsinan ve TOKİ su kuyusu tesisi eklenerek toplam 16 adet su kuyusu tesisinden yıllık ortalama 91,5 hm<sup>3</sup>/yıl yeraltısuyu çekilmiştir (Şekil 1.5.).



**Şekil 1.5.** İnceleme alanı ve çevresinde yer alan KASKİ tarafından işletilen içme suyu kuyu tesislerinin konum haritası (ham veriler, <https://biruni.tuik.gov.tr>; [www.kaski.gov.tr](http://www.kaski.gov.tr)).

## 1.6. Yeraltısuyu (YAS) Model Alanı

Bu tez çalışmasında incelenen yeraltısuyu (YAS) akım modeli alanı, Kayseri Kenti için içme-kullanma sularının karşılandığı KASKİ su işletim merkez tesislerini kapsayacak şekilde güneyde Erciyes volkanitleri, doğuda ve kuzeyde Koçdağ volkanitleri ile kuzeyde

Neojen çökelleri tarafından sınırlanmış bir alan olarak tanımlanmıştır. Model alanı 212 km<sup>2</sup> olup, Kocasinan, Melikgazi, Hacılar ve Talas ilçelerini kısmen kapsamaktadır (Bkz. Şekil 1.5. ve Bölüm 7.). İnceleme alanının içinde yer alan model alanının hidrojeolojik kavramsal modeli Bölüm 6'da ve sayısal yeraltısuyu akım modeli ise Bölüm 7'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

### **1.7. Önceki Çalışmalar**

İnceleme alanı ve yakın dolayında, başta jeolojik çalışmalar olmak üzere jeofizik, volkanoloji, tektonik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal amaçlı çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanı ve dolayının jeolojik amaçlı ilk çalışmalar Bartcsch (1935), Lahn (1945), ve Baykal ve Tatar (1970) tarafından yapılmış olup, Erciyes ve çevresine ait volkanik serilerinin Neojen tortullarıyla ara tabakalı olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu çalışmalar yapılırken, jeoloji ile jeomorfoloji haritası yapılmış ve son volkanik aktivitenin bazaltlardan oluştuğu belirlenmiştir.

İnceleme alanının güneyi dolayında güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda uzanmakta olan Ecemiş Fayı Kuşağı; farklı çalışmalarda Ecemiş Dislokasyonu, Ecemiş Çukuru Fayı ve Ecemiş Fayı şeklinde adlandırılmış olup doğrultu atımlı sol yanal atımlı özellik gösteren bu fay zonu ilk kez Ketin (1960a, 1960b) tarafından tanımlanmış ve 1960 yılında yapılan 1/2.500.000 ölçekli Türkiye Tektonik Haritası'nda işaretlenmiştir. Ayrıca; 2002 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA, 2002a, 2002b) tarafından hazırlanan 1/500.000 ölçekli Kayseri paftası jeoloji haritasında 1963 yılında yapılan Ketin ve Erentöz'ün (1963) çalışmaları dahil edilerek İç Anadolu bölgesinin stratigrafisi, ana tektonik hatları, volkanizma özellikleri ile maden yatakları açısından önemi ortaya konulmuştur.

İnceleme alanının yer aldığı 1/100.000 ölçekli K34 ile K35 paftaları Dönmez ve ark. (2005) ile Dalkılıç (2009) tarafından incelenmiş ve bölgede mostra veren Erciyes Dağ Stratovulkanitleri, Erkilet Volkanitleri, Koçdağ Volkanitleri ve Alüvyon birimlerin yayılımı ve bu birimlerin kendi içindeki grup üyeleri ayrıntılı bir şekilde belirlenmiştir.

Farklı tarihlerde yapılan araştırmalarda (Ayrancı, 1963, 1969, 1970, 1991; Beekman, 1963; Pasquare, 1968; Sür, 1972; Innocenti ve ark., 1975; Güner ve ark., 1984; Baş ve

ark., 1986; Pasquare ve ark., 1988, 2001; Ercan, 1987; Ercan ve ark., 1994; Notsu ve ark., 1995; Platzman ve ark., 1998; Dönmez ve ark., 2003; Güçtekin ve Köprübaşı, 2009); inceleme alanında gözlenen volkanizmanın, Arap-Afrika ile Anadolu levhalarının çarpışması ve çarpışma öncesi oluşan dalma-batma sonucu gerçekleştiği, volkanizma evresinin 3.-5. evreden oluştuğu ve Erciyes kalkalkali lavlarını oluşturan ana süreçlerin, bazaltik magmanın fraksiyonel kristalleşmesi ile birlikte kabuk asimilasyonu sonucunda gerçekleştiği belirtilmektedir.

İnceleme alanında yüzeylenen Erciyes Dağı ile Koçdağı volkanitlerinin ayrıntılı jeokimyasal, minerolojik, petrolojik ve volkanolojik evrimi farklı tarihlerde gerçekleştirilen çalışmaları (Alıcı, 2000; Aydar ve ark., 1994; Doğruel, 2004; Duran, 2009; Güçtekin, 2007; Koralay, 1995, 2006; Kürkçüoğlu, 2000; Kürkçüoğlu ve ark., 1998, 2001; Şen, 1997; Şen ve ark., 2002, 2003) kapsamında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda, Erciyes Dağı stratovolkan olup, bunlara ait kalkalkalen kayaçları manto kaynağının eski bir dalma-batma zonunda geliştiği ve zenginleştiği belirtilmektedir. Ayrıca, araştırmacılar Erciyes stratovolkanının yapısal gelişiminin Paleo-Erciyes ile Neo-Erciyes olarak iki evrede faaliyet gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

İç Anadolu'daki Ecemiş Fay Kuşağı (Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Dirik ve ark., 1999; Jaffey ve ark., 2003; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Metz, 1956; Yetiş, 1978a, 1978b, 1984a, 1984b, 1984c) sol yanal atımlı olup Scott (1981) ve Türkecan ve ark. (1998)'e göre fayın kuzeyi, Sultansazlığı depresyonuna neden olduğu bir genişleme bileşenini göstermektedir. Bu fay içe doğru Erciyes Dağı gibi büyük volkanik merkezlerinin aktivitelerinin veya Erciyes volkanizmasının bir çek-ayır (pull-apart) havzada gelişmesine neden olmuştur (Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Dirik ve ark., 1999). İç Anadolu Kristalen Kompleksi'nin (İAKK) tektonik özellikleri ve volkanik kayaçların bu yapılar ile ilişkilidir (Toprak ve Göncüoğlu, 1993; Genç ve Yürür, 2010). İAKK'da başlıca iki fay sistemi (Tuzgölü Fay Zonu (TGFZ) ile Ecemiş Fay Zonu (EFZ)) bulunmakta olup, İAKK içerisindeki volkanik çıkış merkezlerinin büyük bir kısmı bu fay sistemleri üzerinde yoğunlaşmıştır (Toprak, 1998). Erciyes Havzası bir çek-ayır (pull-apart) havzası olup, Erciyes Stratovolkan Dağı'nın güneyi ve kuzeyinde olmak üzere iki alt havzasından oluşmaktadır. Bu alt havzalardan güneyindeki Dünderlı-Erciyes Fayı ile Yeşilhisar Fay segmentleri arasında Sultansazlığı çöküntü havzası ve kuzeyindeki Dökmetaş Fayı ile

Kızılırmak-Erkilet Fay segmentleri arasında ise Kayseri-Sarımsaklı çöküntü havzası gelişmiştir (Koçyiğit ve Erol, 1999). İAKK, Geç Miyosen'den Erken Kuvaterner'e ve/veya bugüne kadar karmaşık bir deformasyonun etkisi altındadır. Zaman içinde bölgede oluşan çok sayıda faylar ve/veya fay sistemi yeni havzaları oluşturmakta ve bölgeyi tekrar hareketlendirmektedir. Erciyes Stratovolkanının yer aldığı İç Anadolu'nun doğu kısmında KD-GB yönelimli, sol yanal atımlı yapısal unsurlar baskın olup bu yapılar tamamen İç Anadolu Fay Zonu (İAFZ)'na aittir (Dirik, 2001).

Aydemir (2009) ve Maden (2010), inceleme alanı ve yakın dolayında yaptıkları jeofizik çalışmalarına ait verileri kullanarak Orta Anadolu'daki tektonik rejimi ortaya koymuşlardır.

Erciyes Volkanik Dağı (3917 m)'nda yer alan Geç Kuvaterner yaşlı buzulun uzunluğu 700 m (Penther, 1905)'dir. Bu buzullar Pleyistosen'deki buzullardan sonraki dönemde oluşmuştur (Erinç, 1951). Erciyes Stratovolkan Dağı'nın Geç Kuvaterner'de üç buzullaşma evresi geçirmiş olup, toplam dört ana vadi bir sırtta gözlenen buzullaşma sonucu çeşitli buzul aşındırma izleri ve biriktirme şekilleri (morenler) oluşmuştur. <sup>36</sup>Cl izotopu ile buzulda kozmojenik yaşlandırma ve modelleme çalışmaları (Sarıkaya, 2009; Sarıkaya ve ark., 2003a, 2003b, 2009) sonucunda buzulun Geç Kuvaterner yaşlı olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Ovası'nın yeraltı jeolojisi ile yeraltısuyu içeren litolojik birimlerinin yanal yayılımları ile düşey kalınlıklarına ilişkin bilgilerin edinilmesi amacıyla DSİ (1966) tarafından jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında jeofizik ölçümlerinin gerçekleştirildiği hatlar boyunca mevcut gömüllü faylar ile Sarımsaklı Ovası'nda çökelmiş jeolojik birimlerin (alüvyon dolgusu, Erkilet, Koçdağ ve Erciyes volkanitleri ile karasal kırıntılıların) kalınlıkları ile yayılımları ve yeraltısuyu seviyelerinin belirlenmiştir.

İnceleme alanında ilk hidrojeolojik etüt çalışmaları Asar ve Gülay (1956), Tilev (1957) ve DSİ (1969) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda, inceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Ovası ve ovanın beslenme alanını oluşturan bölgenin genel hidrojeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ile Sarımsaklı ovasındaki akiferlerin beslenme-boşalım ilişkileri, yeraltısuyunun miktarı ve kalitesi ortaya konulmuştur.

Sargın (1991)'de inceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Ovası'nın yeraltısuyu akım modeli sonlu farklar yöntemiyle belirlenmiştir. Araştırmacı, çalışmasında Sarımsaklı ovası akifer sistemini hidrojeolojik sisteminin boyutları, hidrolik parametrelerin alansal dağılımları ile beslenme-boşalım ilişkilerini tayin ederek, akifer sisteminin oluşturan jeolojik birimlerinin muhtemelen Neojen döneminde tektonik olaylar sonucunda çökmüş havzada çökelmiş Neojen yaşlı ince taneli malzemeler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluştuğunu belirtmiştir. Araştırmacı, çalışmasında yeraltısuyu açısından önemli jeolojik birimlerinin birikinti konileri, kumlu-çakıllı seviyeler ile tuf, aglomera ve bazalt olduğunu; bu birimlerden oluşan tek bir akifer sistemi olduğunu belirtmiştir. Sarımsaklı ovası için beslenme, boşalım ve akarsu-akifer ilişkisinin dikkate alındığı bu yeraltısuyu akım modelinde, 1987-1988 su yılı verileri kullanılmış ve model sonucunda yeraltısuyu rezervi  $107,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır.

Bunun dışında; DSİ (1995) tarafından bölgedeki kuyu rasatları ile yağışlar arasındaki ilişkisi incelenmiş olup akifere ait boşalım katsayısı ve süzülme katsayısı gibi hidrolik özellikler belirlenerek, akiferin rezervi ve bu rezervin ne kadarının kullanıldığı hakkında bilgiler ortaya konmuştur. Ayrıca, DSİ (1995)'de inceleme alanında yer alan yeraltısuyu gözlem kuyularında ölçülen yeraltısuyu seviyelerinin korelasyon çalışmasından akiferin serbest ve kuyuların ise birbiriyle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Kaya ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada ise yeraltısuyu seviye değişimleri ile ovaya düşen yıllık yağışlar arasında yapılan korelasyonda, uygun bir ilişki bulunamamış ve dolayısıyla Sarımsaklı Ovası'ndaki akifer sisteminin uzun dönem yağışların etkisi altında olduğu ortaya konulmuştur.

Kılıçdağı ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada, inceleme alanı ve yakın dolayında 1999 yılına kadar farklı amaçlarla (kamu ve özel) açılmış kuyularda boşalım sağlayan suların hidrojeokimyasal analiz sonuçları ile bölgedeki kaynak sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçlarına ait envanter çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda, bölgedeki yeraltısuyu seviyesindeki düşüm 1 m iken, kentteki nüfusun, sanayileşmenin, kentleşmenin artmasıyla birlikte kuyulardan çekilen su miktarının da artmasından dolayı yeraltısuyu seviyesinde 3-20 metre arasında değişen düşüşün meydana geldiğini ortaya koymuşlardır

İnceleme alanının dışında olup, batısında yer alan Dokuzpınarlar Kaynağı'nın kalitesi üzerindeki insan ve zirai kaynaklı aktivitelerinin etkileri farklı tarihlerde farklı

araştırmacılar (Afşın ve ark., 2002, 2007; Değirmenci ve ark., 2007, 2011a, 2011b; Elhatip ve ark., 2003) tarafından araştırılmış olup, hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri değerlendirilmiştir.

İnceleme alanında yer alan Kayseri Kenti'nin en önemli içme suyu kaynaklarından birisi olan Beştepelere Kaynağı'nın beslenme-boşalım mekanizması, Değirmenci ve ark. (2006a, 2006b, 2007, 2011a, 2011b, 2015) ile Namkhay ve ark. (2012) tarafından ayrıntılı hidrojeolojik çalışmalar sonucunda ortaya konmuştur. Bu çalışmalara göre; bu kaynağın çıktığı akifer sistemi, Erciyes Dağı'nın 1350-2500 metre kotunun üzerindeki bölgelerden özellikle kar erimeleri şeklinde beslenmekte ve genel anlamda "Basınçlı Akifer" zelliği göstermektedir.

İnceleme alanı ve dolayındaki yeraltı suları ile yzeysuları hidrojeokimyasal, su kimyası-kalitesi ve izotopik açısından Afşın ve ark., (2002, 2007), Ateş ve ark., (2021), Değirmenci (2007), Değirmenci ve ark., (2006a, 2006b, 2011a, 2011b, 2015), DSİ (1969), Elhatip ve ark., (2003) ile Namkhay ve ark., (2012) tarafından; hidrojeokimyasal ve su kalitesi açısından ise Yüksel (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, inceleme alanı ve yakın dolayındaki yeraltı ile yzeysularının kökeni belirlenmiştir.

İnceleme alanı ve dolayında yer alan yeraltı suları ile yzeysuları su kirliliği açısından farklı tarihlerde farklı araştırmacılar (Afşın ve ark., 2007; Ateş ve ark., 2021; Akpınar, 2010; Aykar, 2009; Değirmenci ve ark., 2006a, 2011b; DSİ, 1969; Namkhay ve ark., 2011, 2017; Sönmez, 2004; Yazıcı, 2012, 2016; Yazıcı ve ark., 2015; Yüksel, 2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, inceleme alanı ve yakın dolayındaki yeraltı ile yzeysularının su kalitesi ile kirlilik durumları ve kökenleri belirlemiştir.

Bu çalışmaların dışında; Değirmenci ve ark. (2011b) ile Namkhay ve ark. (2012) tarafından inceleme alanı ve yakın dolayında gerçekleştirilen ayrıntılı jeolojik ve hidrojeolojik amaçlı çalışmalar ve analizlerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, Kayseri Kenti içme suyu akifer sisteminin "Hidrojeolojik Kavramsal Modeli" oluşturulmuştur.

## 2. JEOLojİ

### 2.1. Bölgesel Jeoloji

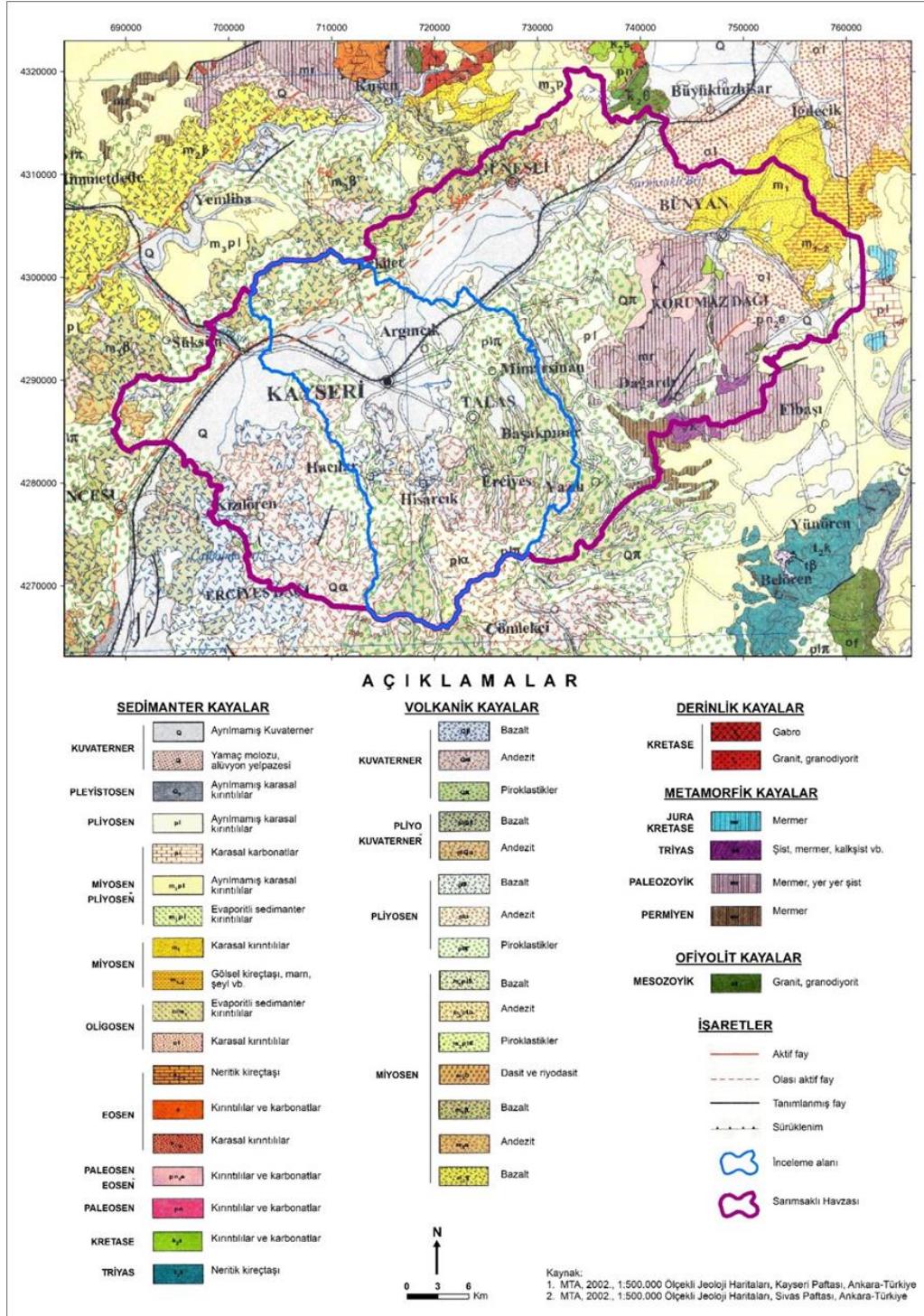
İnceleme alanının yer aldığı bölgede yüzeyleyen jeolojik birimlerin belirlenmesinde MTA tarafından 2002 yılında hazırlanan 1/500.000 ölçekli Kayseri (MTA, 2002a) ile Sivas (MTA, 2002b) paftalarına ait jeoloji haritaları kullanılmıştır. Sözü edilen haritaların incelenmesiyle, inceleme alanı ile dolayının jeolojik birimleri tanımlanmıştır (Şekil 2.1.).

Şekil 2.1. incelendiğinde; inceleme alanının güneydoğusu ile doğusu dolayında bölgenin temel kayaçları olan Mesozoyik yaşlı ofiyolitik ve Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçları (mermer, yer yer şist, kalkşist); kuzeyi dolayında geniş alanda Paleozoyik yaşlı mermer ve küçük yüzlekler halinde Kretase yaşlı derinlik kayaçları (gabro, granit, granodiyorit) yer almaktadır. Ayrıca, inceleme alanının güneydoğu dolayında Triyas yaşlı neritik kireçtaşı geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Bu temel birimleri, Neojen çökelleri olan karasal kırıntılılar, kırıntılılar ve karbonatlar örtmektedir.

Bu örtü birimlerini Miyosen ve Pliyosen yaşlı volkanik kayaçlar ile volkano-sedimanter ve sedimanter kayaçları birbiriyle geçişli olarak üzerlemektedir. İnceleme alanının kuzeybatısı, kuzeyi ve doğusunda Üst Miyosen yaşlı karasal çökelleri olan sedimanter ve volkano-sedimanter kayaçların yanısıra, Üst Miyosen ile Alt Pliyosen yaşlı Koçdağı volkanitleri olan andezitik ve dasitik domlar, tuf, ignimbritler ve aglomeraları geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Ayrıca, inceleme alanının güneyinde olup, Erciyes Dağı'nın batı ve kuzey yamaçlarında Pleyistosen ve Kuvaterner yaşlı Erciyes strato-volkanitleri olan bazalt ve andezit ile bunların breşi ve piroklastik kayaçlarından oluşan birimler geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Bunun dışında; inceleme alanının batısında, ortasında ve kuzeydoğusundaki düzlük alanlarda Kuvaterner yaşlı alüvyonlar mevcuttur (MTA, 2002a, 2002b; Dönmez ve ark., 2005; Dalkılıç, 2009; DSİ, 1966, 1969) (Şekil 2.1. ve Şekil 2.2ab).

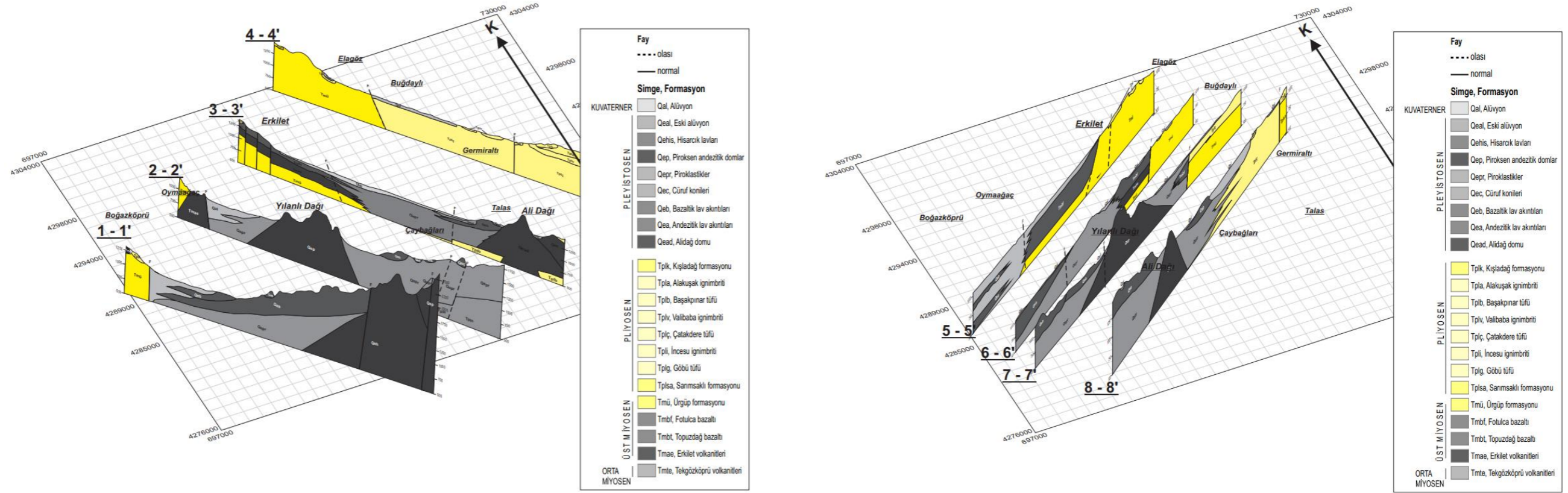
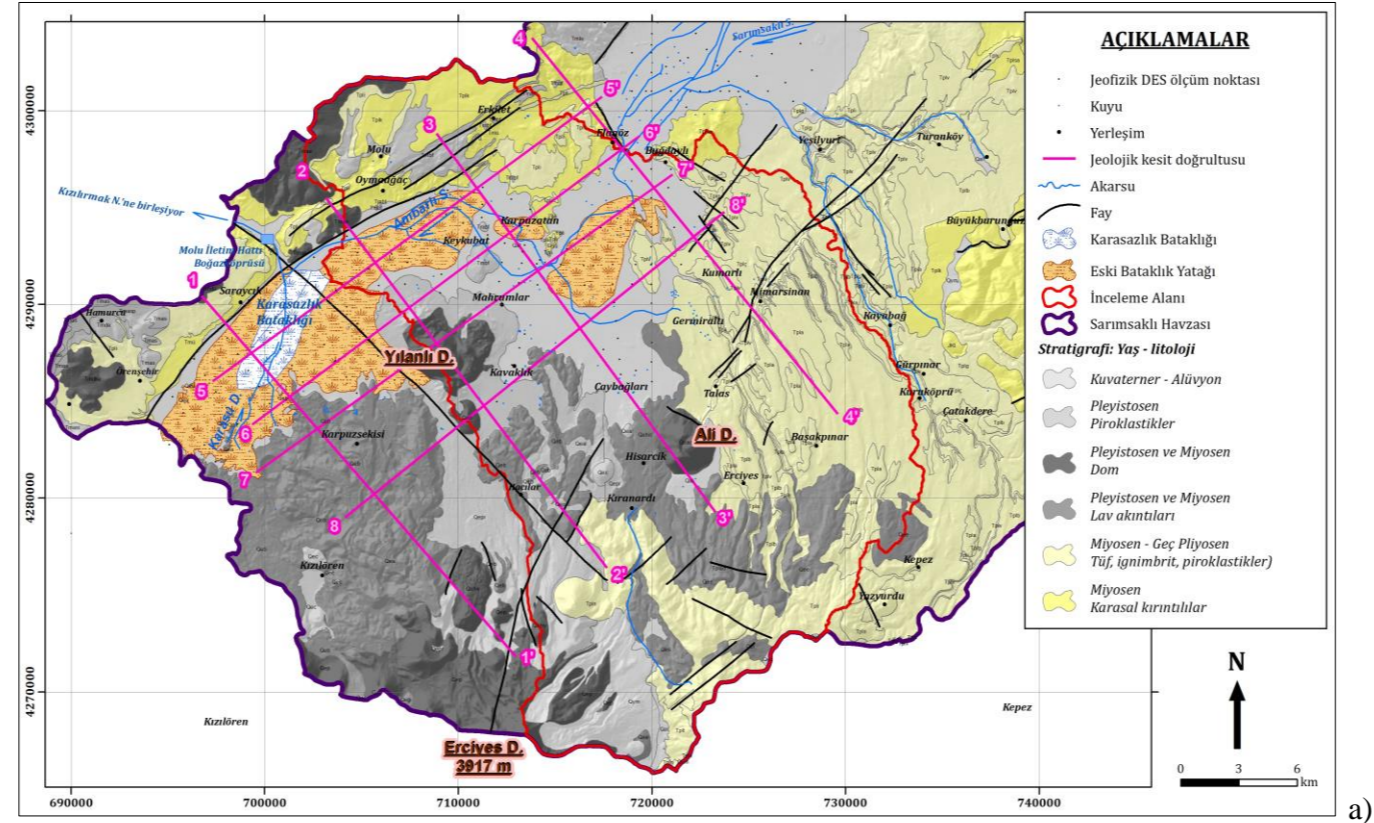
İnceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Ovası'nda 1966 yılında DSİ (1966) tarafından yapılan jeofizik DES ölçümleri ile 1964 yılında DSİ (1969) tarafından yapılan hidrojeolojik etüt raporunda yer alan kuyulara ait kuyu logu bilgileri, inceleme alanı ve çevresinde açılmış olan kuyulara ait log bilgileri, MTA tarafından 2005 ve 2009 yıllarında yapılan (Dönmez ve ark., 2005; Dalkılıç, 2009) 1/100.000 ölçekli K35 ve K35 paftalarına ait jeolojik haritalarında yer alan jeolojik birimlerin genelleştirilerek

kullanılmasıyla çizilen jeolojik haritası ile kesit doğrultuları (Namkhai ve ark., 2011) Şekil 2.2a’da ve jeolojik kesitleri ise Şekil 2.2b’de verilmiştir.



Şekil 2.1. İnceleme alanı ve dolayının 1/500.000 ölçekli bölgesel jeoloji haritasındaki konumu (MTA, 2002a ve MTA, 2002b’den yararlanılmıştır)





**Şekil 2.2.** İnceleme alanı ve çevresinin (a) 1/100.000 ölçekli genelleştirilmiş jeolojik haritası (b) jeolojik kesitler (Dalkılıç, 2009; Dönmez ve ark.,2005 ve DSİ, 1966, 1969'den yararlanılarak Namkhai ve ark.,2011'de hazırlanmıştır)

### **2.1.1. Bölgesel Tektonizma**

İnceleme alanının yer aldığı bölgede Paleozoyik'ten itibaren meydana gelen tektonik olaylar özellikle yaşlı birimlerde kendini göstermiştir. Paleozoyik ve Kretase yaşlı kireçtaşların üzerine gelen Eosen ve Oligosen yaşlı formasyonlar tektonik olaylar nedeniyle kuzeybatı (KB) –güneydoğu (GD) doğrultusunda kıvrılmışlardır. Sarımsaklı Ovası'nın kuzeydoğusunda farklı doğrultularda birçok faylanmalar görülmektedir. Sarımsaklı Ovası'nın yapısına etkileyen tektonizma, Neojen'de Erciyes volkanik dağının faaliyete geçmesiyle kendini göstermiştir (Emre ve ark., 2011a; 2011b; 2012) (Şekil 2.3.).

Alp orojenez safhaları esnasında sahada Tersiyer yaşlı formasyonlar yükselmiş, daha sonra Neojen devri sonlarına doğru meydana gelen faylar dolayısıyla Sarımsaklı Ovası'nın bulunduğu saha çökmüştür. Bu esnada, Karasazlık Bataklığı (Bkz. Şekil 2.2a)'nın bulunduğu yerde göl oluşmuştur (Emre ve ark., 2011a; 2011b; 2012) (Şekil 2.3.).

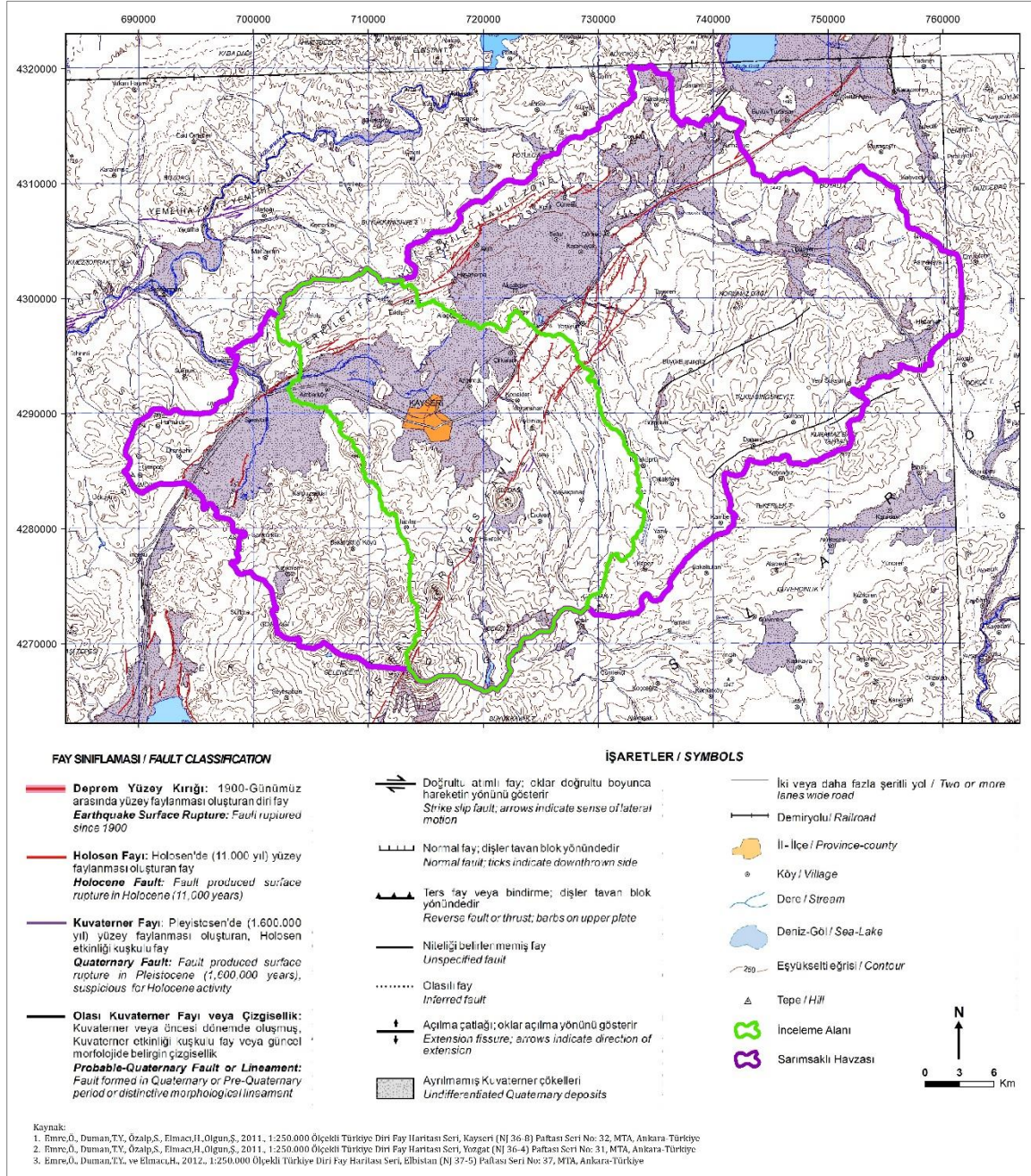
İnceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Ovası'nda, KD-GB doğrultusunda iki fay sistemi bulunmaktadır. Bu fay sistemlerden kuzeyde olanı Boğazköprü-Oymaağaç-Erkilet-Yazır doğrultusunda uzanmakta ve irili ufaklı birkaç faydan oluşmaktadır. Bu fay sisteminin güneyinde kalan bloklar çökmüş kuzeyindekiler ise yükselmiştir. Diğer fay sistemi ise, buna paralel olarak Çırgalan-İpsidin doğrultusunda uzanmaktadır. Bu fay sisteminin kuzey blokları çökmüş, güney blokları ise yükselmiştir. Bu faylar Erciyes Dağı volkanik püskürmeleri tarafından yer yer örtülmüştür (Emre ve ark., 2011a; 2011b; 2012) (Şekil 2.3.).

### **2.1.2. Bölgesel Volkanizma**

İnceleme alanının bölgesel yapısalılığı ile volkanizması birçok araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Pasquare ve ark. (2001) ile Dirik (2001) yaptıkları çalışmalarında, bölgenin Üst Miyosen ile Üst Pliyosen'de Orta Anadolu Fay Zonu (OAFZ)'nin harekete geçmesiyle meydana gelen tektonik hareketlerinin sonucunda meydana gelen volkanik kökenli çek-ayır havzaları olan Sultansazlığı Havzası ile Tuzla Havzası'nın bir kısmı olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.4). Dirik (2001) çalışmasında, bölgenin Miyosen öncesi ile Üst Miyosen yaşlı temel taban birimlerinin Üst Miyosen ile Alt Pliyosen döneminde volkanik kökenli Erciyes Dağı'nın ard arda faaliyete geçmesi sonucunda meydana gelen Koçdağ volkanitleri olan andeziti ve bazaltik lav akıntıları, dasidik domlar, ignimbritler ile volkano-sedimanter kayaçlarından oluşan yer yer metrelerce kalınlık gösteren litolojik



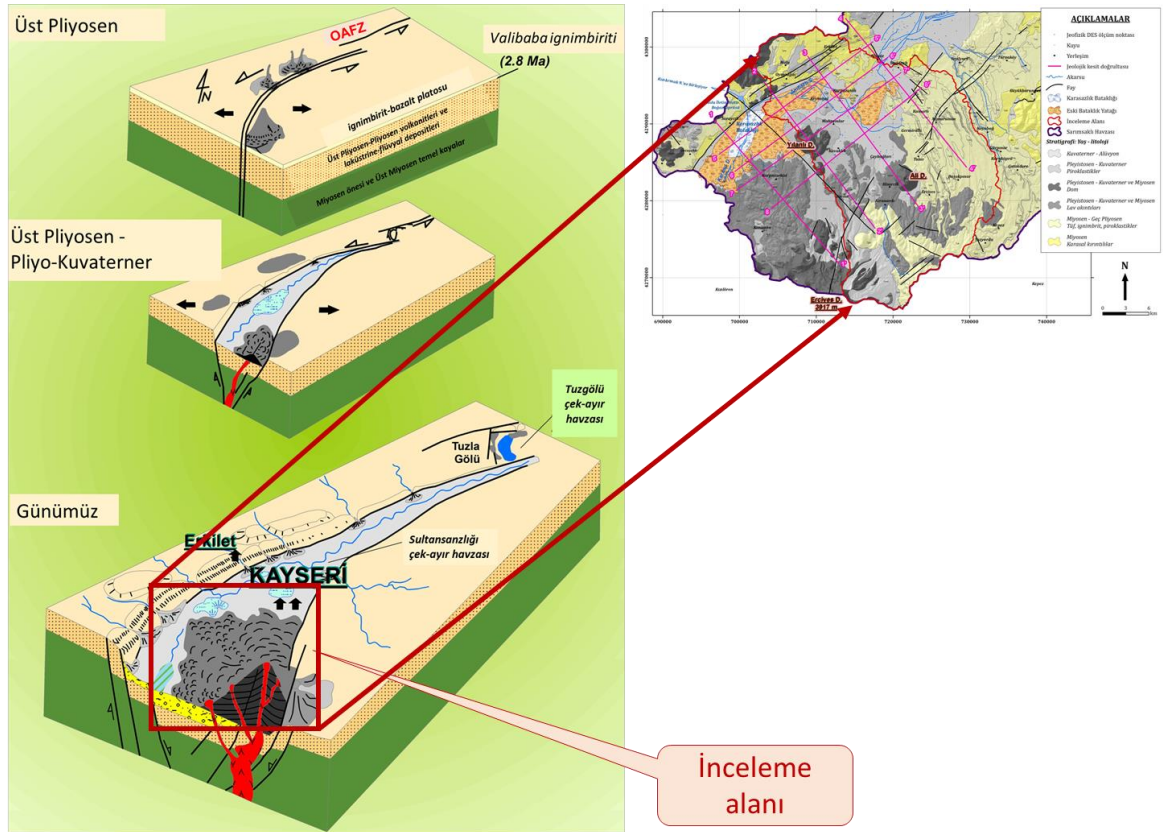
katmanlarıyla üzerlendiğini ifade etmiştir. Ayrıca araştırmacılar, bölgede Pleyistosen döneminde Erciyes Dağı'nın yeniden faaliyete geçmesiyle Sultansazlığı Havzası'nın meydana geldiğini belirtmesinin yanısıra, inceleme alanının bir çöküntü havzası ve/veya bir horst-graben sisteminin bir parçası olduğunu vurgulamışlardır.



**Şekil 2.3.** İnceleme alanı ve dolayının 1/250.000 ölçekli diri fay haritasındaki konumu (Emre ve ark., 2011a; 2011b; 2012'den yararlanılmıştır)

İnceleme alanının güneyindeki Erciyes Dağı'nın Neojen başlarından itibaren faaliyete geçmesiyle Erciyes volkan sisteminin çıkardığı lav ve tüfleri gerek Neojen gölüne gerekse

karaya akarak Neojen ve alüvyon formasyonları arasında volkanik kayaçların oluşumuna neden olmuştur. Sarımsaklı Ovası'nın güneyinde, batısında ve kuzeydoğusunda çok geniş bir sahada Erciyes, Erkilet ve Koçdağ volkanitleri olan tüf, piroklastikler, andezit ve bazaltik lav akıntıları yüzeylenmektedir. Sarımsaklı Ovası'nda çökelen jeolojik birimlerin yer altındaki çökelimleri ve/veya jeolojik birimlerin yanal yayılımları ile kalınlıklarının belirlenmesi amacıyla DSİ (1966) tarafından yapılan jeofizik düşey elektrik sondaj çalışmaları sonucunda, Erciyes Dağı ve bu dağın 2100-3900 m arası kabul edilen yan konilerin farklı zamanlardaki püskürmeleriyle oluşan volkanik kayaçlar yeraltında yüksek derecede heterojen bir yapı gösterdiğini ortaya koymuştur. Sözü edilen volkanik püskürmelerinden olan tüflerin rengi açık sarı ile mor ve kırmızıya kadar değişmekte ve geniş alanlar kapsamaktadır. Bu heterojen yapı ile dokuları çok değişik özellikler göstermelerinin yanısıra, genelde bazaltlar tüflerin üzerinde ve yüksek kısımlarda görülmektedir. Ayrıca, bazalt akıntıları inceleme alanının güneyinde rastlanmaktadır.



**Şekil 2.4.** İnceleme alanının yer aldığı Sultansazlığı ile Tuzla Havzası'nın gelişimine ilişkin üç boyutlu şematik diyagramlar (Dirik, 2001 ile Namkhai ve ark., 2011'den yararlanılmıştır)

Erciyes volkanizmasının temelini teşkil eden kayaçların en yaşlısı olan metamorfik seriler bölgede kristalin şistler, rekristalize kireçtaşı ve mermerler ile temsil edilmektedir (Ayrancı, 1970). Neojen döneminde oluşan sedimanter kayaçların üzerinde Neojen ve Pleyistosen dönemlerinde Erciyes volkanizması faaliyete geçmiş ve farklı fazlarda andezitik ve bazaltik domları şeklinde püskürmüşler. Bunların ürünleri olarak lav akıntıları ve piroklastik kayaçlarını meydana getirmişlerdir (Dalkılıç, 2009).

## **2.2. Yeraltısuyu Model Alanı ile Çevresinin Jeolojisi**

İnceleme alanının içinde yer alan yeraltısuyu akım model alanı ile çevresinde yüzeyleyen jeolojik birimlerinin litostratigrafik incelemeleri aşağıdaki alt başlıklarda ayrıntılı olarak verilmiştir.

### **2.2.1. Litostratigrafi**

İnceleme alanının yer aldığı bölgede MTA tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli K-34 (Dönmez ve ark., 2005) ile K-35 (Dalkılıç, 2009) paftalarına ait jeoloji haritalarında yer alan jeolojik birimleri ile faylar ESRI, ArcGIS v10.8 lisanslı yazılım kullanılarak vektör formatında sayısallaştırılarak incelenmesi sonucunda, inceleme alanında dört farklı jeolojik zaman süresince litolojik birimlerin çökeldiği belirlenmiştir (Şekil 2.5).

İnceleme alanının taban birimleri olan (Bkz. Şekil 2.1., Şekil 2.2. ve Şekil 2.4.) Miyosen öncesi kayaçları ile Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar ve karbonatların üzerine, Miyosen yaşlı İç Anadolu grubu olan Ürgüp Formasyonu (Tmü) gelmektedir. Bu birim, karasal kırıntılıları ile yer yer kumtaşı ve aglomera, volkano-sedimanter birimlerinden oluşmakta olup, inceleme alanının batısında geniş yayılım göstermektedir. Bu birimi, Miyosen yaşlı Erkilet Volkanitleri (Tmae), Koçdağ volkanitlere ait Fotulca Bazaltı (Tmbf) ile Topuzdağ Bazaltı (Tmte) yer yer üzerlemektedir. Bu birimler inceleme alanının kuzeyinde ve kuzey batısında yer yer yüksek kalınlık ile geniş yayılım gösterirken, yer yer küçük mostralar halindedirler. Bu birimleri Miyosen yaşlı Koçdağı Volkanitleri (Tplç, Tplv, Tpli, Tplg, Tplb ve Tpla) olan ignimbirit ile tüfler örtmektedir. Koçdağı volkanitlerin kalınlıkları inceleme alanın kuzeyinde Alagöz mevkiinin hemen batısı ile güneyinde 5-10 metre kalınlık gösterirken, Buğdaylı mevkiinden Mimarsinan ile Talas mevkiine doğru metrelerce kalınlık ile geniş yayılım göstermektedir. İnceleme alanının Buğdaylı mevkiinin kuzeydoğusu ile Molu ve Oymağaç mevki dolaylarında geniş bir yayılım gösteren Pliyosen yaşlı İç Anadolu grubu ürünleri olan karasal kırıntılılarından oluşan formasyonlar mevcuttur.





Ayrıca, inceleme alanının güneyinde geniş bir yayılım ve kalınlık gösteren Pleyistosen yaşlı stratovolkanik kökenli Erciyes volkanitleri olan pirokalstikler (Qepr), piroksen andezit domlar (Qep), bazaltik lav akıntıları (Qeb) ile andezitik lav akıntıları (Qea) Yılanlı Dağı dolayında geniş bir yüzeyi kaplamaktadırlar. Ali Dağı etrafında Ali Dağı domu (Qead), cüruf konileri (Qec), Hisarcik lavları (Qehis) ile eski alüvyon çökellerini görmek mümkündür. Ovanın ortasında Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal) çökelleri geniş bir yer kaplamaktadır (Dönmez ve ark., 2005; Dalkılıç, 2009).

İnceleme alanında yüzeylenen jeolojik birimler stratigrafik olarak yaşlıdan gence doğru ayrıntılı bir şekilde aşağıda anlatılmış olup, 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası Şekil 2.5.'te verilmiştir.

## **Miyosen**

### **Ürgüp Formasyonu (Tmü)**

Birim eş yaşlı volkanitlerle yanal ve düşey yönde paralellik gösterir. Volkanik ara seviyeli, çoğunlukla kırıntılı kayalardan oluşan formasyon katmansız veya az belirgin katmanlı çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, jips ve anhidrit ve kireçtaşı, ignimbiritten oluşur. Karasal koşullarda çökelen birimin içerdiği malzeme üzerinde yer aldığı birime göre değişir.

### **Erkilet Volkanitleri (Tmae)**

Erkilet ilçesi kuzeyinde, çok sayıda çıkış merkezli, andezit, bazaltik andezit, piroksen andeziti bileşimli lav ve piroklastiklerinden oluşan volkanitlerdir. Volkanizma ürünleri, Ürgüp formasyonunu örterken, İncesu ignimbirit tarafından uyumsuz olarak örtülür.

### **Koçdağ Volkanitleri**

#### **Fotulca Bazaltı (Tmbf) ve Topuzdağ Bazaltı (Tmbt)**

Birimin egemen kaya türünü siyah, koyu renkli, akma yapılı bazaltik bileşimli lavlardan oluşturduğu volkanitler, Erkilet kuzeyinde, Erkilet ve Emiller civarında yayılım gösterir. Birim Ürgüp formasyonunu örterken, İncesu ignimbrite tarafından uyumsuz olarak örtülür.

#### **Alakuşak İgnimbriti (Tpla)**

Koçdağ volkaniti kaya grubundan olan birim, kıvılcıklı renkli pomza volkanik materyal, yer yer pomza seviyesi içeren ignimbritleri olarak gözlenmektedir. Birim alttan Başakpınar tüfü ve üstteki Adacatepe lavları ile uyumlu ilişkili olup, kalınlığı 10 m civarındadır (Fotoğraf 2.1.). Havzada Mimarsinan ve Gürpınar mevkiinde yüzeylenmektedir.

### **Başakpınar Tüfü (Tplb)**

Birim; sarı beyaz gri pembe, kahverengi renkli, yer yer içerisinde pomza volkanik materyal, yer yer pomza seviyesi içeren tüfler olarak gözlenmekte (Fotoğraf 2.1.).



**Fotoğraf 2.1.** Talas mevki ve doğusunda yüzeylenen Tpla ve Tplb geçişlerine ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)

### **Göbü Tüfü (Tplg)**

Birim; tüf, pomza ve curuf parçalarından oluşmakta olup gri ve kül renklidir. Birim, alttan Mesozoyik yaşlı formasyonlar ve İncik formasyonu ile uyumsuz, üstten İncesu ignimbiriti ile uyumlu ilişkilidir (Fotoğraf 2.2.).



**Fotoğraf 2.2.** Argıncık mevki ve dolayındaki Tplg'e ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)

### **İncesu ignimbirit (Tpli)**

Birim, Himmetdede, İncesu, Erkilet ve Erciyes Dağı doğusunda geniş yayılım gösterir ve gri, kırmızı, siyah renkli, iyi kaynaşmış ve yer yer sütünsal ayrışmalı ignimbiritlerdir (Fotoğraf 2.3.).





**Fotoğraf 2.3.** Talas mevki ve doğusunda yüzeyleyen Tplı'ye ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)

### **Valibaba ignimbrii (Tplv)**

Birim; gri, siyah renklerin yanısıra, kiremit kırmızısı ve pembe renklerin izlendiği oldukça sert, iyi kaynaklanma gösteren ignimbirit olarak gözlenmektedir (Fotoğraf 2.4.).



**Fotoğraf 2.4.** Talas mevkiinin doğusunda yüzeyleyen Tplv'ye ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)

## **Pliyosen**

### **Kışladağ Formasyonu (Tplk)**

Birim yer yer alt kesimlerinde kıltaşı, killi kireçtaşlarının yer aldığı ve egemen olarak gölsel kireçtaşından oluşmaktadır. Himmetdede, Erkilet kuzeyinde yaygındır ve geniş düzlükleri oluşturur. Çok yerlerde ince katmanlanmalı tabaka kalınlıkları bir kaç m kalınlığa kadar düşer. Bu kesimlerde tarla toprağı şeklinde izlenir. Kendinden önceki tüm birimleri uyumsuzlukla örter.

### **Sarımsaklı Formasyonu (Tplsa)**

Birim, Alt Pliyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı karasal çökellerden oluşur. Kırıntılı kayaç olarak çakıltaşı ve kumtaşı, karbonatlı kayaç olarak kireçtaşı ve marn içerir.

## **Pleyistosen (Pleyistosen - Pliyo-Kuvaterner)**

### **Erciyes Volkanitleri**

#### **Andezitik lav akıntıları (Qea)**

Birim; Erciyes dağının çevresinde gözlenen konilerin oluşturduğu koyu gri, siyah renkli bazalt, bazaltik andezit ve piroksen andezit bileşimli lav ve piroklastik kayaçların oluşturduğu volkanitlerdir. Bunlar Kızılören, Sakarçiftliği, Sarıkürklü, İmamlı ve Kocaoğlan köyleri ile Kavaklık köyü batısı civarında gözlenmektedir (Fotoğraf 2.5.).

#### **Bazaltik lav akıntıları (Qeb)**

Erciyes Dağı'nın çevresinde gözlenen konilerin oluşturduğu koyu gri siyah renkli, olivine basalt ve piroksen andezit türü lav ve piroklastik kayaçların oluşturduğu volkanitlerdir. Bunlar alanının Karpuzsekisi, Hacılar, Avşar, Hisarcik ve Beştepeler mevkiinde yayılım göstermektedir (Fotoğraf 2.5. ve Fotoğraf 2.6.).

#### **Piroksen andezitik domlar (Qep)**

Erciyes ana konisi ile piroksen, andezitik domlardan oluşan volkanik merkezleri kapsayan kayaçlardır. Birim ince taneli, gri pembe renkli, dasit hiyalandezit ve piroksen hornblend andezit bileşimli lavlardan oluşur. Bunlar Bozdağ, Yılanlı Dağı ve Kolonludağ domlarıdır (Fotoğraf 2.5. ve Fotoğraf 2.7.).

#### **Piroklastikler (Qepr)**

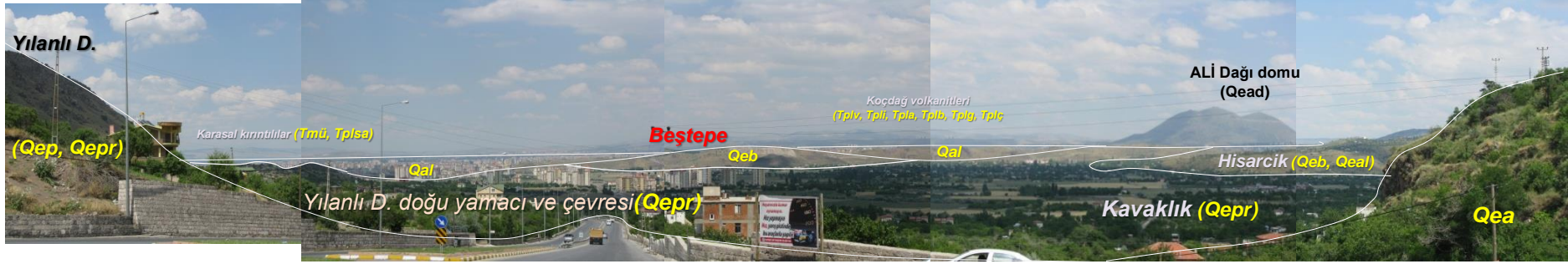
Erciyes Dağı'nın özellikle kuzeyinde, Hacılar ilçesi civarında geniş alanlarda yayılım gösteren, gevşek, tutturulmamış, beyaz, sarı renkli, camsı yapısı hakim olduğu pomzalardan oluşmaktadır. Erciyes volkanitlerinin çeşitli evrelerde faaliyet göstermesine karşın bunları birbirinden ayırmak oldukça güçtür (Fotoğraf 2.5. ve Fotoğraf 2.7.).

#### **Curuf konileri (Qec)**

Erciyes Dağı'nın çevresinde gözlenen olivine bazalt karakterli, çoğunlukla bazaltik lav akıntıları ile birlikte gözlenen koyu gri, siyah, kırmızı renklidir. Bunlar Kızılören, Küçük kızıltepe, Kırmızıtepe civarlarında rastlanır.

#### **Alıdağ domu (Qead)**

Birim; grimsi, eflatun renklere andezitik ve dasitik türde domsal çıkış gösteren Alıdağ domu oldukça dik yamaçlı olup bu yamaçlarda kendisine ait köşeli bloklar içeren gravite etkisiyle moloz akmaları oluşmuş ve yaşı Üst Pleyistosen'dir (Fotoğraf 2.8.).

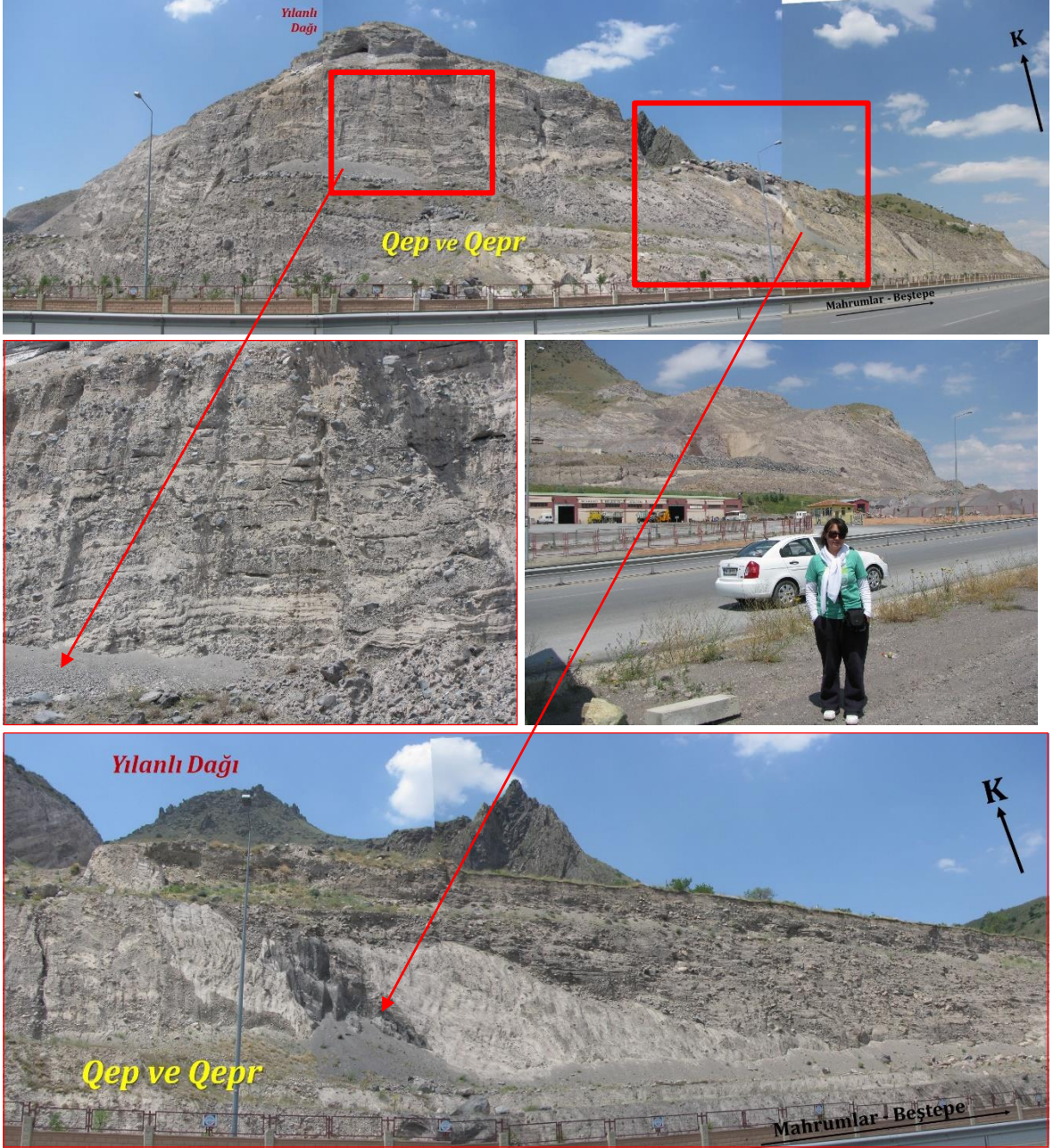


**Fotoğraf 2.5.** Yılanlı D. ile Ali D. arasında yüzeylenen jeolojik birimlere ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)



**Fotoğraf 2.6.** Kavaklık mevkiinin güneyi ile doğusunda geniş alanlarda yüzlek gösteren bazaltik lav akıntularına (Qeb) ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)





**Fotoğraf 2.7.** Yılanlı Dağı ve çevresindeki andezitik domlar (Qep) ile piroklastiklere (Qepr) ait görünüm (Çekim: O.Namkhai – Temmuz 2009)

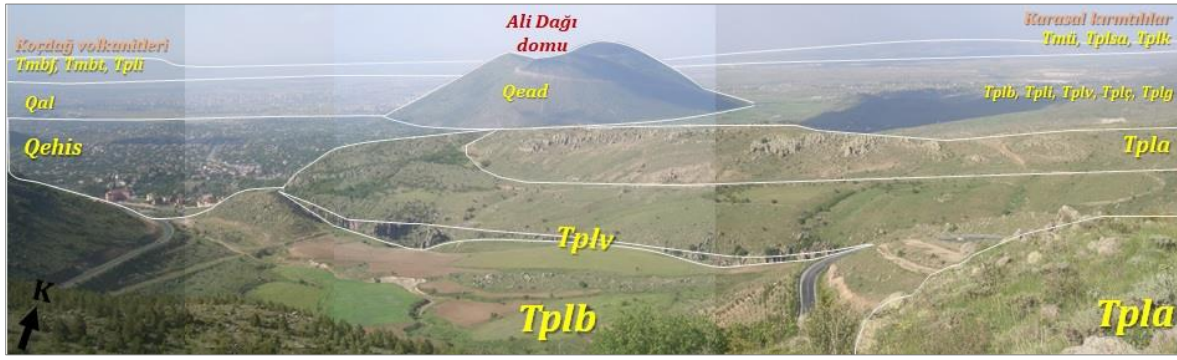
### **Hisarcık lavları (Qehis)**

Birim; gri-siyah yoğun gaz boşluklu, içinde feldispat çubuklarının gözlendiği lavlardır (bazaltlardır) (Bkz. Fotoğraf 2.8.).

### **Kuvaterner**

#### **Yamaç molozu (Qym)**

Büyük dağ eteklerinde ve yamaçlarda gözlenen çakıl, blok boyutunda tutturulmamış volkanik kayak parçalarından oluşmaktadır.



**Fotoğraf 2.8.** Ali Dağı domu (Qead)'nun çevresinde yüzeyleyen jeolojik birimlerin yayılımına ait görünüm (Çekim: Temmuz 2009)

### **Eski alüvyon ve alüvyonlar (Qeal-Qal)**

Eski vadi, vadi ve akarsu yatakları ile ova düzlüklerini oluşturan çakıl, kum, kil depolarıdır.

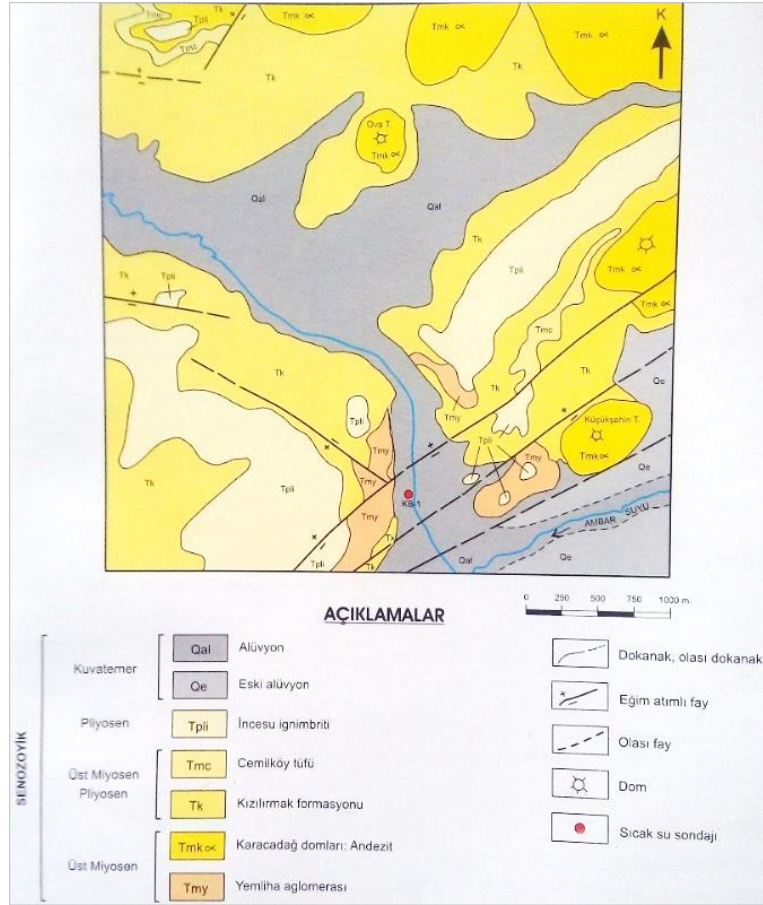
### **2.2.2. Paleocoğrafya**

İnceleme alan ile yeraltısuyu model alanının temel birimini, inceleme alanının dışında olup kuzeyi ve doğusu dolayında geniş alanlarda yüzeyleyen Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi (mermer, yer yer şistten oluşan kristalize kireçtaşları) ile Eosen yaşlı Barak ve Çayraz formasyonları oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 2.1.; Şekil 2.6.).

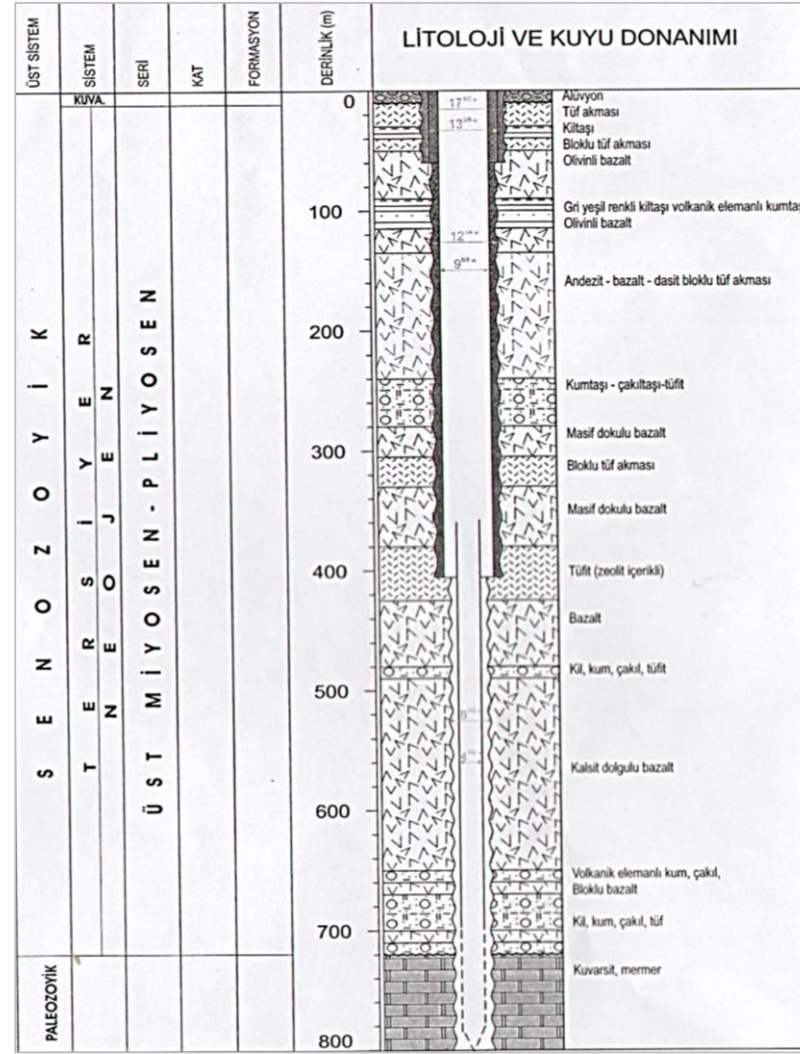
Kırşehir Masifi; masif kalkşist, kuvarsit ve gnyaslardan oluşan Bozçaldağ Formasyonu ile mermerlerden oluşan Gümüşler Formasyonundan ibarettir. Bu formasyonlar bibiri ile yanal ve düşey geçişlidir. Siyah renkli olan bu kayaç birçok tektonik etkinin tesiri ile sıkışmalar sonucunda tekrar kristalleşme, çatlama veya faylanmaya maruz kalmışlardır. Bunu takip eden aşınma devresinde atmosferik etkisi ile aşınmış olan kireçtaşlarının üzeri çıplak kalmıştır (Özgür ve ark., 2000).

Kırşehir Masifine ait birimler, inceleme alanının dışında olup, batısı dolayında Sarımsaklı Suyunun Karasu Deresi ile birleşerek Boğazköprü mevkiinden Sarımsaklı Havzası'nı terkettiği bölgede ve/veya Saraycık köyü kuzeyinde Özgür ve ark. (2000) tarafından jeotermal amaçlı açılan Erciyes-Boğazköprü KB-1 nolu 800 m derinliğine sahip sondaj kuyusu logundan görmek mümkündür (Şekil 2.6b).





a)



b)

**Şekil 2.6.** Erciyes-Boğazköprü KB-1 kuyusuna ilişkin veriler: a) kuyunun konum haritası ile jeoloji haritası, b) kuyuda kesilen jeoloji birimleri ve kuyu donanımı (Özgür ve ark., 2000)

Şekil 2.6’da verilen kuyunun bulunduğu yerin jeoloji haritası ile kuyu logu incelendiğinde; yüzeyden itibaren yaklaşık 15 m kalınlığında Kuvaterner yaşlı alüvyon çökelleri; inceleme alanının kuzey, batı ve güneyinde yüzeylenen ve altında 650 m kalınlığına sahip Tersiyer’de Üst Miyosen – Pliyosen döneminde çökelen örtü birimleri (farklı jeolojik zamanlarda faaliyete geçen Erciyes Dağı volkanizma ürünleri); bunun altında ise 60 m civarında karasal kırıntılılardan oluşan Eosen yaşlı Çayraz formasyonu ile Baraklı formasyonlarına rastlanmıştır. Bu formasyonlar temel birimler üzerinde uyumsuzluklarla yer alıp, inceleme alanında yüzeylenmemektedir. Jeotermal amaçlı açılan bu kuyunun tabanı, inceleme alanı ve dolayının temel birimini oluşturan Paleozoyik yaşlı Kırşehir masifi ile yanal ve düşey geçişli Gümüşler ile Bozçaldağ formasyonlarında 180 m kalınlığında açılmıştır.

Bu temel birimi, Neojen formasyonu lagüner bir formasyon ve/veya örtü birim olarak Kayseri kent merkezi ile çevresini kaplamıştır. Erciyes Dağı volkanik püskürme akıntıları Neojen’de meydana gelen tektonik hareketler sonucunda ovada bulunan iki ana fay sistemini oluşturmuştur. Bu olayların etkisi ile graben şeklinde çöken ovada çoğunluğu andezit ve bazalt parçacıklarından oluşan çakıl, kum piroklastik kayalar, volkanik tuf ve marnlardan bir alüvyon çökelişi oluşmaya başlamıştır. Pliyosen’de Erciyes Dağı volkanlarından bazalt lavları fişirmiştir. Aşınmanın başlaması ve Erciyes Dağı’nın sönmesi ile ova zaman içinde bugünkü topoğrafik halini almaya başlamıştır.

Sarımsaklı Ovası erozyonla ve volkanik faaliyetlerinin püskürmesi esnasındaki malzemelerin birikmesiyle meydana gelmiştir. Çevresinin genellikle, volkanik kayalarla örtülü olması ve bu volkanik kayaların çok değişik özellikte oluşu sebebiyle, dolgu malzemesi içerisinde kısa mesafelerde yüksek heterojeniteye sahip litolojik yapı görülür (Kılıçdağı ve ark., 1999).

İnceleme alanının içinde yer alan yeraltısuyu model alanı ile çevresinde yüzeylenen jeolojik birimlerin yanal yayılımları ile düşey kalınlıklarına ilişkin ayrıntılı bilgiler Bölüm 4.’te anlatılmıştır.

### 3. HİDROLOJİ

#### 3.1. İnceleme Alanının Drenaj Alanı Sınırları ve Özellikleri














İnceleme alanı, Kızılırmak Havzası'nın alt havzası olan Sarımsaklı Havzası içinde Erciyes Dağı'nın kuzeyi yamacı ile ova boyunca yer almaktadır. Sistem yaklaşımı gereği, inceleme alanı ile yakın dolayını kapsayan Sarımsaklı Havzası, Kayseri kenti yeraltısuyu sistemini kapsayacak şekilde alt sistemlere ayrılmıştır. Çalışmalarda hedeflenen amaçlara uygun olarak inceleme alanı Kayseri Kenti ve yakın dolayını kapsayan, aynı zamanda içinde yeraltısuyu model alanını içeren "Sarımsaklı-Erkilet Tarlası alt havzası sistem" olarak tanımlanmış ve yaklaşık 661 km<sup>2</sup>'lik yüzeysel drenaj alanına sahiptir (Şekil 3.1.).

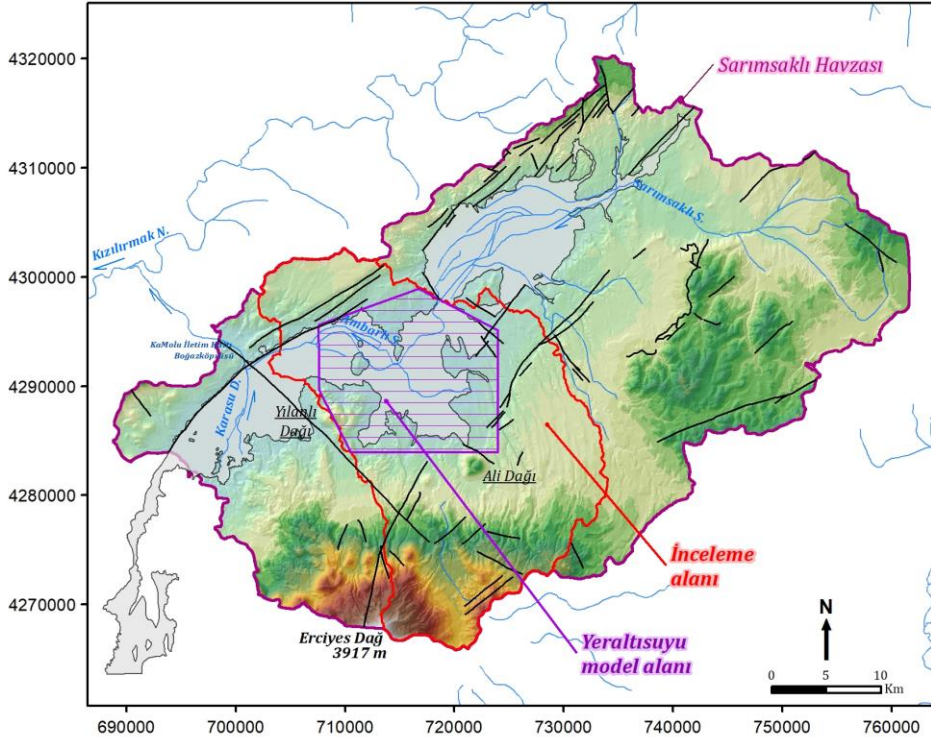
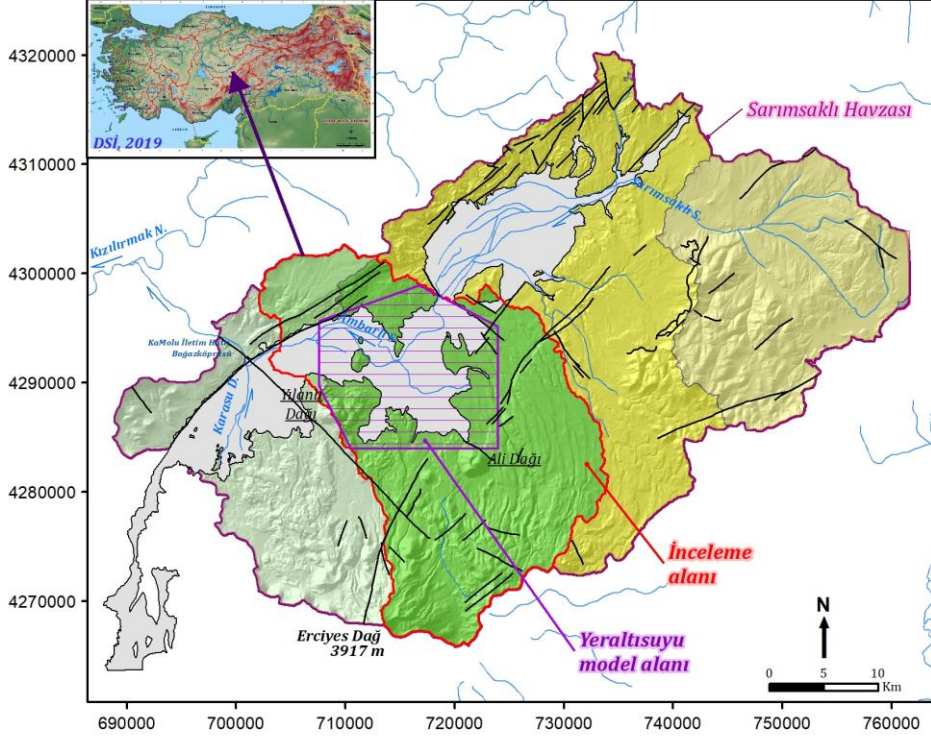
İnceleme alanının hidrolojik ve morfolojik yapısı büyük ölçüde volkanik kayaç morfolojisine bağlı olarak gelişim göstermiştir. Havzadaki mevcut yerüstü suları Sarımsaklı Suyu (Sarımsaklı S.), Ambar Suyu (Ambar S.) ile Karasu Deresi (Karasu D.)'dir. Sarımsaklı Suyu havzanın kuzeydoğusundan güneybatıya doğru akarak Ambarlı S.'na beslemekte ve havza çıkışına varmadan güney ile güneybatısından akmakta olan Karasu D. ile birleşerek Boğazköprü Akım Gözlem İstasyonundan (AGİ) geçerek Sarımsaklı Havzası'nı terk etmektedir.

Sarımsaklı Havzası'nın kuzey, orta ve batı kısımlarında geniş düz vadi yatakları gözlenirken, güneyi ve doğusunda derin vadiler gözlenmektedir. Havzanın güneyinde yer alan Erciyes Dağı ve çevresinde ise, mevsimsel akarsular olmak üzere yüksek rölyef ve derin vadiler gözlenmektedir. Erciyes Dağı ve çevresinde volkanik kayaç yapısından dolayı genelde mevsimsel akarsular bulunurken; kuzeye gidildikçe volkano-sedimenter ile alüvyon birimlerinde sürekli akarsularına rastlanmak mümkündür. Drenaj ağı morfolojisi topoğrafik eğim, iklim koşulları, jeolojik ve tektonik özelliklerin bir fonksiyonudur. Dallı drenaj yapısı, kayaçların bu özellikleri açısından homojen bir yapı gösterdiği anlamına gelmektedir. İnceleme alanının kuzey kesimlerinde geniş alanlar kaplayan sedimanlar üzerinde bu homojen yapı kendini gösterirken, tektonizma nedeniyle eğimin ve rölyefin yüksek olduğu güney kesimde daha fazla dallanma görülmektedir. İnceleme alanının hidrolojisi ve morfolojisini büyük ölçüde kontrol eden, aynı zamanda havzanın horst-graben seklini veren güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu faylarının (kuzeyde normal fay iken, güneyde ters fay) güneyinde/kuzeyinde drenaj ağı daha çok tektonik yapıya bağımlılık göstermektedir.



### ACIKLAMALAR

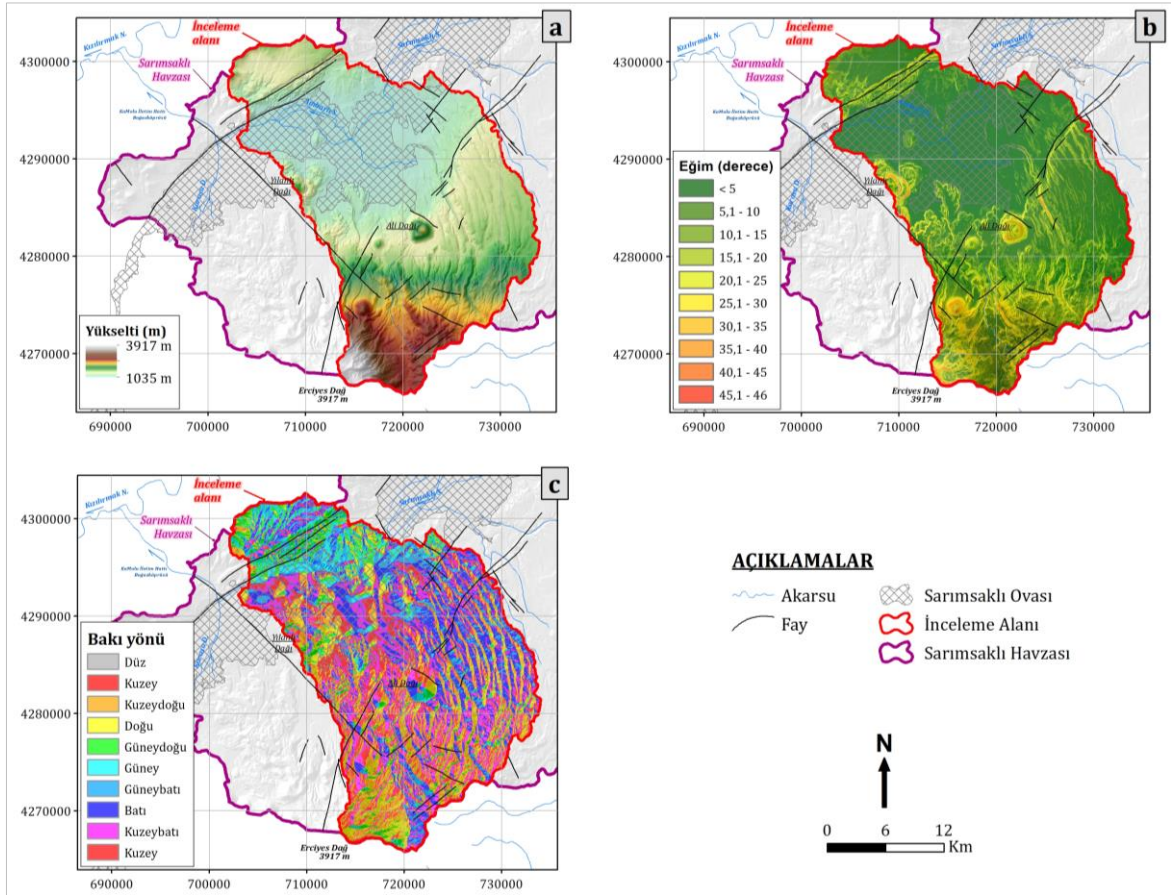
- |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|  |  | <b>Sarımsaklı Havzası Alt Havzaları</b>   |  | <b>Yükselti</b>   |
|  |  |  |  |  |
|  |   |  |   |  |
|  |   |  |   |   |



Şekil 3.1. İnceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Havzası'nın genel hidroloji haritası (DSİ, 2019a ile HGK, 1986'dan yararlanılmıştır)

### 3.2. İnceleme Alanının Fiziki Coğrafyası

İnceleme alanında deniz seviyesinden olan yükseklik dağılımına ilişkin sayısal yükselti modelinin oluşturulmasında, Harita Genel Komutanlığı (HGK, 1986)'nce hazırlanan K34 ve K35 paftalarına ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarındaki yükselti eğrileri ESRI ArcGIS® v10.8 yazılımı kullanılarak vektör (.shp) formatında sayısallaştırılmıştır. Bu işlemin sonucunda elde edilen vektör veri, yine aynı adlı yazılımın kullanılmasıyla 20 m×20 m çözünürlüklü sayısal arazi modeline dönüştürülerek, inceleme alanının sayısal arazi modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.2a).



Şekil 3.2. İnceleme alanının (a) sayısal arazi modeli, (b) eğim ve (c) bakı haritaları

Şekil 3.2a'da (Bkz. Şekil 3.1: Yükselti (m)) verilen inceleme alanının sayısal arazi modeli incelendiğinde, inceleme alanının en yüksek kotu Erciyes Dağı'nın zirvesi olan 3917 m ve en düşük kotu ise Ambarlı S'nun inceleme alanını terk ettiği 1035 m olduğu belirlenmiştir. Bu topoğrafik yükseltilerin eğim değerleri esas olarak tektonik yapı ile kontrol edilmektedir. Havzanın güneyinde, özellikle sırt ve vadi yamaçlarında 15° üzerinde eğim değerlerine rastlanmaktadır. Özellikle, Erciyes Dağı (36-46°) ve yakın çevresinde genellikle 16-24° üzerindeyken; kuzeye doğru ovaya yaklaştıkça 7°'nin altına düşmektedir. İnceleme alanının

kuzey ve batı kısımlarda faydan dolayı yükselen blokta eğimler yine 10-46° aralığında değişmektedir. Ovada ise, eğim değerleri oldukça düşüktür ve genellikle 3° altında gözlenmektedir. Bu nedenle akarsu akım hızları azalmakta, akarsu yatakları genişlemekte ve akarsu taşıma kapasitesinin azalmasına bağlı olarak güneybatı-batıya doğru gidildikçe daha ince taneli sediman birikimi gerçekleşmektedir. İnceleme alanında KASKİ tarafından işletilmekte olan çoğu içme suyu kuyu tesislerinin bulunduğu bölgelerde eğim değerleri çok düşükken; ovanın iki yanında bulunan yükseltilerde ise, yüksek değerlere ulaşmaktadır (Şekil 3.2b). Şekil 3.2c’de sunulan inceleme alanının bakı dağılımı incelendiğinde; bakı yönünün, faylara paralel şeklinde havzanın kuzeyinde batı/güneybatı doğrultu boyunca güney, güneybatı, güneydoğu ve batıya; Erciyes Dağı ve çevresinde ise güneybatı, batı, kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğuya olduğu anlaşılmaktadır.

### 3.3. İnceleme Alanının Oroğrafyası

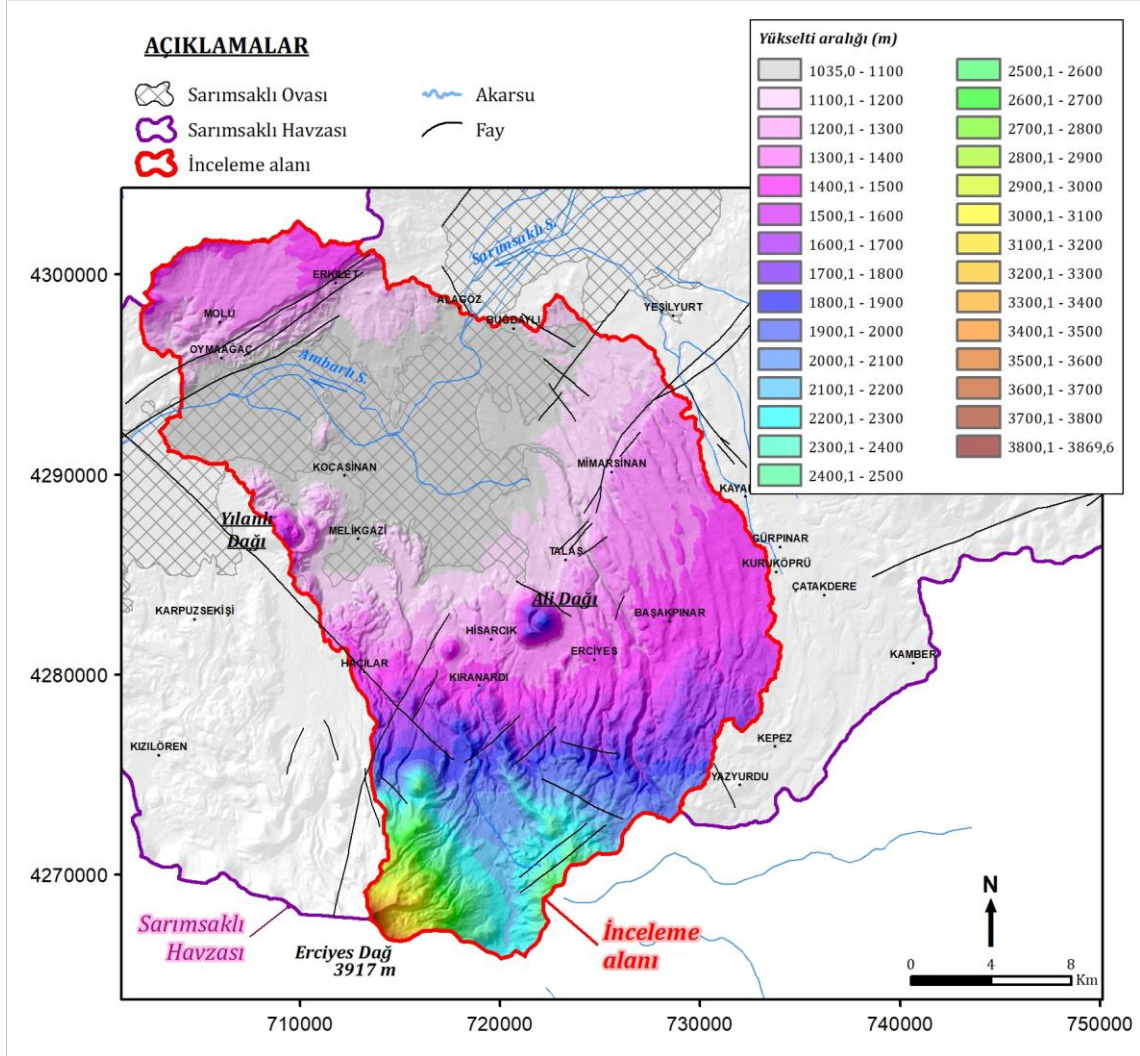
İnceleme alanının kot-alan ilişkisinin ortaya konulması amacıyla, inceleme alanının sayısal arazi modeli 100 m eşit kot aralıklı olacak şekilde yeniden oluşturularak, Şekil 3.3.’te verilmiştir. Her bir kot aralığının alanı km<sup>2</sup> cinsinden ve bunların inceleme alanına olan yüzdeleri hesaplanmış olup, Çizelge 3.1.’de sunulmuştur. Ayrıca, kot-alan ilişkisi Şekil 3.4.’te ve bu ilişkiye bağlı olan iklim bölgeleri Şekil 3.5.’te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** İnceleme alanının kot aralıkları ile bunların alan bilgilerine ilişkin veriler

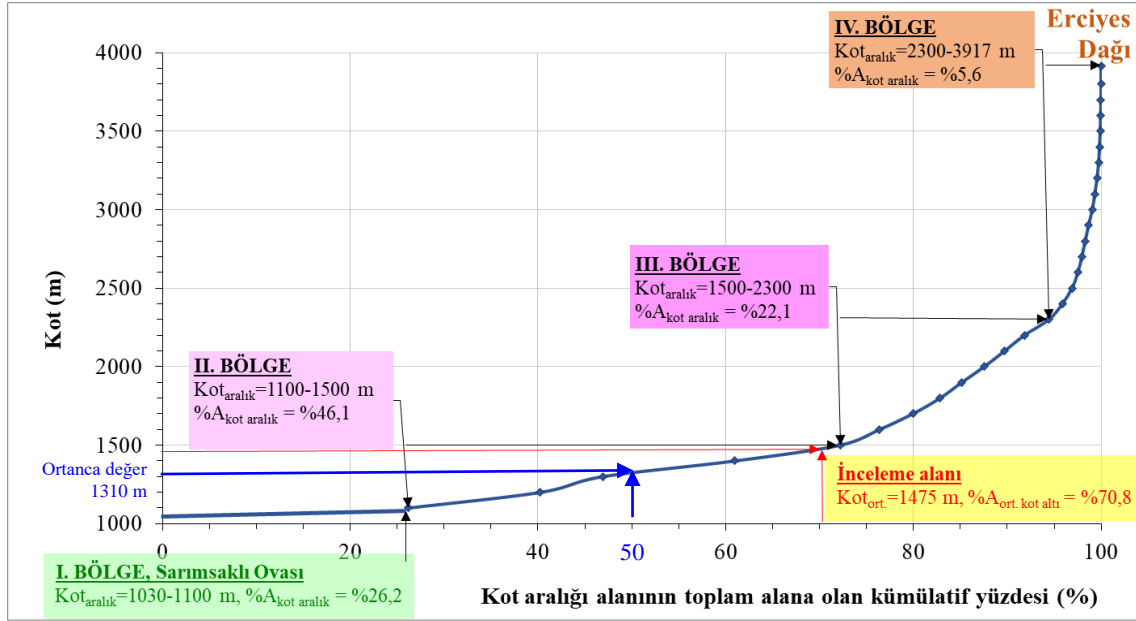
Sıra	En düşük kot (m)	En yüksek kot (m)	Kot aralığı alanı (km <sup>2</sup> )	Kümülatif kot aralığı alanı (km <sup>2</sup> )	Kot aralığı alanının toplam alana olan yüzdesi (%)	Kot aralığı alanının toplam alana olan kümülatif yüzdesi (%)
1	1030,00	1100	173,29	173,29	26,207	26,207
2	1100,01	1200	92,84	266,13	14,040	40,247
3	1200,01	1300	44,01	310,14	6,656	46,902
4	1300,01	1400	93,02	403,17	14,068	60,970
5	1400,01	1500	74,27	477,43	11,231	72,202
6	1500,01	1600	27,65	505,08	4,181	76,383
7	1600,01	1700	23,50	528,58	3,554	79,937
8	1700,01	1800	19,24	547,82	2,910	82,846
9	1800,01	1900	15,27	563,09	2,309	85,156
10	1900,01	2000	15,81	578,90	2,390	87,546
11	2000,01	2100	14,35	593,25	2,171	89,717
12	2100,01	2200	14,00	607,25	2,117	91,833
13	2200,01	2300	17,17	624,42	2,596	94,430
14	2300,01	2400	9,58	633,99	1,448	95,878
15	2400,01	2500	6,80	640,79	1,028	96,906
16	2500,01	2600	4,12	644,91	0,623	97,529
17	2600,01	2700	2,80	647,71	0,423	97,952
18	2700,01	2800	2,35	650,05	0,355	98,306
19	2800,01	2900	2,37	652,42	0,358	98,664
20	2900,01	3000	2,64	655,06	0,399	99,064
21	3000,01	3100	1,81	656,87	0,274	99,338
22	3100,01	3200	1,55	658,43	0,235	99,573



Sıra	En düşük kot (m)	En yüksek kot (m)	Kot aralığı alanı (km <sup>2</sup> )	Kümülatif kot aralığı alanı (km <sup>2</sup> )	Kot aralığı alanının toplam alana olan yüzdesi (%)	Kot aralığı alanının toplam alana olan kümülatif yüzdesi (%)
23	3200,01	3300	1,08	659,51	0,164	99,737
24	3300,01	3400	0,66	660,17	0,100	99,837
25	3400,01	3500	0,43	660,60	0,065	99,902
26	3500,01	3600	0,36	660,96	0,055	99,957
27	3600,01	3700	0,18	661,15	0,028	99,984
28	3700,01	3800	0,08	661,23	0,012	99,997
29	3800,01	3917	0,02	661,25	0,003	100,000



**Şekil 3.3.** İnceleme alanının eşit kot aralıklı sayısal arazi modeli (Şekil 3.1 ile Şekil 3.2’deki sayısal arazi modelinden yararlanılmıştır)



**Şekil 3.4.** İnceleme alanının kot-alan ilişkisi (Şekil 3.3'teki sayısal arazi modelinden yararlanılmıştır)

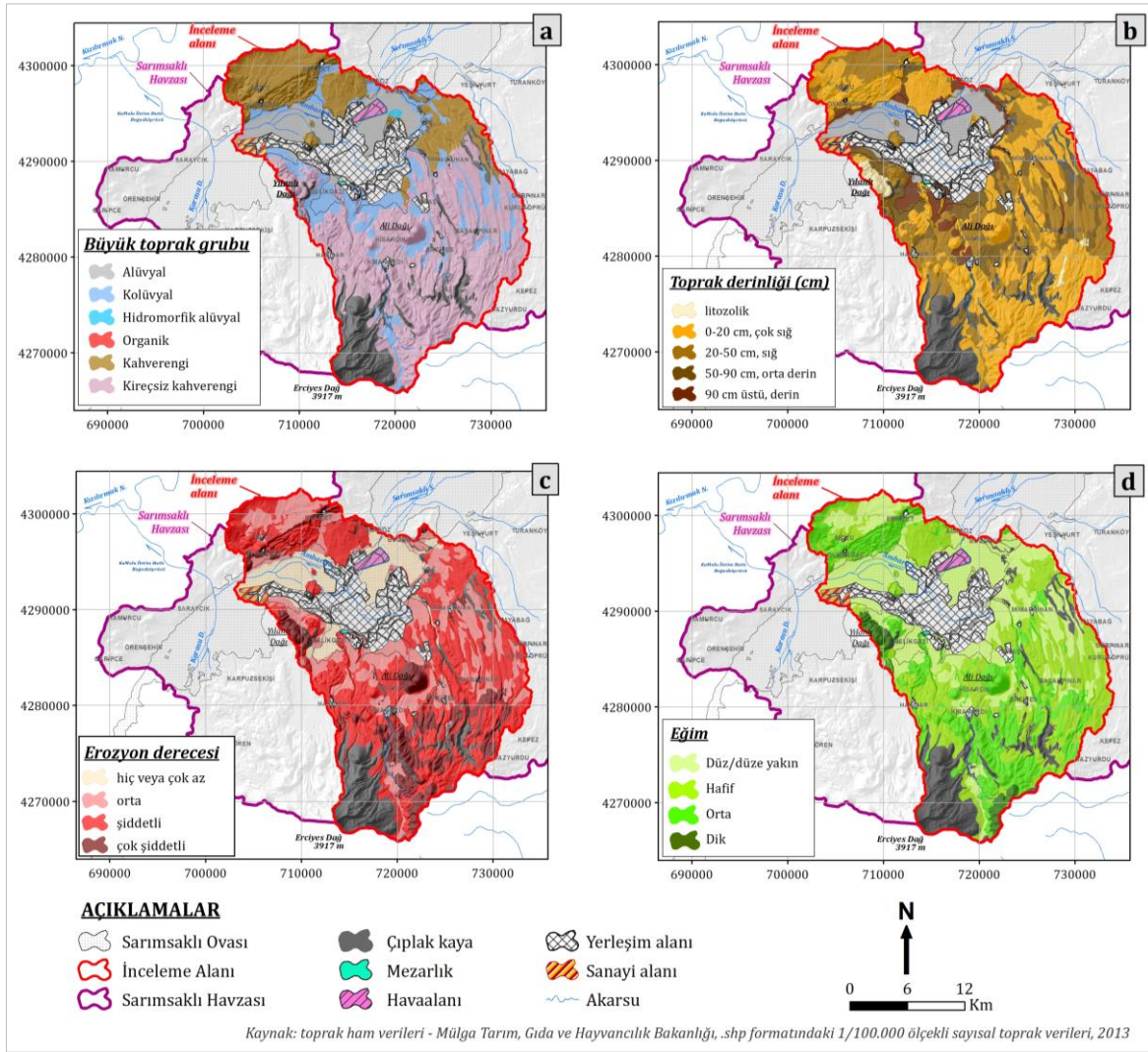
### 3.4. İnceleme Alanının Yüzeysel Akışını Denetleyen Faktörlerin İncelenmesi

Herhangi bir alanın yüzeysel akışını denetleyen faktörler başta toprak örtüsü (derinlik, erozyon derecesi ve eğimi) olmak üzere bitki örtüsü ile arazi kullanım durumu, çevre düzeni planı ve topoğrafya (yükselti, bakı ve eğim), meteorolojik olaylar ile ilgili verilerdir.

İnceleme alanında yer alan toprak örtüsü büyük toprak grupları, derinliği, erozyon derecesi ile eğimi açısından incelendiğinde (Şekil 3.5abcd ve Şekil 3.6); alanın güneyinde Erciyes Dağı zirvesi ve yakın dolay ile orta kısmındaki derin ve geniş dere yatakları ile yamaçlarının herhangi bir toprak örtüsüne sahip olmayan çıplak kayalıklarla çevrili olduğu tespit edilmiştir. Bunun dışında, inceleme alanında yer alan küçük yerleşim yerleri alanları ile Kayseri Kent merkezi yerleşim alanı, Erkilet havaalanı ile sanayi alanı mevcut olup, sözü edilen alanlarda toprak örtüsünün mevcut olmadığı belirlenmiştir.

İnceleme alanının güney yarısı, doğusu ile güneydoğusunda genel olarak kireçsiz kahverengi topraklar ile kolüvyal topraklar hakimdir. Ancak, kolüvyal topraklar topoğrafik eğimlerinin düz olduğu veya geniş dere yataklarında daha hakimdir. Sözü edilen bu toprakların yanısıra, inceleme alanının kuzey yarısında topoğrafik eğiminin daha düz olan alanlarda kahverengi topraklar çökelirken, yine topoğrafik eğimlerinin düz olduğu veya yamaçlarda ve geniş dere yataklarında kolüvyal topraklar çökelmiştir.

Bu toprakların dışında inceleme alanının kuzey yarısında alüvyal topraklar topoğrafik eğimin düz olduğu geniş alanda veya Sarımsaklı Ovası'nda hakimdir (Şekil 3.5a).



**Şekil 3.5.** İnceleme alanındaki toprak özelliklerinin alansal dağılımları: (a) büyük toprak grubu, (b) derinlik, (c) erozyon derecesi ve (d) eğimi (TOB, 2013'ten yararlanılmıştır).

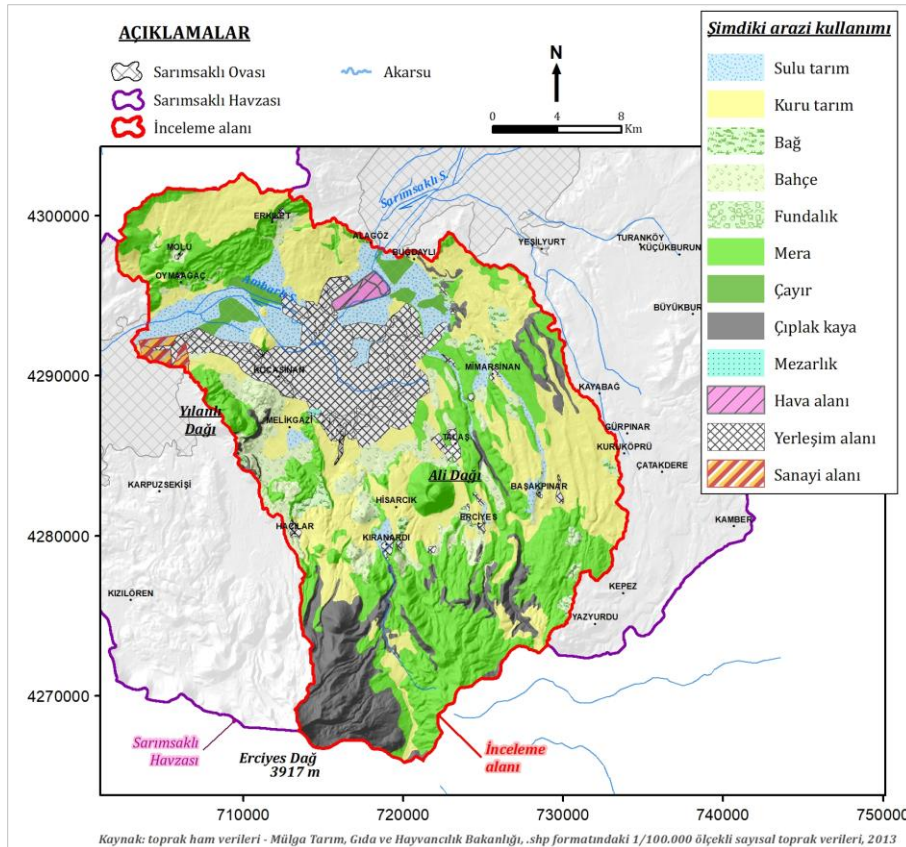
Toprak örtüsü derinliği açısından incelendiğinde; inceleme alanının genelinin toprak kalınlığı 0-20 cm iken, orta kesimindeki topoğrafik eğiminin orta ve düz olduğu alanlar yer yer 20-50 cm, yer yer ise 50-90 cm toprak örtüsü kalınlığına sahiptir. Bunların dışında, Yılanlı Dağı'nın doğusu ile Ali Dağı'nın batısında küçük alanlarda derinliği 90 cm üstü olan toprak örtüsüne rastlanmıştır. Ayrıca, Yılanlı Dağı'nın batısı ile Yazıurdu yerleşimin kuzeybatısında dar alanlarda litozolik topraklar mevcuttur (Şekil 3.5b).

İnceleme alanı toprak örtüsü erozyon derecesi açısından incelendiğinde %70'ne yakın alanının şiddetli erozyona uğradığı görülmektedir (Şekil 3.5c). Erciyes Dağı doğusu ile



kuzeydoğusundaki sırtların tepeleri ile yamaçları, Yılanlı Dağı ile Ali Dağı'ndaki toprak örtüsünün çok şiddetli erozyona; yine, topoğrafik eğimin düz veya düze yakın olduğu alanlar ile geniş dere yatakları ve yamaçlarındaki toprak örtüsünün orta şiddetli erozyona uğradığı belirlenmiştir. Son olarak Kayseri Kent merkezi yerleşim alanının kuzeyi ile güneydoğusundaki geniş alanlardaki toprakların hiç veya çok az şiddetli erozyona sahip olduğu Şekil 3.5c'den görmek mümkündür. İnceleme alanı toprak örtüsü eğimi açısından incelendiğinde, güney yarısının güneyi ile orta kısmı orta ve hafif eğimli toprak örtüsüne sahipken, kuzey kısmı ise genellikle hafif ve düz/düze yakın eğime sahiptir. İnceleme alanının kuzey yarısı genel olarak hafif ve düz/düze yakın toprak örtüsü eğimine sahipken, topoğrafik eğiminin orta ve düz olduğu alanlarda toprak örtüsü eğimi orta ve hafiftir (Şekil 3.5d).

Bitki örtüsü ile arazi kullanım durumu açısından incelendiğinde; inceleme alanının güney kısmında genel olarak mera ve nadir olarak kuru tarım; orta kısmında genel olarak kuru tarım hakimken topoğrafik eğiminin orta olduğu alanlarda bağ, bahçe ve fundalık; kuzey kısmında ise kuru ve sulı tarım ile çayır ve mera ağırlıklıyken, dar alanlarda bağlık alanlar mevcuttur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. İnceleme alanına ait arazi kullanım durumu (TOB, 2013'ten yararlanılmıştır).

### 3.5. İklim Analizi

#### 3.5.1. Meteorolojik Gözlem İstasyonlarının Dağılımı ve Temsil Edicilikleri

İnceleme alanının iklim verilerin belirlenmesi amacıyla, Çizelge 3.2’de bilgileri verilen inceleme alanı ve dışında yer alan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında (MGİ) ölçülen sıcaklık ve yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nden temin edilerek incelenmiştir. İnceleme alanında 6 adet ve dışında ise 2 adet MGİ bulunmaktadır.

Bunlardan inceleme alanı içinde yer alanlardan ikisinde yağış (P), sıcaklık (T) ile kar (Ka), ikisinde yağış (P) ile sıcaklık (T) ve ikisinde ise sıcaklık (T) ile kar (Ka) ölçümleri yapılırken; alanın dışındakilerde yağış (P) ile sıcaklık (T) ölçümleri yapılmaktadır. Çizelge 3.2 incelendiğinde, 2250 m kotunun üzerinde herhangi bir meteorolojik gözlem istasyonu bulunmamaktadır.

**Çizelge 3.2.** İnceleme alanı ve çevresindeki MGİ’e ait bilgiler (Değirmenci ve ark., 2011b ve MGM, 2019’dan yararlanılmıştır)

Bulunduğu Yer	No	İstasyon			İşleten Kurum	Coğrafi koordinatlar WGS84	Gözlem Yılları	Ölçülen Parametre
		Adı	No	Yükseklik (m)				
İnceleme alanı içinde	1	Kayseri	17196	1093	MGM	38°41'13.2"K 35°30'00.0"D	1937-2019	P, T, Ka
	2	Talas	18460	1100	MGM	38°40'04.1"K 35°32'51.0"D	1979-1987	P, T
	3	Hacılar	5518	1250	MGM	38°39'34.5"K 35°28'21.9"D	1977-1984	P, T
	4	Tekir		2250	DSİ	35°31'27.8"D 38°32'34.1"K	1975-1984	T, Ka
	5	Erciyes 2B	E15K005	2135	DSİ	35°31'00.0"D 38°33'00.0"K	2008-2010	T, Ka
	6	Erciyes kayak merkezi	18149	2250	MGM	35°31'27.8"D 38°32'34.1"K	2012-2019	P, T, Ka
İnceleme alanı dışında	5	Gesi – Bağyurdu	5345	1250	DSİ		1991-1994	P, T
	6	İncesu	5516	1075	MGM	38°37'31.1"K 35°10'31.1"D	1975-1997	P, T

Mevcut istasyonlardan en yüksek kota sahip istasyonlar 2250 m yükseltideki iki adet kar gözlem istasyonu (KGİ) olup, DSİ’ye ait Tekir KGİ ile MGM’e ait Erciyes Kayak Merkezi KGİ’dir. Erciyes Dağı’nın zirvesi beslenme alanı sınırı olarak kabul edilirse (inceleme alanının güney sınırı) 3917 metre ile 2250 metre arasındaki 1667 m’lik alanda hiç



meteorolojik ölçüm istasyonu bulunmadığından, bu alana ilişkin iklim verileri temin edilememektedir.

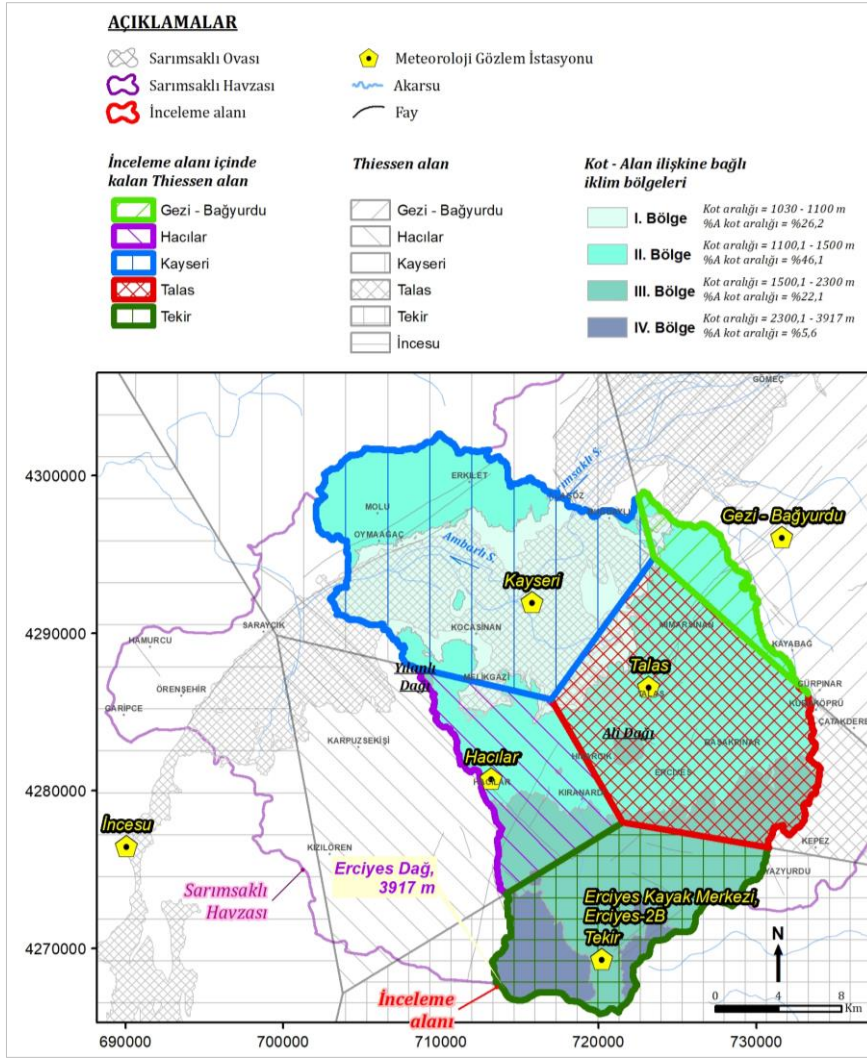
Çizelge 3.2’de adları geçen MGİ’lerin hangisinin inceleme alanını temsil ettiğinin belirlenmesi amacıyla, sözü edilen çizelgede verilen koordinat bilgileri (istasyonlar arasındaki mesafeleri) kullanılarak, her bir meteorolojik gözlem istasyonunun yağış alanını temsil eden Thiessen Poligonları çizilmiştir (Şekil 3.7). Bu yağış alanları incelendiğinde; inceleme alanı içinde yer alan MGİ’lerde ölçülen meteorolojik verilerinin inceleme alanına ait iklimsel verilerini temsil ettiği belirlenmiştir.

Şekil 3.7’de konumları gösterilen MGİ’lerde Çizelge 3.2.’de belirtilen gözlem yılları içinde aylık ölçekte yağış, sıcaklık ve kar ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.2 incelendiğinde, en uzun ve sürekli gözlemlerin MGM’ye ait Kayseri MGİ’de yapıldığı görülürken, diğer MGİ’lerde ise kesikli gözlemlerin gerçekleştiği belirlenmiştir. Sözü edilen kesikli gözlemlerin olduğu istasyonlardaki eksik yağış verileri, aynı gözlem sürelerinde ölçülen verilerin korelasyon-regresyon analizleri yapılarak tamamlanmıştır. Tamamlanan bu yağış verileri kullanılarak uzun yıllar yıllık ortalama yağışların (Çizelge 3.3) kota göre nasıl değiştiğinin belirlenmesi amacıyla, yağış-kota ilişkisi oluşturulmuş olup, grafiği Şekil 3.8’de sunulmuştur.

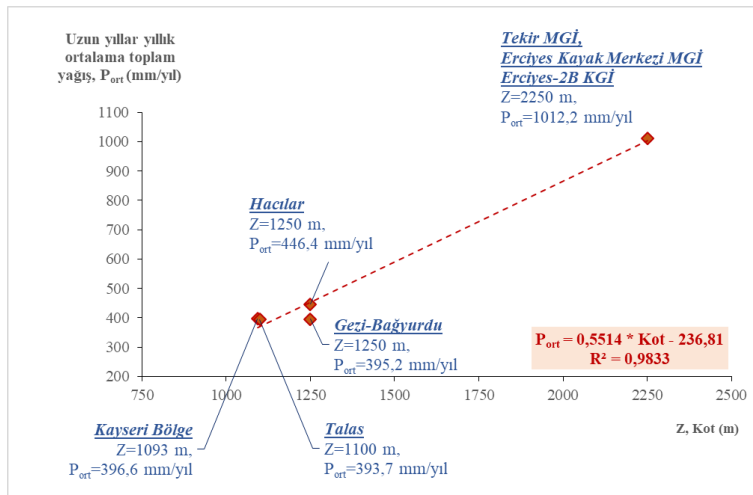
Erciyes Dağı’nın kuzey yamaçlarında yer alan bu istasyonlara ait kot-yağış ilişkisi incelendiğinde anlamlı bir ilişki ( $R^2=0,98$ ) bulunmuştur. Bu ilişki dikkate alınarak yapılan tahminlere göre, Kayseri kentinin içme suyu kaynaklarının beslenme alanını oluşturan Erciyes Dağı’nın 2250 m’lik kotta 1012,2 mm’nin üzerinde yağış düşmektedir. Yağışın büyük bir bölümü kar şeklindedir.

**Çizelge 3.3.** İnceleme alanındaki 1976-2018 su yıllarına ait uzun yıllar yıllık ortalama yağış değerleri (mm/yıl) (MGM, 2019’dan yararlanılmıştır)

Sıra	MGİ adı - numarası	Kota (m)	1976-2018 su yılları uzun yıllar yıllık ortalama yağış (mm/yıl)
1	Kayseri Bölge / 17196	1093	396,6
2	Talas / 5520	1100	393,7
3	Hacılar / 19185 (5518)	1250	446,4
4	Tekir / 5345; Erciyes-2B; Erciyes Kayak Merkezi / 18149	2250	1012,2
5	Gesi Bağyurdu / 5345	1250	395,2



Şekil 3.7. İnceleme alanı ve çevresine ait MGİ'lerin Thiessen poligon yağış alanlarını gösterir harita (MGİ koordinat bilgileri için <https://www.mgm.gov.tr/>'den yararlanılmıştır)

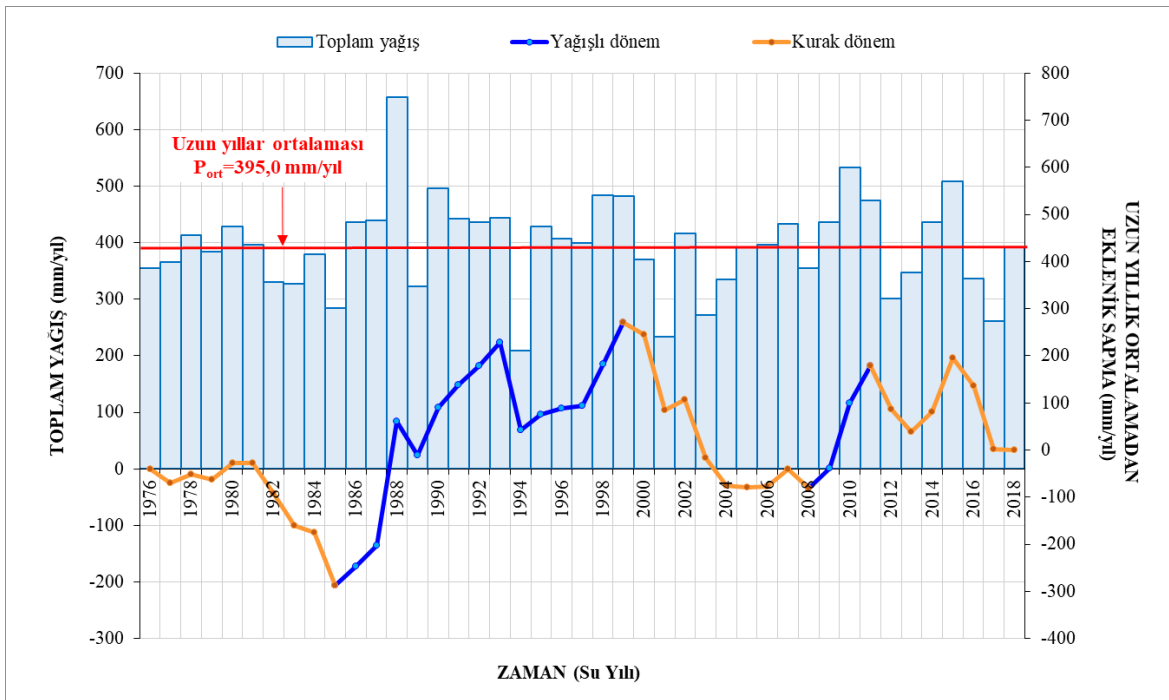


Şekil 3.8. İnceleme alanında yer alan MGİ'lerinin kot ile yağış ilişki grafiği

### 3.5.2. Yağış

İnceleme alanı ve çevresinde en uzun gözlem süresine sahip olan istasyon Kayseri MGİ'dir. Bu istasyonda 1976-2018 yılları arasında gözlenmiş aylık yağış verileri incelendiğinde, en yüksek 164,7 mm 1988 yılı Haziran ayında gerçekleşirken, en düşük yağış ise Temmuz ile Ağustos aylarında meydana gelmektedir. Uzun su yılları ortalama yıllık toplam yağış 395,0 mm/yıl'dır. Bölgede en çok yağış Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında; en az yağış Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında meydana gelmektedir.

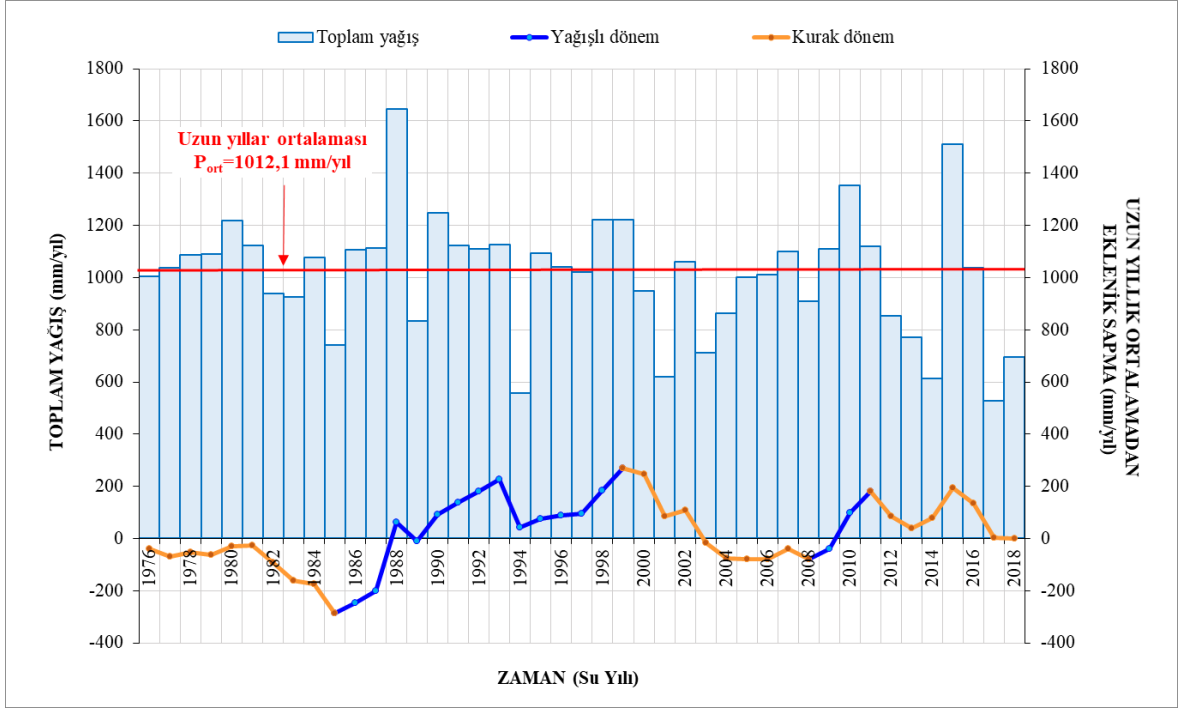
MGM'ye ait Kayseri MGİ'nde 1976-2018 su yılları arasında ölçülen 44 yıllık yağış verileri incelenmiş olup, uzun yıllık eklenik sapma yağış grafiği çizilmiştir. Böylece, inceleme alanında hüküm sürmüş yağışlı ve kurak dönemler belirlenmiştir ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde; 1976-1985 su yılları arasında 10 yıllık kurak, 1986-1999 su yılları arasında 14 yıllık yağışlı, 2000-2009 su yılları arasında 10 yıllık kurak, 2010-2011 su yılları arasında 2 yıllık yağışlı, 2012-2018 su yılları arasında ise 7 yıllık kurak dönem gerçekleşmiştir.



**Şekil 3.9.** Kayseri MGİ'ye ait 1976-2018 su yılları için ölçülen yağışların zamansal ve eklenik sapma grafiği (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)

Kayseri MGİ, Talas MGİ, Hacılar MGİ, Gesi-Bağyurdu ile Tekir MGİ/Erciyes Kayak Merkezi MGİ/Erciyes-2B KGİ'de aynı tarihlerde ölçülen aylık ölçekteki yağış verilerin

incelenerek elde edilen regresyon eşitlikleri kullanılarak Tekir MGİ için 1976-2018 su yıllarına ait aylık yağış değerleri hesaplanmış olup, Şekil 3.10'da ise zamansal grafiği verilmiştir. Tekir MGİ için hesaplanan uzun yıllar ortalama yıllık toplam yağış 1012,1 mm/yıl'dır.

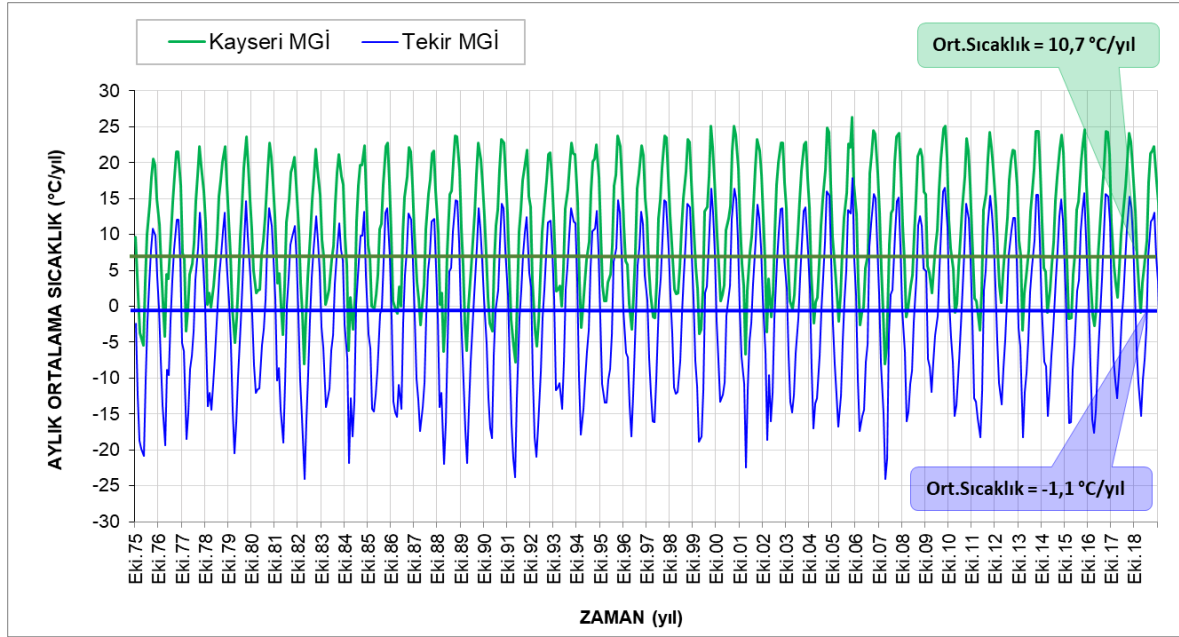


**Şekil 3.10.** Tekir MGİ, 1976-2018 su yılları için hesaplanan yağışların zamansal ve eklenik sapma grafiği (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)

### 3.5.3. Sıcaklık

İnceleme alanında 1976-2018 yılları arasında Kayseri MGİ'de (1093 m) gözlemlenmiş ve Tekir MGİ'de (2250 m) ise tamamlanmış eksik veriler aylık ölçekte incelendiğinde, ortalama aylık sıcaklık en yüksek değerlerine Temmuz ve Ağustos ayında ulaşırken en düşük sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında gözlenmektedir.

Şekil 3.11'de Kayseri MGİ'de ölçülen ve Tekir MGİ için hesaplanan 1976-2018 su yılları aylık ortalama sıcaklık değerlerinin zamansal dağılımı sunulmuştur. Aylık ortalama sıcaklık değerinin  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düştüğü gün sayısı  $0^{\circ}\text{C}$ 'nin üstündeki değerlere nazaran azdır. 1990 yılından itibaren sıcaklık değerlerinde bir artış eğilimi gözlenmektedir. Gözlem süresi içerisinde en sıcak yıllar 2000-2001 su yılları ile 2005-2008 su yıllarında olmuştur. Bu yıllarda, yaz ayları aylık ortalama sıcaklık  $24^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde gözlenmiştir. Aylık maksimum sıcaklık ise 2006 yılında gözlenmiştir.



**Şekil 3.11.** Kayseri MGİ ile Tekir MGİ'ye ait aylık ortalama sıcaklık dağılımı (MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)

### 3.5.4. Hidrolojik Su Bütçesi Hesaplama Yöntemi ve Bileşenlerinin Belirlenmesi

İnceleme alanının su bütçesinin belirlenebilmesi için, inceleme alanında aylık ölçekte, tümsel bir yaklaşım olan Thornthwaite-Mather (1948; 1955) su bütçesi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, toprak zonunda aylık ölçekte, yağış (kar, yağmur), buharlaşma-terleme (potansiyel ve gerçek) ve depolamadaki değişim arasında (toprak zonunda maksimum su tutma kapasitesi ile yıl içindeki değişiminin bir denge oluşturulmakta), depolama tam kapasitede iken fazla su ve süzülme olarak değerlendirilmektedir.

Thornthwaite-Mather yönteminin parametreleri toprak zonunda maksimum su tutma kapasitesi, süzülme katsayısı ve yüzeysel akış katsayısı olup, çıktıları ise gerçek buharlaşma-terleme, fazla su miktarının yüzeysel akış yüksekliği ile ortalama yeraltısu beslenme miktarıdır.

#### 3.5.4.1. Kar erimesinin belirlenmesi için uygun yöntemin seçilmesi

İnceleme alanında kış ayları ile ilkbaharın ilk aylarında ve sonbaharın son aylarında kar yağışı meydana gelmektedir. Yağan bu kar yağışın erimesiyle meydana gelen kar suyu inceleme alanında düşen yağmur ile birlikte volkanik kayaç akifer sistemine giren yağışa bağlı beslenimi oluşturmaktadır. Dolayısıyla, yağışa bağlı beslenimin doğru bir şekilde hesaplanabilmesinde kullanılmak üzere, Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Jeolojik

Araştırma Ajansı uzmanları Gregory ve ark. tarafından 2007 yılında önerilen “A Monthly Water-Balance Model Driven By A Graphical User Interface / Kullanıcı Arayüzlü Grafikselle Aylık Su Dengesi Modeli” (USGS, 2007) seçilmiş olup, bu tezin bu alt başlığı altında Türkçe’ye çevrilerek sunulmuştur. Ayrıca, 2001 yılında Dingman tarafından revize edilmiş “Thornthwaite Aylık Su-Bütçesi Modeli (‘Thornthwaite-Type Monthly Water-Balance Model: modified from Dingman 2001: ex. 7-13, Box 7-3 using ET model of Hamon (1963))” modeli de seçilerek inceleme alanının su bütçesi hesaplanmıştır. Sonuç olarak, sözü edilen iki farklı su bütçesi ile hesaplanan su bütçesi bileşenleri arasında önemli bir farkın olmadığı görülmüştür.

### **3.5.4.2. İnceleme alanındaki kar örtüsü erime sıcaklığının belirlenmesi**

#### Analiz için kullanılan veriler – hidrometeorolojik veriler

Erciyes Dağı’nın kuzeydoğu yamaçlarından Tekir, Erciyes Kayak Merkezi ile Erciyes-2B nolu istasyonlar 2250 m kotunda yer almaktadır. Bunlardan Erciyes-2B nolu KGİ ise Mülga Elektrik İşleri Etüdü Genel Müdürlüğü (EİE)’nce kar derinlikleri gözlemleri yapılmaktaydı. Sözü edilen istasyona ait 2008, 2009 ile 2010 su yıllarına ait kar derinlikleri DSİ’den ve Kayseri MGİ’de ölçülen günlük toplam yağış, yeni ve mevcut kar derinlikleri ile ortalama sıcaklık verileri MGM Genel Müdürlüğü’nden temin edilmiştir. Bu veriler, DSİ’den temin edilen inceleme alanının çıkışı dolayındaki Boğazköprü mevkiindeki yer alan Molu – Karasu D15A167 nolu iletim hattı akım gözlem istasyonu (AGİ)’nda ölçülen 2008, 2009 ve 2010 su yıllarına ait günlük akım verileri ile inceleme alanı ve dolayına ait günlük ölçekteki alansal kar örtüsü uydu görüntüleriyle birlikte değerlendirilerek, Bölüm 3.5.4.1.’de anlatılan su-dengesi model için ihtiyaç duyulan yağışın kara dönüşme sıcaklıkları belirlenmiştir.

Boğazköprü mevkiindeki yer alan DSİ’nce işletilmekte olan Molu - Karasu D15A167 nolu iletim hattı AGİ’de ölçülen akımlar; inceleme alanının çıkışındaki Ambarlı Suyu ile inceleme alanının batısında mostra gösteren Yılan Dağı’nın batısında yer alan Karasazlık Bataklığı bölgesindeki Dokuzpınarlar kaynaklarından boşalan yeraltısularıyla beslenen Karasu Deresi akımlarının birleşimidir (Bkz. Şekil 3.1.).

Bu analiz için kullanılan 2008, 2009 ile 2010 su yıllarına ait günlük ölçekteki meteorolojik verilerinden ortalama sıcaklık, akım ile kar derinliği verilerine ilişkin grafikler Şekil 3.12’de verilmiştir. Şekil 3.12’de sunulan grafikler incelendiğinde, 2008 su yılına göre 2009 su yılında Kayseri MGİ’de ölçülen sıcaklık ile yağış değerlerinde artış gözlenmektedir. Erciyes-2B KGİ’de ölçülen en yüksek kar derinlikleri 2008 su yılında yaklaşık 125 cm, 2009

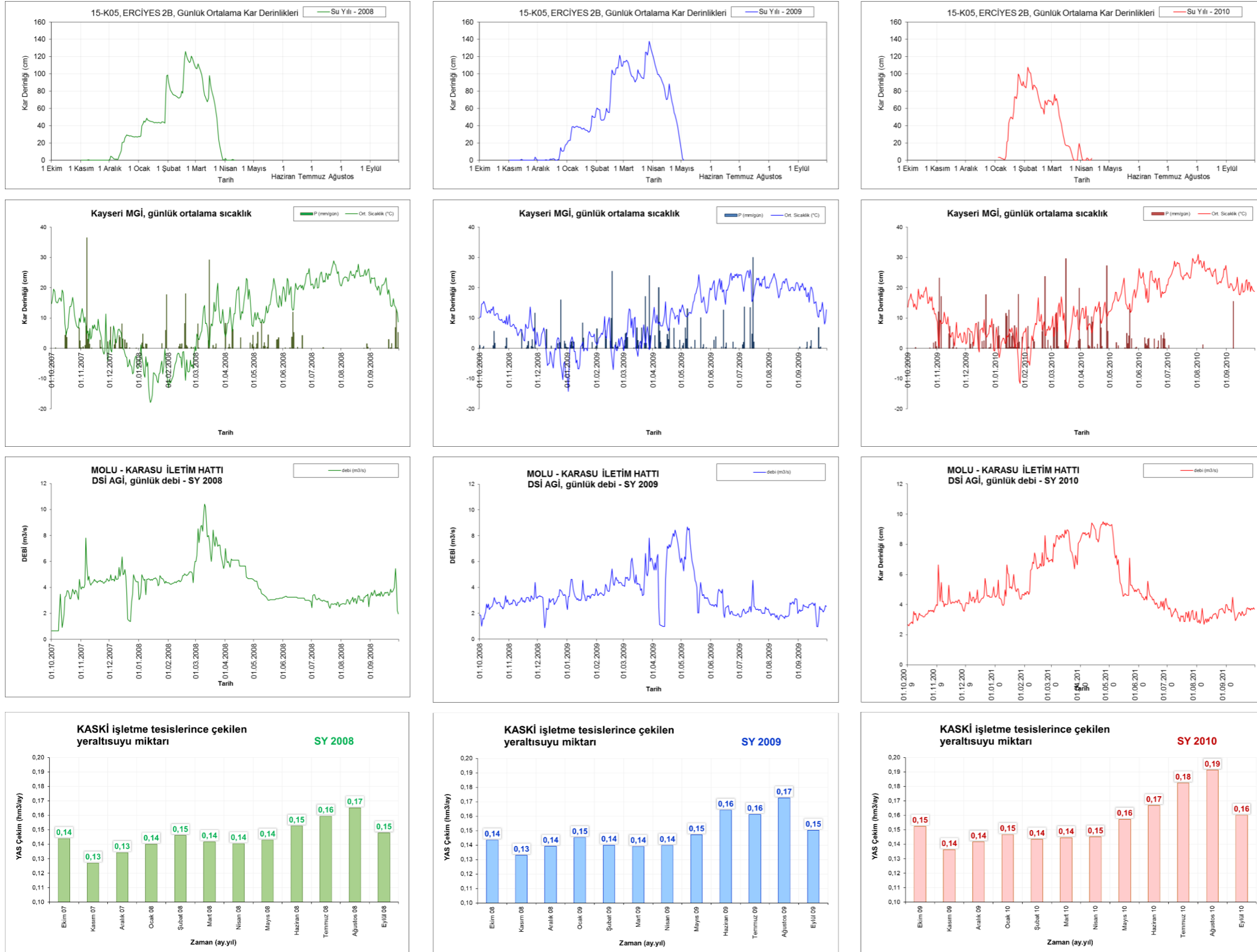


su yılında yaklaşık 145 cm ve 2010 su yılında ise yaklaşık 110 cm olduğu görülmektedir. Ayrıca; Molu – Karasu iletim hattı AGİ’de ölçülen akımlar 2009 su yılında diğer iki su yılına göre daha az debiye sahiptir.

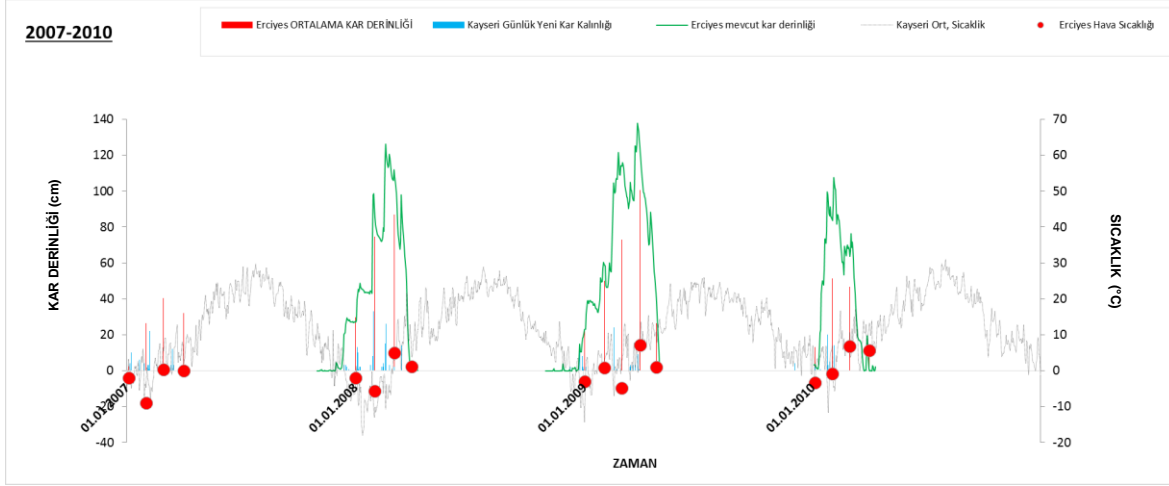
2010 su yılında diğer iki su yılına göre Erciyes Dağı’na düşen kar derinliğinin az olmasına karşın, Kayseri MGİ ile Tekir MGİ’de ölçülen yağış miktarları yüksek olması ve bu yağışların Erciyes Dağı’nda düşen karın erimesiyle oluşan kar sularıyla birleşerek bir önceki su yıllarına göre fazla olan KASKİ işletme tesislerince çekilen yeraltısuyu miktarlarını karşılayabildiği görülmüştür. Bu gösterge de, Molu – Karasu iletim hattı AGİ’de ölçülen akımların bir önceki su yıllarına göre fazla olmasıyla açıklanabilmektedir. Bunun dışında, sözü edilen akım gözlem istasyonunda ölçülen yüksek akım değerleri yağışın (yağmur ve/veya kar yağışın) Erciyes Dağı’nın Dokuzpınar kaynakları bölgesi yamaçlarında daha fazla meydana gelmesiyle bu bölgedeki akiferin inceleme alanındaki akifer sisteminden daha fazla beslenmesiyle açıklanabilir.

Boğazköprü mevkiindeki yer alan DSİ’ce işletilmekte olan Molu - Karasu iletim hattı AGİ’de ölçülen akımlar; inceleme alanının çıkışındaki Ambarlı Suyu ile inceleme alanının batısında mostra gösteren Yılan Dağı’nın batısında yer alan Karasazlık Bataklığı bölgesindeki Dokuzpınarlar kaynaklarından boşalan yeraltısularıyla beslenen Karasu Deresi akımlarının birleşimidir (Bkz. Şekil 3.1.).

Erciyes Dağı’nın kuzeydoğu yamaçlarında yer alan DSİ’nce gözlemleri yapılmakta olan Erciyes-2B nolu KGİ’de 2008, 2009 ile 2010 su yıllarında ölçülen kar derinlikleri ile sıcaklık değerleri DSİ’den temin edilmiştir. Bu veriler ile birlikte Kayseri MGİ ile Tekir/Erciyes Kayak Merkezi/Erciyes-2B KGİ’de ölçülen günlük ölçekteki kar derinlikleri (mevcut, eski ve yeni kar) ile ortalama sıcaklık verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, inceleme alanının hidrolojik su bütçesinin hesaplanmasında kullanılacak yağışın kara dönüş sıcaklık değerleri kestirilmiştir. Bu analize ilişkin grafik Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.12. 2008, 2009 ve 2010 su yıllarına ait kar derinliği, ortalama sıcaklık, akım ile yeraltı suyu çekim miktarlarına ilişkin grafikler (DSİ, 2014; KASKİ, 2019 ile MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)



**Şekil 3.13.** Kayseri MGİ ile Tekir MGİ için belirlenen yağışın kara dönüş sıcaklıklarına ilişkin grafik (DSİ, 2014 ile MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)

Şekil 3.13 incelendiğinde, günlük ortalama sıcaklığın Kayseri MGİ'de +6°C ve Erciyes-2B'de ise +4°C olduğunda yeni kar yağmaya başlandığı tespit edilmiştir.

### 3.5.4.3. Alansal kar örtüsü verilerinin incelenmesi

#### MODIS uydu görüntüleri

Bu tez çalışmasında kar örtüsü alanlarının büyüklüğü ile yayılımının yıl içinde nasıl dağıldığının belirlenmesi amacıyla ABD Ulusal Uzay Bilimleri - Ulusal Kar Gözlem Merkezi (USA, NASA - NSDIC)'nce (<https://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov>) çekilmekte olan 500 m x 500 m çözünürlüğe sahip MODIS, MOD10A1 ile MYD10A1 kodlu CBS tabanlı sayısal alansal raster formatındaki kar örtüsü uydu görüntüleri kullanılmıştır.

MODIS kar ürünleri, Hiyerarşik Veri Formatı - Yer Gözlem Sistemi (Hierarchical Data Format - Earth Observing System / HDF-EOS) formatındaki dosyalarda arşivlenmektedir. ABD Ulusal Süper Hesaplama Uygulamaları Merkezi (The National Center for Supercomputing Applications of USA - NCSA) tarafından geliştirilen HDF, EOS Veri Bilgi Sistemi (EOS Data Information System / EOSDIS) ürünleri için standart bir arşiv formatıdır. Kar ürün dosyaları, yerel niteliklere sahip genel öznitelikleri (meta veriler) ve bilimsel veri kümelerini (scientific data sets / SDSs) içermektedir. HDF-EOS veri dosyalarında benzersiz olan, verilerin coğrafi konumunu desteklemek için nokta, şerit ve ızgara yapıları oluşturmak üzere HDF özelliklerinin kullanılmasıdır. Bu yapılar (Vgroups ve Vdata), verilerin eşlenmesini desteklemek için bir SDS'deki veriler ile coğrafi koordinatlar (enlem ve boylam veya harita projeksiyonları) arasında coğrafi konum ilişkileri ile genel ve yerel nitelikler (meta veriler) ile veriler hakkında çeşitli bilgiler sağlamaktadır (Riggs ve ark., 2000).

MODIS kar örtüsü ürünleri, geniş uygulama alanları ile yüksek doğruluk nedeniyle en uygun referans verileri olarak kabul edilmektedir ve ayrıca, yüksek uzay-zamansal çözünürlüğe sahiptir (Hall ve Riggs, 2007; Zhang ve ark., 2019; Coll ve Li, 2018)

Günlük ölçekteki MOD10A1 kodlu terra uydu görüntüsü <https://nsidc.org/data/MOD10A1> web sayfasından; öğleden sonra çekilmekte olan MYD10A1 kodlu aqua uydu görüntüsü ise <https://nsidc.org/data/MYD10A1> web sayfasından .hdf ve .jpeg formatında yer almaktadır. Bu uydu görüntüleri, kar örtüsü ve kesirli kar örtüsü alanları içerecek şekilde iki farklı türdedir

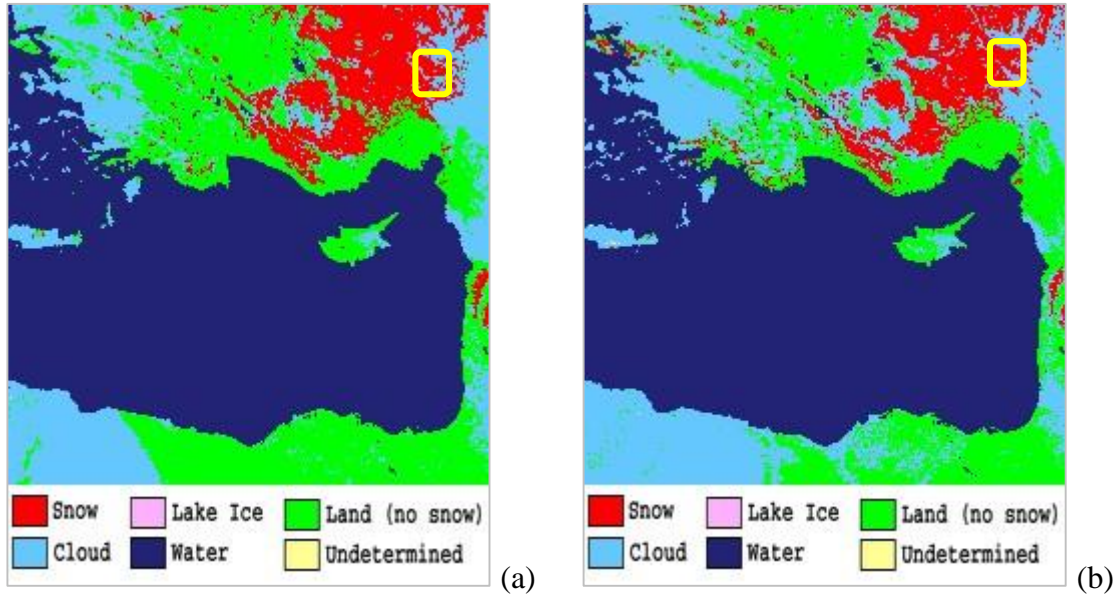
Kar Örtüsü Görüntüsü (Snow Cover Image - SCI) piksellerindeki sayısal değerler 254=üretim dışı filtreleme, 200=karla kaplı alan, 100=göl veya buzlu alan, 50=bulutlu alan, 39=deniz/okyanus, 37=kıta içi sulu alan, 25=arazi, 11=gece, 1=kararsız alan ve 0=eksik veri" olarak kodlanmaktadır (Riggs ve ark., 2000). Kesirli kar örtüsü algoritmasının sonuçları (Fractional\_Snow\_Cover – FSCI) .hdf formatında olup, içinde kodlanmış tamsayılar ile ifade edilmektedir. Kesirli kar algoritması, iç su kütleleri de dahil olmak üzere %0-100 aralığındaki kesirli karla örtülü alanları hesaplamaktadır. Kar olarak tanımlanmayan pikseller su, bulut veya diğer durum olarak tanımlanmaktadır. Kesirli kar örtüsü görüntüsü (FSCI) piksellerindeki sayısal değerler 0-100=kesirli kar örtüsü, 200=eksik veri, 201=kararsız alan, 211=gece, 225=arazi, 237=kıta içi su kütlesi, 239=okyanus, 250=bulut, 254=detektör doygunluğu, 255=dolgu olarak kodlanmaktadır (Riggs ve ark., 2000).

#### Analiz için kullanılan alansal kar örtüsü veriler

Bu tez kapsamında Erciyes-2B KGI'nda kar yağdığı takvim günlerini "Takvim günü – Julian Date" kapsayan 2008, 2009 ve 2010 Su Yılı (bir Su yılı = 1 Ekim – 30 Eylül veya Julian 278 – Julian 277)'na ait görüntülerdir. Bunlar; 3 su yılı  $\times$  365 gün  $\times$  2 SCI (MOD10A1 + MYD10A1)  $\times$  2 FSCI (MOD10A1 + MYD10A1) olmak üzere toplam 4380 adet uydu görüntüsü, günlük ölçekte gün içinde öğleden önce çekilmekte olan MOD10A1 kodlu Terra uydu görüntüsü ile öğleden sonra çekilmekte olan MYD10A1 kodlu Aqua uydu görünleri ilgili Kurumun resmi web sayfasından .hdf ve .jpeg formatında iki farklı türde indirilmiştir. Bu verilerden inceleme alanının yer aldığı 1200 km  $\times$  1200 km'lik alanı kapsayan MOD10A1 ve MYD10A1 uydu görüntüleri tek tek incelenerek Şekil 3.14, Şekil 3.15 ile Şekil 3.16'da gösterilen çalışmalar ESRI ArcGIS® v10.8 yazılımı kullanılarak tek tek ayrıntılı bir şekilde analiz edilerek haritalanmıştır. Sonrasında, bu haritaların

veritabanlarındaki kar örtüsü ile kar erime dönemlerine ilişkin sayısal veriler hesaplanarak analiz edilmiştir. Sözü edilen bu çalışmalardan örnek olarak Şekil 3.14, Şekil 3.15 ile Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

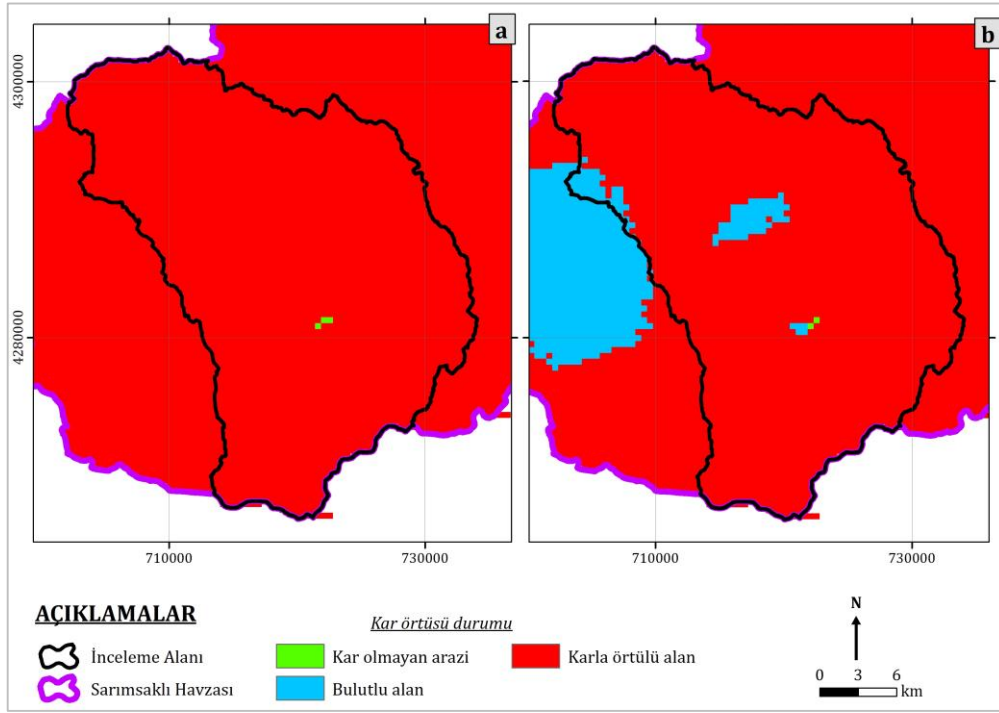
2008 yılının 039.cu takvim gününe ait ham SCI görüntüsü, bu tez çalışmasında kullanılan SCI görüntülerine örnek olarak Şekil 3.14'te verilmiştir.



**Şekil 3.14.** 2008 yılının 039.cu takvim gününe ait inceleme alanı ve çevresinin yer aldığı 1200 km × 1200 km'lik alanı kapsayan (a) MOD10A1 ve (b) MYD10A1 kodlu kar örtüsü uydu görüntüleri (ham harita: <https://nsidc.org/data>) (Açıklama: sarı renkli dikdörtgen=inceleme alanı, snow=kar, lake ice=göl buz, land (no snow)=kar olmayan arazi, cloud=bulut, water=su yüzeyi, undetermined=tanımlanmamış,)

Şekil 3.14'te verilen 1200 km × 1200 km'lik alanına ait .hdf formatındaki MOD10A1 ile MYD10A1 SCI görüntüler, ESRI ArcGIS<sup>®</sup> v10.8 yazılımı kullanılarak inceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Havzası sınırlarını kapsayacak şekilde kesilerek .grd formatında iki adet yeni raster veriye dönüştürülmüş olup, Şekil 3.15ab'de verilmiştir. Yeniden oluşturulan bu görüntüler incelendiğinde, inceleme alanında 2008 yılının 039.cu takvim günü veya 08.02.2008 tarihinde öğleden önce (Şekil 3.15a) inceleme alanı ve çevresi neredeyse tamamen karla kaplı olduğu belirlenmiştir. Aynı tarihte öğleden sonra (Şekil 3.15b) ise, inceleme alanının orta kısmı ile inceleme alanı dışındaki batı kısmı bulutlanmaya başlamıştır. Aynı tarihte, inceleme alanının orta kısmında kar örtüsü olmayan çok küçük bir alan mevcuttur.

Şekil 3.15ab’de gösterilen kar örtülü alanın yüzde kaçında veya ne kadar alanın karla örtülü olduğunun sayısal olarak hesaplanmak amacıyla, aynı tarihte ölçülmüş olup kesirli kar örtüsü algoritma yardımıyla piksel bazında karla örtülü alan yüzdeleri hesaplanan .hdf formatındaki MOD10A1 ile MYD10A1 FSCI görüntüler, ESRI ArcGIS® v10.8 yazılımı kullanılarak inceleme alanının yer aldığı Sarımsaklı Havzası sınırlarını kapsayacak şekilde kesilerek .grd formatında iki adet yeni raster veriye dönüştürülmüş olup, Şekil 3.16’da verilmiştir.

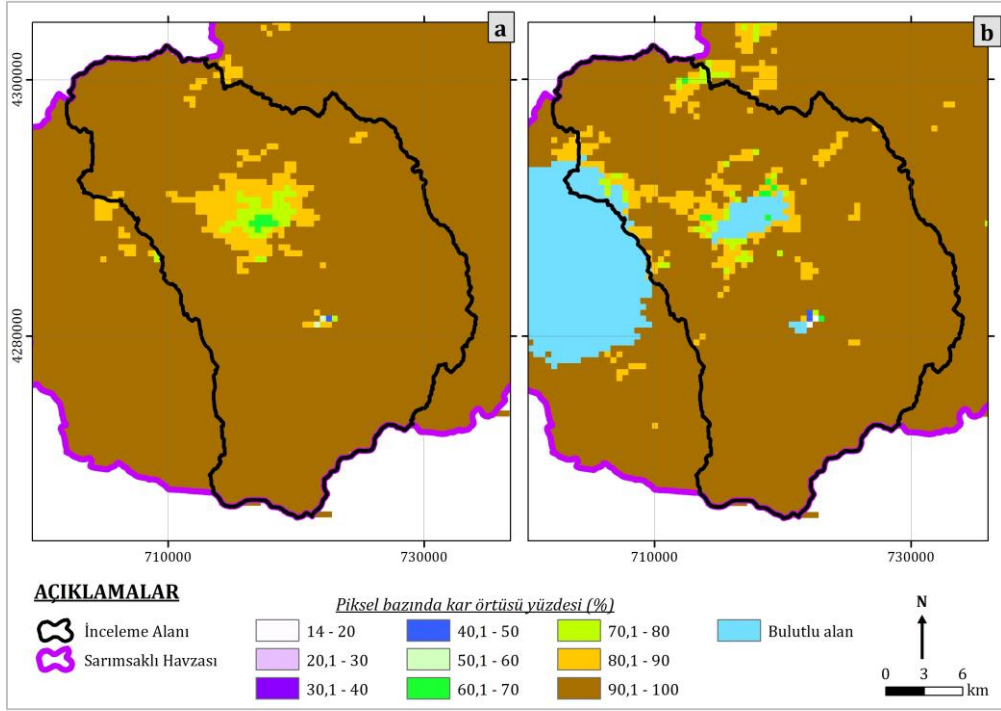


**Şekil 3.15.** 2008 yılının 039.cu takvim gününe ait inceleme alanı ve çevresinin (a) MOD10A1 ve (b) MYD10A1 kodlu işlenmiş kar örtüsü uydu görüntüleri (<https://nsidc.org/data>'den yararlanılmıştır)

Yeniden oluşturulan bu görüntüler incelendiğinde, inceleme alanında aynı tarihte öğleden önce (Şekil 3.16a) inceleme alanının güney yarısı ile kuzey yarısının kuzey, doğu ile batı kısmı ve inceleme alanının çevresi piksel bazında %90,1-100 oranında karla kaplı olduğu görülmektedir. Buna karşın, inceleme alanının kuzey yarısının ortası olan Kayseri Kent merkezinin bulunduğu yerleşim yeri piksel bazında %60,1-90 oranında karla kaplı olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı tarihte öğleden sonra (Şekil 3.16b), öğleden öncesine göre inceleme alanının orta kısmında bazı alanlarda karla kaplı alanlardaki kar örtüsü yüzdesinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Bunun sebebi de, gün içinde öğleden öncesi ile öğleden sonrası arasında bulutlanmadan dolayı meydana gelen rüzgarlı havanın hakim olması, dolayısıyla rüzgarın yönü ve hızı ince kalınlıktaki kar örtüsünün alansal yüzdesindeki azalışa



neden olmuş olabilir. Ayrıca, gün içinde hava sıcaklığının artmasından dolayı kar erimesi meydana gelmiş olabilir.



**Şekil 3.16.** 2008 yılının 039.cu takvim gününe ait inceleme alanı ve çevresinin (a) MOD10A1 ve (b) MYD10A1 kodlu işlenmiş kesirli kar örtüsü uydu görüntüleri (<https://nsidc.org/data>'den yararlanılmıştır)

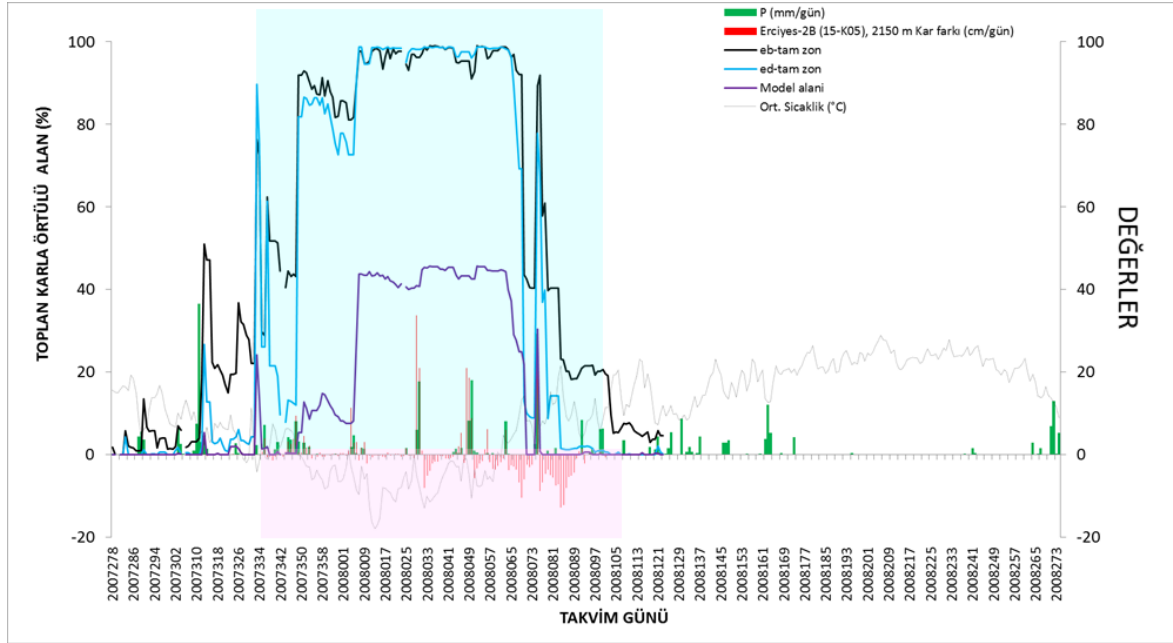
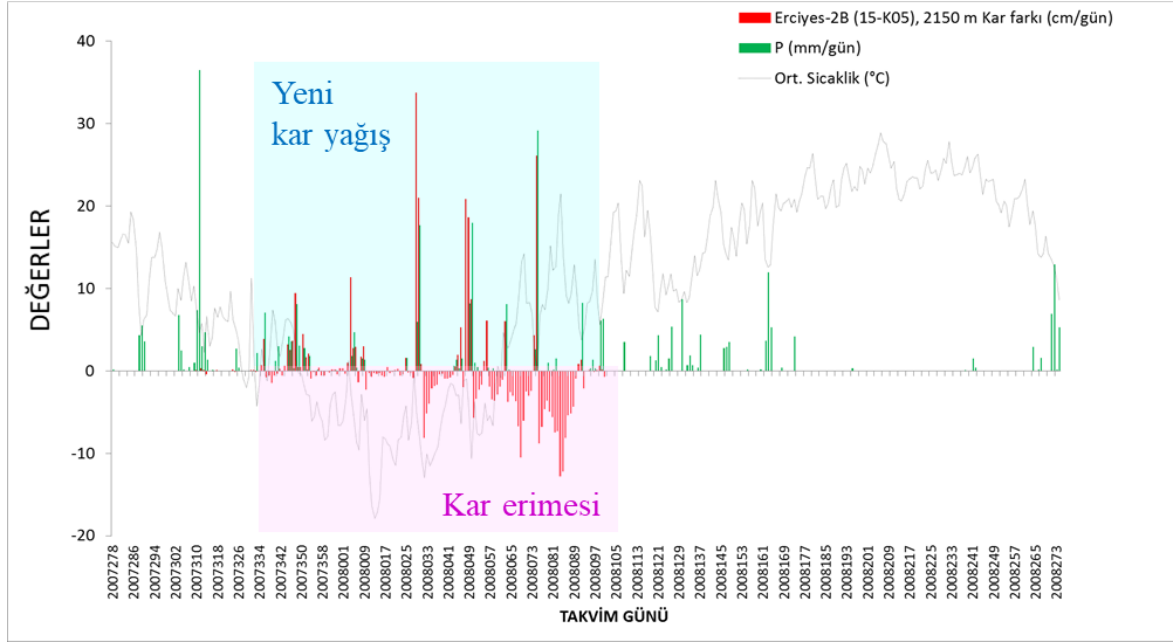
#### Kar örtüsünün alansal ve zamansal dağılımı analizi

Şekil 3.15ab ile Şekil 16ab'de örnek olarak gösterilen ve benzer bir şekilde 2008, 2009 ve 2010 su yılları günlük ölçekte incelenerek analiz edilen toplam 4380 adet uydu görüntüsü kullanılarak, inceleme alanındaki kar örtüsü alanlarının büyüklüğü ile yayılımının yıl içinde nasıl dağıldığı ortaya konmuştur. Ayrıca, su dengesi modeli için ihtiyaç duyulan yağışın kara dönüş sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılmak üzere analiz edilmiştir.

Kayseri Kenti volkanik kayaç akifer sisteminin beslenme alanı olarak belirlenen Sarımsaklı – Erkilet Tarlası alt havzasının yeraltısuyu model alanı dışında kalan Erciyes Dağı'nın kuzey yamacındaki alanlar batı ve doğu bloğu olarak bölünmüştür (Şekil 3.17).

Bu tez çalışmasında incelenen yeraltısuyu (YAS) akım modeli alanı, Kayseri Kenti için içme-kullanma sularının karşılandığı KASKİ su işletim merkez tesislerini kapsayacak şekilde güneyde Erciyes volkanitleri, doğuda ve kuzeyde Koçdağ volkanitleri ile kuzeyde Neojen çökelleri tarafından sınırlanmış bir alan olarak tanımlanmıştır. Model alanı 212 km<sup>2</sup> olup, Kocasinan, Melikgazi, Hacılar ve Talas ilçelerini kısmen kapsamaktadır





**Şekil 3.18.** Erciyes Dağı doğu ve batı bloklarına ait günlük alansal kar örtüsü alanları ile Kayseri MGİ ile Erciyes-2B KGI’de ölçülen yeni ve eriyen kar derinliklerine ilişkin grafik (2008 su yılı) (DSİ, 2014; MGM, 2019 ile Şekil 3.17’den yararlanılmıştır)

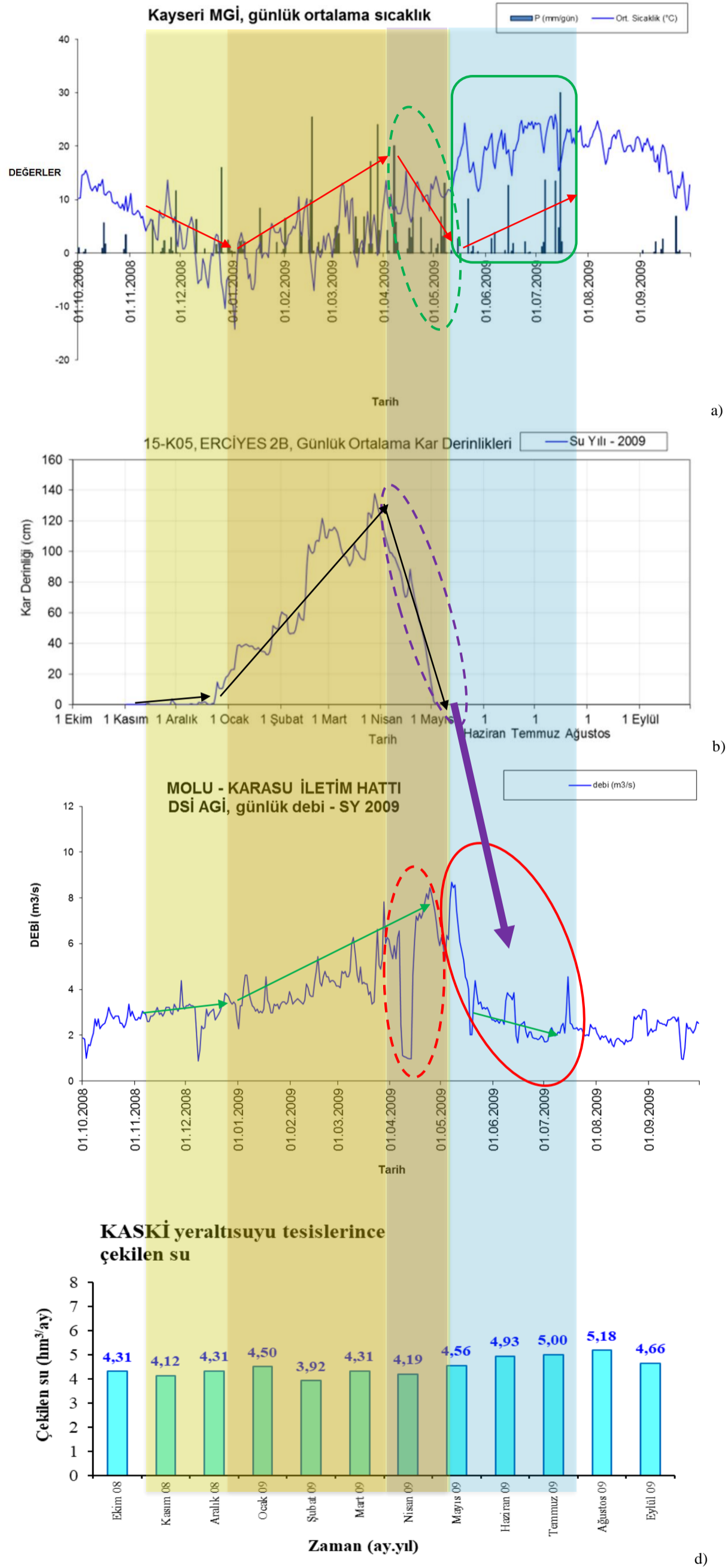
Şekil 3.19a.’da Kayseri MGİ’nda ölçülen günlük yağış ile sıcaklık verilerinin 2009 Su Yılı için günlük dağılımı verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi, 1 Kasım 2008 ile 20 Aralık 2008 tarihleri arasında sıcaklıkta sürekli düşüş meydana geldiği ve soğuk dönem olduğu; buna rağmen yağışın sık gerçekleşmediği görülmektedir. 20 Aralık 2008 ile 1 Nisan 2009 tarihleri arasında ise genel olarak sıcaklıkta bir artış görülmekle (ısınma dönemi) beraber, yağışların sıklaştığı anlaşılmaktadır.

Şekil 3.19b.'de ise Erciyes-2B KGİ'de ölçülen kar derinlikleri 2009 Su Yılı için günlük olarak gösterilmiştir. 1 Kasım 2008 ile 20 Aralık 2008 tarihleri arasında KGİ'da kar yağmış, ancak kısa sürede erimiştir. Bu değerlendirme istasyonda ölçülen kar derinlik verileri ve kar örtüsü uydu görüntüleri ile örtüşmektedir. 20 Aralık 2008 ile 1 Nisan 2009 tarihleri arasında toplam kar derinliği 140 cm'e kadar ulaşmıştır.

Şekil 3.19c'de 2009 su yılında Molu AGİ'de ölçülmüş günlük debi verileri gösterilmiştir. 1 Kasım 2008 ile 20 Aralık 2008 tarihleri arasında debi değerinde önemli bir artış veya azalış gözlenmezken, 20 Aralık 2008'de debi 3,6 m<sup>3</sup>/s, 1 Nisan 2009 tarihine gelindiğinde ise 5,6 m<sup>3</sup>/s'e kadar yükselmiştir.

Genel olarak 1 Kasım 2008 ile 1 Nisan 2009 tarihleri arasında üç gözlem istasyondaki verilerde bir paralellik söz konusu iken, Erciyes-2B KGİ'de 1 Nisan 2009 tarihinden kar erimesi veya kar derinliğinde azalmalar veya kar erimesinin başlanmasıyla yüzeysel akışta artış gözlenmeye başlanmıştır. Bu durum, Şekil 3.19c'de görüldüğü gibi Molu AGİ'deki debi miktarlarında artışa neden olmuş ve debi değeri 9 m<sup>3</sup>/sn'e ulaşmıştır. Aynı tarihlerde Kayseri MGİ'de sıcaklık değerinin artmasıyla, yağışta azalma trendi olduğu görülmüştür (Şekil 3.19a).

3 Mayıs 2009 tarihinden itibaren Erciyes-2B nolu KGİ'da kar erimesinin veya kar kalınlığının bittiği hem sahada ölçülen kar kalınlıkları verileri ile alansal kar örtüsü uydu görüntülerinden belirlenmiştir. Bu tarihten itibaren 2009 yılı Temmuz ayı ortasına kadar Kayseri MGİ'de sıcaklık değeri 30 °C'e kadar artmış olup, kurak dönemine girmiştir, Buna rağmen, az da olsa yağış meydana gelirken, aynı tarihlerde Molu AGİ'de debide azalma görülmüştür. Bunun nedenleri, yaz aylarında yağışın yetersiz kalmasından dolayı yüzeysel akışında azalmaların olması ve sulama döneminin başlamasıyla açıklanabilir.



**Şekil 3.19.** 2009 su yılına ait yağış, kar derinlikleri ile akım verilerinin karşılaştırılması: a) Kayseri MGİ sıcaklık, b) Erciyes-2B KGİ kar derinliği, c) Molu-Karasu iletim hattı AĞİ ve d) yeraltısuyu çekim- KASKİ (DSİ, 2014; Değirmenci ve ark., 2011b; MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)







Debi ölçüm sonuçlarına göre, Sarımsaklı deresinin inceleme alanının girişindeki debisi 328 l/s iken çıkışında ise 980 l/s olarak ölçülmüştür. Giriş ile çıkış arasında ana Sarımsaklı deresi ve iki noktada katkı olmaktadır; Şeker fabrikası atık suyu 498 l/s debiyle ve Ambar Suyu 180 l/s debiyle Sarımsaklı deresine katılım olmaktadır. Buna göre Sarımsaklı deresi akımlarında giriş ile çıkış arasındaki ( $328+498+180=1006$  l/s) debi farkı 27 l/s'dir. Bu fark yaklaşık %2'lik bir hata payı içinde bulunmaktadır, dolayısıyla önemli bir fark olarak değerlendirilmemiştir.

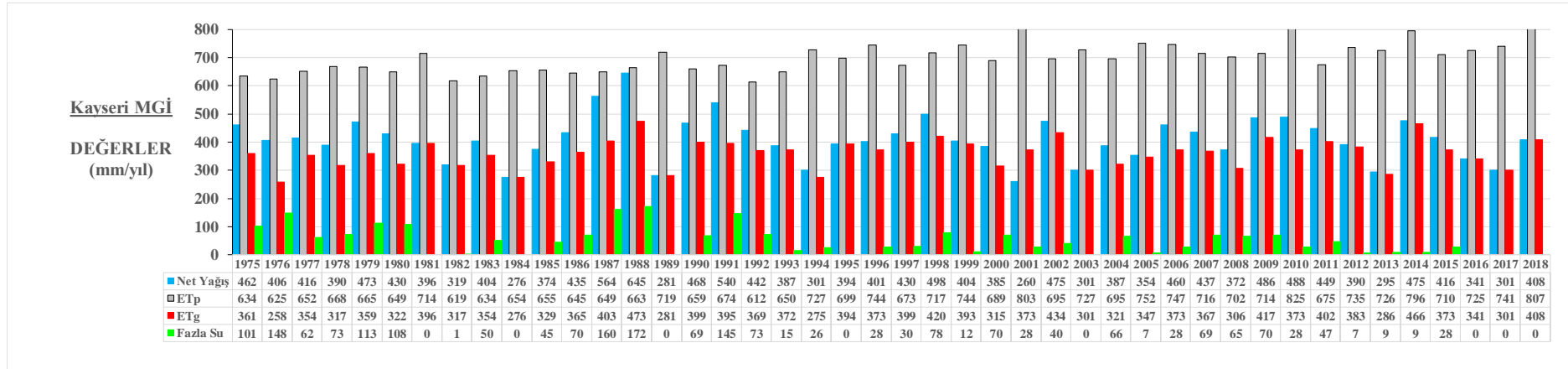
Bu yüzden, debi ölçüm sonucunda Sarımsaklı suyunun yeraltısuyu ile net bir etkileşiminin olmadığı belirlenmiştir. Sarımsaklı deresinin geçtiği güzergahlarda yeraltısuyu seviyesi değerleri Aralık döneminde Argıncık bölgesinde yaklaşık olarak 4,0 m, Karpuzatan'da 3,5 m, Keykubat'da 3,0 m ve Erkilet bölgesinde ise 1,0 m kadar aşağıdadır. Bu veriler ve debi ölçüm sonuçları, en mansaptaki ölçüm noktasına (Ambar mevki) kadar olan bölgede yeraltısuyunun akarsuya boşalımının olmadığını göstermektedir. Yeraltısuyunun havza dışına akışı havzanın en düşük kotu olan Boğazköprü mevkiinde “yeraltından havza dışına akış” şeklinde gerçekleşmektedir.

### **3.7. Hidrolojik Su Bütçesi**

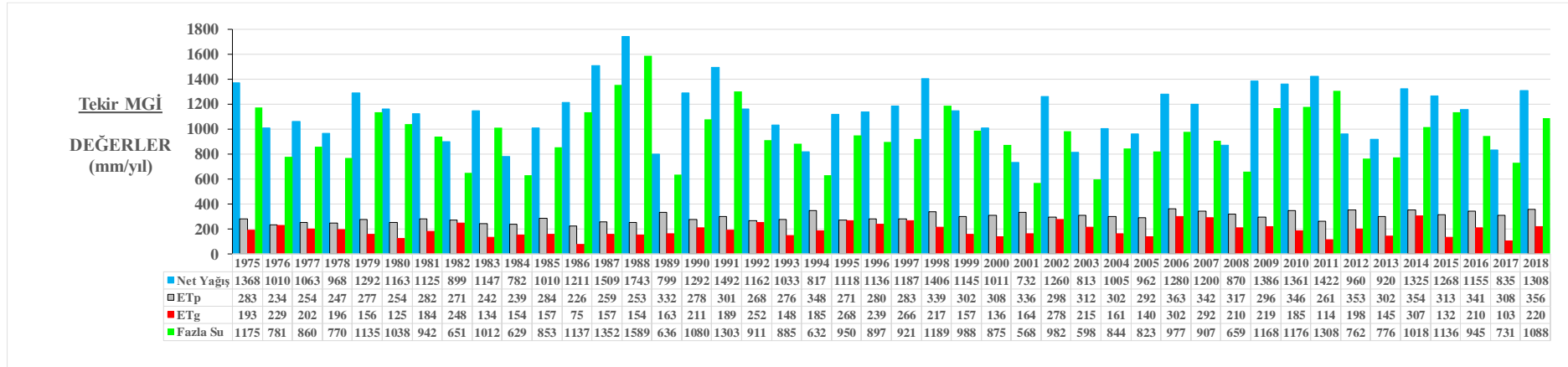
İnceleme alanının su bütçesinin belirlenebilmesi için, inceleme alanında aylık ölçekte, tümsel bir yaklaşım olan Thornthwaite-Mather (1948; 1955) su bütçesi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda, toprak zonunda aylık ölçekte, yağış (kar, yağmur), buharlaşma-terleme (potansiyel ve gerçek) ve depolamadaki değişim arasında (toprak zonunda maksimum su tutma kapasitesi ile yıl içindeki değişiminin bir denge oluşturulmakta), depolama tam kapasitede iken fazla su ve süzülme olarak değerlendirilmektedir. Thornthwaite-Mather (1948; 1955) yönteminin parametreleri toprak zonunda maksimum su tutma kapasitesi, süzülme katsayısı ve yüzeysel akış katsayısı olup, çıktıları ise gerçek buharlaşma-terleme, fazla su miktarının yüzeysel akış yüksekliği ile ortalama yeraltısuyu beslenme miktarıdır.

İnceleme alanında yağış kış ayları ile ilkbaharın ilk aylarında ve sonbaharın son aylarında kar yağışı şeklinde gerçekleşmektedir. Yağan bu karın erimesiyle meydana gelen kar suyu, inceleme alanında düşen yağmur ile birlikte volkanik kayaç akifer sistemine giren yağışa bağlı beslenimi oluşturmaktadır.

Bölüm 3.5.4.1.'de ayrıntılı olarak anlatılan hidrolojik su bütçesi hesaplama yönteminde sözü edilen yağışın kara dönüş sıcaklık değerlerinin belirleme çalışmaları Bölüm 3.5.4.2.'de anlatılmıştır. Sözü edilen sıcaklık değerler aylık ölçekte olup, aylık ölçekteki yağış verileri ile birlikte kullanılarak Kayseri MGİ ile Tekir MGİ için 1975-2018 yılları için hidrolojik su bütçesi hesaplanmıştır. Hesaplanan hidrolojik su bütçesi bileşenlerinin sayısal değerleri aylık ölçekten yıllık toplam değerler olarak EK 1'de ve yıllar içindeki dağılımı ise Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



a)



b)

**Şekil 3.21.** Kayseri MGİ ve Tekir MGİ'ye ait hidrolojik su bütçesi değişkenlerinin zaman içindeki dağılımı (ham verileri MGM, 2019'dan yararlanılmıştır)

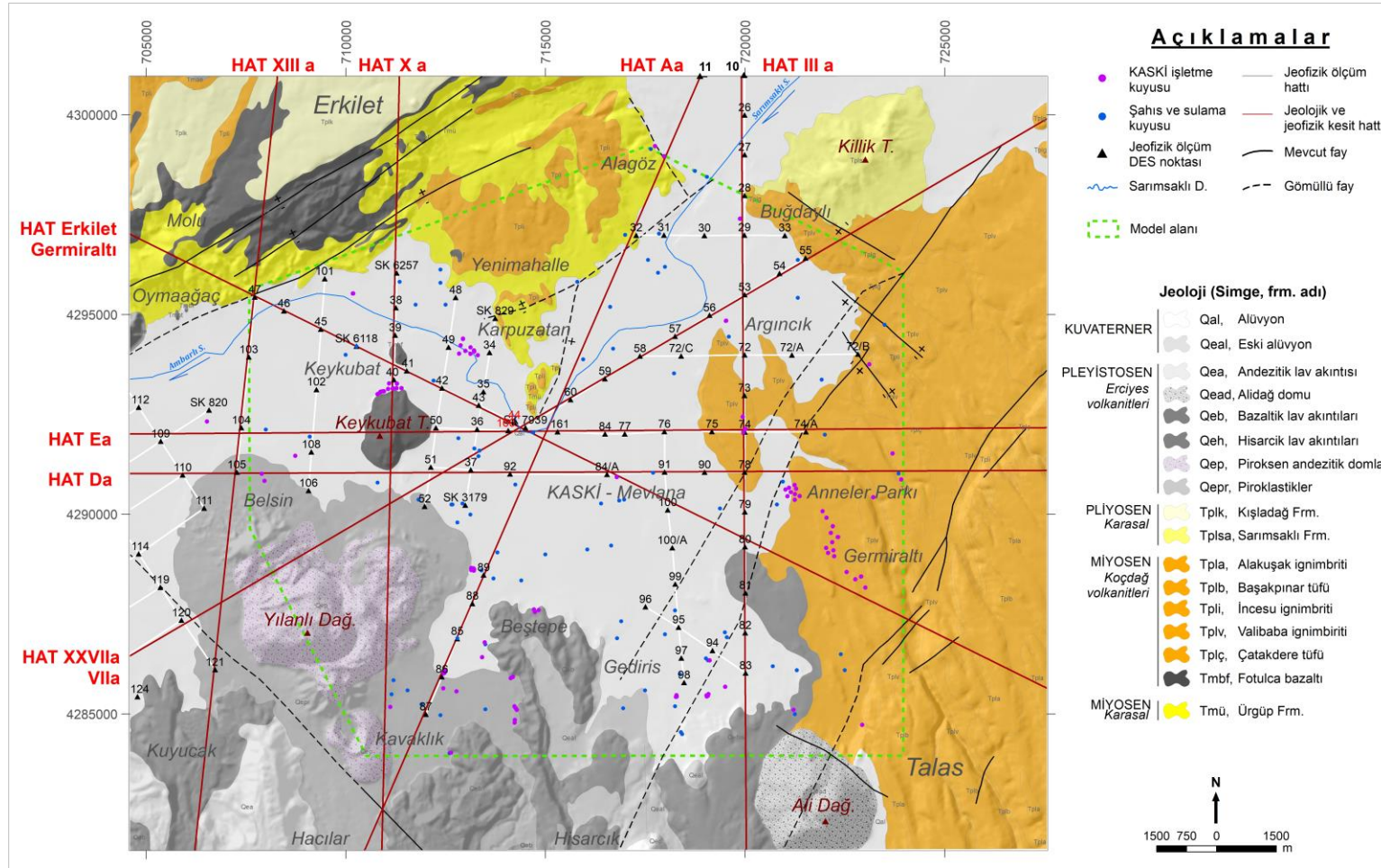
## 4. HİDROJEOLJİK YAPI VE KARAKTERİZASYONU

### 4.1. İnceleme Alanının Hidrostratigrafisi

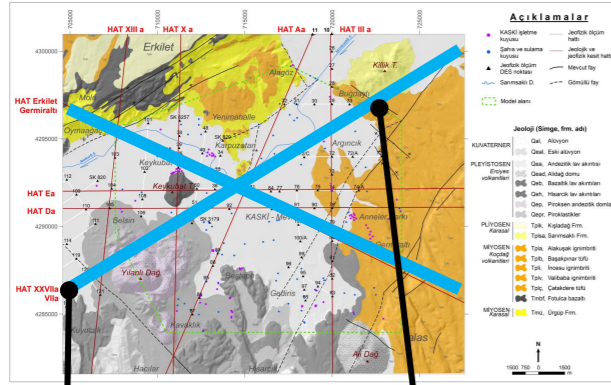
İnceleme alanı, ileri düzeyde heterojen bir hidrostratigrafik yapıya sahip akifer sisteminin bulunduğu bir bölgede yer almakta olup, genelde Erciyes Dağı'na düşen kar örtüsünün erimesiyle sığ ve derin dolaşımli olarak beslenen yer yer serbest ve yer yer basınçlı bir sistemdir.

Volkanik kökenli kaya türlerinin kalınlığı ve devamlılığı, sedimanter kayalarda olduğu gibi geniş yayımlı ve sürekli bir şekilde gözlenmemektedir. Farklı fazlarda ve türde (fasiyelerde) malzeme üreten volkanik faaliyetler göreceli olarak kısa süreli gerçekleşmekte olup, farklı malzemeler farklı zamanlarda farklı kalınlıklarda birimleri oluşturabilmektedir. Bu nedenle; volkanik kayalardan oluşan arazilerde ileri düzeyde heterojen bir yapı sunan hidrostratigrafi volkanizmadan türeyen malzemenin cinsine, çıkış hızına, faaliyet süresi ve mesafesine, malzemenin üzerinde aktığı bölgenin taban morfolojisine ve benzeri koşullara bağlı olarak değişmektedir.

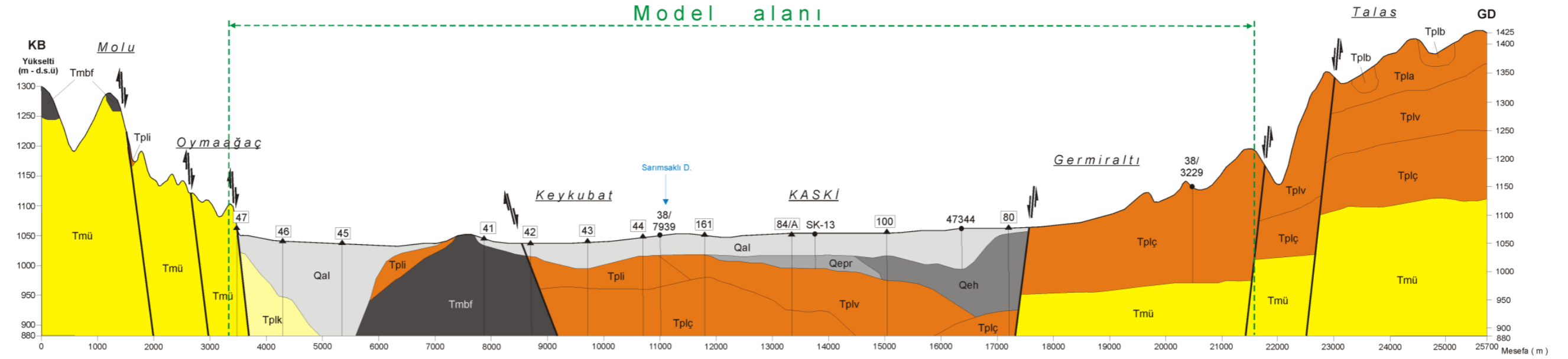
İnceleme alanında gerçekleştirilen jeolojik ve hidrojeolojik amaçlı çalışmalar kapsamında Kayseri kenti ve yakın dolayında yüzeylenen ve farklı derinliklere ve yayılıma sahip Erciyes, Erkilet ve Koçdağ volkanitlerinin (andezitik ile bazaltik lav akıntıları, piroklastikler, bazalt, tuf ve ignimbritlerinin) yeraltındaki yanal yayılımları ile düşey kalınlıkları belirlenmiştir. Bu kapsamda; 1958 ile 2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış olan toplam 185 adet kuyu logu bilgileri ile DSİ (1966) tarafından ovada çökelen jeolojik birimlerinin yeraltındaki dağılımlarının belirlenmesi için gerçekleştirilen jeofizik etüt çalışması kapsamında gerçekleştirmiş olan 95 adet düşey elektrik sondaj (DES) logu verileri kullanılmıştır. Böylece; inceleme alanında yer alan model alanı ve yakın çevresine ait üç boyutlu yeraltı jeolojisi ve litolojik birimlerinin blok diyagramları oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de gösterilen hatlarda jeolojik kesitler alınmıştır. İnceleme alanındaki yapının üç boyutlu tanımlanabilmesi için kuzey-güney doğrultulu olmak üzere Hat-XIIIa, Hat -Xa ile Hat -IIIa (Şekil 4.4); kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda Hat-Aa; batı-doğu doğrultusunda Hat-Ea ile Hat-Da (Şekil 4.3); kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda Hat-Erkilet-Germiralt ve güneybatı-kuzeydoğu doğrultusunda Hat-XXVIIa numaralı kesitler Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



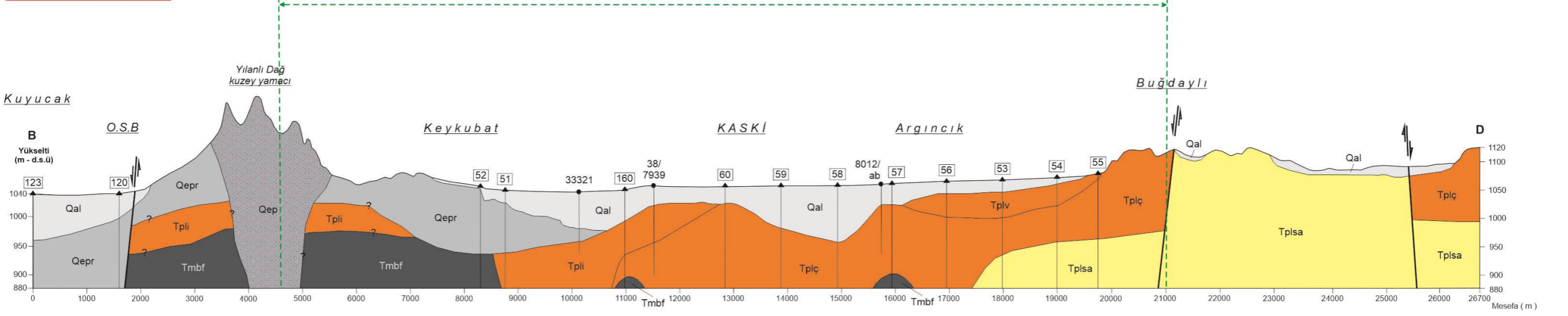
**Şekil 4.1.** Yeraltısuyu model alanı ve çevresinde mevcut jeolojik birimleri ile fay hatları, DES noktaları ile hatları, su kuyuları ile yüzey suyunun konumları ve jeolojik kesit doğrultularını gösterir harita (Dalkılıç,2009; Değirmenci ve ark., 2011b; Dönmez ve ark., 2005; DSİ, 1966,1969; Namkhai ve ark., 2012; 1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgileri; sözü edilen raporlar ile kuyu log bilgilerinden yararlanılmıştır)



**H a t - Erkilet/Germiraltı**

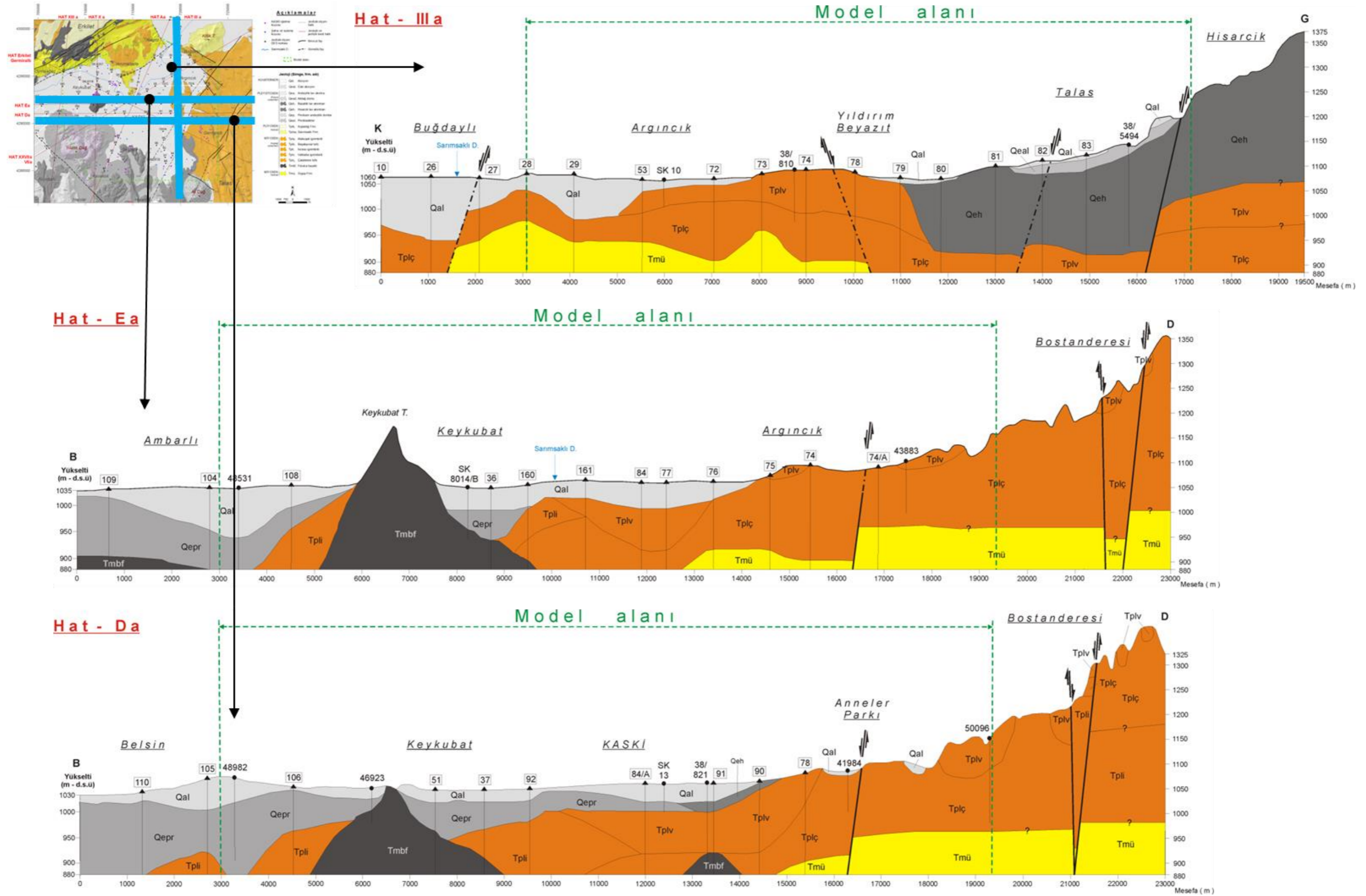


**H a t - XXVIIa-VIIa**



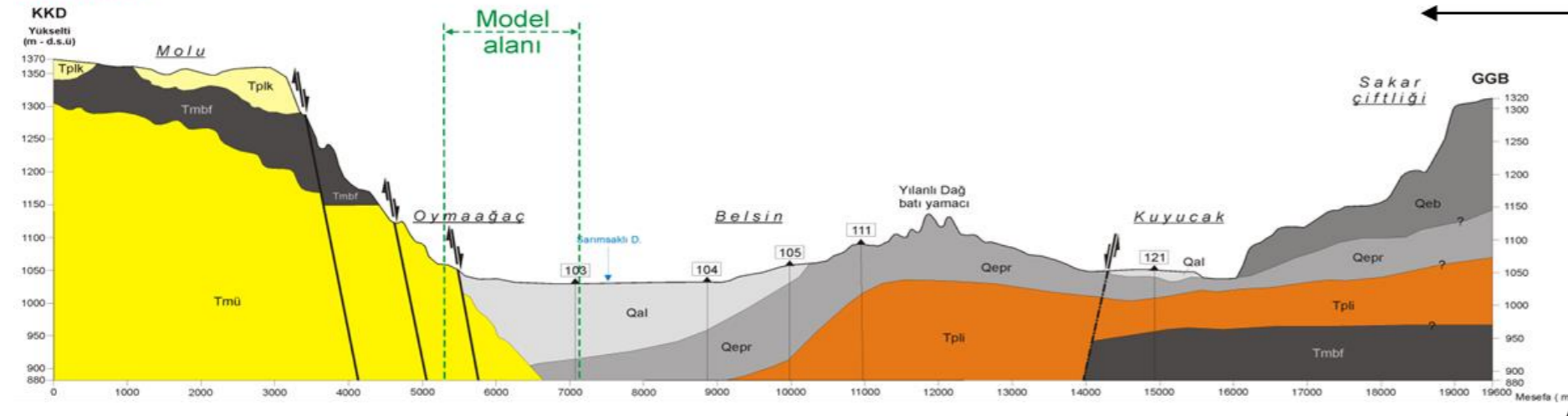
**Şekil 4.2.** Model alanı ve çevresine ait jeolojik kesitler: Hat-Erkilet-Germiraltı ve Hat XXVIIa-VIIa (Şekil 4.1’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)



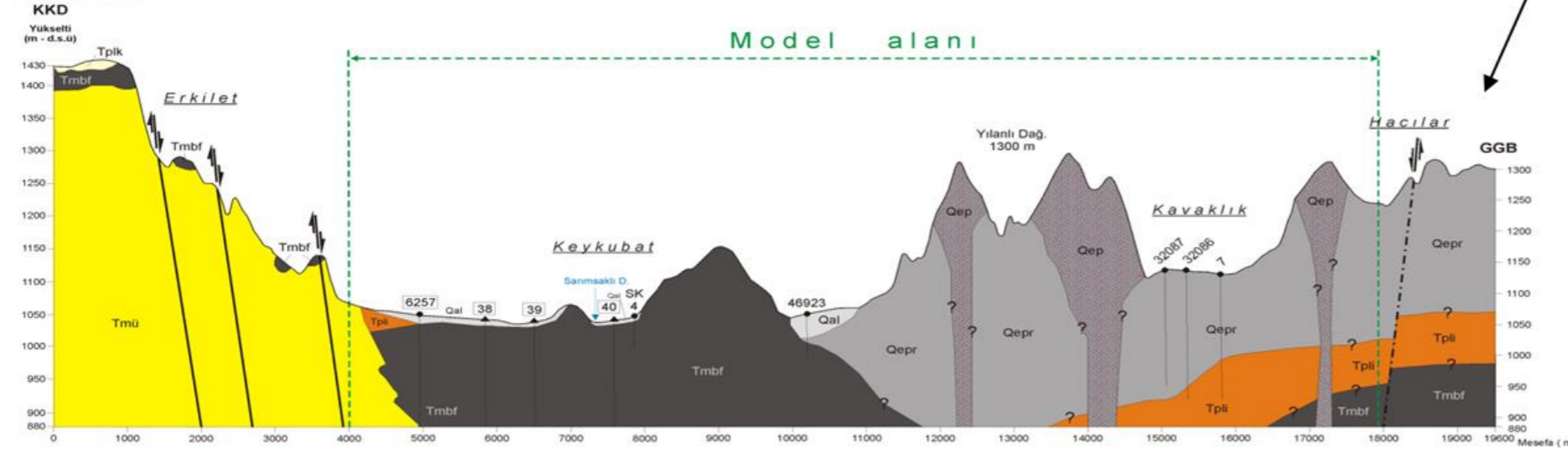


Şekil 4.3. Model alanı ve çevresine ait jeolojik kesitler: Hat-IIIa, Hat-Ea ve Hat-Da (Şekil 4.1’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)

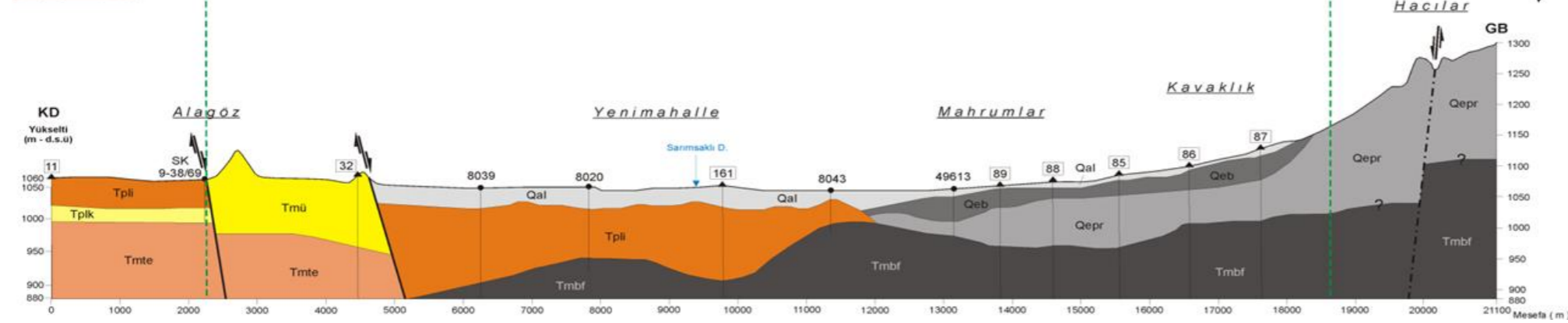
### Hat - XIII a



### Hat - X a



### Hat - A a



Şekil 4.4. Model alanı ve çevresine ait jeolojik kesitler: Hat-XIIIa, Hat-Xa, Hat-Aa (Şekil 4.1’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)

#### 4.1.1. Hidrojeolojik Sistemin Temelini Oluşturan Birimler

Kuyu loglarından bilgilerinden elde edilen bilgilere dayanılarak çizilen ve Şekil 4.2’de gösterilen kesitler incelendiğinde; Model alanının doğusundaki temel birim Miyosen yaşlı karasal kökenli kırıntılı volkano-sedimanter birimlerinden oluşan İç Anadolu kompleks grubu üyesi olan volkano-sedimanter kayalarından oluşan Ürgüp Formasyonu (Tmü) olduğu görülmektedir. Bu formasyon eş yaşlı volkanitlerle yanal ve düşey yönde geçirgenlik göstermesinin yanısıra, bünyesindeki birimlerin (volkanik ara seviyeli, çoğunlukla kırıntılı kayalar olan katmansız veya az belirgin katmanlı çakıltaş, kumtaş, çamurtaş, jips, anhidrit, kireçtaş, ignimbirit) yanal yayılımı ile düşey kalınlıklarına bağlı olarak yer yer geçirimli, yer yer yarı geçirimli ve yer yer ise geçirimsiz özelliğine sahiptir. Birimin yeraltısuyu verimlilik derecesi ise düşük-orta-yüksektir.

Bu birimi, tektonik ve volkanizma mekanizmasına veya volkanizmanın meydana geldiği dönemlerdeki volkanik ürünlerinin soğuma sıcaklığı, hızı, yayılım ve kalınlıklarına bağlı olarak yer yer yüksek geçirimli veya yarı geçirimli ve yer yer ise tamamen geçirimsiz ve yeraltısuyu verimlilik derecesi zayıf-düşük-orta-yüksek olan Miyosen yaşlı Erkilet ile Koçdağ volkanitlerine ait tuf, ignimbritler, bazaltik ve andezitik lav akıntıları da geniş yayımlı ve yüksek kalınlıklarda üzerlemektedir.

İnceleme alanı yoğun tektonik rejim etkisinde kalmıştır. Bu nedenle çok sayıda fay sistemleri gelişmiştir. Bu tez çalışması kapsamında açılmış olan yeraltısuyu kuyularına ait loglar ile jeofizik çalışmaları kapsamında yapılan düşey elektrik sondaj (DES) ölçümleri bilgilerinden faydalanarak yeraltında gömülü olup yüzeyde görünmeyen çeşitli fayların varlığı ortaya konulmuştur (Şekil 4.2, Hat: Erkilet-Germiraltı; Şekil 4.3, Hat-Ea, Hat-Da ve Hat-IIIa).

Ovanın güzeyindeki temel ise, Ürgüp formasyonu (Tmü) ile Koçdağ volkanitlerinden tuf ile ignimbritlerden oluşur. Bu birimleri, Pleyistosen yaşlı Erciyes Volkanitleri olan piroklastikler (Qepr), piroksenler (Qep), bazaltik ve andezitik lav akıntıları (Qeb, Qea) üzerlemişlerdir. Sözü edilen bu birimler volkanizmanın ana kaynağı olan Erciyes Dağı ile Ali Dağ domlarına olan uzaklığı, volkanizma ürünlerinin soğuma sıcaklığı, ortamı, hızı, yayılım ve kalınlıkları ile birimlerin tane büyüklüğüne (moloz, blok, çakıl, kum ve silt) bağlı olarak yer yer yüksek geçirimli veya yarı geçirimli ve yer yer ise tamamen geçirimsiz ve yeraltısuyu verimlilik derecesi zayıf-düşük-orta-yüksek olup değişkendir.

Ovanın ortasında yeralan KASKİ-Mevlana bölgesinde Kuvarterner yaşlı alüvyonlar (Qal) ile volkano-sedimanter genç çökeller 35 ile 100 m arasında kalınlık göstermekte olup, bünyesindeki birimlerin (çakıl, kum, silt ve kil) yanal yayılımı ile düşey kalınlıklarına bağlı olarak yer yer geçirimli yer yer orta-düşük geçirimlidir. Ayrıca; yeraltısuyu verimlilik derecesi zayıf-düşük-orta-yüksek olup, değişkendir. Bu Qal birimi ovanın doğusunda özellikle Alagöz civarında daha sıkı, batıya, Keykubat ile Oymağaç mevkiine gidildikçe kalınlaşmakta derinleşmektedir (Şekil 4.2: Hat Erkilet-Germiraltı ve Hat-XXVIIa).

Ovanın güneyinde temelde Koçdağ volkanitlerinden tüf ile ignimbritler bulunmaktadır. Bu birimi Erciyes volkanitlerinden HAT-IIIa'da gösterildiği gibi Hisarcık lav akıntıları (Qhis) çok kalın ve geniş yayımlı bir şekilde üzerlemekte olup, yer yer çok yüksek - yüksek - orta geçirimli yer yer ise masiftir ve yeraltısuyu verimlilik derecesi zayıf-orta-yüksek aralığında değişkendir.

#### **4.1.2. Akifer Birimlerinin Yayılımı ve Kalınlıkları**

İnceleme alanında gerçekleştirilen jeolojik (saha çalışması ile ovada açılmış olan kırıntılı ve karotlu sondaj kuyuların log bilgileri), hidrojeolojik, su kimyası ile izotop analizleri amaçlı çalışma sonuçlarının birlikte değerlendirilmesiyle, inceleme alanında yüzeylenen farklı kalınlıklar ile yanal yayılımına sahip andezitik ve bazaltik lav akıntıları, piroklastikler, bazalt, tüf ve ignimbritlerinden oluşan Miyosen yaşlı Erkilet ve Koçdağ volkanitleri ile Pleyistosen yaşlı stratovulkan kökenli Erciyes volkanitlerinin ana akifer birimlerini (yer yer basınçlı akifer, yer yer ise yarı basınçlı akifer) oluşturdukları ortaya konulmuştur.

Ancak, gerçekleştirilen saha çalışmaları ve açılmış olan kuyulara ait log bilgilerinin incelenmesi sonucunda; volkanik kayaçların alansal ölçekte yer yer yüksek alterasyonlu (kil, kum, silt tane boylarında), yer yer ise çok sert masif halinde ve yer yer ise yüksek derecede kırık-çatlak sistemine sahip olduğu dolayısıyla ileri düzey heterojeniteye sahip oldukları tespit edilmiştir. Dolayısıyla, yeraltısuyu volkanik kayaçlarda gelişen ikincil gözenekliliğe bağlı olarak gelişen basınçlı akifer sistemi içinde bulunabilmektedir. Bu ana akifer sisteminin üst yarı geçirimli/geçirimsiz tabakasını oluşturan belli kalınlıktaki masif bazalt ve/veya andezitler ile ileri düzeyde alterasyona uğramış piroklastik malzemeler yer yer örtü birimler olarak bulunmaktadır. İnceleme alanında açılmış olan mevcut kuyuların çoğu akifer özelliği taşıyan Erciyes, Koçdağ ve Erkilet volkanitlerini kesmiş ve kuyu verimleri yüksek olmasının yanısıra, akiferler üstten veya alttan geçirimsiz ve kırık-çatlaklı sisteminin zayıf olduğu masif bazalt, andezit ile onların tüfitleri ve yüksek alterasyona uğramış yarı



geçirimli/geçirimsiz (akitard/akiklöd) volkanik kökenli kil, kum, silt ve çakıl ile örtölmüş/sınırlandırılmış durumundadır.

İnceleme alanında yayılım gösteren sözü edilen volkanik ve volkano-sedimanter kayaçlar ile alüvyon birimlerinin hidrojeolojik karakterizasyonları dikkate alınarak birimlerin verimli akifer olma özellikleri tanımlanmış ve sözü edilen verimli akifer olma özelliğine sahip birimler alanın güneyi ile doğusunda geniş yayılım sunmaktadır.

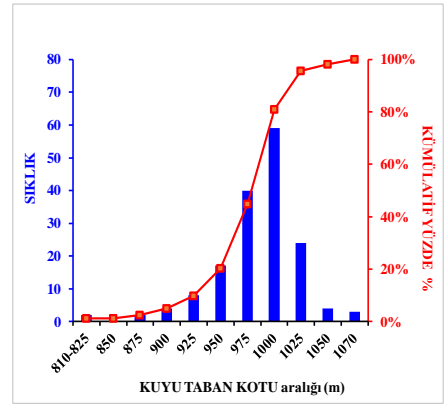
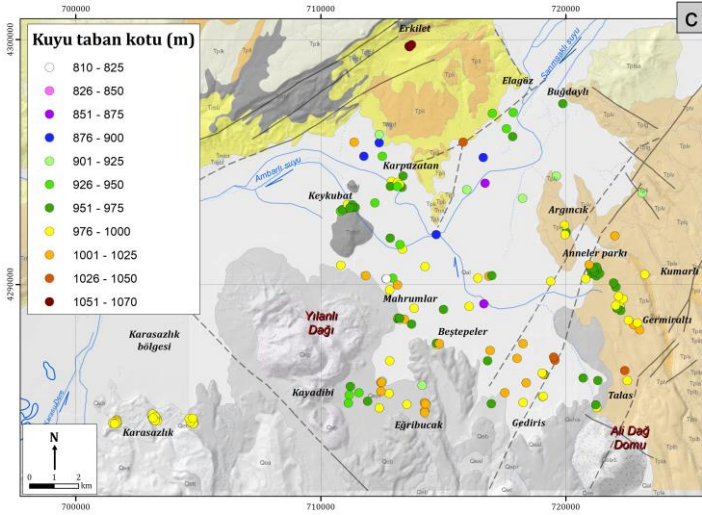
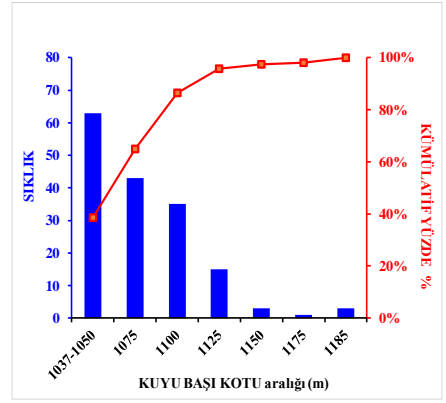
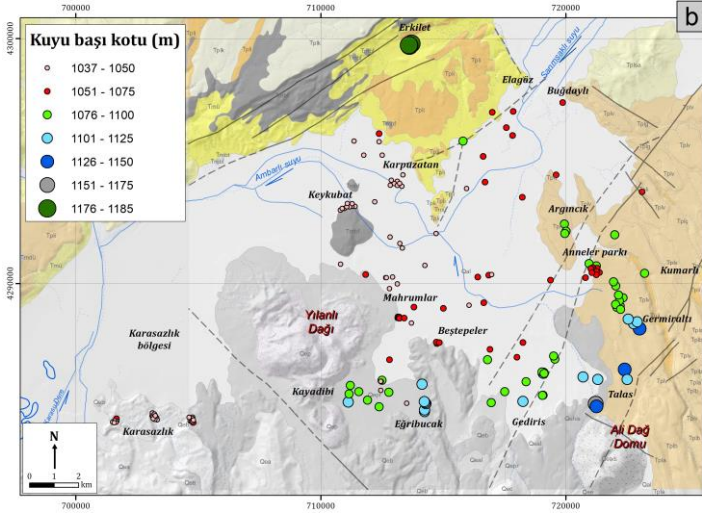
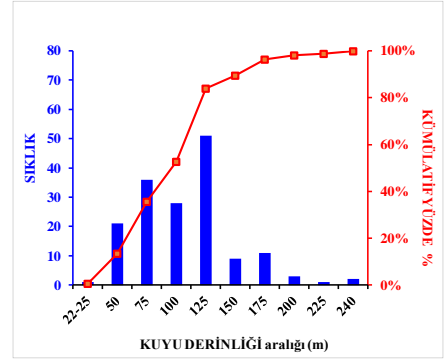
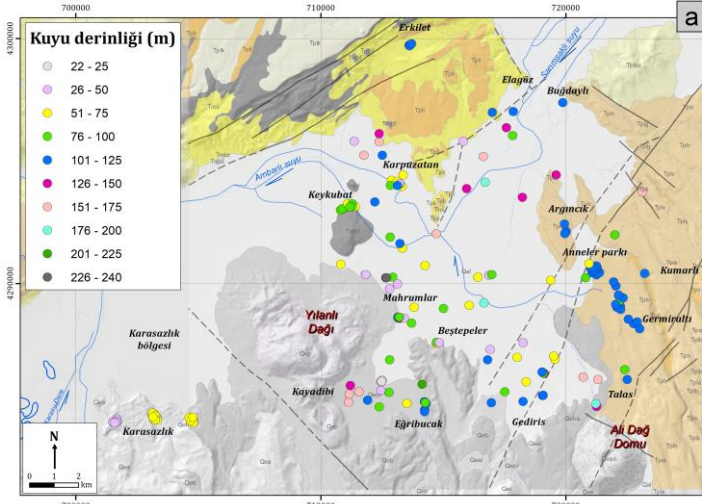
Melikgazi ve güneyinde açılan kuyulara ait kuyu logu bilgileri incelendiğinde, Erciyes volkanitlerinden piroklastikler, bazaltik ve andezitik lav akıntıları curuf, bazalt ve andezitler birincil/ikincil gözenekliliğinin gelişme durumuna göre geçirimli/yarı geçirimli/geçirimsiz ve/veya akifer/akitard/akiklöd olarak farklı kalınlık ve yanal yayılımlarda rastlanmakta ve yüzeyden itibaren öncelikle birkaç cm'den onlarca m'ye kadar piroklastikler, derine inildikçe bloklu, kumlu kil ara zonlu bazalt ve andezitler görölmüştür.

Model alanı ve çevresinde 1986-2001 yılları arasında kırıntılı sondaj tekniğiyle DSİ tarafından açılmış olan KASKİ işletme tesislerine ait kuyular ile 1958-2013 yılları arasında diğerkurumlar ve şahıslara ait toplam 185 adet su kuyuları, TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y170 nolu proje kapsamında 2008 yılında karotlu sondaj tekniğiyle DSİ tarafından açılmış olan 16 adet sondaj kuyusuna ait kuyu logu bilgileri incelenerek inceleme alanının akifer sistemini oluşturan jeolojik birimlerin yanal yayılımları ile düşey kalınlıkları ve hidrojeolojik özellikleri ortaya konulmuştur.

#### **4.1.2.1. Kırıntılı sondaj teknikleriyle açılan kuyularda kesilen jeolojik birimlerinin özellikleri**

Model alanı ve çevresinde 1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliğı ile şahıs tarafından toplam 185 adet su kuyusu açılmıştır ve kuyulara ilişkin kütük bilgileri TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y170 nolu proje kapsamında ilgili kurumlar tarafından temin edilerek bu tez kapsamında incelenmiştir.

Şekil 4.5'teki model alanı ve çevresinde kırıntılı sondaj teknikleriyle açılan kuyulara ait derinlik, kuyu başı ve taban kotu dağılım haritaları incelendiğinde, kuyu derinliklerinin 22 m ile 240 m arasında (Şekil 4.5a) değıştiğı görölmektedir. Ayrıca, kuyu başı kotlarının 1037 m ile 1185,0 m arasında (Şekil 4.5b) ve kuyu taban kotların ise 810,0 m ile 1080,0 m arasında (Şekil 4.5c)'dir. Açılan kuyuların çoğunun kuyu başı kotları 1037 m ile 1100 m aralığındayken, kuyu taban kotları ise 925 m ile 1000,0 m arasında değışmektedir.



**Şekil 4.5.** Model alanı ve çevresinde kırıntılı sondaj teknikleriyle açılmış olan mevcut kuyuların konum haritaları ile histogramları: (a) derinlik, (b) kuyu başı kotu, (c) kuyu taban kotu (1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgilerinden yararlanılmıştır)

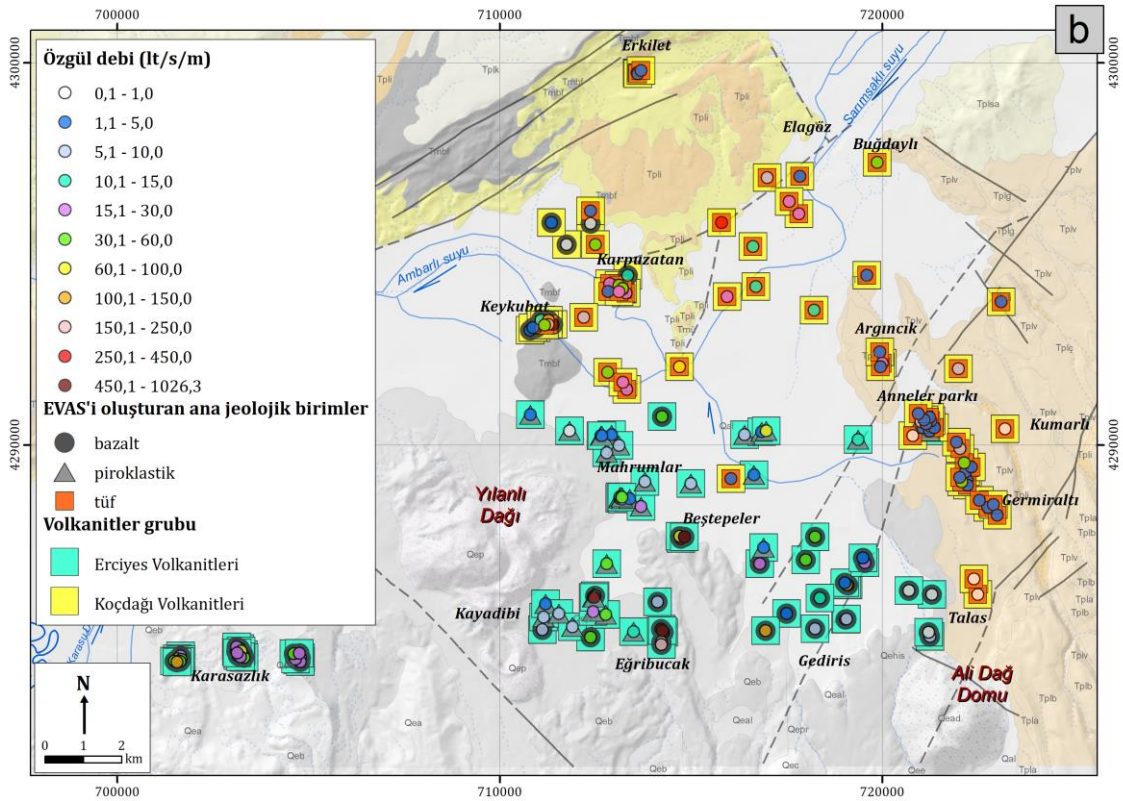
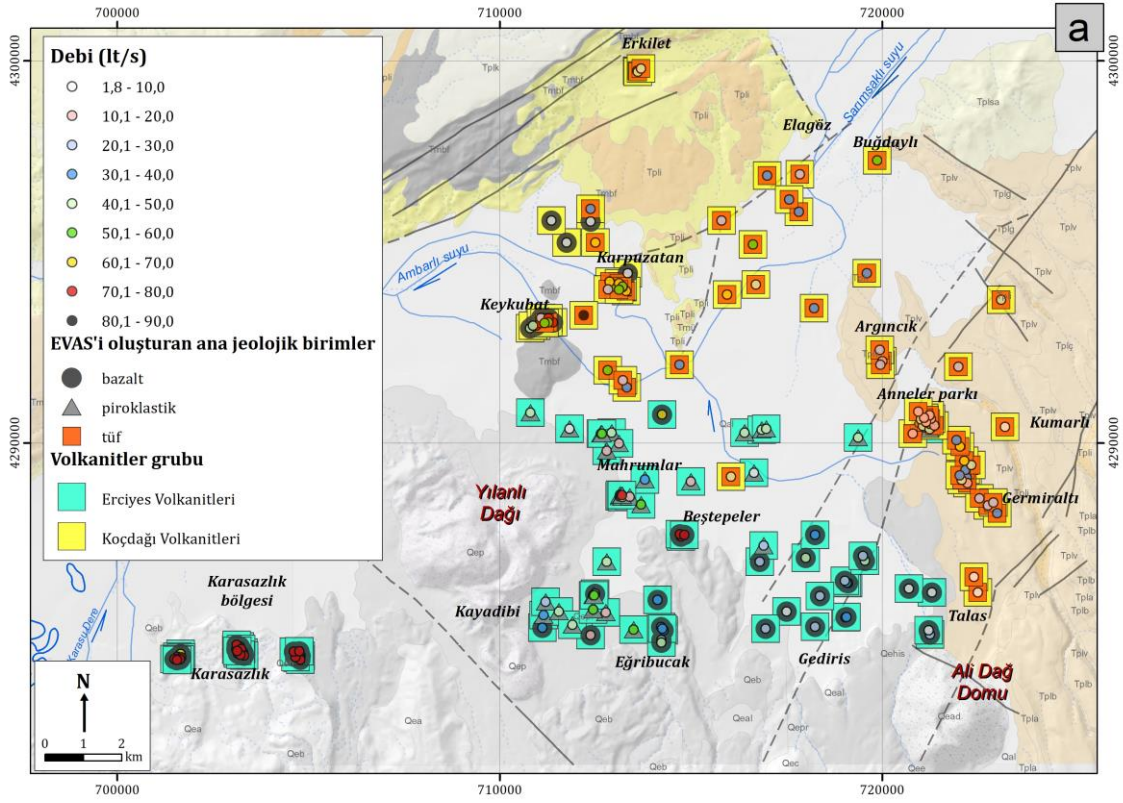


### Kuyularda geçilen jeolojik birimler ile akiferi oluşturan birimler

Model alanı ve çevresinde veya Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sistemi'ni (KVAS'ni) oluşturan jeolojik birimlerinde açılan kuyulara ait log bilgileri incelendiğinde, kuyularda birimlerin Ürgüp formasyonu (volkanosedimanter kayaçlar), Neojen yaşlı karasal kırıntılı sedimanter birimler, Koçdağ volkanitleri, Erciyes volkanitlerine ait volkanizma ürünleri olan andezit (andezitik lav akıntıları, andezit), aglomera, bazalt (bazalt, bazaltik andezitik lav akıntıları, vb), piroklastik kayaçlar ile tuf (tuf, ignimbirit, andezitik ve/veya bazaltik ignimbirit) birimleri, Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu ve birikinti konilerine rastlanmıştır (Bkz. Şekil 4.1. - Şekil 4.4) (Şekil 4.6).

Jeolojik birimler, bünyelerindeki taneli ortamı ifade eden birincil gözeneklilik ile kırık-çatlak sistemlerinin sağladığı ikincil gözenekliliğine ve kuyularda gerçekleştirilen akifer pompa testi sonucuna göre akifer olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalara göre, model alanında akiferi oluşturan bazalt, piroklastik kayaçlar ile tufun model alanındaki noktasal dağılımları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Sözü edilen şekilden görüldüğü üzere, akiferi oluşturan jeolojik birimlerin model alanının kuzeybatı-güneydoğu doğrultusundaki kuzey yarısında Koçdağ volkanitlerine ait bazalt ve tuf birimlerinden oluşurken, güney yarısında ise akifer birimini Erciyes volkanitlerine ait bazalt ve piroklastik kayaçlar oluşturmaktadır.

Yine, Şekil 4.6b'de verilen yeraltısuyu akifer sisteminde açılan kuyuların akiferi oluşturan jeolojik birimlerine göre özgül debi histogramı incelendiğinde, Yılanlı Dağı batısı ile kuzeyindeki piroklastik kayaçlarda açılan kuyularıyla, alanın doğusunda Alagöz, Buğdaylı ve Mimarsinan mevkiinde tuf ve ignimbritlerde açılan kuyuların derin (22-156 m) olmasına rağmen, özgül debinin (0,01-4,2-11,3 l/sn/m) düşük olduğu gözlenmiştir. Bu değerin düşük olmasının nedeni ise, piroklastik kayaçların masif olduğu ve/veya çok az kırık çatlaklı, iletkenliğinin ise düşük olmasıdır ve sözü edilen piroklastik birimin yer yer akifer/akitard özelliği göstermektedir. Keykubat, Karpuzatan, Melikgazi ve Karpuzsekizi mevkiindeki volkanik kayaçlarda (bazalt, andezit) açılan derinlikleri 22-87 m arasında değişen derin kuyularda özgül debi 21,8 ile 1026,3 l/sn/m arasında değişmektedir. Bu kuyular kırık çatlakların yoğun olduğu dolayısıyla, iletkenliğin yüksek olduğu yer yer akifer/akitard özelliği gösteren volkanik kayaçlarda açılmıştır (Çizelge 4.1., Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.).

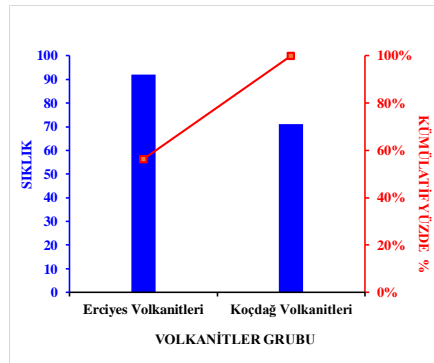


**Şekil 4.6.** KVAS’i oluşturan ana jeolojik birimlerinde açılan kuyulara ait (a) debi ve (b) özgül debi dağılım haritaları (1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgilerinden yararlanılmıştır)

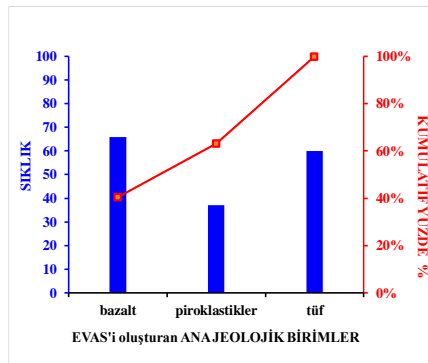
**Çizelge 4.1.** KVAS akiferi oluşturan ana jeolojik birimlerde açılan kuyulara ilişkin temel istatistiksel analiz sonuçları

Parametreler	Temel istatistiksel parametreler	KVAS'ı oluşturan ana jeolojik birimler		
		Bazalt	Piroklastikler	Tüf
		Kuyu sayısı		
		66	37	60
Volkanitler grubu (kuyu sayısı)		Erciyes (54) Koçdağ (11)	Erciyes (37)	Koçdağ (60)
Kuyu derinliği (m)	e.k.	36,0	22,0	30,0
	e.b.	202,0	240,0	188,0
	ort.	88,7	94,2	105,5
	s.s.	40,7	53,5	29,6
Kuyu başı kotu (m)	e.k.	1038,0	1037,0	1043,2
	e.b.	1151,1	1100,0	1184,6
	ort.	1071,0	1059,4	1076,3
	s.s.	30,6	17,2	34,1
Kuyu taban kotu (m)	e.k.	878,4	810,0	863,0
	e.b.	1034,0	1024,0	1069,6
	ort.	982,3	965,2	970,8
	s.s.	30,3	49,3	40,4
Debi (lt/s)	e.k.	3,0	5,2	1,8
	e.b.	82,0	88,0	80,8
	ort.	49,7	43,8	38,0
	s.s.	26,4	20,5	17,5
Özgül debi (lt/s/m)	e.k.	0,1	0,6	0,1
	e.b.	1026,3	1000,0	353,4
	ort.	109,5	44,9	22,1
	s.s.	224,3	163,6	54,6

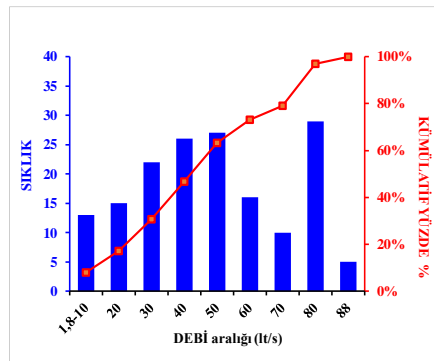
Not: e.k. – en küçük; e.b. – en büyük; ort. – ortalama; s.s. – standart sapma



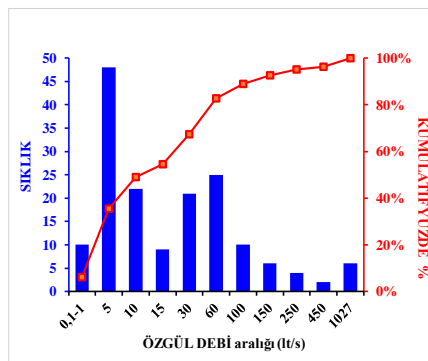
(a)



(b)

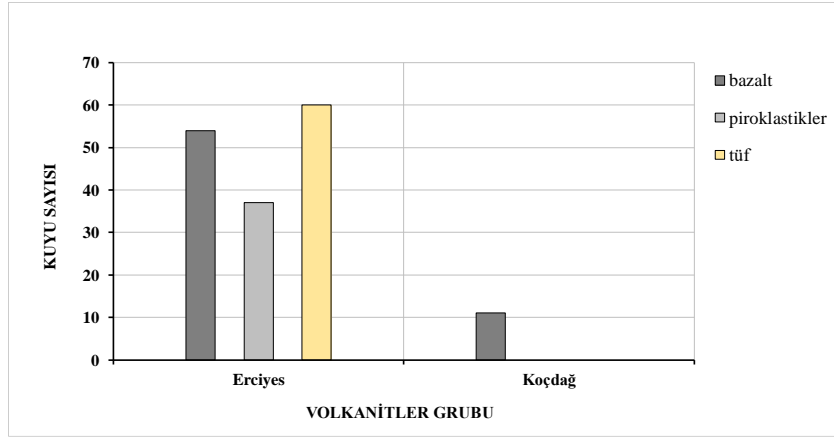


(c)

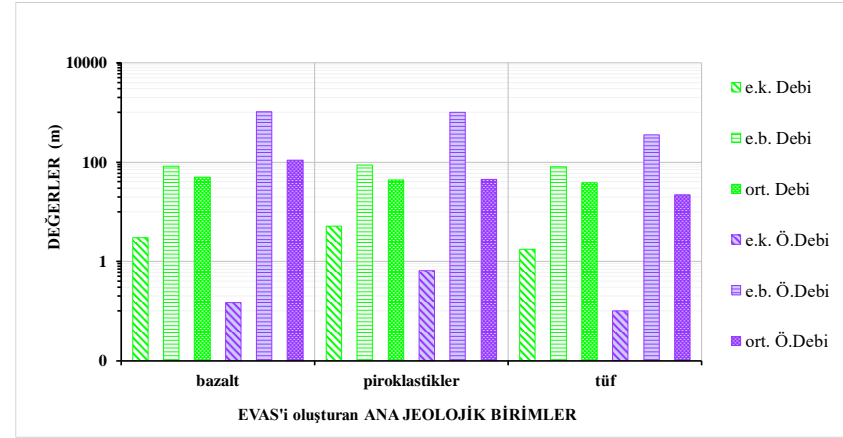


(d)

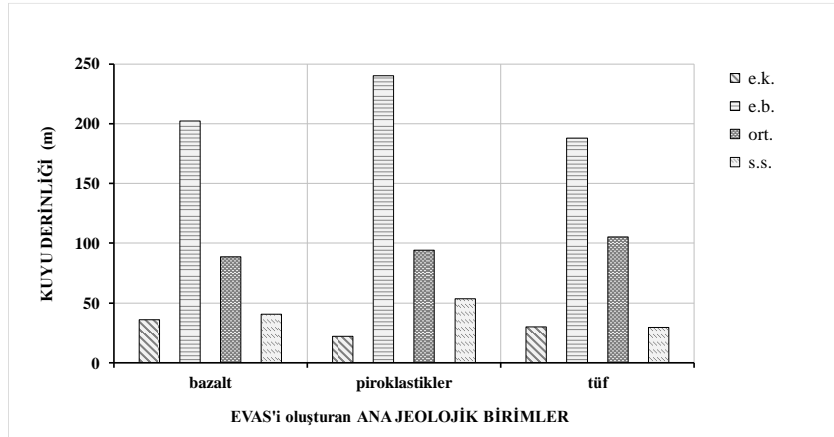
**Şekil 4.7.** KVAS'ı oluşturan ana jeolojik birimlerinde açılan kuyuların (a) ana volkanik grubu, (b) ana jeolojik birimler, (c) debi, (d) özgül debi histogramları



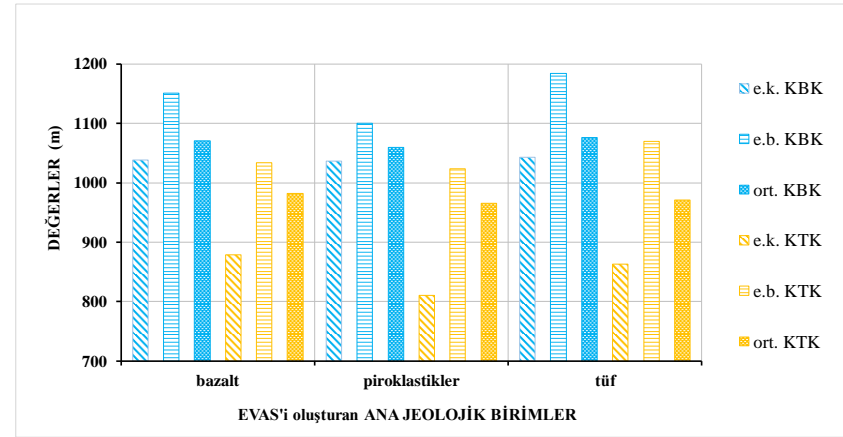
a)



c)



b)



d)

**Şekil 4.8.** KVAS'İ OLUŞTURAN ANA JEOLJİK BİRİMLERİNDE AÇILAN KUYULARIN a) VOLKANİTLER GRUBU, b) DERİNLİĞİ, c) KUYU BAŞI KOTU (KBK) İLE KUYU TABAN KOTU (KTK) VE d) DEBİ İLE ÖZGÜL DEBİ DEĞERLERİNE İLİŞKİN İSTATİSTİKSEL ANALİZ SONUÇLARI GRAFİKLERİ

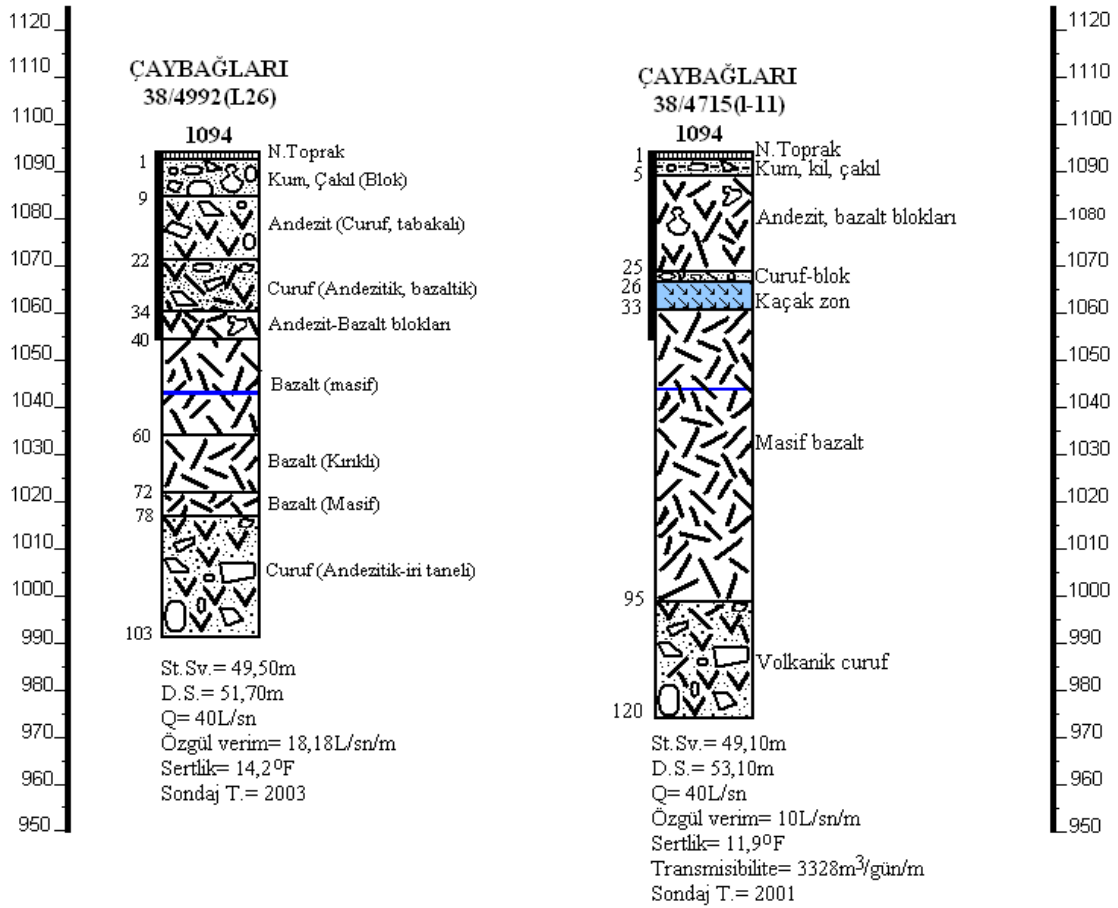
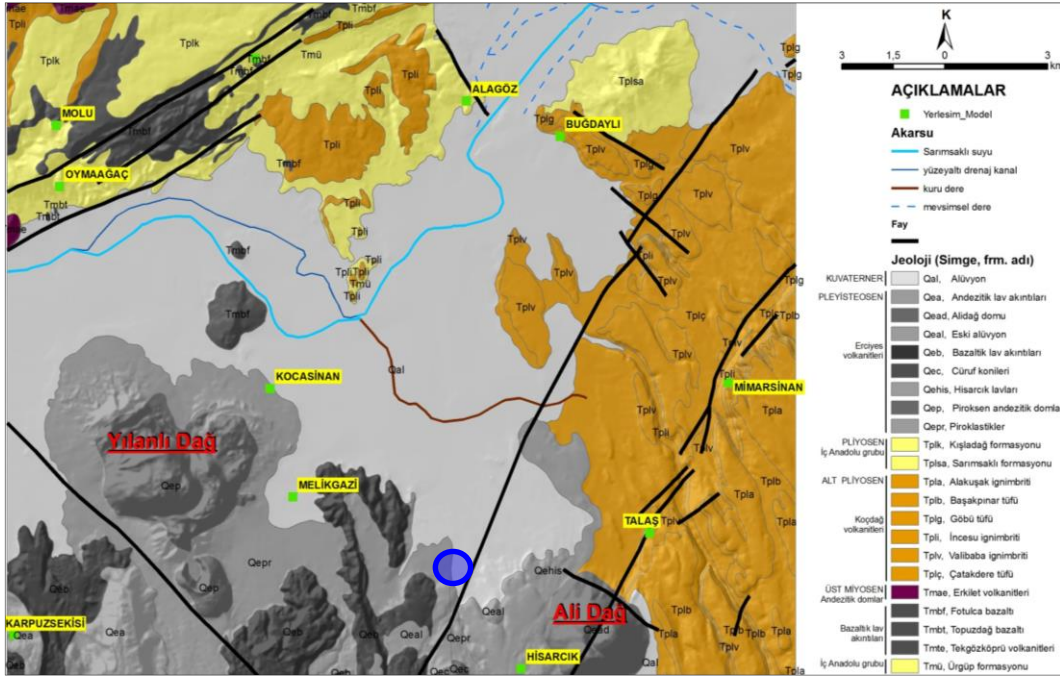
### Noktasal ölçekte, akiferi oluşturan jeolojik birimler ile onların hidrojeolojik özellikleri

Melikgazi ilçesi Çaybağları mevkiinde KASKİ işletme tesisine ait 103 m ile 120 m derinliğine sahip 2 adet içmesuyu amaçlı kırıntılı sondaj tekniğiyle açılmış kuyular ile SK15 karotlu sondaj kuyusunda yüzeyden itibaren derinlik boyunca cüruf tabakalı andezit, andezitik-bazaltik cüruf, andezit bazalt blokları ile ardalanmalı olarak ileri düzeyde gelişmiş kırık-çatlaklı bazalt ve çok sert masif bazalt, iri taneli andezitik curufa rastlanmıştır. Bu birimlerin kalınlıkları birkaç metreden metrelerce kalınlıklara ulaşmaktadır. Bu kuyularda düşüm 2,2-4,0 m, debileri 40 lt/sn ve özgül verim ise 10-18,18 lt/sn/m aralığındadır (Şekil 4.9.).

Melikgazi ilçesi Kergahbağları mevkiinde KASKİ işletme tesisi kuyularından 152 m derinliğine sahip içmesuyu amaçlı kırıntılı sondaj tekniği ile açılmış kuyuda yüzeyden itibaren 8 m'den 152 m'e kadar derinliğinde 144 m kalınlıkta sert ve/veya az kırıklı çatlaklı bazalt, bloklu bazalt-andezit ile tuf-curuf kesilmiş olup, kuyuda 5,25 m'lik düşümde 11 lt/s debiyle su çekilebileceği belirlenmiştir. Kergahbahları mevkiinin yaklaşık 2 km doğusundaki Eğribucak mevki ile yaklaşık 2,5 km kuzeyinde yer alan Taşlıburun mevkiinde açılmış mevcut kuyularda bol kırık-çatlak sistemine sahip bazalt, bazalt-andezit blokları ile bazalt curufu kesilmiştir. Bu kuyuların debisi Kergahbağları mevkiindeki kuyuya göre daha verimli olduğu belirlenmiş olup, Eğribucak mevkiindeki KASKİ işletme tesisi kuyularında düşüm 0,03-0,19 m, debi 30,79-41,39 lt/sn ve özgül verim ise 166-1026,3 lt/sn/m aralığındadır. Taşlıburun mevkiinde ise, düşüm 0,12 m, debisi 56,74 lt/sn ve özgül verim 473 lt/sn/m'dir (Şekil 4.10.).

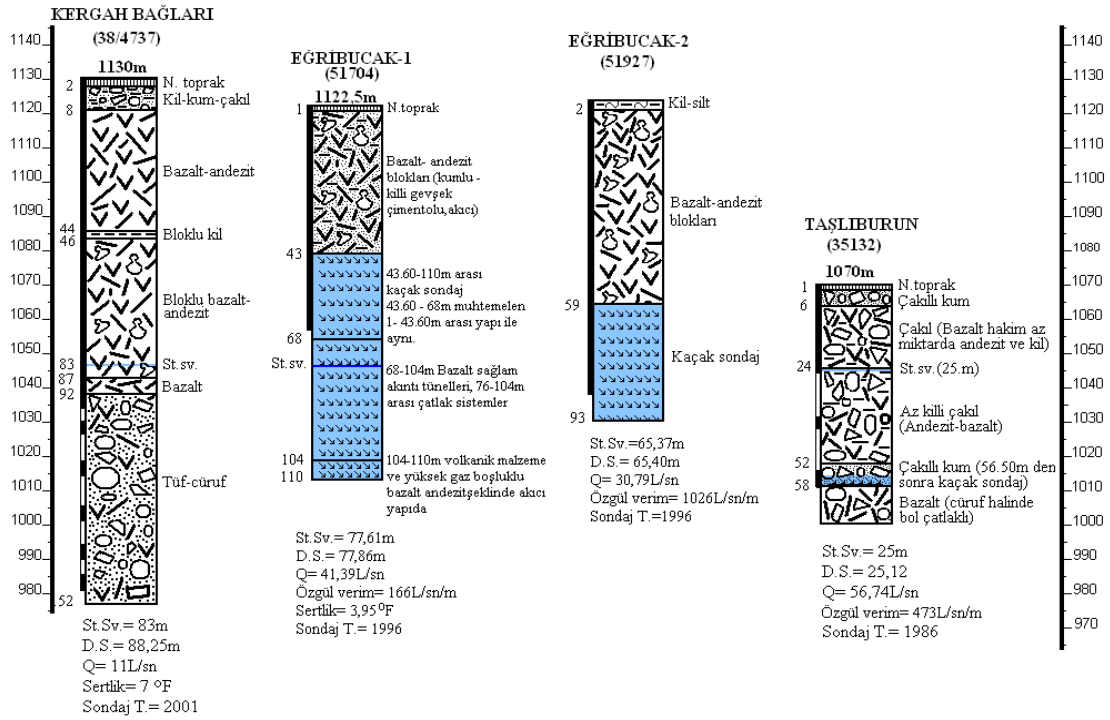
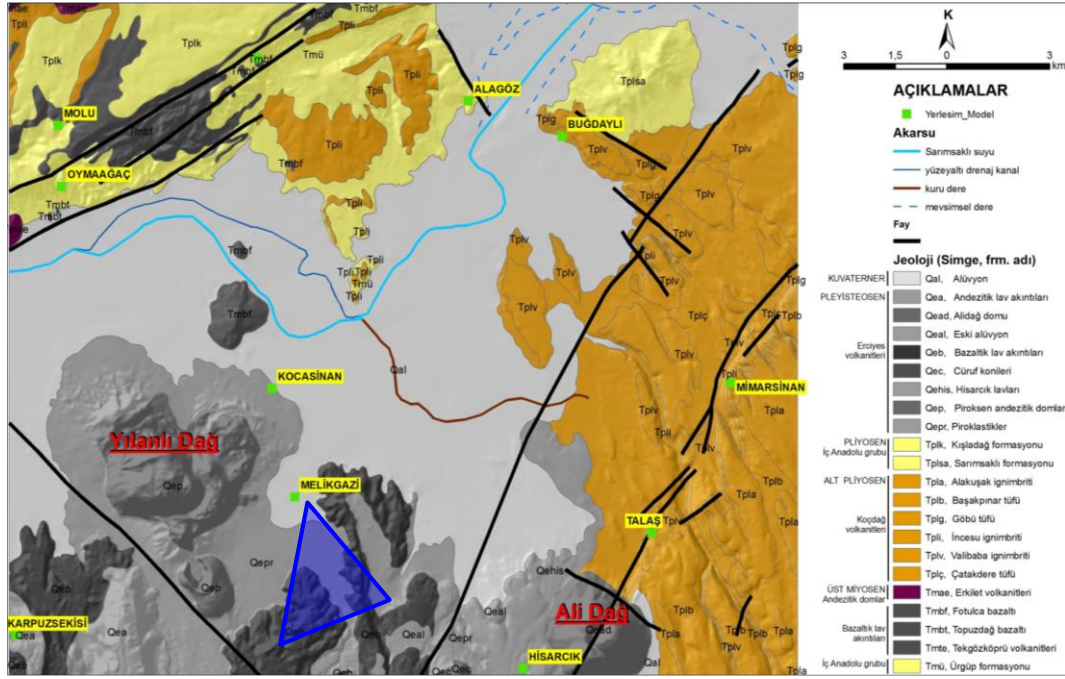
İnceleme alanındaki düzlüğü oluşturan ovanın güneyinde Beştepeler mevkiindeki KASKİ işletme tesisi kuyularında yüzeyden itibaren 0,5-5 m toprak örtüsünden sonra 30-33 m derinliğinde curuf ve 80-100 m kalınlığında bazalt (kırık çatlaklı ve/veya masif) gözlenmiştir. Beştepeler'de, aralarındaki mesafeleri yaklaşık 50 m olan dört adet kuyudan üçünde yeraltısuyuna rastlanırken, birinde rastlanamamıştır. Suya ulaşamamasının sebebi, kuyunun masif bazalt katmanında sonlanmış olmasıdır. (Şekil 4.11.). Yeraltısuyuna rastlanan kuyularda düşüm 0,01-0,18 m, debi 80 lt/sn ve özgül verim 400-889 lt/sn/m aralığındadır.



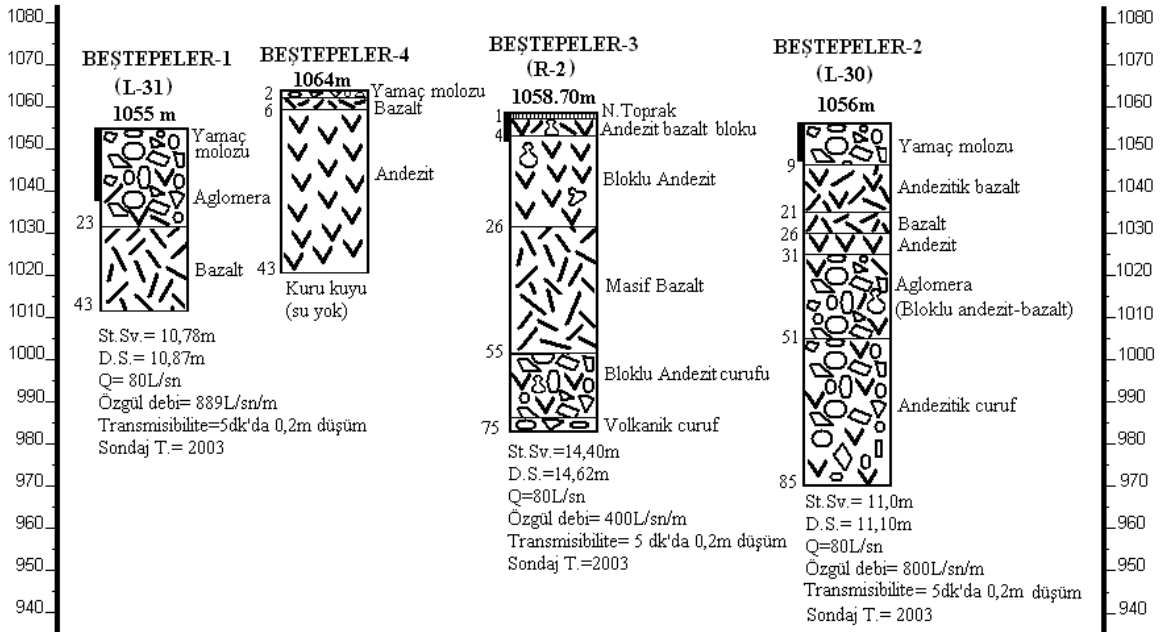
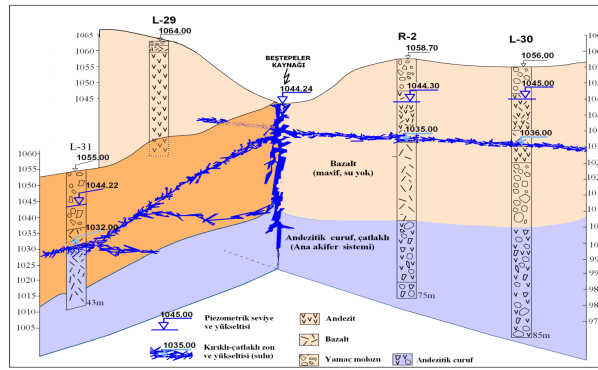
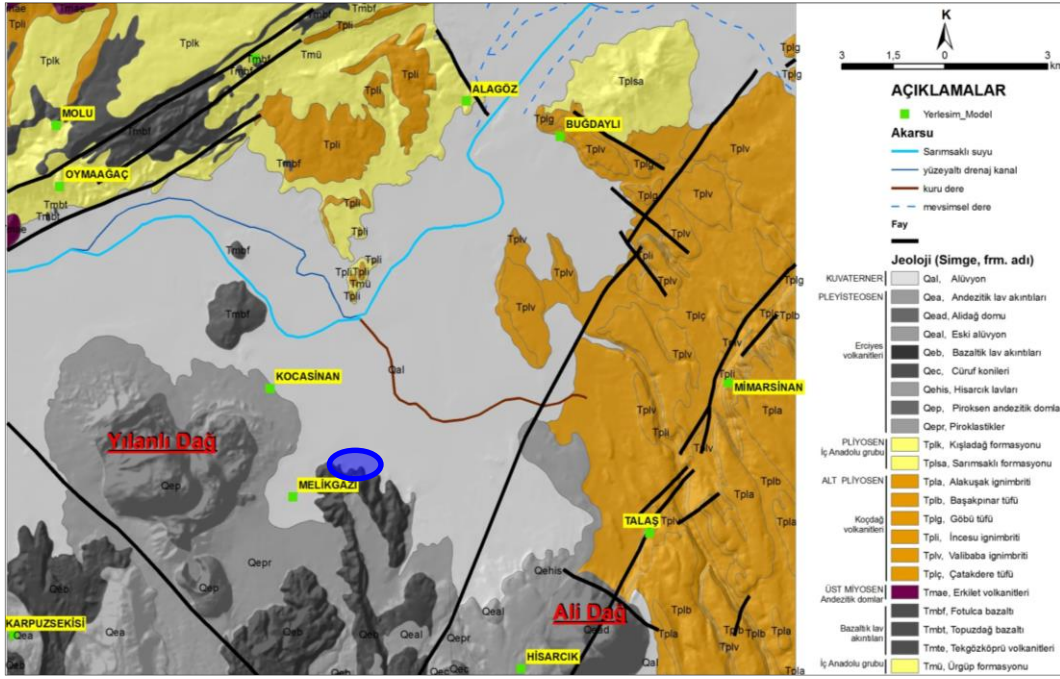


**Şekil 4.9.** Çaybağları mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark., 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)





**Şekil 4.10.** Kergahbağları, Eğribucak ve Taşlıburun mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)



Şekil 4.11. Beştepe mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)

İnceleme alanının güneybatısında Yılanlı Dağı'nın hemen doğusunda yer alan Mahrumlar mevkiindeki KASKİ işletme tesisine ait derinlikleri 98-140 m arasında değişen kuyularda yüzeyden itibaren birkaç metreden metrelerce kalınlık sunan ve genel olarak bazaltik tüf ardalanmalı Erciyes volkanitlerine ait piroklastik kayaçlar (volkanik killi çakıl, iri çakıl, çok az killi çakıl) kesilmiştir. Ayrıca, tüm kuyuların tabanında Koçdağ volkanitlerine ait bazalt, kumlu bloklu bazalt, andezitik tüf ve bazaltik tüf mevcuttur. Yine kuyuların bazılarında 76-105 m (970-950 m kotlarda) derinlikleri arasında kaçak zona rastlanmıştır. Tüm kuyularda düşüm 1,35-10,6 m, debi 47-60,26 lt/sn ve özgül verim 4,43-42,31 lt/sn/m aralığındadır (Şekil 4.12.).

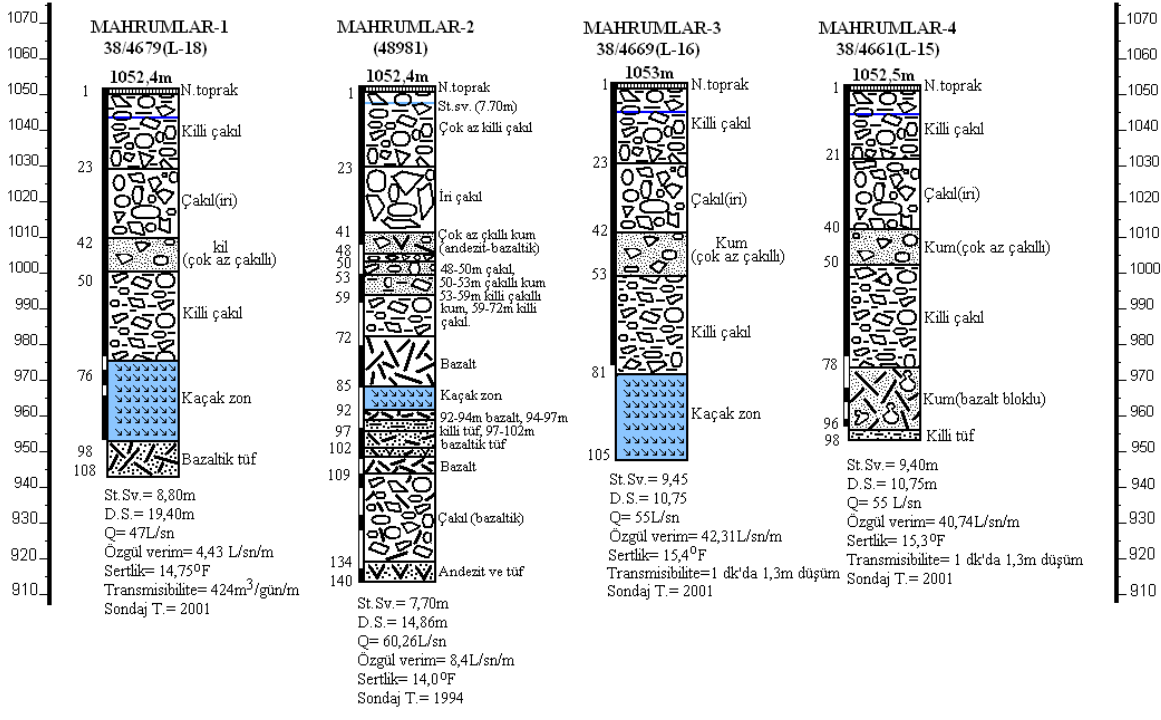
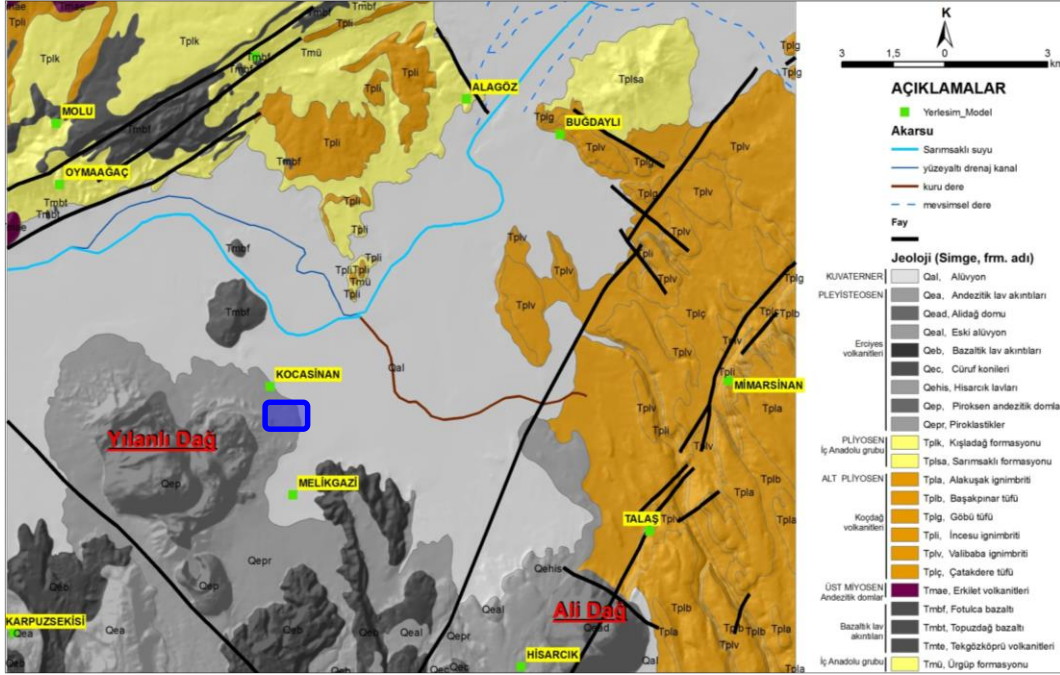
Melikgazi ilçesi kuzeyi, Kocasinan, Keykubat, Karpuzatan ve Erkilet doğrultusunda ise daha sık olarak Erciyes volkanitlerinden bazalt, andezit ve cürufa rastlanırken; Erkilet volkanitlerinden Fotulca bazaltının kalınlıkları daha fazladır. Lav akıntıları; volkanizmanın hızına, ortamın iklim koşuluna ve yüzey morfolojisine bağlı olarak değişken uzunluklara sahip yanal yayılımları ile düşey kalınlıklar sunmasının yanısıra yer yer yüksek kırık-çatlak sistemine sahip akifer özelliği taşıırken, yer yer ise sert ve/veya çok sert masif halinde geçirimsiz nitelik göstermektedir. Ayrıca; bünyesindeki kırık-çatlak sisteminin farklı derecelerde gelişmiş olan andezit, bazalt ve onların lavları ile tüfitlerinde yan yan açılan kuyuların kuyu logu bilgileri incelendiğinde yukarıda sözü edilen durum net bir şekilde gözlenmiştir (Bkz. Şekil 4.9.).

Keykubat ve Karpuzatan mevkiinde 50 m ile 101 m arasında değişen derinliklerde karotlu sondaj kuyuları ile içmesuyu amaçlı kırıntılı sondaj tekniğiyle açılmış KASKİ işletme tesis kuyularında Koçdağ ve Erkilet volkanitleri üyelerinden yer yer yoğun kırık-çatlak sistemine sahip yer yer masif sert-çok sert bazalt yer yer ileri düzey alterasyona uğramış bazalt, bazaltik ve andezitik tüf, tüf, curuf, aglomera; vollkano-sedimanter kayaçlardan killi kireçtaşı; alüvyon ve nebatî toprak kesilmiştir.

#### **4.1.2.2. Karotlu sondaj teknikleriyle açılan kuyularda kesilen jeolojik birimlerinin özellikleri**

Yeraltısuyu akımının ortaya konulması, akifer sistemlerinin geometrisi ile sınır koşullarının belirlenmesini gerektirir. Ayrıca, sondaj kuyularının dağılımı ve sayısı ortamı temsil edebilmelidir. Ortamın heterojenliği arttıkça açılması gereken sondaj sayısı artmaktadır. Kayseri kenti içme suyu havzası gibi litolojik birimler açısından yüksek heterojenliğe sahip ortamlar, yoğun ve alanda üniform olarak dağılmış kuyu bilgilerini gerektirmektedir. Söz

konusu bilgilerin elde edilmesi için belirli sayıda “araştırma sondaj kuyuları”na gereksinim duyulmuştur. Açılan araştırma kuyularından, Kayseri kentine içme suyu sağlayan akiferin yayılım, hidrolik özellikleri ve türü hakkında bilgiler elde edilmiştir. Yeraltı su sistemini oluşturan akiferlerin sayısı ve türünün yanı sıra, ana akiferin, alanın hangi kesimlerinde serbest, hangi kesimlerinde basınçlı olduğu da belirlenebilmiştir.



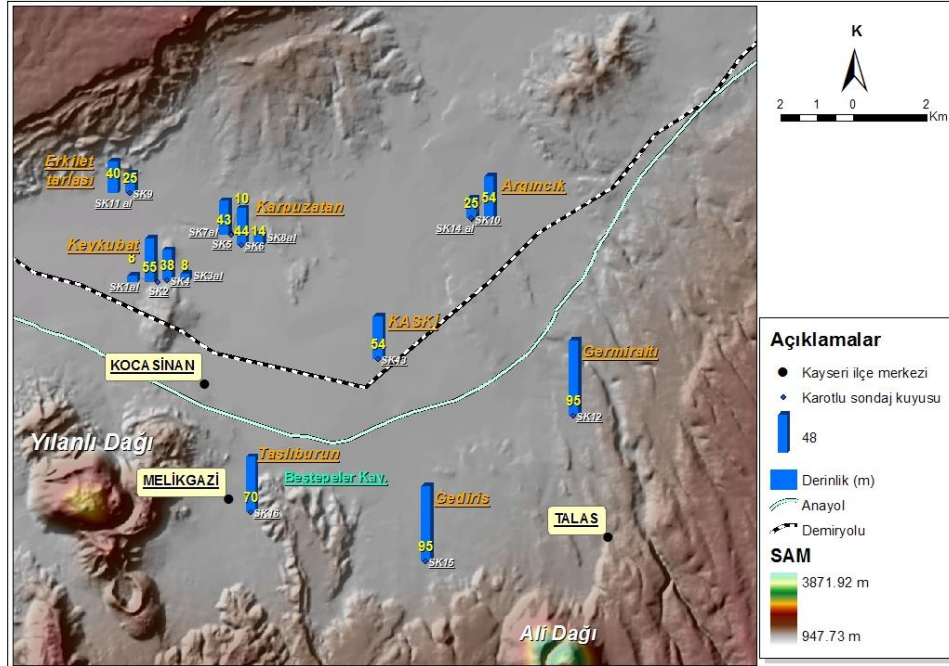
**Şekil 4.12.** Mahrumlar mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)



Bu kapsamda, Model alanında, TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y170 nolu proje kapsamında 2008 yılında KASKİ tarafından DSİ XII. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı 10. Sondaj Şubesi'ne 16 adet araştırma sondaj kuyusu açtırılmıştır (Değirmenci ve ark., 2011b) (Şekil 4.13. ve Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2.** İnceleme alanında açılan araştırma sondaj kuyularına ait bilgiler (Değirmenci ve ark., 2011b)

No	Kuyu Adı	Mevkii	Kuyu Derinliği (m)	X (m)	Y (m)
1	SK1	Keykubat	8	710934	4293089
2	SK2	Keykubat	55	710946	4293088
3	SK3	Keykubat	8	711199	4293144
4	SK4	Keykubat	38	711194	4293143
5	SK5	Karpuzatan	43	712941	4294380
6	SK6	Karpuzatan	44	713222	4294092
7	SK7	Karpuzatan	10	712940	4294391
8	SK8	Karpuzatan	14	713322	4294095
9	SK9	Erkilet tarlası	40	710181	4295527
10	SK11	Erkilet tarlası	25	710184	4295523
11	SK10	Argıncık	54	719537	4294819
12	SK14	Argıncık	25	719533	4294835
13	SK12	Germiraltı	95	722322	4289422
14	SK13	KASKİ	54	716964	4290969
15	SK15	Çaybağları (Gediris)	95	718275	4285423
16	SK16	Taşlıburun	70	713491	4286763



**Şekil 4.13.** Model alanında karotlu sondaj teknikleriyle açılan kuyuların konum haritası (Değirmenci ve ark., 2011b)

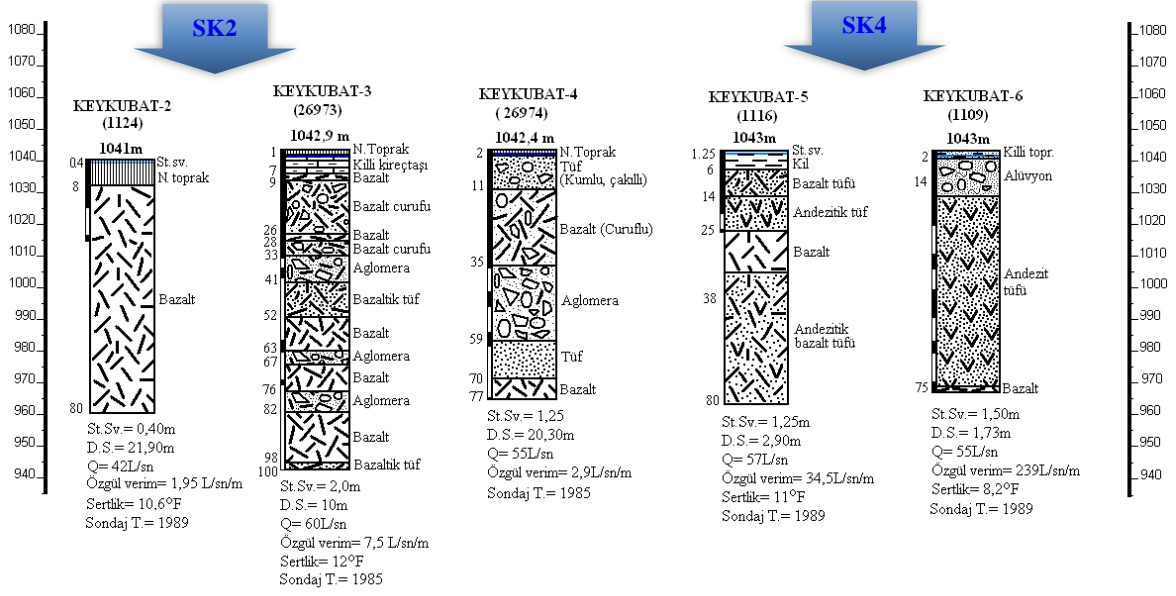
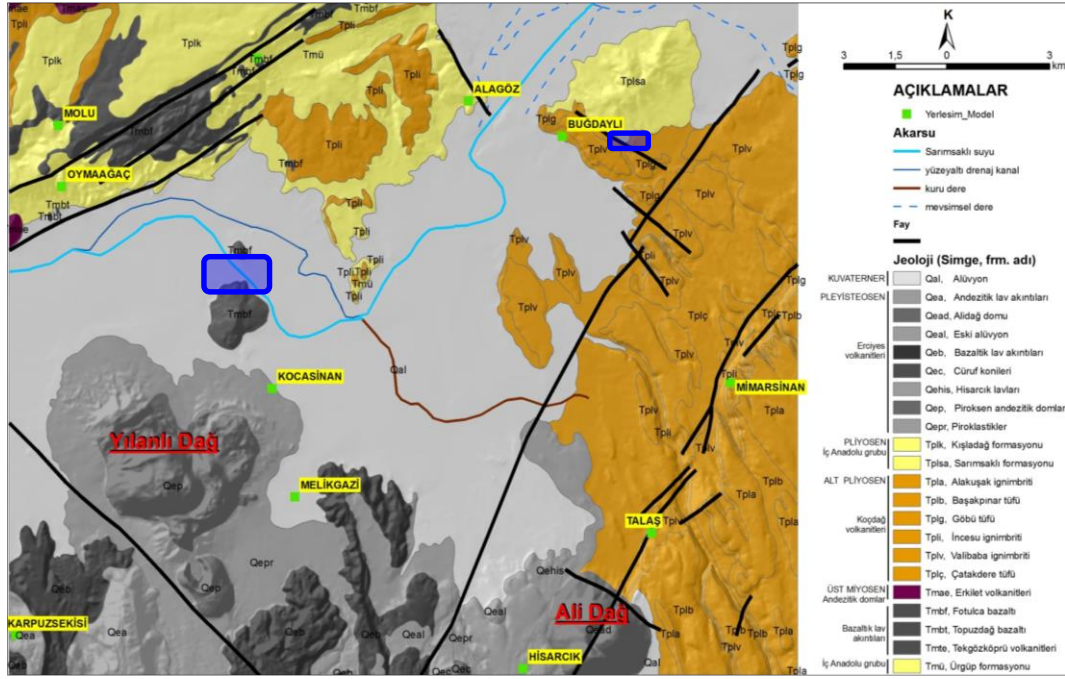
Keykubat mevkiinde açılan SK2 karotlu sondaj kuyusu ile KASKİ işletme tesisine ait Keykubat-2 kuyusunda yüzeyden itibaren derinlik boyunca alterasyona uğrayıp bloklar halinde çökelmiş ve gaz boşluklu, kil dolgulu bazalt, andezitik-bazaltik tuf ile sert ve/veya çok sert olup orta-zayıf düzeyde kırık-çatlak sistemi gelişmiş kil dolgulu bazalt ile bazaltik-andezitik tuf kesilmiştir. Keykubat-3 kuyusunda kalınlıkları birkaç metre olan bazalt, bazalt curufu, aglomera ve bazaltik tufüne ardalanmalı olarak rastlanırken, Keykubat-4 kuyusunda ise alterasyona uğramış bloklu tuf, kırıklı çatlaklı curufu bazalt, aglomera ve ileri düzey alterasyona uğramış tuf ve sert/çok sert bazalt kesilmiştir. Tüm bu kuyularda düşüm 8-21,5 m, debi 42-60 lt/sn, özgül verim 1,95-7,5 lt/sn/m ve iletkenlik ise 155,3-339,8 m<sup>2</sup>/gün aralığındadır. Keykubat-5 ve Keykubat-6 kuyularında yüksek derecede gelişmiş kırık-çatlak sistemine sahip bazalt tuf, andezitik tuf, bazalt ve andezitik bazaltik tufü kesilmiş olup, düşüm 0,23 m ile 1,65 m, debi 57 lt/sn ile 55 lt/sn ve özgül verim 34,5 lt/sn/m ile 239 lt/sn/m'dir. Ayrıca, bu iki kuyu arasında açılan SK4 karotlu sondaj kuyusunda Keykubat-6 kuyusunda kesilen birimlere rastlanmıştır (Şekil 4.14).

Karpuzatan mevkiinde; SK5 ve SK6 karotlu sondaj kuyuları ile KASKİ işletme tesisine ait kuyularında yüzeyden itibaren derinlik boyunca genellikle orta düzeyde alterasyona uğramış bazaltik tufü ile sert ve/veya çok sert olup yüksek-orta-zayıf düzeyde kırık-çatlak sistemi gelişmiş bazalt ile bazaltik-andezitik tuf ile yer yer kil dolgulu/bloklu bazaltik tufü, curuf ve aglomera kesilmiştir (Şekil 4.15.).

Bu birimler bazı kuyularda metrelerce kalınlık sunarken bazı kuyularda ise birkaç metre kalınlıklarla ardalanmalı olarak rastlanmıştır. Tüm bu kuyularda düşüm 1,35-19,0 m, debi 24-65 lt/sn ve özgül verim 1,26-40,00 lt/sn/m aralığındadır (Şekil 4.16.).

Elagöz ile Buğdaylı arasında 103-156 m arasında değişen derinliklere sahip kuyular mevcuttur. Bu kuyularda yüzeyden yaklaşık 74 m alüvyon kesilirken, derine inildikçe Koçdağ volkanitleri ile Ürgüp formasyonuna ait kırıntılı volkano-sedimanter birimine rastlanmıştır. Elagöz ve Buğdaylı mevkiilerinde çökelen jeolojik birimleri; inceleme alanına kuzeydoğusundan gerek yüzeysuyu gerekse yeraltısuyu açısından girdisi olan derin bir kanal şeklindeki boğaz/vadisinde bulunan yeraltısuyu akifer sistemini oluşturmaktadır.



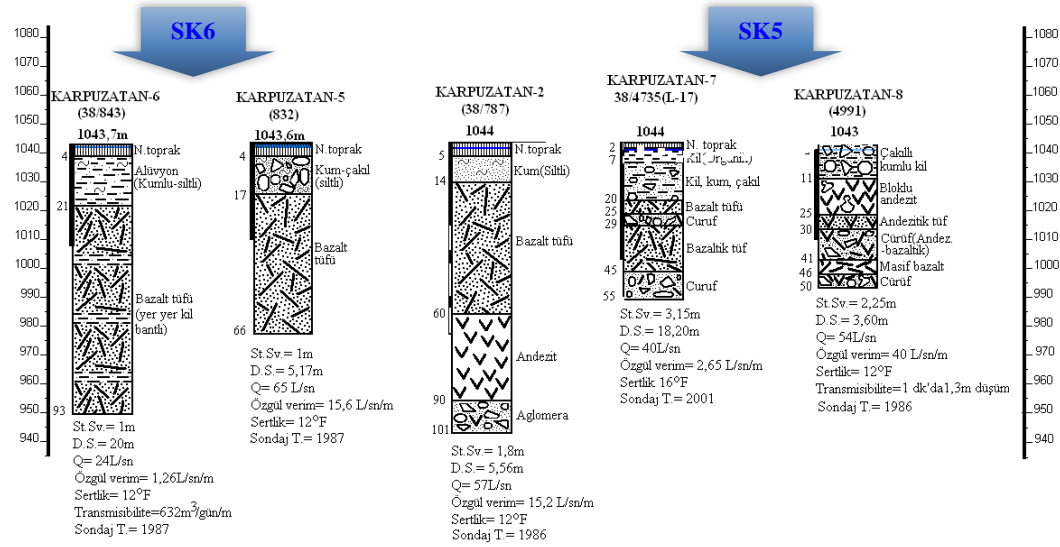
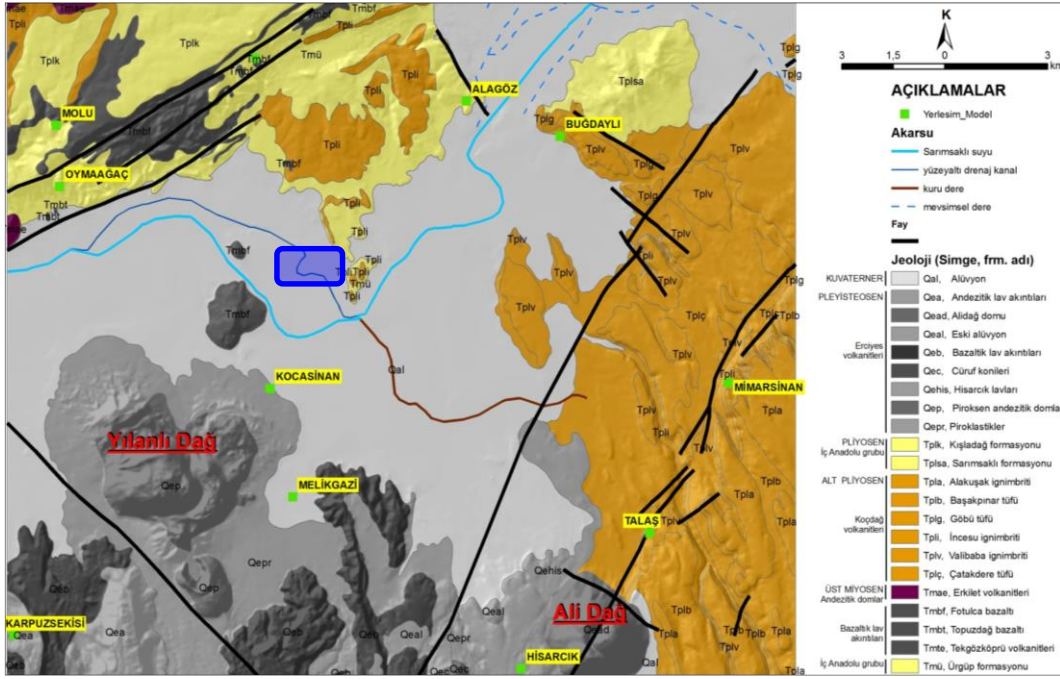


SK2



SK4

**Şekil 4.14.** Keykubat mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006, 2011b; Namkhai ve ark., 2012)



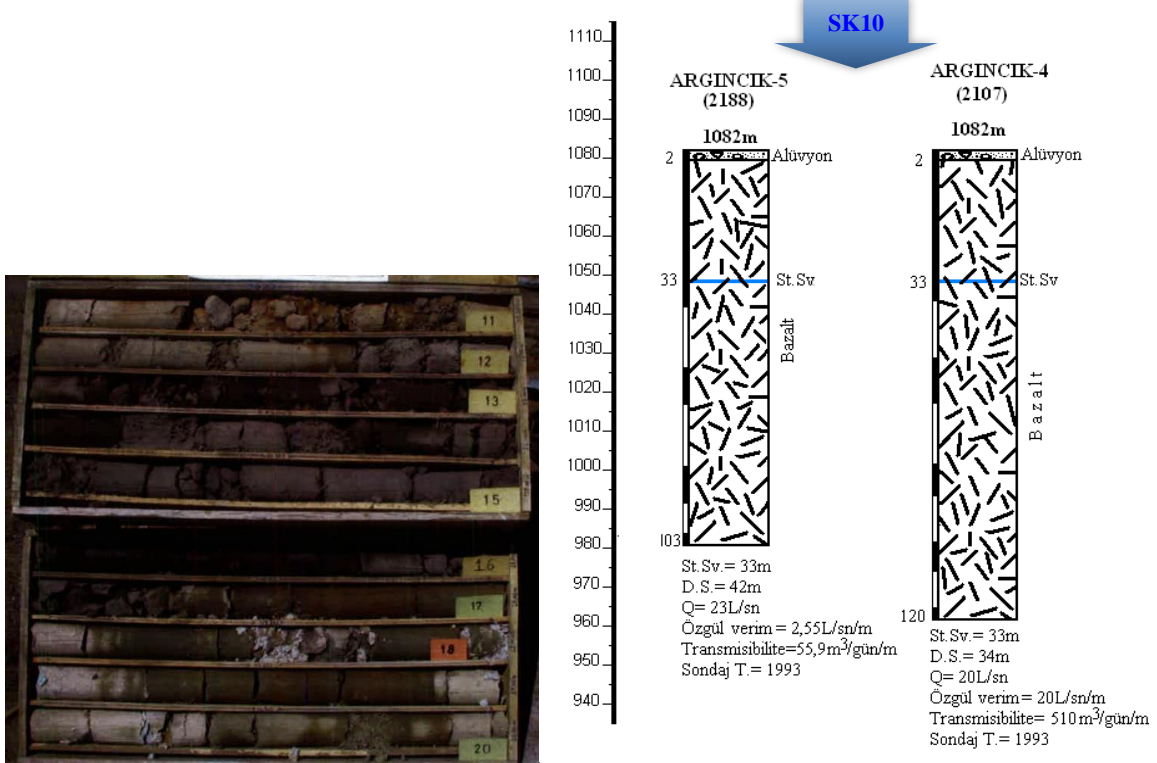
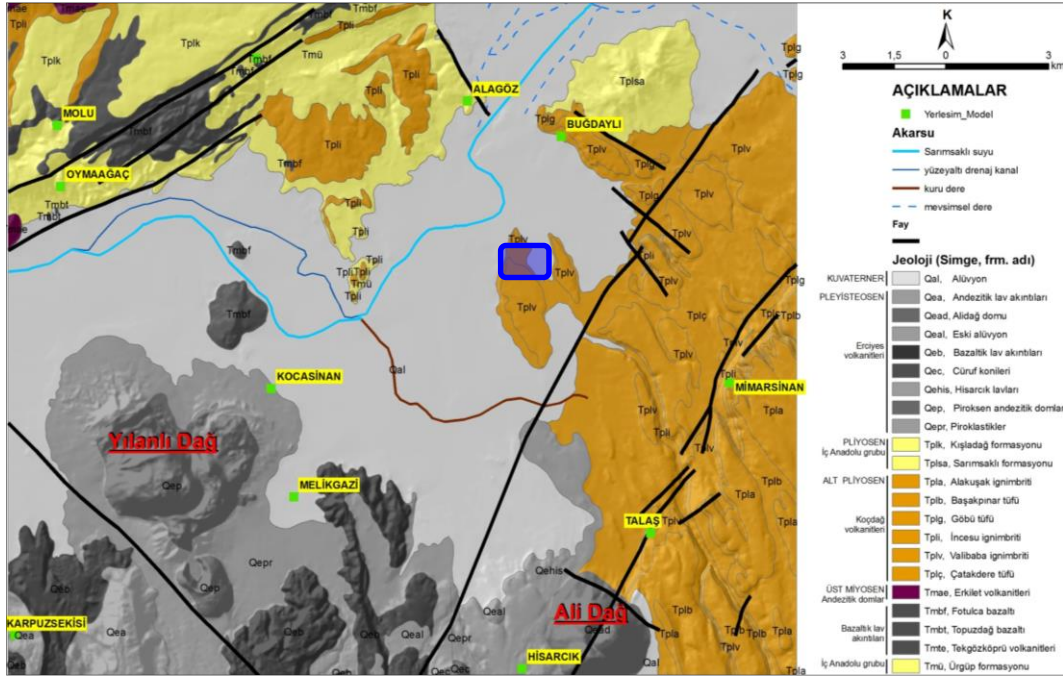
SK6



SK5

**Şekil 4.15.** Karpuzatan mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006; 2011b; Namkhai ve ark., 2012)

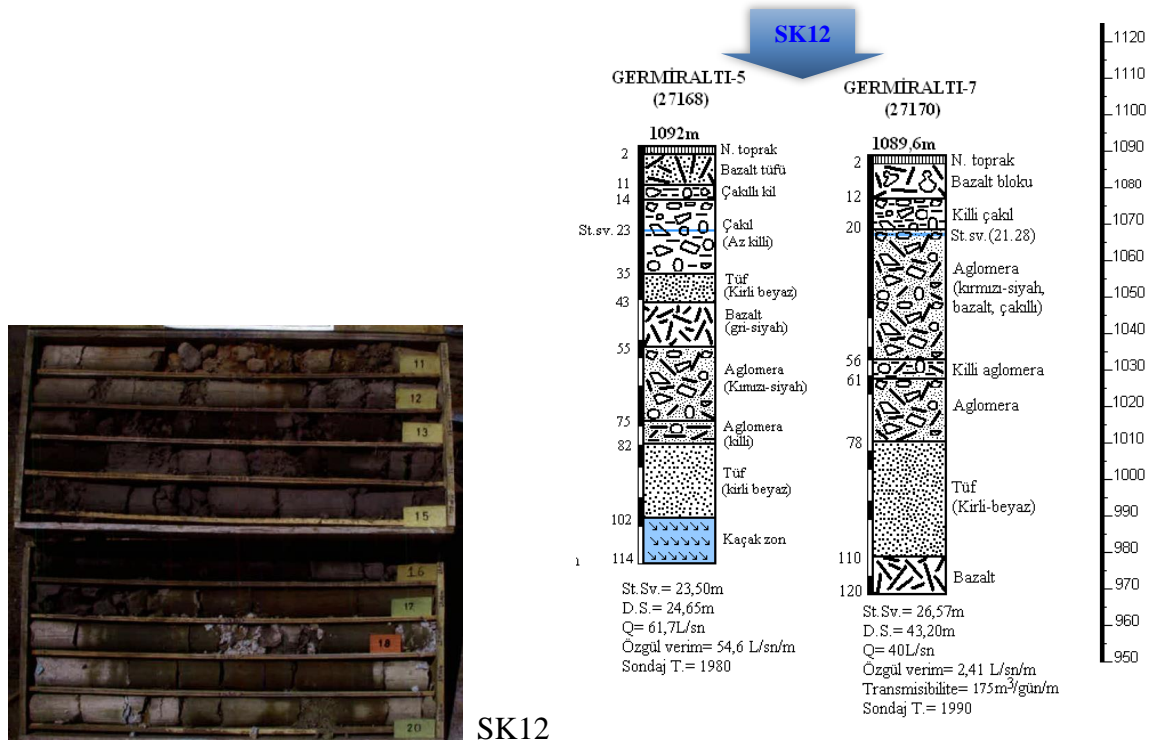
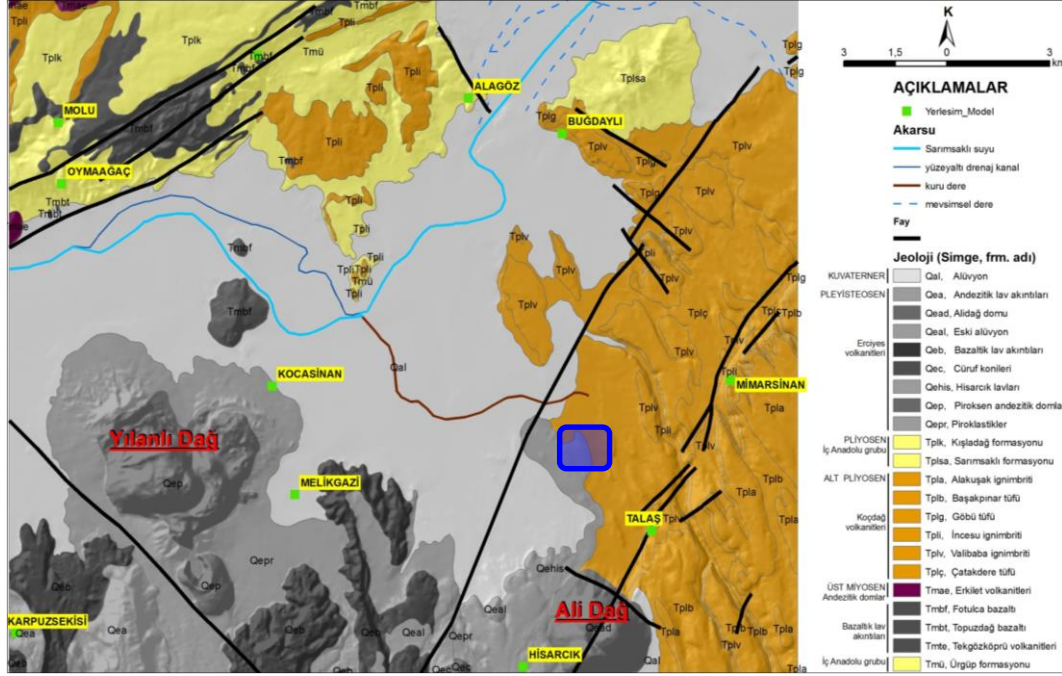




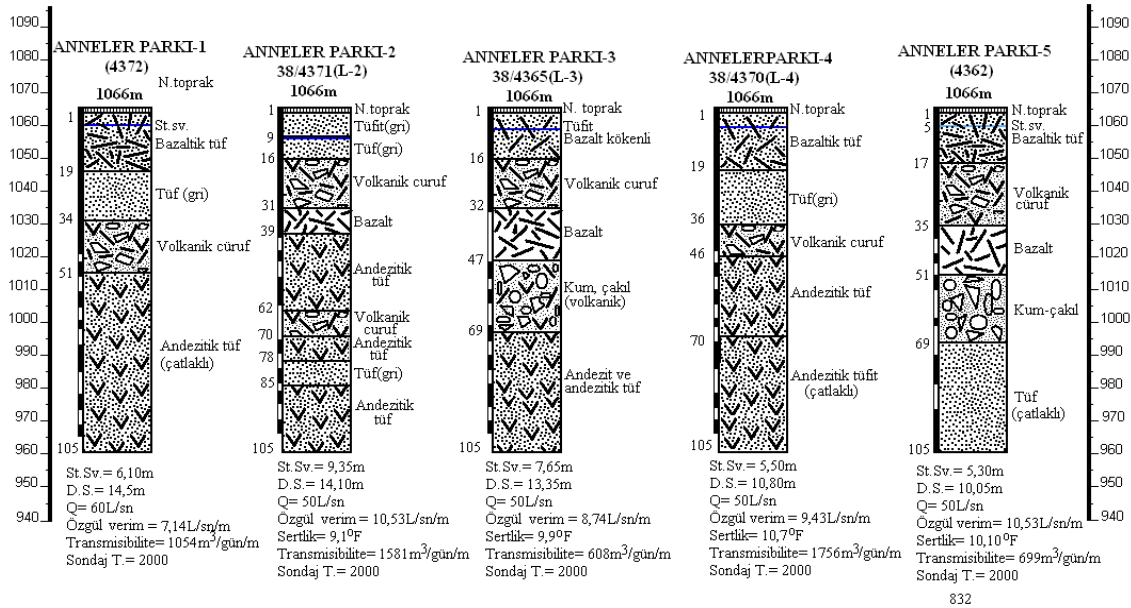
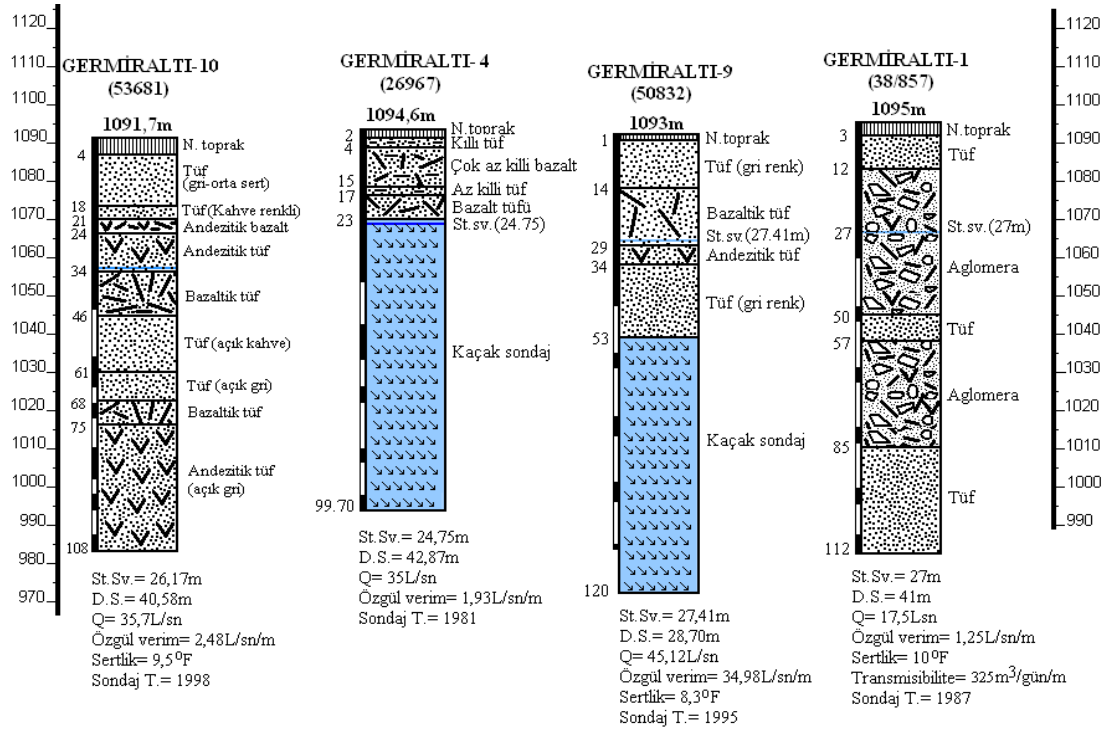
**Şekil 4.16.** Argincik mevkiinde açılmış sondaj kuyularının konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark., 2006; 2011b; Namkhai ve ark., 2012)

Argincik mevkiinin güneyinde yer alan Anneler Parkı ve Germiraltı KASKİ işletme tesislerine ait kuyular ile 12 nolu karotlu kuyusunda yer yer ileri düzey alterasyona uğramış yer yer sert ve/veya çok sert olup kırık-çatlak sistemine sahip Koçdağ volkanitlerine ait andezit, bazalt, bazaltik andezitik tuf, bazaltik tuf, andezitik tuf, volkanik cüruf ve aglomera

farklı kalınlıklarda ardanmalı olarak rastlanmıştır. Bu kuyularda düşüm 1,25-8,40 m, debi 17,5-60,0 lt/sn, özgül verim 1,25-34,98 lt/sn/m ve iletimlilik ise 608-1756 m<sup>2</sup>/gün aralığındı (Şekil 4.17.).



Şekil 4.17. Germiraltı ve Anneler Parkı mevkiinde açılmış sondaj kuyuların konum haritaları ile log bilgileri (Değirmenci ve ark, 2006; 2011b; Namkhai ve ark., 2012)



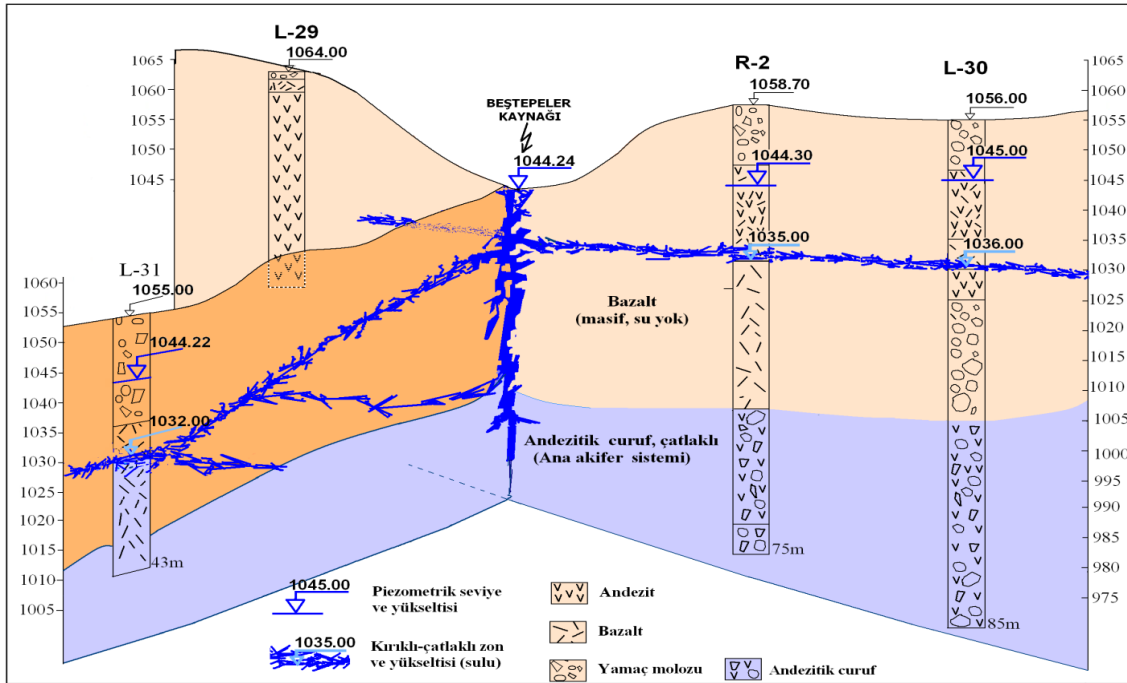
Şekil 4.17. Devam ediyor.

Model alanının doğusunda Koçdağ volkanitlerden Miyosen yaşlı tüf, tüfit, ignimbritler ve aglomera birimleri yer yer akifer, yer yer akitard özelliği taşımaktadır. Germiraltı ve Anneler Parkı kuyularında kırık çatlaklı kayaçlar akifer, masif birimler ise akifüj ve ileri derecede alterasyona uğramış tüfler akitard/akiklüd özelliği göstermektedir. Bölgede, kalınlıkları 6 m ile 120 m arasında değişen bazaltik tüf, 20 m ile 50 m arasında değişen aglomera, 5 m ile 10 m arasında değişen alterasyona uğramış tüf gözlenmiştir. Talas batısı, kuzeybatısı ve Gediris'teki kuyularda Erciyes volkanitlerinden bazaltik lav akıntıları (Qeb) olan bol kırık



çatlaklı bazalt ve bazaltik tüflere rastlanabilmektedir. Söz konusu birimler yer yer verimli akifer, yer yer akıtar/akıklüd özelliği göstermektedir.

Model alanındaki düzlüğü oluşturan ovanın güneyinde Beştepeler bölgesindeki KASKİ işletme tesisi kuyularında yüzeyden itibaren 0,5-5 m toprak örtüsünden sonra 30-33 m derinliğinde cüruf ve 80-100 m kalınlığında bazalt (kırık çatlaklı ve/veya masif) gözlenmiştir. Beştepeler’de, aralarındaki mesafeleri yaklaşık 50 m olan dört adet kuyudan üçünde yeraltısuyuna ulaşırken birinde (L-29) suya ulaşılmamıştır. Suya ulaşamamasının sebebi, kuyunun masif bazalt katmanında sonlanmış olmasıdır (Şekil 4.18) (Değirmenci ve ark., 2006).



Şekil 4.18. Kayseri Beştepeler kaynağı ve yakın çevresindeki araştırma kuyularının kuyu logları blok diyagramı (Değirmenci ve ark., 2006)

### 4.1.3. Yeraltısuyu Seviyelerinin Değerlendirilmesi

#### 4.1.3.1. Yeraltısuyu gözlem kuyularının dağılımı

Model alanı ve yakın çevresinde TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y170 nolu projesi kapsamında KASKİ tarafından açılan 15 adet araştırma sondaj kuyusu, DSİ tarafından yeraltısuyu seviyeleri ölçülmekte olan 3 adet limnigrafli kuyu, KASKİ'ya ait işletme kuyuları (7 adet) ile bazı ilçe belediyelerine (3 adet) ait kuyular olmak üzere toplam 28 adet yeraltısuyu seviye gözlem kuyusu (GK) mevcuttur. Sözü edilen yeraltısuyu seviye gözlemi yapılan kuyulara ait genel bilgiler Çizelge 4.3'te ve konum haritası ise Şekil 4.19'da verilmiştir.



**Çizelge 4.3.** Model alanı ve çevresinde yer alan yeraltısuyu gözlem kuyularına ait bilgiler

Sıra	Mevkii	Kuyu adı	İşletme sahibi	Kuyu başı kotu (m)	Derinlik (m)
1	Keykubat	SK1al	a.s.k.	1042,95	8
2	Keykubat	SK2	a.s.k.	1042,67	55
3	Keykubat	SK3al	a.s.k.	1043,46	8
4	Keykubat	SK4	a.s.k.	1043,34	38
5	Karpuzatan	SK5	a.s.k.	1044,08	43
6	Karpuzatan	SK7al	a.s.k.	1044,12	11
7	Karpuzatan	SK8al	a.s.k.	1044,64	14
8	Karpuzatan	SK6	a.s.k.	1044,89	44
9	Erkilet tarlası	SK9	a.s.k.	1041,25	40
10	Erkilet tarlası	SK11al	a.s.k.	1041,15	25
11	Argıncık	SK14al	a.s.k.	1059,75	25
12	Argıncık	SK10	a.s.k.	1059,81	54
13	KASKİ	SK13	a.s.k.	1051,49	54
14	Germiralı	SK12	a.s.k.	1095,50	95
15	Gediris	SK15	a.s.k.	1095,54	95
16	Taşlıburun	SK16	a.s.k.	1068,73	70
17	Kavaklık	Kavaklık P1	KASKİ	1075,72	100
18	Eğribucak	Eğribucak P1	KASKİ	1122,97	110
19	Kergahbağları	Kergahbağları	KASKİ	1126,22	152
20	Beştepeler	Beştepeler P3	KASKİ	1058,56	75
21	Buğdaylı	Buğdaylı P1	KASKİ	1060,11	104
22	Elagöz	Elagöz P1	KASKİ	1063,4	62
23	Mahrumlar	Mahrumlar P5	KASKİ	1052,92	112
24	Kumarlı	Kumarlı	Belediye	1074,50	168
25	Konaklı	Konaklı	Belediye	1097,79	151
26	Mahrumlar	DSİ Bahçesi (819)	DSİ	1052,00	117
27	Yeşilmahalle	Yeşilmahalle (8013)	DSİ	1046,46	74
28	Elagöz	Elagöz (826)	DSİ	1068,98	150

Not: a.s.k. - KASKİ araştırma sondaj kuyusu, KASKİ - işletme kuyu, Belediye - belediye kuyusu, DSİ - limnigrafı kuyu

#### 4.1.3.2. Yeraltısuyu seviye kotlarının dağılımı

Model alanı ve çevresinde Ekim 2009 – Eylül 2010 tarihleri arasında Çizelge 4.4.’te verilen yeraltısuyu seviyesi gözlem kuyularından DSİ limnigrafı kuyuları hariç 25 adedinde 12 dönem boyunca her dönem aynı gün ölçülmek üzere yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır ve bu ölçümlerin temel istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.5.’te verilmiştir.

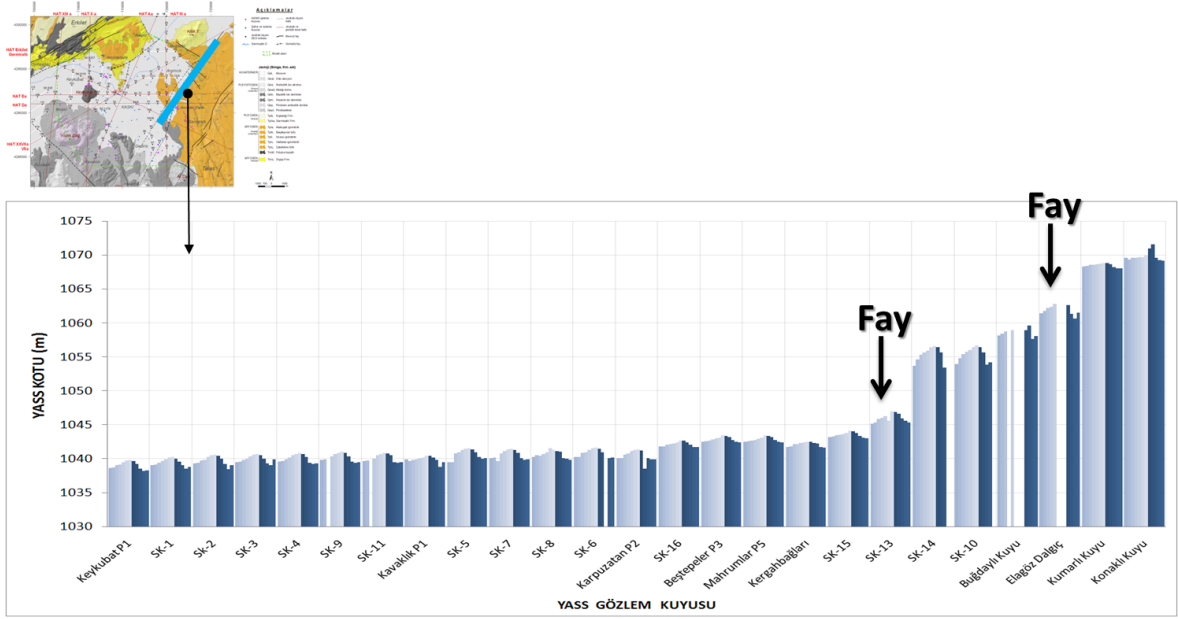
Model alanı içinde yer alan 2 adet ve dışında kalan 1 adet olmak üzere toplam 3 adet DSİ limnigrafı yeraltısuyu seviye gözlem kuyusunda ölçülen yeraltısuyu seviyelerine ilişkin bilgiler ile değerlendirmeler Bölüm 4.1.3.4.’te ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



Keykubat P1 işletme kuyusunda 1038,61 m, en yüksek değer ise Haziran 2010'da Konaklı kuyusunda 1071,03 m olarak ölçülmüştür. (Şekil 4.20).

**Çizelge 4.4.** Model alanındaki yeraltısuyu gözlem kuyularında ölçülen yeraltısuyu seviye kotlarının temel istatistiksel analiz sonuçları (Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır)

Kuyu Adı	Kuyu Başı Kotu (m)	Yeraltısuyu seviyesi kotları (m)					
		Temel istatistik parametreler					
		en düşük	en yüksek	en yüksek - en düşük	ortalama	standart sapma	değişim katsayısı
Keykubat P1	1041,15	1038,23	1039,84	1,61	1039,05	0,57	0,05
SK-1al	1042,95	1038,52	1040,25	1,73	1039,46	0,56	0,05
SK-2	1042,67	1038,43	1040,60	2,17	1039,74	0,66	0,06
SK-3al	1043,46	1039,02	1040,66	1,64	1039,93	0,53	0,05
SK-4	1043,34	1039,20	1040,84	1,64	1040,02	0,58	0,06
SK-9	1041,24	1039,40	1041,02	1,62	1040,21	0,59	0,06
SK-11al	1041,14	1039,36	1040,83	1,46	1040,10	0,58	0,06
SK-5	1044,08	1039,48	1041,57	2,09	1040,64	0,75	0,07
SK-7al	1044,12	1039,65	1041,43	1,78	1040,55	0,64	0,06
SK-8al	1044,64	1039,79	1041,53	1,74	1040,63	0,56	0,05
SK-6	1044,89	1040,08	1041,60	1,53	1040,86	0,58	0,06
Karpuzatan P2	1044,19	1038,56	1041,42	2,86	1040,42	0,82	0,08
SK-16	1068,72	1041,70	1042,70	1,01	1042,15	0,35	0,03
Beştepeliler P3	1058,56	1042,44	1043,43	0,99	1042,87	0,34	0,03
Mahrumlar P5	1052,92	1042,42	1043,42	1,00	1042,85	0,34	0,03
Kergahbağları	1126,22	1041,65	1042,48	0,83	1042,12	0,32	0,03
SK-15	1095,54	1043,04	1044,13	1,09	1043,53	0,36	0,03
SK-13	1051,49	1045,15	1046,99	1,84	1045,96	0,61	0,06
SK-14al	1059,74	1053,45	1056,63	3,17	1055,39	1,12	0,11
SK-10	1059,80	1053,83	1056,66	2,83	1055,37	1,03	0,10
Buğdaylı Kuyu	1060,11	1057,62	1059,65	2,03	1058,57	0,64	0,06
Elagöz Dalgıç	1067,28	1060,69	1062,78	2,09	1061,86	0,68	0,06
Kumarlı Kuyu	1074,50	1068,09	1068,88	0,79	1068,51	0,28	0,03
Konaklı Kuyu	1097,79	1069,19	1071,58	2,39	1069,86	0,72	0,07
	<b>en düşük</b>	1038,23	1039,84	0,79	1039,05	0,28	0,03
	<b>en yüksek</b>	1069,19	1071,58	3,17	1069,86	1,12	0,11
	<b>en yüksek - en düşük</b>	30,96	31,74	2,38	30,81	0,84	0,08
	<b>ortalama</b>	1045,37	1047,12	1,75	1046,28	0,59	0,06
	<b>standart sapma</b>	9,61	9,76	0,64	9,63	0,21	0,02
	<b>değişim katsayısı</b>	0,92	0,93	36,62	0,92	35,26	34,93



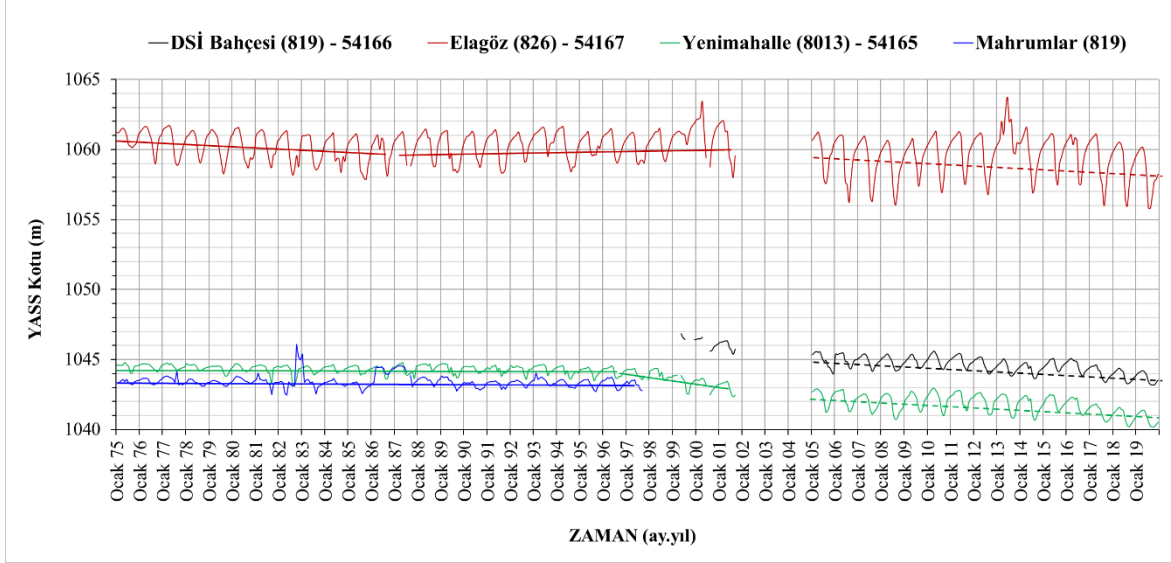
**Şekil 4.20.** Yeraltısuyu gözlem kuyularında 2010 su yılı boyunca ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot değerlerinin alansal dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b ve Namkhai ve ark., 2012’den yararlanılmıştır)

#### 4.1.3.3. Yeraltısuyu seviye kotlarının zamansal dağılımı

TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y170 nolu proje ile bu tez çalışması kapsamında, inceleme alanında DSİ tarafından açılmış olup, yeraltısuyu kotu gözlemleri yapılmakta olan 819 nolu Mahrum Bağları (gözlem yılları 1975-1997), 819 nolu DSİ Bahçesi (gözlem yılları 1998-2001 ile 2005-2019), 826 nolu Elagöz (gözlem yılları 1975-2001 ile 2005-2019) ve 8013 nolu Yeşilmahalle (gözlem yılları 1975-2001 ile 2005-2019) adlı dört adet yeraltısuyu gözlem kuyusunda (GK) ölçülen veriler temin edilmiş olup, sözü edilen yeraltısuyu seviye gözlem kuyularına ait yeraltısuyu seviyesi kotlarının aylık, mevsimsel ve yıllık olarak nasıl değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Mahrum Bağları (819) GK, Mahrumlar P5 kuyusunun hemen kuzeydoğusunda yer almaktaydı. Ancak, tez çalışması kapsamında sahada gerçekleştirilen çalışmalar esnasında DSİ 12. Bölge Müdürlüğü’nde çalışan yetkili kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda kuyuda meydana gelen arızadan dolayı, Ekim 1997 tarihinden itibaren yeraltısuyu seviyesi ölçümlerinin yapılamadığı belirlenmiştir. Sözü edilen kuyunun kapatılmasından sonra, bölgenin yeraltısuyu seviyesinin ölçülmesi amacıyla Mahrum Bağları kuyusunun hemen kuzeyinde DSİ Bölge Müdürlüğü’ne yakın bir yerde DSİ Bahçesi (819) adlı yeni kuyu açılmış olup Mayıs 1999 tarihinden itibaren aylık ölçekte yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmaya başlanmıştır.

Şekil 4.21 incelendiğinde, Mahrum Bağları (819) kuyusunda Ocak 1975 – Eylül 1997 tarihleri arasında ölçümlerin gerçekleştiği gözlenmiştir. Gerek saha çalışması gerekse DSİ’den alınan bilgilere göre, sözü edilen kuyunun Eylül 1997’de kapatılıp yerine DSİ Bahçesi kuyusunun aktif hale getirildiği belirlenmiştir. Dolayısıyla, DSİ Bahçesi kuyusunda 1999-2001 yılları arasında kesikli ve Ocak 2005 – Aralık 2019 tarihleri arasında ise sürekli olarak yeraltısuyu seviyesi ölçülebilmektedir.



**Şekil 4.21.** Yeraltısuyu gözlem kuyularında 1975-2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot değerleri ile trendlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b’den yararlanılmıştır)

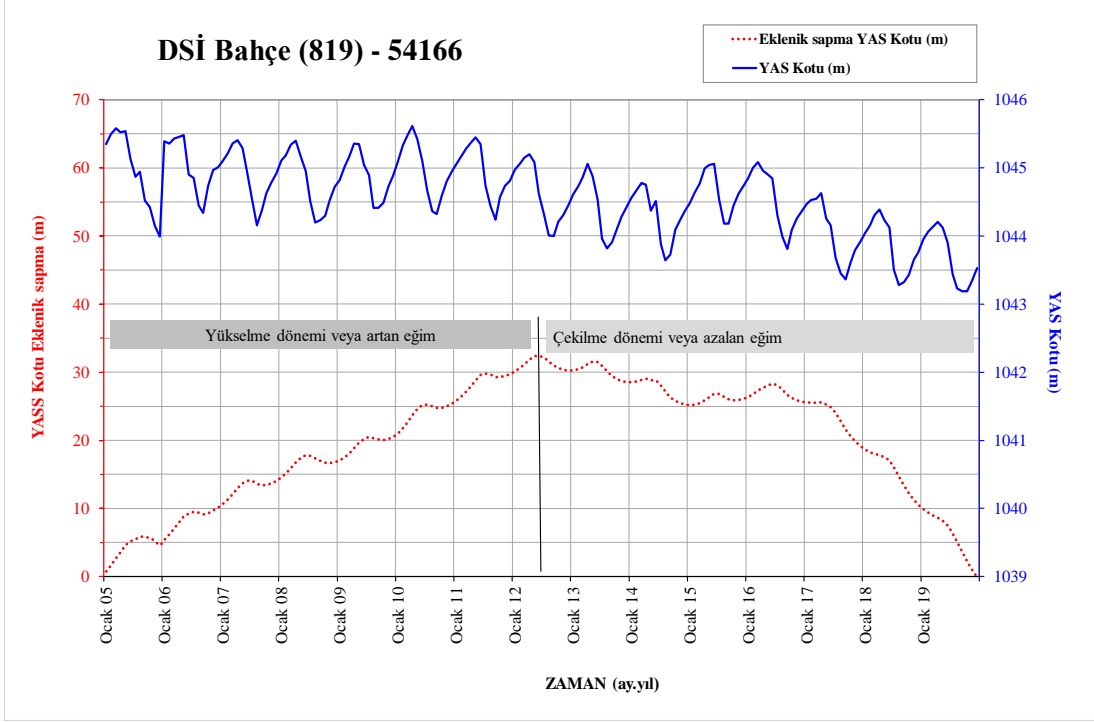
Diğer iki adet kuyuda ise Ocak 1975 – Eylül 2001 ve Ocak 2005 – Aralık 2019 tarihleri arasında hemen hemen sürekli olarak yeraltısuyu seviyesi ölçülebilmektedir (Şekil 4.21.).

#### Model alanında yeraltısuyu seviyesinin yıllar içindeki değişimi

Kuyularda ölçülen yeraltısuyu seviyesi değerleri incelendiğinde, 1975-2019 yılları arasında genel olarak azalan bir eğilim gözlenmiştir. Ayrıca, yıl içindeki mevsimsel değişimi incelendiğinde 1975-2001 yılları arasında tarihleri arasında genel olarak yeraltısuyu seviyesinde yıl içindeki mevsimsel değişimi yaklaşık olarak ortalama 2 m olup, bu tarihlerde yeraltısuyu seviyesi trend eğimi daha yatayıdır. Ama, 2001-2019 yılları arasında ise gerek iklim değişikliği, gerekse artan nüfus ile büyüyen sanayileşmeye bağlı olarak su ihtiyacının artmasından dolayı bu değişim yaklaşık olarak ortalama 6 m olup, bu tarihlerde yeraltısuyu seviyesi eğimi negatif yönde (azalan) daha çok arttığı göztermiştir (Şekil 4.21.).



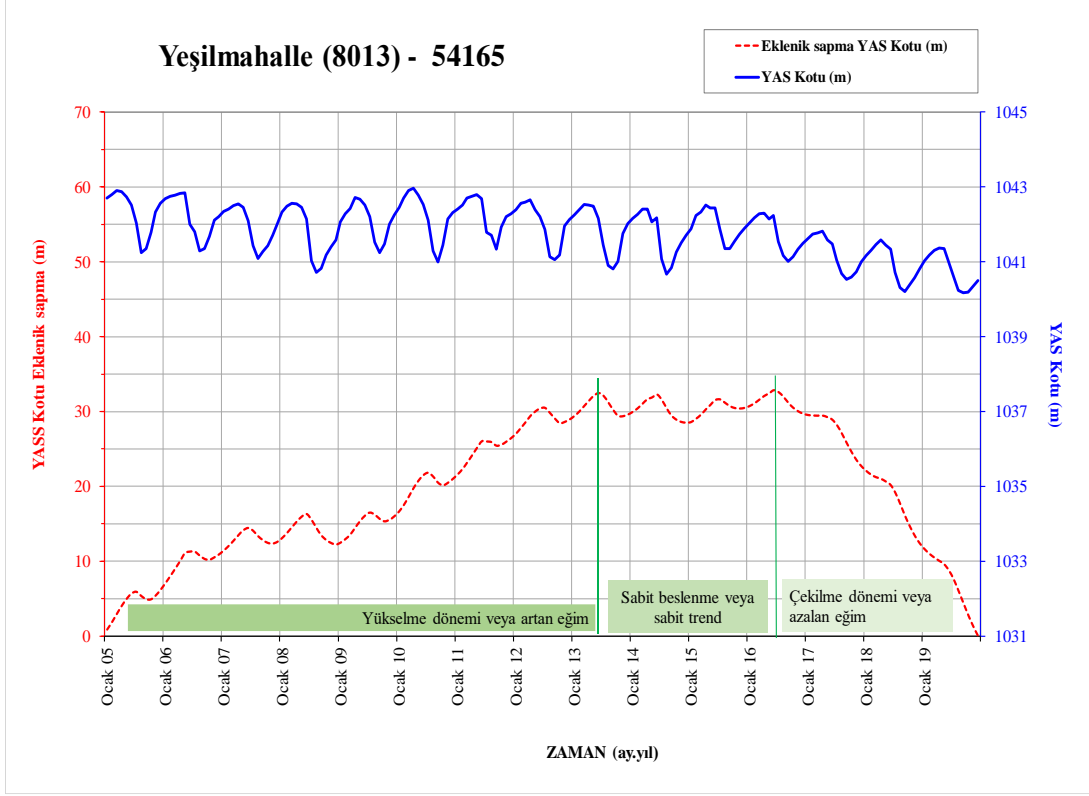
DSİ Bahçesi (819) kuyusunda, Ocak 2005 ile Haziran 2012 tarihleri arasında yeraltısuyu seviyesinde yükselme veya artan trend dönem gözlenirken, Haziran 2012 – Aralık 2019 tarihleri arasında ise çekilen veya azalan trend dönemi gerçekleşmiştir (Şekil 4.22).



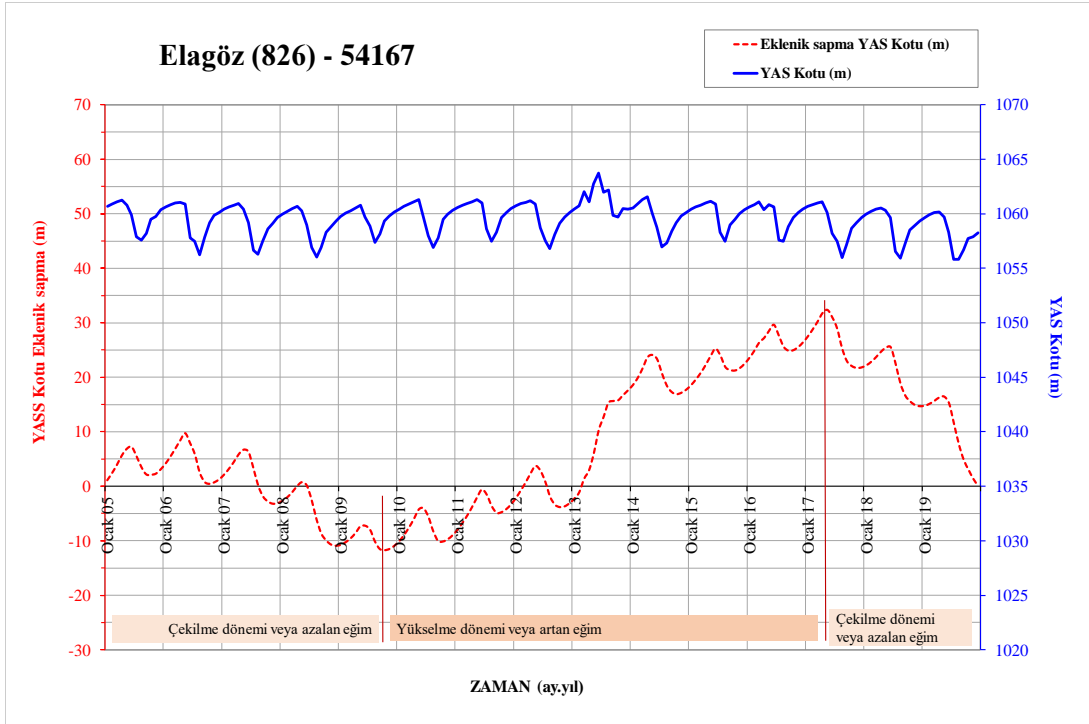
**Şekil 4.22.** DSİ Bahçesi GK’da Ocak 2005 - Aralık 2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot ile eklenik sapma değerlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b’den yararlanılmıştır)

Yeşilmahalle kuyusunda, Ocak 2005 ile Haziran 2013 tarihleri arasında yeraltısuyu seviyesinde yükselme veya artan trend dönemi, Haziran 2013 – Temmuz 2016 tarihleri arasında sabit beslenme veya sabit trend dönemi, Temmuz 2016 – Aralık 2019 tarihleri arasında ise çekilen veya azalan trend dönemi gerçekleşmiştir (Şekil 4.23.).

Elagöz (826) kuyusunda, Ocak 2005 ile Ekim 2009 tarihleri arasında yeraltısuyu seviyesinde çekilme veya azalan trend dönemi, Ekim 2009 – Mayıs 2017 tarihleri arasında yükselme veya artan trend dönemi, Mayıs 2017 – Aralık 2019 tarihleri arasında ise çekilen veya azalan trend dönemi gerçekleşmiştir (Şekil 4.24.).



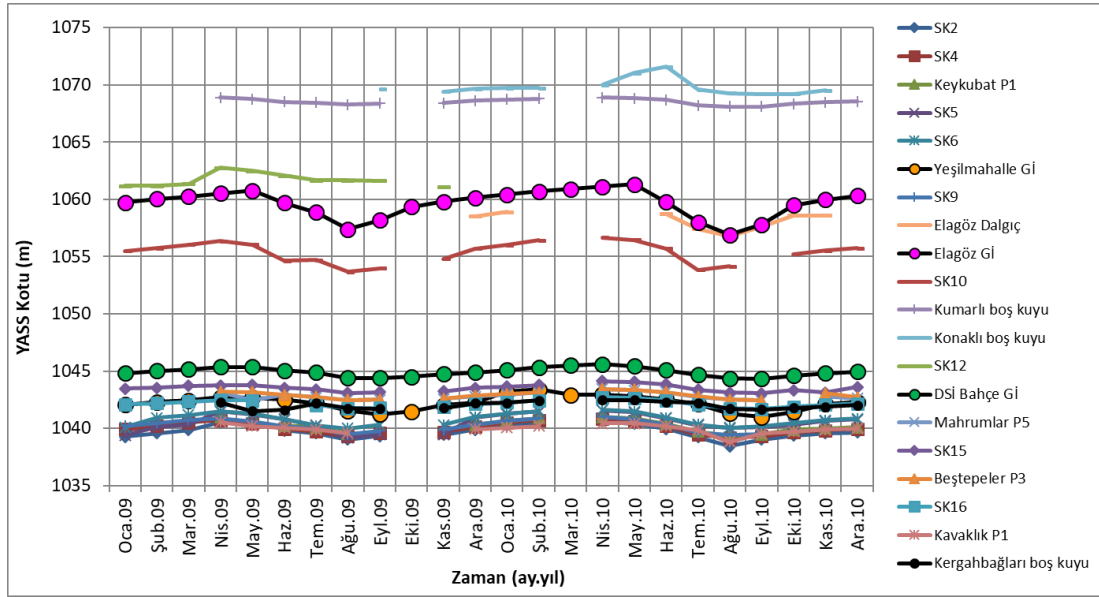
**Şekil 4.23.** Yeşilmahalle (8013) GK'da Ocak 2005 - Aralık 2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot ile eklenik sapma değerlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b'den yararlanılmıştır)



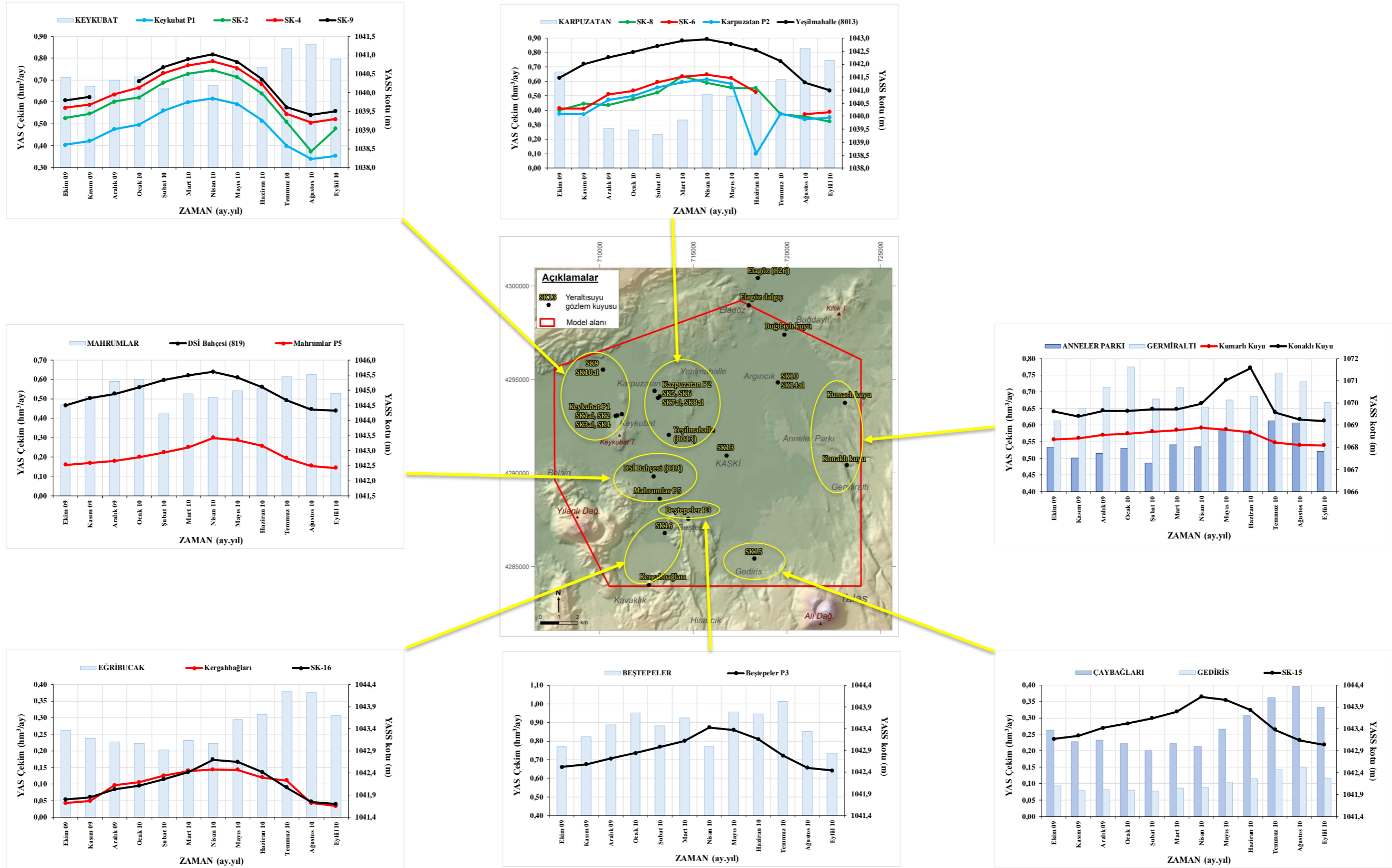
**Şekil 4.24.** Elagöz 8826) GK'da Ocak 2005 - Aralık 2019 yılları arasında ölçülen aylık yeraltısuyu seviyesi kot ile eklenik sapma değerlerini gösterir grafik (DSİ, 2019b'den yararlanılmıştır)

### Yeraltısıyu seviyesinin mevsimsel değişimi

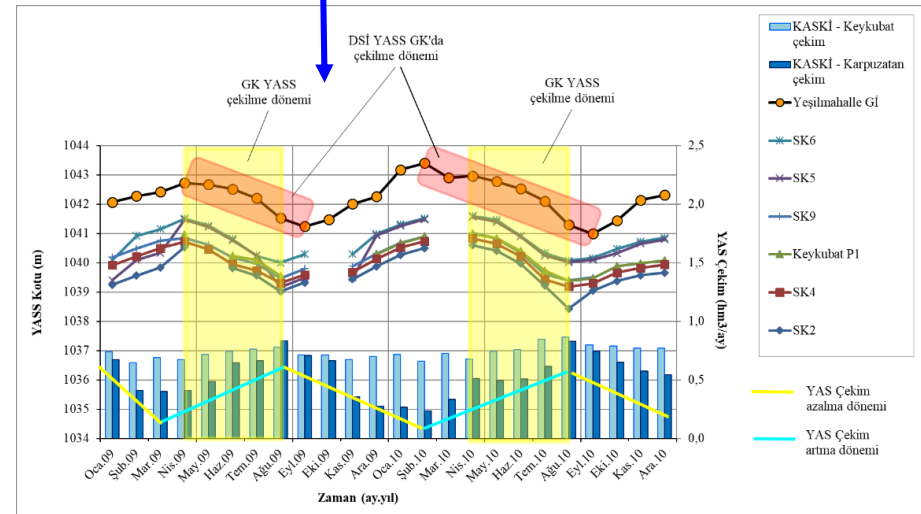
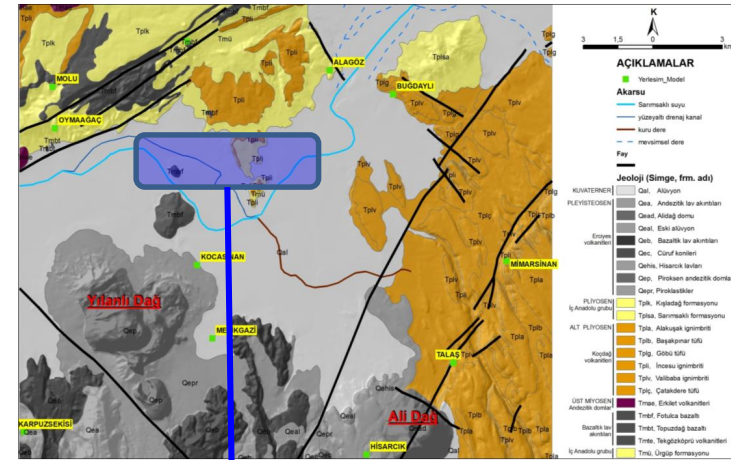
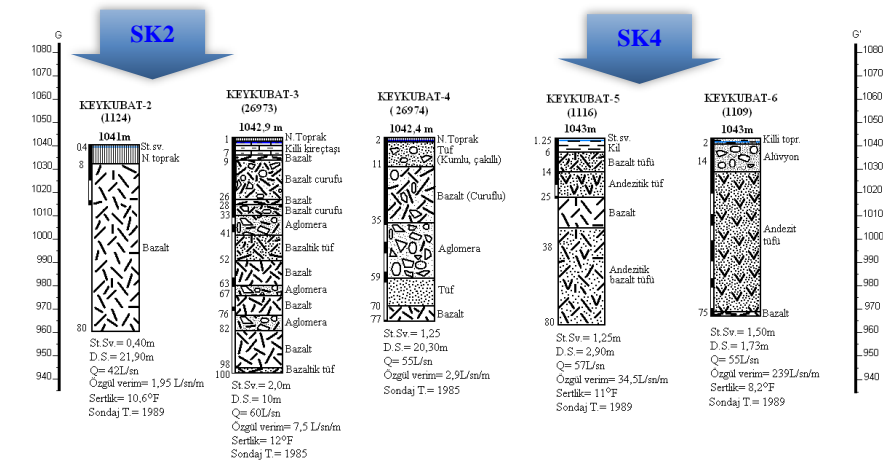
Kayseri Kenti volkanik kayaç akifer sisteminde yeraltısıyu seviyesi yıl içinde Mayıs ayına kadar yükselmekte, Haziran ayında azalmaya başlar ve Eylül ayında yeniden yükselmektedir (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26). Yeraltısıyu seviyesindeki azalış ve artış miktarları, kuyuların açıldığı jeolojik birimlerinin hidrojeolojik özelliklerine ve yeraltısıyu beslenme alanına olan mesafeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir.



**Şekil 4.25.** Model alanı ve çevresinde yer alan yeraltısıyu seviyesi gözlem kuyularında mevsimsel olarak yeraltısıyu dağılım grafiği (2009-2010 yılları) (Değirmenci ve ark., 2011b'den yararlanılmıştır)

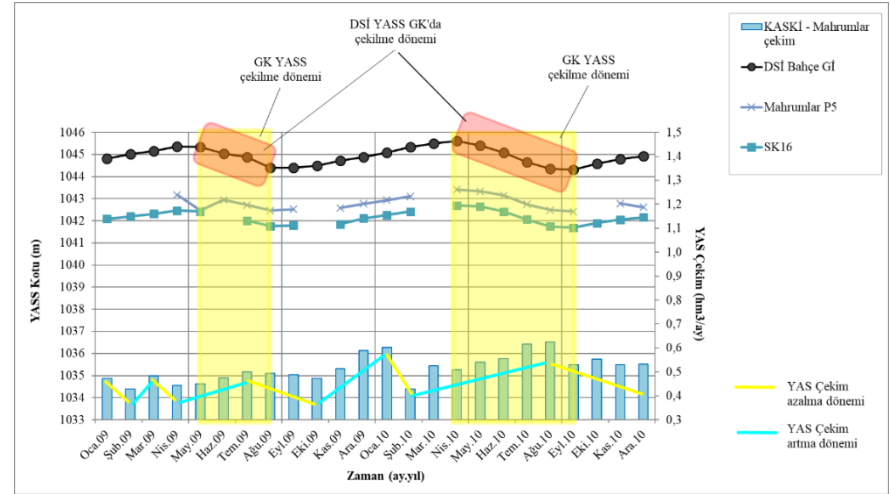
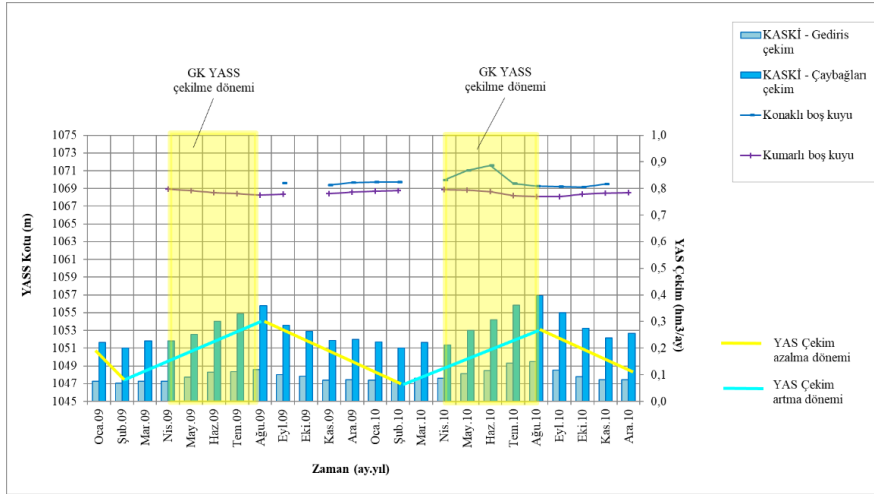
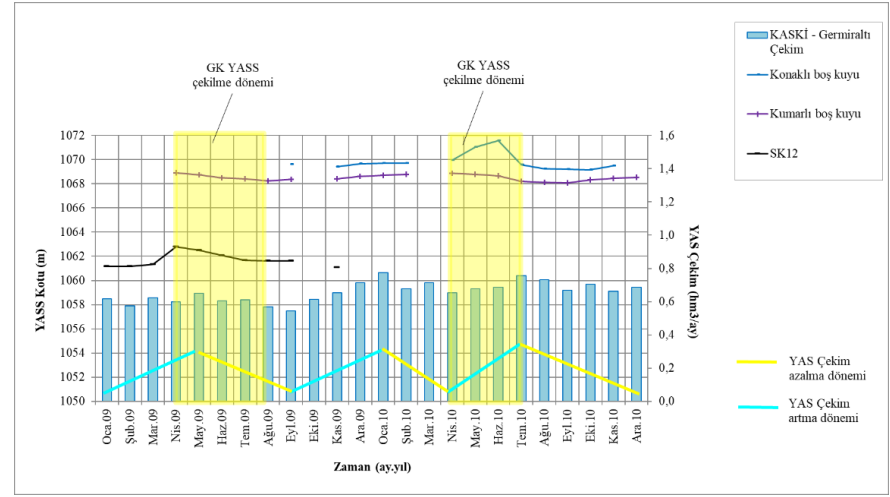
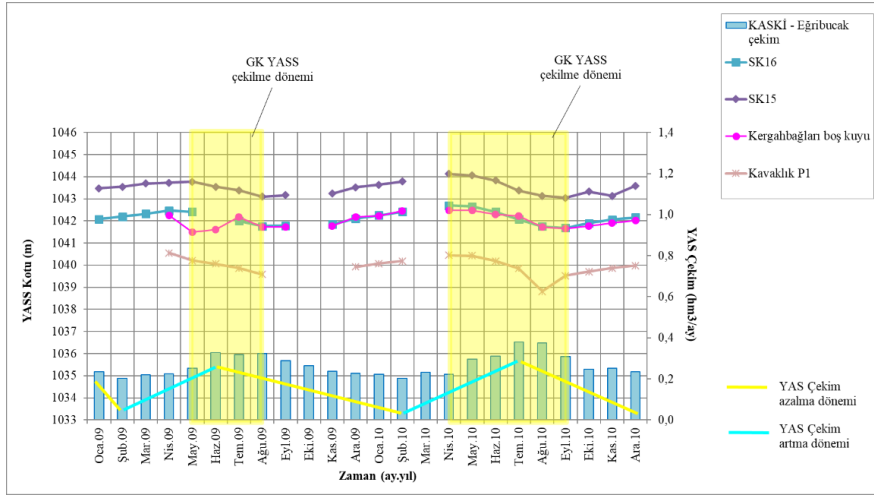


Şekil 4.26. KASKİ işletme tesislerince aylık ölçekte çekilen yeraltısuyu miktarları ile yeraltısuyu GK'lerde ölçülen yeraltısuyu seviyesi kot dağılımlarına ilişkin grafikler (2010 su yılı) (DSİ, 2019b; Değirmenci ve ark., 2006; 2011b ile KASKİ, 2019'dan yararlanılmıştır)



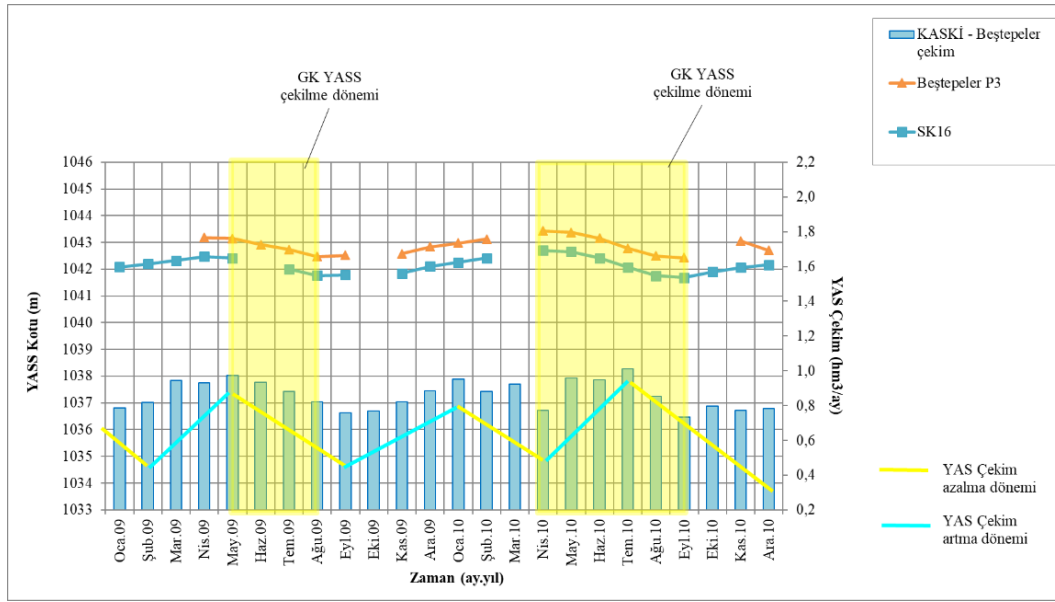
Şekil 4.26. Devam ediyor.





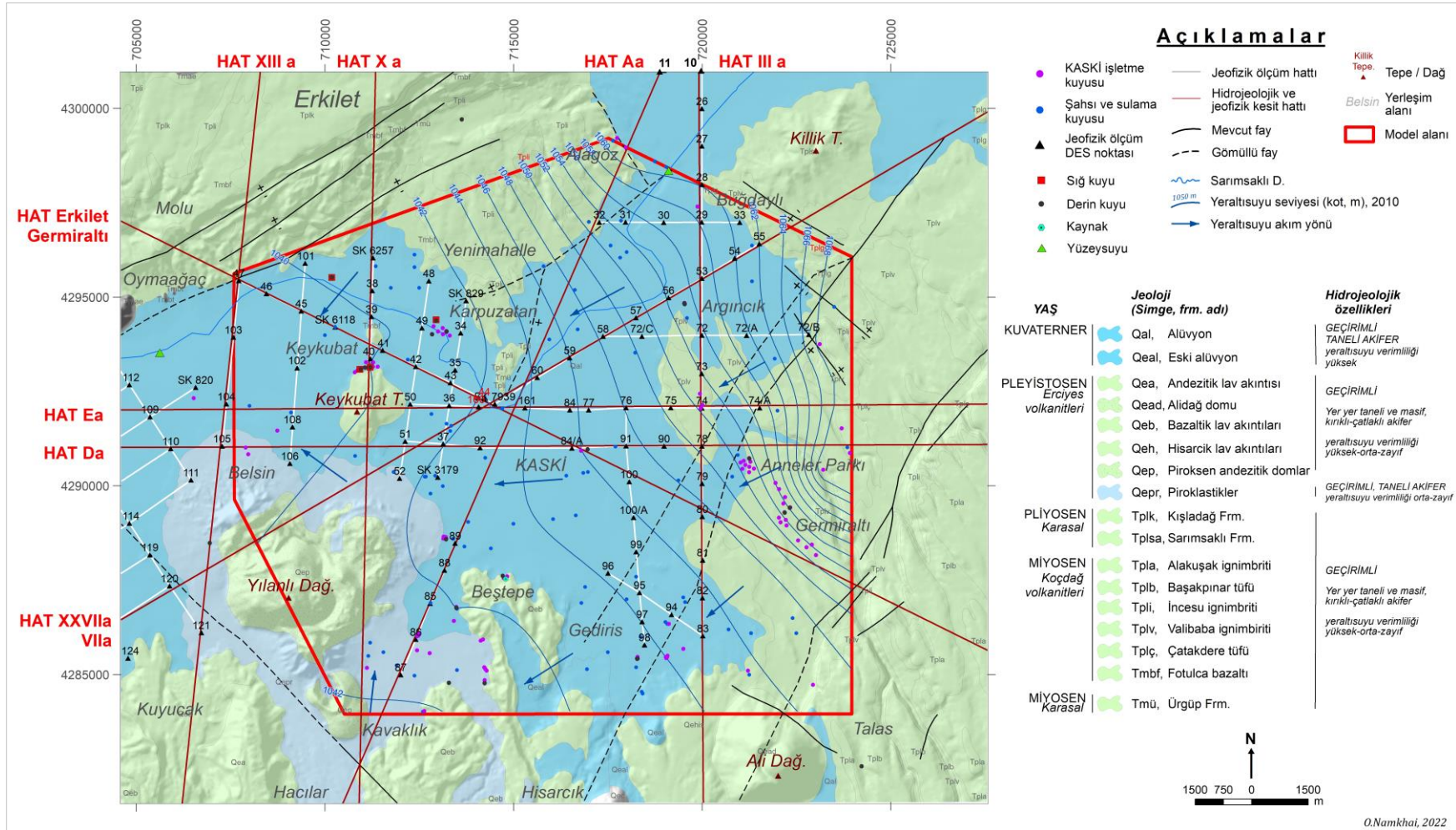
Şekil 4.26. Devam ediyor.





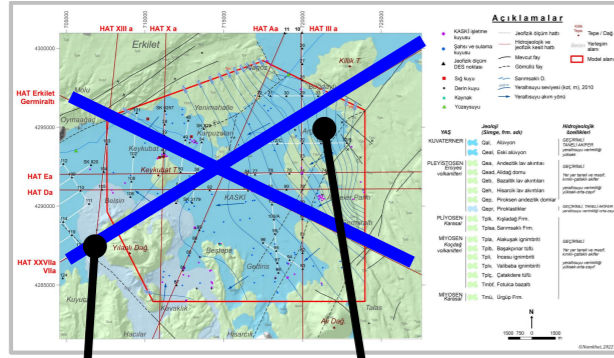
**Şekil 4.26.** Devam ediyor.

Yapılan analizler ile değerlendirmeler sonucunda inceleme alanında yüzeylenen jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ortaya konulmuştur ve inceleme alanı içinde kalan model alanı ve çevresinin 1/100.000 ölçekli hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.27). Model alanı ve çevresinde yüzeylenen jeolojik birimlerinin hidrojeolojik yapısıyla özelliklerinin üç boyutlu tanımlanabilmesi amacıyla farklı doğrultularda hidrojeolojik kesitler alınmıştır. Bunlar, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu Hat-Erkilet-Germiraltı ve güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu Hat-XXVIIa (Şekil 4.28); kuzey-güney doğrultulu Hat-XIIIa, Hat-Xa ile Hat-IIIa (Şekil 4.29); kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu Hat-Aa, batı-doğu doğrultulu Hat-Ea ile Hat-Da adlı kesitlerdir (Şekil 4.30).

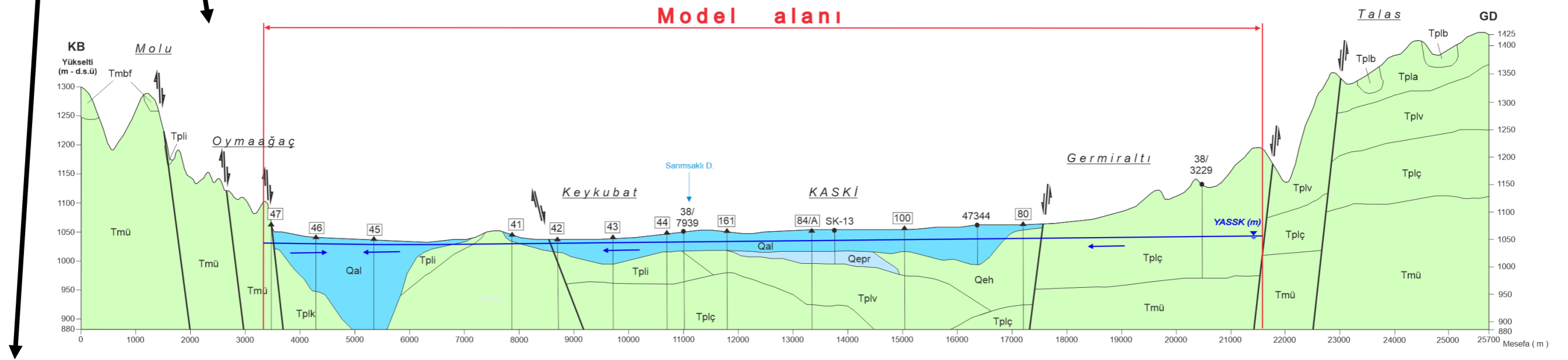


**Şekil 4.27.** Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik haritası ile hidrojeolojik kesit doğrultuları gösterir harita (Dalkılıç, 2009; Değirmenci ve ark., 2011b; Dönmez ve ark., 2005; DSİ, 1966,1969; Namkhai ve ark., 2012; 1958-2013 yılları arasında DSİ, KASKİ, İller Bankası, Sulama Birliği ile şahıs tarafından açılmış kuyuların log bilgileri; sözü edilen raporlar ile kuyu log bilgilerinden yararlanılarak çizilmiştir)

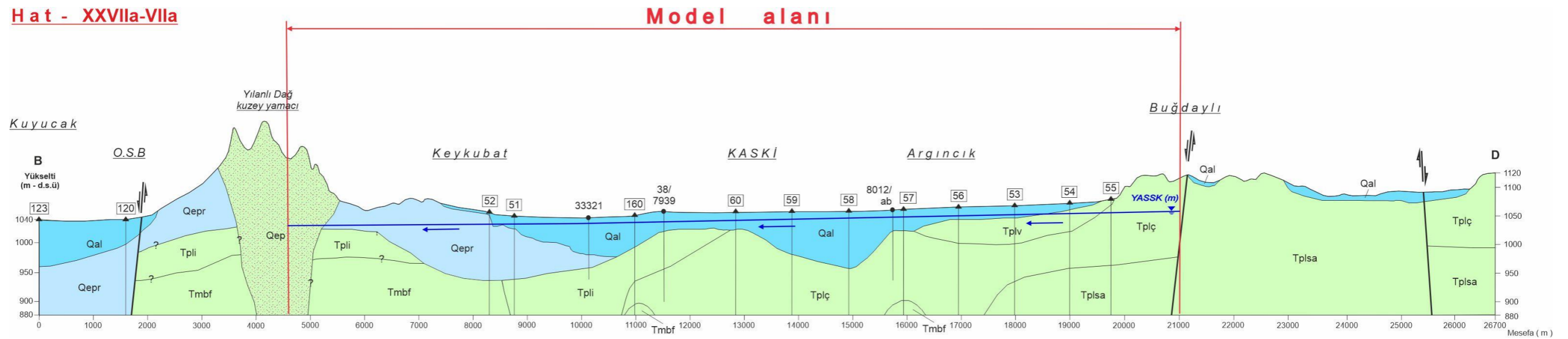




**H a t - Erkilet/Gemiraltı**

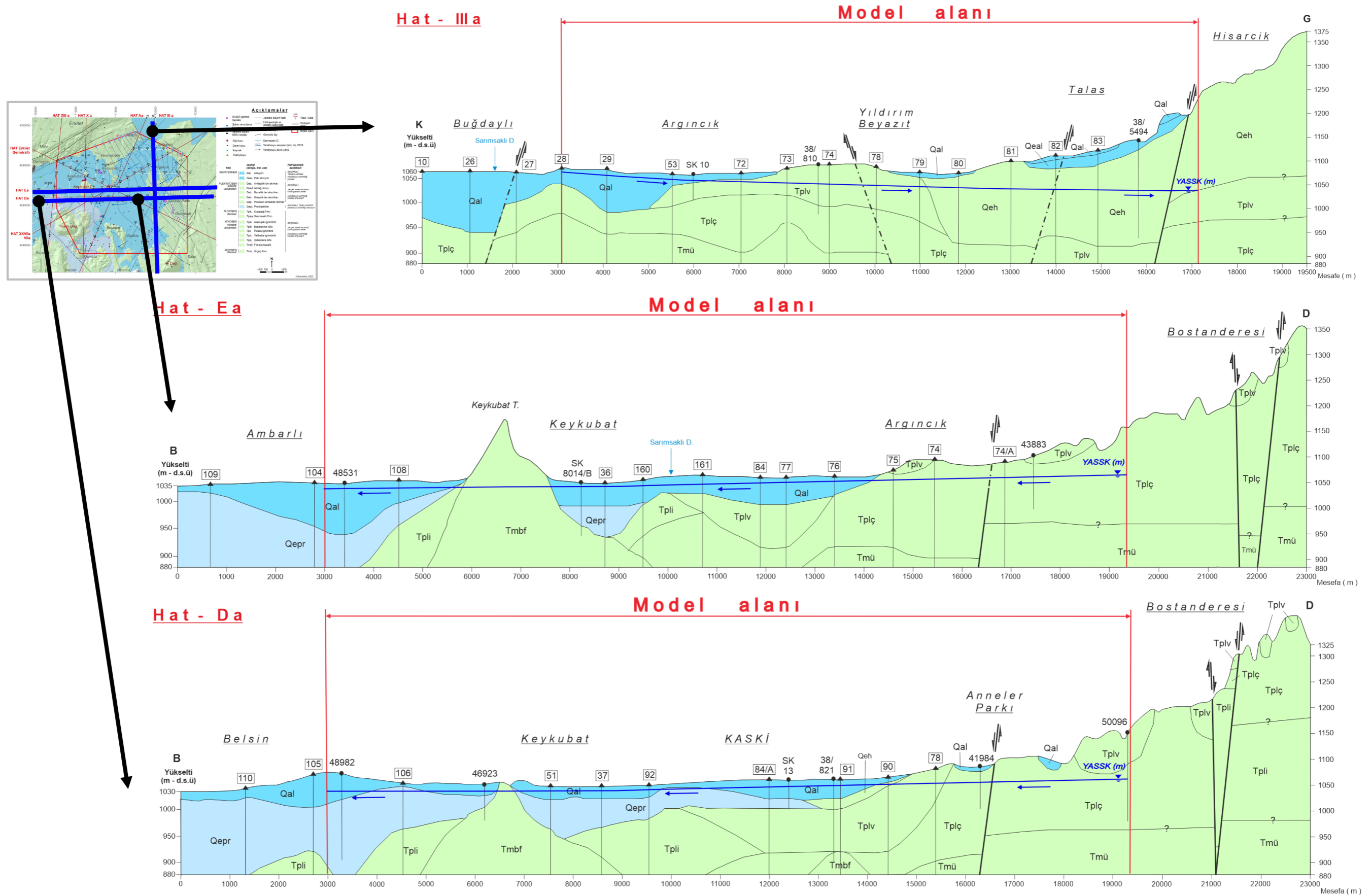


**H a t - XXVIIa-VIIa**

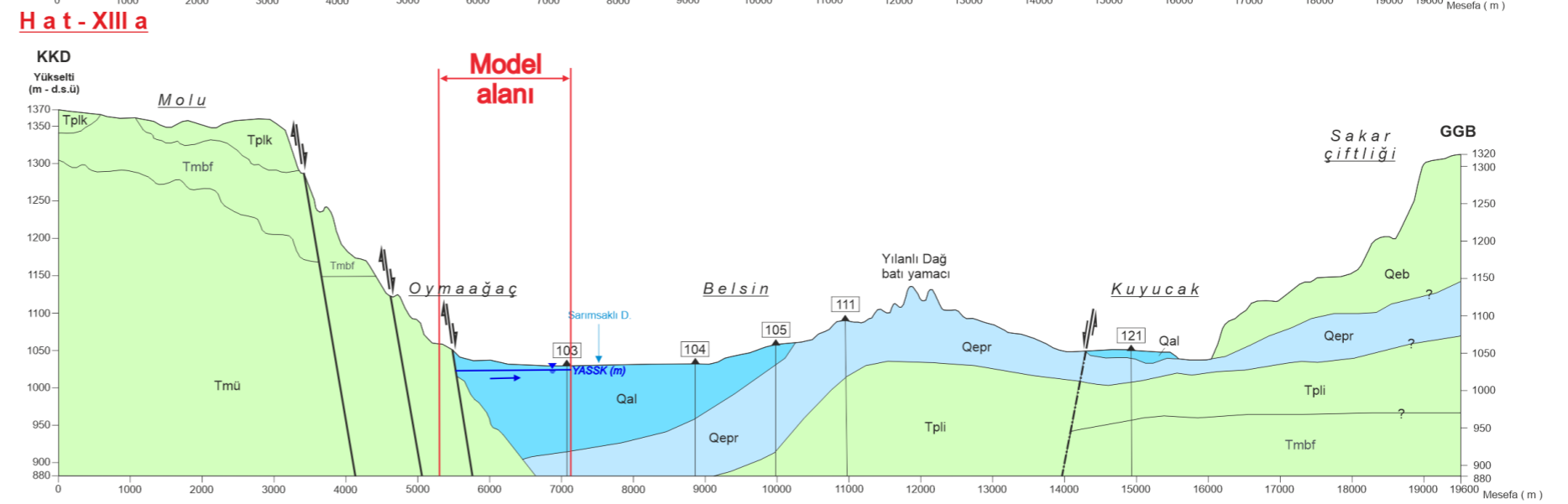
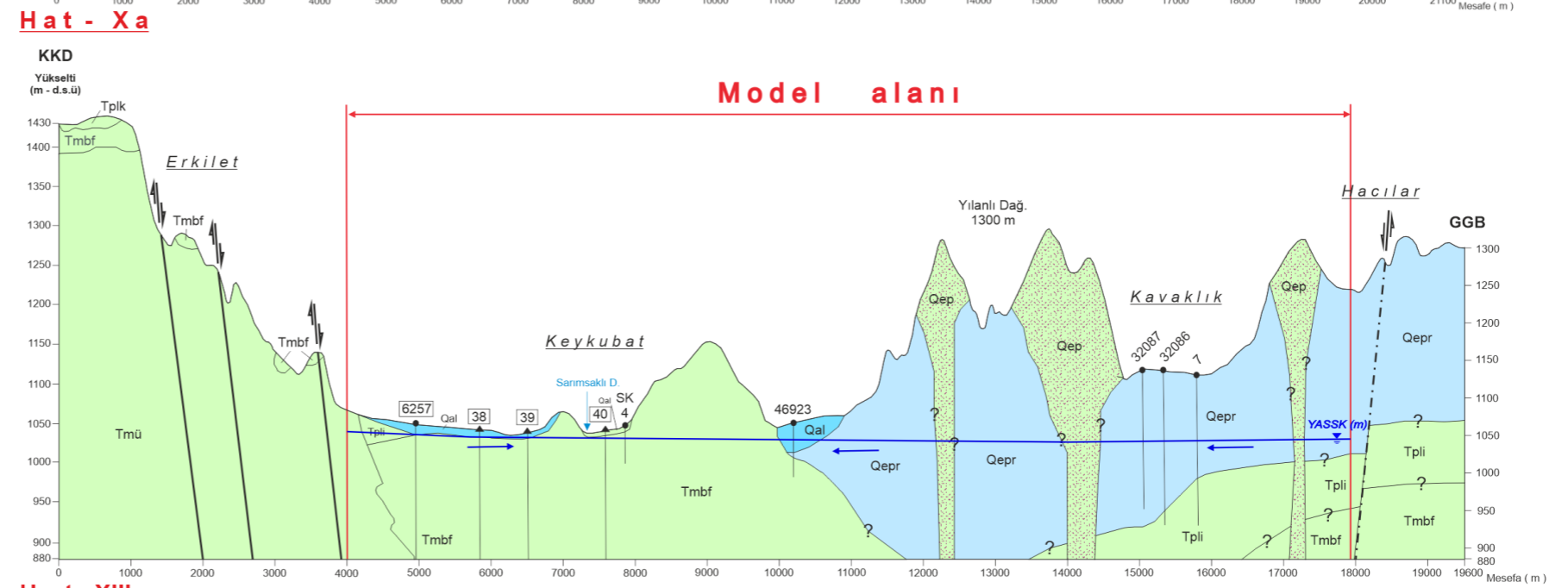
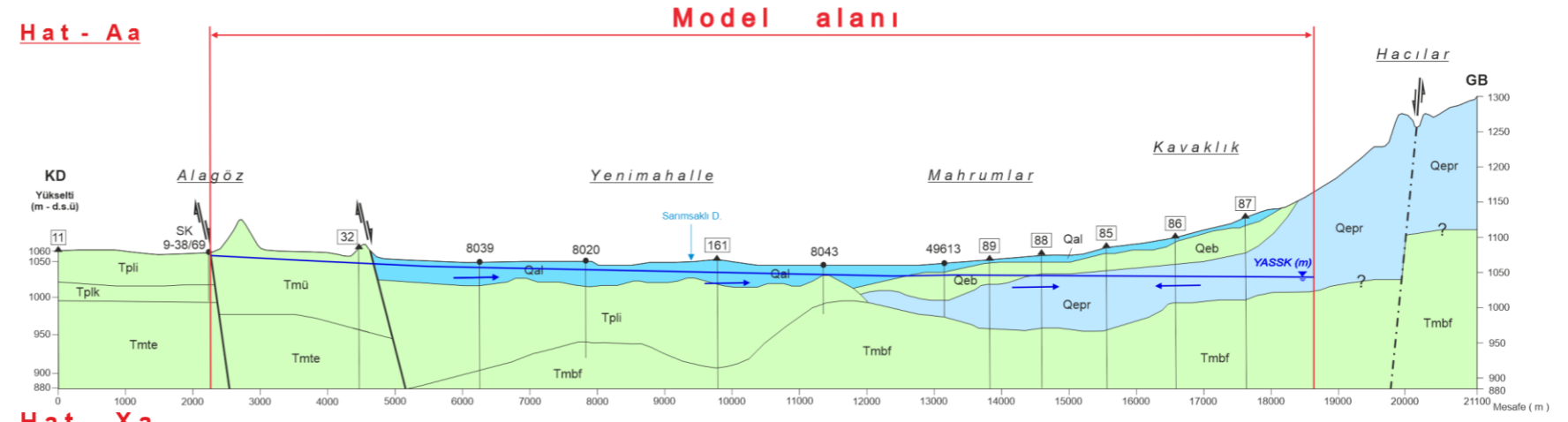
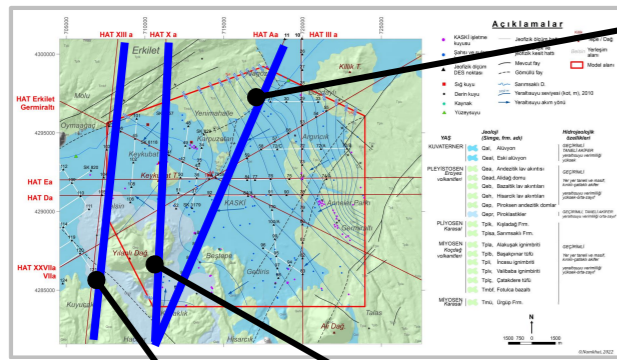


**Şekil 4.28.** Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik kesit: Hat-Erkilet-Gemiraltı ve Hat XXVIIa-VIIa (Şekil 4.27’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)





Şekil 4.29. Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik kesit: Hat-IIIa, Hat-Ea ve Hat-Da (Şekil 4.27’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)



Şekil 4.30. Model alanı ve çevresine ait hidrojeolojik kesit: Hat-XIIIa, Hat-Xa, Hat-Aa (Şekil 4.27’de yararlanılan raporlar ile kuyu log bilgileri kullanılarak çizilmiştir)

## 5. HİDROJEOKİMYA VE İZOTOP HİDROLOJİSİ

### 5.1. Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

#### Örnekleme noktalarının belirlenmesi

Önceki bölümlerde anlatılan jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar ile daha önce inceleme alanında başka araştırmacılar tarafından yapılan çalışmaların bulguları birlikte değerlendirilerek Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sistemini (KVAS'i) oluşturan hidrolojik jeolojik-hidrojeolojik yapısının dikkate alındığı yerinde ölçüm ve örnekleme noktaları seçilmiştir.

Seçilen örnekleme noktalarından düşük ve yüksek su seviyesi dönemleri temsil edilecek şekilde Çizelge 5.1'de adları, koordinatları ile kotları verilen ve Şekil 5.1'de ise konumları gösterilen 39 adet örnekleme noktasından su kaynaklarının fiziko-kimyasal karakterizasyonlarında arazide yerinde ölçümler yapılmıştır. Ayrıca, sözü edilen noktalardan su kimyası ile izotop (duraylı izotoplar ile trityum) hidrolojisi amacıyla su örnekleri alınarak analizleri yapılmıştır. Örnekleme noktalarının Kayseri ovasındaki genelleştirilmiş jeolojik yapının içindeki genel dağılımı ise Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

Örnekleme noktalarından sığ kuyular, Kayseri Kenti ovasının ortası ile batıdaki çıkışındaki alanlarda, alüvyon ile Pliyosen yaşlı sedimanter birimlerinin mevcut olduğu Keykubat, Karpuzatan ile Erkilet mevkilerinde açılmıştır. Örnekleme için derinlikleri 8 m ile 25 m arasında değişen toplam 4 adet sığ kuyu seçilmiştir. Ovanın doğusu, güneyi ile batısında Kergahbağları, Erciyes kasabası, Eğribucak, Taşlıburun, Mahrumlar, Beştepeler, Gediris, Organize Sanayi Bölgesi mevkiinde 50 m ile 150 m arasında değişen derinliklere sahip toplam 23 adet derin kuyu, derin akiferi temsil etmek üzere örneklenmiştir.

Kaynak suları olarak Erciyes kayak tesisi, Başpınar, Gümüşçe, Beştepeler, Dokuzpınarlar, Hanyeri ve Sodalı mevkiindeki 7 adet kaynak suyu örneklenmiştir. Alagöz mevkiinin güneyindeki Sarımsaklı Deresi, Ambarlı mevkiindeki Ambarlı Suyu Regülatörü yakını ile ova çıkışındaki Karasu Deresi ile Ambarlı Suyu'nun birleştiği çıkış noktası olan Boğazköprü olmak üzere 3 yerden akarsu örneği alınmıştır. Erciyes Dağı'ndaki kayak merkezi mevkiinde farklı kotlardan 2 adet kar izleme noktasında örnekleme yapılmıştır.

**Çizelge 5.1. Örneklemeye noktalarına ait genel bilgiler**

No.	Tür No.	Örnek kodu	Mevkii	Adı	İşletenlerin adı	Tür	Koordinatlar			
							PCS, ED50 UTM Zon*	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	1	KÖ-S01	ERKİLET	SonK. 11	KASKİ	siğ kuyu	36 N	710184	4295523	1041,15
2	2	KÖ-S02	KARPUZATAN	SonK. 7	KASKİ	siğ kuyu	36 N	712950	4294402	1044,12
3	3	KÖ-S03	KEYKUBAT	SonK. 1	KASKİ	siğ kuyu	36 N	710931	4293089	1042,95
4	4	KÖ-S04	KEYKUBAT	SonK. 3	KASKİ	siğ kuyu	36 N	711199	4293144	1043,46
5	1	KÖ-D01	ANNELER PARKI	Anneler Parkı 1	KASKİ	derin kuyu	37 N	721250	4290725	1076,18
6	2	KÖ-D02	ARGINCIK	SonK. 10	KASKİ	derin kuyu	36 N	719537	4294819	1059,81
7	3	KÖ-D03	ARGINCIK	SonK. 14	KASKİ	derin kuyu	36 N	719528	4294836	1059,75
8	4	KÖ-D04	BEŞTEPELER	Beştepeler 2	KASKİ	derin kuyu	36 N	714712	4287617	1056,00
9	5	KÖ-D05	EĞRİBUCAK	Eğribucak 1	KASKİ	derin kuyu	36 N	714233	4284775	1122,50
10	6	KÖ-D06	ERCİYES	ŞahK. 4	şahsi	derin kuyu	37 N	724229	4282571	1335,94
11	7	KÖ-D07	ERKİLET	SonK. 9	KASKİ	derin kuyu	36 N	710181	4295527	1041,25
12	8	KÖ-D08	ERKİLET	Hastek 1	KASKİ	derin kuyu	36 N	713624	4299712	1176,40
13	9	KÖ-D09	GEDİRİS	SonK. 15	KASKİ	derin kuyu	36 N	718275	4285423	1095,54
14	10	KÖ-D10	GEDİRİS	Gediris 1	KASKİ	derin kuyu	36 N	718288	4285427	1095,48
15	11	KÖ-D11	GERMİRALTI	SonK. 12	KASKİ	derin kuyu	37 N	722322	4289421	1095,50
16	12	KÖ-D12	GERMİRALTI	Germiraltı 3	KASKİ	derin kuyu	37 N	722189	4289290	1093,94
17	14	KÖ-D13	KARPUZATAN	SonK. 5	KASKİ	derin kuyu	36 N	712944	4294383	1044,08
18	15	KÖ-D14	KARPUZATAN	SonK. 6	KASKİ	derin kuyu	36 N	713223	4294093	1044,89
19	16	KÖ-D15	KARPUZATAN	Karpuzatan 6	KASKİ	derin kuyu	36 N	712842	4294017	1044,05
20	17	KÖ-D16	KERGAHBAĞLARI	ŞahK. 1	şahsi	derin kuyu	36 N	713284	4284786	1105,00
21	18	KÖ-D17	KEYKUBAT	SonK. 2	KASKİ	derin kuyu	36 N	710946	4293088	1042,67
22	19	KÖ-D18	KEYKUBAT	SonK. 4	KASKİ	derin kuyu	36 N	711194	4293143	1043,34
23	20	KÖ-D19	KEYKUBAT	Keykubat 4	KASKİ	derin kuyu	36 N	711065	4293136	1042,56
24	21	KÖ-D20	MAHRUMLAR	Mahrumlar 2	KASKİ	derin kuyu	36 N	713208	4288584	1052,40
25	22	KÖ-D21	MEVLANA	SonK. 13	KASKİ	derin kuyu	36 N	716964	4290969	1051,50
26	23	KÖ-D22	Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	ŞahK. 3	şahsi	derin kuyu	36 N	706943	4288489	1106,00
27	24	KÖ-D23	TAŞLIBURUN	SonK. 16	KASKİ	derin kuyu	36 N	713483	4286768	1068,73
28	1	KÖ-Ky01	BAŞPINAR	Başpınar kayn.	KASKİ	kaynak	37 N	724722	4281449	1106,54
29	2	KÖ-Ky02	BEŞTEPELER	KASKİ kayn.	KASKİ	kaynak	36 N	714793	4287536	1055,00
30	3	KÖ-Ky03	DOKUZPINARLAR	Dokuzpınarlar kayn.	-	kaynak	36 N	700652	4283633	1036,00
31	4	KÖ-Ky04	ERCİYES Kayak tesisleri	Erciyes çeşmesi	-	kaynak	36 N	720223	4269336	2180,00
32	5	KÖ-Ky05	GÜMÜŞÇE	Gümüşçe kayn.	KASKİ	kaynak	37 N	724722	4281449	1454,00
33	6	KÖ-Ky06	HANYERİ	Hanyeri kayn.	-	kaynak	36 N	699363	4282754	1034,00
34	7	KÖ-Ky07	SODALI	Sodali kayn.	-	kaynak	36 N	698480	4282951	1032,00
35	1	KÖ-Y01	BOĞAZKÖPRÜ	Karasazlık deresi - Boğazköprüsü	-	dere	36 N	700775	4291685	1029,00
36	2	KÖ-Y02	ELAGÖZ	Sarımsaklı - havza girişi	-	dere	36 N	719112	4298350	1056,00
37	3	KÖ-Y03	AMBARLI	Sarımsaklı - havza çıkışı	-	dere	36 N	705619	4293529	1037,00
38	1	KÖ-Kr01	ERCİYES Dağı	Teleferik üst istasyonu	-	kar	36 N	717420	4268083	2780,00
39	2	KÖ-Kr02	ERCİYES Dağı	Teleferik alt istasyonu	-	kar	36 N	718780	4268554	2430,00

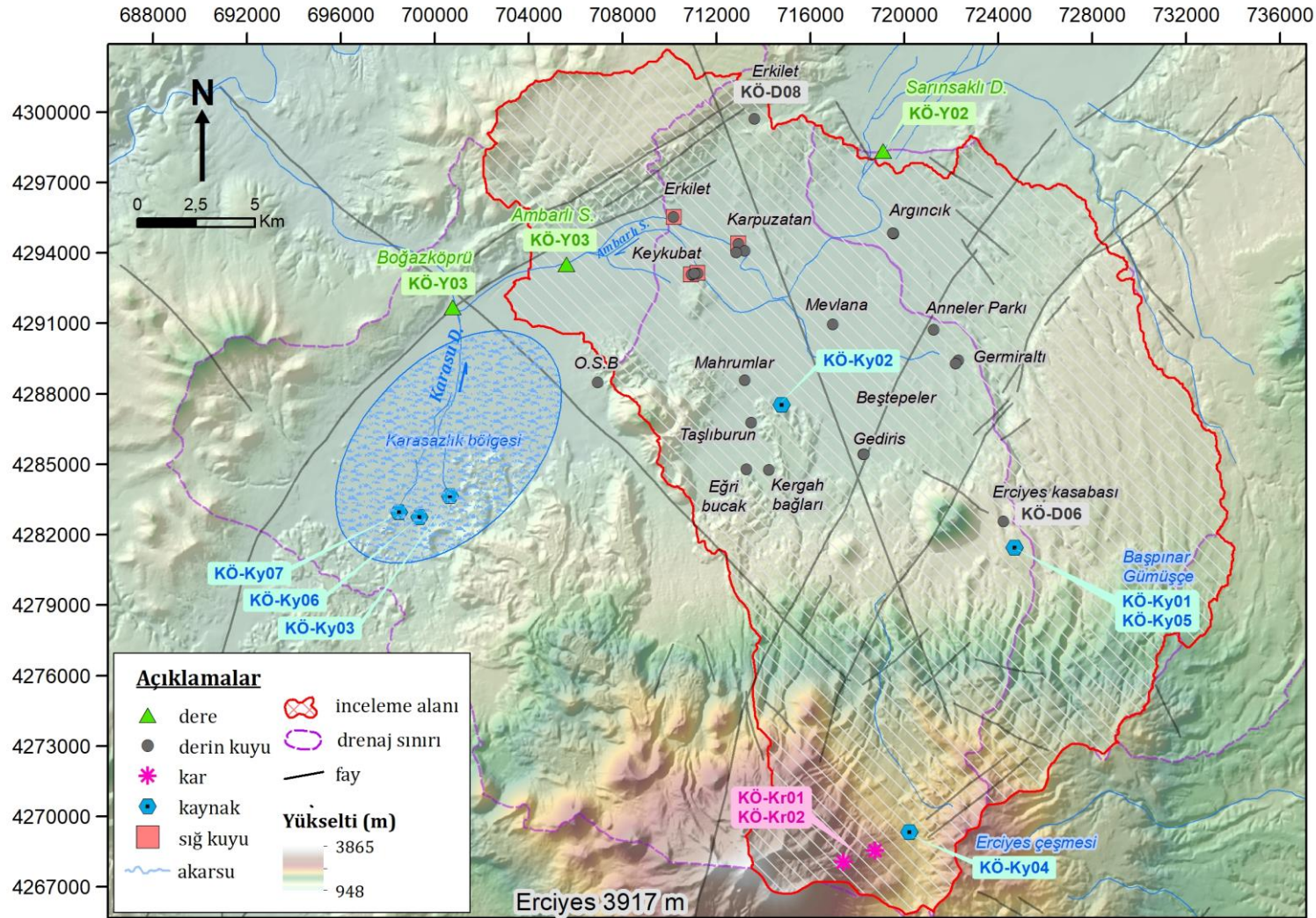
\* PCS, ED50 / UTM Zon: Projected Coordinate Systems, European Datum / Universal Transverse Mercator Zone

kayn. : kaynak

S: siğ kuyu D: derin kuyu Ky: kaynak Y: yüzeysuyu Kr: kar suyu

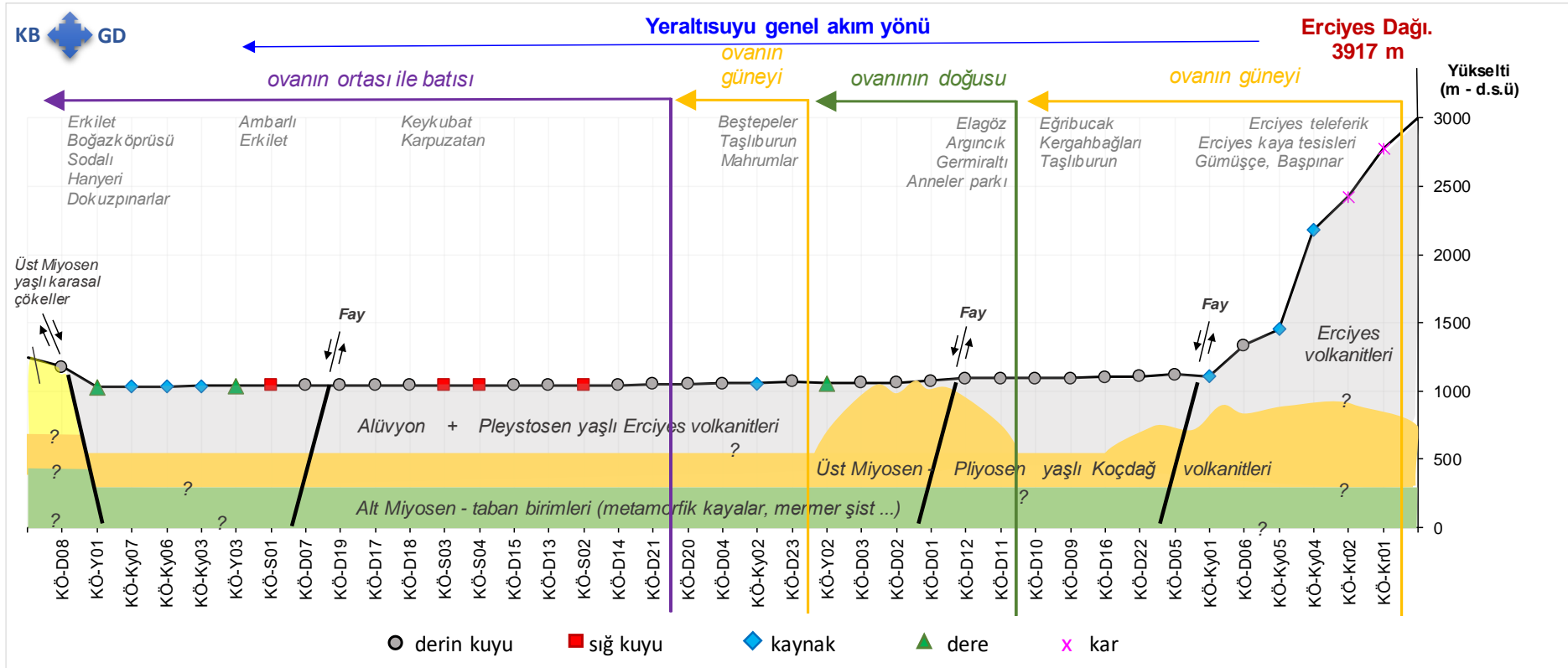
SonK: sondaj kuyusu ŞahK: şahsi kuyu





Şekil 5.1. İnceleme alanındaki örnekleme noktalarının konum haritası





Şekil 5.2. İnceleme alanındaki örnekleme noktalarının Kayseri ovasındaki konumsal dağılımı.

### Örnekleme döneminin belirlenmesi

Ölçüm ve örnekleme, suların mevcut kalitesine yönelik Aralık 2008, Haziran 2009 ve Eylül 2009'de olmak üzere düşük su seviyesi ve yüksek su seviyesi dönemlerini temsil edecek şekilde seçilerek gerçekleştirilmiştir.

### Örnekleme sırasında yerinde ölçüm yöntemi

Gerek majör iyonlar gerekse izotop analizi için ihtiyaç duyulan su örneklerinin örnekleme sırasında örnekleme noktalarındaki yerinde fiziksel/kimyasal parametreler ölçümleri YSI-56 MP5™ model çoklu-probe cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örnekleme noktası için yerinde ölçülen parametreler sıcaklık (T), 25°C'deki özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), toplam çözünmüş madde (TÇM), hidrojen aktifitesinin göstergesi olan pH, çözünmüş oksijen (ÇO) ve tuzluluk (S) değeridir.

### Su kimyası Örnekleme yöntemi ve analiz edilen parametreler ile analiz yöntemleri

İnceleme alanında mevcut su kaynaklarının kökenlerinin belirlenmesi amacıyla her bir ölçüm ve örnekleme döneminde majör iyon (katyonlar ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  ve  $K^+$ ) ve anyonlar ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  ve  $CO_3^{2-}$ )) analizlerinin yapılması amacıyla su örnekleri alınmıştır ve analizler Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, KVAS'in beslenme-dolaşım-boşalım mekanizmasının belirlenmesi için örnekleme noktalarından oksijen-18, döteryum ve trityum analizleri yapılmak üzere su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerden, Aralık 2008 ile Haziran 2009 dönemine ait örnekler için duraylı izotop analizleri ABD'de Utah Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda yapılırken, Eylül 2009 örnekleme dönemine ait örneklerin analizleri ise Hacettepe Üniversitesi, Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Trityum analizi için Aralık 2008 ve Haziran 2009 dönemi olmak üzere iki dönemde örnekleme noktalarından su örnekleri alınmış olup, analizleri Hacettepe Üniversitesi, Trityum İzotopu Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. İzotop analiz sonuçları ile değerlendirmeleri Bölüm 5.4'te ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

## **5.2. Yerinde Ölçüm Parametrelerinin Değerlendirilmesi**

Şekil 5.1'de gösterilen örnekleme noktalarında Aralık 2008, Haziran 2009 ve Eylül 2009 olmak üzere üç dönemde arazide yerinde fiziksel/kimyasal parametreler olarak sıcaklık (T), özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), pH ve çözünmüş oksijen (ÇO) değerleri ölçülmüştür.

Örnekleme dönemlerinde arazide yerinde yapılan fiziksel/kimyasal ölçüm sonuçları Çizelge 5.2.'de (Bkz. EK 2) verilmiştir.

#### Birinci örnekleme dönemi (KÖD1 – Aralık 2008)

İnceleme alanında alüvyon ile Pliyosen yaşlı sedimanter birimlerinde açılmış derinlikleri 8 m ile 20 m arasında değişen sığ kuyuları mevcuttur. Sığ yeraltısuyu örnekleme noktalarının (sığ kuyu) sıcaklık değeri hemen hemen tüm noktalar için yakın değerler göstermişlerdir. Özgül elektriksel iletkenlik ise en yüksek 1218  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değere sahip olan KÖ-S01 örnekleme kodlu Erkilet SonK.11 nolu kuyuda rastlanmıştır. Bu kuyu, Pliyosen yaşlı Kışladağ Formasyonu (Tplk) olan killi kireçtaşı ile killi kumda açılmış olan 25 m'lik sığ kuyusu olup, inceleme alanının Kayseri ova çıkışında yer almaktadır. Derin kuyularından yeraltısuyu sıcaklığının en düşük değerine sahip olduğu kuyu ise Pleyistosen yaşlı Erciyes Volkanitlerinden (Qepr; Piroklastikler) açılmış 110 m derinliğindeki KÖ-D16 örnekleme kodlu Kergahbağları şahıs kuyusudur. Erciyes Dağı'nın hemen kuzey yamacında beslenme alanına en yakın kuyulardandır. Benzer şekilde bu kuyudaki yeraltısuyu mineral içeriği en düşük su olarak belirlenmiştir. Bu kuyuda yerinde ölçülmüş fiziksel/kimyasal değerler  $T=11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) değeri 121  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $\text{pH}=6,0$  ve  $\text{ÇO}=8,5\text{ mg/L}$  şeklindedir. En yüksek ÖEİ değeri ise KÖ-D07 örnekleme kodlu Erkilet SonK.9 nolu Üst Miyosen yaşlı Koçdağ Volkanitlerinden (Tmbf; Fotulca Bazaltı) açılmış kuyu olup inceleme alanının çıkışında yer almaktadır.

Bu tür bataklık ve sulak alan olan Karasazlık bölgesinde bulunan sulara yüksek tuzluluk belirlenmiştir, örneğin KÖ-Ky07 kodlu kaynak sodalı olup ÖEİ=1906  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $T=16,9^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,2$  ve  $\text{ÇO}=6,8\text{ mg/L}$ 'dir. En düşük mineral içerikli suya Koçdağ volkanitlerden boşalan KÖ-Ky01 kodlu Başpınar kaynağında rastlanmıştır olup, ölçüm değerleri ÖEİ=60  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $T=6,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7,1$  ve  $\text{ÇO}=9,3\text{ mg/L}$  şeklindedir.

Karasazlık dahil, alanın bütün sularının havza dışına çıktığı Boğazköprü mevkiinde örneklenen yüzeysuyu (KÖ-Y01) yüksek özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ=3624  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), değerine sahiptir. Bu noktada ölçülen diğer parametreler ise sıcaklık  $T=6,0^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=5,7$  ve çözünmüş oksijen  $\text{ÇO}=9,2\text{ mg/L}$ 'dir. Yüzeysuları içinde en az tuzluluğa sahip örnekleme noktası ise KÖ-Y02 kodlu Sarımsaklı Suyu girişi olup, değerler ÖEİ=784  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,  $T=0,7^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=8,0$  ve  $\text{ÇO}=12,2\text{ mg/L}$  şeklinde ölçülmüştür.

**Çizelge 5.2.** Örneklemeye dönemlerine ait fiziksel/kimyasal parametre değerleri

No.	Tür No.	Örnek kodu	Aralık 2008				Haziran 2009				Eylül 2009			
			Sıcaklık (°C)	ÖEİ (µS/cm)	pH	çö (mg/L)	Sıcaklık (°C)	ÖEİ (µS/cm)	pH	çö (mg/L)	Sıcaklık (°C)	ÖEİ (µS/cm)	pH	çö (mg/L)
1	1	KÖ-S01	15,9	1218	7,9	1,7	19,3	1482	6,7	1,4	17,8	1335	6,4	1,1
2	2	KÖ-S02	13,7	779	6,4	2,1	16,4	703	6,8	2,0	15,8	696	6,0	1,8
3	3	KÖ-S03	13,1	637	6,5	3,2	13,1	687	7,0	2,6	13,5	665	6,2	1,3
4	4	KÖ-S04	13,3	513	6,6	6,6	14,8	653	8,0	5,5	14,4	528	6,4	1,2
5	1	KÖ-D01	15,9	275	6,4	6,8	17,5	267	6,7	8,4	16,6	263	6,6	3,5
6	2	KÖ-D02	12,9	498	6,9	2,3	16,1	478	7,3	3,1	14,4	440	6,6	2,0
7	3	KÖ-D03	12,1	445	7,6	3,3	16,3	647	6,5	2,5	14,3	675	6,0	1,8
8	4	KÖ-D04	13,7	408	6,0	7,2	15,0	441	6,8	8,8	*			
9	5	KÖ-D05	10,9	207	6,0	8,5	12,4	198	6,4	10,6	13,1	259	6,8	3,9
10	6	KÖ-D06	14,9	298	7,6	8,2	21,1	289	7,2	6,1	13,6	305	7,4	6,0
11	7	KÖ-D07	15,0	1154	6,9	2,0	18,0	1434	6,7	0,9	17,6	1224	6,3	1,9
12	8	KÖ-D08	14,9	691	7,0	7,8	24,4	719	7,0	6,1	18,1	744	7,4	8,2
13	9	KÖ-D09	14,3	309	6,5	4,2	18,3	310	7,5	2,9	15,9	255	7,5	1,3
14	10	KÖ-D10	14,4	305	6,2	7,0	19,0	306	7,0	7,5	16,4	300	6,6	3,4
15	11	KÖ-D11	15,0	243	6,9	3,4	17,5	206	7,7	1,9	16,2	156	7,7	1,3
16	12	KÖ-D12	15,1	244	6,2	7,0	17,2	236	6,8	8,7	**			
17	13	KÖ-D13	15,4	515	7,0	0,6	16,9	534	7,2	2,0	15,1	479	7,0	1,4
18	14	KÖ-D14	15,0	500	7,4	2,3	15,6	611	7,1	1,4	15,7	572	6,7	2,1
19	15	KÖ-D15	14,4	419	6,1	7,7	15,8	439	7,1	7,8	15,2	424	6,1	3,9
20	16	KÖ-D16	11,0	121	6,0	8,5	13,6	169	6,8	10,9	*			
21	17	KÖ-D17	13,2	791	6,4	1,6	13,8	763	6,6	5,3	14,0	874	5,8	1,5
22	18	KÖ-D18	13,6	348	6,6	4,3	16,9	330	7,8	3,7	14,8	296	6,2	1,2
23	19	KÖ-D19	14,5	575	6,1	7,4	15,7	596	6,8	7,7	15,1	562	5,6	1,8
24	20	KÖ-D20	14,0	364	6,1	8,4	15,7	393	6,9	9,6	13,7	396	6,3	3,5
25	21	KÖ-D21	11,3	476	7,6	1,3	15,8	660	7,5	1,3	*	*	*	*
26	22	KÖ-D22	18,9	465	7,8	4,5	22,2	557	7,3	4,2	18,8	515	7,7	5,4
27	23	KÖ-D23	11,7	207	6,9	1,8	15,0	299	7,0	7,5	*	*	*	*
28	1	KÖ-Ky01	6,5	60	7,1	9,3	21,1	54	6,9	6,5	**			
29	2	KÖ-Ky02	12,7	276	5,9	7,8	14,2	266	7,0	9,9	*	*	*	*
30	3	KÖ-Ky03	10,0	212	6,7	8,6	20,5	268	6,4	7,2	18,2	215	6,6	8,3
60	4	KÖ-Ky04	6,5	94	7,4	11,5	20,7	82	6,2	7,3	**			
32	5	KÖ-Ky05	9,2	108	7,0	9,1	21,2	107	6,7	7,2	**			
33	6	KÖ-Ky06	12,5	443	6,3	10,3	20,4	423	6,0	7,0	18,5	446	6,5	8,2
34	7	KÖ-Ky07	16,9	1906	6,2	6,8	20,6	1845	6,2	6,3	19,1	2071	6,4	6,7
35	1	KÖ-Y01	6,0	3624	5,7	9,2	22,5	3404	6,8	5,4	15,2	3783	6,8	4,3
36	2	KÖ-Y02	0,7	784	8,0	12,2	22,4	783	7,5	4,8	18,6	863	8,0	7,9
37	3	KÖ-Y03	5,9	1170	7,4	1,2	23,2	711	7,7	6,7	18,7	753	7,8	7,4
38	1	KÖ-Kr01	*	5	*	*	10,0	8	4,8	9,6				
39	2	KÖ-Kr02	*	6	*	*	8,8	5	4,8	11,2				

\* - ölçüm alınmadı

\*\* - örnek alınmadı

Bu tez çalışması kapsamında, KÖD1 - Aralık 2008 örneklemeye döneminde Erciyes Dağı zirvesine yakın KÖ-Kr01 (2780 m) ve Erciyes kaya merkezi teleferiklerine paralel KÖ-Kr02 (2430 m) nolu örneklemeye noktasında karla örtülü alandan kar örneklemeleri yapılmıştır.

#### İkinci örneklemeye dönemi (KÖD2 – Haziran 2009)

Sığ yeraltısuyu örneklerinde Aralık 2008 dönemine benzer şekilde en yüksek ÖEİ değerine 1482 µS/cm değere sahip olan KÖ-S01 örneklemeye kodlu Erkilet SonK.11 nolu kuyuda rastlanmıştır. Bu kuyudaki yeraltısuyunun sıcaklık, pH ve çözülmüş oksijen değerleri

sırasıyla 19,3°C; 6,7 ve 1,4 mg/L'dir. Diğer sığ kuyularda bu değerler bir önceki ölçüm dönemi ile hemen hemen aynı değerler göstermiştir (Çizelge 5.2).

Derin kuyularında yeraltısuyu sıcaklığının en düşük değerine sahip olduğu kuyu önceki dönemdekine benzer şekilde KÖ-D16 kodlu Kergahbağları şahıs kuyusudur. Bu kuyuda parametreler T=12,4°C, ÖEİ=198 µS/cm, pH=6,4 ve ÇO=10,6 mg/L şeklinde ölçülmüştür. En yüksek ÖEİ değerine yine KÖ-D07 örnekleme kodlu Erkilet SonK.9 nolu kuyuda rastlanmıştır. Bu noktada ölçüm sonuçları T=18,0°C; ÖEİ=1434 µS/cm, pH=6,7 ve ÇO=0,9 mg/L olarak kaydedilmiştir.

Kaynak sularından en tuzlu veya en yüksek ÖEİ'ye sahip olanı ise yine Karasazlık bölgesinde yer alan KÖD-Ky07 kodlu Sodalı kaynak olmuştur. Bu noktada ölçüm sonuçları, ÖEİ=1845 µS/cm, T=20,6°C, pH=6,2 ve ÇO=6,3 mg/L'dir. En düşük mineral içerikli kaynak suyu Koçdağ Volkanitlerden boşalan KÖ-Ky01 kodlu Başpınar kaynağı olup, parametre değerleri ÖEİ=60 µS/cm, T=6,5°C, pH=7,1 ve ÇO=9,3 mg/L şeklinde ölçülmüştür.

Yüzey sularından en tuzlu veya en yüksek ÖEİ'ye sahip olanı ise yine KÖ-Y01 kodlu Boğazköprü örnek noktasıdır. Burada, ÖEİ=3404 µS/cm, T=22,5°C, pH=6,8 ve ÇO=5,4 mg/L'dir. Yüzeysuları içinde en az tuzluluğa sahip örnek noktası ise KÖ-Y03 kodlu Ambarlı Suyu çıkışı olup, ÖEİ=711 µS/cm, T=22,3°C, pH=7,7 ve ÇO=6,7 mg/L şeklindedir.

### Üçüncü örnekleme dönemi (KÖD3 – Eylül 2009)

Sığ yeraltısuyunu temsil eden kuyu Aralık 2008 ve Haziran 2009 dönemlerinde olduğu gibi, en yüksek elektriksel iletkenlik değerine (ÖEİ=1335 µS/cm) KÖ-S01 örnekleme kodlu Erkilet SonK.11 nolu kuyuda rastlanmıştır. Bu kuyudaki yeraltı suyunun sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen değerleri sırasıyla 17,8°C; 6,4 ve 1,1 mg/L'dir. Diğer sığ kuyularda bu parametreler bir önceki ölçüm dönemine çok yakın değerler göstermiştir (Çizelge 5.2).

Derin kuyulardan önceki dönemlerde en düşük ÖEİ'ye sahip olan KÖ-D16 kodlu örnekleme noktasında bu dönemde kuyuya ulaşılamadığından herhangi bir işlem yapılamadı. Bu dönemde yeraltısuyu sıcaklığının en düşük değeri KÖ-D11 kodlu ovanın doğusunda yer alan ve Koçdağ Volkanitlerinde açılmış 95 m derinliğindeki Germiraltı SonK.12 kuyusunda ölçülmüştür. Bu kuyuda yerinde ölçülmüş fiziksel/kimyasal parametreler T=16,6°C, ÖEİ=156 µS/cm, pH=7,7 ve ÇO=1,3 mg/L şeklinde ölçülmüştür. En yüksek ÖEİ yine KÖ-



D07 kodlu Erkilet SonK.9 nolu kuyuda ölçülmüştür. Buradaki diğer parametre değerleri  $T=17,6^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{ÖEİ}=1224 \mu\text{S/cm}$ ,  $\text{pH}=6,3$  ve  $\text{ÇO}=0,9 \text{ mg/L}$  şeklindedir.

Kaynak suları incelendiğinde, mineral içeriği en yüksek olan kaynağın Karasazlık bölgesinde yer alan KÖD-Ky07 kodlu Sodalı kaynak olduğu belirlenmiştir. Bu kaynaktan ölçülen parametrelerin değerleri  $\text{ÖEİ}=2071 \mu\text{S/cm}$ ,  $T=19,1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,4$  ve  $\text{ÇO}=6,7 \text{ mg/L}$  şeklindedir. Yine, Karasazlık bölgesinde yer alan Kuvaterner yaşlı Erciyes Volkanitlerinden (Qeb; bazaltik lav akıntıları ile Qea; andezitik lav akıntıları) boşalmakta olan KÖ-Ky03 kodlu Dokuzpınar kaynağı ise en düşük mineral içeriğine sahip kaynak olarak belirlenmiştir ( $\text{ÖEİ}=215 \mu\text{S/cm}$ ,  $T=18,2^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,6$  ve  $\text{ÇO}=8,3 \text{ mg/L}$ ).

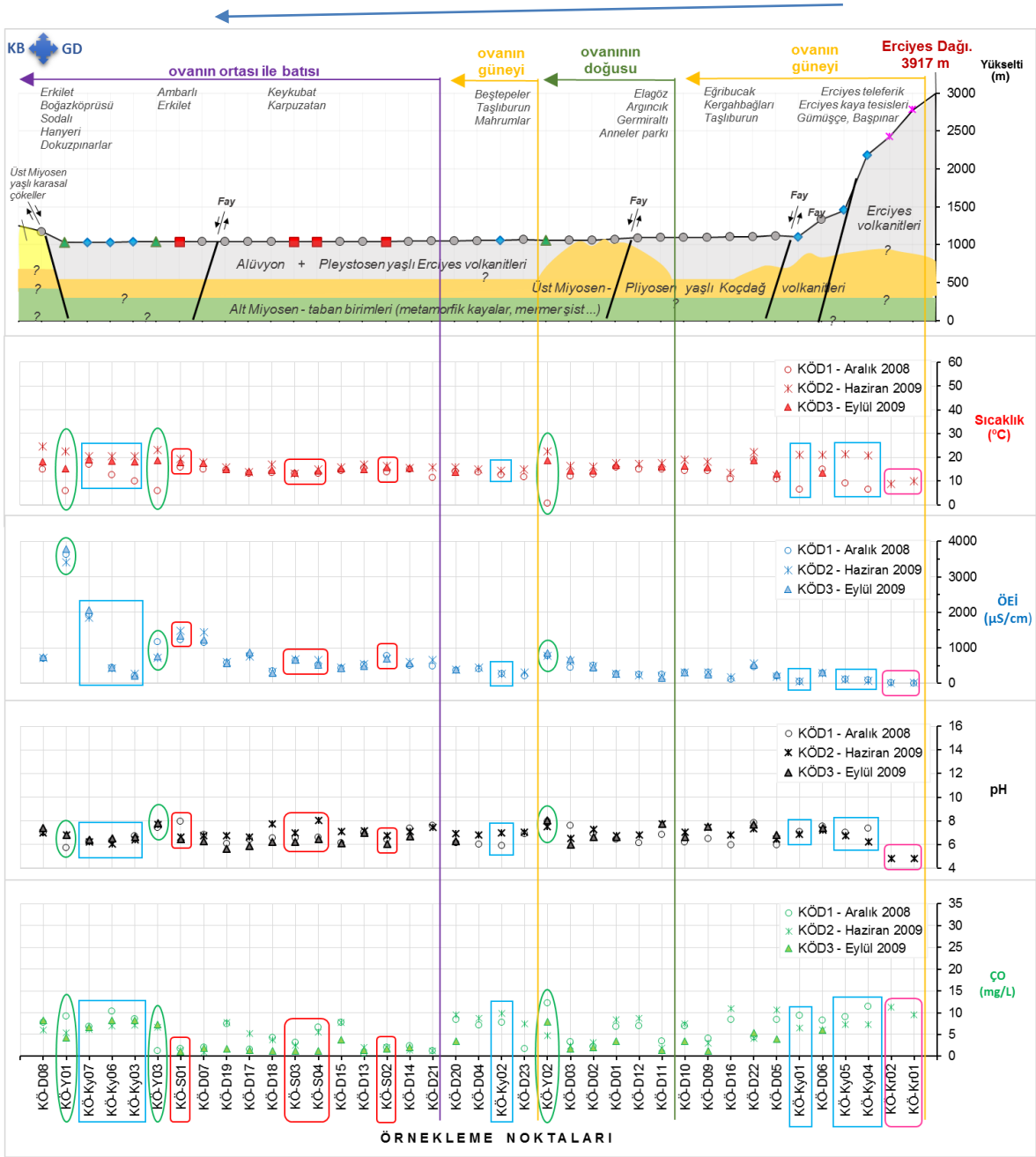
Yüzey sularından en tuzlu veya en yüksek  $\text{ÖEİ}$ 'ye sahip olanı ise, yine KÖ-Y01 kodlu Boğazköprü örnek noktasıdır. Burada,  $\text{ÖEİ}=3783 \mu\text{S/cm}$ ,  $T=15,2^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=6,8$  ve  $\text{ÇO}=4,3 \text{ mg/L}$  olarak ölçülmüştür. Yüzeysuları içinde en düşük tuzluluğa sahip örnek noktası ise KÖ-Y03 kodlu Ambarlı Suyu çıkışı olup, ölçülen değerleri  $\text{ÖEİ}=753 \mu\text{S/cm}$ ,  $T=18,7^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH}=7,8$  ve  $\text{ÇO}=7,4 \text{ mg/L}$  şeklindedir (Çizelge 5.2).

#### Yerinde Ölçüm Parametrelerinin Genel Değerlendirmesi

Tüm ölçüm ve örnekleme dönemlerine ait yerinde ölçülmüş fiziksel/kimyasal değerlerinin konumsal dağılımının gösterildiği şekil incelendiğinde, Erciyes Dağı'na ve beslenme bölgesine daha yakın olan yüksek kotlardaki kaynak, kuyu sularının sıcaklıklarının daha yüksek değişkenliğe sahip olduğu, başka bir deyişle mevsimsel etkisinin altında olduğu söylenebilir (Şekil 5.3). Bu durum  $\text{ÇO}$  için de geçerlidir. Bu kaynaklar ile kuyular dahil Gediris, Eğribucak ve Kergahbağları'nda yer alan derin kuyu yeraltısuları  $\text{ÖEİ}$  açısından daha düşük mineralizasyonlu sular olduğu ve örnekleme dönemleri bakımından çok değişmediği gözlenmiştir.

Erciyes Dağı'nın kuzeyi ile doğusu ve inceleme alanının güneyi kısmına gelindiğinde Elagöz, Argıncık, Anneler parkı, Germiraltı, Taşlıburun, Beştepeler ve Mahrumlar'daki kuyularda ölçülen dönemleri arasında sıcaklık bakımından önemli bir değişim söz konusu olmadığı, mevsimsel etkisinin belirgin olmadığı gözlenmiştir. Buna karşın;  $\text{ÇO}$  değerinde KÖD1 yağışlı döneminden KÖD2 kurak dönemine girildiğinde,  $\text{ÇO}$  değerinde az miktar artış gözlenirken; KÖD3 kurak döneminin bittiği güz döneminin başladığı zaman, bazı derin kuyu yeraltısularında  $\text{ÇO}$  değerinde ani azalış söz konusudur (Şekil 5.3). Bu bölgelerdeki tüm sulara dönemsel olarak  $\text{ÖEİ}$  değerinde önemli bir değişim meydana gelmemiştir.

## YAS Genel



**Şekil 5.3.** Örnekleme noktalarına ait fiziksel/kimyasal parametrelerinin konumsal dağılımı

İnceleme alanının yer aldığı Kayseri Kenti ovasının ortası ile batısına gidildiğinde Keykubat, Karpuzatan, Erkilet, Ambarlı ve Karasazlık bölgesi kaynakları ile yüzey sularında ÖEİ bakımından dönemsel olarak değişim olmazken, suların sıcaklığı ile ÇO değerlerinde önemli değişimler olduğu gözlenmiştir (Şekil 5.3).

Bu analizlere göre, beslenme bölgesinden ova çıkışına doğru yeraltısularının ÖEİ bakımından zenginleştiği, dolayısıyla yeraltısuyu akımının güneydoğudan, doğudan ve güneybatıdan batıya doğru olduğu konusunda bir değerlendirme yapılabilir. Bu

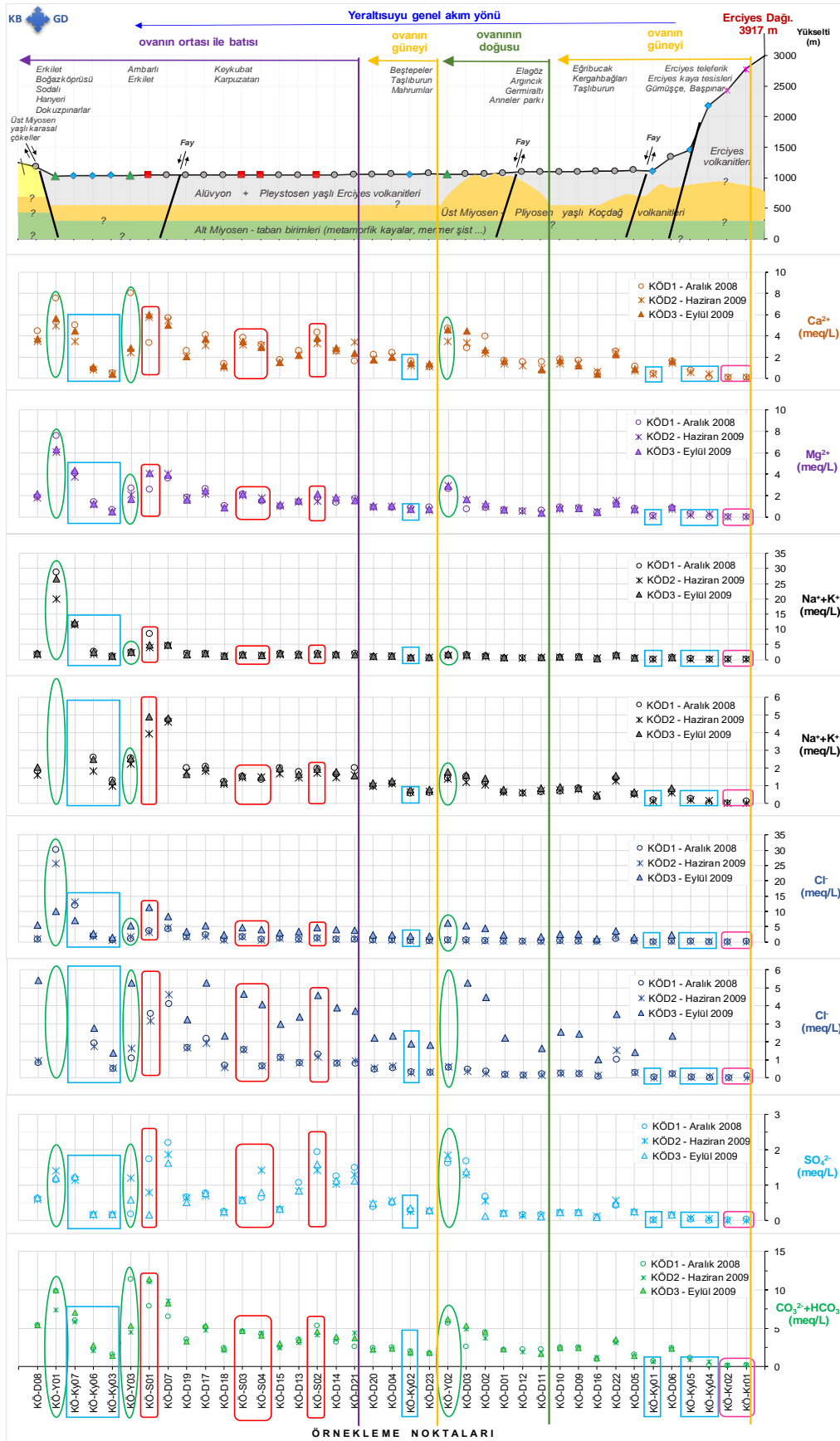
değerlendirme Bölüm 3.2’de anlatılan yeraltısu seviyesinin alansal dağılımı ile örtüşmektedir. Bu analizler, inceleme alanının kavramsal modelinin oluşturulmasında önemli bilgiler sağlamıştır. Bu bilgiler, ölçüm ve örnekleme noktalarının buldukları konumuna bağlı olarak yeraltısu akım modelinin sınır koşullarının belirlenmesinde de yararlı olmuştur.

### 5.3. Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler

İnceleme alanında bulunan örnekleme noktalarında üç dönemde alınan su örneklerinde gerçekleştirilen majör iyon (rNa, rK, rCa, rMg, rCl, rSO<sub>4</sub>, rHCO<sub>3</sub> ve rCO<sub>3</sub>) analiz sonuçları Çizelge 5.3’te (EK 2’de) verilmektedir. Örnekleme noktalarına ait majör iyon değerlerinin konumsal dağılımı ise Şekil 5.4’te gösterilmektedir.

**Çizelge 5.3.** KÖD1, KÖD2 ve KÖD3 dönemlerine ait su örneklerinin majör iyonlarının derişimleri (meq/L)

No.	Tür No.	Örnek kodu	Aralık 2008					Haziran 2009					Eylül 2009							
			Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
1	1	KÖ-S01	3,30	2,56	8,58	3,56	1,73	7,84	5,76	4,01	3,91	3,17	0,81	11,03	5,98	4,07	4,87	2,84	0,17	11,37
2	2	KÖ-S02	4,29	1,80	1,95	1,31	1,94	5,28	3,30	1,46	1,73	1,15	1,42	4,14	3,76	2,16	1,92	0,74	1,59	4,57
3	3	KÖ-S03	3,81	2,12	1,52	1,57	0,58	4,52	3,17	1,99	1,44	1,56	0,59	4,57	3,47	2,14	1,56	1,17	0,57	4,67
4	4	KÖ-S04	3,14	1,47	1,34	0,67	0,66	4,17	3,08	1,78	1,49	0,66	1,42	4,38	2,88	1,64	1,48	0,51	0,79	4,06
5	1	KÖ-D01	1,65	0,70	0,64	0,19	0,22	2,16	1,37	0,61	0,64	0,21	0,22	2,14	1,60	0,70	0,79	0,18	0,23	2,23
6	2	KÖ-D02	3,96	0,87	1,14	0,38	0,69	4,47	2,36	1,01	1,05	0,27	0,56	3,71	2,68	1,23	1,41	0,31	0,14	4,47
7	3	KÖ-D03	2,84	0,73	1,53	0,48	1,69	2,56	3,31	1,58	1,19	0,39	1,30	4,86	4,46	1,67	1,59	0,32	1,40	5,28
8	4	KÖ-D04	2,41	0,88	1,12	0,57	0,51	2,51	2,07	0,96	1,13	0,66	0,56	2,29	1,95	1,05	1,25	0,47	0,55	2,34
9	5	KÖ-D05	1,09	0,81	0,52	0,29	0,25	1,61	0,70	0,63	0,51	0,28	0,25	1,29	0,89	0,73	0,62	0,22	0,27	1,42
10	6	KÖ-D06	1,64	0,88	0,68	0,23	0,16	2,41	1,40	0,73	0,61	0,24	0,17	2,29	1,58	0,89	0,85	0,24	0,18	2,34
11	7	KÖ-D07	5,67	3,58	4,69	4,11	2,19	6,53	5,43	4,02	4,59	4,63	1,87	8,52	4,99	3,90	4,79	2,70	1,63	8,22
12	8	KÖ-D08	4,45	1,88	1,80	0,84	0,62	5,43	3,45	1,78	1,60	0,94	0,60	5,33	3,70	2,14	2,03	0,73	0,64	5,43
13	9	KÖ-D09	1,68	0,83	0,87	0,23	0,23	2,51	1,43	0,77	0,79	0,26	0,23	2,38	1,17	0,78	0,87	0,20	0,25	2,44
14	10	KÖ-D10	1,80	0,94	0,66	0,24	0,23	2,51	1,38	0,76	0,77	0,26	0,22	2,29	1,66	0,85	0,94	0,23	0,25	2,54
15	11	KÖ-D11	1,52	0,60	0,64	0,21	0,16	2,21	0,91	0,38	0,70	0,13	0,15	1,81	0,78	0,36	0,86	0,14	0,12	1,62
16	12	KÖ-D12	1,54	0,55	0,55	0,16	0,17	2,21	1,18	0,53	0,59	0,16	0,16	1,90	<i>örnek alınamadı</i>					
17	13	KÖ-D13	2,60	1,43	1,79	0,85	1,07	3,52	2,17	1,39	1,43	0,84	0,84	3,10	2,15	1,52	1,65	0,61	0,85	3,40
18	14	KÖ-D14	2,55	1,32	1,62	0,80	1,25	3,22	2,58	1,61	1,43	0,85	1,04	3,52	2,81	1,83	1,78	0,65	1,14	3,91
19	15	KÖ-D15	1,71	0,96	2,01	1,14	0,32	2,61	1,49	1,02	1,66	1,14	0,33	2,43	1,50	1,15	1,96	0,85	0,34	2,98
20	16	KÖ-D16	0,52	0,42	0,39	0,08	0,09	1,01	0,60	0,50	0,49	0,16	0,13	1,24	0,38	0,41	0,41	0,06	0,10	1,02
21	17	KÖ-D17	4,09	2,63	2,08	2,17	0,79	5,13	3,07	2,16	1,80	1,94	0,70	4,76	3,71	2,46	2,01	1,61	0,77	5,28
22	18	KÖ-D18	1,37	1,04	1,23	0,70	0,27	2,41	1,00	0,83	1,08	0,61	0,24	2,10	1,20	0,86	1,20	0,49	0,27	2,34
23	19	KÖ-D19	2,60	1,82	2,01	1,67	0,67	3,52	2,04	1,79	1,79	1,66	0,65	3,24	2,01	1,60	1,64	0,98	0,52	3,25
24	20	KÖ-D20	2,19	0,92	0,97	0,48	0,40	2,41	1,78	0,90	0,98	0,56	0,46	2,10	1,73	1,02	1,15	0,45	0,50	2,23
25	21	KÖ-D21	1,61	1,70	2,01	0,82	1,50	2,61	3,41	1,62	1,59	0,94	1,29	4,38	2,33	1,55	1,56	0,56	1,13	3,71
26	22	KÖ-D22	2,51	1,26	1,42	1,03	0,43	3,26	2,43	1,50	1,25	1,54	0,58	3,14	2,22	1,21	1,56	0,97	0,49	3,55
27	23	KÖ-D23	1,03	0,89	0,60	0,30	0,27	1,71	1,11	0,61	0,67	0,34	0,28	1,62	1,35	0,71	0,79	0,24	0,29	1,83
28	1	KÖ-Ky01	0,41	0,14	0,19	0,03	0,02	0,70	0,36	0,09	0,11	0,02	0,03	0,61	<i>örnek alınamadı</i>					
29	2	KÖ-Ky02	1,61	0,88	0,58	0,32	0,29	2,01	1,19	0,65	0,63	0,30	0,27	1,67	1,43	0,74	0,78	0,30	0,36	1,88
30	3	KÖ-Ky03	0,53	0,64	1,29	0,50	0,18	1,56	0,45	0,51	0,96	0,55	0,18	1,33	0,40	0,50	1,24	0,44	0,19	1,37
60	4	KÖ-Ky04	0,07	0,00	0,02	0,00	0,01	0,10	0,39	0,23	0,16	0,07	0,07	0,66	<i>örnek alınamadı</i>					
32	5	KÖ-Ky05	0,76	0,32	0,26	0,04	0,05	1,11	0,59	0,21	0,18	0,04	0,08	0,91	<i>örnek alınamadı</i>					
33	6	KÖ-Ky06	0,88	1,42	2,59	1,92	0,18	2,31	0,82	1,14	1,82	1,76	0,17	2,10	1,04	1,21	2,50	1,49	0,18	2,78
34	7	KÖ-Ky07	5,01	4,08	11,47	12,00	1,20	6,03	3,47	3,70	11,49	13,09	1,14	5,81	4,42	4,35	12,17	11,25	1,24	6,99
35	1	KÖ-Y01	7,49	7,56	28,74	30,14	1,15	9,85	4,94	6,05	20,03	25,66	1,40	7,38	5,59	6,26	26,65	25,05	1,21	9,94
36	2	KÖ-Y02	4,71	2,61	1,41	0,58	1,62	5,63	3,48	2,96	1,37	0,64	1,85	5,90	4,58	2,89	1,78	0,62	1,75	6,19
37	3	KÖ-Y03	8,03	2,70	2,55	1,09	0,20	11,36	2,38	2,09	2,24	1,63	1,20	4,43	2,86	1,68	2,52	0,88	0,60	5,28
38	1	KÖ-Kr01	0,08	0,01	0,14	0,11	0,03	0,20	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,18	<i>kar yok</i>					
39	2	KÖ-Kr02	4,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,19	<i>kar yok</i>						



Şekil 5.4. Örnekleme noktalarına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) konumsal dağılımı

Şekil 5.4 incelendiğinde, her örnekleme dönemi için Erciyes Dağı ve beslenme bölgesine daha yakın olan noktalarına ait suların majör iyon bakımından diğer sulara göre daha fakir olduğu söylenebilir. Beslenme bölgesinden uzaklaştıkça, yeraltısularının geçiş süresinin ve dolayısıyla su-kayaç etkileşiminin uzamasından dolayı toplam iyon bakımından zenginleşme olduğunu Şekil 5.4'ten görmek mümkündür. Beslenme alanından boşalım alanına doğru daha derin dolaşımli suların katkısının arttığı da dikkate alınmalıdır.

Örnekleme noktalarına ait majör katyon ve anyon değerleri kullanılarak iyon sıralamasının belirlenmesiyle su tiplerinin ortaya konulması amacıyla Yarı Logaritmik (Schoeller, 1962) grafiği ile Üçgen diyagramı (Piper diyagramı (Piper, 1944)) çizilmiştir.

İnceleme alanındaki su kaynakları için çizilen Yarı logaritmik grafikler ile Üçgen diyagramlar incelendiğinde benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer pik değerlerini göstermişlerdir. En yüksek iyon içeriğine KÖ-Y01 kodlu Boğazköprü yüzey suyunda rastlanırken, en düşük iyon içeriğine ise KÖ-Ky01 kaynağında (Başpınar Kaynağı) rastlanmıştır. Bunun dışında, tüm su örneklerinde  $rSO_4$  iyonu derişimi en düşük olan iyondur. İnceleme alanında yer alan su kaynaklarından Karasazlık bölgesindeki KÖ-Ky03 Dokuzpınarlar, KÖ-Ky06 Hanyeri ve KÖ-Ky07 Sodalı kaynak suları hariç diğer tüm sulara baskın iyonlar  $rCa$ ,  $rMg$  ve  $rHCO_3$  iyonları olduğu belirlenmiştir. Karasazlık bölgesi kaynak sularında baskın iyonlar  $rNa+K$  ile  $rCl$  iyonlarıdır. Sığ ve derin kuyu sularında ovanın genelinde baskın iyonlar  $rCa$ ,  $rMg$  ve  $rHCO_3$  iken, beslenme bölgesinden uzaklaştıkça veya ovanın doğusu ile güneyinden ovanın ortasına ve batısına gidildikçe sulardaki toplam majör iyon derişimlerinde artış meydana geldiği görülmektedir (Çizelge 5.3., ve Şekil 5.4).

Sözö edilen grafiksel analiz sonuçları su örnek türlerine (sığ ve derin kuyu, kaynak suyu, yüzey suyu ve kar suyu) göre aşağıdaki alt başlıklarda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### **5.3.1. Sığ kuyu suları**

İnceleme alanında yer alan su kaynaklarından bu tez kapsamında volkanik kayaç birimlerinde açılmayan kuyular sığ kuyular olarak kabul edilmiştir. Sözö edilen kuyulara ait kot, derinlik, kuyuda geçilen litolojik birimleri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4'te adları geçen sığ kuyular model alanının batı sınırına yakın Keykubat ve Erkilet tarlası mevkiinde yer almakta olan TÜBİTAK ÇAYDAG 107Y170 nolu proje



kapsamında açılmış karotlu sondaj teknikleriyle açılmış araştırma sondaj kuyuları olup, derinlikleri 8 m ile 25 m arasında değişmektedir. Kuyularda Kuvaterner yaşlı alüvyon ile Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı çökellerinden (MKK'den) oluşan Kışladağ formasyonuna ait kil killi kireçtaşı, siltli kil ile marna rastlanmıştır.

**Çizelge 5.4.** Sığ kuyularda geçilen litolojik birimleri

Örnek kodu	Mevkii	Adı	Kuyu başı kotu (m)	Derinlik (m)	Kuyu geçilen litolojik birimleri		
					Simge	Kayaç grubun adı	Litoloji
KÖ-S04	KEYKUBAT	SonK. 3	1041,15	25	Tplk	Miyosen yaşlı kırıntılı karbonatlı çökeller (MKK)	kil, killi kireçtaşı
KÖ-S02	KEYKUBAT	SonK. 7	1042,95	8	Tplk		kil, siltli kum kil
KÖ-S03	KARPUZATAN	SonK. 1	1043,46	8	Tplk		kil, marn (killi kireçtaşı)
KÖ-S01	ERKİLET	SonK. 11	1044,12	11	Tplk		marn

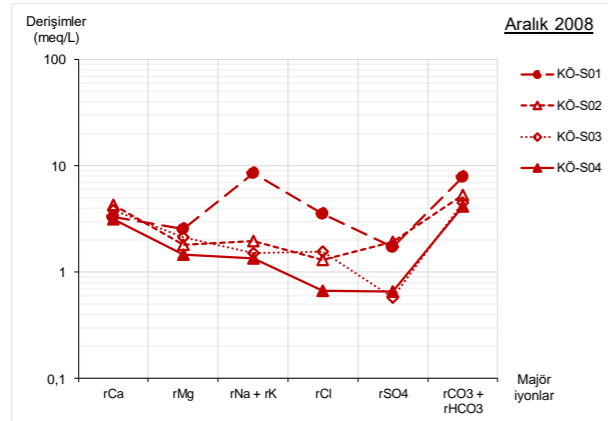
Not: MKK - Miyosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı çökelleri

Sığ kuyulardan alınan su örneklerinde yapılan majör iyon analiz sonuçlarına göre örnekleme dönemleri boyunca KÖ-S2, KÖ-S3 ve KÖ-4 kodlu sular ile KÖD2 ve KÖD3 örnekleme döneminde KÖ-S01 kodlu suda majör iyon sıralaması Ca+Mg, Na+K / HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>, Cl+SO<sub>4</sub> olduğu tespit edilmiştir. Bu dönemlerde suların özgül elektriksel iletkenlik değerleri (ÖEİ) 513 µS/cm ile 779 µS/cm arasında değişmektedir. KÖD1 örnekleme döneminde ise KÖ-S01 kodlu suda ÖEİ=1218 µS/cm ve iyon sıralaması ise Na+K, Ca+Mg / HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>, Cl+SO<sub>4</sub> olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.5 ve Şekil 5.5).

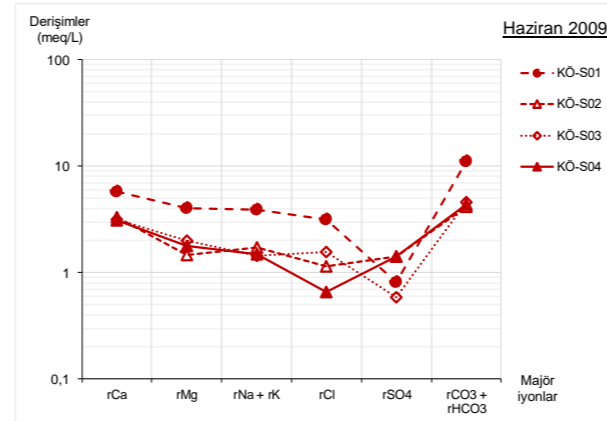
KÖ-S01 kodlu örnekleme noktasında tüm örnekleme dönemi boyunca ÖEİ değeri 1218 µS/cm, 1482 µS/cm ile 1334 µS/cm olarak ölçülmüş olmasına rağmen, KÖD1 döneminde sudaki Na+K derişimi yüksekken, diğer dönemlerde ise azaldığı görülmüştür. Bu azalmayla birlikte, KÖD2 ile KÖD3 dönemlerinde sudaki Ca+Mg ile CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub> derişimlerinde artış meydana gelmiştir (Çizelge 5.5 ve Şekil 5.5). Bunun sebebi KÖD1 döneminde KÖ-S01 kodlu sudaki rCa ve rMg iyonları SonK-11 nolu araştırma sondaj kuyusunda çökelen killi kireçtaşı veya marnlı birim tarafından tutularak suya fazladan rNa ile rK iyonlarının çözülmesiyle açıklanabilmektedir. Burada belirtilmemiştir ki, SonK-11 nolu araştırma sondaj kuyusu model alanının batı sınırına yakın veya model alanının batı çıkışı tarafında tarımsal faaliyetinin aktif olduğu Erkilet tarlası bölgesinde açılmıştır. Dolayısıyla, bu kuyudan alınan su örneğindeki yüksek rNa ile rK iyon derişim değerlerinin diğer nedeni de buradaki tarımsal faaliyetlerinden kaynaklanan kirliliğe maruz kalmış olması ile açıklanabilmektedir. Ayrıca, SonK-11 kodlu su örneğinde KÖD2 ile KÖD3 örnekleme dönemlerinde rNa ile rK iyon derişimlerinde azalma ve rCa ile rMg iyon derişimlerinde ise artış meydana geldiği görülmektedir.

**Çizelge 5.5.** Sığ kuyulara ait suların majör iyon derişimleri (meq/L) ile iyon sıralaması

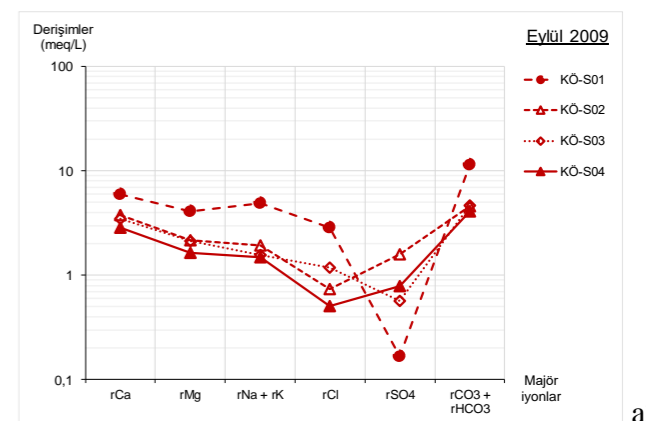
Örnekleme dönemi	Aralık 2008						Haziran 2009						Eylül 2009						Üç dönem ortalaması						
	Majör iyonlar (meq/L)	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO <sub>4</sub>	rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO <sub>4</sub>	rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO <sub>4</sub>	rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO <sub>4</sub>	rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>
Sığ kuyu suyu örnek kodu	KÖ-S04	3,1	1,5	1,3	0,7	0,7	4,2	3,1	1,8	1,5	0,7	1,4	4,4	2,9	1,6	1,5	0,5	0,8	4,1	3,0	1,6	1,4	0,6	1,0	4,2
	KÖ-S02	4,3	1,8	2,0	1,3	1,9	5,3	3,3	1,5	1,7	1,2	1,4	4,1	3,8	2,2	1,9	0,7	1,6	4,6	3,8	1,8	1,9	1,1	1,6	4,7
	KÖ-S03	3,8	2,1	1,5	1,6	0,6	4,5	3,2	2,0	1,4	1,6	0,6	4,6	3,5	2,1	1,6	1,2	0,6	4,7	3,5	2,1	1,5	1,4	0,6	4,6
	KÖ-S01	3,3	2,6	8,6	3,6	1,7	7,8	5,8	4,0	3,9	3,2	0,8	11,0	6,0	4,1	4,9	2,8	0,2	11,4	5,0	3,5	5,8	3,2	0,9	10,1
en küçük	3,1	1,5	1,3	0,7	0,6	4,2	3,1	1,5	1,4	0,7	0,6	4,1	2,9	1,6	1,5	0,5	0,2	4,1	3,0	1,6	1,4	0,6	0,6	4,2	
en yüksek	4,3	2,6	8,6	3,6	1,9	7,8	5,8	4,0	3,9	3,2	1,4	11,0	6,0	4,1	4,9	2,8	1,6	11,4	5,0	3,5	5,8	3,2	1,6	10,1	
ortalama	3,6	2,0	3,3	1,8	1,2	5,5	3,8	2,3	2,1	1,6	1,1	6,0	4,0	2,5	2,5	1,3	0,8	6,2	3,8	2,3	2,6	1,6	1,0	5,9	
standart sapma	0,5	0,5	3,5	1,2	0,7	1,7	1,3	1,2	1,2	1,1	0,4	3,3	1,4	1,1	1,6	1,1	0,6	3,5	0,8	0,9	2,1	1,1	0,4	2,8	



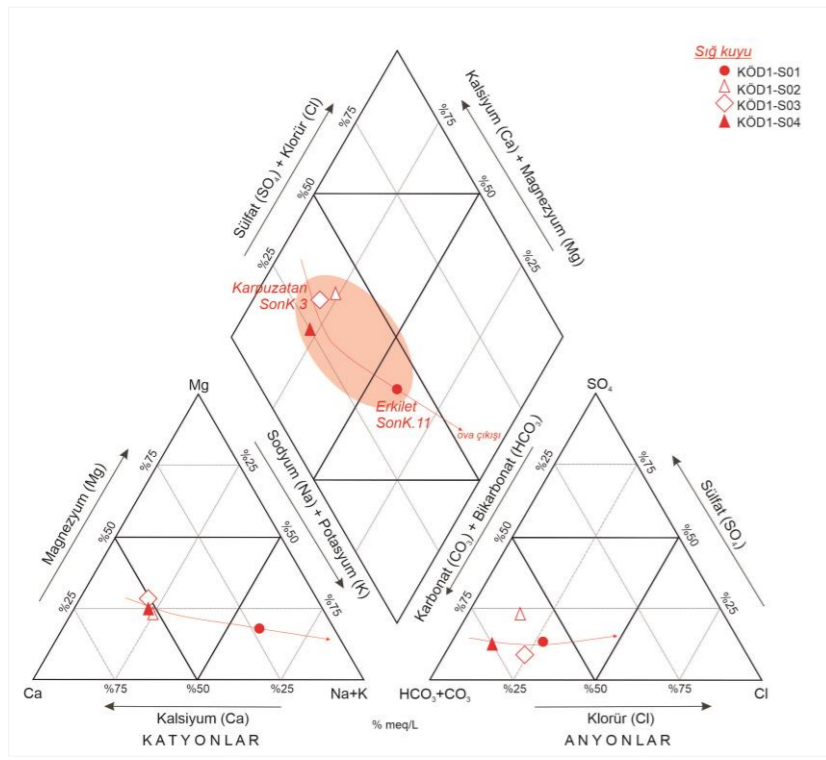
a1)



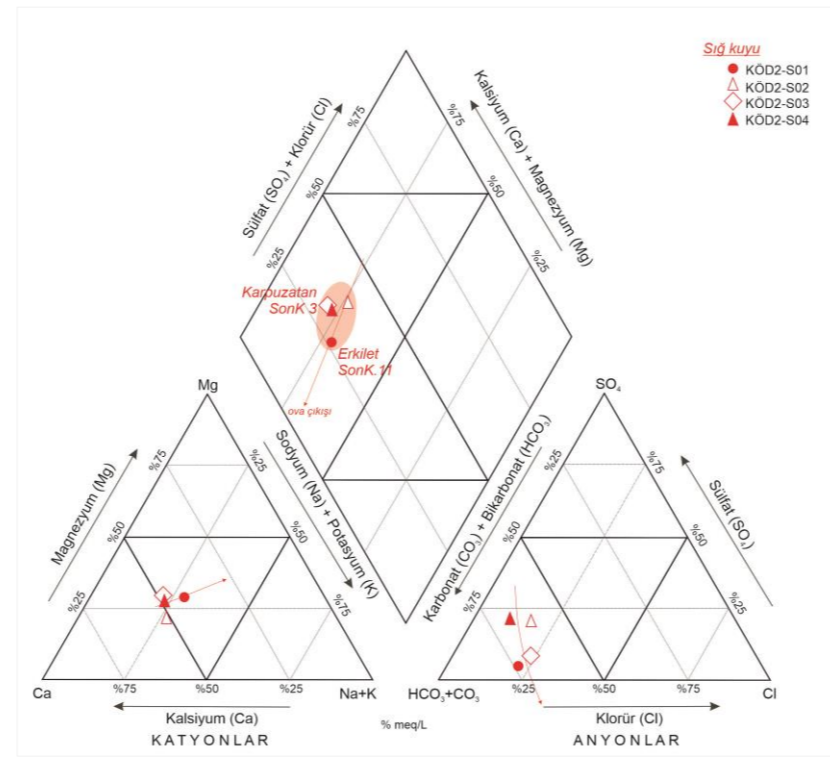
a2)



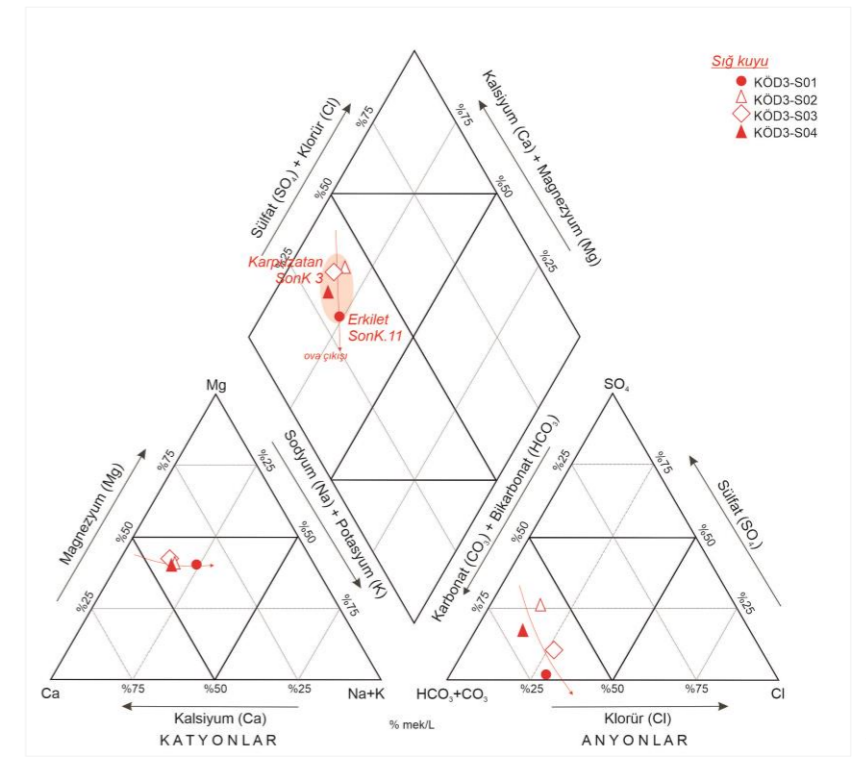
a3)



b1)



b2)



b3)

**Şekil 5.5.** Sığ kuyu sularına ait a) Yarı Logaritmik grafik ve b) Üçgen diyagramı (1 – Aralık 2008, 2 - Haziran 2009, 3 – Eylül 2009)

Çizelge 5.5'te verilen majör iyon derişimleri incelendiğinde, KÖ-S2, KÖ-S3 ve KÖ-4 kodlu sular ile KÖ-S01 kodlu suyun KÖD2 ve KÖD3 örnekleme dönemine ait majör iyon derişimlerinde örnekleme dönemleri boyunca çok değişimin meydana gelmediği görülmektedir (Çizelge 5.5., Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Şekil 5.5). Sığ kuyulardan alınan su örneklerinin majör iyon derişimleri iyonlar bazında ortalaması alınarak değerlendirme yapıldığında, bu suların tipi Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub> tipi olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.5. ve Şekil 5.7).

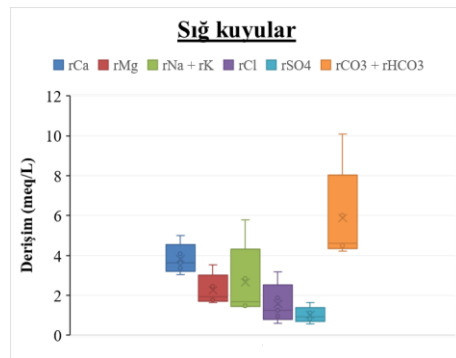
**Çizelge 5.6.** Sığ kuyu sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L)

Sığ kuyu suları örnek kodu	Üç dönem ortalaması				istatistik parametreler			
	KÖ-S04	KÖ-S02	KÖ-S03	KÖ-S01	e.b.	ort.	s.s.	e.k.
rCa	3,03	3,78	3,48	5,01	5,01	3,83	0,85	3,03
rMg	1,63	1,81	2,08	3,55	3,55	2,27	0,87	1,63
Derişim (meq/L)	rNa + rK	1,44	1,87	1,51	5,79	5,79	2,65	1,44
rCl	0,61	1,07	1,43	3,19	3,19	1,58	1,13	0,61
rSO <sub>4</sub>	0,96	1,65	0,58	0,90	1,65	1,02	0,45	0,58
rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	4,20	4,66	4,59	10,08	10,08	5,88	2,81	4,20

Not: e.b. – en büyük, ort. – ortalama, s.s. – standart sapma, e.k. – en küçük

**Çizelge 5.7.** Sığ kuyu sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların

Sıra	Örnek kodu	Üç dönem ortalamasına göre majör iyon sıralaması	Su tipi
1	KÖ-S04	Ca > Mg > Na+K / HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca(Mg) - HCO <sub>3</sub>
2	KÖ-S02	Ca > Na+K > Mg / HCO <sub>3</sub> > SO <sub>4</sub> > Cl	Ca(Mg) - HCO <sub>3</sub>
3	KÖ-S03	Ca > Mg > Na+K / HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca(Mg) - HCO <sub>3</sub>
4	KÖ-S01	Na+K > Ca > Mg / HCO <sub>3</sub> > Cl > SO <sub>4</sub>	Ca(Mg) - HCO <sub>3</sub>



**Şekil 5.6.** Sığ kuyu sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Scheoller sıralanmasına göre dağılımı

### 5.3.2. Kaynak ve yüzey suları

#### Kaynak suları

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynak sularının çıkış ve yüzey sularının bulunduğu kot ile çevresinde yer alan litolojik birimlerle ilişkin bilgiler Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.8.** Kaynağın çıkış kot ile çevresindeki litolojik birimler

Örnek kodu	Mevkii	Adı	Kaynak kotu (m)	Kaynağın akım yönü boyunca kat ettiği ve çıkış kot ile çevresindeki litolojik birimler		
KÖ-Ky04	ERCİYES Kayak tesisleri	Erciyes Ky.	2180,00	Qal, Qep, Qee	Alüvyon ve Erciyes volkanitleri	alüvyon, piroksen dom, bazalt ve piroklastikler
KÖ-Ky01	BASPINAR	Başpınar Ky.	1406,54	Tpla, Tplb	Koçdağ volkanitleri	andezitik ve bazaltik tüfler
KÖ-Ky05	GÜMÜŞÇE	Gümüüşçe Ky.	1454,00	Tpla, Tplb	Koçdağ volkanitleri	andezitik ve bazaltik tüfler
KÖ-Ky02	BEŞTEPELER	Beştepeler Ky.	1055,00	Qeb, Qeal, Qepr	Erciyes volkanitleri	bazalt, bazaltik lav akıntıları, piroklastikler
KÖ-Ky03	DOKUZ PINARLAR	Dokuz Pınarlar Ky.	1036,00	Qal, Qeb	Alüvyon ve Erciyes volkanitleri	alüvyon bazalt, bazaltik lav akıntıları
KÖ-Ky06	HANYERİ	Hanyeri Ky.	1034,00	Qal, Qeb	Alüvyon ve Erciyes volkanitleri	alüvyon bazalt, bazaltik lav akıntıları
KÖ-Ky07	SODALI	Sodalı Ky.	1032,00	Qal, Qeb	Alüvyon ve Erciyes volkanitleri	alüvyon, bazalt, bazaltik lav akıntıları

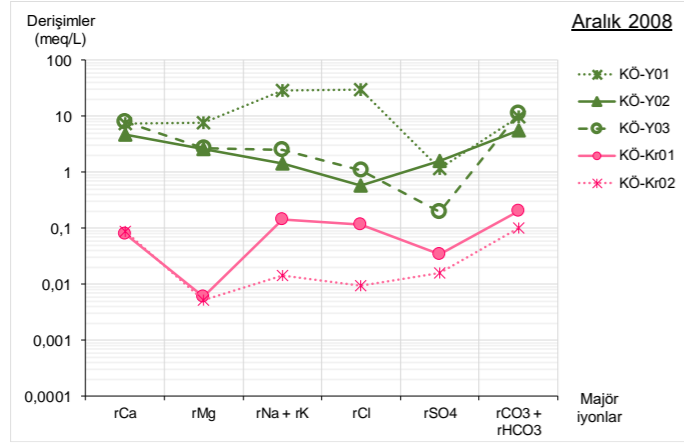
Çizelge 5.8’de örnekleme kodları verilen kaynak sularından KÖ-Ky02, KÖ-Ky01, KÖ-Ky05 ile KÖ-Ky04 kodlu kaynak suları, inceleme alanının içinde olup model alanının güneyinde Erciyes Dağı’nın kuzey yamacının 1055,00 m, 1406,54 m, 1455,00 m ile 2180,00 m kotlarında çıkış göstermektedirler. Bu kaynak sularında KÖD1 (Aralık 2008) ile KÖD2 (Haziran 2009) dönemlerinde su örnekleri alınabilmektedir. Ancak, yeraltısuyu seviyesinin düşük olduğu ve yağışın olmadığı kurak dönem olan KÖD3 – Eylül 2009 döneminde kaynak debilerinin çok düşük ve/veya kaynakların kuru olmasından dolayı KÖ-Ky01, KÖ-Ky04 ile KÖ-Ky05 kodlu örnekleme noktalarından su örnekleri alınamamıştır. İnceleme alanında yer alan bu kaynak sularından KÖ-Ky02 ile KÖ-Ky04 kodlu kaynaklar Erciyes volkanitleri üyeleri olan piroksen dom, bazalt ve bazaltik lav akıntıları ile piroklastiklerden; KÖ-Ky01 ile KÖ-Ky05 kodlu kaynaklar ise Koçdağ volkanitlerinden andezitik ve bazaltik tüflerden çıkış göstermektedirler.

Örnekleme dönemleri boyunca sözü edilen kaynak sularının majör iyon sıralaması Ca+Mg, Na+K / HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>, Cl+SO<sub>4</sub> şeklindedir ve baskın iyonlar (su tipi) ile Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub>’tır (Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7).

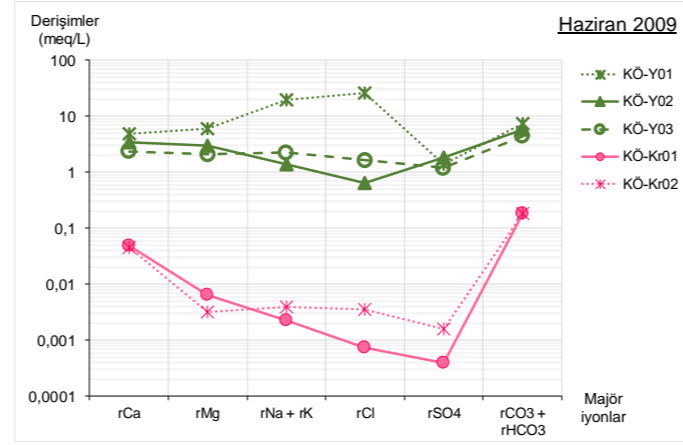
**Çizelge 5.9.** Kaynak, yüzey ve kar sularına ait suların majör iyon derişimleri (meq/L) ile iyon sıralaması

	Örnekleme dönemi	Aralık 2008						Haziran 2009						Eylül 2009						Üç dönem ortalaması					
		Majör iyonlar (meq/L)	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO4	rCO3 + rHCO3	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO4	rCO3 + rHCO3	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO4	rCO3 + rHCO3	rCa	rMg	rNa + rK	rCl	rSO4
Kaynak suyu örnek kodu	KÖ-Ky04	0,07	0,00	0,02	0,00	0,01	0,10	0,39	0,23	0,16	0,07	0,07	0,66	örnek alınamadı						0,23	0,12	0,09	0,04	0,04	0,38
	KÖ-Ky01	0,41	0,14	0,19	0,03	0,02	0,70	0,36	0,09	0,11	0,02	0,03	0,61	örnek alınamadı						0,38	0,11	0,15	0,02	0,02	0,66
	KÖ-Ky05	0,76	0,32	0,26	0,04	0,05	1,11	0,59	0,21	0,18	0,04	0,08	0,91	örnek alınamadı						0,67	0,26	0,22	0,04	0,07	1,01
	KÖ-Ky02	1,61	0,88	0,58	0,32	0,29	2,01	1,19	0,65	0,63	0,30	0,27	1,67	1,43	0,74	0,78	0,30	0,36	1,88	1,41	0,76	0,66	0,30	0,31	1,85
	KÖ-Ky03	0,53	0,64	1,29	0,50	0,18	1,56	0,45	0,51	0,96	0,55	0,18	1,33	0,40	0,50	1,24	0,44	0,19	1,37	0,46	0,55	1,16	0,49	0,18	1,42
	KÖ-Ky06	0,88	1,42	2,59	1,92	0,18	2,31	0,82	1,14	1,82	1,76	0,17	2,10	1,04	1,21	2,50	1,49	0,18	2,78	0,91	1,26	2,30	1,72	0,18	2,40
	KÖ-Ky07	5,01	4,08	11,47	12,00	1,20	6,03	3,47	3,70	11,49	13,09	1,14	5,81	4,42	4,35	12,17	11,25	1,24	6,99	4,30	4,05	11,71	12,11	1,20	6,28
	en küçük	0,07	0,00	0,02	0,00	0,01	0,10	0,36	0,09	0,11	0,02	0,03	0,61	0,40	0,50	0,78	0,30	0,18	1,37	0,23	0,11	0,09	0,02	0,02	0,38
	en büyük	5,01	4,08	11,47	12,00	1,20	6,03	3,47	3,70	11,49	13,09	1,14	5,81	4,42	4,35	12,17	11,25	1,24	6,99	4,30	4,05	11,71	12,11	1,20	6,28
	ortalama	1,32	1,07	2,34	2,12	0,28	1,97	1,04	0,93	2,19	2,26	0,28	1,87	1,82	1,70	4,17	3,37	0,50	3,25	1,20	1,01	2,33	2,10	0,29	2,00
	standart sapma	1,70	1,41	4,12	4,41	0,42	1,94	1,11	1,27	4,14	4,82	0,39	1,82	1,78	1,79	5,38	5,28	0,50	2,56	1,43	1,40	4,21	4,45	0,41	2,01
Yüzey suyu örnek kodu	KÖ-Y01	7,49	7,56	28,74	30,14	1,15	9,85	4,94	6,05	20,03	25,66	1,40	7,38	5,59	6,26	26,65	25,05	1,21	9,94	6,01	6,62	25,14	26,95	1,25	9,06
	KÖ-Y02	4,71	2,61	1,41	0,58	1,62	5,63	3,48	2,96	1,37	0,64	1,85	5,90	4,58	2,89	1,78	0,62	1,75	6,19	4,26	2,82	1,52	0,62	1,74	5,91
	KÖ-Y03	8,03	2,70	2,55	1,09	0,20	11,36	2,38	2,09	2,24	1,63	1,20	4,43	2,86	1,68	2,52	0,88	0,60	5,28	4,43	2,16	2,43	1,20	0,66	7,02
	en küçük	4,7	2,6	1,4	0,6	0,2	5,6	2,4	2,1	1,4	0,6	1,2	4,4	2,9	1,7	1,8	0,6	0,6	5,3	4,3	2,2	1,5	0,6	0,7	5,9
	en büyük	8,0	7,6	28,7	30,1	1,6	11,4	4,9	6,0	20,0	25,7	1,8	7,4	5,6	6,3	26,6	25,1	1,7	9,9	6,0	6,6	25,1	26,9	1,7	9,1
	ortalama	6,7	4,3	10,9	10,6	1,0	8,9	3,6	3,7	7,9	9,3	1,5	5,9	4,3	3,6	10,3	8,9	1,2	7,1	4,9	3,9	9,7	9,6	1,2	7,3
	standart sapma	1,8	2,8	15,5	16,9	0,7	3,0	1,3	2,1	10,5	14,2	0,3	1,5	1,4	2,4	14,2	14,0	0,6	2,5	1,0	2,4	13,4	15,0	0,5	1,6

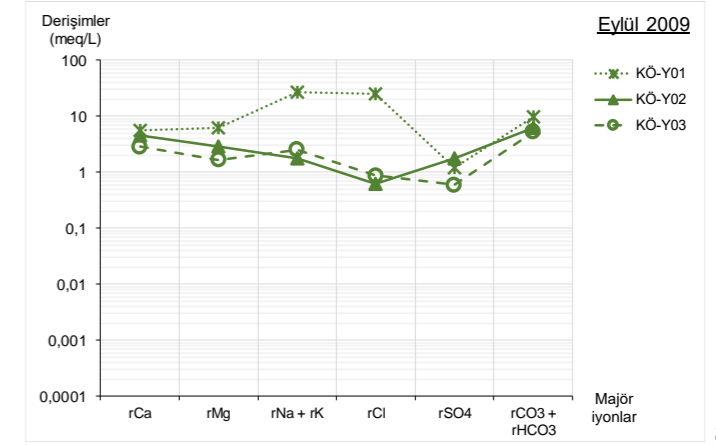




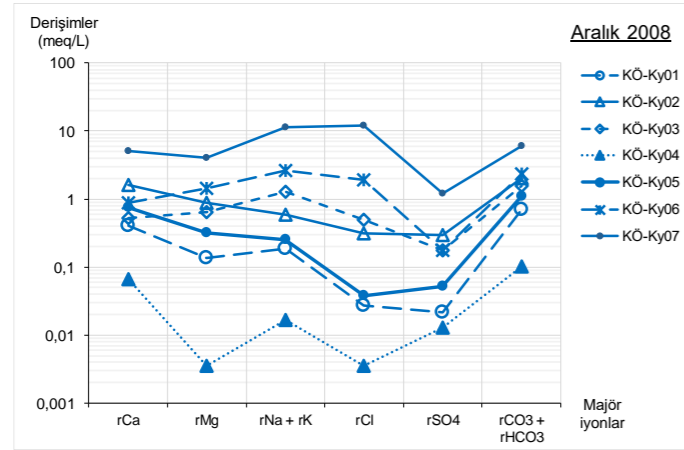
a1A)



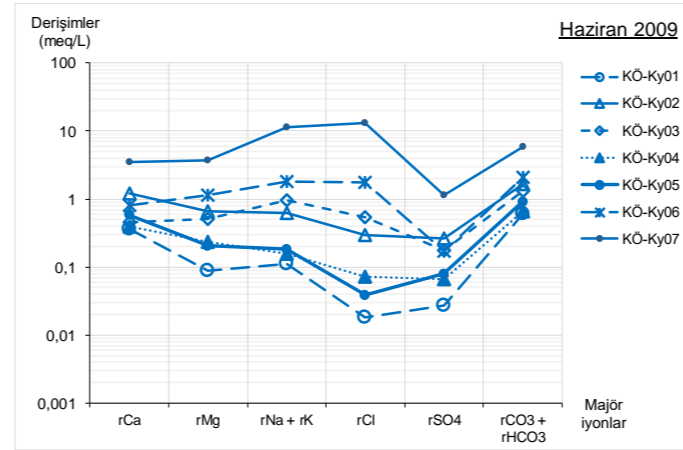
a2A)



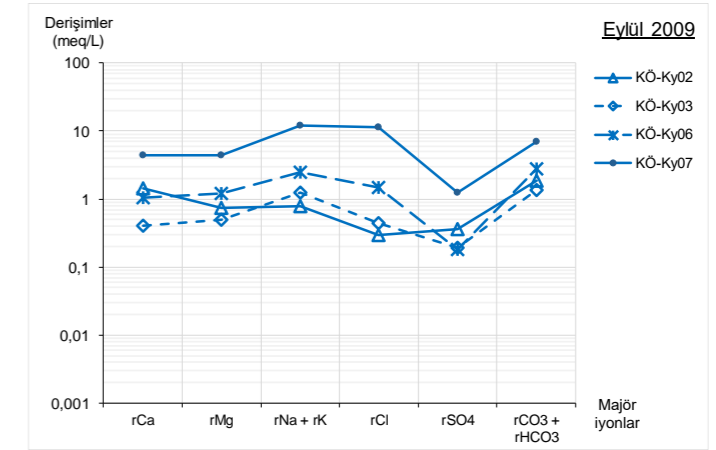
a3A)



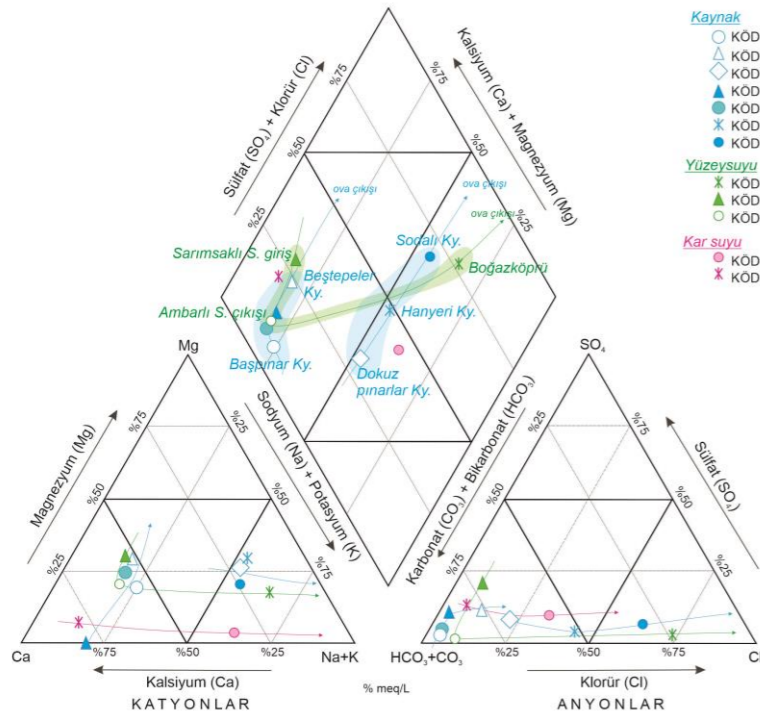
a1B)



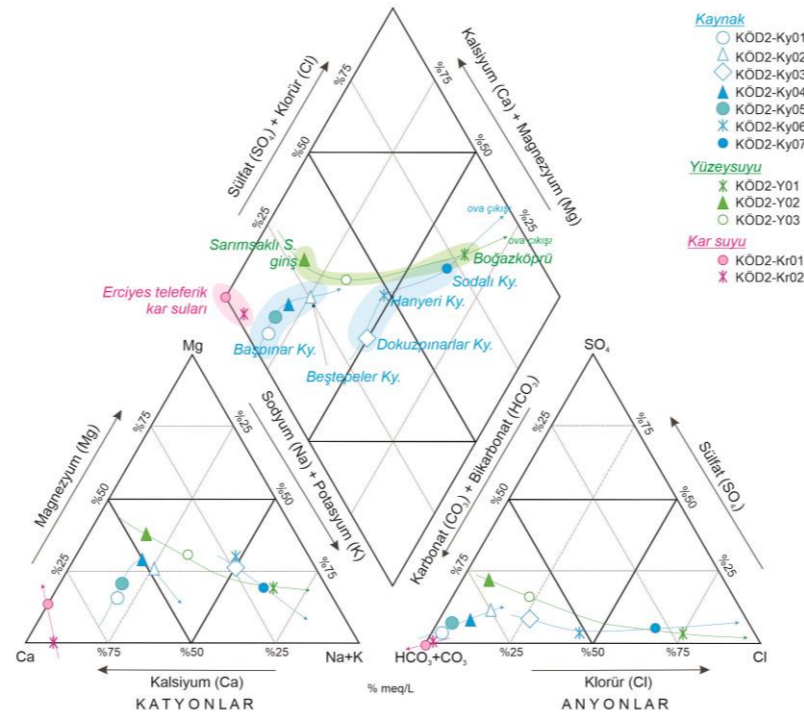
a2B)



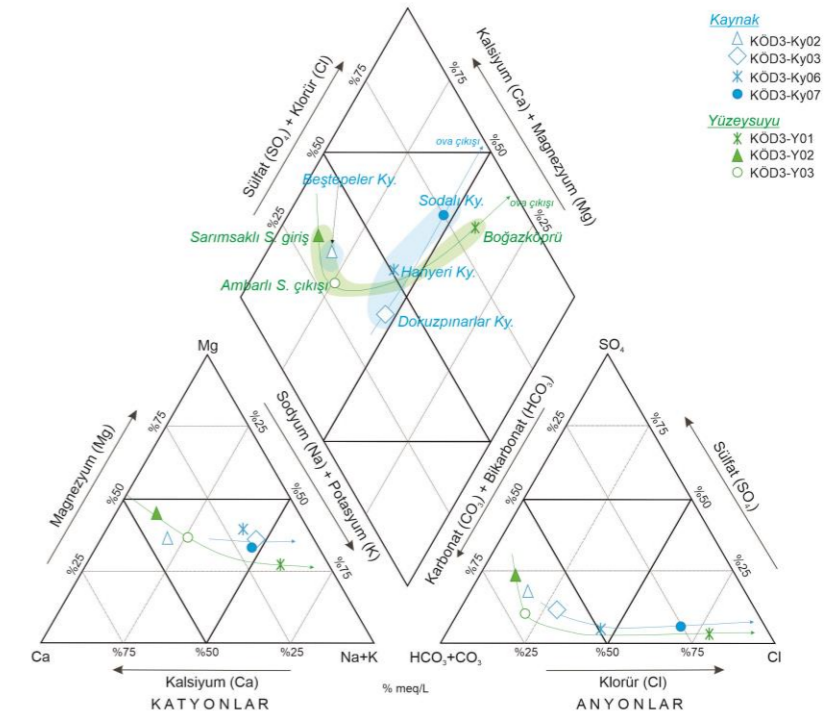
a3B)



b1)



b2)



b3)

Şekil 5.7. Kaynak, yüzey ile kar sularına ait a) Yarı Logaritmik grafikler ve b) Üçgen diyagramı (1 – Aralık 2008, 2 - Haziran 2009, 3 – Eylül 2009; A – yüzey ve kar suyu, B – kaynak suyu)

Özgül elektriksel iletkenlik değerleri KÖ-Ky04 (2180,00 m) kodlu örnek için 82  $\mu\text{S/cm}$  ile 94  $\mu\text{S/cm}$ , KÖ-Ky01 (1406,54 m) kodlu örnek için 54  $\mu\text{S/cm}$  ile 60  $\mu\text{S/cm}$ , KÖ-Ky05 (1454,00 m) kodlu örnek için 107  $\mu\text{S/cm}$  ile 108  $\mu\text{S/cm}$  ve KÖ-Ky02 (1055,00 m) kodlu örnek için 266  $\mu\text{S/cm}$  ile 276  $\mu\text{S/cm}$  arasında ölçülmüştür.

Çizelge 5.8’de örnekleme kodları verilen kaynak sularından KÖ-Ky03, KÖ-Ky06 ile KÖ-Ky07 kodlu kaynak suları, inceleme alanının dışında olup, Karasazlık Bölgesi’nde 1036 m, 1034, m ile 1032 m kotlarında Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri ile Pleyistosen yaşlı Erciyes volkanitleri üyelerinden bazalt ve bazaltik lav akıntılarında çıkış göstermektedir.

Örnekleme dönemleri boyunca bu kaynak sularının majör iyon sıralaması Na+K, Ca+Mg / Cl+SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> şeklindedir ve baskın iyonlar ile Na+K / Cl’dür (Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7). Bu kaynak sularında özgül elektriksel iletkenlik değerleri KÖ-Ky03 (1036,00 m) kodlu örnek için 212  $\mu\text{S/cm}$ , 268  $\mu\text{S/cm}$  ve 215  $\mu\text{S/cm}$ ; KÖ-Ky06 (1406,54 m) kodlu örnek için 443  $\mu\text{S/cm}$ , 423  $\mu\text{S/cm}$  ile 446  $\mu\text{S/cm}$ , KÖ-Ky07 (1034,00 m) kodlu örnek için 1906  $\mu\text{S/cm}$ , 1845  $\mu\text{S/cm}$  ile 2071  $\mu\text{S/cm}$  arasında ölçülmüştür.

**Çizelge 5.10.** Kaynak sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L)

İnceleme alanındaki kaynak suları örnek kodu	Üç dönem ortalaması				istatistik parametreler			
	KÖ-Ky04	KÖ-Ky01	KÖ-Ky05	KÖ-Ky02	e.b.	ort.	s.s.	e.k.
rCa	0,23	0,38	0,67	1,41	1,41	0,67	0,52	0,23
rMg	0,12	0,11	0,26	0,76	0,76	0,31	0,31	0,11
Derişim (meq/L) rNa + rK	0,09	0,15	0,22	0,66	0,66	0,28	0,26	0,09
rCl	0,04	0,02	0,04	0,30	0,30	0,10	0,14	0,02
rSO <sub>4</sub>	0,04	0,02	0,07	0,31	0,31	0,11	0,13	0,02
rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	0,38	0,66	1,01	1,85	1,85	0,97	0,64	0,38

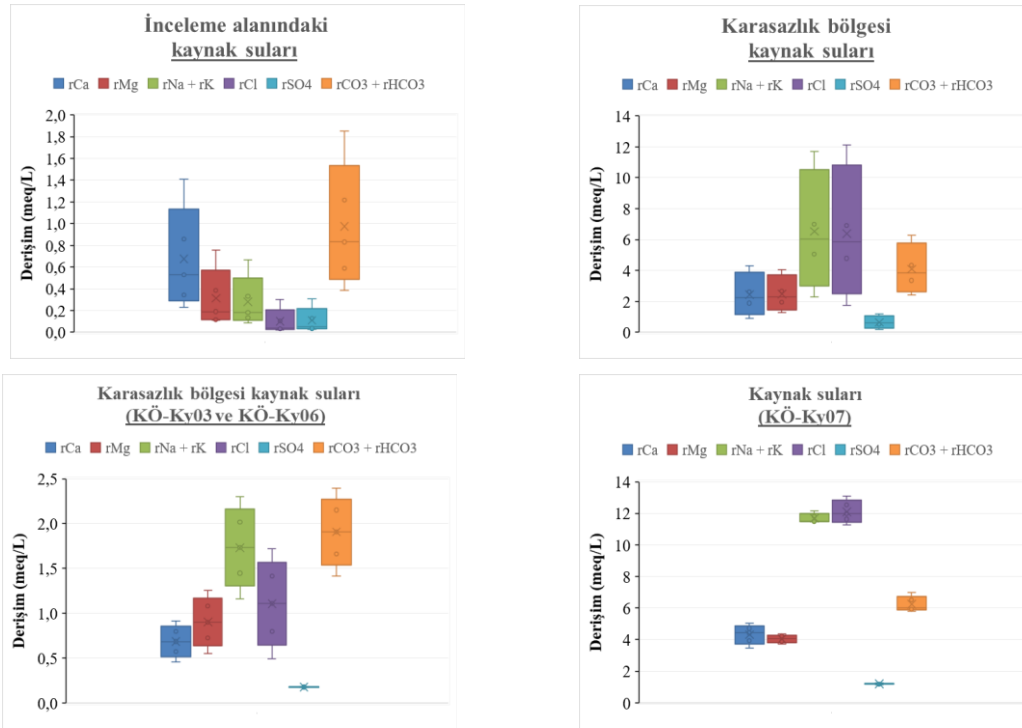
Karasazlık bölgesi kaynak suları örnek kodu	Üç dönem ortalaması			istatistik parametreler			
	KÖ-Ky03	KÖ-Ky06	KÖ-Ky07	e.b.	ort.	s.s.	e.k.
rCa	0,46	0,91	4,30	4,30	1,89	2,10	0,46
rMg	0,55	1,26	4,05	4,05	1,95	1,85	0,55
Derişim (meq/L) rNa + rK	1,16	2,30	11,71	11,71	5,06	5,79	1,16
rCl	0,49	1,72	12,11	12,11	4,78	6,38	0,49
rSO <sub>4</sub>	0,18	0,18	1,20	1,20	0,52	0,59	0,18
rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	1,42	2,40	6,28	6,28	3,36	2,57	1,42

Not: e.b. – en büyük, ort. – ortalama, s.s. – standart sapma, e.k. – en küçük

Örnekleme dönemleri boyunca sözü edilen kaynak sularının majör iyon sıralaması KÖ-Ky03 ile KÖ-Ky06 kodlu kaynak suların majör iyon sıralaması Na+K, Ca+Mg / HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>, Cl+SO<sub>4</sub> şeklindeyken, KÖ-Ky07 kodlu kaynak suyunda ise majör iyon sıralaması Na+K, Ca+Mg / Cl+SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>’tür. Su tipleri ise KÖ-Ky03 ile KÖ-Ky06 kodlu kaynak

suların su tipleri (Na+K)-HCO<sub>3</sub> ve KÖ-Ky07 kodlu (Sodali Ky.) kaynak suyu (Na+K)-Cl'dür. Çizelge 5.9, Çizelge 5.10 ile Şekil 5.7 birlikte incelendiğinde, örnekleme dönemlerinde herbir kaynak suyunun özgül iletkenlik değerleri ile majör iyon derişimlerinde yüksek bir değişim gözlenmemiştir. İnceleme alanı içinde yer alan kaynak sularının majör iyon sıralaması ile baskın iyon derişimleri (Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7) incelendiğinde, inceleme alanı içinde yer alan kaynak sularının su tipi Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub> olduğu görülmektedir. Baskın iyonların ortalama derişimleri ise rCa=0,23-1,41 meq/L; rMg=0,11-0,76 meq/L ve rHCO<sub>3</sub>=0,38-1,85 meq/L arasındadır (Çizelge 5.10 ve Şekil 5.8).

Karasazlık Bölgesi'nde yer alan kaynak sularının majör iyon sıralaması ile baskın iyon derişimleri (Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7) incelendiğinde, KÖ-Ky03 (Dokuzpınarlar Ky.) ile KÖ-Ky06 (Hanyeri Ky.) kodlu kaynak sularının su tipi (Na+K)-HCO<sub>3</sub> ve KÖ-Ky07 kodlu Sodali kaynağının ise (Na+K)-Cl olduğu görülmektedir. Bu kaynak sularından KÖ-Ky03 ile KÖ-Ky06 kodlu suların ortalama derişimleri ise r(Na+K)=1,16-2,30 meq/L ve rHCO<sub>3</sub>=1,42-2,40 meq/L arasındadır. KÖ-Ky07 kodlu Sodali kaynak suyunun baskın iyonların derişimleri r(Na+K)=11,71 meq/L ve rCl=12,11 meq/L'dir (Çizelge 5.10 ve Şekil 5.8).



**Şekil 5.8.** Kaynak sularına ait ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiğindeki sıralanmasına göre dağılımı

## Yüzey suları

İnceleme alanında yüzey suları olarak model alanına kuzeydoğusundan giriş yapan KÖ-Y02 kodlu Sarımsaklı Suyu girişi örnekleme noktasının kotu 1056 m olup, yüzey suyunun dere yatağını oluşturan litolojik birimi alüvyon ile karasal kırıntılılardır ve ortalama  $\text{ÖEİ}=784 \mu\text{S/cm}$ 'dir. Bu örnekleme noktasının akış aşağısında model alanının çıkışında Ambarlı mevkiinde yer alan KÖ-Y03 kodlu Ambar Suyu çıkışı örnekleme noktasının kotu 1037 m'dir. Bu yüzey suyunun taban birimi alüvyon ve piroklastiklerdir ve ortalama  $\text{ÖEİ}=878 \mu\text{S/cm}$ 'dir.

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan yüzey sularının hidrojeokimyasal açısından incelenmesi amacıyla alınan yüzey suyu örneklerinden Boğazköprü mevkiindeki KÖ-Y01 kodlu yüzey suyu, iki farklı akarsu kolundan beslenen karışım suyudur. Bu kollardan biri inceleme alanının çıkışındaki KÖ-Y03 kodlu yüzey suyu örnekleme noktasının bulunduğu Ambarlı Suyu'dur. Diğeri ise, Karasazlık Bölgesi'ndeki  $(\text{Na}+\text{K})\text{-HCO}_3$  (KÖ-Ky03 ve KÖ-Ky06) ve  $(\text{Na}+\text{K})\text{-Cl}$  (KÖ-Ky07) tipi kaynak sularıyla  $((\text{KÖ-Ky07})_{\text{DERİŞİM}} \gg (\text{KÖ-Ky03 ve KÖ-Ky06})_{\text{DERİŞİM}})$  beslenen Karasu Deresi'dir. Bu iki akarsu koldan gelen yüzey suyu boşalımı KÖ-Y01 kodlu Boğazköprü örnekleme noktasının akış yukarısında birleşerek KÖ-Y01 kodlu yüzey suyunu beslemektedir. Akarsuyunun yatağı alüvyon birimidir (siltli kil, kil) ve ortalama  $\text{ÖEİ}=3604 \mu\text{S/cm}$ 'dir (Çizelge 5.11).

**Çizelge 5.11.** Yüzeysuyu taban birimi ve çevresindeki yüzeylene jeolojik birimler

Örnek kodu	Mevkii	Adı	Kot (m)	taban birimi	Yüzeysuyu ve çevresinde yüzeylenen jeolojik birimler
<b>KÖ-Y01</b>	BOĞAZ KÖPRÜ	Karasazlık deresi - Boğazköprüsü	1029	Qal	Alüvyon alüvyon
<b>KÖ-Y02</b>	ELAGÖZ	Model alana Sarımsaklı S'dan giriş	1056	Qal	Alüvyon alüvyon
<b>KÖ-Y03</b>	AMBARLI	Model alanından Ambarlı S. çıkışı	1037	Qal, Qepr	Alüvyon, Erciyes volkanitleri alüvyon ve piroklastikler

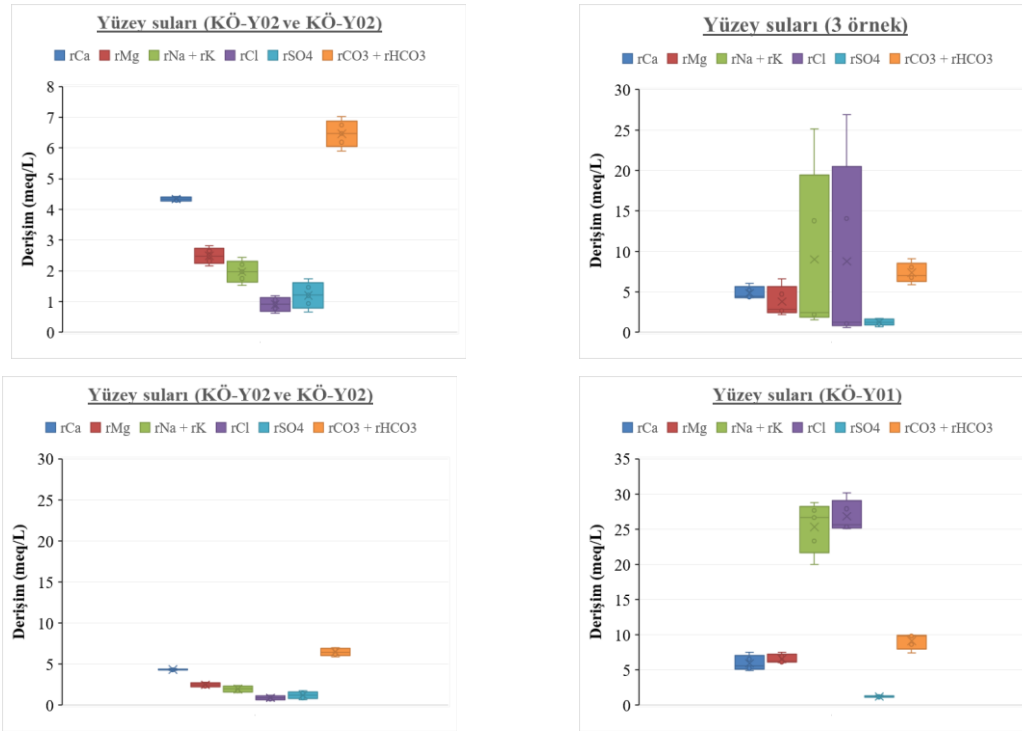
Çizelge 5.9 ve Şekil 5.7'de Yüzey sularının majör iyon sıralaması ile baskın iyon derişimler incelendiğinde, KÖ-Y02 (Sarımsaklı S. girişi) ile KÖ-Y03 (Ambarlı S. çıkışı) kodlu suların su tipi  $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-HCO}_3$ 'tır. KÖ-Y01 kodlu Boğazköprüsü yüzey suyununki ise,  $(\text{Na}+\text{K})\text{-Cl}$ 'dür. Suların majör iyon derişimleri kıyaslandığında  $(\text{KÖ-Y01})_{\text{DERİŞİM}} \gg (\text{KÖ-Y02 ve KÖ-Y03})_{\text{DERİŞİM}}$  olduğu görülmektedir.

Bu kaynak sularından KÖ-Y02 ile KÖ-Y03 kodlu suların ortalama derişimleri ise  $rCa=4,3-4,4$  meq/L;  $rMg=2,2-2,8$  meq/L ve  $rHCO_3=4,9-7,0$  meq/L arasındadır (Çizelge 5.12 ve Şekil 5.9). KÖ-Y01 kodlu Boğazköprü suyununki ise,  $r(Na+K)=25,1$  meq/L ve  $rCl=26,9$  meq/L'dir (Çizelge 5.11 ve Şekil 5.9).

**Çizelge 5.12.** Yüzeysel sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L)

Yüzeysel sular örnek kodu	Üç dönem ortalaması			istatistik parametreler				
	KÖ-Y02	KÖ-Y03	KÖ-Y01	e.b.	ort.	s.s.	e.k.	
rCa	4,3	4,4	6,0	6,0	4,9	1,0	4,4	
rMg	2,8	2,2	6,6	6,6	3,9	2,4	2,2	
Derişim (meq/L)	rNa + rK	1,5	2,4	25,1	25,1	9,7	13,4	2,4
	rCl	0,6	1,2	26,9	26,9	9,6	15,0	1,2
	rSO <sub>4</sub>	1,7	0,7	1,3	1,7	1,2	0,6	0,7
	rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	5,9	7,0	9,1	9,1	7,3	1,6	7,0

Not: e.b. – en büyük, ort. – ortalama, s.s. – standart sapma, e.k. – en küçük



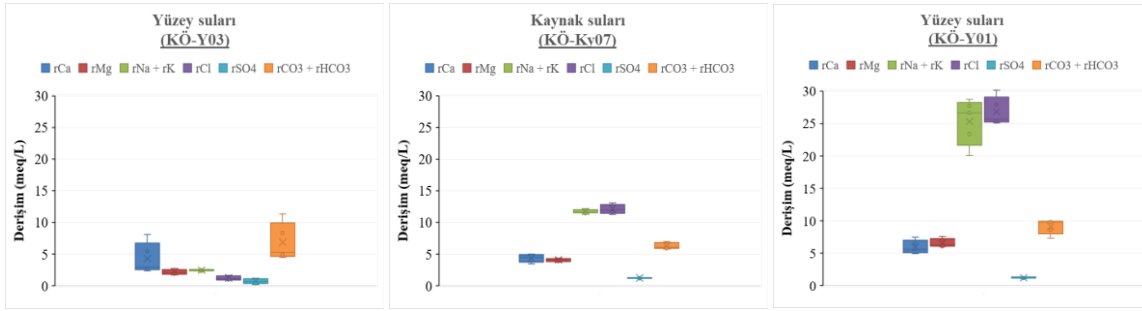
**Şekil 5.9.** Yüzeysel sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiğindeki sıralanmasına göre dağılımı

Yüzeysel sular hidrojeokimyasal süreçleri açısından değerlendirildiğinde, KÖ-Y01 kodlu Boğazköprü yüzeysel suyu, iki farklı akarsu kolundan beslenen karışım suyudur. Bu kollardan biri inceleme alanının çıkışındaki KÖ-Y03 kodlu yüzeysel suyu örnekleme noktasının



bulunduğu Ambarlı Suyu'dur. Diğeri ise, Karasazlık Bölgesi'ndeki kaynak sularıyla ((KÖ-Ky07)<sub>DERİŞİM</sub>>>>(KÖ-Ky03 ve KÖ-Ky06)<sub>DERİŞİM</sub>) beslenen Karasu Deresi'dir.

KÖ-Y01 kodlu suyun toplam derişimi sözü edilen iki akarsu koldan gelen yüzey suyunun toplam derişimi olup, majör iyon derişimleri kendisini besleyen akarsularinkinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir (KÖ-Y01<sub>DERİŞİM</sub>>>KÖ-Ky07<sub>DERİŞİM</sub>>>KÖ-Y03<sub>DERİŞİM</sub>). Bunun nedeni de, KÖ-Ky07 kaynak suyu ile KÖ-Y03 kodlu yüzey suyu örnekleme noktasından KÖ-Y01 kodlu yüzey suyu örnekleme noktası arasındaki alanlardaki tarımsal ve sanayi faaliyetlerinden kaynaklı kirlilik ile açıklanabilmektedir. Ayrıca, yüzey suları buharlaşma etkisi altındadır (Şekil 5.10).



**Şekil 5.10.** Yüzey sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiğindeki sıralanmasına göre dağılımı

### 5.3.3. Derin kuyu suları

İnceleme alanında farklı zamanlarda farklı kurumlarınca açılan ve bugünlerde farklı işletmeciler tarafından işletilmekte olan volkanik kayaç birimlerinde açılan kuyular derin kuyular olarak kabul edilmiştir. Sözü edilen kuyulara ait kot, derinlik ile kuyuda geçilen litolojik birimlerine ilişkin bilgiler Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Çizelge 5.13'te verilen derin kuyular incelendiğinde,

- Kayseri Kenti ovasının doğusunda Argıncık, Anneler Parkı ve Germiraltı mevkiilerinde yer alan ve kuyu başı kotları (KBK) 1059,81 m ile 1095,5 m arasında, derinlikleri ise 25 m ile 100 m arasında değişen 5 adet derin kuyu Koçdağ Volkanitlerine ait ignimbitler ile tüflerde;
- Kayseri Kenti ovasının güneyinde Erciyes kasabası, Beştepeler, Gediris, Eğribucak, Kegahbağları, Mahrumlar, Organize Sany Bölgesi ile Taşlıburun mevkiilerinde yer alan ve KBK=1052,4-1122,5 m, derinlikleri ise 75 m ile 150 m arasında değişen 9 adet derin

kuyu genel olarak Erciyes Volkanitlerine ait bazalt, andezit, bazaltik andezitik lav akıntıları ile piroklastiklerde;

- Kayseri Kenti ovasının ortası-batısı-kuzeypbatısında Keykubat, Karpuzatan ve Mevlana mevkiilerinde yer alan KBK=1041,25-1051,5 m, derinlikleri ise 40 m ile 77 m arasında değişen 8 adet derin kuyu genel olarak Koçdağ Volkanitlerine ait bazalt, bazaltik andezitik tüflerde ve çok az sıklıkta volkanik cüruf ve andezitte; KBK=1176,4 m ve derinliği 115 m olan Erkilet Hastek 1 kuyusu Koçdağ Volkanitlerine ait ignimbrit ve tüflerde

açılmış olduğu belirlenmiştir.

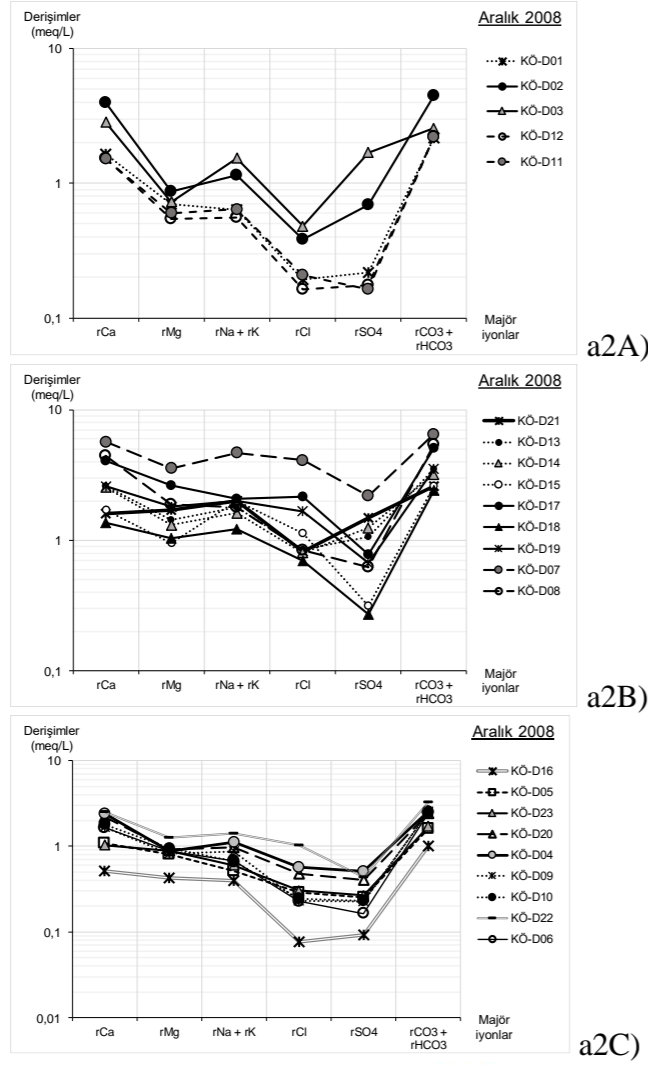
**Çizelge 5.13.** Derin kuyularda geçilen litolojik birimler

Kuyu grubu adı	Örnek kodu	Mevkii	Adı	Kuyu başı kotu (m)	Derinlik (m)	Kuyuda geçilen litolojik birimlerine ilişkin açıklamalar		
						Simge	Kayaç grubunun adı	Litoloji
Ovanın doğusunda yer alan derin kuyu suları örnek kodu	KÖ-D11	GERMİRALTI	SonK. 12	1095,50	95	Tplv, Tpli	Koçdağ volkanitleri	ignimbrit, tüf
	KÖ-D12	GERMİRALTI	Germiralı 3	1093,94	100	Tplv, Tpli	Koçdağ volkanitleri	ignimbrit, tüf
	KÖ-D01	ANNELELER	Anneler Parkı	1076,18	105	Tplv	Koçdağ volkanitleri	ignimbrit, tüf
	KÖ-D02	ARGINCIK	SonK. 10	1059,81	54	Tplv	Koçdağ volkanitleri	ignimbrit, tüf
	KÖ-D03	ARGINCIK	SonK. 14	1059,75	25	Tplv	Koçdağ volkanitleri	ignimbrit, tüf
Ovanın güneyinde yer alan derin kuyu suları örnek kodu	KÖ-D16	KERGAHBAĞLARI	ŞahK. 1	1105,00	150	Qeb	Erciyes volkanitleri	bazalt
	KÖ-D23	TAŞLIBURUN	SonK. 16	1068,73	70	Qeb, Qepr	Erciyes volkanitleri	bazalt, piroklastikler
	KÖ-D05	EĞRİBUCAK	Eğribucak 1	1122,50	110	Qeb	Erciyes volkanitleri	bazalt
	KÖ-D10	GEDİRİS	Gediris 1	1095,48	120	Qehis, Qeb	Erciyes volkanitleri	bazalt ve andezitik lav akıntıları, bazalt
	KÖ-D06	ERCIYES	ŞahK. 4	1335,94	100	Qehis, Tpla, Tplb	Erciyes ve Koçdağ volkanitleri	bazalt ve andezitik lav akıntıları, andezitik ve bazaltik tüfler
	KÖ-D09	GEDİRİS	SonK. 15	1095,54	95	Qehis, Qeb	Erciyes volkanitleri	bazalt ve andezitik lav akıntıları, bazalt
	KÖ-D20	MAHRUMLAR	Mahrumlar 2	1052,40	140	Qepr	Erciyes volkanitleri	piroklastikler
	KÖ-D04	BEŞTEPELER	Beştepeler 2	1056,00	75	Qeb, Qea	Erciyes volkanitleri	bazalt, andezit
KÖ-D22	Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	ŞahK. 3	1106,00	150	Qepr	Erciyes volkanitleri	piroklastikler	
Ovanın batısında yer alan derin kuyu suları örnek kodu	KÖ-D18	KEYKUBAT	SonK. 4	1043,34	38	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf
	KÖ-D15	KARPUZATAN	Karpuzatan 6	1044,05	68	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf
	KÖ-D14	KARPUZATAN	SonK. 6	1044,89	44	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf
	KÖ-D13	KARPUZATAN	SonK. 5	1044,08	43	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf
	KÖ-D21	MEVLANA	SonK. 13	1051,50	54	Qepr	Erciyes volkanitleri	piroklastikler
	KÖ-D19	KEYKUBAT	Keykubat 4	1042,56	77	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf
	KÖ-D08	ERKİLET	Hastek 1	1176,40	115	Tpli	Koçdağ volkanitleri	ignimbrit, tüfler
KÖ-D17	KEYKUBAT	SonK. 2	1042,67	55	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf	
KÖ-D07	ERKİLET	SonK. 9	1041,25	40	Tmbf	Koçdağ volkanitleri	bazalt, bazaltik andezitik tüf	

Model alanı içinde yer alan Çizelge 5.13'te sözü edilen kuyulardan örnekleme dönemlerinde alınan su örneklerinde yapılan su kimyası analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda suların majör iyon sıralaması yapılarak su tipleri belirlenmiştir (Çizelge 5.14). Ayrıca; sulardaki majör iyon derişimlerinin beslenme alanından akım yolu boyunca artmış olduğu, Çizelge 5.14'te verilen majör iyon sıralaması ile Şekil 5.11'de verilen Yarı Logaritmik Grafikleri ile Üçgen Diyagramlarından görülmektedir.

**Çizelge 5.14.** Derin kuyu sularına ait suların majör iyon derişim değerleri (meq/L) ile iyon sıralaması

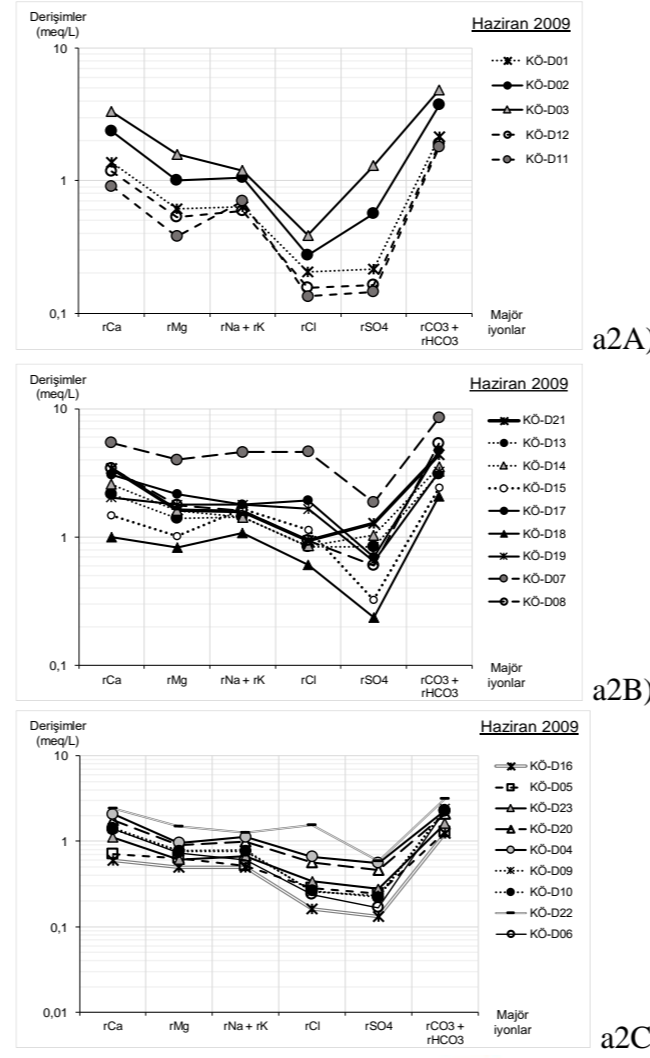
		Örnekleme dönemi						A r a l ı k 2 0 0 8						H a z i r a n 2 0 0 9						E y ü l 2 0 0 9						Ü ç dönem ortalaması					
		Majör iyonlar (meq/L)		rCa	rMg	rNa+rK	rCl	rSO4	rCO3+rHCO3	rCa	rMg	rNa+rK	rCl	rSO4	rCO3+rHCO3	rCa	rMg	rNa+rK	rCl	rSO4	rCO3+rHCO3	rCa	rMg	rNa+rK	rCl	rSO4	rCO3+rHCO3				
Ovanın doğusunda yer alan derin kuyu suları örnek kodu	KÖ-D11	1,52	0,60	0,64	0,21	0,16	2,21	0,91	0,38	0,70	0,13	0,15	1,81	0,78	0,36	0,86	0,14	0,12	1,62	1,07	0,45	0,73	0,16	0,14	1,88						
	KÖ-D12	1,54	0,55	0,55	0,16	0,17	2,21	1,18	0,53	0,59	0,16	0,16	1,90	örnek alınmadı						1,36	0,54	0,57	0,16	0,17	2,06						
	KÖ-D01	1,65	0,70	0,64	0,19	0,22	2,16	1,37	0,61	0,64	0,21	0,22	2,14	1,60	0,70	0,79	0,18	0,23	2,23	1,54	0,67	0,69	0,19	0,22	2,18						
	KÖ-D02	3,96	0,87	1,14	0,38	0,69	4,47	2,36	1,01	1,05	0,27	0,56	3,71	2,68	1,23	1,41	0,31	0,14	4,47	3,00	1,03	1,20	0,32	0,47	4,22						
	KÖ-D03	2,84	0,73	1,53	0,48	1,69	2,56	3,31	1,58	1,19	0,39	1,30	4,86	4,46	1,67	1,59	0,32	1,40	5,28	3,54	1,33	1,44	0,40	1,46	4,23						
	en küçük	1,52	0,55	0,55	0,16	0,16	2,16	0,91	0,38	0,59	0,13	0,15	1,81	0,78	0,36	0,79	0,14	0,12	1,62	1,07	0,45	0,57	0,16	0,14	1,88						
	en büyük	3,96	0,87	1,53	0,48	1,69	4,47	3,31	1,58	1,19	0,39	1,30	4,86	4,46	1,67	1,59	0,32	1,40	5,28	3,54	1,33	1,44	0,40	1,46	4,23						
	ortalama	2,30	0,69	0,90	0,29	0,59	2,72	1,83	0,82	0,84	0,23	0,48	2,89	2,38	0,99	1,16	0,24	0,47	3,40	2,10	0,80	0,93	0,25	0,49	2,91						
	standart sapma	1,08	0,13	0,42	0,14	0,65	0,99	1,00	0,48	0,27	0,10	0,49	1,35	1,59	0,58	0,40	0,09	0,62	1,75	1,10	0,37	0,37	0,11	0,56	1,20						
Ovanın güneyinde yer alan derin kuyu suları örnek kodu	KÖ-D16	0,52	0,42	0,39	0,08	0,09	1,01	0,60	0,50	0,49	0,16	0,13	1,24	0,38	0,41	0,41	0,06	0,10	1,02	0,50	0,44	0,43	0,10	0,11	1,09						
	KÖ-D23	1,03	0,89	0,60	0,30	0,27	1,71	1,11	0,61	0,67	0,34	0,28	1,62	1,35	0,71	0,79	0,24	0,29	1,83	1,17	0,74	0,68	0,30	0,28	1,72						
	KÖ-D05	1,09	0,81	0,52	0,29	0,25	1,61	0,70	0,63	0,51	0,28	0,25	1,29	0,89	0,73	0,62	0,22	0,27	1,42	0,89	0,72	0,55	0,26	0,26	1,44						
	KÖ-D10	1,80	0,94	0,66	0,24	0,23	2,51	1,38	0,76	0,77	0,26	0,22	2,29	1,66	0,85	0,94	0,23	0,25	2,54	1,61	0,85	0,79	0,25	0,23	2,45						
	KÖ-D06	1,64	0,88	0,68	0,23	0,16	2,41	1,40	0,73	0,61	0,24	0,17	2,29	1,58	0,89	0,85	0,24	0,18	2,34	1,54	0,83	0,71	0,24	0,17	2,34						
	KÖ-D09	1,68	0,83	0,87	0,23	0,23	2,51	1,43	0,77	0,79	0,26	0,23	2,38	1,17	0,78	0,87	0,20	0,25	2,44	1,42	0,79	0,84	0,23	0,24	2,44						
	KÖ-D20	2,19	0,92	0,97	0,48	0,40	2,41	1,78	0,90	0,98	0,56	0,46	2,10	1,73	1,02	1,15	0,45	0,50	2,23	1,90	0,95	1,03	0,50	0,45	2,25						
	KÖ-D04	2,41	0,88	1,12	0,57	0,51	2,51	2,07	0,96	1,13	0,66	0,56	2,29	1,95	1,05	1,25	0,47	0,55	2,34	2,14	0,96	1,16	0,56	0,54	2,38						
	KÖ-D22	2,51	1,26	1,42	1,03	0,43	3,26	2,43	1,50	1,25	1,54	0,58	3,14	2,22	1,21	1,56	0,97	0,49	3,55	2,39	1,32	1,41	1,18	0,50	3,32						
		en küçük	0,52	0,42	0,39	0,08	0,09	1,01	0,60	0,50	0,49	0,16	0,13	1,24	0,38	0,41	0,41	0,06	0,10	1,02	0,50	0,44	0,43	0,10	0,11	1,09					
	en büyük	2,51	1,26	1,42	1,03	0,51	3,26	2,43	1,50	1,25	1,54	0,58	3,14	2,22	1,21	1,56	0,97	0,55	3,55	2,39	1,32	1,41	1,18	0,54	3,32						
	ortalama	1,65	0,87	0,80	0,38	0,29	2,22	1,43	0,82	0,80	0,48	0,32	2,07	1,44	0,85	0,94	0,34	0,32	2,19	1,51	0,85	0,85	0,40	0,31	2,16						
	standart sapma	0,67	0,21	0,32	0,28	0,13	0,66	0,60	0,29	0,27	0,43	0,17	0,60	0,56	0,23	0,34	0,27	0,16	0,72	0,60	0,24	0,31	0,32	0,15	0,66						
Ovanın batısında yer alan derin kuyu suları örnek kodu	KÖ-D18	1,37	1,04	1,23	0,70	0,27	2,41	1,00	0,83	1,08	0,61	0,24	2,10	1,20	0,86	1,20	0,49	0,27	2,34	1,19	0,91	1,17	0,60	0,26	2,28						
	KÖ-D15	1,71	0,96	2,01	1,14	0,32	2,61	1,49	1,02	1,66	1,14	0,33	2,43	1,50	1,15	1,96	0,85	0,34	2,98	1,57	1,04	1,88	1,04	0,33	2,67						
	KÖ-D14	2,55	1,32	1,62	0,80	1,25	3,22	2,58	1,61	1,43	0,85	1,04	3,52	2,81	1,83	1,78	0,65	1,14	3,91	2,65	1,58	1,61	0,77	1,14	3,55						
	KÖ-D13	2,60	1,43	1,79	0,85	1,07	3,52	2,17	1,39	1,43	0,84	0,84	3,10	2,15	1,82	1,65	0,61	0,85	3,40	2,31	1,45	1,62	0,76	0,92	3,34						
	KÖ-D21	1,61	1,70	2,01	0,82	1,50	2,61	3,41	1,62	1,59	0,94	1,29	4,38	2,33	1,55	1,56	0,56	1,13	3,71	2,45	1,62	1,72	0,77	1,31	3,57						
	KÖ-D19	2,60	1,82	2,01	1,67	0,67	3,52	2,04	1,79	1,79	1,66	0,65	3,24	2,01	1,60	1,64	0,98	0,52	3,25	2,22	1,74	1,81	1,44	0,61	3,33						
	KÖ-D08	4,45	1,88	1,80	0,84	0,62	5,43	3,45	1,78	1,60	0,94	0,60	5,33	3,70	2,14	2,03	0,73	0,64	5,43	3,87	1,93	1,81	0,84	0,62	5,40						
	KÖ-D17	4,09	2,63	2,08	2,17	0,79	5,13	3,07	2,16	1,80	1,94	0,70	4,76	3,71	2,46	2,01	1,61	0,77	5,28	3,62	2,42	1,96	1,91	0,75	5,06						
	KÖ-D07	5,67	3,58	4,69	4,11	2,19	6,53	5,43	4,02	4,59	4,63	1,87	8,52	4,99	3,90	4,79	2,70	1,63	8,22	5,36	3,83	4,69	3,81	1,90	7,76						
	en küçük	1,37	0,96	1,23	0,70	0,27	2,41	1,00	0,83	1,08	0,61	0,24	2,10	1,20	0,86	1,20	0,49	0,27	2,34	1,19	0,91	1,17	0,60	0,26	2,28						
	en büyük	5,67	3,58	4,69	4,11	2,19	6,53	5,43	4,02	4,59	4,63	1,87	8,52	4,99	3,90	4,79	2,70	1,63	8,22	5,36	3,83	4,69	3,81	1,90	7,76						
	ortalama	2,96	1,82	2,14	1,46	0,96	3,89	2,74	1,80	1,89	1,50	0,84	4,15	2,71	1,89	2,07	1,02	0,81	4,28	2,80	1,84	2,03	1,33	0,87	4,11						
	standart sapma	1,47	0,83	0,99	1,11	0,61	1,46	1,31	0,93	1,04	1,25	0,51	1,95	1,22	0,89	1,05	0,71	0,43	1,79	1,29	0,87	1,02	1,02	0,52	1,70						



a2A)

a2B)

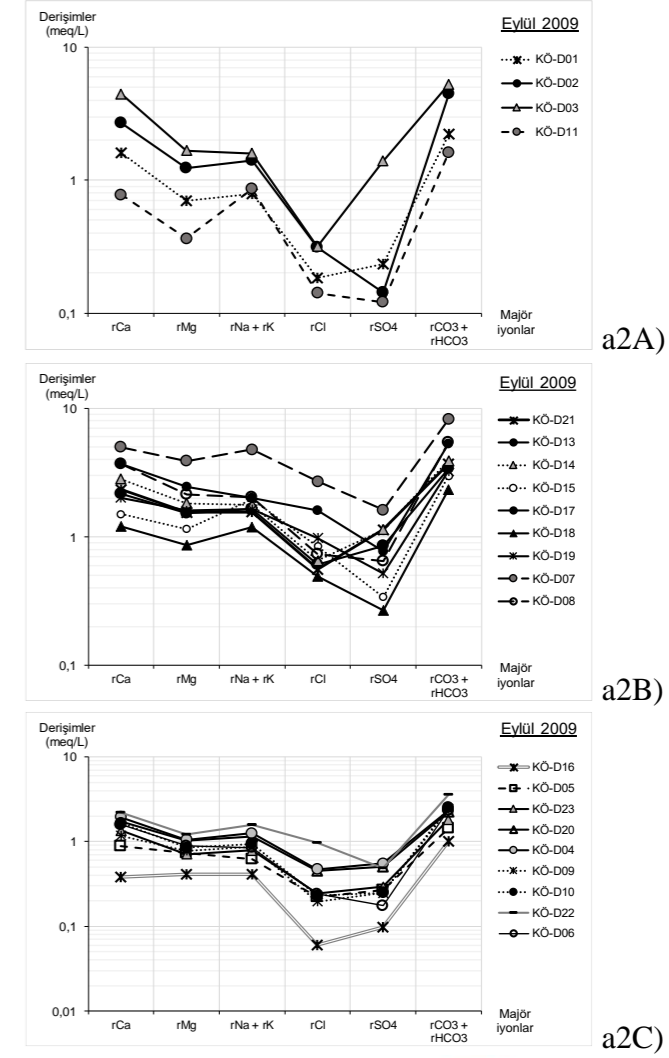
a2C)



a2A)

a2B)

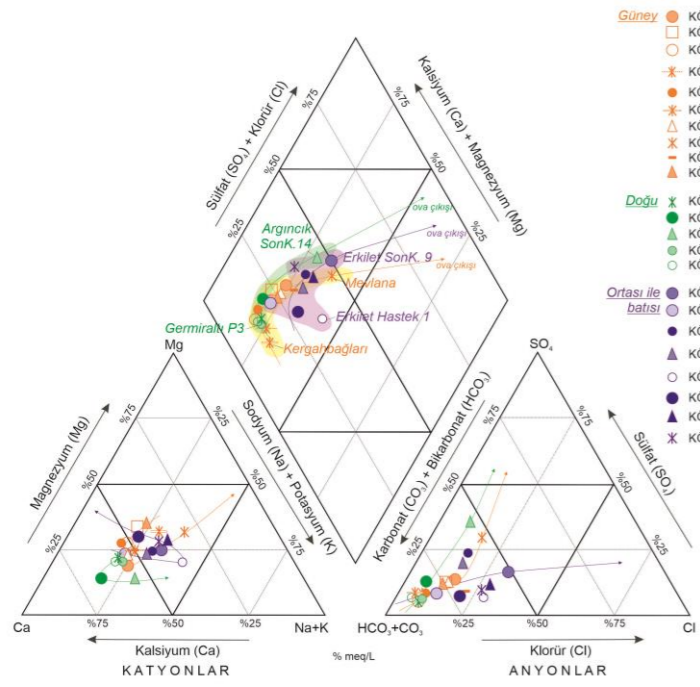
a2C)



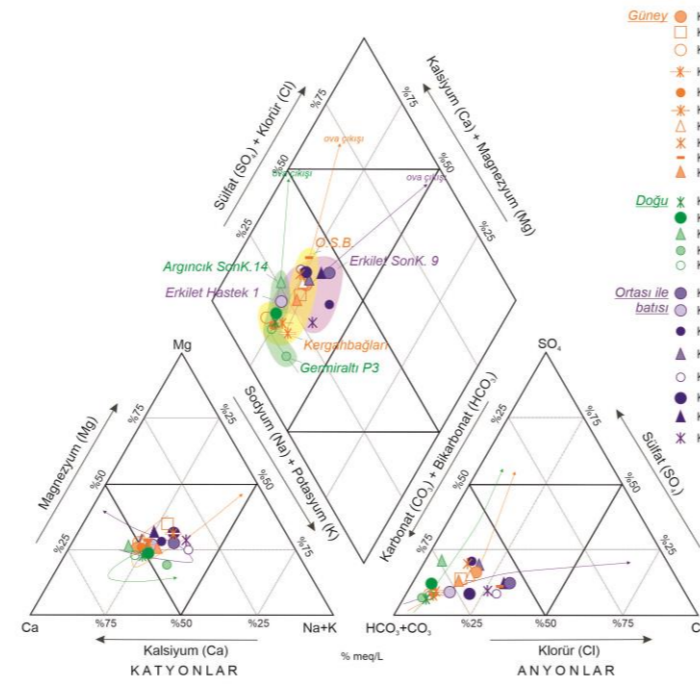
a2A)

a2B)

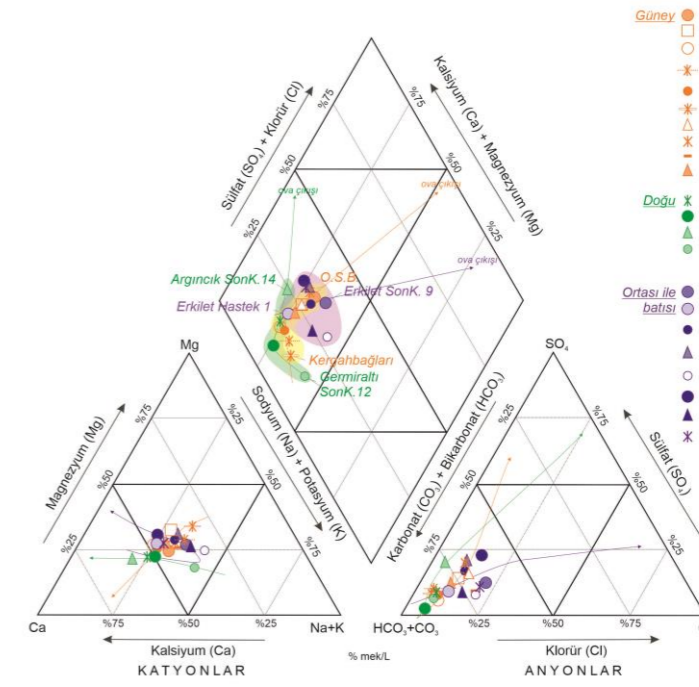
a2C)



b1)



b2)



b3)

Şekil 5.11. Derin kuyu sularına ait a) Yarı Logaritmik grafikler ve b) Üçgen diyagramı (1 – Aralık 2008, 2 - Haziran 2009, 3 – Eylül 2009; A – doğu, B – güney, C – batı)

Derin kuyulara ait suların ÖEİ değerleri Kayseri ovasının güneyindeki kuyularda ÖEİ=121-557  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; doğusundakilerde ÖEİ=156-675  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve batı-kuzeybatısındakilerde ise ÖEİ=476-1434  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir (Çizelge 5.2).

**Çizelge 5.15.** Derin kuyu sularına ait majör iyon derişimlerinin üç dönemin ortalaması ile onların uç değerleri (meq/L)

Ovanın güneyinde yer alan derin kuyu suları	Üç dönem ortalaması									istatistik parametreler			
	KÖ-D16	KÖ-D23	KÖ-D05	KÖ-D10	KÖ-D06	KÖ-D09	KÖ-D20	KÖ-D04	KÖ-D22	e.b.	ort.	s.s.	e.k.
rCa	0,5	1,2	0,9	1,6	1,5	1,4	1,9	2,1	2,4	2,4	1,5	0,6	0,5
rMg	0,4	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	1,0	1,3	1,3	0,8	0,2	0,4
Derişim (meq/L)	rNa + rK	0,4	0,7	0,6	0,8	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,4	0,8	0,3
rCl	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	1,2	1,2	0,4	0,3	0,1
rSO <sub>4</sub>	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1
rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	1,1	1,7	1,4	2,4	2,3	2,4	2,2	2,4	3,3	3,3	2,2	0,7	1,1

Ovanın doğusunda yer alan derin kuyu suları	Üç dönem ortalaması					istatistik parametreler			
	KÖ-D11	KÖ-D12	KÖ-D01	KÖ-D02	KÖ-D03	e.b.	ort.	s.s.	e.k.
rCa	1,1	1,4	1,5	3,0	3,5	3,5	2,1	1,1	1,1
rMg	0,4	0,5	0,7	1,0	1,3	1,3	0,8	0,4	0,4
Derişim (meq/L)	rNa + rK	0,7	0,6	0,7	1,2	1,4	1,4	0,9	0,4
rCl	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,2
rSO <sub>4</sub>	0,1	0,2	0,2	0,5	1,5	1,5	0,5	0,6	0,1
rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	1,9	2,1	2,2	4,2	4,2	4,2	2,9	1,2	1,9

Ovanın batısında yer alan derin kuyu suları	Üç dönem ortalaması									istatistik parametreler			
	KÖ-D18	KÖ-D15	KÖ-D14	KÖ-D13	KÖ-D21	KÖ-D19	KÖ-D08	KÖ-D17	KÖ-D07	e.b.	ort.	s.s.	e.k.
rCa	1,2	1,6	2,6	2,3	2,5	2,2	3,9	3,6	5,4	5,4	2,8	1,3	1,2
rMg	0,9	1,0	1,6	1,4	1,6	1,7	1,9	2,4	3,8	3,8	1,8	0,9	0,9
Derişim (meq/L)	rNa + rK	1,2	1,9	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	2,0	4,7	4,7	2,0	1,0
rCl	0,6	1,0	0,8	0,8	0,8	1,4	0,8	1,9	3,8	3,8	1,3	1,0	0,6
rSO <sub>4</sub>	0,3	0,3	1,1	0,9	1,3	0,6	0,6	0,8	1,9	1,9	0,9	0,5	0,3
rCO <sub>3</sub> + rHCO <sub>3</sub>	2,3	2,7	3,5	3,3	3,6	3,3	5,4	5,1	7,8	7,8	4,1	1,7	2,3

Not: e.b. – en büyük, ort. – ortalama, s.s. – standart sapma, e.k. – en küçük

Kuyu gruplarının su tipleri Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub> (Çizelge 5.15 ve Şekil 5.12) olup, baskın iyonların ortalama derişim aralıkları:

Güneyi: rCa=0,5-2,4 meq/L, rMg=0,4-1,3 meq/L ve rHCO<sub>3</sub>=1,1-3,3 meq/L

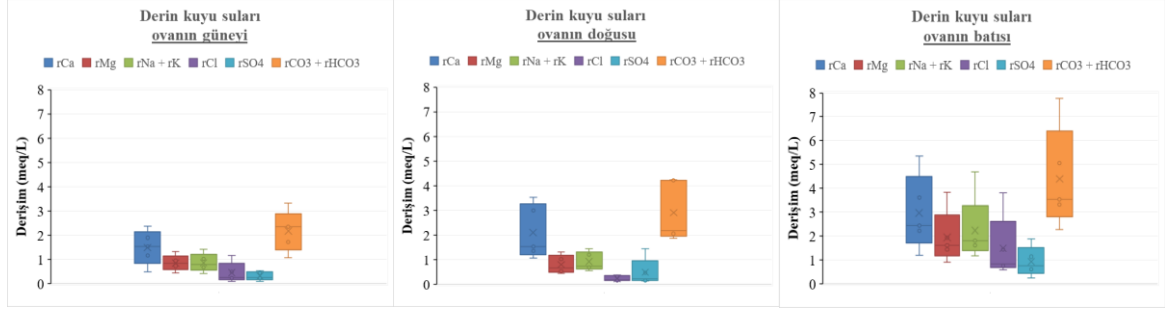
Doğusu: rCa=1,1-3,5 meq/L, rMg=0,4-1,3 meq/L ve rHCO<sub>3</sub>=1,9-4,2 meq/L

Batısı-KB: rCa=1,2-5,4 meq/L, rMg=0,9-3,8 meq/L ve rHCO<sub>3</sub>=2,3-7,7 meq/L

'dir. Ayrıca, derin kuyu sularında yeraltısuyu akım yolu boyunca rCl'nin artması, Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sistemi'nin yeraltısuyu akım yönünün doğu-batı, güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda olduğunu (Bkz. Bölüm 4) pekiştirmektedir.

Kayseri Kenti ovasındaki volkanik kayaç akifer sisteminde açılan kuyuların bulunduğu bölgesine göre veya yeraltısuyu beslenme alanlarına olan mesafelerine göre sulardaki majör iyonların derişimlerinin sıralaması Batı-Kuzeybatı<sub>DERİŞİM</sub> > Doğu<sub>DERİŞİM</sub> > Güney<sub>DERİŞİM</sub>'dir.





**Şekil 5.12.** Derin kuyu sularına ait majör iyonların derişimlerinin (meq/L) uç değerlerinin Yarı Logaritmik Grafiği sıralanmasına göre dağılımı

#### 5.3.4. Bütün suların genel hidrojeokimyasal değerlendirmesi

Örnekleme noktalarından alınan su örneklerinde yapılan majör iyon analiz sonuçlarına göre, inceleme alanı ve çevresinde bulunan su kaynakları; beslenme alanına olan mesafelerine, buldukları jeolojik birimlerinin litolojik özellikleri, mevsimsel değişimleri ile buldukları yer ile çevresindeki faaliyetlerinden dolayı kirlilenme durumları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Böylece, inceleme alanı ve çevresinde yer alan su kaynaklarının Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub>, (Na+K)-HCO<sub>3</sub> ve (Na+K)-Cl olmak üzere 3 farklı su tipine sahip oldukları tespit edilmiştir (Çizelge 5.16 ve Şekil 5.13).

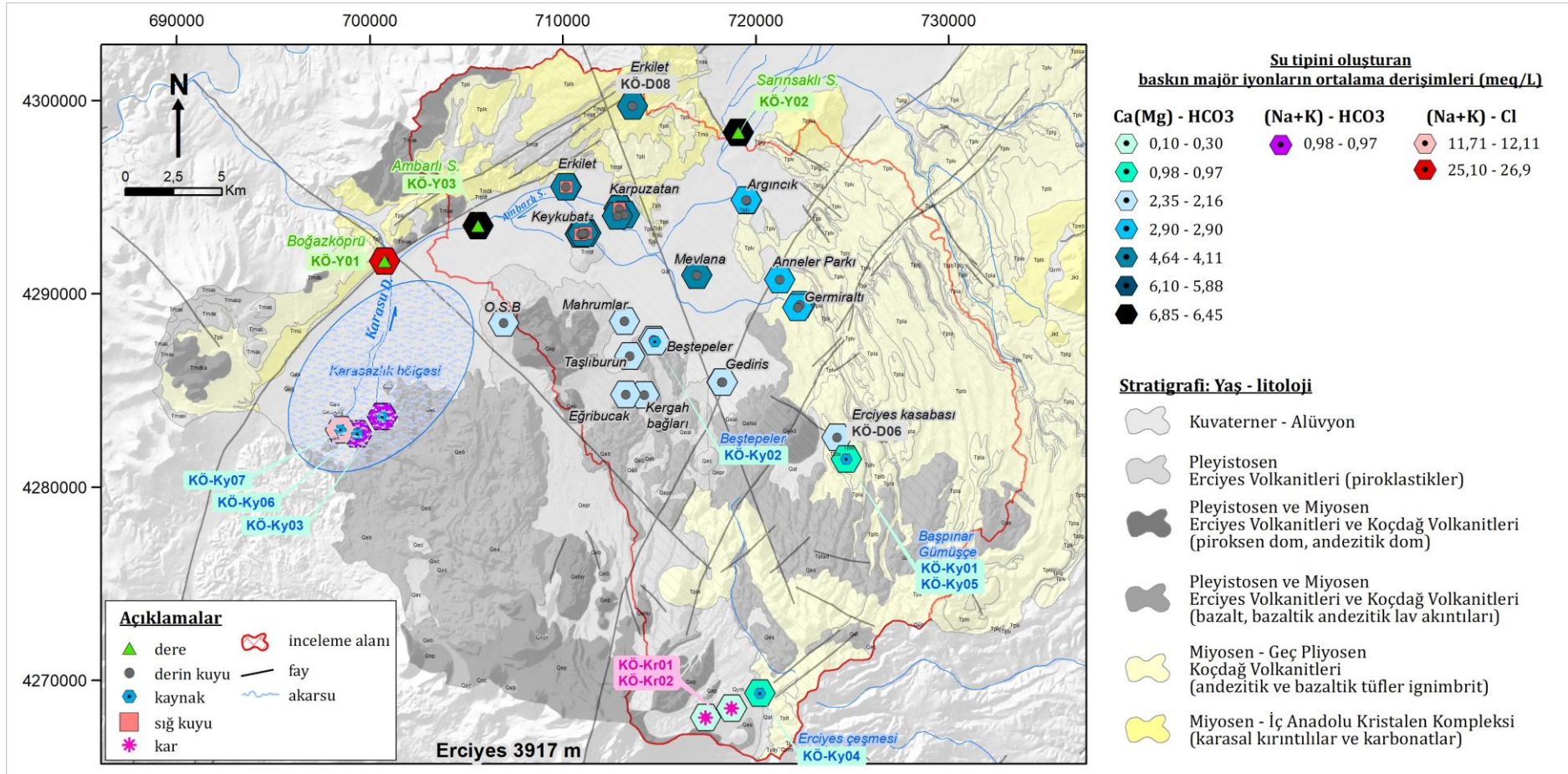
Su kaynaklarından KVAS'ı besleyen ana beslenimi olan kar suyu ile Kayseri Kenti ovasının güneyinde yer alan kaynak suları, sığ ve derin kuyu suları, KÖ-Y02 ve KÖ-Y03 kodlu yüzey suları Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub> tipine sahip sulardır. Karasazlık Bölgesinde yer alan kaynak sularından KÖ-Ky03 ile KÖ-Ky06 kodlu sular (Na+K)-HCO<sub>3</sub> su tipine sahipken; Karasazlık Bölgesindeki KÖ-Ky07 kodlu kaynak suyu ile KÖ-Y01 kodlu yüzey suyu (Na+K)-Cl tipi sulardır.

Bütün sular su tipleri içinde baskın majör iyon derişimlerine göre sınıflandırılmış olup, konumsal dağılımları Şekil 5.13'te gösterilmiştir.

Şekil 5.13 incelendiğinde, inceleme alanı içinde yer alan suların Ca(Mg)-HCO<sub>3</sub> tipi sular olduğu, sulardaki baskın majör iyonlar olan r(Ca+Mg) ile rHCO<sub>3</sub> derişimlerinin beslenme alanı olan Erciyes Dağı'ndan uzaklaştıkça veya inceleme alanının çıkışı doğru yeraltısu akım yolu boyunca artmış olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.16.** İnceleme alanı ve çevresinde yer alan su kaynaklarının üç dönem ortalama derişimlerine göre fasiyesleri (örnek sıraları majör iyon derişimin artış yönüne doğru sıralanmıştır)

Sıra	Örnek grubu	Ö.G. Örnek sırası	Örnek alt grubu	Ö.A.G. Örnek sırası	Örnek kodu	Mevkii	Adı	İyon sıralaması		Su tipi	Derişim durumu
								Üç dönem ortalaması			
1		1		1	KÖD3-S01	KEYKUBAT	SonK. 1	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
2	Sığ kuyu suları	2		2	KÖD3-S02	KEYKUBAT	SonK. 3	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3		
3		3		3	KÖD3-S03	KARPUZATAN	SonK. 7	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
4		4		4	KÖD3-S04	ERKİLET	SonK. 11	Na+K > Ca > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
5		1		1	KÖD3-Ky04	ERCİYES Kayak tesisleri	Erciyes Ky.	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > SO4 = Cl	Ca(Mg) - HCO3		
6	Kaynak suları	2	İnceleme alanı içinde yer alan	2	KÖD3-Ky01	BAŞPINAR	Başpınar Ky.	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 = Cl	Ca(Mg) - HCO3	İNCELEME ALANI DERİŞİM <<< KARASAZLIK DERİŞİM	
7		3		KÖD3-Ky05	GÜMÜŞÇE	Gümüüşçe Ky.	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3			
8		4		KÖD3-Ky02	BEŞTEPELER	Beştepeler Ky.	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3			
9		5		1	KÖD3-Ky03	DOKUZPINARLAR	Dokuzpınarlar Ky.	Na+K > Mg > Ca / HCO3 > Cl > SO4	(Na+K) - HCO3		
10		6		2	KÖD3-Ky06	HANYERİ	Hanyeri Ky.	Na+K > Mg > Ca / HCO3 > Cl > SO4	(Na+K) - HCO3		
11		7		3	KÖD3-Ky07	SODALI	Sodali Ky.	Na+K > Ca > Mg / Cl > HCO3 > SO4	(Na+K) - Cl		
12		Yüzey suları		1	İnceleme alanı içinde yer alan	1	KÖD3-Y02	ELAGÖZ	Sarımsaklı - havza çıkışı		Ca > Mg > Na+K / HCO3 > SO4 > Cl
13	2		KÖD3-Y03	AMBARLI		Sarımsaklı - havza çıkışı	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3			
14	3		Karasazlık Bölgesi - Boğazköprü	1		KÖD3-Y01	BOĞAZKÖPRÜ	Karasazlık deresi - Boğazköprüsü	Na+K > Ca > Mg / Cl > HCO3 > SO4	(Na+K) - Cl	
15	Derin kuyu suları	1	Ovanın doğusu	1	KÖD3-D11	GERMİRALTI	SonK. 12	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3	BATI DERİŞİM > DOĞU DERİŞİM > GÜNEY DERİŞİM	
16		2		KÖD3-D12	GERMİRALTI	Germiraltı 3	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3			
17		3		KÖD3-D01	ANNELEK PARKI	Anneler Parkı 1	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3			
18		4		KÖD3-D02	ARGINCİK	SonK. 10	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3			
19		5		KÖD3-D03	ARGINCİK	SonK. 14	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3			
20		6		1	KÖD3-D16	KERGAHBAĞLARI	ŞahK. 1	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
21		7		2	KÖD3-D23	TAŞLIBURUN	SonK. 16	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
22		8		3	KÖD3-D05	EĞRİBUCAK	Eğribucak 1	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
23		9		4	KÖD3-D10	GEDİRİS	Gediris 1	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
24		10		5	KÖD3-D06	ERCİYES	ŞahK. 4	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
25		11		6	KÖD3-D09	GEDİRİS	SonK. 15	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
26		12		7	KÖD3-D20	MAHRUMLAR	Mahrumlar 2	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
27		13		8	KÖD3-D04	BEŞTEPELER	Beştepeler 2	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3		
28		14		9	KÖD3-D22	Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	ŞahK. 3	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3		
29	15	1	KÖD3-D18	KEYKUBAT	SonK. 4	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3				
30	16	2	KÖD3-D15	KARPUZATAN	Karpuzatan 6	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3				
31	17	3	KÖD3-D14	KARPUZATAN	SonK. 6	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3				
32	18	4	KÖD3-D13	KARPUZATAN	SonK. 5	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3				
33	19	5	KÖD3-D21	MEVLANA	SonK. 13	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > SO4 > Cl	Ca(Mg) - HCO3				
34	20	6	KÖD3-D19	KEYKUBAT	Keykubat 4	Ca > Na+K > Mg / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3				
35	21	7	KÖD3-D08	ERKİLET	Hastek 1	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3				
36	22	8	KÖD3-D17	KEYKUBAT	SonK. 2	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3				
37	23	9	KÖD3-D07	ERKİLET	SonK. 9	Ca > Mg > Na+K / HCO3 > Cl > SO4	Ca(Mg) - HCO3				



Şekil 5.13. Örnekleme noktalarının su tipine göre konumsal dağılımı

## 5.4. İzotop Hidrolojisi

### 5.4.1. Duraylı izotoplar ile radyoaktif izotopu trityum

#### Duraylı izotoplar (oksijen-18 ve döteryum)

Çevresel izotoplar, hidrolojik çevriminin bileşenlerinde bulunan izotoplar olup, su kaynaklarının kökeni, beslenme alanları ve birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemekte kullanılmaktadır (Clark ve Fritz, 1997). Bunun beraberinde, yeraltısu depolama, dolaşım ve boşalım dinamiklerinin açıklanmasında yararlı bilgiler sağlamaktadır. Çevresel izotoplardan su moleküllerinin yapısında bulunan oksijen-18 (<sup>18</sup>O) ve döteryum (D), su kaynaklarını oluşturan yağışın olduğu ana kaynaktaki atmosferik koşullar ve yağışın oluşumu sırasındaki süreçlere bağlı olarak sularda farklı miktarlarda gözlenirler. Özellikle sıcaklık, buharlaşma ve yükseltiye bağlı olarak değişen duraylı izotopların yağışlardaki içeriği, enlem ve yükselti tarafından denetlenmektedir. Kuzey enlemlerin gidildikçe ve daha yüksek kotlarda oluşan yağışlar <sup>18</sup>O ve <sup>2</sup>H açısından daha fakirdir (Clark ve Fritz, 1997). Bu özellikleri, duraylı izotopların daha çok coğrafik değişkenliğin yüksek kot, beslenme-boşalım kotları arasındaki farkın büyük olduğu havzaların hidrojeolojisinin tanımlanmasında yararlı bir araç olarak kullanımını sağlamaktadır.

#### Döteryum fazlası

Hidrojeolojik açıdan su kaynaklarının beslendikleri yağışı ve kökenini karakterize eden döteryum fazlası (DF), oksijen-18 ile döteryum arasındaki karakteristik ilişkiden yola çıkılarak elde edilmektedir. Yağış oluşturan bulutların kökeni olan denizler üzerindeki nem içeriği ve sıcaklığa bağlı olarak gelişen buharlaşma kinetiği ve yağışın oluşumu sırasında gerçekleşen yoğunlaşma süreçlere farklı kütlelere sahip olan bu iki izotopun sıvı-gaz fazları arasındaki paylaşımları farklı oranlarda gözlenmektedir. Bununla birlikte, ortamın fiziksel koşullarına bağlı olarak oluşan yağışın içerdiği oksijen-18 ve döteryum izotopları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Craig, 1961).

Dünya yağışlarının genelini dikkate alındığı bu ilişki Dansgaard (1964) tarafından eğimi 8 olan  $DF = \delta D - 8 \times \delta O_{18}$  doğru ile ifade edilmiştir. Eşitliği  $\delta D = 8 \times \delta O_{18} + 10$  olan doğru Dünya Meteorik (Yağış) Su Doğrusu olarak tanımlanmıştır. Doğrunun apsisi kestiği nokta (+10) döteryum fazlası (DF) olarak tanımlanmaktadır. DF, yağışı oluşturan buharlaşmanın gerçekleştiği enlemlere göre değişen sıcaklık ve nem içeriğine bağlı bir sayı olup, soğuk kuşaklara doğru gidildikçe azalırken, sıcak denizlerin bulunduğu güney enlemlere doğru artmaktadır (Merlivat ve Jouzel, 1979; Rozanski ve ark., 1993; Clark ve Fritz, 1997).

Dünya yağışlarını temsil eden sularda DF=10 (, Doğu Akdeniz havzasında 22-23 arasında (Gat ve Carmi, 1970) değerler almaktadır. İnceleme alanının bulunduğu Kayseri ve dolayındaki yerel yağış doğrusu  $\delta D = 8 \times \delta O 18 + 14$  ile ifade edilmektedir ve döteryum fazlası ise DF=14'tür.

### Tritiyum

Suyun bileşiminde bulunan hidrojen elementinin bir proton ve iki nötron içeren izotopu trityum ( $^3\text{H}$ ) radyoaktif olup bu özelliği nedeniyle yeraltısuyunun geçiş süresi ile ilgili önemli bilgiler vermektedir. Tritiyumun yarılanma ömrü 12,43 yıldır (Unterweger ve ark., 1980). Sıvı parıldama yöntemiyle belirli bir süre içindeki radyoaktif bozunma sayısı ölçülerek belirlenen trityum, sayısal olarak, normal hidrojen olarak tanımlanan bir protonlu hidrojen atomuna ( $^1\text{H}$ ) oran şeklinde ifade edilir. Her  $10^{18}$  adet normal hidrojen atomu başına bir trityum atomu bir trityum birimi (TU) olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, 0,118 Bq/kg'a eşittir (IAEA, 1983). Tritiyumun doğada yaygın olarak stratosferde azot-14 atomunun kozmik ışınlarla bir nötron alması sonucunda bir trityum ve bir karbon-12 atomuna dönüşmesi ile oluşmaktadır. Doğal yollarla oluşum sonucunda atmosferde trityum düzeyi 5 TU dolayındadır (Clark ve Fritz, 1997).

1951-1980'li yıllarda gerçekleştirilen nükleer denemeler sonucunda özellikle kuzey yarıkürede yoğunlaşan trityum derişimi birkaç bin trityum birimine ulaşmıştır (Clark ve Fritz, 1997). Nükleer denemelerin sona erdirilmesi ile radyoaktif bozunma sonucu atmosferdeki derişimi azalan trityumun günümüzdeki derişimi doğal düzeyine düşmüştür.

#### **5.4.2. Örneklemeye ve Analiz Yöntemi**

KVAS'in beslenme-dolaşım-boşalım mekanizmasının belirlenmesi için örneklemeye noktalarından Çizelge 5.1'de adları ile koordinat bilgileri ve Şekil 5.1'de konumları gösterilen örneklemeye noktalarından duraylı izotoplar oksijen-18, döteryum ile radyoaktif izotopu olan trityum içeriğinin analiz edilmesi için su örnekleri alınmıştır.

Alınan örneklerden, Aralık 2008 ile Haziran 2009 dönemine ait örnekler için duraylı izotop analizleri ABD'de Utah Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda yapılırken, Eylül 2009 örneklemeye dönemine ait örneklerin analizleri ise Hacettepe Üniversitesi, Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Tritiyum analizi için Aralık 2008 ve Haziran 2009 dönemi olmak üzere iki dönemde örneklemeye noktalarından su örnekleri alınmış olup,



analizleri Hacettepe Üniversitesi, Trityum İzotopu Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Herbir örnekleme noktasından oksijen-18 ile döteryum izotopları analiz için 40 ml'lik ve trityum analizi için 500 ml'lik su numuneleri alınarak sözü edilen laboratuvarlarda analiz edilmiştir.

Ayrıca örnekleme sırasında, gerek sudaki majör iyonların derişimleri ile izotop içeriklerinin analizinde kullanılması için örnekleme noktalarında yerinde fiziksel/kimyasal parametreleri ölçümleri YSI-56 MP5™ model çoklu-probe cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir örnekleme noktası için yerinde ölçülen parametreler sıcaklık (T), 25°C'deki özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), toplam çözünmüş madde (TÇM), hidrojen aktifitesinin göstergesi olan pH, çözünmüş oksijen (ÇO) ve tuzluluk (S) değeridir (Bkz. Çizelge 5.2).

### **5.4.3. İzotop Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Tüm örnekleme dönemlerine ait <sup>18</sup>O, D ve trityum izotopu analiz sonuçları Çizelge 5.17'de (Bkz. EK 2) verilmiştir. Şekil 5.14a, Şekil 5.15a ve Şekil 5.16a'da örnekleme dönemlerine ait su örneklerinin <sup>18</sup>O, D, döteryum fazlası ile Trityum değerleri örnekleme noktalarına göre beslenme alanından ova çıkışına doğru konumsal olarak değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 5.17'den görüldüğü gibi, bütün örnekleme dönemlerinde toplanan suların büyük bir çoğunluğunun O-18 içeriği -11.0‰ ile -12.0‰ VSMOW (Craig, 1961) arasındadır (Şekil 5.14b, Şekil 5.15b, Şekil 5.16b). Yüzey sularından alınan örneklerde O-18 değeri, her dönemde birbirine yakın olup ortalama -11.5‰ VSMOW dolayında bulunmuştur. Yine, Çizelge 5.17'e bakıldığında inceleme alanında bulunan suların döteryum içerikleri baskın olarak -80‰ ile -70‰ arasında değişmektedir (Şekil 5.14c, Şekil 5.15c, Şekil 5.16c).

Çizelge 5.17'den görüldüğü gibi, bütün örnekleme dönemlerinde toplanan suların büyük bir çoğunluğunun O-18 içeriği -11.0‰ ile -12.0‰ VSMOW (Craig, 1961) arasındadır (Şekil 5.14b, Şekil 5.15b, Şekil 5.16b). Yüzey sularından alınan örneklerde O-18 değeri, her dönemde birbirine yakın olup ortalama -11.5‰ VSMOW dolayında bulunmuştur. Yine, Çizelge 5.17'e bakıldığında inceleme alanında bulunan suların döteryum içerikleri baskın olarak -80‰ ile -70‰ arasında değişmektedir (Şekil 5.14c, Şekil 5.15c, Şekil 5.16c).

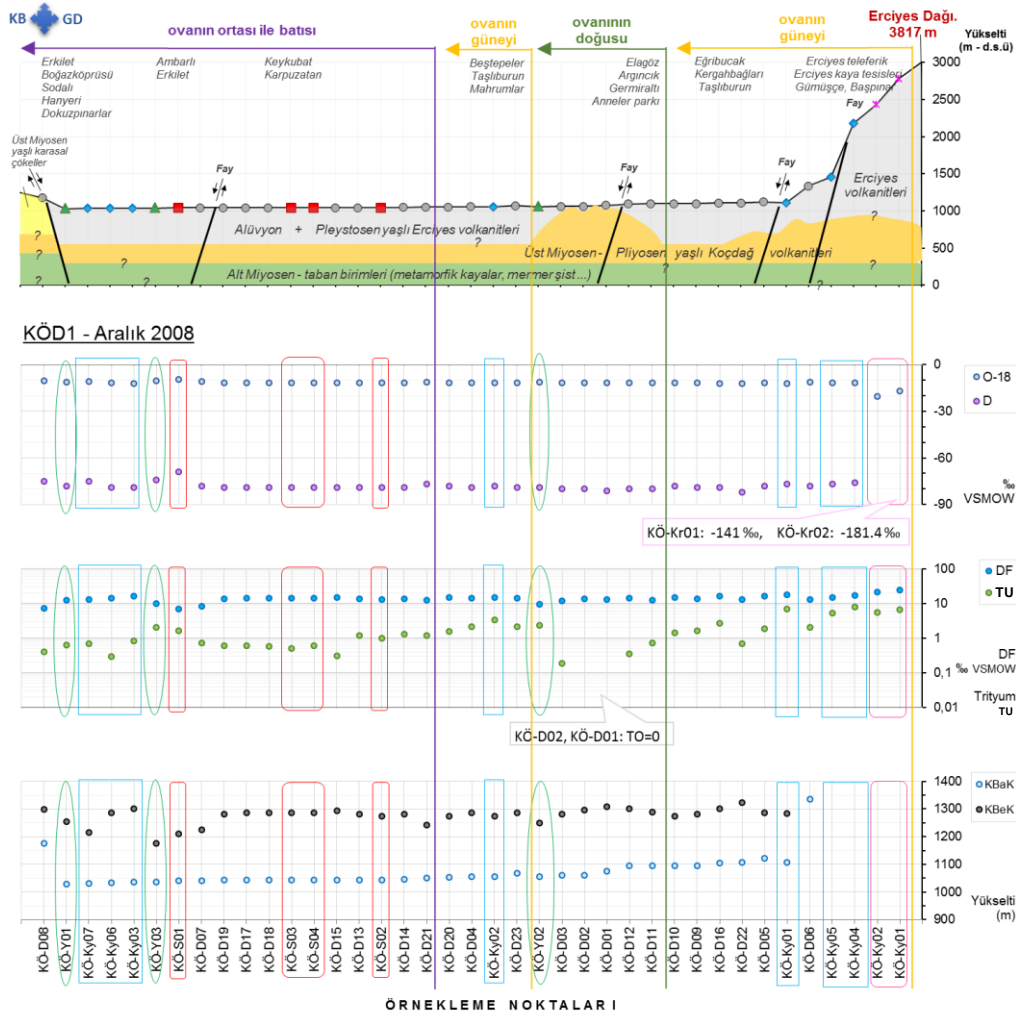
**Çizelge 5.17.** Su örneklerine ait izotop analiz sonuçları

No.	Tür No.	Örnek kodu	Mevkii	Adı	Yükselti (m)	Aralık 2008				Haziran 2009				Eylül 2009			
						ÖEİ (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰)	δ <sup>2</sup> H (‰)	Trityum (TU)	ÖEİ (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰)	δ <sup>2</sup> H (‰)	Trityum (TU)	ÖEİ (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰)	δ <sup>2</sup> H (‰)	Trityum (TU)
1	1	KÖ-S01	ERKİLET	SonK. 11	1041,2	1218	-9,5	-69,0	1,68	1482	-11,0	-78,3	1,21	1335	-10,5	-77,2	**
2	2	KÖ-S02	KARPUZATAN	SonK. 7	1044,1	779	-11,5	-79,0	1,00	703	-11,1	-77,7	0,64	696	-11,2	-78,5	**
3	3	KÖ-S03	KEYKUBAT	SonK. 1	1043,0	637	-11,7	-79,0	0,51	687	-11,5	-77,4	0,81	665	-11,4	-78,2	**
4	4	KÖ-S04	KEYKUBAT	SonK. 3	1043,5	513	-11,7	-79,0	0,60	653	-11,1	-76,0	0,00	528	-11,3	-77,2	**
5	1	KÖ-D01	ANNELER PARKI	P 1	1076,2	275	-11,8	-81,0	0,00	267	-11,6	-79,0	1,41	263	-11,2	-78,3	**
6	2	KÖ-D02	ARGINCIK	SonK. 10	1059,8	498	-11,7	-80,0	0,00	478	-11,3	-79,4	0,25	440	-11,2	-79,6	**
7	3	KÖ-D03	ARGINCIK	SonK. 14	1059,8	445	-11,5	-80,0	0,19	647	-11,1	-78,6	0,88	675	-11,2	-78,5	**
8	4	KÖ-D04	BEŞTEPELER	P 2	1056,0	408	-11,7	-79,0	2,12	441	-11,6	-78,1	1,70	*	-11,3	-77,8	**
9	5	KÖ-D05	EĞRİBUCAK	P 1	1122,5	207	-11,8	-78,0	1,92	198	-11,7	-77,6	2,64	259	-11,5	-78,4	**
10	6	KÖ-D06	ERCIYES	ŞahK. 4	1335,9	298	-11,4	-78,0	2,09	289	-11,4	-78,3	8,29	305	-10,5	-75,7	**
11	7	KÖ-D07	ERKİLET	SonK. 9	1041,3	1154	-10,8	-78,0	0,74	1434	-10,0	-74,9	1,70	1224	-10,5	-76,4	**
12	8	KÖ-D08	ERKİLET	Hastek 1	1176,4	691	-10,3	-75,0	0,41	719	-10,5	-75,4	0,00	744	-10,2	-75,5	**
13	9	KÖ-D09	GEDİRİS	SonK. 15	1095,5	309	-11,6	-79,0	1,63	310	-11,5	-78,5	1,43	255	-11,3	-77,5	**
14	10	KÖ-D10	GEDİRİS	P 1	1095,5	305	-11,6	-78,0	1,45	306	-11,5	-79,1	1,18	300	-11,5	-78,3	**
15	11	KÖ-D11	GERMİRALTI	SonK. 12	1095,5	243	-11,6	-80,0	0,73	206	-11,6	-79,7	0,92	156	-11,7	-80,2	**
16	12	KÖ-D12	GERMİRALTI	P 3	1093,9	244	-11,8	-80,0	0,36	236	-11,6	-79,2	0,71	*	*	*	**
17	13	KÖ-D13	KARPUZATAN	SonK. 5	1044,1	515	-11,6	-79,0	1,20	534	-11,4	-78,6	0,69	479	-11,4	-77,9	**
18	14	KÖ-D14	KARPUZATAN	SonK. 6	1044,9	500	-11,6	-79,0	1,32	611	-11,2	-77,4	1,25	572	-11,2	-77,7	**
19	15	KÖ-D15	KARPUZATAN	P 6	1044,1	419	-11,8	-79,0	0,31	439	-11,6	-78,1	0,28	424	-11,3	-76,7	**
20	16	KÖ-D16	KERGAHBAĞLARI	ŞahK. 1	1105,0	121	-11,9	-79,0	2,76	169	-11,7	-77,3	2,60	*	-11,6	-77,9	**
21	17	KÖ-D17	KEYKUBAT	SonK. 2	1042,7	791	-11,7	-79,0	0,62	763	-11,4	-78,5	0,25	874	-11,4	-78,8	**
22	18	KÖ-D18	KEYKUBAT	SonK. 4	1043,3	348	-11,7	-79,0	0,59	330	-11,7	-79,5	0,35	296	-11,3	-77,4	**
23	19	KÖ-D19	KEYKUBAT	P 4	1042,6	575	-11,6	-79,0	0,60	596	-11,2	-77,9	1,45	562	-11,3	-78,1	**
24	20	KÖ-D20	MAHRUMLAR	P 2	1052,4	364	-11,6	-78,0	1,59	393	-11,4	-76,9	1,97	396	-11,2	-78,5	**
25	21	KÖ-D21	MEVLANA	SonK. 13	1051,5	476	-11,2	-77,0	1,19	660	-10,3	-74,1	1,98	*	-10,6	-75,7	**
26	22	KÖ-D22	Organize Sanayi Bölgesi (OSB)	ŞahK. 3	1106,0	465	-11,9	-82,0	0,70	557	-11,5	-82,7	0,08	*	-11,4	-81,0	**
27	23	KÖ-D23	TAŞLIBURUN	SonK. 16	1068,7	207	-11,7	-79,0	2,13	299	-11,6	-77,8	2,64	*	-11,4	-76,9	**
28	1	KÖ-Ky01	BAŞPINAR	Başpınar kayn.	1106,5	60	-11,9	-77,0	7,00	54	-11,6	-75,3	7,02	*	*	*	*
29	2	KÖ-Ky02	BEŞTEPELER	KASKI kayn.	1055,0	276	-11,6	-78,0	3,34	266	-11,4	-77,5	2,69	*	-11,2	-77,1	**
30	3	KÖ-Ky03	DOKUZPINARLAR	Dokuzpınarlar kayn.	1036,0	212	-11,9	-79,0	0,83	268	-11,9	-78,0	0,33	215	-11,7	-77,1	**
60	4	KÖ-Ky04	ERCIYES Kayak tesisleri	Erciyes çeşmesi	2180,0	94	-11,7	-76,0	7,88	82	-11,5	-73,0	3,16	*	*	*	*
32	5	KÖ-Ky05	GÜMÜŞÇE	Gümüşçe kayn.	1454,0	108	-11,5	-77,0	5,39	107	-11,6	-76,9	7,74	*	*	*	*
33	6	KÖ-Ky06	HANYERİ	Hanyeri kayn.	1035,0	443	-11,7	-79,0	0,30	423	-11,7	-76,7	0,84	446	-11,4	-76,5	**
34	7	KÖ-Ky07	SODALI	Sodali kayn.	1032,0	1906	-11,0	-75,0	0,69	1845	-10,9	-74,7	2,32	2071	-10,9	-74,4	**
35	1	KÖ-Y01	BOĞAZKÖPRÜ	Karasazlık D. - Boğazköprüsü	1029,0	3624	-11,3	-78,0	0,65	3404	-11,0	-73,4	5,56	3783	-11,0	-76,9	**
36	2	KÖ-Y02	ELAGÖZ	Sarımsaklı D. - ova girişi	1056,0	784	-11,1	-79,0	2,40	783	-9,9	-71,7	0,78	863	-10,3	-71,7	**
37	3	KÖ-Y03	AMBARLI	Ambarlı S. - ova çıkışı	1037,0	1170	-10,5	-74,0	2,05	711	-10,5	-73,6	0,00	753	-9,6	-69,0	**
38	1	KÖ-Kr01	ERCIYES Dağı	Teleferik üst istasyonu	2780,0	5	-24,9	-181,0	6,78	8	-11,1	-73,8	7,51	kar yok			
39	2	KÖ-Kr02	ERCIYES Dağı	Teleferik alt istasyonu	2430,0	6	-20,5	-142,0	5,46	5	-9,6	-62,7	3,12	kar yok			

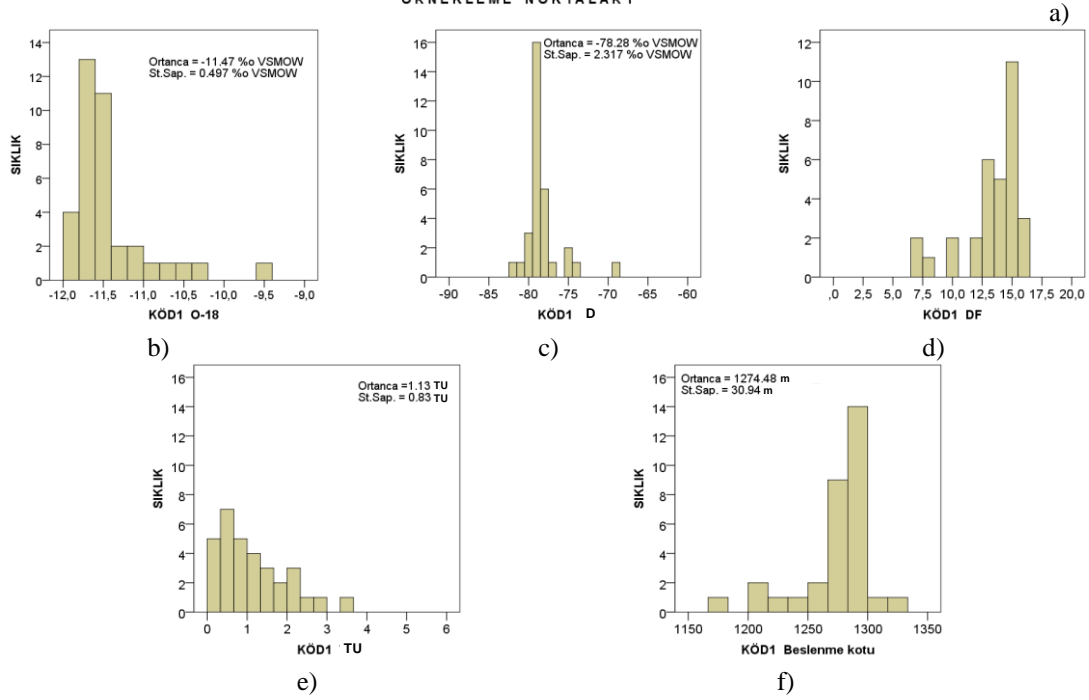
KÖ: Kayseri Örnekleme S: sığ kuyu D: derin kuyu Ky: kaynak Y: yüzey suyu Kr: kar suyu  
SonK: sondaj kuyu ŞahK: şahsı kuyu P: KASKI işletme kuyusu S.: suyu D.: dere

ÖEİ: özgül elektriksel iletkenlik

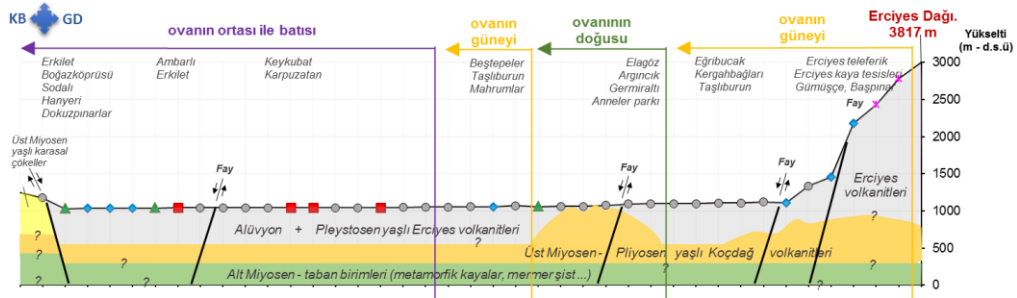
\* - örnek alınmadı \*\* - analiz yapılmadı  
\*+ - ölçüm alınmadı



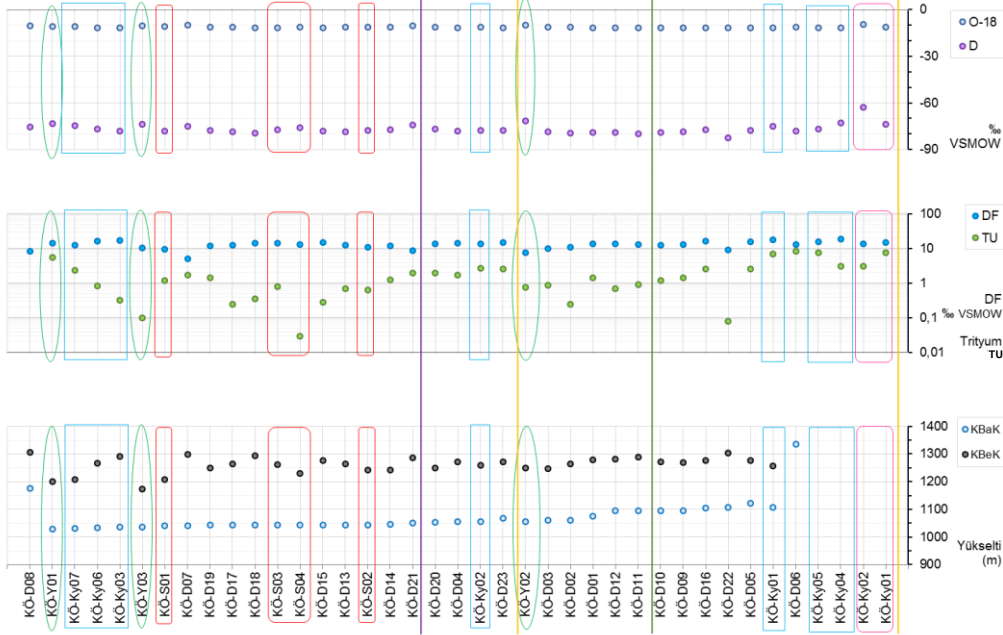
ÖRNEKLEME NOKTALARI



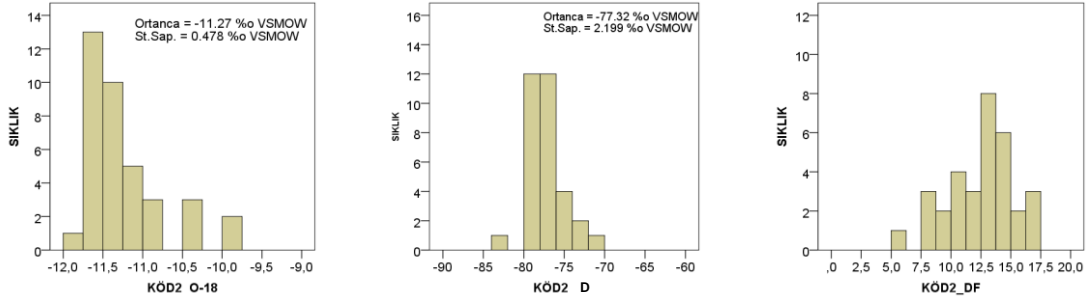
**Şekil 5.14.** Birinci dönem (KÖD1) - Aralık 2008 dönemine ait sıklık grafikler: a) konumsal olarak izotoplar ile beslenme yükseltisi, b) O-18, c) D, d) döteryum fazlası, e) trityum, f) beslenme yükseltisi



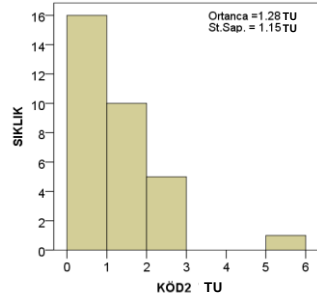
**KÖD2 - Haziran 2009**



**ÖRNEKLEME NOKTALARI**

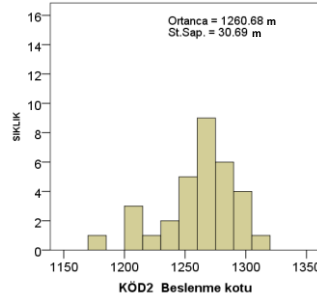


b)



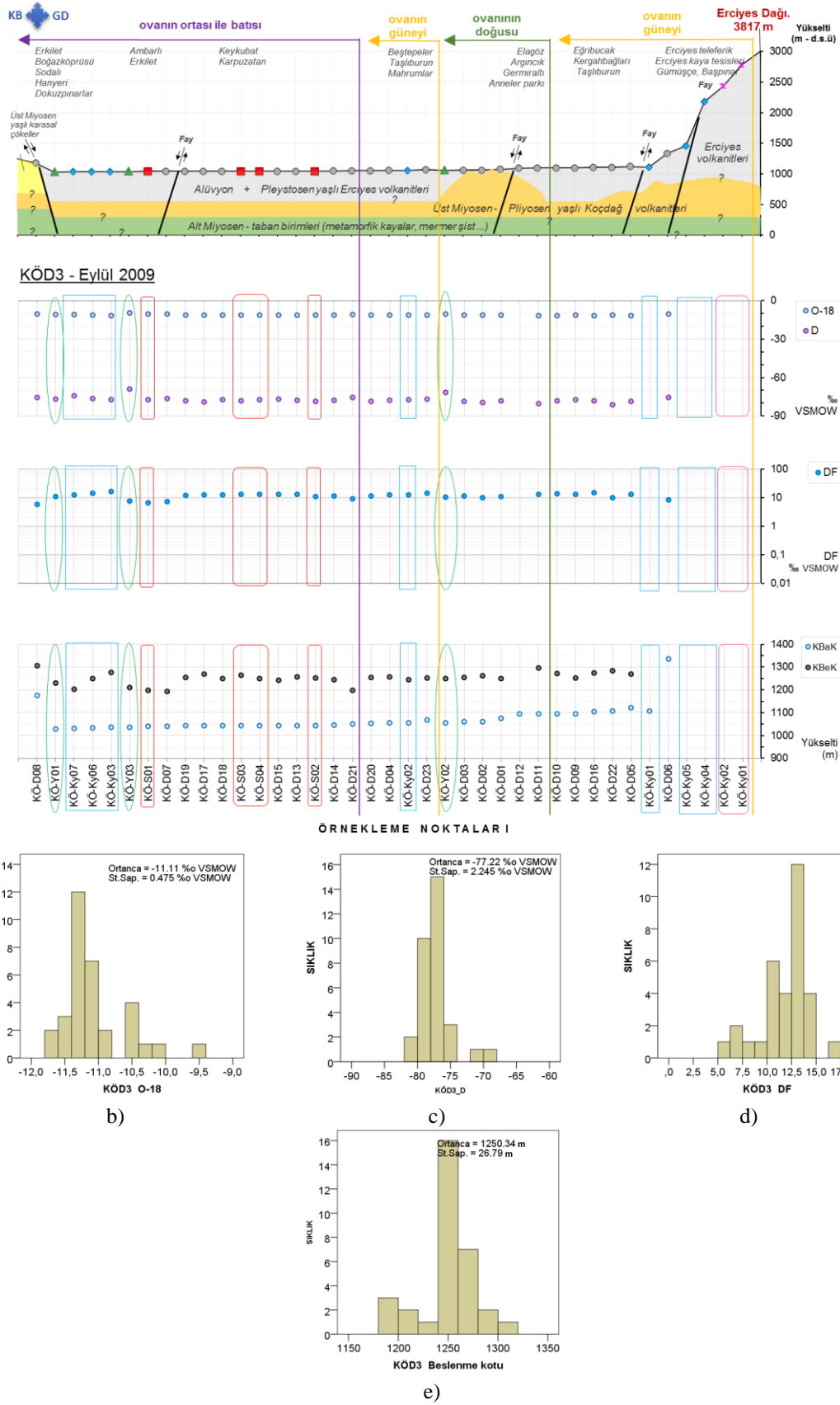
d)

c)



e)

**Şekil 5.15.** İkinci dönem (KÖD2) – Haziran 2009 dönemine ait sıklık grafikler: a) konumsal olarak izotoplar ile beslenme yükseltisi, b) O-18, c) D, d) döteryum fazlası, e) trityum, f) beslenme yükseltisi



**Şekil 5.16.** Üçüncü dönem (KÖD3) – Eylül 2009 dönemine ait sıklık grafikler: a) konumsal olarak izotoplar ile beslenme yükseltisi, b) O-18, c) D, d) DF, döteryum fazlası, e) beslenme yükseltisi



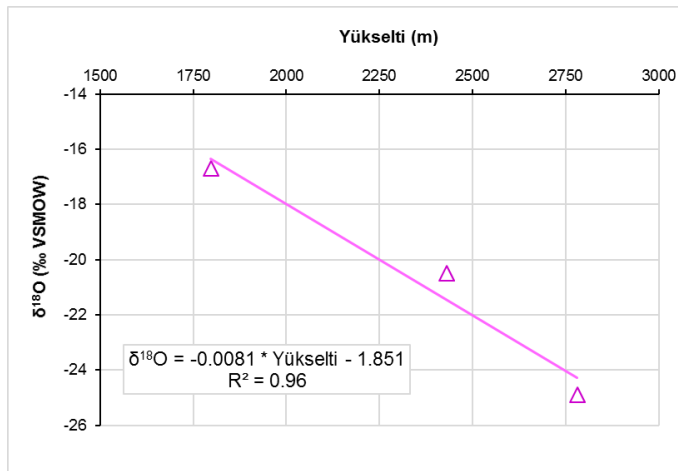
Kar örneklerinde ise  $\delta D$  çok daha negatif değerler elde edilmiştir. Benzer şekilde, yüksek beslenme alanına sahip derin sondaj kuyularından kış aylarında toplanan örneklerin de  $\delta D$  değerleri çok düşüktür. Bununla birlikte, buharlaşma etkisi altında kalan akarsu örneklerinin dahil sığ ve derin kuyulardan alınan bazı örneklerde de oksijen-18 ve döteryum içeriği daha yüksektir.

### Beslenme alanı yükseltisi

İnceleme alanındaki yeraltısularının beslenme alanının belirlenmesi amacıyla Bölüm 5.1.'de sözü edilen inceleme alanının güneydeki yükseltilerden veya Erciyes Dağının farklı yükseltilerinden alınan kar suyunda yapılan O-18 izotopu analiz sonuçlarının örnekleme noktalarının bulunduğu kotlar kullanılarak (Çizelge 5.18.) kot ile O-18 ilişkisi oluşturulmuştur. Çizelge 5.17'de verilen yükselti ile O-18 ile D değerleri kullanılarak  $O-18=f(\text{yükselti})$  ile  $D=f(\text{yükselti})$  eşitlikleri belirlenmiştir (Şekil 5.17.). Eşitlik 1 ile Eşitlik 2 kullanılarak toplanan örnekler için beslenme yükseltileri kestirilmiştir ve Eşitlik 3:  $\text{yükselti}=f(O-18)$  ve Eşitlik 4:  $\text{yükselti}=f(D)$  beslenme yükseltileri eşitlikleri bulunmuştur.

**Çizelge 5.18.** Erciyes Dağı kar suyu örneklerine ait duraylı izotop analiz sonuçları

Örnek kodu	Mevkii	Adı	Z (m)	$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	$\delta^2H$ (‰ SMOW)
KÖD1 - Kr01	ERCİYES Dağı	Teleferik üst istasyonu	2780,0	-24,93	-181,40
KÖD1 - Kr02	ERCİYES Dağı	Teleferik alt istasyonu	2430,0	-20,48	-141,80
KÖD1 - Kr03	ERCİYES Dağı	Lifos bölgesi	1798,0	-16,70	-112,10



**Şekil 5.17.** İnceleme alanına ait yükselti ile  $\delta^{18}O$  ilişkisi grafiği

$$\delta^{18}O = -0.0081 \times \text{Yükselti} - 1,851 \quad R = 0.96 \quad \text{Eşitlik 1.}$$

veya

$$\text{Yükselti} = -123.45 \times \delta^{18}O - 228,51 \quad R = 0.96 \quad \text{Eşitlik 2.}$$

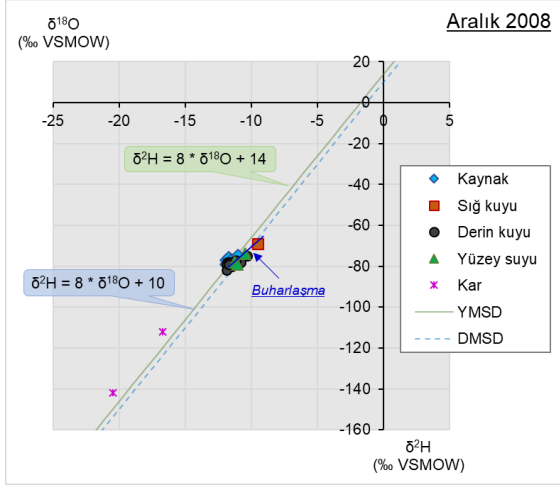
Yapılan hesaplama göre, inceleme alanında örneklenen suların beslenme alanları genel olarak 1250 m ile 1500 m kotları arasında ve/veya ortalama 1350 m kottan beslenmektedir. Bu hesaplamalara göre, her 100 m kot artışında  $\delta^{18}\text{O}$  -0,81‰ ve  $\delta^2\text{H}$  ise -6,75‰ azalmaktadır.

İnceleme alanında, volkanik kayalarda açılan kuyulardan alınan yeraltısuyu örneklerinde yapılan izotop analiz sonuçlarına göre yeraltısuyunun 1250 m kottan beslendiği O-18 – kot ilişkisinden görülmektedir (Eşitlik 2). Buna göre Kayseri içmesuyu akifer sisteminin beslenimi üç bileşene sahip olup bileşenleri Erciyes dağının 1350 m üstü yükseltilerine düşen kar erimesinden; 1050–1350 m yükseltileri arasındaki beslenme alanlarda düşen yağışın süzülmesi (inceleme alanındaki ova ortalama kotu 1050 m’dir) ve Sarımsaklı ovasından derin volkanik kayaç akifer sistemden içe akış olarak değerlendirilebilir.

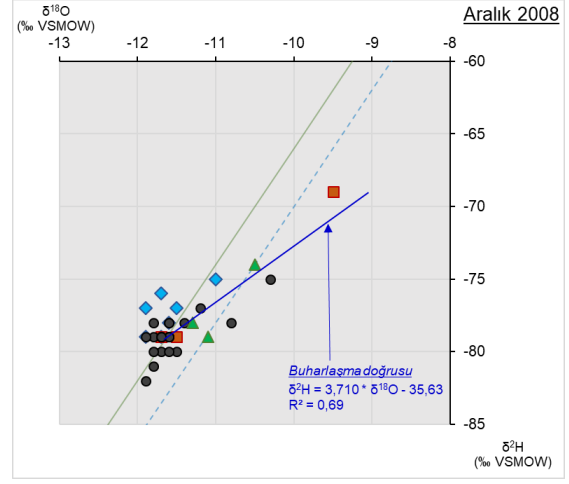
#### 5.4.4. Duraylı İzotoplar $\delta^{18}\text{O}$ ile $\delta^2\text{H}$ İlişkisi

Hidrojeolojik açıdan su kaynaklarının beslendikleri yağışı ve kökenini karakterize eden döteryum fazlası (DF), oksijen-18 ile döteryum arasındaki karakteristik ilişkiden yola çıkılarak elde edilmektedir. Yağış oluşturan bulutların kökeni olan denizler üzerindeki nem içeriği ve sıcaklığa bağlı olarak gelişen buharlaşma kinetiği ve yağışın oluşumu sırasında gerçekleşen yoğunlaşma süreçlere farklı kütlelere sahip olan bu iki izotopun sıvı-gaz fazları arasındaki paylaşımları farklı oranlarda gözlenmektedir. Dünya yağışlarının geneli dikkate alındığında bu ilişki, eğimi 8 olan bir doğru ile ifade edilmektedir. Eşitliği  $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$  olan doğru Dünya Yağış Doğrusu (Craig, 1961) olarak tanımlanmaktadır. Doğrunun apsisi kestiği nokta (+10) döteryum fazlası (DF) olarak tanımlanmaktadır. İnceleme alanında DF’nin 16 dolayında olduğu görülmektedir. Bu değer, Ankara dolaylarında belirlenen döteryum fazlası (Ankara Lokal Meteorik Su doğrusu eşitliği  $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 14$  (IAEA/WMO (2004) değeri ile uyum içindedir (Şekil 5.18).

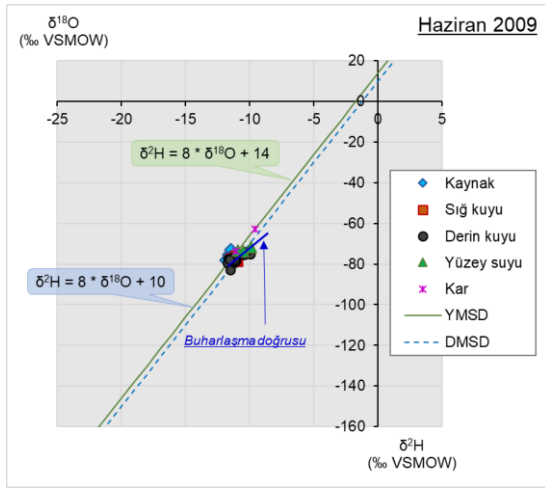
Toplanan su örnekleri yerel meteorik su doğrusunun üzerinde yer almakta ve grafiklerde, buharlaşma doğrusunu tanımlayan eşitliğin de zamanla değişmediği görülmektedir (Şekil 5.18). Her dönemde, buharlaşma etkisi altında kalmayan örneklerin genel olarak yerel yağış doğrusu üzerinde yer aldıkları görülmektedir. Kış mevsimini temsil eden Birinci (Aralık 2008) dönemi örnekleri ile yaz dönemini temsil eden İkinci (Haziran 2009) ve güz dönemini temsil eden Üçüncü (Eylül 2009) örneklerinden elde edilen sonuçlar hidrojeolojik sistemin kararlılığı açısından değerlendirilmiştir.



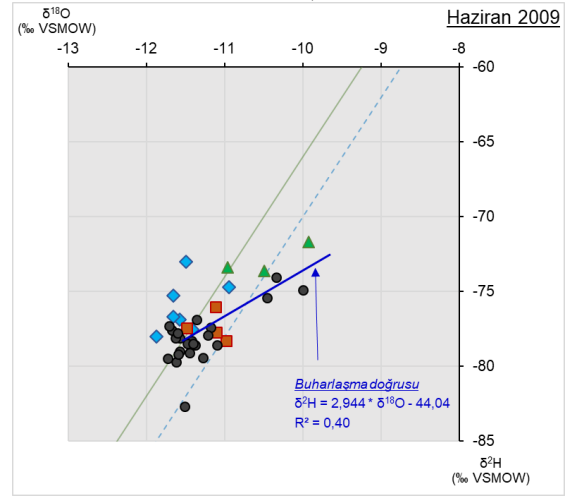
a1)



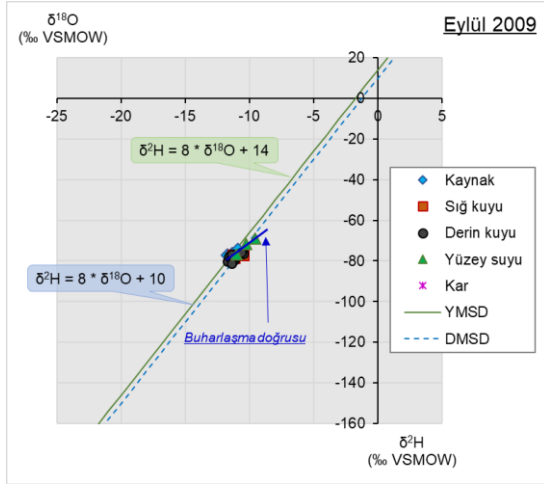
a2)



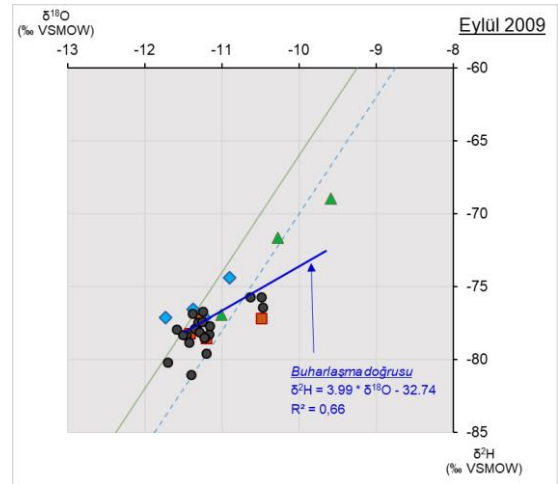
b1)



b2)



c1)



c2)

**Şekil 5.18.** İnceleme alanındaki tüm örnekleme sularına ait  $\delta^{18}\text{O}$  -  $\delta^2\text{H}$  grafikleri: a) Aralık 2008, b) Haziran 2009, c) Eylül 2009, (1) genel, (2) yakınlaştırılmış

Çizelge 5.19'dan görüldüğü gibi her döneme ait oksijen-18, döteryum ile döteryum fazlası değerleri su türlerine göre karşılaştırıldığında, en küçük, en büyük ve ortalama değerleri

yakın değerler göstermiştir. Ayrıca; standart sapmalarının küçük ve değişkenlik katsayılarının ise çok küçük aralıklarda olması, inceleme alanında mevsimsel olarak oksijen-18, döteryum ile döteryum fazlası değişiminin ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 5.19.** İnceleme alanından alınan su örneklerinin izotop değerlendirmelerini örnek türü ve örnekleme dönemine göre temel istatistiksel uç parametreleri

Su örnek türü	İstatistik uç parametreler	Aralık 2008			Haziran 2009			Eylül 2009			Ortalama		
		$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)	DF (‰ SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)	DF (‰ SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)	DF (‰ SMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)	DF (‰ SMOW)
Sığ kuyu suları	en küçük	-11,70	-79,00	7,00	-11,48	-78,32	9,53	-11,42	-78,52	6,76	-11,53	-78,61	7,76
	en büyük	-9,50	-69,00	14,60	-10,98	-76,03	14,39	-10,49	-77,16	13,13	-10,32	-74,06	14,04
	ortalama	-11,10	-76,50	12,30	-11,17	-77,38	11,98	-11,10	-77,78	11,00	-11,12	-77,22	11,76
	standart sapma	0,42	2,65	1,45	0,52	1,06	3,33	0,71	4,05	1,80	0,55	2,58	2,20
	değişim katsayısı	-0,04	-0,03	0,13	-0,05	-0,01	0,31	-0,07	-0,06	0,18	-0,05	-0,03	0,21
Derin kuyu suları	en küçük	-11,90	-82,00	7,40	-11,73	-82,70	5,03	-11,70	-81,04	5,82	-11,78	-81,91	6,08
	en büyük	-10,30	-75,00	16,40	-9,99	-74,05	16,38	-10,16	-75,46	14,78	-10,15	-74,84	15,85
	ortalama	-11,56	-78,91	13,57	-11,31	-78,11	12,40	-11,18	-77,85	11,60	-11,35	-78,29	12,52
	standart sapma	0,42	2,65	1,45	0,52	1,06	3,33	0,71	4,05	1,80	0,55	2,58	2,20
	değişim katsayısı	-0,04	-0,03	0,13	-0,05	-0,01	0,31	-0,07	-0,06	0,18	-0,05	-0,03	0,21
Kaynak suları	en küçük	-11,90	-79,00	13,00	-11,87	-78,00	12,82	-11,73	-77,13	12,63	-11,83	-78,04	12,82
	en büyük	-11,00	-75,00	18,20	-10,94	-73,00	18,92	-10,90	-74,38	16,72	-10,95	-74,13	17,95
	ortalama	-11,61	-77,29	15,63	-11,51	-76,01	16,07	-11,31	-76,29	14,15	-11,48	-76,53	15,28
	standart sapma	0,42	2,65	1,45	0,52	1,06	3,33	0,71	4,05	1,80	0,55	2,58	2,20
	değişim katsayısı	-0,04	-0,03	0,13	-0,05	-0,01	0,31	-0,07	-0,06	0,18	-0,05	-0,03	0,21
Yüzey suları	en küçük	-11,30	-79,00	9,80	-10,96	-73,62	7,69	-11,01	-76,92	7,76	-11,09	-76,51	8,42
	en büyük	-10,50	-74,00	12,40	-9,92	-71,68	14,31	-9,59	-68,96	11,16	-10,00	-71,55	12,62
	ortalama	-10,97	-77,00	10,73	-10,46	-72,89	10,77	-10,29	-72,51	9,81	-10,57	-74,13	10,44
	standart sapma	0,42	2,65	1,45	0,52	1,06	3,33	0,71	4,05	1,80	0,55	2,58	2,20
	değişim katsayısı	-0,04	-0,03	0,13	-0,05	-0,01	0,31	-0,07	-0,06	0,18	-0,05	-0,03	0,21

Örnek türleri dere, sığ kuyu, derin kuyu ve kaynak suları olarak sınıflandırılmıştır. Her üç örnekleme döneminde de, oksijen-18 ve döteryum içeriği açısından derin kuyu örnekleri genelde en düşük, yüzey suyu örneklerinin ise en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Döteryum fazlası açısından incelendiğinde, yüzey suyu örneklerinin, değişkenlik katsayısı yüksek olmasına karşın dünya meteorik yağış doğrusuna yakın (+10) değerlere sahip oldukları; buna karşın Erciyes Dağı eteklerinde boşalan kaynakların ise en yüksek (+15) döteryum fazlası değerleri gösterdikleri anlaşılmaktadır. Sığ ve derin kuyularda bu değerleri +12 dolayındadır.

Oksijen-18 değerleri kullanılarak yapılan beslenme alanı yükseltisi hesaplamaları, yeraltısularının genelde benzer yükseltideki alanlardan kaynaklandıklarını göstermektedir. Derin kuyular ile sığ kuyular ve kaynakların ortalama olarak 1350 m yükseltilerinden beslendikleri sonucu kar erimesi ve eriyen kar suyunun belirli alanlarda süzülmediğini düşündürmektedir. Diğer bir ifadeyle, kar erimesi sonucu oluşan sular, Erciyes Dağı

kütlesinin her noktasından süzülmemekte, kar örtüsü altında veya içinde akışa geçtikten sonra belirli alanlarda (olasılıkla süzülmeye daha uygun ortamlar sağlayan birimlerin yayılım gösterdiği kesimlerde) yeraltısuyu oluşturmak üzere süzülmemektedir. Kar örtüsündeki erime mekanizması, kar suyunun izotopik bileşimini doğrudan etkilemektedir. İzotop bileşimi ve özellikle oksijen-18 ve döteryum ayrırılması, ortamın nisbi nem içeriği ile kontrol edilmektedir. Buna göre, nisbi nem içeriğinin düşük olduğu yüzeyde erime sonucu oluşan sularda döteryum fazlası daha yüksek iken, nisbi nem içeriğinin %100'e yaklaştığı örtü tabanında eriyen sularda bu değer düşüktür (Değirmenci ve ark., 2011b).

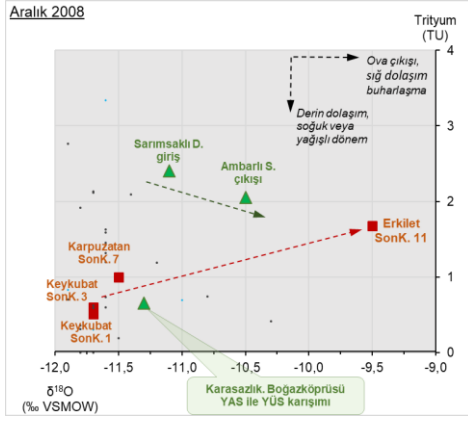
Elde edilen sonuçlar, inceleme alanındaki yeraltısularının farklı erime mekanizmalarından türeyen suların bir karışımından oluştuğunu göstermektedir. Farklı erime mekanizmalarından türeyen suların oksijen-18 değerlerindeki değişim, gerçek beslenme alanı yükseltisinin belirlenmesini güçleştirmektedir. Oksijen-18 değerlerindeki değişim farklı erime mekanizmalarından kaynaklanabileceği gibi, yüksek kotlarda eriyen kar sularının süzüleceği alana gelene kadar buharlaşma etkisinde kalmaları sonucunda da zenginleşme söz konusu olabilir. Yapılan değerlendirmeler, Erciyes Dağı kar örtüsünden meydana gelen beslenme mekanizmasının ayrıntılı bir izotop hidrolojisi kapsamında incelenmesini gerektirecek karmaşıklıkta olduğunu ortaya koymaktadır (Değirmenci ve ark., 2011b).

#### **5.4.5. ÖEİ ve $\delta^{18}\text{O}$ 'nin Trityum İçeriği ( $^3\text{H}$ ) ile olan ilişkisi**

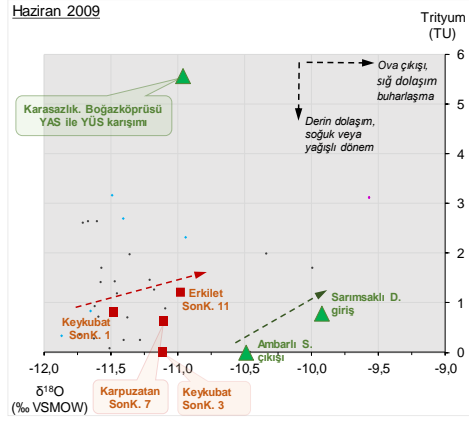
Yapılan bu izotop analizlerine göre, çalışma alanında toplanan yağış, akarsu, baraj gölü ve yeraltısuyu örneklerinde trityum içeriğinin Birinci (Aralık 2008) döneminde 0,00 TU ile 7,88 TU; İkinci (Haziran 2009) döneminde ise 0,00 TU ile 8,29 TU arasında değiştiği belirlenmiştir. Analiz sonuçlarından atmosferik trityum girdisinin 9 TU dolayında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 5.19).

Örneklenen Trityum içeriğine göre derin sondaj kuyularında bulunan suların nükleer deneme öncesi (1952 yılı öncesi) yağışlarıyla daha genç (güncel) yağışların karışımından beslendiği anlaşılmaktadır. Şekil 5.19'da inceleme alanından toplanan su örneklerine ait oksijen-18 ve trityum içeriklerinin birlikte değerlendirilmesine olanak sağlayan grafikler gösterilmiştir.

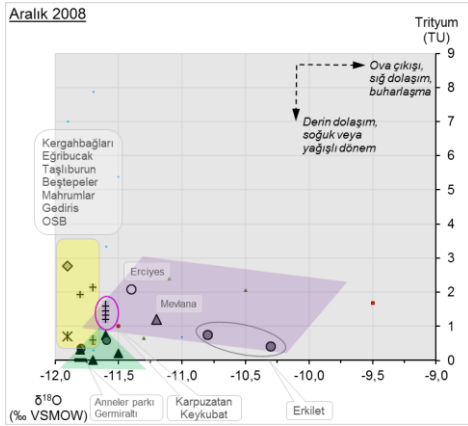




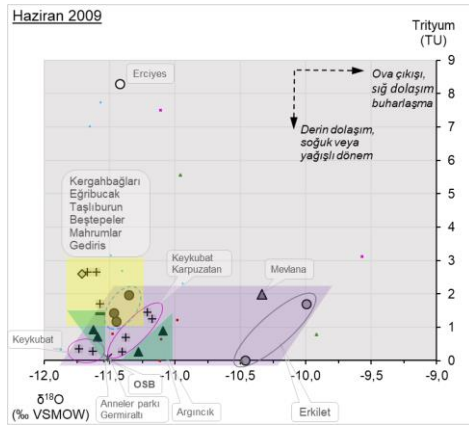
a1)



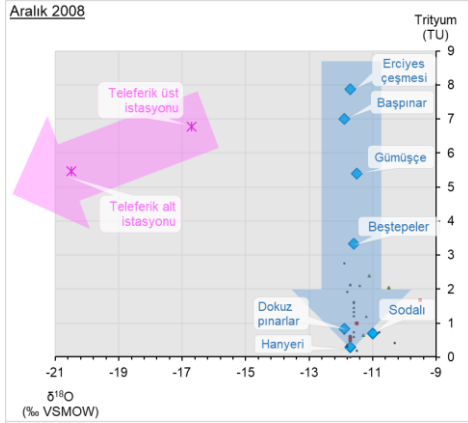
b1)



b1)



b2)



c1)

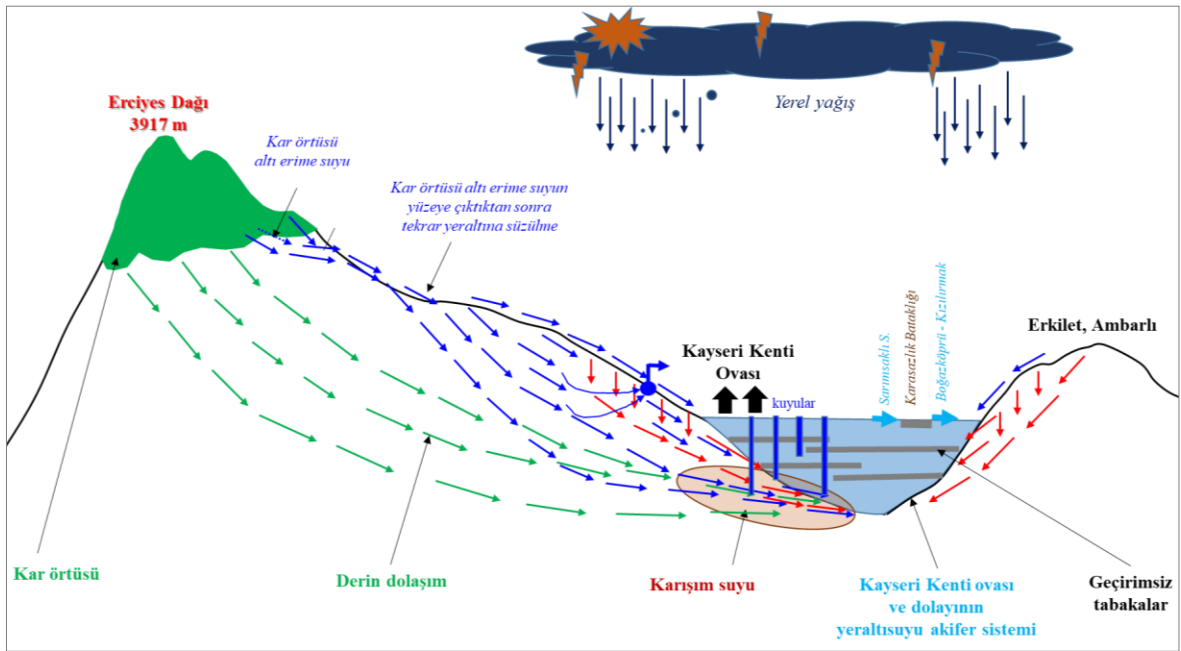


c2)

**Şekil 5.19.**  $\delta^{18}\text{O}$  ile Tritiyum ilişki grafikleri: a) yüzeysuyu ile sığ kuyu, b) kaynak ile kar suyu, 1) Aralık 2008, 2) Haziran 2009

Normal koşullarda, yatay ekseninde bulunan oksijen-18 izotopunun daha negatif değerler aldığı kesimler (yüksek beslenme kotu) ile trityumun azaldığı kesimler (derin dolaşım) birbirinden ayrılabilirler. Ancak, inceleme alanındaki sularda, oksijen-18 değerinin ortalama bir değer etrafında dağıldığı, buna karşın trityum değerinin ise çok geniş aralıkta dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu durum, Erciyes Dağı kar örtüsünden erime yoluyla beslenme nedenine bağlanabilir.

Yüksek beslenme kotu ve kısa geçiş süresine sahip olan noktalar genellikle Erciyes dağı eteklerinde boşalan kaynakları temsil etmektedir. Görece yüksek oksijen-18 (düşük beslenme kotu) ve uzun geçiş süresine sahip olan noktalar ise daha çok yerel yağışlarla birlikte Erciyes Dağı kar örtüsünden erime ile gelen suların karışımından beslenen kuyu sularını temsil etmektedir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. İnceleme alanında yer alan akifer sisteminin beslenme mekanizmasını gösteren şematik kesit

## 6. İNCELEME ALANININ HİDROJEOLOJİK KAVRAMSAL MODELİ

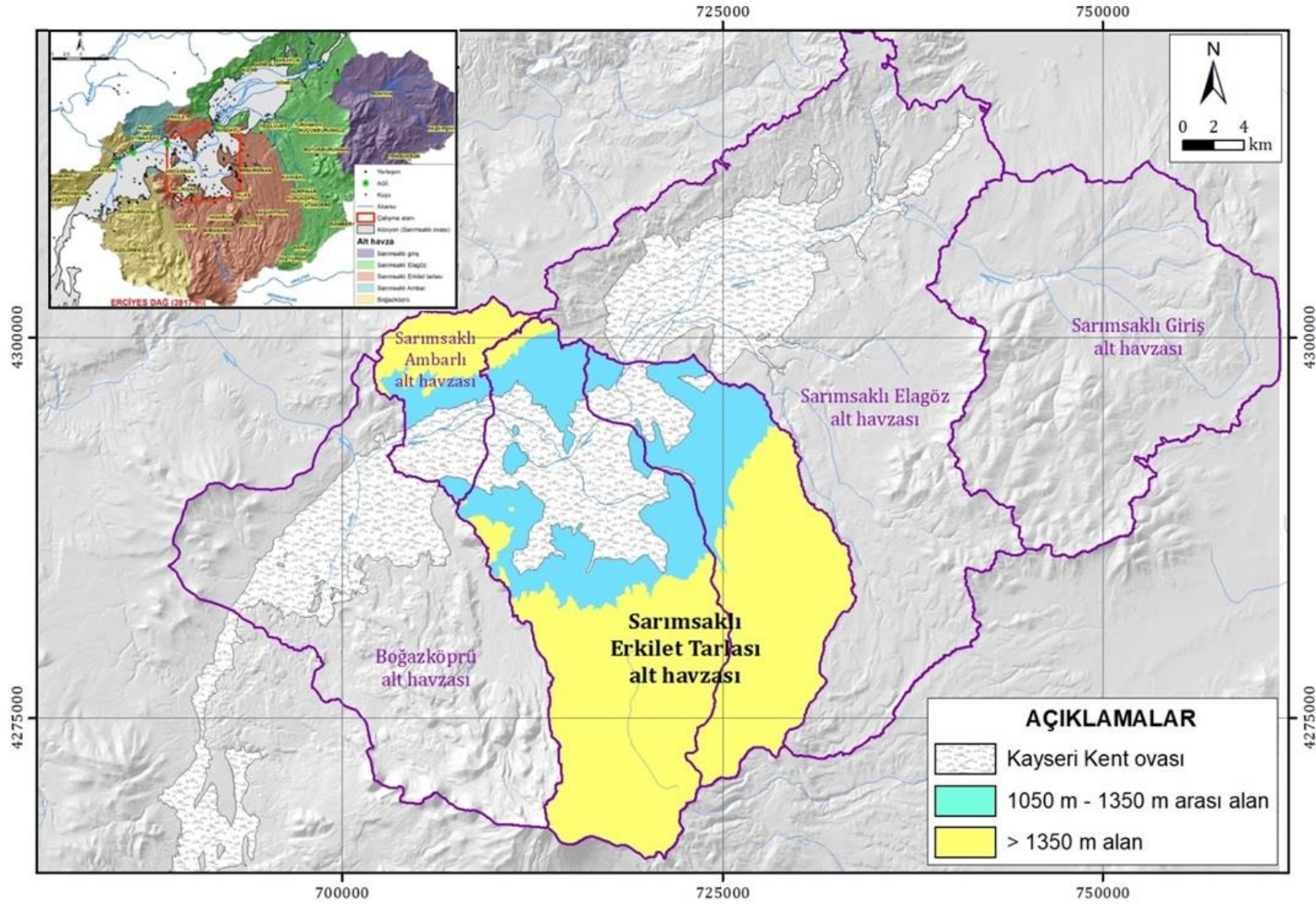
İnceleme alanı ile çevresinde yüzeylenen jeolojik birimlerin hidrojeolojik yapısının ortaya konulması için jeolojik birimlerin hidrostratigrafik-hidrojeolojik özellikleri, yayılım ve kalınlıkları, tektonik ve stratigrafik yapıların oluşturdukları doğal sınırlar belirlenmiştir. Belirlenen doğal sınırlar içerisindeki yapının gösterdiği yeraltısuyu akım alanı, hidrolojik bileşenlerin sistem yaklaşımı ile analizi sonucunda, inceleme alanının beslenme alanı veya havza ölçeğinde hidrolojik çevrim ve yeraltısuyu potansiyeli ortaya konulmuştur.

İnceleme alanının yeraltısuyu potansiyelinin hesaplanmasında önemli olan su bütçesi bileşenlerinden yeraltısuyu akım alanının beslenimi, depolama ve dolaşım özellikleri ile boşalım mekanizması ise hidrolik ve hidrolojik özelliklerin yanısıra hidrokimyasal özellikler ve izotop tekniklerinin kullanılmasıyla tanımlanmıştır.

İnceleme alanındaki hidrojeolojik yapının kavramsal modeli açısından değerlendirildiğinde, yerel ölçekteki hidrojeolojik yapı içerisinde Erciyes, Erkilet ve Koçdağ volkanitlerinin yeraltısuyu sisteminin ana bileşenlerini oluşturdukları ortaya konulmuştur.

Beslenme alanının belirlenmesi amacıyla Sarımsaklı Havzası, inceleme alanını içerecek şekilde alt havzalara ayrılmıştır (Bkz. Şekil 3.1.). Sonuç olarak Kayseri Kenti, yakın çevresi ile Erciyes Dağı'nın kuzey yamacının bir kısmını içeren Sarımsaklı-Erkilet Tarlası ile Sarımsaklı Ambarlı alt havzası beslenme alanı olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanında yüzeylenen volkanik, volkano-sedimanter ve alüvyon birimler yanal yayılımları ile düşey kalınlıklarına bağlı olarak yer yer “basınçlı akifer”, yer yer ise “yarı basınçlı akifer” niteliğine sahip yeraltısuyu akifer sistemini oluşturmaktadır. Bu akifer sisteminde açılan kuyuların beslenme alanı ise volkanik kayalar ile karasal kırıntılılarının yüzeylendiği 318,3 km<sup>2</sup>'lik alan ile Kayseri Kenti ovasının yer aldığı 98,96 km<sup>2</sup>'lik alanının toplamıdır (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1. İnceleme alanının beslenme alanlarını gösterir harita

### **6.1. Akifer Birimleri, Yayılımları ve Kalınlıkları**

Volkanik kayaçların hakim olarak yüzeyletiği arazilerde bu kayaçların düşey kalınlığı ile yanal yayılımı, sedimanter kayaçların hakim olduğu arazilere göre homojen bir yapı sunarak geniş yanal yayımlı ve devamlılığı olan kalınlıklarda rastlanmamaktadır.

Dolayısıyla, volkanik kayaç arazilerde yüksek derecede heterojen bir yapı sunan jeolojik birimler hidrostratigrafi açısından incelendiğinde volkanizmadan türeyen malzemenin türüne, magmadan yeryüzüne kadarki çıkış hızına, volkanizma faaliyet süresi ile volkanizma sonucunda püskürülen ürünlerin yayılım mesafesine, volkanik ürünlerin üzerinde aktığı bölgenin taban morfolojisine ve benzeri koşullara bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, volkanik ürünlerin hidrojeolojik özellikleri açısından hidrostratigrafik yapısının ortaya konulması oldukça güçtür.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen bünyesindeki kırık çatlakları ile gözeneklerinde yeraltısuyu bulduran ileri düzey heterojen bir hidrostratigrafik yapıya sahip olan Koçdağ Volkanitleri ile Erciyes Volkanitleri'ne ait andezitik ile bazaltik lav akıntıları, andezit, bazalt, piroklastikler, tuf ile ignimbritler Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sistemini (KVAS'ı) oluşturmaktadır.

İnceleme alanında gerçekleştirilen jeolojik (saha çalışması ile ovada açılmış olan kırıntılı ve karotlu sondaj kuyuların log bilgileri), hidrojeolojik, su kimyası ile izotop analizleri amaçlı çalışma sonuçlarının birlikte değerlendirilmesiyle, inceleme alanında yüzeylenen ileri düzey heterojeniteye olup; farklı kalınlıklar ile yanal yayılımına sahip andezitik ve bazaltik lav akıntıları, piroklastikler, bazalt, tuf ve ignimbritlerinden oluşan Miyosen yaşlı Erkiyet ve Koçdağ volkanitleri ile Pleyistosen yaşlı stratovolkan kökenli Erciyes volkanitlerinin ana akifer birimlerini (yer yer basınçlı akifer, yer yer ise yarı basınçlı akifer) oluşturdukları ortaya konulmuştur.

Bu başlık altındaki çalışmalara ilişkin gerçekleştirilen çalışmalar ile değerlendirmeler, bu tezin Bölüm 2, Bölüm 3, Bölüm 4 ve Bölüm 5'te mevcuttur.

### **6.2. Beslenme Kaynakları, Yeraltısuyu Potansiyeli ve Boşalım**

Hidrojeolojik kavramsal modelin dinamik bileşeni genel olarak sistem ölçeğinde hidrolojik çevrimi (bütçe) kapsamaktadır. Bu tez çalışmasının amacına uygun olarak hidrolojik sistem olarak tanımlanan KVAS ölçeğinde hidrolojik çevrim beslenme, depolama-dolaşım ve

boşalım bileşenlerini kapsamaktadır. Toplam beslenme alanı 318,3 km<sup>2</sup> dolayında olan inceleme alanında akiferin yeraltısuyu potansiyeli, akiferin jeohidrolojik özelliklerinin yanısıra beslenme-boşalım dinamiği ile ilgilidir (Şekil 6.1).

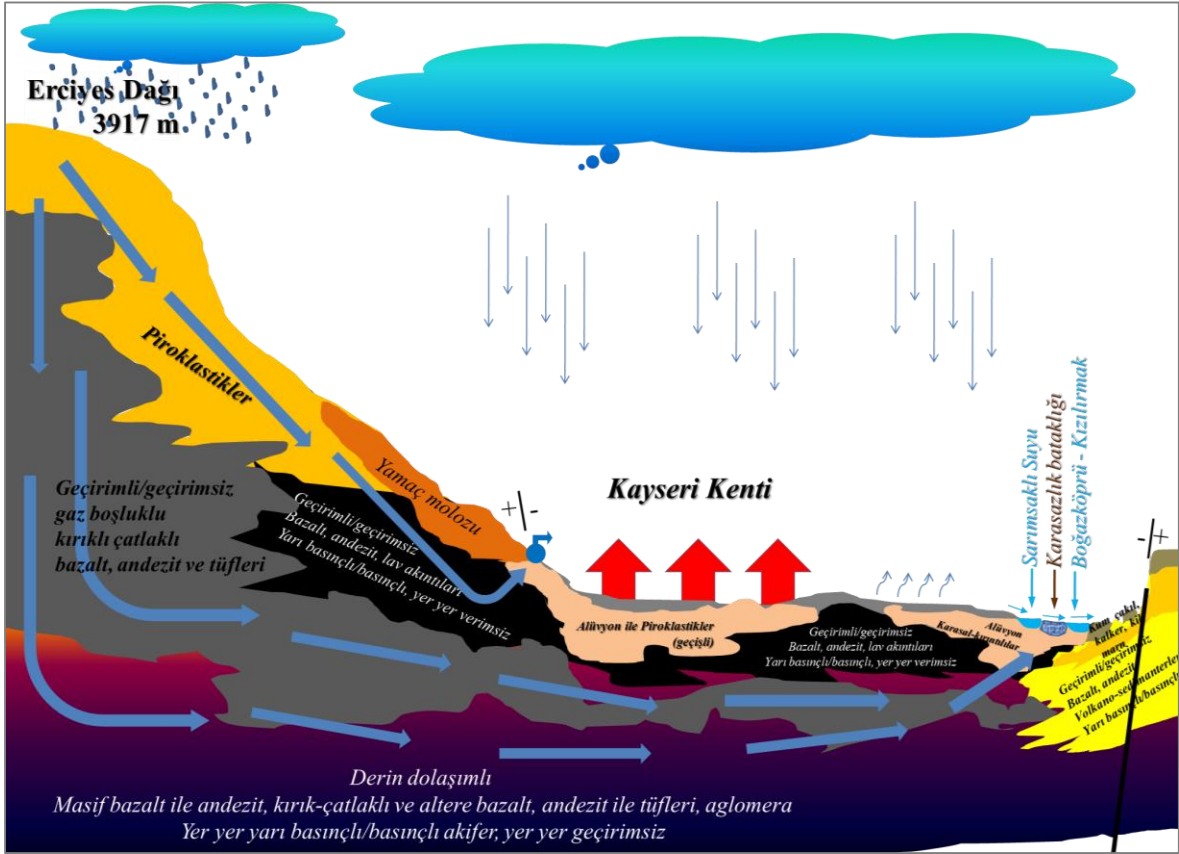
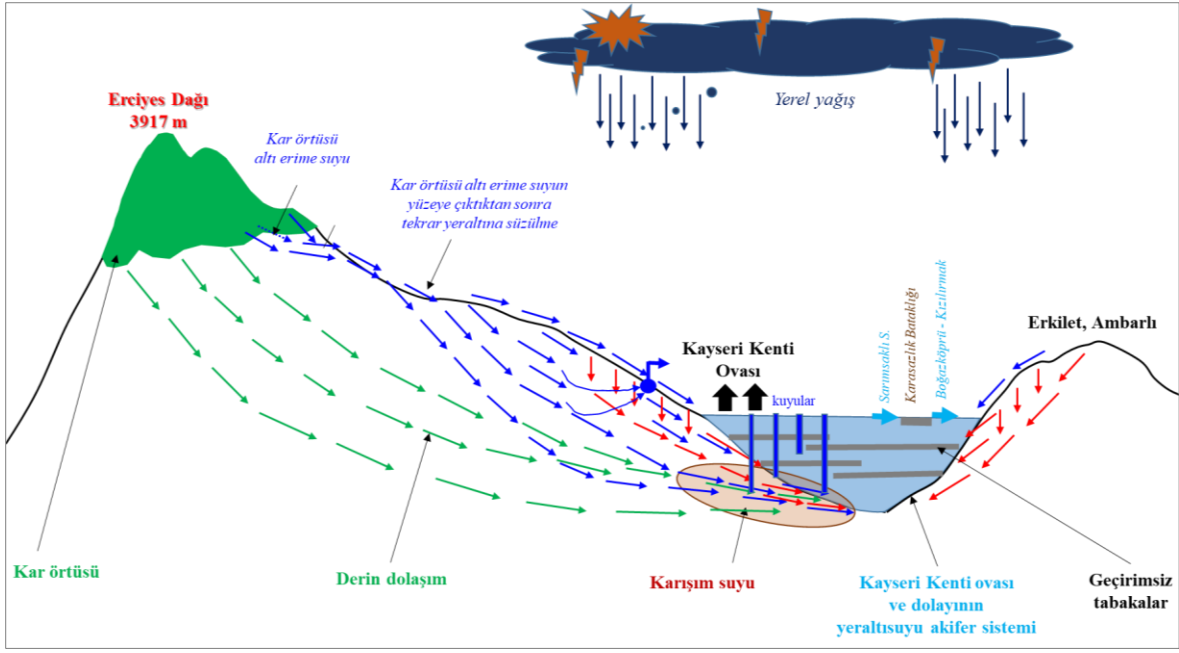
İnceleme alanındaki akifer sisteminin serbest olduğu alanlarda (alüvyon birimleriyle piroklastik birimleri geçişlidir) doğal beslenimi toplam eriyik su girdisi ( $P_{total}^{Kayseri\ MGI}$ , Bkz. Bölüm 3), yüzeysel ve yüzey altı akıştan süzülme yoluyla; derin dolaşım (basınçlı ve/veya yarı basınçlı) volkanik kayaç akifer sisteminde ise Erciyes dağına düşen karın erimesiyle gerçekleşmektedir. Yağıştan doğrudan süzülme, serbest akifer niteliğini taşıyan alüvyon ile örtülü 98,96 km<sup>2</sup>'lik ova alanında gerçekleşmektedir. Derin dolaşım volkanik akifer sistemi Erciyes Volkanitleri ile Koçdağ Volkanitleri yüzeylendiği 318,3 km<sup>2</sup> alanın geçirgen olduğu kesimlerden oluşmaktadır. Kar örtüsünün erimesinden oluşan kar suyunun derin dolaşımı sonucunda ve kar örtüsü altından eriyen kar suların yüzey altından süzülerek tekrar yüzeysel akışa geçip tekrar yeraltına ve/veya yüzey altına sığ ve derin dolaşımı sonucunda akifer sistemini beslediği elde edilen bulgular hidrokimyasal ve izotop değerlendirmeleriyle desteklenmiştir (Şekil 6.2.).

Şekil 6.2.'de inceleme alanında mevcut yeraltısuyu akifer sisteminin beslenme-boşalım ilişkisine ilişkin hidrolojik çevrim şematik olarak sunulmuştur. Şekilden görüldüğü gibi volkanik kayaçların yanal yayılımları ile düşey kalınlıklarının değişken olduğu veya volkanik arazinin tipik özelliği olan yüksek heterojenite dikkat çekmektedir. Ayrıca; Erciyes, Erkilet ve Koçdağ volkanitlerinin Kayseri Kenti içmesuyu akifer sisteminin ana beslenme birimleri/alanları olduğu görülmektedir. İzotop tekniklerinden yararlanılarak yapılan analizlerden yerel yağışlardan beslenmenin yüksek kotlardan beslenme miktarına göre ihmal edilebilir düzeyde gerçekleştiği ortaya konulmuştur.

İnceleme alanında yeraltısuyu boşalımı Sarımsaklı suyu ve derin yeraltısuyu akifer sisteminden Karasazlık bataklığı alt sistemi üzerinden buharlaşma-terleme yoluyla ve kuyularla çekim olarak gerçekleşmektedir. Karasazlık Bölgesi'ndeki Karasazlık bataklığının taban suyunun Dokuzpınarlar kaynakları alt sisteminin katılımı ile Karasu Deresi'ne birleşerek Boğazköprü AGİ mevkiinden Kızılırmak Nehri'ni beslemektedir.

Bu başlık altındaki çalışmalara ilişkin gerçekleştirilen analizler ile değerlendirmeler, bu tezin önceki bölümlerinde verilmiştir.





**Şekil 6.2.** İnceleme alanının yeraltısuyu akifer sisteminin beslenme-boşalım ilişkisini gösterir şematik kesitler (ölçeksiz)

### 6.3. Hidrojeolojik Su Bütçesi

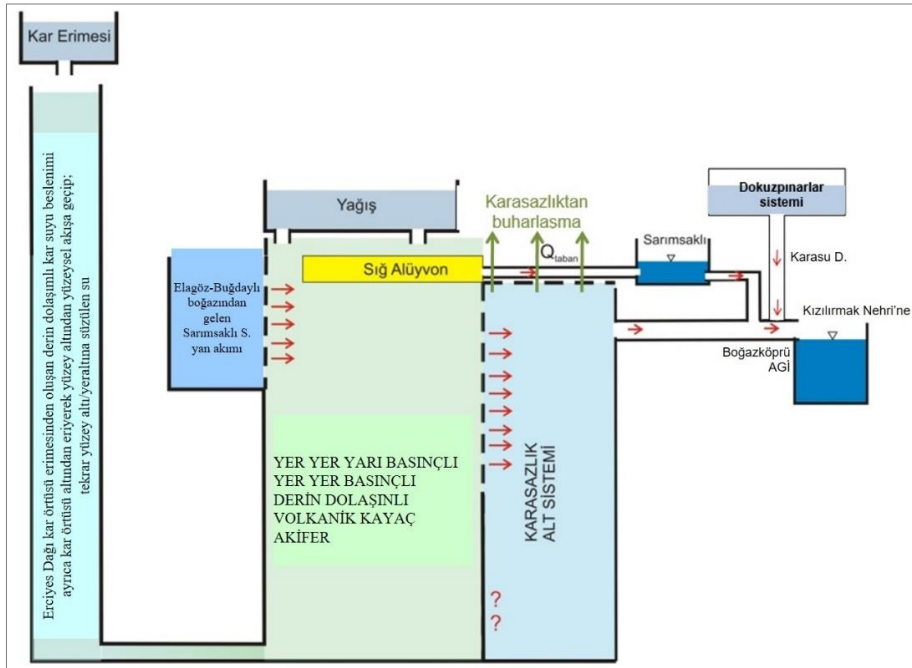
Hidrojeolojik su bütçesi hesaplamaları, havza bazında sistem yaklaşımı kullanılarak maddenin korunumu yasasını temel almaktadır. Bu yaklaşım, sisteme giren madde miktarını sistemden çıkan madde miktarı ve sistem depolamasında meydana gelen değişime eşitler.

Hidrojeolojik havza söz konusu olduğunda maddenin (su) korunumu yasası;

$$\begin{array}{l} \text{Akifere Giren Su} \\ \text{(BESLENME)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Akiferden Çıkan Su} \\ \text{(BOŞALIM)} \end{array} + \text{Depolamadaki Değişim}$$

şeklinde yazılabilir. Bu yasanın belirli bir havza için sayısal değerlere dönüştürülebilmesi, yasadaki geçen her terimin sağlıklı bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. Bu doğrultuda, öncelikle terimin içerdiği bileşenleri tanımlamak ve sayısal olarak belirlemek gerekir. Bu doğrultuda, matematiksel modeli için temel oluşturan kavramsal hidrojeolojik modelde inceleme alanının içinde kalan Erciyes Volkanitleri ile Koçdağ Volkanitlerinin bulunduğu alanlar KVAS'ın ana beslenme alanları olarak tanımlanmıştır.

Böylece, hidrojeolojik sistem olarak tanımlanan KVAS'ın beslenme, depolama, dolaşım ve boşalım ilişkilerini tanımlamak üzere ortaya konan hidrojeolojik kavramsal modeli bütün bileşenleriyle Şekil 6.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.3. İnceleme alanındaki kavramsal hidrojeolojik modelin şematik gösterimi (Değirmenci ve ark., 2011; Namkhai ve ark., 2012)

#### Yapılan hesaplamalara göre beslenme:

- 1) Ova üzerine düşen yağıştan süzülmeyle beslenme miktarı  
= Ova alanı  $\times$  (Ovaya düşen yağış – Ovadaki Gerçek Buh.Ter.)  $\times$  süzülme  
=  $98,96 \times 10^6 \text{ m}^2 \times (0,413 \text{ m} - 0,348 \text{ m}) \times 0,05 = 0,32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır.
- 2) Erciyes Dağı'na düşen karın erimesiyle gelen beslenme miktarı: ovada, derin volkanik akiferlerde açılan kuyulardan alınan yeraltısuyu örneklerinde yapılan izotop analiz sonuçları değerlendirildiğinde volkanik kayaç akifer sisteminin beslenme alanının 1350 m kotu üstü alanları olduğu belirlenmiştir.  
= Alan<sub>1350 m kot üstü</sub>  $\times$  (Kar erimesi – Kar erimesindeki gerçek Buh.Ter.)  
=  $233,3 \times 10^6 \text{ m}^2 \times (0,886 \text{ m} - 0,236 \text{ m}) = 151,65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır.
- 3) 1050–1350 m kotu arasında ovaya düşen yağıştan gelen beslenme:  
= Alan<sub>1050-1350 m kot arası</sub>  $\times$  (Ovaya düşen yağış – Ovadaki gerçek Buh.Ter.)  
=  $85,0 \times 10^6 \text{ m}^2 \times (0,413 \text{ m} - 0,348 \text{ m}) = 5,53 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır.
- 4) Sarımsaklı ovasından akifere yanal beslenme miktarı  $1,82 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Beslenme kaynakları ve uzun yıllar ortalama yağış miktarı dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, Kayseri kenti içme suyu akiferinin yaklaşık  $159 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  gibi bir beslenme potansiyelinin olabileceği görülmektedir. Kavramsal hidrojeolojik model açısından genel yaklaşımlarla yapılan hesaplamalarda uzun yıllar etkin yağış ortalaması inceleme alanındaki ova için  $65 \text{ mm}/\text{yıl}$  olup  $0,32 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ , derin dolaşımlı volkanik akifer sistemi için Erciyes Dağı'na düşen karın erimesiyle gelen etkin beslenme miktarı (1350 m kot üstü)  $650 \text{ mm}/\text{yıl}$  olup  $151,65 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır. Beslenme kotları 1050-1350 m kotlar arasındaki yükseltilerde düşen yağıştan gelen beslenme miktarı  $5,53 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Sarımsaklı ovasından Elagöz ile Buğdaylı köyleri boyunca komşu akifer sisteminden Kayseri kenti içmesuyu akifer sistemine yanal bir beslenme söz konusudur. Bu beslenme miktarı beslenme sınırının hidrolik iletkenliğine, hidrolik eğimine ve beslenme sınırının akım genişliği ile kalınlığına bağlı olarak  $1,82 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak hesaplanmıştır.

#### Yapılan hesaplamalara göre boşalım:

Kayseri kenti içmesuyu akifer sisteminden boşalım, komşu sisteme yeraltısuyu akımı, Sarımsaklı Suyu'ndan alüvyon akiferinden “taban akımı ( $Q_{\text{taban}}$ )”, kuyularda pompa ile

çekim, Karasazlık alt sisteminden buharlaşma ile Kızılırmak Nehri'ne (Boğazköprü AGİ) akım şeklinde gerçekleşmektedir.

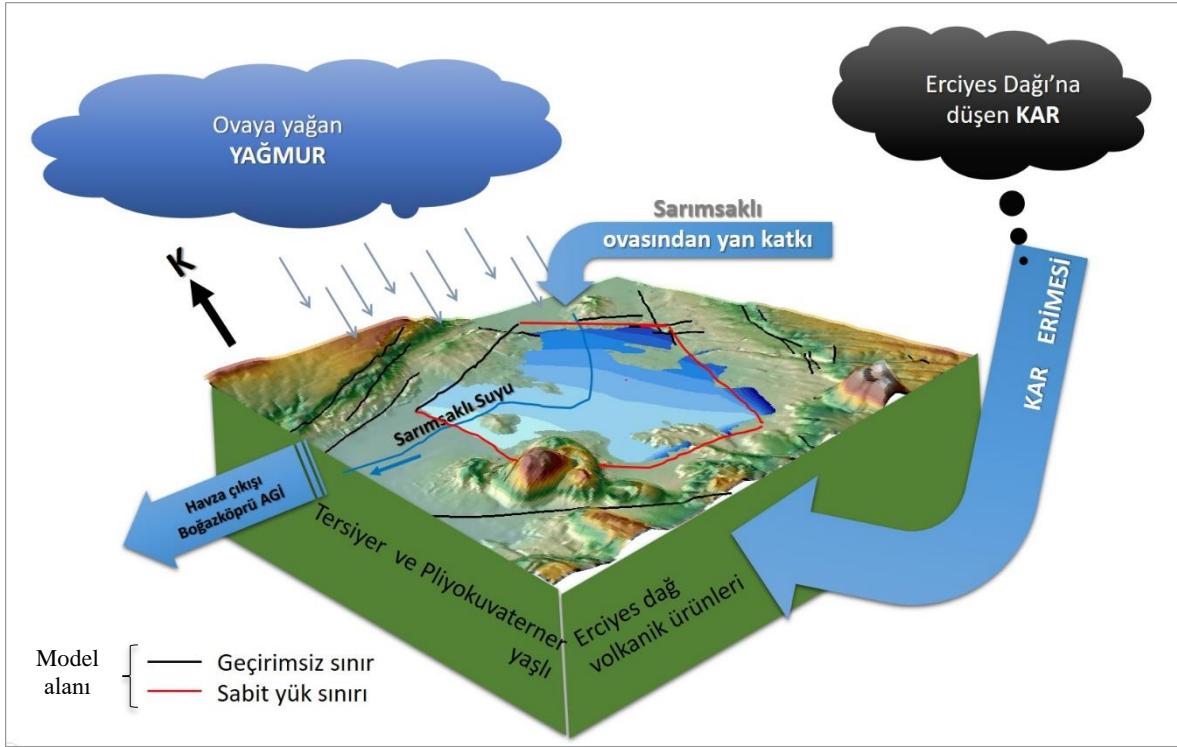
- 1) Kuyular ile toplam çekim  $110,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$
- 2) Derin volkanik kayaç akifer sisteminden Karasazlık alt sistemine boşalım  $49,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$

Karasazlık alt sistemine olan boşalım  $49,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  ve bunun  $22,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  miktarı Karasazlıktan buharlaşma-terleme yolu ile kaybolmaktadır. Arta kalan  $27,0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  miktarı ile Dokuzpınarlar sisteminin katılımı ( $37,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) Karasu Deresi'ne birleşerek Boğazköprü AGİ'den Kızılırmak Irmağı'na boşalım ( $64,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ) şeklinde gerçekleşmektedir (Çizelge 6.1 ve Şekil 6.3).

**Çizelge 6.1.** Yeraltısuyu bütçesi

BESLENME ( $10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ )		BOŞALIM ( $10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ )	
Erciyes Dağından kar erimesi:	151,65	Karasazlık alt sistemine	49
Ovaya yüzeysel akıştan süzülen:	5,53		
Sarımsaklı ovasından akifere yan akım:	1,82	Kuyular ile çekim	110

Tanımlanan kavramsal hidrojeolojik yapı ve model alanı bileşenleri ile sınır koşullarıyla Şekil 6.4'te şematik olarak üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Modelde, beslenme bölgesel ve yağıştan doğrudan süzülme şeklinde kavramsallaştırılmıştır. Buna göre, hidrojeolojik sistemin güney sınır koşulu, Erciyes dağından gelen kar erimesiyle gelen beslenme sınırı olarak sabit yük sınırı; yağıştan doğrudan beslenme ise ovaya yağın yağmur şeklinde; Kayseri kenti içmesuyu akiferine doğrudan beslenme ise Sarımsaklı ovasından yeraltısuyu komşu akiferden süzülme şeklinde sabit yük sınırı; boşalmı ise yeraltısuyundan kuyular vasıtasıyla çekilen sular ile akiferden havza çıkışı Karasazlık alt akifer sistemine (Boğazköprüsü AGİ) doğru yeraltısuyu boşalımıyla sabit yük sınırı olarak kavramsallaştırılmıştır.



**Şekil 6.4.** İnceleme alanındaki kavramsal hidrojeolojik modelinin üç boyutlu şematik gösterimi (Değirmenci ve ark., 2011; Namkhai ve ark., 2012)

## 7. İNCELEME ALANININ SAYISAL YERALTISUYU AKIM MODELİ

Önceki bölümlerde volkanik kayaç akifer sitemini oluşturan jeolojik birimlerin yüzeysel ve yer altındaki yayılımları ile kalınlıkları, jeolojik birimlerin yeraltısuyu bulundurma-iletme özelliğini ifade eden hidrojeolojik karakterizasyonları ortaya konulmuştur. Ayrıca, yeraltısuyu akifer sisteminin hidrodinamiğinin ortaya konulması amacıyla hidrometeorolojik verileri; yeraltısuyu seviye ölçümleri; su kimyası ile izotop analiz sonuçları kullanılarak inceleme alanının yer aldığı volkanik kayaç akifer sisteminin beslenme-depolama-dolaşım-boşalım ilişkisini gösteren hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur.

Tezin bu bölümünde Bölüm 6'da önerilen hidrojeolojik kavramsal modelinin sayısal yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuş olup, geçerliliği test edilmiştir. Böylece, bu tez çalışmasına konu olan Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sistemi üç boyutlu (x,y,z) nümerik bir sayısal modele dönüştürülmesiyle, yeraltısuyu akım dinamiği mevcut ve planlanacak olan işletme su tesislerinin veya potansiyel su kaynakları alanlarının belirlenmesinde karşılanılabilecektir. Ayrıca, sürdürülebilir su yönetimi açısından yeraltısuyundan ihtiyaçlar doğrultusunda nereden ne kadar sürede ne kadar suyun emniyetli bir şekilde çekilebileceği konusundaki kararın varılmasına olanak sağlanması bakımından, yeraltısuyu kullanımına yönelik işletme senaryolar geliştirilmiş ve mevcut yeraltısuyu tüketimi kademeli olarak arttırılarak değişimler değerlendirilmiştir.

### 7.1. Kullanılan Model Programı - MODFLOW 2005

Bu tez çalışmasında, herhangi bir yeraltısuyu akım dinamiğinin matematiksel olarak modelleyen USGS (United States Geological Survey) tarafından geliştirilen modüler sonlu-farklar akım modeli MODFLOW-2005 (MODular three-dimensional finite-difference ground-water FLOW model-2005) kullanılmıştır. MODFLOW, dünyada genelinde araştırmacıların sıklıkla başvurulan bir yeraltısuyu akım simülasyon programıdır. MODFLOW programının kodunun erişilebilir olması, ilgili kodların araştırmacıların okuyabileceği bir şekilde detaylı bir şekilde raporlanmış olması ile birlikte modüler yapısının sürekli geliştirilmeye esnek olması sebebiyle, çoğu araştırmacılar çok farklı hidrojeolojik sistemlerde başarı ile kullanmaktadırlar.



MODFLOW yazılımı, doymun akım koşullar altında Darcy yasasının geçerli ve yeraltısuyu yoğunluğunun sabit olduğu, hidrolik iletkenlik ve iletimliliğinin zamanla değişmediği yeraltısuyu akifer sistemlerini simüle etmek amacıyla tasarlanmış bir nümerik yazılımdır. MODFLOW, anizotrop-heterojen ortamdaki üç boyutlu karmaşık yeraltısuyu akifer sistemleri kararlı ve kararsız akım koşullarında modelleyebilmektedir. Program, sonlu farklar yaklaşımını kullanarak kısmi diferansiyel yeraltısuyu akım denklemini çözmektedir. Çözüm, akifer sistemindeki her bir sonlu farklar hücresi için değişik zaman adımlarındaki hidrolik yük değerlerini (yeraltısuyu seviyesi) vermektedir (McDonald and Harbaugh, 1988) (Eşitlik 3):

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Eşitlik 3.}$$

Eşitlik 3'teki parametreler aşasındaki gibi tanımlanır:

$K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  : hidrolik iletkenlik katsayısının x, y, z koordinat eksenlerindeki bileşenleri  
(LT-1 )

h: Hidrolik yük (L)

W : Hacimsel su girdi/çıkıktı miktarı (LT-1 )

Ss : Özgül depolama katsayısı (L-1 ) t = Zaman (T)

MODFLOW hücre merkezli sonlu farklar grid yaklaşımını kullanmakta olup, model alanı her bir düğüm noktasını çevreleyen hücre veya bloklara bölünmüştür. Bu hücreler birbirlerinden grid çizgileri ile ayrılmaktadır ve her hücrenin hidrolik özellikleri tanımlanmakta olup, bunun hücre içerisinde değişmediği kabul edilmektedir. Sonlu farklar yaklaşımının üç boyutlu problemlere basit ve kolay bir şekilde uygulanılabiliyor olmasından dolayı, yeraltısuyu modellemesinde çok geniş alanlarda kullanılmasını sağlamaktadır. MODFLOW yazılımı, Eşitlik 11'de verilen kısmi diferansiyel eşitliği her bir hücre için sonlu farklar yaklaşımını kullanarak aşağıdaki doğrusal denkleme dönüştürmektedir (McDonald and Harbaugh, 1988) (Eşitlik 4):

$$\begin{aligned} & CR_{i,j-1/2,k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+1/2,k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i-1/2,j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & CC_{i+1/2,j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k-1/2} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+1/2} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\ & P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = S_s (\Delta R_j \cdot \Delta C_i \cdot \Delta V_{i,j,k}) \frac{(h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1})}{t^m - t^{m-1}} \end{aligned} \quad \text{Eşitlik 4.}$$

Eşitlik 4'teki parametreler aşasındaki gibi tanımlanır:

$h_{i,j,k}^m$  : i, j, k hücrelerindeki m zaman adımındaki yük değeri (L)

CV, CR, CC: i,j,k düğüm noktaları ve komşu düğüm noktaları arasındaki hidrolik iletimlilik ( $L^2T^{-1}$ )

$P_{i,j,k}$  : Katkı/kayıplardaki hidrolik yük katsayılarının toplamı ( $L^2T^{-1}$ )

$Q_{i,j,k}$  : Katkı/kayıp katsayılarının toplamı ( $L^3 T^{-1}$ )

$S_s$  : Özgül depolama ( $L^{-1}$ )

$\Delta R_j$  : Tüm satırlardaki j kolonunun hücre genişliği (L)

$\Delta C_i$  : Tüm kolonlardaki i satırının hücre genişliği (L)

$\Delta V_{i,j,k}$  : i, j, k hücresinin düşey kalınlığı (L)

$t^m$  : m zaman adımındaki zaman (T)

MODFLOW-2005, önceki MODFLOW sürümlerinden farklı olarak evrik parametre modülü içermiyor olmasından dolayı, bu tez çalışmasında evrik parametre tahmini 2005 yılında Poeter ve arkadaşları (Poeter ve ark., 2005) tarafından geliştirilmiş UCODE-2005 (Universal Sensitivity Analysis, Calibration, and Uncertainty Evaluation) yazılımı ile yapılmıştır. UCODE-2005 programı, bir doğrusal olmayan regresyon programı olup her türlü model için kullanılabilir. Bu yazılımda tahmin edilen parametreler, gözlenmiş değerler ile model tarafından kestirilen değerler arasındaki farkı en aza indirecek şekilde simüle edilmektedir.

## 7.2. Model Alanının ve Hidrojeolojik Özellikleri

### Model alanı

Model alanı Kayseri Kenti için içme-kullanma sularının karşılandığı KASKİ su işletim tesislerini kapsayacak şekilde, inceleme alanının güneydeki Erciyes volkanikleri, doğusu ile kuzeyinde Koçdağ volkanitleri ile kuzeyde Neojen çökelleri tarafından sınırlanmış bir şekilde kararlaştırılmıştır. Model alanı 212 km<sup>2</sup> olup, Kayseri ilinin merkez ilçelerinden Melikgazi, Kocasinan, Talas ve Hacılar ilçelerini kısmen kapsamaktadır (Şekil 7.1abcç).

Model alanı sınırları içerisinde KASKİ tarafından işletilmekte olan içme-kullanma suyu tesislerinin bulunmasının yanısıra, topoğrafik eğimin düz olduğu alanlarda kentsel alanı hâkimdir. Bunun yanısıra, model alanı içinde kentsel alana kıyasla topoğrafik eğimin düz olduğu küçük alanlarda Erkilet havaalanı ile kuru ve sulu tarım, model alanının sınırlarına

doğru topoğrafik eğimin hafif dik yamaçlarda küçük alanlarda bağ-bahçe ve mera alanları mevcuttur.

#### Model alanının beslenme-boşalım mekanizması

Model alanında yeraltısuyu akifer sisteminin beslenimi Erciyes Dağı'na düşen karın erimesiyle oluşan eriyik kar suyu ile Erciyes Dağı'nın kuzey yamaçları ve model alanına düşen yağış tarafından karşılanırken; yeraltısuyu boşalımını ise kuyular ve model alanının batı sınırından dışa akış biçiminde gerçekleşmektedir. Yeraltısuyu seviyesinin yüksek olduğu durumlarda, model alanında sürekli akış gösteren nehir kolları ile drenaj kanalları vasıtasıyla yeraltısuyu Sarımsaklı Suyu'na katılarak model alanını batısından drene olmaktadır. Sarımsaklı Suyu model alanındaki ana yüzeysel drenaj unsuru olup, model alanına kuzeydoğudan girip batısından terk etmektedir. Ayrıca, Erciyes Dağı'nın kuzey yamaçlarına düşen yağış ile kar erime mevsiminde meydana eriyen kar suyundan oluşan yüzeysel akışlar, topoğrafik eğimin oldukça düşük düze yakın olduğu model alanına güney sınırından model alanına girdikten sonra kısa mesafelerde süzülerek kaybolmaktadır. Bu yüzeysel akışın bir kısmı bitki örtüsü ile toprak zonunda tutulurken, bir kısmı da süzülerek yeraltını beslemektedir. Arta kalan, yüzeysel akış ise drenaj kanalları vasıtasıyla toplanarak Sarımsaklı Suyu'na ulaşıp, oradan model alanını terk etmektedir (Şekil 7.1abcç).

#### Model alanının tavan ve taban kotunun belirlenmesi

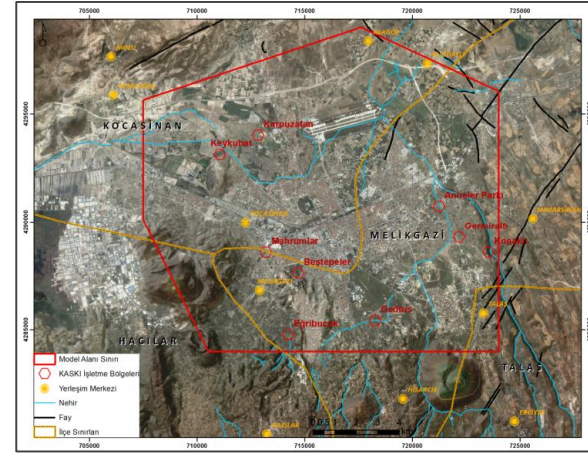
Model alanında farklı zamanlarda araştırma, işletme, içme-kullanma, sanayi ve sulama suyu amaçlı olarak DSİ, KASKİ, İller bankası ile şahıslar tarafından açılmış kuyuların kuyu log bilgileri incelenerek model alanının taban sınırı belirlenmiştir. Model alanını taban sınırı incelenen kuyu loglarında volkanik birimlerin sona erdiği ve daha düşük geçirimsizliğe sahip karasal kırınıtlı-karbonatlı kayaçlarından oluşan Neojen çökellerinin başladığı derinlik olan 875 m kotu seçilmiştir. Model alanının tavan sınırı ise sayısal arazi modelindeki (Şekil 7.1a) topoğrafik kot (sayısal yükselti modeli) değerleri kabul edilmiştir. Model alanın en yüksek kotu, güneybatısında yer alan Yılanlı Dağı'nın en üst kotudur.

#### Model alanında yeraltısuyu akım yönü

Model alanında yeraltısuyu akımı genel olarak batı-kuzeybatı istikametinde gerçekleşmektedir. Bölüm 6'da ayrıntılı olarak sunulan hidrojeolojik kavramsal modeli kapsamında anlatıldığı gibi, Erciyes-Koçdağı Volkanitleri yeraltısuyu akifer sisteminden derin beslenme yolu ile olan beslenme model alanının güneybatı, güney ve doğusundan gerçekleşmektedir.

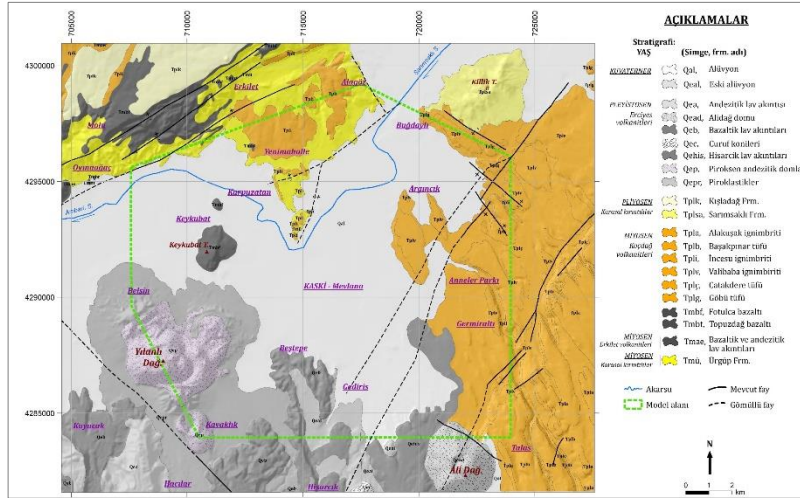


a)



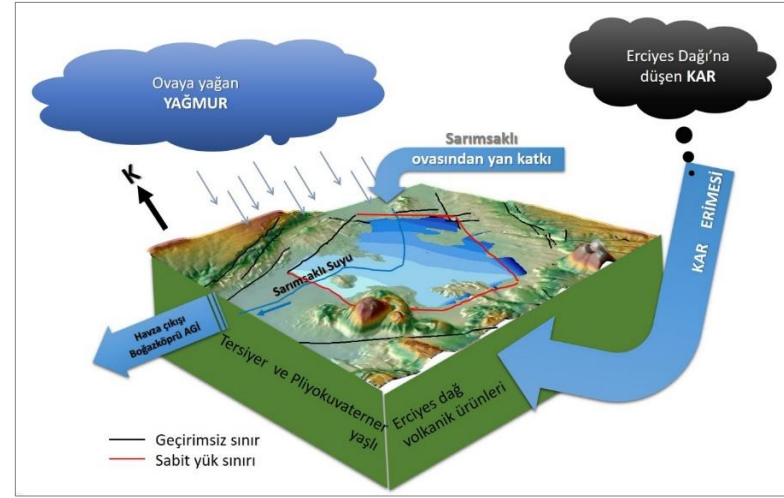
b)

Kaynak: Erdas image, IKONOS, 2007., Değirmenci ve ark., 2011b



c)

Kaynak: Dönmez ve ark., 2005 ve Dalkılıç, 2009'dan değiştirilerek

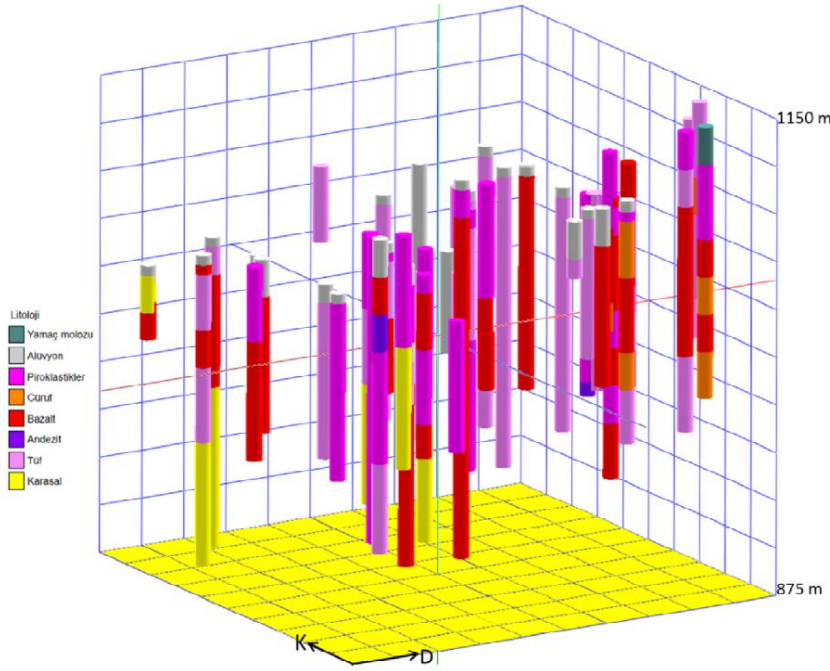


**Şekil 7.1.** Model alanına ilişkin haritalar: a) sayısal yükselti modeli, b) uydu görüntüsü, c) 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası, d) hidrojeolojik kavramsal modelinin üç boyutlu şematik gösterimi

Bu sınırlardan sisteme giren yeraltısuyu kuzeybatıya doğru akışa geçmektedir (Şekil 7.1ç).

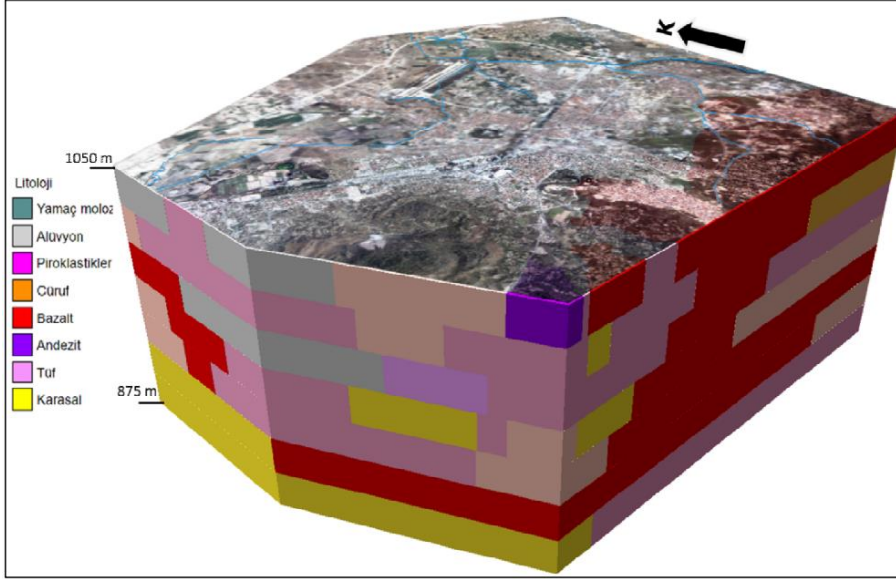
### Model alanındaki jeolojik birimler ve dağılımları

Model alanında farklı tarihlerde farklı kurumlar tarafından açılmış kuyulara ait loglarda adları geçen jeolojik birimler sayısallaştırılarak, yeraltısuyu akımının gerçekleştiği litolojik birimlerin üç boyutlu dağılımı elde edilmiştir (Şekil 7.2).



**Şekil 7.2.** Model alanında yer alan kuyularda gözlenen jeolojik birimlerin üç boyutlu dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b)

Oluşturulan model alanı üç boyutlu kuyu loglarında genel olarak tuf, piroklastik kayalar ile bazalt (bazaltik-andezitik lav akıntıları, bazalt) olduğu görülmüştür. Model alanının güneyinde birkaç kuyuda andezit ve volkanik cürufe rastlanmıştır. Kuyu loglarında tanımlanmış jeolojik birimleri “en yakın komşuluk” interpolasyon yöntemiyle üç boyutlu olarak simüle edilmiştir. Bu interpolasyon yönteminde model alanı, bu tez kapsamında kullanılan matematiksel model programının grid sistemine uygun olacak şekilde grid büyüklükleri X, Y ve Z sırasıyla 100 m, 100 m ve 25 m (kalınlık) boyutlarında tanımlanmıştır. Bu gridleme işlemi tamamlandıktan sonra, model alanı içinde yer alan kuyularda geçilen jeolojik birimleri çevresindeki en yakın kuyu logu bilgisi ile yakınsallaştırılarak model alanının üç boyutlu litolojik blok modeli oluşturulmuştur.



**Şekil 7.3.** Model alanına ait üç boyutlu litolojik blok modeli (Değirmenci ve ark., 2011b)

Model alanının tabanı olan 875 m ile model alanı ortalama kotu olan 1050 m arasındaki üç boyutlu litolojik blok modelindeki (Şekil 7.3) her bir litolojik birimin hacimsel dağılımları Çizelge 7.1’de verilmiştir.

**Çizelge 7.1.** Model alanının 875 m ile 1050 m kotları arasındaki üç boyutlu litolojik modelindeki litolojik birimlerin hacimsel dağılımları

Litolojik birim	Blok sayısı	%Hacim
Alüvyon	20044	11,42
Andezit	386	0,22
Bazalt	33902	19,32
Cüruf	1524	0,87
Karasal	20456	11,67
Piroklastikler	40365	23,00
Tuf	58785	33,50
Toplam	175462	100,00

### 7.3. Model Kurgusu

#### 7.3.1. Sonlu Farklar Grid Tasarımı

Model alanı, hücre boyutları 100 m × 100 m × 25 m (X m × Y m × Z m (kalınlık m)) olan 7 katman, 150 satır ve 165 sütüandan oluşan 3 boyutlu sonlu farklar hücrelerine bölünmüştür. Farklı jeolojik zamanlarında farklı hidrolik özelliklere sahip volkanik birimlerin model alanında çökelmiş olması nedeniyle KVAS’ı oluşturan litolojik birimlerin düşey akım bileşeni oldukça büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla, düşey akım bileşeninin modellenmesi amacıyla, düşey yönde 7 katman oluşturulmuştur. Bu katmanlar tabandan 875 m kotundan başlamış olup, alt 6 katmanı 25 m kalınlığa sahiptir. En üst katmanın



kalınlığı topoğrafik kota bağı olarak değişmektedir. Bu katmanın taban kotu 1025 m olup, kalınlık model alanının büyük bir kısmında 11 m ile 150 m arasında değişmekte olup, model alanının batısındaki Yılanlı Dağı'nda ise kalınlık 550 m'dir. Model alanındaki en yüksek hidrolik yük 1090 m, en düşüğü ise 1035 m kotuna sahiptir. Sarımsaklı Suyu'nun geçtiği bölgede en üst katman alüvyon akiferi oluşturmakta, bu katmanın altında ise farklı hidrolik iletkenlik katsayısına sahip bazalt, tuf ve piroklastiklerden oluşan katmanlar yer almaktadır. En alt katmanda ise daha az geçirimsizliğe sahip karasal kökenli sedimanter kayalar ile piroklastikler yer almaktadır.

### 7.3.2. Sınır Koşulları

KVAS'ın hidrojeolojik sistemin beslenmesi başlıca Erciyes sisteminden derin dolaşım ile gelen yeraltısuyu ile gerçekleşmektedir (Bkz. Şekil 6.3). Akiferin serbest olduğu alüvyon sistem yağıştan süzülme yolu ile beslenirken, model alanına kuzeydoğusu girişinden ise Sarımsaklı ovasından sığ yanal akım gerçekleşmektedir. Model alanı için oluşturulan nümerik modelinde, Erciyes sisteminden gelen derin dolaşım ile model alanının kuzeydoğusundaki Sarımsaklı-Elagöz alt havzası (Bkz. Şekil 6.1) sisteminden gelen yanal akım "Genel Yük Sınırı" (GHB) modülü ile tanımlanmıştır. Bu modülde sınır ile model alanı arasındaki akım Darcy yasasına göre hesaplanmaktadır.

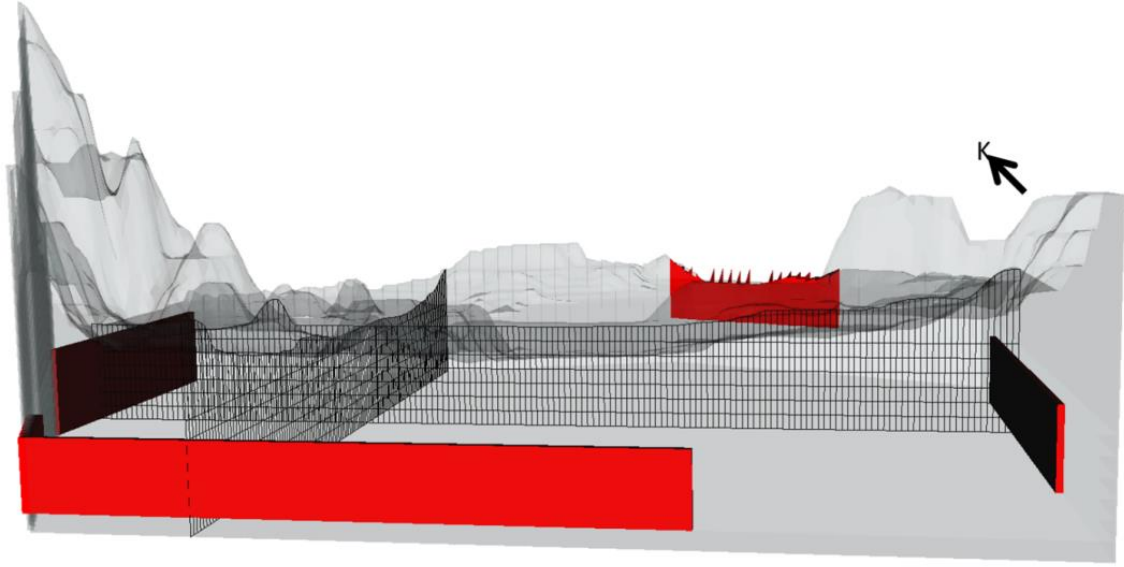
$$Q = C \times (h_s - h_a)$$

Eşitlik 5.

Eşitlik 5'teki parametrelerden;  $h_s$ , sınırdaki hidrolik yük;  $h_a$ , akiferdeki hidrolik yük ve  $C$  ( $L^2/T$ ) ise iletimsizlik katsayısı olup, model alanı sınırıyla temas eden toplam yüzeyden birim hidrolik eğim altında birim zamanda geçen su miktarını ifade etmektedir. Sınırdaki hidrolik yük, akiferdeki hidrolik yük değerinden küçük olduğunda dışa doğru akış gerçekleşmektedir. Model alanından yeraltısuyu boşalımı ise kuyular ve model alanının batısından dışa doğru akış şeklinde gerçekleşmektedir. Dışa akış miktarı beslenme sınırında olduğu gibi GHB modülü ile simülasyonlaştırılmıştır. GHB modülü sınır ile model alanı arasındaki yeraltısuyu akımı ise, iletimsizlik katsayısı, sınır ve model alanı arasındaki yük farkının bir fonksiyonudur. Dolayısıyla, sınırdaki yük ile iletimsizlik katsayılarının, kavramsal modelde öngörülen içe ve dışa akış değerlerini sağlayacak biçimde kalibre edilmesi gerekmektedir.

Model alanında GHB sınır koşullarının konumları Şekil 7.4'te üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Bakış yönü güneyden kuzeye doğru olup GHB modülü ile tanımlanan sınırlar kırmızı renk ile gösterilmiştir. Model alanının güneybatısında Erciyes Dağı eteklerinde GHB

sınır koşulunun alt sınırı karasal çökeller ile sınırlandırılırken (900 m), doğusunda model alanının taban kotu olan 875 m kotudur. Kuzeydoğuda, Sarmısklı-Elagöz alt havzasından içe akış ise, sığ akımı temsil edecek şekilde üstteki iki katman ile tanımlanmış yaklaşık 60 m kalınlığındaki blok ile tanımlanmıştır.

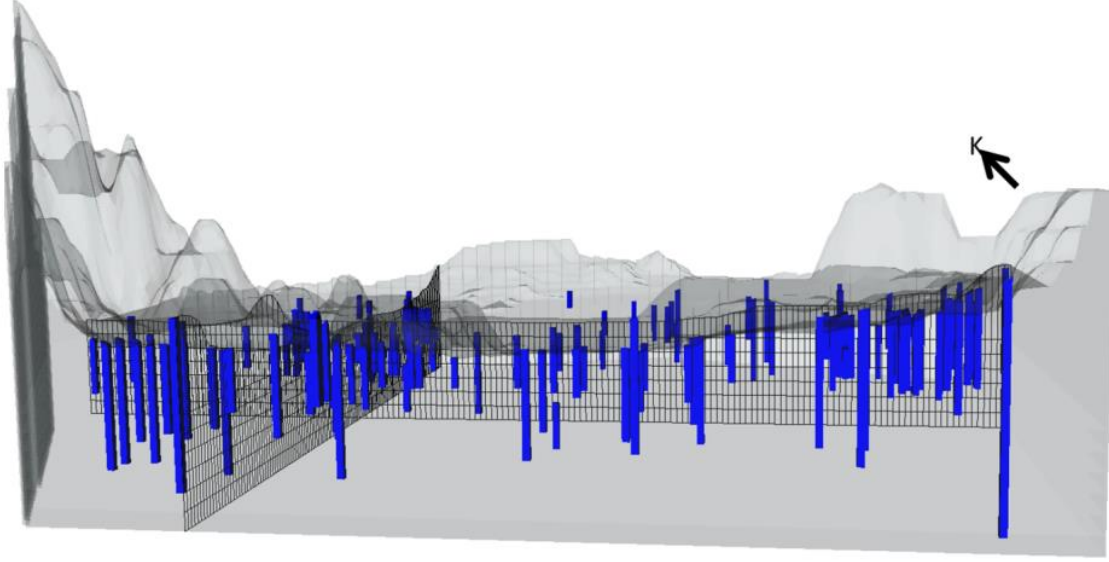


**Şekil 7.4.** Genel yük sınırı (GHB) modülü ile tanımlanan sınır koşulları (Değirmenci ve ark., 2011b)

Model alanında yüzeysel beslenme tüm model alanı için homojen kabul edilmiş ve en üst katmandaki her hücreye eşit değer atanmıştır. Çizelge 7.1’de verilen ovaya yüzeysel akıştan süzülme miktarı olan  $5,53 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl’lık beslenme (Bkz. Bölüm 6) değeri, model alanına bölünerek günlük ölçekte girdi olarak modele aktırılmıştır. Model alanında yeraltısuyu seviyesinin yükseldiği dönemlerde, yeraltısuyundan drenaj kanalları ve Sarımsaklı Suyu’na beslenme sözkonusu olup, bu beslenme akımı MODFLOW-2005 bünyesindeki Drenaj (DRAIN) modülü ile simülasyonlaştırılmıştır.

Kuyular ile boşalımın sayısal değerleri ise model alanında yer alan KASKİ ve DSİ tarafından işletilmekte olan kuyular dikkate alınarak modele tanımlanmış olup, kuyuların üç boyutlu konumsal dağılımı Şekil 7.5’te gösterilmiştir. Kuyuların çekim zonları, kuyu loglarından sayısallaştırılan filtre zonlarına karşılık gelen katmanlara atanmış olup, toplam çekim miktarı çekim zonlarının birden fazla katmana karşılık gelmesi durumunda katman sayısına bölünmüştür. Böylece, yeraltısuyuna her katmandan kuyuya eşit miktarda su geldiği varsayılmıştır. Kuyu çekimleri KASKİ kuyuları için Merkezi Denetim ve Veri Toplama Kontrol (Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)) sisteminden alınan çekim

miktarları ile, DSİ kuyularına ait çekimler ise kuyu pompa kapasitelerinden günlük 8 saat çekim olduğu varsayımı ile modele aktarılmıştır.



**Şekil 7.5.** Model alanında yer alan kuyular ve derinlikleri (Değirmenci ve ark., 2011b)

### 7.3.3. Başlangıç Koşulları

Model alanında, yeraltısuyu işletmesi başlamadan önceki döneme ait yeraltısuyu seviye gözlemleri bulunmaması nedeniyle, işletme dönemi öncesi hidrolik yük dağılımı, modelin yeraltısuyu çekimi olmaksızın kararlı akım koşullarında çalıştırılarak elde edilmiştir. Bu başlangıç yük değerlerin dağılımı, akiferin hidrolik iletkenliği ile sınır koşullarının etkisi altında doğal beslenme-boşalım dengesinin gerçekleştiği varsayımı ile elde edilmiştir ve alansal dağılımı Şekil 7.6'da sunulmuştur. Hesaplanarak elde edilen bu başlangıç hidrolik yük dağılımı, yeraltısuyu işletme döneminin simülasyonlaştırıldığı kararsız akım koşullarındaki simülasyonu başlangıç koşulu olarak modele aktarılmıştır.

### 7.3.4. Model Parametreleri ve Kalibrasyon

Akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı, genel yük sınır koşulu ile akifer arasındaki iletimlik, akiferin drenaj kanallarına boşalmasını kontrol eden iletimlilik katsayıları ile depolama özellikleri, model alanı için kararlı akım koşullarındaki oluşturulan sayısal yeraltısuyu modelinde akiferin hidrolik yük dağılımını kontrol eden parametrelerdir. Ancak, akiferin hidrolik parametreleri ile sınır koşullarındaki hidrolik yük değerleri bilinmemektedir.



yeraltısuyu dinamiğinin ayrıntılı bir biçimde belirlenmesi mümkün olabilecektir. Bu tez çalışması ile TÜBİTAK ÇAYDAG 170Y107 nolu proje kapsamında bu veri serisinin oluşturulması için girişimde bulunulmuş, ancak bu verilere ulaşılamamıştır.

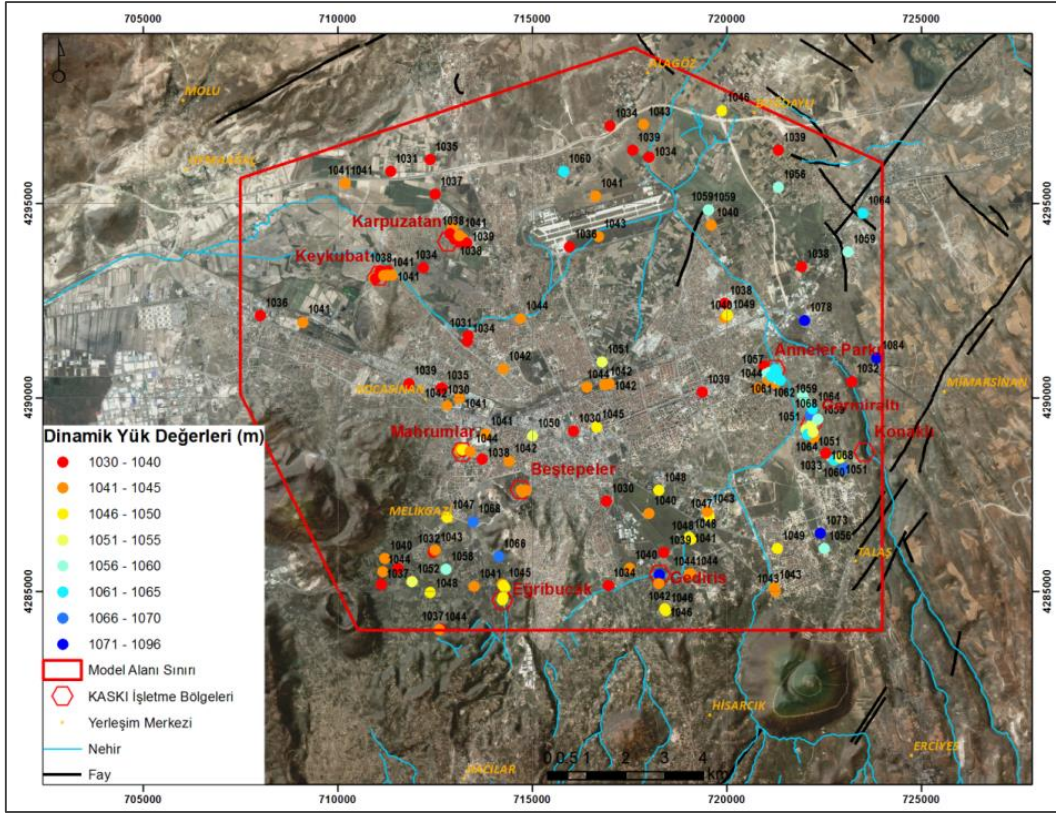
Model alanında yer alan KASKİ, DSİ ve şahışlar tarafından işletilmekte olan kuyuların, kısa aralar dışında sürekli çalışıyor olması ile KVAS'ı oluşturan volkanik kayaların hidrolik iletkenlik katsayılarının oldukça yüksek olması nedeniyle, gözlenen hidrolik yük değerleri her zaman diğerkuyuların etkisi altında bulunmaktadır. Dolayısıyla, gözlenen yük değerleri hep dinamik seviyeleri temsil etmektedir.

Zamansal değışimin yetersiz temsili nedeniyle, model kalibrasyonunda konumsal temsili arttırmak amacıyla, model alanında yer alan bütün kuyuların dinamik seviye değerleri kullanılmıştır. Kuyuların açılış yıllarının farklı olmasına karşın, yeraltısuyu seviyesinin değışim göstermemesi nedeniyle tüm gözlemlerin günümüzdeki dinamik seviyeyi yansıttığı varsayılmıştır. Bu nedenle, kararsız akım koşullarında yıllık beslenme-boşalım süreçlerinin yaratacağı dinamik seviyeyi elde edebilmek amacıyla, model bir yıl çalıştırılmış ve yıl sonunda elde edilen dinamik hidrolik yük ile model alanında gözlenen yüklerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Dinamik seviye gözlemlerine sahip olan kuyularda, hidrolik yük değerinin filtre zonunun tam ortasında ölçüldüğü varsayılmış ve model ile elde edilen üç boyutlu hidrolik yük değerleri bu noktada karşılaştırılmıştır. Şekil 7.7'de model alanında mevcut kuyulardaki dinamik hidrolik yük değerleri verilmiştir.

Şekil 7.7'de yer alan dinamik yük değerleri incelendiğinde, çok yüksek hidrolik yükler ile çok düşük değerlerin kısa mesafelerde bulunduğu görülmektedir. Bu dağılım, KVAS'ı oluşturan jeolojik birimlerin çok yüksek anizotrop-heterojen hidrolik yapıda olduklarının tipik bir göstergedir.

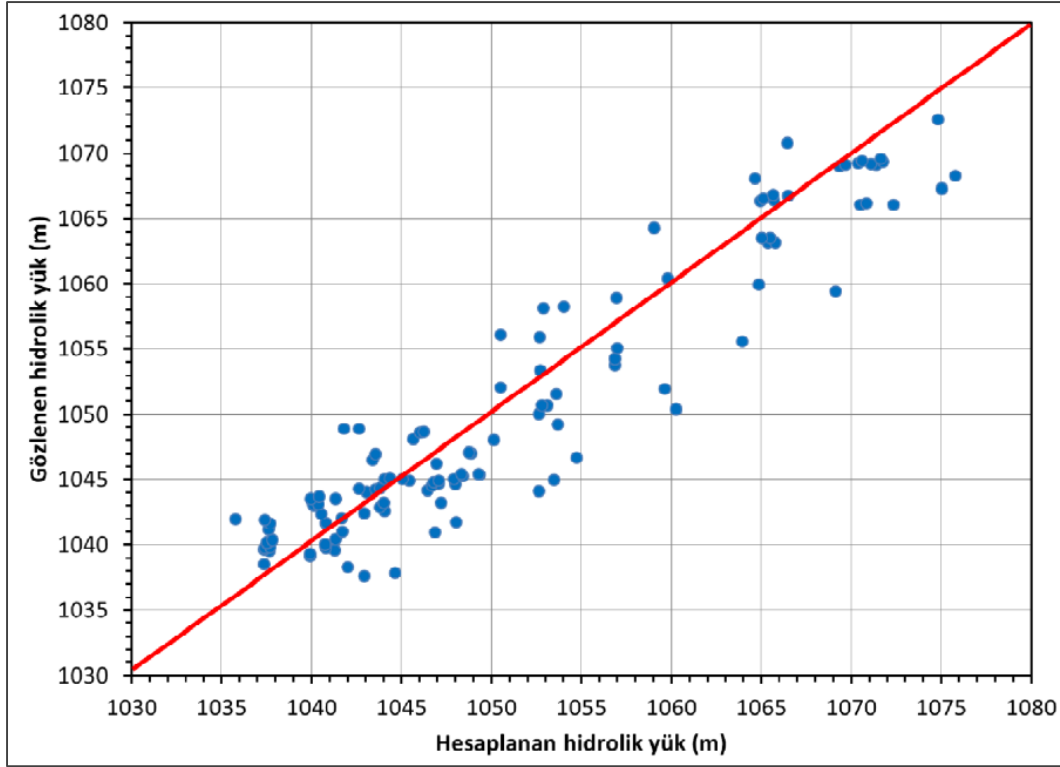




**Şekil 7.7.** Model alanında mevcut dinamik hidrolik yük değerlerinin konumsal dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b)

Model alanında yer alan birimlerin üç boyutlu yayılımı ile her litolojik birimin (Bkz. Şekil 7.3) oluşturduğu zonlar belirlenmiştir. Kalibrasyon sırasında bu zonların hidrostratigrafik birimleri temsil ettiği ve diğer zonlardan hidrolik özellikleri ile farklılık gösterdiği, ancak üç boyutlu olarak homojen bir yapıda olduğu varsayılmıştır. Model alanında yer alan çok az sayıda kuyuların log bilgilerinde adları geçen ve diğer volkanik kayalara göre az yayılıma sahip cüruf ve andezit zonları, temasta olduğu bazalt zonlarına birleştirilmiştir. İlk olarak deneme-yanılma yaklaşımı ile yapılan kalibrasyon çalışmaları, daha sonra doğrusal olmayan regresyon yöntemiyle kestirim yapan UCODE-2005 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sırasında akifer hidrolik parametreleri ile model alanı için tanımlanan sınır koşullarının iletkenlik değerleri tahmin edilmiştir. Kalibrasyon sonucu hesaplanan ve gözlenen yüklerin karşılaştırılması Şekil 7.8'de sunulmuştur.





**Şekil 7.8.** Hesaplanan ve gözlenen dinamik yüklerin karşılaştırılması (Değirmenci ve ark., 2011b)

Kalibrasyon sonucunda gözlenen ve hesaplanan yükler arasındaki mutlak fark ortalaması 2,94 m olarak hesaplanmıştır. Akifer sisteminin heterojen yapısının yeterince ayrıntılandırılmamış olması, MODFLOW-2005 modelinin gözenekli ortam akımı yanında hızlı kırık-çatlak akım kestirimlerini kestirememesi nedeniyle, daha iyi bir uyum sağlanamamıştır. Bu yüzden, daha iyi bir uyum yakalayabilmek amacıyla etrafındaki kuyulara ait hidrolik yük değerlerinden 10 m'dan fazla farklılık sunan kuyular modele girilen verilerden çıkartılarak kalibrasyon işlemi yeniden yapılmıştır. Ancak, yine de daha iyi bir uyum sağlanamamıştır.

Kalibrasyon sonucunda elde edilen model alanında yer alan yeraltısu akifer sistemini oluşturan litolojik birimlerinin hidrolik özellikleri Çizelge 7.2'de verilmiştir. Kalibrasyon aşamasında volkanik birimlerin tabanında yer alan karasal çökellerin hidrolik iletkenlik katsayısı diğer litolojik birimlere kıyasla, yaklaşık 20 ile 120 kat daha az olduğu görülmektedir.

**Çizelge 7.2.** Hidrostratigrafik birimlerin kalibrasyon ile elde edilen hidrolik parametreleri

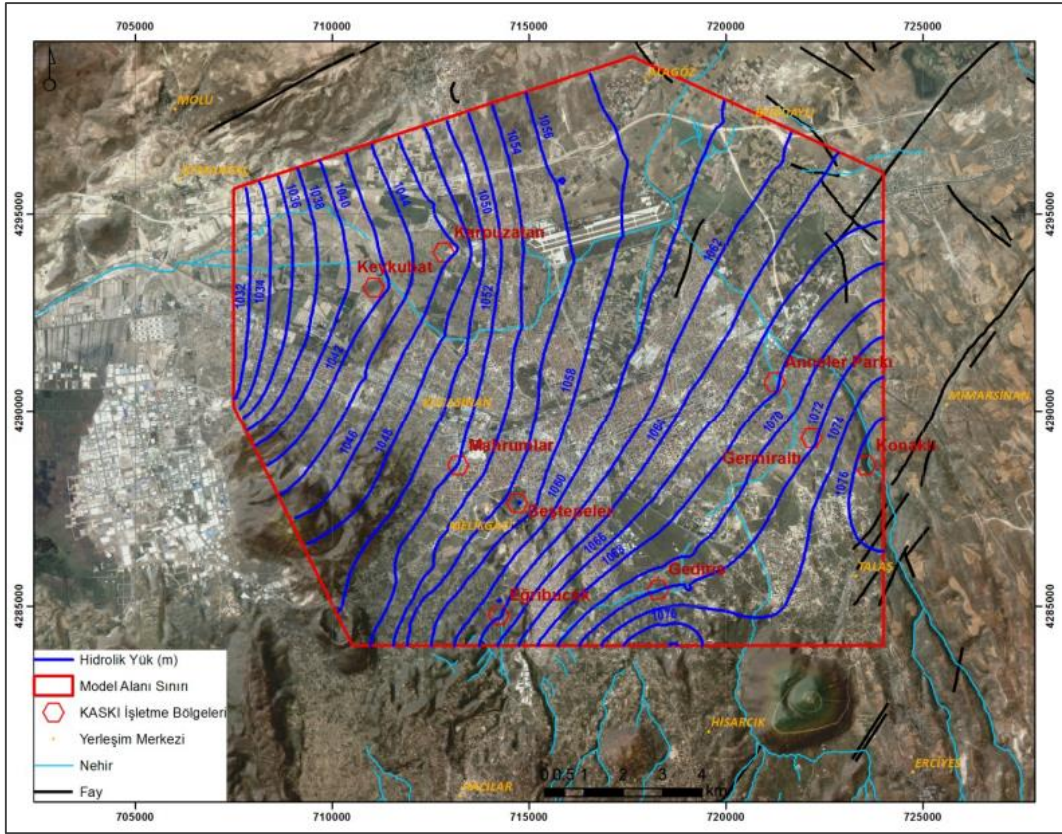
Hidrostratigrafik birim	Alüvyon	Piroklastikler	Bazalt	Tüf	Karasal
Hidrolik iletkenlik katsayısı (m/gün)	12,74	56,76	80,96	52,27	0,66
Özgül depolama katsayısı (1/m)	3,40E-03	1,33E-07	1,20E-06	6,59E-05	2,16E-05

Ayrıca, genel yük sınırı (GHB) iletkenlik değerleri kalibrasyon aşamasında hesaplanmıştır (Çizelge 7.3). Birim alan için verilen yukarıdaki katsayılar, sınıra dik yöndeki yüzey alanı (hücre boyutu × katman kalınlığı) ile çarpılarak iletkenlik değerleri belirlenmektedir.

**Çizelge 7.3.** Genel yük sınırları birim alan için hesaplanan iletkenlik değerleri (1/gün)

Sınır	Sarımsaklı giriş (KD)	Sarımsaklı çıkış (B)	Erciyes beslenme (GB)	Erciyes beslenme (D)
C/A (1/gün)	0,16	4,33	1,79	0,02

Kalibrasyon süreci sonunda kararsız akım koşullarında hesaplanmış hidrolik yük dağılımı Şekil 7.9’da verilmiştir.



**Şekil 7.9.** Kalibrasyon sonucu elde edilen yeraltı suyu işletme koşullarındaki hidrolik yük dağılımı (Değirmenci ve ark., 2011b)

### 7.3.5. Yeraltısuyu Bütçesi

Model alanında yeraltısuyu bütçesi, gerçekleşen beslenme miktarı ile model alanından Karasazlık Bataklığı'na gerçekleşen yeraltısuyu akımı tarafından kontrol edilmektedir (Bkz. Şekil 6.3). Gerek model alanına gerçekleşen beslenme miktarı gerekse model alanından dışa akış miktarı, model alanındaki hidrolik gradyan ve hidrolik iletkenlik dağılımı tarafından kontrol edilmektedir. Kalibrasyon sırasında, gözlenmiş dinamik seviyelerin karşılaştırılması ile elde edilen hidrolik özellikler ve hidrolik eğim dağılımına bağlı olarak hesaplanmış yeraltısuyu bütçesi Çizelge 7.4'te sunulmuştur.

Bu bütçede havza dışından toplam beslenme miktarı  $202,15 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$  olup, Bölüm 6'da verilen  $151 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yıl}$  değerinden daha yüksek tahmin edilmiştir. Erciyes Dağı'ndan gerçekleşen beslenme, model alanındaki gradyana bağlıdır. Gerek sınırdaki hidrolik yük gerekse sınır iletkenlik değerlerinin azaltılması, sınıra yakın kuyularda gözlenen hidrolik yükler ile uyumsuzluğa neden olmaktadır. Bu nedenle, UCODE-2005 programı ile optimize edilen değerler kabul edilmiştir. Beslenme miktarının sınırlara göre dağılımı incelendiğinde model alanının güneybatısından gelen beslenmenin en yüksek paya sahip olduğu (%55,56), Sarımsaklı Ovası'ndan içe akış yoluyla gelen beslenme (%4,69) ile yağıştan süzülme (%2,63) miktarlarının çok düşük olduğu görülmektedir. Drenaj kanalları ile Sarımsaklı Suyu'na olan boşalım toplam boşalımın %16,02'sini oluştururken, Karasazlık Bataklık sistemine akan miktar %32,8 paya sahip olmaktadır. Model alanında yer alan kuyular ile gerçekleşen çekim miktarı en yüksek boşalım payına sahiptir (%51,18).

**Çizelge 7.4.** Model alanı için hesaplanmış yeraltısuyu bütçesi değerler

BESLENME			BOŞALIM		
	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl	% Pay		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl	% Pay
Model alanı dışından beslenim	202,15	97,37	Model alanı dışına Akış (Karasazlık Bataklığı)	68,09	32,80
* Erciyes (GB)	115,33	55,56	Kuyularla çekim	106,24	51,18
* Erciyes (D)	77,07	37,13	Sarımsaklı Suyu	33,25	16,02
* Sarımsaklı Ovası	9,74	4,69			
Yağıştan beslenme	5,45	2,63			
Toplam	207,60	100,00		189,28	100,00

### 7.4. Değerlendirmeler

Bu çalışma kapsamında geliştirilmiş yeraltısuyu akım modellerinin ve elde edilen sonuçların geçerliliği, eldeki verilerin temsil edilebilirliği ile sınırlı kalmıştır. Oldukça karmaşık bir hidrolik yapıya sahip inceleme alanının bulunduğu Kayseri Kenti içme suyu volkanik kayacık

yeraltısuyu akiferinde çok sayıda kuyu açılmış olmasına karşın, hidrojeolojik sistemin dinamik yapısını yansıtabilecek gözlemlerin sistematik olarak yapılmaması, sistemin ancak dolaylı veriler ile ifade edilmesini zorunlu kılmıştır.

Yüksek hidrolik iletkenliğe sahip volkanik birimler, kuyuların etki yarıçaplarının büyük olmasına ve küçük debiler ile yapılacak akifer testlerinin yaratacağı çok küçük düşümler ile saptanan hidrolik parametrelerin güvenilirliğini etkilemektedir. Dolayısıyla, dinamik yapıyı kontrol eden beslenme ve boşalma miktarlarının sistematik gözlemi büyük önem taşımaktadır. Kısa molalar dışında tam zamanlı çalışan içme suyu kuyularının tamamında çekim miktarları ile oluşan düşümler sistematik olarak kayıt altına alınmalıdır. Hidrolik parametrelerin konumsal dağılımının kestirilmesinde kullanılan zonlama yaklaşımı ile volkanik birimler üst gruplarda (bazalt, tuf, piroklastikler) toplanmış, ancak bu birimler içerisinde hidrolik değişkenlik dikkate alınmamıştır. Her birim içerisinde özellikle yüksek iletkenliğe sahip ve süreklilik gösteren bu zonların tespit edilerek modele dahil edilmesi, ayrıca sonlu farklar grid ağının gerek düşey gerek yatay yönde sıklaştırılması ile daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.

## 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, teze konu olan Kayseri Kenti Volkanik Kayaç Akifer Sisteminin (KVAS'in) beslenme-depolama-dolaşım-boşalım ilişkisi araştırılarak, akifer sisteminin hidrodinamiğinin ortaya konulması ve beraberinde akifer sisteminin matematiksel yeraltısuyunun oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bu tez çalışmasında gerçekleştirilen arazi, ofis ve laboratuvarında yapılan analiz çalışmalarına ilişkin sonuçların değerlendirilmesiyle tespit/elde edilen bulgular, sonuçlar ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

### 8.1. Bulgular ve Sonuçlar

- Bu tez çalışması kapsamında gerek arazi ve ofis gerekse laboratuvar ortamında gerçekleştirilen jeolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmaları sonucunda, Neojen yaşlı Koçdağ volkanitleri ile Kuvaterner yaşlı Erciyes volkanitlerinin hidrojeolojik özellikleri bakımından yüksek derecede heterojen ve anizotrop oldukları belirlenmiştir. Ayrıca, inceleme alanının ortası ve güneyinde Erciyes volkanitleri hakimken, kuzey ile doğusunda Koçdağ volkanitleri geniş bir alanda ve Kayseri kentinin bulunduğu model alanının topoğrafik eğimin düz olduğu alanda alüvyon birimi yüzeyletiği belirlenmiştir.
- İnceleme alanı iklimsel olarak Erciyes Dağı'na düşen karın erimesiyle oluşan kar su erimesi ve Kayseri kentinin bulunduğu ovaya ve yamaçlarına düşen yağıştan beslenmektedir. Bu besleniminin sayısal olarak hesaplanabilmesi amacıyla, inceleme alanının içinde ve dışında bulunan meteoroloji gözlem istasyonları derlenmiştir. Ancak, derlenen istasyonlarda uzun yıllara ait ortak gözlem yılların olmamasından dolayı, istasyonlar arasında farklı ortak yıllarda ölçümleri yapılanlar tespit edilerek istasyonlarda ölçülen yağış verileri ile istasyonların bulunduğu kot değerleri kullanılarak kot-yağış ilişkisini gösterir korelasyon-regresyon denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemler kullanılarak istasyonlardaki eksik veriler tamamlanmıştır ve inceleme alanının güneyi yarısını 2250 kotunda yer alan Tekir MGİ ve kuzeyi ise 1093 m kotundaki Kayseri MGİ'nin temsil ettiği belirlenmiştir. Her iki istasyonda ölçülen ve hesaplanan yağış verileri ile sıcaklık verileri kar kütesinin birikimleri ile erimesinin dikkate alındığı aylık ölçekteki alanının kuzeyi ile güneyinden mm/yıl cinsinden beslenme miktarları hesaplanmıştır. Bu değerler Kayseri MGİ için 65 mm/yıl ve Tekir MGİ için ise 650 mm/yıl'dır. Bu hesaplamaların yapılması için, Kayseri MGİ ölçülen

günlük ölçekteki kar derinlikleri (yeni ve eski) ve ortalama sıcaklıklar ile Tekir MGİ'de ölçülen ve hesaplanan sıcaklıklar ve Erciyes-2B nolu KGİ'de ölçülen kar derinlikleri birlikte değerlendirilerek su bütçesi yöntemler için ihtiyaç duyulan kar oluşma sıcaklıkları belirlenmiştir.

- Erciyes Dağı volkanik kayaç akifer sisteminin boşalımı inceleme alanında açılan kuyular ile yeraltısuyunun yüksek olduğu dönemlerde Sarımsaklı Suyu ile Karasazlık Bataklığı sistemi vasıtasıyla drene olmaktadır.
- İnceleme alanında yer alan su kaynaklarından alınan su örneklerinde yapılan oksijen-18 ile döteryum analiz sonuçları incelendiğinde, Erciyes Dağı volkanik kayaç akifer sistemi ortalama 1350 m kotundan beslendiği tespit edilmiştir.
- Yukarıda sözü edilen çalışmaların sonuçlarıyla hidrojeokimyasal çalışmalarından elde edilen bulgular birlikte değerlendirilerek Erciyes Dağı volkanik kayaç yeraltısuyu akifer sisteminin beslenme-depolama-dolaşım-boşalım ilişkisini gösteren hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan hidrojeolojik kavramsal modelinde, Erciyes Dağı volkanik kayaç akifer sisteminin beslenimi, bölgesel ve yağıştan doğrudan süzülme şeklinde kavramsallaştırılmıştır. Buna göre, hidrojeolojik sistemin güney sınır koşulu, Erciyes dağından gelen kar erimesiyle gelen beslenme sınırı olarak sabit yük sınırı; yağıştan doğrudan beslenme ise ovaya yağın yağmur şeklinde; Kayseri kenti içmesuyu akiferine doğrudan beslenme ise Sarımsaklı ovasından yeraltısuyu komşu akiferden süzülme şeklinde sabit yük sınırı; boşalımı ise yeraltısuyundan kuyular vasıtasıyla çekilen sular ile akiferden havza çıkışı Karasazlık Bataklığı alt akifer sistemine (Boğazköprüsü AGİ) doğru yeraltısuyu boşalımıyla sabit yük sınırı olarak kavramsallaştırılmıştır.
- Hidrojeolojik kavramsal model için hesaplanan yeraltısuyu bütçesindeki beslenme miktarları Erciyes Dağı'ndan kar erimesiyle  $151,65 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl, ovaya ve yamaçlara düşen yağıştan yüzeysel akış şekline süzülme yoluyla  $5,53 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl ve Sarımsaklı Ovası'ndan akifere yanal akım şeklinde  $1,82 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl hesaplanmıştır. Boşalım miktarları ise kuyular ile toplam çekim  $110,0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl, derin volkanik kayaç akifer sisteminden Karasazlık alt sistemine boşalımı ise  $49,0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Karasazlık alt sistemine olan boşalımın  $22,0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'lık kısmı Karasazlıktan buharlaşma-terleme yolu ile kaybolmakta, artı kalan  $27,0 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl miktarı ile



Dokuzpınarlar sisteminin katılımı ( $37,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) Karasu Deresi'ne birleşerek Boğazköprü AGİ'den Kızılırmak Irmağı'na boşalım ( $64,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl) şeklinde gerçekleşmektedir.

- KASKİ işletme kuyularında yer alan seviye sensörlerinde, kuyuların çalışması ile çok az düşümler gözlenmektedir. Ancak, yeraltısuyu kullanımına bağlı seviye değişimleri SCADA sistemi içerisinde kayıt edilmemektedir. Konumsal dağılım açısından tüm model alanını hem yatayda hem de düşeyde çok iyi temsil edebilecek, çekilen su miktarına bağlı bu seviye değişimlerinin kayıt edilmesi ile konumsal ve zamansal olarak yeraltısuyu dinamiğinin ayrıntılı bir biçimde belirlenmesi mümkün olabilecektir.
- Yeraltısuyu akım sisteminin değişiminin ortaya konmasında bir diğer önemli güçlük ise, değişen beslenme-boşalım koşulları altında gözlenmiş hidrolik yük verilerinden oluşan zaman serisi eksikliğidir. İnceleme alanında yer alan kuyuların, kısa aralar dışında sürekli çalışır konumda olması ve hidrolik iletkenlik katsayısının oldukça yüksek olması nedeniyle, gözlenen hidrolik yük değerleri her zaman diğer kuyuların etkisi altında bulunmaktadır. Bu nedenle gözlenen yük değerleri hep dinamik seviyeleri temsil etmektedir.
- Model alanı için oluşturulan matematiksel yeraltısuyu akım modeli için ilksel su seviyesi olarak tanımlanması uygun görülen yeraltısuyu dinamik yük değerleri incelendiğinde, çok düşük hidrolik yükler ile yüksek değerlerin kısa mesafelerde bulunduğu görülmektedir. Bu dağılım, heterojen hidrolik yapının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum, model alanının yer aldığı yeraltısuyu akifer sisteminin heterojen ve anizotrop volkanik kayalardan oluştuğunun tipik bir göstergesidir.
- Matematiksel yeraltısuyu modelinin kalibrasyonu sonucunda gözlenen ve hesaplanan yükler arasındaki mutlak fark ortalaması 2,94 m olarak hesaplanmıştır. Akifer sisteminin heterojen ve anizotrop yapısının yeterince ayrıntılandırılmamış olması, MODFLOW-2005 modelinin gözenekli ortam akımı yanında hızlı kırık-çatlak akımlarını simüleştirememesi nedeniyle, daha iyi bir uyum sağlanamamıştır. Kalibrasyon, çevresindeki kuyuların hidrolik yük değerlerinden 10 m'den fazla farklılık gösteren kuyular çıkartılarak tekrarlanmış, ancak daha iyi bir uyum yakalanamamıştır.

- Kalibrasyon aşamasında volkanik birimlerin tabanında yer alan karasal çökellerin hidrolik iletkenlik katsayısı diğer birimlerden yaklaşık 20 ile 120 kat daha az hesaplanmıştır.
- Hidrojeolojik kavramsal modelinin geçerliliğinin test edilmesi amacıyla bu tez çalışma kapsamında geliştirilmiş yeraltısuyu akım modellerinin ve elde edilen sonuçların geçerliliği, elde edilen verilerin temsil edilebilirliği ile sınırlı kalmıştır.
- Oldukça karmaşık bir hidrolik yapıya sahip olan Kayseri Kenti volkanik kayaç akifer sisteminde çok sayıda kuyu açılmış olmasına karşın, hidrojeolojik sistemin dinamik yapısını yansıtmayacak şekilde gerek işletme öncesinde gerekse sonrasında yeraltısuyu seviyesi gözlemleri sistematik olarak yapılmaması, bu tez kapsamında KVAS'ı tanımlayan sayısal matematiksel yeraltısuyu akım modelinde türetilmiş veriler ile kalibrasyon yapılması gerekmektedir.

## 8.2. Öneriler

- İnceleme alanında Erciyes Dağı'nın farklı kotlar ile farklı bölgelerine düşen kar derinliği, sıcaklığı ile karsu eşdeğere ilişkin zaman serisi verilerinin mevcut olmamasından dolayı, bu tez çalışmasında bahse konu olan karsu eşdeğeri verilerin Erciyes Dağı'nın hangi kotlardaki bölgesinden ne kadar miktarda meydana geldiği ortaya konulmaya çalışılırken oldukça güç olmuştur. Dolayısıyla, Kayseri Kenti için oldukça önem arz eden içmesuyu akifer sisteminin etkin bir şekilde sürdürülebilir yönetimi çerçevesinde işletebilmek adına, yeraltısuyu beslenme miktarının sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmesinde fayda vardır. Bunun için, Erciyes Dağı'nın kuzey yamaçlarının farklı kotlar ile bölgelerinde yağış, sıcaklık, buharlaşma, kar derinliği ve rüzgar hızı ve yönü, basınç sensörlerinin yer aldığı yağış ve kar gözlem istasyonlarının kurulması önerilmektedir.
- Yüksek hidrolik iletkenliğe sahip volkanik birimler, kuyuların etki yarıçaplarının büyük olmasına ve küçük debiler ile yapılacak akifer testlerinin yaratacağı çok küçük düşümler ile saptanan hidrolik parametrelerin güvenilirliğini etkilemektedir. Dolayısıyla, dinamik yapıyı kontrol eden beslenme ve boşalım miktarlarının sistematik gözlemi büyük önem taşımaktadır. Kısa molalar dışında tam zamanlı çalışan içme suyu kuyularının tamamında çekim miktarları ile oluşan düşümler sistematik olarak kayıt altına alınmalıdır.

- Hidrolik parametrelerin konumsal dağılımının kestirilmesinde kullanılan zonlama yaklaşımı ile volkanik birimler üst gruplarda (bazalt, tuf, piroklastikler) toplanmış, ancak bu birimler içerisinde hidrolik değişkenlik dikkate alınmamıştır. Her birim içerisinde özellikle yüksek iletkenliğe sahip ve süreklilik gösteren bu zonların tespit edilerek modele dahil edilmesi, ayrıca sonlu farklar grid ağının gerek düşey gerek yatay yönde sıklaştırılması ile daha hassas sonuçlar elde edilebilecektir.
- Konumsal dağılım açısından inceleme alanını hem yatayda hem de düşeyde çok iyi temsil edebilecek, çekilen su miktarına bağlı bu seviye değişimlerinin kayıt edilmesi ile konumsal ve zamansal olarak yeraltısuyu dinamiğinin ayrıntılı bir biçimde belirlenmesi mümkün olabilecektir.

## 9. KAYNAKLAR

- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., Gürel, A., Onak, A., Oruç, Ö., Kavurmacı, M., Durukan, G., Orta Anadolu'daki Sıcak ve Mineralli Suların ve Travertenlerin Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi ve Suların Tıbbi ve Biyoiklimsel Değerlendirilmesi; TÜBİTAK ÇAYDAG, 104Y197 nolu Projesi Final Raporu, Aksaray, **2007**.
- Akpınar, H., Kayseri Kenti İçme Suyu Akiferlerinin Su Temini Ve Su Kalitesi Açısından Karakterizasyonu, Yüksek Mühendislik Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, **2010**.
- Ateş, N., Dadaşer-Çelik, F., Kaplan-Bekaroğlu, Ş.Ş., Ergin, B., Kayseri'de İçme Suyu Kalitesinin Mekânsal ve Zamansal Değişimi, Uluslararası Tarım, Çevre ve Sağlık Kongresi, Aydın, 26-28 Ekim 2018, Aydın, Tam Metin Bildiri Kitabı, Ankara, **2018b**, s.12.
- Aydar, E., Gündoğdu, N., Bayhan, H., Gourgaud, A., Kapadokya Bölgesinin Kuvaterner Yaşlı Volkanizmasının Volkanik-Yapısal ve Petrolojik İncelenmesi: TÜBİTAK Yerbilimleri Dergisi, 3 (**1994**) 25-42.
- Aykar, E., Kayseri Kenti İçme Suyu Akiferlerinin İz Element Ve Kirlenici Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, **2009**.
- Friedman, J.H., Multivariate Adaptive Regression Splines: the Annals of Statistics, Vol. 19, No. 1 (**1991**) 1-67.
- Clark, I., Fritz, P., Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers. CRC Press, New York, **1997**.
- Coll, J., Xingong, Li., Comprehensive accuracy assessment of MODIS daily snow cover products and gap filling methods, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 144 (**2018**) 435-452.
- Craig, H., Standarts for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters, Science, 133, 3467 (**1961**) 1833-1834.
- Dansgaard, W., Stable isotopes in precipitation, Tellus, 16 (**1964**) 436-468.
- Dalkılıç, H., Türkiye Jeoloji Haritaları, 1:100.000 ölçekli. Kayseri-L35 Paftası; MTA yayınları, No: 124, Ankara, **2009**.
- Degirmenci, M., Yazıcı, M., Tezcan, L., Ekmekci, M., Sozudogru, O., Namkhai, O., Atmaca, E., Hydrogeological Properties of the Drinking Water Aquifers In Kayseri City: International Refereed Journal of Engineering and Sciences, 4 (**2015**) 48-65.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Tezcan, L., Namkhai, O., Yazıcı, M., Altın, A., Atmaca, E., Sözüdoğru, O., Aykar, E., Akpınar, H., Kayseri Kent İçme Suyu Akiferlerinin Özellikleri, Kirlenme Riskleri ve Havza Koruma Alanlarının Belirlenmesi; TÜBİTAK-ÇAYDAG, 170Y107 nolu Projesi Final Raporu, Sivas, **2011b**.
- Degirmenci, M., Tezcan, L., Ekmekci, M., Atmaca, E., Altin, A., Namkhai, O., Yazici, M., Batukan, E., Planning Of Water Supply Infrastructure On The Basis Of Sustainable Water Resources Management İn Kayseri Metropolitan City, Central Turkey: A Plan For The Year 2050, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 03-08 April 2011, Geophysical Research Abstracts Vol. 13, Vienna, **2011a**, p.1.

- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Altın, A., Atmaca, E., Kayseri Kent İçme Suyu Havzasında Yer Alan Eski Çöp Deponi Alanları Sızıntı Sularının Kent İçme Suyu Akiferlerine Olan Etkilerinin ve Havza Koruma Alanlarının Belirlenmesi; D.P.T. Bilimsel Araştırma Sonuç Raporu, Sivas, **2006**.
- Değirmenci, M., Beştepeler Kaynağını Geliştirme Amaçlı Hidrojeolojik Çalışmalar ve Ön Sonuçları; KASKİ, Ön Sonuç Raporu, Kayseri, **2005**.
- Dingman, S.L., Physical Hydrology, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, **2001**.
- Dirik, K., Neotectonic Evolution of the Northwestward Arched Segment of the Central Anatolian, Turkey: Geodinamica Acta 14 (**2001**) 147-158.
- Dirik, K., Göncüoğlu, M.C., Kozlu, H., Stratigraphy and Pre-Miocene Tectonic Evolution of the Southwestern Part of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey: Geol. J., 34(3) (**1999**) 303–319.
- Dirik, K., Göncüoğlu, M.C., Neotectonic Characteristics of Central Anatolia: International Geology Review, 38 (**1996**) 807–817.
- Doğruel, Z., Kuvaterner Yaşlı Erciyes Volkanik Kayaçlarının Mineraloji-Petrografi Ve Jeokimyası, Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2007**.
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları (Kayseri-K34 paftası); MTA yayınları, No:49, Ankara, **2005**.
- DSİ, Limnigrafli yeraltısuyu seviye gözlem kuyularında aylık ölçekte ölçülen yeraltısuyu seviye verileri (**2019b**).
- DSİ, DSİ 2018 Yılı Faaliyet Raporu: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü., Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Ankara., **2019a**.
- DSİ, Erciyes-2B Kar Gözlem İstasyonu'nda ölçülen kar derinlik verileri (**2014**).
- DSİ, Kayseri-Sarımsaklı Ovası Hidrojeolojik Revize Raporu: DSİ XII Bölge Müdürlüğü, Kayseri, **1995**.
- DSİ, Kayseri Sarımsaklı Ovası Planlama Kademesinde Hidrojeolojik Etüt Raporu; DSİ Jeoteknik ve Yeraltısuları Daire Başkanlığı, Ankara, **1969**.
- DSİ, Kayseri-Sarımsaklı Ovası ve Karasazlık Bataklık Sahası Jeofizik Rezistivite Etüd Raporu; DSİ Jeoteknik ve Yeraltısuları Daire Başkanlığı, Ankara, **1966**.
- Duran, F., Erciyes Volkanizmasının Oluşumu, Koçcağız Köyü (Kayseri) Dolayının Stratigrafisi ve Tüflerin Yapı-Kaplı Taşı Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Mühendislik Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, **2009**.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Elmacı, H., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Seri, Elbistan (NJ 37-5) Paftası Seri No: 37; MTA, Ankara-Türkiye, **2012**.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Seri, Yozgat (NJ 36-4) Paftası Seri No: 31; MTA, Ankara-Türkiye, **2011b**.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Seri, Kayseri (NJ 36-8) Paftası Seri No: 32; MTA, Ankara-Türkiye, **2011a**.

- Elhatip, H., Afsin, M., Kuscu, L., Dirik, K., Kurmac, A., Kavurmaci, M., Influences of Human Activities and Agriculture on Groundwater Quality of Kayseri–Incesu–Dokuzpınar Springs, Central Anatolian Part of Turkey: *Environmental Geology*, 44 (2003) 490–494.
- Gat, R., Garmi, L., Evolution of The İsotopic Composition of Atmospheric Waters in The Mediterranean Sea Area, *J. Geophysical Research*, 75 (1970) 3039-3048.
- Genç, Y., Yürür, M.T., Coeval Extension and Compression in Late Mesozoic–Recent Thin-Skinned Extensional Tectonics in Central Anatolia, Turkey; *Journal of Structural Geology*, 32 (5), (2010) 623-640.
- Güçtekin, A., Hasandağ ve Erciyes (Orta Anadolu) Strato Volkanlarının Jeokimyasal ve Petrolojik Evrimi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.
- Hall, D.K., Riggs, G.A., Accuracy assessment of the MODIS snow products, *Hydrol. Process*, 21 (2007) 1534–1547.
- Hamon, W.R., Computation of Direct Runoff Amounts from Storm Rainfall, *Intl. Assoc. Scientific Hydrol. Publ.* 63 (1963) 52-62.
- HGK, K34 ve K35 paftaları 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritaları (1986).
- KASKİ, Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, [www.kaski.gov.tr](http://www.kaski.gov.tr) resmi websayfasındaki Faaliyet Raporları (2019).
- Ketin, İ., 1/2.500.000 ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama (Notice explicative); 1960.
- Kılıçdağı, R., Sariaslan, M., Ak, S., Şanver, S., Akbulut, İ., Nisan, E., Kayseri Kentinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Gn. Müd. Orta Anadolu I. Bölge Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Sivas, 1999.
- Koçyiğit, A., Erol, O., A Tectonic Escape Structure: Erciyes Pullapart Basin, Kayseri, Central Anatolia, Turkey: *Geodinamica Acta*, 14 (2001) 133–145.
- Koçyiğit, A., Beyhan, A., A New Intracontinental Transcurrent Structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey: *Tectonophysics*, 284 (1998) 317–336.
- Koralay, T., İncesu İgnimbiritinin (Kayseri) Jeolojisi, Petrolojisi Ve Ayırtman Özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2006.
- Kürkçüoğlu, B., Şen, E., Temel, A., Aydar, E., Gourgaud, A., Trace Element Modelling and Source Constraints for Tholeiitic and Calc-Alkaline Basalts from a Depleted Asthenospheric Mantle Source, Mt. Erciyes Stratovolcano, Turkey: *International Geological Review*, 43 (2001) 508–522.
- Kürkçüoğlu, B., Şen, E., Aydar, E., Gourgaud, A., Gündoğdu, N., Geochemical Approach To Magmatic Evolution of Mt.Erciyes Stratovolcano Central Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1998) 473-494.
- Merlivat, L., Jouzel, J., Global Climatic Interpretation Of The Deuterium - Oxygen-18 Relationship For Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 84 (1979) 5029-5033.
- McCabe, G.J., Markstrom, S.L., A Monthly Water-Balance Model Driven by A Graphical User Interface; U.S., Geological Survey, Open-File report 2007-1088, USA, 2007.



- McDonald, M., Harbaugh, A.W., A Modular Three-Dimensional Finite Difference Ground-Water Flow Model. In: Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, U.S. Geological Survey, **1988**.
- MGM, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nce bu tez kapsamında kullanılmak üzere ücretsiz sağlayan günlük ve aylık ölçekteki meteorolojik veriler (**2019**).
- MTA, 1:500.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Sivas Paftası; Ankara-Türkiye, **2002b**.
- MTA, 1:500.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Kayseri Paftası; Ankara-Türkiye, **2002a**.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Degirmenci, M., Yeraltısuyu Seviyelerinin Geleceğe Dönük Öngörü Tahminlerinin Zaman Serisi Analizleriyle İncelenmesi, HİDRO'2018: Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu, Ankara, 27-29 Eylül 2018, HÜ-UKAM, Tam Metin Bildiri Kitabı, Ankara, **2018b**, s.8.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Tezcan, L., Yeraltısularındaki Toplam Çözünmüş Madde Miktarının Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi ile Kestirilmesi, 71.ci Uluslararası katılımlı Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 3-27 Nisan 2018, Bildiri Özeti Kitabı: Jeoloji ve Sağlık, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, **2018a**, s.2.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Tezcan, L., Tatlıdil, H., Degirmenci, M., Assessment of Heavy Metals Analyses Using Multivariate Statistical Techniques in Relation To Drinking Water Standards: A Case Study from Turkey, 3rd IRSYSC 2017, International Researchers, Statisticians and Young Statisticians Congress, Konya, 24-26 May 2017, Konya; Abstracts Book, Konya, **2017**, s.1.
- Namkhai, O., Kayseri Kenti İçme Suyu Havzası Akifer Sisteminin Hidrojeokimyasal ve Çevresel İzotop Özellikleri, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 2-4 Nisan 2012, Bildiri Özeti Kitabı: Yarının Şehirleri için Jeoloji Mühendisliği, **2012**, s.262-263.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Degirmenci, M., Tezcan, L., 2011, Occurrence of PAH Contamination in a Volcanic Rock Aquifer in Relation to Paleoenvironmental Development, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 03-08 April 2011, Geophysical Research Abstracts Vol. 13, Vienna, **2011**, p.1.
- Özgür, C., Yurtseven, D., Manav, E., Sarp, S., Yıldırım, T., Yıldırım, N., Ak, S., Özkan, H., Kayseri-Erciyes Alanının Jeolojisi, Jeotermal Enerji Olanakları ve Boğazköprü Araştırma Sondaj Kuyu Bitirme Raporu: MTA Der. Raporu (yayımlanmamış), Ankara, **2000**.
- Piper, A.M., A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25 (**1944**) 835-1060.
- Poeter, E., Hill, M., Banta, E., Mehl, S., Christensen, S., UCODE\_2005 and six other 34 computer codes of runiversal sensitivity analysis, calibration, and uncertainty evaluation, 35 Technical Methods 6-A11. U.S. Geological Survey. **2005**.
- Riggs, G., Barton, J.S., Casey, K.A., Hall, D.K., Salomonson, V.V., MODIS Snow Products User's Guide, NASA-NSDC, **2000**.
- Sargın, A.H., Sarımsaklı Ovası Yeraltısuyu Akımı Sonlu Farklar Modeli, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **1991**.

- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Zreda, M., Glaciations and Paleoclimate of Mount Erciyes, Central Turkey, since the Last Glacial Maximum, Inferred from <sup>36</sup>Cl Cosmogenic Dating and Glacier Modeling: *Quat Sci Rev*, 28(23–24) (2009) 2326–2341.
- Sarıkaya, M.A., Şen, E., Çiner, A., Zreda, M., Aydar, A., Erciyes Volkanı Geç Kuvaterner buzullaşması ve volkanizması, 4. Kuvaterner Çalıştayı, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul, 29-30 Mayıs 2003, İTÜ İstanbul, (2003d) s.55-61.
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Zreda, M., Erciyes Volkanı'nın Kuvaterner Buzul Evreleri, Sırrı Erinç Sempozyumu, İstanbul, 11-13 Eylül 2003, İstanbul Üniversitesi Genişletilmiş Bildiri Özetleri, 2003c, s.129-134.
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Zreda, M., Late Quaternary Glaciation of the Erciyes Volcano, Central Turkey. In: *Shaping the Earth: a Quaternary Perspective, The XVI INQUA Congress : "Shaping the Earth: a Quaternary Perspective, Reno, July 23-30 2003, GSA Abstracts, Reno, Nevada USA, 2003b, p. 144.*
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Zreda, M., Erciyes Volkanı Geç Kuvaterner Buzul Çökelleri: *Yerbilimleri*, 27 (2003a) 59-74.
- Schoeller, H., *Les eaux souterraines: Hydrologie dynamique et statique. Comptes rendus critiques. 699. Hydrogéologie en chambre Paris, Masson, 1962.*
- Sönmez, G., Kayseri-İncesu-Dokuzpınar Su Kaynaklarının Kalitesi ve Çevresel Etkilerin İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2004.
- Şen, E., Kürkçüoğlu, B., Aydar, E., Gourgaud, A., Vincent, P.M., Volcanological Evolution of Mount Erciyes Stratovolcano and Origin of the Valibaba Tepe Ignimbrite (Central Anatolia, Turkey): *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 125 (2003) 225-246.
- Şen, E., Aydar, E., Gourgaud, A., Kürkçüoğlu, B., Vincent, P.M., Initial Explosive Phases During the Extrusion of Volcanic Lava Domes: Example from Rhyodacitic dome of Dikkartin Dag, Erciyes Stratovolcano, Central Anatolia, Turkey: *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 334/1(2002) 27–33.
- Şen, E., Erciyes Stratovolkanının (Orta Anadolu) Volkanolojik ve Petrolojik Gelişiminin İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1997.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., the Water Balance: *Publications in climatology*, 8 (1955) 5-86.
- Thornthwaite, C.W., An Approach toward a Rational Classification of Climate: *Geographical Review*, 38 (1948) 55-94.
- TOB, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı (Mülga T.C. Tarım, Gıda ve Hayvancılık Bakanlığı), bu tez kapsamında kullanılmak üzere ücretsiz sağlayan 1/100.000 ölçekteki sayısal toprak örtüsü ile arazi kullanım verileri (2013).
- Toprak, V., Vent Distribution and Its Relation To Regional Tectonics, Cappadocian Volvanics, Turkey: *J. Vol. Geotherm. Res.*, 85 (1998) 55-67.
- Toprak, V., Goncüoğlu, M.C., Tectonic Control on the Development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province Turkey: *Geol. J.* 28 (1993b) 357-369.

- Toprak, V., Göncüoğlu, M.C., Keçiboyduran-Melendiz Fayı ve Bölgesel Anlamı (Orta Anadolu): *Yerbilimleri*, 16 (1993a) 55-65.
- Türkecan, A., Acarlar, M., Dönmez, M., Hepşen, N., Bilgin, R., Kayseri (Bünyan-Develi-Tomarza) Yöresinin Jeolojisi ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi Raporu; MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1998.
- USGS, A Monthly Water-Balance Model Driven By a Graphical User Interface, Open-File Report 2007-1088, U.S. Geological Survey, Reston. Virginia, 2007.
- Unterweger, M.P., Coursey, B.M., Shima, F.J., Mann, W.B., Preparation And Calibration of The 1978 National Bureau of Standards Tritiated Water Standards, *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 31 (1983) 611-614.
- YAZICI, M., Kayseri Kenti İçme Suyu Akiferlerinin İz Element Ve Kirletici Parametreleri Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 2012.
- Yetiş, C., Demirkol, C., Ecemiş Fay Kuşağının Jeo-Tektonik Evrimi, *Yerbilimleri*, 11 (1984b) 1-12.
- Yetiş, C., New observations on the age of the Ecemis Fault. *Geology of the Taurus Belt*. Ankara, O. Tekeli, M.C. Goncuoglu (Eds), Turkey, 159-164, 1984a.
- Yetiş, C., *Geology of the Çamardı (Niğde) Region and the Characteristics of the Ecemiş Fault Zone Between Maden Bogazı and Kamışlı: İstanbul Üniv. Fen Fak. Mecm. Seri E.*, 43 (1978b) 41-61.
- Yetiş, C., Çamardı (Niğde) Yakın Ve Uzak Dolayının Jeoloji İncelemesi Ve Ecemiş Yarılım Kuşağı'nın Maden Boğazı-Kamışlı Arasındaki Özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1978a.
- Yüksel, G., Kayseri İlinin Yeraltı Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2014.
- Zhang, K., Zhu, G., Ma, J., Yang, Y., Shang, S., Gu, C., Parameter analysis and estimates for the MODIS evapotranspiration algorithm and multiscale verification. *Water Resources Research*, 55 (2019) 2211–2231.
- MODIS and VIIRS Snow and Ice Global Mapping Project, <https://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov> (Erişim tarihi: 15 Aralık 2022).
  - TÜİK Merkez Dağıtım Sistemi, <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (eski adı <https://biruni.tuik.gov.tr>) (Erişim tarihi: 15 Aralık 2022).
  - KASKİ, Kayseri Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, [www.kaski.gov.tr](http://www.kaski.gov.tr) (Erişim tarihi: 15 Aralık 2022).

## EKLER

### EK 1 – 1975-2018 yıllarına ait hidrolojik su bütçesi bileşenleri

Yıl	Kayseri MGİ				Tekir MGİ			
	Net Yağış	ETp	ETg	Fazla Su	Net Yağış	ETp	ETg	Fazla Su
	mm/yıl				mm/yıl			
1975	462	634	361	101	1381	283	251	1175
1976	406	625	258	148	1010	234	229	781
1977	416	652	354	62	1063	254	202	860
1978	390	668	317	73	968	247	196	770
1979	473	665	359	113	1292	277	226	1135
1980	430	649	322	108	1163	254	197	1038
1981	396	714	396	0	1125	282	244	942
1982	319	619	317	1	899	271	269	651
1983	404	634	354	50	1147	242	200	1012
1984	276	654	276	0	782	239	211	629
1985	374	655	329	45	1010	284	257	853
1986	435	645	365	70	1211	226	153	1137
1987	564	649	403	160	1509	259	157	1352
1988	645	663	473	172	1743	253	517	1589
1989	281	719	281	0	799	332	244	636
1990	468	659	399	69	1292	278	257	1080
1991	540	674	395	145	1492	301	216	1303
1992	442	612	369	73	1162	268	257	911
1993	387	650	372	15	1033	276	220	885
1994	301	727	275	26	817	348	228	632
1995	394	699	394	0	1118	271	268	950
1996	401	744	373	28	1136	280	239	897
1997	430	673	399	30	1187	283	266	921
1998	498	717	420	78	1406	339	259	1189
1999	404	744	393	12	1145	302	234	988
2000	385	689	315	70	1011	308	218	875
2001	260	803	373	28	732	336	246	568
2002	475	695	434	40	1260	298	289	982
2003	301	727	301	0	813	312	219	598
2004	387	695	321	66	1005	302	232	844
2005	354	752	347	7	962	292	216	823
2006	460	747	373	28	1280	363	302	977
2007	437	716	367	69	1200	342	311	907
2008	372	702	306	65	870	317	248	659
2009	486	714	417	70	1386	296	272	1168
2010	488	825	373	28	1361	346	185	1176
2011	449	675	402	47	1422	261	114	1308
2012	390	735	383	7	960	353	198	762
2013	295	726	286	9	920	302	145	776
2014	475	796	466	9	1325	354	307	1018
2015	416	710	373	28	1268	313	132	1136
2016	341	725	341	0	1155	341	210	945
2017	301	741	301	0	835	308	103	731
2018	408	807	408	0	1308	356	220	1088
e.k.	260	612	258	0	732	226	103	568
e.b.	645	825	473	172	1743	363	517	1589
ort.	409,5	698,3	360,0	48,9	1135,5	295,1	231,0	946,8
st.sap.	79,1	51,9	50,2	47,1	225,5	37,2	64,8	224,7

Not: e.k. - en küçük, e.b. - en büyük, ort. - ortalama, st.sap. - standart sapma

**EK 2 – Örnekleme noktalarına ait yerinde ölçümler, majör iyonlar ile izotop analiz sonuçları**

**EK 2a. KÖD1 – Aralık 2008 dönemi su örneklerine ait yerinde ölçümler, majör iyonlar ile izotop analiz sonuçları**

Sıra	Su örnek kodu	Sıcaklık	ÖEİ	pH	ÇO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣAnyon	ΣKatyon	E.N.	δ <sup>18</sup> O	δ <sup>2</sup> H	DF	Trityum	Toplam Analiz Hatası
		(°C)	(µS/cm)	-	(mg/L)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	%	(‰SMOW)	(‰SMOW)	(‰SMOW)	(TU)
1	KÖD-S01	15,9	1218	792,0	7,9	66,1	31,2	167,9	49,7	126,3	83,3	30,2	416,9	3,30	2,56	7,31	1,27	3,56	1,73	1,01	6,83	13,16	14,46	4,71	-9,5	-69,0	7,0	1,19	0,29
2	KÖD-S02	13,7	779	506,0	6,4	85,9	21,9	41,4	5,9	46,4	93,1	0,0	321,9	4,29	1,80	1,80	0,15	1,31	1,94	0,00	5,28	8,53	8,04	-2,96	-11,5	-79,0	13,0	0,51	0,27
3	KÖD-S03	13,1	637	414,0	6,5	76,5	25,8	31,8	5,2	55,7	27,9	0,0	275,9	3,81	2,12	1,38	0,13	1,57	0,58	0,00	4,52	6,78	7,46	4,74	-11,7	-79,0	14,6	0,62	0,26
4	KÖD-S04	13,3	513	334,0	6,6	62,8	17,8	25,7	8,8	23,9	31,5	0,0	254,3	3,14	1,47	1,12	0,22	0,67	0,66	0,00	4,17	5,59	5,95	3,09	-11,7	-79,0	14,6	0,60	0,27
5	KÖD-D01	15,9	275	179,0	6,4	33,1	8,5	11,8	4,8	6,9	10,4	0,0	131,8	1,65	0,70	0,51	0,12	0,19	0,22	0,00	2,16	2,74	2,99	4,32	-11,8	-81,0	13,4	0,59	0,28
6	KÖD-D02	12,9	498	324,0	6,9	79,3	10,6	21,9	7,5	13,6	33,2	0,0	272,7	3,96	0,87	0,95	0,19	0,38	0,69	0,00	4,47	5,58	6,04	3,99	-11,7	-80,0	13,6	0,60	0,28
7	KÖD-D03	12,1	445	290,0	7,6	57,0	8,9	30,7	7,8	17,1	80,9	18,1	119,5	2,84	0,73	1,33	0,20	0,48	1,69	0,60	1,96	4,75	5,24	4,84	-11,5	-80,0	12,0	1,00	0,29
8	KÖD-D04	13,7	408	265,0	6,0	48,4	10,7	20,8	8,2	20,1	24,3	0,0	153,2	2,41	0,88	0,90	0,21	0,57	0,51	0,00	2,51	4,10	4,41	3,73	-11,7	-79,0	14,6	1,20	0,29
9	KÖD-D05	10,9	207	135,0	6,0	21,8	9,9	10,4	2,5	10,3	12,2	0,0	98,0	1,09	0,81	0,45	0,06	0,29	0,25	0,00	1,61	2,30	2,42	2,63	-11,8	-78,0	16,4	0,31	0,27
10	KÖD-D06	14,9	298	193,0	7,6	32,8	10,7	13,1	4,1	8,1	7,9	0,0	147,0	1,64	0,88	0,57	0,11	0,23	0,16	0,00	2,41	3,07	3,19	1,93	-11,4	-78,0	13,2	1,32	0,28
11	KÖD-D07	15,0	1154	751,0	6,9	113,7	43,5	100,5	12,4	145,6	105,3	0,0	398,5	5,67	3,58	4,37	0,32	4,11	2,19	0,00	6,53	12,85	13,95	4,09	-10,8	-78,0	8,4	0,74	0,27
12	KÖD-D08	14,9	691	449,0	7,0	89,2	22,8	38,0	5,8	29,8	30,0	18,1	294,2	4,45	1,88	1,65	0,15	0,84	0,62	0,60	4,82	7,38	8,13	4,86	-10,3	-75,0	7,4	1,68	0,28
13	KÖD-D09	14,3	309	201,0	6,5	33,6	10,1	17,3	4,5	8,2	10,9	0,0	153,3	1,68	0,83	0,75	0,12	0,23	0,23	0,00	2,51	3,19	3,37	2,89	-11,6	-79,0	13,8	0,19	0,25
14	KÖD-D10	14,4	305	198,0	6,2	36,1	11,5	12,8	4,2	8,7	11,1	0,0	153,3	1,80	0,94	0,56	0,11	0,24	0,23	0,00	2,51	3,21	3,41	2,95	-11,6	-78,0	14,8	-0,13	0,25
15	KÖD-D11	15,0	243	158,0	6,9	30,5	7,3	12,2	4,3	7,4	7,8	0,0	134,8	1,52	0,60	0,53	0,11	0,21	0,16	0,00	2,21	2,60	2,82	4,07	-11,6	-80,0	12,8	0,36	0,26
16	KÖD-D12	15,1	244	159,0	6,2	30,8	6,6	10,4	4,0	5,8	8,4	0,0	134,8	1,54	0,55	0,45	0,10	0,16	0,17	0,00	2,21	2,69	2,64	-1,10	-11,8	-80,0	14,4	0,73	0,27
17	KÖD-D13	15,4	515	334,0	7,0	52,0	17,4	36,5	8,0	30,1	51,4	0,0	214,6	2,60	1,43	1,59	0,20	0,85	1,07	0,00	3,52	5,48	5,83	3,08	-11,6	-79,0	13,8	-0,15	0,24
18	KÖD-D14	15,0	500	325,0	7,4	51,1	16,0	32,7	7,6	28,5	60,1	0,0	196,2	2,55	1,32	1,42	0,20	0,80	1,25	0,00	3,22	5,28	5,67	3,55	-11,6	-79,0	13,8	1,63	0,29
19	KÖD-D15	14,4	419	273,0	6,1	34,3	11,6	42,4	6,3	40,4	15,2	0,0	159,4	1,71	0,96	1,85	0,16	1,14	0,32	0,00	2,61	4,23	4,68	4,97	-11,8	-79,0	15,4	1,45	0,29
20	KÖD-D16	11,0	121	78,0	6,0	10,4	5,2	8,0	1,8	2,7	4,4	0,0	61,3	0,52	0,42	0,35	0,05	0,08	0,09	0,00	1,01	1,24	1,34	3,62	-11,9	-79,0	16,2	3,34	0,31
21	KÖD-D17	13,2	791	514,0	6,4	81,9	32,0	43,3	7,6	77,0	37,7	0,0	312,7	4,09	2,63	1,89	0,19	2,17	0,79	0,00	5,13	8,28	8,80	3,08	-11,7	-79,0	14,6	1,92	0,30
22	KÖD-D18	13,6	348	227,0	6,6	27,4	12,6	25,9	3,9	24,7	13,0	0,0	147,1	1,37	1,04	1,13	0,10	0,70	0,27	0,00	2,41	3,52	3,63	1,65	-11,7	-79,0	14,6	2,13	0,30
23	KÖD-D19	14,5	575	374,0	6,1	52,2	22,1	43,0	5,4	59,3	32,2	0,0	214,6	2,60	1,82	1,87	0,14	1,67	0,67	0,00	3,52	6,09	6,43	2,73	-11,6	-79,0	13,8	2,76	0,31
24	KÖD-D20	14,0	364	237,0	6,1	43,9	11,1	18,5	6,4	16,9	19,3	0,0	147,0	2,19	0,92	0,81	0,16	0,48	0,40	0,00	2,41	3,70	4,08	4,91	-11,6	-78,0	14,8	1,59	0,30
25	KÖD-D21	11,3	476	309,0	7,6	32,3	20,7	40,3	10,0	29,1	71,8	0,0	159,3	1,61	1,70	1,75	0,26	0,82	1,50	0,00	2,61	4,93	5,32	3,83	-11,2	-77,0	12,6	2,12	0,30
26	KÖD-D22	18,9	465	302,0	7,8	50,3	15,3	30,2	4,2	36,3	20,7	18,1	162,3	2,51	1,26	1,31	0,11	1,03	0,43	0,60	2,66	4,84	5,20	3,51	-11,9	-82,0	13,2	0,41	0,27
27	KÖD-D23	11,7	207	134,0	6,9	20,7	10,8	12,0	3,0	10,8	12,8	0,0	104,2	1,03	0,89	0,52	0,08	0,30	0,27	0,00	1,71	2,34	2,56	4,37	-11,7	-79,0	14,6	2,40	0,30
28	KÖD-Ky01	6,5	60	39,0	7,1	8,2	1,7	3,3	1,5	1,0	1,0	0,0	42,9	0,41	0,14	0,15	0,04	0,03	0,02	0,00	0,70	0,79	0,73	-3,62	-11,9	-77,0	18,2	2,50	0,29
29	KÖD-Ky02	12,7	276	179,0	5,9	32,2	10,7	11,1	3,9	11,2	14,1	0,0	122,6	1,61	0,88	0,48	0,10	0,32	0,29	0,00	2,01	2,90	3,13	3,76	-11,6	-78,0	14,8	0,70	0,27
30	KÖD-Ky03	10,0	212	137,0	6,7	10,6	7,8	28,3	2,4	17,7	8,5	0,0	94,9	0,53	0,64	1,23	0,06	0,50	0,18	0,00	1,56	2,31	2,54	4,72	-11,9	-79,0	16,2	0,83	0,28
31	KÖD-Ky04	6,5	94	61,0	7,4	1,3	0,0	0,3	0,1	0,1	0,6	0,0	6,3	0,07	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,10	0,13	0,09	-16,43	-11,7	-76,0	17,6	0,30	0,26
32	KÖD-Ky05	9,2	108	70,0	7,0	15,2	3,9	4,9	1,7	1,4	2,5	0,0	67,4	0,76	0,32	0,21	0,04	0,04	0,05	0,00	1,11	1,24	1,33	3,76	-11,5	-77,0	15,0	0,69	0,27
33	KÖD-Ky06	12,5	443	288,0	6,3	17,6	17,2	57,1	4,3	68,2	8,6	0,0	140,9	0,88	1,42	2,48	0,11	1,92	0,18	0,00	2,31	4,55	4,93	3,97	-11,7	-79,0	14,6	0,65	0,28
34	KÖD-Ky07	16,9	1906	1239,0	6,2	100,5	49,6	253,2	17,4	425,4	57,8	0,0	367,8	5,01	4,08	11,02	0,45	12,00	1,20	0,00	6,03	19,40	20,70	3,23	-11,0	-75,0	13,0	2,90	0,30
35	KÖD-Y01	6,0	3624	2360,0	5,7	150,2	92,0	642,2	31,1	1068,3	55,1	0,0	600,8	7,49	7,56	27,95	0,79	30,14	1,15	0,00	9,85	41,23	44,01	3,26	-11,3	-78,0	12,4	5,39	0,35
36	KÖD-Y02	0,7	784	509,0	8,0	94,5	31,8	27,5	8,5	20,7	78,0	30,2	282,0	4,71	2,61	1,20	0,22	0,58	1,62	1,01	4,62	7,95	8,74	4,74	-11,1	-79,0	9,8	7,00	0,38
37	KÖD-Y03	5,9	1170	760,0	7,4	161,0	32,8	34,7	40,7	38,7	9,5	0,0	692,8	8,03	2,70	1,51	1,04	1,09	0,20	0,00	11,36	12,64	13,48	3,18	-10,5	-74,0	10,0	6,78	0,38
38	KÖD-Ky01	5				1,61	0,07	3,19	0,12	4,07	1,63	0,00	12,32	0,08	0,01	0,14	0,00	0,11	0,03	0,00	0,20	0,36	0,24		-24,9	-181,0	18,2	5,46	0,36
39	KÖD-Ky02	6				1,75	0,06	0,30	0,06	0,34	0,77	0,00	6,19	0,09	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,10	0,13	0,11		-20,5	-142,0	22,0	7,88	0,39



## EK 2b. KÖD2 – Eylül 2009 dönemi su örneklerine ait yerinde ölçümler, majör iyonlar ile izotop analiz sonuçları

Sıra	Su örnek kodu	Sıcaklık (°C)	ÖEİ (µS/cm)	pH	ÇO (mg/L)	Ca <sup>+2</sup> (ppm)	Mg <sup>+2</sup> (ppm)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Cl (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Ca <sup>+2</sup> (meq/l)	Mg <sup>+2</sup> (meq/l)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Cl (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (meq/l)	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	ΣAnyon (meq/l)	ΣKatyon (meq/l)	E.N. (%)	δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	δ <sup>2</sup> H (‰ SMOW)	DF (‰ SMOW)	Trityum (TU)	Toplam Analiz (+/- 1 sigma)
1	KÖD-S01	19,3	1482	421,0	6,7	115,4	48,8	85,1	8,1	112,2	38,7	14,3	644,0	5,76	4,01	3,70	0,21	3,17	0,81	0,48	10,56	15,02	13,76	-4,37	-11,0	-78,3	9,5	1,98	0,30
2	KÖD-S02	16,4	703	963,0	6,8	66,1	17,7	36,6	5,2	40,9	68,0	0,0	252,7	3,30	1,46	1,59	0,13	1,15	1,42	0,00	4,14	7,01	6,52	-3,66	-11,1	-77,7	11,1	0,81	0,28
3	KÖD-S03	13,1	687	457,0	7,0	63,4	24,1	30,1	5,0	55,3	28,2	14,3	249,8	3,17	1,99	1,31	0,13	1,56	0,59	0,48	4,10	6,84	6,62	-1,63	-11,5	-77,4	14,4	0,25	0,25
4	KÖD-S04	14,8	653	429,0	8,0	61,8	21,7	29,0	8,9	23,3	68,1	17,1	232,4	3,08	1,78	1,26	0,23	0,66	1,42	0,57	3,81	6,51	6,38	-1,04	-11,1	-76,0	12,9	1,45	0,29
5	KÖD-D01	17,5	267	447,0	6,7	27,5	7,5	12,3	3,9	7,3	10,4	17,1	95,9	1,37	0,61	0,54	0,10	0,21	0,22	0,57	1,57	2,75	2,63	-2,08	-11,6	-79,0	13,6	0,35	0,27
6	KÖD-D02	16,1	478	428,0	7,3	47,2	12,2	20,7	6,0	9,7	27,0	17,1	191,7	2,36	1,01	0,90	0,15	0,27	0,56	0,57	3,14	4,56	4,44	-1,35	-11,3	-79,4	10,8	-0,03	0,26
7	KÖD-D03	16,3	647	173,0	6,5	66,4	19,2	23,8	6,0	13,7	62,4	11,4	273,0	3,31	1,58	1,04	0,15	0,39	1,30	0,38	4,48	6,61	6,11	-3,96	-11,1	-78,6	10,1	0,64	0,28
8	KÖD-D04	15,0	441	311,0	6,8	41,4	11,6	21,7	7,0	23,3	26,7	11,4	116,2	2,07	0,96	0,95	0,18	0,66	0,56	0,38	1,90	4,11	4,17	0,75	-11,6	-78,1	14,5	0,69	0,28
9	KÖD-D05	12,4	198	287,0	6,4	14,0	7,7	10,8	1,7	10,0	11,8	8,6	61,0	0,70	0,63	0,47	0,04	0,28	0,25	0,29	1,00	1,96	1,85	-2,68	-11,7	-77,6	15,8	0,28	0,27
10	KÖD-D06	21,1	289	128,0	7,2	28,1	8,9	11,9	3,4	8,5	8,1	0,0	139,4	1,40	0,73	0,52	0,09	0,24	0,17	0,00	2,29	3,00	2,75	-4,29	-11,4	-78,3	13,1	1,25	0,29
11	KÖD-D07	18,0	1434	184,0	6,7	108,9	48,9	100,1	9,2	164,1	89,9	17,1	485,1	5,43	4,02	4,36	0,24	4,63	1,87	0,57	7,95	15,18	14,15	-3,51	-10,0	-74,9	5,0	1,70	0,30
12	KÖD-D08	24,4	719	932,0	7,0	69,1	21,7	33,4	5,8	33,2	28,8	0,0	325,3	3,45	1,78	1,45	0,15	0,94	0,60	0,00	5,33	7,40	6,86	-3,79	-10,5	-75,4	8,3	1,21	0,28
13	KÖD-D09	18,3	310	467,0	7,5	28,7	9,4	15,6	4,1	9,2	11,2	17,1	110,4	1,43	0,77	0,68	0,11	0,26	0,23	0,57	1,81	3,09	3,00	-1,52	-11,5	-78,5	13,3	0,88	0,29
14	KÖD-D10	19,0	306	201,0	7,0	27,6	9,3	15,4	3,9	9,3	10,6	11,4	116,2	1,38	0,76	0,67	0,10	0,26	0,22	0,38	1,90	2,99	2,92	-1,18	-11,5	-79,1	12,5	0,25	0,28
15	KÖD-D11	17,5	206	199,0	7,7	18,2	4,6	12,5	6,2	4,8	7,0	17,1	75,5	0,91	0,38	0,54	0,16	0,13	0,15	0,57	1,24	2,09	2,01	-2,04	-11,6	-79,7	13,3	0,71	0,28
16	KÖD-D12	17,2	236	134,0	6,8	23,6	6,5	11,6	3,3	5,5	7,8	17,1	81,3	1,18	0,53	0,51	0,09	0,16	0,16	0,57	1,33	2,36	2,31	-1,09	-11,6	-79,2	13,5	0,92	0,29
17	KÖD-D13	16,9	534	154,0	7,2	43,6	16,9	29,6	5,7	29,7	40,5	11,4	165,6	2,17	1,39	1,29	0,15	0,84	0,84	0,38	2,71	5,08	5,03	-0,47	-11,4	-78,6	12,4	1,41	0,29
18	KÖD-D14	15,6	611	347,0	7,1	51,8	19,6	29,5	5,9	30,2	49,8	11,4	191,7	2,58	1,61	1,28	0,15	0,85	1,04	0,38	3,14	5,82	5,65	-1,49	-11,2	-77,4	12,0	1,43	0,30
19	KÖD-D15	15,8	439	397,0	7,1	29,8	12,4	35,6	4,3	40,3	15,6	0,0	148,1	1,49	1,02	1,55	0,11	1,14	0,33	0,00	2,43	4,09	4,20	1,34	-11,6	-78,1	14,9	1,18	0,27
20	KÖD-D16	13,6	169	288,0	6,8	12,0	6,1	10,2	1,9	5,7	6,3	14,3	46,5	0,60	0,50	0,45	0,05	0,16	0,13	0,48	0,76	1,68	1,60	-2,44	-11,7	-77,3	16,4	2,69	0,31
21	KÖD-D17	13,8	763	110,0	6,6	61,5	26,3	38,6	4,8	68,9	33,7	0,0	290,5	3,07	2,16	1,68	0,12	1,94	0,70	0,00	4,76	7,61	7,06	-3,73	-11,4	-78,5	12,7	2,64	0,31
22	KÖD-D18	16,9	330	496,0	7,8	20,1	10,1	22,8	3,5	21,5	11,3	11,4	104,6	1,00	0,83	0,99	0,09	0,61	0,24	0,38	1,71	3,08	2,93	-2,57	-11,7	-79,5	14,3	2,64	0,31
23	KÖD-D19	15,7	596	215,0	6,8	40,9	21,8	38,1	5,0	59,0	31,3	0,0	197,5	2,04	1,79	1,66	0,13	1,66	0,65	0,00	3,24	5,78	5,64	-1,24	-11,2	-77,9	11,8	2,60	0,31
24	KÖD-D20	15,7	393	387,0	6,9	35,6	11,0	19,0	5,9	19,9	22,1	11,4	104,6	1,78	0,90	0,83	0,15	0,56	0,46	0,38	1,71	3,62	3,67	0,70	-11,4	-76,9	14,0	1,97	0,30
25	KÖD-D21	15,8	660	256,0	7,5	68,4	19,7	31,9	7,9	33,2	62,0	22,9	220,8	3,41	1,62	1,39	0,20	0,94	1,29	0,76	3,62	6,62	6,65	0,24	-10,3	-74,1	8,6	1,70	0,28
26	KÖD-D22	22,2	557	362,0	7,3	48,6	18,3	26,2	4,4	54,6	28,0	0,0	191,7	2,43	1,50	1,14	0,11	1,54	0,58	0,00	3,14	5,54	5,19	-3,28	-11,5	-82,7	9,4	-0,27	0,22
27	KÖD-D23	15,0	299	194,0	7,0	22,3	7,4	13,1	3,9	12,1	13,3	11,4	75,5	1,11	0,61	0,57	0,10	0,34	0,28	0,38	1,24	2,53	2,41	-2,41	-11,6	-77,8	15,0	0,78	0,29
28	KÖD-Ky01	21,1	54	36,0	6,9	7,2	1,1	1,9	1,1	0,6	1,3	0,0	37,2	0,36	0,09	0,08	0,03	0,02	0,03	0,00	0,61	0,68	0,56	-9,90	-11,6	-75,3	17,9	-0,10	0,27
29	KÖD-Ky02	14,2	266	173,0	7,0	23,9	7,9	12,5	3,5	10,5	12,8	8,6	84,2	1,19	0,65	0,54	0,09	0,30	0,27	0,29	1,38	2,51	2,49	-0,46	-11,4	-77,5	13,7	0,08	0,28
30	KÖD-Ky03	20,5	268	174,0	6,4	9,1	6,3	20,5	2,7	19,4	8,6	0,0	81,3	0,45	0,51	0,89	0,07	0,55	0,18	0,00	1,33	2,14	1,95	-4,54	-11,9	-78,0	17,0	0,33	0,29
31	KÖD-Ky04	20,7	82	54,0	6,2	7,9	2,8	2,7	1,7	2,6	3,2	0,0	40,4	0,39	0,23	0,12	0,04	0,07	0,07	0,00	0,66	0,92	0,79	-8,12	-11,5	-73,0	18,9	0,84	0,29
32	KÖD-Ky05	21,2	107	69,0	6,7	11,7	2,5	3,4	1,4	1,4	3,8	0,0	55,4	0,59	0,21	0,15	0,03	0,04	0,08	0,00	0,91	1,08	0,98	-5,21	-11,6	-76,9	15,7	2,32	0,31
33	KÖD-Ky06	20,4	423	279,0	6,0	16,4	13,9	39,8	3,4	62,4	8,3	0,0	127,8	0,82	1,14	1,73	0,09	1,76	0,17	0,00	2,10	4,16	3,82	-4,24	-11,7	-76,7	16,5	5,56	0,38
34	KÖD-Ky07	20,6	1845	1200,0	6,2	69,6	45,0	253,5	17,8	464,1	54,9	0,0	354,4	3,47	3,70	11,03	0,46	13,09	1,14	0,00	5,81	20,15	18,88	-3,26	-10,9	-74,7	12,8	8,29	0,42
35	KÖD-Y01	22,5	3404	2216,0	6,8	98,9	73,5	444,4	27,2	909,6	67,3	0,0	450,2	4,94	6,05	19,34	0,70	25,66	1,40	0,00	7,38	34,52	31,42	-4,70	-11,0	-73,4	14,3	7,74	0,40
36	KÖD-Y02	22,4	783	509,0	7,5	69,7	35,9	28,1	5,6	22,7	88,8	0,0	360,2	3,48	2,96	1,22	0,14	0,64	1,85	0,00	5,90	8,44	7,82	-3,82	-9,9	-71,7	7,7	7,02	0,40
37	KÖD-Y03	23,2	711	462,0	7,7	47,8	25,4	47,6	6,6	57,8	57,6	0,0	270,1	2,38	2,09	2,07	0,17	1,63	1,20	0,00	4,43	7,33	6,75	-4,13	-10,5	-73,6	10,3	7,51	0,40
38	KÖD-Ky01	8	6,0	0,99	0,08	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	11,04	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,18	0,06		-11,1	-73,8	15,1	3,12	0,33
39	KÖD-Ky02	5	3,0	0,91	0,04	0,08	0,03	0,03	0,03	0,12	0,08	0,00	11,33	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19	0,05		-9,6	-62,7	13,9	3,16	0,34

## EK 2c. KÖD3 – Eylül 2009 dönemi su örneklerine ait yerinde ölçümler, majör iyonlar ile izotop analiz sonuçları

Sıra	Su örnek kodu	Sıcaklık	ÖEi	pH	ÇO	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ΣAnyon	ΣKasyon	E.N.	δ <sup>18</sup> O	δ <sup>2</sup> H	DF	Trityum	
		(°C)	(µS/cm)	-	(mg/L)	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	%	(‰SMOW)	(‰SMOW)	(‰SMOW)	(TU)
1	KÖD-S01	17,8	1335	6,4	1,1	119,8	49,5	105,5	11,0	100,6	8,0	0,0	693,6	6,0	4,07	4,59	0,28	2,84	0,17	0,00	11,37	14,46	14,93	1,60	-10,5	-77,2	6,8	*+	
2	KÖD-S02	15,8	696	6,0	1,8	75,4	26,3	39,7	7,5	26,1	76,4	0,0	278,7	3,8	2,16	1,73	0,19	0,74	1,59	0,00	4,57	7,23	7,84	4,09	-11,2	-78,5	11,1	*+	
3	KÖD-S03	13,5	665	6,2	1,3	69,4	26,0	32,5	5,8	41,6	27,4	0,0	284,9	3,5	2,14	1,41	0,15	1,17	0,57	0,00	4,67	6,55	7,17	4,50	-11,4	-78,2	13,1	*+	
4	KÖD-S04	14,4	528	6,4	1,2	57,7	20,0	28,7	9,0	18,0	38,1	0,0	247,7	2,9	1,64	1,25	0,23	0,51	0,79	0,00	4,06	5,46	6,01	4,74	-11,3	-77,2	13,0	*+	
5	KÖD-D01	16,6	263	6,6	3,5	32,1	8,5	15,4	4,6	6,5	11,3	0,0	136,2	1,6	0,70	0,67	0,12	0,18	0,23	0,00	2,23	2,84	3,09	4,29	-11,2	-78,3	11,1	*+	
6	KÖD-D02	14,4	440	6,6	2,0	53,7	14,9	27,3	8,7	11,0	6,9	0,0	272,5	2,7	1,23	1,19	0,22	0,31	0,14	0,00	4,47	4,94	5,32	3,71	-11,2	-79,6	10,0	*+	
7	KÖD-D03	14,3	675	6,0	1,8	89,3	20,3	31,9	8,1	11,2	67,0	0,0	322,0	4,5	1,67	1,39	0,21	0,32	1,40	0,00	5,28	7,09	7,72	4,26	-11,2	-78,5	11,3	*+	
8	KÖD-D04	*				39,0	12,7	24,8	6,6	16,7	26,6	0,0	142,4	1,9	1,05	1,08	0,17	0,47	0,55	0,00	2,34	3,86	4,24	4,74	-11,3	-77,8	12,8	*+	
9	KÖD-D05	13,1	259	6,8	3,9	17,8	8,9	13,2	2,0	7,9	13,0	0,0	86,7	0,9	0,73	0,57	0,05	0,22	0,27	0,00	1,42	2,06	2,24	4,35	-11,5	-78,4	13,3	*+	
10	KÖD-D06	13,6	305	7,4	6,0	31,6	10,8	16,7	4,7	8,5	8,4	0,0	142,4	1,6	0,89	0,73	0,12	0,24	0,18	0,00	2,34	3,05	3,31	4,11	-10,5	-75,7	8,2	*+	
11	KÖD-D07	17,6	1224	6,3	1,9	99,9	47,4	103,6	11,1	95,6	78,1	0,0	501,6	5,0	3,90	4,51	0,28	2,70	1,63	0,00	8,22	12,61	13,68	4,09	-10,5	-76,4	7,4	*+	
12	KÖD-D08	18,1	744	7,4	8,2	74,2	26,0	42,9	6,3	26,0	31,0	0,0	331,3	3,7	2,14	1,87	0,16	0,73	0,64	0,00	5,43	7,33	7,87	3,60	-10,2	-75,5	5,8	*+	
13	KÖD-D09	15,9	255	7,5	1,3	23,4	9,5	17,4	4,6	7,0	11,9	18,3	111,5	1,2	0,78	0,76	0,12	0,20	0,25	0,61	1,83	2,90	2,82	-1,30	-11,3	-77,5	13,0	*+	
14	KÖD-D10	16,4	300	6,6	3,4	33,2	10,3	18,7	4,8	8,1	12,0	0,0	154,8	1,7	0,85	0,81	0,12	0,23	0,25	0,00	2,54	3,26	3,45	2,75	-11,5	-78,3	13,8	*+	
15	KÖD-D11	16,2	156	7,7	1,3	15,6	4,4	15,7	6,9	5,0	5,8	24,4	49,5	0,8	0,36	0,68	0,18	0,14	0,12	0,81	0,81	1,90	2,00	2,53	-11,7	-80,2	13,4	*+	
16	KÖD-D12	**																											
17	KÖD-D13	15,1	479	7,0	1,4	43,1	18,5	33,9	6,7	21,5	40,7	0,0	207,5	2,2	1,52	1,47	0,17	0,61	0,85	0,00	3,40	4,88	5,32	4,32	-11,4	-77,9	12,9	*+	
18	KÖD-D14	15,7	572	6,7	2,1	56,4	22,2	36,8	7,2	23,1	54,7	0,0	238,3	2,8	1,83	1,60	0,18	0,65	1,14	0,00	3,91	5,85	6,42	4,67	-11,2	-77,7	11,6	*+	
19	KÖD-D15	15,2	424	6,1	3,9	30,1	14,0	41,7	5,7	30,0	16,4	0,0	181,8	1,5	1,15	1,81	0,15	0,85	0,34	0,00	2,98	4,32	4,62	3,33	-11,3	-76,7	13,3	*+	
20	KÖD-D16	*				7,6	5,0	8,4	1,6	2,1	4,7	0,0	61,9	0,4	0,41	0,37	0,04	0,06	0,10	0,00	1,02	1,25	1,20	-2,14	-11,6	-77,9	14,8	*+	
21	KÖD-D17	14,0	874	5,8	1,5	74,3	29,9	42,5	6,3	56,9	37,1	0,0	322,0	3,7	2,46	1,85	0,16	1,61	0,77	0,00	5,28	7,84	8,18	2,14	-11,4	-78,8	12,6	*+	
22	KÖD-D18	14,8	296	6,2	1,2	24,0	10,5	25,0	4,2	17,5	12,9	0,0	142,4	1,2	0,86	1,09	0,11	0,49	0,27	0,00	2,34	3,14	3,26	1,98	-11,3	-77,4	12,7	*+	
23	KÖD-D19	15,1	562	5,6	1,8	40,4	19,5	34,8	4,7	34,8	25,0	0,0	198,2	2,0	1,60	1,51	0,12	0,98	0,52	0,00	3,25	4,92	5,25	3,25	-11,3	-78,1	12,2	*+	
24	KÖD-D20	13,7	396	6,3	3,5	34,7	12,4	22,3	6,9	16,1	24,1	0,0	136,2	1,7	1,02	0,97	0,18	0,45	0,50	0,00	2,23	3,67	3,90	3,06	-11,2	-78,5	11,3	*+	
25	KÖD-D21	*				46,7	18,9	31,4	7,7	19,9	54,5	0,0	226,0	2,3	1,55	1,37	0,20	0,56	1,13	0,00	3,71	5,42	5,45	0,32	-10,6	-75,7	9,3	*+	
26	KÖD-D22	18,8	515	7,7	5,4	44,5	14,7	32,8	5,3	34,2	23,5	0,0	216,3	2,2	1,21	1,43	0,14	0,97	0,49	0,00	3,55	5,14	4,99	-1,41	-11,4	-81,0	10,2	*+	
27	KÖD-D23	*				27,1	8,6	15,5	4,4	8,6	14,1	0,0	111,5	1,4	0,71	0,67	0,11	0,24	0,29	0,00	1,83	2,64	2,85	3,84	-11,4	-76,9	14,2	*+	
28	KÖD-Ky01	**																											
29	KÖD-Ky02	*				28,7	9,0	15,4	4,1	10,5	17,4	0,0	114,6	1,43	0,74	0,67	0,10	0,30	0,36	0,00	1,88	2,85	2,95	1,74	-11,2	-77,1	12,6	*+	
30	KÖD-Ky03	18,2	215	6,6	8,3	8,1	6,0	26,8	2,7	15,6	9,4	0,0	83,5	0,40	0,50	1,17	0,07	0,44	0,19	0,00	1,37	2,09	2,14	1,08	-11,7	-77,1	16,7	*+	
31	KÖD-Ky04	**																											
32	KÖD-Ky05	**																											
33	KÖD-Ky06	18,5	446	6,5	8,2	20,8	14,7	54,6	4,7	52,8	8,8	0,0	169,7	1,04	1,21	2,38	0,12	1,49	0,18	0,00	2,78	4,60	4,76	1,68	-11,4	-76,5	14,4	*+	
34	KÖD-Ky07	19,1	2071	6,4	6,7	88,6	52,9	268,8	18,6	398,7	59,7	0,0	426,3	4,42	4,35	11,70	0,48	11,25	1,24	0,00	6,99	19,66	20,99	3,26	-10,9	-74,4	12,8	*+	
35	KÖD-Y01	15,2	3783	6,8	4,3	112,1	76,1	594,4	30,6	888,2	57,9	0,0	606,5	5,59	6,26	25,87	0,78	25,05	1,21	0,00	9,94	36,36	38,57	2,95	-11,0	-76,9	11,2	*+	
36	KÖD-Y02	18,6	863	8,0	7,9	91,8	35,2	35,2	9,7	22,1	84,0	0,0	377,8	4,58	2,89	1,53	0,25	0,62	1,75	0,00	6,19	8,64	9,25	3,45	-10,3	-71,7	10,5	*+	
37	KÖD-Y03	18,7	753	7,8	7,4	57,3	20,4	44,8	22,1	31,2	28,7	0,0	322,0	2,86	1,68	1,95	0,57	0,88	0,60	0,00	5,28	7,17	7,06	-0,80	-9,6	-69,0	7,8	*+	

Not: \* - ölçüm alınmadı, \*\* - örnek alınmadı, \*+ - analiz yapılmadı

### **EK 3 - Tezden Türetilmiş Yayınlar**

Degirmenci, M., Yazıcı, M., Tezcan, L., Ekmekci, M., Sozudogru, O., Namkhai, O., Atmaca, E., Hydrogeological Properties of the Drinking Water Aquifers In Kayseri City: International Refereed Journal of Engineering and Sciences, 4 (2015) 48-65.

#### **EK 4 - Tezden Türetilmiş Bildiriler**

- Degirmenci, M., Tezcan, L., Ekmekci, M., Atmaca, E., Altin, A., Namkhai, O., Yazici, M., Batukan, E., Planning Of Water Supply Infrastructure On The Basis Of Sustainable Water Resources Management İn Kayseri Metropolitan City, Central Turkey: A Plan For The Year 2050, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 03-08 April 2011, Geophysical Research Abstracts Vol. 13, Vienna, **2011**, p.1.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Degirmenci, M., Yeraltısuyu Seviyelerinin Geleceğe Dönük Öngörü Tahminlerinin Zaman Serisi Analizleriyle İncelenmesi, HİDRO'2018: Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu, Ankara, 27-29 Eylül 2018, HÜ-UKAM, Tam Metin Bildiri Kitabı, Ankara, **2018b**, s.8.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Tezcan, L., Yeraltısularındaki Toplam Çözünmüş Madde Miktarının Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi ile Kestirilmesi, 71.ci Uluslararası katılımlı Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 3-27 Nisan 2018, Bildiri Özeti Kitabı: Jeoloji ve Sağlık, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, **2018a**, s.2.
- Namkhai, O., Kayseri Kenti İçme Suyu Havzası Akifer Sisteminin Hidrojeokimyasal ve Çevresel İzotop Özellikleri, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 2-4 Nisan 2012, Bildiri Özeti Kitabı: Yarının Şehirleri için Jeoloji Mühendisliği, **2012**, s.262-263.
- Namkhai, O., Ekmekci, M., Değirmenci, M., Tezcan, L., 2011, Occurence of PAH Contamination in a Volcanic Rock Aquifer in Relation to Paleoenvironmental Development, European Geosciences Union General Assembly, Vienna, 03-08 April 2011, Geophysical Research Abstracts Vol. 13, Vienna, **2011**, p.1.