

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DIYADIN (AĞRI) GÜNEYİNİN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ
VE JEOTERMAL POTANSİYELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Armin ASGHARNIAY HASAN KIYADEH
DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DIYADIN (AĞRI) GÜNEYİNİN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ
VE JEOTERMAL POTANSİYELİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Armin ASGHARNIAY HASAN KIYADEH

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr.Öğr. Üyesi Onur KÖSE danışmanlığında, Armin ASGHARNIAY HASAN KIYADEH tarafından sunulan "Diyadin (Ağrı) Güneyinin Tektonik Özellikleri ve Jeotermal Potansiyeli" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 08/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Harun AYDIN

İmza: 

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Onur KÖSE

İmza: 

Üye: Dr.Öğr. Üyesi Mustafa AÇLAN

İmza: 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11/10/2019 tarih ve 2019/55-I sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza: 
Enstitü Müdürü


TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



(İmza)

Armin ASGHARNIAY HASAN KIYADEH

ÖZET

DIYADIN (AĞRI) GÜNEYİNİN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ VE JEOTERMAL POTANSİYELİ

ASGHARNIAY HASAN KIYADEH, Armin
Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE
Ekim 2019, 95 sayfa

Diyadin jeotermal sistemi, Doğu Anadolu'nun önemli jeotermal alanlarından birisidir. Bu jeotermal sistemde, biri Diyardin (Ağrı) ilçe merkezinin 6 km kadar güneybatısında (Diyadin jeotermal sahası) ve diğeri de 10 km kadar daha güneybatıda (Mollakara jeotermal sahası) olan iki alt-saha bulunmaktadır.

Yörede günümüze kadar yapılmış mevcut jeolojik inceleme ve araştırmalarda, Diyardin jeotermal sisteminin gelişimi çoğunlukla Tendürek volkanizmasıyla ilişkilendirilmiştir. Buna karşın, Diyardin jeotermal sahası ve sıcak su kaynakları, Diyardin'den Tendürek volkanına (güney doğuya) uzanan bir hat üzerinde değil, ağırlıklı olarak Diyardin'den güneybatıya uzanan bir tektonik hat üzerinde bulunmaktadır. Diğer taraftan, Türkiye'nin mevcut aktif tektonik hatlarını gösteren haritalar üzerinde Diyardin jeotermal sahasına karşılık gelebilecek herhangi bir kırık hattı yer almamakta; önceki çalışmaların neredeyse tamamında Diyardin yöresi için ayrıntılı bir tektonik inceleme ve değerlendirme çalışması bulunmamaktadır. Bu tez kapsamında yapılan saha çalışmaları ve tektonik değerlendirmeler, Diyardin çevresindeki potansiyel jeotermal sahaların Tendürek volkanizmasından bağımsız, kendi iç dinamiklerine sahip sistemler olduğuna yönelik veri ve kanıtlar sunmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, sadece bilinen mevcut jeotermal sahada değil, Diyardin ilçe merkezinin güney bölgesini kapsayan tüm alanda, ayrıntılı bir tektonik haritalama çalışması ve jeotermal kaynakların tektonik unsurlarla ilişkilendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece, Diyardin jeotermal sisteminin, tektonik değerlendirmelerini içeren kavramsal modelinin geliştirilmesine olanak sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Diyardin, Jeotermal sistem, Kavramsal model, Kimyasal analiz, Tektonik, Volkanizma.



ABSTRACT

TECTONIC PROPERTIES AND GEOTHERMAL POTENTIAL OF SOUTHERN DIYADIN (AGRI)

ASGHARNIAY HASAN KIYADEH, Armin
M. Sc. Thesis Geological Engineering
Supervisor : Asst. Prof. Dr. Onur KÖSE
October 2019, 95 pages

Diyadin geothermal system is one of the important geothermal areas of Eastern Anatolia. In this geothermal system, there are two geothermal sub-sites, one 6 km southwest of Diyadin (Ağri) district centre (Diyadin geothermal field) and the other 10 km further southwest (Mollakara geothermal field).

In the investigations and researches carried out until today, the development of Diyadin geothermal system has been mostly associated with Tendürek volcanism. However, the Diyadin geothermal field and hot springs are not on a tectonic line extending from Diyadin to Tendürek volcano (southeast) but mainly on a tectonic line extending from Diyadin to southwest. In addition, on the current maps showing active tectonic structures of Turkey, there is not any fault that may corresponds to Diyadin geothermal field: in almost all previous studies, there is a lack of detailed tectonic investigations and evaluations for the Diyadin region. Field studies and tectonic evaluations within the scope of this thesis provide data and evidences that potential geothermal fields around Diyadin are independent from Tendürek volcanism and have their own internal dynamics.

Within the scope of this thesis, a detailed tectonic mapping study and the relations of geothermal resources with tectonic structures have been carried out not only in the known geothermal field but also in the whole area covering the southern region of Diyadin district centre. Thus, a structural data base including also tectonic assessments has been established for the development of an accurate conceptual model of the Diyadin geothermal system.

Keywords: Diyadin, Geothermal system, Conceptual model, Chemical analysis, Tectonic, Volcanism.



ÖN SÖZ

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış olup, Diyardin (Ağrı) yöresinin güneyine yönelik tektonik ve jeotermal potansiyel ile ilgili incelemeleri kapsamaktadır.

Tez çalışma konusunu belirleyen, tez ile ilgili yaptığım çalışmaların her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarımın kolaylığı açısından her türlü maddi ve manevi imkanı sağlayarak uygun ortam koşullarında tezimin tamamlanmasını sağlayan, sadece tez çalışmalarım sırasında değil, aynı zamanda geçmişten bugüne dokuz yıllık bir zaman sürecinde; bilgi, birikim ve deneyimleriyle yaşam yolunda beni her konuda aydınlatan, değerli hocam ve danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE'ye sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim. Yüksek lisans eğitim-öğretim ders dönemlerinde kendilerinden ders ve eğitim aldığım diğer hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AÇLAN, Sayın Doç. Dr. Harun AYDIN ve Sayın Doç. Dr. Yavuz ÖZDEMİR hocalarıma ve arazi çalışmalarım sırasında kendilerinden temin ettiğim materyal için Sayın Doç. Dr. Serkan ÜNER hocama teşekkürlerimi sunarım.

Diyardin yöresine yönelik jeotermal su örnekleme çalışmaları kapsamında, tezimin saha incelemelerinin gerçekleştirilmesine maddi olanak sağlamış olan Aytemiz Elektrik Üretim A.Ş.'ne teşekkür ederim. Diyardin yöresinde gerçekleştirdiğimiz arazi çalışmaları sırasında her türlü ilgisini, desteğini ve yardımını esirgemeyen, Diyardin Tarıma Dayalı İhtisas Organize Sanayi Bölgesi Bölge Müdürü ve Jeofizik Mühendisi Sayın Tekin ADIGÜZEL'e; yüksek lisans öğrenimim süresince ve arazi çalışmalarımda bana yol arkadaşı olan, ilgi ve desteğini eksik etmeyip her türlü konuda yardımcı olan Jeoloji Mühendisi arkadaşım Sara KARDAŞ'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanması aşamasında, çalışmaların yapıldığı dönemde Diyardin yakın çevresinde 2 adet jeotermal kaynak arama ruhsatı bulunan ve bu çerçevede saha çalışmalarımız ile hidrojeokimyasal analizlere ilişkin finansal desteği sağlayan ve ilgili verilerden faydalanılmasına izin veren Aytemiz Elektrik Üretim A.Ş.'ne teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasında, Yürütücülüğü Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE ve Dr. Jean-Luc FROGER eş-yürütücüleri tarafından yapılan "Surveillance interférométrique de

"l'activit  volcanique et tectonique en Anatolie Orientale" başlıklı ve AOTR_2446 no'lu ESA (Avrupa Uzay Ajansı) destekli bir uluslararası Avrupa Birliği projesi kapsamında temin edilmiş olan ERS uyduları SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) görüntülerinden daha önceki çalışmalarda deformasyon ölçümü amacıyla oluşturulmuş Farksal SAR İnterferogramlarından yararlanılmıştır.

Ayrıca, çalışmadaki ayrıntılı tektonik analizler için, Yürütücülüğü Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE tarafından yapılan "Revealing the blanketed neotectonic pattern at East Anatolian Volcanic Province, Turkey, with high resolution TanDEM-X DEM data" başlıklı ve DEM_GEOL1997 no'lu DLR (Alman Havacılık ve Uzay Araştırmaları Merkezi) destekli ve devam etmekte olan bir uluslararası Avrupa Birliği projesinin yükseklik modeli verilerinden yararlanılmıştır.

Yaşamımın her anında olduğu gibi tez çalışmaları sırasında da her türlü ilgiyi, desteği ve yardımı esirgemeyen, gerek maddi gerekse manevi anlamda her daim yanımda olan değerli anneme ve ablama sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

2019

Armin ASGHARNIAY HASAN KIYADEH

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı, Kapsamı ve Önemi	1
1.2. İnceleme Alanının Fiziki ve Coğrafi Özellikleri	2
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Literatür Çalışmaları.....	19
3.2. Arazi Çalışmaları.....	19
3.3. Büro Çalışmaları.....	19
3.4. Metodolojik Yaklaşım	20
3.4.1. Kriging yöntemiyle topografik haritaların sayısallaştırılması	20
4. BULGULAR	27
4.1. İnceleme Sahası ve Çevresinin Genel Jeolojik, Jeotermal ve Hidrojeokimyasal Değerlendirmeleri	27
4.2. İnceleme Alanının Stratigrafik Jeoloji Özellikleri.....	39
4.2.1. Paleozoyik	43
4.2.2. Mesozoyik	44
4.2.3. Senozoyik	44
4.3. Jeotermal Arazi Gözlem Verileri.....	54
4.4. İnceleme Alanının Tektonik Özellikleri	58
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	81
KAYNAKLAR.....	89
ÖZ GEÇMİŞ.....	95



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. İnceleme alanında 2018 yılında gözlenen köy yerleşim merkezlerine ait nüfus verileri	5
Çizelge 1.2. Ağrı ilinde 2019 yılında gözlenen meteorolojik parametrelere ait veriler	7
Çizelge 4.1. Diyardin (Ağrı) jeotermal sahasındaki su noktalarında yerinde yapılan ölçüm sonuçları.....	35
Çizelge 4.2. Jeotermal incelemeleri yapılan lokasyonlara ait gözlem verileri.....	54



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. İnceleme alanının uydu tabanlı Google Earth haritası üzerinde konumu	3
Şekil 1.2. İnceleme alanının yapay ışıklandırılmalı fiziki ve coğrafi kabartma haritası.....	4
Şekil 1.3. İnceleme alanının karayolu ulaşım hatlarıyla konumsal ilişkisi.....	7
Şekil 1.4. Ağrı ili uzun yıllar (1940-2018) aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarı grafiği.....	8
Şekil 3.1. Dağınık yükseklik değerlerinden oluşan veri haritasından Kriging yöntemiyle gridlemenin yapılarak üretildiği kontur haritasının görünümü.....	21
Şekil 3.2. İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli topografik haritalarının Surfer 9 programına aktarılması	22
Şekil 3.3. Topografik haritadaki eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z değerlerine göre istatistikselleştirilmiş veri görünümü	23
Şekil 3.4. Topografik haritadaki eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z değerlerine göre istatistikselleştirilmiş verilerin topografik harita üzerinde görünümü.....	23
Şekil 3.5. Topografik haritadaki dağınık eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z değerlerine göre düzenli aralıklarla hesaplatılarak üretilen grid verisinin görünümü	24
Şekil 3.6. Grid verisinin yapay ışıklandırılmalı görünümü.....	24
Şekil 3.7. Grid verisinin yapay ışıklandırılmalı kabartılmış görünümü.....	25
Şekil 3.8. İnceleme alanının üç boyutlu yüzey modeli	25
Şekil 4.1. İnceleme alanının 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Van paftası üzerinde yer alan jeolojik birimlerle konumsal ilişkisi.....	28
Şekil 4.2. İnceleme alanının Türkiye'nin ana neotektonik yapılarıyla konumsal ilişkisi.....	29
Şekil 4.3. İnceleme alanının Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinde görünümü.....	31

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonları ile paralellik gösteren doğrultu atımlı fayların inceleme alanı ve yakın çevresiyle konumsal ilişkisi.....	31
Şekil 4.5. İnceleme alanının Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanlarla ve tektonik yapılarla konumsal ilişkisi	32
Şekil 4.6. İnceleme alanını kapsayan alandan toplanan su noktalarının grid verisinin yapay ışıklandırılmış kabartılmış haritası üzerinde görünümü.....	33
Şekil 4.7. Diyadin sahasındaki kaynak ve sondaj suları için Cl-HCO ₃ -SO ₄ üçgen diyagramı.....	36
Şekil 4.8. Diyadin sahasındaki kaynak ve sondaj suları için Langelier-Ludwig diyagramı	36
Şekil 4.9. Diyadin alanındaki su kaynakları için oluşturulan Cl-Entalpi diyagramı	37
Şekil 4.10. Diyadin suları için ölçülen sıcaklıklarda hesaplanan mineral doygunluk indeksleri	38
Şekil 4.11. İnceleme alanındaki kaynak suları için hazırlanan ³ H-Cl grafiği.....	39
Şekil 4.12. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlere ilişkin genelleştirilmiş stratigrafik kesit	41
Şekil 4.13. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerin ayrıntılı jeoloji haritası	42
Şekil 4.14. İnceleme sahasının batı kesiminde yayılım gösteren gözlenen Paleozoyik temel ve mermerlerin görünümü.....	43
Şekil 4.15. İnceleme sahasının batı kesiminde geniş yayılım gösteren genç volkanik istifin çevre kayaç gruplarıyla konumsal ilişkisi ve yaş bilgileri.....	45
Şekil 4.16. Taşkesen köyü kuzey girişinde gözlenen tüflerin görünümü	46
Şekil 4.17. Kuşburnu köyünde volkanik küller ile tüflerin örtü şeklindeki görünümleri.....	47
Şekil 4.18. Davut köyünde karasal çökel ara katkılı cüruf yığışımı	47
Şekil 4.19. Mollakara köyünün güneybatısındaki jeotermal alanda çevre kayaçlar üzerinde gözlenen traverten birimlerinin görünümü.....	48

Şekil	Sayfa
Şekil 4.20. Davut volkanına doğu yönünden bakış	48
Şekil 4.21. Davut volkanına ait piroklastik ürünlerin görünümü	49
Şekil 4.22. Taşkesen köyünün batı kesiminde Davut volkanının cüruf yığılması.....	50
Şekil 4.23. Hacıhalit köyünün güneybatısında yer yer bloksal boyutlarda gözlenen yamaç döküntülerinin görünümü	51
Şekil 4.24. Ulukent köyünün doğusunda gözlenen aglomera ile tüflerin görünüşleri.....	51
Şekil 4.25. Taşbasamak köyünün doğusunda gözlenen sırt tipi travertenin görünümü.....	52
Şekil 4.26. Tazekent köyünün doğusunda gözlenen sırt tipi travertenin görünümü.....	53
Şekil 4.27. Sahada incelemeleri yapılan jeotermal lokasyonların, sayısal yükseklik modelinin yapay ışıklandırılmış kabartılmış haritası üzerinde görünüşleri.....	55
Şekil 4.28. Mollakara köyünde gözlenen jeotermal kaynakların görünüşleri.....	55
Şekil 4.29. Mollakara köyünde gözlenen jeotermal kuyuların ve jeotermal havuzun görünüşleri	56
Şekil 4.30. Burgulu köyünde gözlenen mineralli kaynak çıkışlarının görünüşleri.....	57
Şekil 4.31. Kuşburnu köyünde gözlenen jeotermal kaynağın görünüşü	57
Şekil 4.32. Boyalan köyünde gözlenen mineralli kaynak çıkışı ile Jeomar sondaj alanının görünüşleri.....	58
Şekil 4.33. Tendürek volkanı çevresinde bilinen jeotermal doğal etkinlik sahaları.....	60
Şekil 4.34. Doğu Anadolu'nun Neotektonik yapıları ve inceleme alanının konumu	62
Şekil 4.35. ERS Radar uydularından üretilen SAR görüntüsü üzerinden yapılan tektonik haritasında inceleme alanının görünüşü.....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.36. Murat Nehri vadisinin batı kesiminde Paleozoyik temel, Neojen sedimanter istif ve genç volkanik istifin konumsal ilişkileri ve dokanıkları	65
Şekil 4.37. ERS 20800 ve 41708 yörünge no geçişli iki SAR görüntü çiftinden hesaplanan yüksek röliyef kabartma etkili farksal interferogram.....	70
Şekil 4.38. Farksal SAR İnterferogramlarından analiz edilmiş tektonik çözümleme haritası	71
Şekil 4.39. İnceleme alanının ayrıntılı tektonik çözümlemesi.....	73
Şekil 4.40. İnceleme alanının ayrıntılı tektonik çözümlemesinin sıcak ve mineralli su lokasyonlarıyla karşılaştırılması	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

g	Yerçekimi ivmesi
°C	Santigrat derece
km	Kilometre
km²	Kilometrekare
l	Litre
m	Metre
mg	Miligram
mm	Milimetre
s	Saniye
%	Yüzde

Kısaltmalar

Açıklama

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
bknz.	Bakınız
DEM	Digital Elevation Model Sayısal Yükseklik Modeli
DLR	Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt Alman Havacılık ve Uzay Araştırmaları Merkezi
ESA	European Space Agency Avrupa Uzay Ajansı
HGK	Harita Genel Komutanlığı
ing.	İngilizcesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama
my	Milyon yıl

Kısaltmalar**Açıklama****SAR**

Sentetik Açıklıklı Radar

SI

Saturation Index

Doygunluk İndeksi

TDS

Total Dissolved Solids

Toplam Çözünmüş Katı Madde

UDAP

Ulusal Deprem Araştırma Programı

WGS84

World Geodetic System 1984

Dünya Jeodezik Sistem 1984



1. GİRİŞ

Bu çalışma, Ağrı il merkezinin 60 km güneydoğusunda ve Tendürek volkanik merkezinin yaklaşık 30 km kuzeybatısında bulunan Diyadin yöresinin Türkiye Topografik pafta İndeksinde 1/25.000 ölçekli J51a1 ve J51a2 pafta sınırlarına karşılık gelen alanlarına yönelik tektonik ve jeotermal açıdan incelemeleri kapsamaktadır.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı, Kapsamı ve Önemi

Jeotermal sistemler, yerkabuğunda biriken ısı anomalilerinin oluşturduğu enerjiye bağlı olarak gelişirken, bazıları yüzeyde etkinlik göstermekte, bazıları ise üzerindeki örtü litolojilerin özelliklerine bağlı olarak yer altında hapis kalabilmektedir. Jeotermal sistemler ağırlıklı olarak magmatik ve/veya tektonik aktivitelere bağlı olarak gelişirler. Sistemin kaplıca veya ılıca kaynağı olarak kendiliğinden yüzeyde etkinlik göstermesi, yeraltında ısınmış veya ısıtılmış sıcak ve mineralli suların genellikle fay ve çatlak süreksizlikleri boyunca kırık sistemleri aracılığıyla yeryüzüne yükselmesiyle gerçekleşir. Doğal yollarla yüzeyde etkinlik göstermeyip yeraltında hapis kalmış jeotermal sistemler ise genellikle, sahada yürütülmüş jeolojik ve jeofizik inceleme ve çalışmaların bir sonucu olarak ortaya çıkarılır.

Diyadin jeotermal sistemi, Doğu Anadolu'nun önemli jeotermal alanlarından birisidir. Bu jeotermal sistemde, biri Diyadin (Ağrı) ilçe merkezinin 6 km kadar güneybatısında (Diyadin jeotermal sahası) ve diğeri de 10 km kadar daha güneybatıda (Mollakara jeotermal sahası) olan iki alt-saha bulunmaktadır. Yaygın doğal çıkışlarla etkinlik gösteren Diyadin jeotermal kaynaklarının tarih boyunca çeşitli medeniyetlerce kullanıldığı bilinmektedir. Diyadin'de bilinen jeotermal saha içerisinde 1990'lı yılların sonuna doğru derinliği 300 m'ye ulaşmayan bir dizi sondaj çalışmasıyla, bir taraftan jeotermal kaynakların yöredeki kullanımı daha geniş bir kitleye hizmet sunar hale getirilmiş, bir yandan da Diyadin ilçe merkezinin kentsel ısıtmasına olanak yaratılmıştır.

Yörede yapılmış mevcut jeolojik inceleme ve araştırmalarda, genellikle sıcak su kaynaklarının kırık hatlarına bağlı olarak çıktığı öngörülen Diyadin jeotermal sisteminin gelişimi, çoğunlukla Tendürek volkanizmasıyla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca bu

ilişkilendirmeye söz konusu edilen Diyadin jeotermal sahası ve sıcak su kaynakları, Diyadin'den Tendürek volkanına (güney doğuya) uzanan bir hat üzerinde değil, tam tersine ağırlıklı olarak Diyadin'den güneybatıya uzanan bir hat üzerinde bulunmaktadır. Buna karşın, bu çalışmaların neredeyse tamamında ayrıntılı bir tektonik inceleme ve değerlendirme çalışması bulunmamaktadır. Diğer taraftan, Türkiye'nin mevcut aktif tektonik hatlarını gösteren haritalar üzerinde, jeotermal kaynak ve kuyuların bulunduğu Diyadin jeotermal sahasına karşılık gelebilecek herhangi bir kırık hattı da yer almamaktadır.

Bugüne kadar yapılmış çalışmalarda, Diyadin jeotermal sisteminin Tendürek volkanizmasıyla olan ilişkisi ve tektonik hatlara yönelik bağlantıları üzerine doyurucu veri, bilgi ve kanıtlar sunulmamıştır. Diyadin ilçe merkezinin 6 km kadar güneybatısında yer alan Diyadin jeotermal sahası ve yakın çevresinde ayrıntılı tektonik çalışmaların eksikliği nedeniyle, mevcut sistemin potansiyeli ve potansiyel sahanın yayılım alanı tam anlamıyla ortaya konulmamıştır.

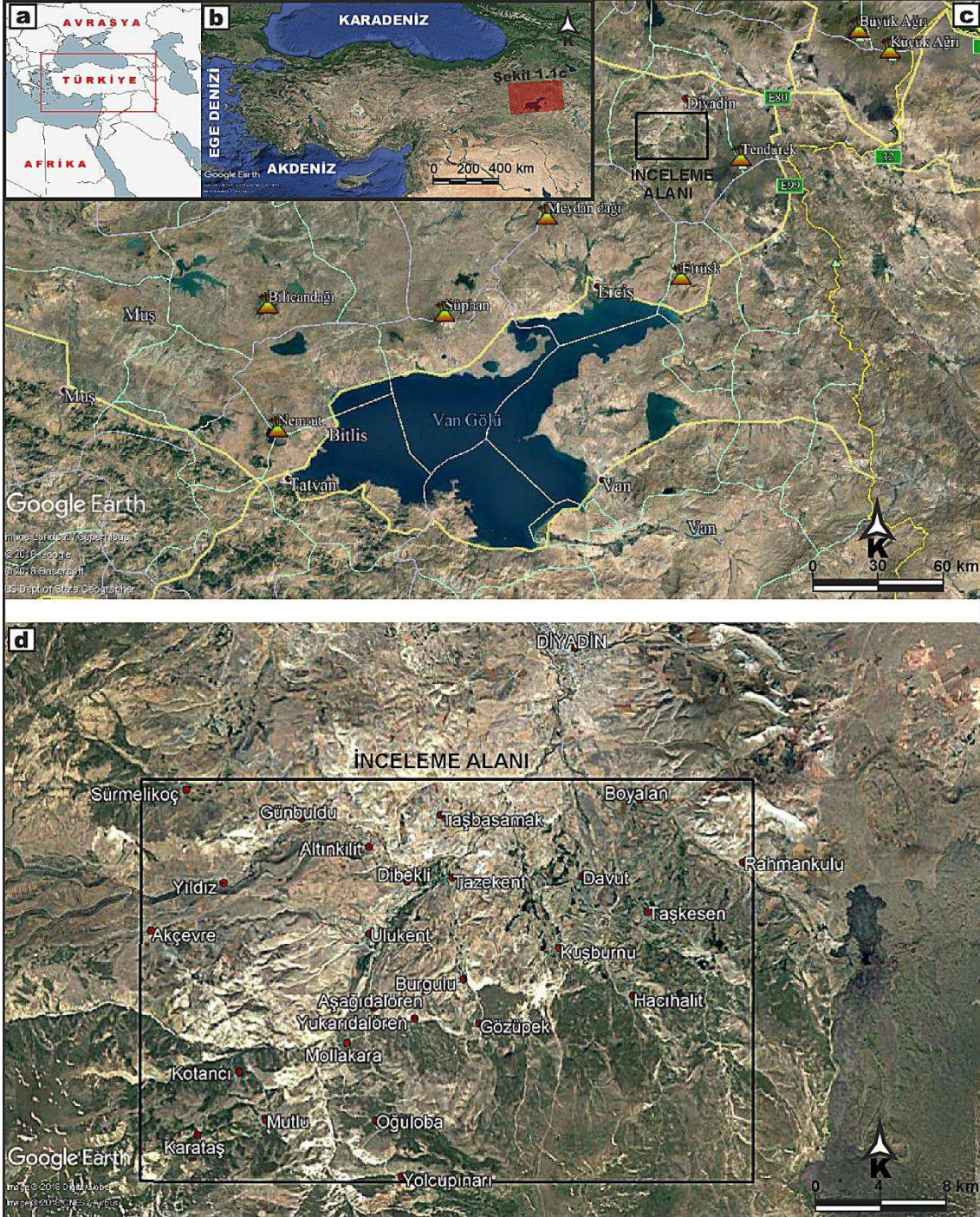
Bu tez çalışması kapsamında, sadece bilinen mevcut jeotermal sahanın değil, Diyadin ilçe merkezinin yakın güney bölgesini de kapsayan tüm alanda ayrıntılı bir tektonik haritalamanın yapılması, mevcut su kaynaklarının tektonik yapılarla ilişkisinin ortaya çıkarılması ve tektonik yapılara ilişkin hatlar boyunca örtü altında kalmış olası yeni jeotermal potansiyel sahaların varlığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Böyle bir çalışma, enerji üretme olasılığının belirlenmesi ile Diyadin ilçe merkezindeki mevcut jeotermal kentsel ısıtmacılığın çevredeki yakın ilçelere ve Ağrı il merkezine ulaştırılmasına ilişkin potansiyelin artırılması bakımından önem arz etmektedir. Çalışma ile ayrıca, Diyadin ilçesinin yakın güneyindeki sahalarla ilişkin literatürde tektonik çalışmalara ilişkin açıkça görülen eksikliğin giderilmesine ve Diyadin çevresindeki mevcut doğa ve yer bilimleri çalışmalarına, jeotermal enerji üretimine yönelik bölgedeki diğer çalışmalara, ayrıca bölgenin ekonomik gelişimine ivme kazandırılmasına önemli bir katkının sağlanabileceği düşünülmüştür.

1.2. İnceleme Alanının Fiziki ve Coğrafi Özellikleri

İnceleme alanı, Ağrı il merkezinin 60 km güneydoğusunda ve Tendürek volkanik merkezinin yaklaşık 30 km kuzeybatısında bulunan Diyadin yöresinin yakın

güneyinde ve Türkiye Topografik pafta İndeksinde 1/25.000 ölçekli olarak tanımlanan J51a1 ve J51a2 pafta sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1).

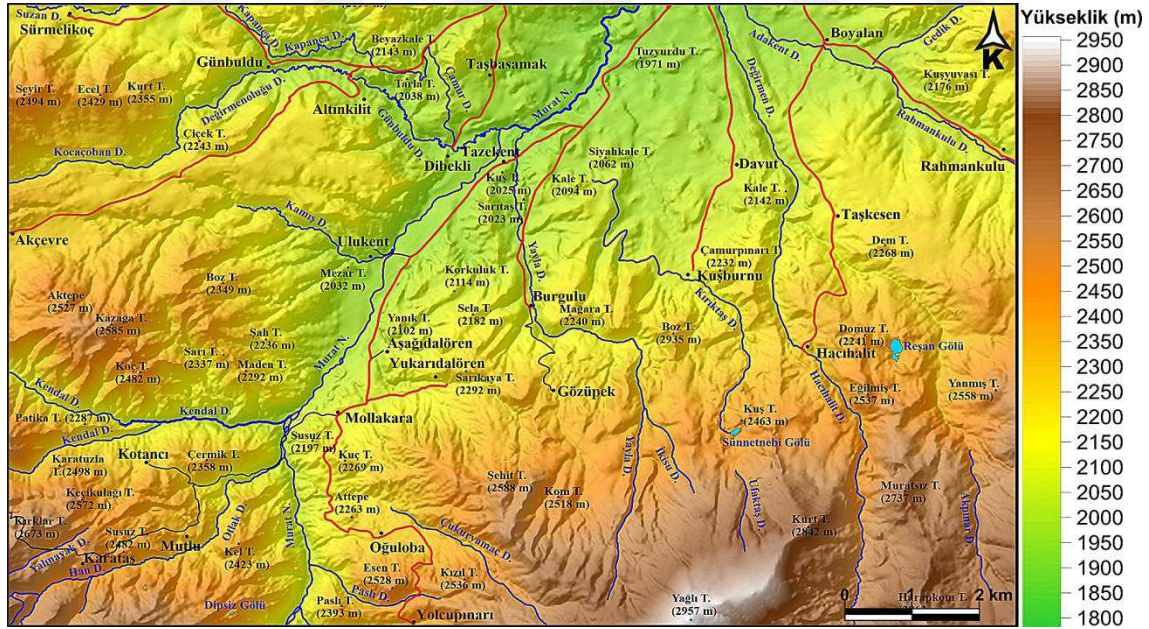


Şekil 1.1. İnceleme alanının uydu tabanlı Google Earth haritası üzerinde konumu a. inceleme alanının dünya üzerinde bulunduğu konum, b. inceleme alanının Türkiye üzerinde bulunduğu bölgesel konum, c. inceleme alanının yakın çevresindeki yerleşkelerle konumsal ilişkisi, d. inceleme alanının sınırları (siyah çerçeve ile gösterilmiştir) ve içerisinde yer alan köy yerleşkeleri.

İnceleme alanı, WGS84 elipsoidi ile coğrafi projeksiyon koordinat sisteminde 43.499869°D/39.499099°K, 43.749876°D/39.499099°K, 43.749876°D/39.374097°K, 43.4998699°D / 39.374096°K köşe koordinatlarıyla tanımlanan bir alan içerisinde yer almaktadır.

Diyadin (Ağrı) ilçesinin sınırları içerisinde kalan inceleme alanının; batıda Taşlıçay (Ağrı), doğuda Doğubayazıt (Ağrı), güneydoğuda Çaldıran (Van), güneyde Muradiye (Van) ve güneybatıda Erciş (Van) ilçelerinin sınırlarıyla bir komşuluk ilişkisi bulunmaktadır.

Düzlük alanlardan orta-üstü eğimli alanlara ve yer yer de yüksek eğimli alanları içeren bir röliyef özelliği sergileyen inceleme alanında, vadilerin ve yerleşim merkezlerinin bulunduğu yerler incelendiğinde, eğimlerin genellikle doğudan batıya ve kuzeyden güneye doğru arttığı gözlenmektedir. Yağlı Tepe (2957 m), Harapkom Tepe (2862 m), Kurt Tepe (2842 m) ve Muratsız Tepe (2737 m) inceleme alanının yüksek zirve noktalarını oluştururken, Tuzyurdu Tepesi (1971 m) ise düşük zirve noktasına karşılık gelmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. İnceleme alanının yapay ışıklandırmalı fiziki ve coğrafi kabartma haritası (haritada kırmızı ve siyah renk ile gösterilen hatlar stabilize yolları, mavi renk ile gösterilen hatlar ise akarsuları temsil etmektedir).

Hacıhalit köyünün doğusundaki Reşan Gölü (2388 m), aynı köyün güneybatısındaki Sünnetnebi Gölü (2438 m) ve Mutlu köyünün güneydoğusundaki Dipsiz Gölü (2408 m), inceleme alanında yer alan ve farklı derelerle beslenen gölleri oluşturmaktadır (Şekil 1.2). İnceleme alanında, mineralli sıcak su kaynakları genellikle KD-GB doğrultusunda dizilim göstermektedir. Köprü, Yılanlı, Davut, Dibekli, Tazekent ve Köy Hizmetleri kaplıcaları inceleme sahasına yönelik önemli sıcak su kaynaklarını oluşturmaktadır. İlçe merkezinin geniş bir kısmı jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır.

Diyadin (Ağrı) ilçesi, 1 belediye (Diyadin Belediyesi) ve 62 köyden oluşmaktadır. Nüfus verilerine göre (TÜİK, 2019), Diyadin (Ağrı) ilçesinde toplam 42.123 kişilik bir nüfusun, inceleme alanının sınırları kapsamında yer alan köy yerleşkelerinde (Şekil 1.1d) ise toplam 12.476 kişilik bir nüfusun ikamet ettiği gözlenmektedir (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1. İnceleme alanında 2018 yılında gözlenen köy yerleşim merkezlerine ait nüfus verileri (TÜİK, 2019)

AĞRI	CİNSİYET		TOPLAM
	ERKEK	KADIN	
Akçevre	56	62	118
Altinkilit	210	179	389
Aşağıdalören	116	102	218
Boyalan	131	141	272
Burgulu	148	141	289
Davut	474	437	911
Dibekli	251	230	481
Gözüpek	47	43	90
Günbuldu	379	357	736
Hacıhalit	511	500	1.011
Karataş	36	35	71
Kotancı	66	78	144
Kuşburnu	369	345	714
Mollakara	198	189	387
Mutlu	330	335	665
Oğuloba	160	142	302
Rahmankulu	132	123	255
Sürmelikoç	339	264	603
Taşbasamak	435	390	825
Taşkesen	512	432	944
Tazekent	276	239	515
Ulukent	707	605	1.312
Yıldız	48	44	92
Yolcupınarı	180	139	319
Yukarıdalören	423	390	813

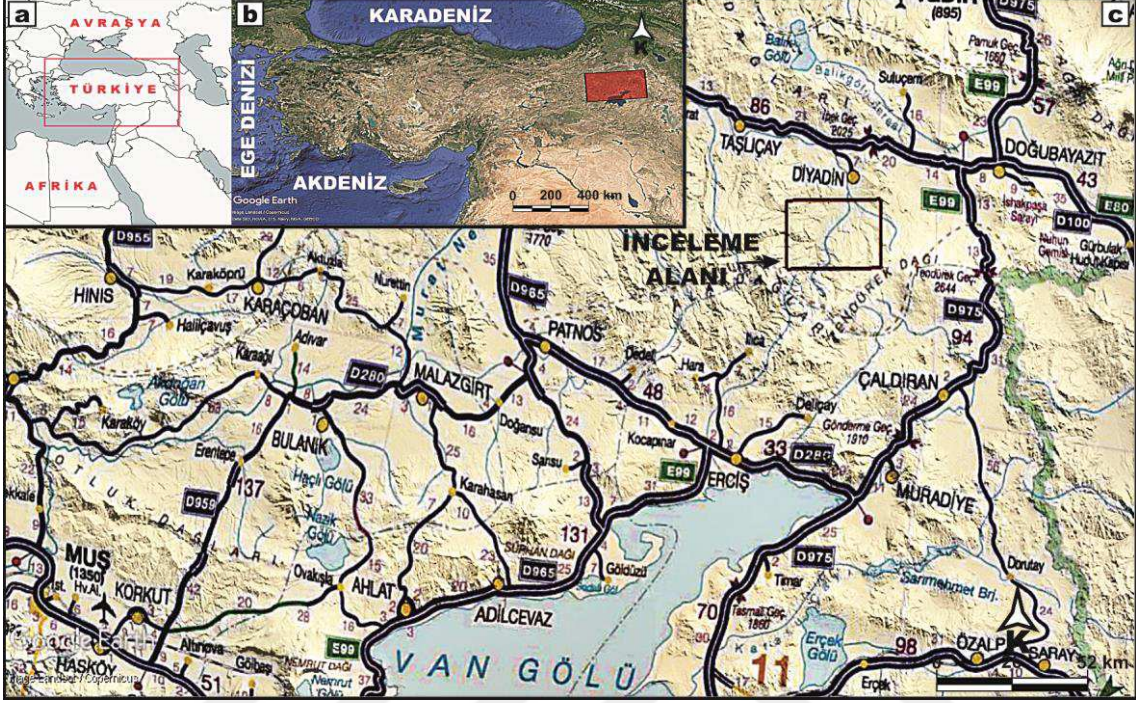
Tarım ve hayvancılık, bölge nüfusunun önemli gelir kaynağını oluşturmaktadır. 2014 yılından itibaren jeotermal enerjiden yararlanılarak geliştirilen modern seralarda yetiştirilen ürünler, bölge ekonomisine önemli bir katkı sağlamaktadır. İnceleme alanının sınırları kapsamında yer alan ve Diyadin kaplıcaları olarak bilinen, Yılanlı, Davut, Tazekent ve Köprü kaplıcalarının suyundan, sağlık turizmi bağlamında çeşitli hastalıkların tedavisinde yararlanılmaktadır. Günbuldu köyündeki Meya mağaraları, kayalara oyularak yapılmış barınma yerleri, Davut, Dibekli, Tazekent köyleri arasında yer alan traverten sırtları, konileri ve köprüleri ve Murat Nehri'nin bazaltlar içinde açtığı kanyon vadiler, jeoturizm açısından yörede yaşayanlar için dikkate değerdir (İzbrak, 1996; Kaya, 2008; Çoban, 2011; Akbulut, 2012).

Ulaşım, yaklaşık 5-10 km mesafedeki köyler ile Diyadin (Ağrı) ilçe merkezi arasında ağırlıklı olarak asfalt yollarla, köyler arasında ise genellikle asfalt olmak üzere yer yer stabilize yollar üzerinden minibüs veya özel araçlarla sağlanmaktadır. İnceleme alanı ile Ağrı il merkezi ve Havayolu arasındaki ulaşım ise, Diyadin ilçe merkezi üzerinden bağlantılı Ağrı-Doğubayazıt D100 (Uluslararası E80) karayolu ile gerçekleştirilmektedir. Ağrı il merkezinin 10 km kadar güneyinde bulunan Ağrı Ahmedi Hani Havaalanı Diyadin (Ağrı) ilçe merkezine yaklaşık 70 km uzaklıkta bulunmaktadır. İnceleme alanına, Van ilinden D975 karayolundan ulaşılabilir (Şekil 1.3).

Uluslararası İklim Verisi Örgütü (Climate-Data Organisation) gayri-resmi iklim verilerine göre (Climate Data, 2019), Ağrı ilinde soğuk ve ılıman bir iklim görülmektedir. Kış aylarında yaz aylarından daha çok yağış düşmektedir. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre, Ağrı ili Dsb iklim sınıfı (kışı şiddetli soğuk, yazı kurak ve serin) ile nitelendirilmektedir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan (MGM, 2019) ve uzun dönem (1940-2018) istatistiksel meteoroloji verileri (Çizelge 1.2) aylara göre değerlendirildiğinde, Ağrı ilinde 11.7 mm yağış miktarı ile Ağustos ayı yılın en kurak ayıdır. Ağrı ilinin yıllık ortalama sıcaklığı 6.2 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı ise 522 mm'dir. Ortalama 69 ve 69.7 mm yağış miktarıyla en fazla yağış Nisan ve Mayıs aylarında görülmektedir. En yüksek ortalama sıcaklık 30.1 °C olup Ağustos ayında görülür. 39.8 ve 39.9 °C'ye varan sıcaklıklar ile Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları yılın en sıcak aylarıdır. Yılın en düşük sıcaklık ortalaması -15.76 °C ile Ocak ayında görülür. Ağrı ilinde en düşük

sıcaklık değeri $-45.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak yine Ocak ayında ölçülmüştür. Yılın en kurak ve en yağışlı ay arasındaki yağış miktarı 58 mm 'dir.

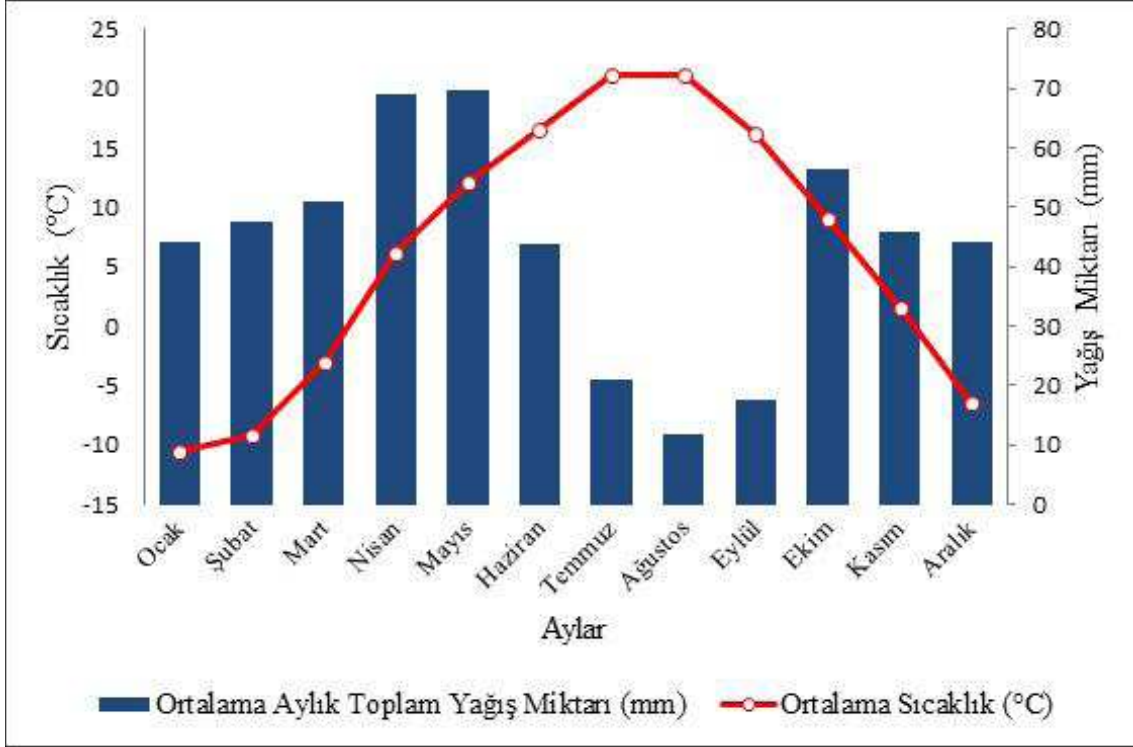


Şekil 1.3. İnceleme alanının (siyah çerçeve ile gösterilmiştir) karayolu ulaşım hatlarıyla konumsal ilişkisi a. sahanın dünya üzerinde bulunduğu konum, b. sahanın Türkiye üzerinde bulunduğu bölgesel konum, c. sahanın şehirlerarası ulaşım yolları ile konumsal ilişkisi.

Çizelge 1.2. Ağrı ilinde 2019 yılında gözlenen meteorolojik parametrelere ait veriler (MGM, 2019)

AĞRI	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1940 - 2018)											
	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A
Ortalama Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	-10.6	-9.2	-3.1	6.1	12.1	16.6	21.2	21.2	16.2	9.1	1.6	-6.5
En Yüksek Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	9.6	13.0	21.5	27.2	32.7	39.8	39.8	39.9	36.2	29.2	19.8	16.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	-5.5	-3.5	2.0	11.7	18.6	24.1	29.3	30.1	25.3	17.2	7.8	-1.8
En Düşük Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	-45.6	-42.8	-39.6	-25.6	-9.0	-3.0	1.7	1.2	-4.1	-20.1	-31.6	-39.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	-15.6	-14.5	-8.0	0.6	5.3	8.2	12.1	11.8	6.8	1.9	-3.5	-10.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.1	3.1	4.4	5.9	7.7	9.8	10.4	10.1	9.1	6.6	4.3	2.1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.9	11.3	12.2	14.2	15.8	10.2	5.6	3.9	4.4	9.0	8.5	10.9
Ortalama Aylık Toplam Yağış Miktarı (mm)	44.3	47.7	51.0	69.0	69.7	43.9	21.0	11.7	17.5	56.3	45.9	44.0

Ağrı ilinde uzun yıllarda (1940-2018) gözlenen ortalama aylık toplam yağış miktarı verilerinden (Çizelge 1.2) elde edilen grafik (Şekil 1.4) üzerinden mevsimlere göre yüzdesel dağılım değerlendirildiğinde, yağışın ilkbahar mevsiminde %36, yaz mevsiminde %14, sonbahar mevsiminde %22 ve kış mevsiminde ise %26 oranlarında yeryüzüne düştüğü görülmektedir.



Şekil 1.4. Ağrı ili uzun yıllar (1940-2018) aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarı grafiği.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Literatürde Diyardin (Ağrı) ve güneyini ele alan oldukça az sayıdaki ayrıntılı çalışma (Çolakoğlu ve ark., 2011; Oruç, 2011) genellikle maden yatakları (altın oluşumu) üzerine gerçekleştirildiği için en çok 10-12 km²'lik dar alanları kapsamaktadır. Yöredeki diğer ayrıntılı çalışmalar Diyardin'de bilinen mevcut jeotermal sahaya odaklanmış olup çoğunlukla sıcak ve mineralli suların hidrojeolojik özelliklerini ve kimyasal analizlerini içermektedir. Diğer taraftan Doğu Anadolu'nun büyük bir kesimini içine alan genel jeoloji ve tektonik amaçlı bölgesel nitelikli çalışmalar da sınırlı sayıda mevcuttur.

Bu tez çalışması kapsamında, araştırma konusuyla ilgili jeotermal, tektonik ve bunlarla ilişkili volkanizma nitelikli çalışmalara yönelik literatür bilgileri, yıl sıralaması göz önünde bulundurularak aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Ketin (1969) tarafından yapılan çalışmada, metamorfik-kristalin masifler, Paleozoyik yaşlı Kaledoniyen ve Hersiniyen kıvrımlı sıradağları, Mesozoyik ve Tersiyer yaşlı kıvrımlı sıradağları, büyük faylar ve bindirmeler, graben ve depresyon sahaları, aktif faylar ve başlıca deprem bölgeleri olmak üzere Türkiye'nin tektonik bünyesinde gelişen yapı unsurlarından söz edilmiş ve Diyardin (Ağrı) yöresinin depresyon sahası içerisinde yer aldığı ifade edilmiştir.

Innocenti ve ark. (1980), Van Gölü kuzeyindeki sahalarda gelişen volkanizmaya yönelik yaptıkları çalışmada, iki ardaşık volkanik döngüyü öngörmüşlerdir. Çalışmaya göre, ilk döngü Serravaliyen'de başlar ve ağırlıklı olarak yüksek K-tipinin hakim olduğu kalk-alkali türüne sahip ürünlerden oluşur. Bu ilk döngü, geniş yayımlı ignimbirit örtüleriyle 5-6 my arasında sona ermiştir. Bunu takiben, esas olarak çatlak lav akışları ile karakterize edilen Na-alkalin türünden (ne-normatif ve hy-normatif) ürünler içeren ikinci bir döngü yer alır ve Kuvaterner sırasında merkezi bir karakter kazanarak son zamanlara kadar devam eder. Bu dönemde yayılan magma, devam eden alkali aktivitenin yanı sıra bir geçiş karakteri ve toleyitik tür gösterir. Volkanolojik ve mineralojik karakterdeki farklılıklar, bölgenin tektonik evrimi ile uyumlu bulunmuştur. Bu evrim, sırasıyla Eosen'de ve Miyosen ile Pliyosen arasındaki sınırdaki gelişen iki ana tektonik evre ile karakterize edilir. Bu iki tektonik evrenin ki ana volkanik döngü ile

eşleştigi görülmüştür. Genellikle litosferlerin birbirine yakınlığı alanlar için kabul edilen volkanizmaların doğası ve evrimi üzerine modellerin katı bir şekilde uygulanmasının, bu bölgede büyük ölçüde tatmin edici olmadığı sonucuna varılmıştır.

Nagao ve ark. (1989) tarafından yapılan çalışmada, volkanik alanlardan alınan gaz örneklerinden asal gaz ve karbon izotopik bileşim kapsamları ölçülmüş ve tüm örneklerde manto kökenli helyumun bulunduğu ve bu helyumun ya mantodan ya da üst mantonun diapirik magma yükselimi sırasında kıtasal kabuktaki denizel karbonatlarla magmanın kimyasal tepkimeleri sonucunda oluşan CO₂ ve radyojenik helyumun magmatik gaza karışması ile türediği ifade edilmiştir. Çaldıran ovasından çıkan gazların bir magma rezervuarından türeyen volkanik kökenli gazlar olduklarını belirtmişler ve bunların Tendürek volkanik sistemine ilişkin olduklarını düşünmüşlerdir. Çalışmada, ölçülen en yüksek ³He/⁴He oranının yitim zonlarında bulunan volkanik gazları ve karbon izotop oranlarının ise denizel karbonatı ve/veya volkanik kökeni işaret ettiği vurgulanmıştır. Çalışma içerisinde, Davut köyünün kuzeyinden toplanan örneklerde ³He/⁴He oranlarının 2.09 ±0.06 ile 1.77 ±0.15 arasında olduğu ve ⁴He/²⁰Ne oranlarının ise 2.8 - 0.40 arasında olduğu ifade edilmiştir. Alınan örneklerdeki toplam helyumun atmosferik, manto ve kabuksal He olarak oransallık dağılımında %11 ile %80 atmosferik, %18 ile %6 manto ve %71 ile %14 kabuksal He katkılarının olduğu ve gaz örneklerindeki CO₂'nin karbon izotopik oransallıklarının ise 0.7 ile 0.8 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Çaldıran Fayı'nın kuzeyinden toplanan örneklerin bulunduğu alanda 20 m yüksekliğinde küçük bir tepede kaplıcaların olduğundan ve tepenin fay boyunca yüzeye yükselen sudan çökelen kalsiyum karbonat bileşimiyle oluştuğundan söz edilmiştir.

Ercan ve ark. (1990), çalışmalarında Doğu Anadolu'da Orta Pliyosen'den itibaren etkin olan çarpışma zonu volkanizmasını alınan örnekler ile değerlendirmişler ve örneklerin jeokimyasal çalışmaları ile K/Ar radyometrik yaş belirlemeleri yapmışlardır. Volkanitlerin iz element kapsamları genellikle üst kıtasal kabuk, kısmen alt kabuk ve ender olarak da manto ortalama değerlerine uymaktadır. Stronsiyum izotop oranlarının, bölgede Anadolu ve Arap plakalarının kıtasal çarpışmasından önce alta dalan Arap plakasına ilişkin kabuk parçasının, bölgedeki volkanitleri oluşturan magmaya bulaştığının işareti olarak yorumlanmıştır. Bölge genelinde K/Ar yöntemiyle radyometrik yaşlandırmalarda, ölçülen en eski yaş Eleşkirt Köseadağ'a ait olup 11.4 ±0.9

milyon yıl, en genç yaşlar ise 30000 ile Nemrut dağı kalderası içindeki obsidiyenlere ve Tendürek dağı'nın trakiandezitik lavlarına ait olduğu belirlenmiştir. Ercan ve ark. (1990), Tendürek volkanında en yeni olan trakiandezitik türdeki lavlardan aldıkları iki örneğin 30000 ve 70000 yıldan daha genç olduklarını, daha eski trakibazaltik lavdan aldıkları bir örneğin ise 560000 ±160000 yıllık olduğunu saptamışlardır. Çalışmaya göre Tendürek volkanına ilişkin en genç lavlar, güncel lav görünümünde olup, Çaldıran ovasının alüvyonları üzerinde akmışlardır. Bununla birlikte, Çaldıran ilçe merkezinde MTA Genel Müdürlüğü'nün bir sondaj çalışması ile 103 m derinlikten alınan trakibazaltik karot örneğinden yapılan yaş tayininde 140000 – 490000 yıl arasında yaşlar saptanmış ve Tendürek lavlarının Çaldıran ovasının altında da buldukları kanıtlanmıştır. Ercan ve ark. (1990), Tendürek lavlarından aldıkları iki örnekte, Sr izotop oranlarını ölçmüşler ve 0.70535 ile 0.70574 değerlerini elde etmişlerdir. Bu değerler itibarıyla, Tendürek volkanizmasının oluşturan magmanın salt manto kökenli olmayıp, kabuksal kirlenme özellikleri taşıdıklarını belirlemişlerdir.

Erişen ve ark. (1996), "Türkiye Jeotermal Envanteri" adlı çalışmada, Diyadin yöresindeki jeotermal alanının Neojen yaşlı kireçtaşı ve kalın bir volkanik istif olan lav, tuf ve volkanik kumtaşı ile örtülü olduğundan, Kuvaterner yaşlı birimleri traverten ve alüvyonun oluşturduğundan, genel tektonik hatların KD-GB, K-G ve KB-GD doğrultulu ve Paleozoyik yaşlı mermerler ile Tersiyer çökellerinin ikincil permeabiliteli zonlarının rezervuar kaya nitelikli olduğundan, kaplıca yöresinde üç kaynağın bulunduğu, sıcaklıklarının 46-54 °C arasında debilerinin ise 0.5-2 l/s arasında olduğundan söz etmiştir.

Celebi ve ark. (1997), "Murat Nehri'nin Hidrojeokimyasal Özellikleri" adlı çalışmada, Murat Nehri havzasındaki doğrultu atımlı fayların havzanın en önemli yapı öğelerini oluşturduğundan söz etmiştir.

Aydoğan (2000), "Diyadin (Ağrı) Jeotermal Suların Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi" adlı yüksek lisans tez çalışmasında, Diyadin yöresine ait jeotermal kaynakların hidrojeokimyasal özelliklerini inceleyerek kaynakların faylar boyunca çıktığından söz etmiştir. Ayrıca çalışmada, sıcak ve mineralli suların geldiği derinliğin 695-1570 m arasında olduğunu, jeotermal alanın KB-GD doğrultulu fay ve faylardan oluşan tektonik bir çatı üzerinde bulunduğunu, sahadaki kırıkların jeotermal suların yüzeye çıkmasına olanak sağladığını, jeotermal suların mermerlerle etkileşim

içinde bulunduğundan dolayı Ca ve HCO₃ bakımından zengin hale geldiğini, Köprü, Davut Kaplıcaları, Yılanlı kaynaklarının jeolojik ve tektonik yönden birbirlerine benzediğini ve suların Ca-Mg-HCO₃ yapıda olduğunu ifade etmiştir.

Zaman ve ark. (2000), “Diyadin Kaplıcaları (Diyadin Thermal Springs)” adlı çalışmada, Diyadin yöresinin tektonik yönden faylı bir senklinalden meydana gelen bir alanda yer aldığından söz etmiştir. Ayrıca çalışma içerisinde, Diyadin güneyindeki sıcak su kaynaklarının bölgedeki KKB-GGD, KKD-GGB ve DB doğrultulu tektonik hatlar üzerinde geliştiği ileri sürülmüştür.

Güleç ve ark. (2002), Türkiye genelinde yapmış oldukları He izotop oranları çalışmasında R/R_A (R = örnekte ³He/⁴He ve R_A= havada ³He/⁴He) değerleri için 0.05-7.87 olarak geniş bir aralık belirlerken, birçok noktada mantodan türemiş helyum tanımlaması olduğunu vurgulamışlardır. Mantodan türemiş bileşenlerinin yüksek (> %50 toplam helyum) olduğu yerlerin, Kuzey Anadolu Fay zonunun batı ve orta segmentleri dışında, Orta Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde tarihsel dönemde aktivite gösteren genç volkanlarla ilişkili alanlarda bulduklarını saptamışlardır. Manto bileşeninin, Doğu Anadolu’da ağırlıklı olarak sıkışma tektoniği altında orta entalpili bir jeotermal sahaya karşılık gelen Nemrut volkanında en yükseğe ulaştığını, buna karşılık Türkiye’de en yüksek jeotermal potansiyeli sergilemesine rağmen açılma tektoniği etkisindeki Batı Anadolu sahalarında göreceli olarak daha düşük (< %50) değerlerde olduğunu ifade etmişlerdir. Güleç ve ark. (2002), farklı bölgeler için tahmin edilen ortalama ³He/entalpi oranlarının, litosferik gerilme (genişleme) ve jeotermik gradyan yükselmesini yüksek ısı akışının ana mekanizması olarak önerdiğini, ancak Batı Anadolu’daki sınırlı düzeydeki magmatik sokulum faaliyetlerinin de, nispeten düşük He ilavesi ve buna bağlı olarak da ³He/entalpi oranlarının düşük (1.7x10⁶ atom/J) olmasının nedeni olarak önerdiğini öngörmüşlerdir. Doğu ve Orta Anadolu’da hem ısı hem de helyumun daha fazla girdisinde, hidro-magmatik sistemlerin yaşlanmasını yansıtan bölge içi ³He/entalpi oranı (Doğu Anadolu’daki 3.1x10⁶ atom/J’dan Orta Anadolu’daki 0.25x10⁶ atom/J’a değişim gösteren) aralığı ile daha kapsamlı bir magmatik faaliyetin sorumlu olduğunu düşünmüşlerdir. Söz konusu çalışmada hava düzeltmeli R/R_A oranları, Nemrut volkanı için alınmış 2’si sudan ve 2’si gazdan alınan dört örnekten (Kipfer ve ark., 1994) sırasıyla 7.04, 6.58, 7.69 ve 7.13 olarak ve ayrıca bir diğer gaz örneğinden (Nagao ve ark., 1989; Ercan ve ark., 1995) ise 7.87 olarak

hesaplanırken; bu değerler Çaldıran ovasındaki 3 gaz örneğinden (Nagao ve ark., 1989; Ercan ve ark., 1995) sırasıyla 0.97, 3.84 ve 4.03 olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık hava düzeltmeli R/R_A oranları, Diyadin jeotermal sahasındaki 2 adet gaz örneğinden (Nagao ve ark., 1989; Ercan ve ark., 1995) sırasıyla 1.55 ve 1.68 olarak hesaplanmıştır (Güleç ve ark., 2002). Bu hava düzeltmeli R/R_A oranları değerlerinin tümü, kabuktan türemeye ilişkin tipik değerlerden ($R/R_A \cong 0.05$; Andrews, 1985) daha yüksek olup mantodan türemiş helyum katılımlarının olduğunu vurgulamaktadır.

Akkuş ve ark. (2005), “Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri” adlı çalışmada, Diyadin jeotermal alanında en yaşlı birimin Paleozoyik yaşlı mermerlerin olduğundan, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik birimler ile kireçtaşı ve çakıltaşının geniş alanlarda yüzelediğinden, Kuvaterner yaşlı travertenin kaynakların çevresinde, alüvyonun ise Murat Nehri’nin geçtiği akarsu yatağı boyunca gözlemlendiğinden söz etmiştir. Ayrıca çalışma içerisinde, mermerlerin ve volkanitlerin rezervuar kaya özelliğinde olduğu ve kaynakların KB-GD doğrultulu kırık hatları boyunca yüzeye çıktıkları ve Diyadin jeotermal alanında çok sayıda kaynağın bulunduğu ifade edilmiştir.

Erden (2005), “Doğu ve Güneydoğu Anadolu Jeotermal Kaynaklarının Potansiyeli ve Değerlendirilmesi” adlı çalışmada, Diyadin depresyonunun tektonik kökenli olmasından dolayı jeotermal enerji potansiyeli açısından oldukça uygun şartlara sahip olduğundan, jeotermal kaynakların oluşmasının yörenin tektonik özellikleriyle ilgili olduğundan, tektonik bir çöküntü alanı olan Diyadin depresyonu içerisinde açılan sondaj kuyularının yakınlarında kaplıca olarak da yararlanılan çok sayıda doğal çıkışların varlığından söz etmiştir. Ayrıca çalışmada, Diyadin ilçesinin güney bölgesinde bulunan bazalt kütesinin GB ve KD yönünden çok sayıda fayların ve olası fay hatlarının geçtiğini ve bu fay hatlarının genellikle volkanik olmayan formasyonlar içerisinde yer aldığını, bazaltlar ve bazaltik lavlar içerisinde ise faylara az sayıda rastlandığını ve yöredeki sıcak su kaynaklarının, genellikle fay hatlarının yakınlarında veya üzerinde yer aldığını, Diyadin güneyinde yapılmış jeolojik, hidrolojik, jeofizik araştırmalardan ve sondaj çalışmalarından yola çıkılarak inceleme alanındaki Davut, Tazekent ve Köprü kaynakları arasında kalan sahanın jeotermal enerji üretimi yönünden uygun koşullara sahip olduğunu ve genellikle fay hatları üzerinde açılan kuyulardan daha olumlu sonuçlar alındığını ifade etmiştir.

Bozdağ ve Aydoğan (2009) tarafından Diyadin yöresindeki kaynak sularının kalitesini ve termal faaliyetlere uygunluğunu değerlendirmek amacıyla yapılan hidrojeokimyasal esaslı çalışmada, Köprü, Yılanlı, Davut ve Hıdırçayırı kaplıcalarından alınan su örneklerinin analizi sonucunda, yöredeki kaplıcaların Ca-Mg-HCO₃ su tipinde olduğu, Paleozoyik yaşlı metamorfiklerin yörenin güneybatısında KB-GD yönünde geniş mostra verdiği ve bu kayaçların, özellikle akifer durumunda olan mermerlerin, atmosferik etkilere bağlı olarak ikincil gözenekliliğin etkisiyle kırık zonları içerdiği, jeolojik formasyon birimlerinin oluşumunda tektonizma ve Tendürek volkanının etkili olduğu ve Diyadin jeotermal alanının Tendürek volkanının kuzeybatısında bulunan tektonik bir alanda yer aldığı ifade edilmiştir.

Pasvanoğlu ve Güler (2010) tarafından Diyadin jeotermal sahasına yönelik yapılan çalışmada, Diyadin jeotermal sahasının genç neotektonik hareketlerin yoğun olduğu bir kuşak üzerinde yer aldığından, sahada K-G sıkışma hareketlerine bağlı olarak doğrultu atımlı fayların ve açılma çatlaklarının geliştiğinden söz edilmiştir. Ayrıca çalışmada, sıcaklıkları 24-64 °C arasında olan birbirlerine yakın mesafede birçok sıcak ve mineralli su kaynaklarının bulunduğu, su çıkış noktalarının CaCO₃ çökelişi nedeniyle sürekli yer değiştirdiği ileri sürülmüştür.

Çolakoğlu ve ark. (2011) tarafından gerçekleştirilen ve altın madenciliğine ilişkin küçük bir sahayı kapsayan çalışmada, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaların içerisinde K10B ve K20B doğrultulu faylara rastlanıldığı belirtilmiştir.

Oruç (2011), "Diyadin (Ağrı) Altın Cevherleşmesinin Jeolojik ve Jeokimyasal İncelemesi" adlı yüksek lisans tez çalışmasında, Diyadin jeotermal sahasının neotektonik hareketlerin yoğun olduğu bir kuşak üzerinde yer aldığını ve bölgedeki sıcak su kaynaklarının K-G doğrultulu sıkışma rejimi ile meydana gelen açılma çatlaklarından çıkış yaptığını ileri sürmüştür.

Mutlu ve ark. (2012), Doğu Anadolu'da Van Gölü çevresinde yer alan bir dizi jeotermal sahayı içeren bir çalışmada, helyum (³He/⁴He) ve karbon (δ¹³C) izotop bileşimlerini, çözünmüş karbon ve kükürtün kararlı izotop bileşimleriyle birlikte gaz örneklerinin nispi bolluk oranlarını (CO₂/³He) ve ilişkili su fazının oksijen ve hidrojen izotopik bileşimlerini araştırmışlardır. Çalışma, Türkiye'nin doğusunda olasılıkla son evre magmatizma tarafından kabuğa aktarılan mantodan türetilmiş helyum bileşeninin, akışkanlardaki toplam He içeriğinin (Nemrut kalderası örneğinde olduğu gibi) %96'sına

kadar kısmına sahip olabildiğini ortaya koymuştur. He ölçümlerinin konumsal dağılımına ilişkin olarak, Pliyosen-Kuvaterner volkanik alanlarından toplanan örnekler ($0.93 - 7.76 R_A$), volkanik olmayan bölgelere göre ($0.85 - 1.07 R_A$) geniş ve genel olarak daha yüksek R/R_A oranı aralığıyla karakterize edilmiştir. $CO_2/{}^3He$ oranlarının geniş bir aralıkta değiştiği ($2.4 \times 10^5 - 3.8 \times 10^{13}$) ve çoğunlukla üst mantonun itibari değerlerinden ($\sim 2 \times 10^9$) daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Suların oksijen-hidrojen izotop değerlerinin, Küresel Meteorik Su Çizgisi ile uyumlu olduğu ve yerel bir meteorik kökene işaret ettiği açıklanmıştır. Mutlu ve ark. (2012), bölgenin jeotermal sularındaki sülfatın, büyük olasılıkla deniz karbonatlarının ve karasal evaporit birimlerinin çözünmesinden kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir. Çalışmada, SO_4-H_2O izotop jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklıkların 40 ile 199 °C arasında olduğu ve silika jeotermometrelerinden hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ile zayıf bir uyumluluk gösterdiği; uyuşmayan sıcaklıkların, su ile sülfat arasındaki izotopik dengenin nispeten yavaş olması ya da jeotermal suyun $\delta^{18}O$ izotop değerini değiştirebilecek sülfat içeren sığ sularla karışmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Gaz numunelerinin $\delta^{13}C$ (CO_2) değerleri, sudan kaçışla oluşan CO_2 kaybı ile tutarlı olarak, su örneklerinde olduğundan daha düşüktür. Manto ile çeşitli kabuksal C kaynakları arasındaki karışımın, C-izotop kompozisyonu üzerindeki ana kontrol kriteri olarak görüldüğü belirtilmiştir. Araştırmacılar, tüm numunelerdeki başlıca CO_2 kaynağının başta kireçtaşı (toplam karbon envanterinin $\sim\% 85-98$ 'i) olmak üzere kabuksal litolojiler olduğunu ve böylelikle kabuksal karbon akışının mantodan en az 10 kat daha fazla olduğunu söylemişlerdir. Çalışmada, tarihsel olarak aktif birkaç volkanın bulunduğu Van Gölü'nün batı kesiminde daha ince kabuk olan kabuk ile yüksek ${}^3He/{}^4He$ değerleri arasında büyük bir korelasyon olduğu öngörülmüş; bu gözlemin de, lokal volkanik ve magmatik aktivitelerin bölgedeki manto ve kabuktan türemiş uçucular arasındaki denge üzerinde ana kontrolü sağladığına işaret ettiği ifade edilmiştir. Çalışmada, Diyadin için yapılan ölçümlerden hesaplanan hava düzeltilmeli R/R_A ($R =$ örnekte ${}^3He/{}^4He$ ve $R_A =$ havada ${}^3He/{}^4He$) oranları Diyadin ilçesinde Tuna Kaplıcası ile Davutlar Köyü Camisi yanındaki sıcak su kaynağından alınan örnekler için sırasıyla 0.93 ± 0.13 (He mantosal katılımı $\%11.6$) ve 1.91 ± 0.13 (He mantosal katılımı $\%23.7$) olarak hesaplanmıştır. Buna karşın Doğu Anadolu'da diğer jeotermal sahalarda yapılan örneklemelerde hava düzeltilmeli R/R_A değerleri sırasıyla, Van-Çaldıran-Ayrancı için 0.96 ± 0.01 ve 1.05

± 0.05 (He mantosal katılımı %11.9 ve %13), Van-Çaldıran-Buğulu için 1.03 ± 0.01 (He mantosal katılımı %12.8), Van-Başkale-Çamlık için 1.00 ± 0.91 (He mantosal katılımı %12.4), Van-Saray-Çaybağı için 0.85 ± 0.18 (He mantosal katılımı %10.6), Van-Erciş-Zilan-Taşkapı için 3.68 ± 0.09 (He mantosal katılımı %45.7), Bitlis-Güroymak-Çukur için 6.36 ± 0.08 (He mantosal katılımı %79.0), Bitlis-Hizan-Germav için 2.40 ± 0.03 (He mantosal katılımı %29.8), Bitlis-Merkez-Kokarsu için 3.63 ± 0.10 (He mantosal katılımı %45.1), Bitlis-Tatvan-Nemrut kalderası için 7.76 ± 0.09 (He mantosal katılımı %96.4), Bitlis-Gürpınar-Yurtbaşı için de 0.86 ± 0.07 (He mantosal katılımı %10.7), Ağrı-Patnos için 2.42 ± 0.27 (He mantosal katılımı %30.1) ve Ağrı-Tutak için de 1.83 ± 0.02 (He mantosal katılımı %22.7) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Diyadin Tuna Kaplıcası ile Davutlar Köyü Camisi yanındaki sıcak su kaynağından alınan örneklerde CO_2/He oranlarının 28.779 ve 3.660 arasında, çözülmüş inorganik karbon değerlerinin binde 1 ile 2 arasında olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, SO_4 jeotermometresiyle hesaplanan rezervuar sıcaklıklarının, Davut köyünden alınan örnek için 40 ile 154 °C arasında olduğu tahmin edilmiştir.

Pasvanoğlu ve Vural (2012), “Diyadin (Ağrı) ve Erciş (Zilan-Van) Sıcak ve Mineralli Suların Karşılaştırmalı İncelenmesi” adlı çalışmada, Diyadin (Ağrı) jeotermal sahasının kıta içi volkanizmasının hakim olduğu bir sistem ile ilgili olarak gelişen volkanik orijinli jeotermal sistem olduğundan, Diyadin yöresindeki sıcak su kaynaklarının Ca-Na-HCO₃ ve soğuksu kaynaklarının ise Ca-Mg-HCO₃ tipinde olduğundan, sıcak suların meteorik kökenli olduğundan ve yeraltına çatlak, kırık ve faylar boyunca süzülüp soğumamış magmatik bir sokulumla veya jeotermal gradyanla ısınarak hidrotermal kanal görevi gören fay veya etkin çatlaklar boyunca yeryüzüne yükseldiğinden söz etmiştir.

Diyadin jeotermal sahası üzerine Pasvanoğlu (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Diyadin jeotermal sahasının, neotektonikten yoğun şekilde etkilenen bir bölgede yer aldığı ve K-G doğrultulu sıkışmaya bağlı olarak birkaç doğrultu atımlı fay ile K-G doğrultulu tansiyon çatlaklarının geliştiği ifade edilmiştir. Çalışmada ayrıca, yapılarıdaki açılma yönlerinin D-B doğrultulu olduğu ve bunların termal akışkanların akım kontrollerinde yönlendirici rol oynadıkları belirtilmiştir.

Mutlu ve ark. (2013) tarafından Diyadin jeotermal sahasına yönelik yapılan çalışmada, sıcaklıkları 33-68 °C arasında değişen sıcak su kaynaklarının, mermer ve

ofiyolit grubu kayaçların üzerinde çökelen Miyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tuf ve piroklastik birimler içerisinden ve Murat Nehri vadi yamaçlarını çeşitli doğrultularda kesen fay zonları boyunca boşaldıkları ifade edilmiştir.

Aydın ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada, 23 Ekim 2011 tarihli Mw:7.2 büyüklüğündeki yıkıcı Van depreminden yaklaşık 1 ay sonra Mutlu ve ark. (2012) çalışmasındaki 7 noktadan yeniden örnekleme yaparak, depremin bu noktalardaki gaz salınımları üzerine olan etkilerini incelemiştir. İnceleme yaptıkları noktaları deprem merkez üssünden olan mesafelerine göre, sırasıyla yakın mesafe (Van-Çaldıran-Ayrancı, 58.7 km; Van-Çaldıran-Buğulu, 59.0 km; Van-Erciş-Zilan-Taşkapı, 64.9 km), orta mesafe (Ağrı-Diyadin-Tuna Kaplıcası, 90.1 km; Ağrı-Tutak, 112.9 km) ve uzak mesafe (Bitlis-Güroymak-Çukur, 126.1 km; Bitlis-Merkez-Kokarsu, 110.3 km) olmak üzere 3 gruba ayırmışlardır. Bölgedeki R/R_A oranlarında yakın mesafedeki I grup kaynaklarda önemli düzeyde yükselmeler (Van-Çaldıran-Ayrancı, %239.04; Van-Çaldıran-Buğulu, %102.91 Van-Erciş-Zilan-Taşkapı, %14.13) ve orta mesafedeki II. Grup kaynaklarda kayda değer azalmalar (Ağrı-Diyadin-Tuna Kaplıcası, %9.67; Ağrı-Tutak, %40.98) saptanırken, uzak mesafedeki III. Grup kaynaklarda yok denecek kadar düşük mertebelerde (Bitlis-Güroymak-Çukur, %0.15 artış; Bitlis-Merkez-Kokarsu, %0.5 artış) değişim belirlenmiştir. Diyadin Tuna kaplıcasından alınan örnekten analiz edilen $^3\text{He}/^4\text{He}$ oranının düzenli bir şekilde azaldığı ve bu yöredeki He değerinin yerkabuğuna ait verileri yansıttığı ifade edilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Ağrı il merkezinin 60 km gúneydođusunda ve Tendürek volkanik merkezinin yaklaşık 30 km kuzeybatısında bulunan Diyadin yöresinin yakın güneyinde gerçekleştirilen bu tez çalışması, Türkiye Topografik pafta İndeksinde 1/25.000 ölçekli J51a1 ve J51a2 pafta sınırlarına karşılık gelen alanlarına yönelik tektonik ve jeotermal açıdan incelemeleri konu edinmektedir. Bu tez çalışması süresince yapılan çalışmalar ile ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

3.1. Literatür Çalışmaları

Diyadin (Ağrı) yöresinin yakın güneyi ile ilgili yayınlar detaylı şekilde incelenmiş ve bu yayınlar içerisinde araştırma konusuyla ilişkili olan veriler, tez yazım aşamasının başlangıcında hazır hale getirilerek derlenmiştir.

3.2. Arazi Çalışmaları

Gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında, jeoloji haritasında yer alan birimlerle arazide görülen birimlerin kıyaslaması yapılmış ve bu gözlem sırasında eksik görülen birimler, halihazırda mevcut olan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarına çizilmiştir. Ayrıca, jeotermal, tektonik ve stratigrafik amaçlı incelemeler yapılmış ve jeolojik birimlerden numuneler alınmıştır.

3.3. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları kapsamında, sahanın tektonik çözümlenmesi ve morfolojik ayrıntıların belirlenmesine yönelik olarak Harita Genel Müdürlüğü'nün 1/25.000 ölçekli 2 adet topografik paftası (J51a1 ve J51a2) sayısallaştırılmış ve 50 m çözünürlüklü bir sayısal arazi modeli üretilmiştir. Topografik haritaların sayısallaştırılmasında ise SURFER yazılımı kullanılmıştır. Diğer taraftan aynı amaca yönelik olarak, bu tez çalışmasının danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE'nin AOTR_2446 no'lu Avrupa

Uzay Ajansı (ESA) projesi kapsamında temin edilmiş olan ERS uyduları SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) görüntülerinden daha önceki çalışmalarda deformasyon ölçümü amacıyla oluşturulmuş Farksal SAR İnterferogramlarından da faydalanılmıştır. Yapısal unsurların morfolojik kontrastını yükseltme özelliği gösteren türden 16 adet interferogram tektonik amaçlı olarak çalışmada değerlendirilmiştir. Saha çalışmaları sonrasında tektonik çalışmaların ayrıntılandırılmasında ise, Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE'nin DEM_GEOL1997 no ile yürütülmekte olan bir Alman Uzay Ajansı projesinden temin edilen çok yüksek çözünürlüklü TanDEM-X DEM veri setinden faydalanılmıştır.

Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğünden temin edilen 1/100.000 ölçekli İ51 paftası jeoloji haritası, inceleme alanının jeoloji haritasının üretilmesinde kullanılmıştır. Bu haritadaki bazı ayrıntı eksiklikleri, sahanın jeolojisine yönelik olarak gerçekleştirilen arazi çalışmalarımızda edinilen bulgularımızla giderilmiştir. Çalışmada oluşturulan jeoloji haritasına yönelik çizimler Corel DRAW yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirilmiş ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

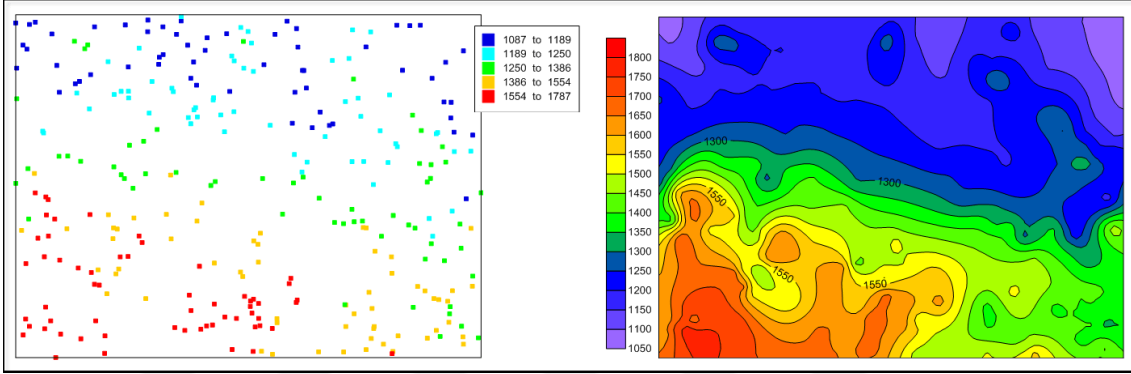
3.4. Metodolojik Yaklaşım

3.4.1. Kriging yöntemiyle topografik haritaların sayısallaştırılması

Kriging yöntemi, birçok alanda kullanılan ve popüler olduğunu kanıtlamış jeostatistiksel bir gridleme yöntemidir. Bu yöntem, düzensiz aralıklı verilerden oluşan haritaların üretiminde kullanılır. Kriging, verilerde önerilen eğim değerlerini tahmin etmeye çalışır ve düzensiz veri değerlerinden oluşan noktaları bir sırt boyunca birbirine bağlar (Abramowitz ve Stegun, 1972; Journel ve Huijbregts, 1978; Isaaks ve Srivastava, 1989; Journel, 1989; Cressie, 1990; Cressie, 1991; Deutsch ve Journel, 1992; Surfer 9 yazılımı).

Surfer programı, iki boyutlu kontur haritaları ve üç boyutlu yüzey haritaları gibi birçok farklı özelliğe sahip grid tabanlı haritalar sunar. Bir grid verisi oluşturmak için

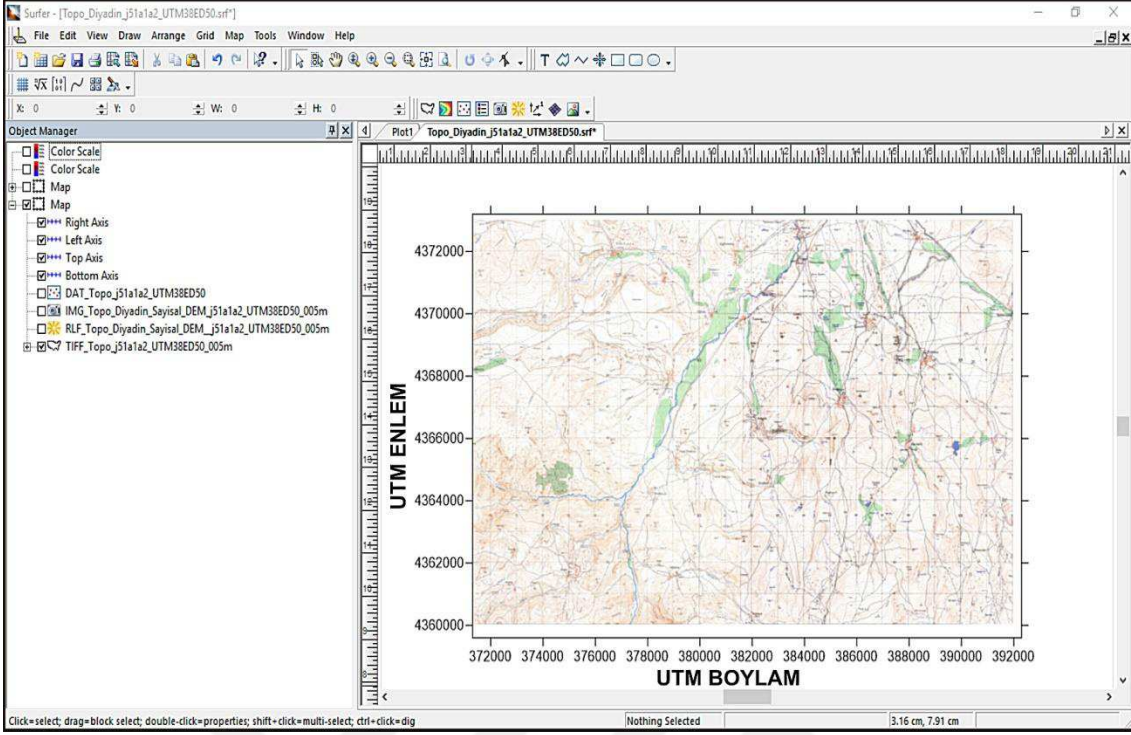
Surfer programı, rastgele aralıklı X, Y, Z (UTM enlem, UTM boylam, yükseklik) verilerini alır ve bunu düzenli aralıklı bir grid verisi oluşturmak için kullanır. Her bir grid değeri, belirli bir X, Y (UTM Enlem, UTM boylam) konumunda bulunur ve onunla ilişkili bir Z (yükseklik) değerine sahiptir (Golden Software, 2019; Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Dağınık yükseklik değerlerinden oluşan veri haritasından Kriging yöntemiyle gridlemenin yapılarak üretildiği kontur haritasının görünümü (Golden Software, 2019'dan aynen alınmıştır). Solda dağınık yükseklik değerlerini temsil eden sınıflandırılmış veri haritası, sağda ise dağınık yükseklik değerlerinden Kriging yöntemiyle gridlemenin yapılarak üretildiği kontur haritası gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında, inceleme alanının tektonik ve jeotermal potansiyelle olan ilişkisinin ortaya konulabilmesi amacıyla 1/25.000 (Doğubayazıt J51; a1, a2) ölçekli topografik haritaların sayısallaştırılmasına gereksinim duyulmuştur. Kriging yöntemine göre Golden Software Surfer 9 yazılımı ile hazırlanan topografik haritaların sayısallaştırılma aşamaları, aşağıda yer alan birkaç şekil üzerinde kısaca açıklanmıştır.

İlk aşamada, inceleme alanının 1/25.000 (Doğubayazıt J51; a1 ve a2) ölçekli topografik haritaları Surfer 9 programına aktarılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli topografik haritalarının Surfer 9 programına aktarılması.

İkinci aşamada, topografik haritalarda yer alan eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z (UTM boylam, UTM enlem, yükseklik) değerlerine göre (Şekil 3.3) sayısallaştırılması yapılmış (Şekil 3.4) ve dağınık eş yükseklik değerlerinden düzenli aralıklarla hesaplatılarak üretilen bir grid verisi oluşturulmuştur (Şekil 3.5).

Surfer - [Topo_j51a1a2_UTM38ED50.dat]

File Edit View Format Data Tools Window Help

Object Manager

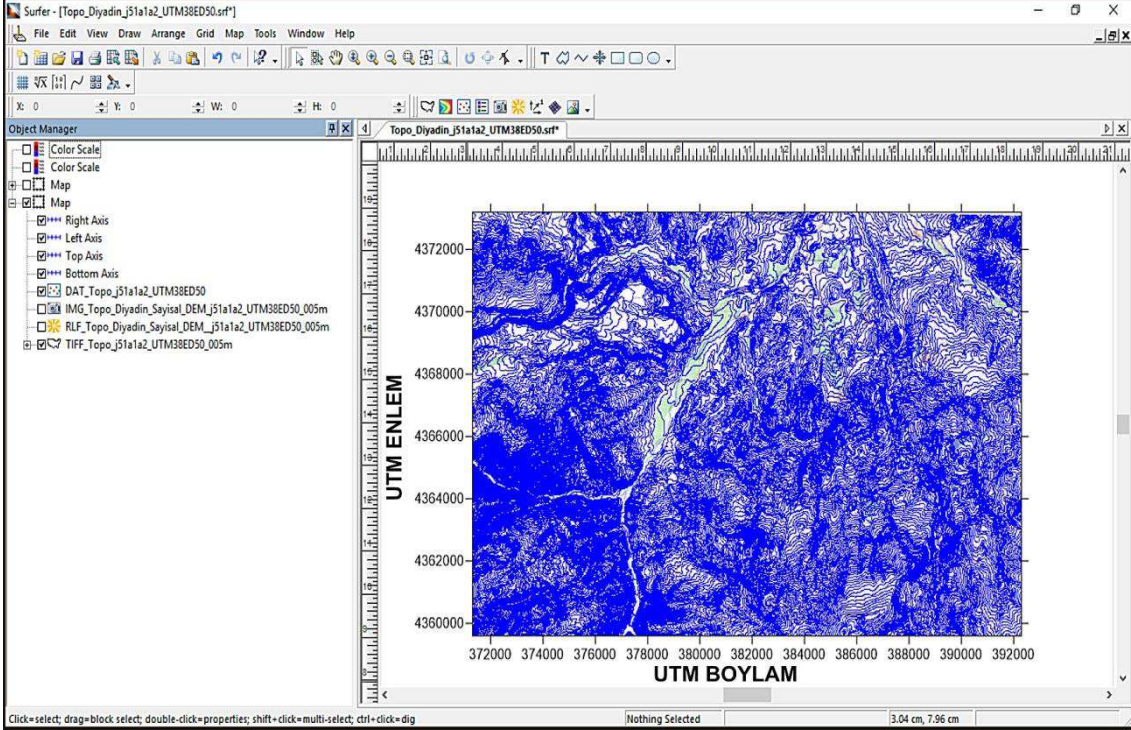
Topo_Diyadin_j51a1a2_UTM38ED50.srf* Topo_j51a1a2_UTM38ED50.dat

A1	371068.324413												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	371068.32	4373408.1	2260										
2	371059.81	4373401.3	2260										
3	371047.90	4373394.5	2260										
4	371037.68	4373389.4	2260										
5	371027.47	4373382.6	2260										
6	371121.10	4373406.4	2250										
7	371107.48	4373399.6	2250										
8	371092.16	4373389.4	2250										
9	371075.13	4373379.2	2250										
10	371059.81	4373372.3	2250										
11	371046.19	4373367.2	2250										
12	371029.17	4373362.1	2250										
13	371190.89	4373404.7	2240										
14	371178.98	4373394.5	2240										
15	371158.55	4373382.6	2240										
16	371138.12	4373374.0	2240										
17	371115.99	4373370.6	2240										
18	371097.26	4373363.8	2240										
19	371080.24	4373355.3	2240										
20	371061.52	4373346.8	2240										
21	371044.49	4373336.6	2240										
22	371025.77	4373328.1	2240										
23	371230.05	4373406.4	2230										
24	371221.53	4373391.1	2230										
25	371211.32	4373372.3	2230										
26	371197.70	4373357.0	2230										
27	371184.08	4373341.7	2230										

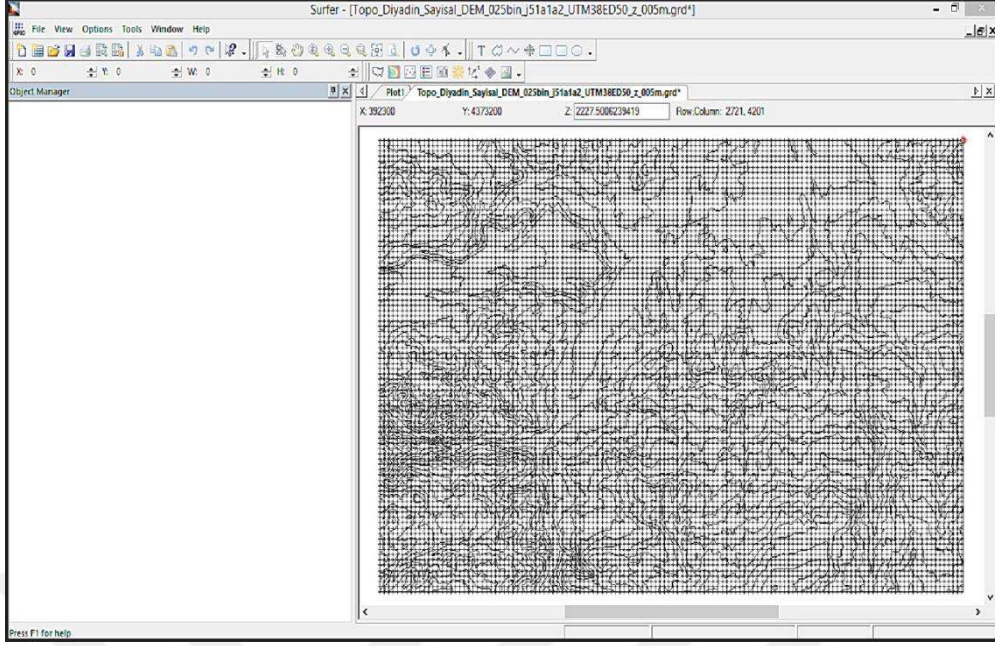
A (x) Kolonu: UTM boylam
B (y) Kolonu: UTM enlem
C (z) Kolonu: Eş yükselti değeri

Press F1 for help

Şekil 3.3. Topografik haritadaki eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z (UTM boylam, UTM enlem, yükseklik) değerlerine göre istatistikleştirilmiş veri görünümü.

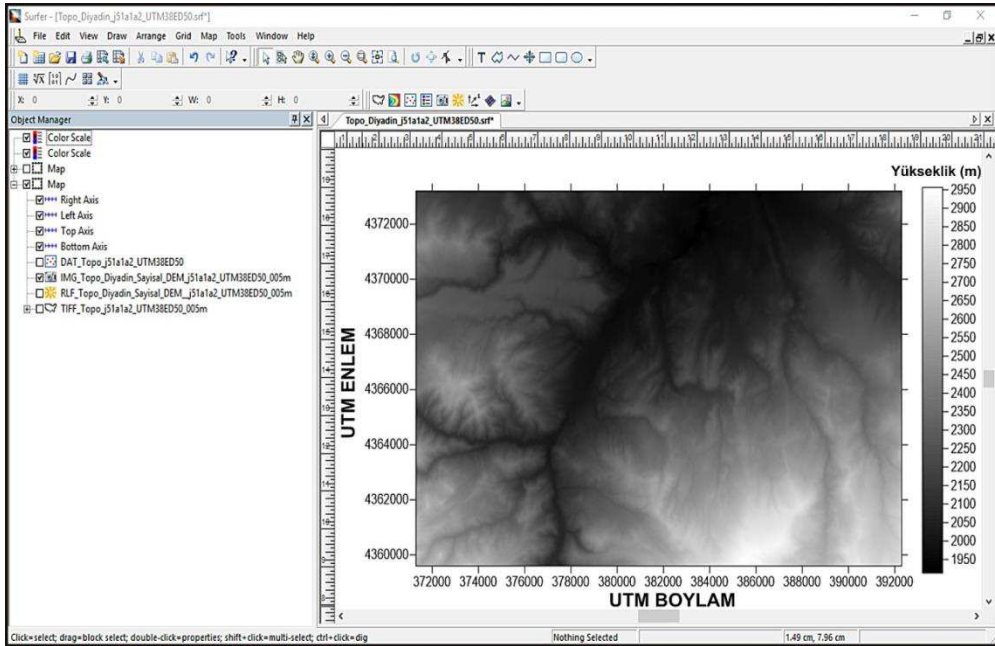


Şekil 3.4. Topografik haritadaki eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z (UTM boylam, UTM enlem, yükseklik) değerlerine göre istatistikleştirilmiş verilerin topografik harita üzerinde görünümü.

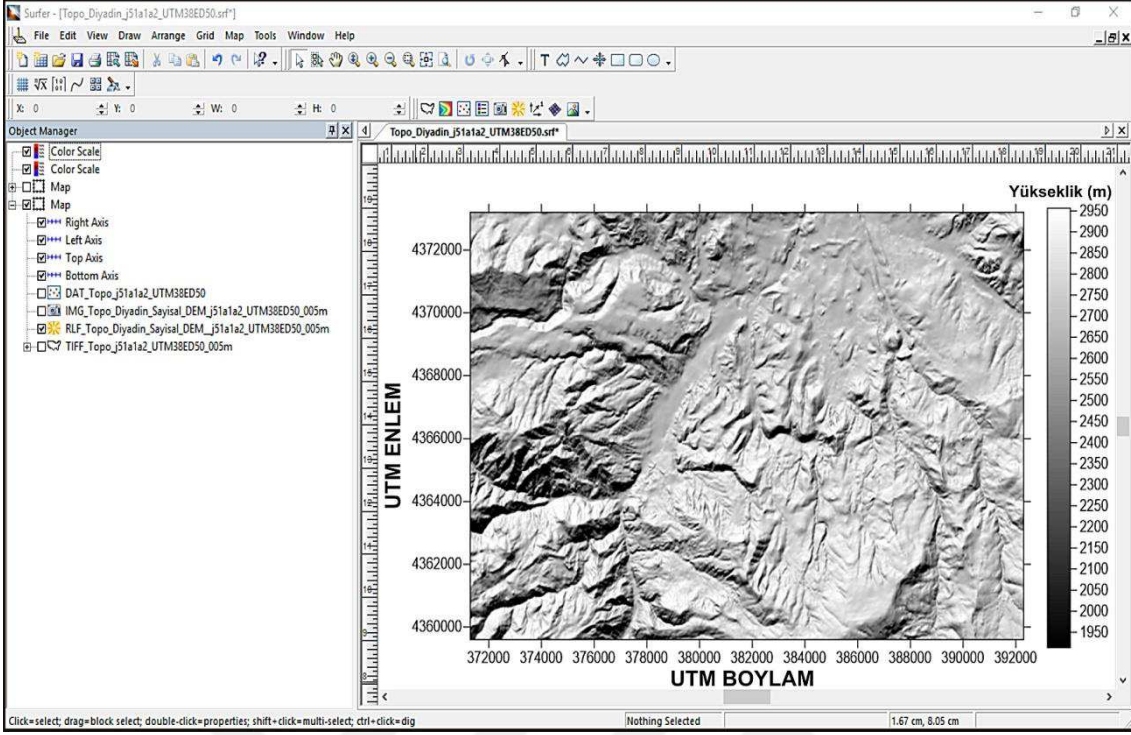


Şekil 3.5. Topografik haritadaki dağınık eş yükseklik eğrilerinin X, Y, Z (UTM boylam, UTM enlem, yükseklik) değerlerine göre düzenli aralıklarla hesaplatılarak üretilen grid verisinin görünümü.

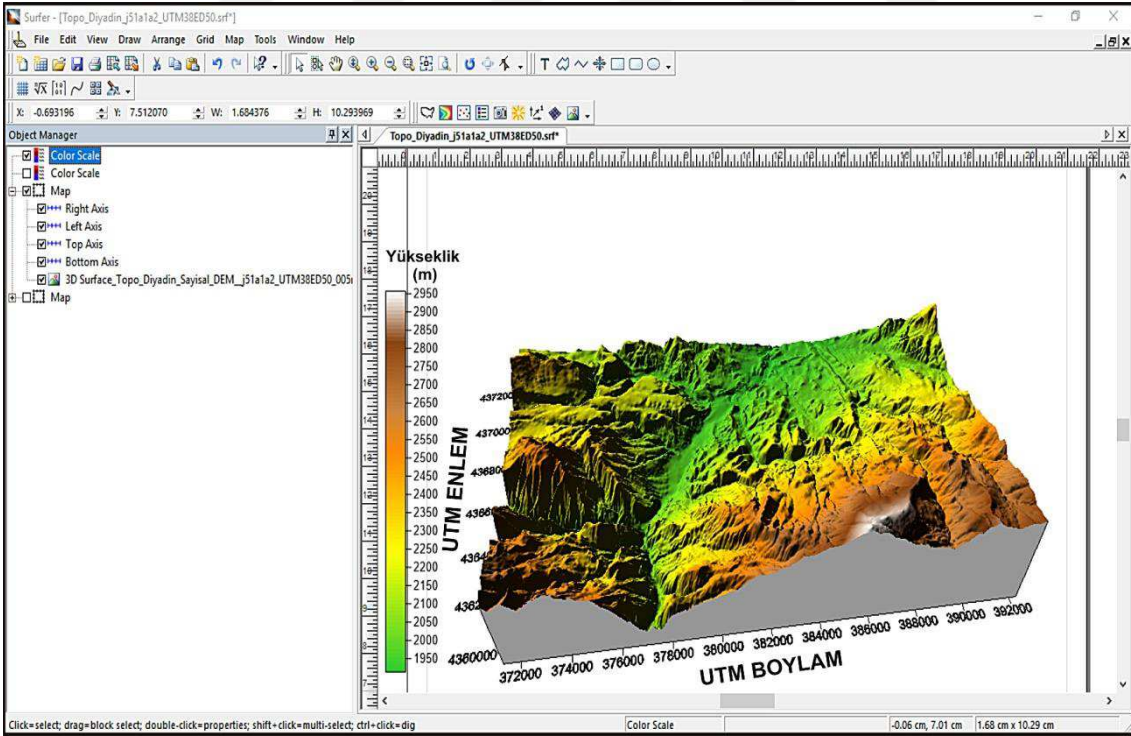
Üçüncü aşamada, Kriging yöntemiyle oluşturulan grid verisinden yapay ışıklandırmalı görünüm elde edilerek (Şekil 3.6 ve 3.7) inceleme alanının üç boyutlu yüzey modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.8).



Şekil 3.6. Grid verisinin yapay ışıklandırmalı görünümü.



Şekil 3.7. Grid verisinin yapay ışıklandırılmış kabartılmış görünümü.



Şekil 3.8. İnceleme alanının üç boyutlu yüzey modeli.



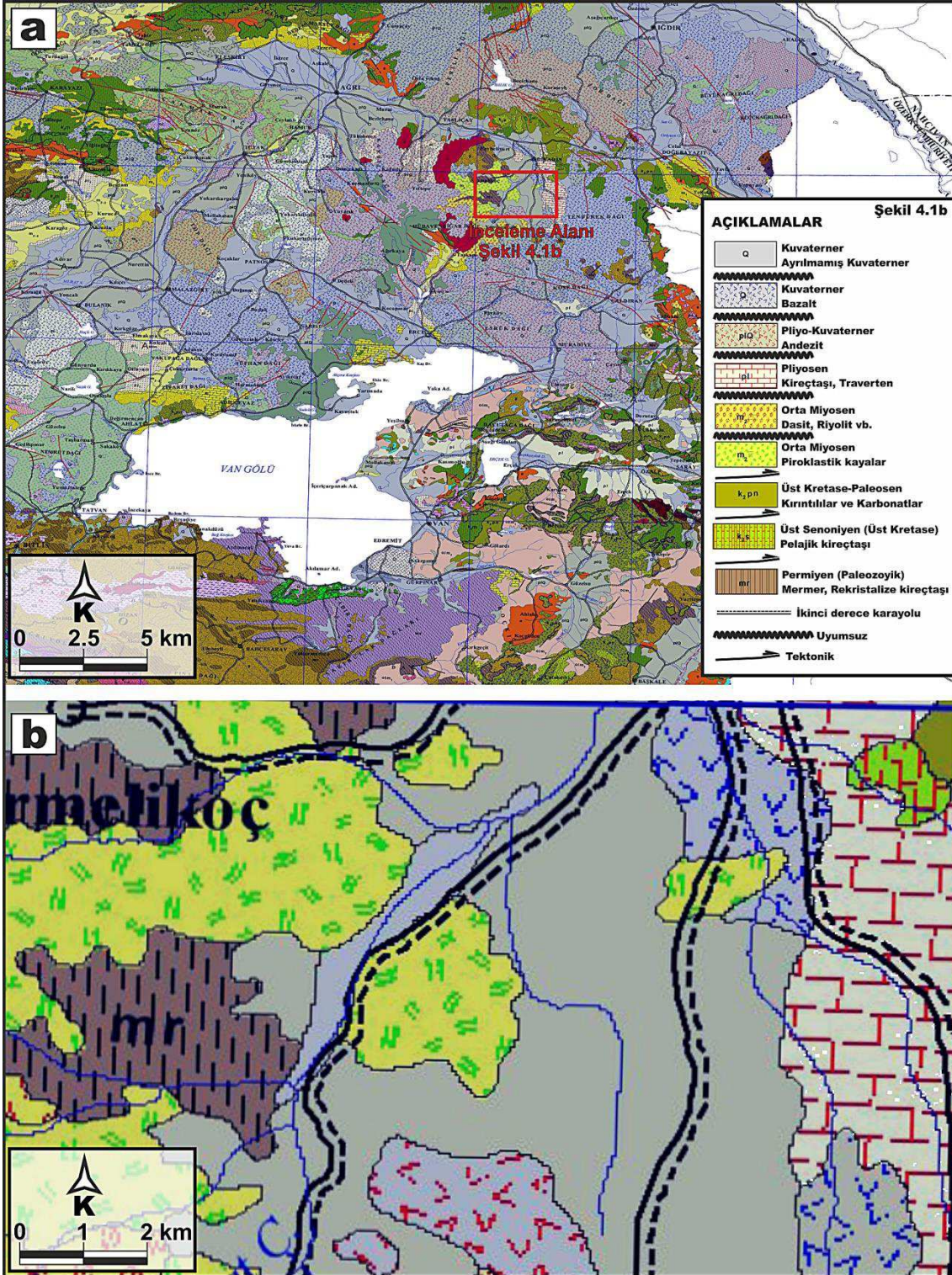
4. BULGULAR

4.1. İnceleme Sahası ve Çevresinin Genel Jeolojik, Jeotermal ve Hidrojeokimyasal Değerlendirmeleri

Stratigrafik jeolojiye yönelik genel değerlendirmelerin yapıldığı bazı çalışmalarda (Şaroğlu ve Güner, 1981; Şaroğlu ve Yılmaz, 1984; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986), Doğu Anadolu'nun jeolojisinin dört dönemden oluştuğu ifade edilmiştir.

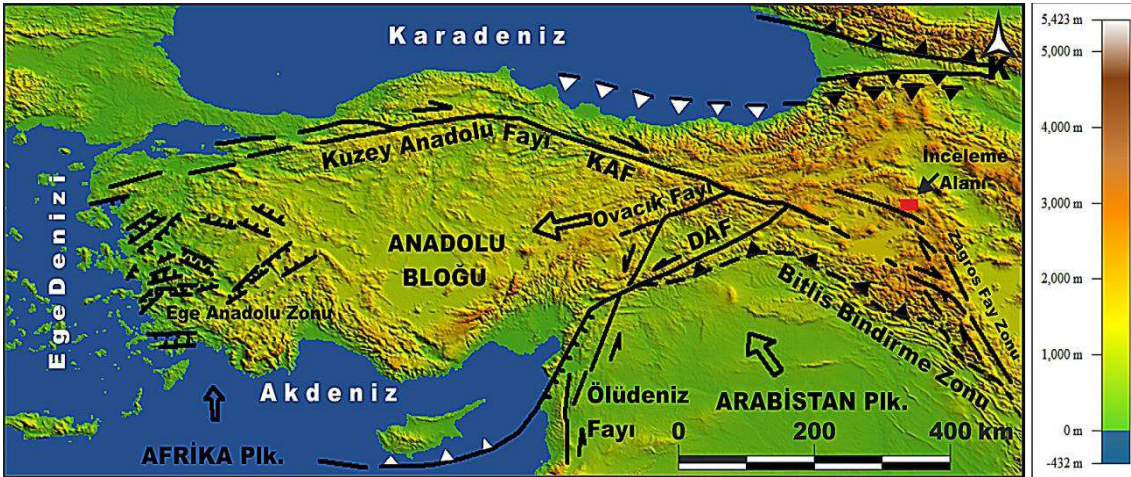
Yazarlara göre; 1. Dönem, gnaystan, meta-volkanitlerden, mikaşistlerden ve mermerlerden oluşan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalardan; 2. Dönem, Üst Kretase'de birinci dönem kayalarının üzerine tektonik dokanak ile yerleşen kumtaşı, pelajik kireçtaşı ve serpantinlerden oluşan ofiyolitik kayalardan; 3. Dönem, Eosen-Alt Miyosen yaşlı miltaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan çökel bir istiften; 4. Dönem, Üst Miyosen'den günümüze kadar süregelen karasal ve gölsel ortamlarda çökelen birimleri karakterize eden tuf, aglomera, bazalt, andezit ve riyolitten oluşmuştur.

İnceleme alanı, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Van paftasında yer almaktadır (Şekil 4.1a). Doğu Anadolu'nun stratigrafik jeolojisine yönelik bilim insanları tarafından dört dönem olarak değerlendirilmelerin yapıldığı araştırmalara göre; inceleme alanında yüzeyleyen Permien yaşlı mermer ve rekristalize kireçtaşı birinci döneme, Üst Kretase yaşlı pelajik kireçtaşı ikinci döneme, Üst Kretase-Paleosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar üçüncü döneme, Orta Miyosen yaşlı piroklastik kayalar, dasit, riyolit ve Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kireçtaşı, traverten, andezit, bazalt ve ayrılmamış Kuvaterner birimleri ise dördüncü döneme karşılık gelmektedir (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1. İnceleme alanının 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Van paftası üzerinde yer alan jeolojik birimlerle konumsal ilişkisi (Şenel ve Ercan, 2002'den uyarlanmıştır) a. inceleme alanının (kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir) harita üzerindeki görünümü, b. inceleme alanının sınırları kapsamında yer alan jeolojik birimlerin görünümü.

Tektonik amaçlı genel değerlendirmelerin yapıldığı bazı çalışmalarda; Doğu Anadolu'da, neotektonik rejim başlangıcının Miyosen devresinde, günümüzden önceki yaklaşık 10-14 milyon yıl aralığını kapsayan Serravaliyen katının son dönemlerinde olduğu bilim insanları (Şengör ve Kidd, 1979; Şaroğlu ve Güner, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey ve ark., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986) tarafından ifade edilmektedir. Bu araştırmalarda Doğu Anadolu neotektonik rejimi, yaklaşık 12 milyon yıl önce Arap ve Avrasya plakalarının kıta-kıta çarpışması sonrasında gelişen daralmalı kuzey-güney sıkıştırmasıyla ilişkili olarak ele alınır. Bilindiği gibi bu kıta-kıta çarpışmasının meydana geldiği bölgede, jeolojik bir yapı olarak Bitlis Kenet Kuşağı adı verilen, İran sınırlarına kadar uzanan ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ni kuzeyden sınırlayan kıvrımlı dağ kuşağı oluşmuştur. Bazı daha yeni araştırmalarda günümüzden yaklaşık 4 milyon yıl önceki döneme karşılık gelen Geç Miyosen sonu ile Erken Pliyosen sonu arasındaki dönemde, sıkışma-kısalma ile temsil edilen tektonik rejimin, ancak Bitlis Kenet Kuşağı boyunca etkin olabileceğinden söz edilmektedir (Koçyiğit ve ark., 2001). Bu görüşü destekleyen bazı daha önceki çalışmalarda, Erken Pliyosen'in sonlarında sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı, sol yönlü Doğu Anadolu Fayı ve ikisi arasında daha sonra Afrika okyanusal litosferine doğru kaçmaya başlayan Anadolu Plakası olmak üzere başlıca üç ana yapının meydana geldiği ele alınır (Hempton, 1987; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Şekil 4.2).

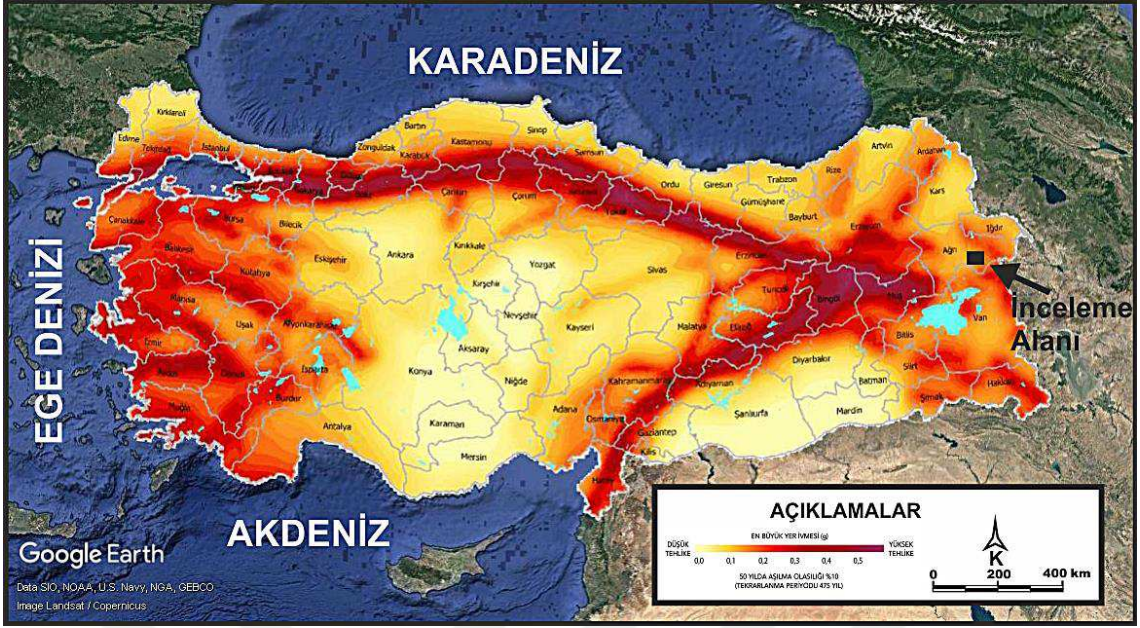


Şekil 4.2. İnceleme alanının (kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir) Türkiye'nin ana neotektonik yapılarıyla konumsal ilişkisi (Köse, 2000'den uyarlanmıştır; Barka ve Gülen, 1989'dan sonra).

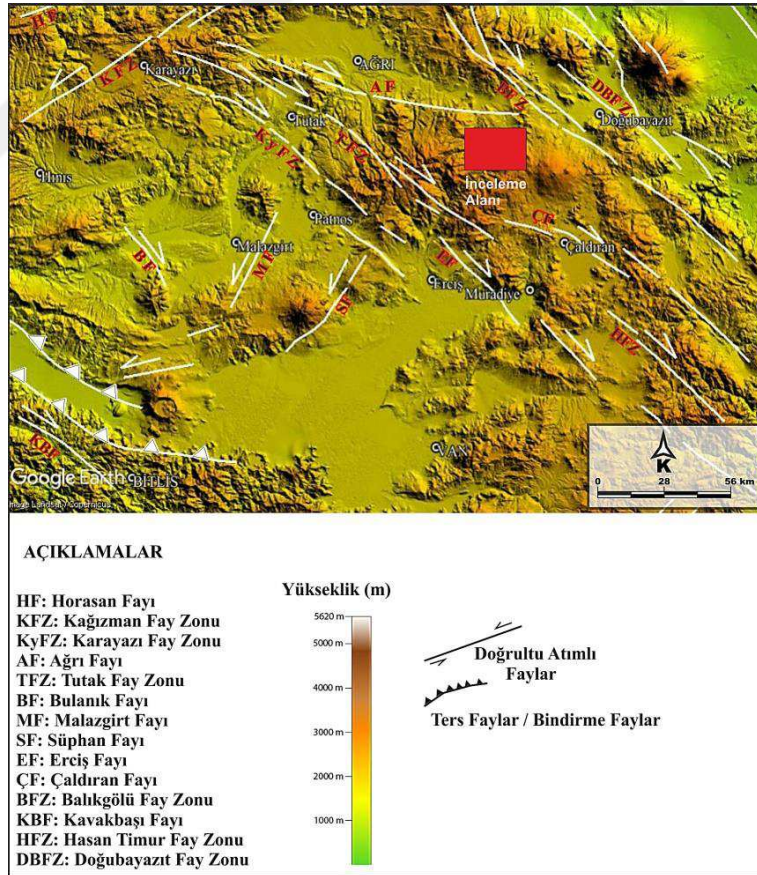
Doğu Anadolu Bölgesi'nin Üst Kretase'den itibaren K-G doğrultulu olarak sıkıştığı bilinmektedir (Mc Kenzie, 1972; Le Pichon ve ark., 1973; Morelli, 1978). Bu sıkışma, Doğu Anadolu'da D-B yönlü kıvrımları, D-B ve K-G yönlü yüksek açılı bindirmeleri, açılma bileşenli KD-GB veya KKD-GGB yönlü sol yönlü doğrultu atımlı fayları, BKB-DGD veya KB-GD yönlü bindirme bileşenli sağ yönlü doğrultu atımlı fayları ve açılma çatlaklarını geliştirmiştir. Bitlis Kenet Kuşağında kıtasal çarpışma sonrasında gelişen bu yapılar, Doğu Anadolu'da K-G yönlü sıkışmalı-daralmalı ve D-B yönlü uzamalı-genişlemeli bir tektonik rejimi meydana getirirken, diğer taraftan kıtasal kabuğun kalınlaşmasına bağlı olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nin yükselmesine neden olmuşlardır (Şaroğlu ve Yılmaz, 1984; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986).

K-G yönlü sıkışmalı-daralmalı ve D-B yönlü uzamalı-genişlemeli bir tektonik rejime bağlı olarak meydana gelen sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile açılma çatlakları, Şaroğlu ve Yılmaz (1984) tarafından incelenmiştir. Bilim insanlarına göre, sol yönlü doğrultu atımlı fayları; Malazgirt Fayı, Süphan Fayı, Kağızman Fayı ve Erzurum Fayı oluştururken, sağ yönlü doğrultu atımlı fayları ise; Çaldıran Fayı, Balık Gölü Fayı, Tutak Fayı, Hasan Timur Fayı ve Erciş Fayı oluşturmaktadır. Aynı çalışma içerisinde açılma çatlakları da incelenmiş ve bu açılma çatlaklarının Nemrut ile Tendürek volkanlarında K-G yönünde, Ağrı volkanında ise KKB-GGD yönünde oluştuğu ifade edilmiştir.

Bozkurt (2001) ve Eren (2009), Kuzey ve Doğu Anadolu Fay zonlarına paralel olarak gelişen sol ve sağ yönlü doğrultu atımlı fayların, Doğu Anadolu sıkışma bölgesinin en karakteristik yapıları olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla, Doğu Anadolu sıkışma bölgesinde ve 2018 yılında Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında desteklenen UDAP-Ç-13-06 kod no'lu "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi" başlıklı projenin sonuçları kullanılarak Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinde 0.1 g - 0.2 g yer ivmesine karşılık gelen bir alanda yer alan inceleme alanını (Şekil 4.3) içine alan Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki doğrultu atımlı fayların, sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı'nın ve sol yönlü Doğu Anadolu Fayı'nın doğrultu atım bileşenleri ile paralellik gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.4).

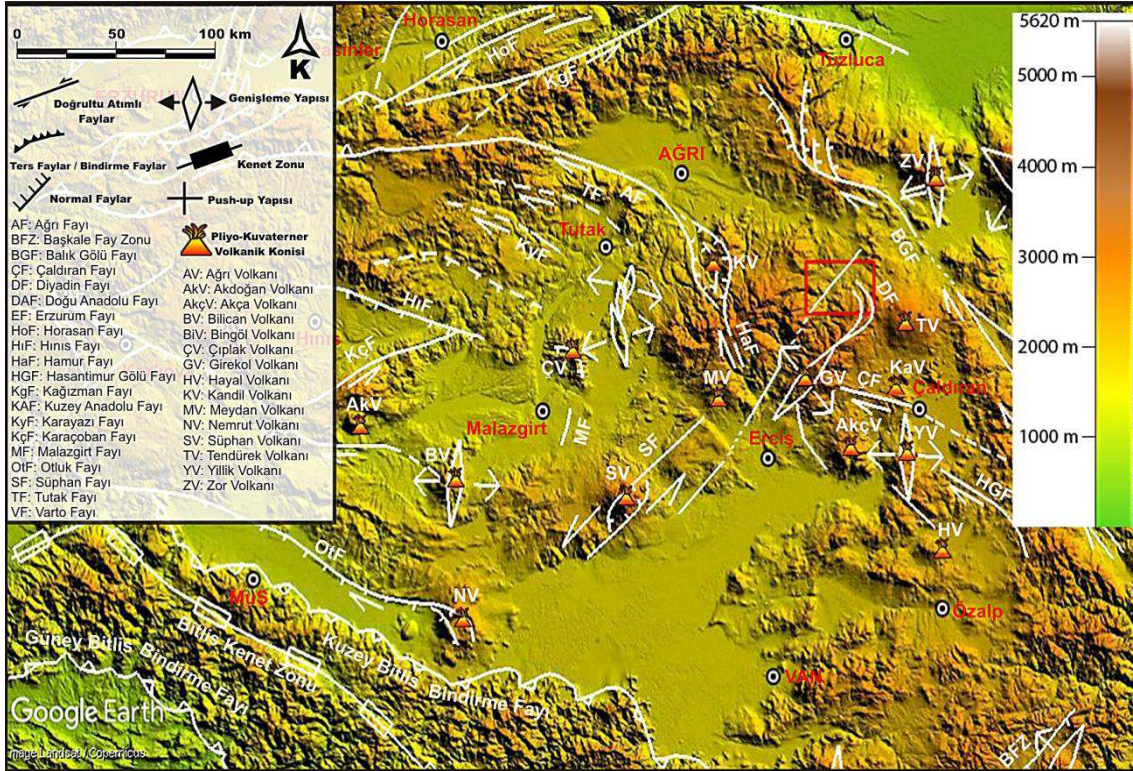


Şekil 4.3. İnceleme alanının (siyah çerçeve ile gösterilmiştir) Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinde görünümü (AFAD, 2018'den uyarlanmıştır).



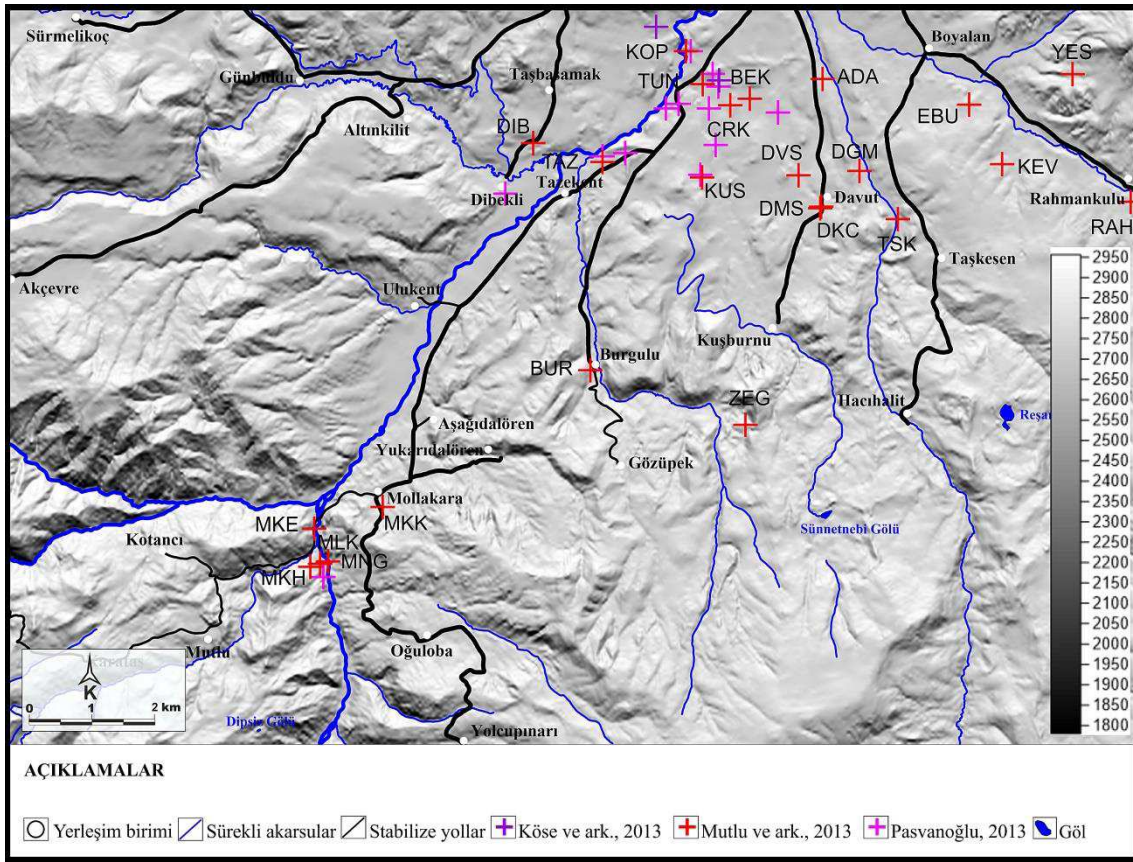
Şekil 4.4. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonları ile paralellik gösteren doğrultu atımlı fayların inceleme alanı ve yakın çevresiyle konumsal ilişkisi (Bozkurt, 2001'den uyarlanmıştır).

Neotektonik dönemde etkili olmaya başlayan volkanizmaya yönelik genel değerlendirmelerin yapıldığı bazı çalışmalarda; inceleme alanının da içinde bulunduğu Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki volkanik etkinliklerin, Orta-Üst Miyosen'den itibaren başladığı ele alınmıştır (Savcı, 1980; Şaroğlu ve Güner, 1981; Şaroğlu ve Yılmaz, 1984). Bu çalışmalarda, kalkalen volkanizmaya birlikte alkalen volkanizmanın görüldüğü ve Süphan, Ağrı volkanlarının kalkalen nitelikte, Nemrut ve Tendürek volkanlarının ise alkalen nitelikte olduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmalarda, Doğu Anadolu Bölgesi'nde K-G sıkışma yönüne paralel olarak gelişen sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin etkisiyle doğrultu atımlı fayların aralıklı bir şekilde aşmalar ve sıçramalar yapması sonucunda bloklar arasında oluşan K-G yönlü açılma çatlaklarından magma çıkışlarının olduğu ve bu çıkışların da Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Bingöl, Pliyosen yaşlı Bilican ve Zor, Kuvaterner yaşlı Ağrı, Tendürek, Süphan ve Nemrut gibi volkanları oluşturduğu ifade edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. İnceleme alanının (kırmızı çerçeve ile gösterilmiştir) Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanlarla ve tektonik yapılarla konumsal ilişkisi (Dhont ve Chorowicz, 2006'dan uyarlanmıştır).

Diyadin (Ağrı) yöresinde gerçekleştirilen ve inceleme alanını kapsayan alanda jeotermal amaca yönelik genel değerlendirmelerin yapıldığı bazı çalışmalar; Erişen ve ark. (1996), Aydoğan (2000), Zaman ve ark. (2000), Akkuş ve ark. (2005), Bozdağ ve Aydoğan (2009), Pasvanoğlu ve Güler (2010), Köse ve ark. (2013), Mutlu ve ark. (2013) ve Pasvanoğlu (2013) tarafından yapılmış ve bu çalışmalarda benzer hidrojeokimyasal sonuçlar elde edilmiştir. Köse ve ark. (2013), Mutlu ve ark. (2013) ve Pasvanoğlu (2013) tarafından yapılan çalışmalarda, inceleme alanını kapsayan alana karşılık gelen su noktaları Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. İnceleme alanını kapsayan alandan toplanan su noktalarının grid verisinin yapay ışıklandırmalı kabartılmış haritası üzerinde görünümü.

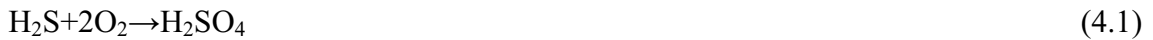
Diyadin (Ağrı) yöresinde gerçekleştirilen çalışmalar içerisinde, inceleme alanını detaylandıran ve Diyarbakır (Ağrı) jeotermal alanını kapsayan bir çalışma olarak aşağıda sunulan bilgiler, Mutlu ve ark. (2013)’ten özetlenmiştir.

Diyadin (Ağrı) jeotermal alanında 2010 yılında örneklenen 23 adet su örneğinin laboratuvar analiz sonuçlarından da görülebileceği gibi bu suların sıcaklık aralığının

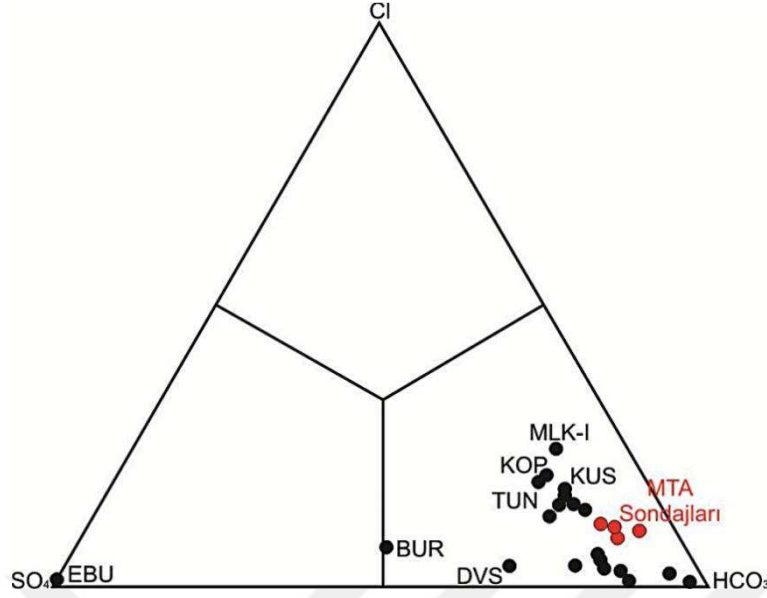
9.3-65.5 °C, pH değerlerinin 2.38-8.43, HCO₃ değerlerinin sıcak sularda 585-875 mg/l ve soğuk sularda 60-575 mg/l, CO₂ değerlerinin ise soğuk sularda 0.6 mg/l-84 mg/l ve sıcak sularda 30 mg/l-126 mg/l arasında değiştiği ifade edilmektedir (Mutlu ve ark., 2013; Çizelge 4.1). Çizelge 4.1’de yer alan laboratuvar analiz sonuçlarında, 2010 yılında örneklenen 23 adet jeotermal kaynağın sıcaklık değerlerinin 9.3-65.5 °C arasında değiştiği görülse de 2010 yılından sonra gerçekleştirilen çalışmalarda güncel sondaj verilerinde, örneklenen bu suların 65.5 °C’ye kadar değişim gösteren sıcaklık değerlerinin 90-100 °C gibi daha yüksek sıcaklığa vardığı gözlenmektedir.

Diyadin (Ağrı) jeotermal alanından örneklenen su numunelerinin kökensel ilişkilerini yorumlamak amacıyla Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramı oluşturulmuş ve oluşturulan diyagramda örneklenen tüm suların Cl ve SO₄ değerlerinin düşük, HCO₃ değerlerinin ise yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.7). Şekil 4.7’den de görülebileceği gibi MLK, KOP, KUS, TUN jeotermal kaynakların Cl içeriklerinin örneklenen diğer jeotermal kaynaklara göre yüksek olmaları, yeraltındaki su-kayaç etkileşim sürelerinin yüksek olduğunu göstermektedir.

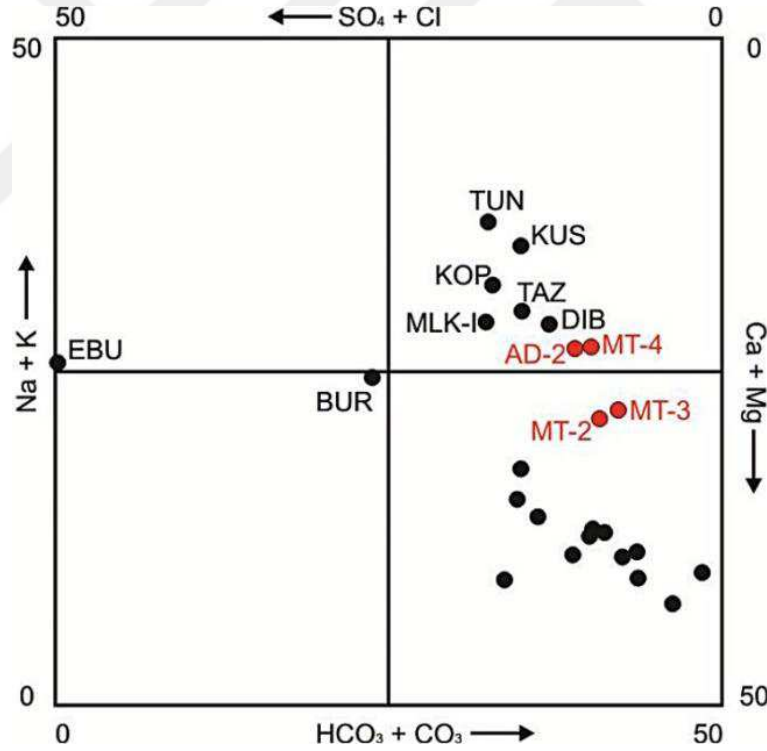
Yeraltının derin seviyelerinde bulunan temel kayaçtan yayılan ısı veya buhar ile birlikte taşınan H₂S ve SO₂ gazları, yüzeye yükseldikleri zaman oksitlenirler “Eş. 4.1” veya yeraltısuyu ile tepkimeye girerler “Eş. 4.2”. Kimyasal tepkimeye giren bu gazlar, sülfürik asiti meydana getirmekte ve sülfat değerini arttırarak pH içeriğini düşürmektedir. Dolayısıyla, inceleme alanından örneklenen BUR, CRK ve EBU jeotermal kaynakların asidik olmaları nedeniyle (pH > 7), SO₄ değerlerinin yüksek oranda ve pH değerlerinin ise düşük oranda oldukları Şekil 4.7’de görülmektedir.



Diyadin (Ağrı) jeotermal sahasından alınan örnekler için hazırlanan Langelier - Ludwig diyagramında (Şekil 4.8), TUN, KOP, KUS, TAZ, MLK, DIB sıcaksu kaynaklarının Na-HCO₃ tipinde ve soğuksu kaynaklarının ise Ca-HCO₃ tipinde oldukları görülmektedir.



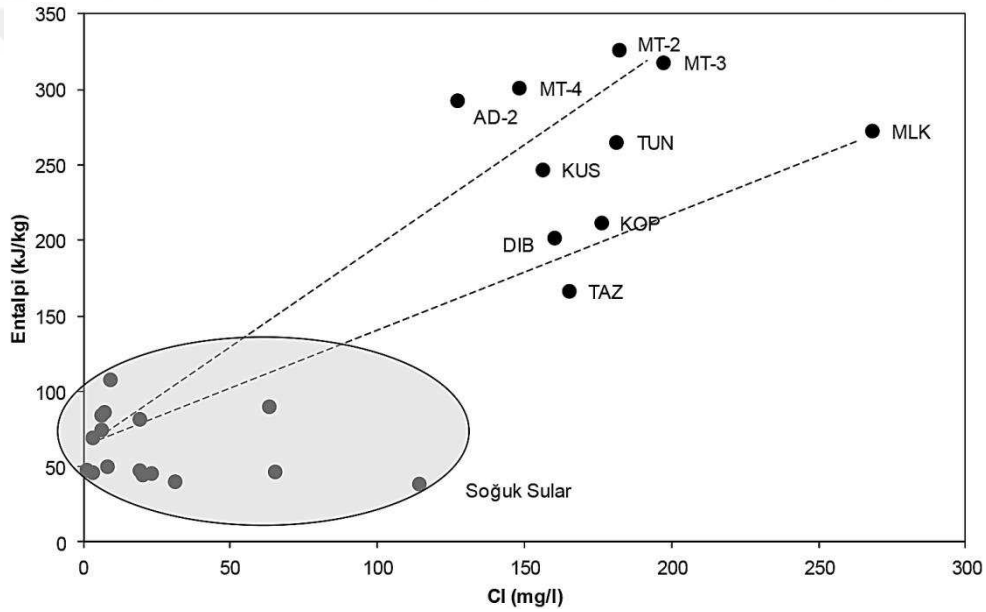
Şekil 4.7. Diyarın sahasındaki kaynak ve sondaj suları için Cl-HCO₃-SO₄ üçgen diyagramı (Mutlu ve ark., 2013'ten aynen alınmıştır).



Şekil 4.8. Diyarın sahasındaki kaynak ve sondaj suları için Langelier-Ludwig diyagramı (Mutlu ve ark., 2013'ten aynen alınmıştır).

Cl-Entalpi diyagramında, Diyarın (Ağrı) jeotermal alanından örneklenen su numunelerinin alandan örneklenen diğer su numuneleriyle karışım süreçleri değerlendirilmiş ve bu diyagramda iki farklı sıcaksu karışım doğrusunun oluştuğu tespit

edilmiştir. Birinci sıcaksu karışım doğrusunun MLK-KOP-DIB-TAZ sıcaksu kaynaklarından, ikinci sıcaksu karışım doğrusunun ise, MT-3 - MT-2 - MT-4 - AD-2 sondaj sularından oluştuğu Şekil 4.9'da görülmektedir. Cl-Entalpi diyagramından, Diyardin (Ağrı) jeotermal alanından örneklenen DIB, KOP, KUS, MLK, TAZ, TUN jeotermal kaynakların ve MT-2, MT-3, MT-4, AD-2 sondaj ve kuyu sularının sıcak bir rezervuardan boşaldığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.8'de sıcak suların Na-HCO₃ ve soğuk suların ise Ca-HCO₃ tipinde oldukları görülmektedir. Dolayısıyla sıcak ve soğuk suların farklı tiplerde olması nedeniyle, bu suların farklı litolojileri temsil eden rezervuarlardan boşaldıkları çalışma içerisinde ifade edilmiştir (Mutlu ve ark., 2013; Şekil 4.9).

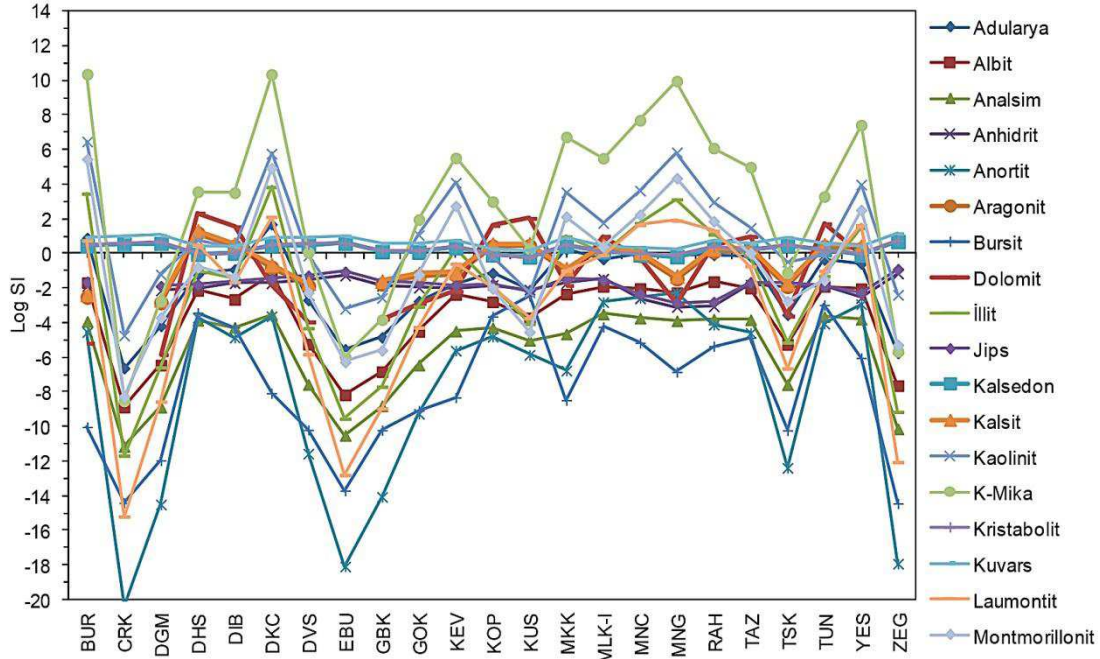


Şekil 4.9. Diyardin alanındaki su kaynakları için oluşturulan Cl-Entalpi diyagramı (Mutlu ve ark., 2013'ten aynen alınmıştır).

Sıcak sulardan çökme ihtimalleri daha yüksek olan hidrotermal mineralleri için, 25-200 °C sıcaklık aralığı esas alınmış ve PHREEQC (Parkhurst ve Appelo, 1999) yazılımı ile minerallerin doygunluk indeksleri (SI) oluşturulmuştur (Şekil 4.10).

Hidrotermal minerallerinin çökme durumlarının incelendiği doygunluk indeksi diyagramlarında, bir mineral grubunun belirli bir sıcaklıkta log SI=0 dengesine yakınsamasının, rezervuar sıcaklığının log SI=0 denge durumuna yakınsama gösteren o mineral grubunun sıcaklığını yansıttığı ifade edilmiştir (Nordstrom ve Munoz, 1986; Mutlu, 1998; Mutlu ve ark., 2013).

Sıcak suların ve bazı kil minerallerinin dengede ($\log SI=0$) veya $\log SI=0$ denge durumunun üzerinde olması, soğuk suların ve feldspat minerallerinin $\log SI=0$ denge durumunun altında olması, Diyadin (Ağrı) jeotermal alanından örneklenen suların düşük sıcaklığa sahip bir rezervuardan boşaldığını göstermektedir (Şekil 4.10).

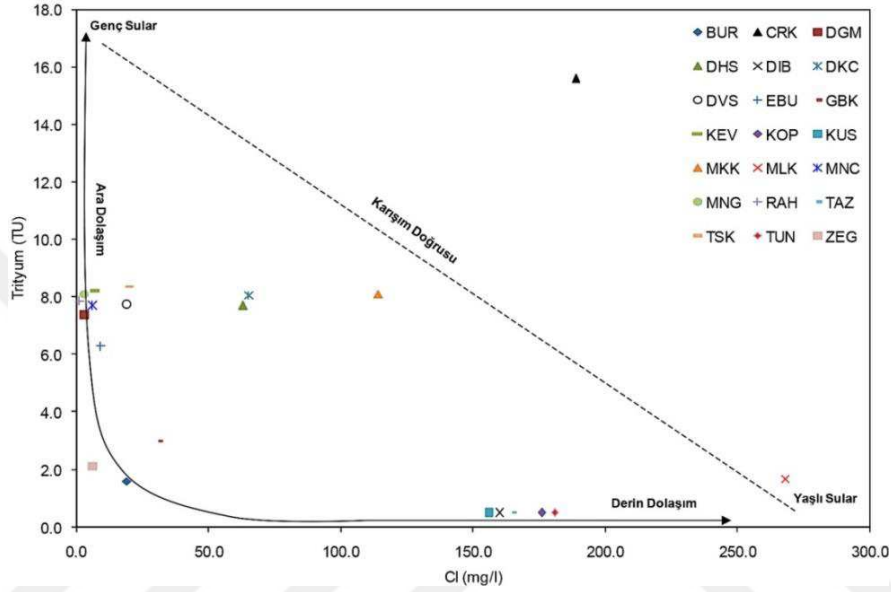


Şekil 4.10. Diyadin suları için ölçülen sıcaklıklarda hesaplanan mineral doygunluk indeksleri (Mutlu ve ark., 2013'ten aynen alınmıştır).

Oksijen ve hidrojen izotop değerlerinin sonuçlarından Diyadin (Ağrı) jeotermal alanından örneklenen suların meteorik kökene sahip oldukları belirlenmiş ve jeotermal kaynakların beslenme yüksekliklerinin oksijen izotopunun yükseklik denklemiyle 2211-3460 m ve hidrojen izotopunun yükseklik denklemiyle 2165-3172 m olarak hesaplandığı ifade edilmiştir (Aydın ve ark., 2009; Mutlu ve ark., 2013).

Diyadin (Ağrı) jeotermal alanından örneklenen su numunelerinin trityum değerlerinin <1.0 ile 15.6 ± 0.40 TU arasında değiştiği ve DIB, TAZ, TUN, KUS ve KOP sıcak su kaynaklarının trityum değerlerinin <1.0 TU olduğu, soğuksu kaynaklarının trityum değerlerinin ise 1.58-8.35 TU arasında değiştiği ifade edilmiştir (Mutlu ve ark., 2013; Şekil 4.11). Bu değerler, DIB, TAZ, TUN, KUS ve KOP sıcak su kaynaklarının derin dolaşımli olduklarını göstermektedir. DIB, TAZ, TUN, KUS, KOP ve MLK sıcak su kaynaklarının Cl içeriklerinin yüksek buna karşın trityum (3H) içeriklerinin

düşük olması nedeniyle, bu suların Diyadin (Ağrı) jeotermal sisteminin derin dolaşımli yeraltısuyunu karakterize ettiği ve soğuksu kaynaklarının Cl içeriklerinin düşük buna karşın trityum (^3H) içeriklerinin yüksek olması nedeniyle, bu suların da Diyadin (Ağrı) jeotermal sisteminin ara (sığ) dolaşımli yeraltısuyunu karakterize ettiği Şekil 4.11’de görülmektedir.



Şekil 4.11. İnceleme alanındaki kaynak suları için hazırlanan ^3H -Cl grafiği (Mutlu ve ark., 2013’ten aynen alınmıştır).

4.2. İnceleme Alanının Stratigrafik Jeoloji Özellikleri

Diyadin (Ağrı) yöresinin yakın güneyinde yer alan inceleme alanında Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı değişik kaya birimleri mostra vermektedir (Şekil 4.12 ve 4.13).

İnceleme alanında Kotancı köyünün kuzeybatısında ve Sürmelikoç köyünün güneyinde dar bir alanda yüzeyleyen granitlerin (Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14), MTA tarafından yapılan çeşitli ölçeklerdeki jeolojik haritaların bazılarında Permiyen (Paleozoyik), diğer bazı ölçeklerdeki haritaları ile diğer birçok bilimsel çalışmada da Paleosen-Eosen yaşında oldukları ifade edilmiştir. Ancak, inceleme alanı içerisinde ve yakın çevrelerde granitler üzerine son yıllarda gerçekleştirilen bir dizi çalışmada, bu granitlerin önceden bilinenden çok daha farklı yaşlarda oldukları belirlenmiştir (Açlan ve Turgut, 2017; Altun, 2017; Duruk, 2017; Turgut, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan

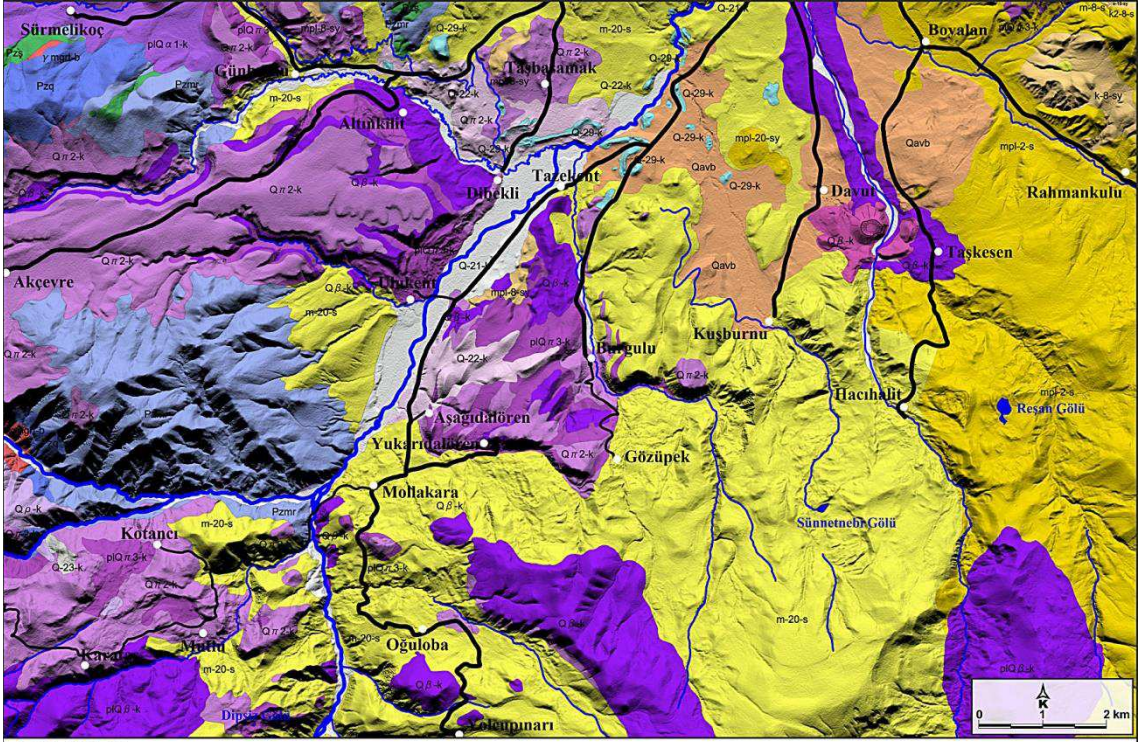
ve Duruk, 2018; Davran, 2018; Açlan ve Davran, 2019). Bu son araştırmalara göre, inceleme alanındaki granitler, Taşlıçay Batoliti olarak isimlendirilen intrüzif birimler içerisinde yer almaktadır. Taşlıçay Batoliti 22 km uzunluğu ve 5 km genişliğiyle Doğu Anadolu'da bulunan en büyük intrüzif kütlelerden birisidir. Batolit başlıca S-tipi (tonalit, granodiyorit, monzogranit, granit) ve I-tipi (gabro, diyorit, kuvarslı diyorit, monzodiyorit, kuvarslı monzodiyorit) granitoitik kayalardan oluşmaktadır. Tüm kayacın ana ve eser element jeokimyasal yorumlamaları ile bu granitoidlerin, alt kıtasal kabuktan türeyen felsik magma ile litosferik mantodan türeyen mafik magmaların karışması ile meydana gelen hibrid kalkalkalen magmadan itibaren fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon fraksiyonel kristallenme süreçleri sonucu kristallendikleri ortaya konulmuştur. Zirkon U-Pb yöntemi ile yapılan yaş verileri (19.7 ± 0.3 My; 20.3 ± 0.3 My) çarpışma ile eş zamanlı Taşlıçay Batoliti'nin Erken Miyosen döneminde kristallendiğini, dolayısıyla Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı boyunca gelişen kıta-kıta çarpışmasının Erken Miyosen (Burdigaliyen) veya Miyosen öncesinde gerçekleşmesi gerektiği sonucunu ortaya çıkarmıştır (Açlan ve Duruk, 2018). Bu nedenle, inceleme alanı ve yakın dolaylarını kapsayan alanda granitler üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar göz önünde bulundurulmuş ve granitlerin yaşı, bu tez çalışmasındaki stratigrafik kesitte Alt Miyosen (Burdigaliyen) ve γ Pzj-p olarak tanımlanan stratigrafik simge adlandırması ise γ mgrt-b olarak değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 4.12 ve 4.13).

İnceleme alanı için hazırlanmış olduğumuz ayrıntılı jeoloji haritasında, ignimbiritler, bazaltlar ve tüflerden oluşan, kaynağı inceleme sahasının dışında olup özellikle sahanın batı kesiminde geniş yayılım veren volkanik ürünler için benzer renkler kullanılırken, inceleme sahasının içerisinde ve doğu kesimindeki Davut volkanından akan volkanik ürünlerin renkleri, dış kaynaklı ürünlerle karıştırılmaması amacıyla, farklı bir renk ile gösterilmiştir (Şekil 4.13). Ayrıca, inceleme alanında yaygın olarak yüzeyleyen volkanik ve piroklastiklerden oluşan saha dışı kaynaklı üst örtü birimlerin neredeyse tamamının, Ağrı il merkezinden Patnos (Ağrı) ilçe merkezine ve Erciş (Van) ilçe merkezinden Taşlıçay'a (Ağrı) kadar geniş bir ürün yayılımı veren Aladağlar Volkanik Kompleksi'ne (bkz. Şekil 4.15 ve 4.33) ait olduğu düşünülmektedir.

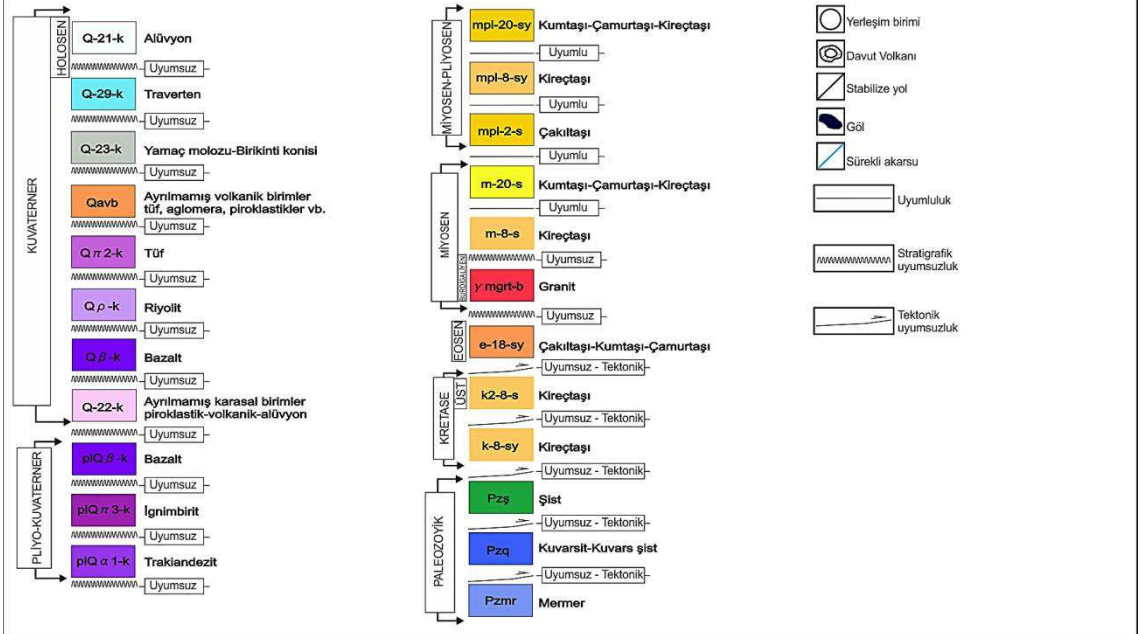
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR	
SENOZOYİK	KUVATERNER	HOLOSEN		Q-21-k		Alüvyon, Karasal, Çökel Kaya	
				Uyumsuz			
				Q-29-k		Traverten, Karasal, Çökel Kaya	
				Uyumsuz			
				Q-23-k		Yamaç molozu-Birkinti konisi, Karasal, Çökel Kaya	
				Uyumsuz			
				Qavb		Ayrılmamış volkanik birimler (tüf-aglomera-piroklastikler vb), Karasal, Volkanik Kaya	
				Uyumsuz			
				Q π 2-k		Tüf, Karasal, Volkanik Kaya	
				Uyumsuz			
				Q ρ -k		Riyolit, Karasal, Volkanik Kaya	
				Uyumsuz			
				Q β -k		Bazalt, Karasal, Volkanik Kaya	
				Uyumsuz			
	Q-22-k		Ayrılmamış karasal birimler (piroklastik-volkanik-alüvyon), Karasal, Çökel Kaya				
	Uyumsuz						
	TERSİYER	PLİYO-KUVATERNER			pIQ β -k		Bazalt, Karasal, Volkanik Kaya
					Uyumsuz		
					pIQ π 3-k		İgnimbirit, Karasal, Volkanik Kaya
					Uyumsuz		
pIQ α 1-k						Trakiandezit, Karasal, Volkanik Kaya	
Uyumsuz							
MİYOSEN-PLİYOSEN					mpl-20-sy		Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı, Şelf-Yamaç, Çökel Kaya
					Uyumlu		
					mpl-8-sy		Kireçtaşı, Şelf-Yamaç, Çökel Kaya
					Uyumlu		
MİYOSEN	BURDIGALYEN			mpl-2-s		Çakıltası, Şelf, Çökel Kaya	
				Uyumlu			
				m-20-s		Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı, Şelf, Çökel Kaya	
				Uyumlu			
				m-8-s		Kireçtaşı, Şelf, Çökel Kaya	
				Uyumsuz			
HOLOSEN				γ mgt-b		Granit, Derinlik Kaya	
				Uyumsuz			
				e-18-sy		Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı, Şelf-Yamaç, Çökel Kaya	
				Uyumsuz-Tektonik			
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE		k2-8-s		Kireçtaşı, Şelf, Çökel Kaya	
				Uyumsuz-Tektonik			
				k-8-sy		Kireçtaşı, Şelf-Yamaç, Çökel Kaya	
Uyumsuz-Tektonik							
PALEOZOYİK				Pzş		Şist, Metamorfik Kaya	
				Uyumsuz-Tektonik			
				Pzq		Kuvarsit-Kuvars şist, Metamorfik Kaya	
Uyumsuz-Tektonik							
				Pzmr		Mermer, Metamorfik Kaya	

ÖLÇEKSİZ

Şekil 4.12. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlere ilişkin genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Aslan ve ark., 1991'den; Burçak ve ark., 1997'den; Zaman ve ark., 2000'den; Pasvanoğlu ve Güler, 2010'dan; Çoban, 2011'den; Çolakoğlu ve ark., 2011'den; Mutlu ve ark., 2013'ten; Pasvanoğlu, 2013'ten ve arazi gözlem verilerinden uyarlanmıştır).



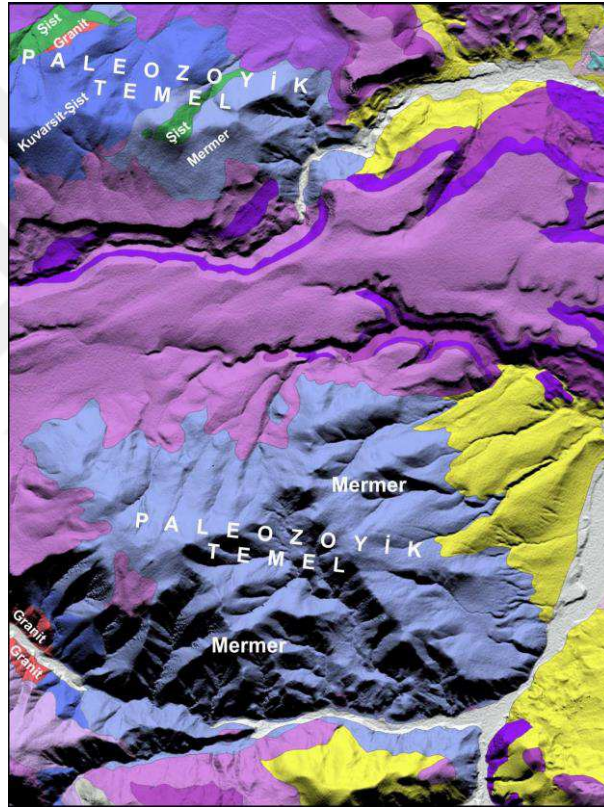
AÇIKLAMALAR



Şekil 4.13. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerin ayrıntılı jeoloji haritası (Aslan ve ark., 1991'den; Burçak ve ark., 1997'den; Zaman ve ark., 2000'den; Pasvanoğlu ve Güler, 2010'dan; Çoban, 2011'den; Çolakoğlu ve ark., 2011'den; Mutlu ve ark., 2013'ten; Pasvanoğlu, 2013'ten ve arazi gözlem verilerinden uyarlanmıştır).

4.2.1. Paleozoyik

Metamorfik birimlerden oluşan Paleozoyik temeli; mermer, kuvarsit, kuvars şist ve şist birimlerinin oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4.12 ve 4.13). Bu birimler, Murat Nehri vadisinin batı kesiminde, inceleme sahasının batı (Mollakara, Kotancı, Akçevre, Ulukent arasında) ve kuzeybatı (Sürmelikoç ve Günbuldu köyleri arasının güneyi ile Altinkilit köyünün kuzeyi) bölgelerinde genellikle yüksek kotlarda geniş yayılım vermektedir (Şekil 4.13 ve 4.14).



Şekil 4.14. İnceleme sahasının batı kesiminde yayılım gösteren gözlenen Paleozoyik temel ve mermerlerin görünümü.

Mermerler, grimsi renkte ve kalsit damarlı olarak Mollakara köyünün batı ve güneybatısında Murat vadisi tabanına kadar inmektedir (Şekil 4.14). Ayrıca inceleme alanında yer alan mermerlerin, bünyelerindeki yoğun kırıkların da katılımıyla, bölgedeki jeotermal ve mineralli suların ana veya birincil rezervuarını oluşturdukları düşünülmektedir.

4.2.2. Mesozoyik

Kretase ve Üst Kretase yaşlı birimleri kireçtaşları oluşturmaktadır (Şekil 4.12). Bu birimler, inceleme alanında sadece Rahmankulu köyünün kuzeyi ile Boyalan köyünün doğusu arasında kalan dar bir alanda yüzeylemiştir (Şekil 4.13).

4.2.3. Senozoyik

Paleozoyik yaşlı mermerler birincil rezervuarı oluştururken, ikincil rezervuarı da Eosen, Miyosen ve Miyo-Pliyosen yaşlı Senozoyik seriler içerisindeki çakıltaşları ve kireçtaşları ile düşük kotlardaki bazı sondajlarda karşılaşılan genç gölsel ortamlarda çökelmiş kireçtaşlarının oluşturduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan daha önceki bazı çalışmalarda (örn. Pasvanoğlu ve Güler, 2010) inceleme alanımız içerisinde kalan jeotermal sistemin örtü kayaçlarını, Pliyo-Kuvaterner yaşlı altere olmuş tüfler ve ignimbiritlerin meydana getirdiği vurgulanmıştır. Buna karşın, yapmış olduğumuz değerlendirmeler sonucunda, inceleme sahamızda Diyadin jeotermal sisteminin örtü kayasını yine Senozoyik (Miyosen-Pliyosen) yaşlı karasal kırıntılı ve karbonatlar içindeki kıltaşı, marn ve şeyl gibi hidrojeolojik açıdan geçirimsiz birimlerin oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

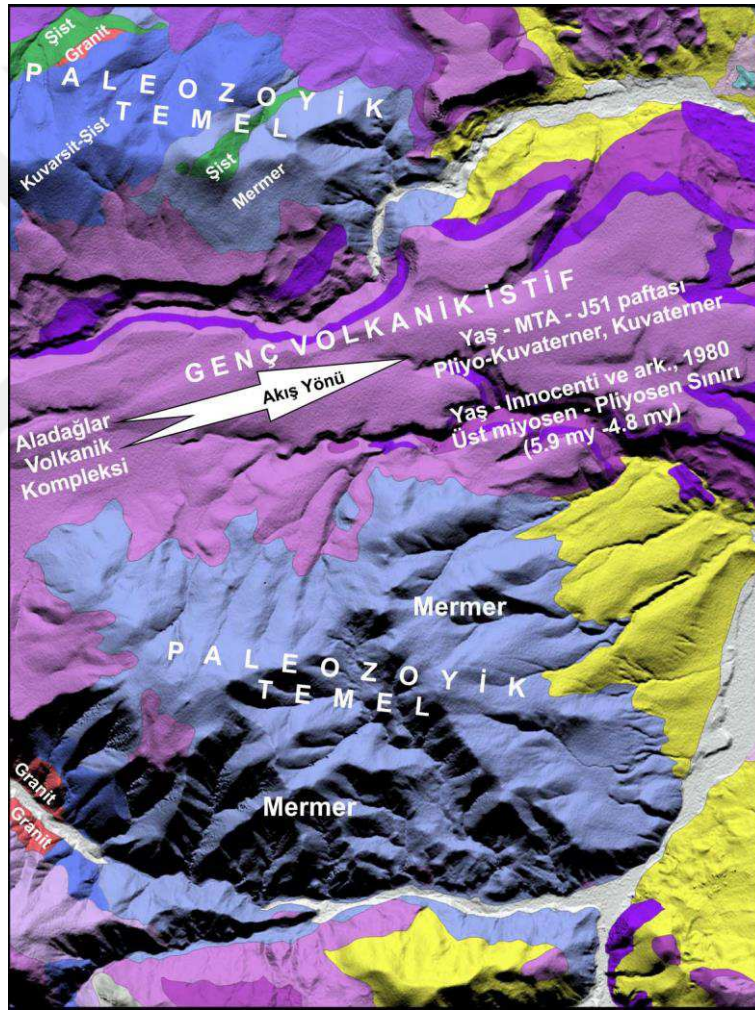
. Alüvyonlar, farklı derelerin sularıyla drene olan Murat Nehri'nin bulunduğu yatak içerisinde ve diğer derelerin bulunduğu yataklarda yaygın olarak gözlenirken, jeotermal kaynakların çevresinde ise güncel olarak çökelmeye devam etmekte olan travertenler yüzeylemiştir.

Eosen, Miyosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter serileri oluşturan; kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, çakıltaşı birimleri (Şekil 4.12), inceleme alanında Günbuldu, Taşbasamak, Tazekent, Taşkesen, Kuşburnu, Burgulu, Davut, Boyalan, Hacıhalit, Gözüpek, Mollakara, Yukarıdalören, Oğuloba, Yolcupınarı, Mutlu ve Kotancı köylerinin çevresinde yüzeylemiştir (Şekil 4.13).

Sahamızın özellikle batı kesiminde geniş yayılım veren trakiandezit, ignimbirit, bazalt, riyolit, tüf, yamaç gibi volkanitler yaptığımız incelemelere göre Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin ürünleridir. Bu kayaçlar, MTA'nın yeni üretmiş olduğu sayısal tabanlı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasında (J51) Pliyo-Kuvaterner ve Kuvaterner yaşlı

olarak verilmektedir. Bu nedenle inceleme alanına yönelik yapmış olduğumuz stratigrafik istif kesitinde ve jeoloji haritasında bu yaşlar kullanılmıştır (bknz. Şekil 4.12 ve 4.13). Ancak, daha önce bu volkanitler üzerine yapılmış olan çalışmalar ve bilimsel yayınlar doğrultusunda, bu yaş bilgilerinin oldukça şüpheli olduğunu düşünmekteyiz.

Örneğin, Innocenti ve ark. (1980) çalışmalarında, inceleme sahamızın hemen güney bitişiğinde bulunan Zilan vadisindeki aynı volkanik istifte birbirinin üzerine gelmiş iki ignimbirit akıntısından alttakinin yaşını 5.9 my ve üsttekinin yaşını da 4.8 my olarak vermiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. İnceleme sahasının batı kesiminde geniş yayılım gösteren genç volkanik istifin çevre kayaç gruplarıyla konumsal ilişkisi ve yaş bilgileri.

Trakiandezit birimi, inceleme alanında sadece Sürmelikoç köyünün çevresinde dar alanlarda, ignimbirit birimleri, Günbuldu, Altınkilit, Dibekli, Ulukent, Burgulu,

Gözüpek, Aşağıdalören, Yukarıdalören, Kotancı, Sürmelikoç, Mutlu köylerinin çevresinde ve Mollakara köyünün güneyinde yüzelemiştir (Şekil 4.13). Bazaltlar, Akçevre köyünün kuzeyinde, Ulukent, Dibekli, Altinkilit, Tazekent, Burgulu, Aşağıdalören, Hacıhalit, Yukarıdalören, Yolcupınarı, Oğuloba, Karataş, Gözüpek, Taşkesen, Davut ve Mollakara köylerinin çevresinde yüzelemiştir (Şekil 4.13).

Heyelan hareketlerinin de gözleendiği Taşkesen köyünün kuzey girişinde, Davut volkanının aglomera ve tüfler gibi piroklastik ürünleri gözlenmiştir (Şekil 4.16 ve 4.22).



Şekil 4.16. Taşkesen köyü kuzey girişinde gözlenen tüflerin görünümü.

Kuşburnu köyünde volkanik küller, tüfler ve aglomeralar bir arada izlenmiş, yer yer yamaç döküntüsü şeklinde görüntü veren zayıf tutturulmuş bu birimlerin, bir karmaşık oluşturacak şekilde kütle hareketleriyle yer değiştirdikleri gözlenmiştir (Şekil 4.17). Bu kütle hareketlerinin, inceleme sahasının birçok kesiminde gözlenen, birbirine yakın konumda gelişen ve sığ derinliklerde etkinlik gösteren kaşık tipi (listrik) örgü faylarla da ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.17. Kuşburnu köyünde volkanik küller ile tüflerin örtü şeklindeki görünüşleri.

Davut köyünde karasal çökel ara katlı bir cüruf yığılması (Şekil 4.18) dikkat çekmektedir. Mollakara köyünün güneybatısında bulunan jeotermal alanda çevre kayalar üzerine çökelmiş traverten birimleri gözlenmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.18. Davut köyünde karasal çökel ara katlı cüruf yığılması.



Şekil 4.19. Mollakara köyünün güneybatısındaki jeotermal alanda çevre kayalar üzerinde gözlenen traverten birimlerinin görünümü.

Topografik haritalarda Kale Tepe olarak adı geçen volkan, Davut köyü bitişiğinde bulunması nedeniyle, ilk defa bu tez çalışmasında Davut Volkanı olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.20).



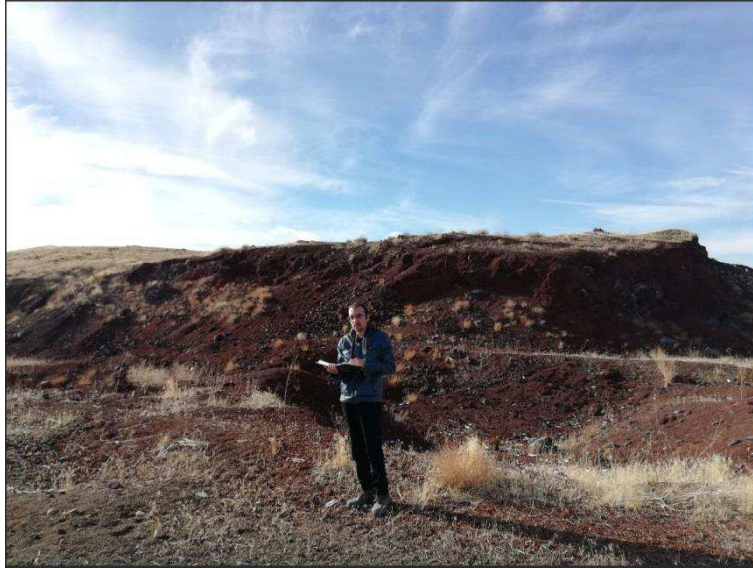
Şekil 4.20. Davut volkanına doğu yönünden bakış.



Şekil 4.21. Davut volkanına ait piroklastik ürünlerin görünümü a., b. ve c. yüksek düzeyde altere olmuş aglomera görünümlü volkanik breş ve gevşek tutturulmuş piroklastikler ve blok boyutuna ulaşabilen volkan bombaları.

Davut volkanı, yaklaşık değerleriyle duvarının zirveleri arası 1300 m ve taban düzlemi 900 m çaplarında olan bir maar çukurluğunda gelişmiş, yaklaşık 700 m çapı olan ve 50 m yüksekliğe sahip küçük bir volkandır (Şekil 4.20).

Taşbasamak köyü Davut volkanından daha yüksek kotlarda ve bazalt kayaların üzerinde kuruludur. Bu bazalt lavlarının Taşkesen köyünden hemen yakınındaki biraz daha yüksekte olan bir kottan akış vermiş olduğu düşünülmüştür. Bu itibarla, saha çalışmalarımız Davut volkanının üç farklı evrede faaliyet gösterdiğine işaret etmektedir. Koni öncesi ilk evrede, volkan konisinin içinde yer aldığı açılmalı kırık-çatlak sisteminden (Davut Kırığı) Taşkesen köyü yakınlarından çıkış yapan bazalt lavları Diyadin ilçe merkezinden geçecek şekilde yaklaşık kuzey yönünde akmışlardır. Koni öncesi ikinci evrede, lapilli, volkanik breş, aglomera ve tuf gibi piroklastik ürünleri (Şekil 4.16 ve 4.21) etrafa yayan bir patlamayla, sonradan koninin içinde yer alacağı bir maar çöküntüsü oluşmuştur. Üçüncü evrede ise maar merkezinden püskürmelerle, batısındaki ve güney kesimindeki cüruf yığılımlarının yanı sıra Davut volkanının merkezi konisi oluşmuştur (Şekil 4.18, 4.20 ve 4.22). Sahada yapılan incelemelerde, piroklastik püskürme ile meydana gelen ve yüksek düzeyde alterasyona uğramış kolay dağılabilen bir yapıya sahip volkanik breş ve tüfler içerisinde blok boyutuna ulaşan volkanik bombalar gözlenmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.22. Taşkesen köyünün batı kesiminde Davut volkanının cüruf yığılımı.

Hacıhalit köyünün güneybatısında yer yer bloksal boyutlarda yamaç döküntüleri (Şekil 4.23) ve Ulukent köyünün ve Murat Nehri'nin doğusunda aglomera ile tüfler bir arada gözlenmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.23. Hacıhalit köyünün güneybatısında yer yer bloksal boyutlarda gözlenen yamaç döküntülerinin görünümü.



Şekil 4.24. Ulukent köyünün doğusunda gözlenen aglomera ile tüflerin görünümü.

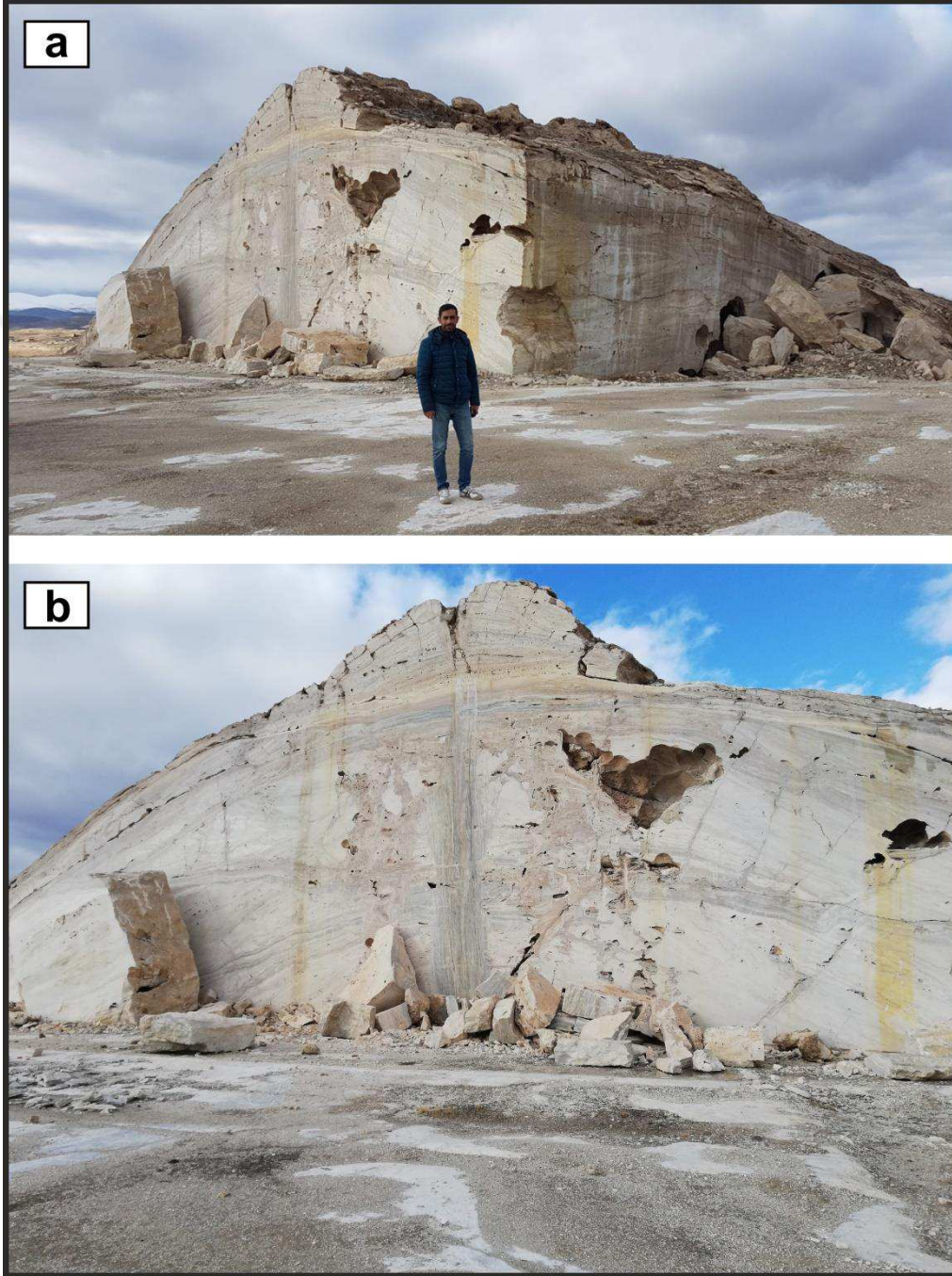
Güncel çökeller olarak inceleme alanında yüzeyleyen alüvyonlar, Murat Nehri'nin yatağı boyunca ve diğer derelerin bulunduğu yataklarda yaygın olarak gözlenmiştir. Diğer bir güncel çökeli ise travertenler oluşturmaktadır.

Faylar ve kırıklar boyunca yer altına sızarak ısınan meteorik kökenli sular veya yeraltının derin seviyelerinde bulunan birincil magmatik akışkanlar, karbonatlı kayalarla kimyasal reaksiyona girerek CaCO_3 ve CO_2 açısından zengin akışkanı oluştururlar. Derin dolaşım sırasında ısınan yeraltısularının, kırıklar ve faylar boyunca yer yüzeyine yükselmesi sırasında CO_2 kısmi basıncında meydana gelen azalma ile birlikte veya diğer bir deyişle CO_2 gazının akışkan ortamından uzaklaşması ile birlikte jeotermal kaynakların çevresinde meydana gelen CaCO_3 çökmesi sonucu travertenler oluşmaktadır. Travertenler, inceleme alanında Taşbasamak, Altinkilit, Dibekli, Tazekent, Ulukent, Burgulu ve Aşağıdalören köylerinin çevresinde yaygın şekilde görülmektedir (Şekil 4.13). Taşbasamak köyünün doğusunda gözlenen sırt tipi travertenin açılma çatlaklarından alınan düzlemsel ölçümler K40B/25KD olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Taşbasamak köyünün doğusunda gözlenen sırt tipi travertenin görünümü a. sırt tipi travertenin düzlemsel ölçümü, b. sırt tipi travertende gözlenen açılma çatlağının görünümü.

Tazekent köyünün doğusunda görülen sırt tipi travertenin duvar kesit modelinde (Şekil 4.26a) bir baca içerisinde noktasal olarak jeotermal kaynağın yer yüzeyine çıkış izleri gözlenmiştir (Şekil 4.26b).



Şekil 4.26. Tazekent köyünün doğusunda gözlenen sırt tipi travertenin görünümü a. sırt tipi travertenin duvar kesit modelinin görünümü, b. sırt tipi travertenin duvar kesit modelinde bir baca içerisinde noktasal olarak gözlenen jeotermal kaynağın yer yüzeyine çıkış izlerinin görünümü.

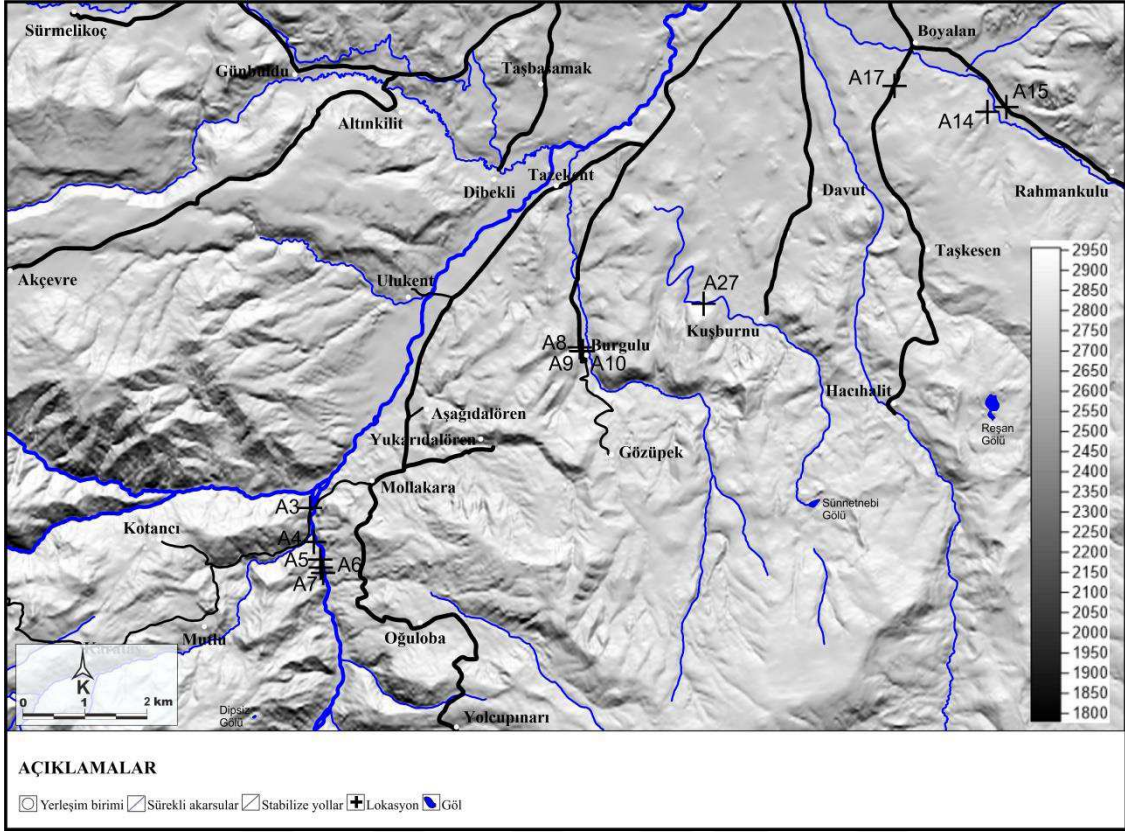
4.3. Jeotermal Arazi Gözlem Verileri

Arazi çalışmaları sırasında 10 lokasyonda jeotermal ve mineralli su kaynakları, 3 lokasyonda jeotermal su kuyusu ve/veya sondaj kuyusu olmak üzere toplamda 13 lokasyon gözlenmiş ve bu lokasyonlara ait gözlem verileri (Çizelge 4.2), grid verisinin yapay ışıklandırılmalı kabartılmış haritası üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.27). Lokasyonlara ait gözlem verileri ile ilgili bilgiler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

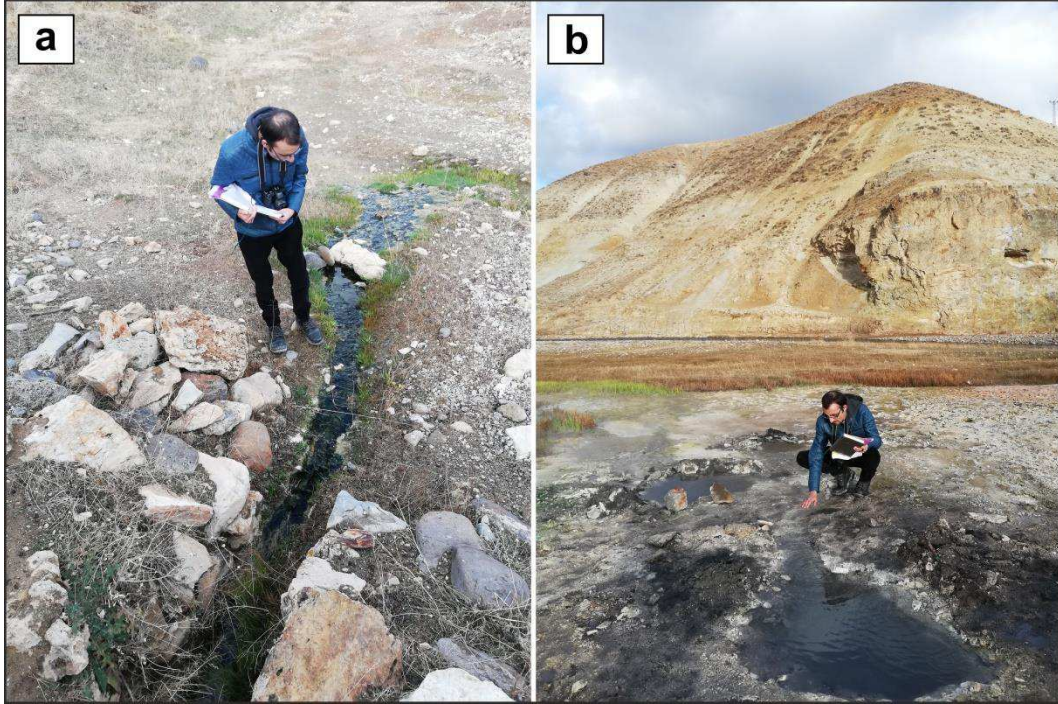
Mollakara köyü güneybatısında Murat Nehri vadisi içerisinde, çok sayıda jeotermal kaynaklar (Şekil 4.28a ve 4.28b) arasında, kuyu derinliği 87 m, sıcaklığı 82 °C ve debisi 50 lt/s olan bir jeotermal havuz (Şekil 4.29a), seracılardan kuyusu olarak adlandırılan ve kimyasal bileşenler nedeniyle tıkanan, derinliği 187 m ve sıcaklığı 92 °C bir diğer jeotermal kuyu (Şekil 4.29b) ile 80-90 m derinlikten akışkan üretimini yapan ve 90 °C'den yüksek sıcaklık içeren jeotermal sondaj kuyusu (Şekil 4.29c) sahada yerinde incelenmiştir. Burgulu köyünde çayır ve mera alanında mineralli kaynak çıkışları (Şekil 4.30a ve 4.30b), Kuşburnu köyünde volkanik kül ve tüf ile birlikte yer yer yamaç döküntüsü şeklinde gözlenen aglomeraların buldukları alanda jeotermal kaynak (Şekil 4.31 ve 4.17) ve Boyalan köyünde sazlık alanda mineralli kaynak çıkışı (Şekil 4.32a) ile Jeomar Jeotermal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş'nin derinliği 1450 m, kuyu dibi sıcaklığı 103 °C ve akışkan açısından verimsiz olan jeotermal sondaj alanı yerinde incelenmiştir (Şekil 4.32b).

Çizelge 4.2. Jeotermal incelemeleri yapılan lokasyonlara ait gözlem verileri

X	Y	Z	LOKASYON ADI	YER
377006	4363774	2034 m	A3	Mollakara Köyü
377077	4363142	2045 m	A4	Mollakara Köyü
377196	4362809	2046 m	A5	Mollakara Köyü
377208	4362661	2038 m	A6	Mollakara Köyü
377254	4362558	2050 m	A7	Mollakara Köyü
382072	4366785	2052 m	A8	Burgulu Köyü
382096	4366714	2048 m	A9	Burgulu Köyü
382121	4366707	2050 m	A10	Burgulu Köyü
382132	4366715	2049 m	A11	Burgulu Köyü
389730	4371191	2043 m	A14	Boyalan Köyü
390084	4371285	2038 m	A15	Boyalan Köyü
387984	4371681	2010 m	A17	Boyalan Köyü
384398	4367601	2054 m	A27	Kuşburnu Köyü



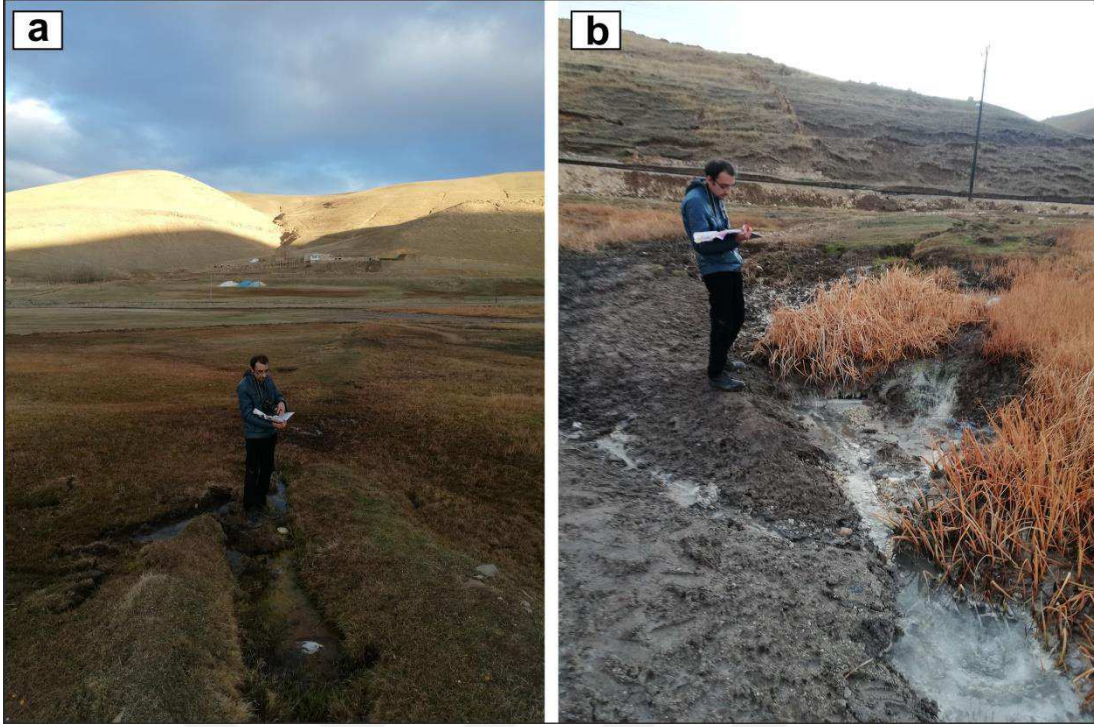
Şekil 4.27. Sahada incelemeleri yapılan jeotermal lokasyonların, sayısal yükseklik modelinin yapay ışıklandırılmış kabartılmış haritası üzerinde görünümleri.



Şekil 4.28. Mollakara köyünde gözlenen jeotermal kaynakların görünümleri a. ve b. jeotermal kaynakları göstermektedir.



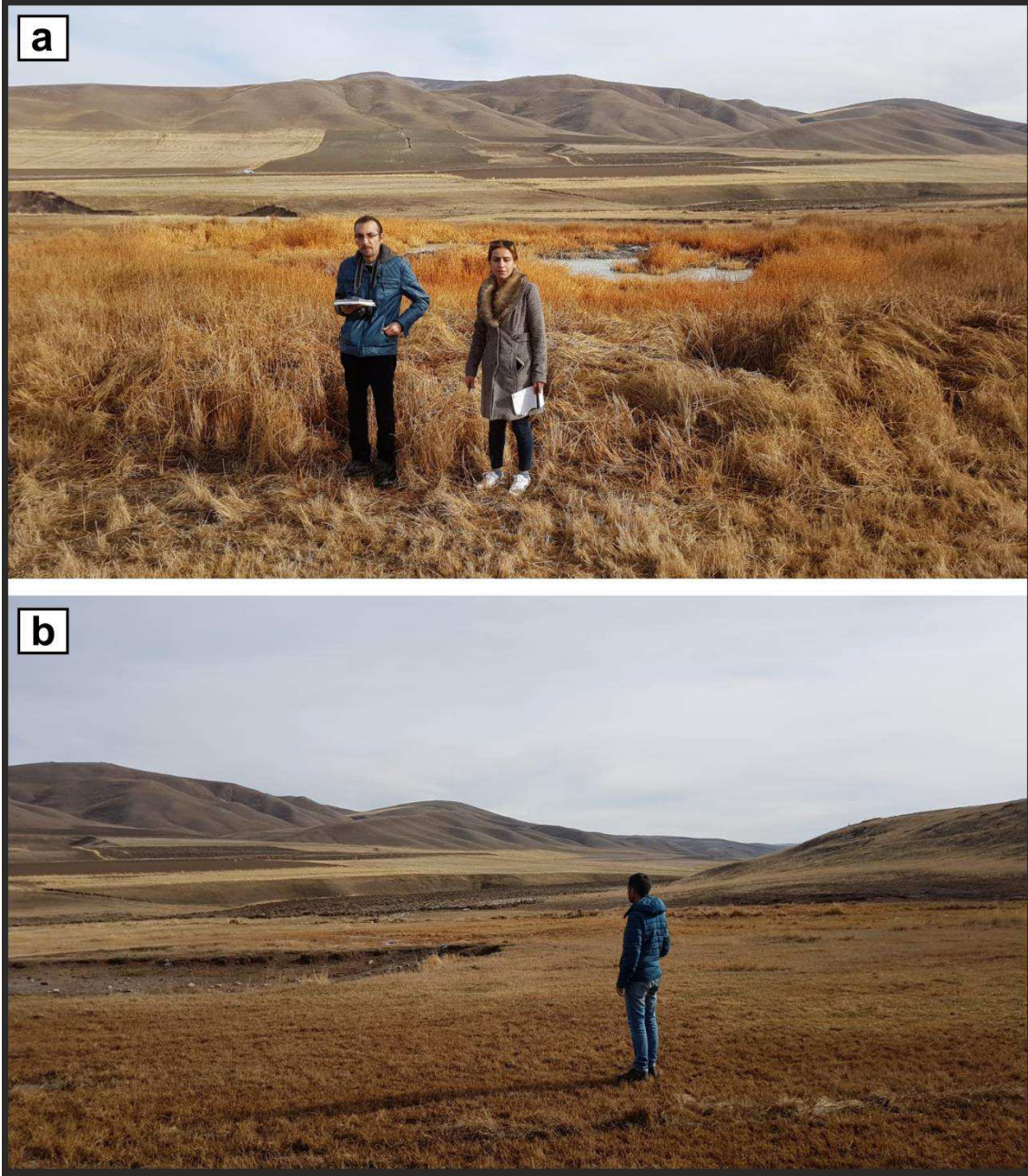
Şekil 4.29. Mollakara köyünde gözlenen jeotermal kuyuların ve jeotermal havuzun görünümleri a. jeotermal havuzun görünümü, b. inceleme alanı ve yakın dolaylarında seracıların kuyusu olarak adlandırılan jeotermal kuyunun görünümü, c. jeotermal sondaj kuyusunun görünümü.



Şekil 4.30. Burgulu köyünde gözlenen mineralli kaynak çıkışlarının görünümüleri a. ve b. mineralli kaynak çıkışlarını göstermektedir.



Şekil 4.31. Kuşburnu köyünde gözlenen jeotermal kaynağın görünümü.



Şekil 4.32. Boyalan köyünde gözlenen mineralli kaynak çıkışı ile Jeomar sondaj alanının görünümü a. sazlık alanda gözlenen mineralli kaynak çıkışının görünümü, b. Jeomar sondaj alanının görünümü.

4.4. İnceleme Alanının Tektonik Özellikleri

Jeotermal sistemlerde genel olarak, derinlerden yüzeye doğru, önce doğal ısıtıcı bir kaynak, bunun üzerinde bir hazne (rezervuar) kayaç katmanı ve bunun üzerinde de geçirimsiz bir örtü kaya biriminin bulunması beklenir. Bununla birlikte, jeotermal sistemlerde doğal ısıtıcı bir kaynağın bulunması zorunluluk arz ederken, örtü kaya

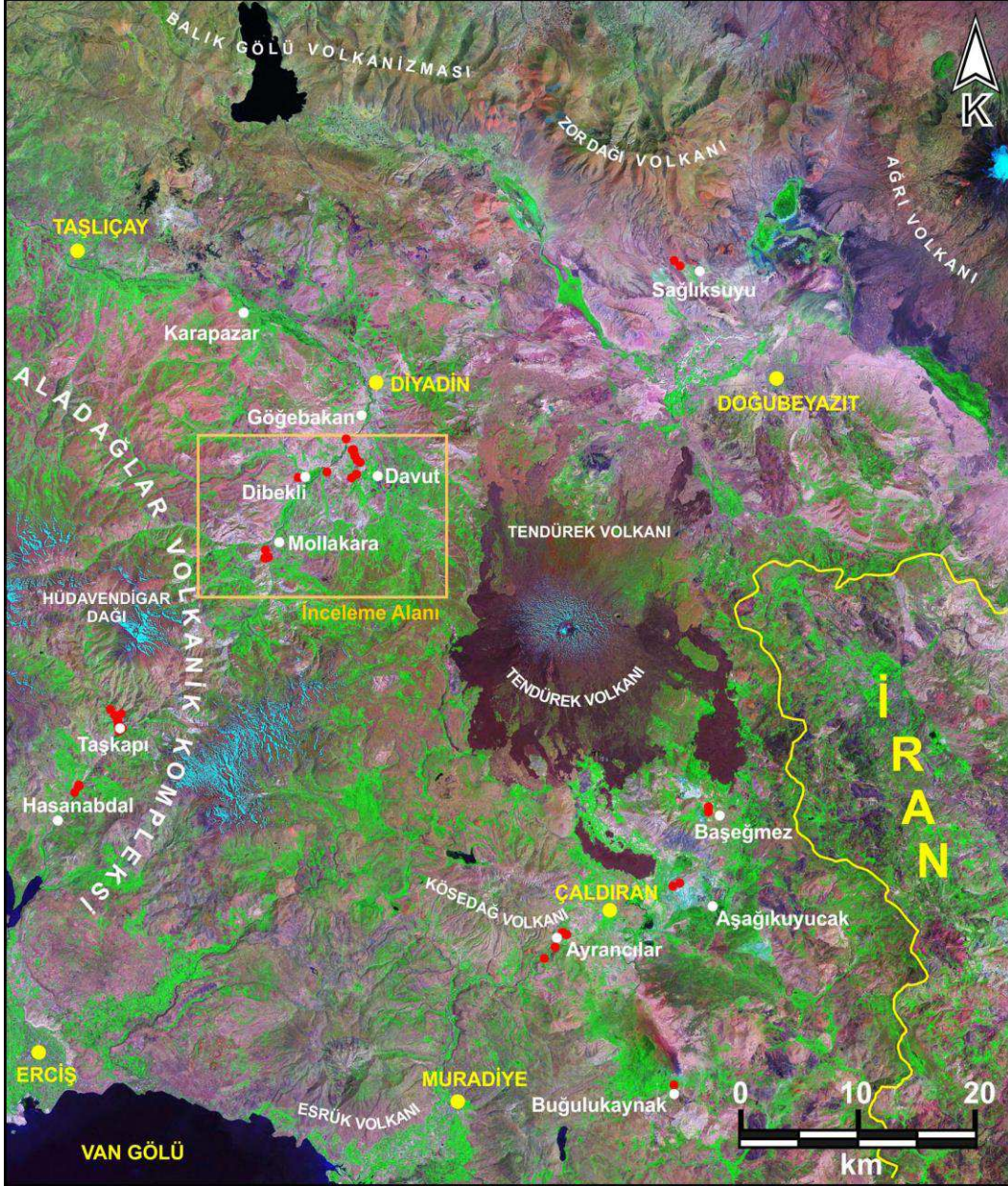
birimlerinin bulunması zorunluluğu yoktur ve bu nedenle Diyadin'in 15 km kadar güneybatısında Mollakara köyü civarında olduğu gibi, bazı jeotermal bölgelerde doğrudan temel kaya üzerinden ya da çok ince bir alüvyal zemini olan vadi tabanlarındaki kırık sistemlerinde doğrudan jeotermal kaynak etkinliği gözlenebilmektedir. Diğer taraftan, doğal çıkış veren jeotermal kaynaklar, derinlerden yeryüzüne yolculukları sırasında yeraltı suları ile karıştıkları için, genellikle çok daha yüksek olan rezervuar sıcaklıklarına göreyle oldukça soğuyarak yüze ulaşır.

Jeotermal sistemlerdeki sıcak akışkanlar, derinlerden yüze doğru olan yolculuklarında genellikle kırık ve çatlak sistemlerini takip ederler. Bu nedenle, jeotermal sistemlerde gerçekleştirilen derin sondajlarda özellikle fay hatlarının kesilmesi hedef alınır.

Bir bölgede özellikle enerji üretimi açısından değerlendirilebilir ve/veya ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacak şekilde değerlendirilebilecek bir jeotermal potansiyelin oluşması için, o bölgenin tektonik ve/veya magmatik aktiviteler geçirmiş olması önem arz eder. Alp-Himalaya kuşağında bulunan bir ülke olarak, aktif tektonik yapılanmasının yanı sıra genç volkanizmaların da yayılım gösterdiği Türkiye'nin hemen hemen her bölgesi, jeotermal kaynaklar açısından oldukça zengindir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde kentsel ısıtmadaki kullanımıyla tek örneği teşkil eden Ağrı ilindeki Diyadin ilçesi, Türkiye'deki önemli jeotermal sahalardan birisi olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

Diyadin ilçe merkezinin kabaca 6 km kadar güneybatısında bulunan Diyadin jeotermal sahası, yaklaşık olarak Davut, Dibeikli ve Gögebakan köyleri arasındaki üçgen sahayı ortalamaktadır. Ayrıca bu sahadan Murat Nehri vadisi boyunca yaklaşık 10 km kadar daha güneybatıda bulunan Mollakara köyü civarında da çoğunlukla ana kaya zemin veya çok ince bir örtü üzerinden olan bir jeotermal etkinlik söz konusudur.

Daha önce yapılmış olan çalışmalar kapsamında, yöredeki sıcak ve mineralli suların varlığı, genellikle Tendürek volkanizmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kuvaterner yaşlı Tendürek volkanizmasının merkezi konisi, Diyadin jeotermal sahasının 25 km güneydoğusunda bulunmaktadır. Lav ürünleri çok geniş bir alana yayılan kalkan tipindeki Tendürek volkanının 40 km kadar daha güneyinde de (Buğulukaynak) jeotermal sahalar olduğu bilinmektedir (Şekil 4.33).



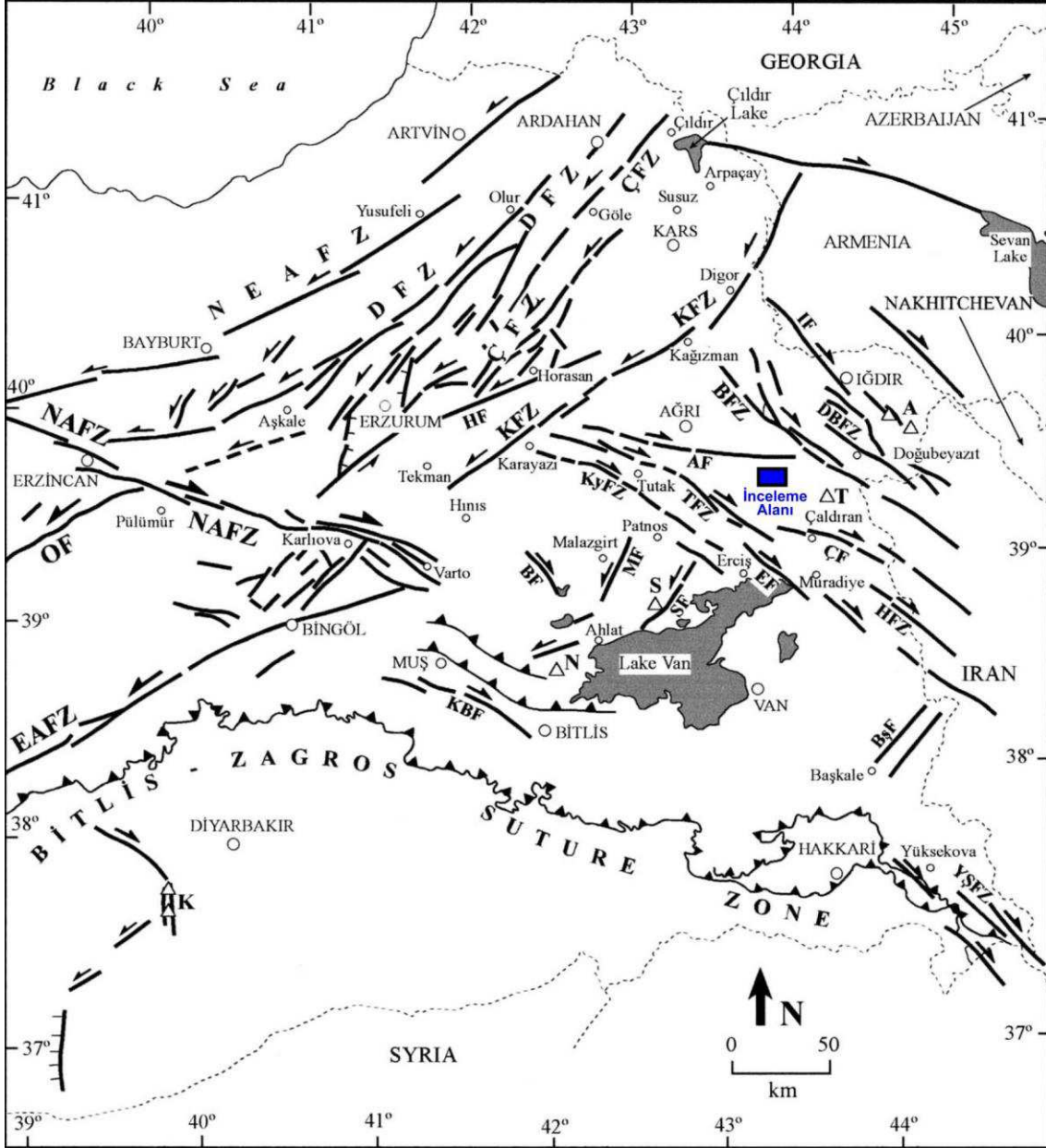
Şekil 4.33. Tendürek volkanı çevresinde bilinen jeotermal doğal etkinlik sahaları (kırmızı noktalarla gösterilmiştir). Harita altlığında Landsat-7 ETM uydu görüntüsünün R:7, G:4, B:2 band kompozisyonu kullanılmıştır.

Tendürek volkanını yaklaşık ortlayan bir haritaya bakıldığında (Şekil 4.33) İran'daki kesimi haricinde sadece Türkiye'deki kısmı ile 50 km yarıçaplı dairesel alanda çok sayıda jeotermal kaynak çıkış sahası görülmektedir. Bu haliyle düşünüldüğünde, bu jeotermal etkinliklerde Tendürek volkanının önemli bir rol üstlendiği düşünülebilir. Tendürek volkanına ait lavlar, renkleriyle Landsat-7 ETM uydu görüntüsü üzerinde de oldukça baskın bir kontrast oluşturmaktadır (Şekil 4.33). Ancak daha gerçekçi ele

alacak olursak, harita içerisinde bu kadar baskın kontrast yaratmayan çok sayıda diğer volkanların da bulunduğu fark edilecektir. Tendürek volkanı çevresinde konuşlanmış birçok jeotermal sahaya aslında Tendürek volkanından daha yakın duran volkanlar ve fay hatları (Şekil 4.33 ve 4.38) bulunmaktadır. Örneğin en kuzeydeki Sağlıksuyu jeotermal sahası Zor Dağı volkanının hemen eteğinde ve Balık Gölü Fay Zonu yakınlarında bulunurken, güneybatıdaki Taşkapı ve Hasanabdal jeotermal sahaları Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin tam da içerisinde, Diyadin ise yine aynı volkanik yapının KD köşesinde yer almaktadır. Aladağlar Volkanik Kompleksi çok çalışılmamış olmakla birlikte, Patnos, Erciş, Tendürek Volkanı, Diyadin, Taşlıçay ve Ağrı il merkeziyle çevrelenen, kabaca 80 km çaplı Türkiye'deki en geniş volkanik ürün yayılımına sahip olan ve Miyosen ile günümüz arasında kesintisiz faaliyet göstermiş olan bir volkanizmadır.

Bununla birlikte Şekil 4.33'e daha dikkatli bakıldığında, Diyadin jeotermal sahası ile Erciş yönünde daha güneybatıdaki Mollakara, Taşkapı ve Hasanabdal jeotermal alanlarının aynı çizgisel hat üzerinde diziliyor oldukları açıkça görülmektedir. Ortalarındaki Hüdavendigar Dağı'nın güney eteklerinden itibaren Zilan Çayı'nın GB yönünde akış vererek Van Gölü'ne ulaştığı vadide Taşkapı ve Hasanabdal jeotermal alanları yer alırken, Hüdavendigar Dağı'nın kuzey eteklerinden itibaren KD yönünde akış veren Murat Nehri vadisinde de Mollakara ve Diyadin jeotermal sahaları bulunmaktadır. Van Gölü'nden itibaren Zilan ve Murat vadileri birlikte, KD-GB doğrultusunda yaklaşık 80 km uzunluğunda düz bir çizgisel hat oluşturmaktadır. Bu hat bugüne kadar Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan tektonik amaçlı çalışmalarda bir fay hattı olarak gösterilmemiş ve/veya üzerinde yeterince ayrıntıya girilmemiştir (Şekil 4.34 ve 4.35).

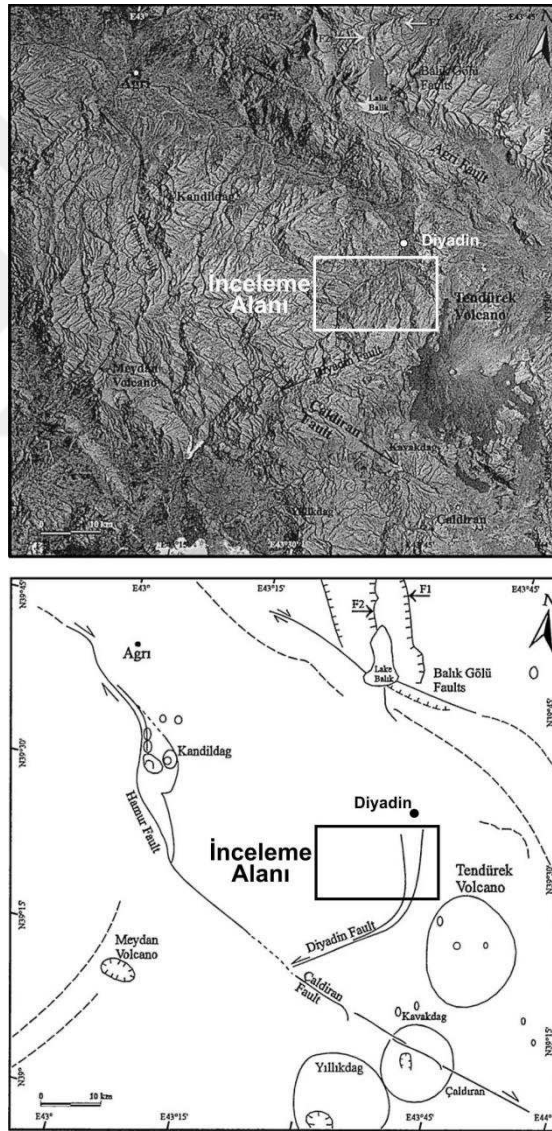
Aşağıda gerekçelerinin ve nedenlerinin daha ayrıntılı sunulmuş olduğu bir çerçevede, bu tez çalışması kapsamında, Hüdavendigar Dağı'nın güneybatısındaki Zilan vadisi ile kuzeydoğusundaki Murat vadisinin iki segment halinde birlikteliği, önemli miktarda düşey bileşeni de olan sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.34. Doğu Anadolu'nun Neotektonik yapıları ve inceleme alanının konumu (Bozkurt, 2001'den uyarlanmıştır).

Birçok geniş ölçekli tektonik çalışmada yer verilmeyen ve eksikliği hissedilen bu bölgedeki yapısal unsurlara ilişkin ilk çalışmalardan biri Adıyaman ve ark. (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.35). Adıyaman ve ark. (1998), Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) ERS Radar uydularından üretilen SAR görüntüleri üzerinden yaptıkları analizlerle, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yayılım gösteren volkanik yapıları incelemişler ve bunların tektonik yerleşimlerini çözmeye çalışmışlardır.

Adıyaman ve ark. (1998), Taşkapı köyünün doğusundaki yüksek kotlarda Çaldıran Fayı ile kesişen bir noktadan Doğubayazıt istikametinde Tendürek volkanının batı kenarından geçerken atkuyruğu şeklinde segmentlere ayrılıp Diyardin'e doğru dönüşlerle sonlanma yapan sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonu belirlemişler ve bu faya Diyardin Fayı adını vermişlerdir (Şekil 4.35). Yazarlar bu çalışmalarında ayrıca, Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki bazı volkanik yapıların konuşlanmalarının, doğrultu atımlı fayların atkuyruğu tipi fay sonlanmalarındaki normal fay bileşenine bağlı olarak ortaya çıkan açılma kırıklarının oluşumu ile uyumlu olduğuna dikkat çekmişlerdir.

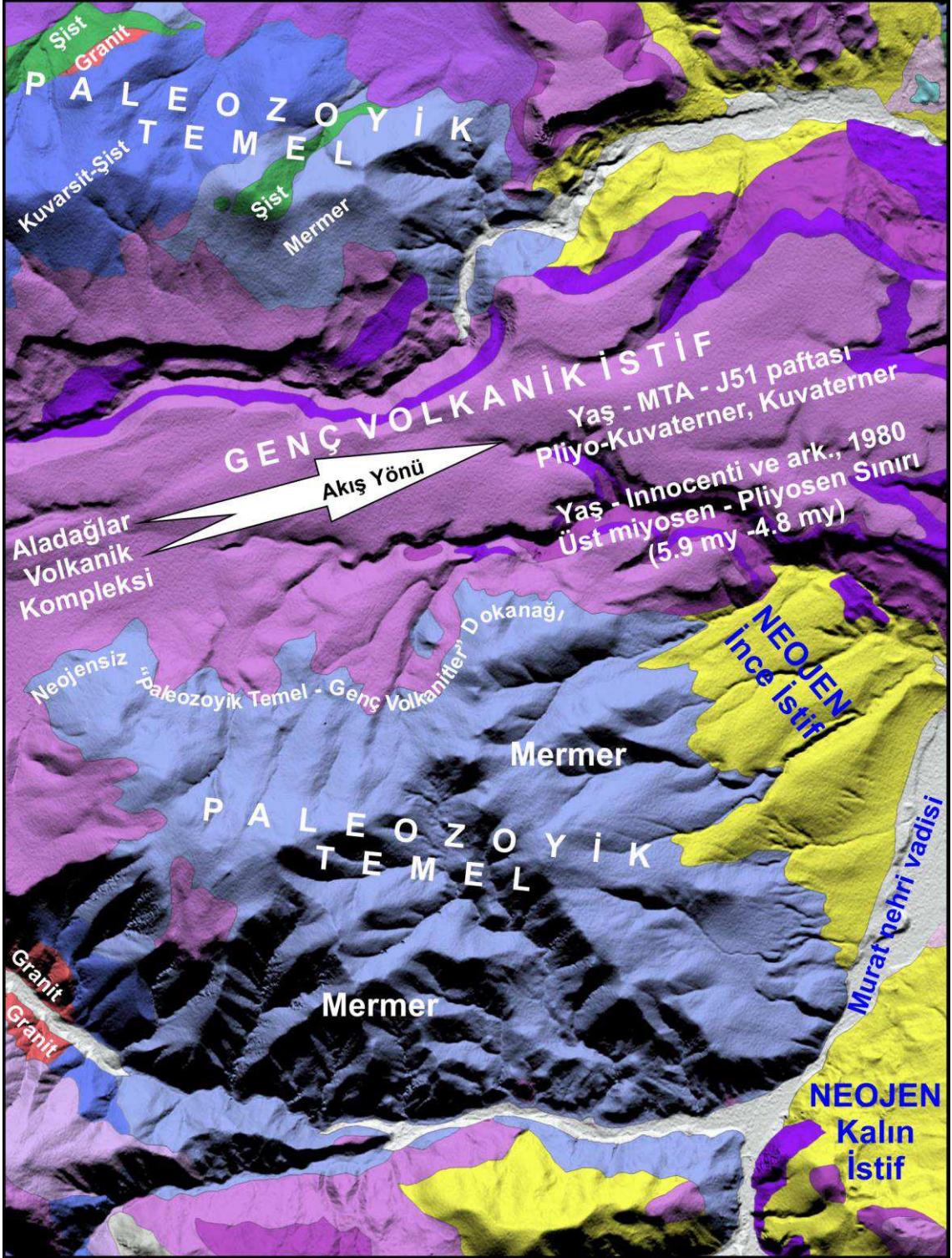


Şekil 4.35. ERS Radar uydularından üretilen SAR görüntüsü üzerinden yapılan tektonik haritasında inceleme alanının görünümü (Adıyaman ve ark., 1998'den uyarlanmıştır).

Daha sonra Dhont ve Chorowicz (2006), Doğu Anadolu Bölgesi'nin neotektoniğini ele aldıkları çalışmalarında, ürettikleri haritaya Diyadin Fayı'nın yanı sıra, Zilan ve Murat vadilerini birlikte uzun bir fay hattı olarak ilk kez yerleştirmişler ancak isimlendirmemiş ve ayrıntısına girmemişlerdir (Şekil 4.5).

Diyadin jeotermal sahasındaki sıcak su kaynakları, 10 km kadar daha güneybatıdaki Hüdavendigâr Dağı'nın (3539 m) güneydoğu ve doğu yamaçlarından geçerek Diyadin ilçe merkezine doğru KD yönünde akış veren Murat Nehri çevresinde ve çoğunlukla da doğu kesiminde yer almaktadır. Bu durumun yanı sıra, Hüdavendigâr Dağı ile Diyadin arasındaki kesimde, Murat Nehri'nin batısındaki yamaçlarda, özellikle Mollakara ve Dibekli köylerinin batı ve kuzeybatı kesimlerinde daha genç birimler altındaki metamorfik birimler, çeşitli noktalarda geniş alanlarda mostra vermektedirler. Buna karşın, nehrin doğu kesiminde ise bölgenin temel kaya birimlerine neredeyse hiç rastlanmamakta, zeminde Neojen ve bunlar üzerine gelen Miyo-Pliyo-Kuvaterner volkanik birimler yer almaktadır (bkz. Şekil 4.13). Ayrıca, Hüdavendigâr Dağı ile Diyadin ilçe merkezi arasındaki kısmıyla Murat Nehri yatağı, mevcut birçok tektonik çalışmadaki haritalar üzerinde bir fay hattı olarak yer almıyor olmakla birlikte, doğrultu atımlı bir fay morfolojisi sunmaktadır.

Bu zonun batı kesiminde temel kayaların üzerine gelen Neojen istif, Murat Nehri'ne yakın alçak kotlarda, kısıtlı alanlarda ve zonun doğu kesimine göreceyle daha az bir kalınlıkta yayılım gösterirken, özellikle yüksek kotlarda Paleozoyik temel üzerinde hiç görülmemektedir (Şekil 4.36). Diğer taraftan, Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin daha genç olan volkanik ürünleri yine Murat Nehri vadisinin batı kesiminde alçak kotlarda Paleozoyik üzerinde görülen Neojen birimleri de örterken, yüksek kotlarda ise arada Neojen birimler ile dokanağı olmaksızın, doğrudan Paleozoyik temel ile bir dokanak sunmaktadır (Şekil 4.36). Bu nedenle, Murat Nehri vadisi boyunca geçiyor olduğunu önerdiğimiz Murat Fayı, Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin genç volkanik ürünleri inceleme sahamızda akış vermeden önce çalışmaya başlamış olmalıdır. Daha önce de yukarıda değinilmiş olduğu gibi, Innocenti ve ark. (1980) çalışmalarında, inceleme sahamızın bu kesimindeki volkanik seri ile eş zamanlı olarak sahamızın hemen güney bitişiğinde bulunan Zilan vadisindeki aynı volkanik istifte birbirinin üzerine gelmiş iki ignimbirit akıntısından alttakinin yaşını 5.9 my ve üsttekinin yaşını da 4.8 my olarak vermiştir (bkz. Şekil 4.15; Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Murat Nehri vadisinin batı kesiminde Paleozoyik temel, Neojen sedimanter istif ve genç volkanik istifin konumsal ilişkileri ve dokanakları.

Bu bağlamda, Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin inceleme alanında kabaca 6 milyon yıl yaşa sahip volkanik ürünlerinin, hem Neojen birimler üzerinde hem de arada

Neojen olmaksızın doğrudan metamorfik temel kayalar üzerinde bulunması, inceleme alanındaki kesimiyle Murat Nehri'nin batı yakasının (metamorfik birimlerin) yöredeki Neojen birimlerinin çökmesiyle eş zamanlı veya çökelmenin son dönemlerinde yükselişe geçmiş olduğuna veya Murat Nehri'nin doğu yakasının bu dönemde düşmüş olduğuna çok büyük olasılık taşıyan bir kanıt sunarken, Murat faylanmasının günümüzden en az 6 milyon yıl önce ortaya çıktığına kesin bir kanıt oluşturmaktadır.

Bu durum, Zirkon U-Pb yöntemi ile yapılan yaş verileri (19.7 ± 0.3 My; 20.3 ± 0.3 My) Taşlıçay Batoliti'nin Erken Miyosen (Burdigaliyen) döneminde kristallendiğini (Açlan ve Turgut, 2017; Altun, 2017; Duruk, 2017; Turgut, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018; Davran, 2018; Açlan ve Davran, 2019) gösterdiği için, bölgede granitik kayaların yaşı ile de büyük bir uyum içerisindedir.

Bu çerçevede ele alınacak olunursa, inceleme sahasının yakınında batı kesimde geniş alanlarda yayılım veren Taşlıçay Batoliti'nin sokulumu, sahamızda Murat Nehri'nin ve dolayısıyla Murat Fayı'nın batı kesiminde yüzlek veren Paleozoyik temelin doğu kesime göreceyle yükselmesinde başrolü üstlenmiş veya bu yükselmeye çok önemli bir katkıyı beraberinde getirmiştir. Bu durumda Murat Fayı, faylanmanın başlangıç aşamasında, granitik sokulum nedeniyle Paleozoyik temelin bir semer şeklinde yükselmesini sağlayacak normal fay özelliği taşımaktadır. Dolayısıyla bu normal fay düzlemi boyunca, ilk evrede Murat Nehri'nin doğu kesiminin düşmüş olmasından daha ziyade batı kesiminin yükselmiş olmasının göz önünde bulundurulması gerekir. Söz konusu yükselme, granitik magma yukarı doğru hareket ederken ve henüz sıcakken, kristallenme öncesinde meydana gelmiş olmalıdır.

Taşlıçay Batoliti üzerine yapılmış son dönem araştırmalarda (Açlan ve Turgut, 2017; Altun, 2017; Duruk, 2017; Turgut, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018; Davran, 2018; Açlan ve Davran, 2019) inceleme alanı ve yakın çevresindeki granitlerin, başlıca S-tipi (tonalit, granodiyorit, monzogranit, granit) ve I-tipi (gabro, diyorit, kuvarslı diyorit, monzodiyorit, kuvarslı monzodiyorit) granitoitik kayalardan oluştuğu yukarıda da belirtilmiştir. Söz konusu çalışmalarda tüm kayaç ana ve eser element jeokimyasal yorumlamaları ile bu granitoidlerin, alt kıtasal kabuktan türeyen felsik magma ile litosferik mantodan türeyen mafik magmaların karışması ile meydana gelen hibrid kalkalkalen magmadan itibaren fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon fraksiyonel kristallenme süreçleri sonucu kristallendikleri ortaya konulmuştur. Diğer

tarafından, Angus ve ark. (2006), Türkiye'nin doğusunda Arap ve Avrasya plakalarının çarpışma zonunun litosferik yapısını değerlendirmeye aldıkları çalışmalarında, Doğu Anadolu Bölgesi'nde kabaca $38^{\circ}.5 - 40^{\circ}.0$ enlemleri ile $41^{\circ}.5 - 43^{\circ}.5$ boylamları arasında kalan bölgenin altında, alt kabuk katmanının orta seviyesindeki 20 – 30 km derinlikler arasında geniş yayımlı merceksi yapıda bir kabuksal düşük hız zonunun (CLVZ; akışkan halde magmatik kütle) güncel varlığını da ortaya koymuşlardır.

Kabaca 20 my yaşında olan Taşlıçay Batoliti, Aladağlar volkanik kompleksi içerisinde 70-80 km çaplı bir alanda birçok yerde irili ufaklı olarak yüzeyde baş vermektedir. Bu saha, Alt Miyosen'den günümüze kadar neredeyse kesintisiz volkanik faaliyet vermiş bir bölgedir (Aladağlar Volkanik Kompleksi). Bu alan aynı zamanda, yukarıda tanımlamasını vermiş olduğumuz Angus ve ark. (2006) tarafından belirlenen kabuksal düşük hız zonunun yayılım alanı ile yüzeydeki izdüşümü olacak kadar birebir örtüşmektedir. Diğer taraftan, Diyadin (Ağrı) – Erciş (Van) arasında Zilan Fayı ile birlikte 2 segment olarak yaklaşık 70-80 km kadar takip edilebilen Murat Fayı, granitik sokulum süreciyle geçmişteki 20 my'nin daha öncesinde oluşumu öngörülebilir olduğu için, bir olasılıkla bölgedeki üst kabuğu ($\cong 10$) derinlemesine boydan boya geçerek alt kabuğun içlerine kadar uzanmaktadır.

Tüm bu göstergelerin ışığı altında, K-G sıkıştırmalarıyla kıta içi kısmi ergimeler sonucu geliştiği düşünülebilir akışkan ve sıcak bir düşük hız zonundan (ve/veya onun etkisiyle meta-sedimanter kayaçların kısmi ergimesiyle) itibaren, kabaca 20 my önce granitlerin kristallenmesine ve daha sonra yüzeye kadar çıkmasına kaynaklık eden bir tektono-magmatik ortamda yer alan Diyadin ve yakın çevresinde, jeotermal sahaların gelişmiş olması için Tendürek volkanı veya başka volkanların mevcudiyetine ve/veya ısı kaynaklığına ihtiyaç duyulmaması gerektiği, açık bir şekilde düşünülmektedir.

Taşlıçay Batoliti'nin yöreye sokulumunun Paleozoyik temeli yükseltmesine bağlı olarak, Murat Fayı'nın başlangıç evresinde salt normal fay düzlemi olarak geliştiği düşünülmektedir. Bununla birlikte, Murat Nehri vadisinin inceleme alanındaki kısmıyla KKB-GGD doğrultusu, Doğu Anadolu'ya neotektonik süreçte etki eden yaklaşık K-G sıkıştırmalı bir tektoniğin stres elipsoidi dengesinde, sol yön doğrultu atımlı fayların doğrultusuna uyum göstermektedir. Dolayısıyla Taşlıçay Batoliti'nin granitik kristallenme süreci sonrasında, günümüze kadar devam eden neotektonik süreç boyunca Murat Fayı'nın sol yönlü doğrultu atımlı olarak faaliyet vermesi çok kuvvetli bir

olasılıktır. Öte yandan, Murat Nehri'nin batı yakasındakilere göreyle hemen doğu yakasında daha kalın olan Neojen istifin, daha da doğudaki daha yüksek kotlardaki Neojen istife ve nehrin batı yakasında mostra vermiş olduğu sahalara göreyle aşağıya düşmüş olması ve doğal jeotermal etkinliklerin nehrin doğu yakasında daha çok baş göstermesi, bu fay hattının aynı zamanda DGD yönünde düşey bileşenli olduğu düşüncemize büyük bir destek sunmaktadır.

Tüm bu durumlar Hüdavendigar Dağı ile Diyadin arasında Murat Nehri'nin geçtiği hattın bir fay segmenti olduğuna yeterince kanıt sunarken, Diyadin güneyindeki mevcut jeotermal kaynakların bu fay segmentine bağlı olarak etkinlik gösterdiklerini düşünmekteyiz. Dolayısıyla, bölgedeki doğrultu ve normal bileşenli tektonik hatların alttaki olası sıcak sistemin yüzeye aktarılmasına aracılık eden jeotermal potansiyel zonlar olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Diğer taraftan, fayın etkinliğinin en az 6 milyon yıldır devam ediyor olması ve ayrıca Mollakara köyü civarında işletilebilir boyutlarda hidrotermal altın yataklarının gelişmiş olması, inceleme sahasındaki jeotermal etkinliklerin, olasılıkla en çok 1 milyon yıl yaşındaki Tendürek volkanizmasının ortaya çıkmasından çok daha önceleri başladığı düşüncemize de önemli bir destek sağlamaktadır.

Tez çalışması kapsamında, tektonik değerlendirmeleri daha önce hiçbir çalışmada ele alınmamış olan inceleme alanının tektonik ayrıntılarını ortaya çıkarmak amacıyla, arazi çalışmaları ve gözlemlerinin yanı sıra değişik ölçek ve çözünürlüklerde çok sayıda uydu verisi ve sayısal arazi modellerinden yararlanılmıştır.

Öncelikle inceleme sahası ve çevresini içine alan bölgenin genel tektonik yapısının ortaya çıkarılması ve bunun içerisinde inceleme sahasının tektonik konumunun anlaşılması için, ilk etapta ERS uydusu SAR görüntülerinden deformasyon ölçümü amacıyla oluşturulmuş farksal SAR interferogramları kullanılmıştır. Bu doğrultuda, bu tez çalışmasının danışmanı Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE'nin AOTR_2446 no'lu Avrupa Uzay Ajansı (ESA) projesi kapsamında temin edilmiş olan ERS uyduları SAR (Sentetik Açıklıklı Radar) görüntülerinden daha önceki çalışmalarda deformasyon ölçümü amacıyla oluşturulmuş Farksal SAR İnterferogramlarından faydalanılmıştır. Yapısal unsurların morfolojik kontrastını yükseltme özelliği gösteren türden 16 adet interferogram tektonik amaçlı olarak çalışmada değerlendirilmiştir. Bu amaca uygun olarak, interferogram üretiminde kullanılan SAR görüntü çiftlerine ilişkin, görüntüleme

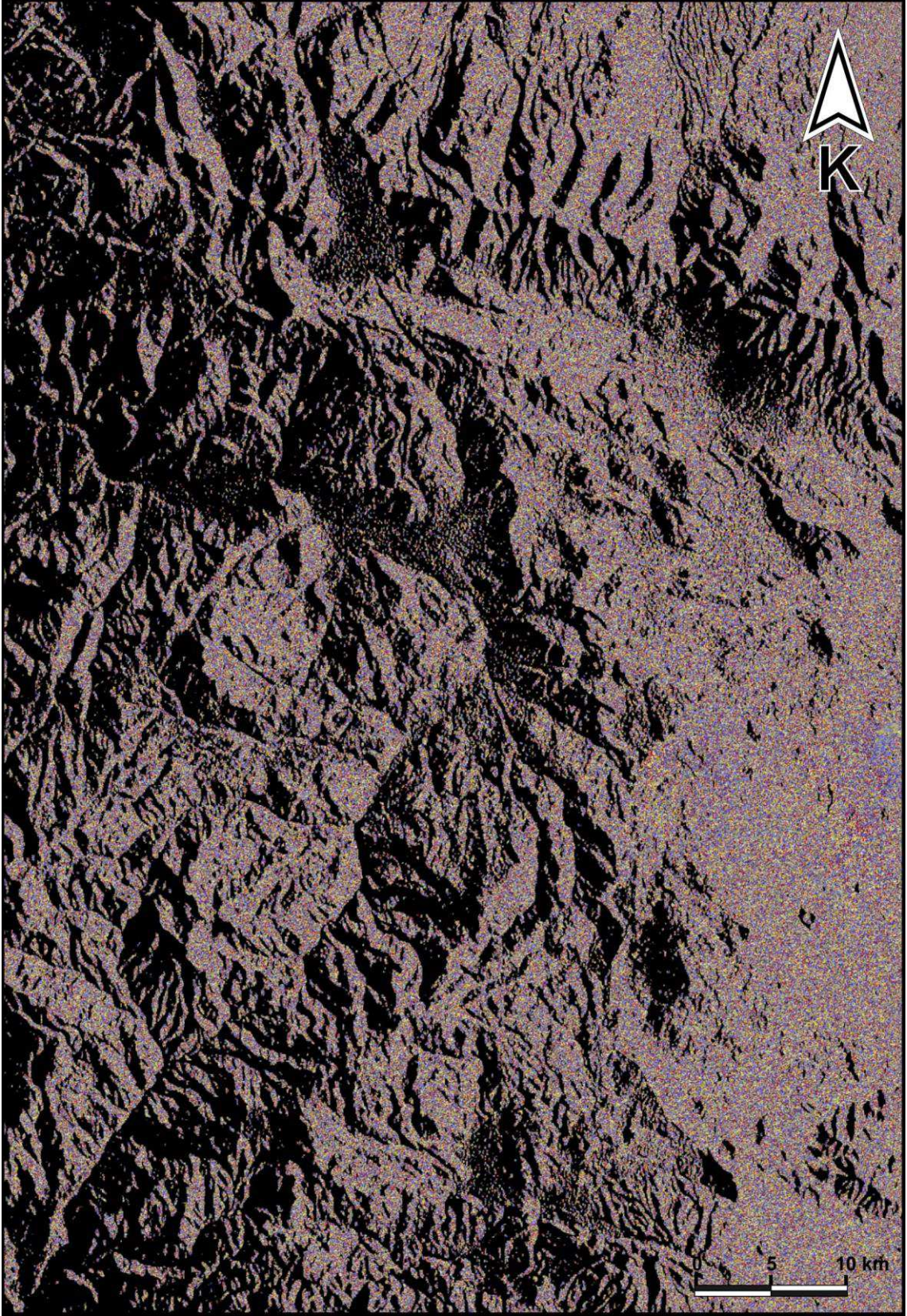
anındaki yörüngesel konumları arasındaki açıklık mesafesi fazla olan ve dolayısıyla hesaplanmalarında topografik röliyef katılımı yüksek olan interferogramlar tercih edilmiştir (Şekil 4.37). Böylelikle sahadaki morfolojik farklılıklara yönelik olarak, geniş alanları kapsayan sayısal arazi modelleri üzerinde fark edilemeyen morfolojik yapılarda daha fazla bir röliyef kabartma etkisi sağlanarak, geniş alan kapsamlı topografik yapıların ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Bu amaca yönelik olarak tez çalışmasında 16 adet yüksek röliyef katılımlı interferogram analiz edilmiştir. 20800 ve 41708 yörünge no geçişli iki SAR görüntüsünden hesaplanan ve tektonik çözümlemeyi en iyi temsil eden bir interferogram görüntüsü (Şekil 4.37) ve interfeogramlardan yapılan analizler ile inceleme sahası ve çevresini içeren bölgeye yönelik üretilen tektonik çözümleme çalışması aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.38).

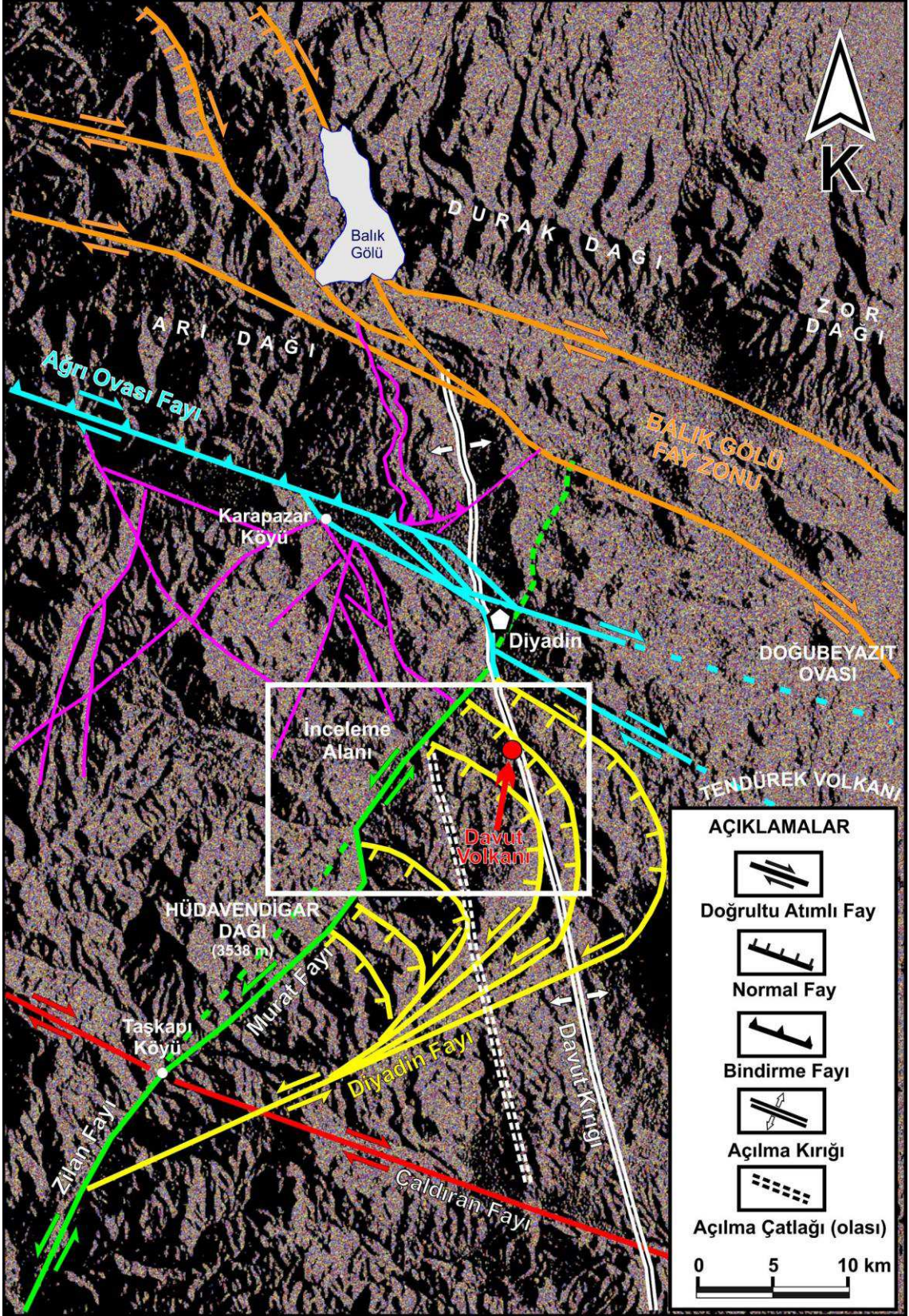
Bölgenin tektoniğine yönelik daha önceki nerdeyse tüm çalışmalarda yer verilmiş olan Çaldıran Fayı ve Balık Gölü Fay Zonu, Şekil 4.37 üzerinde net bir şekilde izlenirken zaten bilinen faylar olarak Şekil 4.38 üzerindeki haritaya yerleştirilmiştir. Bunların dışında Şekil 4.38 üzerinde görülen tüm diğer yapısal unsurlar ilk kez ayrıntılı bir şekilde haritalanmıştır. Bununla birlikte inceleme alanının içinde bulunduğu jeodinamik ilişkilerin gözden kaçırılmaması ve harita üzerinde gürültü oluşturulmaması amacıyla Şekil 4.38 üzerinde ikincil derecede önemli olan diğer yapısal unsurlara fazla yer verilmemiştir.

Çalışmamız kapsamında, Zilan Çayı boyunca Zilan Fayı ve Murat Çayı boyunca Murat Fayı birbirine bağlanan sol yön doğrultu atımlı faylar olarak haritalanmıştır. Bununla birlikte, bu iki fay segmentinin önemli mertebede düşey atım bileşeninin de olduğu unutulmamalıdır.

Daha önce Adıyaman ve ark. (1998) ile Dhont ve Chorowicz (2006) tarafından basitçe haritalanan sol yön doğrultu atımlı atkuyruğu tipi sonlanmalı Diyadin Fayı, bu tez çalışmasında ayrıntılı bir şekilde işlenmiştir (Şekil 4.38). Ayrıca Diyadin Fayı'nın atkuyruğu tipi sonlanmalarının olduğu kısımlarda, basınç serbestleşmesi (ing. releasing bend) zonlarına karşılık gelen normal bileşene sahip fay segmentlerinin yer aldığı oldukça dikkat çekmiştir. İnceleme alanındaki jeotermal etkinlikler olasılıkla bu normal bileşene sahip faylarla ilişkili olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.37. ERS 20800 ve 41708 yörünge no geçişli iki SAR görüntü çiftinden hesaplanan yüksek röliyef kabartma etkili farksal interferogram.



Şekil 4.38. Farksal SAR İnterferogramlarından analiz edilmiş tektonik çözümleme haritası.

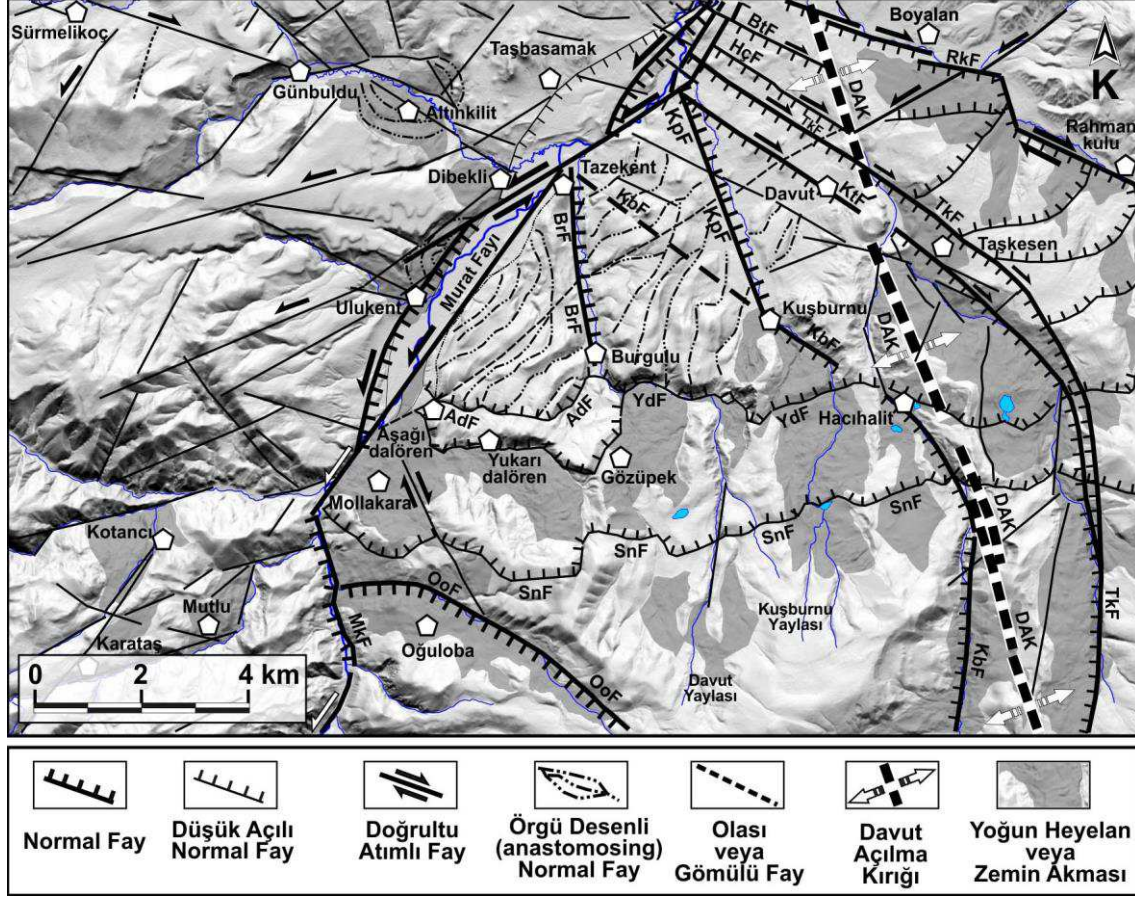
İnceleme alanını çok ilgilendiren bir diğer önemli yapı ise, Çaldıran Fayı'ndan Balık Gölü Fay Zonu'na doğru yaklaşık K10B doğrultusunda geçiş yapan açılma (tansiyon) kırığıdır. Sol yön doğrultu atımlı Diyadin Fayı'nın atkuyruğu sonlanmasındaki ikinci ana basamak normal fay bileşenli segmentle kesiştiği noktada, bu açılma kırığı üzerinde küçük bir volkan faaliyet vermiştir. Topografik haritalarda Kale Tepe olarak adı geçen volkan aynı zamanda bir jeotermal alt saha olan Davut kaplıcalarının bağlı olduğu Davut köyü bitişiğinde bulunması nedeniyle, bu çalışmada Davut Volkanı olarak isimlendirilmiş, üzerinde geliştiği bu açılma çatlama da Davut Kırığı adı verilmiştir (Şekil 4.38).

İnceleme alanının dışında ve alanın kuzey kesiminde, daha önceki çalışmalarda sağ yön doğrultu atımlı olarak tanımlanmış Ağrı Ovası Fayı'nın bindirme bileşeninin de bulunduğu saha gözlemleri tarafından desteklenmiştir. Ağrı Ovası Fayı Doğubayazıt Ovası yönünde Karapazar köyü ve Diyadin ilçe merkezi yakınlarında güneye sıçramalar yaparak geçiş yapmaktadır.

Saha çalışmaları sonrasında tektonik çalışmaların ayrıntılandırılmasında ise, Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE'nin DEM_GEOL1997 no ile yürütülmekte olan bir Alman Uzay Ajansı projesinden temin edilen çok yüksek çözünürlüklü TanDEM-X sayısal yükseklik veri setinden faydalanılmıştır (Şekil 4.39). TanDEM-X sayısal yükseklik veri seti ile her yönden farklı kabartma değerleriyle yapılan yapay ışıklandırma rölyef görüntülerine ilişkin çalışmalar, irili ufaklı tektonik hatların ayrıntılı bir şekilde ortaya çıkarılmasını sağlamıştır. Bu ayrıntılar sahada temel kayadan Kuvaterner öncesine kadar olan tüm birimlerin yüksek düzeyde makaslamaya uğradığını göstermiştir. Ortaya çıkarılan tektonik hatların yoğunluğu nedeniyle, sonuç haritasını daha anlaşılabilir kılmak ve görüntü kirliliğine neden olmamak için, ayrıntılı tektonik haritası sadeleştirilerek verilmiştir (Şekil 4.39).

Yukarıda ayrıntısı verilen ve Şekil 4.38 ile gösterilen Diyadin Fayı'nın at kuyruğu tipi sonlanma uzantıları olan normal bileşenli ana faylardan 3 adeti inceleme sahamıza girerek, yaklaşık dik doğrultudan Murat Fayı'na kadar uzanmaktadır. Bunlardan birinci kuyruk fay, yaklaşık güney doğu köşesinden inceleme sahasına girdikten sonra Taşkesen ve Davut köyleri üzerinden geçecek şekilde 2 basamaklı segmentlerine ayrılır; Taşkesen köyü üzerinden geçiş yapan faya Taşkesen fayı (TkF),

Davut köyü üzerinden geçen faya da Davut volkanının topografik haritalardaki ismi Kale Tepe olduğu için Kaletepe Fayı (KtF) adları verilmiştir (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. İnceleme alanının ayrıntılı tektonik çözümü (sadeleştirilerek verilmiştir). Harita altlığı olarak yüksek çözünürlüklü TanDEM-X sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Kısaltmalar kuzeydoğu yönünden güneybatıya doğru sırasıyla DAK: Davut Açılma Kırığı, RkF: Rahmankulu Fayı, BtF: Beyaztepe Fayı, HçF: Hıdırçayırı Fayı, TkF: Taşkesen Fayı, KtF: Kaletepe Fayı, KpF: Kaplıcalar Fayı, KbF: Kuşburnu Fayı, BrF: Burgulu Fayı, AdF: Aşağıdalören Fayı, YdF: Yukarıdalören Fayı, SnF: Sünnetnebi Fayı, OoF: Oğuloba Fayı.

Diyadin Fayı'nın ikinci ana kuyruk uzantısı birinci kuyruğun 2 km kadar batısından inceleme sahasına giriş yaparak sırasıyla Hacıhalit ve Kuşburnu köyleri üzerinden geçer; bu faya Kuşburnu fayı (KbF) adı verilmiştir. Üçüncü ana kuyruk fay ise, inceleme sahasının yaklaşık güneybatısında Oğuloba köyünden geçtiği için Oğuloba fayı (OoF) olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.39).

Arap ve Avrasya kıtalarının çarpışmasına bağlı olarak yaklaşık K-G sıkıştırması nedeniyle, bölgeye hakim asal gerilme yönleri itibarıyla tüm Doğu Anadolu'da kabaca K-G veya K10B doğrultusunda normal fayların, D-B doğrultusunda bindirme bileşenli fayların, KB-GD doğrultusunda sağ yön doğrultu atımlı fayların ve KD-GB doğrultusunda sol yön doğrultu atımlı fayların gelişmesi beklenir. Ancak, neotektonik döneme ilişkin bu asal gerilme yön dengesine uyumlu şekilde gelişmiş olan sol yön doğrultu atımlı Diyadin Fayı'nın (bknz. Şekil 4.38), inceleme sahamıza giren at kuyruğu sonlanma segmentleri doğal bir sonuç olarak, bölgeye hakim asal gerilme yönlerinin gerektirdiğine aykırı bir şekilde, yaklaşık BKB-DGD doğrultusunda GGB yönünde eğimli normal fay bileşeniyle çalışmaktadırlar. Bu durum, Diyadin Fayı ile Murat-Zilan faylarının arasındaki sahanın, bölgeye hakim asal gerilme yönlerinden bağımsız bir şekilde, KKD-GGB doğrultusunda açılarak rahatlamasını sağlamaktadır.

Bu çerçeveden ele aldığımızda, hem Murat Fayı'nın normal bileşeni hem de Diyadin Fayı'nın normal fay özelliğindeki at kuyruğu sonlanma segmentleri, özellikle Murat Nehri'nin doğusundaki kısım olmak üzere inceleme sahasının neredeyse tamamının açılma tektoniğinin etkisinde gelişimine imkan sağlamaktadırlar. Bu etki altında güneydeki daha yüksek kotlu alanlarda Neojen birimlerdeki killi seviyeleri kullanan, lokal ve çok küçük ölçekte birer sıyrılma fayı düzlemi gibi düşünülebilecek, düşük açılı ve yaklaşık D-B uzanımlı olan birbirine paralel iki kayma düzlemi, bu çalışmada normal faylar olarak değerlendirmeye alınmıştır. Bunlardan en güneyde ve en üst kotta olanı, güneybatıdaki Mollakara köyünün hemen güneyinden itibaren doğu yönünde sırasıyla Kuşburnu yaylasından ve Sünnetnebi Gölü kenarından geçerek doğu kesimdeki Davut Açılma Kırığına (DAK) kadar uzanır; bu yapıya Sünnetnebi Fayı (SnF) adı verilmiştir (Şekil 4.39). Sünnetnebi Fayı'na yaklaşık paralel olup yamaç aşağıya ortalama 2.5 km mesafede daha alt kotta ve aynı özellikteki olan ikinci düzleme ilişkin yapısal sınır, batıdan doğuya doğru sırasıyla Yukarıdalören, Gözüpek ve Hacıhalit köylerinden geçerek yine Davut Açılma Kırığına (DAK) kadar uzanır; bu yapıya ise Yukarıdalören Fayı (YdF) adı verilmiştir (Şekil 4.39). Ayrıca yine bu yapının bir alt basamağında kabaca ortalama yamaç aşağıya 700 m mesafede Aşağıdalören ve Burgulu köyleri arasında 4 km kadar uzanımlı benzer diğer bir yapıya da Aşağıdalören Fayı (AdF) adı verilmiştir. Neojen birimler bu düzlemleri kullanarak Murat Nehri'ne kadar 2-3 kademe olarak kaymıştır. Neojen birimlerin üzerindeki Miyo-

Pliyo-Kuvaterner yaşlı pekişmemiş veya az pekişmiş genç volkanik (piroklastik) ürünlerin tamamı, bu yapıların ve yer yer de birbirlerinin üzerinde kayarak Murat Nehri'ne yaklaşık paralel uzanımları olan örgü desenli (ing. anostomosing) faylar oluşturarak Murat Fayı'na kadar ulaşmışlardır. Bu özellikleri sunan genç piroklastiklerin üst sınırı, Aşağıdalören Fayı'nın (AdF) tamamını ve Burgulu köyünden itibaren de doğu yönünde Yukarıdalören Fayı'nı (YdF) kullanarak Davut Açılma Kırığına (DAK) kadar uzanır. Alt sınır ise Murat Fayı olmakla birlikte, yer yer Murat Nehri yatağının içine girerek Murat Fayı'nın üzerini dar alanlarda kısmen örten piroklastikler, düşük hızlı kayma ve kütle hareketlerinin bazı alanlarda devam ediyor olduğunun göstergesidir.

Sünnetnebi ve Yukarıdalören fayları (SnF ve YdF), sahanın kuzeyinde kesişen yaklaşık K30D doğrultulu Murat Fayı ile yaklaşık K10B doğrultulu Davut Açılma Kırığı (DAK) arasında, bir üçgenin güney kesimdeki üçüncü kenarını oluşturacak şekilde kabaca D-B doğrultusunda uzanım yapmaktadırlar. Yüzeyde sıyrılma fayına benzer kayma düzlemleri itibarıyla, Sünnetnebi ve Yukarıdalören faylarının (SnF ve YdF) listrik özellik taşımayıp düzlemsel faylar olduğu düşünülmektedir. Bu fayların olasılıkla, Murat Fayı'nın normal bileşenli faaliyetleri sonrasında, kendi kayma düzlemleri boyunca gravite kontrollü kayarak öteleme yapmak suretiyle, düşük açılı ve sığ derinlikte etkinlik gösteriyor olmaları gerekir.

Sünnetnebi Fayı'nın üst kotlarında kısmi alanlar ve Yukarıdalören Fayı'nın alt kotlarında da Kuşburnu köyüne kadar inen bir alanla birlikte, özellikle bu iki fayın arasındaki zonun çok büyük bir kısmı heyelan ve zemin akması gibi kütle hareketleri ile ilişkilidir (Şekil 4.39). Yukarıdalören Fayı'nın tavan bloğunun üzerinden kayarak, Murat Fayı'na örgü desenli çok sığ derinliğe inen faylarla arka arkaya yığışım yaparak dayanan genç piroklastiklerin morfolojisi, yaklaşık K10B doğrultulu iki adet antitetik normal fayın açık bir şekilde saptanmasına olanak vermektedir. Biri Burgulu ve Tazekent köyleri arasında (Burgulu Fayı; BrF) ve diğeri Kuşburnu köyü ile Kaplıcalar arasında (Kaplıca Fayı; KpF) uzanan bu iki fay, Murat Nehri sağ sahiline kadar dayanmış olan piroklastikleri, ortalama kot seviyeleri itibarıyla güneybatıdan kuzeydoğuya doğru düşen 3 bölüme ayırmaktadır. Bu göstergenin perspektifiyle, bölgesel asal gerilme dengesinden bağımsız bir açılma tektoniği çerçevesinde, inceleme alanı içerisinde nerdeyse sadece farklı doğrultulara sahip normal bileşenli fayların

kontrolünde kademeli depresyon (tektonik çöküntü) alanlarının gelişmiş olduğu söylenebilir.

Murat Fayı bu kademeli tektonik çöküntü alanlarının hepsine eşit düzeyde bir etki ile yaklaşım yaparken, tektonik çöküntü alanlarının çökme miktarındaki birincil kontrol mekanizmasını, Diyadin Fayı'nın at kuyruğu sonlanmalı ve normal bileşenli 3 ana segmenti sağlamaktadır; çökme miktarı büyükten küçüğe doğru sırasıyla birinci ana kuyruk segmenti (Taşkesen Fayı; TkF), ikinci ana kuyruk segmenti (Kuşburnu Fayı; KbF) ve üçüncü ana kuyruk segmenti (Oğuloba Fayı; OoF) şeklinde takip edilebilir.

Kademeli çökme alanlarının ikincil kontrol mekanizması ise kuyruk ana faylarına antitetik özellik gösteren ve kuzeydoğuya eğimli olan önem sırasına göre Kaplıca Fayı (KpF) ve Burgulu Fayı (BgF) tarafından sağlanır. Depresyon alanlarının çökme miktarlarındaki bu birincil ve ikincil kontrol mekanizmaları bağlamında, en büyük çöküntü alanı, Davut Açılma Kırığının (DAK) doğu kesimine geçmemek kaydıyla Taşkesen Fayı (TkF) ile Kaplıca antitetik fayı (KpF) arasındaki sahadır. İkinci sıradaki çöküntü basamağı ise Kaplıca antitetik fayı (KpF) ile Burgulu antitetik fayı (BrF) arasındaki bölgedir. Üçüncü basamak çöküntü alanı ise Burgulu antitetik fayı (BrF) ile Oğuloba Fayı (OoF; 3. Kuyruk ana fayı). Bu arada, ikinci basamak çökme sahasının çok düşük açılı bir düzlem üzerinde toplu halde kayarak örgü desenli faylarla yığışım yapan genç volkanitler tarafından örtülmüş olduğunu ve bu örtü altından 2. kuyruk ana fayı olan Kuşburnu Fayı'nın (KbF) geçiyor olduğunu ve Kuşburnu Fayı'nın bu ikinci basamak çökme alanında verimli jeotermal kaynak sağlamak için birincil derecede önemli olduğunu akıldan çıkarmamak gerekir.

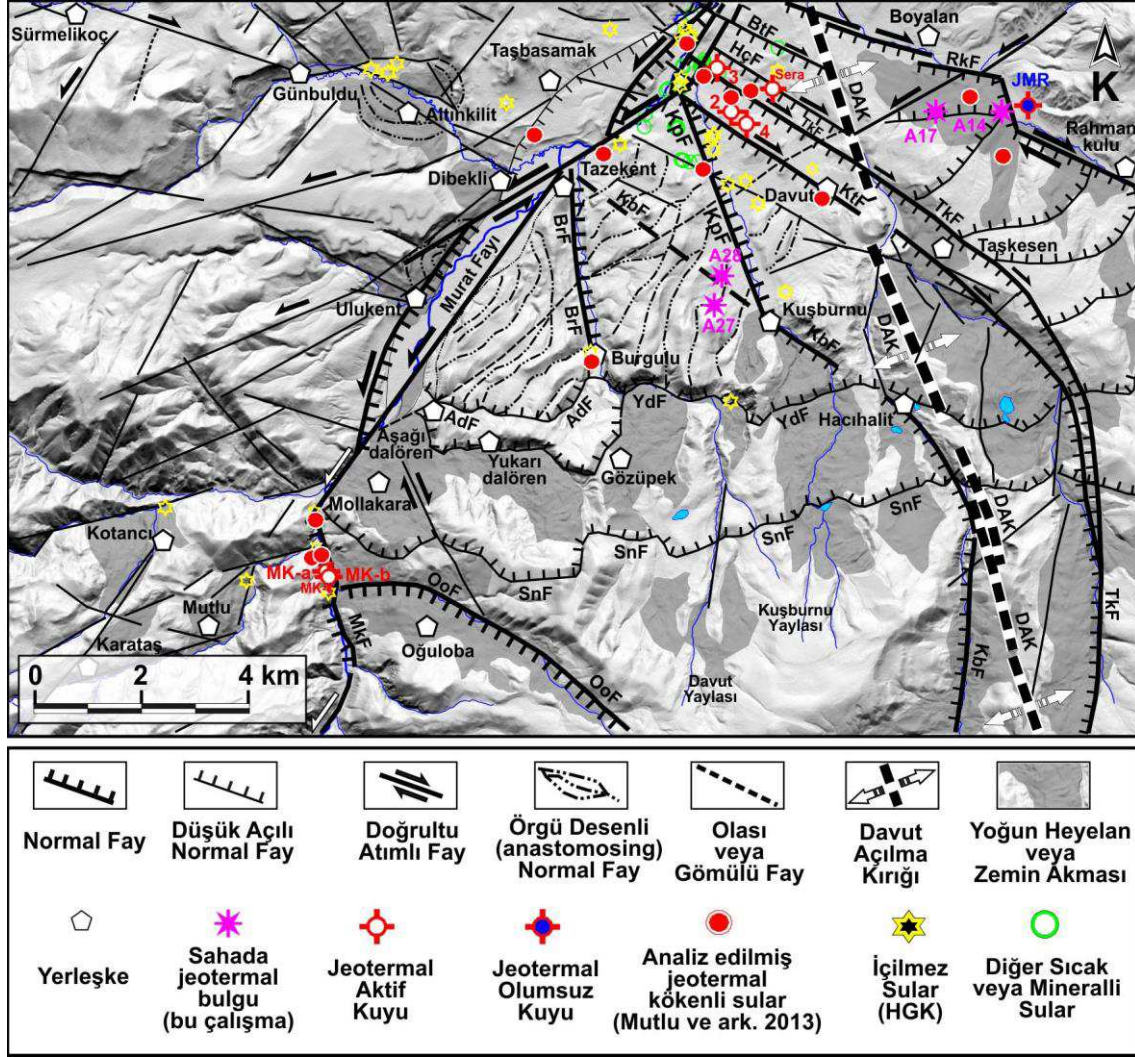
Diyadin Fayı'nda birinci kuyruk ana fayı olan Taşkesen Fayı'nın (TkF), Murat Nehri'ne (Murat Fayı'na) ulaştığı son 4 km'lik kısmında, inceleme alanındaki yaklaşık en düşük kot seviyesini içine alan düzlüğe ulaşılır. Burası en yüksek miktarda çökmüş alan olup, doğal jeotermal etkinliklerin en yoğun olduğu ve ayrıca verimli ve sık jeotermal kuyuların işletildiği alandır. Bu kısımda, olasılıkla basınç (tektonik kuvvet basıncı) serbestleşmesine bağlı olarak Taşkesen Fayı'nın (TkF) arka planında ve hemen yakınında, Davut Açılma Kırığı (DAK) ile Murat fay segmentleri arasında daralan bir alanda, Taşkesen Fayı'na paralel uzanımlı (TkF) iki normal fay daha gelişmiştir. Bu faylara Hıdırçayırı Fayı (HçF) ve Beyaztepe Fayı (BtF) adı verilmiştir (Şekil 4.39).

İnceleme alanı içerisinde jeotermal sistem açısından önemli bir diğer fay, sahanın güneybatısındaki Mollakara Fayı'dır (MkF). Bu fay, Murat Fayı'nın güneybatı yönünde inceleme alanı dışında kalan ve yaklaşık Erciş'e kadar uzanan Zilan Fayı'na sıçrama yaptığı normal bileşenli bir faydır. Fayın eğimi BGB yönündedir; bu nedenle, bu bölgede etkinlik gösteren doğal çıkışlı jeotermal kaynaklar bu fayın BGB kanadından, fay düzleminin yüzey izi üzerinden veya yakınlarından ve doğrudan ana kayadan veya çok ince bir örtü tabakası altından alınmaktadır (Şekil 4.39).

İnceleme alanımızın bir diğer önemli fayı, çözümlendiğimiz tektonik haritasının kuzeydoğu köşesinde yer alan, inceleme alanımızın dışındaki Ağrı Ovası Fayı'nın en güneye sıçramış segmenti olarak sahamıza KB-GD doğrultusuyla giren sağ yön doğrultu atımlı Rahmankulu Fayı'dır (RkF). Bu fayın GB yönüne eğimli normal fay bileşeni de bulunmaktadır (Şekil 4.39). Rahmankulu Fayı (RkF), Diyadin ilçe merkezinin güneybatı ve güneyi çevresinde yayılım gösteren ve inceleme alanımızın sınırları içerisinde kalan Diyadin jeotermal sisteminin Murat Fayı'ndan sonra ikinci önemli sınır fayıdır. Diyadin jeotermal alanı, Murat Fayı ile Rahmankulu Fayı (RkF) arasında etkinlik gösteren bir tektonik çökme ile kendi sistemini oluşturmaktadır. Diyadin jeotermal sisteminin bu özelliği nedeniyle, Rahmankulu Fayı'nın (RkF) kuzeydoğu kanadındaki blok üzerinde yapılacak jeotermal arama çalışmalarının umut verici olması beklenmemelidir. Rahmankulu Fayı'nın (RkF) kuzeydoğu kanadında yapılacak sondajlarda, oldukça sık aralıkla geçirimsiz katmanlar içeren ve birkaç bin metreye ulaşabilecek bir kalınlığa ulaşabilecek Neojen, Paleojen ve Mesozoyik birimlerde ilerlenmesi muhtemeldir. Nitekim, Diyadin jeotermal sistemi için bu tez çalışmasında yapılan tektonik çözümlenmeler öngörülmeden önce yakın zamanda Rahmankulu Fayı'nın (RkF) eğim yönüne göre Rahmankulu arkasına (KD bloğuna) düşecek şekilde açılmış bir derin sondaj (1450 m) çalışmasından hiçbir şey elde edilememiştir.

Rahmankulu Fayı, inceleme sahamızın doğu dışına çıktıktan sonra Tendürek volkanının lavlarının altından geçer ve doğrudan Tendürek volkanıyla ilişkili bir faydır. Diyadin'deki jeotermal sistem Tendürek volkanı ile ilişkilendirilecekse, Diyadin'den Tendürek volkanına yüksek doğrultu bileşeni ile uzanan bir fay düzleminin iki tarafında bulunan blokların her ikisinde de jeotermal aktivitelere rastlanması beklenirdi. Diyadin'den doğrudan Tendürek volkanına uzanım yapan bir fay olarak Rahmankulu

Fayı'nın (RkF) KD bloğunda derin bir sondajla jeotermal bir bulguya rastlanmaması, Diyardin'deki jeotermal sistemin Tendürek volkanizmasıyla hiçbir bağlantısının olmadığını altını bir kez daha çizmektedir (Şekil 4.39 ve 4.40).



Şekil 4.40. İnceleme alanının ayrıntılı tektonik çözümlemesinin sıcak ve mineralli su lokasyonlarıyla karşılaştırılması. Harita altlığı olarak yüksek çözünürlüklü TanDEM-X sayısal yükseklik modeli kullanılmıştır. Kısaltmalar kuzeydoğu yönünden güneybatıya doğru sırasıyla DAK: Davut Açılma Kırığı, RkF: Rahmankulu Fayı, BtF: Beyaztepe Fayı, HçF: Hıdırçayırı Fayı, TkF: Taşkesen Fayı, KtF: Kaletepe Fayı, KpF: Kaplıcalar Fayı, KbF: Kuşburnu Fayı, BrF: Burgulu Fayı, AdF: Aşağıdalören Fayı, YdF: Yukarıdalören Fayı, SnF: Sünnetnebi Fayı, OoF: Oğuloba Fayı. Jeotermal aktif kuyulardaki rakamlar MTA tarafından açılan kuyuların sırasına göre verilmiştir. "MK-a" ve "MK-b", kodlaması Mollakara köyü yakınlarında işletilmekte olan kuyular için kullanılmıştır. Jeotermal olumsuz kuyu, bir özel şirket adına 1450 m derinliğinde açılmıştır. Haritadaki su noktalarına yönelik diğer açıklamalar, metin içerisinde yukarıdaki paragrafta yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında belirlenen ayrıntılı tektonik yapı hatlarının (Şekil 4.39), inceleme alanı içerisindeki jeotermal kökenli sıcak ve/veya mineralli su kaynak noktaları ile olan ilişkileri ayrıca değerlendirilmiştir (Şekil 4.40).

Bu değerlendirmede “Analiz Edilmiş Jeotermal Kökenli Sular” tanımlaması için, bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından genellikle aynı su noktaları için farklı tarihlerde çok sayıda analiz sonucu bilimsel çalışmalarda veya raporlarda yayınlanmış olmasına rağmen, söz konusu su noktaları için verilmiş olan lokasyonlara yönelik sahada yapmış olduğumuz incelemeler neticesinde daha güvenilir veriler olarak gördüğümüz Mutlu ve ark. (2013) tarafından sunulan veriler kullanılmıştır (Şekil 4.40). Diğer taraftan daha önce hiçbir yayında yer verilmemiş olan ve kendi saha gözlemlerimiz sırasında bulmuş olduğumuz yeni birkaç jeotermal kaynağı da harita üzerine yerleştirdik. Ayrıca eski adıyla Harita Genel Komutanlığı olan (HGK) Harita Genel Müdürlüğü'nün harita kıymetlendirme ekiplerince değerlendirmeye almış oldukları içilmez sular envanterindeki noktalar HGK tanımlamasıyla, Diyardin Tarıma Dayalı İhtisas OSB Bölge Müdürlüğü tarafından derlenmiş diğer jeotermal kökenli kaynak noktaları da “Diğer Sıcak ve Mineralli Sular” tanımlamasıyla haritaya işlenmiştir (Şekil 4.40).

Şekil 4.40'ın üzerinde haritalaması yapılmış olan fay hatlarının, yöredeki doğal sıcak ve/veya mineralli kaynak çıkışları ve MTA'nın verimi yüksek sıcak su kuyuları ile son derece uyum içerisinde oldukları görülmektedir. Gerek Diyardin kentsel ısıtımında, gerekse seracılıkta, kaplıcalarda ve hamamlarda ve benzeri amaçlarla işletilmekte olan sıcak su kaynaklarının tamamı, haritada işlenmiş fayların yakın çevresinde yer almıştır. Bunların büyük bir çoğunluğu yukarıda tektonik analizlerde açılımını yapmış olduğumuz birinci basamak depresyon (tektonik çökme) alanı içerisinde yer almaktadır. Diğer taraftan, birinci basamak depresyon alanı içerisinde yer alan bu kaynaklardan diğerlerine göre daha yüksek sıcaklık ve debi özellikleriyle yüksek verimle işletilenlerin, Diyardin Fayı'nın inceleme sahasındaki kuyruğu sonlanma segmentlerinden birinci segment olan Taşkesen Fayı (TkF) ile ilişkili olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Diyardin Fayı'nın Murat Fayı'na doğru atkuyruğu tipi sonlanma kollarının meydana getirdiği basınç serbestleşmesi zonlarına karşılık gelen normal faylar, inceleme alanındaki mevcut doğal çıkışlı jeotermal etkinlikler ile sığ derinliklere açılmış

verimli jeotermal kuyulardan elde edilen akışkanları yüzeye yaklaştıran veya taşıyan en önemli unsur gibi görülmektedir. Bunun yanı sıra, bu çalışmayla çözümlenmiş fay sistemleri çerçevesinde, Diyadin jeotermal sahasında henüz hiç el atılmamış ve jeotermal potansiyeli çok yüksek alanlar olduğunu da açıkça görmekteyiz.

Doğru noktalarda doğru derinliklere sondajlar yapılması durumunda, Diyadin jeotermal sahasında Batı Anadolu'daki kaynaklar kadar verimli ve yüksek sıcaklıkta sular elde edileceğinden en ufak bir şüphe duymamaktayız.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Kentsel ısıtmadaki kullanımıyla Doğu Anadolu Bölgesi'nde tek örneği teşkil eden Ağrı ilindeki Diyadin ilçesi, Türkiye'deki önemli jeotermal sahalardan birisi olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

Diyadin ilçe merkezinin kabaca 6 km kadar güneybatısında bulunan Diyadin jeotermal sahası, yaklaşık olarak Davut, Dibekli ve Gögebakan köyleri arasındaki üçgen sahayı ortalamaktadır. Ayrıca bu sahadan Murat Nehri vadisi boyunca yaklaşık 10 km kadar daha güneybatıda bulunan Mollakara köyü civarında ise çoğunlukla ana kaya veya çok ince bir zemin üzerinde olan bir jeotermal etkinlik söz konusudur. Mollakara'da güneyindeki jeotermal etkinlik, Murat Fayı'nı Zilan Fayı'na bağlayan eğim yönü güneybatıya olan normal bileşenli bir fay düzleminin yüzeydeki izi üzerinde veya yakınlarında gerçekleşmektedir.

Daha önce yapılmış olan çalışmalar kapsamında, yöredeki sıcak ve mineralli suların varlığı, genellikle Tendürek volkanizmasıyla ilişkilendirilmiştir. Kuvaterner yaşlı Tendürek volkanizmasının merkezi konisi, Diyadin jeotermal sahasının 25 km güneydoğusunda bulunmaktadır. Lav ürünleri çok geniş bir alana yayılan kalkan tipindeki Tendürek volkanının 40 km kadar daha güneyinde de jeotermal sahalara olduğu bilinmektedir (Şekil 4.33). Ancak daha gerçekçi ele alacak olursak, Tendürek volkanı çevresinde konuşlanmış birçok jeotermal sahaya aslında Tendürek volkanından daha yakın duran volkanlar ve fay hatları (Şekil 4.33 ve 4.38) bulunmaktadır. Örneğin en kuzeydeki Sağlıksuyu jeotermal sahası Zor Dağı volkanının hemen eteğinde ve Balık Gölü Fay Zonu yakınlarında bulunurken, güneybatıdaki Taşkapı ve Hasanabdal jeotermal sahaları Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin tam da içerisinde, Diyadin ise yine aynı volkanik yapının KD köşesinde yer almaktadır. Aladağlar Volkanik Kompleksi çok çalışılmamış olmakla birlikte, Patnos, Erciş, Tendürek Volkanı, Diyadin, Taşlıçay ve Ağrı il merkeziyle çevrelenen, kabaca 80 km çaplı Türkiye'deki en geniş volkanik ürün yayılımına sahip olan ve Miyosen ile günümüz arasında kesintisiz faaliyet göstermiş olan bir volkanizmadır.

Bununla birlikte Şekil 4.33'e daha dikkatli bakıldığında, Diyadin jeotermal sahası ile Erciş yönünde daha güneybatıdaki Mollakara, Taşkapı ve Hasanabdal

jeotermal alanlarının aynı çizgisel hat üzerinde diziliyor oldukları açıkça görülmektedir. Ortalarındaki Hüdavendigar Dağı'nın güney eteklerinden itibaren Zilan Çayı'nın GB yönünde akış vererek Van Gölü'ne ulaştığı vadide Taşkapı ve Hasanabdal jeotermal alanları yer alırken, Hüdavendigar Dağı'nın kuzey eteklerinden itibaren KD yönünde akış veren Murat Nehri vadisinde de Mollakara ve Diyadin jeotermal sahaları bulunmaktadır. Van Gölü'nden itibaren Zilan ve Murat vadileri birlikte, KD-GB doğrultusunda yaklaşık 80 km uzunluğunda düz bir çizgisel hat oluşturmaktadır. Bu hat bugüne kadar Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan tektonik amaçlı çalışmalarda bir fay hattı olarak gösterilmemiş ve/veya üzerinde yeterince ayrıntıya girilmemiştir (Şekil 4.34 ve 4.35).

Diyadin jeotermal sahasındaki sıcak su kaynakları, 10 km kadar daha güneybatıdaki Hüdavendigar Dağı'nın (3539 m) güneydoğu ve doğu yamaçlarından geçerek Diyadin ilçe merkezine doğru KD yönünde akış veren Murat Nehri çevresinde ve çoğunlukla da nehrin doğu kesiminde yer almaktadır. Bu durumun yanı sıra, Hüdavendigar Dağı ile Diyadin arasındaki kesimde, Murat Nehri'nin batısındaki yamaçlarda, özellikle Mollakara ve Dibekli köylerinin batı ve kuzeybatı kesimlerinde daha genç birimler altındaki metamorfik birimler çeşitli noktalarda geniş alanlarda mostra vermektedirler. Buna karşın, nehrin doğu kesiminde ise bölgenin temel kaya birimlerine hiç rastlanmamakta, ağırlıklı olarak zeminde Neojen ve bunlar üzerine gelen Miyo-Pliyo-Kuvaterner volkanik birimler yer almaktadır. Ayrıca, Hüdavendigar Dağı ile Diyadin ilçe merkezi arasındaki kısmıyla Murat Nehri yatağı, mevcut birçok tektonik çalışmadaki haritalar üzerinde bir fay hattı olarak yer almıyor olmakla birlikte, doğrultu atımlı bir fay morfolojisi sunmaktadır (Şekil 4.38).

Bu zonun batı kesiminde temel kayaların üzerine gelen Neojen istifinin, Murat Nehri'ne yakın alçak kotlarda veya kısıtlı alanlarda ve zonun doğu kesimine göreceyle daha az bir kalınlıkta yayılım göstermesi, Aladağlar Volkanik Kompleksi'nin inceleme alanında kabaca 6 milyon yıl yaşa sahip volkanik ürünlerinin hem Neojen birimler üzerinde hem de arada Neojen olmaksızın doğrudan metamorfik temel kayalar üzerinde bulunması (Şekil 4.36), inceleme alanındaki kesimiyle Murat Nehri'nin batı yakasının (metamorfik birimlerin) Neojen (Alt Miyosen) istifin çökelişi sırasında veya son safhalarında yükselişe geçmiş olduğuna ve Murat Nehri'nin doğu yakasının bu dönemde düşmüş olduğuna kanıt getirmektedir.

Murat Fayı'nı oluşturan ve bununla ilişkili yukarıdaki durumların, inceleme sahasının hemen batı bitişiğinde Taşlıçay ve Hüdavendigâr Dağı çevresinde ve genellikle Murat vadisine paralel bir uzanımda geniş alanlarda yüzlek veren granitoidlerin sokulumuyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda, Paleozoyik temelin Neojen istifi devam ediyorken yükselmesi ve buna bağlı olarak Murat Fayı'nın oluşması, Zirkon U-Pb yöntemi ile yapılan yaş verileri ($19.7\pm 0.3\text{My}$; $20.3\pm 0.3\text{My}$) Taşlıçay Batoliti'nin Erken Miyosen (Burdigaliyen) döneminde kristallendiğini (Açlan ve Turgut, 2017; Altun, 2017; Duruk, 2017; Turgut, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018; Davran, 2018; Açlan ve Davran, 2019) gösterdiği için granitik kayaların yaşı ile de büyük bir uyum içerisindedir.

Bu durumda Murat Fayı, faylanmanın başlangıç aşamasında, granitik sokulum nedeniyle Paleozoyik temelin bir semer şeklinde yükselmesini sağlayacak normal fay özelliği taşımaktadır. Dolayısıyla bu normal fay düzlemi boyunca, ilk evrede Murat Nehri'nin doğu kesiminin düşmüş olmasından daha ziyade batı kesiminin yükselmiş olmasının göz önünde bulundurulması gerekir. Söz konusu yükselme, granitik magma yukarı doğru hareket ederken ve henüz sıcakken, kristallenme öncesinde (20 my'dan daha önce) meydana gelmiş olmalıdır.

Taşlıçay Batoliti üzerine yapılmış son dönem araştırmalarda (Açlan ve Turgut, 2017; Altun, 2017; Duruk, 2017; Turgut, 2017; Açlan ve Altun, 2018; Açlan ve Duruk, 2018; Davran, 2018; Açlan ve Davran, 2019) inceleme alanı ve yakın çevresindeki granitlerin, başlıca S-tipi (tonalit, granodiyorit, monzogranit, granit) ve I-tipi (gabro, diyorit, kuvarslı diyorit, monzodiyorit, kuvarslı monzodiyorit) granitoitik kayalardan oluştuğu yukarıda da belirtilmiştir. Söz konusu çalışmalarda tüm kayacın ana ve eser element jeokimyasal yorumlamaları ile bu granitoidlerin, alt kıtasal kabuktan türeyen felsik magma ile litosferik mantodan türeyen mafik magmaların karışması ile meydana gelen hibrid kalkalkalen magmadan itibaren fraksiyonel kristallenme ve asimilasyon fraksiyonel kristallenme süreçleri sonucu kristallendikleri ortaya konulmuştur. Diğer taraftan, Angus ve ark. (2006), Türkiye'nin doğusunda Arap ve Avrasya plakalarının çarpışma zonunun litosferik yapısını değerlendirmeye aldıkları çalışmalarında, Doğu Anadolu Bölgesi'nde kabaca $38^{\circ}.5 - 40^{\circ}.0$ enlemleri ile $41^{\circ}.5 - 43^{\circ}.5$ boylamları arasında kalan bölgenin altında, alt kabuk katmanının orta seviyesindeki 20 – 30 km

derinlikler arasında geniş yayımlı merceksi yapıda bir kabuksal düşük hız zonunun (CLVZ; akışkan halde magmatik kütle) güncel varlığını da ortaya koymuşlardır.

Kabaca 20 my kristallenme yaşında olan Taşlıçay Batoliti'nin yanı sıra benzer granitik kayalar, Aladağlar Volkanik Kompleksi içerisinde 70-80 km çaplı bir alanda birçok yerde irili ufaklı olarak yüzeyde baş vermektedir. Bu saha, Alt Miyosen'den günümüze kadar neredeyse kesintisiz volkanik faaliyet vermiş bir bölgedir (Aladağlar Volkanik Kompleksi). Bu alan aynı zamanda, yukarıda tanımlamasını vermiş olduğumuz Angus ve ark. (2006) tarafından belirlenen kabuksal düşük hız zonunun yayılım alanı ile yüzeydeki izdüşümü olacak kadar birebir örtüşmektedir. Diğer taraftan, Diyardin (Ağrı) – Erciş (Van) arasında Zilan Fayı ile birlikte 2 segment olarak yaklaşık 70-80 km kadar takip edilebilen Murat Fayı, granitik sokulum süreciyle geçmişteki 20 my'in daha öncesinde oluşumu öngörülebilecek olduğu için, bir olasılıkla bölgedeki üst kabuğu ($\cong 10$) derinlemesine boydan boya geçerek alt kabuğun içlerine kadar uzanmaktadır.

Tüm bu göstergelerin ışığı altında, K-G sıkıştırılmalarıyla kıta içi kısmi ergimeler sonucu geliştiği düşünülebilecek akışkan ve sıcak bir düşük hız zonundan (ve/veya onun etkisiyle meta-sedimanter kayaların kısmi ergimesiyle) itibaren, kabaca 20 my önce granitlerin kristallenmesine ve daha sonra yüzeye kadar çıkmasına kaynaklık eden bir tektono-magmatik ortamda yer alan Diyardin ve yakın çevresinde, jeotermal sahaların gelişmiş olması için Tendürek volkanı veya başka volkanların mevcudiyetine ve/veya ısı kaynaklığına ihtiyaç duyulmaması gerektiği açık bir şekilde düşünülmektedir.

Taşlıçay Batoliti'nin yöreye sokulumunun Paleozoyik temeli yükseltmesine bağlı olarak, Murat Fayı'nın başlangıç evresinde salt normal fay düzlemi olarak geliştiği düşünülmektedir. Bununla birlikte, Murat Nehri vadisinin inceleme alanındaki kısmıyla KKB-GGD doğrultusu, Doğu Anadolu'ya neotektonik süreçte etki eden yaklaşık K-G sıkıştırırmalı bir tektoniğin stres elipsoidi dengesinde, sol yön doğrultu atımlı fayların doğrultusuna uyum göstermektedir. Dolayısıyla Taşlıçay Batoliti'nin granitik kristallenme süreci sonrasında, günümüze kadar devam eden neotektonik süreç boyunca Murat Fayı'nın sol yönlü doğrultu atımlı olarak faaliyet vermesi çok kuvvetli bir olasılıktır. Öte yandan, Murat Nehri'nin batı yakasındakilere göreyle hemen doğu yakasında daha kalın olan Neojen istifin, daha da doğudaki daha yüksek kotlardaki Neojen istife ve nehrin batı yakasında mostra vermiş olduğu sahalara göreyle aşağıya

düşmüş olması ve doğal jeotermal etkinliklerin nehrin doğu yakasında daha çok baş göstermesi, Murat Fayı'nın aynı zamanda DGD yönünde düşey bileşenin de olduğu düşüncemize büyük bir destek sunmaktadır.

Diğer taraftan inceleme alanımızın kuzeydoğu köşesinde görülen Rahmankulu Fayı (Şekil 4.39 ve 4.40), inceleme sahamızın doğu dışına çıktıktan sonra Tendürek volkanına ait lavlarının altından geçer ve doğrudan Tendürek volkanıyla ilişkili bir faydır. Diyardin'deki jeotermal sistem Tendürek volkanı ile ilişkilendirilecekse, Diyardin'den Tendürek volkanına yüksek doğrultu bileşeni ile uzanan bir fay düzleminin iki tarafında bulunan blokların her ikisinde de jeotermal aktivitelere rastlanması beklenirdi. Diyardin'den doğrudan Tendürek volkanına uzanım yapan bir fay olarak Rahmankulu Fayı'nın (RkF) KD bloğunda açılmış olan derin bir sondajla (1450 m) (Şekil 4.39 ve 4.40) jeotermal bir bulguya rastlanmaması, Diyardin'deki jeotermal sistemin Tendürek volkanizmasıyla hiçbir bağlantısının olmadığına altını bir kez daha çizmektedir.

Yöredeki Helyum gazı oranlarındaki %11– %23 arasındaki mantosal katılımın (Güleç ve ark., 2002; Mutlu ve ark., 2012; Aydın ve ark., 2015), üst kabuğu boydan boya geçen Murat Fayı ya da Davut Açılma Kırığı (DAK) aracılığıyla yüzeye aktarılması büyük olasılıktır.

Çalışmamızın sonuçlar kısmının başından buraya kadar aktarılan bilgilerin sentezlemesiyle, bu tez çalışmasının en önemli sonuçlarından başlıcalarını burada belirtmemizde fayda görülmektedir.

- 1- Diyardin jeotermal sisteminin Tendürek volkanizmasıyla neredeyse hiçbir ilişkisi yoktur. Buna yönelik daha önce başka çalışmalarda sunulmuş olan kavramsal modellerin tamamının tektonik ayrıntısı verilmeksizin ve/veya yanlış değerlendirmeler sonucu üretilmiş olduğu düşünülmektedir.
- 2- Çalışma sahamızın içinden batı kesiminden geçen Murat Fayı, ve kuzeydoğusundan geçen Rahmankulu Fayı kanıtlarıyla birlikte ilk kez bu çalışmada tanımlanmıştır. Daha önce tanımlanmış olan ve çalışma sahamızın dışında doğu bitişiğinde bulunan Diyardin Fayı (Adıyaman ve ark., 1998) ile birlikte Murat Fayı ve Rahmankulu Fayı, kuzeydoğudan güneybatıya doğru daralan ince uzun bir üçgen alanda Diyardin jeotermal sisteminin sınırlandırıcı unsurlarıdır.

- 3- Yukarıda sunulan kanıtsal bilgilerin ışığında, Murat Fayı mutlaka 6 my'dan daha yaşlı olup, çok büyük bir olasılıkla 20 my'dan daha önce granitik sokulumların Paleozoyik temeli yükseltmesiyle ortaya çıkmıştır.
- 4- Murat Fayı çok büyük bir olasılıkla üst kabuğu boydan boya geçmektedir ve bir olasılıkla alt kabuğun (25-30 km derinlikteki) ortalarına kadar uzanmaktadır.
- 5- Bu özelliğinden dolayı, Diyadin jeotermal sisteminin derin dolaşımına ilgili akışkanların (sıvı ve gaz) yüzeye yaklaştırılmasında Murat Fayı birinci kontrol mekanizmasını oluşturmaktadır; buna Davut Açılma Kırığı'nın (DAK) katkı sağlıyor olması muhtemeldir, ancak bu kırığın bu çalışma haricinde daha ayrıntılı çalışılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Murat Fayı hem normal hem de doğrultu atımlı fay bileşenine sahiptir. Derin ve çok sıcak akışkanların elde edilmesi için derin sondajlarla Murat Fayı'nın kesilmesi hedeflenmelidir.
- 6- Murat Fayı'nın yüzeye yaklaştırdığı akışkanlara ilişkin jeotermal sistem olasılıkla milyonlarca yıldır yörede mevcuttur. Bunun Murat Fayı'nı kesmek üzere tasarlanacak derin sondajlardan alınacak Miyo-Pliyo-Kuvaterner istiflere ilişkin karotlarda karşılaşılabilecek etkilerle kanıtlanmasına ihtiyaç vardır.
- 7- Murat Fayı'nın yüzeye yaklaştırdığı jeotermal akışkanların sığ katmanlara veya yüzeye aktarılmasında, sahamızın dışındaki Diyadin Fayı'nın sahamızın içine giren normal fay bileşenli at kuyruğu sonlanma segmentleri ana rolü üstlenmektedir. Genellikle jeotermal amaçlı orta veya sığ derinlikteki sondajlarda bu segmentlerin (Taşkesen Fayı, Kuşburnu Fayı ve Oğuloba Fayı) kesilmesi hedeflenmelidir.
- 8- Dolayısıyla, bölgedeki doğrultu ve normal bileşenli tektonik hatların alttaki olası sıcak sistemin yüzeye aktarılmasına aracılık eden jeotermal potansiyel zonlar olarak değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Tez çalışması kapsamında, tektonik değerlendirmeleri daha önce hiçbir çalışmada ele alınmamış olan inceleme alanının tektonik ayrıntılarını ortaya çıkarmak amacıyla, arazi çalışmaları ve gözlemlerinin yanı sıra değişik ölçek ve çözünürlüklerde çok sayıda uydu verisi ve sayısal arazi modellerinden yararlanılmıştır.

Bölgenin tektoniğine yönelik daha önceki tüm çalışmalarda yer alan ve daha önceden bilinen Çaldıran Fayı ve Balık Gölü Fay Zonu haricinde, Murat ve Diyadin fayları ayrıntılı bir şekilde ilk kez bu tez çalışmasıyla haritalanmıştır. İnceleme alanını çok ilgilendiren bir diğer önemli yapı ise, Çaldıran Fayı'ndan Balık Gölü Fay Zonu'na doğru K10B doğrultusunda geçiş yapan açılma (tansiyon) kırığıdır. Sol yön doğrultu atımlı Diyadin Fayı'nın atkuyruğu sonlanmasındaki ikinci basamak normal fayla (Kuşburnu Fayı; KbF) keşiştiği noktada, bu açılma kırığı üzerinde küçük bir volkan faaliyet vermiştir. Topografik haritalarda Kale Tepe olarak adı geçen volkan aynı zamanda bir jeotermal alt saha olan Davut kaplıcalarının bağlı olduğu Davut köyü bitişiğinde bulunması nedeniyle, bu tez çalışmasında ilk defa Davut Volkanı olarak isimlendirilmiş, üzerinde geliştiği açılma kırığına da Davut Açılma Kırığı (DAK) adı verilmiştir (Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40).

Önceki yıllarda yapılmış çalışmalar içerisinde, Davut Kırığı ve Murat Fayı saptanmamıştır. Bu çalışmada belirlemiş olduğumuz Davut Kırığı, Davut köyünün yakınındaki Davut volkanı ve Taşkesen köyü yakınlarında, magma çıkışına ortam sağlamıştır. Dolayısıyla bu kırığın, Van Gölü'ne kadar uzanarak aynı zamanda Köse ve Etrüsk volkanlarının da magma çıkışlarına ortam sağlamasının olasılığı nedeniyle, çalışmada belirlemiş olduğumuz Davut Kırığı ile Murat Fayı'nın üst kabuğu kestiklerine yönelik önerimizin daha da ötesinde, bunların litosferik kırıklar olabileceğini dile getirmeye cesaret ediyoruz olmakla birlikte, bunun sadece öne sürdüğümüz bir düşünce olduğunu ve kanıtlanması gerektiğini de ayrıca vurgulamaktayız.

Farklı araştırmalardan ve kendi saha gözlemlerimizden elde edilen sadece jeotermal kökenli doğal etkinlikler ile MTA tarafından açılan kuyuların lokasyonları, çalışmamızda belirlenen tektonik hatlar ile karşılaştırılması yapılmıştır. Haritalaması yapılan fay hatlarının doğal sıcak ve/veya mineralli kaynak çıkışları ve MTA'nın verimi yüksek sıcak su kuyuları ile son derece uyum içerisinde oldukları görülmüştür.

Sonuç olarak, bölge altında kabuk içerisinde ince ve geniş yayılımlı olası bir düşük hız zonu merceğinin, bölge çapında farklı lokasyonlardaki magmatik faaliyetlerin beslenme kaynağı olarak, bölgedeki derin ve yoğun kırık sistemleri aracılığıyla inceleme alanı ve çevresindeki tüm genç volkanik faaliyetlerin ve jeotermal sistemlerin meydana gelmesinde ana işlevi üstlenmiş olduğu düşünülmektedir. Çalışmamızda

belirlemiş olduğumuz Davut Kırığı ve Murat Fayı gibi derin ve/veya litosferik kırık hatları aracılığıyla, 35-40 km aralıklarla duruş veren volkanlar ve jeotermal sistemlerin olasılıkla kendi iç dinamiklerine sahip olduklarını düşünmekteyiz. Bu bağlamda, Diyadin jeotermal sahasının da kendi iç dinamiğiyle Tendürek volkanizmasından tamamen bağımsız bir sisteme sahip olduğunu öne sürmekteyiz. Diyadin Fayı'nın Murat Fayı'na doğru gelişen atkuyruğu tipi sonlanma kollarının meydana getirdiği basınç serbestleşmesi zonlarına karşılık gelen normal fayların, inceleme alanındaki jeotermal etkinlikleri yüzeye taşıyan en önemli unsurlar olduğu düşünülmektedir.

Diyadin jeotermal sahası ve çevresinde en büyük eksikliği duyulan çalışmalar, derin ve kapsamlı jeofizik araştırmalarıdır. Bu çalışmayla birlikte tektonik ve genel jeolojik bilgi ve literatür eksikliği giderilmiş olan Diyadin jeotermal sahasında, çok sayıda yapılmış olan sıcak sulara ilişkin hidrojeokimyasal analizlerin daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için söz konusu derin ve kapsamlı jeofizik araştırmalara büyük ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abramowitz, M., Stegun, I.A., 1972. *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs and Mathematical Tables*. 55. Dover Publications, Washington. 470.
- Açlan, M., Altun, Y., 2018. Syn-collisional I-type Esenköy pluton (Eastern Anatolia-Turkey): an indication for collision between Arabian and Eurasian plates. *Journal of African Earth Science*, **142**: 1-11.
- Açlan, M., Davran, N., 2019. Petrographic and geochemical features of the Karlıca volcanites (Hamur-Ağrı). *Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, **40** (1): 72-91.
- Açlan, M., Duruk, H.İ., 2018. Geochemistry, zircon U-Pb geochronology and tectonic setting of the Taşlıçay granitoids, Eastern Anatolia, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, **11** (13): 336.
- Açlan, M., Turgut, İ.K., 2017. Şekerbulak (Diyadin-Ağrı) dolaylarında yüzeyleyen volkanik kayaların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **32** (4): 163-174.
- Adıyaman, Ö., Chorowicz, J., Köse, O., 1998. Relationships between volcanic patterns and neotectonics in Eastern Anatolia from analysis of satellite images and DEM. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **85**: 17-32.
- AFAD, 2018. *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Üniversiteler Mah., Dumlupınar Bulvarı, No:159, Eskişehir Yolu 9. km, Çankaya, Ankara, Türkiye.
- Akbulut, G., 2012. Ardahan, Kars, Ağrı, Iğdır İllerinin Jeoturizm Potansiyeli. *I. Uluslararası Iğdır Sempozyumu Sosyal Bilimler Bildiri Kitabı*. 19-21 Nisan 2012, Iğdır. 251-279.
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z., 2005. *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. 849.
- Altun, Y., 2017. *Oğlaklı-Gözucu (Taşlıçay-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Kayaların Mineralojik ve Petrografik İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, yayınlanmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Andrews, J.N., 1985. The isotopic composition of radiogenic He and its use to study groundwater movement in confined aquifer. *Chemical Geology*, **49**: 339-351.
- Angus, D.A., Wilson, D.C, Sandvol, E., Ni, J.F., 2006. Lithospheric structure of the Arabian and Eurasian collision zone in Eastern Turkey from S-wave receiver functions. *Geophysical Journal International*, **166** (3): 1335-1346.
- Aslan, Ö., Erkanol, D., Burçak, M., Avşar, M., Kocaman, H., 1991. *1/100.000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritası Doğubayazıt J51 Paftası*. Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Aydın, H., Ekmekçi, M., Tezcan, L., Dişli, E., Aksoy, N., Yalçın, M.P., Özcan, G., 2009. *Gürpınar Karst Su Kaynaklarının Potansiyelinin Belirlenmesi ve Sürdürülebilir Yönetim Açısından Değerlendirilmesi*. TÜBİTAK-ÇAYDAG, Proje No: 106Y040, *Final Raporu*. 200.
- Aydın, H., Hilton, D.R., Güleç, N., Mutlu, H., 2015. Post-earthquake anomalies in He-CO₂ isotope and relative abundance systematics of thermal waters: the case of the 2011 Van earthquake, Eastern Anatolia, Turkey. *Chemical Geology*, **411**: 1-11.

- Aydoğan, B.M., 2000. *Diyadin (Ağrı) Jeotermal Suların Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi* (yüksek lisans tezi). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Barka, A.A., Gülen, L., 1989. Complex evolution of the Erzincan Basin (Eastern Turkey). *Journal of Structural Geology*, **11** (3): 175-283.
- Bozdağ, S., Aydoğan, B.M., 2009. Assessment of groundwater quality of Diyardin springs, East part of Turkey for human consumption. *Asian Journal of Chemistry*, **21** (7): 5571-5579.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, **14**: 3-30.
- Burçak, M., Yıldırım, T., Yücel, M., 1997. *Ağrı-Diyadin-Çermik Sahası Jeotermal-Jeofizik Etüt Raporu* (yayınlanmamış). MTA Der. Rap., 10020, Ankara. 12.
- Climate Data, 2019. Dünya geneli şehirlerde iklim verileri. <https://tr.climate-data.org/location/272/>. AM Online Projects Alexander Merkel Degerforsenstr, 4774229, Oedheim. Erişim Tarihi: 21.05.2019.
- Cressie, N.A.C., 1990. The origins of kriging. *Mathematical Geology*, **22** (3): 239-252.
- Cressie, N.A.C., 1991. *Statistics for Spatial Data*. John Wiley and Sons Ltd., New York. 900.
- Çelebi, H., Utlu, F., Peker, İ., 1997. Murat Nehri'nin hidrojeokimyasal özellikleri. *Ekoloji ve Çevre Dergisi*, **22**: 14-20.
- Çoban, A., 2011. *Diyadin (Ağrı) ve Yakın Çevresinde Jeomorfolojik Birimler ile Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkiler* (yüksek lisans tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van.
- Çolakoğlu, A.R., Oruç, M., Arehart, G.B., Poulson, S., 2011. Geology and isotope geochemistry (C-O-S) of the Diyardin gold deposit, Eastern Turkey: a newly-discovered carlin-like deposit. *Ore Geology Reviews*, **40**: 27-40.
- Davran, N., 2018. *Demirkapı (Hamur-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Kayaçların Mineralojik-Petrografik İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, yayınlanmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Deutsch, C.V., Journel, A.G., 1992. *GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide*. Oxford University Press, New York. 338.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone; collision tectonics. *Geological Society, Special Publication*, **19**: 3-36.
- Dhont, D., Chorowicz, J., 2006. Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery. *International Journal of Earth Sciences, Geologische Rundschau*, **95**: 34-49.
- Duruk, H.İ., 2017. *Kumluca (Taşlıçay-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Kayaçların Mineralojik-Petrografik İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, yayınlanmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S., Tadahide, U., 1990. Doğu ve Güneydoğu Anadolu neojen-kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *MTA Dergisi*, **110**: 143-164.
- Ercan, T., Matsuda, J.I., Nagao, K., Kıta, I., 1995. Noble gas isotopic compositions in gas and water samples from Anatolia. *International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*. 7-11 Eylül 1992, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. 197-206.

- Erden, O., 2005. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Jeotermal Kaynaklarının Potansiyeli ve Değerlendirilmesi. *Maden Kaynaklarının Değerlendirilmesi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*. 21-23 Nisan 2005, Diyarbakır. 93-102.
- Eren, Y., 2009. *Neotektonik Ders Notları*. <http://www.yasareren.com/yasareren/pdfdosy/neotektonik/Microsoft%20Word%20-%20neotektonikersnotu.pdf>. T.C. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya. Erişim Tarihi: 28.07.2018.
- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., Koçak, A., 1996. *Türkiye Jeotermal Envanteri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. 480.
- Golden Software, 2019. A basic understanding of Surfer gridding methods. <https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/articles/231348728-A-Basic-Understanding-of-Surfer-Gridding-Methods-Part-1>. Golden Software, LLC 809 14th Street, Golden, Colorado, 80401, USA. Erişim Tarihi: 26.05.2019.
- Güleç, N., Hilton, D.R., Mutlu, H., 2002. Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Chemical Geology*, **187**: 129-142.
- Hempton, M.R., 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. *Tectonics*, **6** (6): 687-705.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Serri, G., Villari, L., 1980. Geology of the volcanic area north of Lake Van (Turkey). *International Journal of Earth Sciences, Geologische Rundschau*, **69** (1): 292-323.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York. 561.
- İzbirak, R., 1996. *Türkiye I*. MEB Yayınları, İstanbul.
- Journel, A.G., 1989. *Fundamentals of Geostatistics in Five Lessons*. American Geophysical Union, Washington. 57.
- Journel, A.G., Huijbregts, C., 1978. *Mining Geostatistics*. The Blackburn Press, 600.
- Kaya, F., 2008. Diyaradin'in kuruluşu gelişmesi ve fonksiyonel özellikleri. *Eastern Geographical Review*, **20**: 107-140.
- Ketin, İ., 1969. Türkiye'nin genel tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler. *MTA Dergisi*, **71**: 129-135.
- Kipfer, R., Aeschbach-Hertig, W., Baur, H., Hofer, M., Imboden, D.M., Signer, P., 1994. Injection of mantle-type helium into Lake Van (Turkey): the clue for quantifying deep water renewal. *Earth and Planetary Science Letters*, **125**: 357-370.
- Koçyiğit, A., Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, **284**: 317-336.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anatolian plateau (Turkey) and lesser caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, **14**: 177-195.
- Köse, O., 2000. *Kuzey Anadolu Fay Kuşağında Tektonik Gerilim Birikim Noktalarının Uzaktan Algılama Teknikleri ile Belirlenmesi* (doktora tezi, basılmamış). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara. 121.
- Köse, O., Açlan, M., Aydın, H., 2013. *Diyadin (Ağrı) Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Etüt Raporu* (Aytemiz Elektrik Üretim A.Ş., yayınlanmamış). YYÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van. 32.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., Bonnin, J., 1973. *Plate Tectonics: Developments in Geotectonics*. 6. Elsevier Science Ltd., Amsterdam. 300.

- Mc Kenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, **30** (2): 109-185.
- MGM, 2019. Ağrı ilinde gözlenen uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1940 - 2018). <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?k=A&m=AGRI>. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim Tarihi: 21.05.2019.
- Morelli, C., 1978. Eastern Mediterranean: geophysical results and implications. *Tectonophysics*, **46**: 333-346.
- Mutlu, H., 1998. Chemical geothermometry and fluid-mineral equilibria for the Ömer-Gecek thermal waters, Afyon area, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **80**: 303-321.
- Mutlu, H., Aydın, H., Kazancı, A., 2013. Diyardin (Ağrı) jeotermal sahasına yönelik jeokimyasal ve izotopik bulgular. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Jeotermal Enerji Semineri*. 17-20 Nisan 2013, İzmir. 47-67.
- Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D.R., Aydın, H., Halldórsson, S.A., 2012. Spatial variations in gas and stable isotope compositions of thermal fluids around Lake Van: implications for crust-mantle dynamics in Eastern Turkey. *Chemical Geology*, **300-301**: 165-176.
- Nagao, K., Matsuda, J.I., Kıta, I., Ercan, T., 1989. Noble gas and carbon isotopic compositions in quaternary volcanic area in Turkey. *Bulletin of Geomorphology*, **17**: 101-110.
- Nordstrom, D.K., Munoz, J.L., 1986. *Geochemical Thermodynamics*. 1. Blackwell Science Inc., Cambridge, United Kingdom. 477.
- Oruç, M., 2011. *Diyardin (Ağrı) Altın Cevherleşmesinin Jeolojik ve Jeokimyasal İncelemesi* (yüksek lisans tezi). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999. *User's guide to PHREEQC (Version 2) - A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport and Inverse Geochemical Calculations*. U.S. Geological Survey, *Water - Resources Investigations Report*, 99 - 4259, Colorado, USA. 327.
- Pasvanoğlu, S., 2013. Hydrogeochemistry of thermal and mineralized waters in the Diyardin (Ağrı) area, Eastern Turkey. *Applied Geochemistry*, **38**: 70-81.
- Pasvanoğlu, S., Güler, S., 2010. Hydrogeological and geothermal features of hot and mineralized waters of the Ağrı - Diyardin (Turkey). *Proceedings World Geothermal Congress*. 25-29 April 2010, Bali, Indonesia. 1-10.
- Pasvanoğlu, S., Vural, S., 2012. Diyardin (Ağrı) ve Erciş (Zilan-Van) sıcak ve mineralli suların karşılaştırmalı incelenmesi. *5. Jeokimya Sempozyumu Bildirileri*. 23-25 Mayıs 2012, Denizli. 90-91.
- Savcı, G., 1980. Doğu Anadolu volkanizmasının neotektonik önemi. *Yeryuvarı ve İnsan*, 46-50.
- Şaroğlu, F., Güner, Y., 1981. Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *TJK Bülteni*, **24**: 39-50.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1984. Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve İlgili Magmatizması. *TJK Ketin Sempozyumu Bildirileri Kitabı*. 20-21 Şubat, Ankara. 149-162.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *MTA Dergisi*, **107**: 73-94.
- Şenel, M., Ercan, T., 2002. *1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Van Paftası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Eskişehir Yolu, 06520, Ankara.

- Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F., 1979. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, **55**: 361-376.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, **75**: 181-241.
- Turgut, İ., 2017. *Şekerkulak (Diyadin-Ağrı) Dolaylarında Yüzeyleyen Kayaçların Mineralojik-Petrografik İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, yayınlanmamış). YYÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- TÜİK, 2019. Ağrı ilinde 2018 yılında gözlenen merkez, ilçe ve köylere ait nüfus verileri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Erişim Tarihi: 21.05.2019.
- Zaman, M., Polat, S., Özdemir, M., 2000. Diyadin thermal springs. *Eastern Geographical Review*, **4**: 349-377.





ÖZ GEÇMİŞ

1985 yılında İran'ın Rasht (Reşt) ilinde doğdu. Annesi Türk, babası İranlıdır. 5 yaşında Türkiye'ye gelerek Van ilinde yaşamaya başladı. İlk ve orta eğitimini Van İnönü İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini ise Van Kazım Karabekir Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılının Eylül ayında, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2014 yılının Haziran ayında, lisans eğitimini fakülte ve bölüm birinciliği dereceleri ile tamamlayıp Jeoloji Mühendisi unvanını alarak mezun oldu. 2014 yılının Eylül ayında, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017 yılının Eylül ayında, "Mavi Huzur" adı ile yayımlanan güzel söz ve şiir kitabıyla yazın dünyasına ilk adımını atmaya başladı.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: ...04/10/2019

Tez Başlığı / Konusu: Diyardin (Ağrı) Güneyinin Tektonik Özellikleri ve Jeotermal Potansiyeli

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 119 sayfalık kısmına ilişkin, 04/10/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 4 (dört) tür.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

04/10/2019

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Armin ASGHARNIAY HASAN KIYADEH

Öğrenci No: 149101057

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

Programı: Uygulamalı Jeoloji

Statüsü: Y. Lisans

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR



Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

