



**T. C.
SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİVRİĞİ (SİVAS) DEMİR YATAĞININ ANA - İZ ELEMENT ve Fe - O
İZOTOP JEOKİMYASI**

DOKTORA TEZİ

**Hande ERMAN SARIGÖL
(201592082474)**

**Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali UÇURUM**

**SİVAS
TEMMUZ 2024**

Hande ERMAN SARIGÖL'ün hazırlave “**DİVRİĞİ (SİVAS) DEMİR YATAĞININ ANA - İZ ELEMENT ve Fe - O İZOTOP JEOKİMYASI**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı	Prof. Dr. Ali UÇURUM Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet EFE Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ŞAHİN DEMİR Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Yusuf URAS Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Nursel ÖKSÜZ Yozgat Bozok Üniversitesi	

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nevcihan GÜRSOY
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



*Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **M-774** Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Hande ERMAN SARIGÖL, 2024

ETİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

26.07.2024

Hande ERMAN SARIGÖL

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ali UÇURUM ve ikinci danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ŞAHİN DEMİR’e çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, cevher mikroskopisi tanımlarında yardımcı olan Dr. Öğr Üyesi Ahmet EFE’ye;

Bu tezin arazi çalışmalarıyla ilgili her türlü lojistik desteği sağlayan Sivas-Divriği Erdemir Madencilik Şirketi Genel Müdürü Sayın Halil YILDIRIM ve ilgili tüm personeline;

Fe izotoplarını Juniata College Huntingdon-PA (USA)’da analize hazırlayan ve Pen State University, State College-PA (USA) Neptün Laboratuvarında analizini gerçekleştiren Prof. Dr. Ryan MATHUR’a;

O izotop analizlerini University of Texas at Austin-TX (USA) da gerçekleştiren Dr. Michelle GEVEDON’a;

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan biricik ve çok sevgili annem ve babama;

Tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen ve beni hep destekleyen sevgili eşim Metin SARIGÖL’e;

Teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

DİVRİĞİ (SİVAS) DEMİR YATAĞININ ANA - İZ ELEMENT VE Fe - O İZOTOP JEOKİMYASI

Hande ERMAN SARIGÖL

Doktora Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali UÇURUM

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem ŞAHİN DEMİR

2024, 79+xvi sayfa

Divriği A-B Kafa şeklinde tanımlanan demir yatağı Türkiye'nin en büyük açık işletme demir yatağı olup İç Anadolu bölgesi, Sivas İli'nin yaklaşık 100 km güneydoğusunda yer almaktadır. A-Kafa Üst Kretase-Paleosen siyenitik monzonit, Mesozoyik dolomitik kireçtaşı ve Üst Kretase serpantinleşmiş ultramafik üçlü kayaç kontağında yer almaktadır. B-Kafa ise Mesozoyik kireçtaşı ve Üst Kretase serpantinleşmiş ultramafik kayaç arasındaki tektonik kontakta bulunmaktadır.

A ve B kafa demir yatağından ayırt edilen manyetit örneklerinde ana oksit-eser (iz) element analizleri ile Fe-O izotop analizleri yapılarak sonuçlar yorumlanmıştır. Buna göre, Ti-Ni/Cr, V-Ti, Al+Mn-Ti+V, Co+Ni-Ti+Al+V magmatik-hidrotermal ayırtman diyagramları kullanılarak Divriği A ve B kafa demir yatağının magmatik-hidrotermal süreçlerle oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.

Ca+Al+Mn - Ti+V ile Ni/(Cr+Mn) - Ti+V adlandırma diyagramlarına göre Divriği A-B Kafa manyetit örnekleri çoğunlukla skarn, çok az da BIF ve IOCG bölgelerinde dağılım göstermiştir.

Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ (n=17) ve $\delta^{56}\text{Fe}$ (n=21) izotop değerleri sırası ile 5,1 ile 13,8 ‰ ve -1,06 ile 0,32 ‰ arasında değişmektedir. ^{18}O ve ^{56}Fe değerleri meteorik su ve havza getirimlerinin, cevherin oluşumunda etkili olmadığını göstermektedir.

Divriği A-B Kafa demir yatağının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{56}\text{Fe}$ verileri ABD'nin Missouri eyaletinin GD'sunda bulunan Pilot Knob manyetit-apatit yatağına benzerlik göstermektedir.

Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin ana oksit, iz element ve izotop jeokimyası sonuçlarına göre; demir cevheri, önce magmatik-hidrotermal süreçlerle oluştuğu daha sonra ise skarn tipi cevherleşmenin eşlik ettiği sonucu çıkarılabilir.

Anahtar kelimeler: Divriği, Sivas, Manyetit, ana oksit-iz element ve O-Fe izotopları



ABSTRACT

MAIN – TRACE ELEMENT and Fe - O ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF DİVRİĞİ (SİVAS) IRON DEPOSIT

Hande ERMAN SARIGÖL

Ph.D. Thesis

Department of Geological Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ali UÇURUM

Second Advisor: Assit. Prof. Çiğdem ŞAHİN DEMİR

2024, 79+xvi pages

The Divriği A-B Kafa iron deposit is the largest open pit iron deposit in Turkey and is located approximately 100 km southeast of Sivas Province in Central Anatolia. A-Kafa is located in the Upper Cretaceous-Paleocene syenitic monzonite, Mesozoic dolomitic limestone and Upper Cretaceous serpentinized ultramafic triple rock contact. B-Kafa is located in the tectonic contact between Mesozoic limestone and Upper Cretaceous serpentinized ultramafic rocks.

Main oxide-trace element analyses and Fe-O isotope analyses were performed on the magnetite samples from the A and B Kafa iron deposits and the results were interpreted. Accordingly, by using Ti-Ni/Cr, V-Ti, Al+Mn-Ti+V, Co+Ni-Ti+Al+V magmatic-hydrothermal discrimination diagrams, it was concluded that Divriği A and B Kafa iron deposits were formed by magmatik-hydrothermal processes.

According to the Ca+Al+Mn - Ti+V and Ni/(Cr+Mn) - Ti+V nomenclature diagrams, the Divriği A-B Head magnetite samples are mostly distributed in skarn, and very little in BIF and IOCG zones.

The $\delta^{18}\text{O}$ (n=17) and $\delta^{56}\text{Fe}$ (n=21) isotope values of Divriği A-B Head magnetite samples vary between 5.1 and 13.8 ‰ and between 1.06 and 0.32 ‰, respectively. $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{56}\text{Fe}$ values indicate that meteoric water and basin brines were not effective in the formation of the ore.

The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{56}\text{Fe}$ data of the Divriği A-B Kafa iron deposit are similar to the Pilot Knob magnetite-apatite deposit in the SE of Missouri, USA.

According to the main oxide, trace element and isotope geochemistry results of Divriği A-B Kafa magnetite samples; it can be concluded that iron ore was first formed by magmatic-hydrothermal processes and then accompanied by skarn type mineralization.

Key Words: Divriği, Sivas, Magnetite, main-trace elements and O-Fe isotopes.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	1
1.2 İnceleme Alanının Coğrafi Konumu.....	2
1.3 Önceki Çalışmalar.....	3
2. MATERYAL VE METOD	9
2.1 Ofis Çalışmaları	9
2.2 Arazi Çalışmaları	9
2.3 Laboratuvar Çalışmaları.....	9
2.3.1 Cevher mikroskopi incelemeleri	9
2.3.2 Jeokimya incelemeleri.....	10
2.3.3 Duraylı izotop incelemeleri.....	11
2.3.3.1 Fe izotop analizi.....	11
2.3.3.2 O izotop analizi.....	12
3. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ	13
3.1 Bölgesel Jeoloji	13
3.2 Cevher Yatakları	20
3.2.1 A-Kafa cevher yatağı	20
3.2.2 B-Kafa cevher yatağı	26
3.2.3 Yeraltı işletmesi	28
3.2.4 Karot numuneleri	33
4. DİVRİĞİ A-B KAFA DEMİR YATAKLARINA GENEL BAKIŞ	35
4.1 Divriği A ve B Kafa Demir Yatakları	36
5. CEVHER MİKROSKOPİSİ	43
6. JEOKİMYA	54
6.1 Oksit-Element Jeokimyası	54
6.2 Duraylı İzotop Jeokimyası	62
6.2.1 ^{56}Fe izotop analizi	63
6.2.2 ^{18}O izotop analizi	66
6.2.3 Fe-O izotop oranlarının yorumlanması	67
7. SONUÇLAR	72
KAYNAKLAR	73

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 2.1 Actlab Kanada'ya ana-iz element jeokimya analizleri için gönderilen örneklerin görünümü.....	11
Şekil 3.1 Sivas havzası tektonik birlikleri.....	14
Şekil 3.2 Divriği bölgesi ve çevresinde jeoloji haritası.....	17
Şekil 3.3 Sivas havzasının yapısal evrimi.....	19
Şekil 3.4 A-Kafa cevher yatağının genel görünümü ve alınan örneklerin lokasyonu.....	20
Şekil 3.5 Divriği A-B kafa demir yatağı ve çevresinin jeoloji-alterasyon haritası.....	21
Şekil 3.6 Divriği A-B kafa demir yatağının KD-GB yönlü 2001 yılında yapılmış yaklaşık 1500m uzunluğundaki enine kesiti.....	22
Şekil 3.7 A-Kafa yatağının arazi görünümü.....	23
Şekil 3.8 A-Kafa demir cevherleşmesinde limonitleşmenin arazi görünümü	24
Şekil 3.9 A-Kafa monzonit/monzodiyorit kantağında manyetit-hematit cevherinin görünümü.....	24
Şekil 3.10 Tabana doğru inildikçe demiroksitleşme artışını gösteren görüntü.....	25
Şekil 3.11 A-Kafa yatağında demir cevheri ve serpantinli faylı kantağı.....	25
Şekil 3.12 B-Kafa demir yatağının karbonat kayaç (Akdağ Kireçtaşı) ve Fe cevherleşme kantağı.....	26
Şekil 3.13 B-Kafa karbonat kayacın demiroksit ile sıvanması.....	27
Şekil 3.14 B-Kafa altere karbonat yan kayacının yakın görünümü.....	27
Şekil 3.15 Yeraltı ocağına inilmeden önce yapılan hazırlık çalışması ve brifing alınması.....	28
Şekil 3.16 Yeraltı işletmesi 1092 kat planı ve cevher örneklerinin toplandığı lokasyonlar.....	29
Şekil 3.17 Yeraltı işletmesi 1080 kat planı ve cevher örneklerinin toplandığı lokasyonlar	30
Şekil 3.18 Yeraltı ocağı 1092m. kotta patlatma sonrası cevherin görüntüsü.....	31
Şekil 3.19 Yeraltı ocağı 1092m. Kottaki cevherin ayna görüntüsü.....	31
Şekil 3.20 A kafa sondaj ve bazı yüzey örnek lokasyonlarını gösterir 3 boyutlu diyagramı	32
Şekil 3.21 Yapılan sondajların karot örneklerinin depodaki toplu görünümeleri.....	33
Şekil 3.22 Yaklaşık 60 m' den alınan A-Kafa sondaj karot örneklerinin yakın görünümü.....	34
Şekil 3.23 Yaklaşık 35,50 - 39,50 m'den alınan A - Kafa sondaj karot örneklerinin yakın görünümü.....	34
Şekil 4.1 Türkiye'deki 496 demir cevheri oluşumunun ve yatağının coğrafi dağılımı.....	35
Şekil 4.2 Doğu Anadolu'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası(A) ve K-G yönlü enine kesiti (B).....	36
Şekil 4.3 Divriği ve Hekimhan havzalarındaki demir yataklarının oluşumuna ilişkin şematik bir model.....	38
Şekil 4.4 Divriği A ve B Kafa demir yatakları için şematik model.....	39
Şekil 4.5 A ve B kafanın şematik enine kesiti.....	40

Şekil 4.6	A ve B kafanın manyetit ve hematit cevherleşmesi ile birlikte arazi görünümü.....	41
Şekil 5.1	A-Kafa cevher yatağından alınan örneklerin cevher mikroskopisi görüntüleri.....	44
Şekil 5.2	A-Kafa cevher yatağından alınan numune içindeki pirotinin mikrofotoğrafi.....	45
Şekil 5.3	B-Kafa cevher yatağından alınan örneklerin cevher mikroskopisi görüntüleri.....	46
Şekil 5.4	A-Kafa cevher yatağında yeraltında yapılan çalışmalardan alınan örneklerin mikrofotoğrafları.....	47
Şekil 5.5	B-Kafa cevher yatağından alınan demiroksitlenmiş örnek içindeki parçalı olarak görünen manyetit içinde az miktarda ve ince dağılımlar halinde görünen martitleşme.....	47
Şekil 5.6	B-Kafa cevher yatağından alınan örnekte görünen pirit içindeki kovelin oluşumlarının mikrofotoğrafi.....	48
Şekil 5.7	A-Kafa cevher yatağında yeraltında yapılan çalışmalardan alınan örnekteki manyetitte bulunan kalkopirit içindeki pirit konumlanmasının mikrofotoğrafi.....	48
Şekil 5.8	A-Kafa cevher yatağındaki yeraltı çalışmalardan alınan örnek içindeki kalkopirit ve kovelinin mikrofotoğrafi.....	49
Şekil 5.9	A-Kafa yatağından alınan sondaj karot örneğinin mikrofotoğrafi.....	50
Şekil 5.10	A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotoğrafi.....	51
Şekil 5.11	A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotoğrafi.....	52
Şekil 5.12	A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotoğrafi.....	53
Şekil 6.1	Ni/(Cr+Mn)-Ti+V% wt.- Ti+V %wt. diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin adlandırılması.....	55
Şekil 6.2	Ca+Al+Mn (% wt.)- Ti+V % (wt.) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin adlandırılması.....	57
Şekil 6.3	Ti (ppm) - Ni/Cr (ppm) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin kökensel sınıflaması.....	60
Şekil 6.4	V (ppm) - Ti (ppm) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin kökensel sınıflaması.....	61
Şekil 6.5	Al+Mn (ppm) - Ti +V (ppm) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin adlandırılması ve kökensel sınıflaması.....	62
Şekil 6.6	Önemli jeolojik ortamların $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) değerleri	64
Şekil 6.7	Yaygın maden yatakları ve kayaç gruplarının $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) değerleri	65
Şekil 6.8	Önemli jeolojik ortamların $\delta^{18}\text{O}$ (‰) değerleri.....	66
Şekil 6.9	Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yatakları ile magmatik demir yataklarının $\delta^{18}\text{O}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması.....	68
Şekil 6.10	Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yataklarının $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması.....	69
Şekil 6.11	Pea Ridge ve Pilot Knob demir yatağı ile Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yataklarına ait manyetit örneklerinin $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması.....	70
Şekil 6.12	Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yataklarının $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 6.1	Ana-iz element jeokimyasal sonuçları.....	56
Çizelge 6.2	Ana-iz element jeokimyasal sonuçları.....	59
Çizelge 6.3	Divriği A-B kafa demir cevherinin $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) ve $\delta^{18}\text{O}$ (‰) analiz sonuçları	63



SİMGELER DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
Au	: Altın
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
Ccp	: Kalkopirit
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Cv	: Kovelin
Fe	: Demir
K	: Potasyum
Mgt	: Manyetit
Mn	: Manganez
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
Po	: Pirotin
Py	: Pirit
Rb	: Rubidyum
Sr	: Stronsiyum
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
$\delta^{56}\text{Fe}$	: Demir İzotobu
$\delta^{18}\text{O}$	: Oksijen İzotobu
μm	: Mikrometre, milimetrenin binde biri

KISALTMALAR DİZİNİ

ALKOS	: Silisçe Aşırı Doygun Kayaç Birliği
B	: Batı
BGB	: Batı-Güneybatı
D	: Doğu
DKD	: Doğu-Kuzeydoğu
DOBA(IOCG):	Demir Oksit Bakır Altın Yatağı
G	: Güney
GB	: Güneybatı
HPS	: Yüksek Saflık Standartı
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
ICP-OES	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi
IRMM	: Referans Araçlar ve Ölçümler Enstitüsü
K	: Kuzey
KD	: Kuzeydoğu
My	: Milyon yıl
Mt	: Metrik ton
REE (NTE)	: Nadir Toprak Elementi
SRM	: Standart Referans Materyali
TDF	: Tabakalı Demir Formasyonu
VSMOW	: Vienna Standard Mean Ocean Water (Viyana Standart Ortalama Okyanus Suyu)

1.GİRİŞ

Uygarlığın gelişiminde önemli bir rol oynayan demir cevheri, eski Anadolu insanının en aşına olduğu madenlerden biridir. Anadolu'da demir madenciliğine ilişkin en eski bilgiler, Maraş'taki Firnis ve Kartal demir yataklarının M.Ö. 3600 yıllarında Güneydoğu Türkiye'de Hititler tarafından işletilmiş olmasına dayanmaktadır (Ünlü vd., 2019).

Türkiye'de demir madenlerine ilişkin kayıtlara geçen ilk çalışma 1937 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından Orta Anadolu'da Sivas Divriği'de gerçekleştirilmiştir. Tetis-Avrasya Metalojenik Kuşağı'nda yer alan Türkiye'de farklı jeolojik ortamlara ait farklı demir oluşumları bulunmaktadır. Bu oluşumlar genellikle çok küçük ve yalnızca birkaçı orta büyüklüktedir.

Coğrafi olarak, oluşumlar farklı mekânsal dağılımlar sergilemekte ve Kayseri-Adana, Balıkesir-Kütahya, Sivas- Malatya ve Kırşehir-Yozgat olmak üzere dört bölge etrafında kümelenmektedir.

Türkiye'deki demir yatakları genellikle granitik kayalarla olan kontaklar boyunca yer almaktadır. Ancak bazı çalışmalar demir yataklarının aynı bölgede ofiyolitik kayalarla da ilişkili olabileceğini göstermektedir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu tez, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında (Maden Yatakları-Jeokimya Bilim Dalı) doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Divriği (Sivas) bölgesindeki demir yatağı ile ilgili olarak çok sayıda araştırmacı geçmiş yıllarda bölgede incelemeler yapmış ve demir yatağının oluşumu hakkında bilgiler sunmuşlardır. Bu araştırmalar incelendiğinde yatağın oluşumu ile ilgili olarak farklı/tartışmalı görüşler ortaya konulmuştur.

Divriği A-B kafa demir yatağı manyetit örneklerinin ayırtman/adlandırma diyagramlarına dayalı ana-iz element ve Fe-O izotop çifti analizlerinin yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışmada amaç, manyetitlerden elde edilen ana-iz element, Fe-O izotop ve petrografik veriler ışığında Divriği A-B Kafa demir yatağının oluşumunun ortaya konulması ve

Yöre halkı geçimlerini hayvancılık ve arıcılığın yanında devlet ve özel işletmelere ait maden işletmelerinde çalışarak sağlamaktadır.

1.3 Önceki Çalışmalar

Kovenko (1937); Divriği’de ve çevresindeki demir yataklarının oluşumunu, aynı bölgedeki granitik kayalarla doğrudan bağlantılı olduğunu belirlemiştir.

Gysin (1938); Gabro-diyorit türünden olan kayalara sokulan granitik karakterli bir magma sokulumunun varlığından bahsetmiştir. Divriği’de yer alan demir yataklarını, granitik kayalara bağlı olan skarn tipi bir yatak olarak ifade etmiş, Fe elementinin direkt olarak granitle bağlantılı pnömatolitik-hidrotermal eriyikler aracılığıyla geldiğini belirtmiştir.

Kovenko (1938); İntrüzif kütlenin kontaktlarında gözlemlenen skapolitleşmelerden bahsetmiş, ana cevherin Akdağ kireçtaşları ile ultrabazik kayalara intrüzif kütlenin sokulumu sonucu oluşan üçlü dokanaklarda pirometazomatik bir süreçle oluştuğunu ileri sürmüştür.

Wijkerslooth (1939); Akdağ’da bulunan kireçtaşlarını; Üst Kretase yaşlı üst Divriği kalkerleri ve Jura-Kreatase yaşlı alt Divriği kalkerleri olmak üzere iki bölüme ayırmıştır. Alt Kretase-Miyosen yaş aralığında meydana gelen siyenitik karakterli magmatik kayaların, serpantinleşmiş kayaları ve kireçtaşını kestiklerini, bu dokanaklarda cevherleşmelerin oluştuğunu belirtmiştir.

Kovenko (1941); A-Kafa ve B-Kafa cevherleşmelerin yer aldığı Divriği’de yeraltı çalışmaları ve sondaj verileri ile rezerv çalışmaları yapmıştır. A-Kafa cevherleşmesinin kökeninin pirometazomatik yolla meydana geldiğini, B-Kafa cevherleşmesinin kökeninin ise kireçtaşlarıyla reaksiyona giren magmatik kökenli akışkanların pnömatolitik evre ürünleri olduğunu belirtmiştir.

Klemm (1960); Divriği’de yer alan cevher yatağında mineralojik-petrografik çalışmalar yapmış ve Divriği A-Kafa, B-Kafa cevher yataklanmalarının skarn tipinde yatak olduğunu belirtmiştir.

Koşal (1971); Çalışmasında Divriği’deki cevher yatağının kökenine yönelik A-Kafa, B-Kafa ve C plaserinin oluşumunu ve gelişimini petrografik, mineralojik, jeokimyasal ve yapısal yönden değerlendirmiştir. Buna göre A-Kafa ve B-Kafa yatağının kontakt metazomatik-pnömatolitik ve pnömatolitik-hidrotermal süreçlerde, Çaltı vadisine C

plaserinin A-Kafa ve B-Kafa yatağından taşınan cevherle meydana geldiğini ifade etmiştir.

Yıldızeli (1977); Dumluca'daki cevher yatağının A-Kafa cevherleşmesi gibi kontakt metasomatik özellikler taşıdığını, intrüzyonların nötr ve asit nitelikte olduğunu ifade etmiştir.

Bozkurt (1980); Dumluca demir yatağı, A-Kafa ve B-Kafa demir yatağındaki cevher minerallerini araştırmıştır. Magma içindeki asidik ortamda değişime uğrayan kireçtaşı-ultrabazit karmaşığında meydana gelen demir bakımından zengin solüsyonların, pirometasomatik manyetit yataklarını meydana getirdiğini, demir taşınmasının demir klorürler biçiminde görüldüğünü ifade etmiştir.

Bayhan ve Baysal (1982); Divriği-Çetinkaya güzergahında yer alan yüzey ve derinlik kayaçlarını petrolojik ve petrografik açıdan incelemiştir. Güneş ofiyolitindeki kayaçların, kalkalkalen karakterli Dumluca sokulumunun sonucunda oluşan alkali metazomatozunun etkisinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Ünlü (1983); Demir yatağının bulunduğu Akdağ'daki yatağın kimyasal sedimanter bir yatak olduğunu fakat sonradan oluşan tektonik olayların etkisiyle günümüzdeki durumunu aldığını tespit etmiştir.

Ünlü ve Stendal (1986); Divriği bölgesindeki Akdağ sedimanter yatağının yer aldığı demir yatağının element korelasyon analizini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada Divriği bölgesindeki yataklarda 2 tip cevher oluşumu belirlenmiştir. 1. tip cevherin yüksek Co, Cr ile ender olarak MgO ve Ni içerikleri ile ultrabazik kayaçlara doğru bir jeokimyasal yönelimde olduğunu; 2. tip cevherin değişik jeokimyasal yapısından dolayı (yüksek Ba içeriği gibi) sedimanter özellik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Zeck ve Ünlü (1988); çalışmalarında Murmano plütonunun oluşumunu, yan kayaçlarla etkileşimini ve kökenini belirlemişlerdir. Tüm kayaç Rb/Sr izotop yöntemi sayesinde plütonun yaşını 110 ± 5 my olduğunu belirterek monzonitik yapıda bir plüton olduğunu belirlemişlerdir.

Ünlü (1989); Türkiye'de bulunan demir yataklarının rezervi, dağılımı, üretimi-tüketimi ile ithalatı-ihracatı hakkında görüşünü bildirmiştir. Büyük skarn yataklarının okyanusal kabuk kayaçları ile etkileşiminden bahsederek "okyanus kabuğuna özgü demir yataklanması" kavramını ifade etmiştir.

Ünlü ve Stendal (1989); çalışmalarında Divriği’de mevcut cevherleşmeler için nadir toprak element jeokimyası üzerine çalışmıştır. Cevherleşmenin serpantinleşmeyle kökensel etkileşiminin bulunduğunu fakat hidrotermal eriyiklerin ve granitik kayaların da bölgedeki cevherleşmelerle yüksek ilişkili olduğunu ifade etmiştir.

Öztürk ve Öztunalı (1993); çalışmalarında Divriği’de yer alan demir yataklanması oluşumunda genç tektonizmanın sonuçlarını araştırmıştır. Neotektonik dönemde oluşan hareketler sonucunda cevher gövdelerinin hızlıca yükseldiğini, böylece yamaç plaserlerinin meydana geldiğini ve bazı yatakların erozyon ile tamamen eridiğini belirterek bölgedeki cevherleşmelerin çoğunlukla KD-GB doğrultulu faylar doğrultusunda oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Boztuğ (1998); Orta Anadolu’da yer alan magmatik süreçler üzerine çalışma yapmıştır. Araştırmacı, Murmano plütonunun A-tipi çarpışma sonrasında, levha içi karakterli ve silisçe aşırı doygun alkali (ALKOS) siyenitik-monzonitik plütonun oluştuğunu belirlemiştir.

Çelebi (1998); araştırmasında Doğu-İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan demir cevherleşmelerini 7 tipe ayırmıştır. Bunlar: hidrotermal kalıntı ve yığılma, plaser, sedimanter, yüksek hidrotermal-skarn, kontakt metamorfik zon içinde manyetit, serpantinleşmiş ultramafik kayalar içinde yüksek hidrotermal ve fels tipidir. Ayrıca Divriği cevherleşmesini fels tipi yataklar sınıfına sokmuştur.

Doğan (1998); çalışmasında Divriği’de yer alan demir yataklarının, CO₂ olarak zengin alkali magmanın, ultramafik kayalara sokulum yaparak sonrasında ultramafik kayaları metasomatik etkisiyle değiştirmesi sonucu, cevherleşmeyi meydana getirdiğini ileri sürmüştür.

Gümüş (1998); araştırmasında Divriği’deki demir yataklarındaki demirin kaynağının ultrabazik ve bazik kayalardan oluştuğunu belirterek demirin asidik magma ile karbonatlı kayalara geçtiğini ve cevherin o bölgede yoğunlaşmasına sebep olduğunu öne sürmüştür.

Öztürk (1998); yaptığı çalışmada Divriği’deki cevherleşmeleri yan kayaç ilişkisine göre dört bölüme ayırmıştır. Bunlar: kireçtaşı ile serpantinleşmiş ultrabazik kayaların tektonik dokanaklarındaki cevherleşme, monzonitik intrüzyonlarla serpantinleşmiş ultrabazik kayaç dokanaklarındaki cevherleşme, monzonitlerle kireçtaşı

dokanaklarındaki cevherleşme, plaser cevherleşmeler ve kireçtaşı ile serpantinleşmiş ultrabazik kayaların tektonik dokanaklarındaki cevherleşmeleridir. Bunlardan en önemli olanın, monzonitik intrüziflerle serpantinleşmiş ultrabazik kayaç dokanaklarında olduğunu belirtmiştir.

Yıldızeli (1998); granitik kayaçlardan önce ultramafik kayaçların bölgeye yerleştiğini, bu yerleşim sırasında serpantinleşip, bu süreçte bir miktar demirin açığa çıkarak zenginleştiğini tespit etmiştir.

Çopuroğlu ve Yalçın (1998); Hasançelebi ve Divriği demir yatağının, o bölgedeki Üst Kretase'de başlayarak Pliyosen'e giden alkali karakterli magmatizmaya bağlı kalarak ofiyolitik kayaç içinde zenginleştiğini belirtmiştir.

Erlər ve Bayhan (1998); çalışmalarında Orta Anadolu'da yer alan Granitoidler ile ilgili maden oluşumlarını, volframli, kurşun-çinkolu, demirli ve bakırlı skarn yatakları olmak üzere sınıflandırmıştır. Divriği'deki yatakların granitoid-ofiyolit-mermer üçlü dokanaklarında gözlenen demir skarn yatakları olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kuşçu vd. (2002); çalışmalarında Divriği bölgesindeki demiroksit-Cu-Au yataklarının Türkiye'de mevcut durumları ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Divriği'deki A-Kafa ve B-Kafa cevherleşmesinin yaygın alkali metazomatizma ve alterasyon geçirmiş plütonik kayaçlarda yer aldığını belirtmişler, A-Kafa ve B-Kafa cevherleşmelerinin cevherleşme biçimleri ve alterasyon ürünleri bakımından Fe-oksit-Cu-Au türü cevherleşmelerle ilgili olabileceğini öne sürmüştür.

Yılmaz vd. (2002); çalışmalarında Divriği'de A-Kafa ve B Kafa cevherleşmesinin alterasyon haritasını çıkarmışlardır. Araştırmacılar A-Kafa ve B-Kafa cevherleşmesinin Fe-oksit tipi (Avustralya, Olympic Dam) yataklarla uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir.

Boztuğ vd. (2003); Anadolu Levhası ve Avrasya arasında yer alan Neotetis konverjan sistemindeki çarpışmanın öncesinde, çarpışma ile eş yaşlı ve çarpışmadan sonraki granitoidlerle ilişkili maden yatağını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar Orta Anadolu'daki önemli ve büyük maden yataklarında A-tipi çarpışma sonrası granitoidlerle ilgili yatakların bulunduğunu belirterek buna örnek olarak Divriği'de bulunan A-tipi granitoidle Divriği ofiyoliti dokanağında yer alan skarn tipi demir cevherleşmesini araştırmıştır.

Yılmaz vd. (2003); yaptıkları çalışmalarında Geç Kretase yaşlı Murmano plütonunun oluşma, kristalleşme-soğuma aşamalarının, Divriği'deki A-Kafa ve B-Kafa cevherleşmelerinin kontrolünü sağlayan magmatik hidrotermal sistemlerin olduğunu belirtmişlerdir. Yatakta bulunan cevherleşme ve alterasyonlar incelendiğinde prograd evre (skapolit, skapolit-granat birlikteliği), retrograd evre (flogopit-manyetit+Kfeldispat± skapolit ± granat birlikteliği) ve geç alterasyon evresi (hematit, limonit, götit oluşumları ve sülfür cevherleşmesi) olmak üzere 3 evreden oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Demirela vd. (2005); Fe-skarn granitoidlerinin yer aldığı Orta Anadolu bölgesini, jeokimyasal açıdan araştırmışlardır. Orta Anadolu'daki granitoidlerin tümünün kalk-alkalen ve sub-alkalen bileşiminde ve benzer tektonik alanlarda meydana geldiğini fakat Dumluca ve Murmano plütonlarının alkali metasomatizmasından dolayı kısmi olarak alkalen özellik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Yılmaz vd. (2005); çalışmalarında Hekimhan-Divriği havzasında bulunan demir yataklarının; Jura- Kretase yaşlı ofiyolitli karışık, Paleosen yaşlı granitik kayalar, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı volkano-tortul dizi, Miyo-Pliyosen yaşlı volkanitler ve Eosen yaşlı kırıntılı kayaların tamamı ile aralarında ilişki kurulabileceğini öne sürmüşlerdir.

Yılmaz ve Yılmaz (2006); yaptıkları çalışmada Divriği'nin komple yapısını araştırmışlar ve her yapının jeolojik özelliklerini ortaya çıkarmışlardır. Araştırma bölgesinde yer alan tektonik yapıyı; paleotektonik evre yapısı, geçiş evresi ve neotektonik evre yapısı olmak üzere üçe ayırmışlardır. Bölgedeki ofiyolitlerin ve ofiyolitli karışığın, kuzey güney doğrultusunda üzerleme mekanizmasıyla Toros göreceli otoktonu üzerine gelip yerleşip bunun Maastrichtiyenden önce sonlandığını, bu alandaki granitoidlerin paleotektonik evreden sonra sokulum yaptığını öne sürmüşlerdir.

Marschik vd. (2008); Hidrotermal manyetit cevherleri ile ilgili Orta Anadolu'da yapmış oldukları duraylı izotop ve jeokronolojik araştırmalarında; Divriği'de yer alan hidrotermal tip demir cevherleşmesinin iki tip cevher kütlelerinde olduğunu, A-Kafa'nın manyetit olarak zengin olduğu, B-Kafa'nın ise limonitik karakter yapısında olduğunu öne sürmüşlerdir. A-Kafa'da bulunan hidrotermal biyotitlerdeki yaşlandırma çalışmasında; $73,75 \pm 0,62$ ve $74,34 \pm 0,83$ Ma yaşlarını tespit etmişlerdir. Elde ettikleri yaşların manyetit cevherleşmelerinde minimum yaş olabileceğini ifade etmişlerdir.

Tokel vd. (2011); Doğu-İç Anadolu Bölgesi'nde olan demir cevherleşmesinin iki farklı kökenli skarn oluşumu olarak geliştiğini belirtmiştir. Birinci oluşumun güneyde Toridlerdeki ofiyolitik kuşakla ilgili skarn oluşumu, ikinci oluşumun ise kuzeyde Pontid paleomanyetik-yayı ile ilgili skarn oluşumu olduğunu ifade etmişlerdir.

Öztürk vd. (2012); Ofiyolitik kayaçların yer aldığı Yellice bölgesindeki serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar içinde ağırlıklı olarak yer alan manyetitten meydana gelen cevheri araştırmışlardır. Yine bölgedeki diğer manyetik anomalilerin araştırılması sonucunda, Yellice manyetit oluşumlarına benzer şekilde bölgede potansiyel olabilecek birçok örtülü manyetit cevherleşmelerinin bulunabileceğini öne sürmüşlerdir. Manyetik anomalilerin bir kısmının, Divriği A-Kafa ve B-Kafa'daki büyük oranda ultrabazik kayaçların serpantinleşmesi sonucu meydana gelen manyetit minerallerden kaynaklandığı görüşünü ortaya koymuşlardır.

Beyazpirinç ve Akçay (2013); yaptıkları çalışmalarında Çetinkaya (Kangal)-Alacahan bölgesinde görülen metamorfik kayaçların tektono-stratigrafik özelliğini araştırmışlardır.

Kuşçu vd. (2013); Divriği A-B Kafa demir yatağında yer alan Divriği granitlerinin çarpışma sonrası kalkalkalen karakterli Monzonit, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 75.63 ± 0.44 My ve monzodiyorit 73.40 ± 0.39 My yaş aralığında olduğunu, Na-Ca tipi alterasyonun K-Fe alterasyon ile üzerlendiğini ve damardan masife değişim gösteren cevherin mt, cpy, py, Mn, ba REE ve U içeren Demir Oksit Bakır Altın (DOBA) tipi bir cevherleşme olduğunu ifade etmişlerdir.

Yalçın ve Bozkaya (2016); Divriği'deki demir yatağının Kireçtaşı-Ofiyolit-Granitoyid üçlü dokanağında flogopit oluşumlarını incelemişlerdir.

Öztürk (2017); Dumluca demir yatağından sistematik olarak alınan örneklerin Konfokal Raman Spektroskopisi incelemeleri ve cevher mikroskobisi verilerine göre, intruzyona yaklaşıldıkça, mineral parajenezinde belirgin farklılıklar olduğu saptanmıştır. Yatağın dokanağa uzak olan bölümlerinde serpantinite bağlı manyetit ve kromit oluşumları tespit edilirken, dokanağa yaklaşıldıkça kromitin ortadan kalktığını ve manyetitin baskın cevher minerali olarak gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Ünlü vd. (2019); Türkiye demir yataklarını ayrıntılı olarak incelemişlerdir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışması, ofis, arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır.

2.1 Ofis Çalışmaları

İnceleme alanı ile ilgili önceki çalışmalar araştırılmış ve incelenmiştir. Bu sayede arazi çalışması öncesinde bölge hakkında genel bilgiler edinilmiştir.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarından sonra elde edilen veriler ile tekrar ofis çalışmaları başlamış ve tez yazım işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında inceleme alanında yüzeyleyen birimler ayrılmış ve bu birimler arasındaki yapısal ilişkiler incelenmiştir. A-Kafa cevher yatağından 23, B-Kafa cevher yatağından 11 ile hali hazırda işletilmesi devam eden yeraltı ocağından 12 numune ve yapılan sondajlardan 18 adet sondaj karot numunesi olmak üzere toplam 64 numune derlenmiştir.

2.3 Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanından derlenen 64 örnek, yapılması planlanan analize uygun olarak kırma-öğütme-eleme işleminden geçirilmiştir. Parlak kesit yapılması için ve ana-iz element jeokimyasal analizi için örnek seçimi ve Fe-O izotop jeokimyası için mineral ayırma işlemleri yapılmıştır..

2.3.1 Cevher mikroskopi incelemeleri

Parlak kesit örnekleri, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Parlak Kesit Hazırlama Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Parlak kesitler için uygun büyüklükte hazırlanan 70 adet numune, bakalit kaplara yerleştirilmiştir. Üzerlerine 4 ölçek epoksi ile 1 ölçek sertleştirici karışımı dökülerek 24 saat ile 48 saat arasında sertleşmesi için uygun bir yerde bırakılmıştır. Tamamen sertleşen örnekler Vector LC Power Başlıklı Buehler Beta Aşındırıcı ve Parlatma cihazında sırasıyla 165 µm, 70 µm, 30 µm, ve 15 µm diskler ile örneğe bağlı olarak 20 - 30 dakika arasında aşındırılmışlardır. Daha sonra 6 µm ve 1 µm elmas solüsyonlarla

25'şer dakika parlatılmaya geçilmiştir. Bu adımdan sonra 0.1 µm boyutlu elmas pastadan 20 dakika geçirilmiştir. Son olarak Buehler Vibromet 2 titreşimli parlatma cihazında 0.05 µm alüminyum solüsyonda 30 dakika son parlatma işlemi yapılarak mikroskopta incelenmek üzere numuneler hazır hale getirilmiştir.

Cevher mineralojisi incelemesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Cevher Mikroskopisi Araştırma Laboratuvarı'nda Nikon Coolpix 4500 dijital fotoğraf makine atışmanlı Nikon Eclipse E 600 Pol. mikroskobunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile cevher mineralleri, cevher mineralleri ile gang mineralleri arasındaki ilişkiler, cevher minerallerinin dokusal özellikleri tanımlanmaya ve açıklanmaya çalışılmıştır.

2.3.2 Jeokimyasal incelemeler

Tüm kayaç jeokimyası için seçilen manyetit örnekleri, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kırma-Öğütme Laboratuvarı'nda toz haline getirilmiştir. Manyetit örnekleri (Şekil 2.1) lityum metaborat/tetraborat kullanılarak, agresif füzyon tekniği ile, endüstrideki en yüksek kalitede hızlı bir füzyon sağlayan bir robot tarafından füzyona uğratılmıştır. Füzyon sonucu elde edilen erimiş boncuk, zayıf bir nitrik asit çözeltisinde hızla sindirilip REE ve diğer yüksek alan mukavemetli elementler dahil olmak üzere ana oksitler-elementler çözeltiye alınıp Actlabs-Kanada Laboratuvarları'nda ICP-OES ve ICP-MS kütle spektrometresinde analiz ettirilmiştir.



Şekil 2.1 Actlab Kanada'ya ana-iz element jeokimya analizleri için gönderilen örneklerin görünümü.

2.3.3 Duraylı izotop incelemeleri

2.3.3.1 Fe izotop analizi

Fe izotop analizleri, Pensilvanya Eyalet Üniversitesinin State College şehrindeki kampüsünde Neptün Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Sülfürlü örneklerden 25-50 mg toz alınarak ultra saf asitlerle aqua-regia yöntemiyle 15 ml'lik teflon beherlerde 14 saat süre ile ısıtılarak çözeltiye alınmıştır. Çözeltiye geçmeyen toz örnek gözlemlendiğinde ise süreç tekrarlanarak toz örneğin tamamının çözeltiye geçmesi sağlanmıştır. Fe'in saflaştırılması Jang vd. (2008) ve Yesavage vd. (2016) yöntemi ile BioRad MP-1 anyon değişim reçinesi kullanılarak yapılmıştır. Geriye kalan koyu renkli tuz % 2 lik nitrik asit ile 3 ppm' e kadar seyreltilmiştir. Fe izotop analizleri IRMM ^{16}Fe Uluslararası standart kullanılarak karşılaştırmalar yapılarak kontrol edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü Neptün kütle spektrometresi ile ^{56}Fe oranı argide girişiminin sol tarafı kullanılarak belirlenmiştir.

Örnekler ve standartlar 13-16 voltluk enerji ile % 20 oranında yoğunluk ile eşleşmesi gözetilmiştir. İki adet iç standart (HPS ve SRM Fe standartları, hata oranı $2\sigma = \% 0.05$ ile) analizlerde kullanılmış ve tüm örnekler ikinci kez analiz edilerek sonuçlar teyit edilmiştir.

2.3.3.2 O izotop analizi

Oksijen izotop oranları, numune mineralojisine bağlı olarak, kapalı reaksiyon kaplarında lazer florlama veya geleneksel florlama yoluyla demir oksit mineral ayrıştırmaları üzerinde ölçülmüştür. Analiz edilen manyetit taneleri, <500 ve >250um boyutundaki alikotu korumak için ezilmiş ve elenmiş, ardından nadir toprak elementli bir el mıknatısı kullanılarak manyetik olmayan tanelerden ayrılmış ve analiz edilen tanelerin kalıntı içermediğinden emin olmak için bileşik bir mikroskop kullanılarak elle seçilmiştir. Kalsit içermeyen numuneler (n=16) Texas Üniversitesi-Austin' de ThermoScientific MAT 253 izotop oranı kütle spektrometresi kullanılarak lazer florlama ile ~4,0 mg demir oksit kullanılarak ve Sharp (1990) tarafından açıklanan yöntemler izlenerek analiz edilmiştir. Hassasiyet ve doğruluk, UWG-2 granat referans malzemesinin çalışma içi analizleri ile belirlenmiştir ($\delta^{18}\text{O} = +5,8 \text{ ‰}$; Valley vd., 1995) ve laboratuvar dahili kuvars standardı Lausanne-1 ($\delta^{18}\text{O} = +18,1 \text{ ‰}$) ile karşılaştırılmış ve numunelerin tekrarlanmasıyla doğrulanmıştır; hassasiyet $\pm 0,1 \text{ ‰}$, 1σ 'dir. Tüm değerler VSMOW'a göre raporlanmıştır.

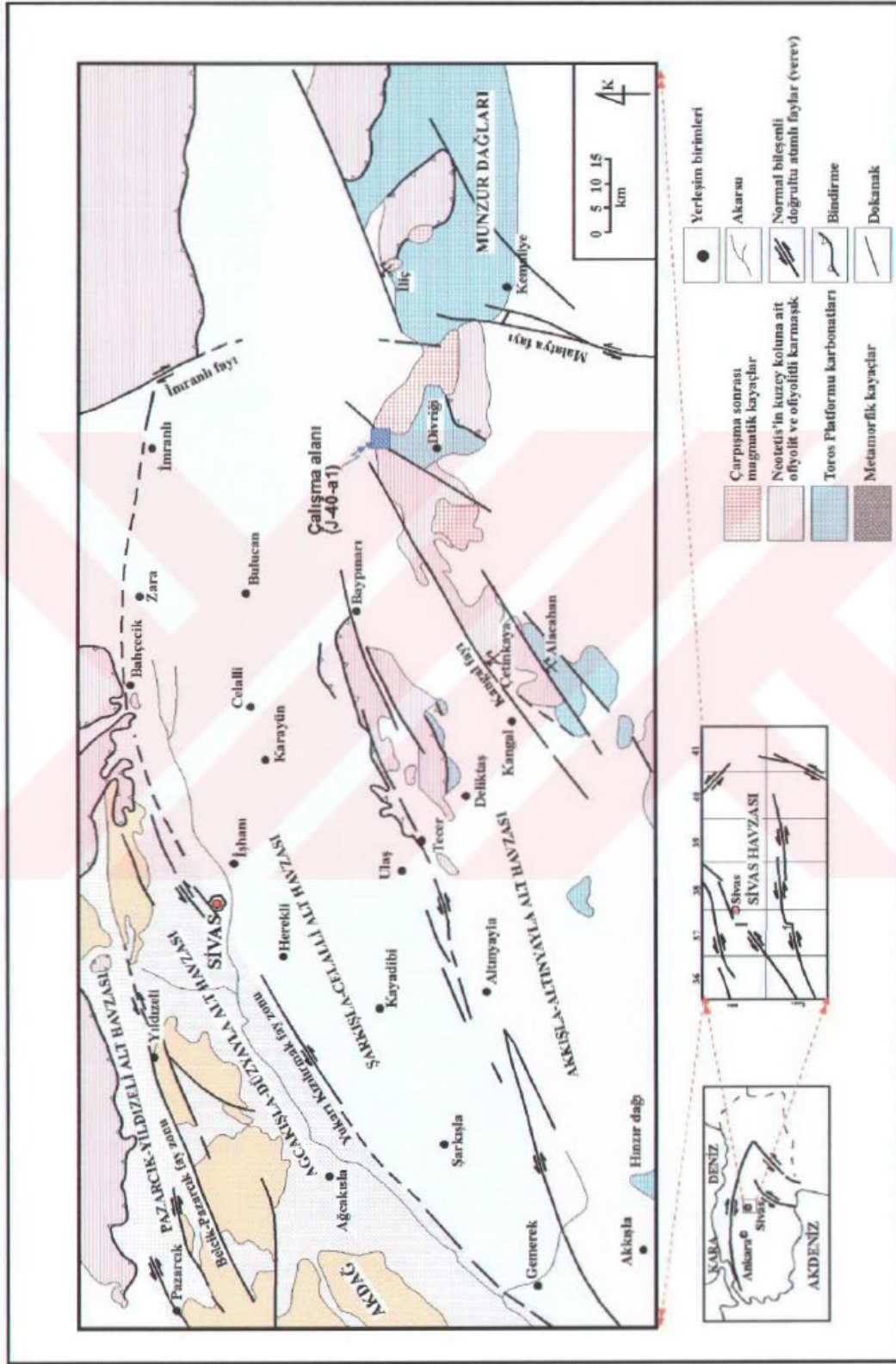
Lazer florlama ile analiz sırasında olası oksijen boşluklarından kaçınmak için, Clayton ve Mayeda'nın (1963) prosedürlerini izleyerek ayrı ayrı kapalı reaksiyon kaplarında florlama yoluyla az miktarda kalsit (n=3) içeren örneklerden gazlar çıkarılmış ve izotop oranları Southern Methodist Üniversitesi'nde bir ThermoScientific MAT 253 izotop oranı kütle spektrometresi kullanılarak analiz edilmiştir. Demir oksit mineral ayrıştırmaları yukarıda açıklandığı şekilde hazırlandıktan sonra, ~10 mg örnek Diamonite havan ve havaneli kullanılarak toz haline getirilmiştir. Florlama ve gaz ekstraksiyonundan önce örnekler 1.0 molar ortofosforik asit ile kapalı bir reaksiyon kabında reaksiyona sokularak kalsit uzaklaştırılmıştır. Kalsit çözünmesinin ölçülebilir miktarlarda CO_2 gazı ile sonuçlandığı durumlarda, kalsitin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ oranları da analiz edilmiştir. Hassasiyet ve doğruluk, dahili laboratuvar referans malzemesi damar kuvarı P-236 ($\delta^{18}\text{O} = +10,6 \text{ ‰}$), ve bilinmeyen numune kopyalarının çalışma içi analizi ile belirlenmiştir; hassasiyet $\pm 0,1 \text{ ‰}$, 1σ 'dir.

3. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ

3.1 Bölgesel Jeoloji

Divriği bölgesinde gözlenen demir yatakları/cevherleşmeleri Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın (OAKK) kuzeydoğusunda; oluşumu, Mastrohtiyen'den başlayan (Yılmaz, 1998) Tersiyer boyunca gelişimini sürdüren Sivas havzasının güneydoğusunda yer alır. Faylarla çevrili olan Sivas havzası, orta ve kuzeybatı bölgelerinde temele ait birimlere sahiptir (Şekil 3.1). Havzanın yapısal durumu hakkında daha önceden yapılan çalışmalar çok az olsa da havzanın Neotetis'in kuzey kolunun Erken Tersiyer'de kapanması ile gelişen bir "Çarpışma Çanağı" (Kelling vd., 1989; Cater vd., 1991) olabileceğı belirtilmiştir (Gökçen, 1981; Gökçen ve Kelling, 1985). İç Anadolu Bölgesi'nin kuzey ve batı bölümlerinde yer alan havzaların (Görür vd., 1984; Koçyiğıt, 1991; Göncüoğlu vd., 1993; Poisson ve Guezou, 1996) Neotetis'in kapanmasına paralel bir gelişim gösterdikleri ileri sürülmektedir (Yılmaz, 1998).

Bölgenin oluşumuyla ilgili çeşitli görüşler bulunsa da Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın (OAKK) bugünkü şeklini almasıyla ilgili genel kanaat Torid-Anatolid Platformu'nun Pontidler ile çarpışmasıdır. Ayrıca, Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın (OAKK) oluşumu ile cevherleşmeler arasında jeolojik, yapısal ve yaş ilişkileri bakımından belirgin bağlantılar olduğu ifade edilmiştir (Kuşçu ve Erler, 1998; 1999; Kuşçu vd., 2013).



Şekil 3.1 Sivas havzası tektonik birlikleri (Yılmaz, 1998; Öztürk ve Öztunalı, 1993'ten).

Çalışılan sahayı içine alan bölge, Doğu-Toroslar kuşağında konumlanmıştır. Munzur kireçtaşı (Özgül vd., 1981), Alt Karbonifer-Kampaniyen yaşlı platform kireçtaşlarından oluşmuş olup bölgede en alt birimi oluşturur (Şekil 3.2). Alt sınırı Munzur kireçtaşı ve üst sınırı Güneş ofiyoliti ile tektonik dokanaklı olan Yeşiltaşayla karışığında (Erkan vd., 1978; Yılmaz vd., 1989; 1993), Munzur kireçtaşına ait bloklar ve metamorfik kaya blokları, serpantinleşmiş bir matriks içinde görülür. Blokların dokanakları tektoniktir. Yaşı Kampaniyen- Alt Maastrichtiyen olarak kabul edilir.

Alt Karbonifer-Kampaniyen yaşlı Munzur kireçtaşları üzerine Üst Kretase'de yerleşmiş olan Güneş ofiyoliti (Bayhan, 1980) yerleşmiştir. Güneş ofiyoliti (Bayhan ve Baysal, 1982), Divriği bölgesinde geniş bir alanda yüzeyleyen Geç Kretase öncesi yerleşen (Zeck ve Ünlü, 1987, 1988a ve 1988b), serpantinleşmiş ultramafik kayalar olarak adlandırılan birimdir. Bu birim alttan üste doğru ayrılmamış serpantinleşmiş peridotit, tektonitler, kümülat peridotitler, tabakalı gabro, masif gabro, levha-dayk karmaşığı, yastık lav birimlerinden oluşmaktadır (Yılmaz ve Yılmaz, 2004).

Güneş ofiyolitinin üstünde uyumsuz olarak gelen Maastrichtiyen yaşlı Sıya Formasyonu bulunur (Gültekin, 1993). Bu formasyon alttan üste doğru kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı, marn ardalanması, kireçtaşı mercekleri, aglomera ve tüften oluşan volkano-sedimanter bir istiftir.

Sıya formasyonu üstüne Paleosen yaşlı Divriği Granatoyidleri gelir. Bu birimin üzerine Tunç vd., (1991) tarafından adlandırılan Eosen yaşlı Kozluca Formasyonu üzerlenmiştir. Bu birimde alttan üste doğru kireçtaşı, demir cevheri içeren çakıltası ile açık yeşilimsi-sarı demir cevheri içeren kumtaşı ve kireçtaşı görülür (Tunç vd., 1991). Kozluca formasyonunun üzerine uyumsuzlukla Üst Oligosen yaşlı Altınyayla Formasyonu gelmektedir (Yılmaz vd., 1989). Bu birim tabakalı kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı ve jips ardalanmalıdır (Yılmaz vd., 1989).

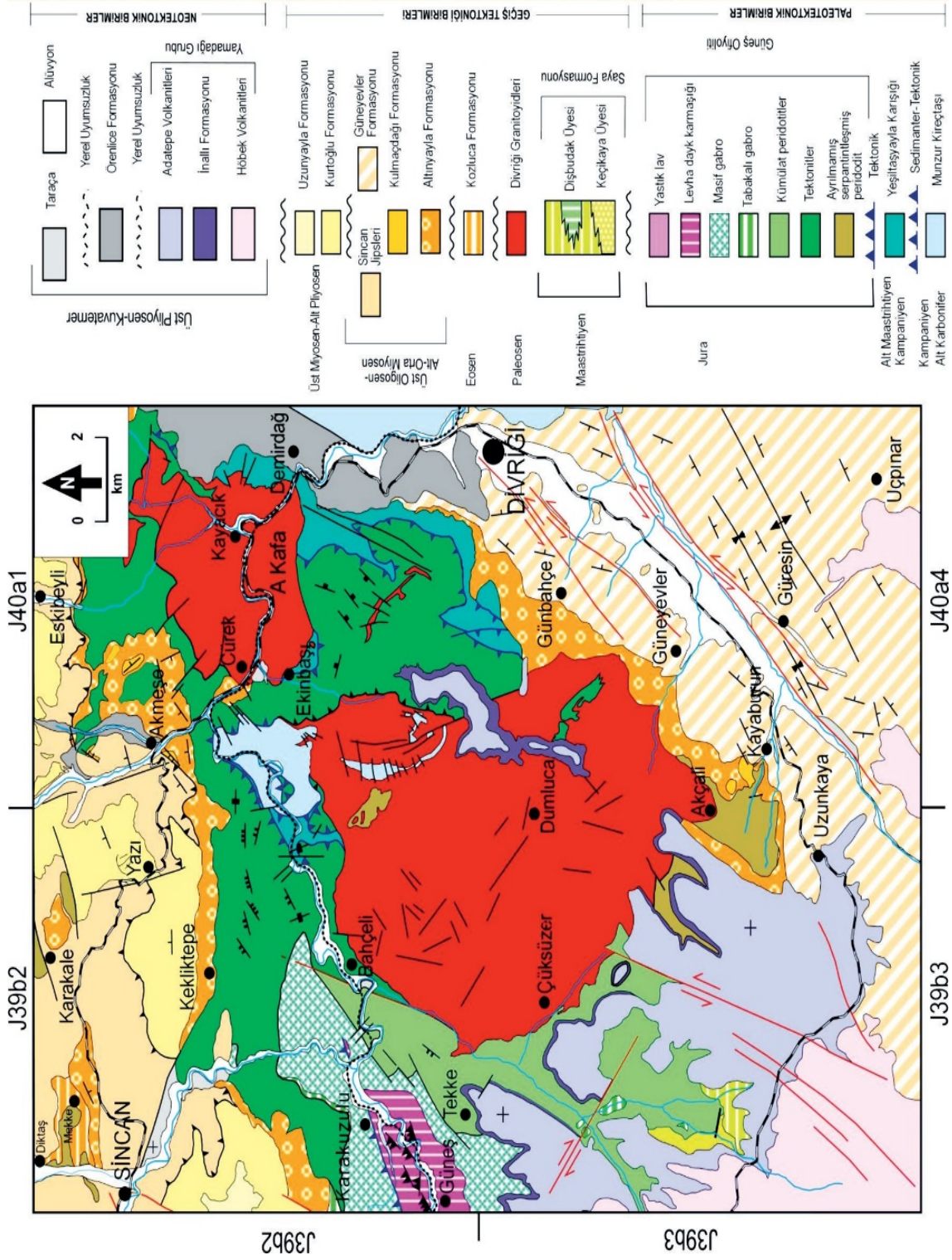
Altınyayla formasyonunun üzerine Miyosen yaşlı kumlu-fosilli kireçtaşından oluşan Kulmaçdağı Formasyonu gelmektedir (Yılmaz vd., 1993). Bu birimin üzerinde ise Alt-Orta Miyosen yaşlı Sincan Jipsleri ve Sincan Jipsleriyle aynı stratigrafik konumda olan jips ara katkılı kırıntılı kayaları oluşturan Güneyevler Formasyonu yer alır (Yılmaz ve Yılmaz, 2004). Güneyevler formasyonu açık sarı bej renkli kireçtaşı ve biraz daha koyu bej renkli marn ardalanması ile kiltası-kumtaşı ardalanmalarıyla karakterize edilir (Yılmaz ve Yılmaz, 2004).

Sincan jipslerinin üzerine açısal uyumsuzlukla gelen st Miyosen-Alt Pliyosen yaşı (Yılmaz vd., 1989) akıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı ardalınlı Kurtođlu Formasyonu yer alır (Yılmaz ve Yılmaz, 2004). Bu birimin üzerine ise st Miyosen-Pliyosen yaşı killi ve kumlu karbonat kayalardan oluşıan Uzunyayla Formasyonu gelmektedir (Yılmaz vd., 1989; Yılmaz ve Yılmaz, 2004).

Uzunyayla formasyonu zerine Pliyosen yaşı Yamadağı Grubu zerlenir (Yılmaz, 1991; Yılmaz ve Yılmaz, 2004). Yamadağı Grubu alttan üste doğru, ince katmanlı tfleden oluşıan Hbek volkanitleri (Yılmaz ve Yılmaz, 2004), bazaltik proklastik kayaçlar ile karasal kırıntılı kayaçlardan oluşıan İnallı Formasyonu (Gültekin, 1993) ve bazaltik lavlardan oluşıan Adatepe Volkanitleri (Yılmaz vd., 1993) şeklinde üç formasyondan oluşıur.

Yamadağı grubu üzerine uyumsuzlukla Pliyo-Kuvaterner yaşı çakıltaşı, yer yer kumtaşı-silttaşı ardalınlı akarsu ortamı ürünü olan renlice Formasyonu gelir (Kartan, 1986; Gürsoy, 1986).

İnceleme alanının en genç oluşıukları ise altı ayı, Hekme ayı ve diğer irili ufaklı derelere bağlı olarak çökelmiş alüvyonlar ve taraçalardır (Yılmaz ve Yılmaz, 2004).

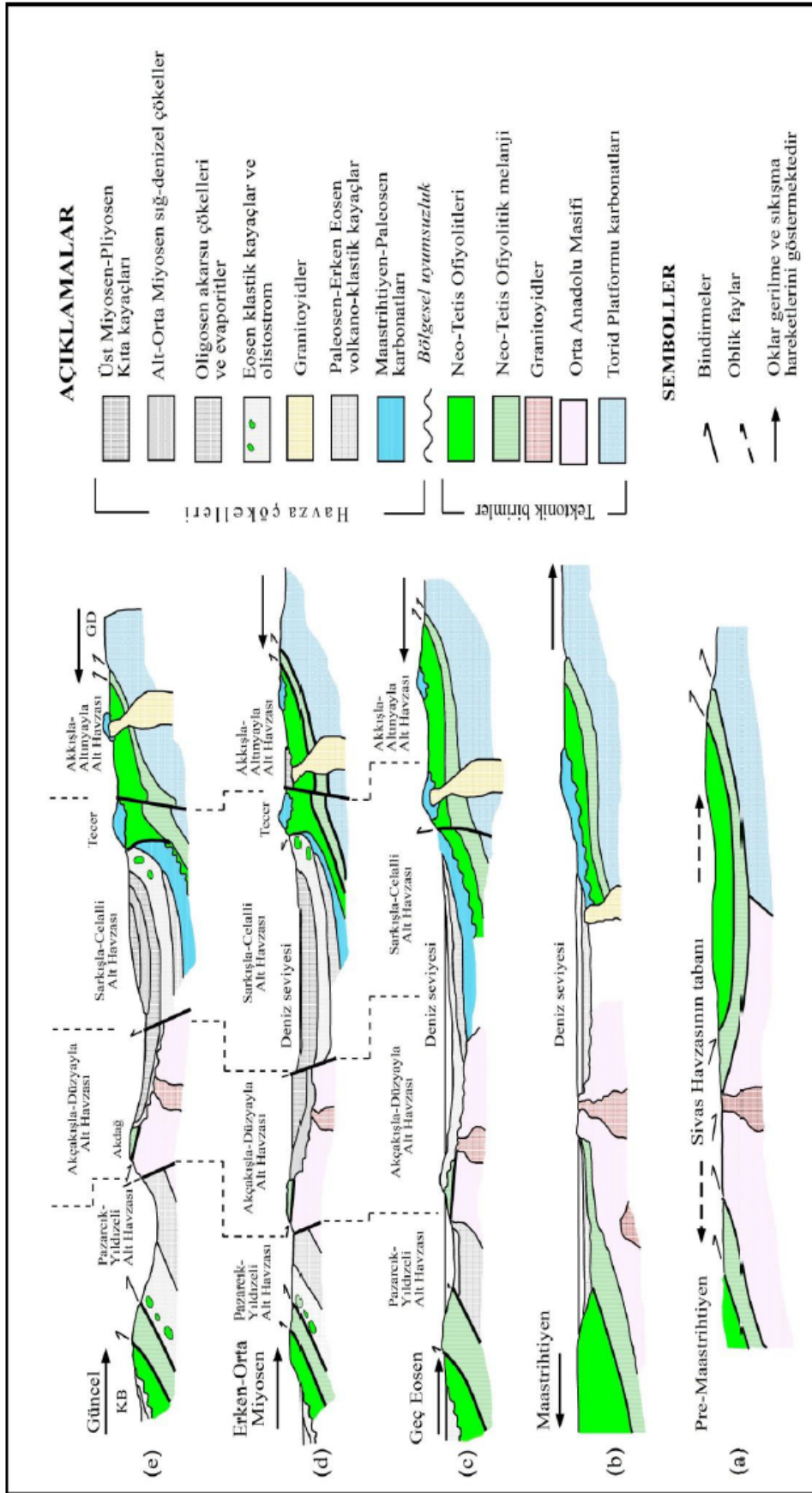


Şekil 3.2 Divriği Bölgesi ve çevresinin jeolojî haritası (Yılmaz ve Yılmaz, 2004).

Divriği bölgesi, kuzeyde Tokat, güneyde Bitlis masifleri arasında yer alan bir jeosenklinal içinde bulunmaktadır. Yöredeki tektonik yapı Alpin orojenezine bağlıdır ve sırasıyla Laramiyen, Pireniyen ve Rodaniyen orojenik fazlarından etkilenmiştir. Yöredeki en önemli jeolojik olaylar, Mesozoyik dönemde gerçekleşmiştir. Refahiye Ofiyolitli Karışığı, bölgeye yerleşirken aynı zamanda Dumluca, Murmano, Divriği doğusu (Karakeban) plütonlarını oluşturan magmatik etkinliklere de neden olmuştur. Aktimur vd. (1988)'ne göre, Refahiye ofiyolitli karışığı kuzeyden güneye doğru ilerleyerek Munzur kireçtaşlarının devamı olan Akdağ ve Göldağ kireçtaşlarına bindirilmiştir. Ofiyolitli karışım, bölgeye yerleştikten sonra yatay hareket, Eosen dönemi boyunca hatta Alt Miyosen sonlarına kadar devam etmiştir.

Kretase dönemi sonunda, Laramiyen Orojenizi'nin etkisiyle Kretase denizi karaya dönüşmüştür. Bu dönemde kırılmaların neden olduğu çökmeler, günümüzde gözlenen graben çukurlarının temel şeklini oluşturmuştur. Eosen döneminde özellikle sahanın kuzey kısımları derinleşmiştir. Eosen dönemi sonunda, Pireniyen Orojenizi'nin etkisiyle bölge yeniden kara haline gelmiştir. Oligosen döneminde kapalı havzalar gelişmiş, bu durum Alt Miyosen dönemi sonuna kadar devam etmiş ve jipsli seriler oluşmuştur. Daha sonra, Miyosen transgresyonu sonucunda marn, kalker, kumtaşı ve konglomera serisi oluşmuştur. Miyosen döneminin sonlarına doğru yaşanan kıvrımlanma fazıyla, Miyosen tabakaları kıvrılmış ve Purunsur-Divriği senklinali oluşmuştur. Sahadaki Pliyosen ve daha genç tabakalar ise kıvrılmadan yatay olarak kalmıştır.

Sivas Havzası'nın ve bölgenin yukarıda sunulmuş bulunan yapısal evrimi Şekil 3.3'te evrensel biçimde şematize edilmeye çalışılmıştır.



Oldukça aktif olan bölgede, çok çeşitli yönlerde kırık ve fay hatları gelişmiştir. Sahada hakim olan kırık doğrultuları genellikle KD-GB ve D-B 'dır.

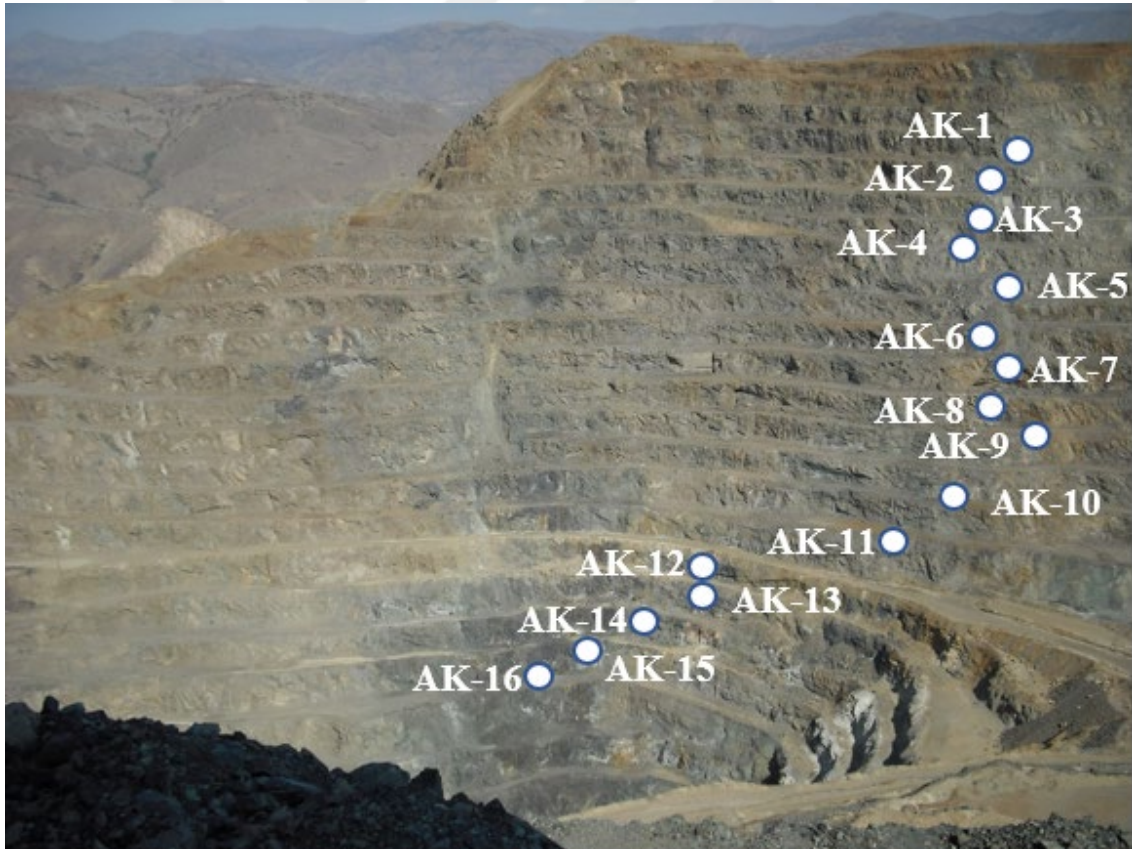
Bahse konu bölgedeki önemli demir cevher yatakları; A-Kafa, B-Kafa, Ekinbaşı, Dumluca, Yellice, Pınargözü (Davutoğlu), Akdağ, C Plaseri ve Purunsur demir yataklarıdır.

3.2 Cevher Yatakları

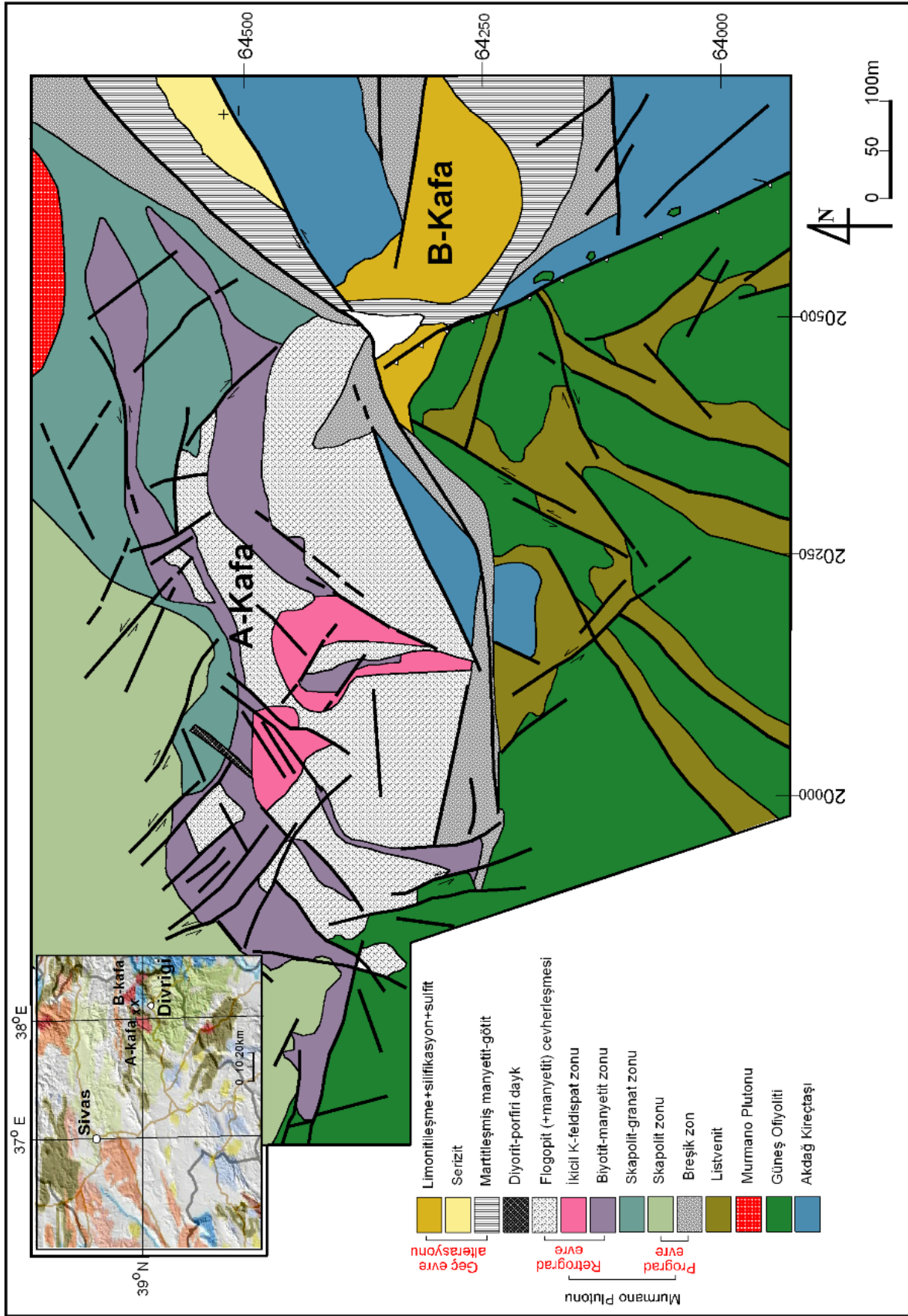
Çalışılan bölge için A-Kafa ile B-Kafa cevher yatakları (Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6), yeraltı ocağından alınan örnekler ile sondaj karot numuneleri incelenmiştir.

3.2.1 A-Kafa cevher yatağı

Bu cevher yatağı, Divriği merkezinin yaklaşık 20 km KB' sında yer almaktadır. Bölge özel bir şirket tarafından basamak sistemi ile işletilmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 A-Kafa cevher yatağının genel görünümü ve alınan örneklerin lokasyonu, G-K yönlü.



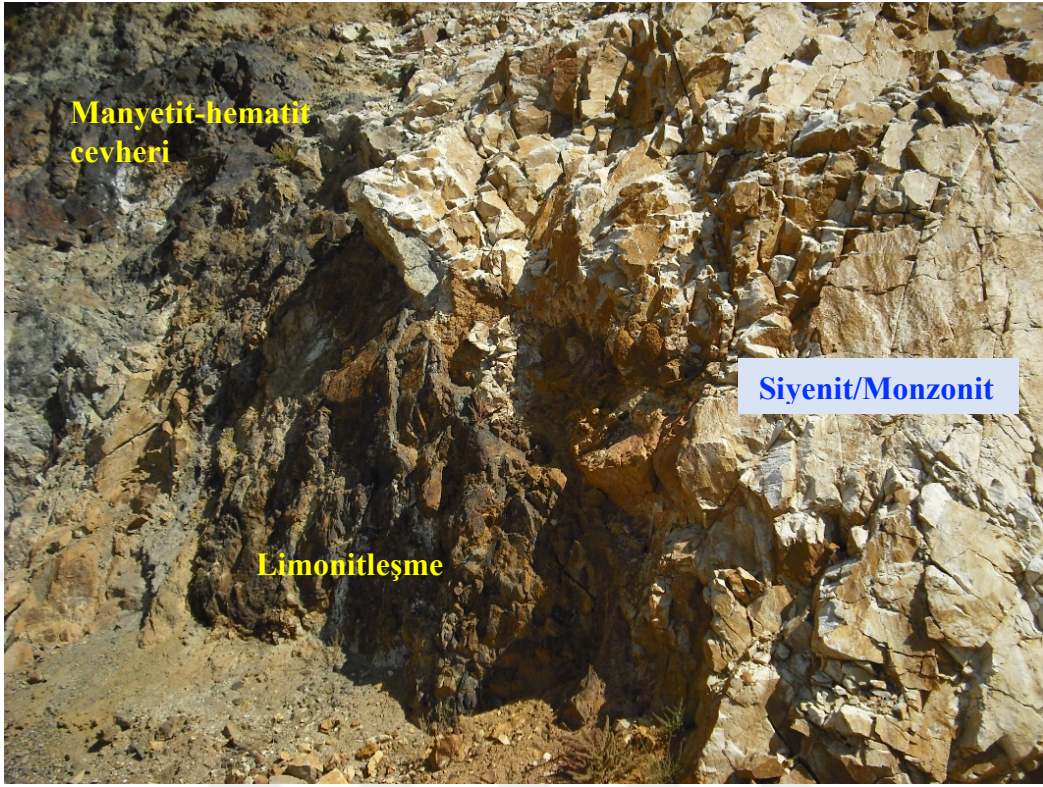
Şekil 3.5 Divriği A-B Kafa demir yatağı ve çevresinin jeoloji-alterasyon haritası (Yılmaz vd., 2003'den değiştirilerek).

Yatağın yüksekliği 1500 m.'den fazladır. Genel olarak manyetitler gözlenmektedir. İşletmedeki en üst kottan en alt kota kadar tüm basamaklar incelenmiş ve sistematik şekilde örnek alımı yapılmıştır (Şekil 3.7).

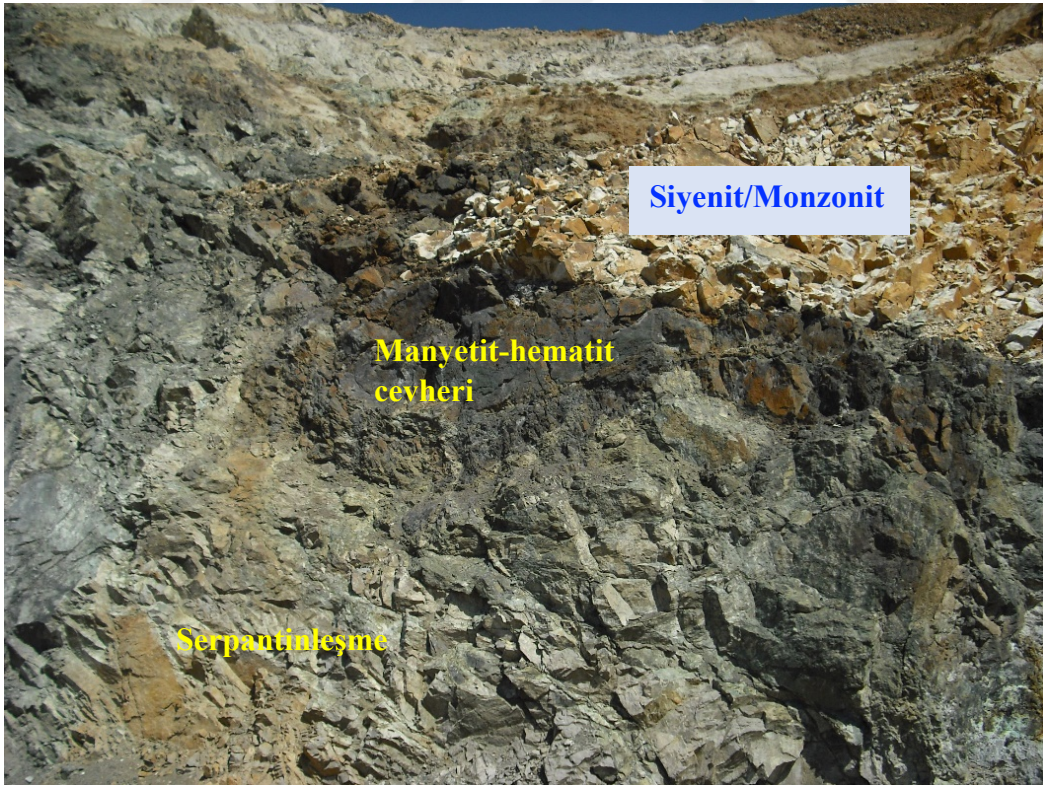


Şekil 3.7 A-Kafa yatağının arazi görünümü, KD-GB yönlü.

Bölgedeki birimler incelenmiş ve çok fazla limonitleşme tespit edilmiştir (Şekil 3.8, 3.9, 3.10). Cevher yatağı ile serpantinleşmiş ultramafik kayaçların kontağı faylıdır (Şekil 3.11).



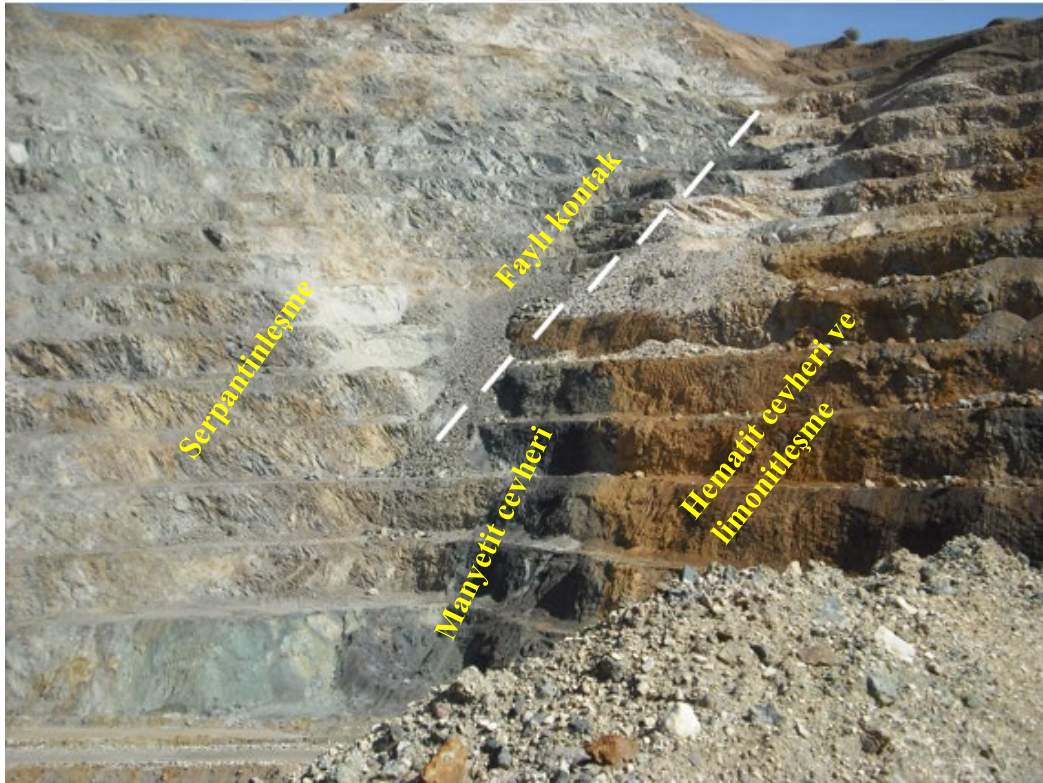
Şekil 3.8 A-Kafa demir ceherleşmesinde limonitleşmenin arazi görünümü, G-K yönlü.



Şekil 3.9 A-Kafa monzonit/monzodiyorit kontağında manyetit-hematit cevherinin görünümü, G-K yönlü.



Şekil 3.10 Tabana doğru inildikçe demir oksitleşme artışını gösteren görüntü.



Şekil 3.11 A-Kafa yatağında demir cevheri ve serpantinitin faylı kontağı, G-K yönlü.

3.2.2 B-Kafa cevher yatağı

Çalışma sahası içerisinde olan bu yataktaki kayaçlarda çok fazla alterasyon (limonitleşme) gözlenmektedir. B-Kafa'da üretim yapılmamaktadır (şekil 3.12, 3.13, 3.14).



şekil 3.12 B-Kafa demir yatağının karbonat kayaç (Akdağ Kireçtaşı) ve Fe cevherleşme kontağı, D-B yönlü.



Şekil 3.13 B-Kafa karbonat yan kayacın demiroksit ile sıvanması, D-B yönlü.



Şekil 3.14 B-Kafa altere karbonat yan kayacının yakın görünümü, D-B yönlü.

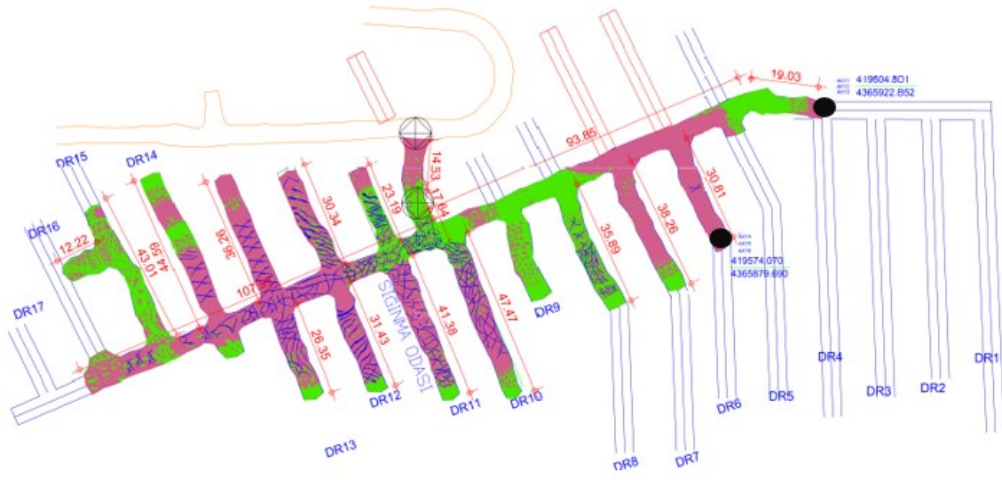
3.2.3 Yeraltı işletmesi

A-Kafa cevher bölgesinde kapalı işletme ile faaliyet sürmektedir. İşletme tarafından galeriye inilmeden önce “İş Sağlığı ve Güvenliği” eğitimi verilmiş, uygun kıyafet ve teçhizatlar ile hazırlık yapılarak galeriye iniş sağlanmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Yeraltı ocağına inilmeden önce yapılan hazırlık çalışması ve brifing alınması.

1092 ile 1080 katında toplam 4 lokasyon belirlenmiş olup her bir lokasyondan 3 cevher numunesi olmak üzere toplam 12 cevher numunesi alınmıştır. (Şekil 3.16, 3.17, 3.18, 3.19).



LEJAND

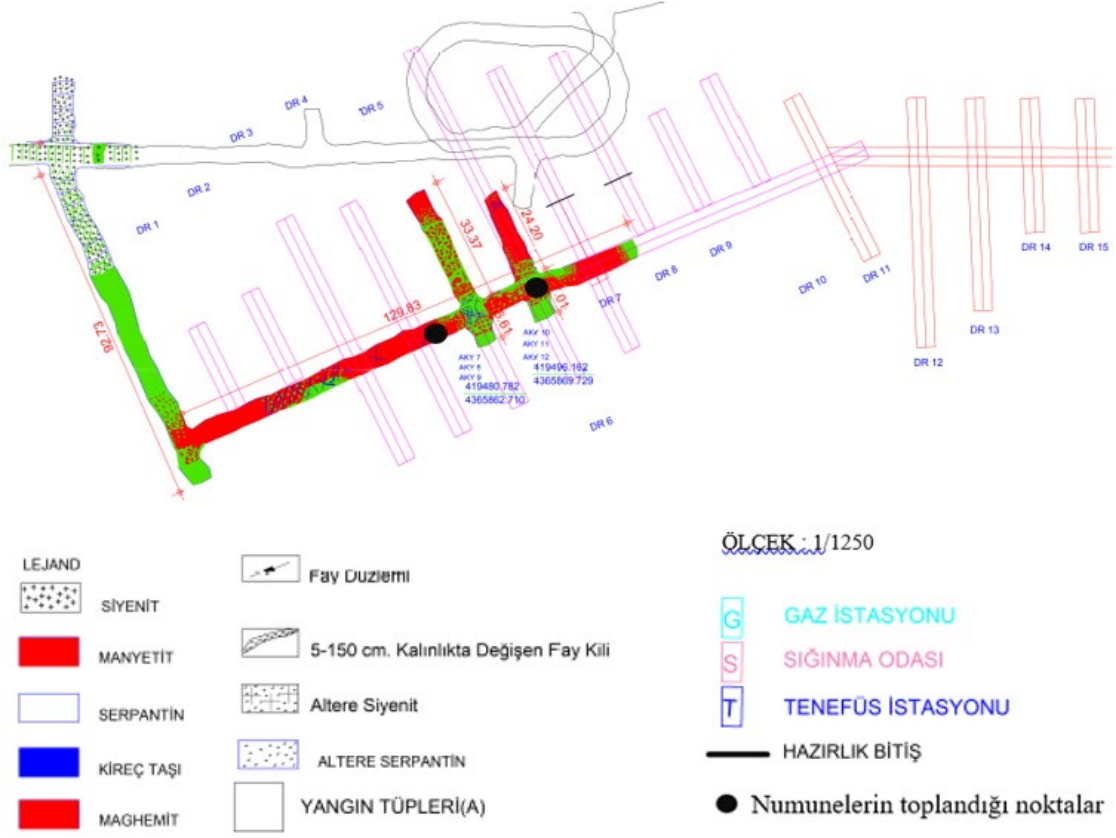
	SIYENİT		Fay Düzlemi
	MANYETİT		5-150 cm. Kalınlıkta Değişen Fay Kili
	SERPANTİN		Altere Siyenit
	KIREÇ TAŞI		ALTERE SERPANTİN
	MAGHEMİT		YANGIN SÖNDÜRME CİHAZI

ÖLÇEK : 1/3000

	GAZ İSTASYONU
	SİĞİRMA ODASI
	TENEFÜS İSTASYONU
	HAZIRLIK BİTİŞİ

● Numunelerin toplandığı noktalar

Şekil 3.16 Yeraltı işletmesi 1092 kat planı ve cevher örneklerinin toplandığı lokasyonlar.



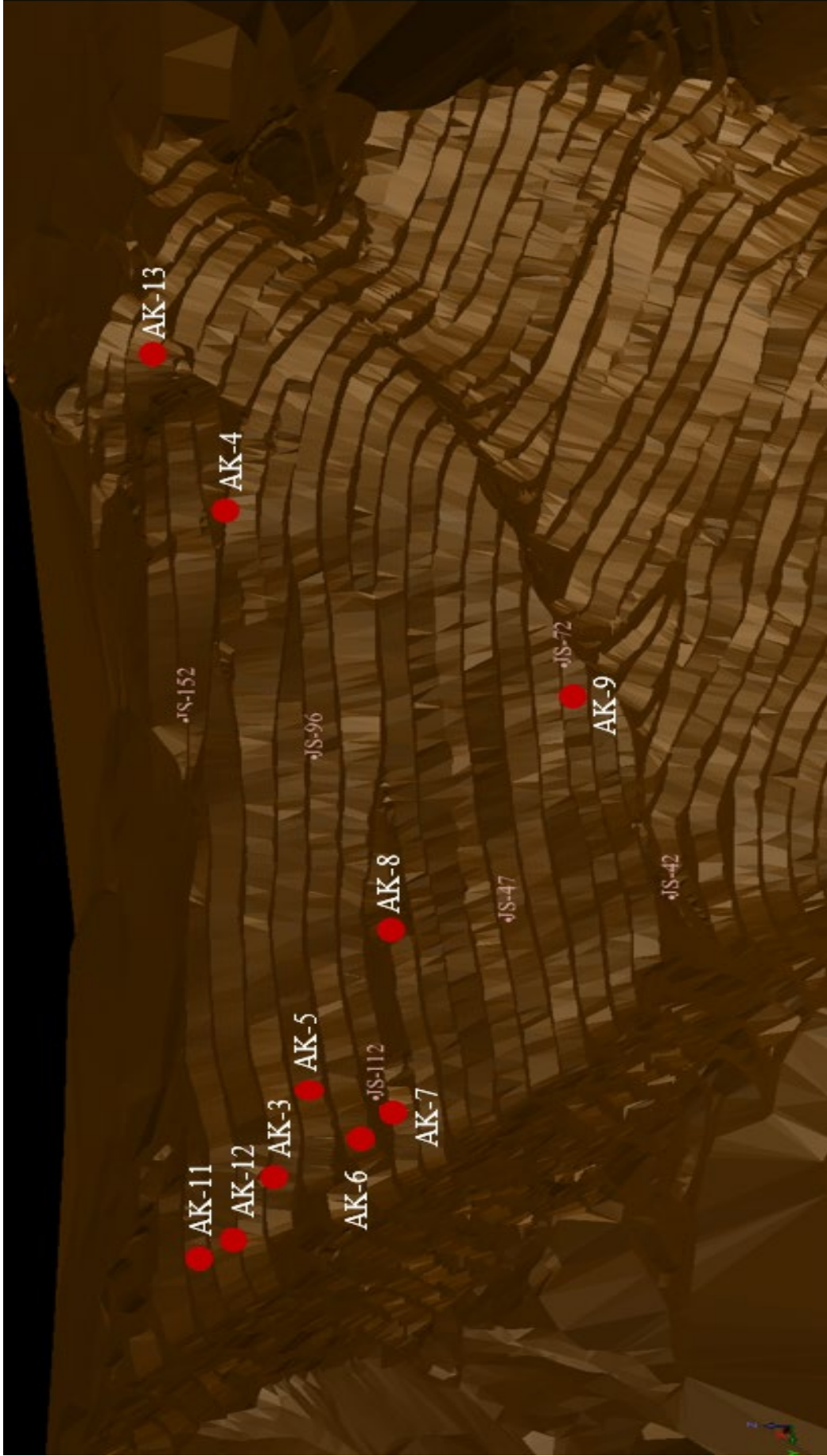
Şekil 3.17 Yeraltı işletmesi 1080 kat planı ve cevher örneklerinin toplandığı lokasyonlar.



Şekil 3.18 Yeraltı ocağı 1092 katında patlatma sonrası cevherin görünümü.



Şekil 3.19 Yeraltı ocağı 1092 katında cevherin ayna görüntüsü.



Şekil 3.20 A kafa sondaj ve bazı yüzey örnek lokasyonlarını gösterir 3 boyutlu diyagram.

3.2.4 Karot numuneleri

Tez çalışması kapsamında farklı derinlikteki sondajlardaki karot örnekleri incelenmiş (Şekil 3.21, 3.22, 3.23) ve özellikle işletme tarafından yapılan ve uygun görülen karotlardan 18 adet numune alınmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.21 Yapılan sondajların karot örneklerinin depodaki toplu görünümü.



Şekil 3.22 Yaklaşık 60 m'den alınan A-Kafa karot örneklerinin yakın görünümü.

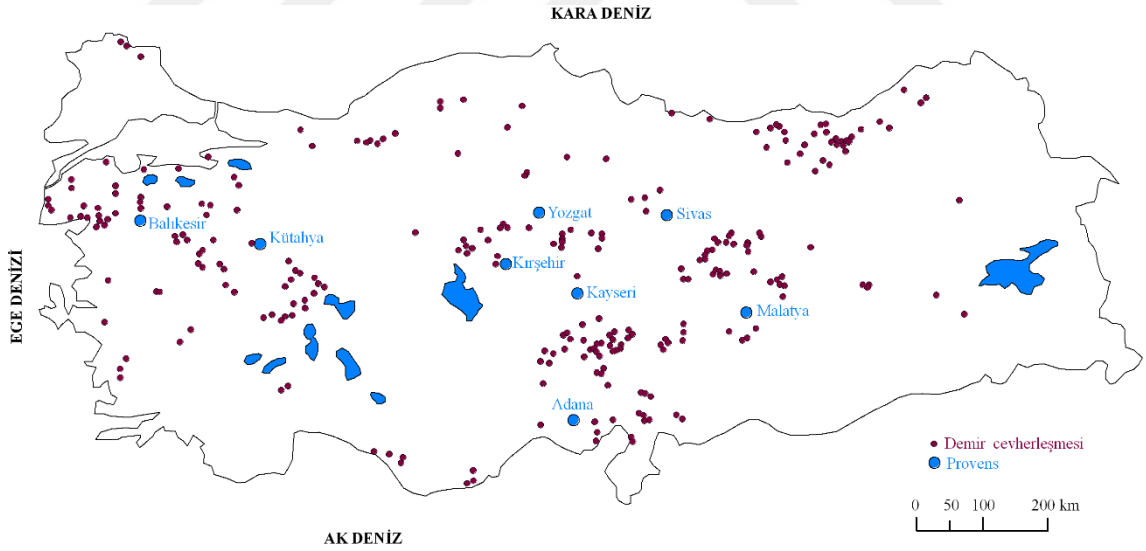


Şekil 3.23 Yaklaşık 35,50-39,50 m.'den alınan A-Kafa karot örneklerinin yakın görünümü.

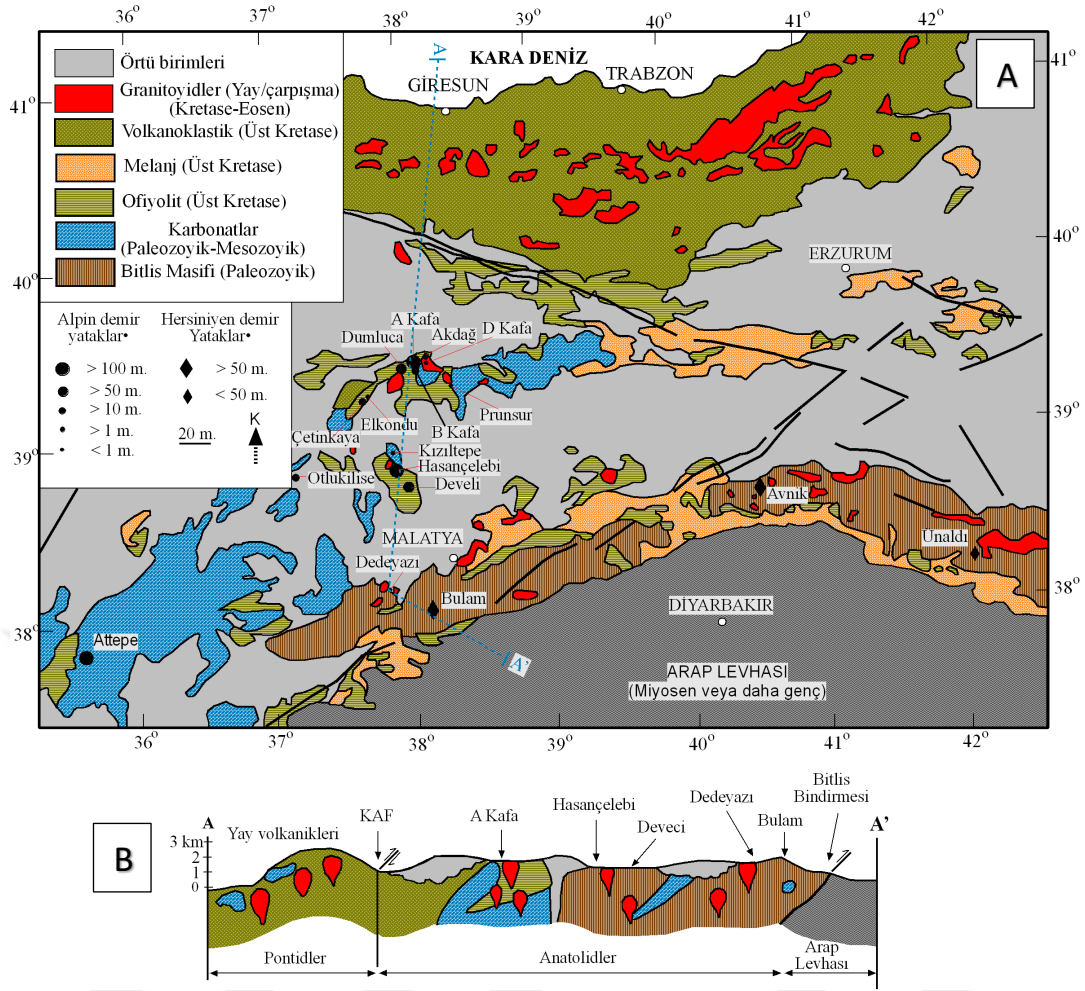
4. DİVRİĞİ A-B KAFA DEMİR YATAKLARINA GENEL BİR BAKIŞ

Türkiye'de toplam 900 civarında demir yatağı/cevherleşmesi bilinmektedir ve bunların 496'sı ayrıntılı olarak sayısız araştırmacı tarafından incelenmiş ve Ünlü vd., (2019) tarafından özetlenmiştir. Yine Ünlü vd., (2019) tarafından incelenen demir oluşumları ve yataklarının bazı bölgelerde yoğun olarak dağıldığı, bazı bölgelerde ise seyrek olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Bu oluşumlar çoğunlukla Kayseri-Adana, Balıkesir-Kütahya, Sivas-Malatya ve Kırşehir-Yozgat bölgelerinde yer almaktadır. (Şekil 4.1)

Demir oluşumlarının ve yataklarının toplam metal demir içeriklerine göre dağılımı, yatakların %88'i çok küçük ölçekli yataklar (toplam %100 metal Fe < 500.000 ton), %11'i küçük ölçekli yataklar (toplam %100 metal Fe 500.000-25.000 ton) ve %1'i orta ölçekli yataklar olarak sınıflandırılmıştır. Türkiye'de sadece dört yatak orta ölçeklidir. Bunlar Çamdağ, Deveci, Divriği A-B Kafa ve Hasançelebi yataklarıdır (Şekil.4.2). (Ünlü vd., 2019; Öztürk vd., 2016).



Şekil 4.1 Türkiye'deki 496 demir cevheri oluşumunun ve yatağının coğrafi dağılımı (Ünlü vd., 2019'dan değiştirilerek).



Şekil 4.2 Doğu Anadolu'nun basitleştirilmiş jeoloji haritası (A) ve A-A' yönlü enine kesit (B) (Öztürk vd., 2016'dan değiştirilerek).

4.1. Divriği A ve B Kafa Demir Yatakları

Divriği A ve B Kafa yatakları Sivas şehrinin yaklaşık 100 km güneydoğusunda, Divriği merkezinin yaklaşık 20 km. kuzeybatısında yer almaktadır.

Divriği A ve B Kafa demir yatakları ve çevresindeki ana jeolojik birimler, Jura-Alt Kretase kireçtaşları ve tüm genç kayaları kesen Üst Kretase-Paleosen granitleri ile ilişkili serpantinleşmiş ultramafik kayalardır. Cevher ve skarn oluşumları granitik kayalar ile duvar kayaları arasındaki kontaktlar boyunca yaygındır (Cihnioğlu vd., 1994; Öztürk vd., 2016).

Yan kayalar, çoğunlukla granitik bileşimli, serpantinit ve yerel olarak silisli ve karbonatlaşmış kayalardan oluşmaktadır.

Cevher ve yan kayaç, kabuk benzeri bir görünüme benzeyen karmaşık bir yapı oluşturur. Cevherleşme serpantinleşmiş ultramafik kayalarda veya granitik kayalar ile

serpantinitler arasındaki kontakt boyunca meydana gelir (Koşal, 1971, 1973; Ünlü ve Stendal, 1986, 1989; Zeck ve Ünlü, 1987, 1988, Ünlü vd., 1995; Yıldızeli, 1998; Işık, 2002) (Şekil 4.2).

Manyetit, pirit ve kalkopirit damarlarının eşlik ettiği ana cevher mineralidir.

Divriği A ve B Kafa demir yatakları, Üst Kretase-Paleosen siyenitik-monzonitik intrüzyonlarla ilişkili kontakt metasomatik-pnömatolitik ve pnömatolitik-hidrotermal tip olarak tanımlanmıştır. A-Kafa cevheri ve birkaç skarn madeni, bu intrüzyonlar ile Mesozoyik kireçtaşları ve Üst Kretase öncesi serpantinitler arasındaki kontakt boyunca yerleşmiştir. İntrüzyonlara göre uzakta olan B-Kafa cevheri, kireçtaşı-serpantinit bindirme zonunda pnömatolitik-hidrotermal fazda oluşmuştur (Koşal, 1973).

Divriği demir yataklarından alınan örnekler üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçları iki farklı tip cevherleşmeye işaret etmektedir. Birinci tip cevherleşme ultramafik jeokimyasal eğilimi temsil eden yüksek Cr, Co ve Ni ve MgO içeriğine sahipken (Stendal ve Ünlü, 1991), ikinci tip sedimanter bir karakter göstermektedir (örneğin yüksek Ba içeriği). Tektonik olarak yerleşmiş cevherleri barındıran ofiyolitlerin mafik ve ultramafik bölümlerinin tektonik süreçlerle oluştuğu öne sürülmektedir (Ünlü ve Stendal, 1986; Ünlü vd., 2019) (Şekil 4.3; 4.4).

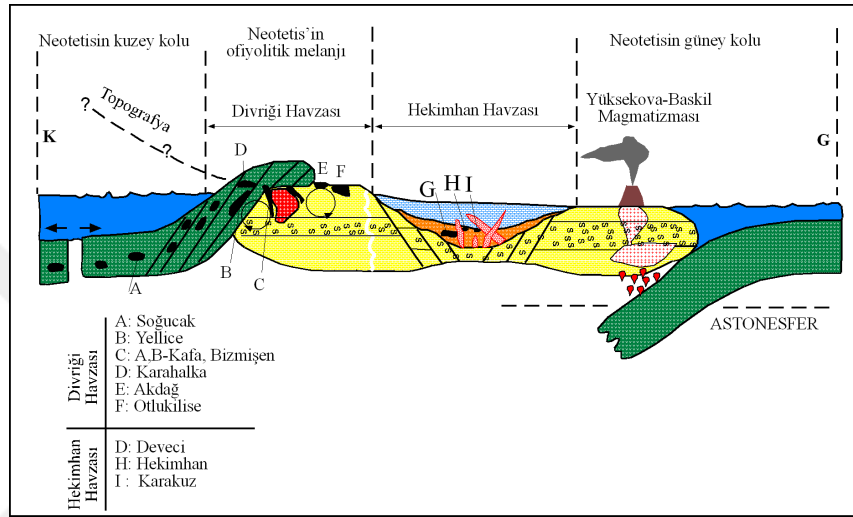
Divriği yatağı ve çevresindeki alkali metasomatizması, yatağın mineralojisi, plütonik kayaçların tektonik ortamı ve mineralizasyondaki yapısal kontrol, Yılmaz vd. (2003) ile Kuşçu vd.'nin (2002, 2010) Divriği yatağının bir Demir-Oksit-Bakır-Altın (IOCG) mineral sistemine benzediğini öne sürmelerine neden olmuştur.

Öztürk vd. (2016), demir cevherlerinin bölgedeki kireçtaşı, serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar ve granitik kayaçların üçlü kavşaklarında yoğunlaştığını göstermiştir. Magmatik aktivite, çarpışma sonrası riftleşme ile ilişkilendirilmiş ve Geç Kretase'de skarn tipi veya damar tipi ve volkano sedimanter tip demir cevheri yataklarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Divriği A Kafa cevherleşmesi, Murmano plütonunun yaygın skarn zonları içinde meydana gelir. Cevherleşme, KD-GB eğilimli kırık-çatlaklar ve faylar boyunca flogopit-manyetit damarları veya plütonik kayaç içinde mercerler ve cepler olarak meydana gelir. En büyük cevher kütlesi, serpantinize ultramafik kayaçlar ile DKD-BGB eğilimli bir fay ile sınırlı plüton arasındaki temas boyunca gelişmiştir (Öztürk vd., 2016).

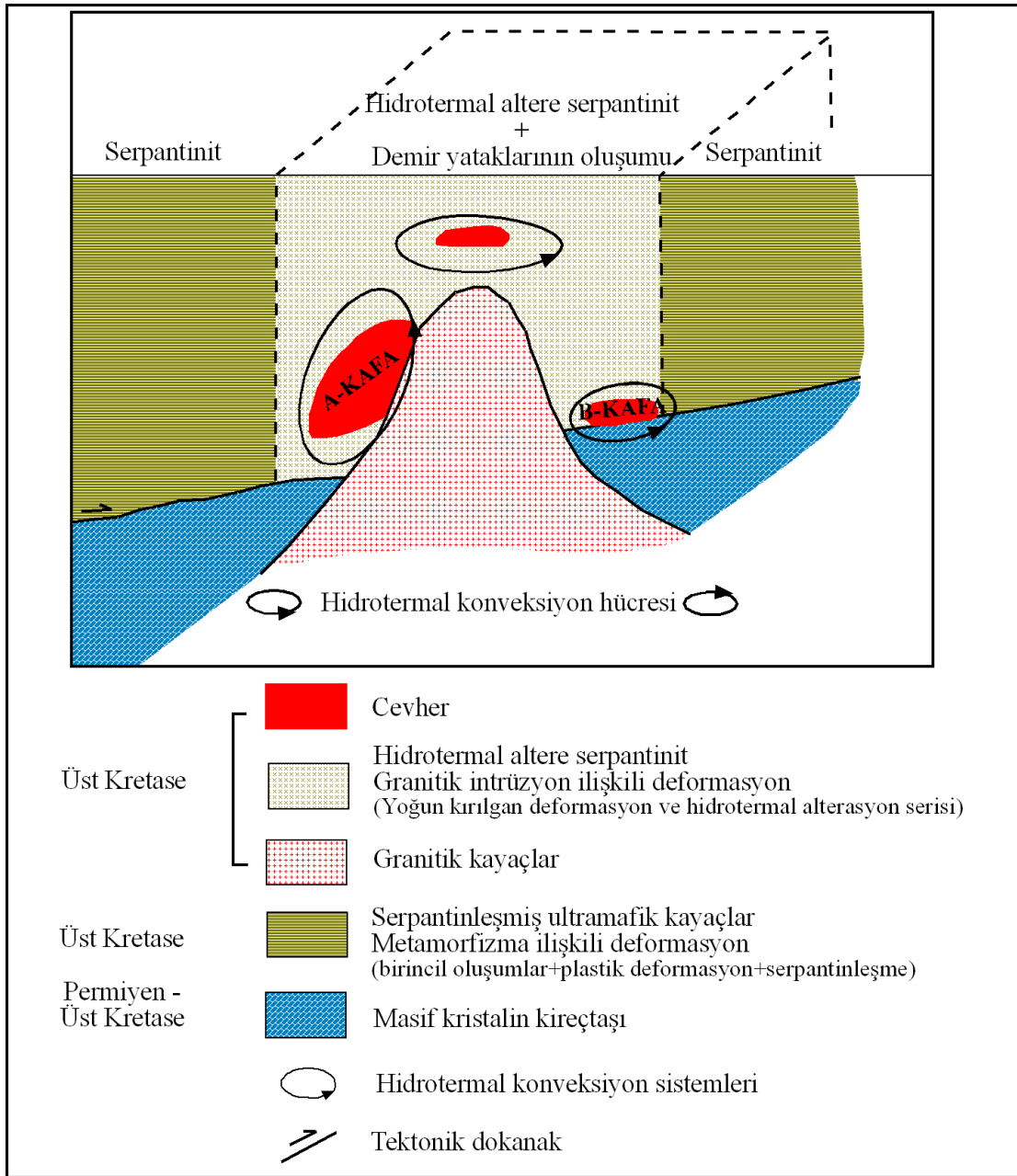
Sondaj çalışmaları ve jeolojik araştırmalar sonucunda toplam 120 Mt rezerv tespit edilmiş

olup, bunun büyük bir kısmı çıkarılmıştır (Kara vd., 2005).

Divriği A ve B-Kafa yataklarının çevresinde, bu yataklardan türediği düşünülen bir plaser oluşumu (C plaseri olarak adlandırılır) vardır. Yatakları çevreleyen alanlarda, erken Kretase yaşlı ofiyolitik kompleksin serpantinitleri ve kireçtaşları ile Üst Kretase-Paleosen granitleri açığa çıkmıştır. Neojen flüvyal tortullar ve kolüvyal çökeller en genç birimleri oluşturmaktadır.



Şekil 4.3 Divriği ve Hekimhan havzalarındaki demir yataklarının oluşumuna ilişkin şematik bir model (Ünlü vd., 2019'den değiştirilerek).



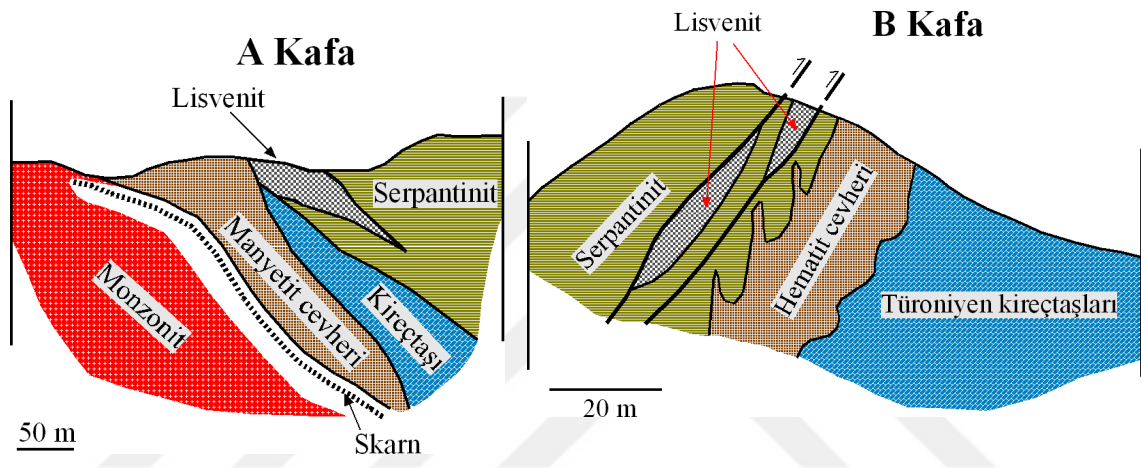
Şekil 4.4 Divriği A ve B Kafa demir yatakları için şematik model. (Ünlü vd., 1995'ten değiştirilerek).

C plaser ikincil bir demir cevheridir. Taşıma mesafesi fazla değildir ve yığılma önemli bir gang malzemesi olmaksızın çeşitli tip ve boyuttaki cevher bloklarının biriktiği alanlarda gerçekleşmiştir. C plaserinin, Orta Pliyosen'deki graben oluşumu sonucunda Divriği ve A ve B Kafa demir yataklarının yaklaşık 1 km uzağındaki 500 ila 600 m yüksekliğindeki bir cevher pozundan kaynaklanan bir heyelandan kaynaklandığı düşünülmektedir (Koşal, 1973).

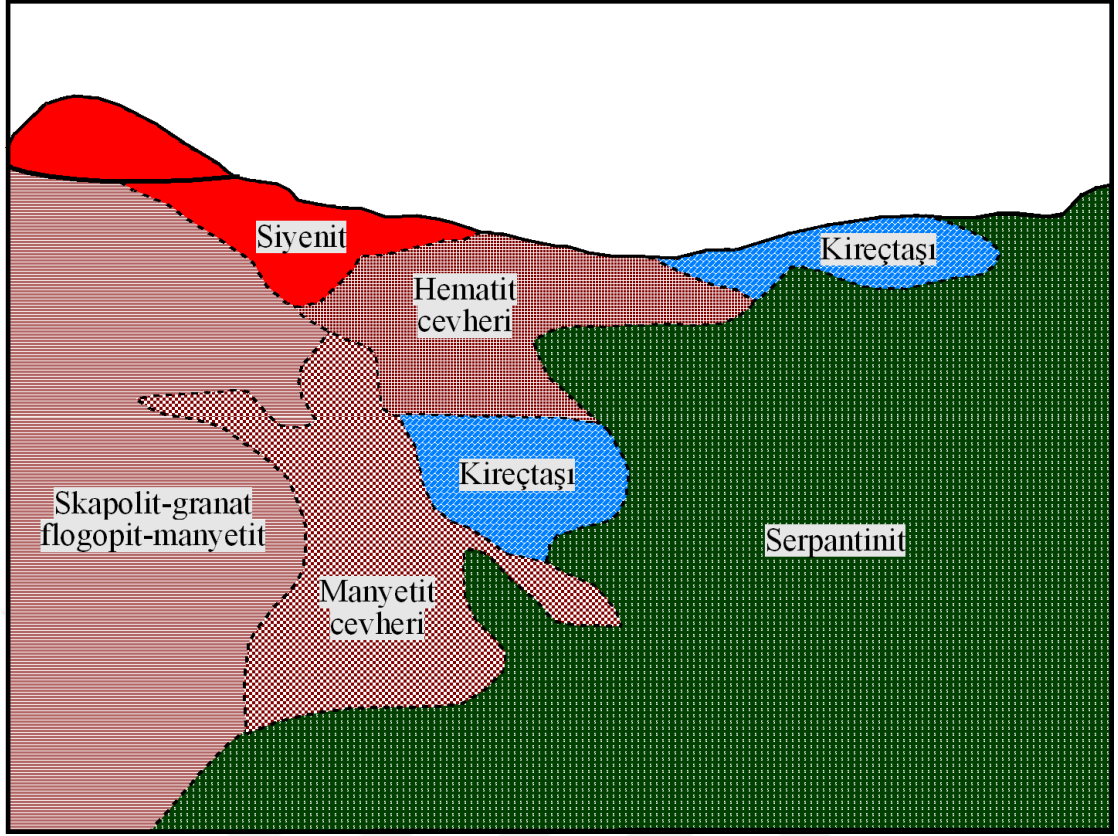
Divriği havzası, iç Torid suture zone içerisinde yer alan çok sayıda demir cevheri

merkezine ev sahipliği yapmaktadır. Havzadaki demir yatakları çoğunlukla serpantinit, kireçtaşı ve granit kontakları boyunca bulunur. Ünlü (1989), havzada gelişen Fe mineral sistemlerinin ultramafik ve mafik kayaların serpantinleşmesi ve bunu izleyen çoklu hidrotermal fazların neden olduğu değişimler sonucunda oluştuğunu öne sürmektedir.

Öztürk vd. (2016) ise A Kafa demir yatağının skarn tipi olduğunu, B Kafa demir yatağının ise kireçtaşı ofiyolit kontağında hidrotermal metasomatik tip yataklanma olduğunu ifade etmiştir (Şekil 4.4, 4.5).



Şekil 4.5 A ve B kafanın şematik enine kesiti (Öztürk vd., 2016'dan).



Şekil 4.6 A ve B Kafanın manyetit ve hematit cevherleşmesi ile birlikte arazi görünümü, G-K bakışlı (Öztürk vd., 2016’ dan, Şekil 3.6 da ki A-Kafa arazi fotoğrafına dayanarak çizilen çizim).

A Kafa demir yatağı siyenitik-monzonitik intrüzyon, dolomitik kireçtaşı ve serpantinit üçlü dokanağında (Klemm, 1960) Türkiye'deki en büyük yüksek dereceli demir yatağını temsil etmektedir (Apaydın ve Erseçen, 1981). Magnezyen ekzoskarn zonunda manyetit cevheri klorit, flogopit, epidot, kalsit ve kuvars ile zenginleştirilmiştir. Merceksi manyetit cevher kütlesi D-B yönünde 1 km boyunca uzanmaktadır. Ekzoskarnda yoğun lamprofir dayk yerleşimi önemli bir özelliktir. Endoskarnda sodik alterasyon, albitleşme ve skapolitiazasyon ve filogopitiazasyon ayırt edici bir özelliktir. Mineralize zonda albit, siyenit porfirik bir doku gösterir (Yılmaz, 2003). Yüksek sülfür nedeniyle içeriği (ortalama %1,9) ile cevher, pelet üretim için kullanılır. Açık işletme ile A Kafa yatağında, 1940 yılından bu yana yılda yaklaşık bir milyon ton cevher çıkartılmıştır. Demir cevheri ekzoskarn zonunda lokalize olmuştur. D-B yönelimli manyetit kütlesi yaklaşık olarak 1 km uzunluğu ile serpantin ve intrüzyon arasındaki ekzoskarn bölgesine kadar uzanmaktadır.

Martitleşmiş manyetit, hematit ve limonit içeren B Kafa yatağının demir cevheri kütlesi A Kafa yatağının birkaç yüz metre doğusunda oluşmuştur. Cevher serpantin ve kireçtaşı boyunca 300 m boyunca yüzeylemektedir. Birkaç milyon ton cevher B Kafa madeninden elde edilmiştir. Cevher kalitesi yüksek fırınlarda doğrudan kullanım için uygundur. Yatağın turmalin gang minerali içermesi ile, hidrotermal- metasomatik tip cevher yatağı olarak tanımlanmıştır (Klemm, 1960; Yilmazer, 2003; Öztürk vd., 2016) (Şekil 4.6).



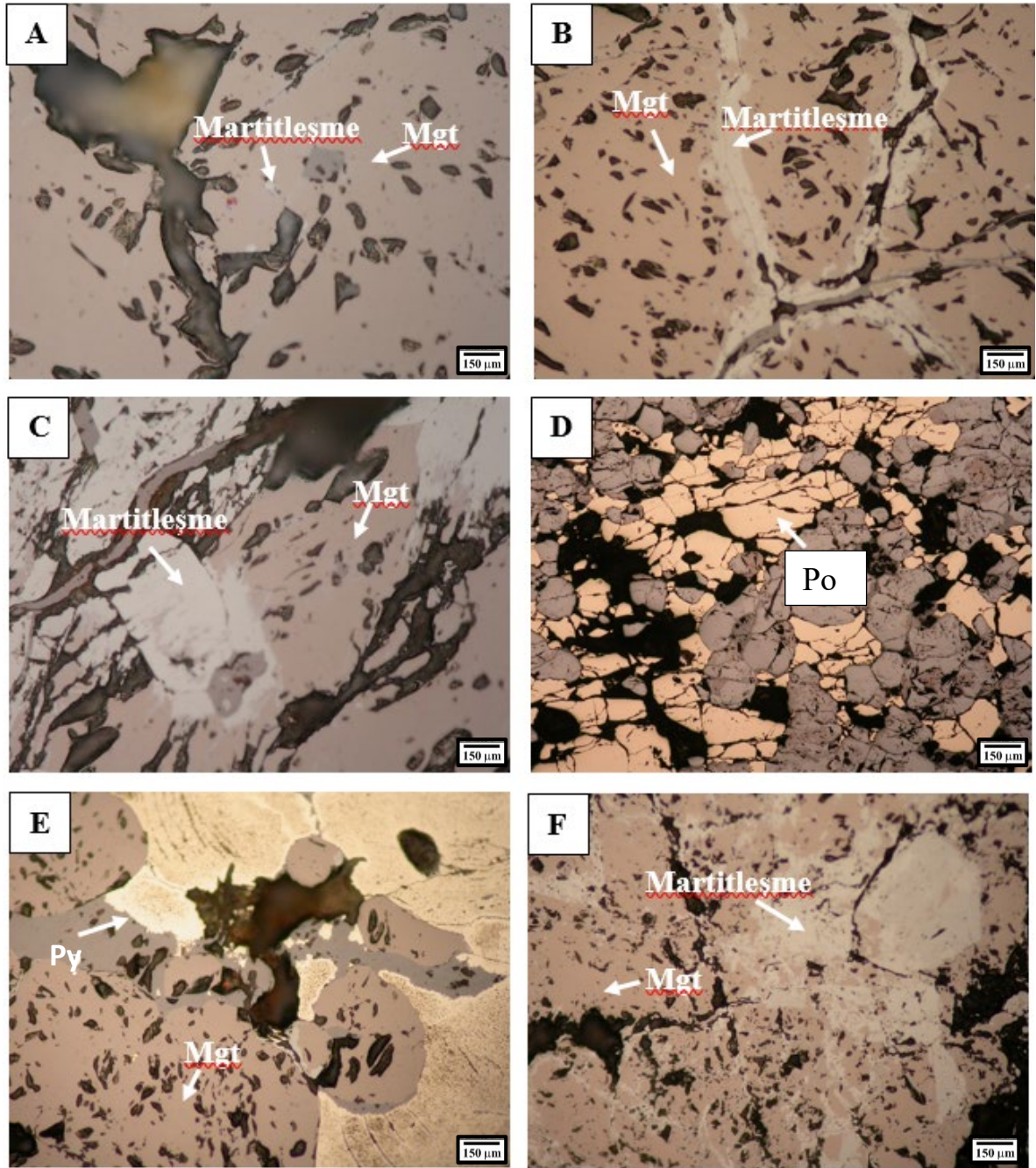
5. CEVHER MİKROSKOPİSİ

Cevher mineralojisi incelemesi Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Cevher Mikroskopisi Araştırma Laboratuvarı'nda Nikon Coolpix 4500 dijital fotoğraf makine ataşmanlı Nikon Eclipse E 600 Pol. mikroskopunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile cevher parajenezi, yapı-doku ilişkileri, cevher mineralleri ile gang arasındaki ilişkiler tanımlanmaya ve açıklanmaya çalışılmıştır.

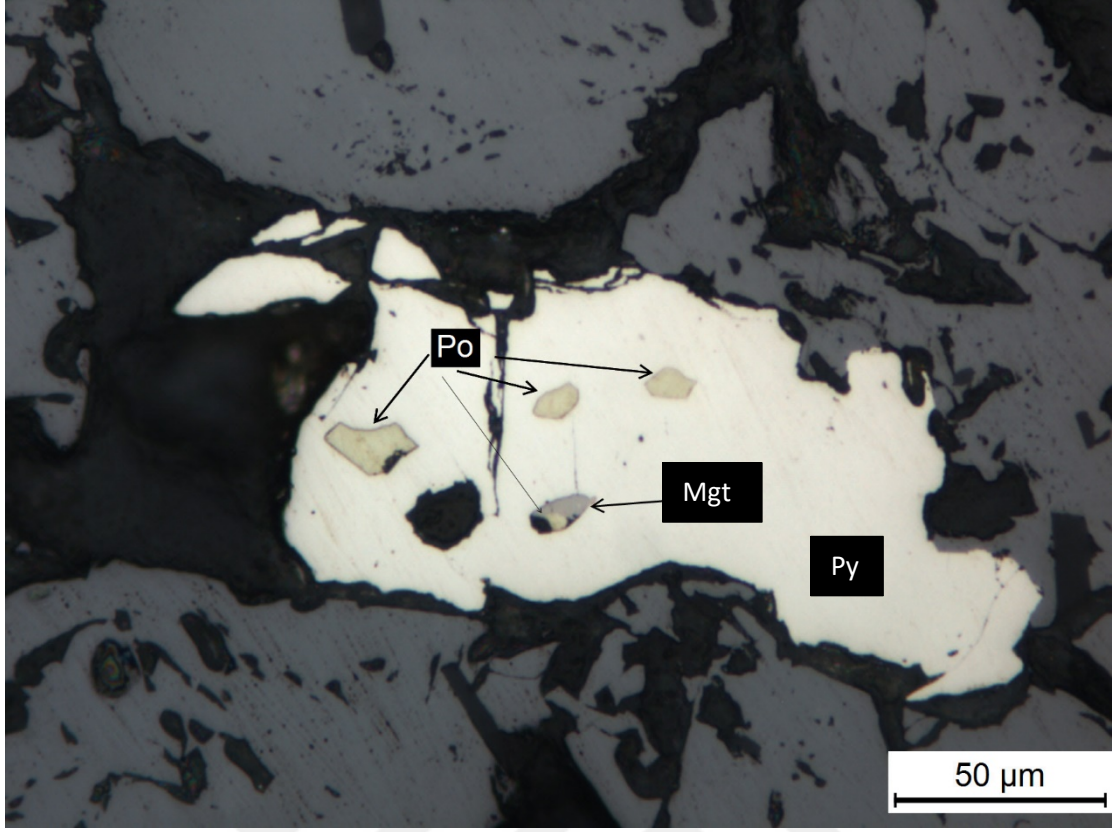
Divriği A ve B Kafa demir cevherinde martitleşme (manyetitin kristallografik zayıf düzlemleri boyunca oksidasyon süreci ile hematitin gelişmesi (Craig ve Vaughan, 1994)) çok yaygın biçimde gözlenmektedir. Bunun yanısıra hakim cevher mineralleri, manyetit, hematit, pirotin, limonit ve götittir.

A Kafa cevher örneklerinde (yüzey, yeraltı ve karot numuneleri) cevherleşmeye eşlik eden sülfür mineralleri pirit, kalkopirit, pirotin, kovelin olarak belirlenmiştir (Şekil 5.1, 5.2, 5.4, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12).

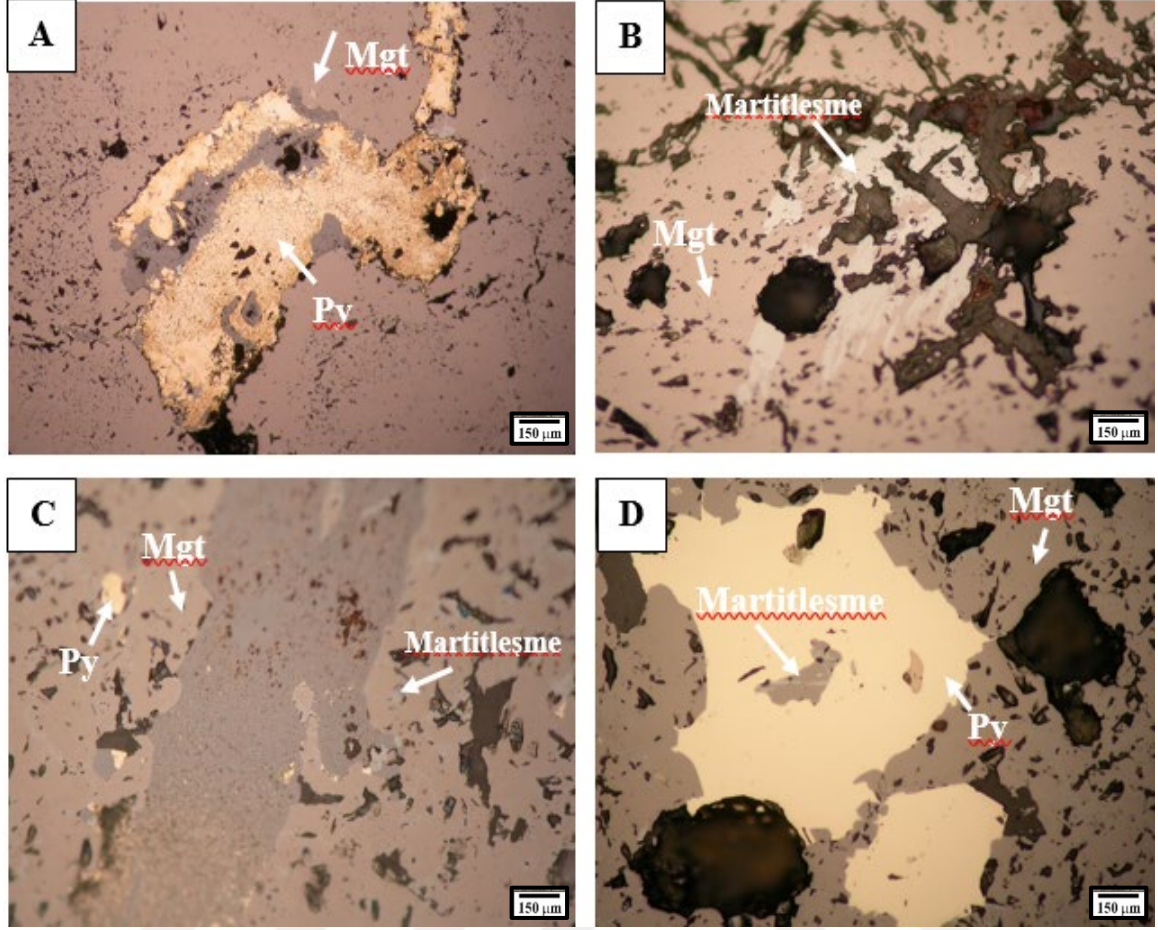
B Kafa örneklerinde ise cevherleşmeye eşlik eden sülfür mineralleri pirit, kalkopirit, kovelin olarak belirlenmiştir (Şekil 5.3, 5.5, 5.6).



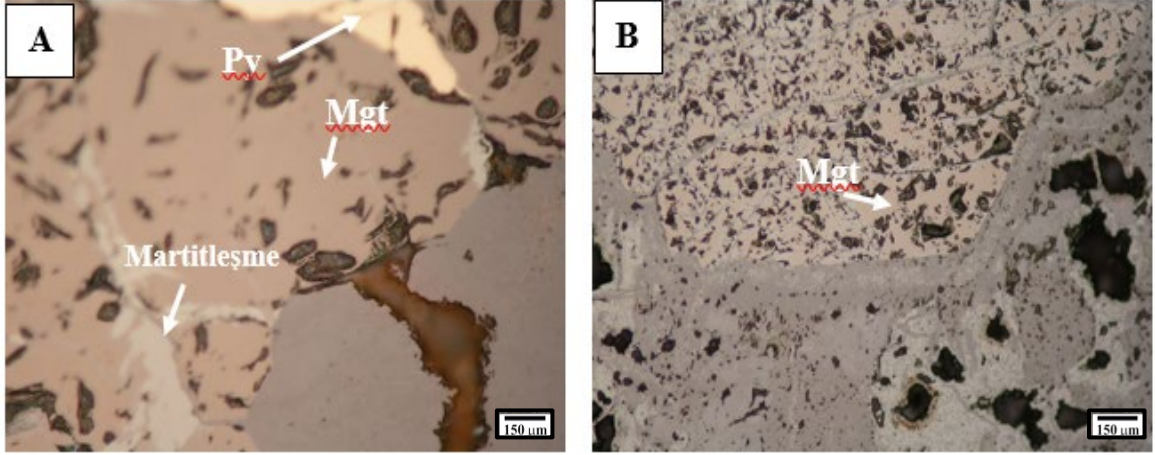
Şekil 5.1 A-Kafa cevher yatağından alınan örneklerin cevher mikroskobisi görüntüleri **A:** Manyetit içindeki martitleşme (Örnek no: AK-1, Büyütme:50X, Tek Nikol), **B:** Manyetit içerisindeki martitleşme (Örnek no: AK-4, Büyütme:50X, Tek Nikol), **C:** Manyetit ve martitleşme (Örnek no: AK-5), **D:** Pirotin görüntüsü (Örnek no: AK-7), **E:** Pirit ve manyetit birlikteliği (Örnek no: AK-17-1), **F:** Manyetit içerisinde martitleşme (Örnek no: AK-23, Büyütme: 20X, Tek Nikol, Mgt: Manyetit, Py: Pirit, Po: Pirotin).



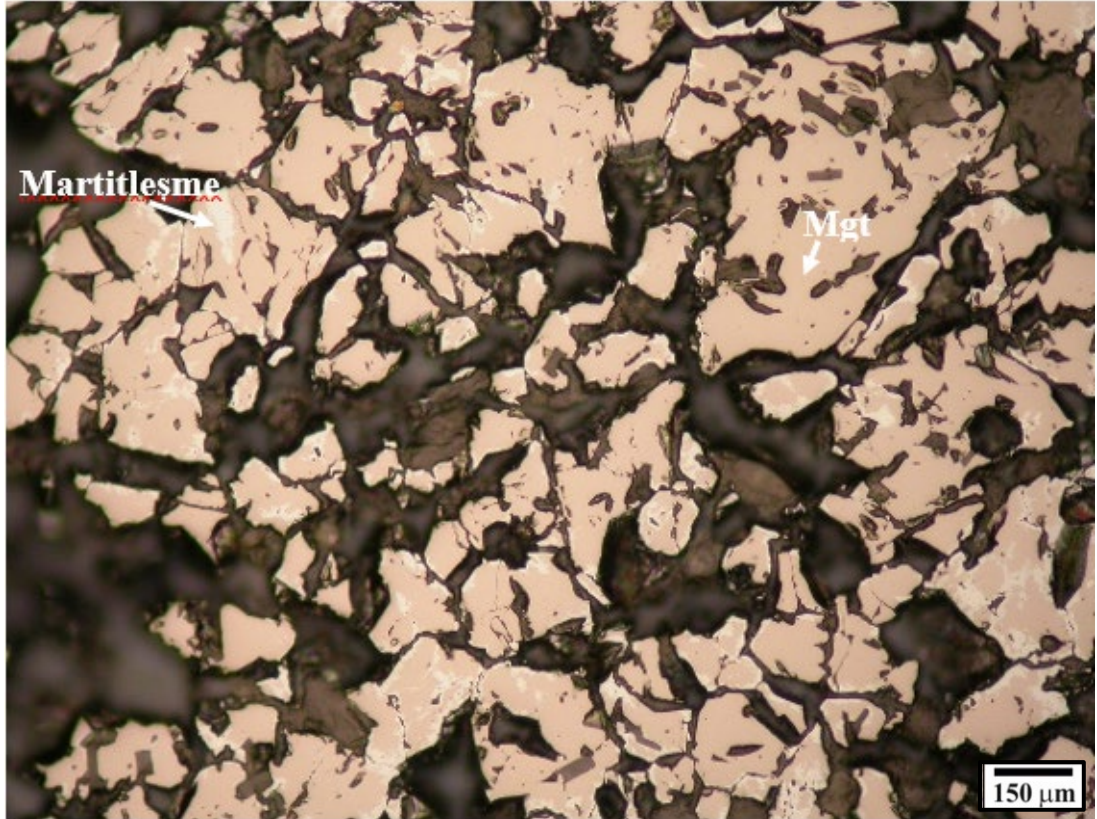
Şekil 5.2 A-Kafa cevher yatağı, pirit içindeki pirotinin mikrofotografı (Örnek no: AK-20, Büyütme: 50X, TN, Mgt: Manyetit, Po: Pirotin).



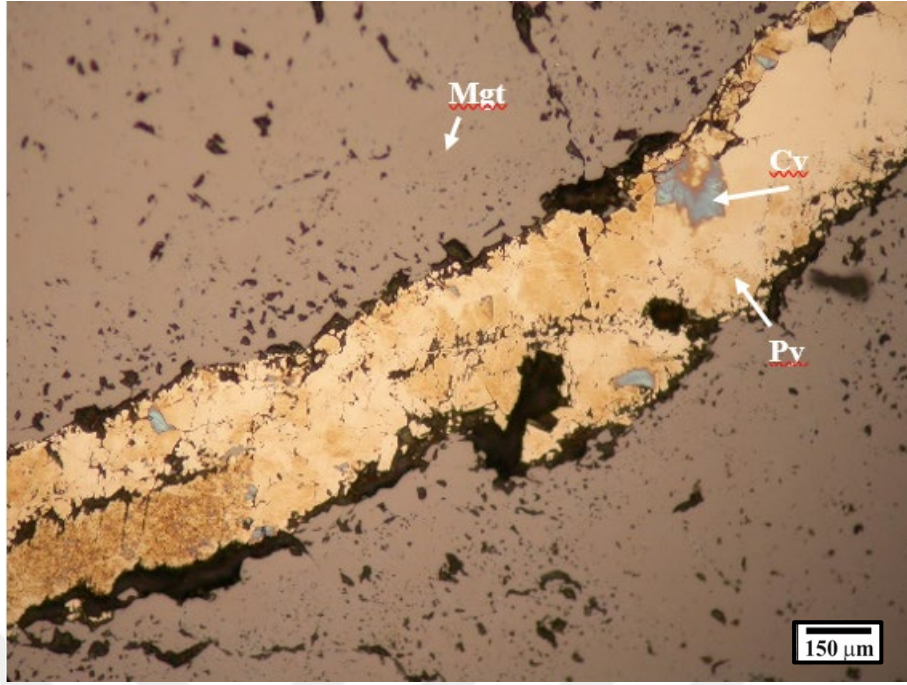
Şekil 5.3: B-Kafa cevher yatağından alınan örneklerin cevher mikroskobisi görüntüleri **A:** Pirit ile birlikte manyetit (Örnek no: BK-3), **B:** Manyetit ve martitleşme (Örnek no: BK-5), **C:** Manyetit içinde gözlemlenen az miktardaki martitleşme ile az miktardaki pirit (Örnek no: BK-10), **D:** Pirit içinde kapanım halinde olan manyetitte gözlenen az miktardaki martitleşme (Örnek no: BK-10), Büyütme: 20X, Tek Nikol, Mgt: Manyetit, Py: Pirit).



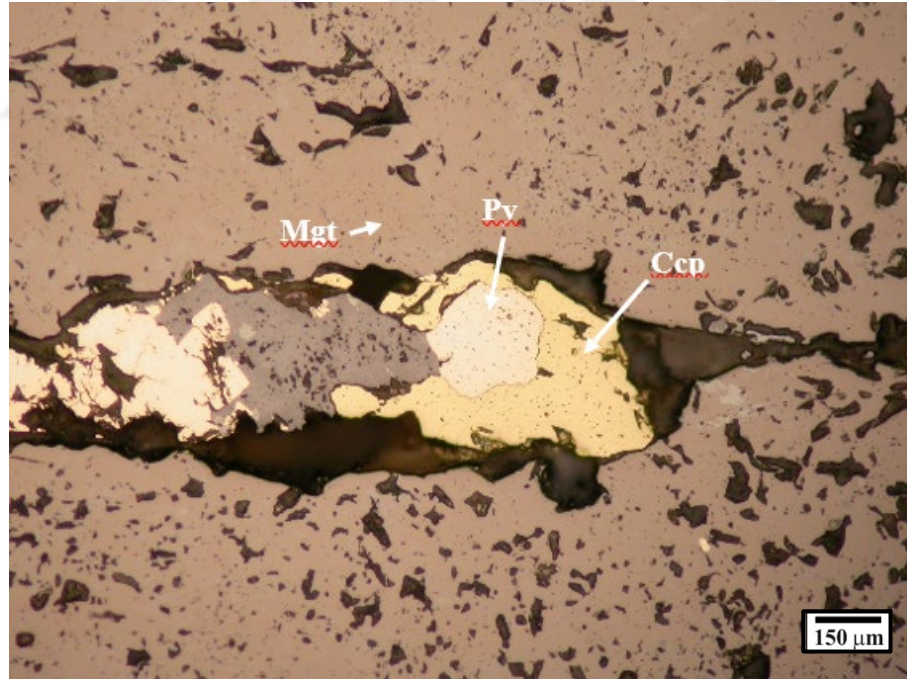
Şekil 5.4 A-Kafa cevher yatağında yeraltında yapılan çalışmalardan alınan örneklerin mikrofotografıları **A:** Manyetit içerisinde az miktardaki martitleşme ve pirit (Örnek no: AK-Y1), **B:** Parçalanmış manyetit (Örnek no: AK-Y2, Büyütme: 20X, Tek Nikol, Mgt: Manyetit, Py: Pirit).



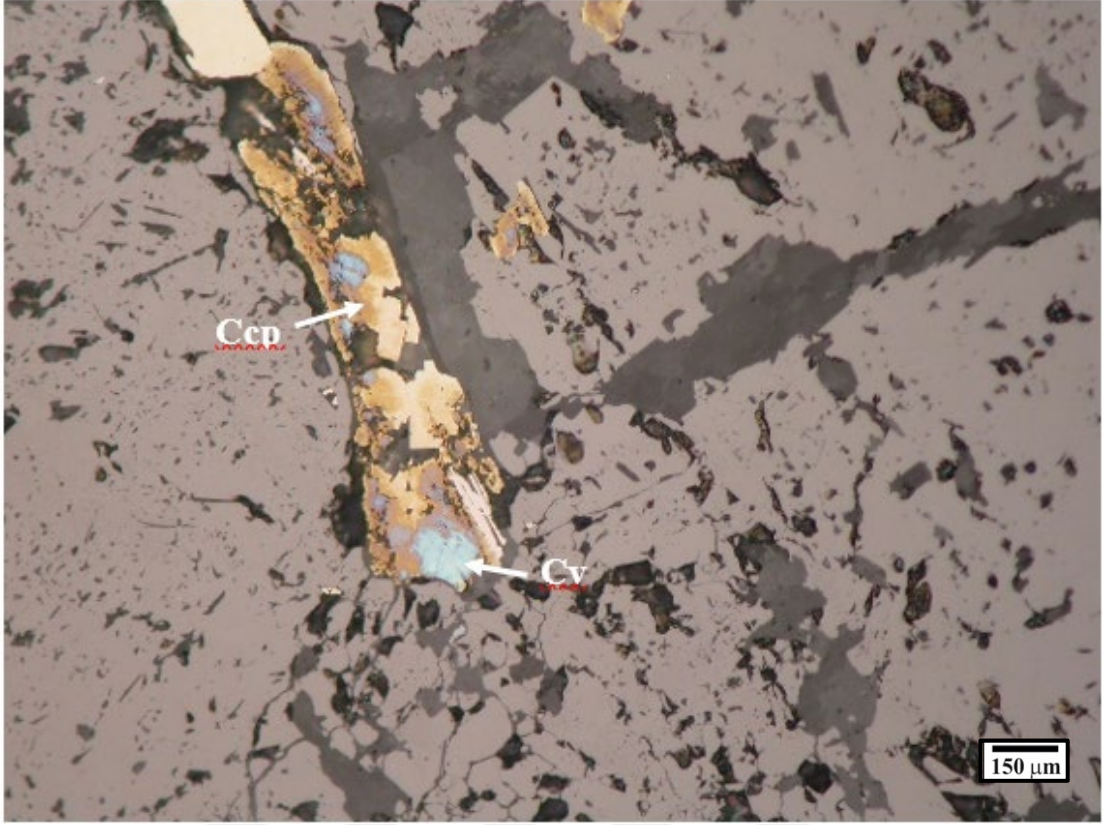
Şekil 5.5 B-Kafa cevher yatağından alınan demiroksitlenmiş örnek içindeki parçalı olarak görünen manyetit içinde az miktarda ve ince dağılımlar halinde görünen martitleşme (Örnek no: BK-1, Büyütme: 20X, Tek Nikol, Mgt: Manyetit).



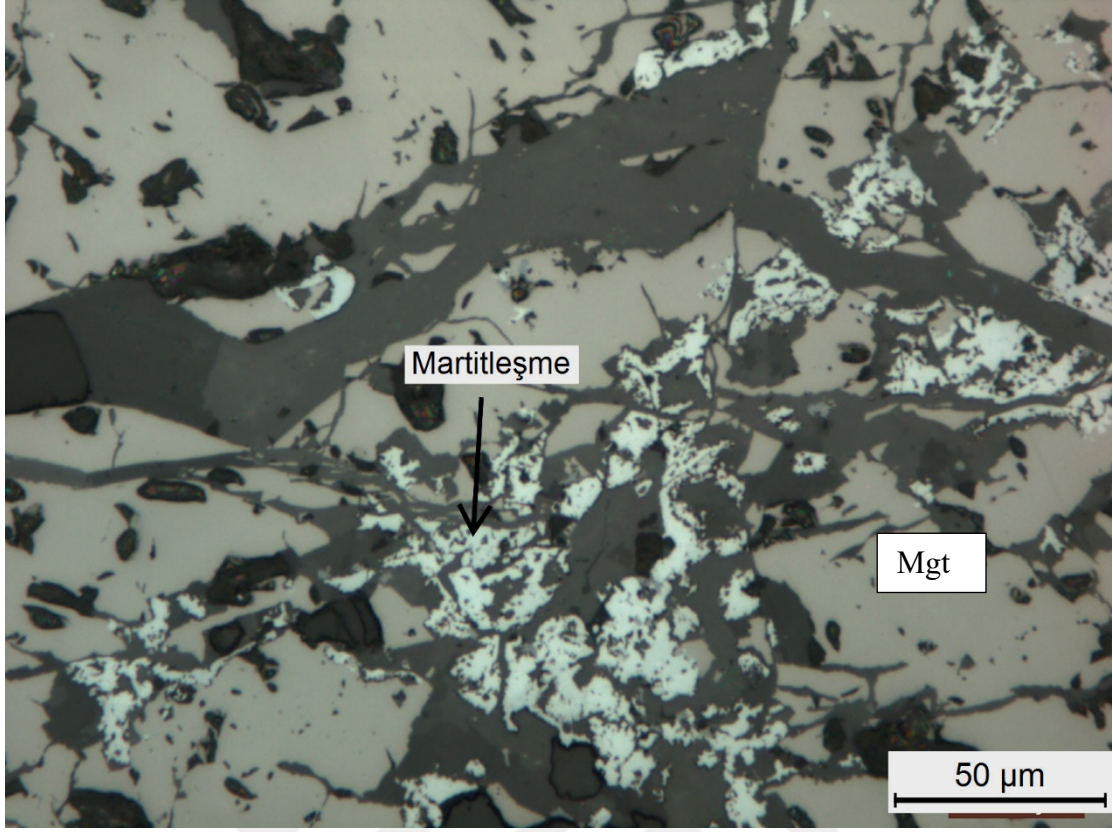
Şekil 5.6 B-Kafa cevher yatağından alınan örnekte görünen pirit içindeki kovelin oluşumlarının mikrofotografı (Örnek no: BK-2, Büyütme:20X, Tek Nikol, Cv: Kovelin).



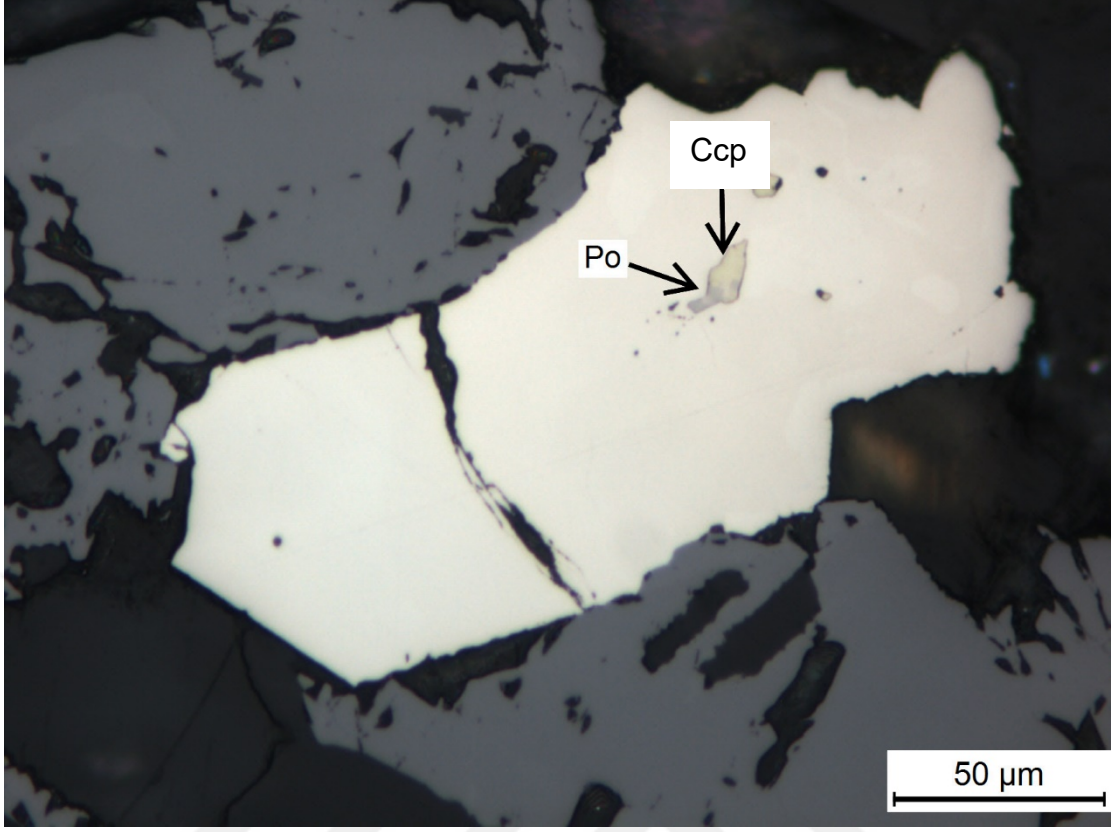
Şekil 5.7 A-Kafa cevher yatağında yeraltında yapılan çalışmalardan alınan örnekteki manyetitte bulunan kalkopirit içindeki pirit konumlanmasının mikrofotografı (Örnek no: AK- 14, Büyütme: 20X, Tek Nikol, Ccp: Kalkopirit).



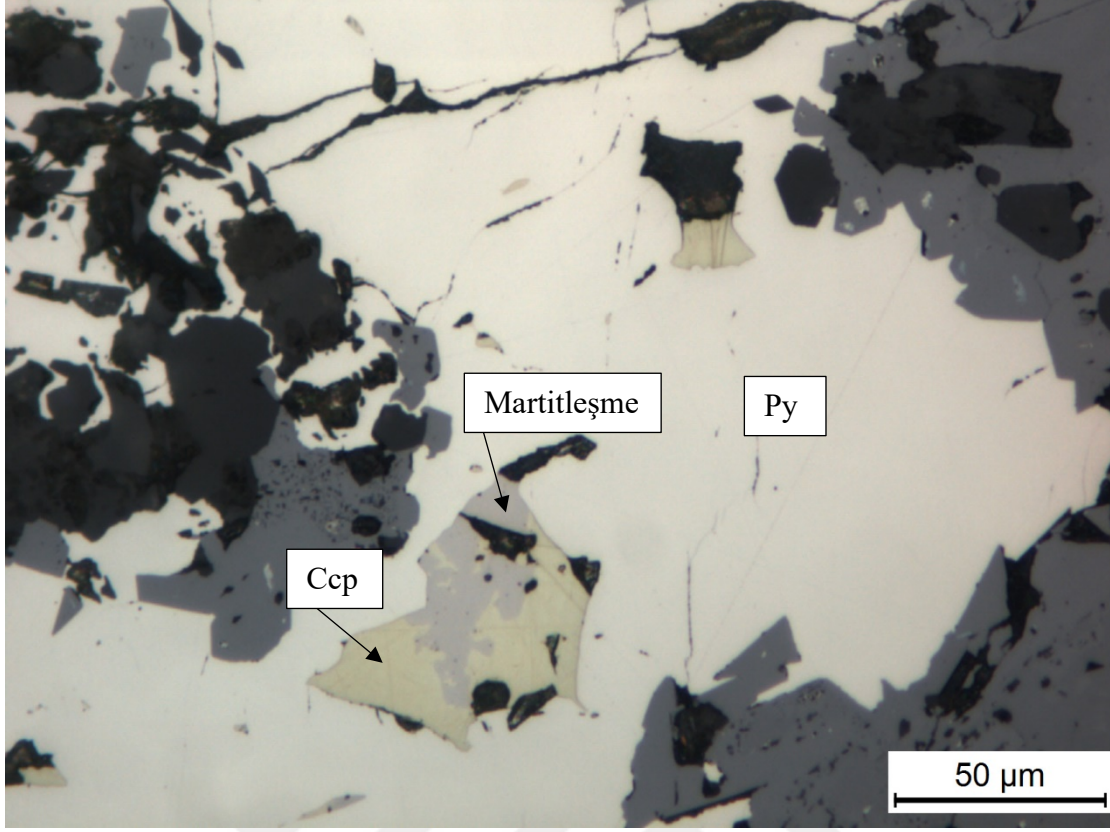
Şekil 5.8 A-Kafa cevher yatağından alınan örnek içindeki kalkopirit ve kovelinin mikrofotografı (Örnek no: AK-14, Büyütme: 20X, Tek Nikol, Ccp: Kalkopirit, Cv: Kovelin).



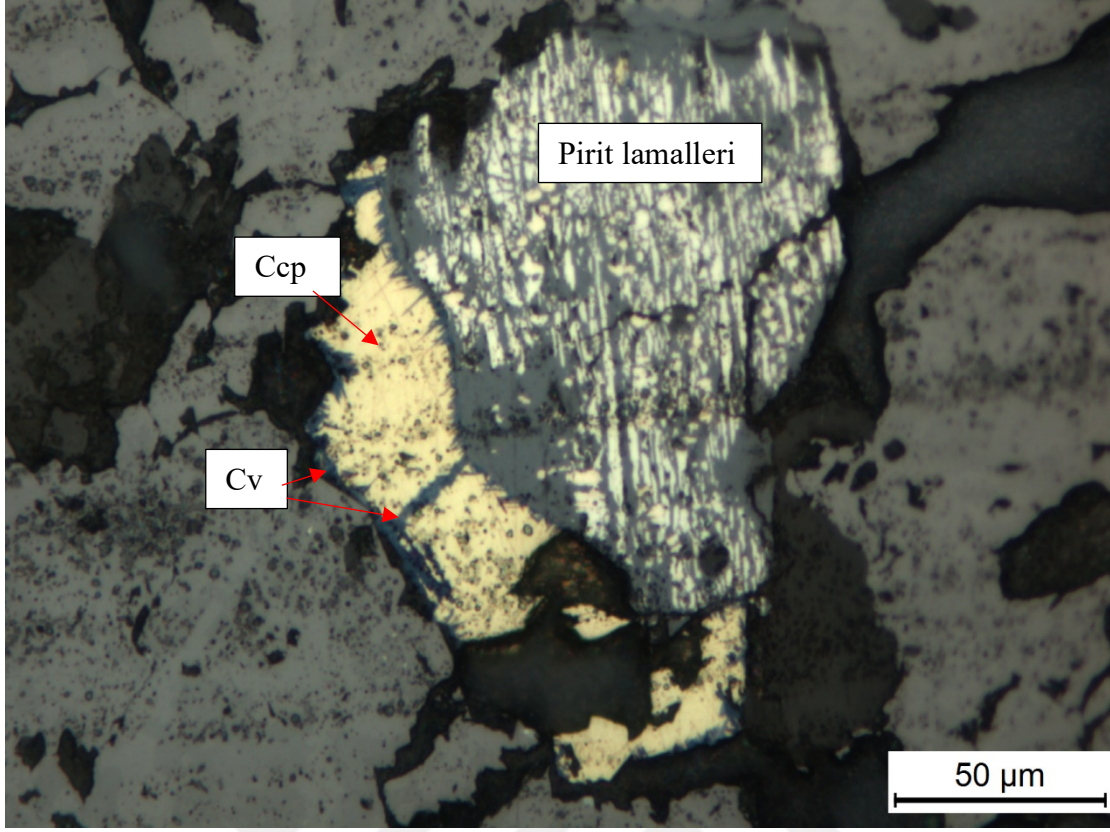
Şekil 5.9 A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotografı (Örnek no: AK-S1, Büyütme: 50X, Tek Nikol, Karot derinliği: 194.05m). Manyetit içindeki breşleşmenin olduğu yerler boyunca martitleşme görülmektedir (Mgt: Manyetit).



Şekil 5.10 A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotografı (Örnek no: AK-20, Büyütme: 50X, Tek Nikol). Pirit içindeki kalkopirit ve pirotin görünümü (Ccp: Kalkopirit, Po: Pirotin).



Şekil 5.11 A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotografı (Örnek no: AK-20, Büyütme: 50X, Tek Nikol). Pirit içindeki kalkopirit ve kalkopirit içerisindeki martitleşme görüntüsü (Py: Pirit, Ccp: Kalkopirit).



Şekil 5.12 A-Kafa yatağından alınan karot örneğinin mikrofotografı (Örnek no: AK-17-1, Büyütme: 50X, Tek Nikol). Kalkopirit çevresindeki kovelin dönüşümü ve pirit lamellerinin görüntüsü (Py: Pirit, Cv: Kovelin).

Kuşcu vd., (2002a) Divriği A-B Kafa demir cevherleşmesinin yan kayaçlarında skarn parajenezleri olarak tanımlanan granat-piroksen, epidot ve amfiboller gibi minerallerle birlikte, bugün dünya literatüründe Fe-oksit-Cu-Au yataklarına yankayaçlık eden sodik-kalsik (en tipik) metazomatizmayla oluşan skapolit, albit, filogopit, barit, REE, hematit ve ikincil K-feldspat, amfibol ve biyotit gibi minerallerin de gözlendiği belirtilmiştir. A-kafa alterasyon zonları Murmano plütonundan serpantinleşmiş ultramafik kayaca doğru sırasıyla, skapolit, skapolit-granat, filogopit-manyetit $\pm$ skapolit $\pm$ granat ve K-feldspat + masif manyetit zonları gibi belli mineral parajenezleri ile temsil edilen, birbiriyle ardışık gelişim süreçleri içinde olan ve birbirini üzerleyen (silen veya kesen) zonlardan oluştuğunu ve bu zonların, monzonit, siyenit ve kuvars-siyenit bileşimli kayaçlar içinde birbirine paralel damarlar boyunca veya plüton içinde cepler halinde oluşan kalk-silikat ve metasomatik alterasyon ürünleri olduğunu ifade etmiştir

6. JEOKİMYA

Bu çalışma sırasında Divriği A-B Kafa ve galeriden alınan örnekler ile karot numunelerinden alınan örnekler kırma-öğütme işlemlerinden sonra mikroskop altında ve mıknatıs yardımıyla manyetitler seçilerek numune hazırlama işlemi tamamlanmıştır. Oksit, ana-iz element ile REE analizleri toplam 30 manyetit örneğinde, $\delta^{56}\text{Fe}$ analizi 21, $\delta^{18}\text{O}$ analizi ise 20 manyetit örneğinde gerçekleştirilmiştir.

Ana oksit, iz element ve NTE (Nadir Toprak Elementi) analizleri uluslararası akrediteye sahip Actlabs-Kanada laboratuvarında FUS-ICP-MS, FUS-ICP-OES yöntemlerinin kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir. $\delta^{56}\text{Fe}$ analizleri, Pensilvanya Eyalet Üniversitesinin State College, PA-ABD Neptün Laboratuvarında, $\delta^{18}\text{O}$ analizi ise Teksas Üniversitesi Austin, TX-ABD Üniversitesi'nde ThermoScientific MAT 253 ICP-MS ile gerçekleştirilmiştir.

6.1 Oksit-Element Jeokimyası

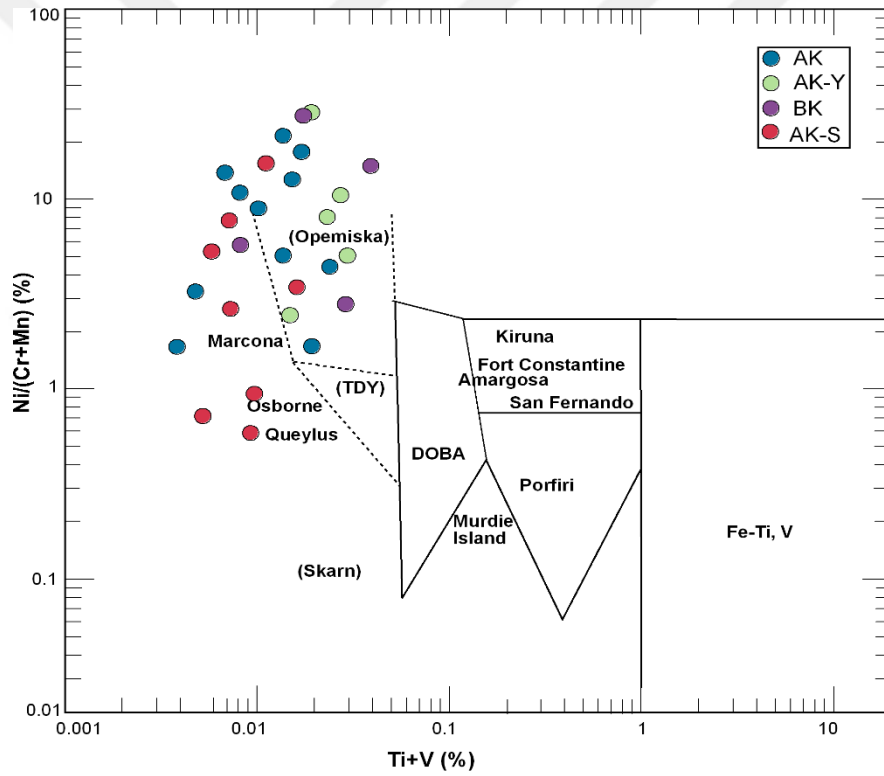
Divriği demir madeninden elde edilen 30 adet manyetit örneğine ait oksit, ana-iz elementler, ilk önce demir cevherinin kökenine yönelik ayırtman diyagramlarında, sonra da adlandırma diyagramlarında kullanılmak üzere % oksitten % elemente ve % den ppm'e dönüşümler gerçekleştirilerek ayrı tablolar oluşturulmuştur (Çizelge 6.1; 6.2). Analitik enstrümanın dedeksiyon limitinin altında rapor edilen analiz sonuçları, bu tablolarda dedeksiyon limitinin yarısı olarak kabul edilerek hesaplamalarda kolaylık sağlanması amaçlanmıştır.

Manyetit ve hematit, birçok çalışmada gösterildiği gibi maden yatağı türlerinin parmak izini çıkarmak için kullanılabilir. Bu tez çalışmasında sunulan ayırtman diyagramları (Dupuis ve Beaudoin, 2011 ve Nadoll vd., 2014) manyetit veya hematit bileşimlerine göre bir demir maden yatağı türünü tanımlamak için kullanılabilir. Demir oksit bileşimine dayalı bir maden yatağının parmak izini çıkarmak için en etkili olan çok çeşitli maden yatağı türlerinin ayırt edildiği adlandırma ve/veya ayırtman diyagram kullanılarak Divriği A-B kafa demir bazlı yatağının adlandırması ve yatağın tipinin $\text{Ni}/(\text{Cr}+\text{Mn}) - \text{Ti}+\text{V}$ veya $\text{Ca}+\text{Al}+\text{Mn} - \text{Ti}+\text{V}$ diyagramları kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır.

Divriği manyetit örneklerinin numaraları ve kullanılan jeokimyasal parametreler Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. $\text{Ni}/(\text{Cr}+\text{Mn})-\text{Ti}+\text{V}$ diyagramında Divriği

A-B Kafa manyetit örnekleri düşük Ti+V değerleri sergilerken, yüksek oranda Ni/(Cr+Mn) değerleri göstermektedir (Şekil 6.1). Bu diyagramda Divriği manyetit örnekleri Marcona, Osborne, Queylus gibi Dupuis ve Beaudoin (2011) tarafından “diğer hidrotermal demiroksit” yataklar olarak adlandırılan bölgede dağılım göstermiştir. Aynı diyagramda Opemiska gibi damar tipi Cu yatağı da yer almaktadır. Yine aynı diyagramda Divriği manyetit örnekleri skarn olarak adlandırılan bölgede dağılım göstermemiştir.

Buna karşılık Ca+Al+Mn% - Ti+V% diyagramında (Şekil 6.2) Divriği manyetit örnekleri yine Dupuis ve Beaudoin (2011) tarafından Marcona ve Osborne, gibi yatakların yer aldığı “diğer hidrotermal demir-oksit” olarak adlandırılan bölgede kümelenirken 2 adet A-Kafa sondaj örneği (AK-S1, Ca=0,465, Al=0,077 % wt; AK-S3, Ca00,395 % wt.) skarn olarak adlandırılan bölgeye yakın dağılım göstermiştir.



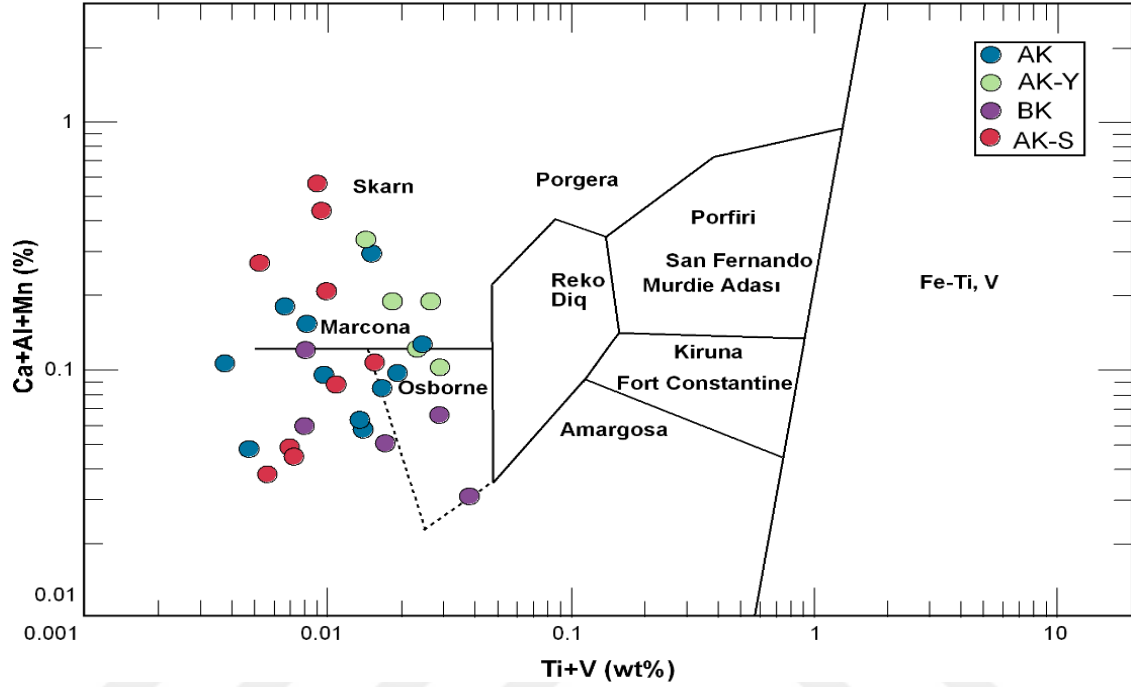
Şekil 6.1 Ni/(Cr+Mn) (%) - Ti+V (%) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin adlandırılması (Dupuis ve Beaudoin, 2011 ve Nadoll vd.’den değiştirilerek, 2014a) AK= A Kafa, BK= B Kafa, AK-Y= A Kafa Yeraltı İşletmesi, AK-S= A Kafa, Sondaj örneklerini temsil etmektedir.

Ni/(Cr+Mn) (% wt.)- Ti+V (% wt.) (Şekil 6.1), DOBA, Kiruna-tip, Porfiri Cu, ve Fe-Ti ile V yatakları sınırları ile birlikte tanımlanmıştır. Skarn yataklarına ait Fe-oksit mineralleri genellikle düşük Ti+V değerleri içerirken değişen oranlarda Ni/(Cr+Mn) değerler içermesi nedeniyle skarn için kesin sınırlar ile belirtilememiştir. Ancak tabakalı demir yatakları (BIF) düşük Ti+V ve ortaçağ Ni/(Cr+Mn) değerler ile karakterize olurken bazı skarn yataklarını da üzerlemektedir (Dupuis ve Beaudoin, 2011). Bununla birlikte Opemiska-tipi Cu damar değerleride düşük Ti+V değerleri ve yüksek Ni/(Cr+Mn) oranları içerdiği gözlenmekte ve aynı zamanda Arkean porfiri yataklarını da üzerlemektedir ki bu porfiri yataklarda aynı şekilde düşük Ti+V ve değişken Ni/(Cr+Mn) oranı içermektedir.

Çizelge 6.1 Ana-iz element jeokimyasal sonuçları (Dedeksiyon limiti altındaki değerler, hesaplamalarda kolaylık olsun diye dedeksiyon limitinin yarısı olarak alınmış ve altı çizgili olarak gösterilmiştir). AK= A Kafa, BK= B Kafa, AK-Y= A Kafa Yeraltı İşletmesi, AK-S= A kafa, Sondaj örneklerini temsil etmektedir.

Element	Ca	Al	Mn	Ti	V	Ni	Cr
Birim Sembolü	%	%	%	%	%	%	%
Dedek. Limiti	0,01	0,01	0,001	0,001	0,0005	0,002	0,002
Analitik Yöntem	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-MS
AK-1	0,039	0,068	0,014	0,006	0,018	0,088	0,006
AK-3	0,012	0,044	0,004	0,002	0,012	0,025	<u>0,001</u>
AK-5	0,052	0,039	0,002	0,002	0,008	0,03	<u>0,001</u>
AK-7	0,006	0,071	0,004	0,005	0,012	0,082	<u>0,001</u>
AK-8	0,077	0,019	0,009	0,001	0,003	0,016	<u>0,001</u>
AK-9	0,019	0,021	0,008	0,001	0,003	0,028	<u>0,001</u>
AK-12	0,023	0,068	0,003	0,011	0,009	0,012	0,004
AK-13	0,009	0,047	0,002	0,002	0,012	0,076	<u>0,001</u>
AK-16	0,208	0,081	0,003	0,006	0,009	0,077	0,003
AK-20	0,115	0,032	0,004	0,002	0,006	0,055	<u>0,001</u>
AK-21	0,131	0,041	0,004	0,003	0,004	0,099	0,003
AK-S1	0,465	0,077	0,010	0,006	0,003	0,007	0,002
AK-S2	0,218	0,038	0,010	0,003	0,002	0,008	<u>0,001</u>
AK-S3	0,395	0,030	0,005	0,003	0,006	0,006	<u>0,001</u>
AK-S5	0,014	0,028	0,002	0,002	0,005	0,012	0,003
AK-S13	0,142	0,054	0,006	0,004	0,006	0,077	<u>0,001</u>
AK-Y1	0,071	0,044	0,003	0,004	0,019	0,035	<u>0,001</u>
AK-Y2	0,135	0,048	0,003	0,004	0,023	0,041	<u>0,001</u>
AK-Y5	0,048	0,041	0,012	0,005	0,025	0,067	<u>0,001</u>
AK-Y7	0,111	0,070	0,003	0,005	0,013	0,145	0,002
AK-Y10	0,267	0,043	0,023	0,003	0,012	0,059	<u>0,001</u>

BK-3	0,009	0,014	0,007	0,005	0,034	0,141	0,002
BK-5	0,008	0,053	0,003	0,006	0,023	0,031	0,008
BK-9	0,081	0,032	0,008	0,002	0,006	0,051	<u>0,001</u>
BK-10	0,035	0,014	0,009	0,001	0,007	0,054	<u>0,001</u>
BK-11	0,026	0,017	0,007	0,002	0,015	0,216	<u>0,001</u>



Şekil 6.2 Ca+Al+Mn (%wt.)- Ti+V (%wt.) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin adlandırılması (Dupuis ve Beaudoin, 2011 ve Nadoll vd., 2014’ten değiştirilerek). AK= A Kafa, BK= B Kafa, AK-Y= A Kafa Yeraltı İşletmesi, AK-S= A Kafa Sondaj örneklerini temsil etmektedir.

Örneklerin analiz sonuçları, Ca+Al+Mn-Ti+V diyagramına yerleştirildiğinde (Şekil 6.2); skarn, DOBA (IOCG), tabakalı demir yatakları (BIF), Kiruna-tipi, porfiri Cu ve Fe-Ti-V yataklarının Fe-oksit minerallerine ait Ti+Al, Ca+Al+Mn’ e karşılık Ti+Al değerler sergilemektedir.

Hem Ni/(Cr+Mn) (%wt.) - Ti+V (%wt.) (Şekil 6.1), ve hem de Ca+Al+Mn (%wt.)-Ti+V (%wt.) (Şekil 6.2) adlandırma diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örnekleri düşük Ti+V ve Ca+Al+Mn değerleri ile diğer magmatik demir yataklarından kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Divriği manyetit örneklerinin çoğunluğu Dupuis ve Beaudoin (2011) tarafından tanımlanan “diğer hidrotermal Fe-oksit yatakları” bölgesinde konumlanmış olup, sadece iki adet A-Kafa sondaj örneğindeki manyetit örneğinin ortaça Ca ve Al

değerleri ile skarn bölgesine yakın konumlanmıştır (Şekil 6.2). Buna dayanarak Divriği demir cevherinin hidrotermal süreçlerle ilişkili olarak geliştiği ileri sürülebilir.

V-Ti (Nadoll, 2011; Nadoll vd., 2014; Knipping vd., 2015), Ti-Ni/Cr (Dare vd., 2014), Al+Mn-Ti+V (Nadoll vd., 2014; Knipping vd., 2015) değerleri kullanılarak; hidrotermal veya magmatik kökene yönelik yapılan çalışmalar oldukça yoğun bir şekilde literatürde bulunmakta ve bunlardan bazıları Çizelge 6.2'deki veriler bu tez çalışmasında kullanılarak Divriği A-B Kafa demir yatağının kökenine ışık tutulmaya çalışılmıştır.

Ti (ppm) - Ni/Cr (ppm) (Şekil 6.4) diyagramında Divriği manyetit örneklerinin tamamı düşük Ti ve ortaça oranda Ni/Cr oranı ile hidrotermal alan içerisinde dağılım göstermiştir. Divriği demir cevherine ait 30 örneğin Cr içeriğinin (20-80 ppm arası) çoğunluğu, analitik yöntemin dedeksiyon limitin altında rapor edilmiştir (Çizelge 6.2; Şekil 6.3).

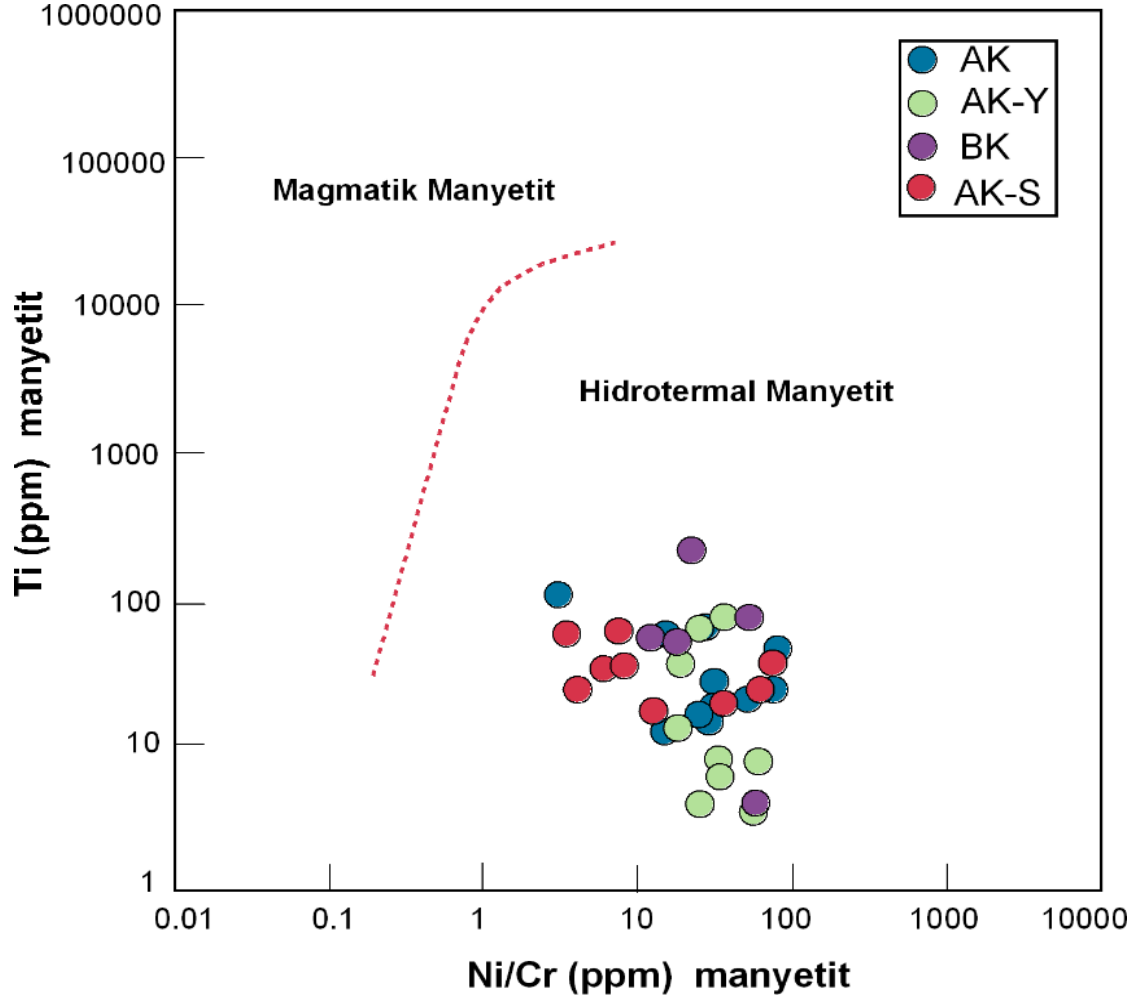
Buna karşın V (ppm) - Ti (ppm); AK-12 (V= 85, T= 107.907 ppm), AK-S1 (V= 34, T= 57.551 ppm) ve AK-S2 (V= 19, T= 33.571 ppm) örneklerinde düşük V ve Ti konsantrasyonu ile hidrotermal ayırtman alanı belirleyen çizgiler üzerine konumlanmıştır. Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin geriye kalan 27'sinin hidrotermal alana yakın konumlandığı gözlenmektedir (Çizelge 6.2; Şekil 6.4).

Al+Mn - Ti+V (ppm) diyagramında (Şekil 6.5) Divriği A-B Kafa manyetit örnekleri düşük Al+Mn ve Ti+V değerlerinden dolayı adlandırma bölgelerinin dışında ve skarn oluşumundan uzak düşük sıcaklık hidrotermal alanda konumlanmıştır.

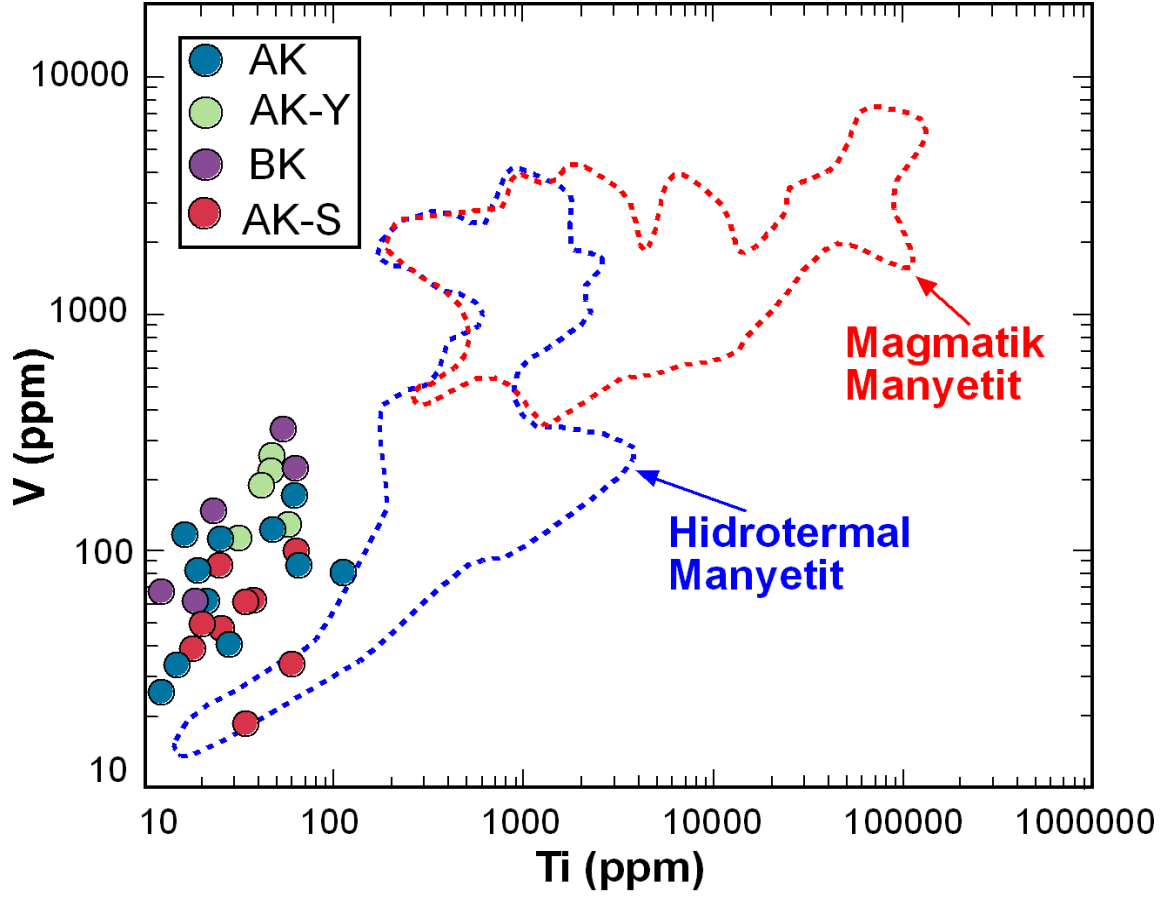
Divriği A-B Kafa V ve Ti değerlerinin çoğunluğunun hidrotermal alana yakınlık göstermesi nedeniyle Divriği A-B Kafa demir yatağının kökeninin hidrotermal süreçlerle ilişkili olabileceği ileri sürülebilir.

Çizelge 6.2 Ana-iz element jeokimyasal sonuçları (Dedeksiyon limiti altındaki değerler, hesaplamalarda kolaylık olsun diye dedeksiyon limitinin yarısı olarak alınmış ve altı çizgili olarak gösterilmiştir). AK= A Kafa, BK= B Kafa, AK-Y= A Kafa Yeraltı İşletmesi, AK-S= A kafa, Sondaj örneklerini temsil etmektedir.

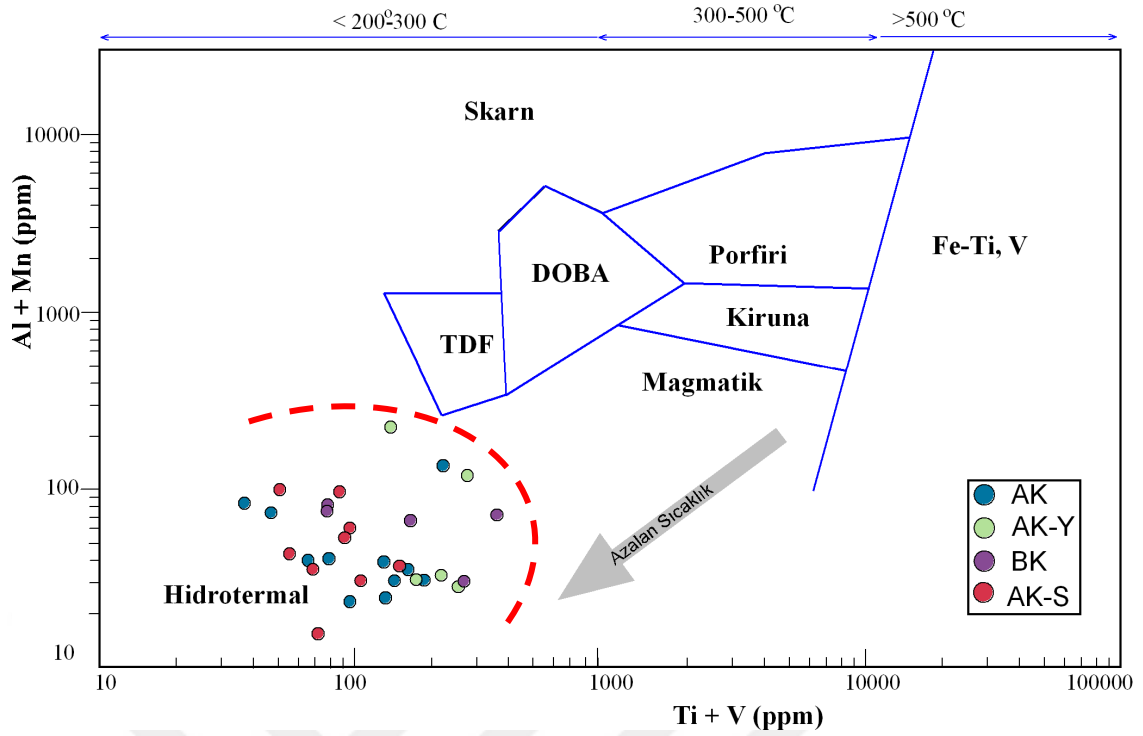
Element	Ni	Cr	Ti	Al	Mn	V
Birim Sembolü	ppm	ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm
Dedek. Limiti	20	20	10	100	100	5
Anal. Yöntem	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
AK-1	880	60	59,349	682,720	140,180	180
AK-3	250	<u>10</u>	15,587	444,562	39,498	121
AK-5	300	<u>10</u>	17,985	386,346	23,234	83
AK-7	820	<u>10</u>	46,160	709,182	35,626	124
AK-8	160	<u>10</u>	11,990	185,234	85,192	26
AK-9	280	<u>10</u>	14,388	206,404	75,898	34
AK-12	120	40	107,907	677,428	30,979	85
AK-13	760	<u>10</u>	23,979	465,732	24,783	115
AK-16	770	30	62,346	809,738	30,979	90
AK-20	550	<u>10</u>	20,382	322,837	41,047	62
AK-21	990	30	26,977	412,808	40,273	41
AK-S6	230	30	59,948	746,229	37,175	100
AK-S7	630	<u>10</u>	23,979	248,743	30,979	87
AK-S8	390	30	17,385	185,234	44,145	40
AK-S9	360	<u>10</u>	19,184	275,205	35,626	52
AK-S13	770	<u>10</u>	36,569	539,825	61,183	64
AK-Y1	350	<u>10</u>	40,165	439,270	33,302	192
AK-Y2	410	<u>10</u>	44,961	476,316	28,656	228
AK-Y5	670	<u>10</u>	45,561	407,515	122,367	251
AK-Y7	1450	20	53,954	703,890	30,979	134
AK-Y10	590	<u>10</u>	29,974	433,977	232,342	117
BK-3	1410	20	53,354	142,895	73,575	337
BK-5	310	80	59,948	534,533	30,979	230
BK-9	510	<u>10</u>	17,985	317,544	77,447	63
BK-10	540	<u>10</u>	11,990	137,603	85,192	70
BK-11	2160	<u>10</u>	22,181	174,649	68,154	154



Şekil 6.3 Ti (ppm) - Ni/Cr (ppm) diyagramında Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin kökensel sınıflaması (Nadoll, 2011; Nadoll vd., 2014; Knipping vd., 2015'ten değiştirilerek), AK= A Kafa, BK= B Kafa, AK-Y= A Kafa Yeraltı İşletmesi, AK-S= A Kafa Sondaj örneklerini temsil etmektedir.



Şekil 6.4 V (ppm) - Ti (ppm) diyagramında Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin kökensel sınıflaması (Knipping vd., 2015). AK: A Kafa, BK: B Kafa, AK-Y:A Kafa Yeraltı İşletmesi, AK-S: A Kafa Sondaj örneklerini temsil etmektedir.



Şekil 6.5 Al+Mn (ppm) - Ti +V (ppm) diyagramında Divriği A-B kafa manyetit örneklerinin adlandırılması ve kökenel sınıflaması (Nadoll vd., 2014; Knipping vd., 2015; 2019; Sıcaklık verileri Liu vd., 2022), (TDF: Tabakalı Demir Formasyonu; DOBA: Demir Oksit Bakır Altın).

6.2 Duraylı İzotop Jeokimyası

Demir yataklarının Magmatik-hidrotermal veya düşük sıcaklık hidrotermal kökeninin daha iyi anlaşılmasında sıklıkla $\delta^{56}\text{Fe}$ - $\delta^{18}\text{O}$ izotop çifti kullanılmaktadır. Divriği A-B Kafa demir madeninde Türkiye’de ilk defa bu tez kapsamında Fe-O izotop çifti kullanılarak, Divriği demir madeninin kökenine yönelik yeni veriler ortaya konulmuştur. Elde edilen bu verilerin, bölgedeki demir madenciliğine ışık tutacağı düşünülmektedir. (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3 Divriği A-B Kafa demir cevherinin $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) ve $\delta^{18}\text{O}$ (‰) analiz sonuçları.

Örnek	$\delta^{56}\text{Fe}$ (‰)	$\delta^{56}\text{Fe}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	1s	$\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) Ort.
AK 13	0,31	0,25	7,1	0,1	0,28
AK 16	0,43	0,32	6,6	0,1	0,38
AK 20	0,32	0,24	5,4	0,1	0,28
AK 21	0,37	0,31	5,6	0,1	0,34
AK 3	0,32	0,26	5,3	0,1	0,29
AK 5	0,40	0,26	6,0	0,1	0,33
AK 8	0,31	0,27	5,8	0,1	0,29
AK 9	0,31	0,26	5,1	0,1	0,29
AK S 1	0,19	0,18	6,1	0,1	0,18
AK S 1-1	0,20	0,18	6,1	0,1	0,19
AK S 2	0,22	0,16	5,5	0,1	0,19
AK S 9	0,29	0,17	5,3	0,1	0,23
AK S3	0,31	0,19	5,5	0,1	0,25
AK Y 1	0,28	0,26	7,2	0,1	0,27
AK Y 10	0,24	0,17	5,7	0,1	0,21
AK Y 2	0,33	0,32	7,6	0,1	0,32
AK Y 5	0,21	0,21	7,4	0,1	0,21
BK 3	0,11	0,09	3,8	0,1	0,10
BK 4	-0,96	-1,06	1,7	0,1	-1,01
BK 5	0,47	0,36	4,9	0,1	0,42

6.2.1 $\delta^{56}\text{Fe}$ izotop analizi

Demir genellikle +3 değerlikli şekilde (ferric) oksijence zengin ortamlarda ve/veya +2 değerli (ferrous) olarak oksijence fakir ortamlarda oluşur. Fe'in dört izotopu vardır, bunlar ^{54}Fe (%5.84), ^{56}Fe (% 91.76), ^{57}Fe (% 2.12), ve ^{58}Fe (% 0.28) dir.

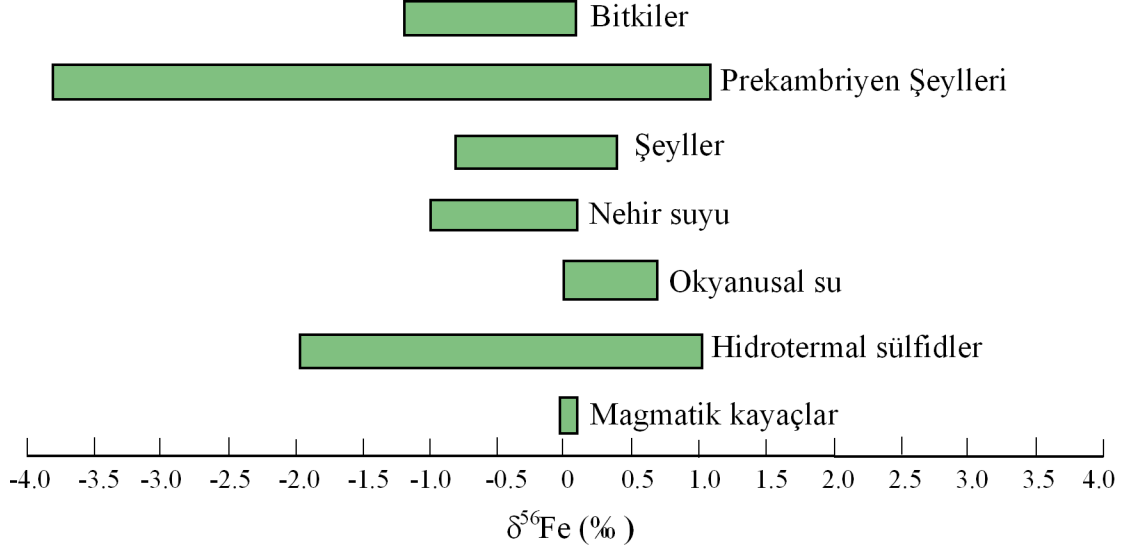
$$\delta \text{ formülü; } \delta^{56}\text{Fe}(\text{‰}) = \left[\left(\frac{^{56}\text{Fe}}{^{54}\text{Fe}} \right)_{\text{Örnek}} / \left(\frac{^{56}\text{Fe}}{^{54}\text{Fe}} \right)_{\text{Standart}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{57}\text{Fe}(\text{‰}) = \left[\left(\frac{^{57}\text{Fe}}{^{54}\text{Fe}} \right)_{\text{Örnek}} / \left(\frac{^{57}\text{Fe}}{^{54}\text{Fe}} \right)_{\text{Standart}} - 1 \right] \times 1000$$

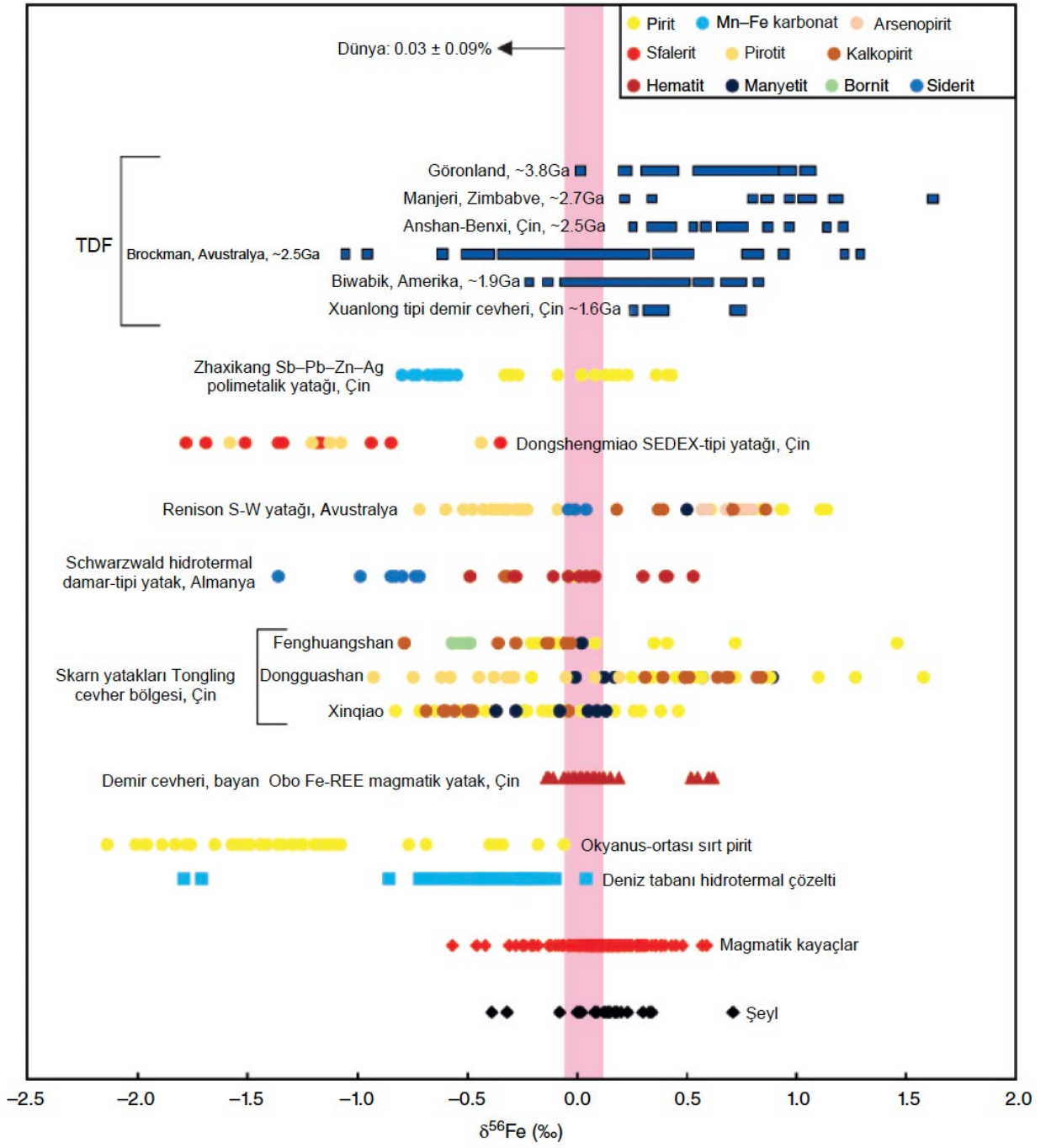
$$\Delta^x\text{Fe}_{\text{A-B}} = \delta^x\text{Fe}_{\text{A}} - \delta^x\text{Fe}_{\text{B}} \text{ and } \Delta^{56}\text{Fe} = 0.678 \Delta^{57}\text{Fe}$$

şeklinde ifade edilmektedir (Mathur ve Wang, 2019). Fe izotop değerleri $\delta^{56}\text{Fe}$ değerine IRMM-014 standardı kullanılarak dönüştürülmüştür. Dönüşüm ilişkisi $\delta^{56}\text{Fe} = \delta^{56}\text{Fe}_{\text{IRMM-014}} - 0.009 \text{ ‰}$, $\delta^{57}\text{Fe}_{\text{Igneous Rock}} = \delta^{57}\text{Fe}_{\text{IRMM-014}} - 0.011 \text{ ‰}$ (Johnson vd., 2004, 2020)

şeklindedir. Analiz laboratuvarları Fe izotop değerlerini $\delta^{56}\text{Fe}$, $\delta^{57}\text{Fe}$ şeklinde veya her ikisini birden hesaplayarak rapor etmektedir. Bilimsel çalışmaların çoğunluğunda ise Fe izotop oranları $\delta^{56}\text{Fe}$ şeklinde rapor edilmektedir. Yaygın jeolojik ortamların Fe izotop değerleri (Şekil 6.6 ve 6.7) özetlenmiştir (Li vd., 2017; Wang vd., 2018; Knipping vd., 2019).



Şekil 6.6 Önemli jeolojik ortamların $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) değerleri (Hoefs, 2018'den).



Şekil 6.7 Yaygın maden yatakları ve kayaç gruplarının $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) değerleri (Mathur ve Wang, 2019).

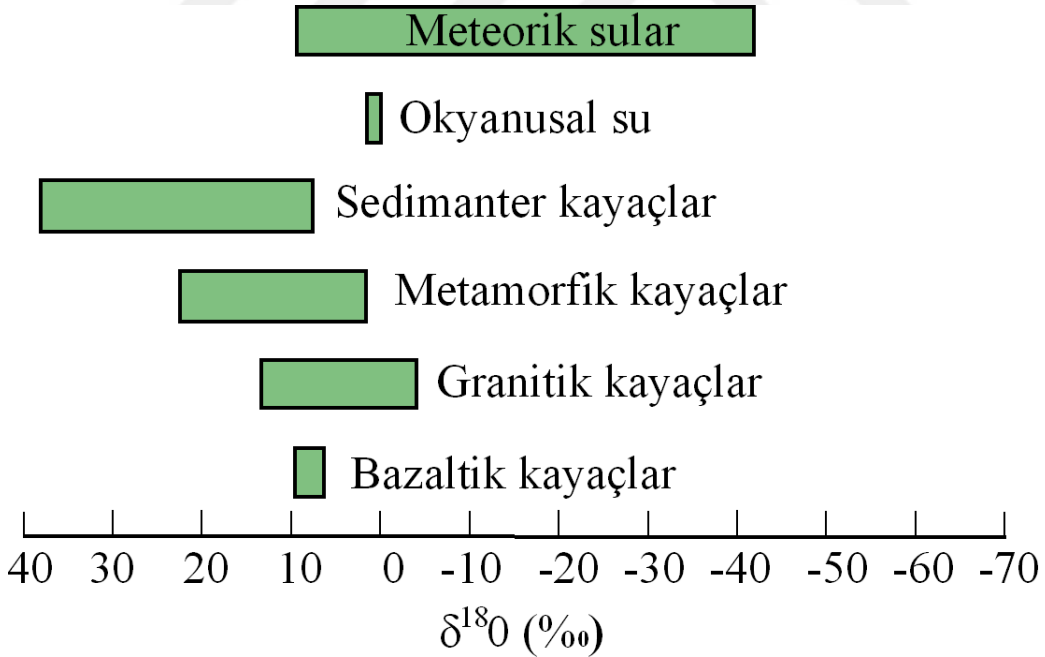
6.2.2 $\delta^{18}\text{O}$ izotop analizi

20 adet örnekte yapılan O izotop analiz sonuçları VSMOW'a göre raporlanarak Çizelge 6.3' te verilmiştir.

Oksijen, Dünya'da en bol bulunan elementtir. Çoğu geniş sıcaklık aralıklarında termal olarak kararlı olan gaz, sıvı ve katı bileşiklerde bulunur ve bu gerçekler oksijeni izotop jeokimyasındaki en ilginç elementlerden biri yapar. Oksijen, aşağıdaki bolluklara sahip üç kararlı izotopa sahiptir (Rosman ve Taylor, 1998)

$$^{16}\text{O} = 99.757\% \quad ^{17}\text{O} = 0.038\% \quad ^{18}\text{O} = 0.205\%$$

Daha yüksek bolluk ve daha büyük kütle farkı nedeniyle, $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ Oranı normal olarak belirlenir ve bu oran doğal örneklerde yaklaşık %10 veya mutlak sayılarda yaklaşık 1: 475-1: 525 arasında değişebilir. Daha yakın zamanlarda, gelişmiş analitik tekniklerle, $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranının hassas ölçümü de ilgi çekici hale gelmiştir ve yaygın jeolojik ortamlardaki oksijen izotop oranları yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 6.8).

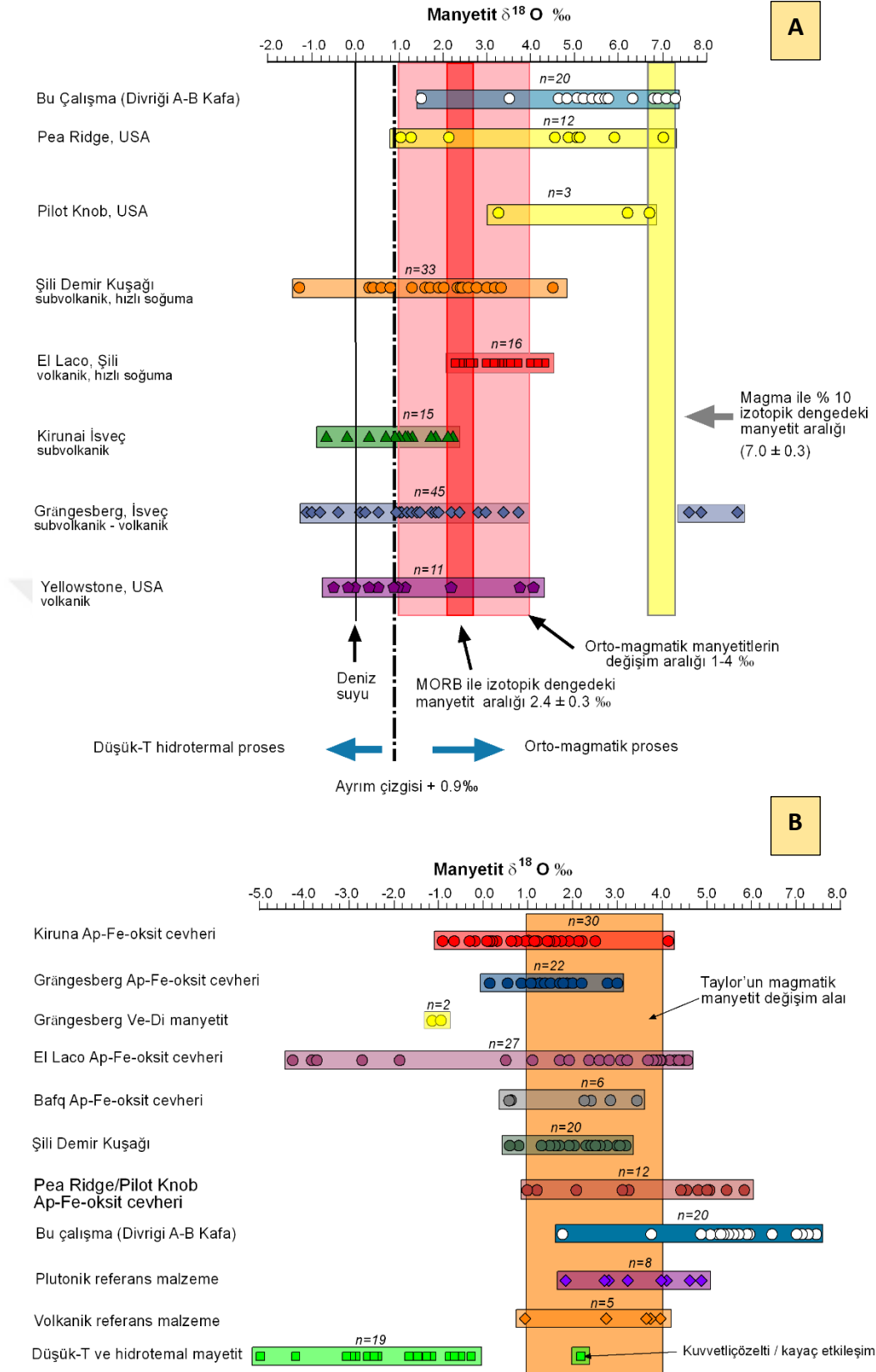


Şekil 6.8 Önemli jeolojik ortamların $\delta^{18}\text{O}$ (‰) değerleri (Hoefs ve Hoefs, 2021'den).

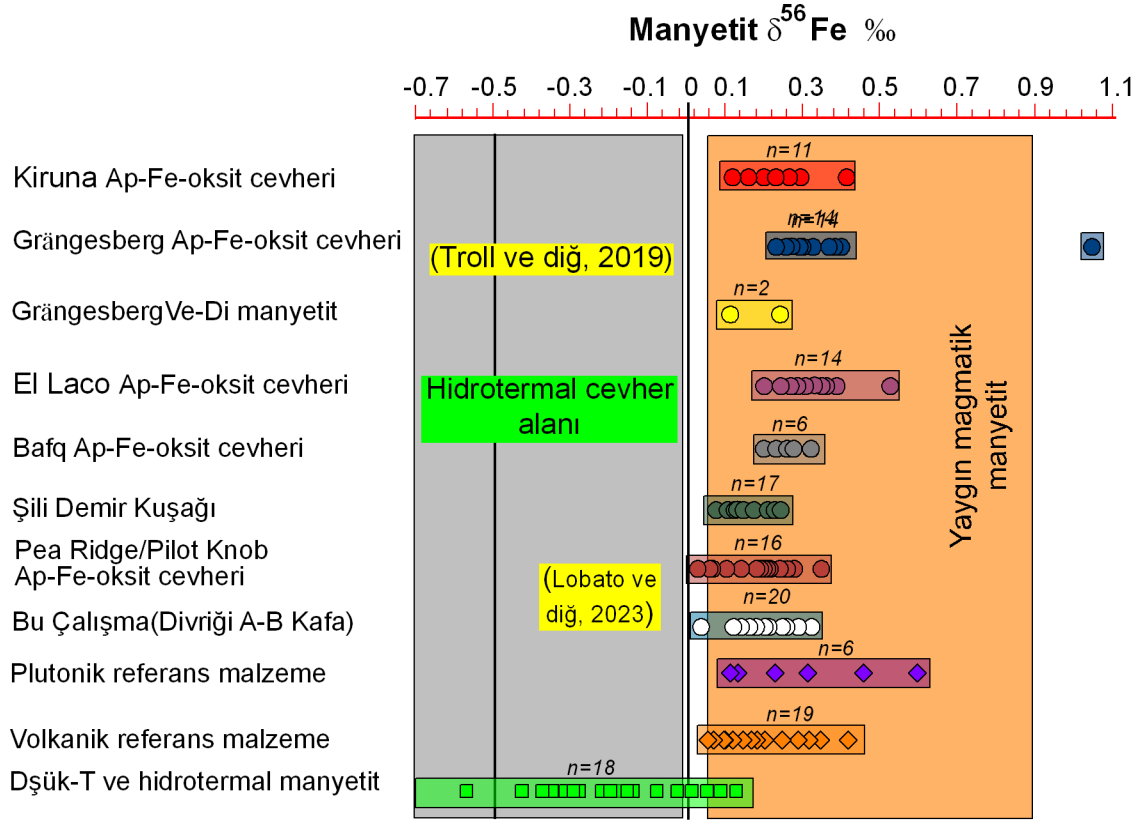
6.2.3 Fe-O izotop oranlarının yorumlanması

Divriği A-B Kafa demir yataklarından ayırtlanan manyetit örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ (n=20) değerleri ‰ 1,7 ile 7,6 arasında değişmektedir. Buna karşın $\delta^{56}\text{Fe}$ (n=21) değerleri ise ‰ 0,09 ile 0,43 arasında değişmektedir (B-Kafa, BK-4 = -1,01 ‰ yorum dışı bırakılmıştır).

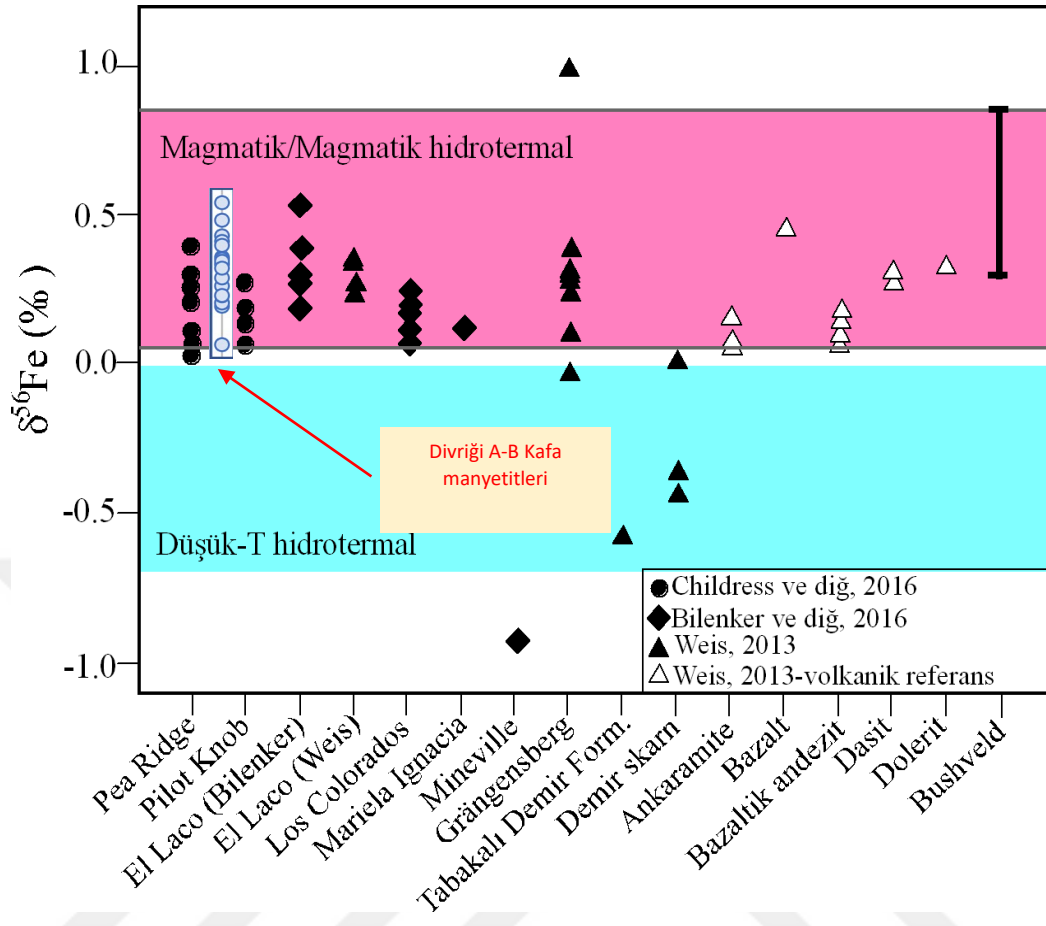
Divriği A-B Kafa demir yataklarından ayırtlanan manyetitin $\delta^{18}\text{O}$ (n=20) ve $\delta^{56}\text{Fe}$ (n=21) değerleri sırasıyla ‰ 1,7 ila 7,6 ve -1,01 ila 0,43 arasında değişmektedir. Divriği A-B Kafa Demir yatağının Pea Ridge ve Pilot Knob apatitli Fe-oksit yatakları ile benzerlik göstermektedir (Şekil 6.9 a,b; 6.10; 6.11; 6.12). Ancak A-B kafada apatit içermemesi bu benzerliği ileriye taşıyamamaktadır. Arazi gözlemleri sahada skarn-tipi cevherleşmenin de olduğunu göstermektedir (Yılmaz vd., 2003). Çalışma alanındaki cevher örneklerinden elde edilen izotop verileri ile Divriği A-B Kafa demir yatağının magmatik-/hidrotermal süreçlerle oluştuğu daha sonra ise skarn-tipi cevherleşme ile ikincil cevherleşmenin geliştiği savı ileri sürülebilir.



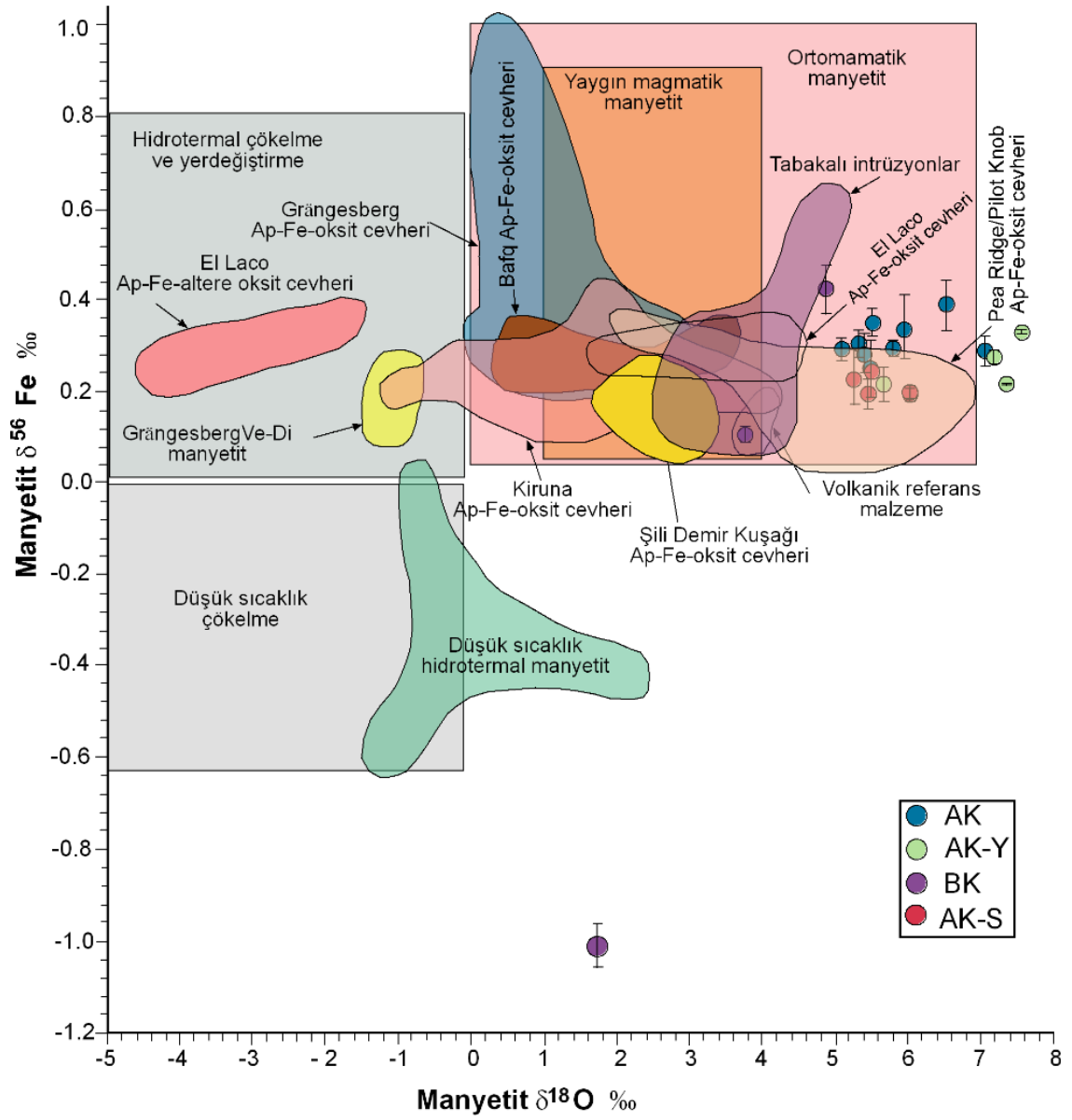
Şekil 6.9 Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yatakları ile magmatik demir yataklarının $\delta^{18}\text{O}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması (A) Childress vd., 2016'dan; B) Troll vd., 2019'dan).



Şekil 6.10 Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yataklarının $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması (Troll vd., 2019; Lobato vd, 2023'den).



Şekil 6.11 Pea Ridge ve Pilot Knob demir yatağı ile Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yataklarına ait manyetit örneklerinin $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması (Childress vd., 2016’dan derlenmiştir).



Şekil 6.12 Dünyada belli başlı demir-oksit-apatit yataklarının $\delta^{56}\text{Fe}$ (‰) dağılımı ve Divriği A-B Kafa demir yatağının verileri ile karşılaştırılması (Troll vd., 2019'dan).

7. SONUÇLAR

Divriği A-B Kafa cevher yatağından toplanan numunelerin cevher mikroskopisinde manyetit hematite dönüşümünü gösteren martitleşme gözlemlenmiştir. Bunun yanında sülfür mineralleri olarak pirit, kalkopirit, pirotin ve kovelin bulunduğu görülmüştür.

Ti (ppm)-Ni/Cr (ppm); V (ppm)-Ti (ppm); Al+Mn (ppm)-Ti+V (ppm); ve Co+Ni (ppm)-Ti+Al+V (ppm), manyetit ayırtman diyagramlarına göre, Divriği A ve B Kafa demir yatağı, magmatik sürece nazaran hidrotermal süreçlerle oluştuğu söylenebilir.

Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ (n=20) ve $\delta^{56}\text{Fe}$ (n=21) izotop değerleri sırası ile 5,1 ile 13,8 ‰ ve -1,06 ile 0,32 ‰ arasında değişmektedir. Bu $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{56}\text{Fe}$ değerleri meteorik su ve havza getirimlerinin, cevherin oluşumunda etkili olmadığını göstermektedir. Divriği A-B Kafa demir yatağının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{56}\text{Fe}$ verileri ABD'nin Missouri eyaletinin güneydoğusunda bulunan magmatik Pilot Knob manyetit-apatit yatağı ile uyumluluk göstermektedir. Buna karşın Divriği de apatit mineralinin bulunmaması, bu benzerliği sınırlamaktadır.

Divriği A-B Kafa manyetit örneklerinin ana-iz element ve izotop jeokimyası sonuçlarına göre; demir cevherinin, önce magmatik-hidrotermal ve/veya orto magmatik süreçlerle oluştuğu daha sonra ise skarn-tipi cevherleşmenin eşlik ettiği sonucu çıkarılabilir.

Bu yeni, Divriği A-B Kafa demir yatağı manyetitlerinin ana-iz elementlere dayalı adlandırılması ile Fe ve O duraylı izotop oranlarının, Orta Anadolu'nun diğer demir yataklarının kökenine ışık tutacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktimur, T., Atalay, Z., Ateş, Ş., Tekirli, M. E., ve Yurdakul, M. E.** (1988). Munzur dağları ile Çavuşdağı arasının jeolojisi. *MTA Rap. No: 8320*, Ankara.
- Apaydın, N., Erseçen, N.** (1981). Known ore and mineral resources of Turkey: Ankara, *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 67 p.
- Beyazpirinç, M., Akçay, A. E.** (2013). Alacahan-Çetinkaya (Kangal-Sivas) yöresindeki metamorfitlerin tektono-stratigrafik özellikleri. *MTA Dergisi*, 147, 19-29.
- Bayhan, H.** (1980). Güneş-Soğucak (Divriği/Sivas) yöresinin jeolojik, mineralojik, petrografik petrolojik ve metalojenik incelemesi. Doktora Tezi (basılmamış), *Hacettepe Üniversitesi*, 206, Ankara.
- Bayhan, H., Baysal, O.** (1982). Güneş-Soğucak (Divriği/Sivas) yöresinin petrografikpetrolojik incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Kurultay Bülteni*, 25, 1-13.
- Bozkurt, M. R.** (1980). Divriği madenleri cevher minerallerinin incelenişi ve oluşumu. Doçentlik tezi, 595, Eskişehir.
- Boztuğ, D.** (1998). Orta Anadolu Çarpışma İntrüzifleri. *Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 19-37, Sivas.
- Boztuğ, D., Kuşçu, İ., Erçin, A. İ., Avcı, N., ve Şahin, S. Y.** (2003). Mineral deposits associated with the pre-, syn- and post-collisional granitoids of the Neotethyan convergence. D.G., et al. (Ed.). *Mineral Exploration and Sustainable Development*, Millpress, 1141 -1144, Rotterdam.
- Cater, J. M. L., Hanna, S. S., Ries, A. C., ve Turner, P.** (1991). Tertiary evolution of the Sivas Basin, central Turkey. *Tectonophysics*, 195(1), 29-46.
- Childress, T. M., Simon, A. C., Day, W. C., Lundstrom, C. C., ve Bindeman, I. N.** (2016). Iron and oxygen isotope signatures of the Pea Ridge and Pilot Knob magnetite-apatite deposits, southeast Missouri, USA. *Economic Geology*, 111(8), 2033-2044.
- Cihnioglu, M., Isbasarir, O., Ceyhan, U., ve Adigüzel, O.** (1994). Demir Envanteri. [Türkiye'nin demir envanteri]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 367 s. (Türkçe, yayınlanmamış).
- Clayton, R. N., Mayeda, T. K.** (1963). The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis: *Geochim et Cosmochim Acta* 27, p. 43.
- Craig, J. R., Vaughan, D. J.** (1994). Ore microscopy and ore mineralogy.
- Çelebi, A.** (1998). İç-Doğu Anadolu Demir Provansindeki karakteristik cevherleşmeler. *Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 114-129, Sivas.
- Çopuroğlu, İ., Yalçın, M. G.** (1998). Divriği (Sivas) ve Hasaңcelebi (Malatya) demir yataklarının mineralojik-jenetik benzerlikleri. *Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 139-147, Sivas.

- Dare, S. A., Barnes, S. J., Beaudoin, G., Méric, J., Boutroy, E., and Potvin-Doucet, C.** (2014). Trace elements in magnetite as petrogenetic indicators. *Mineralium Deposita*, 49, 785-796.
- Demirela, G., Kuşçu, İ., Yilmazer, E., ve Saraç, C.** (2005). Orta Anadolu Bölgesinde yer alan Fe-skarn granitoidlerinin temel jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Demir Yatakları Jeoloji Madenciliği ve Mevcut Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s. 141-163.
- Doğan, H.** (1998). Divriği tipi demir yataklarının oluşumuna yönelik görüşler. *Ofiyolit-Granitoid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 148-161, Sivas.
- Dupuis, C., Beaudoin, G.** (2011). Discriminant diagrams for iron oxide trace element fingerprinting of mineral deposit types. *Mineralium Deposita*, 46, 319-335.
- Durgun, H.** (1977). Yozgat-Sarıkaya demir zuhurları istikşaf sahası raporu. [Yozgat-Sarıkaya demir zuhurlarının ön etüdü hakkında rapor]. *Maden Tetkik ve Arama Raporu No: 6348*. (Türkçe, yayınlanmamış).
- Erkan, E. N., Özer, S., Sümengen, M., ve Terlemez, İ.** (1978). Sarız, Şarkışla, Gemerek, Tomarza arasının temel jeolojisi. MTA Rapor No: 5641, Ankara (yayınlanmamış).
- Erlor, A., Bayhan, H.** (1998). Orta Anadolu Granitoidleri ile ilişkili maden yatakları. *Ofiyolit-Granitoid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 83-95. Sivas.
- Gökçen, S. L.** (1981). Zara-Hafik güneyindeki Paleojen istifinin sedimantolojisi ve paleocografik evrimi, *H.Ü. Yerbilimleri*, vol. 8, 1-26.
- Gökçen, S. L., Kelling, G.** (1985). Oligocene deposits of the Zara-Hafik region (Sivas, Central Turkey): evolution from storm-influenced shelf into evaporitic basin: *Geologische Rundschau*, vol. 74/1, 139-153.
- Göncüoğlu, M. C., Erlor, A., Toprak, G. M. V., Olgun, E., Yalınız, K., Kuşçu, İ., Köksal, S., ve Dirik, K.** (1993). Orta Anadolu Masifi'nin Orta Bölümü'nün Jeolojisi, Bölüm 3: Orta Kızılırmak Tersiyer Baseni'nin Jeolojik Evrimi, *TPAO Rap. No. 3313*, 104 p.
- Görür, N., Oktay, F. Y., Seymen, İ., and Şengör, A. M. C.** (1984). Paleo-tectonic evolution of the Tuzgölü basin complex, Central Turkey: Sedimentary record of a Neo-Tethyan closure. in: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (eds.), the Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, *Blackwell Sci. Publ., Edinburg*, 467-482.
- Gültekin, A. S.** (1993). Alacahan-Çetinkaya-Divriği (Sivas ili) arasında kalan alanın jeolojisi, *İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi* (yayınlanmamış), 183s.
- Gümüş, A.** (1998). Divriği demir yatağının jenezi hakkında yeni görüşler. *Ofiyolit-Granitoid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 106-113, Sivas.
- Gürsoy, H.** (1986). Örenlice-Eskiköy (Sivas) yöresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri: *C.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi*, Sivas, 48 s, (yayınlanmamış).

- Gysin, M.** (1938). L'ere impression sur la geologie de la region de Divrik, sur la structure et sur l' origine du gisement de fer. *MTA Rapor no. 700*, Ankara (yayınlanmamış).
- Hoefs, J., Hoefs, J.** (2018). Theoretical and Experiment Principles. *Stable Isotope Geochemistry*, 1-51.
- Hoefs, J., Hoefs, J.** (2021). Isotope fractionation processes of selected elements. *Stable isotope geochemistry*, 49-265.
- Işık, M.A.** (2002). Divriği kontakt metazomatik demir cevherleşmelerindeki ilmenit manyetit eksolüsyon dokularının cevher oluşum koşullarının belirleme açısından önemleri. [Divriği kontakt metazomatik demir cevherleşmelerindeki ilmenit ve manyetitin eksolüsyon dokuları ve cevherleşme koşullarının belirlenmesi açısından önemi]. 55. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Özet Kitabı*. pp 124-125. (yayınlanmamış).
- Jang, J. H., Mathur, R., Liermann, L. J., Ruebush, S., and Brantley, S. L.** (2008). An iron isotope signature related to electron transfer between aqueous ferrous iron and goethite. *Chemical Geology*, 250(1-4), 40-48.
- Johnson, C. M., Beard, B. L., Roden, E. E., Newman, D. K., and Neelson, K. H.** (2004). Isotopic constraints on biogeochemical cycling of Fe. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, 55(1), p. 359–408.
- Johnson, C., Beard, B., & Weyer, S.** (2020). *Iron geochemistry: an isotopic perspective* (p. 360). Cham, Switzerland: Springer.
- Kara, A. S., Seyhan Z., Öztürk K., Yılmaz, K., Altındaş, N., Dağabak, Y., Sönmez, B., Dinç, Y., Kartal, Y., ve Açıkgöz, T.** (2005). Türkiye ve Erdemir Maden'in sahip olduğu demir yataklarının değerlendirilmesi. [Türkiye ve Erdemir Madenlerinin sahip olduğu demir yataklarının değerlendirilmesi]. *Çalışma Raporu No: s 193*. (Türkçe, yayınlanmamış).
- Kartan, Y.** (1986). Ovacık (Sivas) yöresinde karbonat kayalarının sedimantolojik incelemesi. *Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Sivas*, 86 s , (yayınlanmamış).
- Kelling, G., Gökçen, S. L., Gökçen, N. S., Gökten, E., and Bromley, A. J.** (1989). Tectorio-sedimentary evolution of a Neo-tethyan collisional trough: Sivas-Refahiye basin, Central Turkey: 28th• *International Geological Congress. Washington, D.C. USA, Abstracts Volume*, 2 of 3, 171-172.
- Klemm, D. D.** (1960). Die Eisenerz Vorkommen von Divrik (Anatolien), als Beispiel tektonisch angelegter pneumatolytisch-metasomatischer Lagerstättenbildung. N. *Jahrbuch f. Mineralogie, Abh.* 94 (Festband Ramdohr), 591-607, Stuttgart.
- Knipping, J. L., Bilenker, L. D., Simon, A. C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A. P., and Munizaga, R.** (2015). Trace elements in magnetite from massive iron oxide-apatite deposits indicate a combined formation by igneous and magmatic-hydrothermal processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 171, 15-38.
- Knipping, J. L., Fiege, A., Simon, A. C., Oeser, M., Reich, M., and Bilenker, L. D.** (2019). In-situ iron isotope analyses reveal igneous and magmatic-hydrothermal growth of magnetite at the Los Colorados Kiruna-type iron oxide-apatite deposit, Chile. *American Mineralogist*, 104(4), 471-484.

- Koçyiğit, A.** (1991). An example of an accretionary forearc basin from northern Central Anatolia and its implications for the history of subduction of Neo-Tethys in Turkey: *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, vol. 103, 22-36.
- Koşal, C.** (1971). Divriği A-B-kafa demir yataklarının sondajlı aramalar jeolojik raporu. [Divriği A-B-kafa demir yataklarının maden arama jeolojik raporu]. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 4304*. (Türkçe, yayınlanmamış).
- Koşal, C.** (1973). Divriği ABC demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu üzerine çalışmalar. *Bull Min Res Exp* 81:1-22 (in Turkish with English abstract).
- Kovenko, V.** (1937). Divriği imtiyaz manyetit yatağı hakkında rapor. *MTA Rapor No: 485*, Ankara (yayınlanmamış).
- Kovenko, V.** (1938). Divrik mıntıkasındaki bazı az ehemmiyetli madenlere (demir, bakır, altın) yapılan ziyaret hakkında rapor. *MTA Rapor No: 496*, Ankara (yayınlanmamış).
- Kovenko, V.** (1941). Divrik manyetit yatakları hakkında yeni doneler. *MTA Dergisi*, 2, 159-191.
- Kuşçu, İ., Erler, A.** (1998). Mineralizations in collision related setting: Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *International Geology Reviews*, 40, 552-565.
- Kuşçu, İ., Erler, A.** (1999). Çarpışma ortamı metalojenisine bir örnek: Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı, 52. *Türkiye Jeol. Kurult. Bildiriler Kitabı*, 175-182s. Ankara.
- Kuşçu, İ., Yılmaz, E., ve Demirela, G.** (2002). Sivas-Divriği Bölgesi skarn tipi demir oksit yataklarına Fe-oksit-Cu-Au (Olympic Dam tipi) perspektifinden yeni bir bakış. [Sivas-Divriği Bölgesi skarn tipi demir oksit yataklarına Fe-Oksit-Cu-Au (Olimpiyat Barajı tipi) perspektifinden yeni bir bakış]. *Geol Bull Türkiye* 45(2):33-47 (in Turkish with English abstract).
- Kuşçu, İ., Gençaliolu Kuşçu G., Tosdal R.M., Ulrich T.D., and Friedman R.** (2010). Magmatism in the southeastern Anatolian orogenic belt: transition from arc to post-collisional setting in an evolving orogen. *Geol Soc Sp Publ Lond* 340(1):437-460.
- Kuşçu, İ., Tosdal, R. M., Gençaliolu-Kuşçu, G., Friedman, R., and Ullrich, T. D.** (2013). Late Cretaceous to middle Eocene magmatism and metallogeny of a portion of the southeastern Anatolian orogenic belt, east-central Turkey. *Economic Geology*, 108(4), 641-666.
- Lobato, L. M., Figueiredo e Silva, R. C., Angerer, T., de Cássia Oliveira Mendes, M., and Hagemann, S. G.** (2023). Iron Isotopes Applied to BIF-Hosted Iron Deposits. In *Isotopes in Economic Geology, Metallogenesis and Exploration* (pp. 399-432). Cham: Springer International Publishing.
- Li, Y., Selby, D., Condon, D., and Tapster, S.** (2017). Cyclic magmatic-hydrothermal evolution in porphyry systems: High-precision U-Pb and Re-Os geochronology constraints on the Tibetan Qulong porphyry Cu-Mo deposit. *Economic Geology*, 112(6), 1419-1440.
- Liu, X. D., Ding, Z. J., Song, M. C., Zhou, M. L., Xu, S. H., Yang, Z. L., and Wang, B.** (2022). Geology and mineralization of the Dayin'gezhuang supergiant gold deposit (180 t) in the Jiaodong Peninsula, China: A review. *China Geology*, 5(4), 696-721.

- Marschik, R., Spikings, R., ve Kuşcu, I.** (2008). Geochronology and stable isotope signature of alteration related to hydrothermal magnetite ores in Central Anatolia, Turkey. *Mineralium Deposita*, 43, 111-124.
- Mathur, R., Wang, D.** (2019). Transition metal isotopes applied to exploration geochemistry: insights from Fe, Cu, and Zn. *Ore deposits: Origin, exploration, and exploitation*, 163-183.
- Nadoll, P.** (2011). *Geochemistry of magnetite from hydrothermal ore deposits and host rocks—case studies from the Proterozoic Belt Supergroup, Cu-Mo-porphyry+ skarn and Climax-Mo deposits in the western United States* (Doctoral dissertation).
- Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J. L., French, D., and Walshe, J.** (2014). The chemistry of hydrothermal magnetite: A review. *Ore geology reviews*, 61, 1-32.
- Özgül, N., Turşucu, A., Özyardımcı, N., Şenol, M., Bingöl, İ., and Uysal, Ş.** (1981). Munzur dağlarının jeolojisi. *MTA Rapor No: 6995* Ankara, (yayımlanmamış).
- Öztürk, H., Öztunalı, Ö.** (1993). Divriği demir yatakları üzerinde genç tektonizma etkileri ve sonuçları. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 8, 97-106.
- Öztürk, H.** (1998). Divriği bölgesi demir yataklarının yan kayaç ilişkileri. *Ofiyolit-Granitoid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 162-167, Sivas.
- Öztürk, H., Kasapçı C., Cansu Z., ve Hanılçı N.** (2016). Türkiye'nin orta doğusundaki demir cevheri yataklarının jeokimyasal özellikleri: oluşumlarına bir yaklaşım. *Int Geol Rev* 58:1673-1690.
- Öztürk, C., Ünlü, T., ve Sayılı, İ. S.** (2012). Yellice (Çetinkaya-Sivas) manyetit oluşumlarının maden jeolojisi. *Jeoloji Müh. Dergisi*, 36, 2, 125-169.
- Öztürk, C.** (2017). Cevher ve Skarn Minerallerinde Yapılan Bir Konfokal Raman Spektroskopisi Çalışması: Dumlucak Demir Yatağı (Divriği, Sivas, Türkiye). *Yerbilimleri*, 37(3), 203-216.
- Poisson, A., Guezou, J.C.** (1996). Tectonic setting and evolution of the Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey: *International Geology Review*, vol. 38, 838-853.
- Rosman, K. J. R., Taylor, P. D. P.** (1998). Isotopic compositions of the elements 1997 (Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 70(1), 217-235.
- Sharp, Z.** (1990). A laser-based microanalytical method for the *in-situ* determination of oxygen isotope ratios of silicates and oxides: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 54, p. 1353–1357, doi: 10.1016/0016-7037(90)90160-M.
- Stendal, H., Ünlü, T.** (1991). Rock geochemistry of an iron ore field in the Divriği region, Central Anatolia, Turkey. A new exploration model for iron ores in Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 40(1-3), 281-290.
- Tokel, S., Köprübaşı, N., Uysal, İ., and Van, A.** (2011). Occurrences and genesis of Fe skarn in relation to tectonic environment in E-NE Anatolia: *geochemical consideration. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 188/1, Stuttgart.
- Troll, V. R., Weis, F. A., Jonsson, E., Andersson, U. B., Majidi, S. A., Högdahl, K., and Nilsson, K. P.** (2019). Global Fe–O isotope correlation reveals magmatic origin of Kiruna-type apatite-iron-oxide ores. *Nature communications*, 10(1), 1712.

- Tunç, M., Özçelik, O., Tutkun, Z., ve Gökçe, A.** (1991). Divriği- Yakuplu-İliç-Hamo (Sivas) yöresinin temel jeoloji özellikleri. *Doğa-Türk Müh. Çevre Bilimleri Dergisi*, 15, 225-245.
- Ünlü, T.** (1983). Sivas (Divriği-Akdağ-Gürün, Otlukilise), Erzincan (Kemaliye, Bizmişen-Çaltı, Kurudere) ve Adıyaman (Çelikhan, Bulam) demir yatakları hakkında görüşler. *MTA Rap. No:1901*.
- Ünlü, T.** (1983). Die Genese der Siderit - Lagerstätte Deveci in der Hekimhan - Provinz Malatya/ Türkei und ihre wirtschaftliche Bewertung. PhD Thesis Berlin Technical University, (in German. unpublished) (Aynı çalışma Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından 1987 s 84 Ankara'da yayınlanmıştır).
- Ünlü, T., Stendal H.** (1986). Divriği Bölgesi demir yataklarının element korelasyonu ve jeokimyası (Orta Anadolu-Türkiye) [Geochemistry and element correlation of iron deposits in the Divriği Region, Central Anatolia, Turkey]. *J Geol Eng* 28:5-19 (İngilizce özet ile Türkçe).
- Ünlü, T.** (1989). Türkiye demir yatakları arama çalışmalarında 1. Derecede ağırlıklı hedef saha seçimi ve maden jeolojisi araştırmaları ile ilgili proje teklifi. [Türkiye demir yatakları arama çalışmalarında birinci derecede hedef saha seçimi ve maden jeolojisi araştırmaları ile ilgili proje teklifi]. *Maden Tetkik ve Arama Rapor No: 8593*. (Türkçe, yayınlanmamış).
- Ünlü, T., Stendal H.** (1989). Divriği bölgesi demir cevheri yataklarının nadir toprak element (NTE) jeokimyası; Orta Anadolu, Türkiye. [Divriği Bölgesi demir cevherlerinin nadir toprak element (NTE) jeokimyası, Orta Anadolu, Türkiye]. *Geol Bull Turkey* 32:21-37 (in Turkish).
- Ünlü, T., Dumanlılar, Ö., Tosun, L., Akıska, S., and Tiringa, D.** (2019), Mineral Resources of Turkey, Modern Approaches in Solid Earth Sciences F. Piranjo et al (eds), p. 225-260.
- Ünlü, T., Stendal H., Makovicky E., and Sayılı S.** (1995). Genesis of the Divriği iron ore deposit, Sivas, central Anatolia, Turkey: an ore microscopy study. *Bull Min Res Exp* 117:17-28.
- Wang, C., Bagas, L., Chen, J., Yang, L., Zhang, D., Du, B., and Shi, K.** (2018). The genesis of the Liancheng Cu-Mo deposit in the Lanping Basin of SW China: Constraints from geology, fluid inclusions, and Cu-S-H-O isotopes. *Ore Geology Reviews*, 92, 113-128.
- Wijkerslooth, P. D. E.** (1939). Demirdağ (Divrik) demir yatakları hakkında jeolojik rapor. *MTA Rapor*, (803), 12.
- Valley, J. W., Kitchen, N., Kohn, M. J., Niendorf, C. R., and Spicuzza, M. J.** (1995). UWG-2, a garnet standard for oxygen isotope ratios: strategies for high precision and accuracy with laser heating. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(24), 5223-5231.
- Yalçın, H., Bozkaya, Ö.** (2016). Sivas-Divriği demir yatağı kireçtaşı-ofiyolit-granitoyid üçlü dokanağında flogopit oluşumları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*.
- Yesavage, T., Stinchcomb, G. E., Fantle, M. S., Sak, P. B., Kasznel, A., and Brantley, S. L.** (2016). Investigation of a diabase-derived regolith profile from Pennsylvania: Mineralogy, chemistry and Fe isotope fractionation. *Geoderma*, 273, 83-97.

- Yıldızeli, N.** (1977). Divriği-Dumluca Sondajlı Etüd Raporu. [Divriği- Dumluca Sondajlı Etüd Raporu]. *Maden Tetkik ve Arama Raporu No: 5986*. (Türkçe, yayınlanmamış).
- Yıldızeli, N.** (1998). Divriği (GD Sivas) yöresinde ofiyolit-granitoyid ilişkisiyle gelişen fels tipi demir yatakları. [Divriği yöresinde ofiyolit-granitoyid etkileşimi ile oluşan fels tipi demir yatakları, (GD Sivas), Türkiye]. İçinde: *Proceedings Book Boztuğ D., Özer T. ve Otlu N. (eds)*. pp 130-138. (İngilizce özet ile Türkçe).
- Yılmaz, A., Sümengen, M., Terlemez, İ., ve Bilgiç, T.** (1989). Sivas ile Şarkışla arasındaki bölgenin jeolojisi. *MTA Rapor No: 9090*.
- Yılmaz, S.** (1991). Hekimhan-Hasançelebi (KB Malatya) yöresi jeolojisi ve magmatitlerin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. *Yüksek Lisans tezi (basılmamış), Cumhuriyet Üniversitesi, 256*.
- Yılmaz, A., Bedi, Y., Uysal, Ş., Yusufoglu, H., ve Aydın, Ş.N.** (1993). Doğu Toroslarda Uzunyayla ile Berit dağı arasının jeolojik yapısı. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 5/1, 69-87*.
- Yılmaz, A.** (1998). Sivas havzasının jeodinamik evrimi. *Ofiyolit-Granitoyid İlişkisiyle Gelişen Demir Yatakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sivas, 66-82*.
- Yılmaz, H., Yılmaz, A.** (2004). Divriği (Sivas) yöresinin jeolojisi ve yapısal evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 47(1), 13-46*.
- Yılmaz, H., Yılmaz, A., Yıldırım, A., ve Dumanlılar, Ö.** (2005). Divriği (Sivas)-Hekimhan (Malatya) dolayındaki demir yataklarının bölgesel jeolojik konumları. *Türkiye Demir Yatakları Jeolojisi Madencilik ve Mevcut Sorunları Sempozyumu (Editörler: Öztürk, Kahriman ve Hanilçi), Bakanlar Matbaacılık, İstanbul, 46-73*.
- Yılmaz, A., Yılmaz, H.** (2006). Characteristic features and structural evolution of a post collisional basin: The Sivas Basin, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences, 27(2), 164-176*.
- Yilmazer, E.,** (2003). Divriği Bölgesi Skarn Tipi Demir Yatağının Jeolojisi, Jeokimyası Ve Skarnlaşma Süreçleri, *Niğde Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 117 s*.
- Yilmazer, E., Kuşcu, İ., ve Demirela, G.** (2002). Divriği A-B Kafa Cevherleşmeleri: Alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. *55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitapçığı, 320*.
- Yilmazer, E., Kuşcu, İ., ve Demirela, G.** (2003). Divriği AB kafa cevherleşmeleri: Alterasyon zonlanması ve zonlanma süreçleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni, 46(1), 17-34*.
- Zeck H.P., Ünlü T.** (1987). Kompozit bir monzonitik plütondan paralel tüm kayaç izokronları, Alpin Kuşağı, Orta Anadolu, Türkiye. *N Jb Miner Mh H 5:193-204*.
- Zeck, H. P., Ünlü, T.** (1988a). Alpine ophiolite obduction before 110±5 Ma ago Taurus Belt, eastern central Turkey. *Tectonophysics, 145, 1-2, 55-62*.
- Zeck, H. P., Ünlü, T.** (1988b). Murmano Plütunu'nun yaşı ve ofiyolitle olan ilişkisi (Divriği-Sivas). *MTA Dergisi, 108, 82-97*.