

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİYOSEN GRANİTLERİNİN (AĞRI-DOĞU ANADOLU)
PETROJENEZLERİ VE TEKTONİK ÖNEMLERİ

EMRAH YILDIZ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Orhan KARSLI

JÜRİ ÜYELERİ

Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER

Doç. Dr. Yılmaz DEMİR

RİZE-2022

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MİYOSEN GRANİTLERİNİN (AĞRI-DOĞU ANADOLU) PETROJENEZLERİ
VE TEKTONİK ÖNEMLERİ**

Prof. Dr. Orhan KARSLI danışmanlığında, Emrah YILDIZ tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile oluşturulan jüri tarafından 09/02/2022 tarihinde Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı	İmza
Başkan	: Prof. Dr. Orhan KARSLI	
Üye	: Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER	
Üye	: Doç. Dr. Yılmaz DEMİR	

Doç. Dr. Ahmet YANIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın konusu Doğu Anadolu'nun kuzeyinde, Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı'nın (DAYK) kuzey kesimi Geç Senozoyik dönemde çok yaygın bir magmatizma faaliyetine sahiplik etmiştir. Söz konusu magmatik aktivite, yaygın olarak plato bazaltlarının oluşturduğu kayalardan oluştuğu farz edilmiş olup; DAYK içinde güney kuzey yönlü sokulum yapan intrüzif kayalar, araştırmacılar tarafından çok detaylı çalışılmamıştır. Bu düşünce ile, bu araştırmada, söz konusu kayalar içerisinde farklı mineralojik ve jeokimyasal özellikler sunan granitoid kayalar araştırılmış ve detaylı incelenmiştir. DAYK'nın kuzey kesiminde, Erken Miyosen periyodunda oluşmuş I-tipi Demirkapı ve Bezirhane plütonları'nın, kristalizasyon koşulları, jeokimyasal ve petrolojik karakterlerini, bununla birlikte bu periyod için bölgenin jeodinamiği ile ilişkilerini açıklamayı amaçlayan ve hedefleyen bu araştırma; Ağrı ili güney doğu kesiminde plütonlardan derlenen jeolojik, petrografik, mineralojik ve jeokimyasal verilerin yorumlanması ve rapor edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Saha incelemeleri sırasında derlenen örneklerden özellikle ayrışmamış taze kısımlarından, toplam kayaç, LA-ICP-MS zirkon U-Pb yaşlandırma analizleri, zirkon Lu-Hf ve Sr-Nd izotop analizlerine bağlı olarak hazırlananmıştır.

Bu tezin hazırlanması sırasında her türlü desteğini ve önerilerini esirgemeyen, yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Orhan KARSLI'ya, gerek arazi çalışmaları gerek tez çalışmalarında yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Raif KANDEMİR'e, teşekkürü borç bilirim. Laboratuvar çalışmalarım sırasında hep desteğini gördüğüm Sayın Doç. Dr. Yılmaz DEMİR'e, tecrübelerinden faydalandığım Sayın Doç. Dr. Mehmet Ali GÜCER'e ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sevgi ÖZEN KARSLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her anında yanımda olan aileme desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu Yüksek Lisans Tezi TÜBİTAK tarafından 118Y514 nolu proje ile desteklenmiştir.

Emrah YILDIZ

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Miyosen Granitlerinin (Ağrı-Doğu Anadolu) Petrojenezleri ve Tektonik Önemleri” başlıklı bu tezi, Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 07/03/2022

İmza

Emrah YILDIZ

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

MİYOSEN GRANİTLERİNİN (AĞRI-DOĞU ANADOLU) PETROJENEZLERİ VE TEKTONİK ÖNEMLERİ

Emrah YILDIZ

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışmanı: Prof. Dr. Orhan KARSLI

Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi'nin kuzeyi, Geç Senozoyik periyodunda magmatik faaliyetin en yoğun olduğu dönemi yaşamıştır. Bu magmatik aktivite, çoklukla bazik jeokimyasal özellik göstermektedir. Söz konusu bölgede, bu araştırma projesi ile, I-tipi jeokimyasal karakterli granitoidler Demirkapı, Taşlıçay ve Bezirhane plütonları'nın protolit özellikleri ve jeodinamik evrimleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Demirkapı ve Bezirhane plütonları, granit, siyenit, monzonit, kuvars monzonit ve gabro bileşimlidirler. LA-ICP-MS zirkon U-Pb metodu ile; Demirkapı plütunu'ndan; 22.16 ± 0.20 ila 22.86 ± 0.17 ve Bezirhane plütunu'ndan; 22.82 ± 0.19 ila 23.33 ± 0.12 My arasında yaşlar elde edilmiştir. Yaygın biçimde mafik mikrogranular anklavlar içerirler. Plütonlar, ağırlıklı olarak metalumin jeokimyasal karakter sunmakla birlikte, hafifçe peralumin yönseme göstermektedir. Plütonlar, düşük-K kalk-alkalin karakterden şösonitik karaktere doğru değişim sunarlar. Basit Sr-Nd izotopik modellemesi, plütunu oluşturan hibrit magmanın %70 ila %75 oranında mafik alt kabuk türevli, %30 ila %25 izotopik olarak tüketilmiş ancak kimyasal olarak zenginleşmiş kıta altı üst manto türevli olduğuna işaret etmektedir. Kabuğun derinliklerin oluşan bu hibrit magma, fraksiyonel kristallenme ve bir miktar kirlenme ile evrimleşip, kabuğun sığ derinliklerine (~5-6 km) sokulup; I-tipi karakterli plütonları oluşturduğu düşünülmektedir. Bu araştırma projesi sırasında elde edilen veriler ve bölgesel jeolojik olaylar bir bütün olarak değerlendirildiğinde; Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın, Erken Miyosen periyodunda; yutan okyanus kabuğunun dikleşmesi neticesi oluşan yay gerisi gerilmeler sonucu kabuğa sokulum yapmış olabilecekleri düşünülmektedir.

2022, 62 sayfa

Anahtar Kelimeler: I-tipi magmalar, mafik alt kıtasal kabuk, kıta altı litosferik manto, yay gerisi gerilmeler, Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi, Doğu Anadolu.

ABSTRACT

PETROGENESIS AND TECTONIC IMPORTANCE OF MIOCENE GRANITES (AĞRI-EAST ANATOLIA)

Emrah YILDIZ

**Recep Tayyip Erdogan University
Graduate Education Institute
Department of Geological Engineering
Master Thesis
Supervisor: Prof. Dr. Orhan KARSLI**

Eastern Anatolian Accretion Complex have a huge magmatic activity during Late Cenozoic period. The magmatic activity shows basic geochemical signature. In the region, this research Project aims to explain source characteristics and geodynamic setting of the Demirkapı and Bezirhane plutons. The plutons are made up of granite, syenite, monzonite, quartz monzonite and gabbro. They are rich in mafic microgranular enclaves. The LA-ICP-MS zircon U-Pb age data reveal that Demirkapı pluton crystallized at ages between 22.16 ± 0.20 and 22.86 ± 0.17 Ma and Bezirhane pluton; 22.82 ± 0.19 and 23.33 ± 0.12 Ma. The plutons are of metaluminous to peraluminous and belongs to low-k calc-alkaline to shoshonitic series. The basic Sr-Nd isotope modeling displays that the hybrid magma is generated by mixing of 70-75% of the lower crustal-derived melt with ~ 30-25% of the mantle-derived melt at depths (~5-6 km) of lower crust. Then the hybrid melt ascended to shallower crustal level and underwent a limited fractionation process to generate a variety of rock types of the I-type plutons. All the data combined with regional background, we suggest that the plutons were originated in back-arc extensional phase of subduction environment during Early Miocene in the region.

2022, 62 pages

Keywords: I-type magmas, mafic lower continental crust, subcontinental lithospheric mantle, back-arc extension, Eastern Anatolian Accretion Complex, Eastern Anatolia.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Özeti.....	3
1.2.1. Tektonik.....	3
1.2.2. Bölgesel Jeoloji.....	5
1.2.3. I-Tipi Granitler.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Saha Çalışmaları	7
2.2. Ana ve İz Element Analizleri	7
2.3. LA-ICP-MS U-Pb Zirkon Yaş Analizleri.....	8
2.4. LA-ICP-MS Zirkon Lu-Hf Analizleri	8
2.5. Sr-Nd İzotop Analizleri	9
3. BULGULAR.....	10
3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	10
3.2. Petrografi ve Mineraloji.....	11
3.3. LA-ICP-MS Zirkon U-Pb Jeokronolojisi	16
3.4. Jeokimya	20
3.4.1. Ana ve İz Element Jeokimyası	20
3.4.2. Tüm Kayaç Sr-Nd İzotop Bileşimleri.....	24
3.4.3. Zirkon Lu-Hf İzotop Bileşimleri	25
3.5. Kristallenme Koşulları.....	28
3.5.1. Zirkon Doygunluk Jeotermometresi	28
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	29
4.1. I-tipi Erken Miyosen Plütonları'nın Petrojenezi.....	29
4.2. Magma Farklılaşması ve Karışımı.....	29

4.3. Kaynak Kaya Özellikleri	32
4.4. Tektonik Evrim.....	34
4.5. Sonuçlar	38
5. ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR.....	42
EKLER	50
ÖZGEÇMİŞ.....	62



ŞEKİLLER DİZİNİ

- Şekil 1.** (a) Anadolu'nun ana tektonik birlikleri, (b) Doğu Anadolu'nun sadeleştirilmiş jeoloji haritası [Şengör ve diğ. (2003) ve Keskin (2003; 2005)'den geçirilerek]. I: Rodop-Pontid Bloku, II: Kuzeybatı İran Bloku, III: Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi, IV: Bitlis-Pötürge Masifi, V: Arabistan Platformu, EKP: Erzurum-Kars Platosu, KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı. 4
- Şekil 2.** Ağrı yakın çevresindeki Erken Miyosen Plütonları'nı kapsayan alanın (Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi) sadeleştirilmiş jeoloji haritası [1/500.000 ölçekli MTA (2002) haritasından değiştirilerek]. 11
- Şekil 3.** Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın; (a-b): saha görünüşleri ve kırık sistemleri, (c-f): kayalarda yaygın gözlenen mafik mikrogranular kayaç kapanımları ve genel görünüşleri. 13
- Şekil 4.** Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın; (a-f) ana kayaç dokusal özellikleri, (g-h) mafik mikrogranular anklav dokusal özellikleri ve ana kayaç ilişkileri. Çizgisel ölçek: 200µm dir. Polarizan mikroskop görüntüleri çift nikolde elde edilmiştir. 14
- Şekil 5.** Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nda magma karışım izlerini yansıtan dokusal özellikler. Çizgisel ölçek: 200µm dir. Polarizan mikroskop görüntüleri çift nikolde elde edilmiştir. 15
- Şekil 6.** Demirkapı plütunu'na ait zirkonların katolüminesans görüntüleri ve analiz noktaları. 17
- Şekil 7.** Bezirhane plütonları'na ait zirkonların katolüminesans görüntüleri ve analiz noktaları. 18
- Şekil 8.** Demirkapı plütonları'nın zirkon U-Pb konkordiya yaş diyagramları. 19
- Şekil 9.** Bezirhane plütunu'nun zirkon U-Pb konkordiya yaş diyagramları. 19
- Şekil 10.** Demirkapı ve Bezirhane plütonları'nın; (a) toplam alkali içeriklerine karşın SiO₂ diagramındaki (Middlemost, 1994) yeri, (b) K₂O içeriklerine karşın SiO₂ değişim diyagramlarındaki (Peccerillo ve Taylor, 1976) dağılımları (c) Al₂O₃/Na₂O + K₂O (molar) değerine karşın alkali doygunluk indeksi diyagramındaki (Maniar ve Piccoli, 1989). 21
- Şekil 11.** Demirkapı ve Bezirhane plütonları'nın; (a) SiO₂ içeriklerine karşın Al₂O₃ içerikleri, (b) SiO₂ içeriklerine karşın Na₂O içerikleri, (c) SiO₂ içeriklerine karşın MgO içerikleri, (d) SiO₂ içeriklerine karşın CaO içerikleri, (e) SiO₂ içeriklerine karşın K₂O içerikleri, (f) SiO₂ içeriklerine karşın toplam demir oksit içerikleri, (g) SiO₂ içeriklerine karşın TiO₂ içerikleri, (h) SiO₂ içeriklerine karşın Sr/Y oranları, (i) SiO₂ içeriklerine karşın La içerikleri, (j) SiO₂ içeriklerine karşın Zr/Sm oranları değerleri, (k) La/Yb oranlarına karşın La değerleri değişim diyagramları. 22
- Şekil 12.** Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait kayaçların ilksel manto'ya göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş çoklu element

modelleri.....	23
Şekil 13. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait kayaçlarının kondrite göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş nadir toprak element modelleri.....	24
Şekil 14. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait örneklerin konvensiyonel Nd-Sr izotop diyagramındaki konumları.....	26
Şekil 15. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait örneklerine ait zirkonların; (a): $\varepsilon_{\text{Hf}}(t)$ değerine karşın kristalizasyon yaşları diyagramı, (b-c): histogram diyagramları.....	27
Şekil 16. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın; a: Nb/La oranına karşın SiO_2 içeriği; b: Th/La oranına karşın SiO_2 içeriği; c: U/Nb oranına karşın SiO_2 içeriği; d: La/Yb oranına karşın SiO_2 içeriği; e: Dy/Yb oranına karşın SiO_2 içeriği değişim diyagramları.	30
Şekil 17. Erken Miyosen plütonları'nın basit Sr-Nd izotopik modelleme diyagramındaki konumları.....	32
Şekil 18. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın deneysel metapelitik, metagrovak ve amfibolit ergiyik alanları ile karşılaştırılması. Deneysel veriler (Patiño Douce, 1999)'dan alınmıştır.....	34
Şekil 19. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın; (a) Th/Yb'a karşın Ta/Yb, (b) Ta'a karşın Nb, (c) Rb'a karşın Y+Nb değeri (d) Nb'a karşın Y diyagramlarındaki (Pearce vd., 1984; Pearce, 1996) yerleri.	37
Şekil 20. Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi içindeki Erken Miyosen plütonları'nın oluşumu ve evrimi süresince, Neotetisin güney kolu'nun jeodinamik evrimi için şematik bir gösterim. (a) ~ 69-72 My da Kampaniyen sürecinde, yiten okyanusal litosfer dikleşmesi (slab roll-back) hareketine bağlı olarak kıtasal yay gerisi gerilmesi gelişir ki; bu da astenosferik manto yükselimine neden olur. Bu yükselimle sağlanan ısı, litosferik manto türevli bazik magmayı oluşturur. Bazik magma daha sonra alt kabuk altına sokularak alt kabuğu hem ergitir hemde uçucular bakımından metazomatize eder. Buna bağlı olarak, bölgede yaygın gözlenen I- ve A-tipi magmalar gelişmiştir. (b) Geç Oligosen ve Erken Miyosen süreçlerinde; Neotetisin kuzey kolu'nun 69-72 My larda yaşadığı evrimi Neotetisin güney kolu yaşar ve yitimin son evrelerinde dikleşen okyanus kabuğu yitimin son ürünleri olan Geç Oligosen-Erken Miyosen magmatizmasını meydana getirir. Böylece, Ağrı yöresindeki; Demirkapı ve Bezirhane plütonları, yay gerisi ektansiyonel hareketlere bağlı olarak Doğu Anadolu Yığılma karmaşığı içine sokulurlar.....	38

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A/CNK	Moleküler ($Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O$)
ADI	Alkali Doygunluk İndeksi
AK	Ateşte Kayıp
Amf	Amfibol
ANTE	Ağır Nadir Toprak Elementler
Bio	Biyotit
BIYLE	Büyük İyon Yarıçaplı Litofil Elementler
ÇA	Çalışma Alanı
DAYK	Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı
Eu	Evropiyum
Eu*	(Sm+Gd) _{N/2} ,
Fe ₂ O ₃ *	Fe ₂ O ₃ Cinsinden Toplam Demir
K-feld	Feldispat
Amf	Amfibol
Hf	Hafniyum
HNTE	Hafif Nadir Toprak Elementler
HNO ₃	Nitrik Asit
ICP-MS	Endüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
Km	Kilometre
K	Kuvars
LiBO ₂	Lityum Metaborit
Lu	Lütesyum
Mg#	$100 \times MgO / (MgO + Fe_2O_3)$
MMA	Masif Mikrogranüler Anklav
Mm	Milimetre
Nd	Neodim
Nb	Niobyum
Plg	Plajiyoklas
Rb	Rabidyum
Sm	Samaryum
Sr	Stronsiyum
YAEE	Yüksek Alan Enerji Elementleri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Türkiye'nin önemli tektonik parçalarından biri olan Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi (DAYK, Şengör ve Yılmaz, 1981; Şekil 1), Geç Oligosen-Erken Miyosen'den Kuvaterner'e kadar yoğun bir magmatik faaliyetin varlığı ile karakteristiktir. Genellikle volkanizmanın hâkim olduğu bu aktiviteye Van ili kuzeyi ve Ağrı ili güneyinde, kuzey-güney yönlü bir hat boyunca, yer yer intrüzifler de eşlik etmiştir. Söz konusu magmatik aktivitenin tamamının; Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kuzey yönlü kapanması ile ilişkili olduğu hakkında yaygın bir görüş birliği mevcuttur (Innocenti vd., 1982; Dewey vd., 1986; Ercan vd., 1990; Pearce vd., 1990; Buket ve Temel, 1998; Keskin vd., 1998; Keskin, 2003; Şengör vd., 2003, 2008; Çolakoğlu ve Arehart, 2010; Keskin vd., 2012; Oyan vd., 2016; Oyan, 2018; Topuz vd., 2019). Avrasya ve Sakarya kıtaları arasında Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun kapanma zamanına ilişkin tam bir fikir birliği mevcuttur. Ancak, Neotetis'in güney kolunun kapanma zamanı, oluşan magmatik faaliyetin petrojenezi ve tektonomagmatik evrimi ile ilişkili fikir ayrılıkları bulunmaktadır. Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi içindeki Oligo-Miyosen ve sonrası magmatik aktivitenin petrojenezine ve dolayısıyla Neotetis'in güney kolunun evrimine yönelik tezat ifade eden farklı görüşler bulunmaktadır. Keskin (2003) ve Şengör ve diğ. (2003), DAYK içindeki volkanizmanın kuzey-güney yönlü değişimini, jeokronolojik ve petrolojik açıdan irdelemiş, Neotetis'in güney kolunun Orta Miyosen (11-13 My) den sonra okyanus kabuğunun dikleşmesi (slab roll-back) ve kopması (slab break-off) olaylarını takiben çarpışma safhası sonrası astenosfer yükselimi olayları ile oluştuğunu; dolayısıyla güneyde Neotetis'in 11 my önce tamamen kapandığını savunmuşlardır. Çolakoğlu ve Arehart (2010), DAYK içinde kuzey-güney yönlü bir hat oluşturan sokulumların en güneyinde Sarıçimen Plütunu'nun (Van) jeokronolojisi ve kayaç jeokimyasını irdelemiş; Orta Miyosen (13 My) yaşlı bu kayaçların Neotetisin kapanması sırasında ve yitimin son evreleri ile ilişkili olduklarını savunarak, Keskin (2003)'ün bulguları ile tezatlaşmıştır. Bölgenin tektonomagmatikliği ile ilişki en güncel veriler ise Oyan (2018), Açlan ve Altun (2018) ve Topuz vd. (2019) tarafından ortaya konulmuştur. Oyan (2018), Sarıçimen Plütunu'nun daha kuzeyinde, Taşkapı Plütunu'nun (Van) jeokronolojisi ve petrolojisine dayanarak, Erken Miyosen yaşlı (23

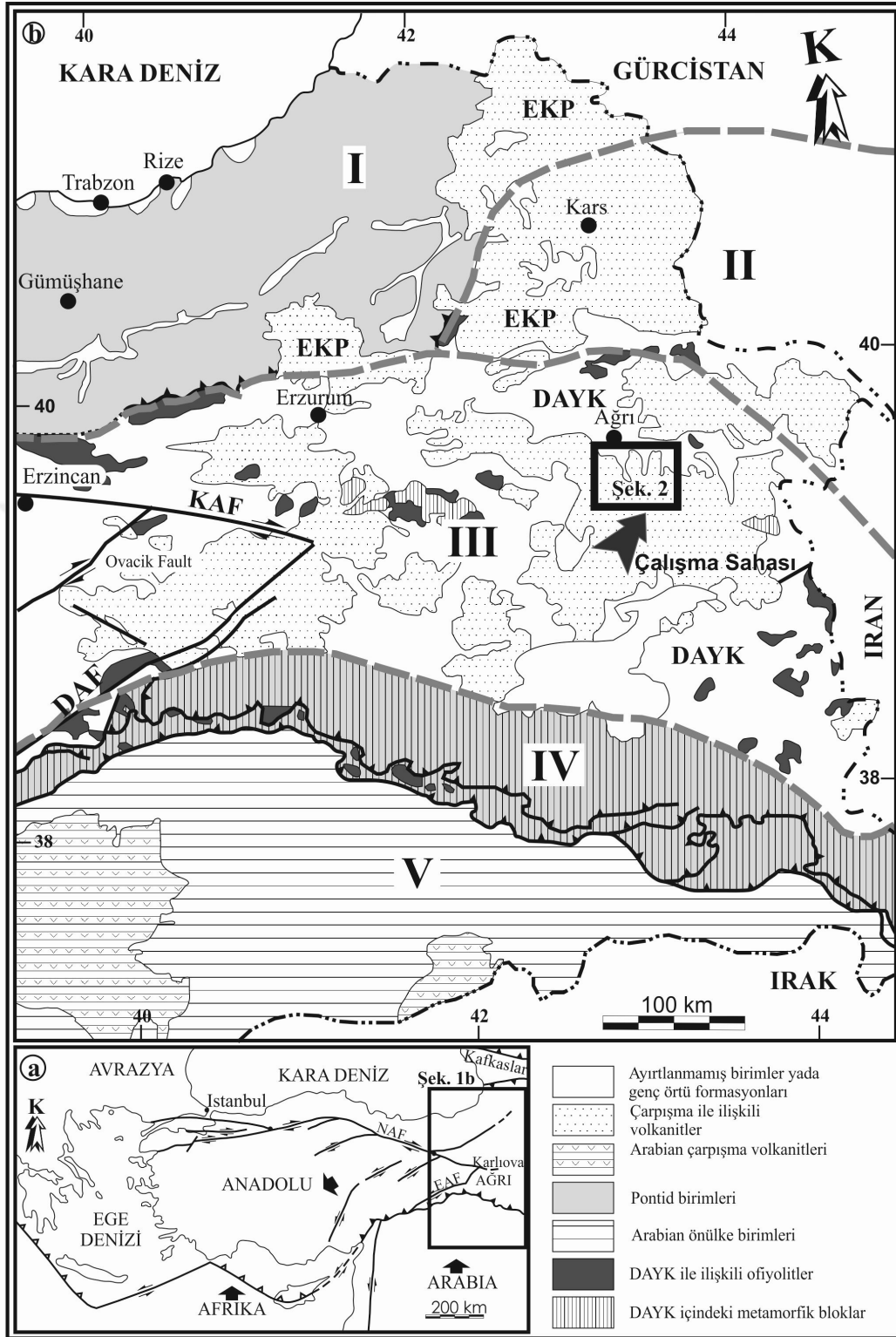
My) plütonun çarpışma sonrası dönemde oluştuğunu işaret etmiş olup; kıta-kıta çarpışmasının en azından Erken Miyosen (23 My) periyodundan önce gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Böylece, kendisinden önceki literatür verileri ile çelişir bulgular sunmuştur. Intrüziflerin kuzey-güney gidişli bir hat boyunca sokuldukları düşünüldüğünde; bu hattın en kuzeyinde, Ağrı yöresinde, Açılan ve Altun (2018), Esenköy Plütonu'nun (Ağrı) jeokronolojisi ve kayaç jeokimyasına dayanarak, plütonun Erken Miyosen'de (22 M) sokulum yaptığını ve Neotetis'in Erken Miyosen'den önce tamamen kapanmış olduğunu iddia etmiş ve Oyan (2018)'nin savunmuş olduğu bulguları desteklemiştir. Topuz vd. (2019), ise tüm bu bulguları destekler niteliktedir. Bu haliyle; Neotetis'in güney kolunun Geç Senozoyik evrimi yani okyanusun tamamen kapanma zamanı ve kıta-kıta çarpışma zamanı için, hem Keskin (2003) hem de Çolakoğlu ve Arehart (2010)'ın ileri sürdüğü bulguları ve görüşler ile çelişir durumdadırlar.

Söz konusu tartışmaya, güncel ve yenilikçi teknolojiler kullanılarak üretilen bulgularla öneriler getirme düşüncesiyle; Ağrı ili yakın çevresindeki Oligosen döneminde yüzeylenen Demirkapı ve Bezirhane plütonlarının petrolojik özellikleri, ana oksit, iz element, nadir toprak element ve Rb-Sr, Sm-Nd ve zirkonda Lu-Hf izotop analizleri ile açıklanmaya çalışılmıştır. Kristallenme yaşları ise; LA-ICP-MS zirkon U-Pb yaşlandırma yöntemi ile ortaya konulmuştur. Bu yöntemlerle elde edilen bilgilere dayalı olarak, yukarıdaki tartışmalar değerlendirilerek, plütonları oluşturan magmanın kaynağı, oluşmasına sebep olan protolitin ergime modeli, derecesi, mineralojisi, zenginleşme var ise kaynağı ve yeri, ergimeye sebep olan ısı kaynağı, ergiyiğin oluşumundan itibaren kristallenmeye kadar evrimi ve olası jeodinamik model için güncel veriler üretilmeye çalışılmıştır. Tüm bu bulgularla, bölge jeolojisine, Neotetis'in Geç Senozoyik jeodinamik modeli için yeni ve güncel teknolojik katkılar sağlanarak, söz konusu döneme ait veri eksikliği giderilmeye çalışılmış, tartışılan tektonomagmatik evrim, petrokimyasal veriler ile desteklenmeye çalışılmıştır. Nihai olarak; Neotetis okyanusunun güney kolunun kapanma, kıta-kıta çarpışması ve çarpışma sonrası dönemin başlangıç zamanlarına ait güncel petrolojik bulgular elde edilmiştir ve problemin çözümü için model önerilmiştir.

1.2. Literatür Özeti

1.2.1. Tektonik

Anadolu, sismik bakımdan çok aktif ve jeolojik açıdan da oldukça karmaşık, Alp-Himalaya kuşağında yer almaktadır. Bununla birlikte, Geç Senozoyik zamanı boyunca, Afrika-Arap ve Avrasya arasındaki kuzey-güney yönlü yaklaşıma karşın litosferik kıtasal blok olarak batıya doğru sürekli hareket eden bir plakacık olarak bilinmektedir. Bu hareketlerin temel nedeni ise, Anadolu'nun tamamını boydan boya kat eden ve hemen hemen aynı yaşlı iki büyük, sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve sol yönlü Doğu Anadolu Fayı (DAF) olarak bilinmektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey vd., 1986; Adıyaman vd., 2001; Koçyiğit vd., 2001). Kuzey Anadolu Fayı'nın başlangıç yaşı halen tartışılmakla birlikte, Geç Miyosen'den (12-13 My; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör vd., 1985), Erken Pliyosen (5 My Barka, 1992; Koçyiğit vd., 2001), Geç Pliyosen (2.5 My; Şaroğlu, 1988) ve Pliyo-Pliystosen'e (Ünay ve Burjin, 1998) kadar değişim gösterdiği vurgulanmıştır. 22 (Şekil 1a).



Şekil 1. (a) Anadolu'nun ana tektonik birlikleri, (b) Doğu Anadolu'nun sadeleştirilmiş jeoloji haritası [Şengör ve diğ. (2003) ve Keskin (2003; 2005)'den geçirilerek]. I: Rodop-Pontid Bloku, II: Kuzeybatı İran Bloku, III: Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi, IV: Bitlis-Pötürge Masifi, V: Arabistan Platformu, EKP: Erzurum-Kars Platosu, KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı.

1.2.2. Bölgesel Jeoloji

Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı (DAYK), Doğu Pontidlerin ve Kafkasya'nın bir bölümü ve KB İran geniş bir alanda Neojen-Kuvaterner volkanik ve sedimanter kayaçlar ile örtülü durumdadır (Pearce vd., 1990; Şengör vd., 2003; Keskin, 2003; Çolakoğlu ve Arehart, 2010; Çubukçu vd., 2012; Chiu vd., 2013; Kaygusuz vd., 2018; Özdemir ve Güleç, 2014; Neill vd., 2015; Oyan vd., 2017; Topuz vd., 2019). DAYK da, Neojen-Kuvaterner volkanik ve sedimanter kayaları Geç Kretase yüksek sıcaklık/düşük basınç metamorfik kayaları ve Geç Kretase gabroik-tonalitik sokulumları içeren bir temel üzerinde yer almaktadır (Yılmaz vd., 1988, 2010; Topuz vd., 2019; Rolland vd., 2019). Deniz seviyesinin üzerine yükselim, Doğu Pontidler'de Geç Eosen (35-40 My) sırasında, Doğu Anadolu Dayk Karmaşığı'nın doğu kesiminde ve KB İran bloğunda; Erken Miyosen (~ 15 My) sırasında gerçekleşmiş olduğu önerilmektedir (Yılmaz vd., 1988; Özcan vd., 2010). Bu nedenle; günümüzdeki yüksek dağ kuşakları (deniz seviyesinden yaklaşık 2000 m), son 15 My sırasında gelişmiş olmalıdır. DAYK'ın günümüzdeki kabuk kalınlığı 40-50 km arasında değiştiği düşünülmekte (Zor vd., 2003) ve bu da göreceli olarak kalınlaşmış kabuğun varlığına işaret ettiğine inanılmaktadır. Bununla birlikte DAYK'ın altında, Neojen-Kuvaterner magmatizmasıyla uyumlu olarak son derece ince kıta altı litosferik manto (en çok 20-30 km) bulunmaktadır (Kind vd., 2015).

Neojen-Kuvaterner volkanik kayaçları, kalkalkalen-alkalen karakterde nadiren peralkalen özellikte bazalttan riyolite kadar değişen geniş bileşimsel değişimler gösterir (Pearce vd., 1990; Şengör vd., 2003; Keskin, 2003; Çolakoğlu ve Arehart, 2010; Çubukçu vd., 2012; Chiu vd., 2013; Özdemir ve Güleç 2014; Neill vd., 2015; Oyan vd., 2017; Açlan ve Altun, 2018; Kaygusuz vd., 2018; Oyan, 2018; Topuz vd., 2019). Volkanik kayaçların yaşları 15 My dan Kuvaterner'e kadar değiş göstermektedir. DAYK da; Geç Oligosen-Erken Miyosen gabroik-granitik kayaçları platodaki en genç sokulumları temsil etmektedir (Açlan ve Duruk, 2018; Açlan ve Altun, 2018; Oyan, 2018; Rabayrol vd., 2019; Topuz ve diğ., 2019). Bunlar, Neojen-Kuvaterner magmatizmasının en genç ürünlerini oluşturmaktadırlar. Demirkapı ve Bezirhane Plütonları, DAYK daki en geç Oligosen-Erken Miyosen intrüzyonlarının en önemlileri olup bu araştırma projesine de konu seçilmişlerdir.

DAYK birkaç kıtasal kabuğun birleştiği bir bölgeyi temsil etmektedir. Bu kıtasal blokların her biri birbirlerinden İzmir-Ankara-Erzincan süturu, Bitlis-Zağros süturu ve

Güney Azerbaycan sutureu gibi diğer Neo-Tetis suture zonlarıyla ayrılmaktadır. Kıtasal çarpışma İzmir-Ankara-Erzincan sutureu boyunca Paleosen-erken Eosen döneminde olmuş olduğu belirtilmektedir (Okay ve Şahintürk, 1997; Şekil 1b). DAYK'daki geniş Neojen-Kuvaterner magmatizması; platonun altındaki litosferik mantonun incelenmesine ve ayrılmasına (Pearce vd., 1990; Keskin vd., 1998; Schleiffarth vd., 2018), Bitlis-Zagros sutureu boyunca dilimin dikleşmesine ve daha sonra kırılmasına (Keskin, 1993; Şengör vd., 2003, 2008), ya da çarpışma işlevleriyle ayrılan Afrika süperplume etkileşimine bağlanmaktadır (Faccenna vd., 2013).

1.2.3. I-Tipi Granitler

Doğu Anadolu Dayk Kompleksi, çok yaygın Miyosen volkanik faaliyete ilave olarak Oligosen-Miyosen süreçlerinde granitik kayaların da yerleşim gösterdiği bir alan olup; tüm bu kayalar, DAYK intruzifleri olarak bilinirler. Söz konusu plütonik kayalar, çok yakın zamandan itibaren bazı araştırmacı tarafında incelenmiş olsa da; özellikle detaylı jeokronolojik ve jeokimyasal verilerin eksikliği nedeniyle hemen hemen tüm kayalar tek düze kabul edilmişlerdir. Bölgede yapılan detay çalışmalar, bu kayaların bazı kesimlerde jeokimyasal ve dokusal özellikler açısından I-tipi granitoid kayalara benzedikleri belirlenmiştir. Özellikle, Van bölgesindeki plütonlar (Çolakoğlu ve Arehart, 2010; Oyan, 2018) bunlara örnek teşkil etmektedir. Yapılan detay jeokronolojik ve petrolojik çalışmalar, bu kayaların daha çok susuz, orojenik olmayan ve kıta içi riftleşmelere bağlı olarak oluşan A-tipi granitlere benzemediklerini göstermiştir. DAYK'ın kuzey kesiminde Ağrı yöresinde şösonitik ve yüksek-K kalkalkalen karakterli Yuvacık, Demirkapı ve Taşılcay plütonlarından derlenen örneklerin, düşük Zr içeriği, K_2O/Na_2O ve $(Zr+Nb+Ce+Y)$ değerlerine sahip oldukları anlaşılmıştır. Bu özellikleriyle, yukarıda belirtildiği üzere, tipik I-tipi granitoidlere benzerlikler sunarlar.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu araştırma projesine materyal olarak; Ağrı ili güneyindeki Demirkapı, Taşıçay ve Yuvacık plütonları'ndan toplanan granitoyid kayaç örnekleri kullanılmıştır. Plütonlardan derlenen numuneler üzerinde; LA-ICP-MS zirkon U-Pb yaş, ana ve iz element, Sr-Nd izotop ve zirkonda Lu-Hf izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Petrografik tayinlere dayalı olarak, ayrışmamış ve taze olduğuna karar verilen örnekler, çelik kırıcı ile kırılmış, daha sonra havan içinde öğütülmüştür. Laboratuvarlarda kimyasal analiz işlemlerine tabi tutulacak örnekler yaklaşık 1-2 kg ağırlığındaki öğütülmüş numunelerden çeyrekleme yöntemi ile hazırlanmış ve analize gönderilmiştir.

2.1. Saha Çalışmaları

Bu araştırma projesinin saha çalışmaları; Ağrı ili güneyinde, Demirkapı ve Bezirhane merkez köyleri yöresinde yüzeylenen plütonlara ait granitoyid kayaç yüzleklerinde gerçekleştirilmiştir. Sahada granitik kayaçlardan 80'den fazla örnek derlenmiş olup; bu örnekler üzerinde aşağıda detayları verilen kimyasal analizler, yurtdışı laboratuvar imkânlarıyla gerçekleştirilmiştir.

2.2. Ana ve İz Element Analizleri

Tüm kayaç ana oksit analizleri, Acme Analitik Laboratuvarı'nda (Kanada) gerçekleştirilmiştir. Ana oksit analizleri yapılan 24 adet kayaç numunesinin içerdikleri kristal öz suyu ve uçucu miktarını belirlemek için ateşte kayıplar (AK) hesaplanmıştır. Bunun için analiz edilecek olan her bir örneğin, daha önceden hazırlanan toz numuneleri kullanılmıştır. Kristal suyunu belirlemek için, örnekler, fırında 110 °C'de 12 saat kurutulmuştur. Kurutulan her bir örnekten yaklaşık 1,5 gr kadar (A1) alınmış ve ateşte kaybı hesaplamak için 1000 °C'de 2 saat boyunca kavrulmuştur. Fırından alınan örnekler ılık duruma gelince yeniden tartılmıştır (A2). Isıtılmadan önceki örnek ağırlığı ile soğuduktan sonraki örnek ağırlığı arasındaki farklar belirlenmek suretiyle örneklerin ateşte kayıpları hesaplanmıştır ($AK = A1 - A2$). Ana element analizleri, ICP atomik emisyon spektrometresinde, örnek, $LiBO_2$ ile ergitilip tablet hazırlandıktan sonra bu tablet üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ana element dedeksiyon limitleri yaklaşık

%0.001 ila %0.04 arasındadır. İz element ve nadir toprak element analizleri %5 lik HNO₃ asitte çözüldükten sonra kütle spektrometresinde belirlenmiştir. Dedeksiyon limitleri 0.01 ila 0.5 ppm arasındadır. Bu analizlerin doğrulukları, ana elementler için; %2-5 aralığında, iz elementler için; %10-15, nadir toprak elementleri için %1-5 den daha iyidir.

2.3. LA-ICP-MS U-Pb Zirkon Yaş Analizleri

U-Pb zirkon yaşlandırmaları, Oslo Üniversitesi Jeokronoloji laboratuvarında (Oslo-Norveç), LA-ICP-MS cihazında gerçekleştirilmiştir. Sırası ile 1 adet örnekten elde edilen zirkonlar, hidroseparator ve magnetik separator yardımı ile ayırtlanmaya çalışılmış ve nihai olarak binoküler mikroskopta seçilmiştir. Daha sonra zirkon taneleri epoksiye gömülerek, kristaller kalınlıklarının hemen hemen yarısı yok oluncaya kadar parlatılmıştır. Ölçümler sırasında gerekli olan katodoluminesans görüntüleri, Oslo Üniversitesi Jeokronoloji laboratuvarında elde edilmiştir. U, Th ve Pb bollukları, Oslo Üniversitesi, Jeokronoloji laboratuvarında, 193µm laser ablation sistemine bağlı 7500 ICP-MS cihazında ölçülmüştür. Analiz edilen nokta çapı, 36µm dir. Analitiksel lazer sıklığı, 10Hz dir. Standart zirkon 91500 ve P11, U-Pb yaşları hesaplamak ve izotopik düzenlemeler için kullanılmıştır. U-Pb izotopik kompozisyonları hesaplamak için ise, GLITTER 4.4 programı kullanılmıştır. Concordia çizimleri ve olası yoğunluk çizgileri, IsoplotEx 3.0 (Ludwig, 2003) programı ile gerçekleştirilmiştir.

2.4. LA-ICP-MS Zirkon Lu-Hf Analizleri

Lu-Hf zirkon analizleri, Oslo Üniversitesi Yerbilimleri Enstitüsü Jeokronoloji laboratuvarındaki LA-ICP-MS Nu Plasma HR çoklu kütle spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Kütle spektrometre, NewWave LUV 213 Nd-YAG ve Cetac LSX-213 G2+ lazer mikroprop kollektörleri ile desteklenmiştir. Analiz prosedürü, Elburg vd., (2013) tarafından önerilmiştir. NewWave LUV 213 Nd-YAG lazer mikroprobunun, lazer ablasyon şartları; 55–60 µm bomba büyüklüğü, 5 Hz fasıla aralığı ve 2 J cm⁻² bomba akışı şeklindedir. Cetac LSX-213 G2+ kollektörü şartları ise; 50 µm bomba büyüklüğü, 5 Hz fasıla aralığı ve 15 J cm⁻² bomba akışı şeklindedir. Mud Tank zirkon tekrar analizleri (¹⁷⁶Hf/¹⁷⁷Hf = 0.282507 ± 6; Woodhead

ve Hergt, 2005), $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282509 \pm 30$ (2SD; $n = 139$) değerini üretmiştir. LV-11 ($^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282830 \pm 28$; Heinonen vd., 2010) standart zirkon, $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf} = 0.282827 \pm 55$ (2SD; $n = 99$) değerini sonuçlamıştır. Analitiksel detaylar, Karşlı vd. 2020a'da verilmiştir.

2.5. Sr-Nd İzotop Analizleri

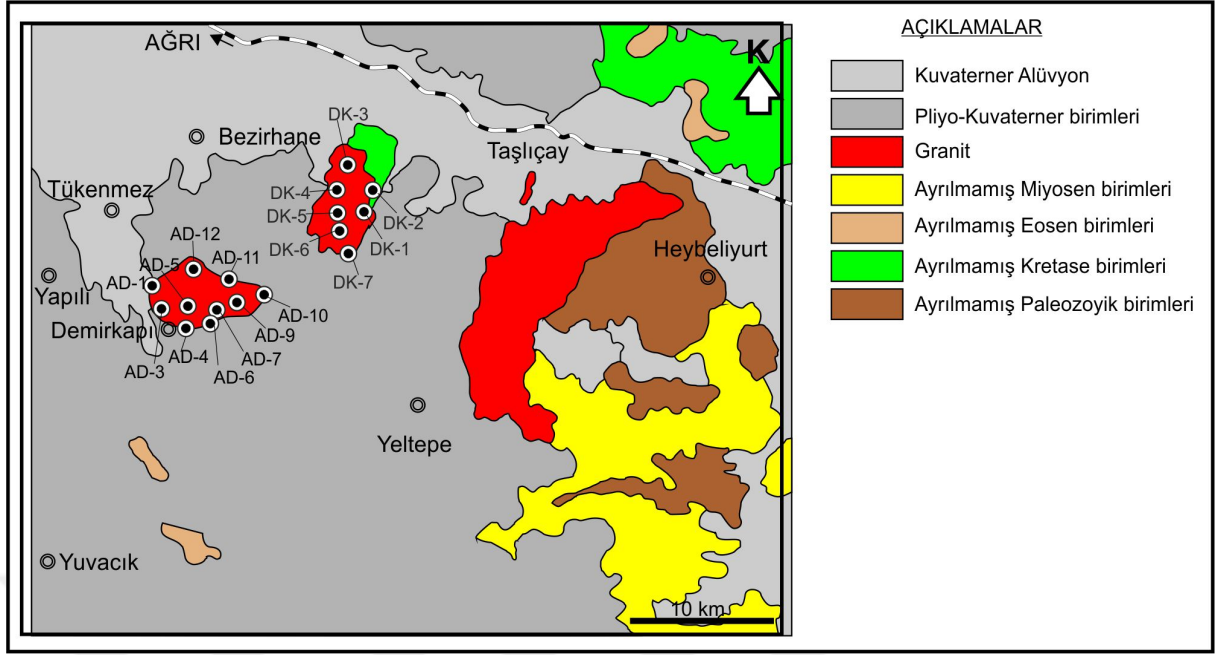
Rb-Sr ve Sm-Nd izotopik analizleri, Aveiro Üniversitesi (Portekiz), Yerbilimleri Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir. Örnekler bir hafta süre ile HF + HClO₄ asit karışımında bekletilerek çözülmüştür. 6 adet örneğin kütle analizleri VG354 çoklu kütle spektrometresi yardımıyla yapılmıştır. Rb, Sr, Sm ve Nd bollukları izotopik dilutasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. İzotopik oranlar VG354 kütle spektrometresi yardımıyla Aveiro Üniversitesi, Yerbilimler Enstitüsü'nde (Portekiz) gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Bu araştırma projesi; Ağrı ili güneyinde Demirkapı ve Bezirhane Plütonlarını içeren bir alanda Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı içinde geniş bir alanda yürütülmüştür. Söz konusu geniş alanda Oligosen ve Miyosen süreçlerinde yüzeyleme veren çok sayıda birbiri ile bağlantılı ya da bağlantısız sokulum kayaçları bulunmaktadır (Şekil 2). Bu düşünceyle, bölgede yüzeyleyen plütonik kayaçlar için muhtemel lokasyonlar gezilmeye ve örneklenmeye çalışılmıştır. Bölgede gözlenen I-tipi granitoidleri, kaba saha gözlemleri ile porfiritik yarı derinlik kayaçlarından ayırmak oldukça mümkün ve kolaydır. Bölgede yüzeyleme veren I-tipi karakterli kayaçlar, diğer porfiritik kayaçlara göre daha ince tanelidirler. Çalışma grubumuz tarafından yörede üç adet I-tipi pluton çalışılmış ve gezilmiştir. Sahada, Demirkapı plütonu, çoklukla Pliyo-Kuvaterner birimlerce örtülmüş durumda gözlenmiştir. Bezirhane plütonu ise kuzey kenarında Geç Kretase birimleri kesmiştir (Şekil 2).

Saha çalışmaları sırasında, I-tipi granitoid kayaçlarda, alterasyonun çok yaygın olduğu, kayaçların birçok kesimde arenalaştığı gözlenmiştir. Bu sebeple tüm lokasyonlardan 80'den fazla örnek alınmıştır. Tamamı ayrıntılı incelenen lokasyonlardan kullanılabilecek örnekler seçilmiş ve yaklaşık 20 adet ayrışmamış kayacın ince kesiti hazırlanmıştır. Tüm bu örneklerin petrokimyasal analiz amaçlı kullanılacağı da düşünülerek ayrıntılı jeolojik haritalara işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Anklavlar haritalara işlenmiş olan ana kayaç lokasyonlarından derlendiğinden, ayrıca karışıklığa neden olmaması için haritaya işaretlenmemiştir. Proje materyaline ait lokasyon dağılımları genellikle DAYK içerisinde, bu zonun kuzey kesimlerinde yer almaktadırlar (Şekiller 1 ve 2).



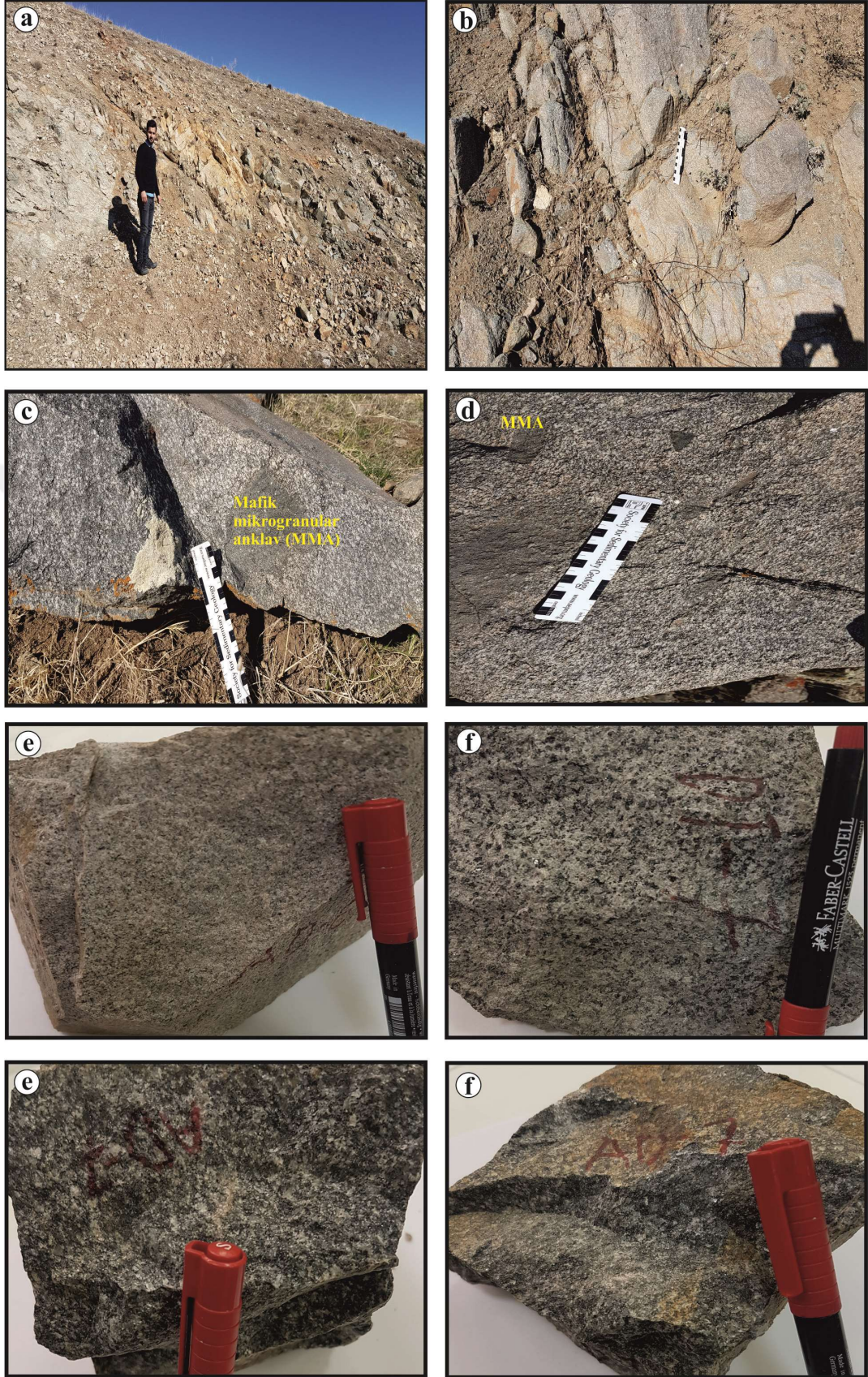
Şekil 2. Ağrı yakın çevresindeki Erken Miyosen Plütonları'nı kapsayan alanın (Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi) sadeleştirilmiş jeoloji haritası [1/500.000 ölçekli MTA (2002) haritasından değiştirilerek].

3.2. Petrografi ve Mineraloji

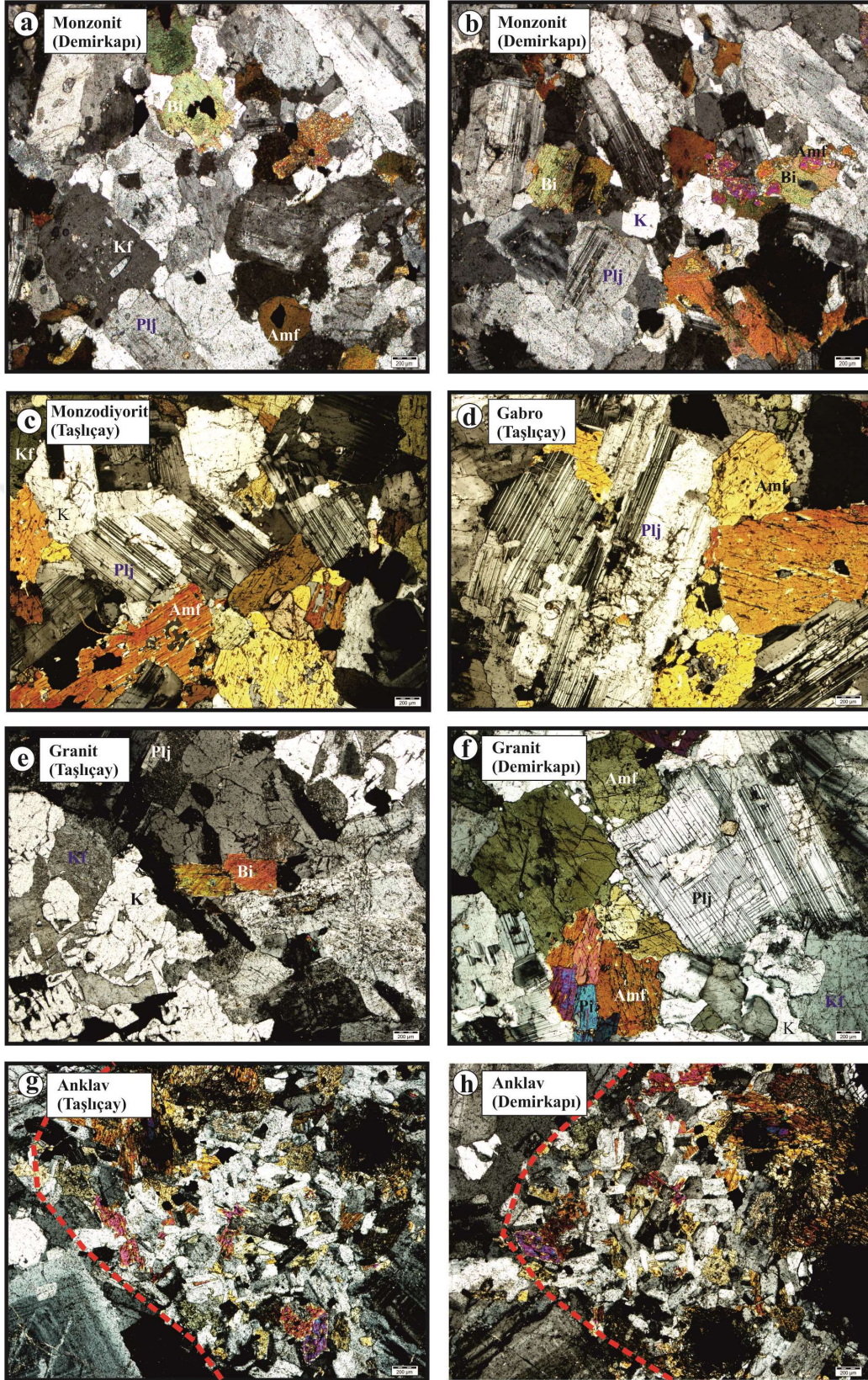
Bu araştırma projesinin arazi çalışmaları sırasında çalışma sahasının tamamından derlenen I-tipi granitoid kayaçlar, oldukça çatlaklı, kırıklı oldukları ve ticari anlamda blok vermeyen boyutlara sahip oldukları gözlenmiştir (Şekil 3a-b). Paleozoyik temele ait amfibolitleri ve Geç Kretase volkanik birimleri keserek yüzeyleme vermişler ve Kuvaterner çökeller tarafından çoklukla örtülmüşlerdir. Sahada gözlenen yoğun kırıntılı örtü, dokanak ilişkileri takibini zorlaştırmıştır. Ancak, özellikle vadi içlerinde gözlenen nadir dokanak lokasyonu ilişkilerinden kayaçların net bir şekilde yan kayaçları kestikleri anlaşılmıştır. Kesme dokanağının takip edildiği kısımlarda metamorfik doku ve yapılar rastlanmamıştır. Dokanaklarda cevherleşme izleri belirlenmemiştir. Yan kayaçlarla kesme dokanak ilişkilerine bakıldığında, kuzeyde, Sakarya Zonu'nda yaygın olarak bulunan I-tipi granitoid kayaçlar ile benzerlik sunarlar. Yani sıcaklık-yan kayaç etkileşimleri her iki kayaç grubunda hemen hemen oldukça benzerdir. Oldukça ayrılmamış yüzeylemelere ilave olarak arenalaşmış yüzeylemeler şeklinde de gözlenmektedirler (Şekil 3a-b). Kayaçlardan toplanan el örnekleri üzerinde yapılan çalışmalarda (Ek 1.); kayaçların genellikle orta taneli, yer yer ince taneli dokusal özellikler gösterdikleri gözlenmiştir (Şekil 3c-f).

İncelenen I-tipi granitoyid kayaçlar, magma karışımlarına işaret eden elipsoidal ve genellikle 20 cm den daha küçük mafik mikrogranular anklavlar içerirler (Şekil 3c-d).

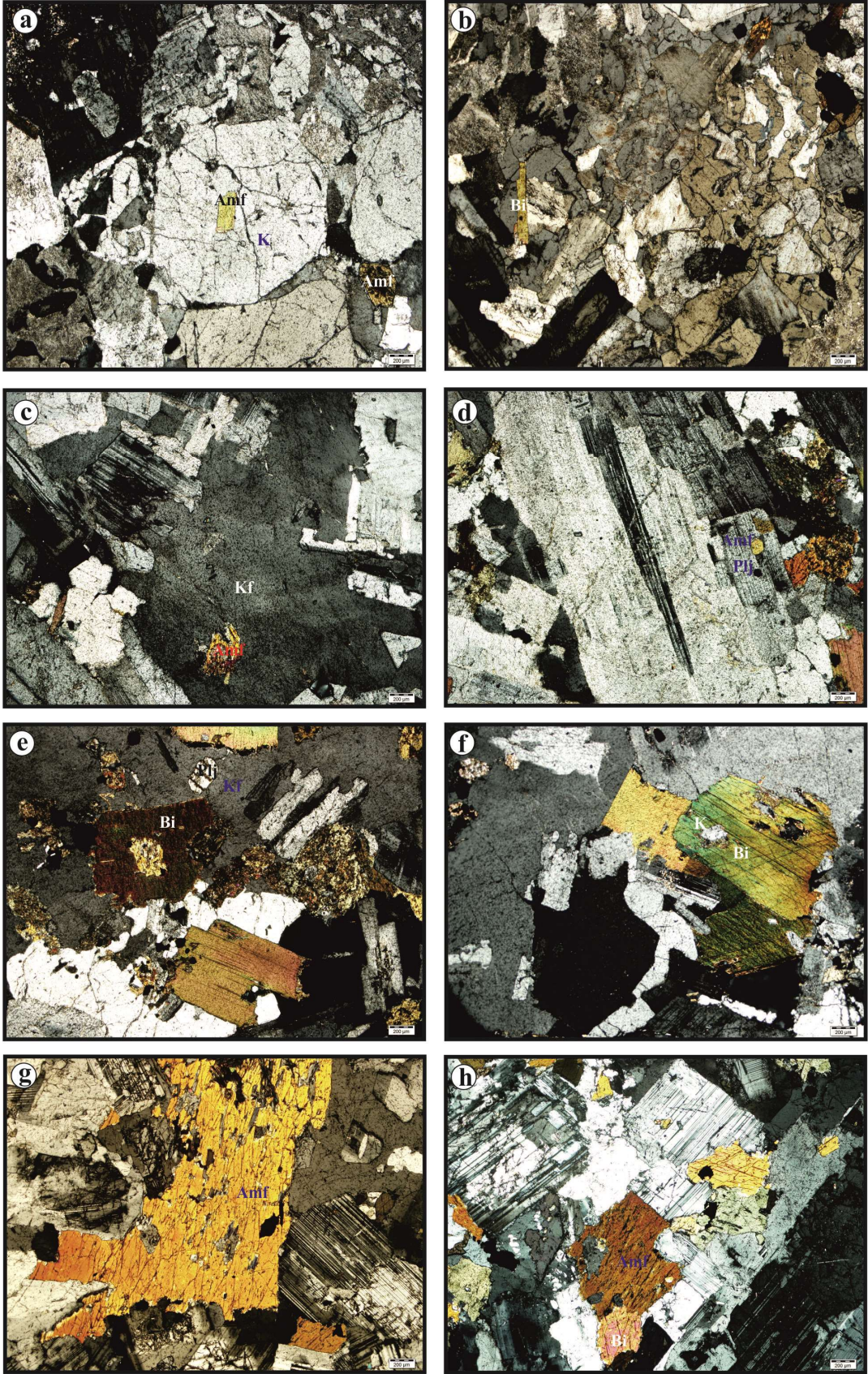
Mikroskobik incelemeler neticesinde, Demirkapı ve Bezirhane Plütonlarının makroskobik ve mineralojik özelliklerinin birbirlerine çok benzer olduğu kayaçların genellikle granit, siyenit, monzonit, monzonit diyorit ve gabro bileşimli oldukları belirlenmiştir. Kayaçlar çoklukla tek düze bir mineral birlikteliğine sahip olup; feslik minerallerden kuvars ve plajiyoklas, mafik minerallerden ise biyotit, amfibol ve çok az miktarda klinopiroksen içerirler (Şekil 4a-f). Tali mineral olarak; sfen, apatit, Fe-Ti oksitler ve zirkon gözlenmiştir. Mafik mikrogranular anklavlar ise; ana kayaçları ile benzer mineral parajenezi içermekle birlikte, mafik silikatları oldukça yaygındır. Ana kayaçlarına göre oldukça ince danelidirler ve ana kayaç anklav dokanakları belirgindir. Dokanaklarında kesinlikle metamorfik izler gözlenmemiştir (Şekil 4g-h). Ana kayaçlar içerisinde magma karışımlarına işaret eden poikilitik dokusal görünüm ve bıçağımsı biyotitler çok yaygındır (Şekil 5a-h). Sığ sokulumlara işaret eden kuvars feldispat birlikteliği yaygın gözlenen bir dokusal karakterdir (Şekiller 4e ve 5b). Amfiboller, biyotitlere nazaran kayaçlarda daha az gözlenmektedir. Genellikle lataması tıknaz ve yarı öz şekilli kristaller halinde gözlenirler (Şekiller 4 ve 5). Klinopiroksenler, lokasyonlara bağlı olarak çok az gözlenmektedir. Fe-Ti oksitler birçok kayaçta diğer mafik ve feslik silikatlar içerisinde öz şekilsiz kapanımlar olarak gözlenirler (Şekiller 4 ve 5).



Şekil 3. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın; (a-b): saha görünümleri ve kırık sistemleri, (c-f): kayalarda yaygın gözlenen mafik mikrogranular kayaç kapanımları ve genel görünüşleri.



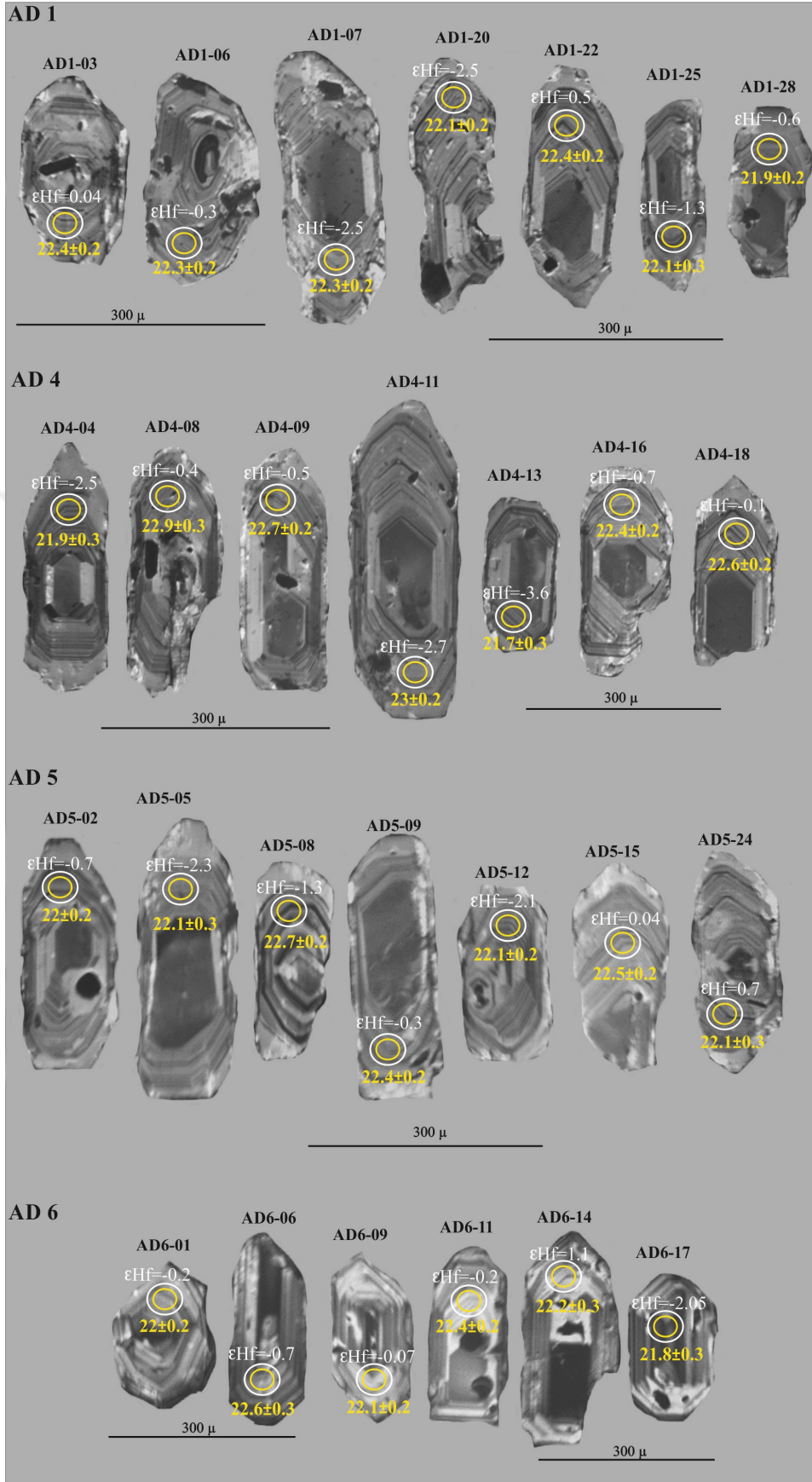
Şekil 4. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütönları'nın; (a-f) ana kayaç dokusal özellikleri, (g-h) mafik mikrogranular anklav dokusal özellikleri ve ana kayaç ilişkileri. Çizgisel ölçek: 200µm dir. Polarizan mikroskop görüntüleri çift nikolde elde edilmiştir.



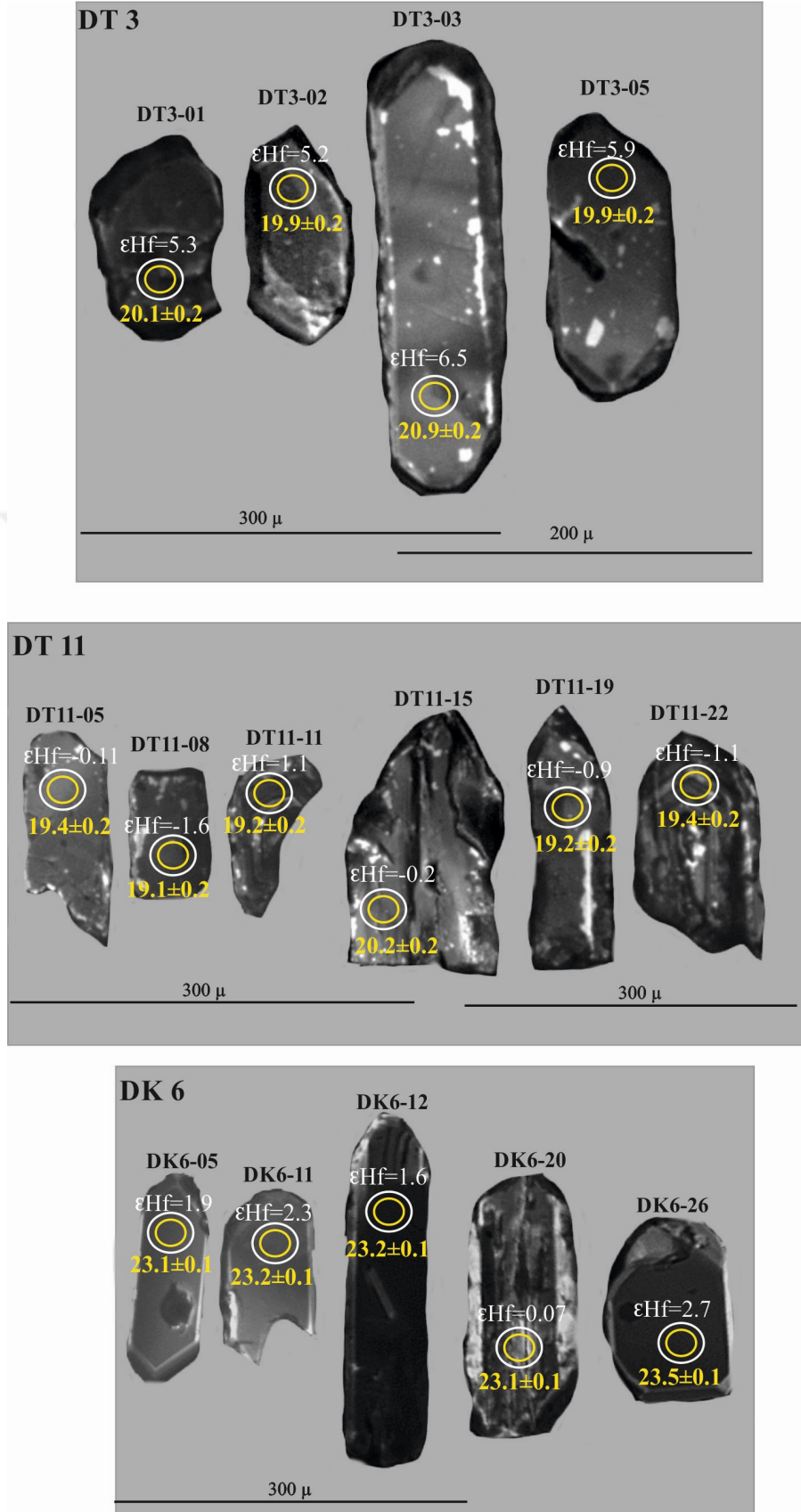
Şekil 5. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nda magma karışım izlerini yansıtan dokusal özellikler. Çizgisel ölçek: 200µm dir. Polarizan mikroskop görüntüleri çift nikolde elde edilmiştir.

3.3. LA-ICP-MS Zirkon U-Pb Jeokronolojisi

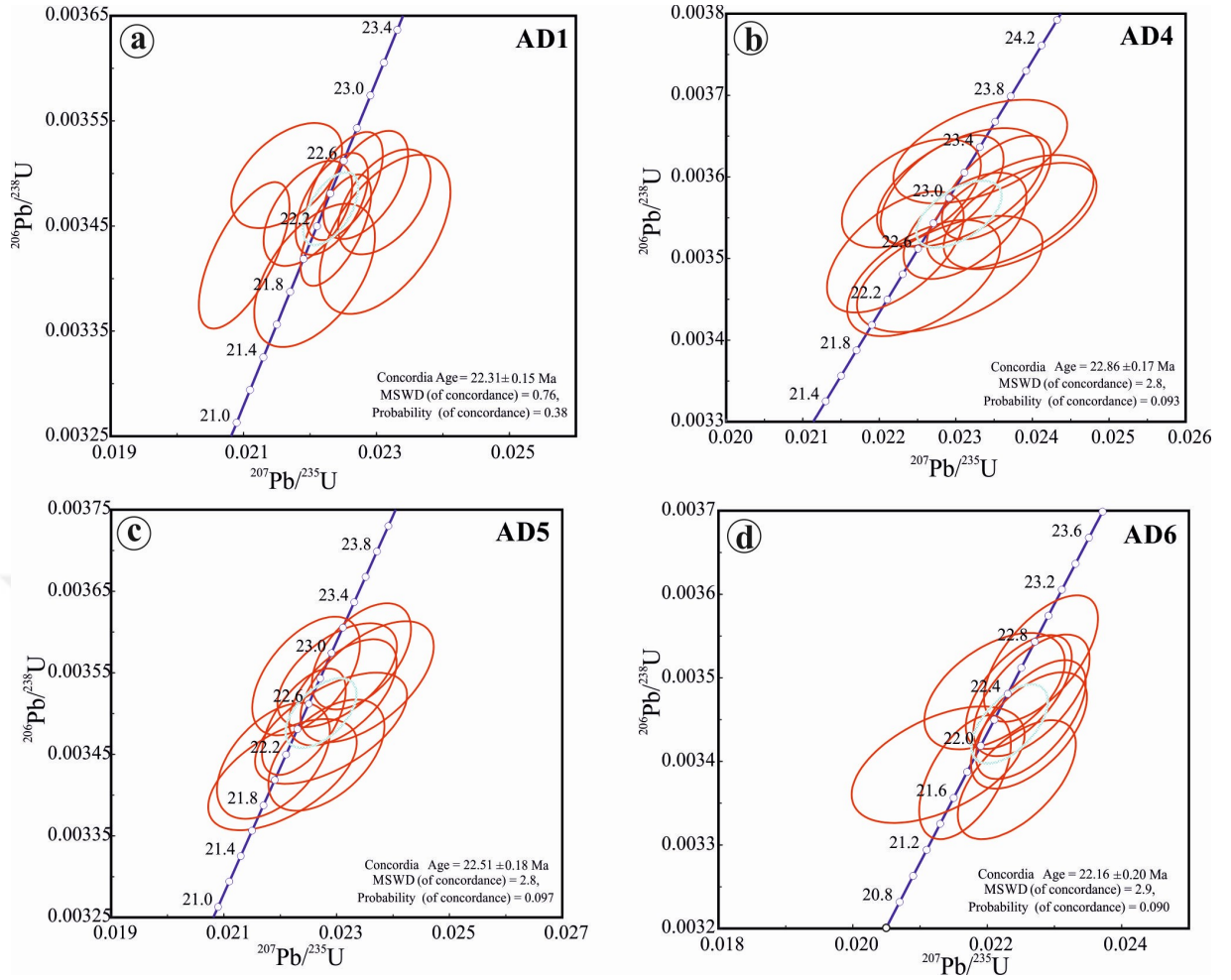
Demirkapı ve Bezirhane plütonları'nda LA-ICP-MS zirkon U-Pb yaşlandırması gerçekleştirilebilmesi için, 9 adet granitoyid örneğinde yeterli miktarda magmatik zirkon kristali ayırtlanmıştır. Zirkonların genel karakterleri incelendiğinde, boylarının 300µm ye kadar ulaştıkları ve genellikle renksiz, kısa prizmatik oldukları ve kalıntı çekirdeklere sahip olmadıkları anlaşılmıştır. Elde edilen zirkon kristallerinin çoğu, magmatik kökeni işaret eden (Pupin, 1980) salınım zonlanma sunmakla birlikte, genellikle pramidal sonlanmalar sunan uç kısımlara sahiptirler (Şekiller 6 ve 7). Bu özellikleri, zirkonların magmatik kökenli olmalarına delil kabul edilmektedir (Pupin, 1980). Zirkonların katodoluminesans görüntüleri, hemen hemen hiç kalıntı çekirdek içermediklerini ortaya koymaktadır (Şekiller 6 ve 7). Söz konusu dokuz farklı kayaktan ayırtlanan farklı kristallerden 10 dan fazla nokta ölçülmüştür. Zirkon LA-ICP-MS U-Pb yaşlandırma sonuçları, Ek 1'de verilmiş olup, sonuçlar, konkordiya diyagramında gösterilmiştir (Şekiller 8 ve 9). Demirkapı plütonu'ndan toplam 4 örnekten elde edilen $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ağırlıklı yaşı; 22.16 ± 0.20 ila 22.86 ± 0.17 My (MSWD= ~ 2.5) arasındadır (Şekil 8a-d). Taşıçay plütonu'ndan toplam 3 örnekten elde edilen $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ağırlıklı yaşı; 19.71 ± 0.13 ila 22.44 ± 0.28 My (MSWD= ~ 2.6) arasındadır (Şekil 8e-g). Bezirhane plütonu'ndan toplam 2 örnekten elde edilen $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ağırlıklı yaşı; 22.82 ± 0.19 ila 23.33 ± 0.12 My (MSWD= ~ 1.1) arasındadır (Şekil 9a-b). Tüm bu jeokronolojik bulgular, stratigrafik ve jeolojik saha bulguları ile uyumlu olmakla birlikte, I-tipi granitoyidlerin, Orta Miyosen çarpışma sonrası ortamda oluşmuş volkanitleri kesmedikleri ve bu kayaç grubundan önceki jeodinamik olayla ilgili oldukları anlaşılmıştır.



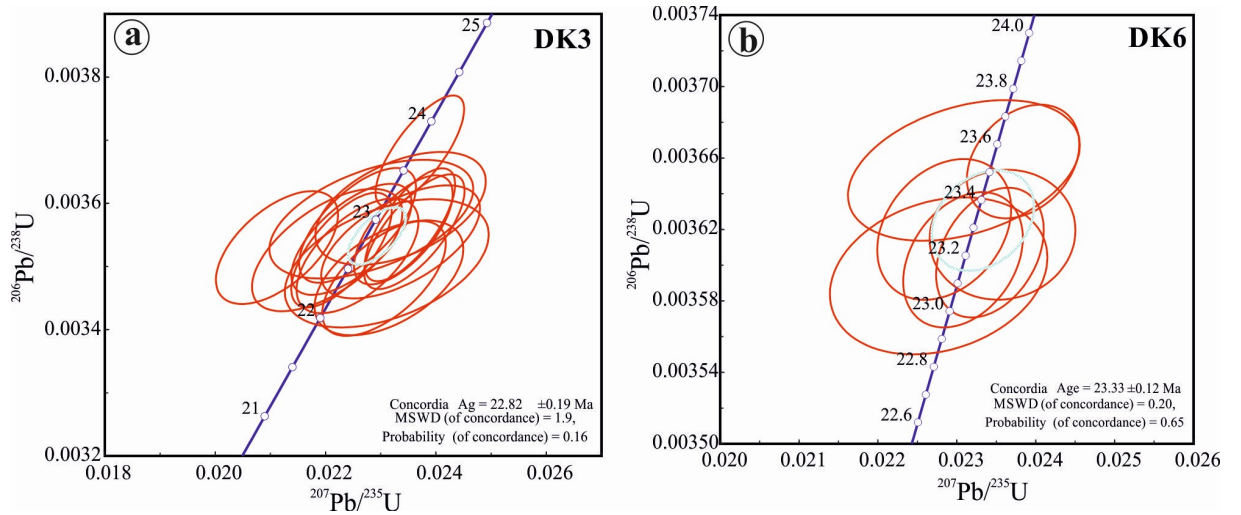
Şekil 6. Demirkapı plütünü'na ait zirkonların katolüminesans görüntüleri ve analiz noktaları.



Şekil 7. Bezirhane plütonları'na ait zirkonların katolüminesans görüntüleri ve analiz noktaları.



Şekil 8. Demirkapı plütonları'nın zirkon U-Pb konkordiya yaş diyagramları.

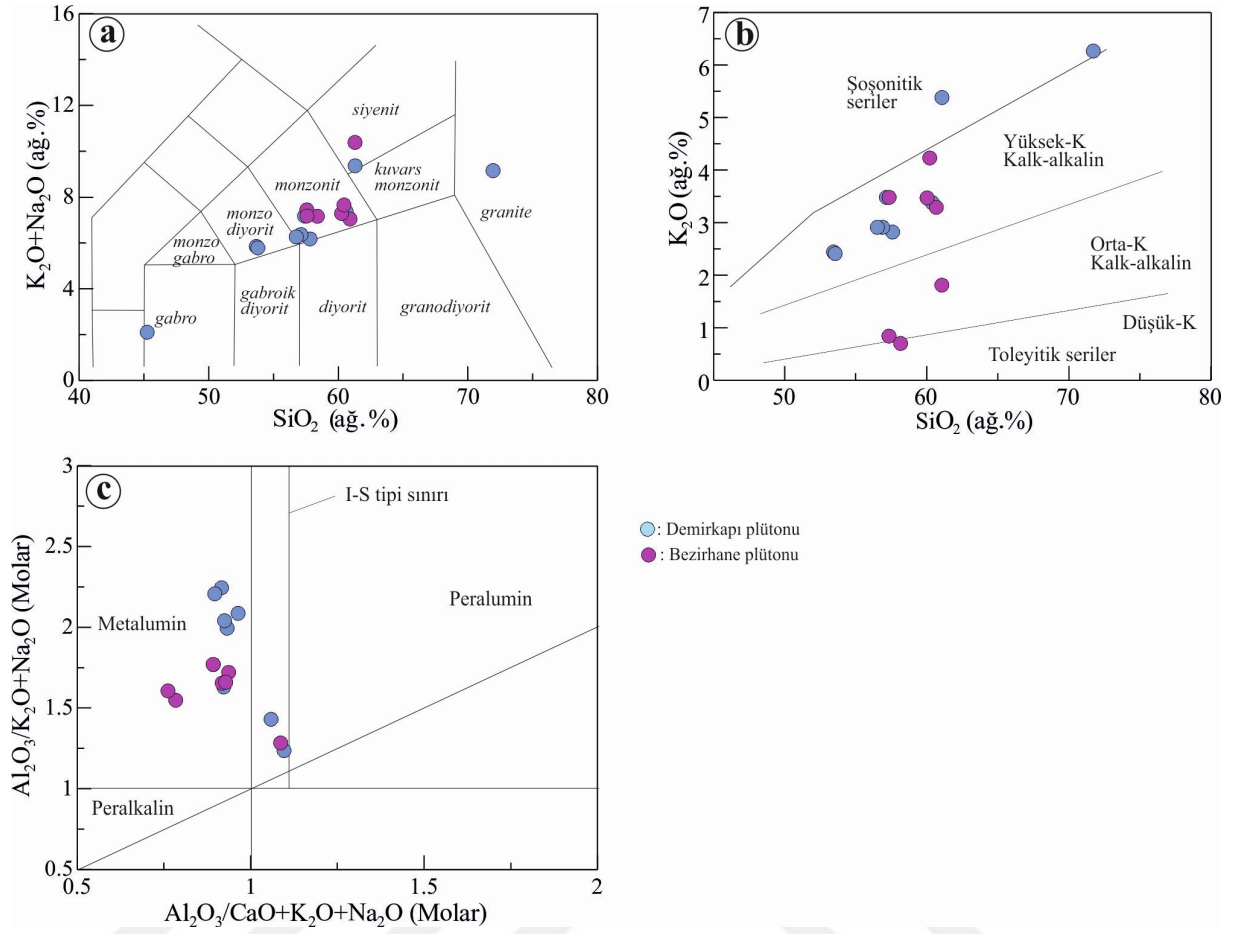


Şekil 9. Bezirhane plütünü'nün zirkon U-Pb konkordiya yaş diyagramları.

3.4. Jeokimya

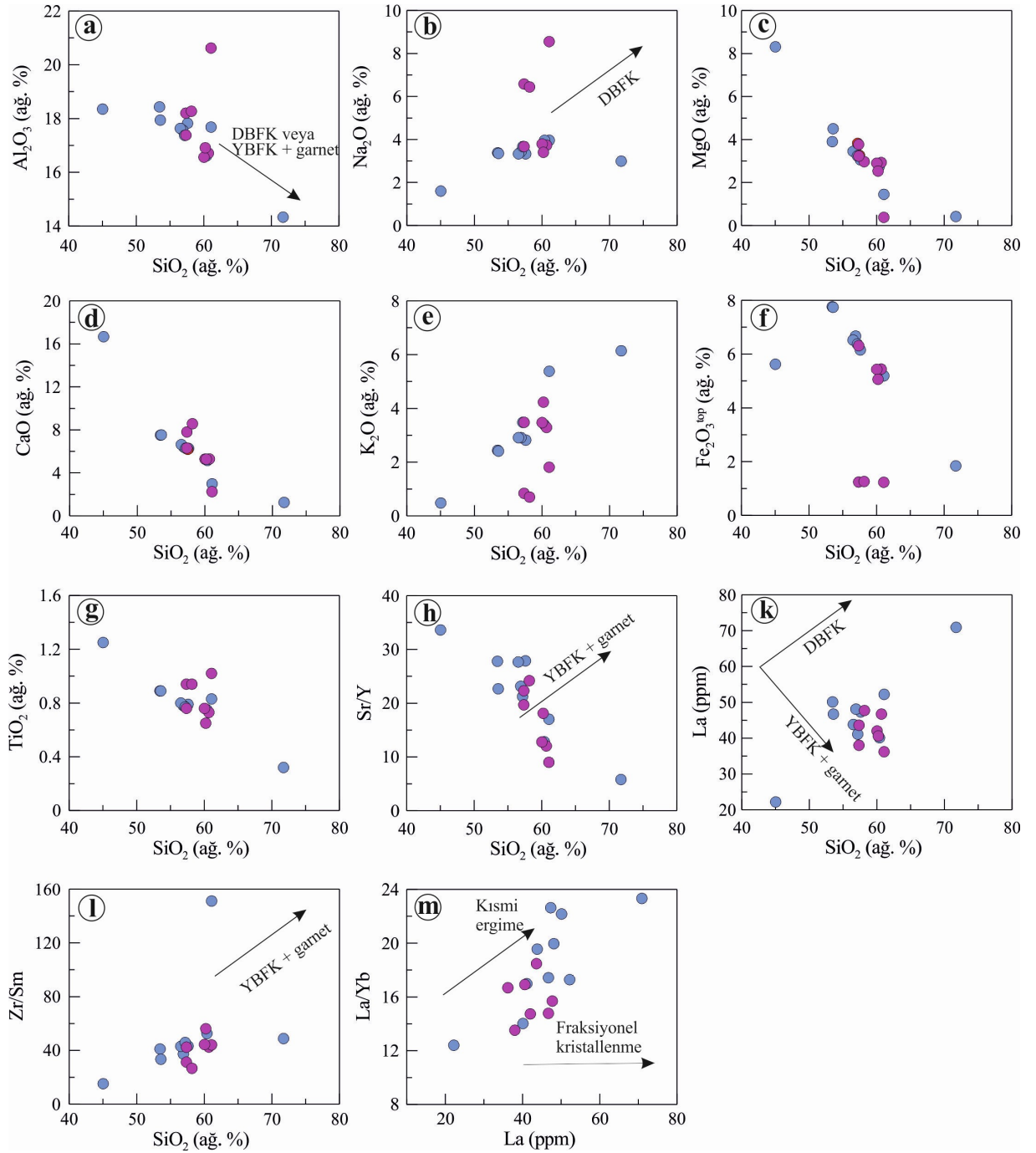
3.4.1. Ana ve İz Element Jeokimyası

Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı içinde, kuzey-güney yönlü bir hat boyunca bir kuşak şeklinde uzanım gösteren plütonizma içerisinde ayırtlanan Demirkapı ve Bezirhane plütonları'nda ana ve iz element analizleri gerçekleştirilmiştir. Plütonlardan analiz edilen tüm örneklerin, Middlemost (1994) diyagramında granit, siyenit, monzonit ve monzo diyorit ve gabro bileşimli kayaçlar alanına düştükleri gözlenmiştir (Şekil 10a). Kayaçlar çoklukla metalumin karakter sunmakla birlikte, peralumin kimyasal karaktere doğru geçişli özellikler sunmaktadırlar (Şekil 10c). Alkali doygunluk indeksleri (ADI) [= molar $Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$] ise, 0.55 ile 1.04 arasında değişmektedir. Örnekler, belirgin bir şekilde, Orta-K kalk-alkalin karakterden şoşonitik karaktere doğru değişim göstermektedirler (Şekil 10b). Toplam alkali ve silisyum bakımından zengin olan bu kayaçların SiO_2 içerikleri ağırlıklı olarak 45 ile 71 arasında değişim sunmaktadır. Kayaçlar, orta-yüksek Mg# (31-75) değerine sahip oldukları anlaşılmıştır. Al_2O_3 (%) içerikleri, 14.33 ile 20.62 aralığında olup, Ni (ppm) içerikleri genellikle düşük olup 22 ile 76 arasındadır. Co (ppm) içerikleri, 13 ile 40 arasında değişim sunmaktadır (Ek 2). Düzgün değişimlerin varlığı yanısıra, değişim sunmayan ilişkilerin de gözlemlendiği harker diyagramlarında en belirgin husus, belirli silisyum değeri aralıklarında kimyasal boşlukların gözlenmemiş olmasıdır (Şekil 11a-m). Bu düzgün değişimler daha sonradan da tartışılacağı üzere, plajiyoklas, amfibol ve sfen kristal fraksiyonlaşmasına işaret eden veriler olarak tartışılacaktır. İkili değişim (Harker) diyagramlarında kimyasal boşluğun oluşmamış olması, kayaçların oluşumu sırasında kabuksal kirlenmenin minimum düzeylerde ya da ihmal edilebilir olduğuna işaret etmektedir.

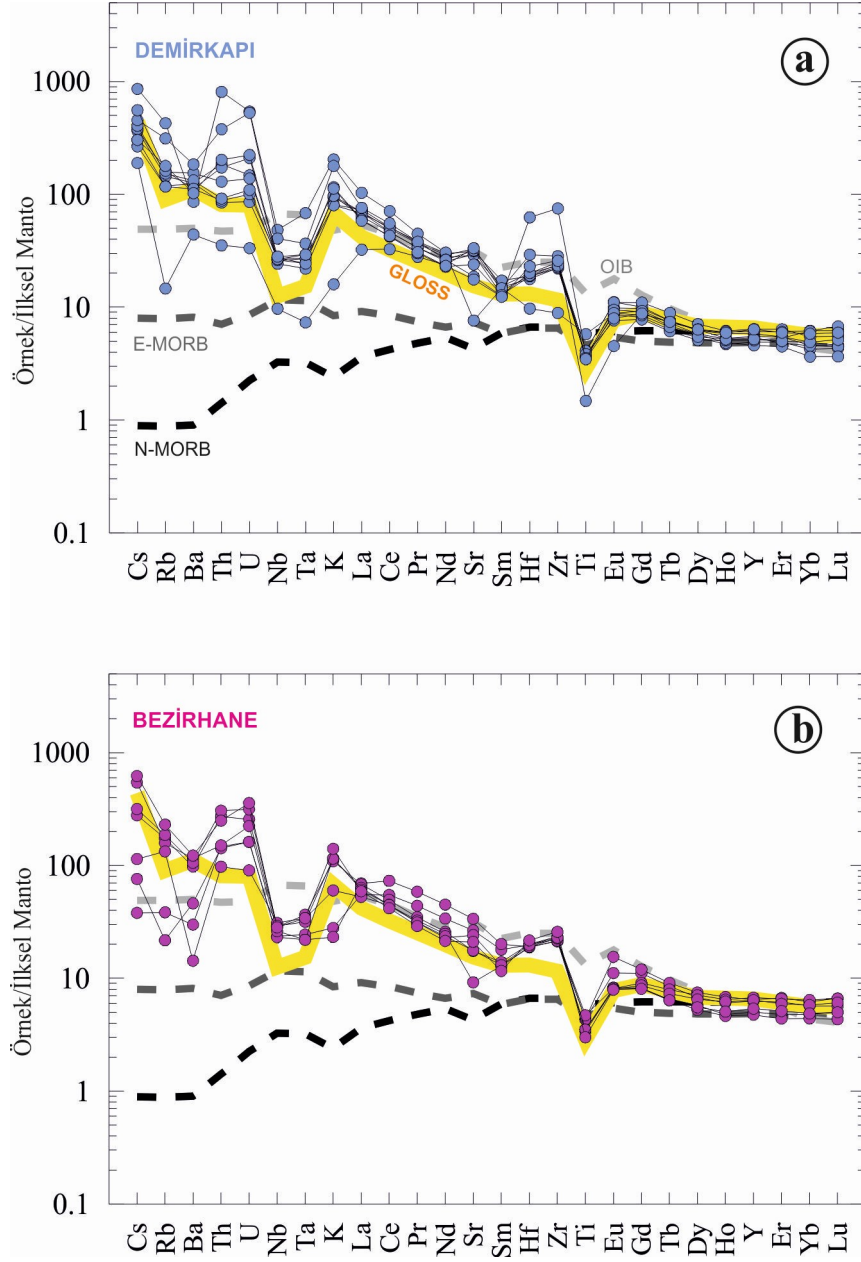


Şekil 10. Demirkapı ve Bezirhane plütonları'nın; (a) toplam alkali içeriklerine karşın SiO_2 diagramındaki (Middlemost, 1994) yeri, (b) K_2O içeriklerine karşın SiO_2 değişim diyagramlarındaki (Peccherillo ve Taylor, 1976) dağılımları (c) $Al_2O_3/(K_2O + Na_2O)$ (molar) değerine karşın alkali doygunluk indeksi diyagramındaki (Maniar ve Piccoli, 1989).

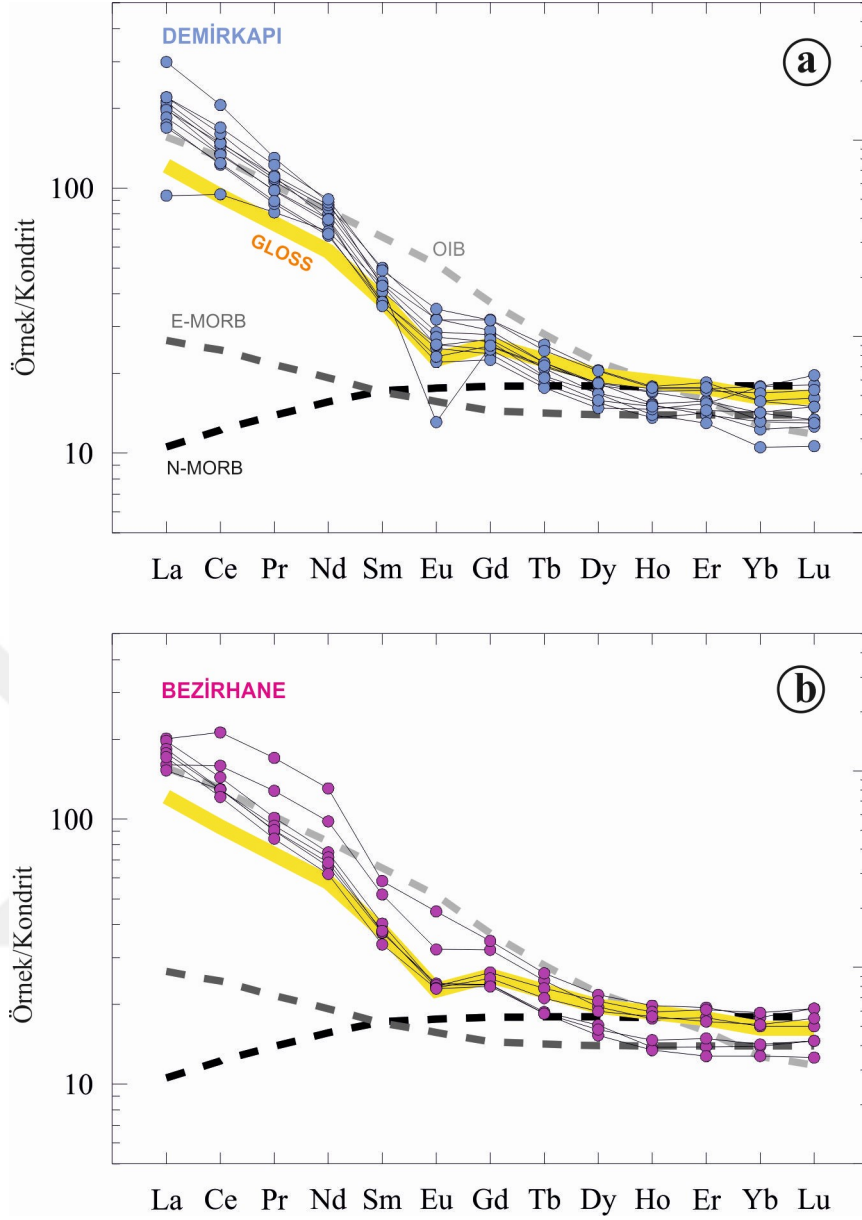
DAYK içinde güneyden kuzeye doğru yayılım gösteren şoşonitik ve orta-K kalk-alakalen karakter geçişli bu kayalar, negatif Nb-Ta, Ti ve Eu yösemeleri göstermektedirler (Şekil 11a-c). İlksel Manto normalize iz element modelleri, tüm örneklerin büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (BİYLE, Rb, Ba ve Th) zenginleştiği ve yüksek alan enerjili elementlerce (YAEE, Nb ve Hf) tüketilmiş olduklarını göstermektedir (Şekil 11a-c). Nadir toprak element dağılımlarına bakıldığında (Şekil 12a-c), hafif nadir toprak elementleri (HNTE) ağır nadir toprak elementlere (ANTE) göre zenginleşmiş oldukları gözlenmektedir. Normalize La/Yb değerleri 8.1 den 16.7'ye kadar değişim sunarken; La/Lu değerleri ise 9.7 den 16.5'e kadar değişim sunmaktadır. Eu/Eu* oranları 0.40 ila 1.0 arasında değişmekte olup, çoklukla 0.85'den küçüktür (Ek 3). Ağır nadir topraklarda çok zayıf içbükeylik gözlenmektedir (Şekil 12a-c).



Şekil 11. Demirkapı ve Bezirhane plütönlüğü'nün; (a) SiO_2 içeriklerine karşın Al_2O_3 içerikleri, (b) SiO_2 içeriklerine karşın Na_2O içerikleri, (c) SiO_2 içeriklerine karşın MgO içerikleri, (d) SiO_2 içeriklerine karşın CaO içerikleri, (e) SiO_2 içeriklerine karşın K_2O içerikleri, (f) SiO_2 içeriklerine karşın toplam demir oksit içerikleri, (g) SiO_2 içeriklerine karşın TiO_2 içerikleri, (h) SiO_2 içeriklerine karşın Sr/Y oranları, (i) SiO_2 içeriklerine karşın La içerikleri, (l) SiO_2 içeriklerine karşın Zr/Sm oranları değerleri, (m) La/Yb oranlarına karşın La değerleri değişim diyagramları.



Şekil 12. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait kayaçların ilksel manto'ya göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş çoklu element modelleri.



Şekil 13. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait kayaçlarının kondritte göre (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş nadir toprak element modelleri.

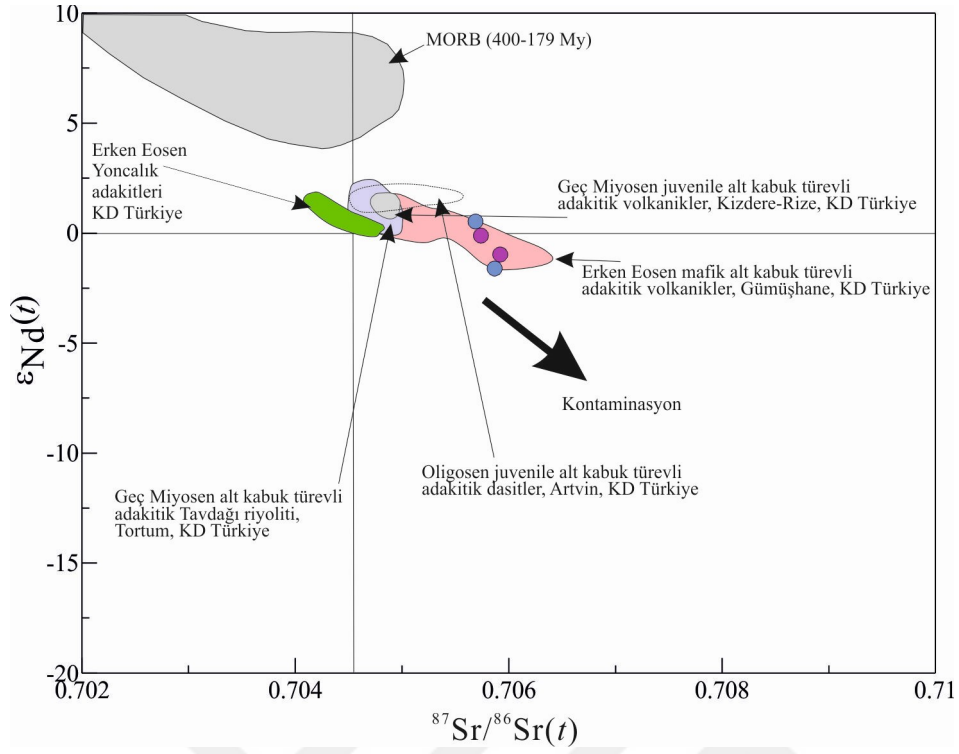
3.4.2. Tüm Kayaç Sr-Nd İzotop Bileşimleri

DAYK içerisinde ve karmaşığın kuzey kesimlerinde yüzeyleme veren Demirkapı ve Bezirhane plütonları mineralojik ve jeokimyasal açıdan önemli farklılıklar göstermemekle birlikte; izotopik bileşimleri bakımından da çok belirgin farklılıklar sunmazlar. İncelenen kayaçlarda, en az farklılaşmamış örnekten en fazla farklılaşmış örneğe kadar seçilen numunelerde yapılan Rb-Sr ve Sm-Nd analizleri neticesinde, bu kayaçların; göreceli ortalık I_{Sr} değerleri (0.70522-0.70591) ve düşük ϵ_{Nd} (22 My) değerlerine (-1.7 ila 0.9) sahip oldukları anlaşılmıştır (Ek 3). Tüketilmiş manto yaşları

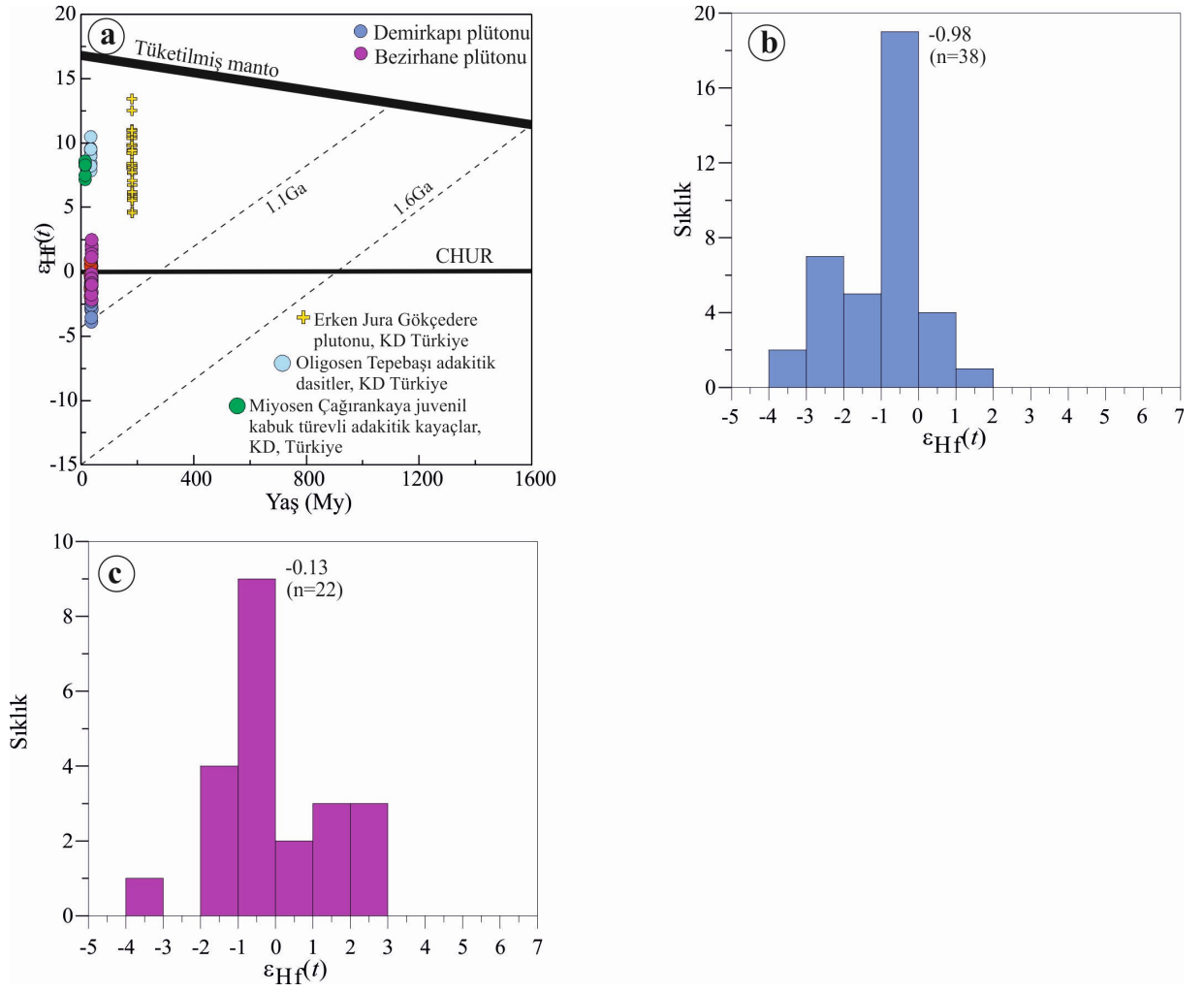
[$T_{DM}(Ga)$] 0.71 ila 0.89 arasındadır. Kayaçlar, yaygın kullanılan izotop diyagramında, hafif negatif yönseme göstermekle birlikte, diyagramın sağ kadranında yer alırlar (Şekil 14). Örnekler, çalışılan plütonların kuzeyinde ve yakın bir sahada, Sakarya Zonu'nun doğu kesiminde lokal olarak gözlenen erken Eosen yaşlı alt kabuk türevli adakitik kayaçlar (Karlı vd., 2010), Erken Eosen Yoncalık adakitik volkanitleri (Dokuz vd., 2013), Geç Miyosen yaşlı alt kabuk türevli adakitik riyolitleri (Dokuz vd., 2013), Geç Miyosen yaşlı juvenil alt kabuk türevli adakitik İkizdere volkanitleri (Karlı vd., 2019) ve Oligosen yaşlı juvenil alt kabuk türevli adakitik dasitler (Karlı vd., 2020b) ile çok benzer alanlara düşmüşlerdir. 400-179 milyon yıl yaşlı MORB (Mahoney vd., 1998; Xu vd., 2003) referans alan olarak kullanılmıştır.

3.4.3. Zirkon Lu-Hf İzotop Bileşimleri

DAYK'nın kuzey kesiminde sokulum yapmış, Demirkapı ve Bezirhane Plütonların alınan örneklerin zirkon kristallerinde Hf izotop sistematiğlerinin belirlenmesi için analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz değerleri Ek 4 de verilmiştir. $\epsilon_{Hf}(t)$ değerlerine karşın yaş değişimi ve histogramlar Şekil 15a-d de gösterilmiştir. Demirkapı plütonundan derlenen zirkonlarda 38 ölçüm gerçekleştirmiş olup; ilksel $^{176}Hf/^{177}Hf$ oranları 0.282668'den 0.282788'e ve $\epsilon_{Hf}(t)$ değeri ise; -3.64'den 1.10'a değişim sunmaktadır. Hf manto model yaşları (T_{DM2}), 984 ila 1280 My arasında değişmektedir. Taşılay plütonu'nda gerçekleştirilen 24 analiz benzer değerler sunmakla birlikte; ilksel $^{176}Hf/^{177}Hf$ oranları 0.282726'dan 0.282957'ye ve $\epsilon_{Hf}(t)$ değeri ise; -1.66'dan 6.56'ya değişim sunmaktadır. Hf manto model yaşları (T_{DM2}), 641 ila 1155 My arasında değişmektedir. Bezirhane plütonu'nda gerçekleştirilen 22 analiz benzer değerler sunmakla birlikte; ilksel $^{176}Hf/^{177}Hf$ oranları 0.282681'den 0.282847'ye ve $\epsilon_{Hf}(t)$ değeri ise; -3.18'den 2.72'ye değişim sunmaktadır. Hf manto model yaşları (T_{DM2}), 911 ila 1251 My arasında değişmektedir. $\epsilon_{Hf}(t)$ değerine karşın kristalizasyon yaş diyagramında, örnekler, CHUR çizgisine yakın alanda toplanmışlardır (Şekil 15a). Zirkonların homojen $\epsilon_{Hf}(t)$ değerleri, benzer kaynağa işaret etmektedir.



Şekil 14. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait örneklerin konvensiyonel Nd-Sr izotop diyagramındaki konumları.



Şekil 15. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütönları'na ait örneklere ait zirkonların; (a): $\epsilon_{\text{Hf}}(t)$ değerine karşın kristalizasyon yaşları diyagramı, (b-c): histogram diyagramları.

3.5. Kristallenme Koşulları

3.5.1. Zirkon Doygunluk Jeotermometresi

T_{Zr} doygunluk termometresi, granitik ergiyikler için kullanılan ve güvenilir sonuçların elde edildiği bir petrolojik termometre çeşididir. İlk defa, Watson ve Harrison (1983) tarafından önerilmiş ve özellikle I-tipi ve A-tipi granitik ergiyiklerin birbirinden ayırtlanmasında yaygın olarak kullanılmıştır. Söz konusu jeotermometre tahminine göre, eğer bir granitik ergiyik Zr'a doygun halde ise, bu ergiyiğin sıcaklığı, oluşturduğu ürünün Zr içeriği ve ana oksit bileşimleri kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bu bağlamda, DAYK'ın kuzey kesimlerinde sokulum yapan ve bu araştırma projesine konu seçilen I-tipi granitoyid kayalarda hesaplamalar gerçekleştirilmiş, hesaplanan zirkon doygunluk sıcaklıklarının (T_{Zr}) 580 ila 847 °C arasında değiştiği anlaşılmıştır. Ancak burada unutulmaması gereken önemli durum ise, söz konusu jeotermometrenin uygulanabilme şartlarının sağlanmasıdır. Şöyleki, kayaların içermiş olduğu zirkon minerallerinde zirkon kalıntı çekirdeklerinin % 10'dan daha az olması, sağlıklı tahmin için gerek şart olarak kabul edilmektedir (Miller vd., 2003). Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait kayalarının LA-ICP-MS zirkon U-Pb yaşlandırmaları sırasında, derlenen zirkonlarda, kalıntı çekirdeklere rastlanmamış olması, zirkon doygunluk termometresinin güvenilir sonuçlar ürettiğine işaret etmektedir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

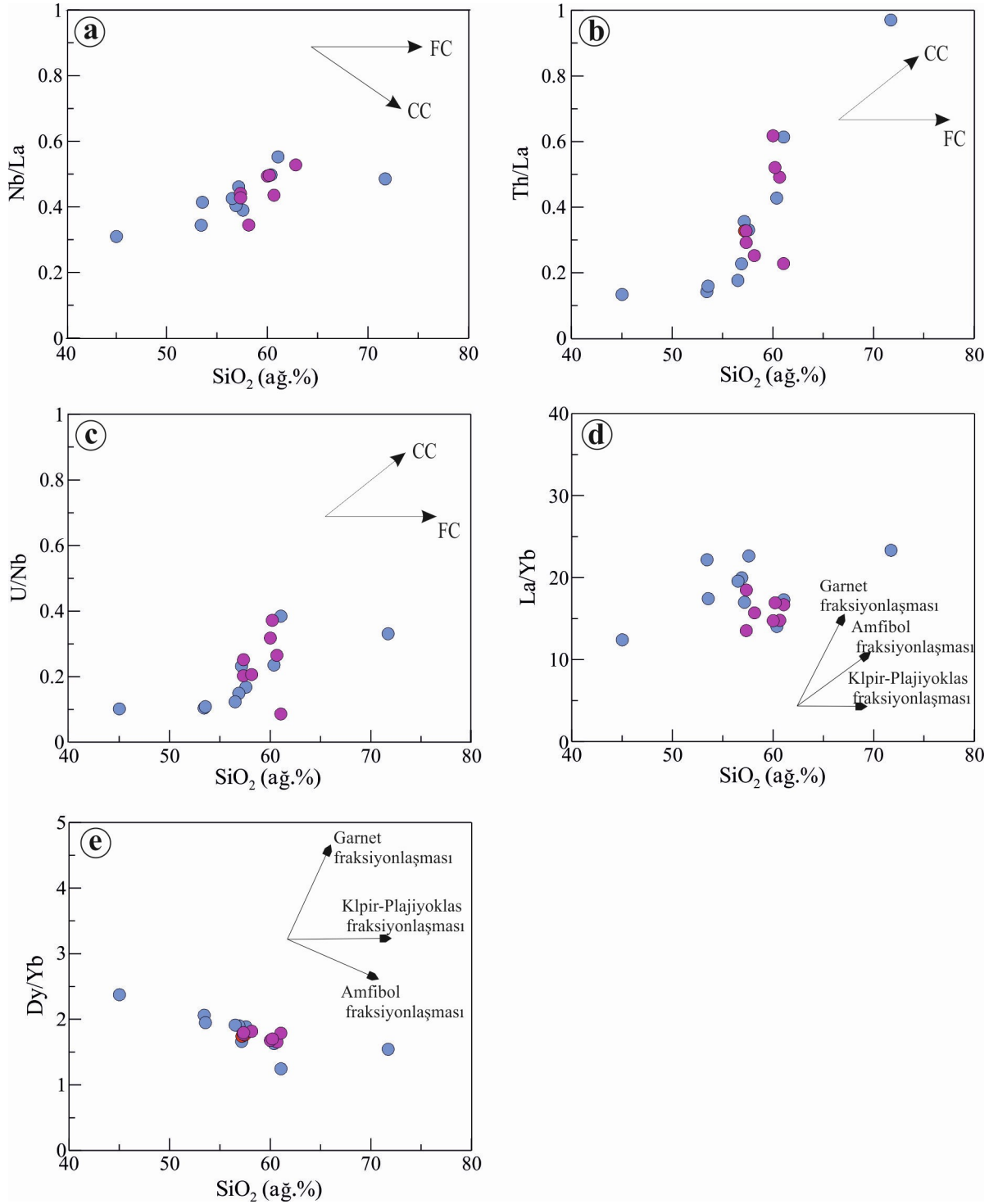
4.1. I-tipi Erken Miyosen Plütonları'nın Petrojenezi

Yaygın olarak kabul görmüş modelere göre; I-tipi magmalar için, oluşumları ve geliştikleri jeodinamik ortamlar, oldukça tartışmalı olmakla birlikte günümüze kadar birçok çalışmaya konu olmuşlardır. Tüm bunlarla birlikte; bu magmaların oluşumları için oldukça fazla model önerilmiştir: 1) manto türevli alkalen bazaltik magmanın fraksiyonlaşmalarından (Turner vd., 1992; Han vd., 1997; Volkert vd., 2000), 2) manto ve kabuk türevli magmaların çeşitli oranlarda karışımı sonucunda (Poli ve Tommasini, 1991; Barbarin ve Didier, 1992; Wiebe, 1996; Altherr vd., 2000; Chen vd., 2002; Bonin, 2004; Karlı vd., 2007), 3) kabuksal kökenli kayaçların kısmi ergimesinden (Chappell ve White, 1992; Chappell, 1999) oluştukları çok sıkça savunulmuştur. Bu araştırma projesi sırasında elde edilen bulgular, bölgesel ve dünya literatürü kullanılarak, söz konusu kayaçların nasıl bir kaynaktan ne gibi bir jeodinamik ortamda türeyebilecekleri aşağıda detaylı olarak tartışılmaya çalışılmıştır.

4.2. Magma Farklılaşması ve Karışımı

Demirkapı, Taşlıçay ve Bezirhane plütonları'na ait kayaçların SiO_2 içerikleri 45 ila 71 arasında değişirken izotopik kompozisyonları bakımından oldukça homojen oldukları belirlenmiştir. $\text{Mg\#}$ numaraları bazik ilksel magmaya (> 65) göre düşük olup 31 ila 69 arasında değişim göstermektedir. Bu özellikleri ile kayaçları oluşturan magmanın bir miktar farklılaşma etkisine mağruz kaldığı anlaşılmıştır. İkili değişim diyagramlarında; artan SiO_2 içeriğine karşın, Al_2O_3 , MgO , CaO , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{top}}$ ve Sr/Y içeriklerinde oldukça düzgün negative yönsemeler gözlenirken; K_2O , Na_2O ve Zr/Sm değerlerinde pozitif yönseme belirlenmiştir (Şekil 11). Bu tür bir değişim, kayaçları oluşturan magmaların, amfibol, Fe-Ti oksit ve plajiyoklas kristal ayrımlaşmaları ile farklılaşmış olduğuna işaret etmektedir. Kayaçların çoklu element diyagramlarında göstermiş oldukları negatif Ti yönsemeleri (Şekil 12), Fe-Ti oksit ve sfen kristal ayrımlaşmasına işaret etmektedir. Ancak bu tür yönsemeler, kabuksal kirlenme sonucunda da ortaya çıkabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kayaçlar, Nb/La, Th/La ve U/Nb oranlarına karşın SiO_2 içerikleri değişim diyagramlarındaki yönsemeleri (Şekil 16a-c), fraksiyonel kristallenme ile birlikte, bir miktar kabuksal

kontaminasyonun varlığına işaret etmektedir. La/Yb ve Dy/Yb oranlarına karşın SiO_2 içerikleri değişimleri, amfibol, klinopiroksen, plajiyoklas kristal fraksiyonlaşmasının etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 16d-e).

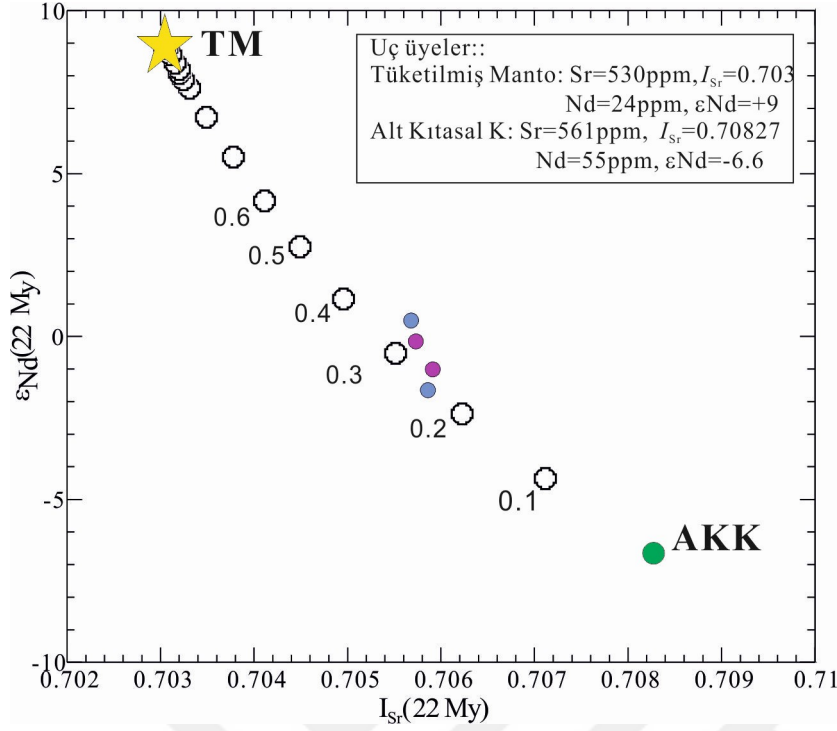


Şekil 16. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütönları'nın; a: Nb/La oranına karşın SiO_2 içeriği; b: Th/La oranına karşın SiO_2 içeriği; c: U/Nb oranına karşın SiO_2 içeriği; d: La/Yb oranına karşın SiO_2 içeriği; e: Dy/Yb oranına karşın SiO_2 içeriği değişim diyagramları.

Söz konusu Erken Miyosen plütonları'nda kümülat ve kalıntılara ait tipik özellikleri göstermeyen mafik mikrogranular kayaç kapanımları yaygındır. Mikroskobik tayinler, mafik mikrogranular kayaç kapanımlarının, magma karışımlarına işaret eden eş yaşlı magmaların varlığına ve karışım sonucu hibrit bir magmanın bu kayaçları oluşturduğuna delil kabul edilmiştir. Kayaçların yaygın bir biçimde kapanım dokusu (poikilitik) ve bıçağımsı mineral biçimleri gösterdiklerini ortaya koymuştur. İncelenen kayaçlardaki bu tür dengesizlik dokularının da magma karışımı sırasında oluşmuş olabilirler. Tüm mineralojik ve petrografik bulgular magma karışımına işaret bulgular olarak kabul edilebilir.

Yukarıda sözü edilen bulguları test etmek amacıyla, basit Sr-Nd izotopik modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bu modelde, örneklerin $\epsilon_{Nd}(22 \text{ My})$ değerlerine karşın $I_{Sr}(22 \text{ My})$ izotopik oranları kullanılarak geliştirilen hiperbolik eğri boyunca yönsemiş olmaları beklenir ve bu durumda iki uç üye katkısı hesaplanır. Modelleme diyagramında, bazik uç üye olarak, izotopik bakımdan tüketilmiş manto değeri kullanılırken, daha asidik uç üye, yani kabuk bileşeni olarak da, Köse plütonu'nda, Dokuz (2011) tarafından rapor edilmiş ve yersel alt kabuk karakteri sunan 42b nolu örneğinin izotopik oranları kullanılmıştır. Modellemede, bölgesel alt kabuk izotopik kompozisyonu verileri şimdiye kadar üretilemediğinden, kullanılan bileşimin bu değerleri temsil edeceği kabullenmesi yapılmıştır. İzotopik modellemenin sonuçları, Şekil 17'de gösterilmiştir. İzotopik modellemeden de anlaşılabileceği üzere, Erken Miyosen plütonları'na ait kayaçlar ağırlıklı biçimde magma karışımının varlığına delil sayılabilecek hiperbolik eğri üzerinde konumlanmışlardır. Söz konusu izotopik modelleme, plütonları oluşturan kayaçların, %70 ila %75 aralığında değişen oranlarda alt kabuktan türemiş olan magma ile, %30 ila %25 arasında değişen, kimyasal bakımdan zenginleşmiş ancak izotopik kompozisyonu bakımından kısmen tüketilmiş bir kıta altı litosferik manto kaynağından oluşan magmanın karışımıyla oluşmuş olabileceklerini göstermiştir (Şekil 17).

İzotopik modelleme sonuçları, kayaçların saha, petrografik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri de dikkate alındığında; Erken Miyosen plütonları'nın gelişimi sırasında en azından iki farklı magma kaynağının plütonların oluşumuna katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Karışıma uğrayan iki magmanın, hibrit bir ana magmayı oluşturduğu ve hibrit magmanın yükselim sırasında başkalaşarak geniş bir kompozisyon aralığı sunan Demirkapı ve Bezirhane plütonları'na ait I-tipi granitoidleri meydana getirdiği anlaşılmaktadır.

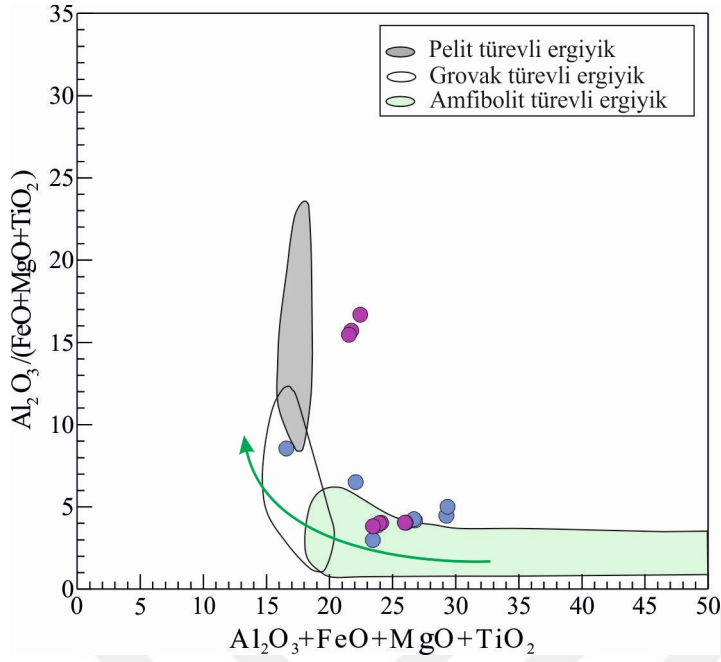


Şekil 17. Erken Miyosen plütonları'nın basit Sr-Nd izotopik modelleme diyagramındaki konumları.

4.3. Kaynak Kaya Özellikleri

Yaygın kabul gören modele göre, I-tipi magmalar, kabuk ve manto malzemesinin kısmi ergimesi sonucu (Chappell ve White, 1992; Turner vd., 1992; Han vd., 1997; Chappell, 1999; Volkert vd., 2000) ya da bu iki ergiyiğin karışarak hibritleşmesi neticesinde oluştukları kabul edilmektedir (Poli ve Tommasini, 1991; Barbarin ve Didier, 1992; Wiebe, 1996; Altherr vd., 2000; Chen vd., 2002; Bonin, 2004; Karşı vd., 2007). DAYK'ın kuzey kesimlerinde kuzey güney yönlü bir kuşak halinde sokulum yapmış olan orta-K kalk-alkalinden şoşonitik metalumin karaktere doğru değişim gösteren I-tipi granitoidlerin mineral parajenezleri, kuzeyde Sakarya Zonu'ndan gözlenen Geç Kretase yaşlı yitim ilişkili I- ve A-tipi granitler ile oldukça benzerlik sunmaktadır. DAYK'ın kuzey kesiminde yüzeylenmiş bu I-tipi kayalardan derlenen örnekler, birbirleriyle çok benzer, orta radyojenik $I_{Sr}(22 \text{ My})$ (0.70522-0.70591) izotopik oranlar sunarlar. Erken Miyosen plütonların Mg# değerlerinin genellikle 31 ila 69 arasında olması, bu kayalarda daha ziyade kabuksal kaynak türevli kaynak katkısının fazla olabileceğine işaret sayılmaktadır. Bu değerler, kayaların sadece manto malzemesinden türemiş olma ihtimallerini zayıflatmaktadır. Bununla birlikte, kayalardan derlenen zirkonların $\epsilon_{Hf}(t)$ değerleri; -3.64'den 6.56'ya kadar değişim

sunar ve bu oranlar yalnızca manto ve kabuk türevli magmalar ile uyumlu değillerdir. Patiño Douce (1999) tarafından yapılan ve deneysel olarak türetilmiş ergiyikler ile Erken Miyosen granitoid örnekleri ile karşılaştırıldığında, Ağrı yöresi örneklerinin düşük $Al_2O_3/(FeO+MgO+TiO_2)$ oranı ve yüksek $Al_2O_3+FeO+MgO+TiO_2$ değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Ağrı yöresi örneklerinin bu karakterleri, amfibolit türevli deneysel ergiyikler ile benzerlik sunmaktadır (Şekil 18). Fakat bütün mineralojik, petrografik bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kayaçların tamamıyla kıtasal bir kaynaktan türemedikleri azda olsa manto türevli ergiyiklerin de kayaçların oluşumuna katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır. Ağrı yöresi örneklerinde belirlenen; kapanım dokular ve bıçağımsı yapılar ile mafik mikrogranular kayaç kapanımları, en azından var olan iki magma kaynağının en önemli delili olarak kabul edilebilir. Erken Miyosen plütonları'ndan derlenen numuneler, büyük iyon yarıçaplı (Rb, Ba, Sr, Th ve K) ve hafif nadir toprak elementlerce (La, Ce) zenginleşmiş ve yüksek alan enerjili elementlerce (Nb, Ti) tüketilmiştir. Kayaçların Ni içerikleri (<70 ppm), farklılaşmış magmalar (N=200-450 ppm) ile deneştirildiğinde; çok düşük olduğu anlaşılmaktadır. Plütonlara ait örneklerin Al_2O_3 (>15 % ağı.) içerikleri, yalnızca manto türevli bir bazik magmadan oluşum modeli ile bağdaşmaz. Bu veriler, kısmi ergime öncesinde kaynak malzemesinin yaygın biçimde metazomatize olmuş alt kabuktan oluşan ergiyik ve litosferik manto kaynaklı az miktarda bazik magmanın karışımı ile oluşmuş hibrit bir ergiyikten oluşmuş olduklarını destekler durumdadır. Felsik plütonların çevresinde yaygın bir bazik kütle varlığının olmayışı, bunların bazik bir ana magmadan fraksiyonel kristallenme ve/veya kirlenmeyle felsik kayaçların oluşma olasılıklarını zayıflatmaktadır. Bütün veriler, Ağrı yöresi örneklerinin, $I_{Sr}(22 \text{ My})$ (0.70522-0.70591) ve $\epsilon_{Nd}(22 \text{ My})$ (-1.7 ila 0.9) izotopik oranlarına dayalı modelleme ile, %70 ila %75 oranında, bazik, plajiyoklas içeren amfibolitik alt kabuk türevli ergiyik, %30 ila %25 oranında spinel lertzolit bileşimli bir üst manto malzemesinin ergimesinden sonra karışımı ile hibritleşmiş bir ana magmadan türediklerini ortaya koymaktadır.



Şekil 18. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın deneysel metapelitik, metagrovak ve amfibolit ergiyik alanları ile karşılaştırılması. Deneysel veriler (Patiño Douce, 1999)'dan alınmıştır.

4.4. Tektonik Evrim

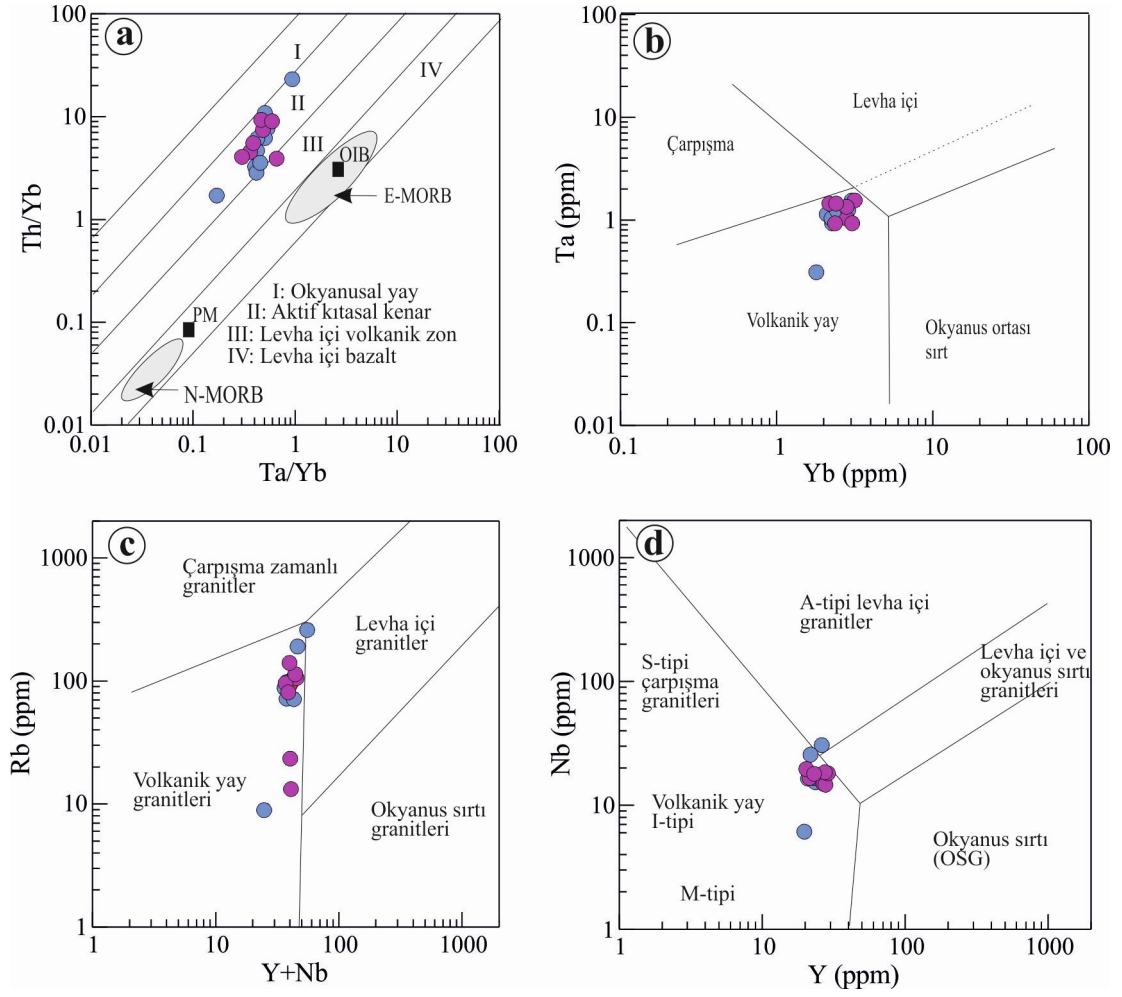
Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi'nin kuzeyinde, Geç Senozoyik jeodinamik ve tektonomagmatik süreçler için son yıllarda önemli bulgular ortaya konuşmuş olmasına rağmen; görüş birliği sağlanamayan ve halen tartışılmakta olan konular mevcuttur. I-tipi granitoidlerin oluşumları sırasında, ergiyik oluşumu için mevcut ısı anomalisi kaynağı ve bunu yöneten tektonik süreçler halen oldukça tartışmalıdır. Söz konusu sıcaklığın, sıcak astenosferin yükselimi ile kıta altı manto türevli bazik magmaların oluşumu ve bunların derinlerde, kabuğun alt kısımlarına yerleşimi neticesinde oluştuğu, yaygın kabul görmüştür (Alther vd., 2000). Böyle bir model, ya çarpışma sonrası kıtasal incelmanın oluştuğu ya da yay gerisi ortamlarda gerilmenin hâkim olduğu ortamlarda gerçekleşmiş olabilir. Burada bahsi geçen yay gerisi ortam, Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi'nin kuzeyi için, Oligosen periyodunda oluştuğu hemen hemen tartışmasız kabul edilmektedir (Şengör vd., 2003; Meijers vd., 2010; Rolland vd., 2012). Ağrı yöresi plütonları'nın tektonomagmatik evrimini konu alan bu araştırma projesi kapsamında, bilinen en önemli yaş bulguları, bu kayaçların Geç Kretase yaşlı kayaçları kestiği ve Kuvaterner çökelleri tarafından örtülmüş olmaları ve Ağrı yöresi granitoid örneklerinden sulu ayırma yöntemi ile ayrılan zirkonlardan elde edilen zirkon U-Pb yaş verileridir. Ağrı yöresi plütonları'ndan LA-ICP-MS zirkon U-Pb yöntemiyle, Demirkapı

plütonu'ndan; 22.16 ± 0.20 ila 22.86 ± 0.17 ve Bezirhane plütonu'ndan; 22.82 ± 0.19 ila 23.33 ± 0.12 My arasında yaşlar elde edilmiştir. Bununla birlikte, Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi içinde, İzmir-Ankara-Erzincan sutureunun güneyinde; kuzey batı İran'ın bir kesiminde yüksek-K I-tipi Geç Oligosen-Erken Miyosen Plütonları yaygın yüzeyleme vermişlerdir (Lebedev vd., 2013; Açlan ve Altun, 2018; Oyan, 2018; Topuz vd., 2019).

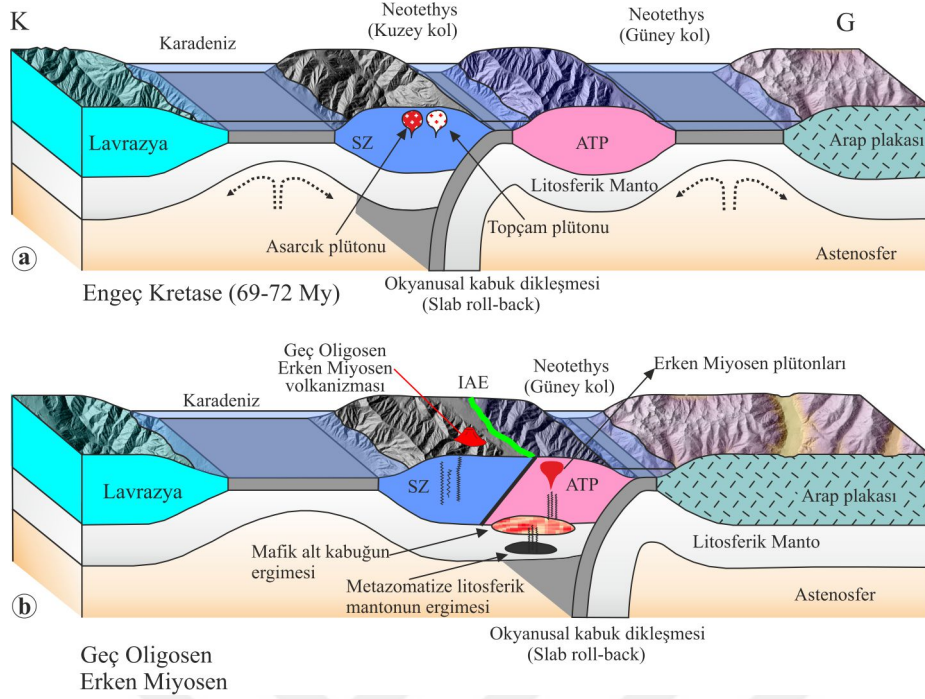
Geç Oligosen-Erken Miyosen'den Kuvaterner'e kadar farklı tektonik olayları temsil eden yoğun bir magmatik faaliyet mevcuttur. Genellikle volkanizmanın hâkim olduğu bu aktiviteye Van ili kuzeyi ve Ağrı ili güneyinde, kuzey-güney yönlü bir hat boyunca, yer yer intrüzifler de eşlik etmekle birlikte. Söz konusu magmatik aktivitenin Miyosen süreçlerine kadar; Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kuzey yönlü kapanması ile ilişkili olduğu hakkında yaygın bir görüş birliği mevcuttur (Innocenti ve diğ., 1982; Dewey ve diğ., 1986; Ercan ve diğ., 1990; Pearce ve diğ., 1990; Buket ve Temel, 1998; Keskin ve diğ., 1998; Keskin, 2003; Şengör ve diğ., 2003, 2008; Keskin ve diğ., 2012; Oyan ve diğ., 2016; Oyan, 2018). Ancak, Neotetis'in güney kolunun kapanması süreci boyunca oluşan magmatik faaliyetin petrojenezi ve tektonomagmatik evrimi ile ilişkili fikir ayrılıkları bulunmaktadır. DAYK içindeki Oligo-Miyosen sürecinde magmatik aktivitenin petrojenezine ve dolayısıyla Neotetis'in güney kolunun evrimiyle ilişkili olarak; Keskin (2003) ve Şengör ve diğ. (2003), DAYK içindeki volkanizmanın kuzey-güney yönlü değişimini, Neotetis'in güney kolunun Orta Miyosen (11-13 My) den sonra okyanus kabuğunun dikleşmesi (slab roll-back) ve kopması (slab break-off) olaylarını takiben çarpışma safhası sonrası astenosfer yükselimi olayları ile oluştuğunu; dolayısıyla güneyde Neotetis'in 11 my önce tamamen kapandığını ortaya koymuşlardır. Buna karşın, Çolakoğlu ve Arehart (2010), DAYK içinde kuzey-güney yönlü bir hat oluşturan sokulumların en güneyinde Orta Miyosen (13 My) yaşlı intrüzif kayaçların Neotetisin kapanması sırasında ve yitimin son evreleri sırasında geliştiklerini savunmuşlardır. Oyan (2018), bölgede Erken Miyosen yaşlı (23 My) plütonun çarpışma döneminde oluştuğunu işaret etmiş olup; kıta-kıta çarpışmasının en azından Erken Miyosen (23 My) periyodundan önce gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Böylece, kendisinden önceki literatür verileri ile çelişir bulgular sunmuştur. Intrüziflerin kuzey-güney gidişli bir hat boyunca sokuldukları düşünüldüğünde; bu hattın en kuzeyinde, Ağrı yöresinde, Açlan ve Altun (2018), Esenköy Plütonu'nun (Ağrı) jeokronolojisi ve kayaç jeokimyasına dayanarak, plütonun Erken Miyosen'de (22 M) sokulum yaptığını

ve Neotetis'in Erken Miyosen'den önce tamamen kapanmış olduğunu iddia etmiş ve Oyan (2018)'nin savunmuş olduğu bulguları desteklemiştir.

Yukarıda özetlenen tüm verilerle, Ağrı yöresi plütonları'na ait örnekler, Pearce vd. (1984) tarafından türetilmiş olan Th/Yb-Ta/Yb, Ta-Yb, Rb-Y+Nb ve Nb-Y tektonik ayırtman diyagramlarında, aktif kıtasal kenarda gelişmiş ve volkanik yay granitleri alanlarına düşmüşlerdir (Şekil 19a-d). Bütün bulgular birleştirildiğinde, örneklerinin, yitimin çok geç safhalarında, artık yay gerisi gerilme hareketlerinin oluşumda rol oynadığı ve okyanusal litosferin dikleşmesi (slab roll-back) sırasında türemiş oldukları ihtimalini ortaya koymaktadır (Şekil 20). Geç Oligosen ve Erken Miyosen süreçlerinde; Neotetisin kuzey kolu'nun Engeç Kretase'de yaşadığı evrimi (Şekil 20a), Neotetisin güney kolu yaşar ve yitimin son evrelerinde dikleşen okyanus kabuğu, sıcak astenosferin yükselimine neden olur. Bu yolla oluşan ısı akısı, yitim olayları ile zenginleşmiş olan kıta altı litosferin kısmi ergimesine neden olur. Oluşan bazik magma kabuğun alt kısımlarına yerleşerek ergimeye sebep olur (Şekil 20b). Böyle iki ergiyik kabuk derinliklerinde hibrit bir ana magma meydana getirir. Kristal fraksiyonlaşması ve kısmen kabuksal kontaminasyona maruz kalan bu ergiyik yitimin son ürünleri olan Geç Oligosen-Erken Miyosen magmatizmasını meydana getirir. Böylece, Ağrı yöresindeki; Demirkapı ve Bezirhane plütonları, yay gerisi ekstansiyonel hareketlere bağlı olarak Doğu Anadolu Yığılma karmaşığı içine sokulurlar. Yukarıda da belirtildiği üzere, kayalardan elde edilen jeotermometrik sonuçlar ve dokusal özellikler (yazı dokusu), söz konusu kayaların, DAYK'ın kuzey kesiminde orta sıcaklıkta (580-847 °C) soğudukları ve kıtasal kabuğun sığ derinliklerine (~ 5-6 km) sokulmuş olduklarına işaret etmektedir.



Şekil 19. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın; (a) Th/Yb'a karşın Ta/Yb, (b) Ta'a karşın Nb, (c) Rb'a karşın Y+Nb değeri (d) Nb'a karşın Y diyagramlarındaki (Pearce vd., 1984; Pearce, 1996) yerleri.



Şekil 20. Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi içindeki Erken Miyosen plütönları'nın oluşumu ve evrimi süresince, Neotetisin güney kolu'nun jeodinamik evrimi için şematik bir gösterim. (a) ~ 69-72 My da Kampaniyen sürecinde, yiten okyanusal litosfer dikleşmesi (slab roll-back) hareketine bağlı olarak kıtasal yay gerisi gerilmesi gelişir ki; bu da astenosferik manto yükselimine neden olur. Bu yükselimle sağlanan ısı, litosferik manto türevli bazik magmayı oluşturur. Bazik magma daha sonra alt kabuk altına sokularak alt kabuğu hem ertirir hemde uçucular bakımından metazomatize eder. Buna bağlı olarak, bölgede yaygın gözlenen I- ve A-tipi magmalar gelişmiştir. (b) Geç Oligosen ve Erken Miyosen süreçlerinde; Neotetisin kuzey kolu'nun 69-72 My larda yaşadığı evrimi Neotetisin güney kolu yaşar ve yitimin son evrelerinde dikleşen okyanus kabuğu yitimin son ürünleri olan Geç Oligosen-Erken Miyosen magmatizmasını meydana getirir. Böylece, Ağrı yöresindeki; Demirkapı ve Bezirhane plütönları, yay gerisi ektansiyonel hareketlere bağlı olarak Doğu Anadolu Yığılma karmaşığı içine sokulurlar.

4.5. Sonuçlar

Doğu Anadolu Yığılma Kompleksi içerisinde kuzey güney yönlü sokulum gösteren Senozoyik magmatizmasının tektonomagmatik evrimini ortaya koymayı amaçlayan bu araştırma projesinde; DAYK'ın en kuzeyinde yüzeylenmiş, Demirkapı ve Bezirhane plütönları'na ait kayaçların tektonomagmatik karakteristikleri aşağıda özetle verilmiştir.

1- Demirkapı, Taşlıçay ve Bezirhane plütönları, Paleozoyik metamorfikleri ve Geç Kretase volkanitlerini kesmiş, Kuvaterner kırıntılılar tarafından çoklukla örtülmüşlerdir. Plütönlardaki örneklerden yapılan zirkon ayırma işlemleri sonucunda elde edilen

zirkonlarda, zircon U-Pb yaşları elde edilmiştir. Ağrı yöresi plütonları'ndan LA-ICP-MS zircon U-Pb yöntemiyle, Demirkapı plütunu'ndan; 22.16 ± 0.20 ila 22.86 ± 0.17 ve Bezirhane plütunu'ndan; 22.82 ± 0.19 ila 23.33 ± 0.12 My arasında yaşlar elde edilmiştir. Bu jeokronolojik yaş verileri, Ağrı yöresi plütonları'nın, Erken Miyosen yaşlı olduklarını ortaya koymuştur. Kayaçların genel bileşimleri, granit, siyenit, monzonit, monzo diyorit, diyorit ve gabro aralığında değişmekte olup; genellikle grimsi görünümlüdürler. Kayaçların mineral birliktelikleri; K-feldispat, plajiyoklas, kuvars, amfibol, biyotit ve klino piroksen olarak belirlenmiş olup; tali mineraller ise; Fe-Ti oksit, sfen, apatit, ve zirkonlardan oluşur.

2- Ağrı yöresi plütonları, I-tipi granitoid özelliği göstermekte birlikte; çoklukla metalumin karakterli olup, peralumin karaktere doğru geçiş gösterir. Plütonlardan derlenen örnekler, düşük-K kalk-alkalin karakterden şösonitik özelliğe doğru değişim sunarlar.

3- Asarcık plütoununa ait örnekler, kuvvetli negatif Ti ve Eu yönsemeleri sunmakta olup, İlksel Manto'ya göre normalize edilmiş iz element modelleri, tüm örneklerin büyük iyon yarıçaplı litofil elementlerce (BİYLE, Rb, Ba ve Th) zenginleşmiş ve yüksek alan enerjili elementlerce (YAEE, Nb ve Hf) fakirleşme göstermektedirler. Örneklerin, hafif nadir toprak elementleri, ağır nadir toprak elementlerine göre daha zengindir. Örneklerin, Eu/Eu* değerleri, 0.40 ila 1 arasında değişmekte olup; genellikle 0.75'den daha azdırlar. Kayaçlar, çok yüksek ihtimalle feldispat farklılaşmasının sonucu olan, negatif Eu yönsemeleri göstermekte olup; yine bu etkiden kaynaklı ağır nadir topraklarda çok zayıf içbükey yönsemeler göstermişlerdir. Kayaçlar, çoklukla nisbi olarak ortalık $Isr(22 \text{ My})=0.70522-0.70591$ ve düşük $\epsilon_{Nd}(22 \text{ My})=-1.7-0.9$ izotopik oranlarıyla, düşük tüketilmiş manto yaşı $[T_{DM}(Ga)]=0.71-0.89$ değerlerine sahiptirler. Kayaçlardan derlenen zirkonların $\epsilon_{Hf}(t)$ değerleri; -3.64'den 6.56'ya kadar değişim sunmaktadır.

4- Basit Sr-Nd izotopik modellemesi, örneklerin, %70 ila %75 arasında değişen oranlarda, plajiyoklas içeren amfibolitik alt kabuk türevli ergiyik; %30 ila %25 arasında kimyasal olarak zenginleşmiş kıta altı litosferik manto kaynağından türeyen bazik ergiyiğin karışımı sonucu hibrit bir ana magmadan türemiş olabileceği anlaşılmaktadır.

5- Örneklerden elde edilen tüm jeokimyasal bulgular, stratigrafik ilişkiler ve bölgesel jeolojik veriler birarada değerlendirildiğinde; Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın kıta içi gerilme ortamından ziyade, yitim ortamına bağlı yay gerisi gerilmeli safhada meydana gelmiş olabileceği anlaşılmaktadır.

Tüm bu bulgularla; kayaçların karakteristik kimyasal özelliklerinden kaynak malzemesinin çok yüksek olasılıkla, plajiyoklas içeren amfibolitik alt kabuk (%70-75) ve az miktarda spinel lerzolit bileşimli litosferik manto kaynağı (%30-25) olabileceği sonucuna varılmıştır. Örnekler üzerinde gerçekleştirilen zirkon U-Pb jeokronolojik çalışmaları; Plütonların Erken Miyosen döneminde DAYK'ın altında kıtasal kabuğun sığ derinliklerine yerleştikleri, jeotermometrik tahminlerden yararlanılarak anlaşılmaktadır. Jeokronolojik açıdan detaylı araştırılan ve hibrit bir ana magmanın farklılaşmasıyla oluşan bu kayaçların, Erken Miyosen periyodunda ancak bir yay gerisi gerilmeli safhada, kabuğun sığ derinliklerine yerleşmiş olabilecekleri anlaşılmıştır. Bu tür gerilmeli dinamik sistemin oluşabilmesi için ancak yitimin son evrelerine yaklaşmış olması ve yiten okyanusal litosferin dikleşmesi süreçlerinin oluşmuş olması gerekir. Bütün bu bulgular, plütonların, mineral birliktelikleri, mafik mikrogranular kayaç kapanım içerikleri, kapanım dokuları ve kayaç kimyası karakterleri ile uyum içerisinde olduğu anlaşılmaktadır.

5. ÖNERİLER

Arazi çalışmaları sırasında çalışma sahasının tamamından derlenen I-tipi granitoyid kayalar, oldukça çatlaklı, kırıklı oldukları ve ticari anlamda blok vermeyen boyutlara sahip oldukları için granit ocağı açılması önerilmez.



KAYNAKLAR

- Açlan, M., Altun, Y., 2018. "Syn-collisional I-type Esenköy Pluton (Eastern Anatolia-Turkey): An indication for collision between Arabian and Eurasian plates", *Journal of African Earth Sciences*, 142, 1-11.
- Adıyaman, Ö., Chorowicz J., Arnaud O. N., Gündoğdu M. N., Gourgaud, A. 2001. "Late Cenozoic tectonics and volcanism along the North Anatolian Fault: new structural and geochemical data", *Tectonophysics*, 338,135-165.
- Altherr, R., Henjes-Kunst, F., Langer, C., Otto, J., 2000. "Interaction between crustal-derived felsic and mantle-derived mafic magmas in the Oberkirch Pluton (European Variscides, Schwarzwald, Germany)", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 137, 304-322.
- Barbarin, B., Didier J. 1992. "Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas", *Trans. Royal. Society Earth Sciences*, 83, 145-153.
- Barka, A. A. 1992. "The North Anatolian Fault Zone", *Anal Tecto*, 6, 164-195.
- Bonin, B., 2004. "Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review", *Lithos*, 78, 1-24.
- Buket, E., Temel, A., 1998. "Major-element, trace-element, and Sr–Nd isotopic geochemistry and genesis of Varto Mus volcanic rocks, Eastern Turkey", *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 85, 405-422.
- Chappell, B.W., 1999. "Aluminum saturation in I-and S-type granites and the characterization of fractionated hapogranites", *Lithos*, 46, 531-551.
- Chappell, B.W., White, A.J.R., 1992. "I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt", *Trans. Royal Soc. Edinburg. Earth Sciences* 83, 1-26.
- Chen, B., Jahn B. M., Wei C. 2002. "Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China: trace element and Nd-Sr isotope evidence", *Lithos*, 60, 67-88.
- Chiu, H.-Y., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M., Iizuka, Y., 2013. "Zircon U-Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution

- related to the Neotethyan subduction and Zagros orogeny”, *Lithos*, 162-163, 70-87.
- Çolakoğlu, A., Arehart, G., 2010. “The petrogenesis of Sarıçimen (Çaldıran-Van) quartz monzodiorite: Implication for initiation of magmatism (Late Medial Miocene) in the east Anatolian collision zone, Turkey” *Lithos* 119, 607-620.
- Çubukçu, H.E., Ulusoy, I., Aydar, E., Şen, E., Ersoy, O., Gourgaud, A., 2012. “Peralkaline volcanism in a continental collisional setting: Mount Nemrut volcano, Eastern Anatolia”, *Journal of Volcanology Geothermal Research*, 209-210, 33-60.
- Dewey, J. F., Hempton M. R., Kidd W. S. F., Şaroğlu F., Şengör A. M. C. 1986. “Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision zone”, In: Coward, M. P, Ries A. C (eds), *Collision Tectonics*, Special Publication, Geol Soc London, pp., 3-36.
- Dewey, J.F., Şengör A. M. C. 1979. “Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone”, *J Geol Soc Am Bull*, 90, 84-92.
- Dokuz, A. 2011. “A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Köse composite pluton”, *Gondwana Research*, 19, 926-944.
- Dokuz, A., Uysal I., Siebel W., Turan M., Duncan R., Akcay, M. 2013. “Post-collisional adakitic volcanism in the eastern part of the Sakarya Zone, Turkey: evidence for slab and crustal melting”, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 166, 1443-1468.
- Elburg, M.A., Andersen, T., Bons, P.D., Simonsen, S.L., Weisheit, A., 2013. “New constraints on Phanerozoic magmatic and hydrothermal events in the Mt Painter Province, South Australia”, *Gondwana Research*, 24, 700-712.
- Ercan, T., Fujitani, T., Madsuda, J.I., Notsu, K., Tokel, S., Tadahide, U.I., 1990. “Doğu ve güneydoğu Anadolu Neojen Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu”, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 110, 143-164.
- Han, B. F., Wang S. G., Jahn B. M., Hong D. W., Kagami H., Sun Y. L. 1997. “Depleted mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence and implications for Phanerozoic crustal growth”, *Chemical Geology*, 138, 135-159.

- Heinonen, A.P., Andersen, T., Rämö, O.T., 2010. "Re-evaluation of Rapakivi petrogenesis: Source constraints from the Hf isotope composition of zircon in the Rapakivi Granites and associated mafic rocks of Southern Finland", *Journal of Petrology*, 51, 1687-1709.
- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pasquare, Villari, L., 1982. "Anatolia and northwestern Iran", In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks*. Wiley, New York, pp. 327-349.
- Karşlı, O., Chen B., Aydın F., Şen C. 2007. "Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for magma interaction in the genesis of high-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting", *Lithos*, 98, 67-96.
- Karşlı, O., Dokuz A., Uysal I., Aydın F., Kandemir R., Wijbrans R.J. 2010. Generation of the Early Cenozoic adakitic volcanism by partial melting of mafic lower crust, Eastern Turkey: implications for crustal thickening to delamination", *Lithos*, 114, 109-120.
- Karşlı, O., Şengün, F., Dokuz, A., Kandemir, R., Aydın, F., Andersen, T., 2020. "Silurian to Early Devonian arc magmatism in the western Sakarya Zone (NW Turkey), with inference to the closure of the Rheic Ocean", *Lithos*, 370-371, 105641.
- Kaygusuz, A., Aslan, Z., Aydınçakır, E., Yücel, C., Güçer, M.A., Şen, C., 2018. "Geochemical and Sr-Nd-Pb isotope characteristics of the Miocene to Pliocene volcanic rocks from the Kandilli (Erzurum) area, Eastern Anatolia (Turkey): Implications for magma evolution in extension-related origin", *Lithos*, 296-299, 332-351.
- Keskin, M., 2003. "Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey", *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8046, doi: 10. 1029/2003GL018019.
- Keskin, M., 2005. Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia. <http://www.mantleplumes.org/Anatolia.html>.
- Keskin, M., Chugaev, A., Lebedev, V.A., Sharkov, E., Oyan, V., Kavak, O., 2012. "The geochronology and origin of mantle source for late Cenozoic intraplate volcanism in the frontal part of the Arabian plate in the Karacadağ Neovolcanic area of Turkey. Part 2. The results of geochemical anisope (Sr-Nd-Pb) studies" *Journal of Volcanology and Seismology*, 6.

- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G., 1998. "Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, North Eastern Turkey", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 355-404.
- Koçyiğit, A., Yılmaz A., Adamia S., Kuloshvili S. 2001. "Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting", *Geod Acta*, 14, 177-195.
- Lebedev, V.A., Volkov, V.N., Sagatelyan, A.K., Chernyshev, I.V., 2013. "Spatial migration of magmatic activity within the Caucasian segment of the Alpine belt in the early neogene under the conditions of geotectonic setting change: Isotope geochronological data", *Dokl. Earth Sci.* 448, 225-231.
- Ludwig, K. R. 2003. "User's manual for ISOPLOT 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft excel", Special publication No: 4, Berkeley Geochronology Center, p.71.
- Mahoney, J. J., Frei R., Tejada M. L. G., Mo X. X., Leat P. T., Nagler T. P. 1998. "Tracing the Indian Ocean mantle domain through time: isotopic results from old west Indian, east Tethyan and South Pacific seafloor", *Journal of Petrology*, 39, 1285-1306.
- Maniar, P. D., Piccoli P. M. 1989. "Tectonic discrimination of granitoids", *Bull. Am. Geol. Society*, 101, 635-643.
- Meijers, M. J. M., Vrouwe B., van Hinsbergen D. J. J., Kuiper K. F., Wijbrans J., Davies G. R., Stephenson R. A., Kaymakçı N., Matenco L., Saintot A. 2010. "Jurassic arc volcanism on Crimea (Ukraine): Implications for the paleo-subduction zone configuration of the Black Sea region", *Lithos*, 119, 412-426.
- Middlemost, E. A. K. 1994. "Naming materials in the magma/igneous rock system", *Earth Science Review*, 37, 215-224.
- Miller, C. F., McDowell S. M., Mapes R. W. 2003. "Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance", *Geology*, 31, 529-532.
- MTA. 2002. "1:500.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası", MTA, Ankara.
- Neill, I., Meliksetian, K., Allen, M.B., Navasardyan, G., Kuiper, K., 2015. "Petrogenesis of mafic collision zone magmatism: the Armenian sector of the Turkish-Iranian Plateau", *Chemical Geology*, 403, 24-41.

- Okay, A. İ., Şahintürk Ö. 1997. "Geology of the Eastern Pontides", In: Robinson AG (ed) Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and surrounding Region, Am Assoc Petrol Geol Mem, 68, 291-310.
- Oyan, V., 2018. "Ar-Ar dating and petrogenesis of the Early Miocene Taşkapı-Mecitli (Erciş-Van) granitoid, Eastern Anatolia Collisional Zone, Turkey", Journal of Asian Earth Sciences, 158, 210-226.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., 2016. "Magmatic evolution of the Early Pliocene Etrusk stratovolcano, eastern Anatolian Collision zone, Turkey", Lithos, 256, 88-108.
- Oyan, V., Keskin, M., Lebedev, V.A., Chugaev, A.V., Sharkov, E.V., Ünal, E., 2017. "Petrology and geochemistry of the Quaternary mafic volcanism to the NE of Lake Van, Eastern Anatolian collision zone, Turkey", Journal of Petrology, 58, 1701-1728.
- Özcan, E., Less, G., Baldi-Beke, M., Kollanyı, K., 2010. "Oligocene hyaline larger foraminifera from Kelereşdere section (Mus, , Eastern Turkey)", Micropaleontology, 56, 465-493.
- Özdemir, Y., Güleç, Y., 2014. "Geological and geochemical evolution of the Quaternary Süphan stratovolcano, Eastern Anatolia, Turkey: evidence for the lithosphere-asthenosphere interaction in post-collisional volcanism", Journal Petrology 55, 37-62.
- Patiño Douce, A. E. 1999. "What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas?", In: Castro, A., Fernandez C., Vigneresse, J. L. (Eds.), Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques, Spec. Publ. Geol. Soc. London, 168, 55-75.
- Pearce, J. A. 1996. "Sources and setting of granitic rocks", Episodes, 19, 120-125.
- Pearce, J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G. 1984. "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", Journal of Petrology, 25, 956-983.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Mitchell, J.G. 1990. "Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44, 189, 189-229.

- Peccerillo, A., Taylor S. R. 1976. "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from Kastamonu area, northern Turkey", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Poli, G.E., Tommasini S. 1991. "Model for the origin and significance of microgranular enclaves in calc-alkaline granitoids", *Journal of Petrology*, 32, 657-666.
- Pupin, J. P. 1980. "Zircon and granite petrology", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 73, 207-220.
- Rabayrol, F., Hart, C.J., Thorkelson, D.J., 2019. "Temporal, spatial and geochemical evolution of Late Cenozoic post-subduction magmatism in Central and Eastern Anatolia, Turkey", *Lithos*, 336-337, 67-96.
- Rolland, Y., Perincek D., Kaymakci N., Sosson M., Barrier E., Avagyan A. 2012. "Evidence for ~80-75 Ma subduction jump during Anatolia-Tauride-Armenian block accretion and ~48 Ma Arabia-Eurasia collision in Lesser Caucasus-East Anatolia" *Journal of Geodynamics*, 56-57, 76-85.
- Schleiffarth, W.K., Darin, M.H., Reid, M.R., Umhoefer, P.J., 2018. "Dynamics of episodic Late Cretaceous-Cenozoic magmatism across Central to Eastern Anatolia: New insights from an extensive geochronology compilation", *Geosphere*, 14, 1-19.
- Sun, S. S., McDonough W. E. 1989. "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes", In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*, Special Publication. Geological Society of London, pp. 313-345.
- Şaroğlu, F. 1988. Age and offset of the North Anatolian fault", *METU J Pure Application Science*, 21, 65-79.
- Şengör, A. M. C., Görür N., Şaroğlu F. 1985. "Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation", In: Biddle, K. T, Christie-Blick N. (eds) *Soc Econ, Palaeo, Mineral Spec Public*, 37, 227-264.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz Y. 1981. "Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach", *Tectonophysics*, 181, 241-281.
- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Genç, T., Zor, E., 2003. "East Anatolian high plateau as a mantle-supported, North-south shortened domal structure", *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8045, doi: 10.1029/2003GL017858.

- Şengör, A.M.C., Özeren, S., Keskin, M., Sakiñ, M., Özbakır, A., Kayan, I., 2008. "Eastern Turkish high plateau as a small Turkic type orogeny: implication for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens", *Earth Science Reviews*, 90, 1-48.
- Topuz, G., Candan, O., Zack, T., Chen, F., Li, Q.L., 2019. "Origin and significance of Early Miocene high-potassium I-type granite plutonism in the East Anatolian plateau (the Taşlıçay intrusion)", *Lithos*, 348-349, 105210.
- Turner, S. P., Foden J. D., Morrison R. S. 1992. "Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma; an example from the Padthaway Ridge, South Australia", *Lithos*, 28, 151-179.
- Ünay, E., Bruijin H. 1998. "Plio-pleistocene rodents and lagomorphs from Anatolia", *Mededelingen anederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen*, 60, 431-466.
- Volkert, R. A., Feigenson M. D., Patino L. C., Delaney J. S., Drake A. A. J. 2000. "Sr and Nd isotopic compositions, age and petrogenesis of A-type granitoids of the Vernon Supersuite, New Jersey Highlands, USA", *Lithos*, 50, 325-347.
- Watson, E. B., Harrison T. M. 1983. "Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types", *Earth and Planetary Science Letters*, 64, 295-304.
- Wiebe, R. A. 1996. "Mafic-silicic layered intrusions: the role of basaltic injections on magmatic processes and evolution of silicic magma chambers", *Trans. Royal Soc. Edinburg: Earth Sciences*, 87, 233-242.
- Woodhead, J.D., Hergt, J.M., 2005. "A preliminary appraisal of seven natural zircon reference materials for in situ Hf isotope determination", *Geostand. Geoanalytical Research*, 29, 183-195.
- Xu, J. F., Castillo P. R., Chen F. R., Niu H. C., Yu X. Y., Zhen Z. P. 2003. "Geochemistry of late Paleozoic mafic igneous rocks from the Kuerti area, Xinjiang, northwest China: implications for back-arc mantle evolution", *Chemical Geology*, 193, 137-154.
- Yılmaz, A., Terlemez, _I., Uysal, S., 1988. Hınıs (Erzurum GD'su) dolaylarının bazı stratigrafik ve tektonik özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi* 108, 38-56.

Yılmaz, A., Yılmaz, H., Kaya, C., Boztuğ, D., 2010. “The nature of the crustal structure of the Eastern Anatolian Plateau, Turkey”, *Geodinamica Acta* 23, 167-183.

Zor, E., Sandvol, E., Gürbüz, C., Türkelli, N., Seber, D., Barazangi, M., 2003. “The crustal structure of the East Anatolian plateau from receiver functions”, *Geophysical Research Letters*, 30 (24), 8044.



EKLER

Ek 1. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait zirkonların U-Pb izotop kompozisyonları ve yaşları.

Oranlar							Yaş (My)				Uyumluluk(%)	En iyi yaş	1σ
Örnek	Tane	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1SE	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1SE	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}}{^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}}$	(My)	
AD1	AD1-22	0.02284	0.00042	0.003489	0.000034	0.545	22.92	0.42	22.45	0.22	97.9	22.45	0.22
AD1	AD1-20	0.02197	0.00044	0.003462	0.000033	0.519	21.35	0.44	22.1	0.21	103.5	22.1	0.21
*AD1	AD1-12	0.0459	0.00297	0.003748	0.000063	0.258	45.57	2.88	24.12	0.4	52.9	24.12	0.4
AD1	AD1-09	0.02239	0.00035	0.003446	0.000035	0.645	22.68	0.35	22.18	0.22	97.8	22.18	0.22
AD1	AD1-07	0.02233	0.00036	0.003471	0.000032	0.564	22.42	0.36	22.33	0.2	99.6	22.33	0.2
AD1	AD1-03	0.02252	0.00038	0.003488	0.000034	0.580	22.91	0.38	22.44	0.22	97.9	22.44	0.22
AD1	AD1-06	0.02312	0.00046	0.003473	0.000033	0.498	23.3	0.46	22.35	0.21	95.9	22.35	0.21
AD1	AD1-01	0.02165	0.00055	0.003498	0.000033	0.504	21.79	0.64	22.21	0.21	101.9	22.21	0.21
AD1	AD1-05	0.02101	0.00045	0.003422	0.000046	0.677	21.61	0.45	22.02	0.29	101.9	22.02	0.29
AD1	AD1-28	0.02207	0.00060	0.003403	0.000045	0.531	22.16	0.59	21.9	0.29	98.8	21.9	0.29
AD1	AD1-25	0.02313	0.00065	0.003442	0.000050	0.537	23.21	0.64	22.15	0.32	95.4	22.15	0.32
AD4	AD4-18	0.02353	0.00047	0.003587	0.000042	0.606	23.32	0.47	22.65	0.27	97.1	22.65	0.27
AD4	AD4-16	0.02312	0.00053	0.003540	0.000043	0.561	23.21	0.53	22.49	0.28	96.9	22.49	0.28
AD4	AD4-15	0.02384	0.00066	0.003552	0.000043	0.561	23.02	0.66	22.57	0.27	98.0	22.57	0.27
AD4	AD4-13	0.02258	0.00066	0.003476	0.000047	0.541	22.65	0.66	21.72	0.3	95.9	21.72	0.3
*AD4	AD4-12	0.03946	0.00136	0.003622	0.000046	0.371	39.3	1.33	23.31	0.3	59.3	23.31	0.3

Ek 1 (devamı).

		Oranlar					Yaş (My)				Uyumluluk(%)	En iyi yaş	1σ
Örnek	Tane	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1SE	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1SE	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}}{^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}}$	(My)	
AD4	AD4-11	0.02332	0.00075	0.003631	0.000042	0.514	23.69	0.74	23.08	0.27	97.4	23.08	0.27
AD4	AD4-10	0.02282	0.00053	0.003583	0.000045	0.572	22.91	0.53	22.77	0.29	99.4	22.77	0.29
AD4	AD4-9	0.02242	0.00060	0.003580	0.000044	0.510	22.61	0.6	22.75	0.28	100.6	22.75	0.28
AD4	AD4-8	0.02371	0.00072	0.003557	0.000046	0.559	23.79	0.71	22.92	0.29	96.3	22.92	0.29
AD4	AD4-7	0.02292	0.00080	0.003481	0.000047	0.532	22	0.8	21.76	0.3	98.9	21.76	0.3
*AD4	AD4-5	0.03170	0.00107	0.00351	0.000049	0.409	31.69	1.05	22.59	0.31	71.3	22.59	0.31
AD4	AD4-4	0.02221	0.00059	0.003508	0.000049	0.582	22.69	0.58	21.93	0.32	96.7	21.93	0.32
*AD4	AD4-3	0.04068	0.00171	0.003604	0.000055	0.363	40.49	1.67	23.19	0.35	57.3	23.19	0.35
AD4	AD4-2	0.02306	0.00072	0.003587	0.000048	0.530	23.62	0.71	22.61	0.31	95.7	22.61	0.31
AD5	AD5-01	0.02290	0.00089	0.003482	0.000045	0.598	22.95	0.88	22.89	0.29	99.7	22.89	0.29
AD5	AD5-02	0.02204	0.00087	0.003425	0.000045	0.580	22.11	0.86	22.04	0.29	99.7	22.04	0.29
AD5	AD5-03	0.02242	0.00049	0.003490	0.000043	0.597	22.81	0.48	22.81	0.28	100.0	22.81	0.28
AD5	AD5-15	0.02301	0.00070	0.003547	0.000042	0.551	23.08	0.69	22.54	0.27	97.7	22.54	0.27
AD5	AD5-12	0.02282	0.00068	0.003449	0.000045	0.518	22.87	0.67	22.19	0.29	97.0	22.19	0.29
AD5	AD5-09	0.02311	0.00063	0.003526	0.000043	0.568	23.19	0.63	22.4	0.27	96.6	22.4	0.27
AD5	AD5-08	0.02344	0.00058	0.003570	0.000043	0.518	23.52	0.58	22.73	0.28	96.6	22.73	0.28
*AD5	AD5-07	0.01172	0.00064	0.003329	0.00005	0.276	11.83	0.64	21.43	0.32	181.1	21.43	0.32
AD5	AD5-05	0.02354	0.00078	0.003539	0.000049	0.586	23	0.77	22.13	0.31	96.2	22.13	0.31
AD5	AD5-24	0.02188	0.00066	0.003442	0.000047	0.500	21.56	0.66	22.16	0.3	102.8	22.16	0.3
AD5	AD5-14	0.02246	0.00063	0.003546	0.000048	0.536	22.73	0.63	22.17	0.31	97.5	22.17	0.31

Ek 1 (devamı).

Örnek	Tane	Oranlar					Yaş (My)				Uyumluluk(%)	En iyi yaş	1σ
		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1SE	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1SE	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}}{^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}}$	(My)	
AD6	AD6-20	0.02244	0.00058	0.003378	0.000047	0.593	22.52	0.57	21.74	0.3	96.5	21.74	0.3
AD6	AD6-19	0.02266	0.00057	0.003479	0.000048	0.604	22.73	0.56	22.39	0.31	98.5	22.39	0.31
AD6	AD6-17	0.02167	0.00045	0.003381	0.000049	0.539	21.76	0.45	21.84	0.32	100.4	21.84	0.32
AD6	AD6-14	0.02265	0.00054	0.003450	0.000047	0.619	22.72	0.54	22.2	0.3	97.7	22.2	0.3
AD6	AD6-11	0.02247	0.00052	0.003483	0.000045	0.608	22.55	0.51	22.41	0.29	99.4	22.41	0.29
AD6	AD6-09	0.02262	0.00057	0.003437	0.000046	0.578	22.7	0.56	22.12	0.29	97.4	22.12	0.29
AD6	AD6-06	0.02280	0.00056	0.003523	0.00005	0.632	22.87	0.55	22.67	0.32	99.1	22.67	0.32
AD6	AD6-04	0.02127	0.00085	0.003396	0.000046	0.513	21.84	0.84	21.85	0.3	100.0	21.85	0.3
AD6	AD6-01	0.02211	0.00069	0.003484	0.000046	0.507	22.17	0.68	22.03	0.29	99.4	22.03	0.29
DK6	DK6-26	0.02384	0.00047	0.003658	0.000021	0.306	23.91	0.47	23.54	0.14	98.5	23.54	0.14
DK6	DK6-20	0.02308	0.0005	0.003603	0.000025	0.322	23.17	0.49	23.18	0.16	100.0	23.18	0.16
DK6	DK6-18	0.02284	0.00056	0.00362	0.000026	0.292	22.93	0.55	23.29	0.17	101.6	23.29	0.17
*DK6	DK6-21	0.04394	0.00291	0.003748	0.000028	0.112	43.66	2.83	24.12	0.18	55.2	24.12	0.18
DK6	DK6-11	0.02342	0.00045	0.003607	0.000024	0.343	23.51	0.45	23.21	0.15	98.7	23.21	0.15
DK6	DK6-12	0.02358	0.00061	0.003617	0.000024	0.066	23.65	2.58	23.28	0.16	98.4	23.28	0.16
DK6	DK6-5	0.02277	0.00091	0.003594	0.000029	0.234	22.82	0.9	23.13	0.18	101.4	23.13	0.18
DK6	DK6-2	0.02309	0.00097	0.003653	0.000026	0.356	23	0.96	23.15	0.17	100.7	23.15	0.17
DK3	DK3-03	0.02336	0.00095	0.003539	0.000059	0.594	23.39	0.94	22.78	0.38	97.4	22.78	0.38
DK3	DK3-05	0.02341	0.00059	0.003558	0.000057	0.662	23.8	0.59	22.95	0.37	96.4	22.95	0.37

Ek 1 (devamı).

		Oranlar					Yaş (My)				Uyumluluk(%)	En iyi yaş	1σ
Örnek	Tane	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1SE	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1SE	Rho	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}}{^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}}$	(My)	
DK3	DK3-10	0.02371	0.00053	0.003683	0.000058	0.751	23.79	0.53	23.42	0.38	98.4	23.42	0.38
DK3	DK3-06	0.02247	0.00072	0.003543	0.000058	0.654	22.5	0.71	22.8	0.37	101.3	22.8	0.37
*DK3	DK3-12	0.08088	0.00406	0.004012	0.000077	0.382	78.97	3.81	25.81	0.49	32.7	25.81	0.49
DK3	DK3-12k	0.02336	0.00102	0.003592	0.000059	0.476	23.38	1	23.12	0.38	98.9	23.12	0.38
DK3	DK3-13	0.02258	0.0007	0.003565	0.00006	0.665	22.63	0.69	22.94	0.38	101.4	22.94	0.38
DK3	DK3-15	0.02283	0.00122	0.003575	0.000062	0.507	22.86	1.2	23	0.4	100.6	23	0.4
*DK3	DK3-16	0.03503	0.00135	0.003628	0.000062	0.445	34.96	1.32	23.34	0.4	66.8	23.34	0.4
DK3	DK3-18	0.02353	0.00054	0.003566	0.000059	0.72	23.61	0.53	22.95	0.38	97.2	22.95	0.38
*DK3	DK3-19	2.5079	0.10953	0.024883	0.000836	0.769	1274	32	158	5	12.4	158	5
DK3	DK3-22	0.02112	0.00073	0.003530	0.000059	0.575	21.49	0.73	22.32	0.38	103.9	22.32	0.38
DK3	DK3-24	0.02258	0.00073	0.003517	0.00006	0.594	22.64	0.72	22.63	0.38	100.0	22.63	0.38
*DK3	DK3-26	0.03399	0.00227	0.003602	0.000067	0.276	33.94	2.23	23.18	0.43	68.3	23.18	0.43
DK3	DK3-25	0.02315	0.00089	0.003482	0.00006	0.503	23.21	0.88	22.41	0.38	96.6	22.41	0.38
*DK3	DK3-28	0.03342	0.0009	0.003533	0.000062	0.648	33.38	0.89	22.74	0.4	68.1	22.74	0.4
DK3	DK3-29	0.02361	0.0006	0.003555	0.00006	0.716	23.69	0.6	22.83	0.39	96.4	22.83	0.39
*DK3	DK3-30	0.05075	0.00234	0.003689	0.000071	0.417	50.27	2.26	23.73	0.46	47.2	23.73	0.46
DK3	DK3-31	0.02306	0.00074	0.003481	0.00006	0.613	23.12	0.73	22.4	0.39	96.9	22.4	0.39
DK3	DK3-32	0.02229	0.0006	0.003526	0.00006	0.685	22.38	0.59	22.05	0.39	98.5	22.05	0.39
DK3	DK3-35	0.02311	0.00122	0.003505	0.000067	0.448	23.12	1.2	22.84	0.43	98.8	22.84	0.43
DK3	DK3-36	0.02203	0.0009	0.003526	0.000064	0.604	22.05	0.89	22.69	0.41	102.9	22.69	0.41

Ek 2. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın ana ve iz element bileşimleri.

Örnek	AD1	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	AD9	AD10
Kayaç Türü								
SiO ₂	57.59	56.89	53.44	53.56	71.72	56.52	45.02	61.07
TiO ₂	0.79	0.78	0.89	0.89	0.32	0.80	1.25	0.83
Al ₂ O ₃	17.82	17.56	18.43	17.94	14.33	17.63	18.35	17.68
Fe ₂ O ₃ ^{top}	6.15	6.67	7.76	7.74	1.84	6.52	5.62	5.19
MnO	0.10	0.11	0.13	0.14	0.01	0.11	0.09	0.02
MgO	3.06	3.47	3.90	4.50	0.42	3.45	8.31	1.45
CaO	6.27	6.39	7.51	7.53	1.25	6.63	16.66	2.98
Na ₂ O	3.33	3.43	3.38	3.35	2.99	3.33	1.60	3.96
K ₂ O	2.82	2.91	2.44	2.41	6.14	2.91	0.48	5.38
P ₂ O ₅	0.41	0.43	0.58	0.47	0.05	0.39	0.26	0.22
AK	1.3	1.0	1.1	1.1	0.7	1.4	2.0	0.8
Toplam	99.76	99.75	99.71	99.71	99.83	99.74	99.67	99.72
Mg#	0.5	0.51	0.5	0.52	0.31	0.51	0.75	0.36
ADI	0.89	0.86	0.84	0.82	1.0	0.85	0.55	0.99
Rb	91.7	100.7	74.9	74.3	271.2	97.1	9.3	199.1
Sr	618.6	610.8	694.5	659.5	160.5	671.9	702.5	392.8
Ba	881	1076	878	781	600	928	308	1289
Cs	2.9	3.0	2.4	2.1	6.8	3.2	1.5	3.6
Zr	247.5	248.5	278.1	255.5	317.0	268.5	99.5	240.1
Hf	5.8	5.5	6.2	5.8	9.0	5.9	3.0	19.3
Th	15.7	11.0	7.2	7.5	68.9	7.8	3.0	32.1
Ta	1.1	1.0	0.9	1.1	2.8	1.0	0.3	1.5
Nb	18.5	19.5	17.3	19.4	34.5	18.7	6.9	28.9
Y	22.2	26.4	25.0	29.1	27.7	24.3	20.9	23.1
U	3.1	2.9	1.8	2.1	11.4	2.3	0.7	11.1
Ni	<20	<20	<20	26	<20	<20	76	<20
Co	39.5	35.5	34.1	40.8	31.6	30.9	29.9	30.0
V	148	147	172	170	24	148	351	83
Ga	16.8	16.9	18.1	17.9	13.4	17.3	16.9	18.8
Sc	13	13	14	16	3	14	35	5
La	47.3	48.1	50.1	46.7	70.9	43.8	22.2	52.2
Ce	82.9	88.4	91.2	90.4	126.0	81.8	58.0	98.2
Pr	9.28	10.07	10.31	10.60	12.35	9.31	7.69	10.48
Nd	34.6	37.5	39.1	40.3	41.3	35.7	32.1	35.6
Sm	5.73	6.68	6.78	7.65	6.50	6.24	6.55	5.56

Ek 2 (devamı).

Örnek	AD1	AD3	AD4	AD5	AD6	AD7	AD9	AD10
Kayaç Türü								
Gd	4.87	5.75	5.97	6.55	5.20	5.41	5.52	4.62
Eu	1.44	1.66	1.86	1.85	0.76	1.59	1.48	1.28
Tb	0.68	0.82	0.82	0.96	0.79	0.73	0.78	0.66
Dy	3.94	4.58	4.66	5.22	4.69	4.28	4.25	3.76
Ho	0.77	0.96	0.87	1.01	0.99	0.86	0.79	0.83
Er	2.35	2.61	2.60	3.06	2.90	2.31	2.15	2.55
Tm	0.32	0.37	0.35	0.42	0.45	0.34	0.29	0.40
Yb	2.09	2.41	2.26	2.68	3.04	2.24	1.79	3.02
Lu	0.32	0.34	0.34	0.41	0.46	0.33	0.27	0.50
T_{Zr} (C ⁰)	776	768	765	754	847	773	580	760
(Eu/Eu*)	0.83	0.82	0.89	0.80	0.40	0.84	0.75	0.77
Koordinatlar	39.517811K 43.134169D	39.517811K 43.134382D	39.519672K 43.137368D		39.518650K 43.142033D		39.522015K 43.139185D	
Fe ₂ O ₃ ^{top} : Fe ₂ O ₃ cinsinden toplam demir. AK (ateşte kayıp): Toplam uçucu içeriği.								
Mg# = 100xMgO/(MgO+Fe ₂ O ₃). ADI: Alkali Doygunluk İndeksi.								

Ek 2 (devamı).

Örnek	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5	DK6	DK7
Kayaç Türü							
SiO ₂	57.34	58.16	60.67	57.35	61.06	60.02	60.21
TiO ₂	0.94	0.94	0.73	0.76	1.02	0.76	0.65
Al ₂ O ₃	18.20	18.27	16.71	17.38	20.62	16.56	16.91
Fe ₂ O ₃	1.24	1.26	5.44	6.31	1.23	5.43	5.06
MnO	0.04	0.05	0.09	0.10	0.03	0.08	0.08
MgO	3.77	2.97	2.93	3.23	0.38	2.90	2.53
CaO	7.80	8.57	5.29	6.30	2.25	5.28	5.27
Na ₂ O	6.58	6.44	3.73	3.67	8.55	3.79	3.40
K ₂ O	0.84	0.70	3.29	3.48	1.81	3.47	4.23
P ₂ O ₅	0.32	0.32	0.21	0.28	0.03	0.23	0.23
AK	2.7	2.0	0.6	0.8	2.9	1.2	1.1
Toplam	99.77	99.76	99.78	99.77	99.89	99.78	99.78
Mg#	0.70	0.70	0.52	0.5	0.38	0.51	0.50
ADI	0.70	0.68	0.87	0.82	1.0	0.85	0.86
Rb	24.4	13.8	110.4	100.2	84.5	118.5	146.3
Sr	560.9	711.0	368.4	508.5	194.3	372.1	443.5
Ba	209	322	683	808	100	739	856
Cs	0.3	0.6	2.2	4.3	0.9	2.5	4.9
Zr	248.6	237.8	262.1	241.1	252.4	257.5	289.1
Hf	6.1	5.9	6.2	5.8	5.9	6.1	6.7
Th	12.5	12.1	23.0	12.8	8.3	26.0	21.2
Ta	1.0	0.9	1.5	0.9	1.4	1.3	1.4
Nb	16.8	16.5	20.4	18.7	22.1	20.8	20.2
Y	28.5	29.4	30.6	22.8	21.6	29.1	24.5
U	3.4	3.4	5.4	4.7	1.9	6.6	7.5
Ni	23	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Co	19.7	15.5	35.7	33.3	18.4	40.9	35.0
V	148	157	132	145	61	126	121
Ga	18.9	18.1	16.6	16.2	22.4	16.4	15.5
Sc	17	18	13	13	<1	13	12
La	38.0	47.7	46.7	43.6	36.2	42.0	40.6
Ce	97.3	129.9	88.0	79.4	79.1	79.2	74.2
Pr	12.14	16.17	9.60	8.57	8.97	8.63	8.01
Nd	45.8	61.0	35.0	31.0	33.5	32.0	29.0
Sm	7.95	8.93	6.17	5.69	5.72	5.80	5.15
Eu	1.87	2.60	1.36	1.39	1.37	1.34	1.33

Ek 2 (devamı).

Örnek	DK1	DK2	DK3	DK4	DK5	DK6	DK7
Kayaç Türü							
Ho	1.00	1.12	1.06	0.78	0.76	1.02	0.83
Er	2.95	3.22	3.16	2.29	2.11	2.85	2.46
Tm	0.43	0.47	0.50	0.36	0.33	0.45	0.36
Yb	2.81	3.04	3.16	2.36	2.17	2.85	2.40
Lu	0.42	0.49	0.49	0.37	0.32	0.45	0.37
T_{Zr} (C°)	732	724	782	758	800	776	788
(Eu/Eu*)	0.79	1.00	0.72	0.81	0.79	0.75	0.82
Koordinatlar	39.588750K 43.246627D	39.586658K 43.251536D	39.586875K 43.259313D	39.579622K 43.258338D	39.579486K 43.268116D	39.573988K 43.265427D	
Fe ₂ O ₃ ^{top} : Fe ₂ O ₃ cinsinden toplam demir. AK (ateşte kayıp): Toplam uçucu içeriği.							
Mg# = 100xMgO/(MgO+Fe ₂ O ₃). ADI: Alkali Doygunluk İndeksi.							

Ek 3. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'nın Nd-Sr izotop kompozisyonları.

Örnek	[Rb] ppm	[Sr] ppm	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	2σ	I _{Sr} (22My)	[Sm] ppm	[Nd] ppm	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	2σ	ε _{Nd} (0)	ε _{Nd} (T) (22My)	f Sm/Nd	T _{DM} (Ga)
<i>Demirkapı</i>															
AD3	100	610	0.4754	0.705710	7	0.70568	6.68	37.5	0.1077	0.512657	7	0.4	0.4	-	0.71 0.45
AD10	199	393	1.4684	0.705960	6	0.70586	5.56	35.6	0.0944	0.512547	9	-1.8	-1.7	-	0.77 0.52
<i>Bezirhane</i>															
DK1	24	560	0.1264	0.705736	7	0.70573	7.95	45.8	0.1049	0.512624	7	-0.3	-0.2	-	0.74 0.46
DK5	84	194	1.2557	0.705997	6	0.70591	5.72	33.5	0.1032	0.512580	7	-1.1	-1.1	-	0.79 0.32
Not: $\epsilon_{Nd} = ((^{143}Nd/^{144}Nd)_s / (^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} - 1) \times 10000$, $f_{Sm/Nd} = (^{147}Sm/^{144}Sm)_s / (^{147}Sm/^{144}Sm)_{CHUR} - 1$, $(^{143}Nd/^{144}Nd)_{CHUR} = 0.512638$, ve $(^{147}Sm/^{144}Sm)_{CHUR} = 0.1967$. Model yaşlar, izotopik oranlardan türetilmiştir. $T_{DM} = 1/\epsilon \times \ln(1 + ((^{143}Nd/^{144}Nd)_s - 0.51315) / ((^{147}Sm/^{144}Nd)_s - 0.2137))$.															

Ek 4. Ağrı yöresi Erken Miyosen plütonları'na ait zirkonların Lu-Hf izotop kompozisyonları.

Örnek	Tane	Yaş	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{178}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_t$	εHf	T_{DM} (My)	T_{DM2} (My)
AD1	AD1-01	22	0.282773	0.000013	1.46728	0.000029	0.00134	0.00003	0.0630	0.0013	0.282772	0.04	678	1050
AD1	AD1-03	22	0.282694	0.000007	1.46720	0.000028	0.00096	0.00001	0.0469	0.0010	0.282694	-2.74	781	1224
AD1	AD1-06	22	0.282762	0.000009	1.46728	0.000030	0.00101	0.00000	0.0485	0.0004	0.282762	-0.34	687	1074
AD1	AD1-07	22	0.282701	0.000013	1.46720	0.000025	0.00101	0.00002	0.0487	0.0012	0.282701	-2.50	772	1209
AD1	AD1-09	22	0.282770	0.000014	1.46721	0.000025	0.00127	0.00002	0.0614	0.0012	0.282769	-0.06	681	1057
AD1	AD1-25	22	0.282734	0.000017	1.46723	0.000018	0.00157	0.00001	0.0536	0.0005	0.282733	-1.34	737	1137
AD1	AD1-20	22	0.282759	0.000011	1.46721	0.000019	0.00109	0.00001	0.0507	0.0006	0.282759	-0.45	693	1081
AD1	AD1-22	22	0.282788	0.000012	1.46718	0.000025	0.00115	0.00001	0.0556	0.0006	0.282788	0.58	653	1017
AD1	AD1-28	21	0.282753	0.000013	1.46720	0.000023	0.00119	0.00002	0.0566	0.0008	0.282753	-0.68	703	1095
AD1	AD1-05	22	0.282718	0.000011	1.46721	0.000023	0.00122	0.00001	0.0587	0.0011	0.282717	-1.90	753	1172
AD4	AD4-13	22	0.282669	0.000012	1.46725	0.000021	0.00208	0.00005	0.0882	0.0021	0.282668	-3.64	841	1280
AD4	AD4-02	23	0.282732	0.000013	1.46719	0.000017	0.00132	0.00001	0.0677	0.0006	0.282731	-1.38	735	1140
AD4	AD4-04	22	0.282700	0.000009	1.46719	0.000026	0.00103	0.00001	0.0499	0.0003	0.282700	-2.53	774	1211
AD4	AD4-07	22	0.282770	0.000014	1.46722	0.000024	0.00124	0.00003	0.0592	0.0011	0.282769	-0.06	680	1057
AD4	AD4-08	23	0.282758	0.000009	1.46721	0.000022	0.00107	0.00004	0.0509	0.0016	0.282758	-0.46	694	1083
AD4	AD4-09	23	0.282757	0.000018	1.46720	0.000025	0.00138	0.00002	0.0646	0.0009	0.282756	-0.50	701	1085
AD4	AD4-10	23	0.282750	0.000013	1.46721	0.000031	0.00178	0.00007	0.0848	0.0026	0.282749	-0.75	719	1101
AD4	AD4-11	23	0.282696	0.000025	1.46720	0.000026	0.00411	0.00003	0.1851	0.0014	0.282694	-2.70	849	1222
AD4	AD4-15	22	0.282749	0.000015	1.46722	0.000025	0.00112	0.00000	0.0533	0.0005	0.282749	-0.80	707	1103
AD4	AD4-16	22	0.282751	0.000016	1.46721	0.000020	0.00100	0.00004	0.0477	0.0015	0.282751	-0.73	703	1099

Ek 4 (devamı).

Örnek	Tane	Yaş	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{178}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_t$	εHf	T _{DM} (My)	T _{DM2} (My)
AD4	AD4-18	23	0.282768	0.000011	1.46719	0.000025	0.00080	0.00001	0.0381	0.0005	0.282768	-0.10	675	1060
AD5	AD5-02	22	0.282750	0.000010	1.46722	0.000012	0.00093	0.00000	0.0442	0.0004	0.282750	-0.76	703	1101
AD5	AD5-08	23	0.282733	0.000015	1.46721	0.000040	0.00141	0.00001	0.0747	0.0007	0.282732	-1.35	735	1138
AD5	AD5-09	22	0.282761	0.000012	1.46722	0.000018	0.00113	0.00001	0.0535	0.0002	0.282761	-0.38	691	1077
AD5	AD5-12	22	0.282711	0.000022	1.46731	0.000037	0.00125	0.00002	0.0639	0.0007	0.282710	-2.15	763	1187
AD5	AD5-15	22	0.282773	0.000012	1.46724	0.000025	0.00131	0.00001	0.0633	0.0003	0.282772	0.04	677	1050
AD5	AD5-05	22	0.282705	0.000012	1.46723	0.000022	0.00130	0.00002	0.0649	0.0006	0.282704	-2.36	773	1200
AD5	AD5-14	22	0.282678	0.000011	1.46726	0.000019	0.00117	0.00001	0.0565	0.0002	0.282678	-3.31	808	1260
AD5	AD5-24	22	0.282794	0.000010	1.46724	0.000024	0.00126	0.00003	0.0594	0.0017	0.282793	0.79	647	1004
AD6	AD6-01	22	0.282764	0.000010	1.46727	0.000030	0.00134	0.00001	0.0653	0.0004	0.282763	-0.27	690	1070
AD6	AD6-04	22	0.282767	0.000013	1.46722	0.000026	0.00199	0.00006	0.1041	0.0026	0.282766	-0.18	698	1064
AD6	AD6-06	23	0.282750	0.000022	1.46723	0.000039	0.00148	0.00002	0.0803	0.0005	0.282749	-0.75	713	1101
AD6	AD6-09	22	0.282770	0.000013	1.46719	0.000024	0.00212	0.00005	0.1069	0.0023	0.282769	-0.07	696	1058
AD6	AD6-11	22	0.282765	0.000015	1.46726	0.000023	0.00218	0.00003	0.1118	0.0017	0.282764	-0.25	705	1069
AD6	AD6-14	22	0.282803	0.000014	1.46723	0.000024	0.00157	0.00007	0.0810	0.0043	0.282802	1.10	639	984
AD6	AD6-17	22	0.282714	0.000017	1.46721	0.000050	0.00188	0.00001	0.0997	0.0009	0.282713	-2.05	772	1181
AD6	AD6-19	22	0.282745	0.000009	1.46724	0.000019	0.00157	0.00002	0.0808	0.0014	0.282744	-0.95	722	1112
AD6	AD6-20	22	0.282735	0.000011	1.46722	0.000023	0.00136	0.00004	0.0701	0.0025	0.282734	-1.30	732	1134

Ek 4 (devamı).

Örnek	Tane	Yaş	$^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{178}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$^{176}\text{Yb}/^{177}\text{Hf}$	1SE	$(^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf})_t$	εHf	T_{DM} (My)	T_{DM2} (My)
DK6	DK6-05	23	0.282826	0.000016	1.46722	0.000027	0.00120	0.00003	0.0549	0.0016	0.282825	1.94	601	933
DK6	DK6-11	23	0.282836	0.000012	1.46726	0.000024	0.00115	0.00005	0.0538	0.0028	0.282836	2.30	586	911
DK6	DK6-18	23	0.282833	0.000011	1.46732	0.000030	0.00131	0.00002	0.0605	0.0010	0.282832	2.19	592	917
DK6	DK6-20	23	0.282773	0.000014	1.46727	0.000032	0.00099	0.00004	0.0467	0.0024	0.282773	0.07	671	1050
DK6	DK6-12	23	0.282817	0.000014	1.46723	0.000022	0.00090	0.00001	0.0432	0.0002	0.282817	1.63	608	952
DK6	DK6-26	23	0.282848	0.000011	1.46721	0.000026	0.00121	0.00005	0.0569	0.0029	0.282847	2.72	570	884
DK3	DK3-03	23	0.282781	0.000018	1.46722	0.000027	0.00179	0.00006	0.0868	0.0027	0.282780	0.32	674	1033
DK3	DK3-05	23	0.282764	0.000008	1.46728	0.000023	0.00143	0.00004	0.0690	0.0019	0.282763	-0.30	692	1071
DK3	DK3-06	23	0.282682	0.000025	1.46723	0.000065	0.00145	0.00000	0.0699	0.0001	0.282681	-3.18	808	1251
DK3	DK3-10	23	0.282749	0.000017	1.46719	0.000018	0.00087	0.00003	0.0407	0.0015	0.282749	-0.82	703	1104
DK3	DK3-12	23	0.282802	0.000016	1.46725	0.000026	0.00150	0.00001	0.0683	0.0002	0.282801	1.07	639	987
DK3	DK3-13	23	0.282749	0.000015	1.46726	0.000036	0.00129	0.00002	0.0610	0.0006	0.282748	-0.80	711	1103
DK3	DK3-15	23	0.282748	0.000019	1.46724	0.000020	0.00111	0.00001	0.0529	0.0005	0.282748	-0.84	709	1105
DK3	DK3-18	23	0.282717	0.000017	1.46722	0.000033	0.00116	0.00000	0.0539	0.0003	0.282717	-1.93	753	1174
DK3	DK3-22	22	0.282731	0.000013	1.46721	0.000026	0.00113	0.00001	0.0533	0.0005	0.282731	-1.44	733	1143
DK3	DK3-24	22	0.282760	0.000010	1.46722	0.000028	0.00184	0.00003	0.0744	0.0011	0.282759	-0.42	705	1080
DK3	DK3-25	22	0.282764	0.000012	1.46720	0.000020	0.00084	0.00001	0.0399	0.0007	0.282764	-0.29	681	1070
DK3	DK3-28	23	0.282735	0.000017	1.46723	0.000024	0.00136	0.00003	0.0643	0.0014	0.282734	-1.30	732	1134
DK3	DK3-29	23	0.282754	0.000016	1.46721	0.000036	0.00202	0.00012	0.0987	0.0064	0.282753	-0.64	718	1093
DK3	DK3-31	22	0.282750	0.000013	1.46724	0.000023	0.00121	0.00002	0.0574	0.0010	0.282750	-0.77	708	1101
DK3	DK3-32	22	0.282729	0.000016	1.46720	0.000023	0.00122	0.00001	0.0590	0.0004	0.282729	-1.53	737	1148