



# Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



## ANKARA GB'SINDA YER ALAN OYACA-KEDİKAYASI-BOYALIK (ORTA ANADOLU, TÜRKİYE) ADAKİTLERİNİN PETROJENETİK ÖZELLİKLERİ: YİTİM DİLİMİ KÖKENLİ ERGİYİK METASOMATİZMASINA KANITLAR

Pınar ŞEN <sup>a,\*</sup> ve Erdal ŞEN <sup>b</sup>

<sup>a</sup> MTA Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi, D-Blok, 06520, Balgat-Ankara

<sup>b</sup> Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fak., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06532, Beytepe-Ankara

### ÖZ

Anahtar Sözcükler:  
Adakit,  
Ankara,  
Kısmi Ergime,  
Petrojenetik Modelleme,  
Metasomatizma

Ankara'nın yaklaşık 50-60 km güneybatısında yer alan erken Miyosen yaşlı Oyaca, Kedikayası ve Boyalık dasitleri adakit ve/veya adakitik kayalara benzer özelliklere sahiptir. Porfirik dokulu kayaçlar plajiyoklaz, hornblend ve az miktarda biyotit fenokristalleri ile hamurda plajiyoklaz ile kuvars mikrokristallerinden oluşmaktadır. Kayaçlar, yüksek Sr/Y (55-79 ppm) ve (La/Yb)<sub>n</sub> (21-32 ppm), düşük Y (10-19 ppm) ve ağır nadir toprak element içeriklerine sahiptir. SiO<sub>2</sub> (62.3-69.70 % ağı.) ve MgO (0.62-2.23 % ağı.) içeriklerine göre, yüksek silika adakitleri olarak tanımlanmış olup, bu durum kayaçların oluşumunda yitim dilimi (slab) kökenli ergiyiklerin etkili olduğuna işaret etmektedir. Çalışma alanındaki adakitler yüksek çekim alanlı elementlere (HFSE) göre (Nb: 20-10 ppm, Ta: 0.8-1.2 ppm) büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) (Ba: 800-1395 ppm, Sr<sub>≥</sub>720 ppm) açısından zenginleşmiştir. Düşük Rb/Sr ve yüksek Ba/Sr oranları amfibol içeren bir manto kaynağından türediğini göstermektedir. Çünkü, amfiboller düşük Rb içeriğine sahiptir. Buna göre, amfibol içeren bir manto kaynağının ergimesi düşük Rb içeriğine neden olmaktadır. Bu nedenle, adakitlerin kaynak özelliklerinin belirlenmesi için % 13 amfibol içeren granat-peridotit kayacından itibaren non-modal yığın ergime modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kısmi ergime çalışmalarında, La/Yb-La ve (Tb/Yb)<sub>n</sub>-(La/Yb)<sub>n</sub> diyagramlarındaki değişimler, adakitlerin muhtemelen amfibol içeren granat peridotit manto kaynağından % 5-10 kısmi ergimeler sonucu oluştuğunu göstermektedir.

### ABSTRACT

Keywords:  
Adakite,  
Ankara,  
Partial Melting,  
Petrogenetic Modeling,  
Metasomatism

The Early Miocene Oyaca, Kedikayası and Boyalık dacites, situated approximately 50-60 km southwest of Ankara have affinities similar to adakitic rocks. They have porphyritic texture with a variable amount of plagioclase feldspar, hornblende and lesser biotite phenocrysts and a groundmass of plagioclase and quartz microcrysts. They have high Sr/Y (55-79 ppm) and (La/Yb)<sub>n</sub> (21-32 ppm) ratios, and low Y (10-19 ppm) and heavy rare earth element contents. According to their SiO<sub>2</sub> (62.3-69.70 % wt.) and MgO (0.62-2.23 % wt) contents, they are referred to as high silica adakites, indicating the effects of slab-derived melts in their genesis. The adakites in the study area are enriched in Large Ion Lithophile Elements (LILE) (e.g., Ba: 800-1395 ppm, Sr<sub>≥</sub>720 ppm) relative to High Field Strength Elements (HFSE) (e.g. Nb: 20-10 ppm, Ta: 0.8-1.2 ppm). Low Rb/Sr and high Ba/Sr ratios in these adakites indicate that they are resulted from an amphibole bearing mantle source, as amphiboles have low Rb concentrations. Thus, partial melting of an amphibole bearing mantle source would be responsible for low Rb concentrations. For that reason, non-modal partial melting calculations from a 13 % amphibole bearing garnet peridotite were carried out in order to determine the source features of adakites. The variations between La/Yb vs La and (Tb/Yb)<sub>n</sub> vs (La/Yb)<sub>n</sub> in partial melting studies demonstrate that the adakites in the study area were most probably derived from an amphibole bearing garnet peridotite mantle source via 5-10 % degrees of partial melting.

\* Başvurulacak yazar : P. ŞEN, [pinarsen@mta.gov.tr](mailto:pinarsen@mta.gov.tr)

## 1. Giriş

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Dalma-batma zonu magmalarının büyük çoğunluğunun metasomatize olmuş manto kaması peridotitlerinin kısmi ergimesi sonucu oluştuğu düşünülmese rağmen, son yıllardaki çalışmalar, dalma-batma magmalarının dalan okyanus kabuğu bazaltlarının ergimesiyle de oluşabileceğini göstermiştir (Defant ve Drummond, 1990; Stern ve Kilian, 1996; Martin, 1999; Beate vd., 2001; Bourdon vd., 2002; Defant vd., 2002). Bu tür sodik ve felsik 'yitim dilimi (slab) ergiyikleri' Defant ve Drummond (1990) tarafından adakit olarak adlandırılmıştır. Son yıllarda adakit/adakitik magmatizmasının kökenine yönelik çok sayıda çalışmalar gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, adakit ve/veya adakitik kayaların kökeni ve evrimi halen tartışmalıdır.

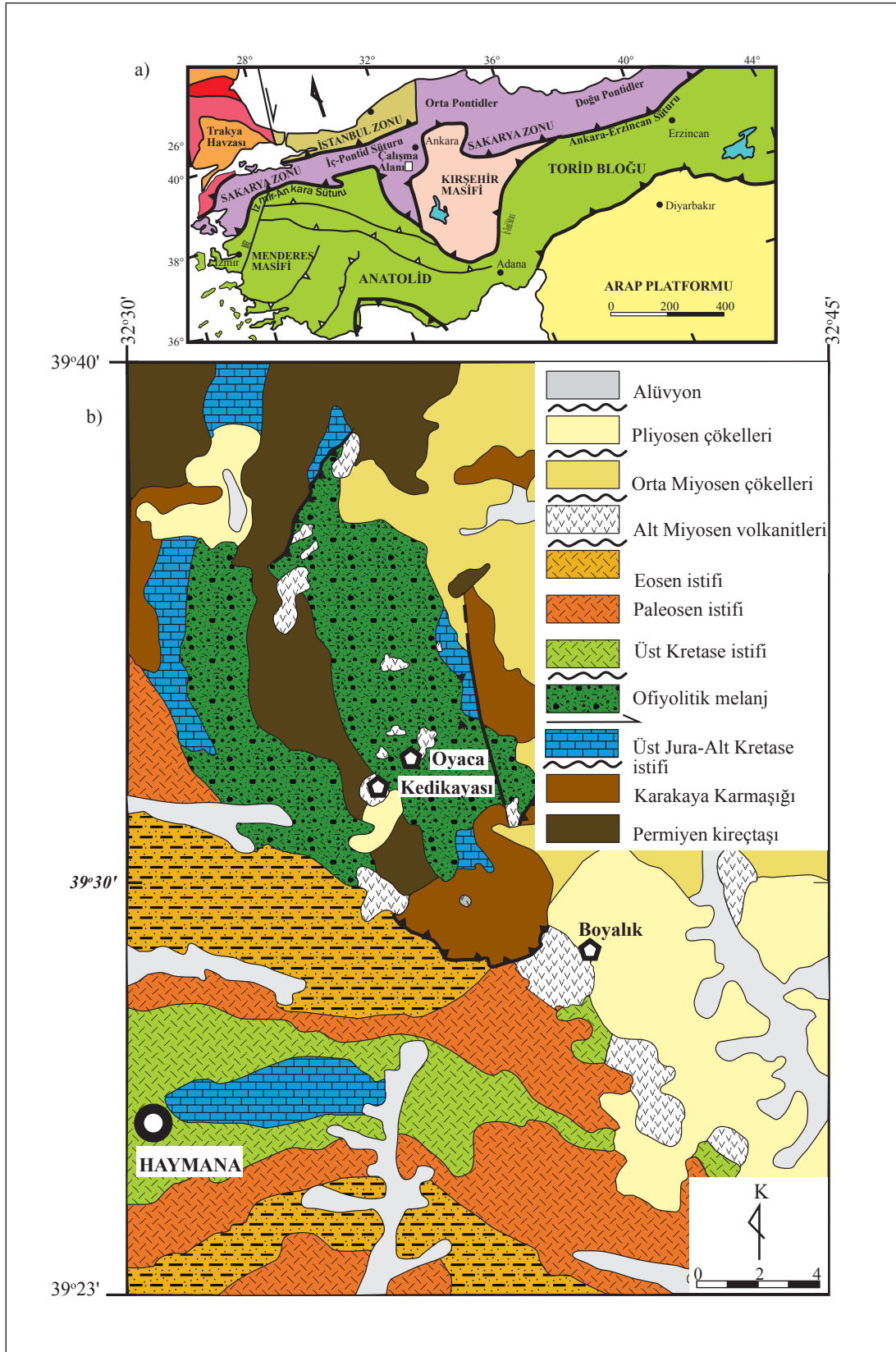
Bu çalışmalarda, adakit/adakitik kayaların, sulu bazaltik magmanın yüksek basınç fraksiyonel kristalleşmesi ve kabuksal kirlenme (Macpherson vd., 2006) veya düşük basınç fraksiyonel kristalleşmesi ve kabuksal kirlenme (Castillo vd., 1999; Castillo, 2006); kabuk-manto geçiş zonundaki dalma-batma ilişkili magmaların kristal fraksiyonlanması ve/veya diferansiyasyonu (Eyüboğlu vd., 2011a); dalan okyanus kabuğunun ergimesi (Defant ve Drummond, 1990; Stern ve Kilian, 1996; Martin, 1999; Xu vd., 2000; Beate vd., 2001; Bourdon vd., 2002; Zhu vd., 2009); mafik alt kabuğun ergimesi (Xu vd., 2002; Chung vd., 2003; Hou vd., 2004; Rollinson ve Tarney, 2005; Wang vd., 2005; Wang vd., 2007a, b; Liu vd., 2008; Karlı vd., 2010; Eyüboğlu vd., 2012b) ve dalma-batma ilişkili ortamlarda yitim dilimi penceresi (slab window) sonucu oluşan ürünleri (Eyüboğlu vd., 2011b, c; Eyüboğlu vd., 2012a, b) olarak tanımlanmaktadır. Adakit ve adakitik kayalardaki sıra dışı iz element özellikleri ve yüksek Mg, Ni ve Cr içerikleri de mantonun yitim dilimi ergiyikleri ile metasomatize olduğu şeklinde açıklanmaktadır (Sajona vd., 2000).

Adakit ve adakitik kayalar, çeşitli tektonik ortamlar ve süreçlerle oluşabilmektedir. Bu çalışmada, Bozkurt vd. (1999) ve Alıcı Şen (2009) tarafından çalışılmış olan ve Ankara'nın GB'sında yer alan Oyaca, Kedikayası ve Boyalık dasitleri jeokimyasal ve petrojenetik açıdan yeniden değerlendirilmiş ve bölgede yer alan bu dasitlerin adakitik bir magmatizmanın ürünü olup olmadığı irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Oyaca, Kedikayası ve Boyalık dasitlerine ait majör-oksit ve iz element

verileri Bozkurt vd. (1999) ile Alıcı Şen (2009)'den alınmış ve dasitik bileşimdeki örnekler jeokimyasal açıdan yeniden gözden geçirilerek, adakitelere benzer nitelikler taşıdığı belirlenmiştir. Değerlendirme çalışmalarında, jeokimyasal modelleme yöntemleri hedef alınmış ve kayaların kısmi ergime modelleme yöntemleri ile ne tür bir kaynaktan türediği sorusuna yanıt aranmaya çalışılmıştır.

Çalışma alanı, İzmir-Ankara-Erzincan bindirme zonu ile Sakarya kıtası ve Kırşehir bloğu arasında yer almaktadır (Şekil 1). İzmir-Ankara-Erzincan Bindirme Zonunda (İAEBZ) yer alan Ankara bölgesinin erken tektonik evrimi kuzeyde Rodop-Pontid levhası ile güneyde Kırşehir metamorfik masifinin çarpışmasını içermektedir (Şengör ve Yılmaz, 1981). İAEBZ Anadolu'nun kuzeyindeki ana kompresyonel paleotektonik yapılarından biri olup, İzmir-Ankara bindirme zonu, Ankara civarında geç Eosen'de kapanan Neo-tetis okyanusunun kuzey kolunun kalıntılarıdır (Görür vd., 1984; Koçyiğit, 1991; Koçyiğit ve diğerleri, 1995; Bozkurt vd., 1999; Kaymakçı, 2000). Çarpışma sonucu, Ankara ve civarında yaygın Miyosen volkanizması gelişmiştir (Wilson vd., 1997; Tankut vd., 1998; Toprak ve Türkecan, 1998; Varol vd. 2007; Varol vd., 2008; Koçyiğit vd., 2003; Temel vd., 2010). Jeolojik birimler, Neo-tetis okyanus litosferinin kalıntılarını içeren ofiyolitik karmaşık ve Eosen fişi, volkanik ürünler ve Neo-tetis okyanusunun kuzey kolundan türeyen yığılma malzemeleridir (Koçyiğit, 1991; Tüysüz ve Yiğitbaş, 1994; Bozkurt vd., 1999). Miyosen volkanik ürünleri, Eosen fişi ve ofiyolitik karmaşık ile intrüzif dokanaktır (Ünal ve Yüksel, 1985; Bozkurt vd., 1999; Şahin, 2007). Şekil 1'de çalışma alanının bölgesel tektonik haritadaki konumu ve sadeleştirilmiş jeoloji haritası verilmiş olup, bölgede sedimanter (karbonat ve kırıntılar) ve volkanik kayalar yaygındır.

Ankara'nın yaklaşık 50-60 km GB'sında, Sakarya kıtası ile Kırşehir bloğu arasında, İAEB zonunda yer alan çalışma alanı, hem dalma-batma, hem çarpışma ve bunu takip eden çarpışma sonrası süreçlerin volkanik gelişiminin jeokimyasal olarak incelenmesi açısından çok önemli bir konumdur. Ayrıca, çalışma alanının yakın civarında, yaklaşık 20-30 km kuzeybatısında yer alan erken Miyosen yaşlı Balkuyumcu volkanizmasına ait asidik bileşimli kayalar da, adakit-benzeri özellikler göstermektedir (Varol vd., 2006; 2007). Bu nedenle, Ankara'nın güneybatısındaki adakitik özellikteki bu volkanizmalar, jenetik ve gelişimsel süreçlerin belirlenmesi açısından önemli konumdur.



Şekil 1-a) Türkiye'nin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999); b) Çalışma alanı ve çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (1/500.000 ölçekli MTA haritasından hazırlanmıştır).

## 2. Oyaca - Kedikayası - Boyalık Dasitlerinin Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri

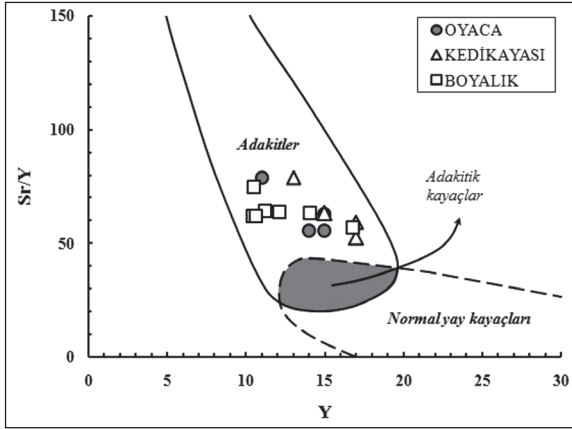
Çalışma alanındaki dasitler hipokristalin porfirik dokuya sahiptir. Esas bileşenlerini plajiyoklaz, hornblend ve az miktarda biyotit fenokristalleri oluşturmaktadır. Oksitler yaygın aksesuar mineralleri olarak gözlenmektedir. Kayacın hamuru çoğunlukla plajiyoklaz ve kuvars mikrolitleri ile hornblend mikrokristalleri ve az oranda camdan oluşmaktadır. Hamurdaki plajiyoklaz mikrolitleri ile hornblend mikrokristalleri yönelme göstermektedir. Kuvars mikrokristalleri ise köşelerden itibaren yuvarlaklaşmıştır. Özşekilli-yarı özşekilli plajiyoklaz fenokristalleri (2-4 mm) en yaygın mineral olup, zonlanma ve ikizlenme tipiktir. Plajiyoklaz fenokristalleri çoğunlukla temiz olmasına rağmen bazı fenokristallerde cam kapanımlarına, bazılarında da kenarları ve çatlakları boyunca killeşmelere rastlanmaktadır. Hornblend fenokristalleri özşekilli ve uzun bantlar şeklinde gözlenmekte olup, yeşil pleokroyizma hakimdir. Bazı hornblend fenokristalleri yer yer kümülatlar halinde bulunmaktadır. Birçoğunda kenarlarından itibaren oksit kuşakları oluşmuştur. Az miktarda bulunan biyotit fenokristalleri genellikle

kahverengi tonlarında pleokroyizma göstermektedir. Kenarlarından itibaren yer yer kemirilme dokularının gözlendiği biyotitlerde kenarlarından itibaren opasitleşme gözlenmektedir.

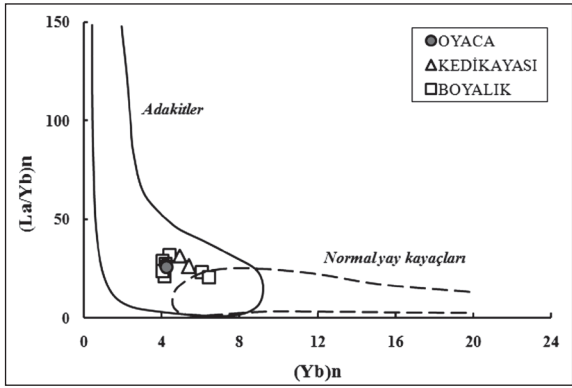
Bozkurt vd. (1999) ve Alıcı Şen (2009)'den alınmış olan majör-oksit ve iz element analiz sonuçları çizelge 1'de verilmiştir. Dasit bileşimindeki kayaçlar kalkalkali karakter sergilemektedir ve yüksek SiO<sub>2</sub> (% 62-70 ağı.), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (>% 15.50 ağı.), Na<sub>2</sub>O (>% 4.0 ağı.), Sr (648-1026 ppm) ve Ba (648-1810 ppm), düşük TiO<sub>2</sub> (<% 0.90 ağı.), K<sub>2</sub>O (% 1.51-2.08 ağı.), HFSE (Nb: 20-10 ppm, Ta: 0.8-1.2 ppm), ağır nadir toprak element [özellikle Yb (<1.70 ppm)] ve Y içerikleri ile karakterizedir. Yüksek Sr ve düşük Y değerleri ve beraberinde yüksek Sr/Y oranı adakitik kayaçların genel özellikleri arasında yer almakta olup, yüksek basınç ve yitim dilimi - ergiyik özelliklerini yansıtmaktadır (Defant ve Drummond, 1990; Martin vd., 2005). Bu kritere göre, Oyaca, Kedikayası ve Boyalık dasitleri de yüksek Sr/Y (55-79) ve (La/Yb) n (21-32) (Thompson, 1982) değerleri ve düşük Y (10-19) ve (Yb)n (5.2-6.4) içerikleri ile Sr/Y-Y ve (La/Yb)n-(Yb)n diyagramlarında adakit bölgesinde yer almaktadır (Şekil 2, 3) (buradan sonra "adakit"

Çizelge 1- Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin majör-oksit, iz ve nadir toprak element değerleri (Veriler; Bozkurt vd., 1999 ve Alıcı Şen, 2009'dan alınmıştır).

	OYACA				KEDİKAYASI				BOYALIK							
	OY3	OY6	OY7	OY9	OY15	OY17	OY18	OY20	BY-06-1	BY-06-2	BY-06-3	BY-06-4	BY-06-5	BY-06-6	BY-06-13	BY-06-14
SiO <sub>2</sub> (% ağı.)	66.12	64.54	62.3	65.43	65.18	63.42	64.46	65.4	64.77	66.51	66.20	66.19	65.50	69.68	63.44	63.03
MgO	1.13	1.85	1.74	1.62	1.78	2.23	1.68	0.68	1.69	1.45	1.77	0.62	1.58	0.50	1.27	0.97
CaO	4.11	5.18	5.73	5.27	4.37	4.84	4.52	4.28	6.52	4.95	4.85	5.27	4.93	3.67	5.08	4.86
MnO	0.06	0.06	0.09	0.06	0.07	0.12	0.07	0.05	0.11	0.07	0.06	0.06	0.04	0.00	0.02	0.02
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.47	0.59	0.47	0.5	0.54	0.57	0.48	0.59	0.51	0.48	0.54	0.44	0.46	0.83	0.86
FeO	2.55	2.60	3.05	2.42	2.86	3.01	2.79	2.34	2.88	2.74	2.76	2.53	2.17	1.74	2.71	2.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.02	1.04	1.22	0.97	1.15	1.20	1.12	0.93	1.15	1.10	1.11	1.01	0.87	0.69	1.08	1.05
Na <sub>2</sub> O	4.09	4.37	4.2	4.64	4.8	5.06	4.88	5.12	3.52	4.07	4.29	4.35	4.31	4.27	4.40	4.40
K <sub>2</sub> O	1.61	1.51	1.52	1.63	2.08	1.87	1.91	1.99	2.16	1.77	1.62	2.04	1.65	1.74	1.77	1.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.16	15.67	15.41	16.02	16.14	16.28	16.66	16.88	16.80	16.17	16.42	17.10	16.67	17.10	17.44	17.61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.29	0.26	0.36	0.27	0.37	0.44	0.35	0.31	0.30	0.26	0.25	0.27	0.20	0.22	0.52	0.52
Toplam	97.63	97.55	96.21	98.8	99.3	99.01	99.01	98.46	100.51	99.61	99.81	99.97	98.35	100.08	98.58	97.72
Cr (ppm)	48	28	38	39	22	26	28	24	11.47	10.65	11.67	16.34	34.08	37.04	18.36	18.92
Ni	26	19	24	23	16	25	16	13	20.12	10.29	10.86	11.61	34.77	20.20	24.73	23.23
Zr	110	131	103	118	155	139	142	138	86.26	75.46	63.52	73.50	83.91	107.20	81.19	78.91
Rb	44	45	42	43	54	48	49	52	66.71	41.16	40.42	44.67	37.01	39.22	29.02	19.33
Sr	775	940	831	868	892	946	1007	1026	772.27	720.45	780.85	890.08	647.65	658.41	953.28	975.06
Y	14	15	15	11	17	15	17	13	12.15	11.20	10.48	14.03	10.47	10.64	16.76	18.64
Nb	16	15	17	15	18	19	17	20	10.49	12.83	11.82	12.80	11.05	11.84	17.91	17.78
Ba	938	1210	919	873	1332	1311	1295	1393	1810.82	948.08	951.41	1052.71	650.92	647.67	804.27	806.44
La	63	37	76	35.8	49	46.3	59	51	46.64	38.51	37.46	46.16	28.71	31.57	43.27	43.30
Ce	49	66	48	63.3	97	82	86	86.3	82.05	67.66	66.24	74.55	50.61	53.10	81.59	81.55
Pr		7.13		6.86		9		9.45	8.95	7.40	7.20	9.13	5.54	6.10	9.46	9.46
Nd	27	24.2	32	23.5	37	31.4	26	32.1	29.30	24.14	23.55	30.66	18.31	20.24	32.70	32.96
Sm		3.54		3.47		4.64		4.55	4.46	3.75	3.61	4.97	3.01	3.35	5.47	5.55
Eu		1.05		1.04		1.36		1.35	1.47	1.16	1.11	1.42	0.93	1.00	1.54	1.60
Tb		0.37		0.37		0.47		0.44	0.46	0.41	0.39	0.55	0.36	0.38	0.60	0.63
Gd		2.76		2.7		3.58		3.31	3.23	2.83	2.74	3.77	2.46	2.66	4.23	4.32
Dy		1.9		1.88		2.48		2.27	2.21	2.03	1.97	2.74	1.90	1.98	3.04	3.31
Ho		0.36		0.36		0.47		0.42	0.41	0.37	0.37	0.52	0.36	0.37	0.58	0.64
Er		0.95		0.97		1.24		1.13	1.10	1.01	1.02	1.42	0.99	0.99	1.52	1.78
Yb		0.93		0.94		1.19		1.08	0.98	0.90	0.93	1.33	0.91	0.89	1.41	1.68
Lu		0.15		0.15		0.19		0.16	0.14	0.12	0.15	0.20	0.14	0.14	0.21	0.26
Hf		1.47		1.71		1.42		1.24	0.86	0.84	1.71	1.31	2.21	1.94	2.36	2.33
Ta		0.86		0.85		1.1		1.18	0.72	0.91	0.84	0.89	0.82	0.80	1.11	1.11
Pb	21	31	19	20	36	27	28	32	21.18	21.81	18.04	21.71	23.53	18.82	21.19	22.20
Th		9	10.7	10	10.5	16	13.7	11	13.51	10.55	10.86	11.31	8.27	8.24	9.39	8.89
U		2.36		2.85		2.81		2.45	3.90	2.30	2.55	2.92	2.20	1.68	1.90	1.54



Şekil 2- Çalışma alanındaki adakitlerin Sr/Y-Y ayırtman diyagramı (Defant ve Drummond, 1990).

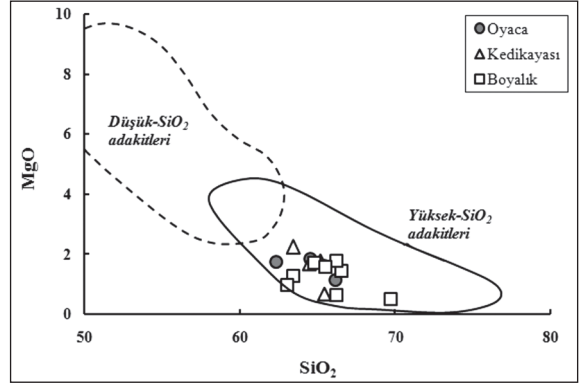


Şekil 3- Çalışma alanındaki adakitlerin (La/Yb)<sub>n</sub>-(Yb)<sub>n</sub> ayırtman diyagramı (Defant ve Drummond, 1990). Değerler kontrite göre (Thompson, 1982) normalize edilmiştir.

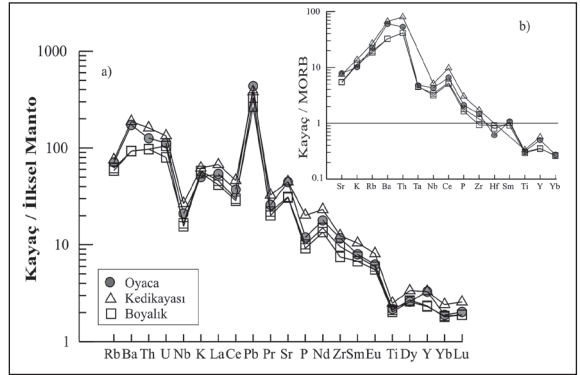
olarak ifade edilecektir. MgO-SiO<sub>2</sub> ayırtman diyagramında (Martin vd., 2005), örneklerin yüksek-silikat adakit alanında yer alması, oluşumlarında yitim dilimi-kökenli ergiyiklerin etkili olduğu fikrini ortaya koymaktadır (Martin vd., 2005) (Şekil 4).

Şekil 5'te Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinden seçilmiş örneklerin ilksel manto (Sun ve McDonough, 1989) ve Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları'na (MORB) (Pearce, 1983) göre normalize edilmiş iz element örümcek diyagramı gözlenmektedir. Örneklerin ortak özellikleri Nb, Ta ve Ti elementlerinde gözlenen negatif; K, Th, Ba ve Pb elementlerinde gözlenen pozitif anomalilerdir (Şekil 5). Ayrıca, örnekler MORB'na göre büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) bakımından zenginleşmiştir. Buna karşın, Y ve Yb elementleri MORB değerlerinin altında yer almaktadır.

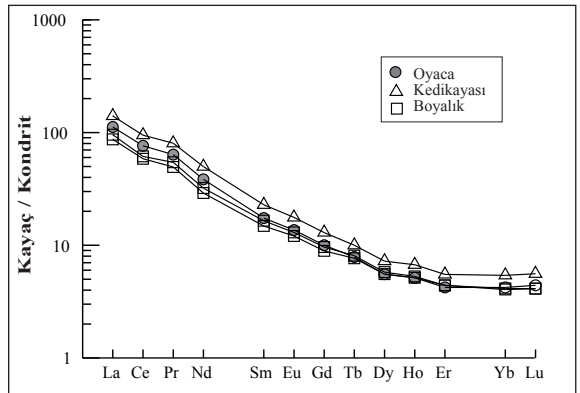
Şekil 6'daki kondrite göre normalize (Nakamura, 1974) edilmiş nadir toprak element (REE) örümcek



Şekil 4- Çalışma alanındaki adakitlerin MgO-SiO<sub>2</sub> ayırtman diyagramı.



Şekil 5- Çalışma alanındaki adakitlerden seçilmiş örneklerin a) ilksel manto (Sun ve McDonough, 1989) ve b) MORB'a (Pearce 1983) göre normalize edilmiş iz element örümcek diyagramları.



Şekil 6- Çalışma alanındaki adakitlerden seçilmiş örneklerin kondrite (Nakamura, 1974) göre normalize edilmiş nadir toprak element örümcek diyagramı.

diyagramında çalışma alanındaki adakitlerin, hafif nadir toprak elementler (LREE) bakımından ağır nadir toprak elementlere (HREE) göre zenginleşmiş olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, yüksek [(La/Yb)<sub>n</sub>: 21-32] oranı da belirgin bir LREE/HREE fraksiyonlanmasına işaret etmektedir.

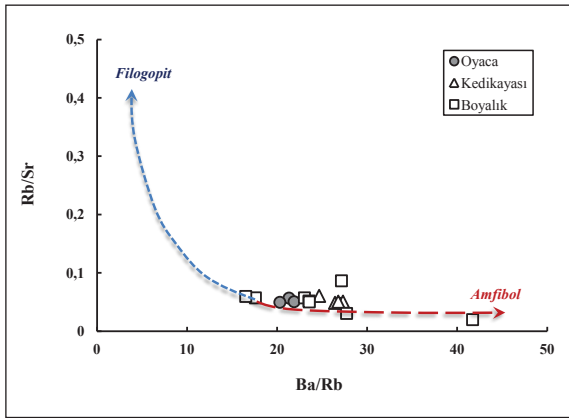
### 3. Kaynak Özellikleri ve Petrojenetik Modelleme

Adakitler ve/veya adakitik kayalar yüksek  $\text{SiO}_2$  ( $\geq 55$ ) içeriklerinin yanı sıra yüksek  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\geq 15$ ),  $\text{Na}_2\text{O}$  (3.52-5.12) ve La/Yb ve beraberinde düşük HFS (Nb, Ta) elementleri ve düşük Yb içerikleri ile temsil olunurlar (Richards ve Kerrich, 2007; Eyüpoğlu vd., 2011a, b, c; Eyüboğlu, 2012a,b). Yüksek Sr ve düşük Y ve Yb değerleri, kaynak bölgesindeki plajiyoklaz ve/veya granat minerallerinin varlığı ile açıklanabilir. Sr ve Yb elementlerinin ergiyikteki zenginleşme derecesi, bazaltik kaynaktan artık plajiyoklaz ve granat fazı ile kontrol edilmektedir. Bazaltik ergiyiklerde Sr elementinin plajiyoklaz mineralindeki paylaşma katsayısı (Kd değeri) 1.83, Yb elementinin granat mineralindeki Kd değeri ise 11.50 civarındadır (Rollinson, 1993). Buna göre, plajiyoklaz ve granatın artık faz olduğu durumlarda, sırasıyla Sr (Zamora, 2000) ve Yb zenginleşme derecesi de düşük olacaktır. Plajiyoklazın duraylılığı basınca bağlı olarak değişmektedir. Yüksek basınç ve derinlik koşullarında plajiyoklaz minerali duraylılığını yitirirken, granat minerali ise duraylı olmaktadır (Moyen, 2009). Bu nedenle, bu tür koşullarda Sr elementi uyumsuz bir davranış sergileyerek, sıvı fazda zenginleşirken, Yb elementi de uyumlu bir davranış sergileyerek duraylı olan granat fazında zenginleşmektedir ki adakitlerdeki yüksek Sr/Y oranının nedeni de bu şekilde açıklanabilmektedir. Bu tür özellikler (yüksek Sr ve Sr/Y, düşük Y ve Yb içerikleri) astenosfer kökenli magmatik kayalarda da gözlenebilmektedir. Ancak, astenosfer kökenli magmatik kayalar, genelde yüksek Nb, Nb/Y ( $>1.5$ ), Nb/La ( $>1.0$ ) oranları ile temsil edilmektedir (Edwards vd., 1991; Pearce, 1983; Jung ve Hoernes, 2000). Adakitler ise Nb, Ti ve Ta bakımından tüketilmiş kayalardır. Buna göre, Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin kondrite göre normalize edilmiş iz element örümcek diyagramını incelediğimizde, yüksek Sr ve düşük Y ve Yb konsantrasyonlarının yanı sıra Ba, K ve Th elementlerinde pozitif, Nb, Ta ve Ti elementlerinde de belirgin negatif anomaliler gözlenmektedir (Şekil 5). Bu tür özellikler dalma-batma magmatizmalarının jeokimyasal özellikleri arasında yer almaktadır. Çünkü dalma-batma zonlarında 80-100 km derinliklerde sfen, rutil ve perovskit gibi fazlar duraylı durumdadır. Nb, Ta ve Ti gibi elementler de bu tür koşullarda bu elementler bakımından fakirleşmektedir (Saunders vd., 1980; Foley vd., 2000; Ringwood, 1990). Ayrıca, Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerindeki yüksek Ba/Nb (45-172) ve Nb/La ( $\leq 0.41$ ) oranları da çalışma alanındaki magmatik kayaların

doğrudan astenosferik bir mantodan türemediğine, volkanizmanın oluşumunda dalma-batma izlerinin varlığına işaret etmektedir (Gill, 1981; Fitton vd., 1991; Wang vd., 2004).

Bununla birlikte, dalma-batma zonlarında, yitim dilimi kökenli ergiyikler ile akışkanların Nb ve Ta içerikleri de kendi arasında farklılıklar sunmaktadır. Çünkü yitim dilimi kökenli akışkanlar, ergiyiklere göre Nb ve Ta bakımından tüketilmiş durumdadır (Tatsumi vd., 1986; Tatsumi ve Nakamura, 1986; Martin vd., 2005). Defant vd. (1992), Maury vd. (1996), Sajona vd. (1996) ve Martin vd. (2005) yitim dilimi kökenli ergiyikler (slab-melts) tarafından metasomatize olmuş manto kamasından türeyen magmaların Nb içeriklerinin ( $7 \text{ ppm} < \text{Nb} < 20 \text{ ppm}$ ) yüksek olduğunu ileri sürmektedir. Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinde Nb içeriği 11-20 ppm arasında değişmekte olup, nispeten yüksek Nb içeriği, çalışma alanındaki adakitlerin, yitim dilimi kökenli ergiyikler tarafından zenginleşmiş bir manto kaynağından türemiş olabileceği görüşünü ortaya koymaktadır.

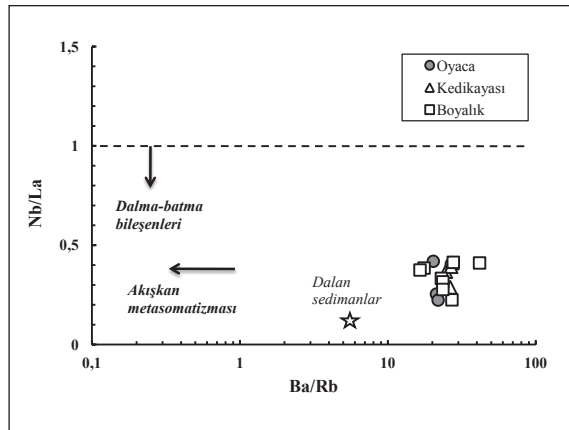
Rb/Sr, Ba/Rb ve K/Rb oranları, kaynak bölgedeki filogopit ve amfibolün varlığının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Çünkü amfibol yüksek K ve çok düşük Rb içeriklerine sahipken, filogopit hem Rb ve Ba, hem de K bakımından zengindir (Ionov ve Hofmann, 1995; Martin vd., 2005). Buna göre, amfibol içeren bir kaynağın ergimesi düşük Rb, Rb/Sr ve yüksek K/Rb, filogopit içeren kaynağın ergimesi ise düşük K/Rb ve yüksek Rb/Sr içeriğine neden olur (Furman ve Graham, 1999). Rogers vd. (1985), Calmus vd. (2003) ve Martin vd. (2005), adakitik kayalarda gözlenen Rb fakirleşmesinin, peridotitik kaynaktaki metasomatik amfibolün varlığına işaret ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, kaynak bölgede filogopit ve/veya amfibolün varlığı metasomatize olmuş manto ile ilişkilidir, çünkü her iki mineral de metasomatik uçucu içeren fazlardır (Jiang vd., 2012). Bu kriterler dikkate alındığında, çalışma alanındaki adakitlerin, Rb/Sr-Ba/Rb diyagramında amfibol içeren kaynak yönünde yoğunlaştığı gözlenmektedir (Şekil 7). Bunun yanı sıra, adakitlerdeki K/Rb oranı da kaynak bölgesinin niteliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu oran düşük silika adakitlerinde ortalama 1050, yüksek silika adakitlerinde ortalama 350 civarındadır (Martin vd., 2005). Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinde söz konusu oran genel olarak 270-380 arasında değişmektedir. Bu durum, çalışma alanındaki adakitlerin yüksek silika adakitlerine benzer özelliklerde olduğunu ve yitim dilimi-ergiyikleri ile etkileşmiş metasomatik bir peridotit



Şekil 7- Çalışma alanındaki adakitlerin Rb/Sr-Ba/Rb diyagramı (Furman ve Graham, 1999).

kaynağından türemiş olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, yukarıda da bahsedildiği gibi, çalışma alanındaki örneklerin doğrudan astenosferik bir kaynaktan türemediği, kaynağın dalma-batma bileşenleri içerdiğini söylemek mümkündür.

Düşük Nb/La ve yüksek Rb/Ba oranları da yukarıda sözü edilen görüşleri destekler niteliktedir (Şekil 8). Çünkü, düşük Nb/La (<1) oranı magmatizmanın kaynağında dalma-batma bileşenlerinin varlığını belirtmekte, yüksek Ba/Rb oranı ise yitim dilimi ergimesi veya dalan sediman ergimesi sonucu gerçekleşmektedir (Wang vd. 2004). Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerindeki düşük Nb/La ( $\leq 0.41$ ) ve yüksek Rb/Ba oranlarına göre, oluşumlarında yitim dilimi/sediman ergimesinden bahsetmek mümkündür (Şekil 8).



Şekil 8- Çalışma alanındaki adakitlerin Nb/La-Ba/Rb diyagramı (Wang vd., 2004).

Oyaca-Kedikayası-Boyalık adakitlerindeki düşük Rb/Sr (0.02-0.09) oranı ve beraberinde düşük %  $K_2O$  (1.5-2.2) ve yüksek Mg # (31-57) değerleri de yitim

dilimi ergiyik/manto peridotit etkileşimine işaret etmektedir. Çünkü, yitim dilimi kökenli ergiyik/manto peridotit etkileşiminde düşük Rb/Sr (0.01-0.04) (Hou vd., 2004) ve yüksek Mg# değerlerine rastlanmaktadır (Rapp vd., 1999; Hou vd. 2004). Buna karşın, alt kabuk ergimesi ve/veya kabuksal kirlenme gibi süreçlerin etkili olduğu durumlarda ise, düşük % MgO ve Mg# değerleri ile yüksek  $K_2O$  içerikleri gözlenmektedir.

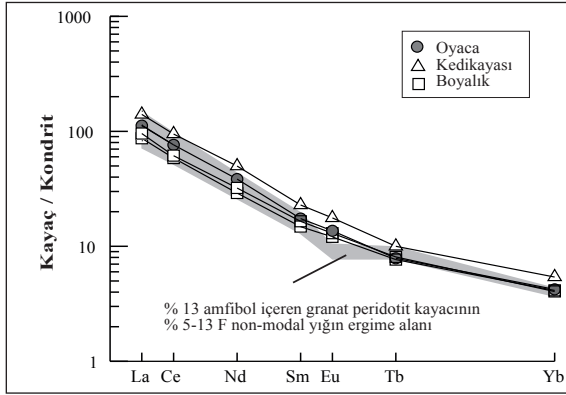
Sonuç olarak, iz elementlerden elde edilen görüş, çalışma alanındaki adakitlerin belirgin bir şekilde amfibol içeren metasomatik bir kaynaktan türediği şeklindedir. Bu nedenle, nadir toprak element verileri kullanılarak Shaw (1970)'in non-modal yığın ergime modeli uygulanmıştır. Modellemede, Rampone ve Morten (2001)'in manto kamasının parçaları olarak nitelendirdiği ve metasomatik süreçler ile etkileşime uğramış % 13 amfibol içeren granat peridotit kayacı [Örnek No: MK5C, (Rampone ve Morten, 2001)] başlangıç bileşeni olarak kabul edilmiştir. Bu ilksel bileşimden itibaren de ergime modeli hesaplanmıştır. Nadir toprak elementlerinin mineral/eriyik paylaşma katsayıları (Kd) değerleri Rollinson (1993) ve Mc Kenzie ve O'Nions (1991)'den alınmıştır. Başlangıç bileşeni olarak kabul edilen amfibol-granat peridotit kayacına ait La, Ce, Tb ve Yb değerleri ile bu kayacın modal mineralojisi (Xi), Rampone ve Morten (2001)'den, ergiyik modu (Pi) değerleri ise Barry vd. (2003)'ten alınmıştır. Çizelge 2'de modelleme hesaplamalarında kullanılan veriler gözlenmektedir.

Çizelge 2- Non-modal yığın ergime modellemesinde kullanılan veriler.

	Amfibol-granat-peridotit	
	Modal Mineraloji (Xi)	Ergime Modu (Pi)
Olivin	0,77	0,05
Ortopiroksen	0,05	0,05
Klinopiroksen	0,01	0,30
Amfibol	0,13	0,20
Granat	0,04	0,40
	Toplam paylaşma katsayısı (D <sub>0</sub> )	Ergiyik Modu Paylaşma katsayısı (P <sub>0</sub> )
La	0,0110	0,0863
Ce	0,0193	0,1377
Tb	0,0973	0,5756
Yb	0,2760	1,1875
	Başlangıç Bileşimi İlksel Konsantrasyon (C <sub>0</sub> )	
La	2,800	
Ce	5,250	
Tb	0,056	
Yb	0,230	

Amfibol granat-peridotit bileşimindeki başlangıç kayacının farklı kısmi ergime derecelerinde (% F) non-modal yığın ergimesi sonucu elde edilen nadir toprak element değerleri çizelge 3'te verilmektedir. Değerler, kondrite göre normalize edilerek örümcek diyagram

oluşturulmuştur (Şekil 9). Bu diyagrama göre, Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin amfibol granat peridotit ile temsil edilen bir kaynaktan % 5-10 F'lik kısmi ergimeler sonucu oluştuğu düşünülmektedir.



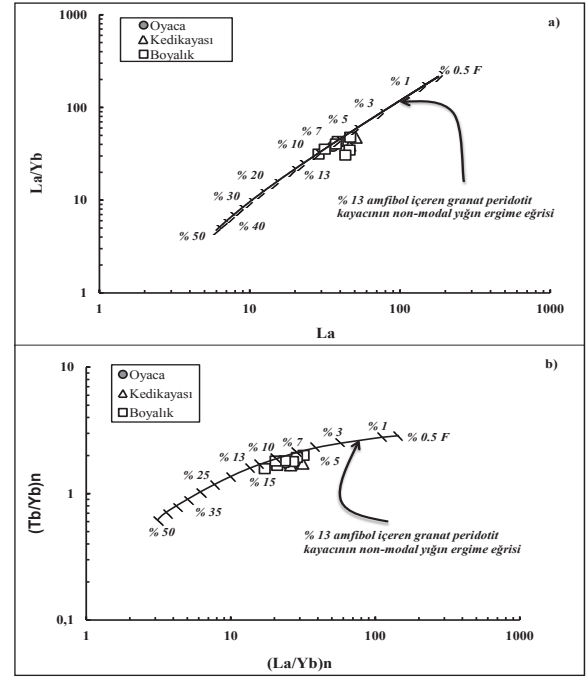
Şekil 9- Non-modal yığın ergime hesaplamalarından elde edilen veriler ile Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin nadir toprak element değerlerinin örümcek diyagramında karşılaştırılması (Kondrit normalizasyon değerleri Nakamura (1974)'dan alınmıştır).

Benzer şekilde, şekil 10'da La/Yb-La ve (Tb/Yb)n - (La/Yb)n diyagramları görülmektedir. La/Yb ve Tb/Yb oranları granat mineralinin varlığına bağlı olarak değişmektedir. Yüksek La/Yb ve Tb/Yb oranları artık granat fazına işaret etmektedir (Moufti vd., 2012). Çünkü, yukarıda da bahsedildiği gibi, Yb elementi granat fazı ile uyumlu davranış sergilemekte, ergime sırasında granat mineralinin bünyesinde tutulmaktadır. Çalışma sahasındaki adakitlerin amfibol içeren granat-peridotit ergime eğrisinde yer aldığı gözlenmektedir.

Jeokimyasal veriler ve petrojenetik modelleme çalışmaları, Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin amfibol içeren bir manto kaynağından % 5 ile %13'lük kısmi ergimeler ile oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca, örneklerdeki amfibol minerallerinin varlığı da, volkanizmanın kökeninde sulu (hydrous) koşulların etkili olduğuna işaret etmektedir. Çarpışma sonrası ortamda yer alan erken Miyosen yaşlı Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin, yitim dilimi ergiyikleri tarafından zenginleşmiş peridotitik bir kaynaktan türediği düşünülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Erken Miyosen yaşlı Oyaca, Kedikayası ve Boyalık alkali ve kalkalkali magmatizmasına ait dasitik kayaların, bu çalışma ile adakit bileşiminde olduğu tespit edilmiştir. Jeokimyasal değerlendirmeler



Şekil 10- Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin a) La/Yb-La ve b) (Tb/Yb)n - (La/Yb)n diyagramlarının %13 amfibol içeren garnet peridotit kayacının non-modal yığın ergime modelinde gösterimi. Ergime eğrisi üzerindeki kısa çizgiler ergime derecesini (%F) göstermektedir.  $n$  kondrite göre (Thompson, 1982) normalizasyonu ifade etmektedir.

erken Miyosen yaşlı Oyaca, Kedikayası ve Boyalık adakitlerinin oluşumunda dalma-batma süreçlerinin etkilerini açıkça ortaya koymuştur. Yüksek silis ve MgO içerikleri ve beraberinde yüksek Nb içerikleri söz konusu kayaların oluşumunda yitim dilimi kökenli ergiyiklerin etkin rol oynadığına işaret etmiştir. Bununla birlikte, yüksek Ba/Rb oranı da, kökeninde amfibolün varlığını göstermiştir. Bu nedenle amfibol içeren bir peridotit kaynağından itibaren petrojenetik modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiş ve adakitlerin bu tür bir kaynaktan % 5 ile %13'lük kısmi ergimeler ile oluştuğu sonucu ortaya çıkmıştır.

#### Katkı Belirtme

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında, örneklerin tekrar değerlendirilmesindeki desteğinden dolayı Prof. Dr. Erdin Bozkurt'a ve Prof. Dr. Erkan Aydar'a, yapıcı eleştirileri ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Güner Ünal ve Dr. Bahadır Şahin'e ve jeoloji haritasının derlenmesindeki katkılarından dolayı Dr. Yavuz Hakyemez'e içten teşekkürlerimizi sunarız.

Geliş Tarihi : 11.09.2012

Kabul Tarihi : 28.01.2013

Yayınlanma Tarihi : Haziran 2013



**Değerlenen Belgeler**

- Alici Şen, P. 2009. Trace element modelling of the origin and evolution of the Oyaca-Boyalik volcanic rocks (NE of Haymana, Ankara, Turkey). *International Geology Review*, 51 (2),116-132.
- Barry, T.L., Saunders, A.D., Kempton, P.D., Windley, B.F., Pringle, M.S. Dorjnamjaa, D., Saandar, S. 2003. Petrogenesis of Cenozoic basalts from Mongolia: evidence for the role of asthenospheric versus metasomatized lithospheric mantle sources. *Journal of Petrology* 44, 5–91.
- Beate, B., Monzier, M., Spikings, R., Cotton, J., Silva, J., Bourdon, E., Eissen, J.P. 2001. Mio- Pliocene adakite generation related to flat subduction in southern Ecuador: the Quimsacocha volcanic center. *Earth and Planetary Science Letters* 192, 561-570.
- Bourdon, E., Eissen, J.P., Monzier, M., Robin C., Martin H., Cotton J., Hall M.L. 2002. Adakite-like lavas from Antisana volcano (Ecuador): evidence for slab melt metasomatism beneath the Andean Northern Volcanic Zone. *Journal of Petrology*, 43, 199-217.
- Bozkurt, E., Koçyiğit, A., Winchester J.A., Holland, G., Beyhan, A. 1999. Petrochemistry of the Oyaca-Kedikayası (Ankara) dacites as evidence for the post-collisional tectonic evolution of North-central anatolia. *Geological Journal* 34, 223-234.
- Calmus, T., Aguilon-Robles, A., Maury, R.C., Bellon, H., Benoit, M., Cotten, J., Bourgois, J., Michaud, F. 2003. Spatial and temporal evolution of basalts and magnesian andesites (bbajaitesQ) from Baja California, Mexico: the role of slab melts. *Lithos* 66 (1–2), 77– 105.
- Castillo, P.R., Janney, P.E., Solidum, R.U. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguin island, southern Philippines: insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 134, 33-51.
- Castillo, P.R. 2006. An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin* 51, 257-268.
- Chung, S.L., Liu, D., Ji, J., Chu, M.F., Lee, H.Y., Wen, D.J., Lo, C.H., Lee, T.Y., Qian, Q., Zhang, Q. 2003. Adakites from continental collision zones: melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology* 31, 1021-1024.
- Defant, M.J., Drummond, M.S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347, 662-665.
- Defant, M.J., Jackson, T.E., Drummond, M.S., De Boer, J.Z., Bellon, H., Feigenson, M.D., Maury, R.C., Stewart, R.H. 1992. The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview. *Journal of Geological Society* (London) 149, 569– 579.
- Defant, M.J., Xu, J.F., Kepezhinskas, P., Wang, Q., Zhang, Q., Xiao, L. 2002. Adakites: some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica* 18, 129–142.
- Edwards, C., Menzies, M., Thirwall, M. 1991. Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. *Journal of Petrology* 32, 555-592.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Chung, S.L. 2011a. Crystal fractionation of adakitic magmas in the crust-mantle transition zone: Petrology, geochemistry and U-Pb zircon chronology of the Seme adakites, Eastern Pontides, NE Turkey. *Lithos*, 121, 151-166.
- Eyüboğlu, Y., Chung, S.L., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryali, E. 2011b. Transition from shoshonitic to adakitic magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: Implications for slab window melting. *Gondwana Research*, 19, 413-429.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Chung, S.L. 2011c. Petrochemistry and U-Pb zircon ages of adakitic intrusions from the Pular Massif (Eastern Pontides, NE Turkey): implications for slab roll-back and ridge subduction associated with Cenozoic convergent tectonics in Eastern Mediterranean. *Journal of Geology*, v. 119, p. 394-417.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Dudas, F.O., Akaryali, E., Chung, S.L., Akdağ, K., Bektaş, O. 2012a. The nature of transition from adakitic to non-adakitic magmatism in a slab-window setting: A synthesis from the Eastern Pontides, NE Turkey. *Geoscience Frontiers*, doi: 10.1016/j.gsf.2012.10.001.
- Eyüboğlu, Y., Santosh, M., Yi, K., Bektaş, O., Kwon, S. 2012b. Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt and revised geodynamic model for the late Cenozoic Evolution of eastern Mediterranean region. *Lithos*, 146-147, 218-232.
- Fitton, J.G., James, D., Leeman, W.P. 1991. Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the Western United States: compositional variations in space and time. *Journal of Geophysical Research*, 96, No: B8, 13693-13711.
- Foley, S.F., Barth, M.G., Jenner, G.A. 2000. Rutile/melt partition coefficients for trace elements and an assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 933–938.
- Furman, T., Graham D. 1999. Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: evidence from the Kivu volcanic province. *Lithos* 48, 237-262.
- Gill, J.B. 1981. Orogenic andesites and Plate tectonics. *Springer - Verlag*, New York.

- Görür, N., Oktay, P.Y., Seymen, I., Şengör, A.M.C. 1984. Palaeotectonic evolution of the Tuzgözü basin complex, central Turkey: sedimentary record of a Neotethyan closure. In: Dixon, J. E. and Robertson, A. H. F. (eds) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geological Society (London), Special Publications 17*, 467-482.
- Hou, Z.Q., Gao, Y.F., Qu, X.M., Rui, Z.Y., Mo, X.X. 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters 220*, 139-155.
- Ionov, D. A., Hofmann, A.W. 1995. Nb-Ta rich mantle amphiboles and micas: implications for subduction-related metasomatic trace element fractionations. *Earth and Planetary Science Letter 131* (3-4), 341-356.
- Jiang, Y.-H., Liu, Z. Jia, R.-Y. Liao, S.-Y. Zhou, Q., Zhao, P. 2012. Miocene potassic granite-syenite association in western Tibetan Plateau: Implications for shoshonitic and high Ba-Sr granite genesis. *Lithos 134-135*, 146-162.
- Jung, S., Hoernes, S. 2000. The major- and trace-element and isotope (Sr, Nd, O) geochemistry of Cenozoic alkaline rift-type volcanic rocks from the Rhön area (central Germany): petrology, mantle source characteristics and implications for asthenosphere-lithosphere interactions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research 99*, 27-53.
- Karlı, O., Dokuz, A., Uysal, İ., Aydın, F., Kandemir, R., Wijbrans, 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.
- Kaymakçı, N. 2000. Tectonostratigraphical evolution of the Çankırı Basin (Central Anatolia, Turkey). Geological Survey Division, ITC-Enschede, The Netherlands, PhD thesis, 245p.
- Koçyiğit A. 1991. An example of an accretionary fore-arc basin from northern central Anatolia and its implications for the history of subduction of Neotethys in Turkey. *Geological Society of America Bulletin 103*, 22-36.
- Koçyiğit A., Türkmenoğlu, A., Beyhan, A., Kaymakçı, N., Akyol, E. 1995. Post collisional tectonics of Eskişehir-Ankara-Çankırı segments of the İzmir-Ankara-Erzincan suture zone (IAESZ): Ankara orogenic phase. *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin 6*, 69-86.
- Koçyiğit A., Winchester, A.J., Bozkurt, E., Holland, G. 2003. Saraçköy volcanic suite: implications for the subductional phase of arc evolution in the Galatean Arc Complex, Ankara, Turkey. *Geological Journal 38*, 1-14.
- Liu, S., Hu, R.-Z., Feng, C.-X., Zhou, H.-B., Li, C., Chi, X.-G., Peng, J.-T., Zhong, H., Qi, L., Qi, Y.-Q., Wang, T. 2008. Cenozoic high Sr/Y volcanic rocks in the Qiangtang terrane, northern Tibet: geochemical and isotopic evidence for the origin of delaminated lower continental melts. *Geological Magazine 145*, 463-474.
- Macpherson, C.G., Dreher S.T., Thirwall M.F. 2006. Adakites without slab melting: high pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. *Earth and Planetary Science Letters 243*, 581-593.
- Martin, H. 1999. The adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos 46* (3), 411-429.
- Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F., Champion, D. 2005. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos 79*, 1-24.
- Maury, R.C., Sajona, F.G., Pubellier, M., Bellon, H., Defant, M.J. 1996. Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes: l'exemple de Mindanao (Philippines). *Bulletin de la Societe Geologique de France 167* (5), 579-595.
- McKenzie, D.P., O'Nions, R.K. 1991. Partial melt distributions from inversion of rare earth element concentrations. *Journal of Petrology 32*, 1021-1091.
- Moufti, M.R., Moghazi, A.M., Ali, K.A. 2012. Geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic composition of the Harrat Al-Madinah Volcanic Field, Saudi Arabia. *Gondwana Research 21*, 670-689.
- Moyen, J., F. 2009. High Sr/Y ve La/Yb ratios: The meaning of the "adakitic signature". *Lithos 112*, 556-574.
- Nakamura, N. 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta 38*, 757-75.
- Okay, A.İ., Tüysüz, O. 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvath, F., Seranne, M. (Eds.), *The Mediterranean Basin: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, 156. *Geological Society, Special Publications*, London, pp. 75-515.
- Pearce, J.A. 1983. The role of subcontinental lithosphere in magma genesis destructive plate margins. In: *continental basalt and Mantle xenoliths*, C. J. Hawkesworth and M.J. Nory (eds) 230-249.
- Rampone, E., Morten, L. 2001. Records of crustal metasomatism in the garnet peridotites of the Ulten zone (Upper Austroalpine, Eastern Alps). *Journal of Petrology 42*(1), 201-219.
- Rapp, P.R., Shimizu, N., Norman, M.D., Applegate, G.S. 1999. Reaction between slab-derived melt and peridotite in the mantle wedge: Experimental

- constrains at 3.8 GPa. *Chemical Geology* 160, 335-356.
- Richards, J.P., Kerrich, R. 2007. Special paper: adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology* 102, 537–576.
- Ringwood, A.E. 1990. Slab-Mantle interactions: Petrogenesis of intraplate magmas and structure of the upper mantle. *Chemical Geology*, 82, 187-207.
- Rogers, G., Saunders, A.D., Terrell, D.J., Verma, S.P., Marriner, G.F. 1985. Geochemistry of Holocene volcanic rocks associated with ridge subduction in Baja California, Mexico. *Nature* 315, 389– 392.
- Rollinson, H.R., Tarney, J. 2005. Adakites-the key to understanding LILE depletion in granulites. *Lithos*, 79, 61-81.
- Rollinson, H.R. 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. *Longman Scientific and Technical*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 352p.
- Sajona, F.G., Maury, R., Bellon, H., Cotten, J., Defant, M.J. 1996. High field strength element enrichment of Pliocene–Pleistocene island arc basalts, Zamboanga Peninsula, western Mindanao (Philippines). *Journal of Petrology* 37 (3), 693–726.
- Sajona, F.G., Naury, R.C., Pubellier, M., Leterrier, J., Bellon, H., Cotton, J. 2000. Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a young post-collision setting, central Mindanao (Philippines). *Lithos* 54, 173–206
- Saunders, A.D., Tarney, J., Weaver S.D. 1980. Transverse geochemical variations across Antarctic Peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 46, 344-360.
- Shaw, D.M. 1970. Trace element fractionation during anatexis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 34, 237-243.
- Stern C.R., Kilian R. 1996. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Austral Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123, 263-281,
- Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds.), *Magmatism in ocean basins*. *Geological Society* (London), Special Publication 42, 313-345.
- Şahin, M. B. 2007. An important chabasite occurrence in central Anatolia and its mineralogical features. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 135, 31-44.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Tankut, A., Wilson, M., Yihunie, T. 1998. Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem Area, Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 285-301.
- Tatsumi, Y., Hamilton, D.L., Nesbitt, R.W. 1986. Chemical characteristics of fluid phase from the subducted lithosphere: evidence from high-pressure experiments and natural rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Researches* 29, 293-309.
- Tatsumi, Y., Nakamura, N. 1986. Composition of aqueous fluid from serpentinite in the subducted lithosphere. *Geochemical Journal* 20, 191– 196.
- Temel, A., Yürür, T., Alıcı, P., Varol, E., Gourgaud, A., Bellon, H., Demirbağ, H. 2010. Alkaline series related to Early-Middle Miocene intra-continental rifting in a collision zone: An example from Polatlı, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Science* 38, 289-306.
- Thompson, R.N. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18, 49-107.
- Toprak, V., Türkecan, A. 1998. Geology of the Galatean Volcanic Province, Turkey. In: *Third International Turkish Geology Symposium*, Excursion Guidebook.
- Tüysüz, O., Yiğitbaş, E. 1994. The Karakaya basin: A Palaeotethyan marginal basin and its age of opening. *Acta Geologica Hungarica* 75, 181-241.
- Ünalın, G., Yüksel V. 1985. Haymana-Polatlı Havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7665*, 59 s.
- Varol, E., Temel, A., Gourgaud, A., Bellon, H. 2006. Orta Anadolu’da dalma-batma volkanizması için kanıt: Balkuyumcu yöresi adakit benzeri volkanizma. Evidence for slab-melt metasomatism in central Anatolia, Turkey: Adakite like volcanism from Balkuyumcu region). 59. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri*,
- Varol, E., Temel, A., Gourgaud, A., Bellon, H. 2007. Early Miocene ‘adakite-like’ volcanism in the Balkuyumcu region, central Anatolia, Turkey: petrology and geochemistry. *Journal of Asian Earth Sciences* 30, 613-628.
- Varol, E., Temel, A., Gourgaud A. 2008. Textural and compositional evidences for magma mixing in the evolution of Çamlıdere volcanic rocks (Galatean Volcanic Province), Central Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 17, 709– 727.
- Wang, K.-L., Chung, S.-L., O’Reilly, S. 2004. Geochemical Constraints for the Genesis of Post-collisional Magmatism and the Geodynamic Evolution of the Northern Taiwan Region. *Journal of Petrology* 45(5), 975-1011.

- Wang, K., McDermott, F., Xu, J.-F., Bellon, H., Zhu, Y.-T. 2005. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: Lower-crustal melting in an intracontinental setting. *Geology* 33, 465-468.
- Wang, K., Wyman, D.A., Xu, J., Jian, P., Zhao, Z., Li, C., Xu, W., Ma, J., He, B. 2007a. Early Cretaceous adakitic granites in the Northern Dabie Complex, central China: implications for partial melting and delamination of thickened lower crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 2609-2636.
- Wang, K., Wyman, D.A., Xu, J., Zhao, Z., Jian, P., Zi, F. 2007b. Partial melting of thickened or delaminated lower crust in the middle of Eastern China: implication for Cu-Au mineralization. *Journal of Geology* 115, 149-161.
- Wilson, M., Tankut, A., Güleç, N. 1997. Tertiary volcanism of the Galatia North west Central Anatolia, Turkey. *Lithos* 42, 105-121
- Zamora, D. 2000. Fusion de la croûte océanique subductée: approche expérimentale et géochimique. Université Thèse Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 314 pp.
- Zhu, D.-C., Zhao, Z.-D., Pan, G.-T., Lee, H.-Y., Kanf, Z.-Q., Liao, Z.-L., Wang, L.-Q., Li, G.-M., Dong, G.-C., Liu, B. 2009. Early Cretaceous subduction-related adakite like rocks of the Gangdese Belt, southern Tibet: Products of slab melting and subsequent melt-peridotite interaction. *Journal of Asian Earth Science* 34, 298-309.
- Xu, J.F., Wang, Q., Yu, X.Y. 2000. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lue ophiolitic melange in the Qinling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust. *Geochemical Journal* 34, 359-377.
- Xu, J.F., Shinjio, R., Defant, M.,J., Wang, Q., Rapp, R.P. 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: partial melting of delaminated lower continental crust. *Geology* 12, 1111-1114.