

Ada Yollarının Bileşimi ve Kıtatal Büyüme

P. JAKES ve A.J.R. White

Çeviri: Tuncay ERCAN MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etüdleri Dairesi, Ankara

ÖZET

Ada yayı volkanizması, kıtasal gelişmeye ve büyümeye katkılmaktır olup, bu olay günümüzde de süregelmektedir. Fakat ada yollarının element bileşimi, kıtatal kabuğunun üst kısmından farklıdır ve Si,K, Rb,Ba, Sr ve hafif ender toprak elementleri içeriği daha azdır. Ada yollarında % 80 toleyitik ve % 15 ada yayı kalk-alkali kayaçları, değişen SiO_2 oranları ile birlikte bulunur. Kıtatal kabuğunda yüksek toleyitik kayaç oranına ise ancak alt düzeylerde rastlanmaktadır. Ada yollarının üst stratigrafik düzeyleri, toleyitik + kalk-alkalen ve/veya K,Rb,Sr,Ba içeriği bakımından çok zengin yüksek potasyumlu (şoşonitik) topluluklardan oluşmuştur. Ada yayı kabuğunun katmanlanması, yay gelişmesinin geç bir aşamasında oluşan başka bir tip kalk-alkalen volkanizma (And tipi) tarafından oluşturulduğu kabul edilmiştir ve bu volkanizma olasılıkla kabuğun tabanındaki bölgelerde ergimeyle oluşmaktadır. Ayrıca, bu And tipi volkanizma; üst kabuğun K,Rb, Ba ve ender toprak elementleri bakımından zenginleşmesini ve bu elementlerle birlikte SiO_2 içeriğinin de üst kabukta artmasını sağlar.

GİRİŞ

Geçmişe ve günümüze ilişkin kabuktaki element zenginliği tahminleri yeryüzeyinde kıtasal bölgelerde yüzlek veren volkanik ya da volkanik-çökel kayaların ortalaması bileşimine [1-3] dayanır. En karmaşık ve ayrıntılı analiz modelleri bile çeşitli türlerdeki volkanik kayaçların salt yüzeysel dağılımından yararlanır. Analizler K,Rb,Ba ve ender toprak elementler içeriği bakımından benzerlikler gösterir ve kıtatal kabuğunun en üst kısmının bileşimini belirler. Kabuğun alt kısmının ana element bileşimini belirlemek için yapılan çalışmalar, katmanlanması jeofizik kanıtlarının [4] yanı sıra üst kabuk bileşimine de dayanmaktadır.

Kabuğun üst kısmında bulunan bazı elementlerin (K, Th,U,Rb,Ba ve Sr) bolluğu, kıtatal kabuğunun tamamının bileşkesi olarak alındığında; bunlar ısı akımları, radyoaktif izotop analizleri ve kondritik, hatta akondritik dağılım modellerinin gösterdiklerinden çok yüksek olmaktadır [5-11]. Böylece, elementlerin hangi katmanda ne kadar olduğunun kesinlikle bilinmesi gerekmektedir [7,9-11].

Kabuk katmanlarındaki element oranlarını, orojenik volkanik kayaçların bileşimleri ile kıtasal dağılım-

Earth and Planetary Science Letters 1971, 12, 224-230 daki «Composition of Island Arcs and Continental Growth» adlı makaleden çevrilmiştir.

ları yoluyla bulmak olasıdır; daha ileride evrimlerini inceleyeceğimiz olamızda ada yollarının bileşiminin tabanlarındaki bölgelerde ergime etkisiyle değişmeye uğradığını belirtmek iyi olacaktır. Taylor ve White [12] ile Ringwood [13] ve Markhinin [14] de aynı yolu izlemiştir. Ada yollarında katmanlar arasındaki ilişkiler, kayaçların hacim oranları ile çeşitli tipteki lavların element bolluğu oranlarından yararlanarak kıtatal devamlı büyümeye, ve Arkeen'den beri kimyasal olarak değişmemiş olan volkanizma sonucunda oluşmuş olan ada yayı kabuğunun katmanlarının ilk (eski) durumları inceleneciktir.

ADA YAYI VOLCANİK KAYAÇLARI

Okyanus ada yolları (günümüzdeki Mariana gibi) kıtatal kabuğunun bulunmadığı yerlerde alıñır. Öyleyse, ada yollarındaki volkanik kayaçlar, toleyitik bileşimde oldukları varsayılan üst manto ya da okyanus kabuğu kökenlidirler. Kayaçlarda sialik kabuk gerekçinin (deniz dibi çökelleri) bulunması pek önemli değildir.

Ada yollarındaki volkanik kayaçlar kimyasal olarak geçiş tipleriyle aralarında karşılıklı ilişkiler bulunan, toleyitik, kalk-alkali ve şoşonitik tiplerde ayrırlar. Her kayaç tipindeki SiO_2 miktarı geniş sınırlar içerisinde değişir ve her tipin «andezit» ve «dasit»leri sadece o tipin özelliklerini göstermekle kalmayıp, bazaltlarda olduğu gibi, yay boyunca şu düzenli bileşim değişimi uyarlar: Okyanus veya hendek tarafındaki toleyit kayaçları içten kalk-alkali ve şoşonitik kayaçlar izler. Ada yollarının bileşimi zamana ve stratigrafik düzeylere bağlı olarak da değişiklikler gösterir [15-17]. En eski kayaçlar toleyittir [17-19] ve toleyit bazalt, toleyit andezit ve toleyit dasitleri içerirler. Bu kayaçların ender toprak elementleri kondritiktir K,Rb, Ba ve Sr içerikleri çok azdır, Na/K oranı yüksektir ve SiO_2 nin ortak düzeyde (~ % 60) bulunduğu kayaçlarda Fe/Mg oranı yüksektir [19]. Ada yayı evriminin daha sonraki aşamalarında toleyitlerin kalk-alkalilerle, en son aşamada da toleyitik ve kalk-alkalilerle beraber şoşonitik volkanitlerin de ortaya görüldür. Böylece ada yollarının alt kısımlarını düşük K,Rb,Ba ve Sr içerikli toleyitlerle, bunlara olasılıkla taban kısmında katılan ultramafik kayaçlar oluşturur [20]. Daha yukarıdaki stratigrafik düzeyler ise K,Rb,Sr,Ba ve dağılmış ender toprak elementleri bakımından zengin olan toleyit+kalk-alkali ve/veya şoşonitik kayaçları içerir. Böylece ada yolları kabuklarının K,Rb,Ba, Sr ender toprak elementleri SiO_2 , FeO/MgO ve K₂O/Na₂O oranlarına göre özel bir katmanlanma sırası vardır.

ADA YAYI KABUKLARININ BİLESİMLERİ

Sugimura [21], Japonya'daki Kuvaterner volkanik kayaçların % 70'inin volkanik alanının öndeği dar kuşakta (uzunluğu 50 km) bulunduğu saptamıştır. Geniş kuşaktaki volkanik kayaçların ise sadece 1/4 ü Kuvaterner yaşıdır. Bu durum Kuno'nun [20-23] «ana bazaltın farklı oluşu» modeline uyar. İlk kuşak toleitik «ana» magma veya toleitik kayaç topluluğu, ikinci ise yüksek-aluminalli bazaltik «ana» magma veya kalk-alkali kayaç topluluğuna uygundur. Hendeğin daha içerisinde de şoşonitik ve/veya alkali kuşağı bulunur. Ada yaylarını yaşları bakımından üç gruba ayırmak olanaklıdır: (1) toleitik (genç) (Güney Sandwich Adaları, Merkez Kuriller); (2) toleitik+kalk-alkali (daha yaşlı) (New Habrides, Aleutian Adaları); (3) toleitik+kalk-alkali+şoşonitik (en yaşlı) (Kamçatka, Yeni Guyana). Eğer gelişmiş bir ada yayının üç kısımdan oluştuğunu kabul edersek, Sugimura [21] bu kısımları % 85 oranında toleitik, % 12,5 oranında kalk-alkali ve % 2,5 oranında şoşonitik kayaçların oluşturduğunu belirtmiştir. Çizelge 1 de adı geçen kayaçların SiO_2 ye göre ve yukarıdaki üç aşamalı modele göre bulunuş oranları verilmiştir. Çizelge 2'de ise ada yayı kayaçlarının element oranları görülmektedir.

Bu verilerden yararlanarak «gelişmiş» bir ada yayının bileşimi (Çizelge 3) yani kitasal büyümeye katılan yay volkanizmasının bileşimi bulunmuştur.

Çizelge 1 — Ada yollarındaki Bazalt, Andezit ve Dositlerin hacimsel oranları

	Bazaltlar	Andezitler	Dasitler
	<%53 SiO_2	%59-62 SiO_2	>%62 SiO_2
Toleyitik (1)	50	35	15
Kalk-alkalin (1)	13	55	32
Şoşonitik (1)	50	40	10
Toleyitik (2)	42,5	29,7	12,7
Kalk-alkalin (2)	1,6	7,0	4,0
Şoşonitik (2)	1,3	1,0	0,2

- (1) Toleyitik kayaçların hacimsel oranları (Kuno, 39) dan, kalk-alkalin kayaçlarındaki Aleut ve Melanezya yollarındaki değişik kaynaklardan; şoşonitik kayaçlar ise Yeni Gine'deki kayaçlarından alınmıştır.
- (2) Ada yollarındaki tüm hacimsel oranlar, basit üç evreli bir ada yayı evrimi ve değişik kayaç toplulukları arasındaki ilişkilerin Japonya'daki Kuvaterner (Sugimura, 21) ada yayıyla aynı olduğu varsayılarak saptanmıştır.

Çizelge 2 — Ada yollarındaki volkanik kayaçların ana ve iz element içerikleri.

Ana elementler, Melanezya [17] ve Mariana [37] ada yollarından, iz element analizleri ise değişik kaynaklardan alınmıştır.

	Tholeitic			Calc-alkaline			Shoshonitic	
	basalt	"andesite"	"dacite"	high-Al basalt	andesite	dacite	shoshonite	latite
SiO_2	51.57	57.40	79.2	50.59	59.64	66.8	53.74	59.27
TiO_2	0.80	1.25	0.23	1.05	0.76	0.23	1.05	0.56
Al_2O_3	15.91	15.60	11.1	16.29	17.38	18.24	15.84	15.90
Fe_2O_3	2.74	3.48	0.52	3.66	2.54	1.25	3.25	2.22
FeO	7.04	5.01	0.90	5.08	2.72	1.02	4.85	3.19
MnO	0.17	—	—	0.17	0.09	0.06	0.11	0.10
MgO	6.73	3.38	0.36	8.96	3.95	1.50	6.36	5.45
CaO	11.74	6.14	2.06	9.50	5.92	3.17	7.90	5.90
Na_2O	2.41	4.20	3.40	2.89	4.40	4.97	2.38	2.67
K_2O	0.44	0.43	1.58	1.07	2.04	1.92	2.57	2.68
P_2O_5	0.11	0.44	—	0.21	0.28	0.09	0.54	0.41
H_2O	0.45	—	—	0.81	1.08	0.26	1.09	1.44
At SiO_2 wt %	≈ 52 %	≈ 58 %	≈ 63 %	≈ 52 %	≈ 58 %	≈ 63 %	52 %	59 %
Rb	5.0	6.0	15	10	30	45	75	100
Ba	75	100	175	115	270	520	1000	850
Sr	200	220	90	330	385	460	700	850
K/Rb	1000	890	870	340	430	380	200	200
La	1.1	2.4	5.5	9.6	11.9	14	14	18
Ce	2.6	—	15	19	24	19	28	35
Yb	1.4	2.4	2.7	2.7	1.9	1.4	2.1	1.2
La/Yb	1.0	1.0	1.9	3.5	6.2	10	6.6	15
Th	0.5	0.31	1.6	1.1	2.2	1.7	2	2.8
U	0.3	0.34	0.85	0.2	0.7	0.6	1.0	1.3
Th/U	1.6	0.9	1.88	5.9	3.2	2.7	2.0	2.1
Ni	30	20	1	25	18	5	20	—
V	270	175	19	255	175	68	200	—
Cr	50	15	4	40	56	13	30	—
Zr	70	70	125	100	110	100	40	150
Hf	1.0	1.0	2.6	2.6	2.3	3.8	1.0	3.2

Çizelge 3 — Kıtta kabuğunun değişik bileşim tahminlerinin, hesaplanmış ada yayları bileşimleri ile karşılaştırması
n.g.= Orijinal metinde belirtilmeyen veriler.

- 1 — Gelişmiş ada yayı bileşimleri (Çizelge 1 ve 2'den hesaplanmıştır)
- 2 — Aynı değerlerin serbest H_2O ya göre hesaplanmış
- 3 — Arkeen volkanik kayaların ortalama değerleri (Baragar ve Goodwin, 24)
- 4 — Kurile ada yayındaki volkaniklerin ortalama değerleri (Markhinin, 14)
- 5 — Andezitlerin ortalama bileşimi (Taylor, 3)
- 6 — Genç kıvrımlı kuşakların ortalama değerleri (Poldervaart, 2)
- 7 — Sismik hızlara uygun olup, Nockolds'un ortalama değerleri kullanılarak hesaplanan kıtta kabuğu bileşimi (Pakiser ve Robinson, 4).
- 8 — Arkeen ve proterozoyik yaşı Kanada kalkanının ortalama değerleri (Fahrig ve Fäde, 40)
- 9 — Ukrayna kalkanının ortalama değerleri (Ronov ve Yaroshevsky, 6)
- 10 — Sederholm'e göre Finlandiya'daki bazaltik kalkanın ortalama değerleri Ronov ve Yaroshevsky, 6)
- 11 — New South Wales (Avustralya) granodioritleri ortalama değerleri (Kolbe ve Taylor, 31).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO_2	58.09	58.78	56.15	58.10	59.5	58.4	57.9	66.06	66.0	68.4	68.4
TiO_2	0.83	0.84	1.01	0.74	0.70	1.1	1.2	0.54	0.6	0.4	0.4
Al_2O_3	15.40	15.58	15.63	17.10	17.20	15.6	15.2	16.08	15.3	14.8	14.7
Fe_2O_3	2.60	2.63	2.43	3.40	6.10*	2.8	2.3	1.42	1.9	1.3	4.8*
FeO	4.98	5.04	7.70	4.10		4.8	5.5	3.14	3.1	3.2	
MnO	0.11	0.11	0.18	0.13	0.15	0.2	0.2	0.08	0.1	0.08	0.08
MgO	4.52	4.57	5.24	3.40	3.42	4.3	5.3	2.22	2.4	1.7	2.20
CaO	7.93	8.02	7.76	7.10	7.03	7.2	7.1	3.44	3.7	3.4	2.90
Na_2O	3.33	3.39	3.00	2.80	3.68	3.1	3.0	3.95	3.2	3.1	2.70
K_2O	0.81	0.82	0.68	1.20	1.60	2.2	2.1	2.90	3.5	3.6	3.20
P_2O_5	0.22	0.22	0.22	n.g.	n.g.	0.3	0.3	0.16	0.2	0.1	n.g.
H_2O	1.18	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

ADA YAYLARI ve ARKEEN KABUK

Folinsbee Grubu [23], Baragar ve Goodwin [24], ve diğer yazarların çoğu günümüzdeki ada yayları ile geçmiştekiler arasında kuvvetli benzerlikler olduğu düşünücsindedirler. White Grubu [25], Hart Grubu [26] ve Jakes [27], (ender toprak elementlerini içeren) ana elementler ve bazı iz elementleriyle ilgili verilerden yararlanarak günümüz ada yaylarındaki volkanizma ile eski (Arkeen) volkanik orojenik kuşaktakilerin çok benzer olduğunu ortaya koymuştur.

Ada yaylarının (yukarıda bulunan) bileşimi ile Baragar ve Goodwin'in [24] Kanada Arkeen'i volkanik kayaç yüzeleri birbirine çok yakındır (Çizelge 3'de 1 ve 3. sütunlar). Bu ve Arkeen ile günümüz orojenik kayaçlarındaki bazı iz elementlerinin (ender toprak elementleri dahil) benzerliği, volkanik ada yaylarının kitasal büyümeye kimyasal olarak katılımının aynı olduğunu göstermektedir.

Arkeen volkanik kayaçlarında SiO_2 ve K_2O biraz daha az ve Fe/Mg oranı biraz daha büyütür. Yani kayaçların toleitik niteliği daha fazladır. Günümüzdeki kalk-alkali ve şoşonitik kayaçlar, ada yayı toleitlerinin aksine denizel olmaktan ziyade karasaldır. Eğer Arkeen'de de böyle idiyse aradaki bazı ufak kimyasal farklılıklar, eski karasal volkanik kayaçların aşınmaya denizellerden daha açık oluşuya açıklamak olanağı vardır. Böylece, eski volkanik kayaçların toleitik bileşimde ve gökellerin ise kalk-alkali ve alkali bileşimde olması düşüncesi kuvvetlendirilmiş olur.

Ada yayı kayaçlarına kimyasal olarak benzemelerine karşın Arkeen kayaçları, Markhinin'in [14] Kurile kayaçları için verdiği oranlardan ve Taylor'un [8] andezit için verdiği oranlardan farklılık gösterir. Markhinin ve Taylor, verdikleri oranların kıtta kabuğuna göre aynı olduğunu söylemektedirler. Andezit ve Kurile kayacında K_2O nun fazla miktarda bulunusu ve iz elementlerinin büyük katyonlu olanlarının fazla oluşu, örneklerin ada yayının üst kısmından alınmasından ileri gelmektedir.

AND TİPİ VOLCANİZMAYLA ADA YAYI BİLEŞİMİNİN DEĞİŞMESİ

Ada yayları element oranları (Çizelge 3 ve 4) üst kabuğundakilerle karşılaştırıldığında; SiO_2 , FeO , K_2O / Na_2O , Rb , Ba , Sr , ender toprak elementleri Zr ve Hf oranlarında farklar olduğu görülmüştür. Ada yayı SiO_2 ve FeO oranları, Pakiser ve Robinson'un [4] kabuğun sismik hızlarının ölçülmesi modelinin ve Poldervaart'ın [2] genç kıvrımlı kuşakları modelinin gerektirdiği kadardır; fakat ada yaylarındaki K miktarı modellerin gerektirdiğinden azdır. Modeller'de K miktarının fazla oluşu Nockold'un üst kabuk kayaçlarından örnekler almamasından kaynaklanır.

Lambert ve Keier [9], Hurley [10] ve Shaw [11] elementlerin kıtta kabuğunda bulunusunun jeokimyasal sınırlarını verirler ve kabuğun Th/U , K/Rb ve Rb bakımından zengin olarak katmanlandığını söylerler. Ronov ve Midgasov [29], Rus platformundaki gökeller üzerinde çalışırlarken Na_2O/K_2O , FeO/Fe_2O_3 , ve

Ce/Y oranlarının, çökellerin yaşı erken Proteroyik'ten günümüzde doğru arttıkça azaldığını görmüşlerdir. Büttün bu gözlemler, kabuğun katmanlaşmasının ve kıtasal evrimin Arkeenden beri aralıksız sürdürünü ve kabuğun çok fazla parçalanmasını engellediğini göstermektedir. Ada yayı kayaçlarındaki (Çizelge 3,4) K, Rb, Sr, Ba, Zr, Th, ve U elementleri üst kıtasal kabukta bunların çok oluşunu açıklayamayacak kadar azdır. Çok ince olarak alınan üst kıtasal kabuğun (5 km) 120 ppm Rb değerini ada yayında elde etmeye olanak yoktur. Çünkü 45 km kalınlıktaki alt kabuk Rb'den yoksundur. Aynı sonucu Ba ve K ile de elde etmek olasıdır. Hurley ve Rand [30] alt ve üst kabukları birbirlerini tamamlayan bir sistem olarak kabul ederken Show [9] ise alt kabuk ile üst manto gereçlerinin (eklojıt dönüşüm modeli gibi) yer değiştirdiği düşüncesiindedir. Burada üst kabuk bileşiminin ada yayına benzer şekilde oluşunu açıklayacak bir mekanizmayı kapsadığı için (ada yayının kıtasal büyümeye katılması da zaten ancak bu şekilde mantıklı olur) Show'un düşüncesini benimseyeceğiz. Ayrıca, alt kabukla mantonun yer değiştirmesi, alt ve üst kıta kabuklarındaki aralıksız süren jeokimyasal evrimi de [29] açıklığa kavuşturmaktadır (Lambert ve Heier, [9]).

Batı Pasifik'teki ada yaylarının büyümeye hızlarını (Japonya 0.040 km³/yıl [16], Kurile adaları 0.078 km³/yıl) ada yaylarının genel büyümeye hızı olarak alındığımızda bu değer, Hurley ve Rand'ın [30] bulduğu Arkeen'den bu yana tekdüze kıtasal büyümeye hızından (0.006 km³/yıl) çok fazla olur. Bu ise, ada yaylarının oldukça büyük kesimlerinin, buraların kalkan biçiminde dönüşümü sırasında ya da daha önce üst mantoya

(yerdeğiştirmesi) demektir. Ada yaylarının gittikçe daha sabit (kararlı) bir yapıya ve sonunda kalkan alanlarına dönüştüğünü, genç kıvrım kuşaklarıyla kalkan alanların kabuk kısmının bazı iz elementleri bakımından farklılık göstermesi [31] mafik ve salık kayaç oranlarının değişir olması [4] ve elektrik iletkenliği gibi bazı fiziksel özelliklerin farklı olması [32] kanıtlar. Metamorfizmaya uğramamış ve çok az değişikliğe uğramış gereçlerde (ör. greenstone kuşağı) ada yaylarının jeokimyasal özelliklerini görmek olasıdır [24-28]. Kalkan alanların, genç kıvrım kuşaklarının ve ada yaylarının bir arada karşılaşılması başlıca elementler (özellikle büyük katyonlar) bakımından katmanlanmanın ada yayı aşamasında yer almış olması gerektiğini göstermiştir.

Çok gelişmiş (eski) ada yaylarındaki (Yeni Zelanda, Japonya), kita kenarlarındaki (Güney Amerika Andları) ve kita içi orojenik yapılardaki (Karpatlar) andezit, dasit ve riyolitten oluşan asid kalk-alkali kayaçlar, kıtasal kabuk tabanının erimesi sonucu oluşmuştur [31-33]. Bu gibi yerlerde iki türlü kalk-alkali kayaç bulunur: (a) okyanus kabuğunun alçalan kısımlarının erimesi ile oluşan, büyük katyonların (Rb, Ba) az miktarda bulunduğu ve bazaltların varlığı ile belirlenen ada yayı kayaçları, ve (b) büyük katyonların çok bulunduğu ve riyolit ignimbritleri ile belirlenen bazalttan yoksun And tipi (kıtasal tip) kayaçlar [35]. Hamilton [38], kita kenarı volkanik kayaçlarının (And tipi) bileşimi ile orojenik kuşaklardaki batolitik kütlerinkin arasında benzerlik olduğunu saptamıştır. Bu na karşın, aynı benzerlik ada yayı kalk-alkali serilerinde bulunmaz ve sadece kita kenarı kalk-alkali volkanizmaya özgüdür. And tipi kayaçlardaki iz element-

Çizelge 4 — Ada yayları ve kıtasal alanlarda iz element dağılımı

- 1 — Ana kayaç tiplerindeki hacim oranları ve iz element verilerinden hesaplanmış, gelişmiş ada yayı iz element içeriği.
- 2 — Arkeen volkanik kayaçlarının ortalama değerleri (Baragar ve Goodwin, 24). Batı Avustralya'da Arkeen yeşil taşlarıının nadir toprak element değerleri (White ve diğerleri 25).
- 3 — Taylor'ın ortalama Andezit bileşimi.
- 4 — Andean andezitlerinin tipik iz element içerikleri.
- 5 — Karpat dağlarındaki kita içi andezitlerin tipik iz element içerikleri (Jakes, 26).
- 6 — New South Wales (Avustralya) daki granodioritlerin ortalama iz element içeriği (Kolve ve Taylor, 3).
- 7 — Wedepohl (5) den üst kabuk magmatik kayaçlarının ortalama iz element içerikleri.
- 8 — Kalkanların iz element içerikleri (Fahrig ve Eade, 40 ve Shaw, 7).

ppm	1	2	3	4	5	6	7	8
Rb	12	31	135	140	120	120	44	120
Ba	145	194	720	820	590	590	730	250
Sr	230	214	420	425	190	290	380	250
K/Rb								
La	3.8	11.9						
Yb	1.9	1.9						
La/Yb	2.0							
Th/U	0.8	2.2						
V	0.4	0.69						
Th/U/kotan	2.0	3.2						
V	195	274	175					
Cr	30	199	56					
Ni	122	89	18					
Zr	380	160	110					
U								
Ta								
Y								
Gd								
Eu								
Dy								
Tb								
Lu								
Hf								
Ta								
W								
Os								
Pt								
Ir								
Ru								
Pd								
Ag								
Pt								
As								
Se								
Te								
Bi								
Pb								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								
U								
Th								
Pa								

lerin miktarları genç kıvrım kuşaklarındakiler ile birbirine çok yakındır (Çizelge 4) fakat, ada yayı kayaçlarından farklıdır. Jakes ve White [36] «And» tipi kalk-alkali kayaçların ana ve iz elementleri bileşimi ni hornblende-sivi dengesinin belirlediğini bulmuş ve And tipi kayaçların hornblende bileşiminin plutonik kütelerindeki (tonalitler) ile aynı, fakat ada yayı kayaçlarınınının farklı olduğuna işaret etmişlerdir. Yazarlar klinopiroksen, granat ve amfibolün, esasında toleitik bileşimde ada yayı kabuğu olan kita kenarı alt kabuğunun erimesinin sonraki evrelerinde oluşmuş olabileceğini de söylemişlerdir.

Böylece «And» tipi volkanik kayaçların belirgin özellikleri olan SiO_2 , $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, Rb ve Ba daki artışı ve K/Rb deki azalışı, hornblende parçalanışı ile açıklanabilir. And tipi volkanizma (kita kenarı volkanizması) ilk ada yayı kabuğunun parçalanmasında ana etkendir; toleitik alt kabuğun bölümsei ergimesinden ileri gelen granat-klinopiroksen-hornblende artıkları üst mantoya batar. Bunun hemen ardından bölgümsel ergime ve bazı elementlerin (K,Rb,Ba,Th,U) yukarıya taşınmasıyla aynı zamanda yeni genç kabuk suyunu yitirir. Bu da, genç kıvrım kuşakları ile kalkan alanları bileşimleri arasındaki ayırmaları açıklayabilir.

Ada yayları volkanizması ve onu izleyen And tipi volkanizmadan daha sonra, örneğin metamorfizma sırasında katmanlaşma ve yeniden dağılma, gibi olaylar, bunları karşılayıcı işlemler olarak oluşmalarına (Lambert ve Heier [9] karşın, kabuğun parçalanmasında ve yeni kitasal kabuk oluşmasında ana etkendirler. Ada yayları volkanizmasını açıklamaya çalışan yeni modellere göre parçalanmayı mantonun bölgümsel eriyerek yeni okyanus kabuğunu oluşturmazı izlemektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- [1] W. Clarke ve H.S. Washington, 1924, U.S. Geol. Surv. Prof. Papers 127, 117 pp.
- [2] A. Poldervaart, 1955, Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 62, 119.
- [3] S.R. Taylor, 1964, Geochim. Cosmochim. Acta, 28, 1989.
- [4] L.C. Pakiser ve R. Robinson, 1966, Tectonophysics 3, 547.
- [5] K.H. Wedepohl, 1968, Chemical fractionation in the sedimentary environment, Origin and Distribution of the Elements'de L.H. Ahrens (ed.) Pergamon Press, 999.
- [6] A.B. Ronov ave A.A. Yaroshevsky, 1969, Am Geophys. Un. Mono. 13, 37.
- [7] D.M. Radioactive elements in the Canadian Pre-Cambrian shield and interior of the Earth. Origin and Distribution of the Elements'de L.H. Ahrens (ed), Pergamon Press, 855.
- [8] R.S. Taylor, 1968, Geochemistry of andesites. Origin and Distribution of the Elements'de, L.H. Ahrens (ed), Pergamon Press, 559.
- [9] I.B. Lambert ve K.S. Heier, 1968, Lithos, 1, 30.
- [10] P.M. Hurley, 1968, Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 273.
- [11] D.M. Shaw, 1968, Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 573.
- [12] S.R. Taylor ve A.J.R. White, 1965, Nature, 208, 271.
- [13] A.E. Ringwood, 1969, Am. Geophys. Un. Mono, 13, 1.
- [14] E.K. Markhinin, 1968, Am. Geophys. Un Mono. 12, 413.
- [15] P. Jakes ve A.J. White, 1969, Tectonophysics 3, 223.
- [16] J.B. Gill, 1970, Contrib. Mineral. Petrol., 27, 179.
- [17] P. Jakes ve A.J.R. White, Geol. Soc. Am. Bull. (baskıda).
- [18] P.E. Baker, 1968, Bull. Volcan., 32, 189.
- [19] P. Jakes ve J.B. Gill, 1970, Earth Planet. Sci. Letters., 9, 17.
- [20] H. Kuno, 1966, Bull. Volcan., 29, 195.
- [21] A. Sugimura, 1968, Spatial relations of basaltic magmas in island arcs, Basalts'da, H. H. Hess ve A. Poldervaart (ed), Wiley, 573.
- [22] W.R. Dickinson ve T. Hatheron, 1967, Science, 157, 801.
- [23] P. Jakes ve A.J. White, 1970, Geochim. Cosmochim. Acta, 34, 849.
- [24] W.R.A. Baragar ve A.M. Goodwin, 1969, Oregon Dept. Geol. Min. Ind. Bull., 65, 121.
- [25] A.J. White, P. Jakes ve D.M. Christie, 1970, Geol. Soc. Australia Spec. Publ. (baskıda).
- [26] S.R. Hart, C. Brooks, T.E. Krogh, G.L. Davis ve D. Nava, 1970, Earth Planet. Sci. Letters, 10, 17.
- [27] P. Jakes, 1970, Analytical and experimental geochemistry of volcanic rocks from island arcs, Ph. D. thesis, Australian National University, 139 p.
- [28] R.E. Follinsbee, H. Baadsgaard, C.L. Cumming ve D.C. Green, 1968, Am. Geophys. Un. Mono. 12, 441.
- [29] A.B. Ronov ve A.A. Midgasov, 1970, Geokhimiya, 403.
- [30] P.M. Hurley ve J. R. Rand, 1969, Science, 164, 1229.
- [31] P. Kolbe ve S.R. Taylor, 1966, Contrib. Mineral. Petrol., 12, 202.
- [32] R.D. Hyndman ve D.W. Hyndman, 1968, Earth Planet. Sci. Letters, 4, 427.
- [33] A. Ewart ve J.J. Stipp, 1968, Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 699.
- [34] A. Siegers, H. Richler ve W. Zeil, 1969, Geochim. Cosmochim. Acta, 33, 882.
- [35] E.E. El-Himmawi, H. Pichler ve W. Zeil, 1969, Contrib. Mineral Petrol., 24, 50.
- [36] P. Jakes ve A.J.R. White, Am. Mineralogist (baskıda).
- [37] R.G. Schmidt, 1957, U.S. Geol. Surv. Prof. Papers 280B, 127.
- [38] W. Hamilton, 1969, Oregon Dept. Geol. Min. Ind. Bull., 65, 175.
- [39] H. Kuno, 1950, Geol. Soc. Am. Bull., 61, 957.
- [40] W.F. Fahrig ve K.E. Eade, 1968, Can. J. Earth Sci., 5, 1247.