

Şekil 1. Avnik bölgesinin basitleştirilmiş jeoloji haritası. Temel olarak Erdoğan (1982)'nin çalışması alınmıştır.
Figure 1. Simplified geological map of the Avnik region, based on work by Erdoğan (1982).

1971; Hail ve Mason, 1972; Aykulu ve Evans, 1974; Halı, 1976; Genç, 1977; Erdoğan, ve diğerleri, 1981; Erdoğan, 1982).

Avnik bölgesinde kayalar Alt ve Üst Birlikler olarak ayırtlanmıştır (Şekil 2). Alt Birlik kayaları apatitçe zengin bantlı ve masiv demir cevherleri ile ara katmanlı (Şekil 3), Avnik granitoidi ile Yayla graniti (350 Ma; Helvacı ve Griffin, 1983) tarafından kesilen, bazikten felsiğe kadar değişen kalk-alkalin karakterli metavolkanik kaya serileridir. Üst Birlik kayaları, mikaşist, mermer (Permian fosilli), mermer şist ardalanması ve beyaz mermerleri kapsar.

Petrografik çalışmalar ve kimyasal analizler, Alt Birliğin metavolkanikleri ve granitoidlerinin ileri düzeyde feldispatlaşmaya (hem K - hem de Na-) ve silisleşmeye uğradıklarını gösterir. Rb-Sr analizleri, bu metasomatik olayın, granitoidlerin volkanik istif sokulumundan çok sonra ve yaklaşık olarak 90 Ma önce oluştuğunu önerir.

Bu yazı, metavolkaniklerin ve granitoidlerin asal ve eser element analizlerini, bu kayalar arasındaki mümkün olan ilişkileri, kayaların kökenini ve Üst birliğe ait mikaşisti de etkileyen metasomatik olayın mekanizmasını ortaya koymayı amaçlar.

PETROGRAFİ

Alt Birlik

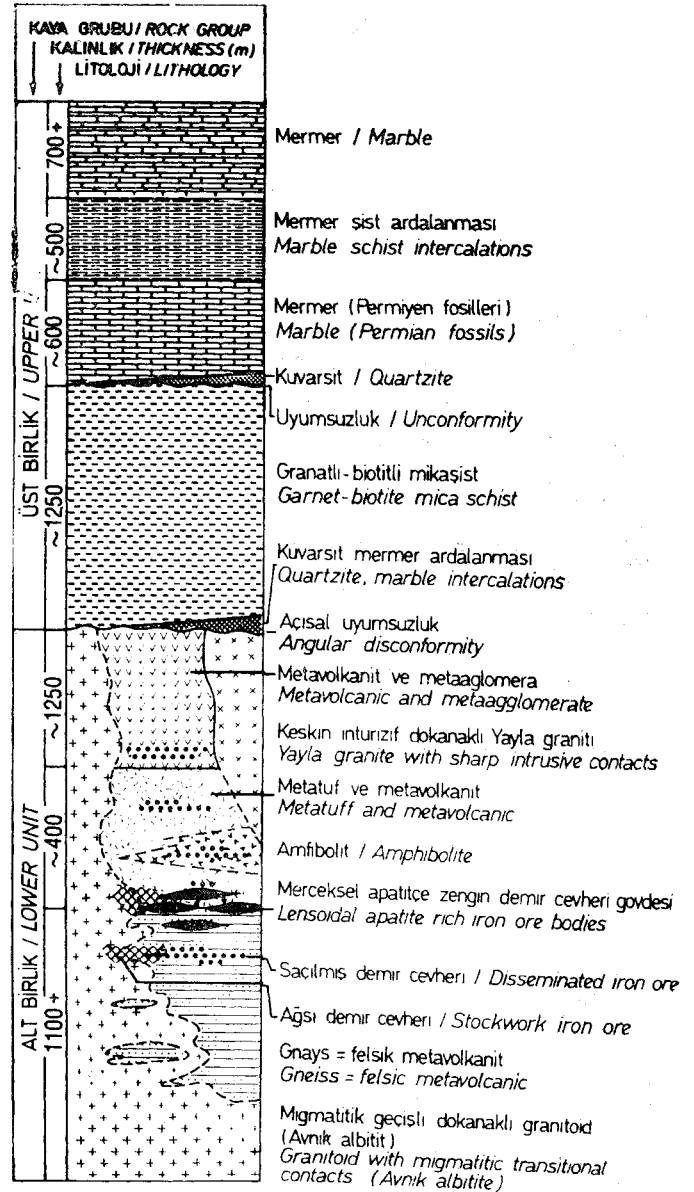
Metavolkanik Kayalar. Saha ilişkileri ve petrografi verilerine dayanarak metavolkanik istif dört guruba ayrılabilir : (1) Kuvars - feldispat gnays (ileri düzeyde yapraklanmış metavolkanikler), (2) Amfibolitler, (3) Metavolkanitler/metatüfler ve (4) Metaaglomeralar.

Avnik bölgesi istifinin en alt kesiminde gözlenen kuvars - feldispat gnayslar, başlıca kuvars ve feldispat ve değişen miktarlarda amfibol, muskovit, magnetit ve biyotit ile amfibolden oluşan ikincil klorit içerir. Magnetitin martitleşmesinden dolayı gri - kahverengi veya kahverengili ince taneli hamur, çok kenarlı büyük kuvars kristallerini (fenokristal/porfiroblast) ve serizitlenmiş büyük feldispat kristallerini (megacrysts) çevreler. Lepidoblastik dokular olmaktadır. Bu kayaların kimyasal bileşimleri ve petrografik verileri, gnaysların ileri düzeyde yapraklanmış, yeniden kristalleşmiş ve albitleşmiş felsik metavolkanik olduklarını vurgular. Bu gnayslar, sıkça amfibolce zengin gnayslar ve amfibolitlerle ardalanmalı olup granitoid dokanakları boyunca migmatitleşmişlerdir (Şekil 3).

Saha ve mikroskop gözlemleri amfibolitlerin, bazikten ortaca kadar değişen metavolkanik kayalar olduklarını belirtir. Yeşil ve koyu yeşil renklere olan amfibolitler başlıca amfibol (baskın olarak aktinolit, ender olarak hornblend ve krossit), diopsit, albit, epidot, apatit, magnetit, biyotit, muskovit ve az oranda kuvars, talk, klorit, kalsit, sfen ve hematit içerir. Başlıca şistoz, seyrek olarak lepidoblastik ve granoblastik dokular gösterir.

Metavolkanikler/metatüfler, çeşitli kaya tipleri ve kimyasal bileşimleri kapsar. Bunlar, baskın olarak ortaça bileşimde olup istifin üst kesimlerinde felsik metavolkanikler bollaşır. Seyrek olarak metaaglomeralar bu kayalarla arakatlıdır. Bazik ve ortaça bileşimli metavolkanikler/metatüfler, başlıca albit (az oranda K - feldispat), amfibol, klorit, mika ve magnetit içerir.

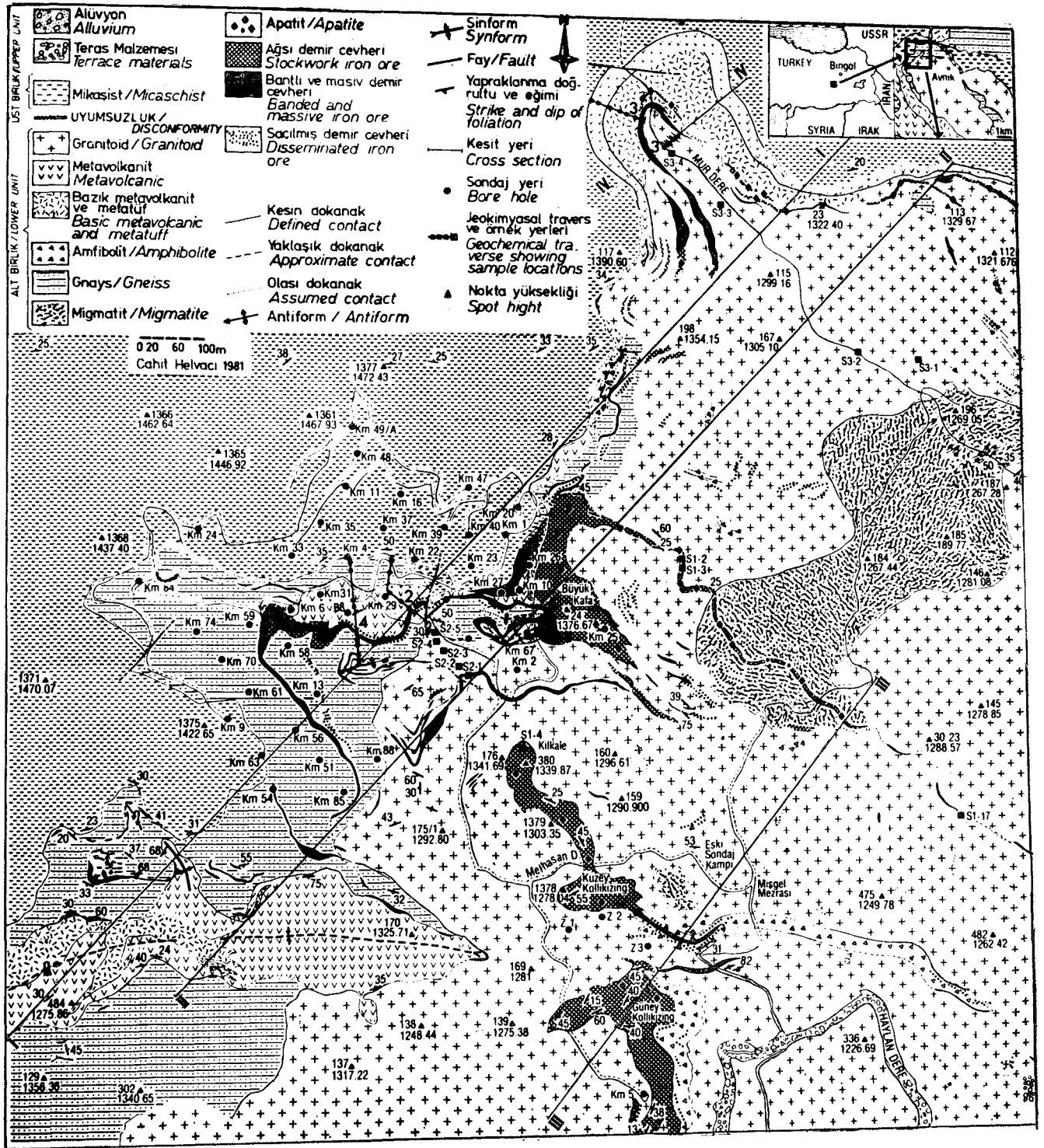
Albit ve seyrek olarak kuvarsin büyük kristalleri, bazen kuvvetli foliasyon gösteren, bazen göstermeyen kloritçe zen-



Şekil 2. Avnik bölgesinin stratigrafik dikme kesiti. Erdoğan ve diğerlerinden (1981) değiştirilerek alınmıştır.

Figure 2. Stratigraphic section of the Avnik region, modified after Erdoğan et al. (1981).

gin bir matris içinde yerleşmişlerdir. İlksel feldispat albit tarafından ornatılmıştır. Albitin dışı doğru büyümesi matris içine doğru uzanır ve poikiloblastik olarak matris minerallerini kapsar. Felsik metavolkanikler, ince taneli bir matris içinde 1 - 5 mm boyutlarında kuvars ve K - feldispat kristalleri içerir. Bazı K - feldispat iri iri kristalleri fenokristal gibi gözlenir ve öte yandan diğerleri açık olarak ilksel plajyoklasları ornatmışlardır. Bu iri kristaller sıkça gerilmiş ve çokgen şekiller almışlardır. İnce taneli hamur maddesi çok düzensiz mikro yapılar gösterir ve kayalarda K - feldispatın bütünüyle ornattığı yerlerde dahi yersel olarak sferulitik dokular korunmuştur (Şekil 4). Felsik vol-



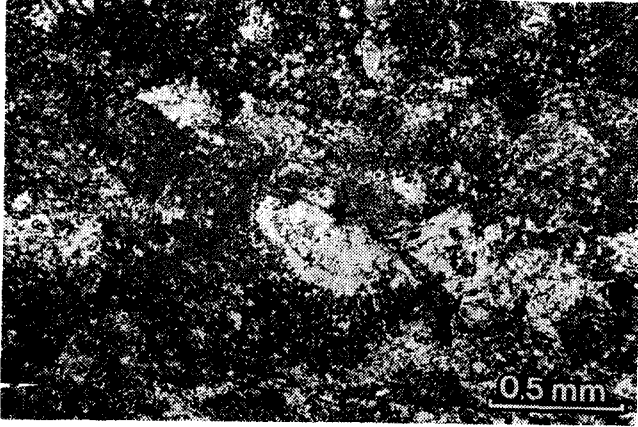
Şekil 3. Mişkel ve Murdere yataklarının ayrıntılı jeolojik haritası.
Figure 3. Detailed geological map of the Mişkel and Murdere deposits.

kanikler ileri düzeyde silişleşmişler ve çok sayıda küçük kuvars damarları ile kesilmişlerdir.

Metaaglomeralar, sahada bu kayaların temel yapılarıyla belirlenmişlerdir. Volkanikler içinde mercekssel veya ince seviyeler şeklinde gözlenirler. İnce kesitlerinde, ince taneli ve ileri düzeyde foliyasyon gösteren mikali bir mat-

riks içinde volkanik kırıntılar - birikintiler (fenokristal, hamur malzemesi) içerirler. Kataklastik dokular sıkça gözlenir-

Metavolkanik istifle ara katmanlı olan apatitçe zengin demir cevherleri bantlı, masiv ve saçılmış türden olup gneys ve istifdeki daha iyi korunmuş metavolkaniklerin dereceli



Şekil 4. Porfiritik doku gösteren ortaç metavolkanik. K - feldispat (ortoklas) fenokristali ince taneli hamurun içine doğru dışa büyümesi. Kuvars ve muskovit başlıca diğer mineraller. Çapraz nikol.

Figure 4. Intermediate metavolcanics showing porphyritic texture, K = feldspar (orthoclase) phenocryst growing outwards into the fine-grained ground-mass with quartz and muscovite, + nic-

geçiş dokanağında yerleşmişlerdir (Şekil 2 ve 3). Saçılmış cevherler, bölgesel olarak metavolkanikler içinde yaygın olmasına karşın, genellikle masiv cevher zonları çevresinde yoğunlaşmıştır. Masiv merceksel cevher zonları 1-2 mm' den birkaç santimetreye kadar değişen laminalanma gösterir. Bantlı cevherler Avnik granitoidiyle kesildiği yerlerde, remobilize olarak büyük magnetit, apatit ve aktinolit kristalleri içeren ağısı türde cevher damarları oluşturur.

Hematit, ilmenit ve rutil retrograd metamorfizma sırasında Ti kapsayan magnetit in oksidasyonu sonucu oluşmuştur. Magnetit cevherleri ile birlikte bulunan fluorapatit kısmen hidroksil - fluorapatit ve hidroksiapatite ayrılmıştır.

Granitoidler. Alt birlik, metavolkaniklerle intrüsf ve geçişli dokanaklar gösteren, heterojen ve ileri düzeyde albitleşmiş Avnik granitoidi ve keskin intrüsf dokanaklı homojen Yayla graniti tarafından kesilirler (Şekil 1 ve 2).

Avnik granitoid (Avnik albitit), metavolkaniklerle geçişli dokanaklar gösterdiği ve onları özümlediği yerlerde heterojen bileşimli, yapraklanmış ve yeniden kristalleşmiştir (Şekil 3). Granitoid, başlıca kuvars, albit, K-feldispat ve az oranda amfibol, muskovit, biyotit, klorit, zirkon, sfen, magnetit ve hematitten oluşur. Kenar kesimlerinde genellikle ileri düzeyde yapraklanma ile silinmiş porfiritik ve granoblastik mikro dokulara sahip olmasına karşın orta kesimlerinde granitik dokular gösterir. Kuvars ve albitleşmiş K-feldispat sıkça klorit ve serizitçe zengin feldispatik hamur içinde yeniden kristalleşmiş ve gerilmiş (strained) granoblastik gözler oluştururlar.

Avnik granitoidinin ilksel K - feldispatını ornatın ikinci albit sıkça dama (chessboard) yapısı gösterir. Şu anda albit olan ilksel plajioklasın bileşimi bilinmemektedir. Silisleşme sıkça gözlenir ve 50 cm kalınlığa erişen kuvars daykları granitoid içinde gözlenmiştir.

Yayla graniti iri tanelidir ve eştaneli dokulu 4-5 mm boyutlarında kuvars, ortoklas, mikroklin, pertit, amfibol ve

biyotitten oluşur. Kloritleşme ve serizitleşme granitin bazı kesimlerinde gözlenir, fakat albitleşme enderdir. Aplit ve pegmatit dayk ve damarlar gövde içinde yaygındır.

Üst Birlik

Avnik bölgesinde, Üst birlik aşağıdan yukarıya doğru şu istiften oluşur : granatlı - biyotitli mikaşist, gri mermer, mermer şist ardalanması ve beyaz mermer. Üst birliğin granatlı - biyotitli mikaşistleri, metavolkanikler, Avnik granitoidi (albitit) ve Yayla graniti üzerine açılal uyumsuzlukla oturur. Merceksel kuvarsit - mermer ardalanması, Alt birliğe ait metavolkanikler ve granitoidler ile mikaşistler arasına girer. Bu kuvarsitlerin alt kesimleri özellikle metakonglomeralar şeklinde olup Alt birlik kayalarının çakılarını kapsar ve taban konglomerası olarak yorumlanır (Şekil 1 ve 2). Granatlı - biyotitli mikaşistler başlıca kuvars, muskovit, biyotit, granat (almandin), albit, granat ve biyotitten oluşan ikincil klorit, az oranda apatit ve opak minerallerden oluşur. Büyük, muntazam olmayan albit porfirblastlarının şistlerin her yerinde bulunuşu, Alt birlik kayalarını değiştiren albitleşmenin şistleri de etkilediğini açıklar.

Mikaşistler ile gri mermerler arasında yersel bir uyumsuzluk vardır ve merceksel kuvarsit düzeyi iki birim arasına girer. Permiyen yaşlı mermerler Bitlis Masifinin başka kesimlerinde de Alt birlik metamorfik kayaları üzerine uyumsuzlukla oturur (Tolun, 1953). Bölgesel korelasyon ve benzer Permiyen fosillerinin varlığı, Avnik sahasındaki bu mermerlerin Permiyen yaşlı olduğunu belirtir. İstifin üst kesiminde mermer - şist ardalanması ve beyaz mermerler bulunur.

METAMORFİZMA

Avnik sahasında, Bitlis Masifinin metamorfik kayaları bölgesel ölçekte güneye doğru devrik bir antiklinal oluşturur (Şekil 1). Alt ve Üst birlikler deformasyonun birkaç devresinden etkilenmişlerdir. Masif içinde birkaç bindirme düzlemi bulunur. Avnik bölgesinde Bitlis Masifi Miyosen'den sonra yaklaşık yataya yakın bindirme düzlemleri bo-yunca Miyosen filişinin üzerine güneye doğru tektonik olarak taşınmıştır (Erdoğan ve diğ., 1981; Erdoğan, 1982) (Şekil 1).

Avnik bölgesindeki kayalar metamorfizmanın birkaç devresinden etkilenmişlerdir. Olasılıkla amfibolit fasiyesinde (?) bir bölgesel deformasyon ve metamorfizma, granitoidlerin sokulumundan önce veya sokulum sırasında Alt birliği etkilemiştir. Granitoid sokulumunu, Üst birliği etkilemeyen yükselme, kıvrımlanma ve faylanma izlemiştir. Alt birlik, daha sonra Üst birliği de etkileyen bir ikinci metamorfizmaya uğramıştır. Bu ikinci metamorfizma yeşilşist fasiyesi topluluğu ve bazı kesimlerde epidot - amfibolit fasiyesi ile daha önceki metamorfizma topluluğunun izlerini siler. Alterasyon ve bölgesel metamorfizmanın birkaç devresinin dahil olduğu benzer kompleks bir gelişme Bitlis Masifinin diğer kesimlerinde de gözlenmiştir (Yılmaz, 1975; Boray, 1975; Hail, 1976; Genç, 1977).

Karmaşık metamorfik tarihten dolayı mineral toplulukları dengesini şüpheli olmayacak şekilde tanımlamak çok zordur (Çizelge 1). Bazik metavolkaniklerde baskın olan topluluk yeşilşist fasiyesidir : albit + epidot + aktinolit + muskovit + kuvars + apatit + sfen + magnetit ± K- feldispat +- ilmenit ± kalsit. Geriye kalan yüksek de-

	Metavolkanik Metavolcanics				Granitoid Granitoid			Mikaşist Micaschist		
	S3 - 29	KM - 51/194 (S1 - 14)			S3 - 1			S3 - 34		
	K-feldspat K-feldspar	Albit Albite	Biotit Biotite	Klorit Chlorite	Albit Albite	Aktinolit Actinolite	Albit Albite	Muskovit Muscovite	Klorit Chlorite	Granat Garnet
SiO ₂	64.31	68.71	37.82	28.98	68.64	56.00	68.48	49.83	25.74	36.57
TiO ₂	0.00	0.10	0.79	0.04	0.00	0.08	0.05	0.46	0.01	0.12
Al ₂ O ₃	18.34	19.93	15.41	18.07	19.56	1.19	19.80	27.37	20.61	20.90
FeO	0.09	0.21	15.70	20.19	0.00	7.97	0.01	3.24	26.36	31.41
MnO	0.01	0.10	0.09	0.20	0.00	0.45	0.04	0.02	0.00	1.57
MgO	0.00	0.03	15.82	21.07	0.00	19.13	0.04	2.50	14.06	1.15
CaO	0.01	0.23	0.03	0.14	0.02	12.86	0.15	0.00	0.02	7.86
Na ₂ O	0.48	10.30	0.24	0.20	11.30	0.54	11.40	0.23	0.14	0.22
K ₂ O	16.91	0.04	9.50	0.02	0.15	0.16	0.04	8.50	0.03	0.04
P ₂ O ₅	0.14	0.06	0.06	0.02	0.32	0.00	0.10	0.08	0.19	0.03
Toplam Total	100.29	99.71	95.46	88.93	100.00	98.39	100.11	92.23	87.16	99.87

Çizelge 1. Metavolkanik, granitoid ve mikaşistten mineral analizleri.

Table 1. Mineral analyses from metavolcanics, granitoids and micaschist.

reçeli fazlar hornblend, krossit, diopsit ve almandindir. Talk, serizit, hematit, lökoksit ve götit yeşilist fasiyesi mineralleri aleyhine oluşan retrograd fazlardır.

Felsik metavolkaniklerdeki genel topluluk K-feldspat + kuvars muskovit + magnetit + apatit ± albit ± turmalin'dir. Geriye kalan yüksek dereceli fazlar gözlenmez. Klorit, serizit, talk ve hematit retrograd fazlardır. Granito-idler albit ± K - feldspat + kuvars + muskovit + magnetit + sfen + rutil ± aktinolit metamorfik mineral topluluğunu içerir. Bu toplulukta biyotitin durumu şüphelidir. Biyotit, geriye kalan (relict) magmatik faz olabilir ve genellikle klorit tarafından ornatılmıştır.

Üst birliğin mikaşisti albit + kuvars + muskovit + hematit + ilmenit ± biyotit ± almandin ± apatit mineral topluluğuna sahiptir. Klorit ve götit retrograd fazlardır.

JEOKRONOLOJİ

Helvacı ve Criffin (1983), Avnik sahasından kaya ve minerallerin Rb - Sr analizlerini sunmuştur. Avnik granitoidinin Rb - Sr sistemi metasomatik olaylardan ileri düzeyde etkilendiği için yaş tayini elde edilemez. Yayla graniti, yeterli düzeyde ve iyice tespit edilmiş Rb - Sr toplam - kaya yaşı olarak 347 ± 52 Ma verir. Yüksek ilksel $^{86}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.722) oranı, Yayla granitinin daha yaşlı kabuksal gerecin anateksisi yoluyla oluştuğunu önerir. S3 kesitindeki metavolkanikler, çok yüksek ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.721) oranı ile yeterli ve iyi tespit edilmiş, toplam - kaya yaşı olarak 91 ± 9 Ma'yı verir. Bu genç yaş doğal olarak metamorfik yaş ve K, Na ve Rb'un geniş ölçekli yeniden dağılımının olduğu feldispatlaşmanın yaşı olarak yorumlanmıştır. Bu sonuç, Helvacı ve Griffin (1983) ve Yılmaz ve diğ. (1981) tarafından sunulan Eoalpin (80-100 Ma) mineral yaşları ile desteklenir. Yılmaz ve diğ. (1981), Bitlis Masifinin Cacas bölgesindeki benzer fakat daha az oranda feldispatlaşmış volkaniklerin yaşını tespit etmek için iyi sonuç vermeyen bir

teşebbüs yapmışlardır. Helvacı ve Griffin (1983), Cacas bölgesindeki az oranda albitleşmiş örneklerden Rb - Sr izo-kron yaşının ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.7105) oranı ile 454 ± 13 Ma olduğunu göstermiştir. Bu yaş volkaniklerin püskürme yaşı olarak yorumlanmıştır.

Avnik granitoidi ve üstteki mikaşistler için bulunan mineral - toplam kaya yaşları genç Alpin (30-40 Ma) yeniden kristalleşme olaylarını yansıtır. İzotopik veriler, saha ve petrografik gözlemlerle birlikte üç olasılıklı metamorfik evreyi öngörür :

1. Granitoidlerin sokulumu öncesi veya esnasında ve uyumsuz olarak üstleyen mikaşistlerin depolanmasından önce volkaniklerin kıvrımlanması ve en azından kontakt metamorfizması.

2. Alt ve Üst birliklerin ikisini de etkileyen kıvrımlanma ve Eoalpin dönemindeki metamorfizma.

3- Genç Alpin retrograd metamorfizması.

ANALİTİK YÖNTEMLER

Bitlis Masifindeki Avnik sahası, ilk olarak 1978 yılı yazında, daha sonra sırasıyla 1979 ve 1980 yazlarında ayrıntılı harita alımı ve örnek derlenmesi için araştırılmıştır. Bütün örnekler, yeni yol yarmalarından, yeni açılmış cevher yarmalarından, sondaj karotlarından ve yedi farklı örnek travers serisinden derlenmiştir. Her seri, farklı lokasyonlardaki derlemeyi temsil eder ve bunlar Şekil 1 ve 3'de tanımlayıcı sayıları ile birlikte gösterilmiştir. Bütün durumlarda örnekler yaklaşık 2 kg ağırlığında olup, bunların yarısı kimyasal analiz için hazırlanmıştır.

Asal elementler eritilmiş kaya tozunun (powder) mikroprob analizleri ile tayin edilmiştir. Aşağı yukarı 300 mg toz, yaklaşık 1/2 atmosfer basınçta havası boşaltılmış ve kuru Ar ile doldurulmuş paslanmaz çelikten yapılmış vakum deposuna (vacuum chamber) Mo şerit üzerinde yerleştirilir. Toz tamamen ergiyinceye dek (yaklaşık 5 -10 sa-

niye) Mo şerit elektrik ile ısıtılır. Cam haline gelen örnekler plastik disklerin içine yerleştirilir ve parlalır. Bunlar, ARL - EMX probu üzerine monte edilmiş LİNK enerji - dispersiyon sistemi (ZAF-4 düzeltme programı) kullanılarak analiz edilirler. Her analiz değeri yayılmış ışın (spread beam) altında, örneğin hareket ettirilmesi ve 15 KV'lık yüksek voltajda analiz edilmiş olan 4-8 küçük parçanın ortalamasını temsil eder. Analizler, Mo kirlenmesi için düzeltilir. Standard kayalar üzerinde tekrarlanmış denemeler alkali veya uçucu elementlerde eritme olayı ve prob analizi sırasında kayıp olmadığını gösterir. Asal ve minör elementler için neticeler, katıyet ve doğruluk (precision and accuracy) yönünden XRF analizleriyle de kıyaslanmıştır. Mineral analizleri içinde benzer yöntemler kullanılmıştır.

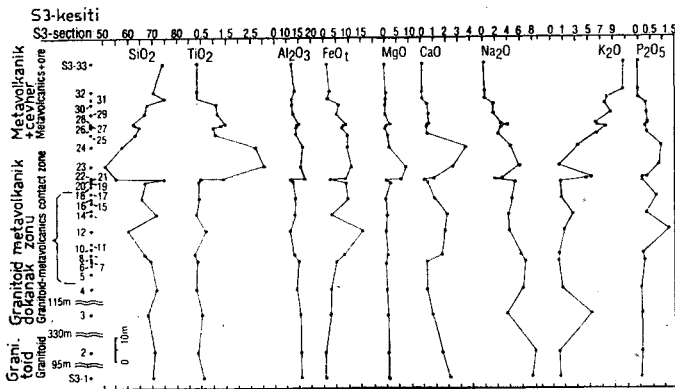
Eser elementler, kalibrasyon için standard kayalar kullanılarak phillips 1410 XRF spektrometresinde sıkıştırılmış toz tabletler (pellets) üzerinde analiz edilmiştir. Tüm örneklerden kontrol için ikişer adet analiz yapılmıştır.

REE (nadir toprak elementleri), Gordon ve diğ. (1968)'nin tanımladığı şekilde nötron - aktivasyon (neutron - activation) yöntemi ile analiz edilmiştir. U.S.G.S. referans örneği BCR-1 kalibrasyon için standard olarak kullanılmıştır. Sr isotop analizleri ve kullanılan yöntem Helvacı ve Griffin (1983) tarafından sunulmuştur.

TOPLAM - KAYA KİMYASI

Metavolkanikler

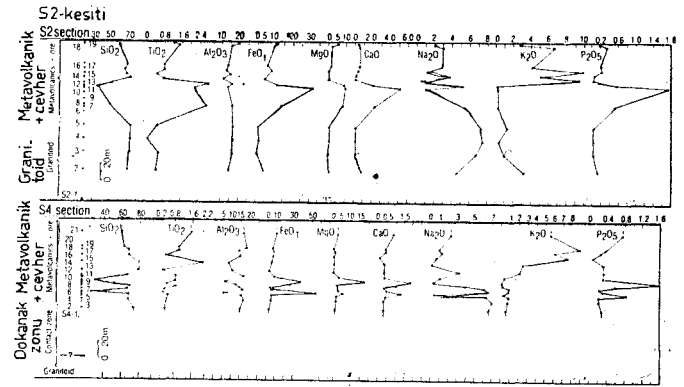
Metavolkaniklerin kimyasal bileşimleri stratigrafik kesitlerde ve çizelgelerde özetlenmiştir (Şekil 5 ve 6; Çizelge 2, 3, 4 ve 5). Bütün bu kesitler, bazikten ortaca kadar değişen kayaların alt kesiminde, felsik volkaniklerin ise üst kesiminde baskın olduklarını gösterir. Bazik kayalar, toplam kimyaları yönünden ender olup, yüksek Ti, Fe ve K kap-



Şekil 5. S3 kesitinin jeokimyasal - stratigrafik dikme kesiti (Yer için Şekil 1 ve 3'e bakınız).

Figure 5. Geochemical - stratigraphic column for the S3 section (see Figs-1 and 3 for location).

samları gösterirler. SiO₂ kapsamları %55'den büyük ve (Fe + Mg)'a oranla az Ca içerirler. Bazik ve asit kayaların hepsi, kimyasal olarak çok kısa stratigrafik aralıklar içinde çok büyük değişimler gösterirler. Asit volkanikler içinde K/Na oranı genel olarak üste doğru artar. Kayaların kimyalarındaki genel yön ve yersel değişmelerin her ikisi de, volkaniklerin ikincil feldispatlaşmaları ile ilgili olduğu görülür.

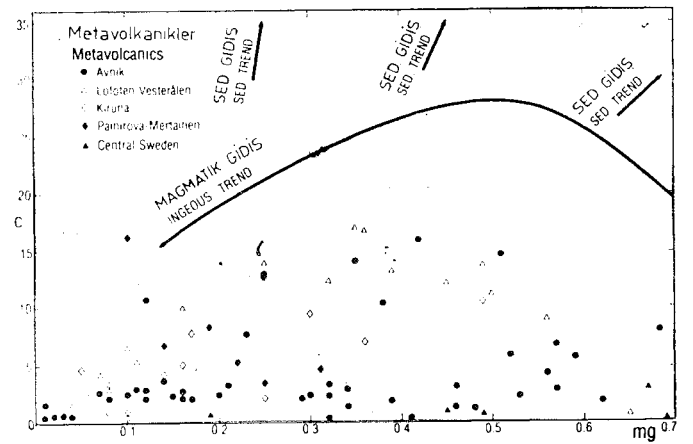


Şekil 6- S2 ve S4 kesitlerinin jeokimyasal - stratigrafik dikme kesiti (yer için Şekil 1 ve 3'e bakınız).

Figure 6. Geochemical - stratigraphic column for S2 and S4 sections (see Figs. 1 and 3 for locations).

Cevher düzeyleri arasındaki volkanik seviyeler, saçılmış magnetit ve apatitin varlığını yansıtan şekilde Fe, Ca ve P yönünden zenginleşmişlerdir.

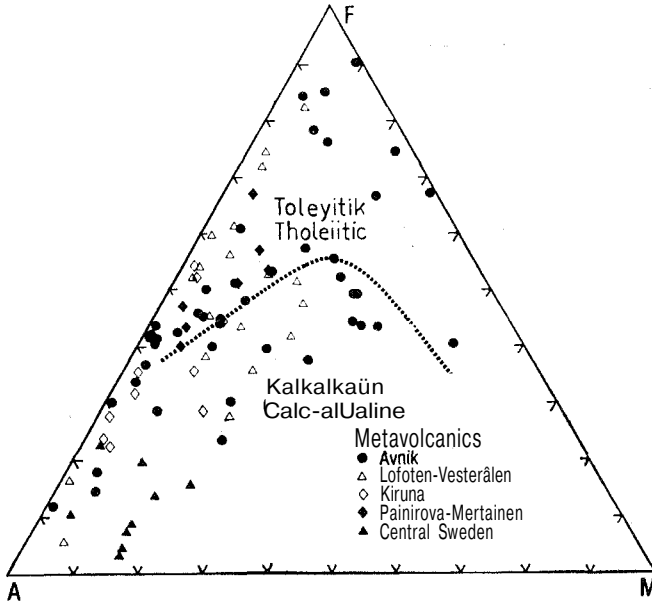
c - mg (Niggl) (Şekil 7) diyagramları sedimenter değil, fakat magmatik gödişi gösterirler. Hatta sahada sedimenter gibi gözlenen metavolkaniklerin de volkanik malzemenin olduğu açıktır. Metavolkanikler, toplam kimyaları yönünden İskandinavya'nın Proterozoyik leptit serilerine (Löfgren, 1979) ve Yeni Zelanda'nın genç kalk - alkalin volkaniklerine (Challis, 1971) benzerler. Kalk-alkalin kayalara bu genel benzerlik AFM diyagramında da belirgindir (Şekil 8).



Şekil 7. Avnik metavolkanikleri ve İskandinavya leptitlerinin Niggl c - mg diyagramı- Leptit verileri Lundberg ve Smellie (1979), Magnusson (1970), Parak (1975) ve Krogh (1975)'ten alınmıştır-

Figure 7. Plots of Niggl c vs. mg for Avnik metavolcanics and Scandinavian leptites. Leptite data from Lundberg and Smellie (1979), Magnusson (1970), Parak (1975) and Krogh (1975).

Diğer yünden, Na, K ve Si arasındaki ilişkiye bakıldığında orijinal olarak kalk-alkalin karakterli Avnik metavolkaniklerinin kimyasal bileşimleri çok yoğun şekilde de-



Şekil 8. Avnik metavolkanikleri ve İskandinavya İlptitlerinin AFM? diyagramı. Diğer veriler Şekil 12'de kiyle ayndır.

Figure 8. AFM plot for Avnik metavolcanics and Scandinavian leptites. Other data as in Fig. 12-

ğişime uğramışlardır (Şekil 9). Ab - Or - Q diyagramında gerçek volkanik bölgeye yalnızca 3 adet asit volkanik örneği düşer, fakat diğerleri Ab'çe zengin ve Or'ça zengin bileşimler arasında iki kısım halinde bölünme (dichotomy) gösterirler (Şekil 9). Benzer iki kısma bölünme olayı (dichotomy) İskandinavya leptitlerinden çok iyi bilinir (Şekil 9). Avnik metavolkaniklerinin şu andaki bileşimleri, değişimlerden dolayı tipik mağmatik bileşimli değildirler. Çünkü ikincil feldispatlaşma sırasında Na, K ve Si'un yeniden dağılımını gösterirler-

Feldispatlaşma, K/Rb ve Rb/Sr oranlarını da şiddetle etkilemiştir. Metavolkaniklerdeki K/Rb oranları (400 -500) (Şekil 10), ortalama olarak normal kabuksal kayalarınkinden (yaklaşık olarak 250) çok yüksektir. Bazı kalk-alkalin volkanik kayalar, özellikler düşük K'lu olanlar (yak-

Çizelge 2. Avnik bölgesindeki granitoid, metavolkanik ve mikaşistin asal oksit bileşimleri, eser element içerikleri ve K/na oranları (S3 kesiti).

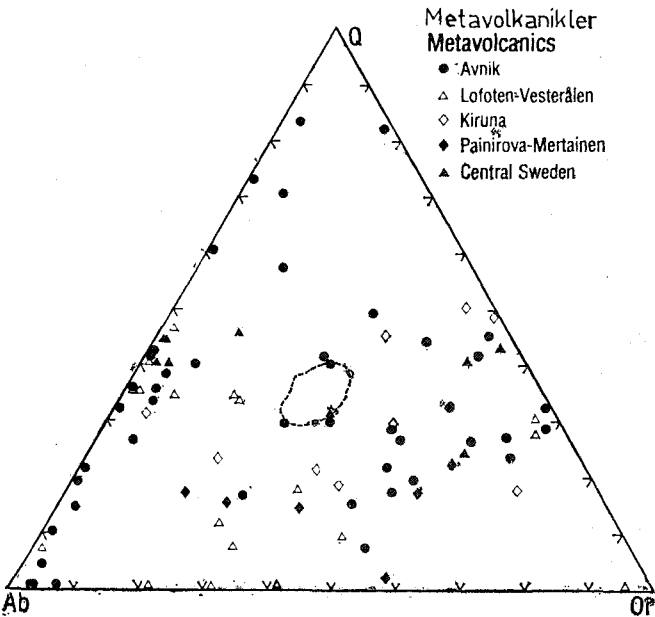
Table 2- Major oxide compositions and trace element concentrations, with K/Na ratios in granitoids, metavolcanics and micaschist from Avnik region (S3 section).

Örnek No. Sample No.	Granitoid Granitoids				Granitoid - metavolkanik dokanak zonu Granitoid - metavolcanic contact zone						Metavolkanikler Metavolcanics				
	S3-1	S3-2	S3-3	S3-4	S3-7	S3-9	S3-12	S3-13	S3-16	S3-19	S3-21	S3-22	S3-23	S3-24	S3-25
SiO ₂ (%)	70.20	71.14	68.59	72.06	69.56	67.09	60.48	72.00	65.84	67.33	75.20	55.65	50.09	57.60	63.35
TiO ₂	0.61	0.37	0.54	0.30	0.36	0.25	0.70	0.32	0.43	0.41	0.47	1.41	3.07	2.52	1.09
Al ₂ O ₃	16.02	15.93	15.74	14.37	15.20	13.15	11.53	13.54	13.86	12.63	11.76	17.69	15.93	16.63	14.08
Fe ₂ O ₃	0.56	0.39	2.05	2.46	4.62	6.32	14.04	2.93	7.74	8.41	2.70	8.00	8.94	9.96	9.68
FeO	0.43	0.65	1.29	0.86	1.29	3.09	3.45	0.65	3.16	1.94	0.65	2.08	3.59	0.65	1.47
MnO	0.02	0.03	0.03	0.07	0.05	0.03	0.06	0.07	0.06	0.14	0.07	0.14	0.16	0.04	0.04
MgO	1.11	1.16	1.03	0.53	0.39	1.23	0.38	0.86	0.41	2.52	0.89	6.85	8.80	1.75	1.14
CaO	2.14	1.57	0.83	0.38	0.40	1.68	1.90	2.07	1.07	0.53	0.19	0.96	2.60	3.96	0.49
Na ₂ O	7.69	8.32	3.74	6.38	6.76	6.02	4.16	4.06	4.72	5.20	1.98	3.11	5.94	4.47	2.53
K ₂ O	0.34	0.12	5.46	0.88	0.28	0.36	1.09	2.48	0.71	0.58	4.75	5.54	0.32	3.21	6.51
P ₂ O ₅	0.08	0.13	0.13	0.12	0.27	0.20	1.28	0.35	0.76	0.21	0.19	0.39	0.82	0.98	0.39
Toplam Total	99.20	99.81	99.43	98.71	99.18	99.42	99.07	99.33	98.76	99.90	98.85	101.82	100.32	101.50	100.77
Elementler (ppm) Elements in ppm :															
Rb	8	4	140	13	3	4	16	61	8	13	160	212	9	62	135
Sr	38	26	75	17	26	68	40	217	28	32	35	60	58	90	65
Y	43	41	42	30	30	22	31	42	47	27	32	62	58	66	62
Z ₁	201	192	194	194	209	197	166	207	184	174	216	269	263	397	464
Nb	15	14	13	13	14	5	4	14	11	13	13	22	29	32	30
Ni	3	2	17	11	15	28	34	14	23	26	18	59	49	14	12
K/Na	0.04	0.01	1.46	0.14	0.04	0.06	0.26	0.61	0.15	0.11	2.40	1.78	0.05	0.72	2.57

Çizelge 2.

Table 2.

Örnek No. Sample No.	Metavolkanikler Metavolcanics								Mikaşist Micaschist
	S3 - 26	S3 - 27	S3 - 28	S3 - 29	S3 - 30	S3 - 31	S3 - 32	S3 - 33	S3 - 34
SiO ₂	64.99	63.01	62.31	67.02	67.63	75.27	70.27	74.29	64.04
TiO ₂	1.00	1.30	1.50	1.18	1.11	0.37	0.34	0.37	1.21
Al ₂ O ₃	14.26	14.86	15.12	12.76	12.18	12.26	13.29	11.95	18.35
Fe ₂ O ₃	7.89	8.40	8.77	5.32	6.39	1.40	2.36	1.30	2.44
FeO	0.72	1.15	1.22	0.72	0.79	0.29	0.36	0.36	3.59
MnO	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.08	0.03	0.00	0.03
MgO	0.40	0.92	2.23	0.42	0.42	0.64	0.65	0.01	2.58
CaO	0.48	0.50	0.61	0.55	0.47	0.04	0.03	0.08	0.74
Na ₂ O	2.91	3.97	2.91	1.63	1.63	0.33	0.30	0.28	2.89
K ₂ O	7.91	6.68	6.37	8.72	7.68	8.07	10.66	10.92	2.56
P ₂ O ₅	0.31	0.42	0.41	0.38	0.36	0.03	0.00	0.00	0.41
Toplam Total	100.89	101.22	101.49	98.71	98.68	98.78	98.29	99.56	98.84
Elementler (ppm) Elements in ppm :									
Rb	99	87	97	122	97	216	225	215	68
Sr	34	24	17	18	12	6	4	3	153
Y	48	35	72	50	54	51	57	54	23
Zr	466	426	394	458	363	369	407	348	179
Nb	33	31	25	35	25	27	28	24	12
Ni	9	13	12	12	10	6	10	6	32
K/Na	2.72	1.68	2.19	5.35	4.71	24.45	35.53	39.00	0.89



Şekil 9. Avnik metavolkanikleri ve İskandinavya leptitlerinin Q - Or - Ab değişimi. Kesik çizgiyle gösterilen kontur genç riyolitlerin maksimum kon-

santrasyonu (Tuttle ve Bowen, 1958). Diğer veriler Şekil 12 dekiyle aynıdır.

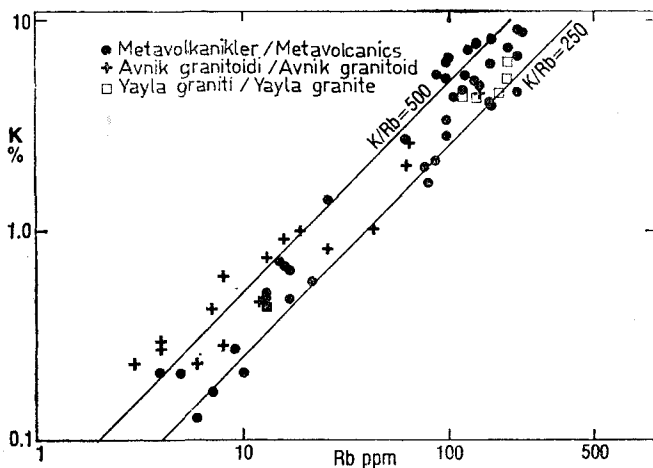
Figure 9- Q - Or - Ab variation in Avnik metavolcanics and Scandinavian leptonites- Dashed contour shows maximum concentration of modern rhyolites (Tuttle and Bowen, 1958).

laşık %1 K), yüksek K/Rb oranları gösterirler. Buna karşın, Avnik kayalarında, yüksek K/Rb değerleri, çok yüksek değerli K/Na oranlarına karşı gelir ve S2 kesitinin K'ca zengin kesiminde K/Rb ile K miktarları arasında pozitif korelasyon vardır. Bu özelliklerin hiçbirisi ayrılmamış magmatik kaya serilerinin karakteri değildir. Bu kayaların K kapsamı, yaklaşık 100 katı daha, Rb ise sadece 20 katı daha değişir. K ve Rb'un bu genel element çiftleri, magmatikten çok hidrotermal K zenginleşmesini kesin olarak önerir. Rb/Sr oranları da büyük oranda değişir ve bu değişimin en önemli nedeni, Sr değerlerinin aşağı yukarı sabit olmasına karşın Rb'un değişmelerine bağlıdır. Sadece birkaç çok ileri düzeyde K - feldispat kayada Sr yaklaşık 20 ppm'in altına düşer. Böylece, albititler tipik olarak düşük Rb/Sr oranlarına ve K - feldispat kayalar ise yüksek Rb/Sr oranlarına sahiptirler. S3 kesitinde, Rb/Sr oranları volkanik istifin tabanında yaklaşık olarak 2'den istifin üst kesiminde 73'e kadar yükselir.

Çizelge 3. Avnik bölgesindeki granitoid, metavolkanik ve mikaşistin toplam kaya analizleri, eser element içerikleri ve K/Na oranları (S2 kesiti).

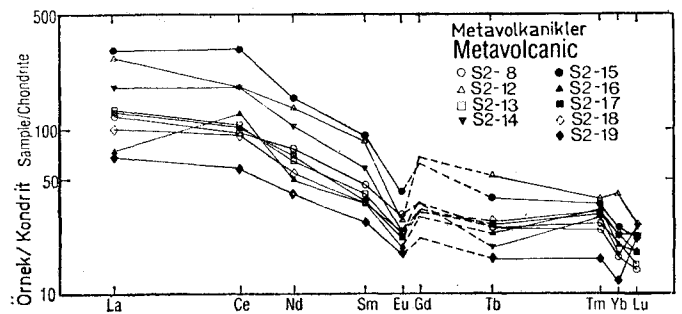
Table 3. Whole rock analyses and trace element concentrations with K/Na ratios in metavolcanics, granitoids and micaschist from Avnik region (S2 section)

Örnek No. Sample No.	Granitoidler Granitoids				Metavolkanikler Metavolcanics								Mikaşist Mica schist	
	S2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S2-8	S2-12	S2-13	S2-14	S2-15	S2-16	S2-17	S2-18	S2-19	S2-20
SiO ₂	69.94	72.46	72.19	72.69	49.22	34.43	51.21	72.82	67.63	65.89	68.35	60.60	56.68	60.06
TiO ₂	0.50	0.59	0.09	0.51	2.72	2.18	2.81	0.77	0.47	0.82	0.81	1.48	1.26	0.69
Al ₂ O ₃	14.87	16.68	16.81	16.64	16.19	13.70	16.18	11.14	15.10	12.55	13.55	15.66	19.19	22.64
Fe ₂ O ₃	3.92	0.21	1.18	0.44	8.72	27.16	7.31	4.20	6.51	8.43	5.41	8.98	6.97	3.09
FeO	0.72	0.29	0.36	0.43	5.82	2.23	4.67	0.57	0.50	0.50	0.86	1.65	5.17	3.66
MnO	0.04	0.06	0.02	0.01	0.04	0.08	0.12	0.03	0.13	0.02	0.04	0.04	0.07	0.02
MgO	1.08	0.36	0.80	0.49	8.24	9.79	9.11	0.07	0.14	0.06	1.63	2.23	5.52	3.30
CaO	0.86	0.16	0.12	0.11	2.23	5.14	2.11	0.10	0.12	0.35	0.56	0.56	0.40	0.34
Na ₂ O	4.54	6.75	7.48	7.30	5.44	1.01	5.29	0.50	3.72	1.22	2.90	3.04	2.15	2.68
K ₂ O	3.12	0.96	0.33	1.23	0.28	0.25	0.21	9.45	5.09	9.86	4.09	6.68	2.75	4.85
P ₂ O ₅	0.12	0.03	0.03	0.03	0.53	1.73	0.58	0.04	0.05	0.23	0.21	0.35	0.18	0.19
Toplam Total	99.71	98.55	99.41	99.83	99.43	97.70	99.60	99.69	99.46	99.93	98.41	101.27	100.34	101.52
Elementler (ppm) Elements in ppm :														
Rb	74	26	4	19	6	10	7	136	109	160	98	119	86	162
Sr	51	27	18	12	41	54	32	6	23	7	22	13	41	43
Y	35	79	21	55	46	126	52	32	74	44	54	58	36	27
Zr	204	406	414	489	234	188	255	503	567	480	416	497	165	161
Nb	14	23	5	28	27	17	26	28	26	33	26	31	12	12
Ni	17	3	1	3	58	209	60	10	14	11	7	13	74	40
K/Na	0.69	0.14	0.04	0.17	0.05	0.25	0.04	18.9	1.37	8.08	1.41	2.20	1.28	1.81



Şekil 10. Avnik metavolkanikleri ve granitoidlerindeki K - Rb değişimleri.

Figure 10. K - Rb variation in Avnik metavolcanics and granitoids.



Şekil 11. Avnik metavolkaniklerinin REE biçimleri.
Figure 11. REE patterns from Avnik metavolcanics.

Avnik metavolkaniklerinin REE (nadir toprak elementleri) biçimleri yüksek Σ REE (toplam nadir toprak elementleri), normal HREE (ağır nadir toprak elementleri) ve LREE'nin de (hafif nadir toprak elementleri) bir zenginleşme gösterirler (Şekil 11; Çizelge 7). REE biçimlerinin düzenliliği, Σ REE ile SiO₂ veya K/Na arasında herhangi bir korelasyonun olmayışı, REE'nin ikincil feldispatlaşma

Çizelge 4. Avnik bölgesindeki metavolkanik ve mikaşistin toplam kaya analizleri, eser element içerikleri ve K/Na oranları (S4 kesiti)**Table 4. Whole rock analyses and trace element concentrations with K/Na ratios in metavolcanics and mica schist from Avnik region (S4 section).**

Örnek No. Sample No.	Metavolkanikler/Metavolcanics												Mikaşist Micaschist	
	S4-1	S4-3	S4-5	S4-8	S4-9	S4-11	S4-15	S4-16	S4-17	S4-18	S4-19	S4-20	S4-21	S4-23
SiO ₂ (%)	73.99	67.50	68.14	66.48	69.54	52.61	66.49	79.19	78.95	68.26	67.74	62.57	59.58	63.06
TiO ₂	0.39	0.46	0.56	0.35	0.89	0.48	0.88	0.28	2.08	0.39	1.01	0.98	1.54	1.00
Al ₂ O ₃	14.67	16.69	15.28	16.24	14.39	12.53	16.56	10.36	7.88	14.59	13.99	18.13	16.06	18.39
Fe ₂ O ₃	1.08	3.78	3.01	4.05	1.71	24.37	7.41	2.81	4.70	6.76	6.47	6.01	8.47	2.40
FeO	1.29	0.86	1.72	0.72	1.29	3.81	2.23	0.36	0.22	0.36	1.01	0.57	2.01	3.38
MnO	0.08	0.03	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.08	0.03	0.10	0.06	0.02	0.02	0.10
MgO	1.06	1.42	1.76	2.78	2.62	2.36	3.19	0.20	0.40	0.06	0.97	0.44	2.52	2.87
CaO	0.34	0.36	0.46	0.53	0.38	1.04	0.40	0.38	0.38	0.13	0.47	0.47	0.88	0.34
Na ₂ O	6.53	6.86	6.28	6.46	5.97	3.89	1.04	3.17	0.12	0.66	1.26	0.96	2.29	3.34
K ₂ O	0.52	0.67	0.81	0.77	0.82	0.07	0.27	2.02	2.37	7.49	5.85	8.87	5.54	3.21
P ₂ O ₅	0.28	0.21	0.21	0.30	0.22	0.58	0.31	0.33	0.32	0.07	0.25	0.36	0.74	0.19
Toplam														
Total	100.23	98.84	98.26	98.73	97.88	101.83	98.87	99.18	97.45	98.87	99.08	99.38	99.65	98.28
Elementler (ppm)														
Elements in ppm :														
Rb	13	22	16	17	15	1	5	80	77	158	139	193	116	103
Sr	20	21	25	32	21	24	17	7	7	11	56	45	11	70
Y	38	33	34	40	63	32	41	52	49	48	54	42	58	29
Zr	199	204	201	211	407	176	207	450	411	581	496	613	517	211
Nb	15	12	12	15	27	8	14	28	26	37	32	37	35	17
Ni	8	9	11	9	12	52	21	5	9	11	11	12	10	17
K/Na	0.08	0.10	0.13	0.12	0.14	0.02	0.26	0.63	19.75	11.35	4.64	9.24	2.42	0.96

ile bozulmadığını açıklar. Bütün örnekler negatif Eu anomalisine sahip olup, en yüksek 2REE gösteren kayalarda Eu anomalileri en derindir. Bu netice, plajioloklasın ayrılanmasının önemli olduğu magmatik farklılaşma serileri için tipiktir. Birçok metavolkanik örneklerinin içinde plajioloklas fenokristallerinin varlığı ise bu sonuçla uygundur. S2 -12 örneği yüksek apatit kapsamına sahiptir ve böylece yüksek SREE gösterir. Diğer örnekler için bu tür ilişki gözlenmemiştir.

Granitoidler

Avnik granitoidinin bileşimi stratigrafik kesitlerde ve çizelgelerde özetlenmiştir (Şekil 5 ve 6; Çizelge 2, 3 ve 5). Bunlar metavolkaniklere benzer ve birçok örneğin ikincil albitleşmesini yansıtan şekilde K/Na oranlarında büyük değişimler gösterirler. S3 kesitindeki (Şekil 5) geçiş zonundan derlenen örnekler, açık olarak metavolkaniklerden çok, granitoidlere daha fazla benzerler. Bu sonuç, saha yorumlanması neticesinde, geçiş zonunun başlıca özümlemiş metavolkanik katkılar içeren granitoid olduğunu doğrular (Şekil 3). Granitoid gövdesinin ortalarından ve metavolkaniklerden uzak olan birçok örnek, tipik granitlerin K/Na oranlarına ve K içeriklerine sahiptir. Bunlar, orijinal magmatik kayaların bileşimlerine daha yakındır.

(Na + K) / Fe ve SiO₂ (gösterilmemiş) diyagramında granitoidler, çok alkali zengin volkaniklere benzerler. Avnik granitoidi, daha az ayrılmış olan Yayla graniti ile kıyaslanmıştır. Yayla graniti, açık olarak Avnik granitoidinden daha fazla homojendir (Çizelge 6). Avnik granitoidi, AFM diyagramında (Şekil 12) metavolkanik kayaları özümlediğinden dolayı daha büyük dağılım gösterir. Ab-Or-Q diyagramı Avnik granitoidi üzerinde albitleşmenin etkisini gösterir (Şekil 13). K/Na oranları çok kötü şekilde bozulmuştur, fakat granitoidin SiO₂ kapsamı albitleşme sırasında önemli bir değişikliğe uğramamıştır.

Avnik granitoidlerinin REE biçimleri, metavolkaniklerine benzer şekilde HREE kapsamı gösterir, fakat düşük LREE kapsamı ve daha büyük negatif Eu anomalileri içerirler (Şekil 14; Çizelge 7). 2REE ile K/Na oranı arasında ilişki olmayışı albitleşmenin REE biçimlerini bozmadığını önerir. Eu anomalilerinin SREE'ndeki büyük artmalar (5x) karşısında yaklaşık olarak aynı kalışı SREE'ndeki değişimlerin önemli nedeninin feldispat ayrılanması olmadığını vurgular. Bu granitik magmanın kaynak kayası, anatektik artıktaki plajioloklası alakoumuş fakat granat veya amfibolü muhafaza etmemiştir. REE ve Sr isotop verileri, bu kayaların kökensel olarak, anatektik olaylar sonucu ergiyen kabuk gerecinden oluştuğunu önerir.

Çizelge 5. Avnik bölgesindeki metavolkanik ve granitoidlerin toplam kaya analizleri, eser element içerikleri ve K/Na oranları (S6 ve S7 kesitleri).

Table 5- Whole rock analyses and trace element concentrations with K/Na ratios in metavolcanics and granitoids from Avnik region (S6 and S7 sections).

Örnek No. Sample No.	S6-2	S6-5	S6-15	S6-1	S6-3	S6-6	S6-9	S7-2	S7-3	S7-4	S7-9	S7-11
SiO ₂ (%)	75.50	68.82	71.65	61.91	56.40	55.55	57.49	57.18	60.85	60.06	67.20	52.19
TiO ₂	0.39	0.85	0.13	0.85	0.25	0.41	0.76	0.39	0.50	0.68	0.43	0.39
Al ₂ O ₃	16.60	17.64	17.15	17.98	11.19	13.49	15.77	10.60	11.55	10.96	15.85	10.97
Fe ₂ O ₃	0.27	0.58	0.39	6.13	9.54	9.38	17.08	8.89	7.01	8.78	4.08	19.20
FeO	0.43	0.57	0.22	1.26	5.46	5.68	1.87	3.74	2.23	3.09	2.08	8.84
MnO	0.05	0.11	0.02	0.13	0.12	0.06	0.06	0.04	0.07	0.14	0.04	0.02
MgO	0.30	0.49	0.29	1.15	5.78	4.20	1.28	6.88	10.38	7.72	2.96	2.71
CaO	0.19	1.93	0.92	1.84	5.67	4.90	3.04	5.05	2.59	1.36	0.29	0.98
Na ₂ O	7.24	5.51	7.48	3.70	5.31	6.01	1.68	5.12	2.24	6.01	5.83	4.49
K ₂ O	0.57	1.68	0.57	3.41	0.25	0.15	0.07	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.17	0.20	0.17	0.13	0.06	0.24	0.38	2.34	1.42	1.11	0.15	0.78
Toplam Total	98.71	98.38	98.99	98.49	100.03	100.07	99.48	100.26	98.89	99.92	98.92	100.58
Elementler (ppm) Elements in ppm :												
Rb	17	26	14	98	4	2	1	0.1	0.03	1	0.4	1
Sr	41	63	64	53	108	195	215	53	56	71	28	21
Y	25	53	38	73	25	60	130	131	185	68	28	59
Zr	313	288	211	429	249	367	378	174	172	285	394	300
Nb	14	13	15	24	4	14	13	6	5	9	9	4
Ni	1	2	2	12	46	43	33	54	43	44	17	80
K/Na	0.08	0.30	0.08	0.92	0.05	0.02	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00

Mikaşist

Mikaşistin kimyasal analizi Çizelge 2, 3 ve 4'de ve REE analizleri ise Çizelge 7'de verilmiştir.

Mikaşistler de metasomatizmadan etkilenmişlerdir. Mikaşistlerdeki Na - metasomatizması albit porfirblastlarını sonuçlamıştır. Mikaşist örneğinin REE'nin dağılım biçimi, düzenli HREE ve LREE'de zenginleşme gösterir (Şekil 15). REE biçimi, belirgin negatif Eu ve negatif Yb anomalileri ile karakterize olur. Mikaşistin REE biçimi, aynı zamanda, en yakın altlayan metavolkanik örneklerinkine de benzer (S2 -19 örneği gibi). Bu sonuç, mikaşistin ya büyük olasılıkla metavolkaniklerden gelen malzemeden oluştuğunu ve/veya metavolkaniklerle karşılıklı kirlendiğini (contamination) önerir.

TARTIŞMA

Metasomatizma

Felsik volkanik kayaların feldispatlaşması (Na- ve K-feldispatlaşmasının her ikisi) ve silisleşmesi, literatürde genişçe rapor edilmiş ve bu olay genellikle burada tanımlandığı gibi K/Na bölünmesine (dichotomy) eşlik ederler. K ve Na'un iki kısım içinde bölünmesi (dichotomy), günümüzde genel olarak metavolkanik olarak tanınan iskandinavya'nın çok yaygın Proterozoyik «leptitlerinin» belirgin

özellikleridir (Magnusson, 1970; Löfgren, 1979).

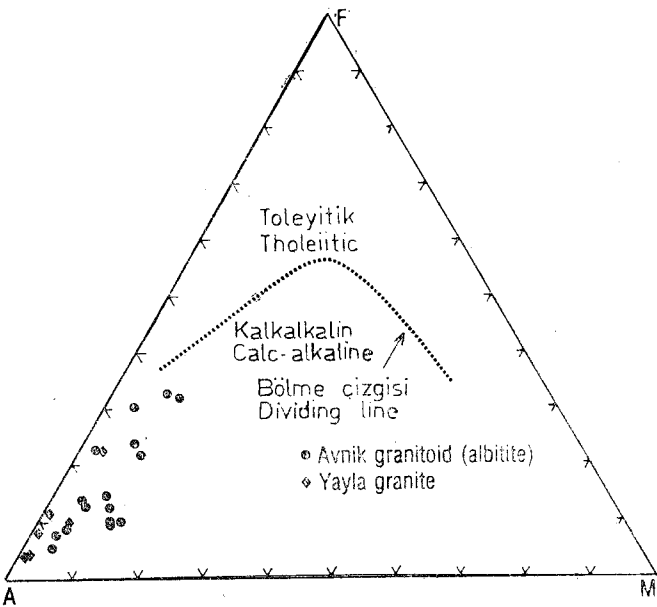
Yukarıda konu edildiği gibi, Avnik metavolkanikleri, kimyasal olarak birçok yönden, magnetit - apatit cevherleri ile birlikte bulunan İskandinavya'nın Proterozoyik leptitlerine benzerler (Şekil 12-14). Leptitler çok ileri düzeyde metamorfize oldukları için, onların kökenleri uzun seneler tartışılmıştır (Magnusson, 1970; Parak, 1975; Löfgren, 1979). Güncel çalışmalar, bu kayaları felsik volkanik kayalar olarak yorumlamıştır (Löfgren, 1979).

Batthey (1955), Yeni Zelanda volkanik kayalarının (keratofirler) K/Na'da çok fazla yersel değişmeler olduğunu tanımlamış ve bunu gömülme metamorfizması sırasında gözenek akışkanları ile alkali elementlerin yeniden dağılmasına bağlamıştır. Dickinson (1962), gözenek deniz suyu ile düşük sıcaklıktaki reaksiyonlara bağladığı vitrik riyodasit tüflerin albitleşmesini ayrıntılı incelemiştir. Munha ve diğ. (1980), spilitleşmiş çok bazik volkanik istifte, felsik volkaniklerin K - feldispatlaşmasını tanımlamıştır. Bütün bu örnekler, birçok felsik volkaniklerde gözlenen metasomatik? işlevlerin genellikle diyajenetik olduklarını önerir. Fakat bu metasomatik işlevler, kayaların henüz daha sıcak olduğu veya gömülme sırasında ve püskürmeden hemen sonra yer almışlardır. Avnik volkaniklerinde görülen etkiler literatürdeki tanımlananlara benzerdir, fakat jeoloji ve jeo-

Çizelge 6. Avnik bölgesindeki Yayla granitinin asal oksit bileşenleri, eser element içerikleri ve K/Na oranları.

Tablo 6. Major oxide compositions and trace element concentrations with K/Na ratios in Yayla granites from Avnik region.

Örnek No. Sample No.	S1-25	S1-26	S1-27	S1-28	S1-29	S1-30
SiO ₂	74.58	77.92	72.77	71.74	73.91	69.94
TiO ₂	0.08	0.07	0.20	0.12	0.07	0.34
Al ₂ O ₃	13.94	11.61	14.66	17.00	13.50	14.68
Fe ₂ O ₃	0.07	0.11	0.96	0.17	0.49	1.16
FeO	0.43	0.29	0.50	0.86	0.50	1.53
MnO	0.04	0.00	0.07	0.06	0.05	0.10
MgO	0.12	0.02	0.07	0.47	0.05	0.35
CaO	0.25	0.09	0.20	0.28	0.22	1.81
Na ₂ O	4.46	3.44	3.77	8.16	2.84	3.17
K ₂ O	5.32	5.18	6.23	0.52	7.56	5.42
P ₂ O ₅	0.08	0.01	0.16	0.17	0.20	0.16
Toplam Total	99.37	98.74	99.59	99.55	99.39	98.36
Elementler (ppm) Elements in ppm :						
Rb	117	137	191	13	190	177
Sr	36	30	22	14	56	63
Y	70	64	52	42	43	40
Zr	103	78	104	131	71	195
Nb	19	15	12	16	10	15
Ni	4	5	4	1	5	6
K/Na	1.19	1.51	1.65	0.06	2.66	1.71



Şekil 12. Avnik granitoidi ve Yayla granitinin AFM diyagramı.

Figure 12. AFM plot for Avnik granitoids and Yayla granites.

kimyanın çeşitli özellikleri daha karmaşık bir orijine gereksinme duyar.

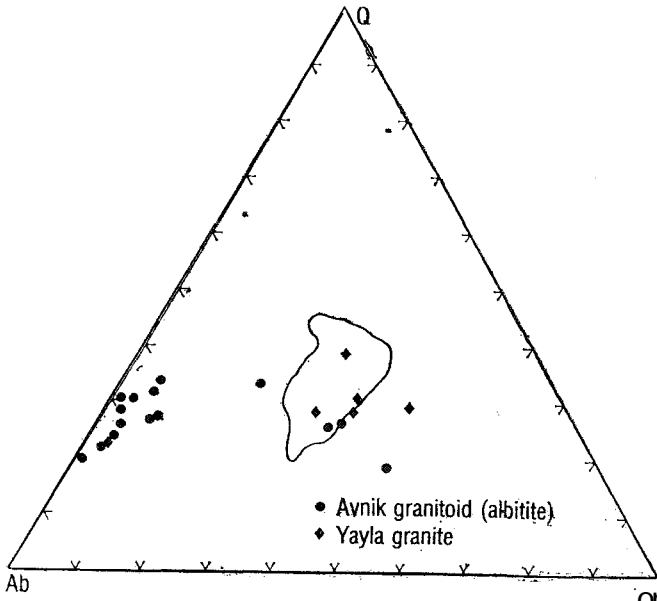
Avnik sahasındaki albitleşme sadece metavolkanikleri değil, aynı zamanda metavolkaniklerin püskürmesinden yaklaşık 100 Ma sonra yerleşen Avnik granitoidini ve uyumsuz olarak üstleyen mikaşistleri de etkiler. Bundan dolayı, feldispatlaşma ve silisleşme, volkaniklerin püskürmesine bağlantılı olan diyajenetik işlevlere bağlanamaz. Bu sonuç, S3 kesiti üzerinde bulunan 90 Ma Rb - Sr toplam - kaya yaşı ile desteklenir (Helvacı ve Griffin, 1983). Bu yaş, alkalinlerin yoğun olarak yeniden dağılımının gerçekleştiği zaman olarak yorumlanmıştır. Yakın çevredeki Cacas sahasındaki benzer, fakat çok az ayrılmış metavolkanikler Rb -Sr toplam - kaya yaşı olarak 455 Ma'yı korumuşlardır (Yılmaz ve diğer., 1981; Helvacı ve Griffin, 1983).

Granitoid ve metavolkaniklerin büyük hacimlerinin albitleşmesi, S₃ kesitinin Rb/Sr'unun yaklaşık 50 Ma'dan fazla devamlı değişimi ve bu kesitte Sr isotoplarının gözlenen homojenleşmesi için geniş mesafelerde (100 m'den daha fazla) malzeme transferine gereksinme vardır. Bu, Battey (1955) çalışmasında gözlenen alkalinlerin yersel yeniden dağılımından daha değişik bir işlemdir ve büyük hacimli Na'ca zengin sıvıların hareketini dolayısıyla anlatır.

Metavolkanikler içinde K/Na'da genel olarak üste doğru yükselme bir bakıma çok bazikten çok felsik metavolkaniklere ilksel değişimle ilgili olabilir, fakat belirgin ola-

Çizelge 7- Avnik bölgesindeki granitoid, metavolkanik ve mikaşistin REE bolluğu (ppm) ve K/Na oranları (S2 kesiti).
Table 7. REE abundances (ppm) and K/Na ratios in granitoids, metavolcanics and mica schist from Avnik region (S2 section).

Örnek/ Sample No.	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Tm	Yb	Lu	K/Na
Granitoid										
Granitoid :										
S2 - 2	24	64	22	4.91	0.68	0.77	0.63	3.01	1.20	0.69
S2 - 3	14	50	32	7.40	0.65	1.69	1.18	6.20	0.42	0.14
S2 - 4	8.6	29	17	3.00	0.25	0.44	0.23	1.69	0.30	0.04
S2 - 5	22	71	45	9.44	1.18	1.48	1.18	4.29	0.73	0.17
S3 - 1	14	40	19	5.15	0.82	0.87	0.65	3.17	0.59	0.04
S3 - 2	17	45	26	6.18	0.87	0.98	0.61	2.99	0.47	0.01
S3 - 3	33	71	30	6.98	1.01	0.85	0.58	2.93	0.92	1.46
Metavolkanik										
Metavolcanic :										
S2 - 8	40	86	47	8.47	2.10	1.19	0.75	3.56	0.49	0.05
S2 - 12	92	159	83	15.49	2.68	2.43	1.16	8.66	8.83	0.25
S2 - 13	44	95	40	7.49	1.64	1.20	0.82	4.40	0.70	0.04
S2 - 14	62	161	63	10.61	1.67	0.93	0.90	3.68	0.89	18.9
S2 - 15	101	276	93	16.43	2.88	1.82	1.08	5.39	0.78	1.37
S2 - 16	25	113	30	6.54	1.34	1.12	1.01	4.25	0.81	8.08
S2 - 17	43	93	42	7.80	1.54	1.24	0.92	4.86	0.63	1.41
S2 - 18	34	82	34	7.67	1.68	1.28	1.00	4.90	0.81	2.20
S2 - 19	23	52	25	5.03	1.22	0.78	0.50	2.52	0.77	1.28
Mika şist										
Mica schist :										
S2 - 20	28	55	29	5.58	1.03	0.69	0.49	2.37	0.73	1.81



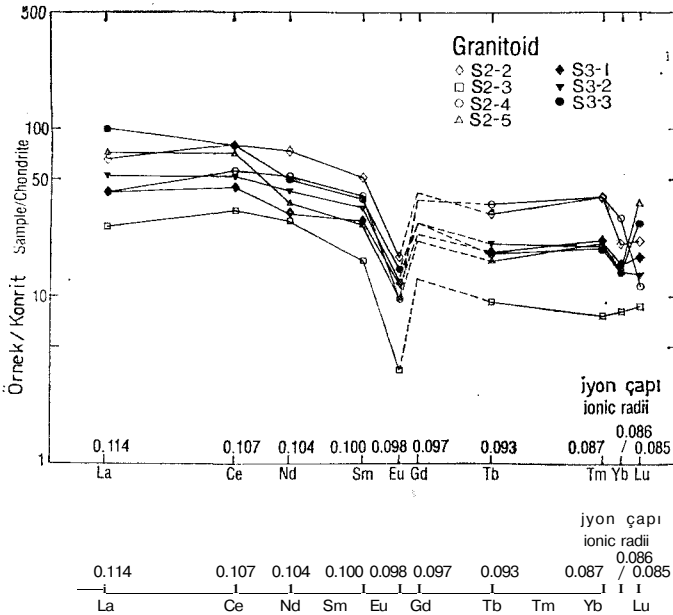
Şekil 13. Avnik granitoidi ve Yayla granitinin Q - Or - Ab diyagramı. Kontur granitik kayaların analizlerinin maksimum konsantrasyonunu gösterir (Tuttle ve Bowen, 1958).

Figure 13. Q - Or - Ab plot for Avnik granitoids and Yayla

granites- Contour show maximum concentration of analyses of granitic rocks (Tuttle and Bowen, 1958).

rak bu kayaların hiçbirisi ilksel bileşimlerini korumamışlardır. K/Na'da büyük yersel değişimler (özellikle S2 ve S4 kesitlerinde), ve mikaşistin albitleşmesi, Munha ve diğ., (1980)'nın önerdiği gibi K/Na değişimi sıcaklık (T) gradiyentindeki metasomatizmaya bağlı olmadığını gösterir.

Böylece, Avnik kayalarının feldispatlaşması ve silisleşmesi (silisification) Eoalpin orojenik olayları ile bağlantılı metamorfik bir olaydır. Volkaniklerin kıvrımından sonra bu kayalar, Üst birime ait mikaşist ve mermerlerin ilksel kayaları olan şeyl ve kireçtaşının kalın bir istifinin depolanması için deniz tabanını oluşturmuşlardır. Bu zaman sırasında, volkanikler ve granitoidlerdeki bütün mümkün çatlaklar ve gözeneklerin deniz suyu ile dolduğunu varsaymak uygun bir görüştür. Bütün bu kayaların ve özellikle felsik volkaniklerin, gömülme ve Eoalpin metamorfizmasının erken safhaları sırasında, ısınmış deniz suyu ile reaksiyona girmesi beklenir-REE biçimlerinin açık korunması ve Sr kapsamlarında nisbeten küçük değişmelerin olması, bu elementler için kristal/sıvı bölme katsayılarının (crystal/fluid partition coefficients) büyük olduğu başlıca düşük sıcaklıkta (at low T) oluşan metasomatizmayı önerir. Me-



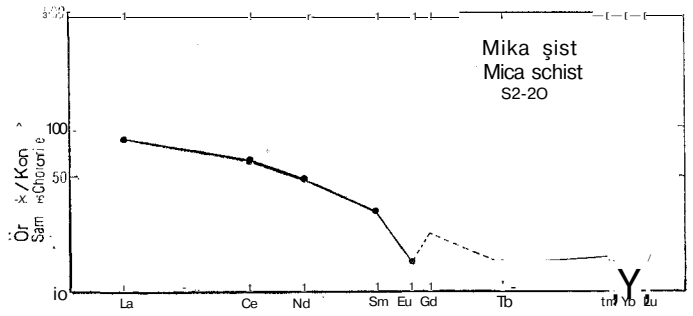
Şekil 14. Avnik granitoidinin REE biçimleri.

Figure 14. REE patterns for Avnik granitoid.

tasomatik işlevler, kayaların metamorfik sıkışması sırasında fazla sıvıların atılmasıyla sona erer-

Yayla graniti, yukarıdaki olayların etkisinde kalmasına karşın yalnızca yersel olarak albitleşmiştir. Bu, yayla granitinin gömülme öncesi deformasyonunun düşük derecede olduğunu yansıtır. Ayrıca bu kayalar son derece masif olduğundan deniz suyunun büyük miktarı yalnızca yersel olarak büyük kırıklar boyunca var olabilir.

Avnik granitoidi, metavolkaniklerin alt kesiminin ve mikaşistlerin albitleşmesi büyük miktardaki potasyumu açığa çıkaracaktır. Böylece, metavolkaniklerin üst bölümlerinin K - feldispatlaşması için K varlığında sorun olmayacaktır. Asıl sorun, bazı kayalarda K - feldispatlaşması olurken diğerlerinin niçin albitleştiğinin açıklanmasıdır. Neden K/Na'un kendi aralarında ikiye bölünmeleri meydana gelmiştir? Kanıtlanması zor olan iki olasılıklı açıklama önerilebilir. (1) K'ca zengin düzeyler, albitleşmeye uğrayan kesimlerden atılan K'ca zengin sıvılara kanal görevi yapan yüksek geçirimli zonları temsil edebilir. Bunu, S3 kesitinde gözlenen genel K/Na yönelimi (gradient) ile bağdaştırmak zordur, fakat S2 ve S4 kesitlerindeki büyük yersel K/Na değişmelerini açıklayabilir. Bu da K - feldispatlaşma en azından yersel olarak albitleşme ile engellendiğini gösteren petrografik veriler ile uygundur. (2) K/Na oranları, kristallenme derecesindeki ilksel değişmeler ile ilişkili olabilir. Osborne (1925), volkanik camlarda (pitchstones) K zenginleşmesi ve birlikte bulunan kristalin kayalarda Na zenginleşmesi olduğu kaydeder. Battey (1955), tek bir riyolit akıntısı içindeki K/Na değişmelerini, büyük olasılıkla K'un tercihen volkanik camı ornatması nedeni ile cam kapsamındaki yersel değişmelere bağlamıştır. Avnik volkaniklerinin felsik üyeleri, arta kalan (relict) sferulitik dokuları ve ilksel camı yapının diğer izlerini korur. Bu camın büyük bir kesiminin, gerçekten önceki kıvrımlanma ve kontak metamorfizma etkisinden kurtulduğu olası görünmez. Ancak, hamur malzemesinin büyük bir bölümü şimdi dahi çok ince tanelidir ve metamorfik/metasomatik olay sırasında K-feldispat tarafından öncelikle ornatılabilecek kadar duyarlı olabilir. Eğer olay bu ise, gözlenen K/Na oranları, çoğunlukla felsik volkanikler daha çok camı olmaya eğimli olduklarından, bu genel olarak, kaya bileşimindeki ilk-



Şekil 15. Avnik mikaşistinin REE biçimi.

Figure 15. REE pattern for Avnik mica schist.

sel değişmelerle ilgili olacaktır. Ayrıntıda, K/Na, başlangıçtaki soğuma şartlarının ve daha sonraki metamorfizmanın etkinliklerini yansıtan kristalleşmeye bağlı olacaktır. Metavolkanikler

Yukarıda belirtildiği gibi, Avnik metavolkaniklerinin REE biçimleri ve toplam kimyaları, modern kalk-alkalin volkaniklerinkine, örneğin And veya Yeni Zelanda volkanikleri gibi (Dostal ve diğ., 1977; Challis, 1971), kıyaslanabilir. Albitleşmeden az etkilenmiş benzer metavolkanikler, Bitlis Masifinin Cacas sahasında gözlenir ve bunlar normal K/Na oranları ile kalk - alkalin karakterlidir (Yılmaz, 1981). Avnik metavolkaniklerinin ilksel bileşimlerinin kalk - alkalin olduğu ve şu anda var olan ileri düzeyde K-Na-Si oranlarının değişimleri (Şekil 10 ve 11), bu elementlerin albitleşme sırasında ortaç kayalardan yıkanmadığını (leached) ve üstelik eklendiğini önerebilir.

Metavolkanikler, ortaçtan asitik bileşimlere kadar değişim gösterirler. Bunların ayrılmamış eşdeğer bireysel örnekleri bulunmaz ve cevher düzeyleri çevresindeki saçılmış magnetit ve apatit birçok analizi kirletmiştir (contaminates). Bundan dolayı, Na ve K'un yeniden dağılımına eşlik edebilen diğer kimyasal değişmeleri belirlemek zordur. Bununla birlikte, Ca ve Mg'un Na ile birlikte değişmesi (Şekil 10 ve 11), bu elementlerin albitleşme sırasında ortaç kayalardan yıkanmadığını (leached) ve üstelik eklendiğini önerebilir.

Avnik metavolkaniklerinin REE biçimleri, birçok modern kalk -alkalin volkanik serilerine benzerdir, örneğin And'lardaki volkanikler gibi (Dostal ve diğ., 1977). Üstelik, en düşük REE'li kayaların da negatif Eu anomalileri, plajioklas ile dengeli olduğunu önerir. Bu kayalar, çok bazik ve plajioklasça çok zengin magmanın ileri düzeyde ayrılma kristalizasyonundan oluşabilir. Bunun yanısıra, anatektik artığın önemli bir kısmının plajioklas olduğu feldispatik kayaların anateksisinden de oluşmuş olabilirler. Ne yazık ki, bu kayaların Sr - isotop sistemleri son derece bozulduğundan dolayı bu seçenekler arasındaki ayrımı yapmak için kullanılamazlar (Helvacı ve Griffin, 1983)

Granitoidler

Saha ilişkilerinden ortaya çıkan asıl sorun, Avnik granitoidi ile metavolkanikler arasındaki, eğer var ise, jenetik ilişkidir. Granitoid, açık olarak volkanikleri keser, fakat bu iki kaya gurubu arasında kimyasal bileşimlerdeki genel benzerlikler aynı bir köken önerebilir. Granitoid ve metavolkanikler bu durumda, aynı magmatik olayın sırasıyla derinlik ve volkanik ürünlerini temsil edebilirler. Bu kayalardaki Rb - Sr sistemi çok değiştiğinden dolayı bu problem üzerinde şüpheli olmayan bilgi sağlamaz.

REE biçimleri asal element kimyası ile birlikte granitoid ile metavolkanikler arasında kökensel bir ilişkinin olmadığını önerir. Bu iki gurubun daha çok olgunlaşmış olanı granitoidlerdir, örneğin (Na + K)/Fe yönünden. Fakat bunların REE biçimleri daha az farklılaşmışlardır. Böylece, farklılaşma yolu ile metavolkanikleri granitoidlerden veya ayırılma kristalleşmesi ile granitoidleri metavolkaniklerden üretmeyi düşünmek çok zordur.

Avnik granitoidinin Sr izotop verileri isokron (isochron) ve ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranını belirlemezler. Bununla birlikte, Paleozoyik - Mezozoyik sokulum yaşı varsayımı üzerine bireysel örneklerin ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 'ları yaklaşık 0.708 ile 0.718 arasında değişir. Bu veri, Avnik granitoidi için REE biçimlerinden sonuçlanan kabuksal anatektik köken ile uygundur. Bununla beraber, albitleşme sırasında ^{87}Sr 'un girişi ihmal edilemez. Albitleşmemiş Yayla granitinin Rb -Sr verileri, köken için daha yaşlı kıtasal kabuğun anateksisiyle de uygun olan 0.7217 ± 8 ilksel $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranını verir.

KATKI BELİRTME

Yazar, görüş ve tartışmaları için Oslo Üniversitesi'nden William L. Griffin ve Dokuz Eylül Üniversitesi'nden O. Özcan Dora'ya teşekkür eder. Ayrıca, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan F. Nurdan Helvacı'ya ve çizim işlerinde yardımcı olan Magnus Ranheim'e teşekkürlerini sunar. Saha çalışmaları Dokuz Eylül Üniversitesi, MTA Enstitüsü Merkez ve Diyarbakır Bölge Müdürlüğü tarafından desteklenmiştir. Jeokimyasal çalışmalar, Norveç Krallık Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Kurumu'ndan (NTNF) sağlanan araştırma bursu ve Norveç Mineraloji - Jeoloji Müzesinin olanaklarını kullanarak gerçekleştirilmiştir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Altınlı, İ.E., 1966, Geology of eastern and south-eastern

Anatolia, Part II : Turkey Mineral Research and Explor. Inst. Bull., 67, 1 - 22.

Aykulu, A., Evans, A.M., 1974, Structures in the Iranides of south - eastern Turkey : Geol. Rundschau, 63, 292 -305.

Batthey, H.M., 1955, Alkali metasomatism and the petrology of some keratophyres : Geol. Mag., 92, 104 -126.

Boray, A., 1975, The structure and metamorphism of the Bitlis area : Bull. Geol. Soc. Turkey, 18, 81 - 84.

Challis, G. A., 1971, Chemical analyses of New Zealand and mineral with C-IP.W- norms and petrographic descriptions : New Zealand Geol. Surv- Bull., 84, 12 - 108.

Dickinson, W.R., 1962, Metasomatic quartz keratophyre in Central Oregon : Amer. Jour. Sci. 260, 249-266.

Dostal, J., Zeutilli, M., Caelles, J.C., Clark, A.H., 1977, Geochemistry and origin of volcanic rocks of the Andes (26°-28°S) : Contrib. Mineral. Petrol., 63, 113-128.

Erdoğan, B., 1982, Bitlis Masifi'nin Avnik (Bingöl) yöresinde jeolojisi ve yapısal özellikleri : Ege Univ., Yer-bilimleri Fak., İzmir, Yayınlanmamış doçentlik tezi, 106 s.

Erdoğan, B., Helvacı, C., Dora, O.Ö., 1981, Avnik, Bingöl yöresi apatitli demir yataklarının jeolojisi ve oluşumu, Kesin rapor : Yer Bilimleri Fakültesi, Ege Üniv., İzmir, 121 s.

Genç, S., 1977, Geological evaluation of the southern margin

of the Bitlis Massif, Lice - Kulp District, SE Turkey : Unpublished Ph. D. Thesis, Univ. College of Wales, Aberystwyth, 281 s.

Gordon, G.E., Randle, K., Goles, G.G., Corliss, J.B., Beeson, M.H., Oxley, S.S., 1968, Instrumental activation analysis of standard rocks with high - resolution gamma - ray detectors : Geochim. Cosmochim. Acta, 32, 369 - 396.

Göncüoğlu, M.C., Turhan, N., 1983, New results on the age of Bitlis metamorphics : Turkey Mineral Research and Explor. Inst. Bull., 95 - 96, 1 - 5.

Hall, R., 1976, Ophiolite emplacement and the evolution of the Taurus suture zone, southeastern Turkey : Geol. Soc. Amer. Bull., 87, 1078 -1088.

Hall, R., Mason, R., 1972, A tectonic melange from the Eastern Taurus Mountains, Turkey : Geol. Soc. London Jour., 128, 395 - 398.

Helvacı, C., Griffin, W.L. 1983, Rb - sr geochronology of the Bitlis Massif, Avnik (Bingöl) area, S.E. Turkey : Special Publication Geol. Soc. Lond., No. 13, 2

Ketin, İ., 1966, Tectonic units of Turkey : Turkey Mineral Research and Explor. Inst Bull., 66, 23-34.

Krogh, E.J., 1975, Petrografi og petrologi av höymetamorfte bandete jernmalmer i Lofoten - Vesteralen : Unpublished Cand. Real. Thesis, Univ. of Oslo, 166 s.

Löftgren, C., 1979, Do represent Precambrian island are rocks? : Lithos, 12, 159 -165.

Lundberg, B., Smellie, J.A.T., 1979, Painirova and mertainen iron ores : Two deposits of the Kiruna iron ore type in Northern Sweden : Econ. Geol., 74, 1131 -1152.

Magnusson N.H., 1970, The origin of the iron ores in Central Sweden and the history of their alterations,

Munha, J., Fyfe, W.S., Kerrich, R., 1980, Adularia, the characteristic mineral of felsic spilites : Contrib. Mineral. Petrol., 75, 15 - 20.

Osborne, G.D., 1925, Geology and petrography of the Clarence town - Paterson district, part IV., Petrography : Proc. Linn. Soc. NSW, 112 -138.

Parak, T., 1975, The origin of the Kiruna iron ores : Sveriges Geol. Unders., C 709, 209 s.

Tolun, N., 1953, Contributions a l'étude géologique des environs du sud et sud - ouest du Lac de Van : Turkey Mineral Research and Explor. Inst. Bull., 44/45, 77 - 112.

Tuttle, O.F., Bowen, N.L., 1958, Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi³O₈-SiO₂-H₂O : Geol. Soc. Amer. Mem., 74, 153 s.

Yılmaz, O., 1971, Etude pétrographique et géochronologique de la région de Cacas : Published Ph. D. Thesis, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, France, 230 s-

Yılmaz, O., 1975, Cacas bölgesi (Bitlis Masifi) kayaçlarının petrografik ve stratigrafik incelemesi : Türkiye Jeoloji Kur. Bül., 18, 33 - 40.

Yılmaz, O., Michel, R., Vialette, Y., Bonhomme, M.G., 1981, Réinterprétation des données isotopiques Rb - Sr obtenues sur les métamorphites de la partie Méridionale du massif de Bitlis (Turquie) : Sci. Géol. Bull. Strasbourg, 34, 59 - 73.

Yazının geliş tarihi : Kasım 1983

Yayıma verildiği tarih : Ocak 1984