

Yitim zonlarında volkaniklik : Ege yöresi ^{(1) (11)}

G.G. PE ve D.J.W. PIPER

Çeviren Tahir ÖNGÜR

GİRİŞ

Son yıllarda levha tektoniği kuramı ada yaylarındaki volkanikliğin kökeni üstüne bilgilerimize köklü katkılar getirmiştir (Morgan, 1968; Isacks ve diğ., 1968). Bu yazı Ege yöresinin volkanikliğini yeni kavramlarla incelemek ve gelecekte gerekecek çalışma alanlarını özetlemektedir.

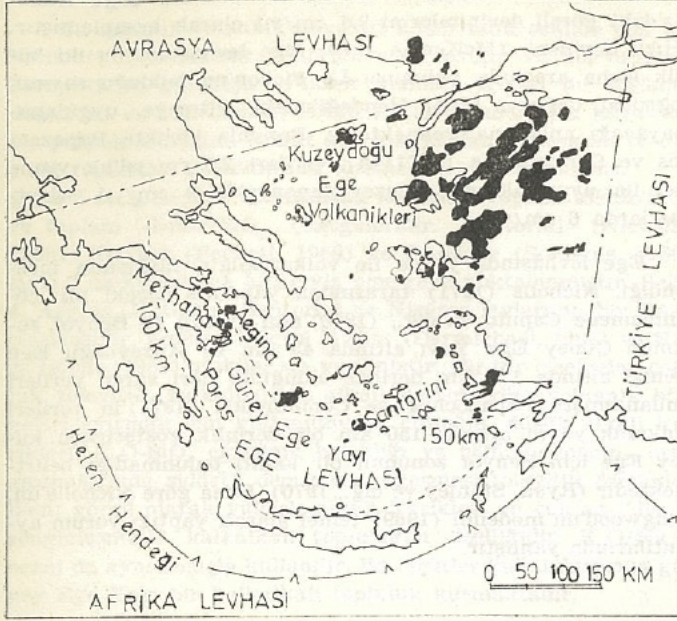
Levha tektoniği kuramı yeryuvarının yüzeyinin, belki manto konveksiyonunun bir sonucu olarak birbirine göre devinen, çok sayıda berk taşıyıcı levhalarına bölündüğünü varsaymaktadır. Devinen bu levhaların kenarları yoğun depremlerle noktalanırken levhanın içindeki alanlarda deprem olmamaktadır. Taşıyıcı levhaları, alt sınırı düşük sismik hız zonu ile belirlenen, 100 km denli kalınlıktadırlar. Böylece Mohorovičić Süreksizliğinin üzerinde kalan kabuk (kıtalarda 30 km, okyanuslarda 5 km yakınlarında) taşıyıcı levhala-

rının yalnızca üst bölümünü oluşturmaktadır. Kıta kenarlarının levha kenarları olmaları zorunlu değildir; örneğin Avrasya Levhası Atlantik Ortası Sırttan batı Avrupa'yı aşarak Asya'ya uzanır.

Levhaların birbirlerinden uzaklaştıkları yerde boşluk magma ile doldurulur ve okyanus ortası sirtlarda olduğu gibi yeni deniz tabanı doğar. Örneğin, Kızıl Deniz Afrika ve Arap levhalarının birbirlerinden ayrılışlarının çok erken bir aşamasını temsil etmektedir. Okyanuslardaki çizgisel magnetik anomali izleri bu deniz tabanı yayılmasının yaşbilgisi kaydını verir. Düzenli zaman aralıklarıyla görülen yerin magnetik alanındaki kutupsal tersinmeler, yeni deniz tabanının normal ve ters magnetikleşmiş ardışıklı bantlarından bileşik düzenli bir iz oluşturur.

(1) Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. IX, No. 2, 1972, Atina.

(11) Türkçeleştiren Tahir ÖNGÜR.



Sekil 1: Ege volkanik yayı. Volkanik kayaların dağılımı Paraskevopoulos (1956) ve Nicholls (1971) tan alınmıştır. Yaklaşık levha kenarları Mc Kenzie (1970)'nindir. Benyof zonunun derinliği Papazachos ve Comminakis (1971)'den alınmıştır.

Levhaların birbirlerine yaklaştıkları yerde yitme olarak bilinen bir süreçle levhanın biri öbürüne bindirir. Volkanik ada yayları ve onlara eşlik eden denizden yana hendekler böylesi yitme zonlarını gösterir. Yiten levhalar ada yayları altında yayılan derin deprem zonlarının gösterdiği gibi, manto içine 700 km derinlere değin uzanabilir. Yüzeylelerinde kıtasal kabuk olan iki levha karşılaştıklarında bu kabuğun yitmeyecek denli hafif olduğu görülür; onun yerine çarpışma ve kıvrılma görülür ve iki levhanın görece devinimi durur. Hint ve Asya'nın çarpışmasıyla oluşan Himalayalar böyle bir örnektir.

ADA YAYLARININ VOLKANİKLİĞİ

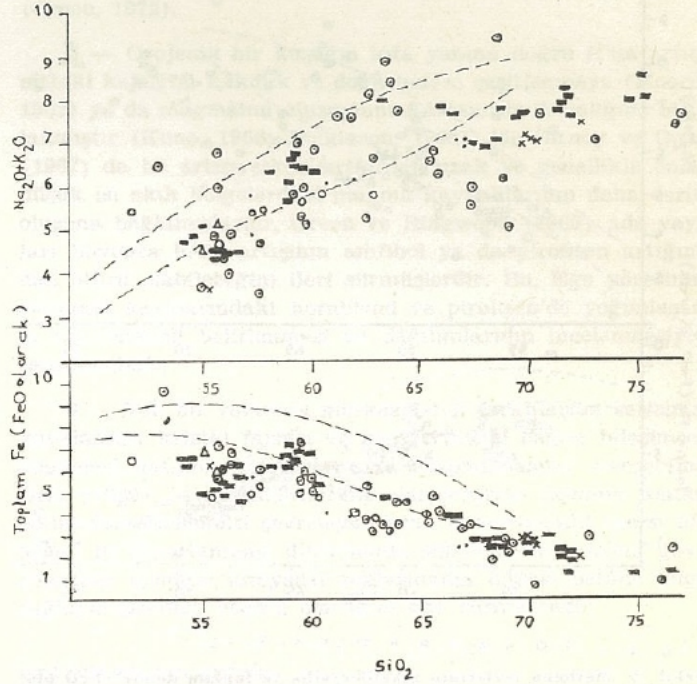
Ada yayları volkanikliğin bir taşıyıcı levhasının mantonun derinliklerine yitmesi ile ilgili olduğuna inanılmaktadır. Dalan levha eğik bir sismik yüzeyle - Benyof Zonu ile belirlenir. Sismik etkinliğin dalan levhanın parçalanması ve magma oluşumunu belirlediğine inanılmaktadır.

Yitmenin başladığı noktayı gösteren hendek, ilk volkanik ve plutonik kayalardan çokluk 100-200 km genişlikte bir "yay-hendek aralığı" (Dickinson, 1971) ile ayrılır. Yükselmis eski yitme zonları genellikle ofiyolitik bloklar ve mafizist başkalaşımı ile belirlenir.

Kuno (1959) yüzeydeki volkanların bileşimi ile Benyof zonunun derinliği arasında bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Benyof zonunun derinliği artarken magma daha alkali olmaktadır. Özellikle K_2O/SiO_2 oranı Benyof zonunun artan derinliğiyle belirgin şekilde artar. Öteki yönelimler K_2O/Na_2O ve Al_2O_3/SiO_2 oranlarında hendekten uzaklaştıkça artmayı kapsar (Kuno, 1960; 1966; Kushiro ve Kuno, 1963; Dickinson ve Hatherton, 1967; Dickinson, 1968; Hatherton ve Dickinson, 1969; Miyashiro, 1972).

Yitme zonu boyunca magmanın bileşimindeki bu çeşitlenme birkaç yolla açıklanabilir. Örneğin, Miyashiro (1972) volkanik kaya türlerinin çeşitlenmesi ile yitme hızı arasında bir bağlantı olduğunu göstermişti. Isacks ve diğ., (1968) yitme hızı ile Benyof zonunun en büyük derinliğinin doğru orantılı ve Luyendyk (1970) yitme hızıyla Benyof zonu eğim açısının ters orantılı olduğunu gösterdiğinden beri sözü edilen ilişkinin nedeni belirsizdir. Bununla birlikte hendek yakınında toleyitik bazaltlardan, kalkalkali kayalara ve sonunda alkali ya da şoşonitik kayalara bir genel dönüşüm vardır. Şoşonitler okyanus kabuğu ya da yeni orojenik alanlarda bulunurken alkali kayalar kıtasal kabuğa özgü görünmektedir (Joplin, 1968; Dickinson ve diğ., 1968). Düşük yitme hızlı alanlarda toleyitler bulunmamaktadır. Alkali kayalar da yüksek yitme hızlı alanlarda pek bulunmamaktadırlar. Kalkali kayalar yitme zonlarındaki ada yaylarında egemendirler.

Deneyisel veriler, magma türlerinde görülen çeşitlenmeleri açıklamak için çeşitli yollarda kullanılmaktadır. Örneğin, Ringwood (1969) magma türlerinin dalan üst manto taşıyıcısının, sonradan bir derinlik aralığı boyunca erimeyen artıktan sıvı magmanın ayrışması ve yeryüzüne yükselirken uğradığı ara ve düşük basınç bölümlenme süreçleri ile izlenen, kısmi ergimesinden türediklerini düşünmektedir. Kısmi ergime ve bölümlenme, birincil magmaların doğası ve yiten okyanus kabuğunun rolünün görece önemleri tartışmalıdır.



Sekil 2: Akalliler/silis ve toplam demir (FeO olarak)/silis çizelgeleri (Aegina lavları).

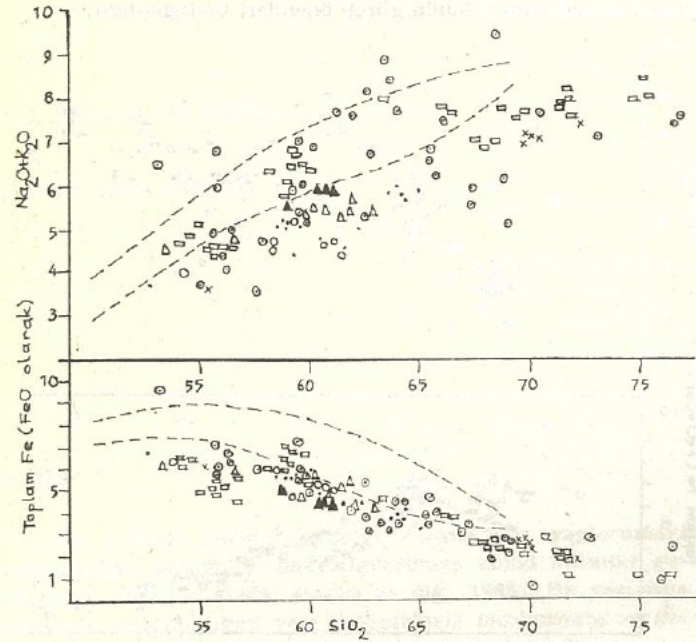
1. Agia Marina istifi lavları
2. Kakoperato istifi lavları
3. Oros istifi lavları
4. Nisyros lavları
5. Rhodope Bloğu lavları
6. Santorini Lumaravi-Archangelo istifi lavları (Nicholls, 1968'den alınmıştır)
7. Asıl Santorini ve Akrotiri-Thira istifi alanı (Nicholls 1968'den alınmıştır)

EGE YAYININ TEKTONİK DÜZENİ

Akdeniz bölgesinin jeoloji tarihi iki büyük taşıyıcı levhasının devinimiyle denetlenmiştir: Afrika ve Avrasya (Smith, 1971). Doğu Akdeniz'de, deprem odakları Afrika ve Avrasya levhaları arasında iki küçük levhanın varlığını göstermektedir - Ege ve Türkiye levhaları (McKenzie, 1970, Şekil 1). Ege ve Avrasya levhaları arasındaki sınır bir dönüşüm fayıdır. Afrika levhası Ege levhası altına yitmektedir, Girit güneyindeki Helen Hendeği iki levhanın yüzey dokanlarını belirlemektedir.

Ege'de iki ana volkan topluluğu vardır (Nicholls, 1971) Ege levhasının kuzeydoğu köşesindeki ve Güney Ege Yayında, Ege levhasının güney kenarının 150-250 km kuzeyinde (Paraskevopoulos, 1951).

Birçok yazar Ege levhası altına eğik, bir sismik Benyof zonunun varlığını göstermiştir (Papazachos ve Comminakis, 1971). Benyof zonunun 30° eğimle hendekten 250 km uzağa 180 km derine uzandığı ileri sürülmektedir. Sismik kanıtlar yiten Afrika taşıyıcı levhasının 90 km denli kalın olduğunu ve Ege Denizi altındaki taşıyıcının ince olduğunu göstermektedir.



Şekil 3 Methana lavalarının alkali/silis ve toplam demir (FeO olarak)/silis çizelgeleri.

- 1 Eski istif lavları
- 2 Chelona istifi lavları
- 3 Malisa istifi lavları
- 4 Genç istif lavları
- 5 Rhodope Bloğu lavları
- 6 Nisyros lavları
- 7 Santorini Lumaravi-Archangelo istifi lavları (Nicholls 1968'den)
- 8 Asıl Santorini ve Akrotiri-Thira istifi alanı (Nicholls, 1968'den)

Le Pichon Avrasya ve Afrika levhalarının doğu Akdeniz'deki görece devinimlerini 2.5 cm/yıl olarak hesaplamıştır. "Hızlı devinen" (McKenzie 1970) Ege levhasının bu iki büyük levha arasında bulunuşu Le Pichon'un bulduğu sayının doğrudan doğruya Helen Hendeği'ndeki yitmeye uygulanamayacağı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte Papazachos ve Comminakis (1971)'in verileri 2.5 cm/yıl'lık yitme hızı ile uyumaktadır (Kuzey Japonya'da 9 cm/yıl, Aleyt-yan'larda 6 cm/yıl).

Ege levhasında yitme ile volkanikliğin ilişkisinin incelendiği, Nicholls (1971) tarafından yapılmış önceki bir çözümlemede Caputo ve diğ., (1970)'nun eksikli ve Benyof zonu'nun Güney Ege Yayı altında 45 km ve Kuzeydoğu Ege Denizi altında 170 km derinde olduğunu ileri süren verileri kullanılmıştı. Papazochos ve Comminakis (1971)'in verileri volkanik yayın altında 150 km bir derinlik gösterirken kuzey Ege için Benyof zonu'nun bir kanıtı bulunmadığı belirtilmektedir (Ryan, Stanley ve diğ., 1970). Buna göre Nicholls'un, Ringwood'un modelini (1969) temel alarak yaptığı yorum ayrıntılarında yanlıştır.

EGE YÖRESİNDEKİ VOLKANİK KAYALARIN PETROJENEZİ

Nicholls (1971) Ege yayında ana element yerkimyası ve tektonik düzen arasındaki ilişkinin ana özelliklerini şöyle sıralamıştır:

1 — Batı Güney Ege Yayı lavları mineraloji ve ana element kimyalarıyla Pasifik ada yayınınkileri çok andırmaktadırlar.

2 — Kuzeydoğu adalarının lavları, daha yüksek K₂O ve az CaO içermenin dışında, ana element kimyalarıyla Güney Ege Yayına benzer. Na₂O içerikleri her iki toplulukta aynıdır.

3 — K₂O nun SiO₂'e oranında güneybatıdan kuzeydoğuya gidildikçe bir artma vardır.

4 — Her iki ana lav toplulukları biyotit ve hornblend sulu minerallerinin gelişimi ile nitelenir; kuzeydoğu lavları görece olarak potasyum felspatınca plajyoklasa göre zenginleşmiştir.

5 — Heriki topluluk toplam demirin SiO₂'e benzer oranlarını sergiler ve SiO₂'in artmasıyla toplam demirin giderek artan tükenmesince nitelenir.

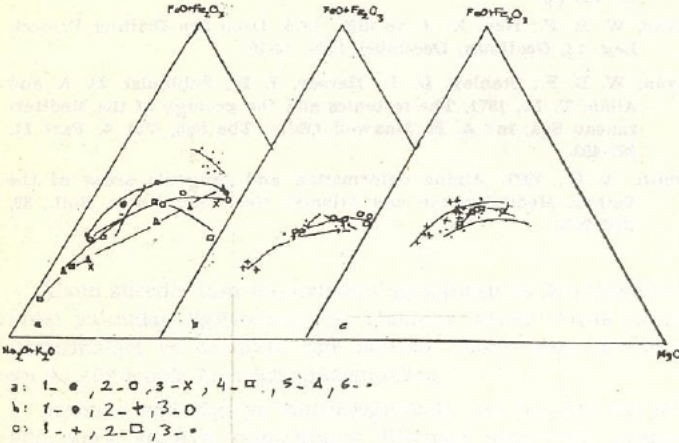
6 — Bazı kuzeydoğu Ege lavlarının toplam alkali/SiO₂ oranları Kuno (1966) tarafından alkali kayalar için tipik olarak düşünülen aralıkta ise de kimyasal ve mineralojik ilgileri, Güney Ege Yayını'ndaki gibi, kalkalkalidir.

Nicholls (1971) kuzeydoğu Ege lavları ve Güney Ege Yayını'nın çoğu lavları için andezitik bir ana magma önermektedir. Santorini'nin genç volkanitleri içinse yüksek alüminalı bazaltik bir ana magma önermektedir.

Pe (1971)'nin yeni saha çalışması ve analiz verileri ise Güney Ege Yayını'nın güneybatı kesimi (Methana yarımadası, Poros ve Aegina adaları) için yüksek alüminalı bazaltik bir ana magma göstermektedir.

Bu sahanın volkanik kayaları alışılmadık şekilde çok lav ksenoliti içermektedir. Hornblendce zengin ve bol bazaltik ksenolitlerin görülüşü (yüksek alumina içeriği de düşünüldüğünde) ve kümelenmiş ksenolitlerin bulunuşu bu kayaların bir yüksek aluminal bazalt ana magmadan yüksek su ve oksijen fugasitesi koşullarında türemesini göstermektedir.

Şekil 2 ve 3, Aegina ve Methana lavlarının toplam alkali/SiO₂ ve toplam demir/SiO₂ çizelgeleridir. Santorini (Nicholls, 1968), Nisyros (Peckett, 1969) ve Rhodope (Soldatas, 1960) lavları da kıyaslama amacıyla çizelgeye noktalanmıştır. Şekil 4, Aegina, Methana, Santorini ve Nisyros lavlarının bir FAM çizelgesidir. Kaskad bölgesi lavları (Carmichael, 1964) ve Huzi (Kuno, 1968)'ninkiler de verilmiştir. Bu tür çizelgeler çokluk toleyitik, kalkalkali ve alkali ilgilere göre volkanik bölgeleri ayırmak için kullanılmıştır. Örneğin, düşük alkali içerikleri, K₂O-SiO₂ eğrisinin basıklığı ve bölümlenmenin orta aşamalarında şiddetli demir zenginleşmesi toleyitik özellikler iken; görece olarak yüksek alkali içerikleri ve çok az "demir zenginleşmesi" kalkalkali topluluğun özelliğidir. K₂O/Na₂O oranı da aynı amaçla kullanılır. Bu ölçütler kullanıldığında güney Ege Yayı bir kalkalkali topluluk kurmaktadır.



Şekil 4: Aegina, Poros ve Methana lavları ve başka yerlerden temsil edici kaya istiflerinin FAM üçgen çizelgesi.

- a: 1 - ●, 2 - ○, 3 - x, 4 - □, 5 - ▲, 6 - ○
b: 1 - ●, 2 - +, 3 - ○
c: 1 - +, 2 - □, 3 - ○
- Şekil 4: Aegina, Poros ve Methana lavları ve başka yerlerden temsil edici kaya istiflerinin FAM üçgen çizelgesi.
- a: 1 Santorini ana istif lavları (Nichols, 1968'den)
2 Santorini Akrotiri-Thira istifi lavları (Nicholls, 1968'den)
3 Santorini Lumaravi-Archangelo istifi lavları (Nicholls, 1968'den)
4 Nisyros lavları (Peckett, 1969 analizleri)
5 Kaskad bölgesi lavları (Carmichael, 1964 ortalamaları)
6 Huzi (Kuno, 1968'den)
- b: 1 Aegina Agia Marina istifi lavları
2 Aegina Kakoperato istifi lavları
3 Poros (Lav ve ksenolitler)
- c: 1 Methana Chelona istifi lavları
2 Methana Malisa istifi lavları
3 Methana genç istif lavları (lav ve ksenolitler)

GELECEK İÇİN ÇALIŞMA ÖNERİLERİ

Ege yöresinde temel sorunlar aşağıdaki noktalarda toplanabilir:

1 — Yörenin tektonik dokusu nedir? Özellikle Ege levhasının kuzey ve doğu sınırlarının daha iyi tanımlanması gerekmektedir.

2 — Zaman içinde yörenin gelişimi nasıl olmuştur?

3 — Lavların ilgileri nelerdir; özellikle kalkalkali ilgileri olmayan lavlar var mıdır?

4 — Farklı lav türlerinin dağılımı ve yerkimyası çeşitlenmelerini hangi süreçler denetlemektedir? Yiten Afrika levhası ve Ege levhasının kuzey kenarının, kuzeydoğu volkanik merkezleri topluluğunu denetlemekdeki görece önemleri nelerdir?

Aşağıdaki özgül öneriler ileri sürülebilir:

1 — Tüm Ege levhasından en bazik kayaların analizlerinin demet analizleri farklı çeşit ana magmaların tanınmasına yardımcı olabilir.

2 — Tüm levha için iz element verileri kirlenmenin görülüp görülmediğini gösterebilir.

3 — Farklı volkanik istiflerin radyometrik yaşlanmaları ve derlenebilir denizel istifteki tüm Kuvatermerde bulunan tefra tabakalarının kıyaslanması (Ryan, Hsu ve diğ., 1970) Ege levhasında volkanikliğin tarihsel gelişimini kurmak için gereklidir. Hangi farklı merkezlerde zaman içinde kıyaslanabildiğinin bilinmesi magma bölümlenme ve devinme süreçlerinin belirlenmesi için önemlidir.

4 — Ege yöresinin volkanik kayalarından hornblenddeki K/Na'da kökendeki geçiş ve bu kayaların doğuşundan sorumlu olabilecek süreçler hakkında bazı bilgiler verebilir (Grecu, 1972).

5 — Orojenik bir kuşağın kıta yanına doğru K'un artışı alttaki kabuğun kalınlık ve doğasındaki çeşitlenmeye (Moore, 1962) ya da magmanın oluşumunun artan bir derinliğine bağlanmıştır (Kuno, 1966; Dickinson, 1968). Mc Birney ve Gass (1967) da bu artışı etkin sirtlardan uzak ve genellikle daha düşük ısı akışı bölgelerdeki magma kaynaklarının daha derin oluşuna bağlamışlardır. Green ve Ringwood (1969) ada yayları boyunca K'un artışının amfibol ya da piroksen artışıyla ilişkilendirilebileceğini ileri sürmüşlerdir. Bu, Ege yöresinin volkanik kayalarındaki hornblend ve piroksen'de yoğunlaşan iz elementlerin belirlenmesi ve dağılımlarının incelenmesiyle tartışılabilir.

6 — Tek bir volkanik merkezin tek farklılaşma serisinin kayalarının kristal fazları ve eşliklerindeki camın bileşimsel analizleri katılma katsayılarının hesaplanmasına elverişlidir. Best (1969), lav ksenolitlerinin danelerarası camının analiz edilmesinin, ksenoliti çevreleyen lavın hamurundaki camın bileşimi ile kıyaslanması durumunda subvolkanik magma gövdelerinin içindeki kimyasal zonlaşmanın doğası üstüne bilgi sağlayacağından, önemli olacağını öne sürmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELEER

- Best, M. G., 1969, Diferentiation of calcs-alkaline magmas, p. 65-76. in: A. R. McBirney, Ed., Proceedings of Andesite Conference, State of Oregon, Bull. Dept. Geol. Miner. Ind., 65, 193 pp.
- Carmichael, I. S. E., 1964, The petrology of Thingmuli, a Tertiary volcano in eastern Iceland, J. Petrology, 5, 435-460.
- Caputo, M., Panz, G. F. and Postpichl, D., 1970, Deep structure of the Mediterranean basin, J. Geophys. Res., 75, 4919-4923.
- Dickinson, W. R., 1968, Circum - Pasific andesite types, J. Geophys. Res., 73, 2261-2269.
- Dickinson, W. R., 1971, Clastic sedimentary sequences deposited in shelf, slope and trough settings between magmatic arcs and associated trenches, Pasific Geol., 3, 15-30.
- Dickinson, W. R. and Hatherton, T., 1967, Andesitic volcanism and seismicity around the Pasific, Science, 157, 801-803.

- Dickinson, W. R., Richard, M. J., Coulson, F. I., Smith, J. G. and Lawrence, R. L. 1968, Late Cenozoic shoshonitic lavas in north-western Viti Levu, Fiji, *Nature*, 219, 148.
- Green, T. H., 1972, Crystallisation of calc-alkaline andesite under controlled high pressure hydrous conditions, *Contr. Miner. Petrol.*, 34, 150-166.
- Green, T. H. and Ringwood, A. E., 1969, High pressure experimental studies on the origine of andesites, p. 21-32, in: A. R. Mc Birney, ed., *Proceedings of the Andesite Conference, State of Oregon*, Bull. Dept. Geol. Miner. Ind., 65, 193 pp.
- Hatherton, T. and Dickinson, W. R., 1969, The relationship between andesitic volcanism and seismicity in Indonesia, the Lesser Antilles and other island arcs: *J. Geophys. Res.*, 71, 5301-5310.
- Isacks, B., Oliver, J. and Sykes, L. R., 1968, Seismology and the new global tectonics, *J. Geophys. Res.*, 73, 5855-5899.
- Joplin, A., 1968, The shoshonite association: a review, *J. Geol. Austr.*, 15, 275-294.
- Kuno, H., 1959, Origine of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas, *Volcan.*, 20-22, 37-76.
- Kuno, H., 1960, High alumina basalt, *J. Petrology*, 1, 121-145.
- Kuno, H., 1966, Lateral variation of basalt magma types across continental margins and island arcs, *Bull. Volcan.* Series II, 29, 195-222.
- Kuno, H., 1968, Differentiation of basaltic magmas, in: H. H. Hess and A. Poldervaart (Ed.), *Basalts*, Vol. 2.
- Kushiro, I. and Kuno, H., 1963, Origine of primary basalt magmas and classification of basaltic rocks, *J. Petrology*, 4, 75-89.
- Le Pichon, X., 1968, Sea floor spreading and continental drift, *J. Geophys. Res.*, 73, 3661-3697.
- Luyendyk, B. P., 1970, Dips of downgoing lithospheric plates beneath island arcs, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81, 3411-3416.
- McBirney, A. R. and Gass, I. G., 1967, Relations of oceanic volcanic rocks to mid-ocean rises and heat flow; *Earth and Planetary Sci. Letters*, 2, 265-276.
- McKenzie, D. P., 1970, Plate tectonics of the Mediterranean region, *Nature*, 226, 239-243.
- Moore, J. G., 1962, K/Na ratio of Cenozoic igneous rocks of the Western United States, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 26, 101-130.
- Morgan, W. J., 1968, Rises, trenches, great faults and crustal blocks *J. Geophys. Res.*, 73, 1959-1982.
- Miyashiro, A., 1972, Metamorphism and related magmatism in plate tectonics, *Amer. J. Sci.*, 272, 629-656.
- Nicholls, I. A., 1968, Petrology and geochemistry of the Santorini lavas, Unpubl. Ph. D. thesis, Cambridge University.
- Nicholis, I. A., 1971, Santorini volcano, Greece-Tectonic and petrochemical relationships with volcanic rocks of the Aegean region, *Tectonophysics*, 11, 377-385.
- Papazachos, B. C. and Comminakis, P. E., 1971, Geophysical and tectonic features of the Aegean Arc, *J. Geophys. Res.*, 76, 8517-8533.
- Paraskevopoulos, G. M., 1957, Über den Chemismus und die provinziellen Verhältnisse der tertiären und quartären Ergussgesteine des ägäischen Raumes und der benachbarten Gebiete, *Tscherm. Mineral. Petrol. Mitt.*, ser. 3, 6, 1-72.
- Pe, G. G., 1971, The geochemistry of some Aegean Lavas, Unpubl. Ph. D. thesis, Cambridge University.
- Peckett, A., 1969, Volcanic rocks of Dodekanese, A geochemical study, Unpubl. Ph. D. thesis, Cambridge University.
- Ringwood, A. E., 1969, Composition and evolution of the upper mantle, in: *The Earths Crust and Upper Mantle*, Geophys. Monograph, 13, 735 pp.
- Ryan, W. B. F., Hsu, K. J. ve diğ., 1970, Deep Sea Drilling Project, Leg. 13, *Geotimes*, December 1970, 12-15.
- Ryan, W. B. F., Stanley, D. J., Hersey, J. B., Fahlquist, D. A. and Allan, T. D., 1971, The tectonics and the geology of the Mediterranean Sea, in: A. E. Maxwell (Ed.), *The Sea*, Vol. 4, Part II, 387-492.
- Smith, A. G., 1971, Alpine deformation and orogenic areas of the Tethys, Mediterranean and Atlantic, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 82, 2039-2070.