

upper oceanic crust: Royal Astronomical Soc. Geophys. J., 50, 149-183.

Kidd, R. G. W. ve Cann, J. B., 1974, Chilling statistics indicate an ocean-floor spreading origin for the Troodos Complex, Cyprus: Earth Planet. Sci. Lett., 24, 151-155.

Moore, J. G., 1965, Petrology of deep-sea basalt near Hawaii: Am. Jour. Sci., 267, 40-53.

Moore, J. G. ve Schilling, F. G., 1973, Vesicles, water and sulfur in Reykjanes Ridge basalts: Contributions to Mineralogy and Petrology, 41, 105-118.

Moore, J. G. ve diğ., 1973, Flow of lava into the sea, 1969-1971,

Kilauea volcano, Hawaii: Geol. Soc. America Bull., 84, 537-546.

Prestvik, T. ve Roaldset, E., 1978, Rare earth element abundances in Caledonian metavolcanics from the island of Leka, Norway: Geochemical J., 12, 89-100.

Roberts, D. ve Gale, G. H., 1978, The Caledonian - Appalachian Iapetus Ocean; Tarling, D. H., ed., Evolution of the Earth's crust: Academic Press, London, 255-342.

Robertson, A. H. F., 1975, Cyprus: Basalt - sediment relationships on a Mesozoic ocean ridge: Geol. Soc. London J., 131, 511-531.

Sleep, N. H., 1978, Thermal structure and kinematics of mid-oceanic ridge axis: Some implications to basaltic volcanism: Geophys. Research Lett., 5, 425-428.

Sturt, B. A. ve Thon, A., 1978 a, An ophiolite complex of probable early Caledonian age on Karmoy: Nature, 275, 538-539.

Sturt, B. A. ve Thon, A., 1978 b, A major early Caledonian igneous complex and a profound stratigraphic unconformity in the Lower Paleozoic sequence of Karmoy, Southwest Norway: Norsk Geologisk Tidsskrift, 58, 229-236.

# Alpin Tip Kromit Yataklarının Oluşumu

A. DOĞAN PAKTUŇ,

Department of Geology, University of Ottawa.

## GİRİŞ

Ofiyolit komplekslerin genellikle peridotit ve dunit birimleri içerisinde yer alan alpin kromit yatakları Ural dağları, Alp-Himalaya orojenik kuşağı ve Pasifik okyanusunun batı kısımları olarak özetlenebilen üç ana tektonik kuşakta yoğunlaşmaktadır. Thayer (1960) tarafından Alpin tip peridotit veya peridotit-gabro kompleksleri içerisinde masiften saçılmışı kadar değişen tiplerde, mercer şekilli kromit yoğunlaşmaları olarak tanımlanan bu yataklar Engin ve Hirst (1970) tarafından, Fanerozoik orojenik kıvrım kuşakları, allokton ofiyolitleri içerisinde bulunan podlar olarak tanımlanmıştır. Yataklar birkaç kilogramdan birkaç milyon tona kadar değişen büyüklüklerde «pod» adı verilen mercer şekilli kütlelerden oluşmaktadır. Podların büyük bir çoğunluğu 1000 ton ve daha az cevher içermektedir. Fakat podların büyüklüğü ile içlerinde buldukları peridotit masiflerinin büyüklükleri arasında hiçbir ilişki yoktur. Öyleki Yeni Zelanda Dun

Mountain dunitik masifi büyüklüğünün tam aksine çok az oranda kromit içermektedir (Thayer, 1964). En büyük alpin kromit yatağı, 15 milyon ton Al-ca zengin cevher içeren Filipin adalarındaki Coto yatağıdır. Bundan başka 1 milyon ton üzerinde cevher içeren diğer iki büyük yatak Ergani - Gölalan ve Yeni Kaledonya Tiebaghi madenidir.

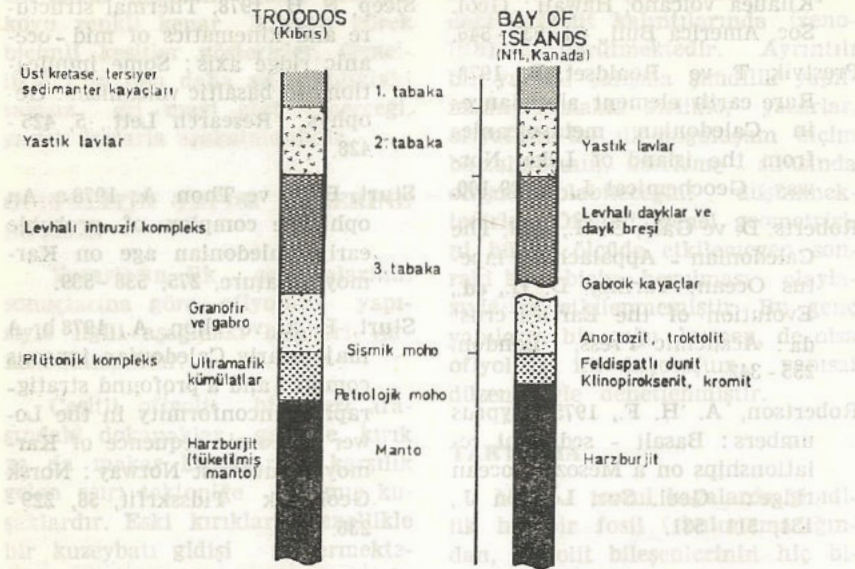
## OFİYOLİT KAVRAMI

Okyanusal kabuk ve üst mantonun parçaları olarak düşünülen ofiyolitler, mafik ve ultramafik kayaların özel bir topluluğudur. İdeal bir ofiyolit birliği en alttan başlamak üzere aşağıda verilen birimlerden oluşmaktadır.

Ultramafik kompleks: değişen oranlarda metamorfik ve tektonik dokulu harzburjit, lertzolit ve duniten oluşmaktadır.

Gabroik kompleks: genel olarak altlarındaki ultramafik kompleksden daha az deforme olmuş gabroyik bileşimli kümülatlardan oluş-

**ÖZ:** Alpin tip kromit yatakları ofiyolit komplekslerin ultramafik, özellikle dunit ve harzburjitler içerisinde bulunan, masiften saçılmışı kadar değişen tiplerde, mercer şekilli gövdelerden oluşmaktadır. Fe<sup>+2</sup>/Mg oranları çok az, Cr/Al oranları ise çok geniş bir dağılım aralığına sahiptir. Alpin tip kromitler Cr-ca zengin ve Al-ca zengin tipler olmak üzere iki ana grup altında toplanabilir. Bunlardan Al-ca zengin tipler okyanus ortası yayılma bölgelerinde, kabuk-manto sınırı civarlarında bazaltik bileşimli kısmi eriyiklerden itibaren kümülatlar olarak kristalleşmiş olmalıdır. Cr-ca zengin tipler ise üst manto kayaçlarının kısmi erimesi sırasında oluşmuş son şekillerini kısmi eriyikle olan tepkimeleri sonucunda kazanmışlardır. Kısmi erimeye uğrayan üst manto kayaçları Cr-ca zengin spinel-lertzolitler olarak düşünülmüştür. Masifler içerisinde kısa kesikliklerle bir devamlılık gösteren kromit podları üst mantonun Cr-ca zengin spinel-lertzolit bileşimli yerlerini gösteriyor olmalıdır.



Şekil 1. Troodos ve Bay of Islands ofiyolit kompleksleri ve sismik okyanussal kabuk, manto eşdeğerleri

Grass ve Smewing (1973); Williams ve Stevens (1974)'den

maktadır. Bu kompleks içerisinde yer yer peridotit ve piroksenit kümülatlarında rastlanmaktadır.

Mafik dayk kompleksi: altlarındaki gabroik kompleksle tedrici geçişler gösteren, esas olarak diyabazik bileşimli dayklardan oluşmaktadır.

Mafik volkanik kompleks: yastık lav şekilli mafik volkanik kayalardan oluşmaktadır.

Sedimanter kayalar: derin deniz birimlerinden oluşmaktadır.

Bu birimler Kıbrıs Troodos masifi ve Kanada Bay of Islands kompleksinde eksiksiz olarak görülmektedir (Şekil 1).

Ofiyolit komplekslerin büyük bir çoğunluğu ultramafik kayalardan oluşmaktadır. Beş ana ofiyolit kompleksin ortalaması % 63 ultramafik kayaç içermektedir (Coleman, 1977). Bu ultramafik kayalar Dickey (1975) tarafından dokusal olarak kümülat ve tektonitler olmak üzere iki kısma ayrılmışlardır. Kümülatlar genel olarak dunit, verlit ve piroksenitlerden oluşmaktadırlar ve yukarıda bahsedildiği gibi gabroik kümülatlarla beraber bulunmaktadır. Tektonitler ise esas olarak dunit ve harzburjitlerden, tali olarak da lerzolit ve piroksenitlerden oluşmaktadırlar. Dokusal ve kimyasal olarak çok geniş alanlarda bile önemli bir değişim gösterme-

yen bu tektonit karakterli birimler önceki yazarlarca değişik adlar altında tanımlanmışlardır: «deforme olmuş kümülatlar» (Thayer, 1960), «tüketilmiş kalıntı manto» (Ringwood, 1958, Dickey, 1975), «metamorfik peridotit» (Coleman, 1977), «tektonize olmuş peridotit» (Grass, 1977).

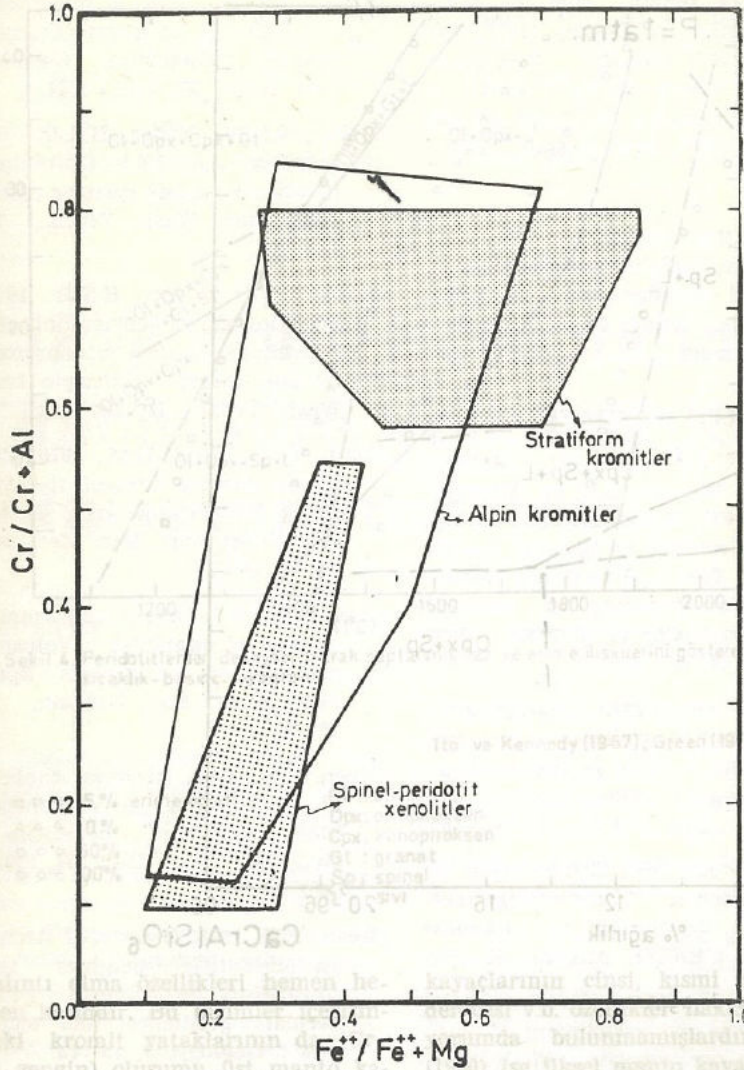
Bu birimler stratiform intrüzyonların aksine belirli bir zaman süresince oluşmuş olmayıp, aynı zaman sürecinde rezervuarın değişik yerlerinde ve değişik sıcaklık-basınç koşullarında kristalleşmişlerdir (Greenbaum, 1972). Okyanus ortası sirtları ve/veya ada yayı girişi basenlerde oluşan bu ofiyolitler okyanusal kabuğun parçaları olarak taşınmakta ve levha çarpışmaları ile kıta kabuğu üzerine yerleşmektedirler. Ofiyolitlere bağlı peridotit komplekslerin büyük bir çoğunluğunun yan kayalarla olan dokanıkları tektonik olup herhangibir tepkime zonu bulunmamaktadır. Bu nedenle Irvine (1967) ve daha önceki yazarlarca, peridotitin intrüzyon sırasında soğuk olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Bazı peridotit kompleksleri ise; Tinaquilla-Venezuela, Mount Albert - Kanada, Bay of Islands - Kanada, Lizard - İngiltere gibi, yüksek sıcaklık metamorfik kuşakları tarafından sarılır biçimde bulunmaktadır.

## KROMİT YATAKLARI

Ofiyolit kompleksleri içerisindeki kromit yatakları genel olarak kalıntı ultramafikler içerisinde, gabroyik komplekse yakın yerlerde yer almaktadır. Küba - Camaguey yöresinde, yatakların büyük bir çoğunluğu peridotit birimi içerisinde, gabro dokunağına yakın yerlerde, Kanada - Bay of Islands kompleksinde ise peridotit-gabro geçiş zonunda bulunmaktadır (Thayer; 1964). Yataklar genellikle merceksi biçimli veya düzensiz olup, oluşum sırası ve sonrası tektonik hareketler ile meydana gelmiş olmalıdır. Merceksi şekiller Dickey (1975)'e göre iraksıyan levha sınırları boyunca oluşan uzun ve dar magma ceplerini yansıtmaktadır.

Yatakların büyük bir çoğunluğu dunit tarafından bir kılıf gibi sarılmış biçimde bulunmaktadır. Bu dunitik kılıf birkaç santimetreden metrelere kadar değişen kalınlıklara sahiptir. Örneğin bu kalınlık Çatalocak - Suluocak (Fethiye) yataklarında 40 metreye kadar ulaşmaktadır. Kromit podları ile yan kayaç arasındaki düzensiz ilişkiler, favli dokanıklar, nodüler ve milonitik tipli cevherlerin varlığı, oluşum sırasında ve sonrasında stratiform yataklarda görülmeyen kuvvetli tektoniğin varlığını, başka bir deyişle dinamik bir ortamın gerekliliğini belirtmektedir.

Alpin yatakların stratiform tiplerden ayrılmasında önemli bir kıstas olan nodüler dokunan oluşumu çeşitli yazarlarca farklı yorumlanmaktadır. Borchert (1960)'a göre kromit kristallerinin eğik bir tabana (>50°) çökmesi ve yerçekimi ile magma üyesinin aşağılarına doğru yuvarlanması bu dokuyu oluşturmaktadır. Masif, benekli ve saçılmış cevherler de benzer şekilde tabanın eğim açısına ve bu eğik ortamdaki yerlerine bağlı olarak oluşmaktadır. Van der Kaaden (1964)'de bu hipoteze benzer olarak kromit kristallerinin viskoz bir silikat eriyik içinde akması ile oluştuğuna inanmaktadır. Thayer (1969)'a göre ise bu dokular çok yavaş soğuyan bir ortamda, kromit kristallerinin çok yavaş hızlarda çökmesi ile oluşmaktadır. Buna karşın Dickey (1975) ise bu oluşuk için hareketli



Şekil 2. Alpin tip kompleksler, stratiform intruzyonlar ve spinel-peridotit xenolitlerindeki kromitlerin bileşimsel olarak karşılaştırılması

bir ortamın gerekliliğini vurgulamaktadır. Buna göre bu doku türbülanslı bir magma segregasyonu zonunda, kromit kristallerinin yuvarlanma ve dönme hareketleri esnasında bir araya gelerek kümelenmeleri, hareket devam ettikçe etraflarındaki kromit kristallerini çepelerine toplayarak (kar üzerinde yuvarlanan kar topunun büyümesine benzetilerek) büyümelerinden meydana gelmiştir.

#### JEOKİMYA

Alpin tip kromitler stratiformdakilere kıyasla Mg'ca zengin olup  $Fe^{2+}/Mg$  oranları çok az değişim

Irvine ve Findlay (1972)'den göstermektedir. Bunun yanında  $Cr/Al$  oranları ise çok geniş bir dağılım aralığına sahiptir (şekil 2). Şekil 2'den de görüldüğü gibi Alpin tip kromitlere ait bölge spinel peridotit ksenolit ve stratiform tip kromitleri hemen hemen içine almaktadır. Alpin tip ile manto peridotitinin beraber aynı çizgide bulunmaları oldukça ilginç olup aralarında kökensel bir ilişkinin varlığını belirtmektedir.

Filipinler, Küba ve Oregon'daki alpin tip, Al-ca zengin kromitler, masifte gabroyik kayalara; North Carolina'dakiler ise troktolitlere bağlı olarak bulunmaktadır (Tha-

yer, 1964). Benzer şekilde Borchert (1964)'de Al zenginleşmesinin olası olarak magmatik diferansiyasyonun geç evrelerinde oluştuğunu ve en yüksek değerine ise komplekslerin üst kısımlarında yer alan neritik kayalarda ulaştığını söylemektedir.

Irvine (1967) göre Cr-ca zengin kromitler bileşimsel olarak stratiform yataklardaki ilksel kristalleşmelerle oluşmuş kümülsü kromitlere benzemektedir. Al-ca zengin olanlar ise aynı şekilde ilksel kristalleşmelerle veya kristalleşme sırası ve sonrası ortamdaki sıvılarla olan tepkimeler sonucu oluşmuş olmalıdır. Yazar buna kanıt olarak Al-ca zengin kromitlerin çoğunun olivin ve ortopiroksen kristalleri arasında (intercumulus) bulunmalarını göstermektedir. Green (1963) ise Al-spinellerin, Al-piroksenlerin rekristalizasyonu sonucunda oluşabileceklerini ileri sürmektedir.

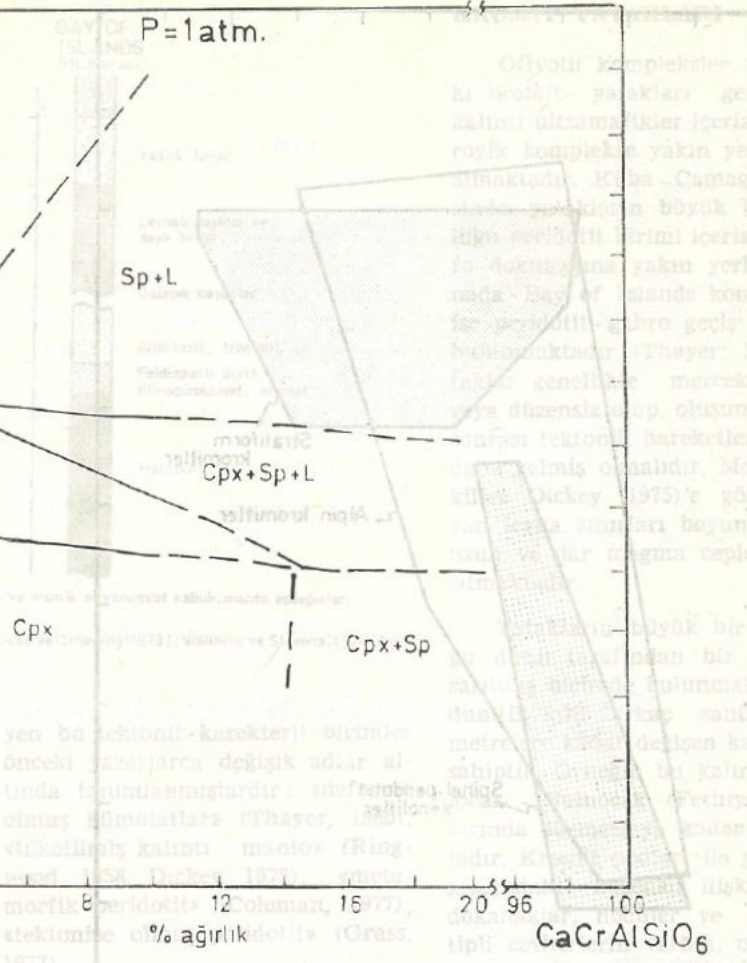
Kromitlerde görülen  $Fe^{3+}$ 'nin değişimi esas olarak oksijen kısmi basıncı (fugacity) tarafından denetlenmektedir. (Irvine, 1967). Bu nedenle, alpin ve stratiform kromitlerin  $Fe_2O_3$  miktarları alt kabuk veya üst mantoda düşük ve sabit oksidasyon koşullarının varlığını; stratiform yatakların oluştuğu üst kabuk veya yüzeye yakın ortamlarda ise değişken, genel olarak yüksek oksidasyon koşullarının varlığını göstermektedir.

#### PETROJENEZ

Kromit yatakları Thayer (1964)'e göre kabuk-manto sınırına yükselen yarı kristal lapası şeklindeki peridotitik bileşimli manto malzemesinden stratiform yataklardakine benzer biçimde, bazaltik bileşimli bir magmadan ilksel kristalleşmeler ile oluşmuştur. Fakat alpin tip masif kromit, dunit ve peridotitlerin toleitik bir magmadan itibaren oluşumu çok büyük miktarlarda magmanın varlığını gerektirmektedir. Bu nedenle Thayer (1969) bu görüşe ilksel magmanın toleitik magmadan daha mafik olduğu ve diferansiyasyon hattının stratiformlardakinden farklı olduğu görüşlerini eklemiştir. Engin ve Hirst (1970) ise Andızlık-Zımparalık yataklarındaki çalışmalarını ile şu sonu-

(1964)'de alpin tip yatakların oluştuğunu ve bunların kısmen erimesini takiben silikat ve kromitler kristalleşmiş, yarı kristal lapa halindeki bu kütle, alpin orojenezinin etkisi ile kabuk içerisinde yükselmeye başlamıştır. Bu hareket sırasında silikatlara göre bağıl olarak hareket eden kromit yoğunlaşmaları, içerisinde buldukları basınç alanının etkisine göre bir yönde sıralanmışlardır. Dickey (1975) alpin tip yatakların, Thayer (1964)'e benzer şekilde kümülatlar olarak kabuk-manto sınırı civarında kristalleştiklerini ileri sürmektedir. Fakat ortam Thayer (1964)'dekinden tamamen farklı olarak, yani stratiform yataklarda-

kinin aksine hareketli küçük magma cepleri olarak düşünülmüştür. Bu teoriye göre, kromitçe zengin kümülatlar olarak oluşan gövdeler levha hareketleri ile taşınırlarken özgül ağırlıklarından dolayı altlarındaki dunit veya peridotit birimi içerisine batarak yerleşirler. Diğer taraftan Arai (1980) Japonya Sangu - Yamaguchi ultramafik kompleksinde, kümüls kökeni belirten kimyasal ve yapısal bir belirtinin olmadığını söyleyerek, Dickey (1975) görüşüne katılmamaktadır. Yazara göre Sangu - Yamaguchi kompleksi, lertzolitik bileşimli ilksel peridotitlerin kısmi erimesinden arta kalmış, esas olarak olivin, ortopi-



Şekil 3. Diopsit-CaCrAlSiO<sub>6</sub> faz diyagramı.

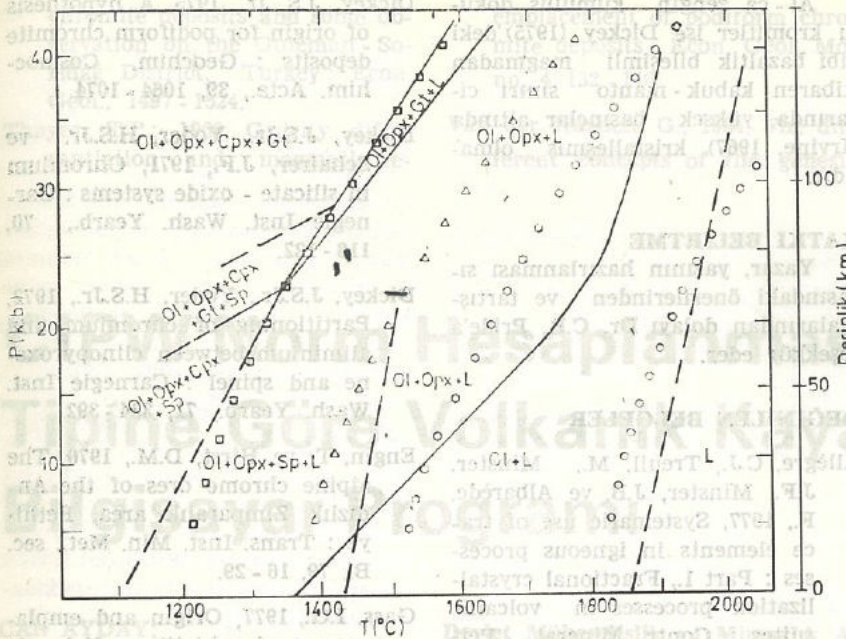
Cpx: Klinopiroksen katı çözültisi  
Sp: Spinel katı çözültisi  
L: sıvı

Dickey v d (1971)'den

roksen ve krom - spinel'den oluşan refrakter kalıntı olarak yorumlanmıştır. Çatalocak - Suluocak yataklarında da kümüls doku gözlenmemiş olup, dunit ve peridotitler tamamen masif karakterdedir. Kromit podlarını içeren dunitlerle, yanıkayaç harzburjitler arasındaki dokanaklar keskin olmayıp, derecelidir. Bunların yanında, kimyasal özellikleri de, Çatalocak - Suluocak dunit ve harzburjitlerinin üst manto kayaçlarının kısmi erimesi ile geride kalmış refrakter bir kalıntı olduğu görüşünü desteklemektedir. Daha öncede değinildiği gibi, ofiyolitlerin en alt birimlerini oluşturan dunit ve peridotitlerin tüketilmiş-

roksen ve krom - spinel'den oluşan refrakter kalıntı olarak yorumlanmıştır. Çatalocak - Suluocak yataklarında da kümüls doku gözlenmemiş olup, dunit ve peridotitler tamamen masif karakterdedir. Kromit podlarını içeren dunitlerle, yanıkayaç harzburjitler arasındaki dokanaklar keskin olmayıp, derecelidir. Bunların yanında, kimyasal özellikleri de, Çatalocak - Suluocak dunit ve harzburjitlerinin üst manto kayaçlarının kısmi erimesi ile geride kalmış refrakter bir kalıntı olduğu görüşünü desteklemektedir. Daha öncede değinildiği gibi, ofiyolitlerin en alt birimlerini oluşturan dunit ve peridotitlerin tüketilmiş-

roksen ve krom - spinel'den oluşan refrakter kalıntı olarak yorumlanmıştır. Çatalocak - Suluocak yataklarında da kümüls doku gözlenmemiş olup, dunit ve peridotitler tamamen masif karakterdedir. Kromit podlarını içeren dunitlerle, yanıkayaç harzburjitler arasındaki dokanaklar keskin olmayıp, derecelidir. Bunların yanında, kimyasal özellikleri de, Çatalocak - Suluocak dunit ve harzburjitlerinin üst manto kayaçlarının kısmi erimesi ile geride kalmış refrakter bir kalıntı olduğu görüşünü desteklemektedir. Daha öncede değinildiği gibi, ofiyolitlerin en alt birimlerini oluşturan dunit ve peridotitlerin tüketilmiş-



Şekil 4. Peridotitlerden deneysel olarak saptanmış faz ve erime ilişkilerini gösteren sıcaklık-basınç diyagramı.

Ito ve Kennedy (1967), Green (1975) 'den

- □ □ 5% erime eğrisi
- △ △ △ 10% " "
- ○ ○ 50% " "
- ○ ○ 100% " "

- Ol : olivin
- Opx : ortopiroksen
- Cpx : klinopiroksen
- Gt : granat
- Sp : spinel
- L : sıvı

kalıntı olma özellikleri hemen hemen kesindir. Bu birimler içerisindeki kromit yataklarının da (Cr-ca zengin) oluşumu üst manto kayaçlarının kısmi erimesi olayı ile ilişkili olmalıdır. Dickey (1975) hipotezi ofiyolitlerin gabroyik kompleksleri içindeki ultramafik kümülatlarla beraber bazaltik bileşimli bir magmadan itibaren Al-ca zengin kromitlerin oluşumunu belirli derecelere kadar açıklıyabilmektedir. Fakat bu görüş kalıntı dunit ve harzburgitler içindeki yatakların, özel olarak Cr-ca zengin tiplerin oluşumunu açıklıyamamaktadır. Zaten Coleman (1977) 'da kromit kristallerinin büyüklüğü ve peridotitler içerisindeki dağılımlarına dayanarak, oluşumun ilk evresinin derin manto ortamlarında olduğunu belirtmektedir. Engin ve Hirst (1970) 'de oluşum ortamını üst manto olarak vermiş ve kristalleşmenin hemen kısmi erime olayını takiben oluştuğunu belirtmişler fakat oluşan mineraller, kimyasal özellikleri, kısmi erimeye uğrayan manto

kayaçlarının cinsi, kısmi erimenin derecesi v.b. özellikler hakkında bir yorunda bulunmamışlardır. Arai (1980) ise ilksel manto kayaçlarının lertzolitik bileşimde olduğunu ve krom - spinel ile olivinlerin bu ilksel mantonun kısmi erimesinden geride kalarak yatakları oluşturduğunu ileri sürmektedir.

Burada alpin tip yatakların, Arai (1980) 'dekine benzer şekilde fakat spinel - lertzolit bileşimli manto kayaçlarının kısmi erimesi ve aşağıda belirtilen ilişkin tepkimeler sonucunda oluşmuş olabileceği önerilmektedir. Şekil. 4'de peridotitlerin değişik sıcaklık ve basınç koşulları altındaki faz ve erime ilişkileri gösterilmektedir. Bu diyagrama göre olivin, ortopiroksen, klinopiroksen ve spinel içeren manto spinel-peridotitinin, sıcaklık artışı ve basınçtaki bir düşüş ile kısmi erimesi sırasında önce klinopiroksen, daha sonra spinel eriyceklerdir (Bu ilişkiler Şekil. 3'deki faz diyagramından da takip edilebilir). Spineller % 10 - 20 erime derecesine kadar ka-

tı fazda kalabilmektedir. Düşük dereceli kısmi erime ile olivin, ortopiroksen ve spinel katı faz olarak geride kalacaktır. Klinopiroksenlerin erimesiyle sıvı faza geçen bu mineral bünyesindeki Cr<sup>+3</sup> iyonları, yüksek oktahedral kafes enerjilerinden dolayı spinellerin oktahedral boşluklarına Al ile yer değiştirerek gireceklerdir. Böylece spineller ortamdaki Cr<sup>+3</sup> iyonlarının, başka bir deyişle Cr<sup>+3</sup> içeren ilksel klinopiroksen ve granatların bağlı miktarlarına, bağlı olarak Cr-ca zenginleşeceklerdir. Burns (1975) 'e göre üst manto ortamlarında Cr iyonlarının mineraller tarafından paylaşılması şu sırayla olmaktadır: Spinel > Granat > Piroksen > Olivin. Spinelin duraylı olmadığı daha derin manto ortamlarında Cr<sup>+3</sup>, klinopiroksen ve granat minerallerinde yoğunlaşıyor olmalıdır. Tablo. 1'de verilen Cr<sup>+3</sup>'un manto mineralleri ve eriyik arasındaki paylaşım katsayısı (partition veya distribution coefficient) değerleri ve Carter (1970), Dawson ve diğerleri (1970) kimyasal analiz sonuçlarına dayanarak spinellerin duraylı olmadığı daha derin manto ortamlarında Cr<sup>+3</sup>'un klinopiroksen ve granat fazlarında yoğunlaştığı fikri çıkarılabilir. Carter (1970) New Mexico - Kilborne Hole ultramafik nodüllerindeki klinopiroksenlerin % 1 civarında Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerdiğinden, Dawson ve diğerleri (1970) ise kuzey Tanzanya Lashaine lertzolitik bileşimli ultrabazik ksenolitlerindeki klinopiroksenlerin % 3.04 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, verlitlerdeki klinopiroksenlerin % 2.33 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, verlitlerdeki klinopiroksen-% 2.33 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerdiğinden bahsetmektedir. Ayrıca Dickey ve diğerleri. (1971) oksit ve silikat sistemlerinde yaptıkları deneysel çalışmaları ile krom-diopsitlerin % 3.1'e kadar Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'u bünyelerine alabildiklerini belirtmektedir. Krom-diopsitler, ancak yüksek basınçlarda silikat eriyiklerinden doğrudan doğruya kristalleşebilmektedir. Bu nedenle üst manto ortamlarına doğru hareketlenmiş bulunan yarı kristal lapası durumundaki malzemenin itibaren, klinopiroksenlerin tekrardan kristalleşebilmesi söz konusu olmayacaktır ve ortamdaki Cr<sup>+3</sup> ya var olan ilksel spinellerin veya klinopiroksenlerin inkongruent olarak erimesi ile oluşan spinellerin (Dic-

	en düşük	ort.	en faz.
Olivin	0.20	1.00	1.80
Ortopiroksen	2.00	2.40	2.80
Klinopiroksen	10.00	14.30	18.00
Granat	2.00	7.50	13.00
Plajiyoklaz	0.01	0.03	0.04
Hornblend	6.00	9.00	12.00

**Tablo. 1. Cr<sup>+3</sup>'ün mineraller ile bazaltik eriyik arasındaki paylaşım katsayıları**

$$(K_D = \frac{Cr}{C} / \frac{Cr}{C} )$$

mineral eriyik

Allègre v.d. (1977) ve Cox v.d. (1979)'dan key ve diğerleri. 1971) bünyesine doğrudan yerleşecektir. Dickey ve Yoder (1972)'e göre spinel, klinopiroksen ve eriyikten oluşan bir ortamda basınç sabit kalmak koşuluyla, sıcaklık arttırıldığında spineller Cr - ca zenginleşmektedir. Bu olgu ileri sürülen görüşle uyumluluk sağlamaktadır.

#### SONUÇLAR

Olivin, ortopiroksen, Cr - ca zengin klinopiroksen ve spinelden oluşan spinel - lertzolit manto kayacının % 5 dolayında kısmi erimesi ile en - düşük erime dereceli fraksiyon olan klinopiroksen sıvı faza geçecektir. Böylece, eriyiğe geçen Cr<sup>+3</sup> iyonları eriyikle temastaki spineller tarafından bünyelerine alınacaklardır. Bu arada kısmi eriyik Al - ca zenginleşecektir ve bazaltik bileşimli bu sıvının ortamdan alınması ile geride refrakter olivin, ortopiroksen ve kromit kalarak, yatakları oluşturacaklardır.

Kromit yataklarının kalıntı dunit ve harzburjitletler içerisinde dağılık olarak bulunmaları, homojen olmayan bir mantonun varlığı ile açıklanabilir. Buna göre, kromit yatakları mantonun Cr - ca zengin klinopiroksen ve spinellerce zenginleşme gösterdiği kısımlarını gösteriyor olmalıdır. Bunun yanında, kromit yataklarının belirli hatlarda ve ortopiroksenit bantlarına paralel olarak dizilmesi durumu ise yine homojen olmayan fakat az çok tabakalanma gösteren bir mantonun varlığı ile açıklanabilir.

Al - ca zengin kümülüs dokulu kromitler ise Dickey (1975)'deki gibi bazaltik bileşimli magmadan itibaren kabuk - manto sınırı civarında, yüksek basınçlar altında (Irvine, 1967) kristalleşmiş olmalıdır.

#### KATKI BELİRTME

Yazar, yazının hazırlanması sırasındaki önerilerinden ve tartışmalarından dolayı Dr. C.R. Pride'a teşekkür eder.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

Allègre, C.J., Treuil, M., Minster, J.F., Minster, J.B. ve Albarède, F., 1977, Systematic use of trace elements in igneous processes : Part 1., Fractional crystallization processes in volcanic suites : Contr. Mineral. Petrol., 60, 57 - 75.

Arai, S., 1980, Dunite - harzburgite - chromitite complexes as refractory residue in the Sangun - Yamaguchi zone, Western Japan : Jour. Petrol., 21, 141 - 165.

Borchert, H., 1960, Erfahrungen an türkischen Chromerzlagestätten : Symposium on Chrome Ore, CENTO, Ankara, 92 - 108.

Borchert, H., 1964, Principles of the genesis and enrichment of chromite ore deposits : Methods of Prospection for Chromite (ed : Woodli, R), OECD, Paris, 175 - 202.

Burns, R.G., 1975, Crystal field effects in chromium and its partitioning in the mantle : Geochim. Cosmochim. Acta., 39, 857 - 864.

Carter, J.L., 1970, Mineralogy and chemistry of the earth's upper mantle based on the partial fusion - partial crystallization model : Geo. Soc. Amer. Bull., 81, 2021 - 2034.

Coleman, R.G., 1977, Ophiolites : Ancient Oceanic Lithosphere? Springer - Werlag, New York.

Dawson, J.B., Powell, D.G. ve Reid, A.M., 1970, Ultrabasic xenoliths and lava from the Lashaine volcano, Northern Tanzania : Jour. Petrol., 11, 519 - 548.

Dickey, J.S. Jr., 1975, A hypothesis of origin for podiform chromite deposits : Geochim. Cosmochim. Acta., 39, 1064 - 1074.

Dickey, J.S.Jr., Yoder, H.S.Jr. ve Schairer, J.F., 1971, Chromium in silicate - oxide systems : Carnegie Inst. Wash. Yearb., 70, 118 - 122.

Dickey, J.S.Jr., Yoder, H.S.Jr., 1972, Partitioning of chromium and aluminium between clinopyroxene and spinel : Carnegie Inst. Wash. Yearb., 71, 384 - 392.

Engin, T. ve Hirst, D.M., 1970, The alpine chrome ores of the Andızlık Zımparalık area, Fethiye : Trans. Inst. Min. Met., sec. B., 79, 16 - 29.

Gass, I.G., 1977, Origin and emplacement of ophiolites : Volcanic processes in ore genesis., Spec. Publ. Geol. Soc. London., 7, 72 - 76.

Green, D.H., 1963, Alumina content of enstatite in a Venezuelan high - temperature peridotite : Geol. Soc. Amer. Bull., 74, 1397 - 1402.

Green, P.H., 1975, Genesis of Archean peridotitic magmas and constraints on Archean geothermal gradients and tectonics : Geology, 3, 15 - 18.

Greenbaum, D., 1972, Magmatic processes at ocean ridges : evidence from the Troodos massif, Cyprus : Nature, 238, 18 - 21.

Irvine, T.N., 1967, Chromian spinel as a petrogenetic indicator Part 2 : Petrologic applications : Can. Jour. Earth Sci., 4, 71 - 103.

Ringwood, A.E., 1958, The constitution of the mantle, Part III : consequences of the olivine - spinel transition : Geochim. Cosmochim. Acta., 15, 195 - 212.

Thayer, T.P., 1960, Some critical differences between alpine type and stratiform peridotite - gabbro complexes : 21. Int. Geol. Congr., Copenhagen., Repts., part 13, 247 - 259.

Thayer, T. P., 1964, Principal features and origin of podiform

chromite deposits and some observation on the Guleman-Soridag District, Turkey: Econ. Geol., 1497 - 1524.

Thayer, T.P.; 1969, Gravity differentiation and magmatic re-

emplacement of podiform chromite deposits: Econ. Geol. Mo-  
no., 4, 132 - 146.

Van der Kaaden, G., 1964, The different concepts of the genesis

of alpine type emplaced ultra-  
basic rocks and their implica-  
tions on chromite prospections:  
Methods of Prospection for  
Chromite, (ed: Woodli, R.),  
OECD, Paris, 79 - 97.

# CIPW Norm Hesaplanması ve Magma Tipine Göre Volkanik Kaya Sınıflandırılması Bilgisayar Programı

CAN AYDAY;

Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Eskişehir.

ÖZ :

Çağımızın bilgisayar çağı ol-  
masından kaynaklanarak her uygu-  
lamalı bilim dalı gibi jeoloji bi-  
liminde bilgisayar kullanımı gün  
geçtikçe gelişmektedir. Eskiden ya-  
pılan çalışmaların daha çok gözlem-  
sel verilere dayanması matematik  
ile jeoloji arasındaki bağların za-  
yif olmasından değil, jeolojide kul-  
lanılan verilerin ve değişkenlerin  
çokluğundan kaynaklanmaktaydı.  
Bilgisayarın bu alanda kullanılma-  
sı uzun ve yorucu hesaplamaları  
basit bir seviyeye indirmiş ve jeo-  
lojik araştırmalarda daha kesin so-  
nuçlara gidilmesine yardımcı ol-  
muştur.

Bu görüşten hareketle hazırla-  
nan ve yüksek lisans tezi olarak ya-  
pılan bir çalışmada geliştirilen  
CIPW norm hesaplaması için bil-  
gisayar programı yazılmıştır. Ayrı-  
ca verilen kayanın magma tipini  
bulmaya yarayan bir sınıflama pro-  
gramında eklenmiştir.

GİRİŞ

Birçok yerbilimci tarafından  
kullanılan CIPW norm hesaplama-  
sı uzun ve yorucu bir hesaplama  
istemektedir. Bu engeli aşmak için  
yazılan CIPW norm hesaplaması  
bilgisayar programı magma tipine  
göre volkanik kaya sınıflandırması  
da yapmaktadır.

Major oksit elemanlar kulla-  
nılarak volkanik kayaların tektonik  
ortamı ve magma tipi saptanabil-  
mektedir. Bu amaçla bazı araştı-  
rmacılar, Irvine ve Baragar (1971),  
volkanik kayaları magma tipine gö-  
re sınıflandırmışlardır.

Birçok araştırmacıdan gelen is-  
tek ve ilgi üzerine hazırlanmış olan  
bu yazıda yüksek lisans tezinde (Ay-  
day, 1980) kullanılan program bu  
konuyla ilgilenen araştırmacıların  
kullanabilmeleri amacıyla veri gir-  
dileri, program ve çıktı olarak an-  
latılmaya çalışılmış, bir örnekle a-  
çıklanmıştır.

Bilgisayar programı bir ana ve  
iki yardımcı (SUBROUTINE DISAS  
ve DISCT) programından oluşmuş-  
tur. Program yazımında kullanılan  
bilgisayar dili Fortran IV'dür. In-  
terdata 8/32 ve IBM 370/60 tipi bil-  
gisayarlarda kullanılmıştır. Ufak de-  
ğişikliklerle her tip bilgisayarda  
kullanılabilir. Interdata 8/32 de har-  
canan zaman 79 adet veri için 362  
saniyedir.

CIPW NORM HESAPLANMASI

CIPW norm hesaplanmasında  
veri olarak kayaların laboratuvar  
analiz sonuçları kullanılmıştır. Bu  
standard oksit analizleri şunlardır:  
SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CaO, MgO,  
TiO<sub>2</sub>, MnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O,  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Laboratuvarında yapılan top-

lam demir analizinden Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve  
FeO daha sonra ayrı olarak he-  
saplanmıştır. Volkanik kaya sınıf-  
landırmasında (Irvine ve Baragar,  
1971);

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \% \text{TiO}_2 + 1.5$$

gibi bir ilişki olduğu ve bu ilişki-  
den bulunabileceğini belirtmeler bi-  
le daha doğru olacağı varsayılarak  
kimyasal analiz yoluyla ayrılmıştır.  
CIPW norm programında herbir  
eleman klasik norm hesaplama sı-  
rasına göre hesaplanmıştır. Bu ara-  
da kayanın AFM üçgen diyagramın-  
da bulunduğu nokta (A, F, M) ve  
renk indeksi (CI) hesaplanmıştır.

VOLKANİK KAYA  
SINIFLANDIRMASI

Volkanik kaya sınıflandırmasın-  
da Irvine ve Baragar (1971) esas  
alınmıştır. Bilgisayar programı bu  
sınıflandırmaya göre yazılmıştır.  
Bilgisayar programının akış şeması  
(Şekil 1) deki gibidir.

Şimdiye kadar birçok araştı-  
rmacılar volkanik ve intrusif kaya-  
ların türedikleri magma tipi üzeri-  
ne çok sayıda tez öne sürmüşlerdir.  
Bu sınıflandırmada kayalar alkali  
(ALK) ve Subalkali (SUB) olmak  
üzere ikiye ayrılmaktadır. Subalkali  
gruba girenler ise yine kendi içle-  
rinde kalk-alkali (CA) ve toleyitik  
(TH) olmak üzere iki alt gruba ayrı-  
lırlar.