

Kızıldağ (Hatay) ofiyolitine ait manto peridotitlerinin petrografisi, tüm-kayaç jeokimyası ve erigişik-kayaç etkileşim izleri

Whole-rock and petrological properties of mantle peridotites from Kızıldağ (Hatay) ophiolite, tracing melt-rock interaction process

Ahmet Dündar ŞEN* 

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

• Geliş tarihi / Received: 14.12.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 03.01.2024

Öz

Kızıldağ ofiyoliti (G-Türkiye) Neotetis okyanusunun güney kolunda oluşmuş okyanusal litosfer kalıntısı kayalar topluluğu olarak bilinmektedir. Ofiyolit istifi tabandan tavana doğru manto peridotitleri, ultramafik-mafik kümülatlar, izotrop gabrolar, levha dayk kompleksi ve yastık şekilli bazaltik örtü kayaları şeklindedir. Manto peridotitleri harzburjit bileşimindedir ve değişen oranlarda serpantinleşme gözlenmektedir. Manto peridotitlerinin tüm kayaç ana oksit-iz element ve Lantanit Grubu Element (LGE) içerikleri harzburjitlerin değişen derecelerde kısmi ergime kalıntısı kayalar olduğuna işaret etmektedir. Harzburjitler düşük tüm-kayaç Al ve Ca kompozisyonlarına sahiptir ve SSZ peridotitlerin tüketilmiş karakterini yansıtmaktadır. Tüketilmiş manto harzburjitleri, bazı büyük iyon yarıçaplı elementler (LILE) ve hafif lantanit grubu elementler (HLGE) bakımından zenginleşme gösterdiği tespit edilmiştir ve bu durum yitim sırasında meydana gelen erigişik manto etkileşimine işaret etmektedir. Harzburjitlerin tüm kayaç MgO içerikleri ile CaO ve Al₂O₃ içerikleri kıyaslandığında bu kayaların %20-30 arası kısmi ergime kalıntısı kayalar olduğu görülmektedir. Ayrıca kısmi ergime sırasında uyumsuz davrandığı bilinen Ti ve Yb içeriklerindeki zenginleşmeler erigişik-kayaç etkileşimine işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Ergişik-kayaç etkileşimi, Harzburjit, Kızıldağ ofiyoliti

Abstract

Kızıldağ ophiolite (G-Turkey) is known as oceanic lithosphere remnant rocks formed in the southern arm of the Neotethys ocean. The ophiolite sequence, from bottom to top, mantle peridotites, ultramafic-mafic cumulates, isotropic gabbros, sheet dyke complex and pillow-shaped basaltic cover rocks. Mantle peridotites are in harzburgite composition and varying degrees of serpentinization are observed. Whole-rock major oxide-trace element Lanthanide Group Element (LGE) contents of mantle peridotites indicate that harzburgites are residues after partially molten layers of upper mantle. Harzburgites have low whole-rock Al and Ca compositions and reflect the depleted character of SSZ peridotites. Depleted mantle harzburgites have been found to be enriched in some large ionic radius elements (LILE) and light rare earth elements (LREE), indicating the melt-mantle interaction occurring during subduction. When whole rock MgO contents and CaO and Al₂O₃ contents of harzburgites are compared, it is seen that these rocks are partial melt residue rocks of 20-30% additionally Ti and Yb contents, which are known to behave incompatibly during partial melting, indicate melt-rock interaction.

Keywords: Melt-rock interaction, harzburgite, Kızıldağ ophiolite

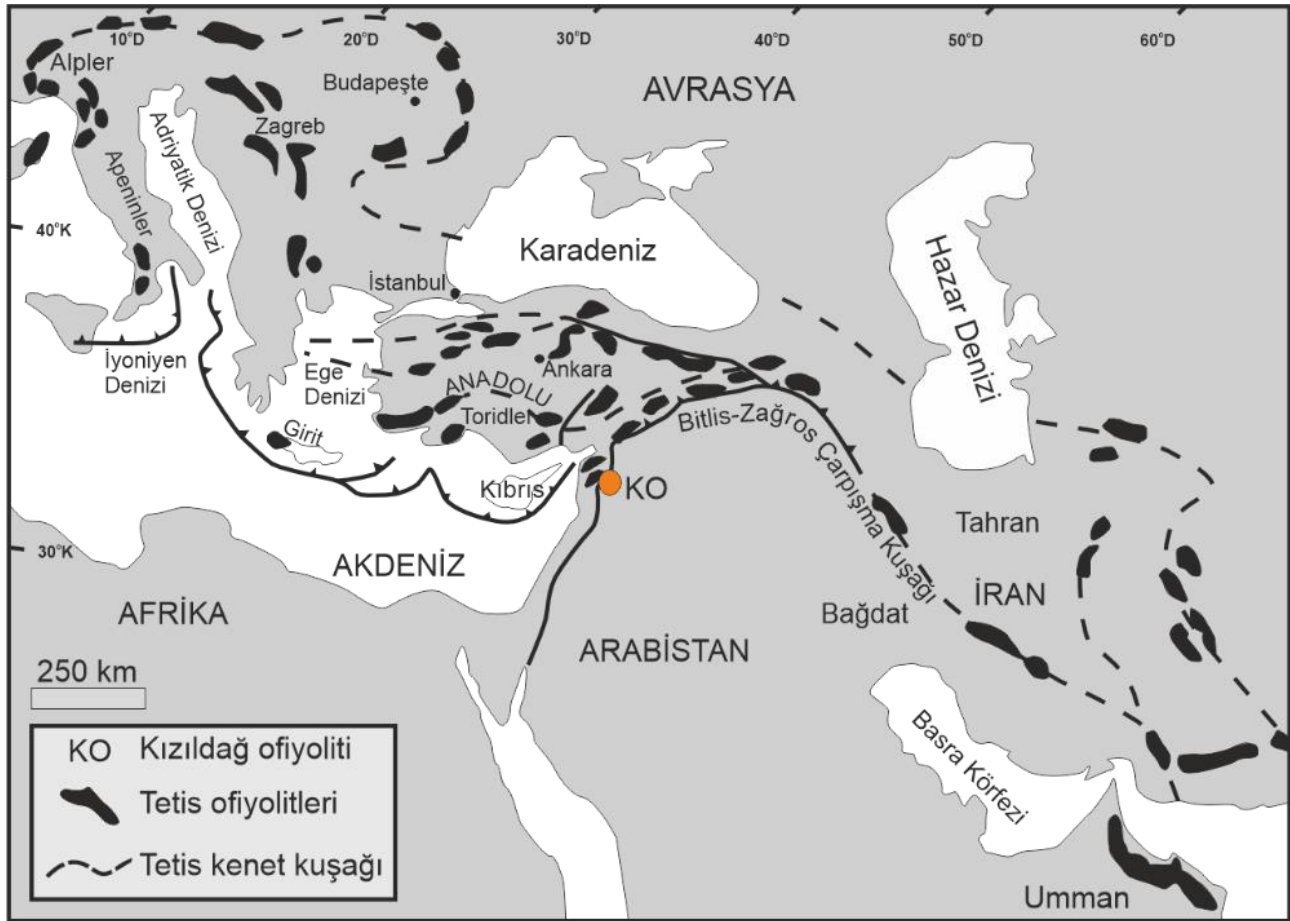
*Ahmet Dündar ŞEN; ahmetsen@gumushane.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Ofiyolitler, okyanus ortası sırtlarda veya yitim zonlarında oluşan okyanusal kabuğun, kıtasal veya okyanusal kabuk üzerine yerleşmesi ile oluşan kayaç serileri olarak bilinmektedirler (Bodinier & Godard 2003). İdeal bir ofiyolitik istif tabandan tavana doğru manto peridotitleri, ultramafik kümülatlar, tabakalı gabrolar, izotrop gabrolar, levha dayk karmaşığı, yastık bazaltlar ve sedimanter örtü kayaçları şeklinde sıralanmaktadır. Neotetis oluşumu süresince oluşan ve bu çarpışma zonu boyunca yerleşen kayaçlar olmaları sebebiyle “Neo-Tetis ofiyolitleri” olarak adlandırılırlar. Neo-Tetis ofiyolitleri Alp’lerden Himalayalara kadar uzanmaktadır ve en karakteristik özellikleri ultramafik blokların tektonik dokanak ile Arap plakasına ait karbonatlı kayaçlar üzerine yerleşmesidir (Şekil 1, 2). Kızıldağ ofiyoliti Geç Kretase döneminde okyanus içi yay sistemlerinin kıta kenarı ile çarpışması sonucu kıtasal kabuk üzerine yerleşen okyanusal kabuk kalıntılarını temsil etmektedir (Dilek & Fumes, 2007; Dilek & Thy, 2009; Okay, 1989; Okay & Şahintürk, 1997; Robertson, 2002). Kızıldağ ofiyoliti supra subduction zone (SSZ) tipi tektonik ortamı temsil etmektedir (Dilek & Thy, 2006,2009; Flower & Dilek, 2003; Uysal vd., 2016) ve istifin taban kesimini harzburjitler oluştururlar. Bilinen önemli ofiyolit istiflerinde 10 km’ ye varan kalınlıklarda gözlenmiştir (Semail ofiyoliti/Umman; Trodos ofiyoliti/Kıbrıs) (Lippard vd., 1986; Pamic & Desmons 1989).

Bu çalışma ile SSZ tipi Kızıldağ ofiyolitinin manto harzburjitleri petrografik özellikleri ve tüm kayaç ana oksit-iz element içerikleri bakımından irdelenmiş ve bu kayaçların oluşumu sırasında meydana gelen kısmi ergime ve ergiyik-kayaç etkileşim süreçleri yorumlanmıştır.



Şekil 1. Neotetis ofiyolitlerinin dağılımları ve Kızıldağ ofiyolitinin Alp-Himalaya çarpışma kuşağı üzerindeki konumu.

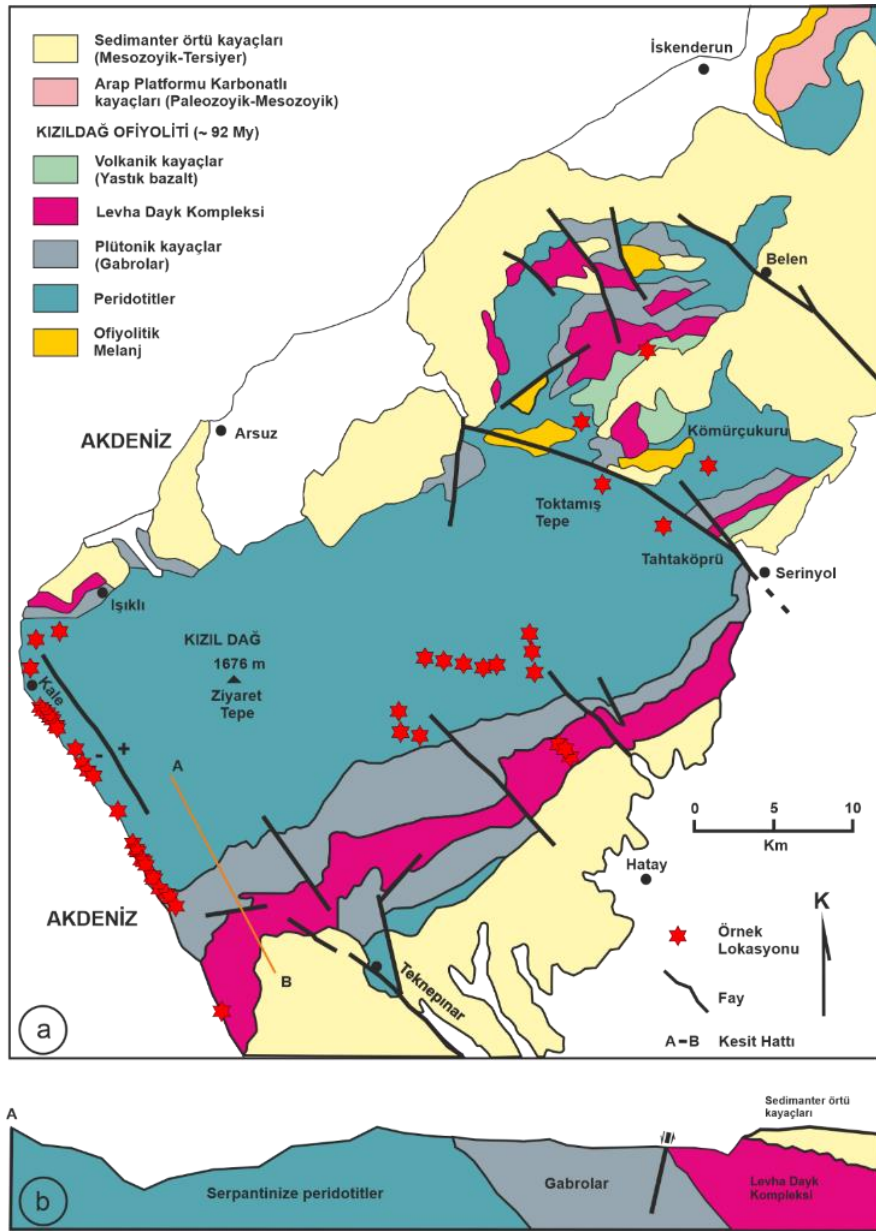
Figure 1. Distribution of Neotetian ophiolites through Alpine-Himalayan orogenic belt and the location of Kızıldağ ophiolite (KO).

2. Bölgesel jeoloji

2. Regional geology

Arap levhası ile Anadolu platformu çarpışması ile Anadolu çarpışma kuşağı bugünkü yerini almıştır (Yılmaz, 1993). Bu çarpışma kuşağı güneyden kuzeye doğru; Arap plakası, bindirme zonu ve nap zonu olacak şekilde yer almaktadır. En güneydeki Arap plakasına ait Tersiyer yaşlı sedimanter birimin üzerine gelen bindirme ve nap zonu ise sırasıyla metamorfik ve ofiyolitik komplekslerden oluşmaktadır (Şekil 2). Nap birimi içerisinde ofiyolitik/subofiyolitik istifler iki farklı kayaç grubunu temsil etmektedirler (Koçali ve Karadut kompleksleri). Bu kompleksler 10km'ye yakın stratigrafik kalınlığa sahip olmasına karşılık subofiyolitik naplar ise yaklaşık 3-4 km kalınlığa kadar ulaşabilmektedir (Yılmaz, 1993).

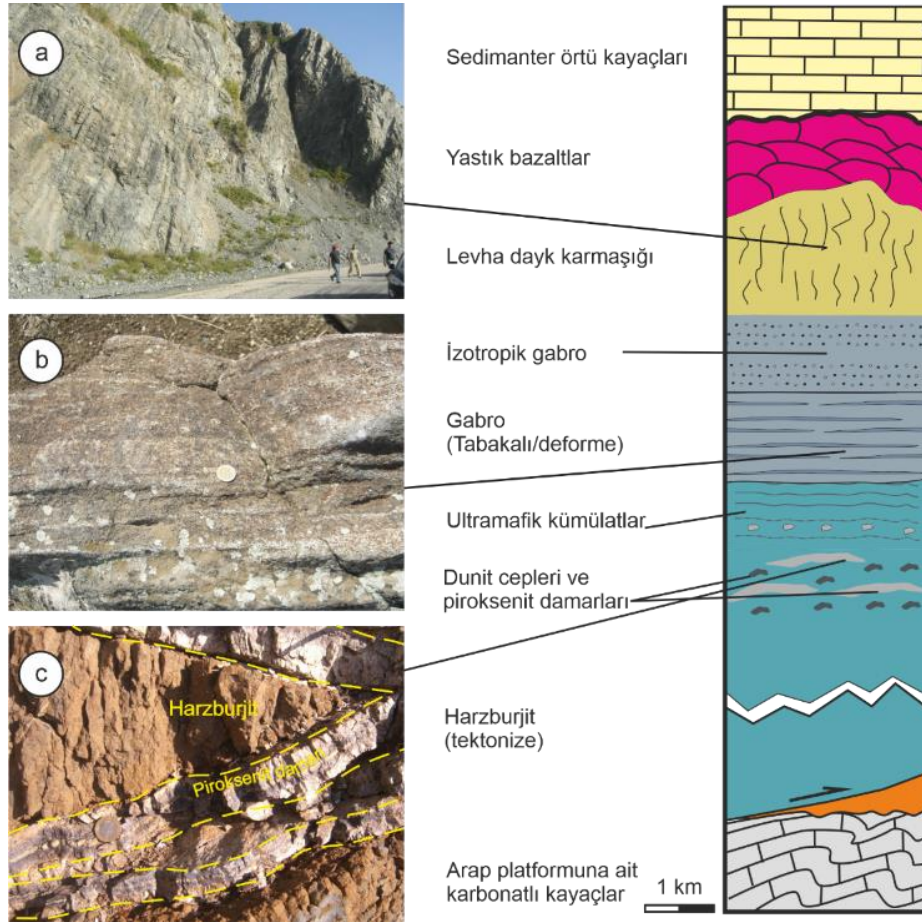
Amanosların G-GB'sında yüzeyleme veren Kızıldağ ofiyoliti ve bu ofiyolit istifinin kuzeyinde Miyosen yaşlı birimler yer almaktadır. Kızıldağ ofiyoliti ve bu istife ait aynı okyanusal litosfer kalıntısı kayaçlar yaklaşık olarak 1000km²'lik bir yüzey alanına sahiptirler. Kızıldağ ofiyoliti bu napların güney ucunda bulunmakta ve yaklaşık olarak 900km²'lik bir alana sahiptir. (Şekil 2).



Şekil 2. Manto harzburjilerinin Kızıldağ ofiyoliti içerisindeki dağılımı. (Selçuk, 1981; Erendil 1984; Dilek & Thy 2009). Kırmızı yıldızlar örnek lokasyonlarını gösterir. b. A-B hattını temsil eden enine kesit.

Figure 2. Simplified geological map of studied area (Selçuk, 1981; Erendil 1984; Dilek & Thy 2009). Red stars are showing sampling locations.

Kızıldağ ofiyoliti dünyada en iyi korunmuş Neotetis okyanusal litosfer kalıntısı istiflerden birisi konumunda olup, Tahtaköprü mevkiindeki KB yönlü bir ters fay ile iki ana parçaya ayrılmış şekilde bulunmaktadır. Koyu renkli serpantinleşmiş manto harzburjitleri ofiyolit istifinin en alt birimini oluşturmaktadır. Bu kayalar ofiyolit istifinin manto kesimini oluşturmaktadır. Harzburjitler içerisinde yer yer dünit cepleri ve serpantinize harzburjitleri kesen piroksenit daykları bu kayaların karakteristik bir özelliğidir. Ofiyolit istifinin manto kesiminin üzerindeki kabuk kesimi, tabanında kümülat gabrolar ve üzerine gelen izotropik gabrolar ile başlamaktadır. Bu birimler üzerine levha dayk kompleksi ve yastık şekilli bazaltik volkanik kayalar ile kabuk kısmı son bulur. (Bağcı vd., 2004; Parlak vd., 2009; Dilek & Thy 1998) (Şekil 3).



Şekil 3. Eksiksiz bir okyanusal kabuğu temsil eden Kızıldağ ofiyolitinin kolon kesiti a: levha dayklar, b: Kümülat gabrolar, c: harzburjitler.

Figure 3. Stratigraphic columnar section of Kızıldağ ophiolite and field photographs of main units a: sheeted dykes, b: layered gabbros, c: mantle harzburgites.

3. Analitik yöntemler

3. Analytical methods

3.1. Tüm kayaç ana oksit analizleri

3.1. Whole-rock major oxide analysis

Kızıldağ ofiyolitine ait manto harzburjitleri önemli derecelerde serpantinleşmeye uğramış kayalar olmaları sebebiyle örnek alımı sırasında mümkün olduğunca büyük kütleler seçilerek bu kütlelerin merkezlerinden alterasyondan etkilenmemiş en taze kısımları seçilmiştir. El örnekleri daha sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü örnek hazırlama laboratuvarında elmas uçlu bıçak kullanılarak altere kısımları tekrar temizlenmiş ince kesit hazırlamak için 4x7 cm boyutlarında levhalar çıkarılmıştır. İnce kesitlerden yapılan petrografik çalışmalar neticesinde Tüm kayaç Analizlerine gönderilecek örnekler seçilmiş ve halkalı öğütücüler yardımıyla yaklaşık 50 µm boyutunda toz numuneler hazırlanmıştır. Toz numuneler ACME (Kanada) laboratuvarına gönderilerek LiBO₂ eritilip asidik çözeltide seyreltilmiştir. Ardından Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer (ICP-ES) analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2. Tüm kayaç iz element ve Lantan Grubu Element (LGE) analizleri

3.2. Whole-rock trace and Rare Earth Element (REE) analysis

Manto harzburjitlerinin LGE ve bazı iz element içerikleri (Rb, Sr, Y, Zr, Cs, Ba, Hf, Nb, Ta, U ve Th) Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) cihazı kullanılarak İngiltere'deki Durham Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir. Örneklerin çözülmesi için HCl (hidro klorik asit) çözeltisi kullanılmıştır. Manto harzburjitleri tüketilmiş karakterlerinden ötürü iz element içerikleri bakımından fakir olmaları dikkate alınarak örnek hazırlanması sürecinde kontaminasyonu engellemek için titiz çalışılmış ve laboratuvar ortamında tek yönlü düzenli hava akışı sağlanmıştır.

100mg öğütülmüş toz örnek ve 4 ml HF karıştırılır ve deney tüpü içerisinde 48 saate kadar bekletilir. Takip eden 48 saat süresinde aynı karışım 150 °C sıcaklıktaki levha üzerinde bekletilir ve asitli karışımın buharlaşması sağlanır. Arta kalan kuru karışıma 1ml HNO₃ eklenir ve aynı kurutma işlemi tekrarlanır (Bu işlem 1 kez daha tekrarlanır) ve florit partiküllerinin nitrata (çözülebilir) dönüşmesi sağlanır. En son adımda 2.5 ml HNO₃ eklenir ve ardından 20 ppb Re ve Rh bileşimindeki standart ilâve edilerek 50 ml olacak şekilde seyreltme yapılır. Eklenen standart madde analitik yanılmayı (sapma) ve mask efekti engellemek amacıyla kullanılır. ICP-MS kalibrasyonu için GP13 standart maddesi kullanılmaktadır (Ottley vd., 2003).

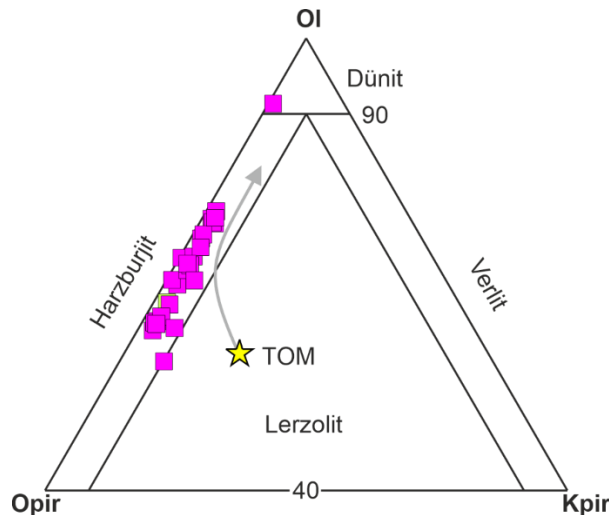
4. Bulgular

4. Results

4.1. Manto peridotitlerinin petrografisi

4.1. Petrography of the mantle peridotites

Kızıldağ ofiyolitinin yaklaşık %70'i manto harzburjitlerinden oluşmaktadır ve 900 km²'lik bir yüzey alanına sahiptirler. Ofiyolit istifinin manto kesiminin tabanını temsil ederler (Selçuk, 1985). Harzburjitler yüzeysel alterasyon sebebiyle kızıl-kahve renkleriyle arazide kolayca tanınırlar. Harzburjitler ayrıca serpantinleşmenin gözlemlendiği çatlakları boyunca koyu yeşil renklindedir. Şekil 2'de görülen örnek lokasyonlarından 35 adet peridotit örneği alınmış ve mineralojik-petrografik olarak incelenmiştir. Swift marka nokta sayım aletiyle mineral bollukları belirlenmiş bu işlem sırasında nokta aralığı 0.5mm olarak belirlenmiştir. Modal analizler sonucunda manto peridotitlerinin harzburjit bileşiminde oldukları ayrıca Tahtaköprü civarından alınan K14H numaralı 1 adet peridotit örneğinin %90 oranında olivin içerdiği ve dünit bileşiminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4) (Tablo 1). Alp-Himalaya kenet kuşağı boyunca tektonik olarak arap platformu üzerine yerleşen okyanusal kabuğun en alt kesimini temsil etmelerinden ötürü harzburjitler plastik deformasyona uğramışlardır.



Şekil 4. Manto peridotitlerinin Olivin-Ortopiroksen-Klinopiroksen üçgenindeki yerleri. TOM: Tüketilmiş okyanus ortası sırt mantosu.

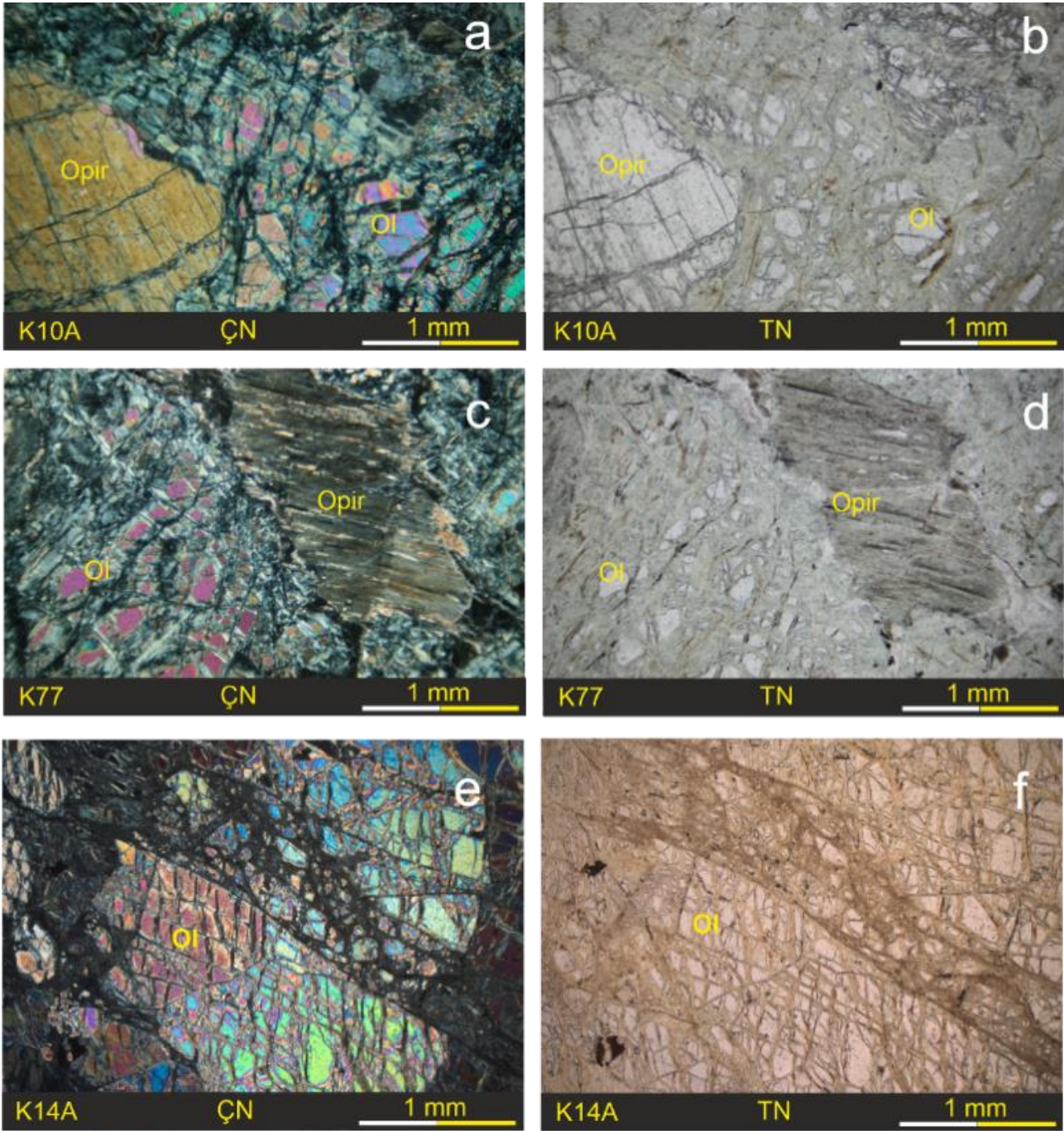
Figure 4. Distribution of mantle peridotites from Kızıldağ ophiolite on olivine, orthopyroxene, clinopyroxene classification triangle. TOM=DMM: Depleted MOR Mantle.

Tablo 1. Kızıldağ Ofiyolitine ait peridotitlerin modal mineralojileri MP: Manto Peridotiti; Opir: Ortopiroksen; Kpir: Klinopiroksen; Spl: Spinel.
Table 1. Modal mineralogical compositions of mantle peridotites from Kızıldağ ophiolite. MP: Mantle peridotite, Opir: Orthopyroxene, Kpir: Clinopyroxene, Spl: Spinel

Örnek No	K10-A	K13A	K14H	K17A	K19A	K22A	K23A	K24AH	K45	K46	K67	K71	K72	K74	K75	K76	K77	K61
Kayaç	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
Ol	64.0	70.0	90.0	72.5	75.0	74.0	74.0	76.0	70.0	60.0	66.0	67.0	68.0	73.0	75.0	70.0	69.0	61.0
Opir	33.0	27.0	8.0	25.0	22.5	22.3	22.5	21.5	28.5	36.3	30.5	31.0	28.5	24.5	22.0	27.0	28.0	35.0
Kpir	1.5	1.5	0.5	1.2	1.1	1.8	1.4	1.1	0.2	1.7	1.5	0.6	1.7	1.2	1.4	1.5	1.7	1.7
Spl	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4	1.9	2.1	1.4	1.3	2.0	2.0	1.4	1.8	1.3	1.6	1.5	1.3	2.3

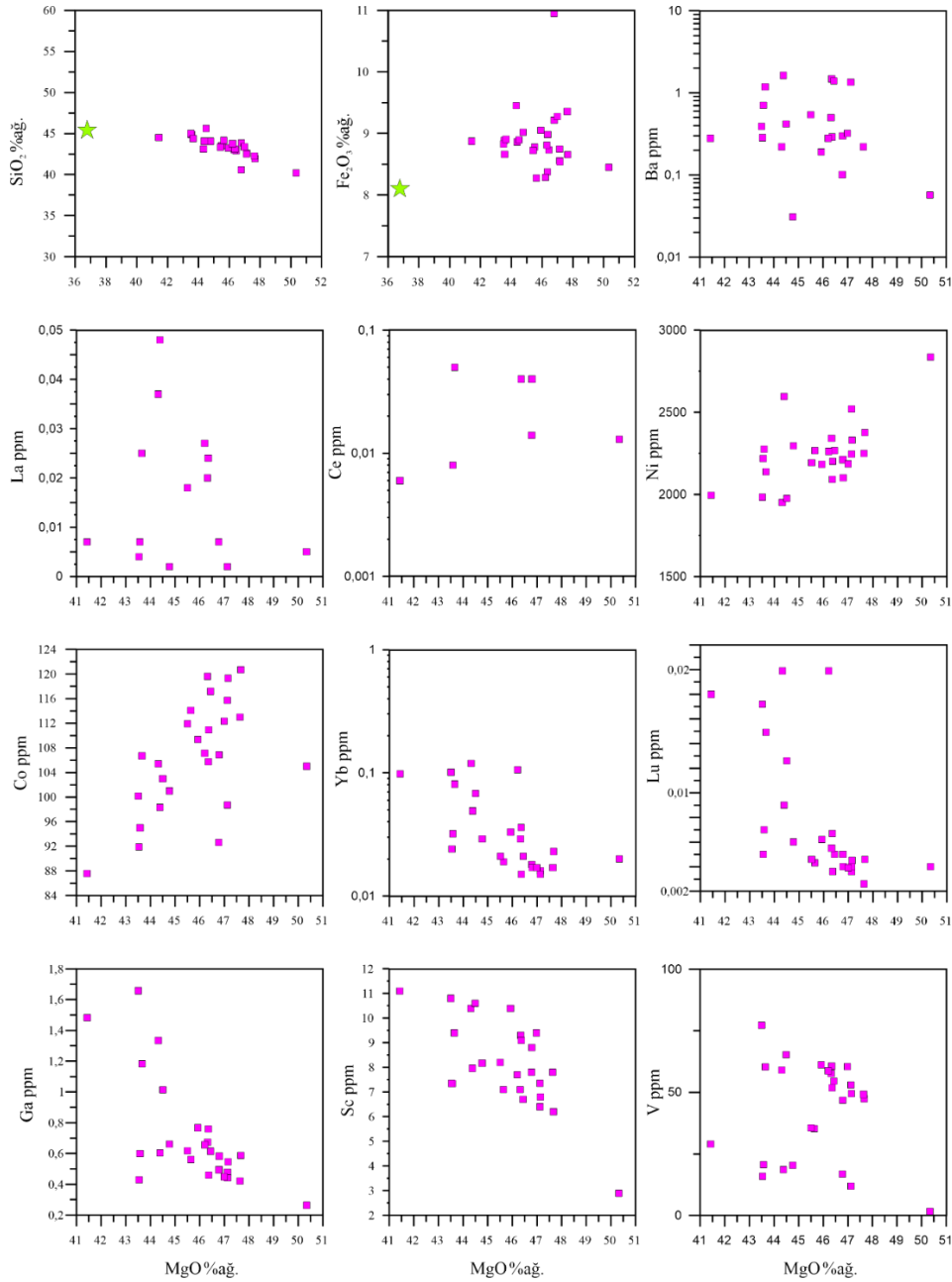
Örnek No	K16AH	K21A	K26B	K44	K64	K68	K27AH	K65	K66
Kayaç	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
Ol	71.0	68.7	67.0	61.0	64.0	62.0	56.0	60.1	60.5
Opir	25.5	28.0	28.5	35.5	33.0	34.5	37.0	33.5	35.2
Kpir	1.9	1.4	3.2	1.5	1.9	1.8	5.0	4.2	1.7
Spl	1.6	2.0	1.2	2.0	1.0	1.6	1.7	2.2	2.5

Taneli dokuya sahip harzburjitler, olivin (%65-80), ortopiroksen (%10-20), spinel (%5>) ve eser miktarda klinopiroksen içermektedir (Şekil 5). Olivinler genellikle serpantinleşme sonucu yuvarlak kenarlı kırıklı kristaller halinde bulunurlar ve ÇN'de canlı renklerde TN'de ise renksiz öz şekilsiz kristaller halindedirler. Ortopiroksenler, olivinlerden sonra en bol bulunan minerallerdir. Paralel sönme gösteren ortopiroksenler dilinimleri boyunca klinopiroksen eksolüsyon lamelleri içermektedir. Klinopiroksenler tüketilmiş manto kalıntısı harzburjitler içerisinde çok az miktarda korunabilmiştir. Genellikle ortopiroksen-olivin sınırlarında öz şekilsiz kristalleri halinde gözlenen klinopiroksenler eğik sönme göstermektedir ve canlı renklere sahiptir. (Şekil 5c). Manto harzburjitlerinde gözlenen lineasyon ve foliasyon gibi tektonik deformasyon izleri bu kayaların yitim zonu ortamı kökenleri ile uyumludur. Harzburjitler içerisinde karakteristik olarak kahverengi kristaller şeklinde gözlenen spineller %1-3 arasında değişen bir bolluğa sahiptir. (Şekil 5d).



Şekil 5. a-d: Harzburjitlerin polarizan mikroskop görüntüleri. e-f: Manto dünitinin (K14A numaralı örnek) mikroskopik görünümü.

Figure 5. a-d: Polarizing microscope images from mantle harzburgites. e-f: Microscopic image of a dunite sample (K14A) from mantle section of the ophiolite body



Şekil 6. Kızıldağ ofiyolitine ait peridotitlerin bazı ana oksit ve iz element bolluklarının MgO (%ağ.)'a karşı dağılımları.

Figure 6 Major oxide and various trace element compositions versus MgO wt.% diagrams of mantle harzburgites from Kızıldağ ophiolite.

4.2.3. Lantanit Grubu Element (LGE) jeokimyası

4.2.3. Rare Earth Element (REE) geochemistry

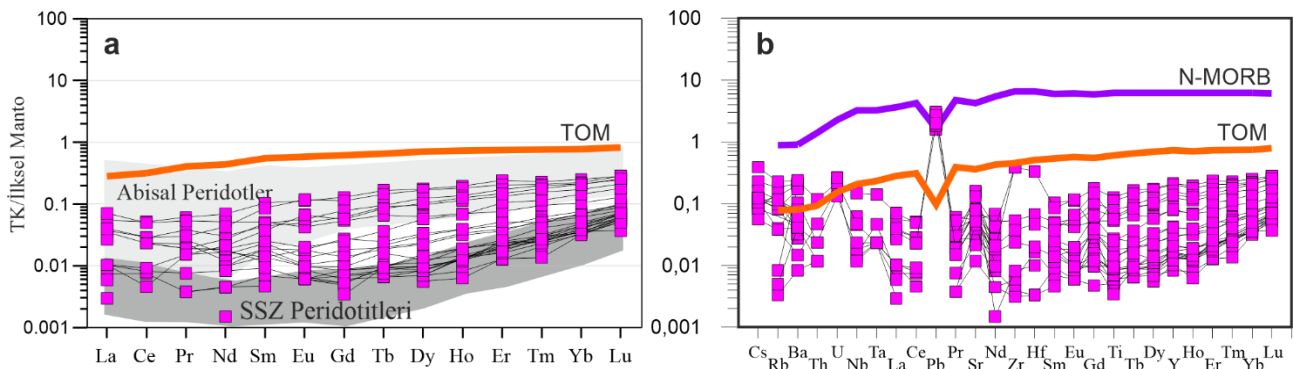
Lantanit Grubu Element dağılımları kayaçların magmatik süreçler hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Postmagmatik süreçler, metamorfizma ve hidrotermal alterasyon LGE'lerin tüm kayaç konsantrasyonları üzerinde major bir etkiye sahip değildir. Şekil 7a'da harzburgitlerin LGE (ilksel mantoya göre normalize) dağılımları verilmiştir. Harzburgitlerin tamamı Tüketilmiş Okyanus Ortası Sırt Mantosu (TOM) bileşimine göre yaklaşık 10 kat tüketilmişlerdir. Analiz edilen harzburgitler ortaç lantanit grubu elementlerden (OLGE) hafif lantanit grubu elementlere (HLGE) doğru tüketilme göstermektedir. Bazı örnekler La bakımından zenginleşmiştir ($La_N/Ce_N=0.99-18.1$ N: İlksel mantoya göre normalize) ancak belirgin bir kaşık şekilli desen oluşturmamıştır. Ağır lantanit grubu elementler (ALGE) bakımından (Tm, Yb, Lu) manto harzburgitleri TOM bileşimine göre yaklaşık 5-9 kat arasında tüketilmiştir ($H_{ON}/Lu_N=0.11-0.55$). Harzburgitlerin bir kısmı diğerlerine göre LGE içerikleri bakımından daha fazla tüketilmiş ve SSZ peridotitler için belirlenen alan

içerisinde konumlanmıştır. LGE içerikleri daha zenginleşmiş olan harzburjitler abisal peridotitlere benzer bileşimdedirler. Eu (Evropium) Eu^{2+} ve Eu^{3+} şeklinde doğada bulunmaktadır ve plajiyoklaz içerisindeki Ca^{2+} ile değişmektedir (Berger vd., 2001). Manto kayaçlarının negatif Eu^{2+} anomalisi sunması beklenmektedir ancak tüketilmiş Kızıldağ manto harzburjitlerinin Eu^{2+} bakımından zenginleşmiş olması plajiyoklaz kristallenmesi ve serpantinleşme etkisiyle açıklanabilir (Parkinson vd., 1992, Bodinier & Godard, 2004; Engler vd., 2002). İncelenen harzburjitler içerisinde bir grup örnekte plajiyoklaz tespit edilmiştir ve plajiyoklaz ile klinopiroksenler arasında LGE ve Eu^{2+} alışverişi olduğu bilinmektedir (Pun vd., 1997).

Manto harzburjitlerinin ilksel mantoya normalize edilmiş çoklu element dağılımları incelendiğinde LGE'lerde olduğu gibi TOM'a göre tüketilmiş bir dağılım sundukları görülmektedir (Şekil 7b). İyon yarıçapı yüksek elementlerden (IYYE) olan baryum (Ba) ve stronsiyum (Sr) bakımından zenginleşme görülmektedir. Peridotitlerde IYYE zenginleşmesi Kim vd., 2003 tarafından yapılan bir çalışmada metasomatik alterasyon ile ilişkilendirilmiştir. IYYE'ler genellikle sıvı faz kontrolündedir ve artan sıcaklık ile uyumsuz bir karaktere sahiptirler. Harzburjitlerin IYYE zenginleşmesi sunması sıcak yeraltı sıvıları (hidrotermal sıvılar) etkisi ile açıklanabilir. Manto peridotitlerinin alkali toprak elementler bakımından (Rb, Cs, Sr ve Ba) zenginleşme göstermesi bu kayaçların SSZ ortamında oluştuğunu göstermektedir (Bodinier & Godard, 2004, Choi vd., 2008; Chen vd., 2019;). Kısmi ergime sırasında daha az mobil olan YÇAE'ler kaynak kaya bileşimi ile kontrol edilmektedir. Harzburjitlerin YÇAE bakımından bir zenginleşme göstermeyip Tb-Lu arası yataya yakın bir dağılım sunması sebebiyle yitim zonunda meydana gelen kısmi ergime süreçlerinde bu elementlerin kalıntı kayalarda bileşimlerini muhafaza ettiği söylenebilir.

Yitim zonu ortamlarında bulunan magma odası içerisindeki ergiyikler İYYE ve HLGE bakımından zengin bir bileşime sahiptir. Üst mantonun kısmi ergimesi sırasında iz elementler bakımından zengin ergiyiklerin harzburjitler ile metasomatizması sonucu Nb, Ta ve Ti gibi elementler bakımından zenginleşme meydana gelmiştir. Yitim okyanusal kabuğun üst kısmında meydana gelen bu süreçler 10-20kbar lık bir basınç altında gerçekleşmekte ve bu şartlarda Nb ve Ta gibi elementler Al bakımından zengin klinopiroksen benzeri fazlarda kalmayı tercih ederler. Dolayısıyla negatif Nb anomalisi manto harzburjitlerinin oluşum ortamı için yitim ile ilişkili bir kökene işaret etmektedir (Kimura vd., 2017).

Okyanusal kabuğun üst kısmını oluşturan bazaltik örtü kayaçları içerisindeki silikat ve sulu mineraller, yitim sonrası başlayan kısmi ergime süreçleri ile kaynak kayadan ayrılarak yükselir ve daha önceden tüketilmiş manto kayaçları ile etkileşime girerler (Hildenbrand vd., 2004). Yükselen ergiyikler zengin H_2O , CO_2 ve ClO_2 iyonları içerirler ayrıca Rb, Ba, Sr bakımından da zengindirler ve Nb bakımından tüketilmişlerdir. Kızıldağ manto harzburjitlerinin yitim zonu karakteri sergilemesi ile uyumlu bir iz element jeokimyasal içeriğine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7. a: Manto harzburjitlerinin normalize (ilksel mantoya) tüm kayaç LGE dağılımları b: Multi-element bollukları. Tüketilmiş Okyanus Ortası Sirt Manto (TOM) ve Normal Okyanus Ortası Sirt Bazalt (N-OOSB) bileşimleri (Palme & O'Neill 2014).

Figure 7. Primitive mantle normalized whole-rock REE and multi-element variations of residual mantle harzburgites from Kızıldağ ophiolite. N-MORB and DMM values are from Palme & O'Neill, 2014.

Tablo 2. Harzburjtlarin tüm kayaç ana oksit (%öğ.), iz element ve LGE bollukları (ppm). AUK: Ateşte uçucu kaybt. -: dedeksiyon limitleri altında.
Table 2. Whole-rock major oxide (wt %), trace and rare earth element (REE) concentrations (ppm) of harzburgites from Kızıldağ ophiolite. AUK: Loss on ignition, -: below dedection limits

Örnek	(PO, 2004)	K10A	K13A	K14H	K17A	K19A	K22A	K23A	K24AH	K45	K46	K67	K71	K72	K74	K75	K76	K77	K61*	K16AH	K21A	K26B	K44	K64	K68	K27AH	K65	K66
Kayaç	PM	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP
SiO ₂	45.4	43.1	42.9	40.2	43.0	41.9	42.6	42.6	42.5	40.6	44.9	43.2	43.9	43.5	43.4	42.3	43.1	43.3	44.9	44.1	44.1	43.1	44.1	43.8	45.6	44.5	45.0	44.4
Al ₂ O ₃	4.5	0.8	0.6	0.2	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.9	0.8	0.6	0.5	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.7	1.2	0.7	0.8	0.8	2.5	1.7	1.5
Fe ₂ O ₃	8.1	8.4	8.7	8.4	8.8	8.7	8.6	8.5	8.7	11.0	8.7	9.1	9.2	8.8	9.3	9.4	9.0	8.7	8.9	8.9	8.3	9.5	8.9	8.3	8.9	8.8	8.9	
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
MgO	36.8	46.3	46.4	50.3	46.3	47.7	47.1	47.1	47.1	46.8	43.6	45.9	46.8	45.5	47.0	47.6	46.4	45.4	43.5	44.8	45.6	44.3	44.4	46.2	44.5	41.4	43.5	
CaO	3.7	0.9	0.7	0.2	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.1	0.8	0.7	0.4	0.8	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.9	0.7	1.5	0.7	0.9	0.9	2.3	1.7	
Na ₂ O	0.3	0.07	-	-	0.02	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	0.02	-	-	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-	0.01	-	
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	
AUK	11.8	6.5	99.6	99.6	11.8	4.5	4.4	6.6	4.7	13.5	9.0	15.7	14.8	12.2	11.5	13.4	15.7	14.1	13.7	5.9	5.7	12.0	9.8	12.8	12.7	9.9	13.2	
Top.	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	98.9	99.6	100.8	99.3	100.8	100.4	99.8	98.9	98.9	99.6	99.6	99.8	100.0	100.0	100.9	99.8	100.9	
Sc	16	9	7	3	7	6	7	7	7	8	7	10	9	8	9	8	9	9	7	8	7	10	8	8	11	11	11	9
Y	86	61	55	2	58	47	53	50	12	17	21	61	47	36	60	49	52	16	20	16	35	59	19	59	65	29	77	60
Cr	2520	2654	2671	2269	2845	2437	2658	2462	2462	1489	2958	3053	2648	2466	1851	2644	2649	3286	2641	2832	2282	2628	2628	1925	2706	2265	3292	2151
Co	102	106	117	105	120	121	116	119	99	93	95	109	107	112	112	113	111	92	101	114	105	98	107	103	88	100	107	
Ni	1860	2091	2266	2837	2342	2377	2245	2330	2521	2112	2277	2183	2101	2194	2187	2250	2202	2218	2296	2266	1951	2596	2262	1977	1995	1983	2138	
W	0.12	0.036	0.075	0.017	0.010	0.018	0.018	0.018	0.018	0.494	0.600	0.767	0.582	0.618	0.447	0.421	0.460	0.429	0.661	0.561	0.072	0.072	0.034	0.014	0.029	0.014		
Ga	4.4	0.760	0.615	0.264	0.674	0.588	0.478	0.547	0.441	13.800	25.60	42.70	41.80	44.30	43.70	44.40	45	22.70	28.70	47.30	49.20	27.7	40.70	45.8	30.5	45.4	43	
Zn	53	44.30	48.00	22.20	52.60	49.60	45.10	48.00	28.100	3.213	3.542	2.600	3.000	3.600	7.200	1.900	18	1.803	16.400	4.000	10.800	11.5	1.200	8.200	37.1	12.9	5.800	
Cu	20	8.100	5.100	1.750	1.900	7.300	2.900	10.30	1.426	0.023	0.022	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
Rb	0.605	0.110	0.080	0.002	0.060	0.090	0.050	0.050	1.349	0.101	0.708	0.190	0.300	0.540	0.320	0.220	0.290	0.285	0.031	0.002	0.220	0.138	0.632	0.280	0.420	0.390	0.050	
Ba	6.850	1.480	1.400	0.057	0.500	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.002	0.002	0.003	0.006	0.006	0.006	0.006	0.002	0.002	0.010	0.220	0.1632	0.280	0.420	0.280	0.390	1.180	
Th	0.085	0.006	0.006	0.001	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.003	0.003	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.002	0.002	0.005	0.005	0.005	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	
U	0.023	0.009	0.009	0.002	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.008	0.007	0.011	0.006	0.011	0.011	0.011	0.011	1.927	0.010	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	0.037	
Nb	0.595	0.024	0.024	0.005	0.020	0.013	0.013	0.013	0.013	0.001	0.001	0.001	0.001	0.018	0.018	0.018	0.018	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Ta	0.043	0.024	0.024	0.005	0.020	0.013	0.013	0.013	0.013	0.001	0.001	0.001	0.001	0.018	0.018	0.018	0.018	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
La	0.683	0.040	0.040	0.013	0.050	0.0340	0.0340	0.0340	0.0340	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Ce	1.753	0.540	0.290	0.013	0.060	0.020	0.020	0.020	0.020	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Pb	0.185	0.006	0.006	0.001	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Pr	0.266	0.006	0.006	0.001	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Sr	22	1.670	0.257	0.610	0.060	0.020	0.020	0.020	0.020	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Nd	1.341	0.016	0.016	0.006	0.020	0.006	0.006	0.006	0.006	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Zr	10.3	0.060	0.060	0.006	0.020	0.006	0.006	0.006	0.006	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Hf	0.301	0.005	0.005	0.001	0.007	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Sm	0.435	0.008	0.008	0.003	0.010	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.002	0.002	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Eu	0.167	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Ti	1265	52	19	27	44	23	12	18	44	6	42	42	13	20	16	12	13	15	27	19	222	66	50	79	187	132	103	
Gd	0.586	0.007	0.003	0.005	0.011	0.005	0.005	0.005	0.005	0.003	0.008	0.016	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.002	0.002	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Tb	0.108	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Dy	0.724	0.022	0.006	0.011	0.017	0.005	0.005	0.005	0.005	0.007	0.016	0.024	0.005	0.007	0.008	0.009	0.006	0.001	0.001	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	
Y	4.130	0.173	0.065	0.088	0.117	0.062	0.034	0.059	0.042	0.058	0.127	0.171	0.050	0.071	0.070	0.068	0.064	0.085	0.112	0.056	0.081	0.324	0.840	0.335	0.572	0.660	0.513	
Ho	0.160	0.006	0.002	0.003	0.005	0.002	0.001</																					

5. Tartışma ve sonuçlar

5. Discussion and conclusions

Okyanus Ortası Sırtlar (OOS) ve Yitim Zonları (SSZ), okyanusal kabuk oluşumunun devam ettiği aynı zamanda eski okyanusal kabuk kalıntısı kayaçların üst mantoya daldığı ortamlardır. OOS'larda yeni okyanusal kabuk oluşumu sürerken ve %20'lere varan kısmi ergime süreçleri manto peridotitlerinin bileşimini kontrol etmektedir. SSZ ortamları, daha önceden %5-10 kısmi ergimeye uğramış ve tüketilmiş okyanusal kabuğun başka bir okyanusal kabuk altına yittiği, %20< kısmi ergime derecelerinin gerçekleştiği ve sulu ergiyiklerin yiten kabuktan ayrıldığı bir ortamı temsil eder (Aldanmaz vd., 2009; Uysal vd., 2015; Dilek vd., 2007; Chen vd., 2019). OOS ortamında 60-100 km arası değişen derinliklerde üst manto bileşimi 15-20kb seviyelerine kadar garnet-peridotit iken yüzeye doğru bu bileşim spinel-peridotit ve plajiyoklaz-peridotit şeklinde değişmektedir. Garnet lertzolit ile spinel-lertzolit arası geçiş aşağıdaki denklem ile açıklanmıştır (O'Neill, 1981):



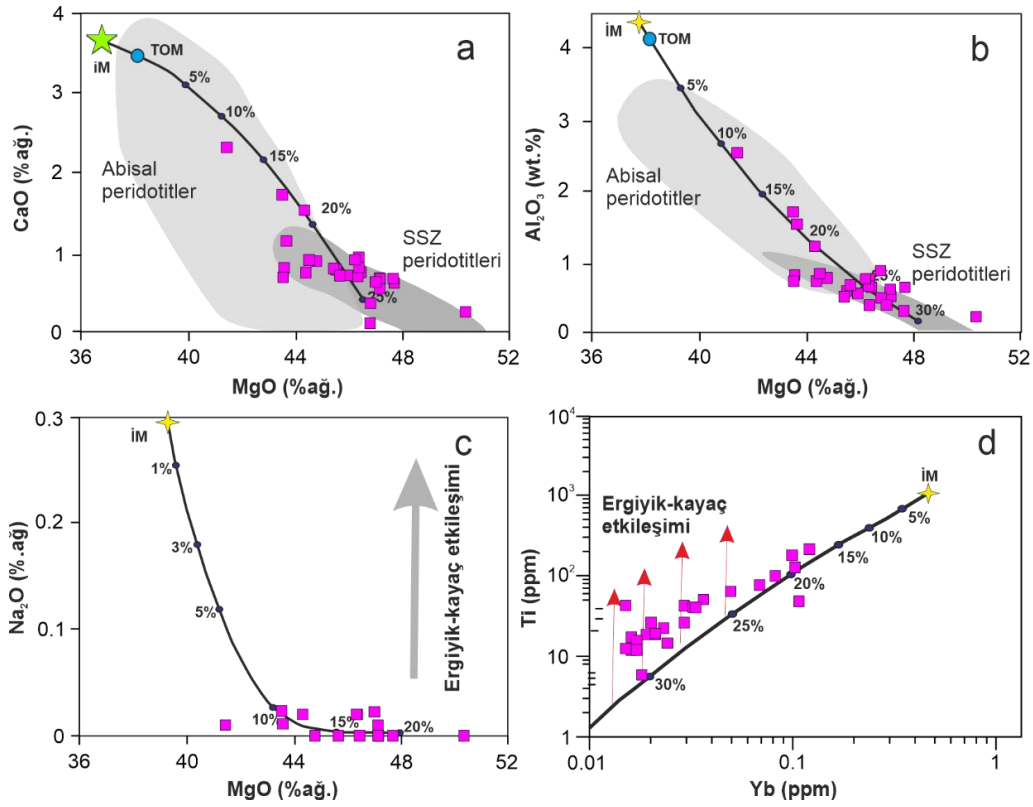
OOS ortamlarında kısmi ergime süreci ve okyanusal kabuk oluşumu daha basit bir seri halinde gerçekleşirken bu durum SSZ ortamında daha karmaşık bir sürece dönüşmektedir. SSZ ortamında kısmi ergimenin başladığı derinlik ve buna bağlı olarak yiten okyanusal kabuğun üst kısmında ilk ergimeye başlayan kayaç litolojisi, bu kaynaktan ayrılan ergiyik bileşimi ve kısmi ergime miktarı SSZ ortamında oluşan bir manto peridotinin bileşimini belirleyen faktörlerdir.

İlk olarak OOS ortamında oluştuğu düşünülen bir manto peridotiti, ortamın SSZ'a geçişinden sonra yitimle birlikte tekrar kısmi ergimeye maruz kalacaktır ve bu süreçlerden geçen bir kayacın kısmi ergime sırasında uyumsuz davranan elementler bakımından aşırı derecede tüketilmiş olması beklenir. SSZ ortamında kısmi ergimenin başladığı derinliğin fazla olmasına bağlı yüksek basınç şartları egemendir ve bu ergimenin hızlı gerçekleşmesini önleyen bir faktördür. OOS'larda kısmi ergimenin tetiklenmesindeki ana faktör okyanus ortası sırta meydana gelen açılmanın üst mantodaki basıncı önemli bir miktarda düşürmesidir (Niu, 2004). Ancak yitim zonu ortamlarındaki yüksek basınca rağmen kısmi ergime sürecini hızlandıran bir faktör uçucular ve H₂O bakımından zengin minerallerin ergimeye başlayarak buradaki kısmi ergime sıcaklığını düşürmesi etkenidir. Yiten okyanusal kabuğun üst kısmını oluşturan bazaltik bileşimli kabuk kayaları daha derinlerde metazomatizma etkisiyle amfibolitlere dönüşebilmekte ve bu kayaçların ergimesi sonu yükselen ergiyikler daha önceden tüketilmiş manto harzburjitleri içerisinde ikincil mineral kristallenmesine ve ergiyik-kayaç etkileşimi süreçlerine neden olmaktadır. Dolayısıyla SSZ ortamlarda manto harzburjitlerinin jeokimyasal bileşimlerini incelerken kayaçları oluşturan mineral birliktelikleri ve bu minerallerin gösterecekleri kimyasal anomaliler dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir.

Bu çalışma ile Kızıldağ ofiyolitinin taban kesimin oluşturan Harzburjit bileşimli kayaçların tüm kayaç ana oksit ve iz element içeriklerindeki değişimler daha sonraki detaylı çalışmalara ışık tutması bakımından incelenmiştir.

Manto harzburjitlerinin MgO içeriklerindeki azalmaya karşılık SiO₂, Al₂O₃ ve CaO içeriklerinde bir artış gözlenirken FeO_T ve Na₂O içerikleri bir korelasyon sunmamaktadır. İlksel mantoya göre yaklaşık olarak %10-20 tüketilme gösteren manto harzburjitlerinin bu geniş tüketilme aralığı ergiyik-kayaç etkileşim süreçleri dikkate alınarak daha detaylı incelenmelidir. Harzburjitler ilksel mantonun artan kısmi ergime derecelerini temsil eden eğrileri takip etmektedir. Bu özellikleri ile manto harzburjitleri, %20-30 arasında değişen kısmi ergime kalıntısı kayaçları temsil etmektedir ve SSZ peridotitleri için belirlenen alanlar içinde konumlanmaktadır (Şekil 8a-b). Şekil 8d'de Ti içerikleri dikkate alındığında bazı harzburjitlerin yüksek Ti içerikleri ile kısmi ergime eğrisinden daha yüksek değerler sunduğu görülmektedir ve bu kayaçların SSZ ortamında yiten okyanusal kabuktan türeyen ergiyiklerle etkileşime girdiğine işaret etmektedir.

Tüketilmiş harzburjitlere kıyasla yüksek Al₂O₃ ve CaO içerikleri ile daha düşük kısmi ergime değerleri sunan ve Şekil 8'de abisal peridotitlere benzer dağılımlar sunan örneklerdeki bu farklılıklar postmagmatik süreçlerin etkisi ile açıklanabilir.



Şekil 8. Kızıldağ ofiyolitine ait manto peridotitlerinin tüm kayaç MgO (%ağ.) içeriklerine karşılık ana oksit ve iz element dağılımlarının ilksel manto ve kısmi ergime dereceleri dikkate alınarak değerlendirilmesi.

Figure 8. Evaluation of some major oxide and trace element distributions vs the MgO (wt%) contents of the mantle peridotites of the Kızıldağ ophiolite, considering the primary mantle and partial melting degrees.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma yazarın Doktora tezi kapsamında elde edilen veriler kullanılarak hazırlanmıştır. Doktora tezinin hazırlanması ve sunulması sürecinde desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. İbrahim Uysal'a teşekkürlerimi sunarım.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

"Bu makalenin yazarı bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir."

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

"Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder"

Kaynaklar

Aldanmaz, E., Schmidt, M.W., Gourgand, A. & Meisel, T., (2009). Mid-ocean ridge and suprasubduction geochemical signatures in spinel-peridotites from the Neotethyan ophiolites in SW Turkey: Implications for upper mantle melting processes. *Lithos*, 113, 691–708.

Arai, S., Kadoshima, K. ve Morishita, T., (2006). Widespread Arc-related Melting in The Mantle Section of The Northern oman Ophiolites as Inferred from Detrital Chromian Spinels. *Journal of the Geological Society*, 163, 869–879.

Bağcı, U., (2004). Kızıldağ (Hatay) ve Tekirova (Antalya) Ofiyolitlerinin Jeokimyası ve Petrolojisi, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Bağcı, U., Parlak, O. ve Höck, V., (2008). Geochemistry and tectonic environment of diverse magma generations forming the crustal units of the Kızıldağ (Hatay) ophiolite, Southern Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 43-71.
- Bodinier, J.L. ve Godard, M., (2003). Orogenic ophiolitic, and abyssal peridotites. In: Carlson, R.W. (Ed.), *Treatise on Geochemistry*, vol. 2. Elsevier, Amsterdam, 103–170
- Chen, C., Su, B., Xiao, Y., Uysal, İ., Lin, W. & Chu, Yang., (2020). Highly siderophile elements and Os isotope constraints on the genesis of peridotites from the Kızıldağ ophiolite, southern Turkey. *Lithos*, 368-369.
- Chen, C., Su, B.X., Uysal, I., Avci, E., Zhang, P.F., Xiao, Y. ve He, Y.S., (2015). Iron isotopic constraints on the origin of peridotite and chromitite in the Kızıldağ ophiolite, southern Turkey. *Chemical Geology*, 417, 115–124.
- Chen, C., Su, B.X., Xiao, Y., Pang, K.N., Robinson, P.T., Uysal, I., Lin, W., Qin, K.Z., Avci, E. & Kapsiotis, A., (2019). Intermediate chromitite in Kizildag ophiolite (SE Turkey) formed during subduction initiation in Neo-Tethys. *Ore Geology Reviews*, 104, 88–100.
- Choi, S.H., Shervais, J.W. & Mukasa, S.B., (2008). Supra-subduction and abyssal mantle peridotites of the Coast Range ophiolite, California. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 156-551.
- Coleman R.G., *Ophiolites: Ancient oceanic lithosphere*. Springer-Verlag, Berlin, (1977) 229 pp.
- Dilek, Y. ve Thy, P., Structure and Tectonics of Intermediate-spread Oceanic Crust Drilled at DSDP/ODP Holes 504B and 89A, Costa Rica Rift, in: Cramp, A., MacLeod, C.J., Lee, S.V., Jones, E.W.J. (Eds.), *Geological Evolution of Ocean Basins, Results from The Ocean Drilling Program*. *Journal of the Geological Society*, 131, (1998) 179–197.
- Dilek, Y. & Furnes, H., Shallo, M., (2007). Suprasubduction zone ophiolite formation along the periphery of Mesozoic Gondwana. *Gondwana Research*, 11, 453–475.
- Dilek, Y. & Furnes, H., Shallo, M., (2008). Geochemistry of the Jurassic Mirdita Ophiolite (Albania) and the MORB to SSZ evolution of a marginal basin oceanic crust. *Lithos* 100, 174–209.
- Dilek, Y. & Thy, P., (2009). Island arc tholeiite to boninite melt evolution of the cretaceous Kızıldağ (Turkey) ophiolite: model for multi-stage early arc-forearc magmatism in Tethyan subduction factories. *Lithos* 113, 68–87.
- Engler, A., Koller, F., Meisel, T. ve Que´me´ Neurd, J., (2002). Evolution of the Archean/Proterozoic crust in the southern Saó Francisco craton near Perdões, Minas Gerais, Brazil: Petrological and geochemical constraints. *Jour. South Amer. Earth Sc.*, 15, www.unileoben.ac.at/~chemie/Engler.pdf, 709–723.
- Erendil, M., *Petrology and Structure of the Upper Crustal Units of the Kızıldağ Ophiolite*. In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds) *Geology of the Taurus Belt, Proceedings, Mineral Research & Exploration Institute, Turkey, Ankara, (1984) 269-284.*
- Flower, M.F.J. & Dilek, Y., (2003). Arc-trench rollback and forearc accretion: 1. A collision-induced mantle flow model for Tethyan ophiolites. In: Dilek, Y., Robinson, P.T. (Eds.), *Ophiolites in Earth History*. *Geological Society of London Special Publication*, 218, 21–41.
- Godard, M., Bosch, D. & Einaudi, F., (2006). A MORB source for low-Ti magmatism in the Semail ophiolite. *Chemical Geology*, 234: 58–78.
- Hildenbrand, A., Gillot, P. Y. ve Le Roy, I., (2004). Volcano-tectonic and geochemical evolution of an oceanic intra-plate volcano: Tahiti-Nui (French Polynesia). *Earth and Planetary Science Letters*, 217(3-4), 349-365.
- Karaođlan, F., Parlak, O., Klötzli, U., Thoni, M. ve Koller, F., (2013). U–Pb and Sm–Nd geochronology of the ophiolites from the SE Turkey: implications for the Neotethyan evolution. *Geodinamica Acta*, 25, 146–161.
- Kimura, J.I., Gill, J.B., van Keken, P.E., Kawabata, H. ve Skora, S., (2017). Origin of geochemical mantle components: role of spreading ridges and thermal evolution of mantle. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18, 697–73.
- Lin, K.Y., Wang, K.L., Chung, S.L., Bingöl, A.F., Iizuka, Y., & Lee, H.Y., (2020). Tracking the magmatic response to subduction initiation in the forearc mantle wedge: Insights from peridotite geochemistry of the Guleman and Kızıldağ ophiolites, Southeastern Turkey. *Lithos*, 376.

- Lippard, S.J., Shelton, A.W. & Gass, (1986). I.G., The Ophiolite of Northern Oman, Geol. Soc. Mem., 11, 187.
- Moiseev, A.V., Sokolov, S.D., ve Hyasaka, Y., (2011). Composition and geodynamic setting of the volcanic rocks from ophiolites of the Ust'-Belaya Mountains, Chukchi Peninsula. In Doklady Earth Sciences (Vol. 437, No. 1, pp. 326-330). SP MAIK Nauka/Interperiodica.
- Niu, Y., (2004). Bulk-rock major and trace element compositions of abyssal peridotites: implications for mantle melting, melt extraction and post-melting processes beneath mid-ocean ridges. *Journal of Petrology*, 45(12), 2423-2458.
- Okay, A. I., & Şahintürk, Ö. (1997). Geology of the Eastern Pontides. In Robinson, A. G. (Ed.), Regional and petroleum geology of the Black Sea and surrounding region (pp. 291-311). *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) Memoir No. 68*.
- Okay, A.I. (1989). Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In A. M. C. Şengör (Ed.), Tectonic evolution of the Tethyan Region (pp. 109-116). NATO Advanced ASI Series. Dordrecht: Kluwer Academic.
- O'Neill, H.S.C. (1981) The transition between spinel lherzolite and garnet lherzolite, and its use as a Geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 77, 185-194.
- Ottley, C.J., Pearson, D.G. ve Irvine, G.J., A Routine Method for The Dissolution of Geological Samples for The Analysis of REE and Trace Elements via ICP –MS, in Plasma Source Mass Spectrometry, Applications and Emerging Technologies, (J.G. Holland, S.D. Taner, Eds.), The Royal Society of Chemistry, (2003) 221-230.
- Palme, H. ve O'Neill, H.S.C., (2003). Cosmochemical estimates of mantle composition. The mantle and core, 1-38.
- Pamić, J. & Desmons, J., (1989). A complete ophiolite sequence in Ržav area of Zlatibor and Varda ultramafic massifs, the Dinaride Ophiolite zone. *Ofioliti* 14, 13-32.
- Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karaoğlu, F., & Höck, V., (2009). Tectonic significance of the geochemistry and petrology of ophiolites in southeast Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 473(1-2), 173-187.
- Robertson, A.H., (2002). Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, 65(1-2), 1-67.
- Selçuk, H., Etude geologique de la partie meridionale du Hatay (Turquie): PhD dissertation (unpublished), Univ. de Geneve, (1981) 116p.
- Selçuk, H., Kızıldağ-Keldağ-Hatay Dolayının Jeolojisi ve Jeodinamik Evrimi. Derleme Rapor, MTA, Ankara (1985).
- Uysal, I., Ersoy, E.Y., Dilek, Y., Escayola, M., Sarıfakıoğlu, E., Saka, S. & Hirata, T., (2015). Depletion and refertilization of the Tethyan oceanic upper mantle as revealed by the early Jurassic Refahiye ophiolite, NE Anatolia—Turkey. *Gondwana Research*, 27(2), 594-611.
- Uysal, İ., Akmaz, R.M., Saka, S. & Kapsiotis, A., (2016). Coexistence of compositionally heterogeneous chromitites in the Antalya-Isparta ophiolitic suite, SW Turkey: A record of sequential magmatic processes in the sub-arc lithospheric mantle. *Lithos*, 248, pp. 160-174.
- Uysal, İ., Şen, A.D., Ersoy, E. Y., Dilek, Y., Saka, S., Zaccarini, F. & Karşı, O., (2014). Geochemical make-up of oceanic peridotites from NW Turkey and the multi-stage melting history of the Tethyan upper mantle. *Mineralogy and Petrology*, 108(1), 49-69.
- Yılmaz, Y., (1993). New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. *Geological Society of America Bulletin*, 105(2), 251-271.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J., Edwards, S.J. & Qi, L., (2005). REE and PGE geochemical constraints on the formation of dunites in the Luobusa ophiolite, southern Tibet. *Journal of Petrology*, 46(3), 615-639.