



LEVHA TEKTONİĞİ NE ZAMAN BAŞLADI? KOMATİYİTLERİN VE MgO İÇERİKLERİNİN DEĞİŞKENLİĞİNE GÖRE LEVHA TEKTONİĞİ'NİN BAŞLANGICI

WHEN DID THE PLATE TECTONICS BEGIN? THE INCEPTION OF PLATE TECTONICS BASED ON THE EXISTENCE OF KOMATIITES AND THEIR MgO VARIATIONS

Anıl ARDAHANLIOĞLU^{a*} ve Efe DEMİRCİ^b

^aAnkara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tektonik Araştırma Grubu, Gölbaşı, Ankara. orcid.org/0000-0001-9309-3872

^bAnkara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Tektonik Araştırma Grubu, Gölbaşı, Ankara. orcid.org/0000-0002-6290-1731

Kısa Not

Anahtar Kelimeler:

Kabuk, Levha Tektoniği, Kıtasal Kabuk, Yeryuvarı, Komatiyit.

ÖZ

Yer bilimcilerin en çok merak ettiği konulardan biri İlk Dünya'nın (Early Earth) ne gibi evrimsel süreçler geçirerek günümüze ulaştığıdır. Bu süreçler içerisinde ise levha tektoniğinin ne zaman başladığı ayrı bir araştırma konusudur. Ancak levha hareketlerinin ne zaman başladığına dair tartışmalar henüz çözüme ulaşamamıştır. Özellikle, geçmişe ait kayıtların azlığı bu tartışmaların çözüme gitmesi konusunda en büyük engellerdendir. Yer bilimciler çeşitli metodları kullanarak levha tektoniğinin başlangıç yaşına dair öneriler sunmaya devam etmektedir. Komatiyitler, Manto tarafından üretilen kayaçlar içerisinde en dikkat çekenlerdir. Yaşlandırılmış en yaşlı komatiyit 3.825my; en genç ise 86my yaşındadır. İçerdikleri yüksek magnezyum oranları, özel doku ve jeolojik bulunuş koşullarıyla, güncel olarak incelenebilen herhangi bir kayaç grubuna benzemeyen bu kayaların; yerkürenin belirli jeolojik zamanları içerisinde üretilmelerine rağmen, güncel formları görülmemektedir. Komatiyitlerin oluşum koşulları, kayıtlı zaman aralıkları ve içerdikleri magnezyum oranları esas alındığında, levha tektoniğinin ne zaman başladığına dair bir gösterge olarak kullanılmaları mümkün olabilir.

Geliş Tarihi: 03.03.2017

Kabul Tarihi: 24.04.2017

Keywords:

Crust, Plate Tectonic, Continental Crust, Earth, Komatiite.

ABSTRACT

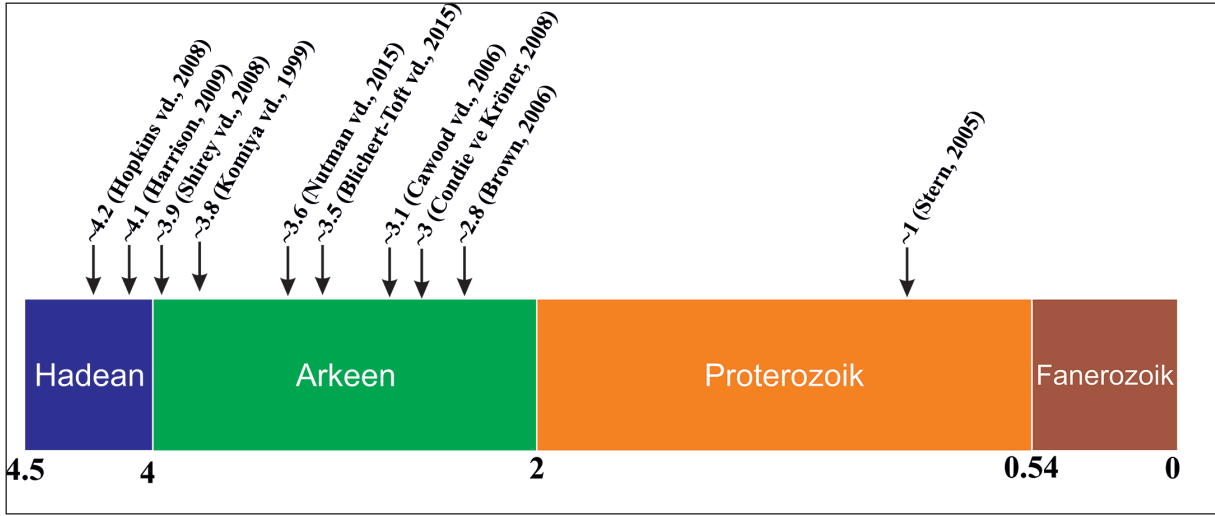
The geoscientists have always wondered what evolutionary processes the Early Earth went through until it reached today. The beginning of the plate tectonics poses another matter of debate in these processes. Yet, the debates on when the plate tectonics began have not been resolved. In this sense, especially the lack of records regarding the period of time before the Cambrian Era is considered the biggest obstacle against resolution of these debates. The geoscientists have befitted from various methods to come up with different proposals about the beginning of the plate tectonics. The most notable rock type among the ones produced by the mantle is the komatiites. While the oldest datable komatiite is 3.82 Ga; the youngest is 0.086 Ga. With the high content of magnesium they contain, their special texture and the geological setting, the komatiites are not similar to any other rock groups which can currently be examined. Though they were produced in different geological times, no up - to - date forms of these rocks have been observed. Given the formation conditions of komatiites, recorded time intervals and the content of magnesium they contain, they might indicate when the plate tectonics began.

1. Giriş

Levha tektoniğinin ne zaman ve nasıl başladığını anlamak Dünya'nın tarihini anlamak için önemlidir. Korenaga (2013) levha tektoniğinin başlangıcına dair çalışmaları özetlemiş; başlangıç zamanının Hadean (>4,2 Ga) ile Mezoproterozoik (~1 Ga)

aralığında olabileceğini göstermiştir (Şekil 1). Bu yaş aralığının farklılık göstermesi, her araştırmacının levha tektoniğinin başlangıcına dair farklı muhtemel kanıtları kullanmasından kaynaklanmaktadır. Yeni çalışmalar ile birlikte yeni muhtemel kanıtlar da sunulmaya devam edilmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, levha tektoniğinin başlangıcına dair

* Başvurulacak yazar: Anıl ARDAHANLIOĞLU, a.ardahanli@gmail.com
<http://dx.doi.org/10.19076/mta.314223>



Şekil 1- Levha tektoniğinin başlangıç yaşına dair öneriler (Korenaga, 2013'ten değiştirilerek). Verilen yaş değerleri milyar yıl cinsindendir.

tartışmaların sonuca ulaşmasının kolay olmadığı da ortaya çıkmaktadır.

Gerya vd. (2015) levha tektoniği litosferik levhaların bağımsız hareketlerini içerdiğini, levha tektoniğinin nasıl çalıştığını anlayabilmek için ilk dalma – batma zonlarının nasıl şekillendiğini anlamak gerektiğini söylemiştir. Levha tektoniğinin başlangıcına dair çeşitli öneriler ve sorguclarla olan ilişkisini de yine Gerya vd. (2015) detaylı bir şekilde incelemiştir.

Levha tektoniğinin ne zaman başladığına dair çalışmalar incelendiğinde (Komiya vd., 1999; Stern, 2005; Brown, 2006; Cawood vd., 2006; Hopkins vd., 2008; Shirey vd., 2008; Condie ve Kröner, 2008; Harrison, 2009; Korenaga, 2013; Blichert-Toft vd., 2015; Nutman vd., 2015; Stern vd., 2017) incelemelerin çoğunluğunun Condie ve Kröner (2008) tarafından önerilen, levha tektoniğinin göstergelerine uyduğu görülmektedir. Bu makalede ise komatiyit türü kayaların bulunuş aralıkları (Condie vd., 2016 tarafından derlenen) ile levha tektoniğinin başlangıcı arasında bir bağlantı olabileceği görüşü önerilmektedir.

2. Levha Tektoniğinin Başlangıç Zamanına İşaret Olarak Komatiyitler

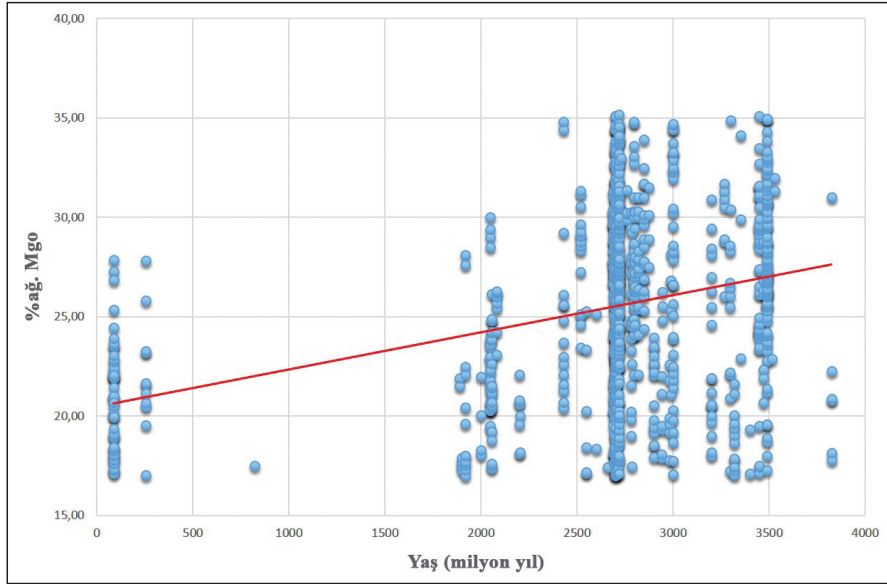
Komatiyitler ilk kez Güney Afrika'da bulunan Barberton yeşil-kayaç kuşağında tanımlanmıştır (Viljoen ve Viljoen, 1969). Basit anlamda ultramafik volkanik kayalardır (Arndt ve Nisbet, 1982). IUGS kayaç sınıflamasına göre (Le Bas ve Streckeisen, 1991; Le Maitre vd., 2002) komatiyitler %18 den fazla

MgO ve %1 den az TiO_2 içermektedir. Kanıtlaması güç olarak, yaklaşık %18 den fazla MgO içeren eriyiklerden kristallenirler (Arndt ve Lesher, 2004). Condie vd. (2016) bazaltı ağırlıkça %7-17 MgO ve %45-55 SiO_2 ; komatiyitleri ise ağırlıkça %17-35 MgO oranlarıyla sınırlandırmıştır. Özellikle %ağ MgO değeri komatiyitler için ayırt edici bir özelliktir (Le Bas ve Streckeisen, 1991; Kerr ve Arndt, 2001; Arndt ve Lesher, 2004; Condie vd. 2016).

En yaşlısı 3.8 Ga (Nuvvuagittuq yeşil-kayaç kuşağı; Condie vd., 2016), en genci 0.086 Ga (Gorgona Adası, Kolombiya; Revillon vd., 2000; Kamenetsky vd., 2010) olan komatiyitler, günümüzde sınırlı alanlarda bulunmaktadır. Condie vd. (2016) (Şekil 2) komatiyitlere ait önemli çalışmaları özetlemiştir.

Komatiyitlere ait %ağ. MgO ortalamaları, yaşlıdan gence doğru incelendiğinde belirgin bir azalmanın olduğu görülmektedir (Şekil 2).

Parman vd. (2001) bazaltik komatiyitler ile boninitler arasındaki, kimyasal bileşim ve oluşum mekanizmaları, jeolojik bulunuşlarını detaylıca anlatmıştır; ayrıca 3,5 milyar yaşındaki Barberton bazaltik komatiyitlerinin günümüzde görülen boninitlerin Arkeen dönemi eşdeğeri olduğunu söylemiş; komatiyitler, bazaltik komatiyitler ve boninitler arasındaki ilişkiyi göstermiştir. Gorgona ve Belingwe komatiyitleri pirolitiklerin ergimeleri sonucu oluşmuştur; ancak bazı komatiyitik jeokimyasal özellikler (=bileşimler) pirolitik kökenli ergimeyle açıklanamamaktadır (Walter, 1998). Parman vd. (2001)' de Barberton komatiyitik magmasının, dalma-



Şekil 2- Komatiyitlere ait verilen Yaş - %ağ. MgO değerleri grafiği. Kırmızı çizgi, yaşa bağlı olarak %ağ. MgO oranındaki azalış eğilimini temsil etmektedir (Condie vd., 2016'dan değiştirilerek.)

batma zonlarında gelişmiş olabileceğinin tutarlı bir durum olduğunu önermiştir.

3. Komatiyitler İle Levha Tektoniğinin İlişkisi

Dünya'nın ilksel kabuğu, Parman vd. (2001) tarafından önerilen komatiyitlerin oluşum sıcaklıkları göz önüne alındığında komatiyitik karakterli olmalıdır (Santosh vd., 2017). Bu nedenle, ilksel kabuğu oluşturan manto da komatiyitik olmalıdır. Oluşan ilksel kabuk daha sonrasında Bédard (2006) ve Zhang vd. (2013) tarafından önerilen levha tektoniğinden bağımsız sistemler (dalma-batma olaylarından bağımsız) sayesinde ilksel kıtasal çekirdekleri oluşturmuş olabilir. Gerya vd. (2015) tarafından önerilen sorguç kökenli dalma-batma olayları durgun-levha çevriminden levha tektoniğine geçiş başlatmıştır. Levha tektoniğine dair ilk hareketlerin başladığı bu dönemde oluşan sorguçlar da komatiyitik karakterli olmalıdır (Şekil 3).

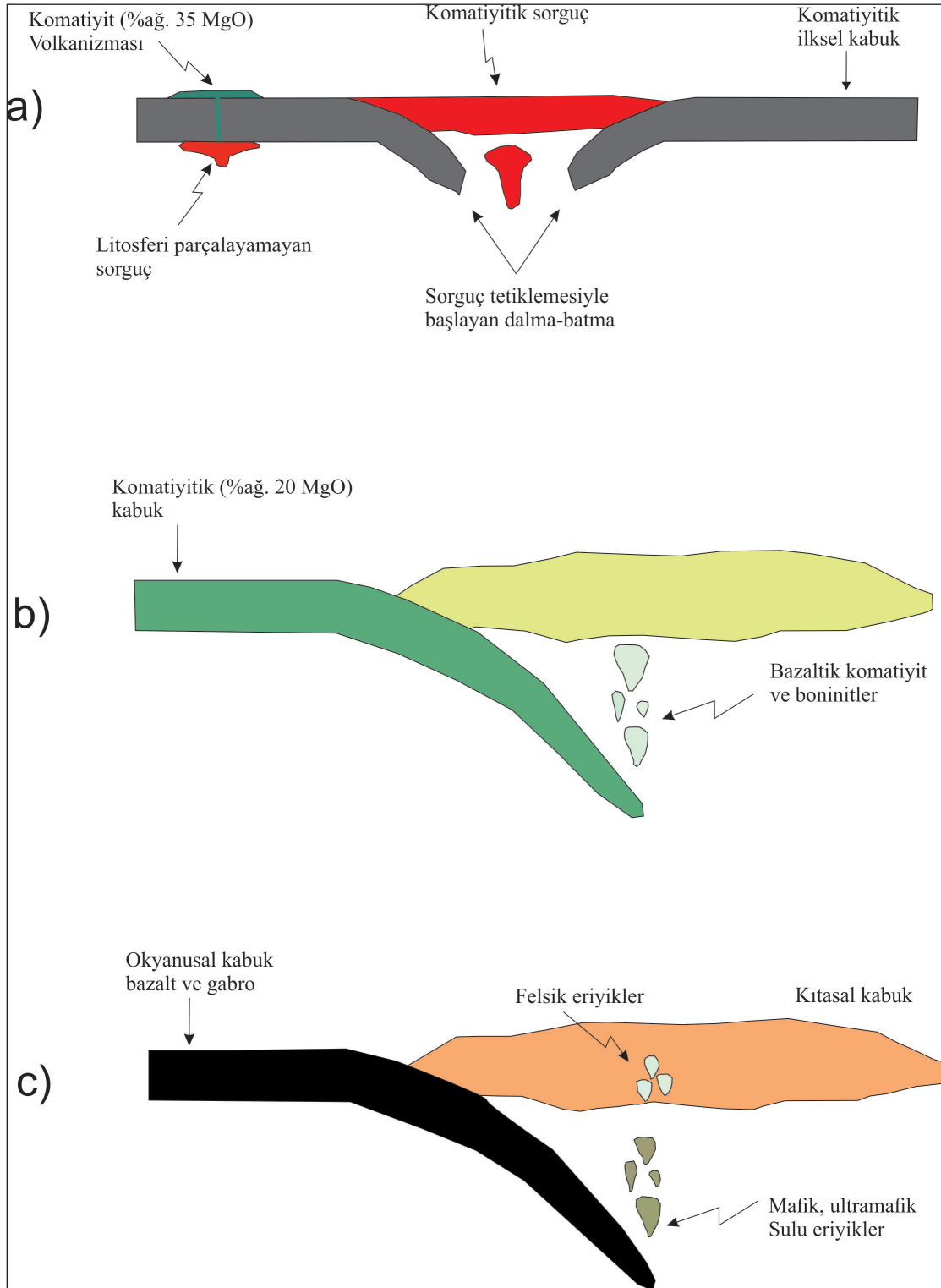
IUGS kayaç sınıflamasına göre (Le Bas ve Streckeisen, 1991 ; Le Maitre vd., 2002) komatiyitlerden ($\text{MgO} > \%18$, $\text{TiO}_2 < \%1$) boninitlere ($\text{MgO} > \%8$, $\text{TiO}_2 < \%0,5$) geçişte %ağ. MgO miktarında (ortalama %10) belirgin bir azalış gözlenmektedir. Bu teorik durum komatiyitlere ait grafik incelendiğinde de görülebilir (Şekil 2). Gözlenen bu azalışın nedeni dalma- batma olaylarıyla birlikte kısmi ergime süreçlerinin artması ve SiO_2 ce zengin eriyiklerin oluşturulmasıyla açıklanabilir.

Condie vd. (2016) incelendiğinde, gözlenen %ağ. MgO oranındaki azalmanın, ilksel komatiyitik manto bileşiminin; gelişen dalma-batma sistemleri ile zamanla seyreltilmesinden dolayı olduğu sonucu çıkarılabilir (Şekil 3). Bünyesine daha çok SiO_2 ve daha az MgO alan komatiyitik kökenli eriyikler; SiO_2 miktarlarını zaman içerisinde artırarak juvenil bazaltik komatiyitlere ve sonrasında boninitlere dönüşmüş olmalıdır. Levha tektoniğinin başlamasına bağlı olarak gözlenen komatiyit, bazaltik komatiyit ve boninitlere geçiş önerisi Parman vd. (2001) tarafından da desteklenir niteliktedir.

Tüm bu öneriler incelendiğinde, şuanki verilere göre, komatiyitlerin bulunuş aralıkları ve %ağ. MgO oranlarındaki belirgin azalışlar baz alındığında ilk dalma-batma olaylarının dolayısıyla levha tektoniğinin başlangıç yaşı, yaklaşık olarak en az 3,8 milyar yıl olmalıdır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Komatiyitlerin oluşumlarına dair literatürde uzlaşmaya varılamamıştır. Komatiyitlerin dalma-batma kökenli olduğunu öneren (Parman vd., 2001; Parman vd., 2004) ve manto sorgucu kökenli olduğunu öneren (Arndt vd., 1998, 2008; Herzberg vd., 2007) çalışmalar bulunmaktadır. Parman vd., (2001)'de Barberton komatiyitik magmasının dalma-batma zonlarında gelişmesinin tutarlı olduğunu söylemiştir. Komatiyitlerin manto sorgucu kökenli



Şekil 3- Komatiyitler ile levha tektoniği arasındaki ilişkinin şematik gösterimi (Ölçeksizdir). a-b-c şekilleri jeolojik olarak yaşlıdan gence doğru sıralanmıştır. a) Gerya vd. (2015) tarafından önerilen sorguçların litosferi parçalaması sonucu ilk dalma-batma olaylarının başlaması. b) Dalma-batma olaylarıyla kısmi ergimeye uğrayan mevcut komatiyitik kabuktan daha az %ağ. MgO oranına sahip eriyiklerin oluşması. c) Güncel olarak gözlenen okyanusal kabuktan kısmi ergime ile felsik eriyiklerin oluşması. Yaklaşık 3,8 milyar yıl önce başladığı önerilen levha hareketleri, zamana bağlı olarak daha düşük %ağ. MgO oranına sahip manto malzemesinin üretilmesine neden olmuştur. Diğer bir anlamda, manto bileşiminin sahip olduğu %ağ. MgO oranını düşürerek mantonun seyrelmesine zemin hazırlamıştır.

olduğunu savunan araştırmacılar (Arndt vd., 1998, 2008; Herzberg vd., 2007) komatiitlerin oluşumu için gerekli olan sıcaklık ve derinlik şartlarının dalma-batma ortamlarında karşılanamayacağını söylemişlerdir. Ancak Korenega (2013) tarafından önerilen Arkeen dönemindeki farklı ortam koşulları göz önünde bulundurulduğunda, günümüzden daha sıcak olduğu düşünülen manto, komatiitlerin dalma-batma zonlarında oluşabilmesi için gereken sıcaklık şartlarını sağlamış olabilir.

Komatiitlerde gözlenen %ağ. MgO oranındaki azalışın (Şekil 2) levha tektoniğinin başlangıcına dair bir işaret olup olmadığı araştırılmalıdır.

En az 3,8 milyar yılda başladığı önerilen levha hareketleri 1,9 milyar yıla kadar zaman içerisinde giderek hızlanarak gelişimine devam etmiş olmalıdır. Yaklaşık 1,9 milyar yıldan itibaren ise; levha hareketlerini günümüzde çalıştıran tüm kuvvet mekanizmalarının gelişmesi neticesinde hızlanmış olan sistem, komatiit üretimini durdurmuştur.

Arkeen komatiitleri yüksek sıcaklıkta oluşmuşken, Kreatese komatiitleri ise düşük sıcaklıkta oluşmuşlardır (Walter, 1998). Bu iki farklı zamanda oluşmuş komatiitlerin, değişmiş ortam koşulları (Korenega, 2013) ve %MgO oranlarındaki belirgin farklılıkları sebebiyle ayrı sistem içinde değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

Günümüze göre daha yavaş çalışmakta olduğu düşünülen (Bradley, 2008; Korenaga, 2013) ilk levha hareketlerinin çalışma mekanizmasının ayrıntıları ve gelişimi tam olarak bilinmemektedir.

Levha hareketlerini günümüzde çalıştıran tüm kuvvet mekanizmalarının, levha hareketlerinin ilk kez başladığı zamanlarda da mevcut olup olmadığı araştırılmalıdır.

Yer kabuğunda bugün pek alışık olmadığımız, günümüze benzetme yapmanın mümkün olmadığı durumlar göz önünde bulundurularak, “güncelcilik” (=aktüalizm) prensibiyle Dünya’nın geçmişi araştırılırken (özellikle 2 milyar yıl öncesi), değişim fikri ihmal edilmemelidir.

Katkı Belirtme

Destek ve eleştirilerini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımızda bulunan değerli hocalarımız Gürol Seyitoğlu ve Korhan Esat’a; bu makalenin

geliştirilmesinde eleştirileriyle katkı koyan Aral İ. Okay, Halim Mutlu ve Ali Polat’a teşekkürü borç biliriz. Bu makalede; Timur Ustaömer, Franco Pirajno ve adı belirtilmemiş diğer hakemin eleştirel katkılarından yararlanılmıştır. Görüşleri için değerli hakemlere minnattırız.

Değerilen Belgeler

- Arndt, N. T., Nisbet, E. G. 1982. What is a komatiite?, in Komatiites, edited by N. T. Arndt and E. G. Nisbet, Allen and Unwin, Concord, Massachusetts 19–28
- Arndt, N., Ginibre, C., Chauvel, C., Albarède, F., Cheadle, M., Herzberg, C., Jenner, G., Lahaye, Y. 1998. Were komatiites wet? *Geology*, 26, 739–742.
- Arndt, N., Leshner, C.M. 2004. Komatiite. *Encyclopedia of Geology*. Elsevier, 260-268.
- Arndt, N., Lescher, C., Barnes, S. J. 2008. Komatiite. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bédard, J.H. 2006. A catalytic delamination-driven model for coupled genesis of Archaean crust and sub-continental lithospheric mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 1188–1214, doi:10.1016/j.gca.2005.11.008.
- Blichert-Toft, J., Arndt, N.T., Wilson, A., Coetsee, G. 2015. Hf and Nd isotope systematics of early Archaean komatiites from surface sampling and ICDP drilling in the Barberton Greenstone Belt, South Africa. *American Mineralogist* 100, 2396–2411.
- Bradley D. C. 2008. Passive margins through earth history. *Earth-Science Reviews*. 91:1–26
- Cawood, P.A., Kröner A., Pisarevsky S. 2006. Precambrian plate tectonics: criteria and evidence. *Geological Society of America Today* 16, 4–11.
- Condie, K.C., Kröner A. 2008. When did plate tectonics begin? Evidence from the geologic record. See Condie & Pease 2008. *Geological Society of America Special Papers* 440, 281–94, doi: 10.1130/2008.2440(14)
- Condie, K.C., Aster, C.R., van Hunen, J. 2016. A great thermal divergence in the mantle beginning 2.5 Ga: Geochemical constraints from greenstone basalts and komatiites. *Geoscience Frontiers* 7, 4, 543–553, doi:10.1016/j.gsf.2016.01.006.
- Gerya, T. V., Stern, B., Baes, M., Sobolev, S. V., Whattam, S. A. 2015. Plate tectonics on the Earth triggered by plume-induced subduction initiation. *Nature* 527, 221–225, DOI: 10.1038/nature15752

- Harrison, T.M. 2009. The Hadean crust: Evidence from >4 Ga zircons. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 37, 479–505.
- Herzberg, C., Asimow, P., D., Arndt, N., Niu, Y., Leshner, C., M., Fitton, J., G., Cheadle, M., J., Saunders, A., D. 2007. Temperatures in ambient mantle and plumes: constraints from basalts, picrites, and komatiites. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8, 1–34.
- Hopkins M., Harrison T.M., Manning C.E. 2008. Low heat flow inferred from > 4Gyr zircons suggests Hadean plate boundary interactions. *Nature* 456, 493–96.
- Kerr, A. C., Arndt, N. T. 2001. A note on the IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks. *Journal of Petrology* 42, 11, 2169-2171.
- Komiya T., Maruyama S., Masuda T., Nohda S., Hayashi M., Okamoto K., 1999. Plate tectonics at 3.8–3.7 Ga: field evidence from the Isua accretionary complex, southern West Greenland: *Journal of Geology* 107, 515–54.
- Korenaga, J. 2013. Initiation and evolution of plate tectonics on Earth. *Theories and Observations. Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 41, 117–151.
- Le Bas, M.J., Streckeisen, A. L. 1991. The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society, London* 148, 825-833.
- Le Maitre, R. W. 2002. *Igneous Rocks. A Classification And Glossary Of Terms. Recommendations Of The International Union Of Geological Sciences Subcommission On The Systematics Of Igneous Rocks*, 2nd Ed. Xvi + 236 Pp. Cambridge
- Nutman, A.P., Bennett, V.C., Friend, C.R.L. 2015. Proposal for a continent 'Itsaqia' amalgamated at 3.66 Ga and rifted apart from 3.53 Ga: Initiation of a Wilson Cycle near the start of the rock record. *American Journal of Science*, 315, 509–536.
- Parman, S. W., Grove, S. T., Dann, J. 2001. The production of Barberton komatiites in an Archean subduction zone. *Geophysical Research Letters* 28, 2513–2516.
- Parman, S. W., Grove, T. L., Dann, J. C., de Wit, M. J. 2004. A subduction origin for komatiites and cratonic lithospheric mantle. *South African Journal of Geology*, 107, 107–118.
- Santosh, M., Arai, T., Maruyama, S. 2017. Hadean Earth and primordial continents: the cradle of prebiotic life. *Geoscience Frontiers*, 8, 309-327.
- Shirey S.B., Kamber B.S., Whitehouse M.J., Mueller P.A., Basu A.R. 2008. A review of the isotopic and trace element evidence for mantle and crustal processes in the Hadean and Archean. implications for the onset of plate tectonic subduction. in *Condie, K.C., Pease, V., eds., When Did Plate Tectonics Begin on Planet Earth?: Geological Society of America Special Paper 440*, p. 1–29, doi: 10.1130/2008.2440(01))
- Stern, R.J. 2005. Evidence from ophiolites, blueschists, and ultrahigh-pressure metamorphic terranes that the modern episode of subduction tectonics began in Neoproterozoic time. *Geology* 33, 557–60
- Stern, R. J., Leybourne, M. I., Tsujimori, T. 2017. Kimberlites and the start of plate tectonics. *Geology*. DOI: 10.1130/G38024.1
- Viljoen, M. J., Viljoen, R. P. 1969. The geology and geochemistry of Lower Ultramafic Unit of the Onverwacht Group and a proposed new class of igneous rocks. In: *Upper Mantle Project, Geological Society of South Africa Special Publication 2*, 55-85.
- Walter, J. M. 1998. Melting of Garnet Peridotite and the Origin of Komatiite and Depleted Lithosphere. *Journal of Petrology* 39, 1, 29-60.
- Zhang, C., Holtz, F., Koepke, J., Wolff, P. E., Ma, C., Bedard, J. 2013. Constraints from experimental melting of amphibolite on the depth of formation of garnet-rich restites, and implications for models of Early Archean crustal growth. *Precambrian Research* 231, 206–217.