

Ni-Lateritlerin Oluşumu ve Özellikleri

Erem Abdullah TUFAN*

Balıkesir Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 10145 Balıkesir

Özet

Ni-lateritler çoğunlukla dunit, peridotit, serpantinit gibi olivin-içeren ultramafik kayalardan şekillenen ve ekonomik olarak işletilebilir Ni-Co rezervleri içeren oluşumlardır. Nikel birincil olarak %0.16-0.40 Ni içeren forsteritik olivinden kaynaklanmaktadır. Mineraloji temelinde, Ni-lateritler Tip A (sulu Mg-silikat yatakları), Tip B (kil simektit yatakları), Tip C (oksit yatakları) şeklinde 3 ana tip içerisinde incelenebilmektedir. Batı Anadolu'daki Ni-laterit yatakları (örn: Çaldağ, Gördes, Muratdağı vd.) ultramafik kayaların tropikal iklim alanlarında bozuşmasının yaygın birer ürünüdürler. Derleme niteliğindeki bu çalışmada, dünya genelinde gözlenen Ni-lateritlerin yayılımları, tipleri ve oluşum koşulları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: laterit, dunit, serpantinit, ultramafik,

Formation and Properties of Ni-Laterites

Abstract

Ni-laterites, derived mainly from olivine-bearing ultramafic rocks such as dunite, olivine-pyroxene peridotite, their serpentinitized equivalents outcrop over a wide domain, are economically exploitable reserves of nickel and cobalt. The nickel is originated principally from forsteritic olivine (>Fo75), which commonly contains 0.16-0.40% Ni. Based on the mineralogy, Ni-laterites are divided into three main types as Type A (hydrated Mg-silicate deposits), Type B (clay silicate deposits), Type C (oxide deposits). Ni-laterites in western Anatolia (e.g. Çaldağ, Gördes, Muratdağı etc.) are common products of tropical weathering of ultramafic rocks. In this compilation type of study, distributions, types and formation processes of Ni-laterites worldwide were examined.

Keywords: Laterite, dunit, serpentinite, ultramafic

* Erem Abdullah TUFAN, atufan@balikesir.edu.tr, Tel: (266) 612 11 94

1. Giriş

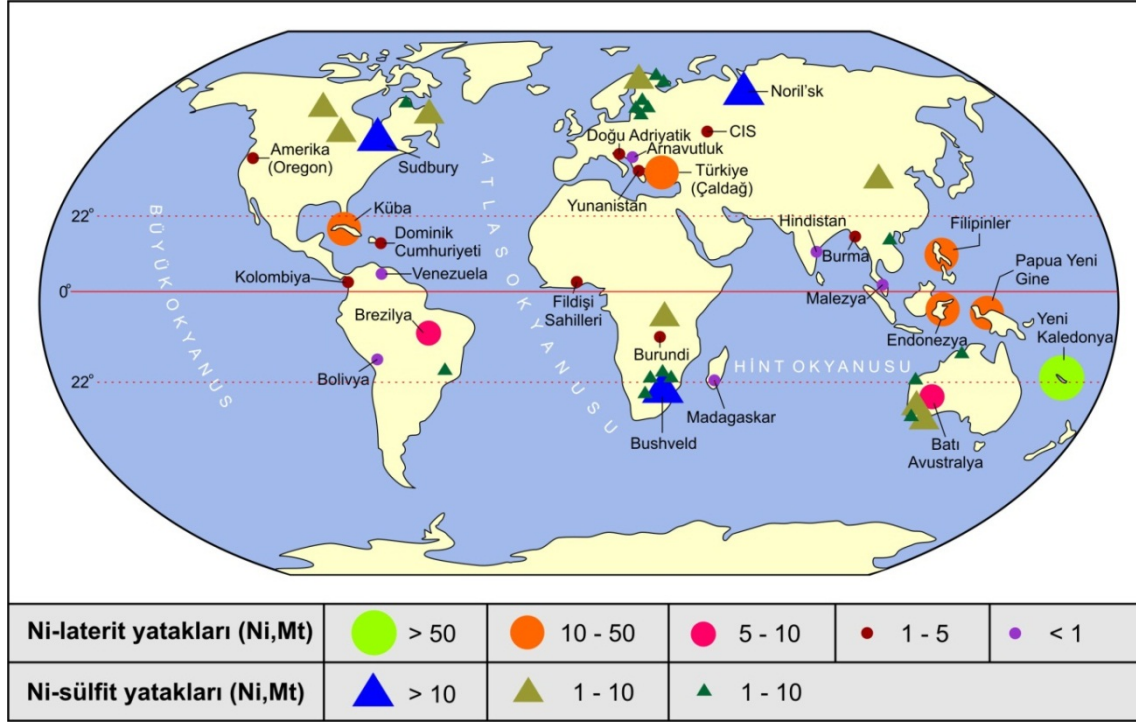
Lateritleşme, oldukça çözünme kabiliyeti olan K, Na, Mg, Ca, Si gibi elementlerin bozuşması ve daha az çözünebilen Fe, Al gibi elementlerin birikimine neden olan ve nemli-yağışlı tropikal iklimler altında oluşan bir ayrışma işlemidir [1]. Al, Fe, Ni, ve Au oluşumları bakımından zengin süperjen lateritik yataklar, 50 yılın aşan bir süredir global maden kaynağında önemli bir rol oynamaktadır. 1970'lerden sonraki çalışmalar, daha sonra Ni-lateritler üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle birincil cevherleşmenin aranması için önemli göstergeler sunduğundan dolayı, 1980'lerde birçok araştırma süperjen Au üzerine gerçekleştirilmiştir. Son zamanlarda, birçok çalışma apatitçe zengin karbonat kayalardan şekillenen lateritik P-Nb oluşumları üzerine yapılmaktadır [1]. Süperjen maden yataklarının birçoğu yüksek tenörlü, genellikle sülfid mineralleri bakımından zengin, gosanlı ayrışma ürünleridir. Lateritik prosesler ile şekillenen süperjen yataklar geçen 10-150 yıl boyunca önemini korumuştur. Bu oluşumların birincil olanları, Fe, Mn, Nb ve/veya fosfat, Pt, U'un yanısıra, boksit, Ni (Co) lateritler ve lateritik ve saprolitik Au yataklarıdır. Bozuşma, maden yatakları tiplerinin (Al, Fe, Ni, Cu, Au, Zn) birçoğunda cevher oluşturan ana işlemdir [2]. Al, Fe, Ni, Au gibi metaller ile ilgili lateritik bozuşmalar, kayacın mineralojik değişimi ve kütle transferi ile ilişkili olmasına karşın, süperjen Cu ve Zn yatakları sülfid oksidasyonunun yeniden depolanması ile ilişkilidir [3,4].

Dünya'nın tespit edilmiş nikel kaynakları oldukça geniş ölçekte yayılım sunmaktadır. Nikel, iki ana oluşum olan Ni-sülfidlerden ve Ni-lateritlerden elde edilmektedir. Bunlardan, Ni-sülfidler, Geç Arkean (2900My)'dan Permo-Triyas (270 My) zamanına kadar uzanan geniş bir zaman aralığında farklı jeolojik ortamlarda oluşmuş olan mafik ve/veya ultramafik magmatik kayalar ile ilişkilidirler [5]. Bu yataklarda pirotin, pentlandit ve kalkopirit egemen minerallerdir ve birçoğu Ni, Cu, Cu, Platinyum Grubu Elementleri (PGE) ve daha az Au, Ag, Cr ve Zn gibi metallere ev sahipliği yapmaktadır [6]. Ni-sülfid yatakları yaygın olarak Kanada (28.4 Mt), Rusya (27.5 Mt), Avustralya (12.9 Mt), Güney Afrika (12.9 Mt), ABD (8 Mt), Zimbabve (5.9 Mt), Çin (5.5 Mt), Finlandiya (0.23 Mt)'da bulunmaktadır (Şekil 1), [6].

Ni-lateritler, yüksek Ni (~2000 ppm) ve Co (~110 ppm) içeriklerine sahip olan ve Paleozoyik'ten Tersiyer'e kadar farklı jeolojik ortamlarda oluşmuş dunit (olivin), peridotit (olivin, piroksen, hornblend), piroksenit (orto-klinopiroksen), hornblendit (hornblend) ve serpantinit türü kayalardan meydana gelen ultramafik kayaların, tropikal iklim koşulları altında mekanik ve kimyasal olarak bozuşması ile oluşan kalıntı ürünlerdir ve ortalama %0.2-0.4 oranında Ni içermesi bakımından önemlidirler [7-12]. Ni-laterit yatakları, ilk kez J.Garnier tarafından 1864 yılında Yeni Kaledonya'da keşfedilmiştir. Dünyanın en geniş lateritik nikel yatağı olarak kabul edilen Yeni Kaledonya Ni-lateritleri, 1875 yılında işletilmeye başlanmıştır ve hala ekonomik anlamda işletilmektedir [13]. Dünya genelinde, %1 Ni veya daha fazla oranda bir ortalama tenör içeren Ni-lateritlerin toplam nikel rezervi 130 milyon tondur [14].

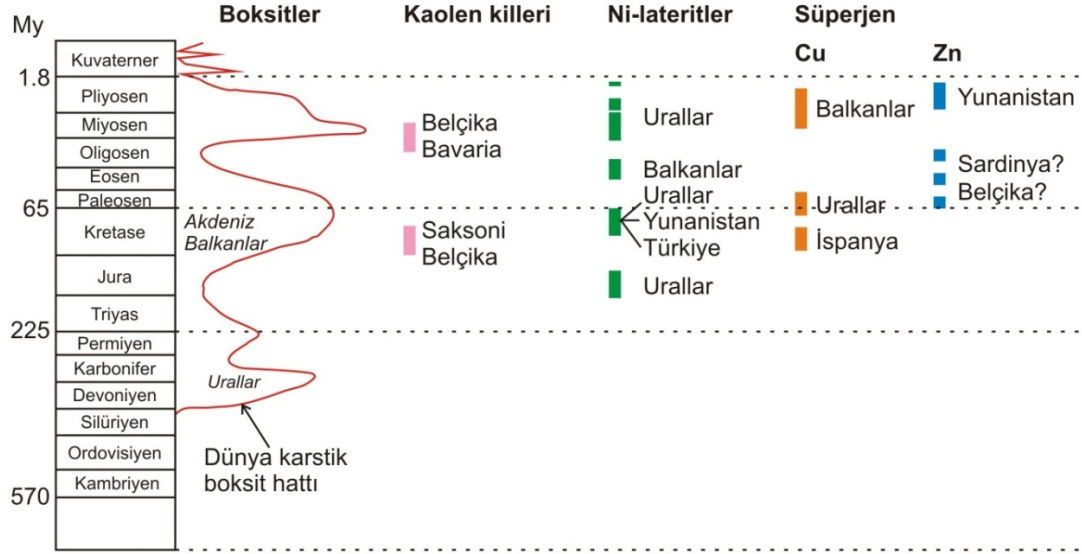
Bu kaynakların yaklaşık %40'ı sülfid yataklarında, geriye kalan %60'ı ise lateritik yataklarda bulunmaktadır (Şekil 1), [6]. Buna ek olarak, özellikle Pasifik ve Hint Okyanusu tabanında geniş alanlarda dağılım sunan derin deniz ortamlarında manganiz kabukları ve nodülleri de önemli miktarlarda nikel içermektedir [15, 16]. Derin-deniz nikel kaynakları, 290 milyon tonluk bir miktar ile yeryüzündeki toplam nikel kaynaklarının hemen hemen 2 katından daha fazladır. Çoğu lateritik nikel yatakları, tektonik olarak aktif çarpışma zonları ve nemli tropikal iklim kuşaklarının egemen

olduğu (Ekvatorun her iki tarafında 22°'lik bir enlem bantı içerisinde; Şekil 4) Yeni Kaledonya, Endonezya, Brezilya, Filipinler, Avustralya, Afrika, Kolombiya, Küba, Dominik Cumhuriyeti gibi ülkelerde gözlenmektedir [17,18], (Şekil 1). Bu tropikal iklim kuşaklarında yer alan lateritler toplam nikel kaynaklarının yaklaşık %70'ini temsil etmesine rağmen [17], henüz global ölçekte yıllık nikel üretiminin %30'dan daha az bir kısmı önem teşkil etmektedir.



Şekil 1. Ni-laterit ve Ni-sülfid yataklarının dünyadaki dağılımı [6, 17, 19].

Dünya genelinde nikel kaynaklarının yaklaşık %85'i Jura-Kretase [20-24] zaman aralığında oluşmuş, Miyosen-Pliyosen zamanında itilmiş ve bozmuş ofiyolitik birliklerde gelişen yığışım komplekslerinde bulunmaktadır [17]. Laterit kaynaklarının geriye kalan %15'i, Arkean ve Protorezoyik kuşaklarındaki tabakalı kompleksler ve komatitik oluşumlar üzerinde gelişen duraylı kratonik platformlarda yer almaktadır (Tablo 1). Peridotitler ve dunitler bakımından egemen olan komatitik litolojiler, tipik olarak orta-düşük rölyefe sahiptirler. Bu yataklara Batı Avustralya'nın Yilgarn Kratonu, Brezilya, Batı Afrika ve Ukrayna örnek olarak verilebilir [17, 19, 25]. Bununla birlikte, Tersiyer'den önce lateritik boksit oluşumları oldukça yaygın olmasına rağmen, bu zamanda Ni-laterit yatakları nadir olarak gözlenmektedir. Geniş alanlar kaplayan ve harzburjüt-dunit bakımından zengin ultramafik kayaçlar, Ni-laterit yatakları için önem teşkil etmektedirler. [26]'ya göre, laterit oluşumuna olanak sağlayan elverişli iklim koşullarının periyodları genel olarak Karbonifer, Geç Permiyen, Eosen-Oligosen, Miyosen ve Pliyosen'de oluşmaktadır. Paleozoyik ve Mesozoyik'deki Ni-lateritlerin oluşumuna elverişli iklim koşullarının periyodlarının bağlantısı henüz tam anlamıyla anlaşılammıştır [27]. Bozuşmanın gelişimi için elverişli periyotlar olan Kretase ve Tersiyer (Eosen-Miyosen) zaman periyodunda önemli Ni-laterit, boksit, kaolinitik killer ve süperjen sülfidlerden şekillenmiş Zn ve Cu yatakları gelişmiştir (Şekil 2), [2].



Şekil 2. Jeolojik zamanlarda bazı cevher tiplerinin ve Ni-lateritlerin oluşumu [1, 2, 26, 28-30].

2. Ni-Lateritlerin Sınıflaması

Ni-lateritler, ekonomik olarak işletilebilecek oranda Ni ve Co rezervleri içeren ultramafik kayalardan şekillenen regolit materyalleridir. Ni ve Co konsantrasyonları, ayrışan bir profil içerisindeki ünitelerde yada üniteye oluşur. Ana kaya, iklim, drenaj, jeomorfoloji ve bileşim baz alınarak Ni-lateritler ile ilgili farklı sınıflamalar literatürde mevcuttur [17, 31-36]. Ni-lateritler mineralojisine göre 3 ana tipe sınıflanabilmektedir [17]:

- I. **Tip A (Sulu Mg-silikat yataklar):** Alt-saprolit zonunda sulu Mg-Ni-silikatlar bakımından zengindir. Sulu Mg-silikat yatakları “garniyerit” şeklinde bilinen Ni-içeren hidrosilikatların ve talk, klorit, sepiyolit, serpantinitten başlıca nikelli türlerinden meydana gelen oldukça değişken bir mineralojiye sahiptir.
- II. **Tip B (Kil silikat yataklar):** Orta-üst saprolit zonunda yaygın olarak Ni-zengin simektit (örneğin; nontronit, saponit) içermektedir. Bu minerallerdeki nikel, %4’ün üzerinde ortalama konsantrasyon ile oktahedral tabakadaki Fe^{3+} ’ın yerine geçmekte veya yapısal tabakalar arasında tutunabilmektedir. Genellikle ortalama %1.21 (%1-1.5) Ni içerir.
- III. **Tip C (Oksit yataklar):** Pedolit-saprolit sınırında bir tabakada oluşan Fe-oksihidroksitler (örn. götit)’den meydana gelir. Literatürde yaygın olarak limonit şeklinde bilinen demir oksitler, bu yataklarda egemendir. Götit ve zayıf kristalleşmiş Fe-oksihidroksitler, bu yataktaki nikel ev sahipliği yapan ana minerallerdir. Deneysel çalışmalar götitin %5.4’ün üzerinde Ni içerdiğini göstermiştir [37]. Manganez oksitler (örn. asbolan, litoforit) yaygındır ve nikel-kobalt açısından zenginleşmektedir. Cevherli zonda daha az oranda bulunan diğer demir oksitler, düşük Ni içeriklerine sahiptir.

2.1. Jeokimya

Bir laterit profili içerisinde bozuşma süresince, birincil olarak bazı elementler ortamdaki uzaklaşırken, diğer elementler (örn. Ni, Mn, Co, Zn, Y) ikincil olarak zenginleşirler veya kalıntı şeklinde yoğunlaşırlar (örn. Fe, Cr, Al, Ti, Zr, Cu) [17]. Silikat yataklarının her iki tipi de düşük Si/Mg oranına sahiptir (Tip A: 2-4, Tip B: tipik olarak < 10). Tip

A'da demir içeriği %20'nin altındayken, Tip B'de bu oran %30'un üzerinde seyretmektedir ve yaklaşık pH 7.6-8.7 civarındadır. Tip C oksit yatakları düşük Si ve Mg, yüksek Fe (> %40) içeriklerine sahiptir ve pH 5.2-5.7 ile asidiktir. Cr ve Al içerikleri oksit zonunda birikme ile birlikte artmaktadır [17]. Sadece Ni, yer yer Co, önemli bir şekilde süperjen fazlarda zenginleşmektedir [38, 39].

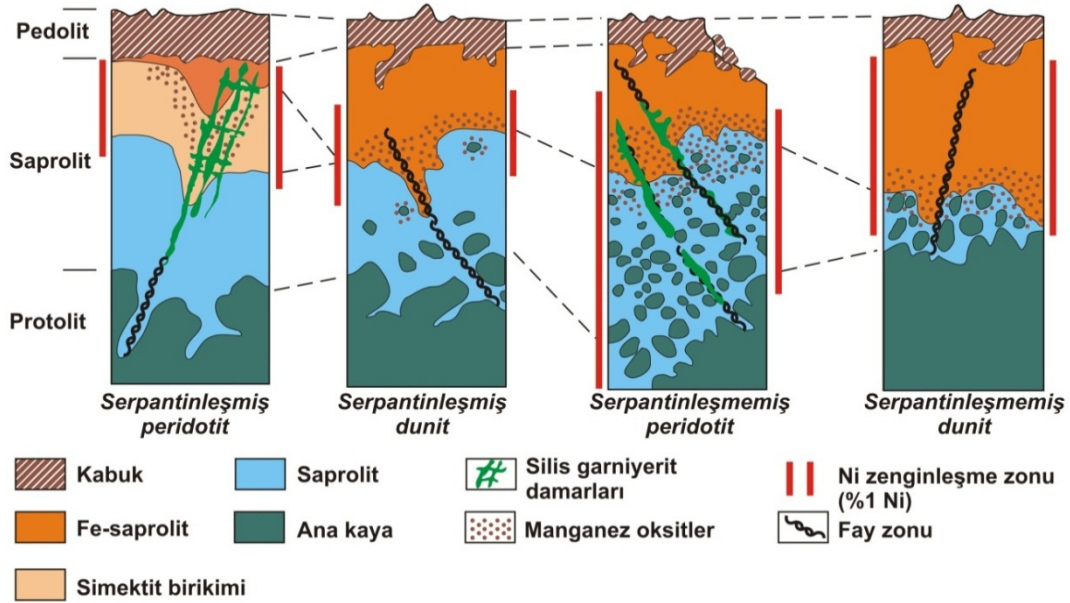
2.2. Ni-laterit profilinde regolit içerisinde nikel zenginleşmesi

Regolit, jeoloji literatürüne ilk kez [40] tarafından girmiştir. Regolit, bir bölgedeki yaşlı materyalin depolanması ve/veya taşınması, erozyonu ve bozulması ile şekillenen uygun bir temel kayayı üzerleyen ve parçalanmış, bozulmuş temel kayalar, saprolitler, toprak, organik malzemeler, volkanik materyal, alüvyon, evaporitik sedimentler, yer altı suyu içeren ikincil olarak çimentolanmış veya pekleşmemiş bir oluşum olarak ifade edilmektedir [41]. Regolitlerin ev sahipliği yaptığı Ni-laterit yatakları, yaygın olarak 10-50 m arasında kalınlık sunmaktadır. Regolitler tipik olarak 1) Saprolit, 2) Pedolit şeklinde 2 ana zondan meydana gelmektedir (Şekil 3). Oksit yataklarının tipik özelliği olan Mg'un ortamdan liç olması ile pedolit zonunda Ni ve Fe zenginleşir. Nikel, Fe-oks hidroksitlerin suyunu atması ve rekristalize olması ile serbest kalmaktadır ve yavaş yavaş düşey [42] ve yatay [43] yönde aşağıya doğru liç olmaktadır ve garniyerit yataklarının tipik özelliği olan saprolit içerisinde Si ve Mg ile birlikte tabanda birikmektedir. Simektit bakımından egemen olan profillerdeki Ni zenginleşmesi tipik olarak pedolit sınırının altındaki saprolit zonunda yüksektir (Şekil 3). Serbest silis ve yer yer karbonatların birikmesi, dunit litolojileri üzerinde gelişen profillerde boldur ve nikel sulandırıcı şekilde hareket ettirir [43, 44, 17].

2.3. İklim

Birçok Ni-laterit kaynakları ve onların ana maden işletmeleri, nemli (ova) (örn: Yeni Kaledonya, Brezilya, Küba), nemli tropikal (yağmur ormanı) (örn: Kolombiya, Filipinler, Endonezya) iklim kuşaklarında yer almaktadır. Çoğunlukla düşük-dereceli Akdeniz/nemli-ılıman (USA, Oregon), kısmen kuru (Batı Avustralya) iklimlerde gelişen birkaç Ni-laterit yatağı bilinmektedir [17]. Bununla birlikte, bu bölgelerin her ikisinde sıcak ve/veya nemli iklimler hakimdir. Bu nedenle, Ni-zenginleşmesi içeren regolitlerin birçoğu, kısmen de olsa daha önce bozulan rejimlerden bir kalıntıdır.

Oksit (Tip C) yatakları tüm iklim ortamlarını temsil etmektedirler, oysa garniyerit (Tip A) yatakları nemli, çoğunlukla tropikal iklimin hakim olduğu bölgelerde oluşur. Simektit (Tip B) yatakları çoğunlukla yarı-kurak bölgelerde görülmektedir. Bununla birlikte, bu dağılım için elde edilen sonuçlar henüz kesin değildir. Birincil minerallerin bozulmasından serbest kalan Mg ve Si, oksit yataklarının oluşumu ve Fe-Ni'in kalıntı konsantrasyonu ile sonuçlanarak liç olmaktadır. Bu mekanizma, geçmişte ya benzer iklim rejimleri altında ya da yarı tropikal iklim koşulları altında oluşmuştu. Bundan dolayı, Tip C yataklarının oluşumu geniş alana yayılmaktadır. Yarı-kurak iklim bölgelerinde görülen Tip B yataklarının oluşumu, simektitin oluşumunun genel koşulları ile uygundur, ancak derin profiller bu iklimlerde gelişebileceği muhtemel değildir. Burada kalın regolit kalıcıdır, garniyeritler nadirdir, böylece Ni-içeren simektitler olağandışı bir litolojinin nemli iklim koşulları altında bozulmasının ilk ürünü şeklinde olabilir veya daha önceden var olan bir regolitin kuru iklim değişikliğini ifade edebilir. Benzer bir şekilde, daha önceden derin bozulmanın nemli olayları olmasına karşın, bazı bölgelerdeki garniyerit yataklarının yokluğu, diğer faktörlerin silika yataklarının kökeninde etkin olduğunu göstermektedir [17].



Şekil 3. Ni-laterit profilleri ve cevher tiplerinin dağılımı [17, 35].

Tablo 1. Nikel laterit oluşumunu ve yayılımını kontrol eden faktörler [31].

Faktörler	Tip A (Sulu Mg-silikat)	Tip B (Kil silikat)	Tip C (Oksit)
İklim	Nemli, tropikal iklimler	Nemli; yarı-kuru iklimler	Tüm iklim koşulları
Rölyef	Orta	Orta-düşük	Orta-düşük
Drenaj sistemi	Açık	Engelli	Açık veya engelli
Tektonizma	Yükselme	Yükselme ile engelli	Yükselme
Birincil yapı	Açık kırıklar boyunca bozuşmanın artması ve Ni zenginleşmesi	Bazı yapılar üzerinde zenginleşme. Faylar ile engellenmiş drenaj sisteminin geliştiği yerlerde yükselme	Açık kırıklar boyunca bozuşmanın artması ve Ni zenginleşmesi
Birincil litoloji (sadece olivin-içeren ultramafik kayalar)	Peridotit>dunit	Peridotit>>dunit	Dunit ve peridotit

Litoloji: Olivin ortokümülat, mezokümülat litolojileri Ni-lateritlerin protolitlerini (köken kayaları) şekillendirir. Lokal ölçekte, tektonik yükselimler ve iklim gibi faktörlerin etkin olduğu bölgelerde, ultramafik litolojiler Ni-lateritleri oluştururlar. Bu durum, Batı Avustralya'daki Yilgarn Kratonu'nda olivin ortokümülat litolojilerindeki simektit Ni-silikat oluşumlarında gözlenebilmektedir. Birincil metamorfizmanın (sulu bileşimler, karbonat gelişimi) derecesi, şekillenen Ni-lateritlerin karakteristikleri üzerinde etkilidir. Aksine, faylanma ile ilişkili Ni-zengin talk mineralleri egemen olmasına rağmen, talk-karbonat bakımından zengin altere olivin kümülatları regolitlerde ekonomik anlamda Ni zenginleşmeleri göstermezler [17].

3. Ni-Lateritler İçin Arama Kriterleri

Olivin bakımından zengin litolojiler ve bu litolojilerin metamorfik karşılıkları ile ilgili masifler yüksek tonajlı, düşük değerli açık-maden işletmelerini destekleyen Ni-laterit yataklarına ev sahipliği yapmaktadır. Ni-lateritlerin bilinen oluşumlarının bölgesel ölçekte jeolojik haritalarının ortaya çıkartılması, havadan manyetik jeofizik yöntemler

ile izlenmesi hedef alanları tanımlamak için gereklidir. Daha sonra, olivince zengin litolojilerin geçirmezlik bariyerleri, faylanmalar ve yapısal unsurların saptanması amacıyla yapılacak olan detaylı bir lokal haritalama ve jeofizik metodlar (örneğin; manyetik, elektrik) gerekli yöntemlerdir. Regolit alanlarının haritalanması ve regolitin dağılımı ve doğasını saptamak için özellikle Ni zenginleşmelerinin olduğu alanlarda sondaj işlemleri gibi uygulamalar bunlara eşlik etmelidir. Bu safhalardan sonra, özellikle ayrılmış bir ultramafik istifin regolit seviyelerinin yerinde örnekleme ve bölgesel sondaj uygulamaları, nikel dağılımını aydınlatmada kullanılabilir. Ni-zengin zonların ortaya çıkartılmasında kullanılacak sondaj uygulamalarını takiben, jeokimya ve mineraloji çalışmaları Ni-lateritin jeolojik ve metalurjik karakteristikleri üzerinde değerli bilgiler sağlayacaktır. Metalurjik amaçlar için analiz edilen sondaj karot örnekleri bölgedeki elementlerin (Ni, Co, Mn, Cr, Mg, Fe, Si, Al) zenginleşip zenginleşmediği hakkında değerli ve kullanılabilir değerler verecektir [17]. Buna Güneydoğu Kamerun örnek olarak verilebilir. Kamerun'da havadan jeofizik yöntemler ve sondaj uygulamaları kullanılarak bir maden arama projesi geliştirilmiş ve bu çalışmada 4 ayrı ultramafik kayaç grubu tanımlanmıştır. Oldukça güçlü bir şekilde bozmuş bu serpantinleşmiş ultramafik kayaç grubunu örten kalın bir lateritik profilde ortalama 107 tonluk bir rezerv ile %0.8 Ni, %0.1 Co zenginleşmesi tespit edilmiştir [45, 46].

4. Ni-Lateritlerin Önemi

Ni-Lateritler, %1'den daha fazla nikel içermesi açısından önemli oluşumlardır ve lateritler ile ilişkili nikel oluşumları, dünya rezervinin yaklaşık %72'sini içermesi bakımından önemlidir. Dünya'daki önemli nikel yatakları Yeni Kalendonya, Avustralya, Filipinler, Endonezya, G.Amerika, Afrika, Karayipler, Asya-Avrupa ve diğer bazı ülkelerde bulunmaktadır. Geriye kalan nikelin %28'lik kısmı birincil olarak Rusya ve Kanada'da bulunan sülfidlerden elde edilmektedir [12, 13]. Dünya genelindeki lateritik oluşumlar, nikelin ana kökeni olarak kabul edilmektedir. Yeni Kaledonya'nın Ni-zengin laterit yatakları 19. Yüzyılın sonlarında işletilmeye başlanmıştır. 20. Yüzyılın ortalarında Sudbury sülfid yataklarının keşfedilmesi ile araştırmalar Ni-sülfidler üzerine yoğunlaştırılmıştır [47]. Nikelin ana kökeni olarak sülfid cevherleşmelerinin yaygınlığı şimdiye kadar değişmemiştir. Böylece, dünya genelindeki lateritik yataklar %72 nikel kaynağı olarak kabul edilmesine rağmen, dünya nikel üretiminin sadece %42'si lateritik yataklardan elde edilmektedir. Nikel üretimi ve bu metale olan talep 1950'den bu yana devam etmektedir. 1950-2003 yılları arasında nikel üretimi yaklaşık olarak 8 kat artmıştır [12]. 1950'de lateritlere bağlı olarak oluşmuş nikel, üretimin sadece küçük bir parçasını teşkil etmesine karşın, 2003'de laterit kökenli nikel, %42'lere ulaşmıştır. Nikel talebindeki artış, ekonomik döngüleri de takip etmektedir. Bununla birlikte, dünyadaki tüm nikel üretimi ne olursa olsun, yaklaşık %4'lük bir oran artışı görülmektedir [12].

5. Nikelin Kullanım Alanları

Yer kabuğundaki belli başlı elementlerden olan nikel, yüz yıla yakın bir süredir endüstriyel alanda kullanım alanı bulmaktadır. Nikel, sahip olduğu nitelikler nedeniyle endüstride en çok kullanılan metallardan sadece biridir. Gerek metal ve demirsiz alaşımları, gerekse paslanmaz çelik ve kaplama alanında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Nikelin sahip olduğu iyi mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençten dolayı, ticari olarak saf olan (%99.5)

dövülmüş ve dökülmüş haldeki nikelin endüstri bakımından geniş ve önemli kullanım alanları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, nikel kolaylıkla soğuk ve sıcak işlenebilir, kaynak edilebilir ve tornadan geçirilebilir, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda ise sünekliğini ve tokluğunu olduğu kadar mukavemetini de mükemmel derecede korumaktadır. İşlenmiş nikel, mekanik özelliklerinin çoğu bakımından yumuşak çeliğe benzer, ancak çeliğin aksine korozyona karşı yüksek bir mukavemet gösterir. Nikelin korozyona karşı dayanıklı bir metal olarak en fazla göze çarpan özelliklerinden biri de alüminyumun aksine alkalilerin etkisine karşın tam bir mukavemete sahip olmasıdır. Nikel yüksek sıcaklıklarda kırılma hale gelmez. Soğukta ferromanyetik olan nikel 370°C’de bu özelliğini kaybeder. Tel ve levha haline getirilebilir. Toz halindeki nikel önemli bir indirgeme katalizör olmasından dolayı, sıvı yağların katılaştırılmasında yararlanılmaktadır [48]. Son yıllarda, nikel aranan bir metal haline gelmiştir. En fazla paslanmaz çelik üretiminde kullanılan nikelin dünya piyasalarında 2008 yılında değeri %50 artmıştır. Bu yönü ile nikel aranan bir metal olma özelliğini hala sürdürmektedir.

2001-2005 yılları arasında dünya nikel metal üretimi, düzenli olarak yılda %3’lük bir artış göstermiştir. Nikel metal üretiminde Rusya, Japonya, Kanada, Avustralya, Çin, Norveç ve Kolombiya başlıca ülkeler olup, %55’i başta Rusya olmak üzere dünya nikel metal üretiminin yaklaşık %72’si bu ülkeler tarafından yapılmaktadır. Nikel tüketiminde Çin, Japonya, ABD, Almanya ve Güney Kore ilk sıralarda yer almasına rağmen, bu ülkeler nikel ihtiyaçlarını dışalım yoluyla karşılamaktadır. Dünya genelinde nikel, Ni-lateritler ve Ni-sülfidlerden elde edilmekte olup, mevcut nikel rezervleri toplamı 62 milyon ton civarındadır. Bu rezervlerin %35’i Avustralya’da, %11’i Rusya’da, %9’u Küba’da, %8’i Kanada’da, %7’si Brezilya’da, %7’si Yeni Kaledonya’da, kalan %23’ü ise diğer ülkelerde bulunmaktadır. Londra Metal Borsası’nda (LMB) işlem gören nikel, alüminyum, bakır, kalay, çinko, kurşun ve çelik metallerin fiyatları dünya üzerinde oluşan arz-talebe göre belirlenmekte olup, bu fiyatlar dünya metal ticaretinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Arz ve talepteki dengesizliklerden dolayı düşmeler ve yükselişler olmasına karşın, nikel fiyatları 10 bin ile 15 bin ABD \$’ı arasında bir bantta seyretilmektedir[49].

Kaynaklar

- [1]. Freyssinet, Ph., Butt, C.R.M., Morris, R.C., Piantone, P. Ore-forming processes related to lateritic weathering, **Economic Geology 100th Anniversary Volume**, 681-722, (2005).
- [2]. Heerington, R., Boni, M., Skarpelis, N., Large, D. Palaeoclimate, weathering and ore deposits – a European perspective. **Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting**, Dublin, 1373-1376, (2007).
- [3]. Hitzman, M.W., Reynolds, N., Sangster, D.F., Allen, C.R., and Carman, C. Classification, Genesis, and Exploration Guides for Non-Sulfide Zinc Deposits: **Economic Geology**, 98, 685-714, (2003).
- [4]. [4] Sillitoe, R.H. Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits, **Economic Geology 100th Anniversary Volume**, 723-768, (2005).
- [5]. Naldrett, A.J. Key factors in the genesis of Noril’sk, Sudbury, Jinchuan, Voisey’s Bay and other world-class Ni-Cu-PGE deposits: implications for exploration. **Australian Journal of Earth Sciences**, 44, 283-315, (1997).

- [6]. Hoatson, D.M., Jaireth, S., Jaques, A.L. Nickel sulfide deposits in Australia: Characteristics, resources, and potential. **Ore Geology Reviews** 29, 177-241, (2006).
- [7]. Krauskopf, K.B. Introduction to Geochemistry. McGraw-Hill and Kogakusha, 617, (1979).
- [8]. Ross, A.W., Hawkes, H.E., Webb, J.S. **Geochemistry in Mineral Exploration**. Academic Press Inc. (London). Ltd. 635, (1979).
- [9]. Trescases, J.J. Nickeliferous laterites: a review on the contributions of the last ten years. **Prem. Geol. Survey India** 120, 51-62, (1986).
- [10]. Trescases, J.J. Les gisements late´ritiques de nickel. Coll ‘‘Se´dimentologie et ge´ochimie de la surface. Les coll. de l’Acade´mie des Sciences et du Casa, 101-110, (1993).
- [11]. Barnes, J.W. Ore and Minerals. **Introducing Economic Geology**. Open University Press. 181, (1988).
- [12]. Dalvi, A.D., Bacon, W.G., Osborne, R.C. The past and future of nickel laterites, **PDAC International Convention**, Trade Show & Investors Exchange, 7-10 March, 1-27, (2004).
- [13]. Sudol, S. The thunder from down under: everything you wanted to know about laterites but were afraid to ask, **Canadian Mining Journal**, (2005).
- [14]. Kuck, P.H. Nickel. United States Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2006. **United States Geological Survey**, 116-117, (2006).
- [15]. Rona, P.A., Scott, S.D. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization: New Perspectives. **Economic Geology**. 88, 1935-1975, (1994).
- [16]. Rona, P.A. Resources of the Sea Floor. **Science**. 299, 673-674, (2003).
- [17]. Brand, N.W., Butt, C.R.M., Elias, M. Nickel laterites: classification and features: **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, 17, 81-88, (1998).
- [18]. Lewis, J.F., Draper, G., Proenza, J.A., Espaillet, J., Jimenez, J. Ophiolite-related ultramafic rocks (serpentinites) in the Caribbean Region: A review of their occurrence, composition, origin, emplacement and Ni-laterite soil formation. **Geologica Acta**, 4, 237-263, (2006).
- [19]. Elias, M. Nickel laterite deposits – Geological overview, resources and exploitation. In: David, R.C., June, P. (Eds.), Giant ore Deposits: Characteristics, Genesis and Exploration. **Codes Special Publication**, 4, 205–220, (2002).
- [20]. Valetou, I., Biermann, M., Reche, R., Rosenberg, F. Genesis of Ni-laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous and their relation to ultrabasic parent rocks. **Ore Geology Review**, 2, 359-404, (1987).
- [21]. Economou-Eliopoulos, M., Eliopoulos, D., Laskou, M. Mineralogical and geochemical characteristics of Ni-laterites from Greece and Yugoslavia: plate tectonic aspects of the Alpine metallogeny in the Carpatho-Balkan region. In: Proceedings of the Annual Meeting of IGCP Project 356, 2, 113-120, (1996).
- [22]. Economou-Eliopoulos, M., Eliopoulos, D., Apostolikas, A., Maglaras, K. Precious and rare earth element distribution in Ni-laterites from Lokris area, Central Greece. Papunen, H. (eds.) Miner. Deposits: Res. Explor., Where do they Meet?, 411–414, Balkema, Rotterdam, (1997).
- [23]. Eliopoulos, D.G., Economou-Eliopoulos, M. Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-Ni and bauxitic-laterite deposits of Greece. **Ore Geology Reviews** 16, 41-58, (2000).
- [24]. Skarpelis, N. Lateritization processes of ultramafic rocks in Cretaceous times: The fossil weathering crusts of mainland Greece, **Journal of Geochemical Exploration** 88, 325- 328, (2006).

- [25]. Gleeson, S.A., Butt, C.M.R., Elias, M. Nickel laterites: a review. SEG Newsletter Soc. **Econ. Geosci.** 54, 9-16, (2003).
- [26]. Bardossy G., Aleva, G.J.J. Lateritic bauxites: Amsterdam, **Elsevier**, 624 (1990).
- [27]. Sarah, A.G. Nickel Laterites Through Geological Time. Salt Lake City Annual Meeting (October 16-19, 2005) **General Information for this Meeting**, (2005).
- [28]. Skarpelis, N. Eocene nickel laterites in Greece and Albania. In: **Proceedings 4th Biennial SGA Meeting**, (Pappunen, H. ed), 503-506, (1997).
- [29]. Herrington R.J., Zaykov, V.V., Maslennikov, V.V., Brown, D., Puchkov, V.N. Mineral Deposits of the Urals and Links to Geodynamic Evolution, **Economic Geology** 100th Anniversary Volume, 1069-1095, (2005).
- [30]. Boni, M., Large, D. Non-sulfide Zinc Mineralization in Europe: An Overview. **Economic Geology**, 98(4), 715-729, (2003).
- [31]. Butt, C.R.M. Nickel laterites and bauxites. CSIRO Australia, **Division of Mineralogy**, Perth. Report FP12, 34, (1975).
- [32]. Glazkovsky, A.A., Gorbunov, G.I., and Sysoev, F.A. Deposits of nickel, *in* Smirnov, V.I., ed., **Ore deposits of the USSR**: London, Pitman, 2, 3-79 (1977).
- [33]. Golightly, J.P., Nickeliferous laterites: A general description, *in* Evans, D.J.I., Shoemaker, R.S. and Veltman, H., eds., International Laterite Symposium: New York, **Society of Mining Engineers**, 3-23. (1979a)
- [34]. Golightly, J.P., Geology of Soroako nickeliferous laterite deposits, *in* Evans, D.J.I., Shoemaker, R.S. and Veltman, H., eds., International Laterite Symposium: New York, **Society of Mining Engineers**, 38-56. (1979b).
- [35]. Alcock, R.A. The Character and Resources Available to the Nickel Industry, Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt: Proceedings of a Symposium, The Metallurgical Society, C.P. Tyroler and C. A. Landolt Ed., 117th TMS Annual Meeting, Phoenix, Arizona, 67-89 (1988).
- [36]. Tardy, Y., Boeglin, J.L., Novikoff, A., Roquin, C. Petrological and geochemical classification of laterites. Clays controlling the Environment. 10th International Clays Conference. Published by CSIRO Publishing, Australia. 481-486, (1995).
- [37]. Gerth, J. Unit-cell dimensions of pure and trace metal-associated goethite. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 54, 363-371, (1990).
- [38]. Golightly, J. P. Nickeliferous laterite deposits. **Economic Geology**, 75th Anniversary Volume, 710-735, (1981).
- [39]. Llorca, S., Monchoux, P. Supergene cobalt minerals from New Caledonia. *Can. Miner.* 29, 149-161, (1991).
- [40]. Merrill, G.P. Rocks, rock-weathering and soils. New York. MacMillan Company, 411, (1897).
- [41]. Eggleton, R.A. eds. **The Regolith Glossary**. CRC LEME 144, (2001).
- [42]. Avias, J.V. Role de l'hydrogeologie dans la genese, le deplacement et la destruction des gites nickeliferes alteritiques riches, d'apres l'exemple de la Nouvelle-Caledonie et des iles Philippines. In: Implications de l'hydrologie dans les autres sciences de la tere, I.H.E.S. Symposium, Montpellier, 11-16 Sept., 1978, Mem. Hors ser. CERGH-USTL, Montpellier, 179-188 (In French). (1978)
- [43]. De Vletter, D.R. How Cuban nickel ore was formed-a lesson in laterite genesis. **Engineering and Mining Journal**, 156, 84-87, (1955).
- [44]. Butt, C.R.M., Sheppy, N.R. Geochemical exploration problems in Western Australia exemplified by the Mt.Keith area. In: Elliott, I.L. & Fletcher, W.K. (eds.), Geochemical exploration 1974. **Developments in Economic Geology**, 1. Elsevier, Amsterdam, 392-415, (1975).

- [45]. PRMSEC (Projet de Recherches Minie`res du Sud-Est du Cameroun) Pre`sence de late`rites nickelife`res sur roches ultrabasiqes. Actes Se`m. Int. late`rites Douala, 1986. ORSTOM, 323-336, (1987).
- [46]. Yongue-Fouateu, R., Ghogomu, R.T., Penaye, J., Ekodeck, G.E., Stendal, H., Colin, F. Nickel and cobalt distribution in the laterites of the Lomie` region, south-east Cameroon. **Journal of African Earth Sciences**, 45, 33-47. (2006).
- [47]. Boldt, J. R. Queneau, P. The Winning of Nickel, Longmans Canada Ltd. Toronto, 387-453, (1967).
- [48]. DPT. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu: Diğere Metal Madenler Çalışma Grubu Raporu, Antimuan-Tungsten-Nikel-Vanadyum-Molibden-Kalay-Manganez. 2629 - ÖİK: 640, 79 , (2001).
- [49]. Sardes Madencilik A.Ş., www.bnm.com.tr, Erişim tarihi: 10.10.2014