





Okyanus ve Deniz Altı Madenciliğinin Kısa Tarihçesi

A Brief History of Ocean and Undersea Mining

Arman Ehsani* , Osman Sivrikaya 

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Maden ve Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Öz

Bu çalışmada okyanus ve deniz altı madenciliğinin tarihsel gelişimine kısa ve özet bir şekilde değinilmiştir. Okyanuslar ve denizler dünyamızın yaklaşık % 71'ini kapsamaktadır. Deniz altı ve okyanus madenciliğinin gelişimi deniz-okyanus bilimi (oşinografi) çalışmaları kapsamında hayata geçmiştir. Deniz ve deniz altı ile ilgili ilk araştırmalar M.Ö. 2000 yıllarında Giritliler ve Fenikeliler tarafından gerçekleştirilmiştir. Oşinografi dalında modern teknikler ile yapılan ilk araştırma, 1855 yılında okyanusların derinliğinin ölçülmesi (bathymetric) çalışmaları olarak göze çarpmaktadır. British Challenger gemisi ile 1872 yılında 4 yıl süren bir araştırma seyahatinde Kuzey Kutbu Denizi hariç bütün okyanus ve denizler gezilerek mangan içeren yumrulu yataklar saptanmıştır. 1968 yılında Golmar Challenger denizaltı aracı, deniz altı ve okyanus tabanı hakkında inceleme çalışmalarına başlamıştır. 2005 yılında ise ilk okyanus-deniz altı madenciliği uygulaması olan Solwara projesinin ilk sondaj çalışmaları Papua Yeni Gine açıklarında başlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Deniz altı ve okyanus madenciliği, Mn nodülleri, Oşinografi, Challenger, Solwara

Abstract

In this study, the historical development of the ocean and undersea mining has been discussed briefly. The oceans and seas cover about 71% of the earth surface area. The development of the deep-sea and ocean mining has passed through the sea and ocean science (oceanographic) studies. The first studies about sea and submarine carried out by the Cretans and Phoenicians in 2000 B.C. Besides, the first oceanographic studies with the modern techniques have been striking as the bathymetric studies of the ocean in 1855. The British Challenger vessel started a trip that lasted for four years in 1872, discovered all the oceans and seas (except for the Arctic Ocean) and found manganese nodule deposits on the seabed. In 1968, the Golmar Challenger submarine began exploring the submarine and ocean basin. In 2005, the first drilling activities of the Solwara project, the first ocean-undersea mining project, began on the Papua New Guinea.

Keywords: Undersea, Ocean, and Marine mining, Mn nodules, Oceanography, Challenger, Solwara


1. Giriş


Okyanuslar ve denizler dünyamızın yaklaşık %71'ini kapsamaktadır. Okyanuslar yeryüzünde ortalama derinliği 3730 m olan 361 milyon km²'lik bir alanı kapsar ve derinlik dağılımına göre başlıca iki bölgeye ayrılır: bunlar kıta sahanlığı alanı ve açık su kesimidir. Açık sulara okyanusların en derin yeri 10920 m ile Filipinlerdeki Mariana Çukurudur. Açık sular ve kıyı arasında kıta sahanlığı ve kıta yamacı bölgeleri yer alır. Kıta sahanlığı genellikle 200 m derinlik sınırı ile tanımlanan az eğimli bölgeleri kapsamakla birlikte kanyonlar, adalar ve yükseltiler gibi düzensiz topografya

ile sıkça bölünür. Kıta sahanlığından sonra hızla artan bir eğimle kıta yamacı, eğimin tekrar düzleştiği geniş açık su okyanus alanlarını kapsayan derin tabana ulaşır (Brooks 1993, Vidarthi 2005, Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010, Ehsani 2011, Ehsani ve Kesimal 2015).

Modern bir madencilik tekniği olarak deniz altı ve okyanus madenciliğinde, 1970'li yıllarından itibaren çeşitli metallerin fiyat artışı ve Mn gibi (yumrulu-nodül Mn yatakları) alaşımli çelik üretiminde stratejik öneme sahip olan metallerin arz güvenliğinin sağlanması amacı ile okyanus ve deniz altı mineral kaynaklarının yeryüzüne çıkarılıp işletmek için araştırma ve geliştirilme çalışmaları başlamıştır. Ayrıca, 1979 yılında pasifik okyanusunun doğusunda (Meksika açıklarında) ilk kez baca şekline benzer polimetalik (Cu, Zn, Pb, vd) masif sülfid yığınlarına rastlanmıştır (Rona 1983,

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: aehsani@adanabtu.edu.tr

Arman Ehsani  orcid.org/0000-0002-1758-8694

Osman Sivrikaya  orcid.org/0000-0001-8146-5747

Rona 1984, Rona 2008, Halfar ve Fujita 2002, ISA 2008, Ehsani 2011, Ehsani ve Kesimal 2015).

Bu derleme çalışmasında, okyanus ve deniz altı çalışmaları ve madenciliğinin tarihi serüveni kısa bir şekilde anlatılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

2. Okyanus ve Deniz Altı Bilimi ve Önemi

2.1. Okyanus ve Deniz Altı Bilimi (Oşinografi)

Oşinografi ya da okyanus bilimi; okyanusları ve denizleri inceleyen bilim dalıdır ve okyanuslar ve onlarla ilişkili ekosistemleri, kimyasal ve fiziksel süreçleri inceler. Diğer bir ifade ile deniz bilimleri denizlerdeki yaşam bölgelerinin yapısını, kara ve atmosferle olan etkileşimlerini araştırır (Garisson 2002, Sverdrup ve Armbrust 2008).

Fiziksel ve kimyasal oşinografi, deniz biyolojisi ve balıkçılık, deniz jeolojisi ve deniz jeofiziği gibi alt dallara ayrılır. Deniz bilimleri birçok farklı disiplini kapsamaktadır ve aynı nedenle denizle ilgili sorunların çözümü de farklı alanlarda uzmanlaşmış bilim insanlarının ortaklaşa çalışmasını gerektirmektedir (Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010, Okyanus bilimi 2016).

Bilim olarak oşinografi oldukça genç bir bilim dalı gibi gözükse de kökeni insanlığın doğa hakkında ilk soruları sormaya başladığı güne kadar götürülebilir (Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010).

Oşinografide geleneksel olarak dört alt çalışma alanı vardır: fiziksel, kimyasal, jeolojik ve biyolojik oşinografi. Zaten doğası gereği disiplinler arası olan bu bilim, bu dört alandan öteye de taşmış durumdadır. Uzaktan algılama sistemleri ve moleküler çalışmalar da buna eklenebilir. Karadeniz, Akdeniz, Marmara, Boğazlar ve Hazar Denizi komşuluğuyla ülkemiz oşinografik araştırmanın topluma en çok yarar sağlayabileceği, eşi bulunmaz bir konumdadır ve aslında aşağıda kısa tarihçesine yer verilen oşinografinin beşiğidir. İlk deniz coğrafyası çalışmaları ve okyanus bilimine temel olan araştırmalar, eski medeniyetin merkezi olan bölgemizde yapılmıştır. Bu çalışmaların günümüzde ve geleceğe yönelik ülkemizde sürdürülmesi büyük bir önem arz etmektedir (Garisson 2002, Sverdrup ve Armbrust 2008, Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010, Okyanus bilimi 2016).

2.2. Denizel Ortamların Sosyo-Ekonomik Önemi

Denizel ortamlar, uranyum mineralleri dâhil yaklaşık 60'a yakın çözülmüş minerali içermekle birlikte bütün dünya ve özellikle de az gelişmiş ve gelişmemiş ülkeler için besin ve protein kaynağıdır. Bununla birlikte, denizcilik

ve balıkçılık birçok ülkenin ana ekonomik getirisini teşkil etmektedir. Ayrıca, Deniz ve okyanus tabanları petrol ve doğalgaz rezervlerinin önemli bir bölümünü kapsamaktadır. Kısaca, denizel ortamlar neredeyse bütün ülkeler için besin, ekonomik getiri ve enerji kaynağıdır (Çetinçelik 1969, Rona 1983, Vidyarthi 2005, Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010, Ehsani 2011, Ehsani ve Kesimal 2015, Karapınar 2015).

3. Okyanus ve Denizaltı Çalışmalarının Tarihsel Gelişimi

3.1. Oşinografik Çalışmalar

Tarihsel gelişim olarak, oşinografinin (okyanus-deniz bilimi) temeli deniz ve okyanus seyahatlerine dayanmaktadır. Modern anlamda oşinografik çalışmalar ise teknolojik gelişmeler ile çok daha sonra (16 ve 17.yy) gerçekleşmiştir (Ehsani 2011, Ehsani ve Kesimal 2015).

Eski çağlarda deniz ve okyanuslar hakkında bilgiler, balıkçılık faaliyeti ile birlikte Mısırlı deniz tüccarları ve gezginleri tarafından bir araya getirilmiştir. Bilinen ilk deniz seyahati M.Ö. 3200 yıllarında Mısır Kralı Snefru tarafından gerçekleştirilmiştir. Tarihte keşif amaçlı yazılı olarak belgelenen ilk deniz seferi ise Mısırlı Hannu tarafından M.Ö. 2600 yıllarında Kızıldeniz ve Arap yarımadasının güney bölgelerinde gerçekleştirilmiştir (Sverdrup ve Armbrust 2008).

M.Ö. 2500 yılında Pasifik Okyanusunun güney bölgelerinde büyük göç hareketleri meydana gelmiştir. Bu göç hareketleri sonucunda M.Ö. 1500 yılında güneydoğu Asya'dan bir kısım Polenezyalılar (Avustronezyalılar) gemilerle Hint Okyanusunu geçerek Madagaskar Adasına ulaşmışlardır. Diğerleri ise Pasifik Okyanusunun büyük bir kısmını kat ederek Hawaii Adalarına varmışlardır. M.Ö. 450 yılında ise Hawaii adaları Polenezyalılar tarafından tamamen sömürgeleştirilmiştir. Deniz ve deniz altı ile ilgili ilk araştırmalar M.Ö. 2000-1200 yılları arasında Akdeniz ve Ege Denizinde Giritliler ve Fenikeliler tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu araştırmalar yer bulma ve konum belirleme aletlerinin eksikliğinden dolayı kıyıya yakın bir durumda (karayı görececek şekilde) gerçekleşmiştir. Ayrıca Fenikeliler M.Ö. 590 yılında Akdeniz'den kuzeye doğru deniz seyahatini gerçekleştirerek Britanya Adasını keşfetmişlerdir. Fenikeliler o dönemde ilk ve tek deniz gücü sahibi olan topluluk olarak göze çarpmaktadır. M.Ö. 1500 yıllarında Mezopotamya ve Ortadoğu halkları Hint Okyanusunda çeşitli seyahatler gerçekleştirmişlerdir. M.Ö. 900-700 yılları arasında ise

Mısır-İskenderiye'de kütüphanelerin kurulması ile Giritliler deniz coğrafyası ile ilgili araştırmaları başlatmışlardır. M.Ö. 500 yıllarında ise Pers İmparatorluğu gemileri Hint Okyanus, Basra Körfezi, Kızıldeniz ve Akdeniz'de çeşitli deniz seyahatleri gerçekleştirdiler (Sverdrup ve Armbrust 2008, Frater 2009, Ehsani 2011).

Bugünkü anlamıyla oşinografi biliminin temelini oluşturacak adımlar, 1679-1680 yıllarında o günlerin dünyasında en önemli merkez olan İstanbul Boğazı'nda Marsigli'nin bilimsel yöntemi ilk kez kullanarak gerçekleştirdiği araştırmalarla atılmıştır. Türkiye'de denizcilikle ilgili çalışmalar, 1909'da kurulan ve merkezi İstanbul'da olan seyir, hidrografi ve oşinografi dairesi tarafından başlamıştır. Bu kuruluşta şu anda çeşitli denemeler ve ölçmeler için çeşitli hassas enstrümanlar ve araçlar (karotiyerler, ultrasonik araçlar, akustik pülsatörler ve detektörler) bulunmaktadır. Söz konusu kuruluşta birçok deneyimli ve kalifiye askeri ve sivil teknisyen ve uzman çalışmıştır ve halen çalışmaktadır. Bu kuruluşta daha çok deniz haritaları elde etme, denizin biyolojik, jeolojik ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır (Çetinçelik 1969, Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010).

3.2. Okyanus ve Deniz Altı Madencilik Çalışmaları

Günümüzde, mineral kaynaklarının yeryüzünde ve karasal bölgelerde elde etme ve çıkarma işlemleri zorlaşmaktadır. Ayrıca derin deniz araştırmaları sonucunda ekonomik olarak zengin cevher yatakları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu kaynaklar önümüzdeki on yılda madencilik için uygun olabileme potansiyeline sahiptir (Birney vd. 2006).

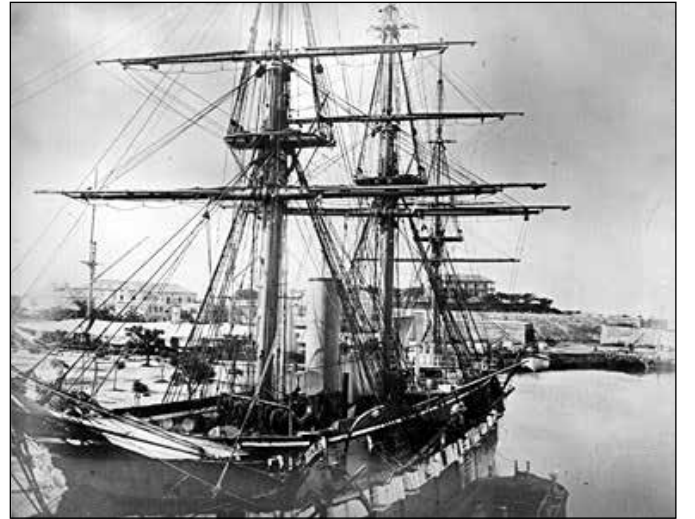
Daha önceki bölümde kısaca değinildiği üzere, okyanus ve deniz altında modern teknikler ile ilk araştırma, 1855 tarihinde okyanusların derinliğini ölçme (bathymetric) çalışmaları olarak başlamıştır (Vidyarthi 2005). İlk olarak 1873 yılında derin deniz manganez yumruları-nodülleri, H.M.S. Challenger (Şekil 1.) seferinde keşfedilmiştir. Mn nodülleri hakkında çalışmalar 20. yüzyılın ilk yarısı boyunca birçok bilimsel yolculuğa konu olmuş ve bu konuda hatırı sayılır miktarda numune alınmış, bilgi ve belge elde edilmiştir.

Ayrıca, literatürde ilk olarak deniz altı mineral madenciliğinden ve minerallerinden söz eden ünlü Fransız yazar Jul Verne olmuştur. Jul Verne 1874'deki yazdığı '20000 Fersah Deniz altındaki' romanında deniz altı mineral kaynaklarından söz etmiştir ve bu kaynakların yeryüzüne çıkarılmasına işaret etmiştir. Ayrıca romandaki denizaltı adı Natilius, Kanadalı deniz altı madenciliği yapan bir firmaya

adı ile ilham kaynağı olmuştur (Cruickshank 1992, Birney vd. 2006, Ehsani 2011).

Endonezya açıklarında kalay üretimi 1910 yılında Sinkgep adalarında başlamıştır. Daha sonra 1937 yılından itibaren Banka ve Belitung adalarında açık deniz kıta sahanlığında (sığ derinlikte) üretim yapılmıştır. Yıllık gerçekleştirilen üretim ise yaklaşık 3×10^6 m³ (deniz tabanından çıkarılan kayaç miktarı) civarındadır. Cevherin kalay tenörü ise yaklaşık 1 kg/m³'dür. Böylece yaklaşık yıllık kalay üretimi ise 3000 ton civarındadır. Bu kalay miktarı şu anda yaklaşık 58 milyon dolar değerindedir. Kalayın tonu yaklaşık 19330 \$ civarında bir değeri vardır (Cruickshank 1992, Ehsani 2011, LME 2017).

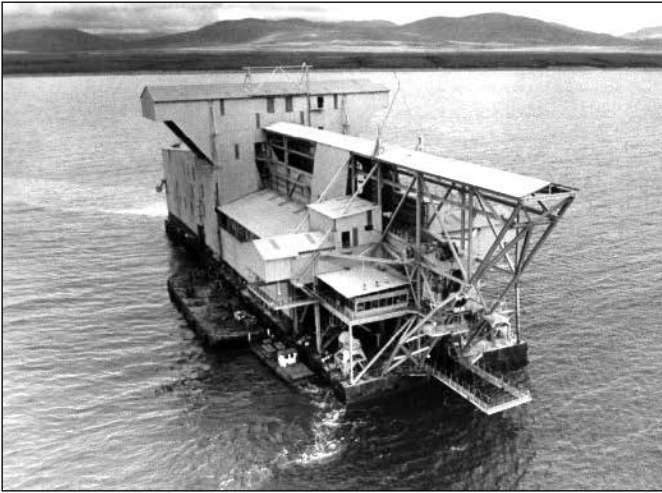
1906 yılında ABD'de Alaska eyaletinin Nome bölgesinde altın madenciliği başlamıştır. İlk olarak kıta bölgesinde (karasal bölgede) altın madenciliği geleneksel yöntemlerle sürdürülmüştür. Daha sonra deniz tabanının incelenmesi ve dalgaların durumu incelendikten sonra 1964 yılında ASARCO- Shell Oil şirketi tarafından açık deniz plaser yataklarının kimyasal analizi gerçekleştirilmiş ve böylece büyük bir plaser altın oluşumu tespit edilmiştir. Bütün bu çalışmaların sonucunda 1969 yılında 76×10^6 m³ hacminde bir altın rezervi belirlenmiştir. Bu çalışmalar devam ederek 1985 yılında tekrar rezervin varlığı doğrulanmıştır. Bütün bu çalışmaların sonucunda 1986 yılında, Endonezya ve Singapur açık denizinde (offshore) kalay üretimi için 1979 yılında tasarlanan ve yapılan BIMA adlı üretim gemisi firma tarafından satın alınarak altın üretim faaliyetine başlanmıştır. BIMA adlı üretim gemisinin uzunluğu 110 m, genişliği 30 m, yüksekliği 6 m, ağırlığı yaklaşık 13500



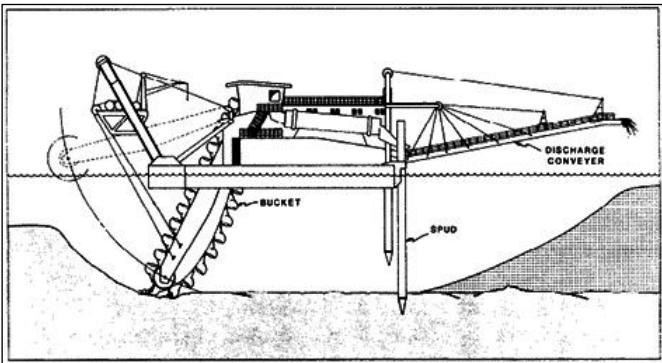
Şekil 1. HMS Challenger gemisi-1865 yılı (Challenger Expedition 2017).

ton olup kazı, taşıma ve hareket için bir gemi ile sağlanan toplam güç ise yaklaşık 15000 HP (11000 kW) dır. Bu üretim çalışmalarında maksimum derinlik ise yaklaşık 30 metredir (Şekil 2, Şekil 3).

Deniz ve okyanus tabanında bulunan altın içeren çökeller ise yaklaşık 9 m kalınlığındadır. Ayrıca gang mineralleri olarak kil, kireçtaşı, çakıl taşı ve kumtaşı içermektedir. Genel olarak bu işletme haziran ekim arasında çalışmaktadır ve diğer aylarda ise mevsim koşulları dolayısı ile faaliyet göstermemektedir. Platform ve geminin yakıt deposu ise yaklaşık 2.5 aylık bir yakıt sağlamaktadır. BIMA döner kepçeli sıyırma platformu maksimum 45 m derinlikte çalışmak için tasarlanmıştır. Sıyırma veya tarama kapasitesi ise yaklaşık 25 m³/dakika'dır. Söz konusu bu platform gravite yöntemleri ile zenginleştirmeyi gerçekleştiren bir tesise sahiptir. Bu tesiste 5.4 m çapında iki tromel elek bulunmaktadır ve cevher su jeti ile yıkanarak kilden uzaklaşmaktadır. Daha sonra jig ile cevher zenginleştirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu plaser yatağında altının tenörü ortalama 0.65 g/m³'dür. İklim şartlarından dolayı yılda verimli olarak 5 ay çalışmaktadır.



Şekil 2. BIMA üretim gemisi (Bucket-Ladder Dredges 2017).



Şekil 3. BIMA Üretim gemisinin şeması (Cruickshank 1992).

İlk olarak 1987 tarihinden itibaren 16 yıllık bir proje ömrü baz alınmıştır ve yıllık yaklaşık 1500 kg altın elde edilmektedir. Üretim maliyeti ise 1990 yılında yaklaşık 6.43 \$/g altın (bugünkü değer ile yaklaşık 20 \$/g) civarındadır (Cruickshank 1992, Ehsani ve Kesimal 2015).

1950-1960'lı yıllarda plaka tektoniği teorisinin gelişimi ile birlikte okyanus ve deniz tabanındaki mineral oluşumları, okyanus tabanındaki meydana gelen büyük sırtlar sayesinde açıklığa kavuşmuştur (Sawkins 1972, Rona 1983, Cruickshank 1992, Rona 2008).

1951 yılında ise diğer bir deniz altı çalışması Filipinlerin açıklarındaki Mariana Çukuru hakkında bir proje kapsamında gerçekleştirilmeye başlanmış ve 1960 yıllarına kadar sürdürülmüştür. 1968 yılında Golmar Challenger denizaltı aracı Güney Amerika ve Afrika açıklarında deniz altı ve okyanus tabanı hakkında bir proje, Deep Sea Drilling Program, kapsamında çalışmaya başlamıştır. Söz konusu bu program 1982 yılında sonlandırılarak Ocean Drilling Program (ODP) projesi başlamıştır ve 2003 yılına kadar devam ederek sonuçlanmıştır (Vidyarthi 2005, Sverdrup ve Armbrust 2008). Ayrıca okyanus tabanında çok zengin maden yatakları hakkında sistematik ekip çalışmaları Sovyetler Birliğinde Profesör Chetefer Bakov ve ABD'de Profesör Harrison Brown tarafından 1950'li yıllarda başlamış ve 1960'lı yıllara kadar devam etmiştir. ABD 1950-1960 yıllarında yaklaşık bu projelere 65 milyar \$ harcamıştır. Bu miktarın büyük bir kısmı endüstri tarafından karşılanmıştır. Birçok deniz altı ve okyanus altı madencilik üretim tekniği Profesör Brown tarafından geliştirilip hayata geçirilmiştir. Profesör Brown özellikle bu projede denizlerden petrol ve doğalgaz elde edilmesinden yararlanmıştır (Çetinçelik 1969).

1960'lı yılların başında bakır, nikel ve kobalt ve altının ticari kullanımında önemli bir artış meydana gelmiştir. Metal kullanımındaki söz konusu bu artış metal fiyatlarını yukarı yöne çekerek, stratejik metaller (özellikle mangan) için derin deniz madenciliğinin önemini ortaya koymuş ve çeşitli arama ve deniz ve okyanus tabanından metal eldesi çalışmalarının başlamasına sebep olmuştur. 1979 yılında ise doğu Pasifik okyanusunda (Meksika açıklarında) ilk kez baca şekline benzer polimetallik masif sülfid yatakları tespit edilmiştir. Günümüzde bu tür deniz ve okyanus kaynaklarının önemi günden güne artmaktadır (Halfar ve Fujita 2002, Vidyarthi 2005, Birney vd. 2006).

Çoğunlukla Mn nodülleri uluslararası sularda bulunurken, dört çok uluslu madencilik şirketi kurulmuş ve Sovyetler

Birliği, Çin ve Hindistan hükümetleri destekli derin deniz madenciliği işletme firmaları çalışmaya başlamıştır. Bu süreçte, yaklaşık 0.5 milyar \$, okyanus ve deniz tabanından Mn nodülleri eldesi için teknoloji ve üretim süreçlerinin gelişimine harcanmıştır (Birney vd. 2006).

Hukuksal mevzuat bakımından ise, Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (United Nations Law of Sea Convention; UNLSC) okyanus tabanındaki ve uluslararası sulardaki maden yataklarının kime ait olduğunu düzenlemeye başlamıştır. Bu çalışmaların sonucunda 1994 yılında Jamaika'nın başkenti Kingston şehrinde Uluslararası Deniz Tabanı Kurumu (International Seabed Authority; ISA) faaliyete başlamıştır. ISA okyanus ve deniz altı madenciliği faaliyetlerinden ve ayrıca denizel ortamlardaki mineral rezervlerin uluslararası sulardan elde edilmesinden doğan ekonomik ve teknolojik yararların eşit ve adaletli bir şekilde tüm üye ülkelere dağıtılmasından sorumludur. Ayrıca kurum uluslararası sulardaki madencilik faaliyetlerini de denetleme yetkisine sahiptir (Glasby 2000, Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu 2010, Ehsani 2011).

Bununla birlikte, 1970'li yıllarda yeni nikel ve bakır rezervleri bulunmuş ve dolayısıyla metal fiyatlarının gerilemesine sebep olmuştur. Bu fiyat düşüşü sebebi ile 1970'lerden itibaren özellikle Mn yumruları için derin deniz madenciliği ekonomik olarak uygulanabilir bir işletme yöntemi haline gelebilmiştir (Cruickshank 1992, Birney vd. 2006).

Derin deniz madenciliği olasılığı araştırmalarının ilk aşaması, okyanuslarda metal nodüllerinin yaygınlaşmasından kısa bir süre sonrasında (1972'den 1982 yılları arası) kadar sürmüştür. Söz konusu bu araştırmayı başlatmanın başlıca sebebi ileriki yıllarda küresel mineral eksikliğinin tahmin edilmesi olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmaların çoğu Ekvatoryel Kuzey Pasifik okyanusunda gerçekleşti ve bu çalışmalar kapsamında ABD, 30-40, Almanya 26 ve Fransa 42 bilimsel gemi seyahatini finanse etmişlerdir. Sovyetler Birliği ise dünya çapında (tüm okyanus ve denizel ortamlarda) yaklaşık 100 bilimsel gemi seyahatini finanse etmiştir (Glasby 2000, Glasby, 2002).

1977 yılında J.L. Mero (1977), yaklaşık 6×10^6 km² bir alanı kaplayan bu Kuzey Pasifik yüksek tenörlü alandaki nodüllerin yaklaşık 11×10^9 ton Mn, 115×10^6 ton Co, 650×10^6 ton Ni ve 520×10^6 ton Cu içerdiğini hesaplamıştır. Mero (1977), Mn nodüllerinin 5-10 yıl içinde tam ölçekli ekonomik üretimde olacağını düşünüyordu. Daha güncel bir kaynağa göre (Morgan 2000) tahmini olarak bu alanın oldukça zengin olmadığını, ancak yaklaşık 7.5 milyar ton

Mn, 78 milyon ton Co, 340 milyon ton Ni ve 265 milyon ton Cu içerdiğini gösteriyor (Mero 1977, Morgan 2000, Glasby 2000, Glasby 2002).

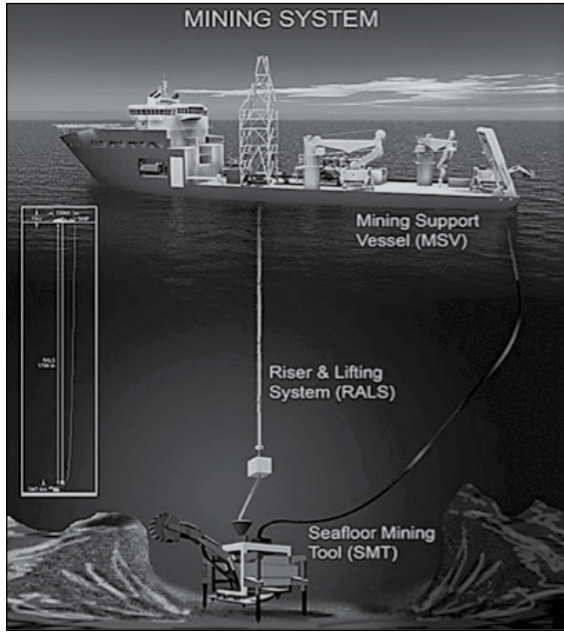
Başta ABD, Almanya, Fransa, İngiltere ve Japonya tarafından desteklenen ve finanse edilen şirketler tarafından yedi konsorsiyum oluşturularak nodüllerin ticari olarak çıkarılması ve kazanılması araştırılmıştır. Bu çalışmada 1978 yılında pilot tesis boyutunda derin deniz nodüllerinin madenciliğine yönelik bir üretim sisteminin başarılı bir şekilde sonuçlandırılmasına rağmen, tüm madencilik üretim sistemi deniz tabanından yaklaşık 800 ton Mn içeren nodül üretimi gerçekleştirildikten sonra geminin arka tarafından batarak yok olmuştur (Glasby 2000, Glasby 2002).

Bu olaydan sonra, derin deniz kaynaklarının daha makul bir değerlendirme düşüncesi ağır basmaktadır. Derin deniz nodülleri hakkında, ekonomik olarak potansiyel sahibi maden yatakları için kriterleri özetlemek gerekirse, tenör olarak Ni, Co ve Cu tenör içeriği % 2.5'den fazla olması gerekmektedir. Ayrıca söz konusu yatakların deniz tabanındaki varlığı 10 kgm^{-2} den fazla olması gerekmektedir. Bu kriterlerden dolayı derin deniz ve okyanuslarda Mn nodül yataklarının sadece küçük bir yüzdesinin (<%5) nodülün potansiyel olarak ekonomik değer taşıdığı düşünülmektedir. Bu özelliklere sahip derin denizel yatakları genellikle Ekvatoryel Kuzey Pasifik Okyanusu ve Hint Okyanusunun merkezi bölgelerinde göze çarpmaktadır (Glasby 2000, Glasby 2002).

Günümüzde endüstriyel üretim aşamasına ulaşan derin okyanus ve deniz altı madencilik uygulaması (deniz ve okyanus tabanında gerçekleşen) Solwara projesidir. Bu projenin ilk aşama çalışmaları 2005 yılında Kanada merkezli Nautilus Co. firması ile başlamıştır. Nautilus firması 2005 yılında Papua Yeni Gine çevre bakanlığından izin ve ruhsatları aldıktan sonra Solwara (Şekil 4) projesine ait sondaj çalışmaları 2007 yılında diğer bazı firmaların desteğiyle başlamış ve 2009 yılında da üretim faaliyetine geçilmiştir. Bu 4 yıllık süre zarfında detaylı iki ve üç boyutlu jeofizik ve jeolojik çalışmaları gerçekleştirilmiş, deniz tabanı masif sülfid yataklarının rezerv ve tenörü belirlenmeye çalışılmıştır (Vidyarthi 2005, Ehsani 2011). Çizelge 1'de okyanus ve deniz altı tarihi serüveni özet bir şekilde gösterilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Deniz ve okyanus biliminin tarihsel gelişimi, deniz yolculukları ve keşifler ile iç içe geçmiştir. Denizel ortamlar, birçok çözülmüş minerali içermekle birlikte besin ve protein kaynağıdır. Ayrıca, deniz ve okyanus tabanları



Şekil 4. Solwara projesine ait derin deniz madencilik çalışması (Fin 2010).

petrol ve doğalgaz başta olmak üzere Mn yumruları, Co metalince zengin yataklar ve masif sülfid yatakların önemli bir bölümünü içermektedir. Tarihte okyanus ve deniz altı çalışmalarının gelişimine katkı sağlayan birçok medeniyet, topluluk ve devlet göze çarpmaktadır. Mısırlılar, Fenikeliler, Giritliler, Ortadoğu ve Mezopotamya Uygarlıkları, Persler, Araplar, Vikingler, Avrupa ve Asya halkları gibi birçok halk ve medeniyet bu çalışmalara katkılarda bulunmuşlardır. Özellikle 1970'li yıllardan itibaren deniz ve okyanus tabanında tespit edilen mineral kaynaklarının eldesi ve kazanımı için başta büyük devletler (ABD, Sovyetler Birliği (bugünkü Rusya), Kanada, Fransa, İngiltere, Almanya, Hindistan ve Japonya) tarafından çalışmalar başlatılmış ve halen bu çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Yaklaşık olarak 5000 yıldır süregelen bu çabalar artan dünya nüfusunun minerallere olan ihtiyacını karşılayacak biçimde artacağı açıktır. Ülkemiz, üç taraftan denizlerle kaplı olmasına rağmen denizlerimizdeki maden ve mineral yatakları hakkında çok az çalışma mevcuttur.

Çizelge 1. Okyanus ve deniz altı çalışmalarının özet tarihi gelişimi.

Yıl	Yapılan Çalışmalar
• M.Ö. 3200	• Bilinen ilk deniz seyahati, Mısır Kralı Snefru tarafından gerçekleştirilmiştir.
• M.Ö. 2600	• Keşif amaçlı ilk deniz seferi, Mısırlı Hannu tarafından Kızıldeniz ve Arap Yarımadasının güney bölgelerinde gerçekleştirilmiştir.
• M.Ö. 2000-1200	• Giritliler ve Fenikelilerinin ilk deniz ve deniz altı araştırmaları.
• M.Ö. 1500	• Polenazyalılar tarafından güney Pasifik ve Hawaii Adalarında yapılan araştırmalar.
• M.Ö. 900-700	• Giritliler'nin deniz coğrafyası araştırmaları.
• M.Ö. 590-500	• Fenikelilerin Britanya adası keşfi- Perslerin Hint okyanusu, Akdeniz ve Kızıldeniz'de araştırmaları.
• M.Ö. 230	• Giritliler tarafından gel git hareketi hakkında yapılan araştırmalar.
• 700-1000	• Arap ve İslam devletlerinin (Abbasiler) Hint Okyanusunda araştırmalar.
• 1679-1680	• Marsigli'nin bilimsel yöntemi ilk kez kullanarak gerçekleştirdiği oşinografik araştırmalar.
• 1855	• Okyanusların derinlik ölçme (bathymetric) çalışmaları yapılmıştır.
• 1872-1876	• Bilimsel araştırmaya tahsis edilmiş ilk okyanus seyahati (HMS Challenger)
• 1910	• Endonezya açıklarında Sinkgep adasında offshore (sığ derinlikte) kalay üretimine başlanması.
• 1937	• Endonezya'da Banka ve Belitung adalarında açık deniz kıta sahanlığında (sığ derinlikte) kalay üretiminin başlanması.
• 1950-1960	• Pasifik okyanusunda oşinografik çalışmalar-Filipinler açıklarında (Mariana Çukurunun keşfi).
• 1968-1982	• Glomar Challenger deniz altı araştırmaları (Güney Amerika)- Deep-Sea Drilling Program Projesi.
• 1979	• Doğu Pasifik Okyanusunda polimetalik masif sülfid yatakların tespiti.
• 1986	• Alaska Nome bölgesi açıklarında offshore (sığ derinlikte) altın madenciliğinin başlaması.
• 1982-2003	• ODP (Ocean Drilling Program) projesinin başlangıcı.
• 2005	• Papua Yeni Gine açıklarında deniz ve okyanus tabanında (derin deniz tabanı) Solwara projesinin başlatılması.

Tabii ki bu durum geçmiş yıllarda teknik bilgi bakımından yeterli olmamamızdan kaynaklanmaktadır. Fakat şu anda ülkemizin gelişen teknik ve ekonomik kapasitesi bu alanda da çalışmalarda bulunmamıza imkân sağlayabilmektedir. Son olarak eğer ülkemizin ve dünyanın artan mineral ve metal ihtiyacını göz önünde bulundurursak kesinlikle bu çalışmalara kapsamlı bir biçimde bir an önce başlamamız gerektiği söylenebilir. Ayrıca bu çalışmalarını kendi denizlerimizle kısıtlamamız gerekmektedir.

5. Kaynaklar

- Birney, KA., Griffin, J., Gwiazda, J., Kefaver, J., Nagai, T., Varchol, D. 2006.** Potential Deep-Sea Mining of Seafloor Massive Sulfides: A Case Study in Papua New Guinea, 105 s.
- Brooks, F. 1993.** Seas and Oceans, Usborne Publishing, 32 s.
- Bucket Ladder Dredges. 2017.** <http://www.ipsubsea.com/bucket-ladder-dredges/>
- Challenger Expedition. 2017.** Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/event/Challenger-Expedition>.
- Cruickshank, MJ. 1992.** Marine Mining. In H.L. Hartman [eds.], SME Mining Engineering Handbook. Littleton, Colorado, Society for Mining Metallurgy and Exploration, s.1985-2027.
- Çetincelik, M. 1969.** Oşeanografik Araştırmaların Önemi. Türk. Jeo. Bül., 12 1-2: 42-57.
- Deniz Bilim Strateji Belgesi Raporu. 2010.** http://www.ims.metu.edu.tr/Denizbilim_Politika_strateji.pdf
- Ehsani, A. 2011.** Okyanus ve Denizaltı Madenciliği. *Bitirme Çalışması*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 91 s.
- Ehsani, A., Kesimal, A. 2015.** A Brief Introduction to Marine Mining. *24th International Mining Congress of Turkey*, s. 436-447, Antalya.
- Fin, A. 14 Ekim 2010.** <http://oilprice.com/Metals/Commodities/Tapping-The-Oceans-Mineral-Wealth-With-Deep-Sea-Mining.html>
- Frater, AM. 2009.** Inside Science, Voyage. Creative Teaching Press Inc, London, 24 s.
- Garrison, TS. 2002.** Oceanography: an invitation to marine science. 4. Edition. Brooks/Cole, 569 s.
- Glasby, GP. 2000.** Lessons learned from deep-sea mining. *Science*, 289 (5479): 551-553.
- Glasby, GP. 2002.** Deep Seabed Mining: Past Failures and Future Prospects. *Mar. Geores. & Geotech.*, 20 (2): 161-176.
- Halfar, J., Fujita, RM. 2002.** Precautionary management of deep-sea mining. *Mar. Pol.*, 26 (2): 103-106.
- ISA 2008.** Polimetallic Nodules. International Seabed Authority (ISA), <https://www.isa.org.jm/files/documents/EN/Brochures/ENG7.pdf>.
- Karapınar, N. 2015.** Derin Deniz Madenciliği. *Maden. Türk.*, 46: 66-76.
- LME, London Metal Exchange: Tin 2017.** <https://www.lme.com/en-gb/metals/non-ferrous/tin/>.
- Mero, JL. 1977.** Economic Aspects of Nodule Mining. In G. P. Glasby [eds.], Marine Manganese Deposits. Amsterdam, Elsevier, s. 327-55.
- Morgan, CL. 2000.** Resource estimates of the Clarion-Clipperton manganese nodule deposits. In D. S. Cronan [eds.], Handbook of marine mineral deposits. Boca Raton, CRC Press, s. 145-170.
- Okyanus bilimi 2016.** Vikipedi. https://tr.wikipedia.org/wiki/Okyanus_bilimi.
- Rona, PA. 1983.** Potential mineral and energy resources at submerged plate boundaries. *Natur. Res. Forum.*, 7: 329-338.
- Rona, PA. 1984.** Hydrothermal mineralization at seafloor spreading centers. *Earth. Sci. Rev.*, 20 (1), 1-104.
- Rona, PA. 2008.** The Changing Vision of Marine Minerals. *Ore Geo. Rev.*, 33 (3-4): 618-66.
- Sawkins, FJ. 1972.** Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. *The J. of Geo.*, 80, (4): 377-397.
- Sverdrup, KA., Armbrust, EV. 2008.** The History of Oceanography. An Introduction to the World's Oceans, 10. Edition, McGraw-Hill Education, s.1-25.
- Vidarthi, D. 2005.** Marine Mining. National Mineral Development Corporation, India.