



## Kovada Gölü (Isparta) Dip Sedimanlarında Ağır Metal Dağılımı ve Kirliliğinin Değerlendirilmesi

Şehnaz ŞENER\*<sup>1</sup>, Erhan ŞENER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, 32200, Isparta

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Merkezi, 32200, Isparta

(Alınış Tarihi: 02.05.2015, Kabul Tarihi: 31.07.2015)

### Anahtar Kelimeler

Kovada Gölü  
Dip sediman  
Ağır metal  
Kirlilik

**Özet:**Bu çalışmada, çevresel kirleticilerden olumsuz olarak etkilenen Kovada Gölü dip sedimanlarının ağır metal içerikleri ve kirlilik durumu araştırılmıştır. Bu amaçla, Mayıs (2012) ve Ekim (2013) aylarında, toplam 11 lokasyondan alınan dip sediman örneklerinde kimyasal analizler yapılmıştır. Sedimanların ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesinde, zenginleşme faktörü değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, her bir ağır metalin göl genelindeki dağılımını izleyebilmek için tematik haritalar hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre göl genelindeki ağır metal ortalama birikim düzeyleri  $Mn > Ni > Zn > Cu > Pb > As > Co > Fe$  şeklinde sıralanmaktadır. Göl dip sedimanlarında Fe, Co ve Pb değerleri genel olarak ortalama şeyl değerinin altında iken Cu, Zn, Ni, Mn ve As değerlerinin ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan zenginleşme faktörü değerlerine göre Kovada Gölü'nde söz konusu elementler az ve/veya orta zenginleşme göstermektedir ve bu durumun doğal veya antropojenik kaynaklardan uzun dönemli taşınım ile gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir.

## Assessment of Heavy Metal Distribution and Contamination in the Kovada Lake (Isparta) Bottom Sediments

### Keywords

Kovada Lake  
Bottom sediment  
Heavy metal  
Pollution

**Abstract:**In this study, heavy metal content and contamination of Kovada Lake bottom sediments were investigated. To this end, bottom sediment samples were taken from a total of 10 different locations in May 2012 and October 2013 and the samples were analyzed. The enrichment factor values were used to assess heavy metals contamination in the sediments. In addition, thematic maps were prepared in order to investigate the spatial distribution of each heavy metal into the lake. According to the obtained results, mean accumulation of heavy metals were in the sequence as follows  $Mn > Ni > Zn > Cu > Pb > As > Co > Fe$ . In general, Fe, Co and Pb values are below the average shale values, while Cu, Zn, Ni, Mn and As contents are above the average shale values in the lake bottom sediments. According to enrichment factor calculations, these elements show slight to moderate enrichment in the Kovada Lake and it has been concluded that these enrichments may have occurred with long-term convection from natural or anthropogenic sources.

### 1. Giriş

Yüzey ve yeraltısularındaki inorganik kirleticilerin önemli kaynağını oluşturan ağır metallerin sucul ortamlardaki bulunuş özellikleri, taşınım ve birikim mekanizmaları birçok farklı parametreye bağlı olarak değişmekte olup oldukça karmaşık proseslerdir. Kullanım özellikleri bakımından önem taşıyan

göllerde, göl sularının yanı sıra dip sedimanlarının metal yüklerinin belirlenmesi son derece önemlidir.

Metallerin bir kısmı çözünürlük kapasitelerine bağlı olarak su içerisinde taşınırken bir kısmı ise doğrudan göl dip sedimanlarında birikir. Zamanla metal içeriği bakımından doymuş hale gelen sediman tabakası, bünyesinde bulundurduğu iyonları tekrar su kütlesine bırakma eğilimine geçer. Bu durumda, göl

dibindeki sediman tabakası göl suları için potansiyel kirlenici kaynağı haline gelebilir (Şener, 2010). Rüzgar, akarsu ve atmosfer yoluyla, evsel - endüstriyel atıklarla ve kayaç-su etkileşim sürecine bağlı olarak sucul ortama giren ağır metaller, dip sedimanların bünyesine geçinceye kadar su içerisinde birçok fiziksel ve biyokimyasal döngüler içerisinde yer almaktadırlar. Metaller sedimanlarda depolanmaları sırasında oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedirler. Sedimanlardaki metal dağılımlarını kontrol eden faktörler; atmosferik taşınımlar, akarsularla olan karasal girdiler, denizaltı hidrotermal ve volkanik aktiviteleri, kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen doğal ve jeokimyasal olaylar ve insan aktiviteleri sonucunda meydana gelen antropojenik girdiler olarak sayılabilir (Chester, 1990; Loring ve Rantala, 1988; Algan vd., 2004; Güven ve Öztürk, 2005; Madiseh vd., 2009).

Metaller kayaç-su etkileşim sürecine, litolojik birimlerin metal içeriklerine ve çözünme kapasitelerine bağlı olarak sucul ortamlara taşınabilirler. Söz konusu doğal ve antropojenik kökenli ağır metaller, kırıntılı alüminosilikatlar ve oksit mineraller, ikincil kil mineraller, ikincil Fe-Mn oksihidroksitler, metal sülfidler ve karbonatlar halinde, adsorbsiyon ve kimyasal bağlarla bu minerallerin bir kısmında ve organik maddelerde birikirler (Güven ve Öztürk, 2005).

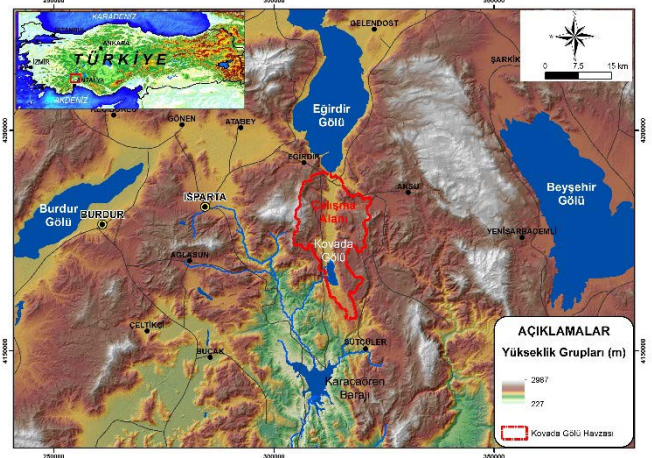
Çevresel kirlenicilerden olumsuz olarak etkilendiği gözlenen Kovada Gölü'nün sürdürülebilir kullanımının sağlanabilmesi ve kalitesinin korunması için yapılması gerekli görülen bu çalışmada dip sedimanlardan alınan örneklerde belirlenen ağır metallerin dağılımları, kirlilik durumu ve olası sebepleri araştırılmıştır. Bu kapsamda öncelikle sedimanların Pb, As, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn konsantrasyonları belirlenmiştir. Referans değerler, göl havzasının jeolojik yapısı ve metallerin göl genelindeki dağılımları dikkate alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca, ağır metal analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan zenginleşme faktörü değerleri dikkate alınarak sedimanların metal kirlilik durumları ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Çalışma alanı: Kovada Gölü ve çevresi

Eğirdir ilçesinin güneyinde, 37° 34' 47" - 37° 42' 24" kuzey enlemleri ve 30° 50' 45" - 30° 55' 53" doğu boylamları arasında yer alan Kovada Gölü ve çevresi, 03.11.1970 yılında Milli Park olarak ilan edilmiştir (Şekil 1). Yaklaşık 8 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahip olan gölün deniz seviyesinden yüksekliği 908 m., kıyı uzunluğu 18.800 m., derinliği ise 6 metredir. Kovada Gölü Batı Toroslar'da gözlenen karstik göllerden birisidir. Havzaya düşen yağmur sularının fiziksel ve

kimyasal aşınmasına eklenen tektonik yer hareketleriyle şekillenen göl, tektonik bir polye özelliği sunmaktadır. Eğirdir Gölü'nün güneye doğru uzantısı olan Kovada Gölü, sonradan aradaki dar vadinin alüvyonlarla dolması sonucunda bugünkü şeklini almıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbuldur haritası

Kovada Gölü Milli Parkı jeomorfolojik yapısı ve barındırdığı doğal kaynaklarıyla bölgesel ve ülkesel ölçekte önemli bir konumdadır. Bu nedenle Kovada Gölü ve çevresi, milli park olmasının yanı sıra 1992 yılında 1. Derece Doğal Sit alanı ilan edilmiştir. Ancak, son yıllarda gölün sürdürülebilir kullanımını ciddi boyutta tehdit eden kirlilik kaynakları sebebiyle göldeki sazlık-bataklık habitatlarında gözlenen artış dikkati çekmektedir. Bölgede göl su kalitesini olumsuz olarak etkileyen en önemli kirlenici kaynak, Eğirdir Gölü'ndeki fazla suyu Kovada Gölü'ne ileten ve Eğirdir ilçesi yerleşim birimine ait evsel ve endüstriyel kaynaklı atık suların arıtıldığı arıtma tesisi çıkış sularının deşarj edildiği Kovada Kanalı'dır. Kanal vasıtasıyla göle giren en önemli kirlilik yüklerini azot-fosforlu bileşikler ve ağır metaller oluşturmaktadır. Söz konusu bileşikler durgun göl kütlesi içerisine girer girmez dibe çökerek gölün sediman kısmında birikim göstermektedir.

### 2.2. Arazi ve Büro Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında öncelikle Kovada Gölü dip sedimanlarının jeokimyasal yapısını doğrudan etkileyen havzanın jeolojik ve stratigrafik özellikleri incelenmiştir. Havza sınırları içerisinde gözlenen litolojik birimlerin genel özelliklerinin ve diğer birimler ile olan alt-üst ilişkilerinin belirlenmesinde ilk olarak bölgede yapılmış önceki çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular arazi gözlemleri ile desteklenmiştir. Yapılan literatür çalışmaları ve arazi gözlemleri sonucunda bölgenin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Gölün beslenme havzası içerisinde bulunan ve göl dip sediman kalitesine doğrudan olumsuz etki eden kirlenici kaynaklar literatür ve arazi çalışmaları sonucunda

belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen araştırma bulgularının değerlendirilmesinde ve tematik haritaların hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Sediman örneklerinin alındığı koordinatlar CBS ortamına aktararak bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu örneklerin tüm analiz sonuçları veri tabanına işlenmiştir. Böylece, her bir parametrenin tematik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Tematik haritaların oluşturulmasında ise "Ters Mesafe Ağırlıklı İnterpolasyon Tekniği (InverseDistanceWeighted, IDW)" kullanılmıştır.

### 2.3. Örnek Alımı ve Analitik Prosedür

Dip sedimanlarda birikmesi muhtemel ağır metal içeriklerinin belirlenebilmesi için 2012 yılının Mayıs ve 2013 yılının Ekim aylarında, toplam 11 lokasyondan 22 adet sedimanörnekleri alınmıştır. Örnek alımında Birdge Ekman Grab Sediman Örnekleyicisi (15x15 cm) kullanılmış ve alınan sediman örnekleri ağır metal analizleri için sızdırmaz anatomik numune taşıma ve saklama poşetlerine konularak etiketlenmiştir. Tüm sediman örnekleri gün ışığı, sıcaklık değişimi gibi dış etkenlerden etkilenmemeleri için buz dolu taşıma kaplarında taşınmış ve ilgili laboratuara ulaştırılmıştır. Sediman örneklerinin kimyasal analizleri ACME laboratuvarlarında(Kanada) ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) kullanılarak yapılmıştır. ICP-MS katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel yada yarı-niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan ileri teknoloji ürünü bir analiz tekniğidir. Cihaz teknik elektromanyetik indüksiyonla 10,000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir (Şener, 2010).

### 2.4. Verilerin Değerlendirilmesi

Göl dip sedimanlarının metal içeriklerinin değerlendirilmesinde, antropojenik girdilerin söz konusu olmadığı durumlarda, yer kabuğunun üst seviyesini en iyi şekilde temsil ettiği için ortalama şeyl metal konsantrasyonları esas alınmaktadır (Taylor ve McLennan, 1995; Aksu vd., 1997; Sarı ve Çağatay, 2001; Algan vd., 2004; Pekey vd., 2004; Sarı, 2004). Bu nedenle, sediman analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sırasında, her bir metal için elde edilen veriler, şeyl ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca göl dip sedimanlarında metal birikimine neden olabilecek muhtemel litolojik birimlerin belirlenebilmesi için göl havzasının jeoloji haritası hazırlanarak gölü çevreleyen ve havza içerisinde yüzeyleyen litolojik birimler incelenmiştir. Tablo 1'de ortalama yer kabuğunda ve bazı referans jeolojik birimlerde ölçülmüş ağır metal

konsantrasyonları verilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarına göre sedimentler üzerindeki antropojenik etkileri belirleyebilmek için normalize edilmiş zenginleşme faktörünün hesaplanması oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Buat-Menard ve Chesselet, 1979; Salomons ve Förstner, 1984; Hornung vd., 1989; Dickinson vd., 1996). Söz konusu çalışmalarda ölçülen ağır metal miktarı aynı örneğe ait Fe ve/veya Al miktarları ile normalize edilerek metalin zenginleşme faktörü hesaplanmaktadır (Bruland vd., 1974; Windom vd., 1989; Bresline ve Sanudo-Wilhelmy, 1999; Abraham ve Parker, 2008).

Bu çalışma kapsamında göl dip sedimanlarında tespit edilen ağır metallerin Fe ile normalizasyonu yapılarak zenginleşme faktörleri hesaplanmış ve bu metallerin taşınımı ve birikimi ile ilişkili olabilecek doğal veya antropojenik etkiler belirlenmiştir. Metallerde zenginleşme faktörü (EF) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Buat-Menard ve Chesselet, 1979).

$$EF = \frac{Cx/Fex}{Cc/Fec} \quad (1)$$

**EF:** Zenginleşme Faktörü (EnrichmentFactor)

**Cx, Fex:** Analizi yapılan örnekteki konsantrasyonlar

**Cc, Fec:** Ortalama yer kabuğu konsantrasyonları (TurekianandWedepohl, 1961; Krauskoph 1985)

Elementlerin EF değerinin 1'den büyük olması durumunda üç olasılıktan bahsedilmektedir: Birincisi, bu element artışının lokal temel kayadan kaynaklanmadığı; ikincisi diğer doğal veya antropojenik kaynaklardan uzun dönemli taşınım ile metal birikiminin olabileceği ve son olarak da muhtemelen ortamın koşullarına göre tercihli element artışının söz konusu olduğudur (Bergamaschi vd., 2002). Ayrıca, hesaplanan EF değeri Sutherland (2000)'e göre 5 ayrı kirlilik sınıfında incelenmektedir. Bu sınıflar; < 2 = Az zenginleşme, 2-5 = Orta zenginleşme, 5-20 = Önemli ölçüde zenginleşme, 20-40 = çok yüksek zenginleşme ve > 40 aşırı zenginleşme olarak belirlenmiştir (Gemici ve Tarcan, 2007).

## 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

### 3.1. Jeoloji

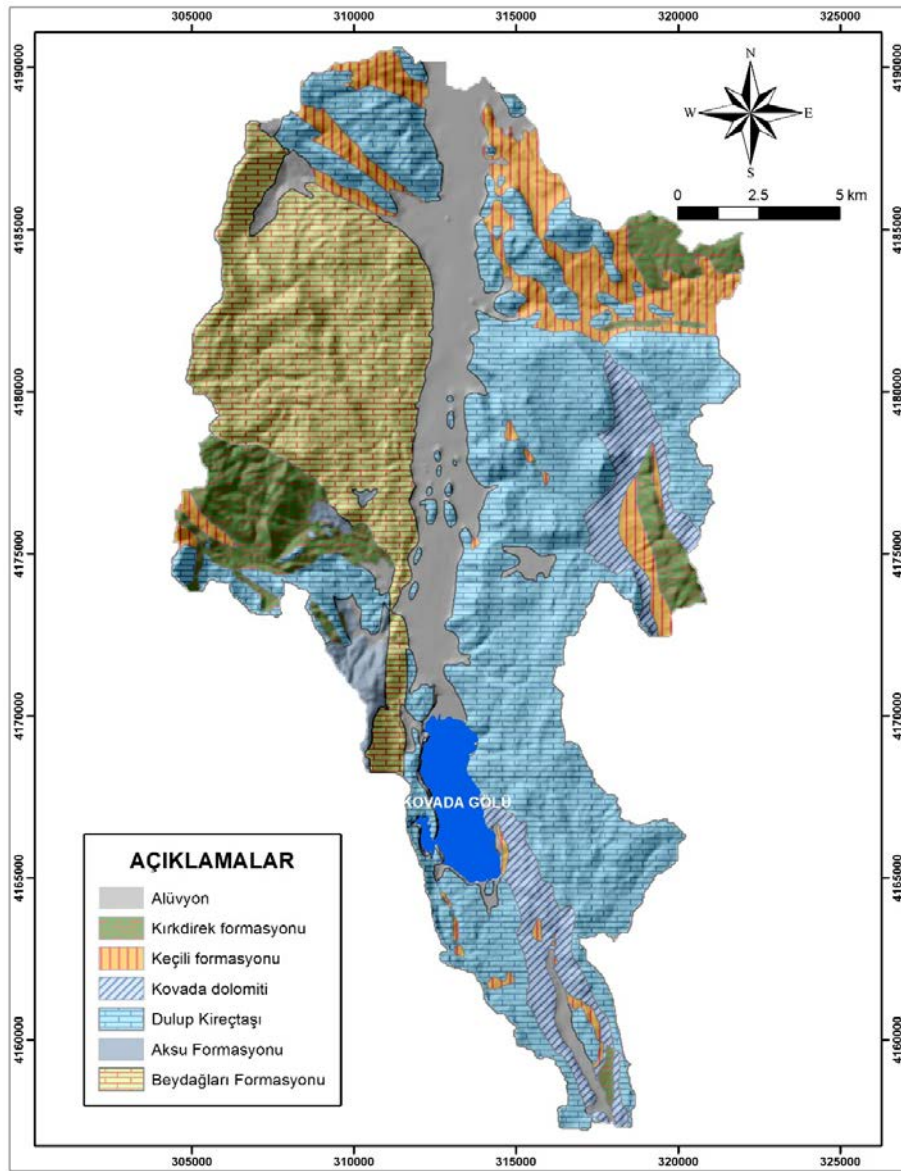
Çalışmanın amacına yönelik olarak göl dip sedimanlarında izlenen ağır metallerin gölü çevreleyen jeolojik birimlerle olması muhtemel ilişkisinin belirlenebilmesi için öncelikle inceleme alanında bulunan jeolojik birimler tanımlanmış ve bölgenin jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Kovada Gölü beslenme havzası içerisinde Beydağları otoktonu, Antalya naplarına ait allokton birimler ve neotokton örtü kayaları yaygın olarak bulunmaktadır. Bölgede yüzeyleyen otokton birimler; Tersiyer yaşlı Aksu formasyonu ve Jura-Kretase yaşlı

Beydağları formasyonudur. Antalya naplarına ait olan Dulup kireçtaşı, Kovada dolomiti, Keçili formasyonu ve Kırkdirek formasyonu ise bölgeye alloktan olarak

yerleşmişlerdir. Kuvaterner yaşlı alüvyon tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

**Tablo 1.** Bazı jeolojik referans kayaçların ağır metal içerikleri (Şener, 2010)

	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As
	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Yerkabuğu (Mason and Moore, 1982)	5	950	25	75	55	70	13	1,8
Şeyl (Turekian and Wedepohl, 1961; Krauskoph, 1985)	4,7	850	19	70	45	95	20	13
Kumtaşı (Turekian and Wedepohl, 1961)	0,9	50	<1	2	5	16	7	1
Kireçtaşı (Turekian and Wedepohl, 1961; Şahinci, 1991)	0,4	1100	<1	20	4	20	9	1
Ultrabazikler (Aslaner, 1973)	5-7	700-2600	75-101	1700-2900	46-62			
Bazalt (Krauskoph, 1985; Şahinci, 1991)	8,6	1500	48					



**Şekil 2.** Çalışma alanının genel jeoloji haritası

Beydağları formasyonu egemen olarak orta-kalın tabakalı, gri, koyu gri renkli, yer yer dolomitik, yer yer makro fosil izli (alg, mercan, gastropod gibi) kireçtaşları ile temsil edilir. Birimin alt seviyelerinde orta katmanlı bej, krem, kirli sarı, beyazımsı renkli, yaygın çört bantlı neritik kireçtaşları, üst seviyelerinde ise ince katmanlı kirli sarı, bej, beyazımsı, renkli çört ara seviyeli yaklaşık 50 m. kalınlığındaki pelajik kireçtaşları gözlenmektedir. Sık erime boşluklu olan formasyondakarstlaşma yaygındır. Kireçtaşları üzerinde çok sayıda dolin, düden ve geniş polyeler gelişmiştir (Yalçinkaya vd., 1986). Tersiyer yaşlı Aksu formasyonu masif, kalın, yerel olarak orta tabakalı, orta-iyi boylanmalı, yer yer kötü boylanmalı, yuvarlak, yarı yuvarlak, bazen köşeli çakıllı, yer yer bloklu konglomeralardan oluşmaktadır. Yer yer kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, marn gibi düzeyler içeren birim içinde biyohermler gelişmiştir.

Çalışma alanındaki allokton birimlerden en geniş yayılıma sahip olan birim Dulup kireçtaşıdır. Birim inceleme alanı içerisinde neritik kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Orta-kalın tabakalı, gri, bej, açık kahve, yer yer dolomit ve dolomitik kireçtaşı ara seviyeli neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim sığ karbonat platform ortamında çökelmiş olup, yaşlı Malm-Senomaniyen olarak kabul edilmektedir. Kovada dolomitleri genelde masif, yer yer kalın tabakalı, açık ve koyu gri, açık kahve renkli, altta orta-iri taneli ve dağılgan, üstte orta-ince taneli dolomitlerden oluşmaktadır. Sık erime boşlukludur. Kovada dolomitinin tabandaki konglomeralara dayanarak alt ilişkisinin uyumsuz ve transgresif özellikte olduğu söylenebilir. Fosil içermeyen birim stratigrafik konumuna göre Üst Dogger-Alt Malm yaşlı kabul edilmiştir (Dumont ve Kerey 1975). Bloklu filişle temsil edilen ve Antalya naplarına ait olan Keçili formasyonu ince-orta tabakalı mikrit, killi-kumlu mikrit ara seviyeli kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, konglomera, radyolarit ve çörtlerden oluşur. Tabanında kırmızı, pembe, gri, yeşil, kirli sarı renkli mikrit, çörtlümikrit, radyolarit, çört, şeyl ve kalsitürbiditler bulunur. Üstte ofiyolit kırıntılı kumtaşı, kıltaşı, silttaşları ve marnlar bulunmaktadır. Birim daha üstte Antalya naplarına ait olistolitler içeren olistrostromla sonlanır. Birim içindeki konglomeralar bazen monojenik, bazen de polijenik özelliktedir. Bazı alanlarda köşeli çakıllı breşler şeklinde görülür. Yer yer kumlu-killi kireçtaşı ve marn düzeylidir (Şenel vd., 1992).

Keçili Formasyonu içinde tektonik dilimler biçiminde görülen ve ofiyolitlimelanaj özellikleri sunan Kırkdirek Formasyonu mafik ve ultramafikler içinde Triyas yaşlı pelajiksedimentler ve denizaltı lav akıntıları, Jura-Kretase yaşlı neritik karbonatların değişik boyuttaki bloklarını içermektedir. Çevredeki kaya birimlerinden türeyen, gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki tortullar ve bunların ardalanmasından meydana gelmiş olan allüvyon

kendisinden yaşlı olan tüm kaya birimlerini uyumsuz olarak örtmekte olup yaşlı stratigrafik konumuna göre Kuvaternerdir.

### 3.2. Ağır Metal Dağılımı ve Kirliliği

Kovada Gölü dip sedimanlarında ağır metal birikimini ve kirlilik durumunu ortaya koymak amacıyla Mayıs (2012) ve Ekim (2013) aylarında, 11 ayrı lokasyondan toplam 22 adet dip sediman örneği alınmış ve örneklerin Bakır (Cu), Kurşun (Pb), Çinko (Zn), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Mangan (Mn), Demir (Fe) ve Arsenik (As) gibi ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Sediman örneklerinde belirlenen ağır metallerin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 2'de, analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan metal zenginleşme faktörü (EF) değerleri ise Tablo 3'de verilmiştir. Ağır metallerin göl genelinde ortalama birikim düzeyleri Mn>Ni>Zn>Cu>Pb>As>Co>Fe şeklindedir. Sedimanlara ait analiz sonuçları incelendiğinde, iki dönem arasında ağır metal içeriği bakımından belirgin bir fark gözlenmemiştir. Bu nedenle, çalışmanın bu bölümünde Ekim (2013) ayına ait sediman analiz sonuçları değerlendirilmiş ve her bir ağır metalin göl genelindeki birikim, dağılım ve kirlilik durumu aşağıda ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

#### Bakır (Cu):

Yer kabuğunda ve mağmatik kayalarda ortalama 55 ppm, şeyllerde 45 ppm olan bakır, daha çok mafik kayalarda (100 ppm) bulunmaktadır. Bakır zenginleşmesi genel olarak antropojenik kaynaklı ve/veya biyoakümülyasyon vasıtasıyla gelişmektedir (Machender vd., 2010). Kovada gölü dip sedimanlarında ölçülen Cu konsantrasyonları göl genelinde 34,88 ile 336,0 ppm arasında değişmektedir. Cu için verilen ortalama şeyl değeri 45 olup, genel olarak gölden alınan sediman örneklerinin Cu değeri ortalama şeyl değerinin altında ölçülmüştür. Ancak 2 (336,0 ppm) ve 3 (49,12 ppm) nolulokasyonlardan alınan örneklerin Cu içeriği ortalama şeyl değerinin üzerindedir. Maksimum Cu konsantrasyonu gölün kuzeyinde, 2 nolulokasyonda ölçülmüştür (Şekil 3a). Bu lokasyona ait sediman örneğinin Cu EF değeri ise 12,14 olarak hesaplanmıştır. Bu değer EF sınıflamasına göre önemli ölçüde zenginleşmeyi işaret etmekte ve bölgede antropojenik kökenli kirleticilerden kaynaklanan Cu zenginleşmesinin varlığını göstermektedir. Bu alanlarda yapılan tarımsal faaliyetler sırasında Göztaşı olarak adlandırılan ve kimyasal bileşimi CuSO<sub>4</sub> olan tarım ilacı yoğun olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sözkonusulokasyonlar ciddi boyutta kirlilik yükü taşıyan Kovada kanalının göle boşalım alanını temsil etmektedir. Bu nedenle, 2 nolulokasyonda belirlenen Cu konsantrasyonun antropojenik girdiler ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Diğer örnek lokasyonlarından alınan sedimanların hesaplanan EF

değerleri 2'den küçük olup az zenginleşme göstermektedir.

**Tablo 2.** Kovada Gölü dip sedimanlarındaki ağır metal birikimleri

Örnek No	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm
1	37,40	19,20	84,30	93,90	17,30	920,00	2,83	17,70
2	336,00	20,76	81,80	76,50	15,70	775,00	2,89	17,00
3	49,12	17,23	94,30	71,00	14,90	1055,00	2,62	13,20
4	37,34	12,97	55,00	139,90	19,00	775,00	2,02	6,10
5	42,61	20,95	109,50	86,80	16,80	1004,00	3,11	19,40
6	40,81	21,00	82,10	86,70	16,10	795,00	2,96	16,70
7	39,23	21,12	72,30	85,40	16,20	640,00	2,91	14,20
8	34,88	19,93	66,60	81,70	16,40	854,00	2,97	32,10
9	35,98	19,28	80,00	79,40	15,30	728,00	2,74	14,80
10	38,18	19,91	77,10	77,20	14,30	492,00	2,71	11,70
11	38,00	20,62	105,90	86,80	16,10	860,00	3,06	17,90

**Tablo 3.** Ağır metallerin örnek lokasyonlarına göre EF değerleri

	Zenginleşme Faktörü (EF)						
	Cu	Pb	Zn	Ni	Co	Mn	As
1	1,38	1,59	1,47	2,29	1,51	1,80	2,26
2	12,14	1,69	1,40	1,83	1,34	1,48	2,13
3	1,96	1,55	1,78	1,87	1,41	2,23	1,82
4	1,93	1,51	1,35	4,79	2,33	2,12	1,09
5	1,43	1,58	1,74	1,93	1,34	1,79	2,26
6	1,44	1,67	1,37	2,02	1,35	1,49	2,04
7	1,41	1,71	1,23	2,03	1,38	1,22	1,76
8	1,23	1,58	1,11	1,90	1,37	1,59	3,91
9	1,37	1,65	1,44	2,00	1,38	1,47	1,95
10	1,47	1,73	1,41	1,97	1,31	1,00	1,56
11	1,30	1,58	1,71	1,96	1,30	1,55	2,11

#### Kurşun (Pb):

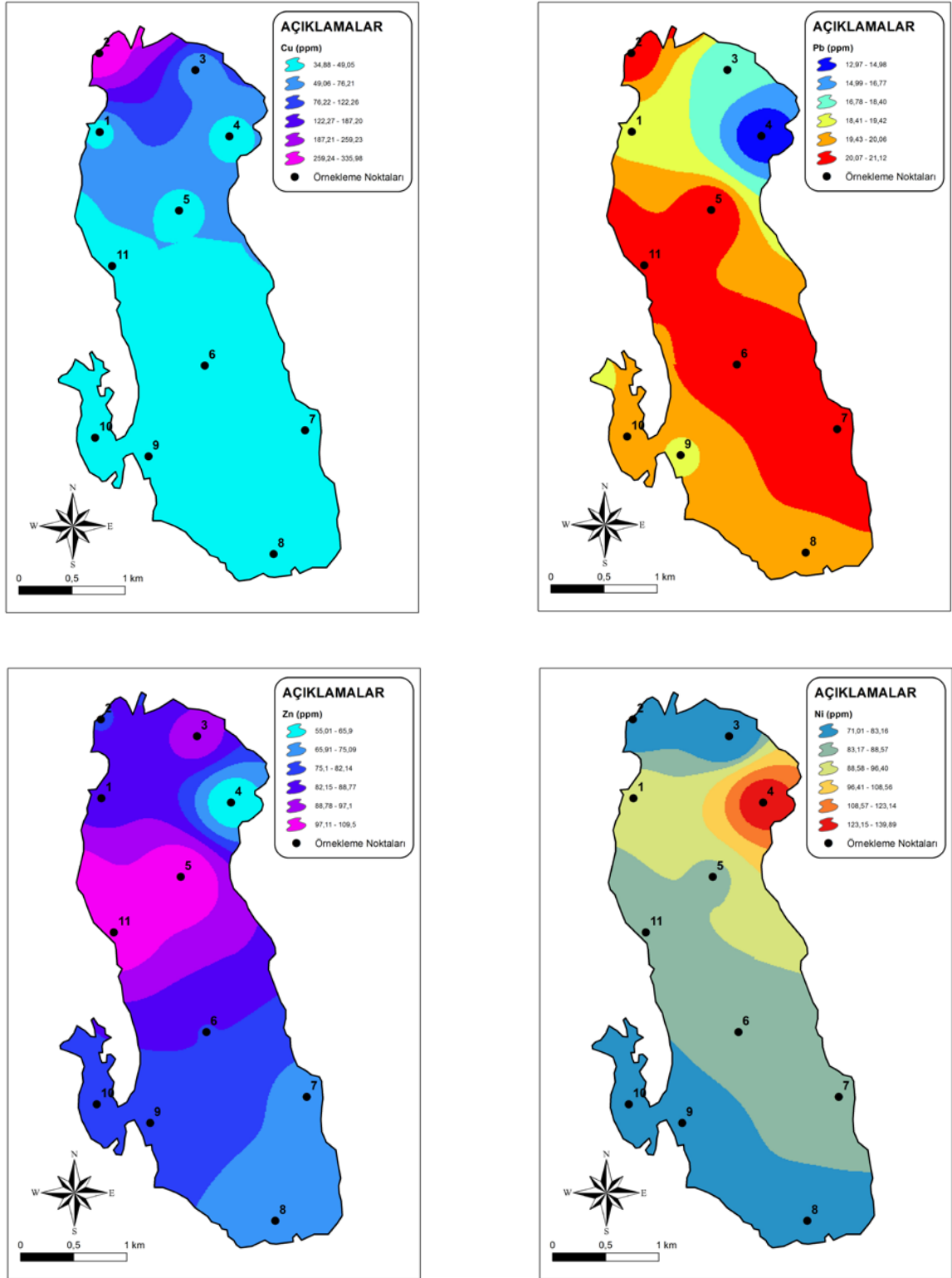
Kurşun, yer kabuğunda ortalama 12.5ppm bulunurken, ortalama şeyl değeri 20 ppm olarak belirtilmiştir. Tortul kayalardaki kurşunun başlıca kaynağı mağmatik ve metamorfik kayalarındaki K-feldispat ve mikaların bozulmasıdır (Şahinci, 1991). Çevre kirliliğine neden olan kurşun endüstriyel atık sularından ve büyük ölçüde motorlu araçlarda kullanılan benzinin yanması sonucu ortaya çıkan tetra etil kurşundan kaynaklanmaktadır (Vural, 1993). Kovada gölü dip sedimanlarında ölçülen Pb değeri 12,97 ppm ile 21.12 ppm arasında değişmekte olup 2, 5, 6, 7 ve 11 nolu örnek lokasyonlarından alınan sedimanların ortalama şeyl değerinin üzerinde Pb içerdiği belirlenmiştir.

Kurşunun göl içerisindeki dağılım durumu değerlendirildiğinde gölün kuzeyinden güneyine doğru bir hat boyunca Pb değerinin yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3b). Pb için hesaplanan EF değeri tüm örnek lokasyonları için > 1 olarak belirlenmiş olup az-orta zenginleşme sunmaktadır.

Bu durum dip sedimanlarda Pb getiriminin uzun süreli taşınım ile doğal veya antropojenik kaynaklı olduğunu göstermektedir. Pb elementi için zenginleşme sağlayabilecek doğal jeojenik faktör göl çevresinde yüzeyleyen ve killi-kumlu mikrit ara seviyeli kumtaşı, kiltası, siltaşı, konglomera, radyolarit ve çörtlerden oluşan Keçili formasyonudur. Özellikle gölün orta noktalarını temsil eden 5 ve 6 nolulokasyonlar için zenginleşmenin jeojenik kaynaklı uzun dönemli taşınımın bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ancak 2 nolulokasyonda belirlenen yüksek Pb miktarı Kovada kanalı boşalmasına bağlı olarak antropojenik kirlleticiler ile ilişkilidir.

#### Çinko (Zn):

Mağmatik kayalarda ortalama 70 ppm olan çinko, daha çok ultrabazik ve bazik kayalarda bulunmaktadır. Granitler 30-70 ppm, üst kıtasal kabuk 60 ppm civarında, şeyller 95 ppm, kumtaşları 16 ppm, kireçtaşları ise 20 ppm çinko içermektedir (Tablo 1.). Göl dip sedimanlarının çinko değeri 55 ile 109,5 ppm arasında değişmektedir (Şekil 3c).



Şekil 3. Ağır metallerin göl genelindeki dağılımları a) Bakır b) Kurşun c) Çinko d) Nikel

En düşük çinko değeri 4 nolulokasyonda ölçülürken, en yüksek çinko değerine 5 ve 11 nolulokasyonlarda rastlanmıştır. Söz konusu lokasyonların çevresinde şeyl ortalamasının üzerinde Zn birikimine sebep olabilecek kirlilik kaynağı bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu birikimin antropojenik girdilerden ziyade doğal kaynaklı olduğu ve göl kıyısındaki alüvyon birim içerisinde bulunan killi-siltli çökellerin göl tabanında devam etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Hesaplanan EF değerlerine göre ( $1 < EF < 2$ ) Zn elementi göl genelinde az-orta zenginleşme sunmaktadır.

#### **Nikel (Ni):**

Ultrabazik ve bazik kaya minerali olan Nimafik kayalarda ortalama 150 ppm, felsiklerde ise 0.5ppm bulunmaktadır. Çalışmada dikkate alınan ortalama şeyl değeri Ni için 70 ppm olarak belirtilmiştir. Ayrıca, nikelin yer kabuğu ortalaması 75 ppm olup kumtaşları 2 ppm, karbonatlı kayaçlar ise 20 ppm civarında Ni içermektedirler (Şahinci, 1991). Kovada gölü dip sedimanlarının Ni içeriği 71 ile 140 ppm arasında değişmektedir (Şekil 3d). Buna göre göl genelinde alınan tüm sediman örnekleri Ni bakımından ortalama şeyl değerinin üzerinde Ni içermektedir. Ancak en yüksek nikel konsantrasyonu gölün doğusunda 4 nolulokasyonda ölçülmüştür. Ni elementi için hesaplanan EF değerleri 2, 3 ve 5 nolulokasyonda  $< 2$  olup az zenginleşmeyi, diğer lokasyonların tamamında 2-5 arasında olup orta zenginleşmeyi işaret etmektedir. Nikel elementinin Kovada gölü dip sedimanlarında yüksek değerlerde olmasının uzun süreli taşınım ile doğal veya antropojenik kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Gölün kuzeyinde özellikle 4 nolulokasyonun temsil ettiği alanlarda doğal kaynaklı etkinin yanı sıra Kovada kanalının sahip olduğu ve doğrudan göle döküldüğü kirlilik yükünde etkin olduğu görülmektedir. Gölün güneyinde ise daha çok göl çevresindeki litolojik birimlerin uzun süreli taşınım ile doğal kaynaklı Ni birikimi söz konusudur.

#### **Kobalt (Co):**

Kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından nikel elementine çok benzeyen kobalt yer kabuğunda az oranlarda bulunmaktadır. Yer kabuğunda vemağmatik kayalarda ortalama 25 ppm olan kobalt mafik kayalarda 50 ppm civarında bulunmaktadır. Kobalt şeyllerde 20 ppm, kumtaşlarında 0.3ppm, kireçtaşlarında  $< 1$  ppm kadardır (Şahinci, 1991). Kovada gölü dip sedimanlarında kobalt 14.9 ile 19 ppm arasında ölçülmüş olup tüm değerler şeyl ortalamasının altındadır (Şekil 4a). Bu nedenle Kovada Gölü dip sedimanlarında Co elementi için antropojenik kaynaklı kirlilik bulunmamaktadır. Ancak göl genelindeki kobalt dağılımına bakıldığında en yüksek Co değerleri 4 nolulokasyonda ölçülmüştür. Bu lokasyonun EF değeri 2.33 olup orta

zenginleşme sınıfındadır. Diğer tüm lokasyonların EF değeri  $< 2$  olup az zenginleşme göstermektedir.

#### **Mangan (Mn):**

Mangan yer kabuğunda 950 ppm, şeylerde 850 ppm, kumtaşlarında 50 ppm, kireçtaşlarında ise 1100 ppm civarında bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Göl dip sedimanlarının analiz sonuçlarına göre Mn konsantrasyonları 492-1055 ppm arasında değişmekte olup 1, 3, 5, 8 ve 11 nolulokasyonlarda ölçülen Mn değerleri ortalama şeyl değerinin (850 ppm) üzerindedir (Şekil 4b). Mn elementi için hesaplanan EF değerleri 3 ve 4 nolulokasyonlarda  $> 2$  olup orta zenginleşmeyi, diğer lokasyonlarda ise  $< 2$  olup az zenginleşmeyi göstermektedir. Yüksek Mn değerlerinin ölçüldüğü 1, 3, 5 ve 11 nolulokasyonlar gölün kuzeyini temsil etmekte olup bu bölgedeki yüksek Mn birikimi diğer ağır matallerde olduğu gibi Kovada kanalı boşalmasına bağlı olarak antropojenik kaynaklıdır. 8 nolulokasyon ise gölün güneyinde yer almaktadır ve bu bölgede Mn kirliliğine sebep olabilecek kirlitici kaynak bulunmamaktadır. Bu nedenle bölgedeki Mn birikimi daha çok bölgedeki ofiyolitik birimler ile ilişkili olarak jeojenik kaynaklıdır.

#### **Demir (Fe):**

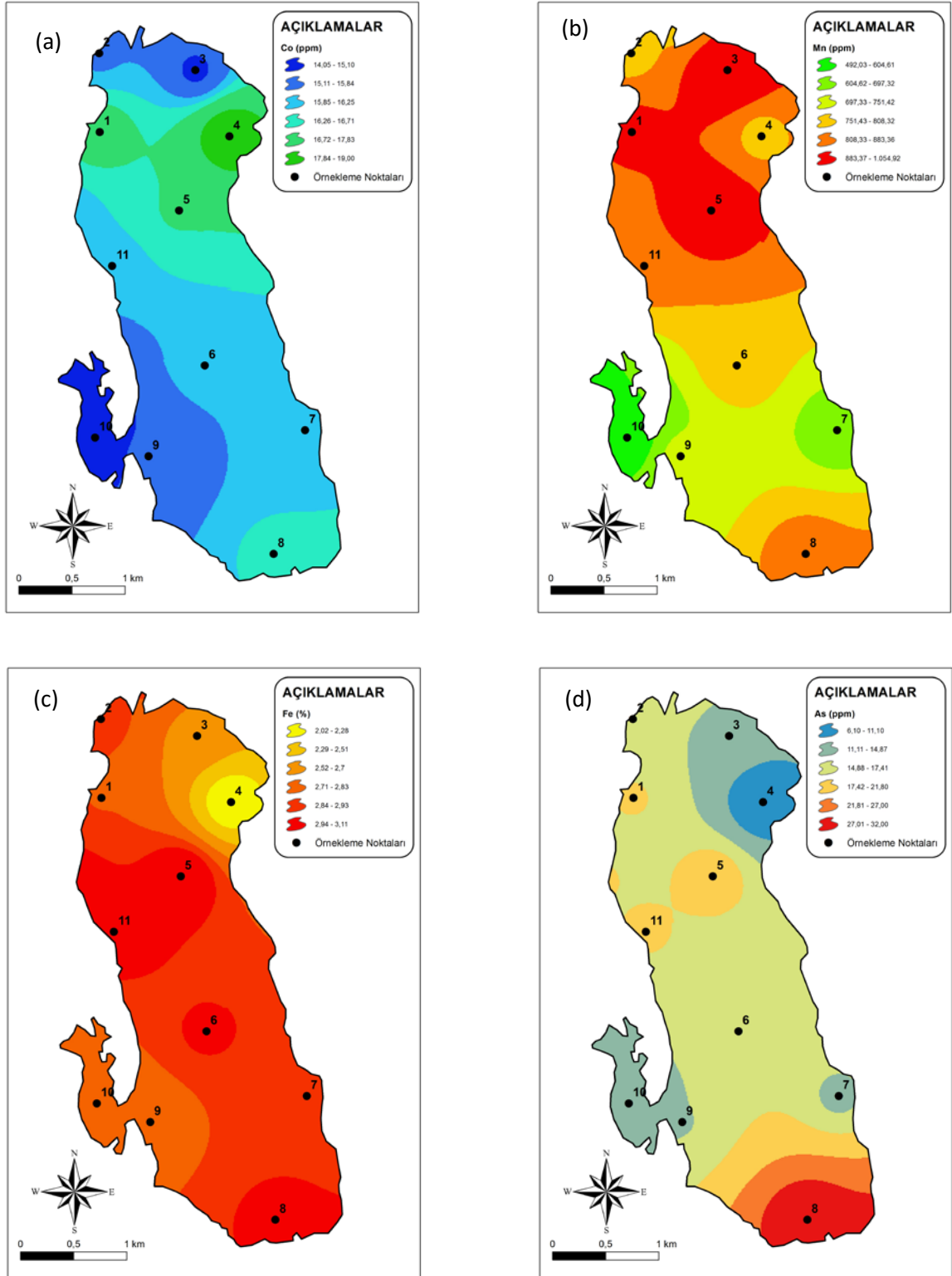
Demir yer kabuğunda oldukça bol bulunan elementlerden biridir. Demir yer kabuğunda % 5, şeyllerde % 4.7, kumtaşlarında ise % 0.9 gibi çok daha az miktarlarda bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Göl dip sedimanlarının Fe içerikleri % 2.02-3.11 arasında değişmekte olup alınan tüm ölçümler ortalama şeyl değerinin altındadır (Şekil 4c). Bu nedenle, göl dip sedimanlarının Fe içeriği olağandır.

#### **Arsenik (As):**

Arsenik elementi mağmatik kayaçlarda ve diyabazlarda ortalama 1.5 - 2 ppm civarında bulunurken fosfatlı kayalarda 21 ppm, göl çökellerinde ise ortalama 15 ppm bulunmaktadır. Jeojenik olarak yer kabuğunda 1,8 ppm, şeyllerde ise 13 ppm arsenik bulunduğu belirtilmiştir (Mason ve Moore, 1982). Antropojenik kökenli olarak ise tarımda kullanılan insektisit, herbisit ve pestisitler ile endüstriyel atıksular arsenik açısından çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Vural, 1993; Şener, 2010). Kovada Gölü dip sedimanlarının arsenik içeriği genel olarak 6.1 ile 32.1 ppm arasındadır. Göl genelinde 1, 2, 5, 6, 8 ve 11 nolulokasyonların arsenik değeri ortalama şeyl değerinin üzerindedir (Şekil 4d). Özellikle gölün güneyini temsil eden 8 nolulokasyonda en yüksek As değeri ölçülmüştür. Söz konusu lokasyonda hesaplanan EF değeri 3.92 olup orta derecede zenginleşmeyi göstermektedir. Diğer lokasyonlar için hesaplanan EF değerine göre As elementi göl genelinde az-orta zenginleşme sunmaktadır. Göl çevresinde kaya-su etkileşimi



vasıtasıyla As birikimine sebep olabilecek litolojik birim bulunmamaktadır.



Şekil 4. Ağır metallerin göl genelindeki dağılımları a) Kobalt b) Manganez c) Demir d) Arsenik

Ancak göl çevresindeki alüvyon alanlarda yaygın tarım alanları bulunmakta ve bu zirai faaliyetler sırasında inorganik kökenli tarım ilaçları kullanılmaktadır. Bu durum, göl dip sedimanlarındaki As birikiminin daha çok antropojenik kaynaklı olduğunu ve göl dip sedimanlarının As içeriği bakımından kirlilik taşıdığını göstermektedir.

## Sonuçlar

Kovada Gölü, Isparta il sınırları içerisinde ve Göller Bölgesinde yer almakta olup Eğirdir Gölü'nün doğal bir uzantısı olarak karstik çöküntülerden meydana gelmiştir. Göl çevresindeki biyo çeşitlilik nedeniyle "Milli Park" statüsündedir. Bölge için önemli bir su rezervuarı olan gölün çevresinde bulunan kirleticiler göl su kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Göl suyunu etkileyen kirleticiler zamanla dibe çökerek dip sedimanlarda da birikebilmekte ve sürekli su kütlesiyle temas halinde olan güncel sediman tabakası zamana bağlı olarak göl suyu kalitesi üzerinde olumsuz etki oluşturabilmektedir. Bu nedenle, göllerin ekolojik değerlendirmeleri sırasında göl su kalitesinin yanı sıra dip sedimanların da irdelenmesi büyük önem taşımaktadır. Kovada Gölü dip sedimanların mevcut durumdaki ağır metal içeriklerini ve olası kirlilik durumunu araştırmak amacıyla 2012 yılının Mayıs ayında ve 2013 yılının Ekim ayında, toplam 11 lokasyondan alınan dip sediman örneklerinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerle belirlenen Pb, As, Co, Cu, Ni, Zn, Fe ve Mn konsantrasyonları bölgede yüzeyleyen litolojik birimler, metallerin göl genelindeki dağılımları ve referans değerler dikkate alınarak yorumlanmıştır. Metallerin kirlilik değerlendirmesinin yapılabilmesi için ise zenginleşme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Dip sedimanların ağır metal içerikleri değerlendirildiğinde Cu, Zn, Ni, Mn ve As değerlerinin göl dip sedimanlarında ortalama şeyl değerinin üzerinde olduğu ve az-orta zenginleşme sunduğu belirlenmiştir. Dip sedimanların Fe, Co ve Pb içerikleri ise olağan olup genel olarak ortalama şeyl değerinin altında ölçülmüştür. Gölün en önemli kirleticiler kaynağı gölü besleyen Kovada kanalı olup yapılan araştırmada da kanalın boşalım bölgesi olan gölün kuzeyinde Cu, Mn ve As değerleri oldukça yüksek değerlerde ölçülmüştür. Bu durum gölün antropojenik kökenli kirleticilerden olumsuz olarak etkilendiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra göl çevresindeki tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan zirai ilaçlarda kirliliğe sebep olmakta ve gölün sürdürülebilir kullanımını olumsuz etkilemektedir. Gölün diğer bölgelerini temsil eden lokasyonlara ait örneklerde belirlenen yüksek Zn, Ni, Mn ve Pb birikimlerinin ise bölgedeki litolojik birimler ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- Abraham, G.M.S., Parker, R.J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 227–238.
- Aksu, A.E., Yaşar, D., Uslu, O., 1997. Assessment of Marine Pollution in İzmir Bay: Heavy Metal and Organic Compound Concentrations in Surficial Sediments. <http://journals.tubitak.gov.tr/engineering/issues/muh-98-22-5/muh-22-5-4-97026.pdf> (Erişim tarihi: 12.02.2010).
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M.N., Sarı, E., 2004. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932–950.
- Arslaner, M., 1973. Geology and petrography of the ophiolites in the Iskenderun–Kırıkhan region. *Public Mineral Research and Exploration Institute*, 71 pp, Ankara.
- Bergamaschi, L., Rizzio, E., Valcuvia, M.G., Verza, G., Profumo, A., Gallorini, M., 2002. Determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in Himalayan lichens. *Environmental Pollution* 120, 137–144.
- Bresline, V. T., Sanudo-Wilhelmy, S.A., 1999. High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in port Jefferson Harbour, New York. *Estuaries*, 22, 669–680.
- Bruland, K.W., Bertine, K., Koide, M., Goldberg, E.D., 1974. History of metal pollution in southern California coastal zone. *Environmental Science and Technology*, 8, 425–432.
- Buat-Menard, P., Chesselet, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet Science Letters*, 42, 399–411.
- Chester, R., 1990. *Marine geochemistry*. Unwin Hyman Ltd., 698 p, London.
- Dickinson, W.W., Dunbar, G.B., McLeod, H., 1996. Heavy metal history from cores in Wellington Harbour, New Zealand. *Environmental Geology*, 27, 59–69.
- Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü güneyinin (Isparta ili) temel jeolojik etüdü. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 18, 2, 1–10.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., 2007. Assessment of the Pollutants in Farming Soils and Waters Around Untreated Abandoned Türkönü Mercury Mine

- (Turkey). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 79, 20-24.
- Güven, K.C., Öztürk, B., 2005. Deniz Kirliliği. Tüdev Yayınları, No: 21, 512 s, İstanbul.
- Hornung, H., Karm, M.D., Cohen, Y., 1989. Trace metal distribution on sediments and benthic fauna of Haifa Bay, Israel. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 29, 43-56.
- Krauskopf, K.B., 1985. Introduction to geochemistry, 2nd edition Mc Grawhill, Singapore, 617 p.
- Loring, D.H., Rantala, R.T.T., 1988. An intercalibration exercise for trace metals in marine sediments. Marine Chemistry 24, 13-28.
- Machender G, Dhakate R, Prasanna L, Govil P.K., 2010. Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. Environ Earth Sci. doi:10.1007/s12665-010-0763-4
- Madiseh, S.D., Savary, A., Parham, H., Sabzalizadeh, S., 2009. Determination of the level of contamination in Khuzestan coastal waters (Northern Persian Gulf) by using an ecological risk index. Environmental Monitoring Assessment, 159, 521-530.
- Mason, B., Moore, C.B., 1982. Principles of Geochemistry, Fourth Edition, John Wiley and Sons, New York, 344 pp.
- Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., Bakoğlu, M., 2004. Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. Marine Pollution Bulletin, 48, 946-953.
- Salomons, W., Förstner, U., 1984. Metals in the hydrocycle. Springer, Berlin Heidelberg Tokyo.
- Sarı, E., Çağatay, M.N., 2001. Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean Sea. Environment International, 26, 169-173.
- Sarı, E., 2004. Marmara Denizi Doğusunda Çökel Jeokimyası ve Sedimentolojisi Yöntemleri ile Fay Etkinliğinin Araştırılması. İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Doktora Tezi, 181 s, İstanbul.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 548 s., İzmir.
- Şenel, M., Dalkılıç, H.; Gedik, I.; Serdaroğlu, M.; Bölükbaşı, A.S.; Metin, S.; Esentürk, K.; Bilgin, A.Z.; Uğuz, M.F.; Korucu, M., Özgül, N., 1992. Eğirdir - Yenişarbademli - Gebiz ve Geriş - Köprülü (Isparta - Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. MTA Rapor No: 9390, TPAO Rapor No: 3132 (yayınlanmamış), 559s.
- Şener, Ş., 2010. Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 348s, Isparta.
- Sutherland, R.A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environmental Geology, 39(6), 611-626.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. Reviews of Geophysics, 33, 241-265.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Geology Society America Bulletin, 72, 175-192.
- Windom, H.L., Smith, R.G.Jr., Rawlinson, C., 1989. Particulate trace metal composition and flux across the southeastern US continental shelf. Marine Chemistry, 27, 283-297.
- Vural, H., 1993. Ağır Metal İyonlarının Gıdalarda Oluşturduğu Kirlilikler. Çevre Dergisi, 8, 3-8.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Taner, K., Dalkılıç, H., 1986. Batı Torosların jeolojisi; Isparta projesi raporu. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü raporları (yayınlanmamış), Ankara.