

A Review of Sediment Contamination Assessment Methods

Sedimentteki Metal Kirliliğini Değerlendiren Yöntemler Üzerine Bir Derleme

Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi

Cilt: 1 Sayı: 1 (2015) 37-47

İsmet BALIK^{1,*}, Evren TUNCA¹

¹Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Fatsa-Ordu

ABSTRACT

The right way to reveal the anthropogenic heavymetal accumulation in sediments is the most important issue in understanding the inorganic pollution in aquatic ecosystems. Therefore, the determination of anthropogenic sourced metal input in sediment and the toxic effect to all the ecosystems is extremely important. To determine these entries and effect, many methods have been developed and lots of limit values have been determined. This study performed aims to demonstrate the toxic effect and risk values of human-induced inorganic pollution more accurately, precision and detailed by

collecting many different methods together. Thus, the most commonly used methods are grouped according to the similarities in the study. Therefore, it was provided to reveal the current situation of the study area the most truest and easily way by the researchers to select the most appropriate method. In addition, new studies to be carried out, it can be envisaged the time and financial loses to be prevented while providing to plan according to the classifications used here.

Keywords: Pollution, Contamination, Contamination factor, Sediment

Article Info

Received: 5 March 2015

Revised: 14 June 2015

Accepted: 21 June 2015

* (corresponding author)

E-mail: ibalik@hotmail.com

ÖZET

Sedimentteki insan kaynaklı ağır metal birikiminin doğru şekilde ortaya konması, sucul ekosistemlerdeki inorganik kirliliğin anlaşılmasında en önemli husustur. Bu yüzden sedimentteki antropojenik kaynaklı metal girdisinin belirlenmesi ve bu girdinin başta sucul ekosistemler olmak üzere, tüm ekosistemler üzerinde yarattığı toksik etkinin saptanması son derece önemlidir. Bu girdinin ve etkisinin belirlenmesi için pek çok yöntem geliştirilmiş ve pek çok limit değer belirlenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışma pek çok farklı yöntemi bir araya toplayarak, ekosistem üzerinde insan kaynaklı inorganik kirliliğin yarattığı toksik etki ve risk değerlerini daha doğru, hassas ve detaylı bir şekilde ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu sebeple en sık kullanılan yöntemler çalışmada benzerliklerine göre gruplanmıştır. Böylece araştırmacıların çalışmalarında yöntemler arasından kendilerine en uygun olanı rahatlıkla seçerek çalışılan bölgenin mevcut durumunun en doğru ve basit şekilde ortaya koymaları sağlanmıştır. Ayrıca gerçekleştirilecek yeni çalışmalarında, burada kullanılan sınıflandırmalara göre planlanması sağlanarak zaman ve maddi kayıpların engellenebileceği de öngörülmektedir.

Anahtar sözcükler: Kirlilik, Kontaminasyon, Kontaminasyon faktörü, Sediment

1. Giriş

Dünya genelinde artan sanayi ile beraber metal kirliliği, en önemli ekolojik problemlerden biri haline gelmiştir. Geçtiğimiz son birkaç on yıl içinde yoğun miktarda metal nehirlere, sulak alanlara, göllere ve denizlere karışmıştır (Sutherland, 2000, Zheng et al., 2008, Tunca et al., 2013, Alkan et al., 2015). Metallerin çeşitli organik atıklar gibi parçalanamamaları, biodegradasyona uğramamaları, varlıklarını uzun süre devam ettirmeleri, yoğun olarak bulunmaları, çoğu metalin biomagnifikasyon sonucu besin zincirinin üst kısımlarında daha yoğun birikim göstermeleri, kansere kadar varan son derece ciddi toksik etkileri günümüzde doğal ortamlarda metal birikim çalışmalarının önemini arttırmaktadır (El-Said et al., 2014, Candeias et al., 2015). Metaller, hem doğal yollar sonucu hem de antropojenik kaynaklı olarak ekosistemlere girmektedirler. Sucul ekosistemler metal kirliliğinde büyük öneme sahiptirler. Sucul çevrelerde metal

dağılımı: nehir ve atmosferik girdiler, kıyı erozyonu, biyolojik aktiviteler evsel ve endüstriyel deşarjlar gibi pek çok farklı prosesten etkilenen materyal değişimine dayanır (Okbah et al., 2014). Doğadaki metallerin bir kısmı yaşayan canlılar için esansiyel iken bir kısmı ise düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek toksik etki gösterme potansiyelindedir (Rzetala, 2014). Ancak tüm metaller belirli bir eşik konsantrasyonda toksik etki gösterirler (Bakan and Özkoç, 2007).

Sucul ekosistemde metal birikimi çalışmalarında sedimentin önemi büyüktür. Sediment içinde iz elementlerinde olduğu farklı zararlı ve toksik maddeleri bir arada bulundurur (Zamani Hargalani et al., 2014). Sediment kaynağı ister doğal olsun ister antropojenik, suya karışan metalin büyük oranda depolandığı ortamdır. Hidrolojik döngüde kontaminantın sudaki miktarı %1'den az iken sedimentteki oranı %99'un üstündedir (Salomons and Stigliani, 1995). Bu yüzden sediment kontaminasyonun saptanmasında önemli

bir indikatördür (Zamani Hargalani et al., 2014). Dahası değişen ortam şartlarıyla beraber sedimentte depolanan kontaminantlar tekrar suda çözülerek, sudaki kontaminant konsantrasyonunu arttırmalar. Bu şekilde sediment sudaki kirlilik için ikinci bir kaynak oluşturur (Yuan et al., 2014). Bu sebeplerden ötürü sedimentteki metal miktarlarının ortaya konarak, insan kaynaklı etkinin araştırılması ve biriken metalin canlılar üzerinde gösterdiği toksik etkinin anlaşılması için pek çok farklı yöntem ve sınır değerler belirlenmiştir. Ancak sedimentteki metal birikiminin kompleks kimyasal yapısından ötürü dünya genelinde kabul edilmiş sediment kalite standartları yoktur (Yuan et al., 2014).

Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, bu yöntemlerden en sık kullanılanlar ve en sık kullanılan limit değerler bir araya toplanarak kendi aralarında gruplandırılmıştır. Bu yöntemleri kullanarak sedimentteki ağır metal miktarını araştırmak ve literatür ile kıyaslamak isteyen araştırmacılar için son derece önemli olabilecek olan bu çalışma, aynı zamanda pek çok yöntemin de bir arada toplanarak karşılaştırıldığı bir kaynak niteliğindedir.

2. Yöntemler

Çalışma kapsamında bir araya toplanan yöntemlerin çoğu mevcut durumu ortaya koyarken endüstri dönemi öncesi, yerin yüzeyinde bulunan ağır metal değerlerini esas alır. Bu kapsamda en sık kullanılan kaynak Turekian ve Wedepohl'a aittir (Turekian and Wedepohl, 1961). Bu verilere alternatif oluşturabilecek bir diğer metod ise ortama ait geçmiş zaman verileridir. Sedimentteki ağır metal çalışmalarında kontaminasyon faktörü (C_f^i) en sık kullanılan yöntemlerden biridir ve son derece basit ve mevcut durum

hakkında güçlü veriler sağlar. Hakanson tarafından ortaya konmuştur (Hakanson, 1980). Tüm yöntemlere ait eşikler ve sınır değerler Tablo 1'de verilmiştir.

$$C_f^i = C^i / C_n^i \quad (1)$$

şeklinde hesaplanır. C^i sedimentte ölçülen metalin değeri, C_n^i ise o metale ait endüstri dönemi öncesi referans değeri göstermektedir. Hakanson tarafından ortaya konan bir diğer önemli yöntem ise kontaminasyon derecesidir (C_d) ve şu şekilde hesaplanır (Hakanson, 1980).

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i \quad (2)$$

C_f^i kontaminasyon faktörüdür.

Formülden de anlaşılacağı gibi tüm (C_f^i) değerlerinin toplamıdır. Ancak bu formül pratik uygulamada bazı problemlere yol açmaktadır zira formül gereği ne kadar çok metal çalışılırsa C_d değeri o kadar yüksek çıkmaktadır. Bu da farklı çalışmaların karşılaştırılmasında bazı problemlere yol açmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak için Abraham ve Parker aynı formülü çalışılan metal sayısına oranlayarak modifiye etmişlerdir (Abraham and Parker, 2008).

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n} \quad (3)$$

C_f^i kontaminasyon faktörünü ve n ise çalışılan toplam metal sayısını vermektedir. Sıklıkla kullanılan yöntemlerden bir diğeri zenginleştirme faktörüdür (EF). Şu şekilde formüle edilmiştir.

$$EF = \frac{C_n / C_{ref}}{B_n / B_{ref}} \quad (4)$$

Tablo 1. Skalalar ve sınır değerler

Sınır Değerler											
	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	As	Cd	Cr	Al	Hg
PEL	197	91	315	36			17	3.53	90		0.49
ERM	390	110	270	50			85	9	145		1.3
TEL	35	35	123	18			5.9	0.6	37.3		0.17
ERL	70	35	120	30			33	5	80		0.15
Ref.	45	20	95	68	850	47200	13	0.3	90	80000	0.4
Kontaminasyon Faktörü (C_f^i)											
	$C_f^i < 1$ respectively to low		$1 \leq C_f^i < 3$ moderate			$3 \leq C_f^i < 6$ considerable			$C_f^i \geq 6$ very high		
Kontaminasyon Derecesi (C_d)											
	$C_d \leq 8$ low		$8 \leq C_d \leq 16$ moderate			$16 \leq C_d \leq 32$ considerable			$C_d \geq 32$ very high		
Modifiye Kontaminasyon Derecesi (mC_d)											
	$mC_d < 1.5$ nil to very low	$1.5 \leq mC_d < 2$ low	$2 \leq mC_d < 4$ moderate	$4 \leq mC_d < 8$ high	$8 \leq mC_d < 16$ very high	$16 \leq mC_d < 32$ extremely high	$mC_d \geq 32$ ultra high				
Zenginleştirme Faktörü (EF)											
	$EF < 2$ minimal		$2 \leq EF < 5$ moderate		$5 \leq EF < 20$ significant		$20 \leq EF < 40$ very high		$EF \geq 40$ extremely high		
Jeokümülayon İndeksi (I_{geo})											
	$I_{geo} \leq 0$ practically uncontami-nated	$0 < I_{geo} < 1$ uncontami-nated to moderately	$1 < I_{geo} < 2$ moderately	$2 < I_{geo} < 3$ moderately to strongly	$3 < I_{geo} < 4$ strongly	$4 < I_{geo} < 5$ strong to extremely	$I_{geo} \geq 5$ extremely				
Kirlilik Yükleme İndeksi (PLI)											
	0 perfection			1 baseline			>1 deterioration				
Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (Er^i)											
	$Er^i < 40$ Low		$40 \leq Er^i < 80$ moderate		$80 \leq Er^i < 160$ considerable		$160 \leq Er^i < 320$ high		$320 \geq Er^i$ very high		
Potansiyel Ekolojik Risk İndeksi (RI)											
	$RI < 150$ Low		$150 \leq RI < 300$ moderate			$300 \leq RI < 600$ considerable			$600 \geq RI$ high		
Ortalama Etki Aralığı Medyanı Oranı (m-ERM-Q)											
	$m-ERM-Q < 0.1$ %9 toxic		$0.11 < m-ERM-Q < 0.5$ %21 toxic		$0.51 < m-ERM-Q < 1.5$ %49 toxic			$m-ERM-Q > 1.5$ %76 toxic			
Ortalama Muhtemel Etki Seviyesi Oranı (m-PEL-Q)											
	$m-PEL-Q < 0.1$ unimpacted			$0.1 < m-PEL-Q < 1$ moderately impacted				$m-ERM-Q > 1$ highly impacted			

PEL: Olası etki seviyesi, Tel: Sınır etki seviyesi Smith vd. (1996)

ERM: Etki aralığı ortancası, ERL: Etki aralığı alt sınırı Long ve Morgan (1991)

Ref: Endüstri öncesi referans değerler Turekian ve Wedepohl (1961)

Formüldeki C_n çalışmada ölçülen metal değerini, C_{ref} çalışılan metalin referans ortamdaki değeri (örn. Earth's crust), B_n referans elementin çalışmada ölçülen değeri (örn. Fe or Al) ve B_{ref} ise referans elementin referans ortamdaki değerini göstermektedir. Referans element olarak Fe kullanan çalışmalar olduğu gibi (Almasoud et al., 2014), Mn ve Li (Jamshidi-Zanjani and Saeedi, 2013) Al (Ramiro Pastorinho et al., 2012) kullanan çalışmalarda mevcuttur. Seçilen bir diğer yöntem ise Müller tarafından oluşturulmuş jeoakümülyasyon indeksidir (I_{geo}) (Müller, 1969).

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n} \quad (5)$$

Formüldeki C_n ölçülen metal miktarını, B_n değeri ölçülen metalin referans değerini, 1.5 ise doğal dalgalanma katsayısını vermektedir. Tomlinson ve ark. tarafından ortaya konan kirlilik yüklemeye indeksi (PLI) çalışma kapsamına alınmıştır (Tomlinson et al., 1980).

$$PLI = (C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \dots \times C_{fn})^{1/n} \quad (6)$$

C_f kontaminasyon faktörünü, n ise çalışılan toplam metal sayısını göstermektedir. Potansiyel ekolojik risk faktörü (E_r^i) Hakanson tarafından ilk olarak kullanılan ve kontaminasyonun mevcut canlılara etkisini gösteren bir formüldür (Hakanson, 1980).

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{C_i}{C_o} \quad (7)$$

Formüldeki T_r^i toksik response faktörünü C_i örneklerdeki metal miktarını ve C_o ise referans değerini belirtmektedir. Aynı formülün devamında ise potansiyel

ekolojik risk indeksi hesaplanabilir (Hakanson, 1980).

$$RI = \sum_{i=1}^8 E_r^i \quad (8)$$

E_r^i potansiyel ekolojik risk faktörünü, 8 ise toksik response faktörü belirlenen 8 metali (Hg, Cd, As, Pb, Cu, Cr, Zn) göstermektedir. Ancak Mn ve Ni gibi bazı metallere toksik response faktörleri belirlenerek denkleme eklenmiştir (Xu et al., 2008). Yine sıklıkla kullanılan yöntemlerden ikisi ortalama etki aralığı medyanı oranı (m-ERM-Q) ve ortalama muhtemel etki seviyesi oranı (m-PEL-Q) (Carr et al., 1996, Long et al., 1998) dir.

$$m - ERM - Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_i / ERM_i}{n} \quad (9)$$

$$m - PEL - Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_i / PEL_i}{n} \quad (10)$$

C_i çalışılan metalin ortamdaki değeri, ERM çalışılan metalin etki aralığı medyanını, PEL, çalışılan metalin ortalama muhtemel etki seviyesini, n ise çalışılan metal sayısını göstermektedir. Toksik üniteler toplamı (ΣTUs) ve oransal toksik unite, çalışma kapsamında seçilen, metal birikiminin canlılara etkisini araştıran yöntemlerdir. Toksik üniteler toplamı metal miktarlarının, o metallere ait PEL (Probable effect level) değerine oranlanması ile elde edilir. Oransal toksik unite ise her elemente ait toksik unite değerinin toplam toksik unite de ki oranının yüzde cinsinden ifadesidir.

$$\Sigma TUs = \sum_{i=1}^n C_i / PEL_{C_i} \quad (11)$$

$$Oransal TU = \frac{C_i / PEL_{C_i}}{\Sigma TUs} \times 100 \quad (12)$$

C_i çalışılan metalin ortamdaki konsantrasyonunu, PEL_{C_i} çalışılan metalin

PEL (Probable effect level) değerini, n ise çalışılan toplam metal sayısını vermektedir.

Sınır değerlerden ERL ve TEL (düşük aralık değerleri), elde edilen sediment metal konsantrasyonunun bu değerlerin altında olması durumunda ortamdaki organizmalara zarar vermemesi beklenen değerleri teşkil ederler. ERM ve PEL (yüksek aralık değerleri) ise elde edilen sediment metal konsantrasyonunun bu değerlerin üstünde olması durumunda ortamdaki organizmaların zarar görmesi beklenen değerleri teşkil ederler. (Long and Morgan, 1991, Smith et al., 1996, Hahladakis et al., 2013).

3. Tartışma

Sedimentte antropojenik kaynaklı metal girdisini anlamaya, bu girdinin canlılar üzerinde yarattığı toksik etkiyi belirlemeye yönelik olarak geliştirilen bu yöntemlerin iki temel şekilde gruplandırılması mümkün görülmektedir. Bu yöntemlerden ilki yöntemin kullanılma amacına göre olan diğeri ise yöntemin sonucuna göre olandır.

Yöntemin kullanılma amacına göre olan sınıflandırma üç başlık altında toplanabilir:

1) *Sedimentteki insan kaynaklı kirlilik miktarını ortaya koyanlar*

Kontaminasyon faktörü (C_f^i), kontaminasyon derecesi (C_d), modifiye kontaminasyon derecesi (mC_d), zenginleştirme faktörü (EF), jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) ve kirlilik yükleme indeksi (PLI).

2) *Sedimentteki kirliliğin ekosistem üzerinde yarattığı etkiyi araştıranlar*

Potansiyel ekolojik risk faktörü (E_r^i , (PERI)), potansiyel ekolojik risk indeksi (RI), toksik birim (TU), toplam toksik birim ($\sum TUs$), ortalama ERM bölümü (m-ERM-Q) ve ortalama PEL bölümü (m-PEL-Q).

3) *Sınır değer teşkil edenler: Etki aralığı altı (ERL), etki aralığı medyanı (ERM), sınır etki seviyesi (TEL) ve olası etki seviyesi (PEL)*

Çalışmanın sonuçları incelenmek istenildiğinde bu 3 başlıktan her başlığa ait yöntemler mutlaka kullanılmalıdır. Çünkü bu yöntemler kirliliği ortaya koymak ve ortaya konulan kirliliğin etkisini göstermek üzere birbirlerini tamamlayacak şekilde sınıflandırılmıştır. Ayrıca sonuçların limit değerler ile de kıyaslanması, sonuçların ortaya konmasında önemli olacaktır. Dikkat edilmesi gereken çok önemli bir noktada, çalışmanın sonucunda çalışılan metallere ait değerlerin ayrı ayrı karşılaştırılması ve toplam metal etkisinin istasyon bazlı olarak diğer istasyonlarla ya da göl bazlı olarak diğer göllerle karşılaştırılabilmesidir. Bu noktada yöntemin sonucuna göre olan diğer sınıflandırma ön plana çıkmaktadır.

Yöntemin sonucuna göre olan sınıflandırmada iki ayrı grup, mevcut durumu her bir metal için ayrı ayrı irdelemesi veya tüm metallerin yarattığı ortak etkiyi ortaya koyması açısından birbirlerinden ayrılır:

1) *Metalleri ayrı ayrı inceleyen yöntemler*

Kontaminasyon faktörü (C_f^i), zenginleştirme faktörü (EF), jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}), Potansiyel ekolojik risk faktörü (E_r^i , (PERI)), oransal toksik unite, etki aralığı altı (ERL), etki aralığı medyanı (ERM), sınır etki seviyesi (TEL) ve olası etki seviyesi (PEL).

2) *Tüm metallerin yarattığı ortak etkiyi inceleyen yöntemler*

Kontaminasyon derecesi (C_d), modifiye kontaminasyon derecesi (mC_d), kirlilik yükleme indeksi (PLI), potansiyel ekolojik risk indeksi (RI), toplam toksik birim ($\sum TUs$), ortalama ERM bölümü (m-ERM-Q) ve ortalama PEL bölümü (m-PEL-Q).

Literatüre bakıldığında bu yöntemleri farklı şekilde bir araya getirerek mevcut durumu ortaya koyan çalışmalar görülebilir. Güncel makale arama motorlarından biri üzerinden 03.06.2015 tarihinde “contamination factor” anahtar kelimesi ile gerçekleştirilen arama sonucu ilk 10 makalede kullanılan yöntemler şu şekildedir. Kontaminasyon faktörünün anahtar kelime olarak seçilmesinin sebebi, en temel, en sık kullanılan ve en basit yöntem olmasıdır. Ravinsankar ve arkadaşları Bengal Kıyılarında gerçekleştirdikleri çalışmada EF, I_{geo} , PLI ve C_f^i yöntemlerini araştırmalarında kullanmışlardır. Ayrıca sınır değerlerden TEL, PEL, ERL, ERM ve bu çalışmada yer almayan SEL kullanılmıştır. (Ravinsankar et al., 2015). Ferrati ve arkadaşları Kosova da 2 farklı nehirde gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i , Cd, mCd, PLI, I_{geo} yöntemlerini kullanmışlardır. Sınır değerlerden TEL kullanılması çalışmada tercih edilmiştir (Ferrati et al., 2015). Çin’de Hainan Adasındaki nehirlerde Zhao ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i , EF, I_{geo} yöntemlerini tercih etmişlerdir (Zhao et al., 2015a). Sallam ve arkadaşları Riyad (Suudi Arabistan) ‘da gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i ve EF yöntemlerini kullanmışlardır (Sallam et al., 2015). Martinez ve arkadaşlarının İspanyada Biskay körfezinde gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i , Cd ve EF yöntemleri kullanılmıştır (Martinez-Santos et al., 2015). İran’da Kerman Bölgesinde bakır madeni civarında gerçekleştirilen araştırmada Rezaei ve arkadaşları C_f^i , EF, I_{geo} yöntemlerini kullanmışlardır (Rezaei et al., 2015). Shamilishvili ve arkadaşları St. Petersburg’da Krasnogvardeisky bölgesinde C_f^i , I_{geo} ve bu çalışmada yer almaya kirlilik indeksi (PI) yöntemlerini tercih etmişlerdir (Shamilishvili et al.,

2015). Islam ve arkadaşları Bangladeş te gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i , EF, PLI yöntemlerini uygulamışlardır (Islam et al., 2015). Aydi’nin Tunus’un Bizerte bölgesinde yaptığı çalışmada tercih ettiği yöntemler C_f^i , I_{geo} ve PLI olmuştur (Aydi, 2015). Kumar ve arkadaşlarının Chaibasa, Hindistanda yer alan çalışmalarında C_f^i , I_{geo} yöntemlerini kullanılmıştır (Kumar and Maiti, 2015).

Aynı makale, arama motoru ile sediment+metal+anthropogenic şeklinde daha geniş bir bakış açısı ile gerçekleştirilen aramada 4 makale diğer arama kriterlerine göre ortak bulunmuştur. Bu 4 makale haricinde bu çalışmada kullanılan yöntemleri veya benzeri yöntemleri kullanmış (istatistiksel yöntemler hariç) ilk 10 makalede şu şekildedir. Guo ve arkadaşları Çin’de 5 farklı bölgedeki göllerde gerçekleştirdikleri çalışmada EF, I_{geo} ve PLI yöntemlerini kullanmışlardır. Ayrıca sınır değerlerdende TEC ve PEC çalışma için tercih edilenler olmuştur (Guo et al., 2015). Magdalene ve arkadaşları Kamerun Kıyılarında gerçekleştirdikleri çalışmalarda EF, I_{geo} , oransal TU, Σ TU yöntemlerini kullanmış, TEL, PEL, ERL ve ERM sınır değerleri ile saptadıkları değerleri karşılaştırmışlardır (Ngeve et al., 2015). Wang ve arkadaşlarının Çin’in Anhui bölgesindeki bazı nehirlerde gerçekleştirdikleri çalışmada EF, I_{geo} ve bu çalışmada kullanılmayan modifiye edilmiş jeoakümülyasyon yöntemleri kullanılmış ve TEC ve PEC sınır değerleri karşılaştırılması için tercih edilmiştir (Wang et al., 2015). Nasr ve arkadaşlarının Mısır’da Nil Deltasında gerçekleştirdikleri çalışmada ERL ve ERM sınır değerler ile bu çalışma kapsamında yer almayan risk belirleme kodunu (RAC) kullanmışlardır (Nasr et al., 2015). Odjer-Bio ve arkadaşlarının

Gana'da Butuah Lagününde gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i , I_{geo} ve mCd, EF, PLI yöntemlerini uygulamışlardır (Odjer-Bio et al., 2015). Zhao ve arkadaşlarının güney Çin'de nehir ağında gerçekleştirdikleri çalışmada C_f^i , Cd, Er^i ve RI yöntemlerini, ayrıca bu çalışmada yer almayan tekli faktör ve Nemerow'un kapsamlı kirlilik indeksini kullandıkları görülmektedir (Zhao et al., 2015b). Omar ve arkadaşları Mısır'da Tetouan Kıyılarında antropojenik etkiyi ortaya koymak için EF yöntemini kullanmış ERL, ERM ve PEL sınır değerleri ile karşılaştırma yapmışlardır. Ayrıca bu çalışmada yer almayan ISQG sınır değerini de kullanmışlardır (Omar et al., 2015). Odukaya ve arkadaşları Güney batı Nijerya kıyılarının araştırılması için C_f^i , Cd, PLI, EF, I_{geo} , Er^i ve RI yöntemlerini tercih etmişlerdir (Odukaya and Akande, 2015). Huang ve arkadaşları Çin'de İnci Nehri Deltasında antropojenik etkiyi saptamak için C_f^i , Cd, I_{geo} yöntemlerini çalışmalarında kullanmışlardır (Huang et al., 2015). Xu ve arkadaşları yine Çinde Laizhou Körfezinde I_{geo} , EF, m-PEL-Q yöntemlerini kullanmış ve TEL ve PEL sınır değerleri ile de karşılaştırma yapmışlardır (Xu et al., 2015).

4. Sonuç

Literatürde en sık kullanılan yöntemleri bir araya getiren bu çalışma iki temel küme oluşturmuştur. 1. küme yöntemin kullanılma amacına göre olan, 2. küme ise yöntemin sonucuna göre olandır. Bu iki kümeden 1.si, kendi içinde sedimentteki insan kaynaklı kirlilik miktarını ortaya koyanlar, sedimentteki kirliliğin ekosistem üzerinde yarattığı etkiyi araştıranlar ve sınır değer teşkil edenler olmak üzere üçe ayrılır. 2. küme ise metalleri ayrı ayrı inceleyen yöntemler ve tüm metallerin

yarattığı ortak etkiyi inceleyen yöntemler olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır. Bu yöntemleri kullanarak metal çalışmak isteyen bir araştırmacı için 1. kümeye ait her sınıf için yöntem seçilmesi bu seçim yapılırken de seçilen yöntemlerin 2. kümedeki iki ayrı sınıfı da temsil edilecek şekilde belirlenmesi önerilir.

5. Kaynaklar

Sutherland, R. A., (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology* 39: 611-627.

Zheng, N., Wang, Q., Liang, Z., Zheng, D., (2008). Characterization of heavy metal concentrations in the sediments of three freshwater rivers in Huludao City, Northeast China. *Environ Pollut* 154: 135-142.

Tunca, E., Ucuncu, E., Kurtulus, B., Ozkan, A. D., Atasagun, S., (2013). Accumulation trends of metals and a metalloids in the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* from Lake Yenice (Turkey). *Chemistry and Ecology* 29: 754-769.

Alkan, N., Alkan, A., Akbas, U., Fisher, A., (2015). Metal Pollution Assessment in Sediments of the Southeastern Black Sea Coast of Turkey. *Soil & Sediment Contamination* 24: 290-305.

El-Said, G. F., Draz, S. E., El-Sadaawy, M. M., Moneer, A. A., (2014). Sedimentology, geochemistry, pollution status and ecological risk assessment of some heavy metals in surficial sediments of an Egyptian lagoon connecting to the Mediterranean Sea. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* 49: 1029-44.

Candeias, C., Ávila, P. F., Da Silva, E. F., Ferreira, A., Durães, N., Teixeira, J. P., (2015). Water-rock interaction and geochemical processes in surface waters influenced by tailings impoundments: Impact and threats to the ecosystems and human health in rural communities (Panasqueira mine, Central Portugal). *Water, Air, and Soil Pollution* 226.

Okbah, M. A., Nasr, S. M., Soliman, N. F., Khairy, M. A., (2014). Distribution and Contamination Status of Trace Metals in the Mediterranean Coastal Sediments, Egypt. *Soil and Sediment*

- Contamination: An International Journal* 23: 656-676.
- Rzetala, M. A., (2014). Assessment of Toxic Metal Contamination of Bottom Sediments in Water Bodies in Urban Areas. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* 24: 49-63.
- Bakan, G., Özkoç, H. B., (2007). An ecological risk assessment of the impact of heavy metals in surface sediments on biota from the mid-Black Sea coast of Turkey. *International Journal of Environmental Studies* 64: 45-57.
- Zamani Hargalani, F., Karbassi, A., Monavari, S. M., Abroomand Azar, P., (2014). A novel pollution index based on the bioavailability of elements: A study on Anzali wetland bed sediments. *Environmental Monitoring and Assessment* 186: 2329-2348.
- Salomons, W., Stigliani, W. (1995). Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments. *Springer-Verlag, Heidelberg*, p. 2.
- Yuan, Z., Taoran, S., Yan, Z., Tao, Y., (2014). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in sediments from a hypertrophic plateau lake Dianchi, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 186: 1219-1234.
- Turekian, K. K., Wedepohl, K. H., (1961). Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. *Geological Society of America, Bulletin* 72: 175-192.
- Hakanson, L., (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14: 975-1001.
- 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.
- Almasoud, F. I., Usman, A. R., Al-Farraj, A. S., (2014). Heavy metals in the soils of the Arabian Gulf coast affected by industrial activities: analysis and assessment using enrichment factor and multivariate analysis. *Arabian Journal of Geosciences* 8: 1691-1703.
- Ramiro Pastorinho, M., Telfer, T. C., Nogueira, A. J. A., Soares, A. M. V. M., Ranville, J. F., (2012). An evaluation of trace metal distribution, enrichment factors and risk in sediments of a coastal lagoon (Ria de Aveiro, Portugal). *Environmental Earth Sciences* 67: 2043-2052.
- Müller, G., (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2: 108-118.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., Jeffrey, D. W., (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresuntersuchungen* 33: 566-575.
- Xu, Z. Q., Ni, S. J., Tuo, X. G., (2008). Calculation of heavy metals toxicity coefficient in the evaluation of potential ecological risk index. *Environmental Science and Technology* 31: 112-115.
- Carr, R. S., Long, E. R., Windom, H. L., Chapman, D. C., Thursby, G., Sloane, G. M., Wolfe, D. A., (1996). Sediment quality assessment studies of Tampa Bay, Florida. *Environmental Toxicology and Chemistry* 15: 1218-1231.
- Long, E. R., Field, L. J., Macdonald, D. D., (1998). Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry* 17: 714-727.
- Long, E. R., Morgan, L. G. 1991. The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program. NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. *National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, 175 pp appendices.*
- Smith, S. L., Macdonald, D. D., Keenleyside, K. A., Ingersoll, C. G., Field, L. J., (1996). A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal of Great Lakes Research* 22: 624-638.
- Hahladakis, J., Smaragdaki, E., Vasilaki, G., Gidarakos, E., (2013). Use of Sediment Quality Guidelines and pollution indicators for the assessment of heavy metal and PAH contamination in Greek surficial sea and lake sediments. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 2843-2853.

- Ravisankar, R., Sivakumar, S., Chandrasekaran, A., Kanagasabapathy, K. V., Prasad, M. V. R., Satapathy, K. K., (2015). Statistical assessment of heavy metal pollution in sediments of east coast of Tamilnadu using Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectroscopy (EDXRF). *Applied Radiation and Isotopes* 102: 42-47.
- Ferati, F., Kerolli-Mustafa, M., Kraja-Ylli, A., (2015). Assessment of heavy metal contamination in water and sediments of Trepça and Sitnica rivers, Kosovo, using pollution indicators and multivariate cluster analysis. *Environmental Monitoring and Assessment* 187.
- Zhao, D., Wan, S., Yu, Z., Huang, J., (2015a). Distribution, enrichment and sources of heavy metals in surface sediments of Hainan Island rivers, China. *Environmental Earth Sciences*.
- Sallam, A. S., Usman, A. R. A., Al-Makrami, H. A., Al-Wabel, M. I., Al-Omran, A., (2015). Environmental assessment of tannery wastes in relation to dumpsite soil: a case study from Riyadh, Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*.
- Martínez-Santos, M., Probst, A., García-García, J., Ruiz-Romera, E., (2015). Influence of anthropogenic inputs and a high-magnitude flood event on metal contamination pattern in surface bottom sediments from the Deba River urban catchment. *Science of the Total Environment* 514: 10-25.
- Rezaei, A., Shayestehfar, M., Hassani, H., Mohammadi, M. R. T., (2015). Assessment of the metals contamination and their grading by SAW method: a case study in Sarcheshmeh copper complex, Kerman, Iran. *Environmental Earth Sciences*.
- Shamilishvili, G. A., Abakumov, E. V., Ryumin, A. G., (2015). Assessment of the mobile forms of zinc and copper content in soil samples from areas of different land use on example of the Krasnogvardeisky District of the St. Petersburg. *Environmental Earth Sciences*.
- Islam, S., Ahmed, K., Habibullah Al, M., Masunaga, S., (2015). Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. *Science of the Total Environment* 512-513: 94-102.
- Aydi, A., (2015). Assessment of heavy metal contamination risk in soils of landfill of Bizerte (Tunisia) with a focus on application of pollution indicators. *Environmental Earth Sciences*.
- Kumar, A., Maiti, S. K., (2015). Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India. *Environmental Earth Sciences*.
- Guo, W., Huo, S., Xi, B., Zhang, J., Wu, F., (2015). Heavy metal contamination in sediments from typical lakes in the five geographic regions of China: Distribution, bioavailability, and risk. *Ecological Engineering* 81: 243-255.
- Ngeve, M. N., Leermakers, M., Elskens, M., Kochzius, M., (2015). Assessment of trace metal pollution in sediments and intertidal fauna at the coast of Cameroon. *Environmental Monitoring and Assessment* 187.
- Wang, J., Liu, G., Lu, L., Zhang, J., Liu, H., (2015). Geochemical normalization and assessment of heavy metals (Cu, Pb, Zn, and Ni) in sediments from the Huaihe River, Anhui, China. *Catena* 129: 30-38.
- Nasr, S. M., Soliman, N. F., Khairy, M. A., Okbah, M. A., (2015). Metals bioavailability in surface sediments off Nile delta, Egypt: Application of acid leachable metals and sequential extraction techniques. *Environmental Monitoring and Assessment* 187.
- Odjer-Bio, N. T., Belford, E. J. D., Ansong, M., (2015). What is happening to our Lagoons? The example of Butuah Lagoon in Ghana. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 6: 183-193.
- Zhao, R., Coles, N. A., Wu, J., (2015b). Status of heavy metals in soils following long-term river sediment application in plain river network region, southern China. *Journal of Soils and Sediments*.
- Omar, M. B., Mendiguchía, C., Er-Raioui, H., Marhraoui, M., Lafraoui, G., Oulad-Abdellah, M. K., García-Vargas, M., Moreno, C., (2015). Distribution of heavy metals in marine sediments of Tetouan coast (North of Morocco): natural and anthropogenic sources. *Environmental Earth Sciences*.

Odukoya, A., M., Akande, O., (2015). Metal contamination assessment in the urban stream sediments and tributaries of coastal area southwest Nigeria. *Chinese Journal of Geochemistry*.

Huang, J., Amuzu-Sefordzi, B., Li, M., (2015). Heavy metals and polychlorinated biphenyls (PCBs) sedimentation in the Lianhua Mountain

Reservoir, Pearl River Delta, China. *Environmental Monitoring and Assessment* 187.

Xu, G., Liu, J., Pei, S., Gao, M., Hu, G., Kong, X., (2015). Sediment properties and trace metal pollution assessment in surface sediments of the Laizhou Bay, China. *Environmental Science and Pollution Research*.