

## بررسی نقش مواد آلی در تغییرات غلظت فلزات نیکل، جیوه و کادمیوم موجود در رسوب و برگ *Avicennia marina* در سواحل بندر امام خمینی

سحر کلانترهرمزی<sup>۱</sup>، مهران جواهری بابلی<sup>۲</sup>، ابوالفضل عسکری ساری<sup>۲</sup>

۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان.

۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز

### چکیده

در این پژوهش رابطه بین جذب فلزات سنگین توسط رسوب و برگ *Avicennia marina* با میزان مواد آلی در منطقه ساحلی بندر امام خمینی مورد بررسی قرار گرفت. میانگین اندازه گیری فلزات مقادیر فلزات  $Hg(0.027 \pm 0.00 \text{ mg/kg})$ ،  $Ni(6.081 \pm 0.00 \text{ mg/kg})$ ،  $Cd(0.79 \pm 0.13 \text{ mg/kg})$ ،  $Hg(0.01 \pm 0.00 \text{ mg/kg})$  را برای رسوب و  $Ni(1.47 \pm 0.35 \text{ mg/kg})$ ،  $Cd(0.13 \pm 0.03 \text{ mg/kg})$  را برای برگ و درصد مقادیر  $(9.57 \pm 0.56, 11.64 \pm 0.13, 9.16 \pm 1.97)$  نشان داد. نتایج رگرسیون نشان دهنده وجود ارتباط مثبت بین مواد آلی رسوب و غلظت هر سه فلز موجود در رسوب و برگ بود ( $P < 0.05$ ). غلظت فلزات نیکل و کادمیوم در ایستگاه هایی که میزان درصد مواد آلی بالاتری نشان می داد مقادیر بالاتری را هم در رسوب و هم در برگ نشان داد. جیوه بر خلاف دو فلز دیگر بالاترین غلظت را در بالاترین مقدار مواد آلی نشان نداد.

**واژگان کلیدی:** ذخیره سازی زیستی، غلظت فلزات سنگین، جذب فلزات

## ۱. مقدمه

با افزایش رشد سریع صنعت و شهری شدن خارج از کنترل نواحی ساحلی، سطح آلودگی در محیط زیست آبی به حد هشدار رسیده است (Naji *et al.*, 2010). در میان این آلودگی ها، فلزات سنگین به دلیل ماندگاری بالا و ذخیره زیستی در طبیعت دارای اهمیت بسیار زیادی هستند (Kaushik *et al.*, 2009). فعالیت فلزات در سیستم های آبی و تاثیر آن بر روی زندگی تا حدود زیادی به نوع فلز بستگی دارد و بسیار مهم است که توانایی پیوند فلزات با دیگر ترکیبات محلول و معلق مورد ارزیابی قرار گیرد. در این میان آنچه این پیوستگی را پر اهمیت تر می کند بر هم کنش میان فلزات و ترکیبات آلی در رسوبات و آب است. این مواد آلی که ممکن است مواد آلی طبیعی ناشی از پروسه هایی همچون تجزیه بخش های گیاهی باشد و یا نتیجه فاضلاب آلوده به مواد آلی شهری یا صنعتی دارای پیوستگی و ظرفیت قابل توجهی برای پیوند با فلزات دارند. این پدیده می تواند طبیعت چرخش دوباره فلزات را در محیط های آبی تغییر دهد (Singer, 1974).

با توجه به تاثیر بسیار مهم مواد آلی بر روی جذب فلزات در سیستم های آبی و وجود شرایط کاهش پایدار در رسوبات مانگرو که ناشی از غلظت های بالای مواد آلی و سولفید (Harbison, 1981; Lacerda and Abra, 1984; Lacerda *et al.*, 1988; Silva, 1988) است، سبب شده که رسوبات این اکوسیستم شرایط مناسبی جهت بقای فلزات سنگین آب داشته و فعالیتی همچون یک سینک یا خنثی کننده را نشان داده و سبب عدم تحرک فلزات ورودی در اکوسیستم آبی شود (Peters *et al.*, 1997). در مطالعه حاضر تلاش می شود نقش موادالی در نزدیک و یا درون چنین محیطهایی شکل گرفته و ترکیبات پیچیده ای را با فلزات می سازند مورد بررسی قرار گیرد.

## ۲. مواد و روشها

محدوده مطالعاتی این پژوهش شامل مناطق زیر کشت درختان حرا در سواحل بندر امام خمینی است. طول این محدوده 9 کیلومتر است. در این محدوده سه منطقه با طول و عرض جغرافیایی بیان شده در جدول شماره ۱ که در مجاورت مناطق تخلیه فاضلاب قرار دارند به عنوان مناطق نمونه برداری انتخاب شد.

در هر عرصه (عرصه ها شامل سه عرصه C, B, A) و مطابق با جدول ۱ یک محدوده ۱۰۰ مترمربعی) انتخاب محدوده با توجه به امکان پیشروی در ساحل، دسترسی به مناطق، وسعت منطقه درخت کاری شده و بعد از بازدید از تمامی مناطق انتخاب شد. در مقالات مختلف نیز یک محدوده پایه ای انتخاب می شود (MacFarlane *et al.*, 2003) به عنوان محل نمونه برداری انتخاب و رسوب از سه نقطه تصادفی در این محدوده به مساحت ۱۰۰ سانتیمتر مربع (MacFarlane *et al.*, 2003) با استفاده از بیلچه جدا و در ظروف استریل درب دار قرار داده شد. در هر منطقه سه دسته برگ در مساحت مشخص شده به ترتیبی جدا گردید که هر دسته شامل برگهای جوان، بالغ و در حال ریزش ۵ الی ۶ درخت در نقطه نمونه برداری رسوب باشد. برگها در کیسه های پلاستیکی استریل درب دار قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل گردید.

رسوبات ابتدا در هوا خشک شده سپس در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد جهت رسیدن به وزن خشک درون آون قرار گرفتند. ذرات بزرگ با استفاده از الک ۲ میلی متری جدا و با استفاده از هاون متراکم شد. یک گرم از نمونه های رسوب در ظرف تفلونی محتوی ۱۲ میلی لیتر محلول (۳۰٪)  $\text{HNO}_3$  : (۶۵٪)  $\text{HCL}$  به نسبت ۱:۳ ریخته و در روی هیتر در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد به مدت ۹۰ دقیقه حرارت داده شد و نمونه ها پس از صاف شدن با آب مقطر دو بار تقطیر Milli-Q (deionised water >18 DΩ cm, Millipore) در بالن

## ۳. نتایج

نتایج حاصل از سنجش فلزات نیکل، جیوه و کادمیوم در برگ *Avicennia marina* و رسوب سواحل بندر امام خمینی در جدول شماره ۲ و نتایج حاصل از آنالیز مواد آلی رسوبات در جدول شماره ۳ آورده شده است. نیکل در رسوب رنجی بین ۴۵/۹ mg/kg تا ۷۰/۳ mg/kg و نیکل موجود در برگ دارای محدوده ای بین ۱/۰۲ mg/kg تا ۲/۰۸ mg/kg را نشان داد. بالاترین میزان نیکل در رسوب و برگ مطابق با بالاترین میزان مواد آلی و ایستگاه B بود (نمودار ۱). نتایج رگرسیون جهت تعیین ارتباط میان مواد آلی رسوب و غلظت فلز موجود در رسوب و برگ در مورد فلز نیکل نشان دهنده وجود ارتباط معنی دار مثبت ( $p < 0.05$ ) هم از نوع خطی و هم از نوع غیر خطی بود (جدول شماره ۴ و ۵). کادمیوم در رسوبات زیستگاه مورد نظر رنجی بین ۰/۵۵ mg/kg تا ۰/۹۴ و در برگ دارای محدوده ای بین ۰/۱۰ mg/kg تا ۰/۰۱ بود. بالاترین میزان کادمیوم در رسوب و برگ مطابق با بالاترین میزان مواد آلی و ایستگاه B بود (نمودار ۲). نتایج رگرسیون ارتباط میان مواد آلی رسوب و غلظت فلز موجود در رسوب و برگ را در مورد فلز کادمیوم مثبت ( $p < 0.05$ ) نشان داده که دارای ارتباطی هم از نوع خطی و هم از نوع غیر خطی بود (جدول شماره ۴ و ۵).

ژوژه ۵۰ میلی لیتری به حجم رسیدند (API-IA, 1995; FAO, 1975).

نمونه های گیاهی جهت پاک شدن از مواد زائد با آب شهر و سپس با آب مقطر شسته شده و جهت رسیدن به وزن خشک در آون ۷۰ درجه قرار گرفتند. هضم نمونه های گیاهی همانند رسوبات انجام شد به استثنا اینکه در هضم نمونه های برگ فقط از ۳ میلی لیتر  $HNO_3$  استفاده شد (API-IA, 1995). اندازه گیری غلظت فلزات در نمونه ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی PERKIN ELMER 4100 مجهز به سیستم کوره گرافیتی برای اندازه گیری کادمیوم، نیکل و سیستم هیدرید<sup>۱</sup> (بخار سرد) برای اندازه گیری جیوه انجام شد.

جهت تعیین درصد مواد آلی موجود در رسوب ، برای هر ایستگاه سه عدد بوته چینی در نظر گرفته و توزین شد (C). بوته ها تا نیمه از رسوب پر گردیده و به مدت ۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شد. پس از سرد شدن بوته ها مجددا وزن شدند (A). پس از آن ظروف حاوی رسوبات خشک را درون کوره گذاشته و به مدت ۸ ساعت در ۵۵۰ درجه سانتی گراد حرارت داده و پس از سرد شدن توزین گردید (B).

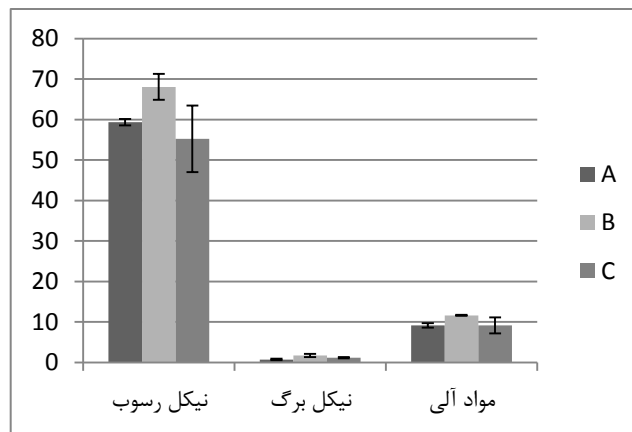
مقادیر بدست آمده در فرمول قرار داده شد و مقدار مواد آلی هر ایستگاه بدست آمد (Alison, 1973):

$$\% \text{ TOM} = (A - B / A - C) \times 100$$

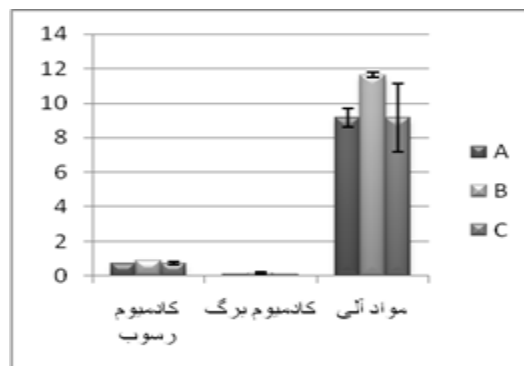
در این مطالعه از نرم افزار SPSS جهت انجام آزمون کولموگروف- اسمیرنوف جهت سنجش نرمال بودن داده ها، از آزمون تی تست (one-sample Ttest) جهت تعیین میانگین داده ها و از آزمون رگرسیون جهت تعیین نوع ارتباط بین مواد آلی با غلظت فلز در نمونه های گیاهی و رسوب استفاده شد.



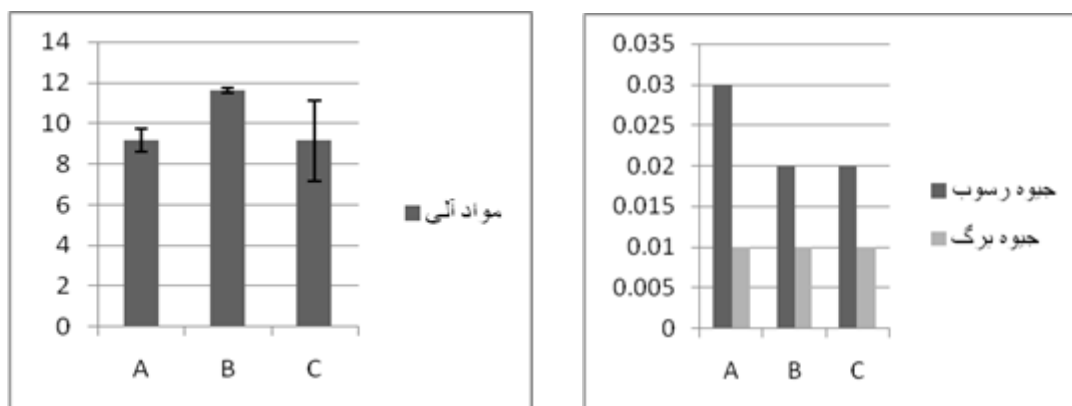
شکل ۱. موقعیت مناطق نمونه برداری در سواحل بندرامام



شکل ۲. مقایسه مقادیر مواد آلی (درصد) و نیکل برگ و رسوب (میلی گرم بر گیلوگرم)



نمودار ۲. مقایسه مقادیر مواد آلی (درصد) و کادمیوم برگ و رسوب (میلی گرم بر گیلوگرم)



نمودار ۳. مقایسه مواد آلی (درصد) و حیوه برگ و رسوب (میلی گرم بر گیلوگرم)  
(به دلیل تفاوت زیاد مقدار مواد آلی با مقدار حیوه، نمودارها به صورت مجزا رسم گردیده است)

جدول ۱. مشخصات و موقعیت جغرافیایی مناطق نمونه برداری

مناطق نمونه برداری	موقعیت جغرافیایی
عرصه A	N 30°26.875" E049°06'.260"
عرصه B	N 30°27.884" E044°06'.253"
عرصه C	N30°28'.210" E049°06'.040"

جدول ۲. غلظت فلزات سنگین نیکل، حیوه و کادمیوم در برگ *Avicennia marina* و رسوب در سواحل بندر امام خمینی ( میلی گرم بر کیلوگرم)

ایستگاه	A	B	C
فلز			
نیکل رسوب	59.23±0.80	68.06±3.20	55.26±8.22
نیکل برگ	1.27±0.36	1.73±0.42	1.41±0.16
کادمیوم رسوب	0.۷۲±0.19	0.90±0.02	0.74±0.09
کادمیوم برگ	0.011±0.01	0.16±0.05	0.11±0.01
حیوه رسوب	0.03±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00
حیوه برگ	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00

جدول ۳. غلظت مواد آلی در رسوبات بندرامام خمینی (بر حسب درصد)

ایستگاه	مواد آلی (%)
A	9.57±0.56
B	11.64±0.13
C	9.16±1.97

از  $0.01 \text{ mg/kg}$  را نشان داد. بالاترین میزان جیوه بر خلاف دو فلز نیکل و کادمیوم مطابق با بالاترین میزان مواد آلی (ایستگاه B) نبوده و بالاترین مقدار را در ایستگاه A نشان داد. اما نتایج رگرسیون ارتباط میان مواد آلی رسوب و فلز موجود در رسوب و برگ را مثبت ( $p < 0.05$ ) نشان داد (جدول شماره ۴ و ۵).

جیوه رسوب در ایستگاه های مختلف دارای رنجی بین  $0.02 \text{ mg/kg}$  تا  $0.03 \text{ mg/kg}$  را نشان داد. نتایج بدست آمده از جیوه در برگ با سایر فلزات متفاوت بوده بطوریکه در بیشتر نقاط مورد بررسی دارای مقادیر ناچیز و کمتر از  $0.01 \text{ mg/kg}$  را نشان داد. مقادیر جیوه در برگ دارای رنجی بین  $0.013 \text{ mg/kg}$  تا کمتر

جدول ۴. نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون بین مواد آلی رسوب و فلزات رسوب

Metal	Equation	df	F	P	R <sup>2</sup>
Ni	Liner	۱,۸	409.810	<0.05	0.98
	Power	1,8	1906.733	<0.05	0.99
Hg	Liner	۱,۲	164.621	<0.05	۰.۹۵
	power	۱,۲	1787.177	<0.05	۰.۹۹
Cd	Liner	1,8	382.122	<0.05	۰.۹۷
	Cubic	3,6	115.691	<0.05	۰.۹۸

جدول ۵. نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون بین مواد آلی برگ و فلزات رسوب

Metal	Equation	Df	F	p	R <sup>2</sup>
Ni	Liner	1,8	164.276	<0.05	0.95
	Cubic	3,6	60.903	<0.05	0.96
Hg	Liner	1,8	227.388	<0.05	0.96
	power	1,8	1787.826	<0.05	۰.۹۹
Cd	Liner	1,8	120.055	<0.05	۰.۹۳
	Power	1,8	373.219	<0.05	۰.۹۷

مطالعه با مطالعات انجام شده در سایر نقاط هم‌مانگی دارد بطوریکه در سواحل امارات آنالیزها نشان داد که Ni در زیستگاه مانگرو ارتباط مثبت روشنی ( $p < 0.001$ ) با مواد آلی ( $r=0.75$ ) دارد و ترکیب این فلز با مواد آلی نقش بسیار مهمی را در پراکنده شدن در دیگر مناطق بازی می کند (Samuel and Philips, 1988). از طرف دیگر الگوی تقسیم بندی نیکل در نمونه های رسوب نشان می دهد که این فلز دارای پیوستگی بالایی با دسته های آلی است که در مطالعات انجام شده

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

نتایج رگرسیون حاکی از آن است که بین کربن آلی و فلزات نیکل، کادمیوم و جیوه ارتباط خطی و به ویژه غیر خطی حاکم است به این معنا که افزایش میزان مواد آلی در محیط رسوب سبب افزایش غلظت فلزات در رسوب و برگ از طریق پیوستگی با مواد آلی می شود که این رابطه به دلیل وجود  $R^2$  بالاتر در حالت غیر خطی سبب چند برابر شدن سطح فلزات در رسوب و برگ می شود (جدول ۴ و ۵). نتایج بدست آمده در این

وجود آمدن رابطه بین مواد آلی و سطح فلزات رسوبات می شود. این کمپلکس در مقابل گستگی مقاومت کرده و سبب جذب یا جذب دوباره آنها به وسیله فاز جامد خاک می شود (Antoids and Alloway, 2003a, 2003b; Kaushik *et al.*, 2009).

البته لازم به ذکر است که میزان جذب فلزات هم در رسوب و هم در برگ تحت تاثیر عوامل دیگری نظیر متغیرهای محیط زیستی، تغییرات بیولوژیکی، همچنین بر هم کنش محیط زیست - ارگانسیم ها و فاکتورهای خاک نظیر اندازه ذرات که در جذب و عدم تحرک فلزات موثر بوده به طوریکه نتایج مطالعات نشان دهنده ارتباط مثبت بین اندازه ذرات و میزان جذب آلاینده هایی نظیر نیکل، جیوه و کادمیوم توسط گیاه و رسوب دارد (Lin *et al.*, 2003; Krupadam *et al.*, 2007; Natesan and Seshan, 2010; Rangel *et al.*, 2010). در انتها نتایج نشان داد که حجم بالای فلزات سنگین در رسوبات مانگرو با ترکیبات آلی در رسوبات ارتباط داشته و در نتیجه مواد آلی یک پارامتر مهم برای کنترل ذخیره فلزات سنگین در رسوبات و در نتیجه ذخیره و آزاد سازی آلودگی در محیط آبی دارند (Ahmad and Elaa, 2003) و کاهش سطح این مواد از طریق محدود شدن و تخریب چنین زیستگاه هایی احتمالاً سبب افزایش آسیب های بالقوه فلزات سنگین در شرایط کاهش خور شده و می تواند سبب تحرک فلزات و وارد شدن آنها به پروسه های فیزیکی و شیمیایی شود.

### منابع

- Ahamed, M. H., Elaa, A. A. 2003. Study of molluscan shells and their enclosed bottom sediments in the Manzala lagoon. Nile delta, Egypt. Bull Nat. Inst. Ocean. Fish. A.R.E. 29: 427-450.
- Alison, F. E. 1973. Soli organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publishing company, p: 637.

توسط Rangel و همکاران در سال ۲۰۱۰ و همچنین Marchanid همکاران در سال ۲۰۱۰ این ارتباط با مطالعه حاضر همسویی دارد. فلز کادمیوم مشابه با فلز نیکل بوده و مواد آلی و کربنات احتمالاً همانند نیکل سبب گرفتار شدن کادمیوم شده و غلظت مواد آلی به دلیل پیوستگی با این فلز هم بر روی غلظت آن در گیاه و هم در رسوب موثر است (Sarwat, 2002). نتایج Naji و Ismail در سال ۲۰۱۱ در مالزی بر روی بررسی ارتباط بین غلظت نیکل و کادمیوم با مواد آلی نشان داده وجود ارتباط بین آنها در سطح ۰/۰۵ است و همسو با یافته های این مطالعه است. در مورد جیوه، وجود ارتباط در این پژوهش مشخص شد اما بر خلاف دو فلز دیگر در بالاترین غلظت مواد آلی میزان فلز بالاترین سطح را نداشت. وجود چنین نتیجه ای ممکن است ناشی از غلظت بسیار کم و در بیشتر نقاط بخصوص در برگ و نزدیک بودن غلظت جیوه در هر سه ایستگاه باشد. از این رو این ارتباط بین جیوه و مواد آلی نیازمند تحقیقات بیشتری است.

مطالعات در سایر نقاط نشان داده که جیوه به طور عمده به ذرات موجود در خور متصل می شود و ترکیبات آلی اغلب نقش کنترل کننده ای را در فعالیت دوباره جیوه و نهایتاً دسترسی زیستی در آبهای ساحلی را بر عهده دارند (Lacerda *et al.*, 2001). نتایج مطالعات Teisserence و همکاران در سال ۲۰۱۰ نشان داد که مواد آلی نقش بسیار مهمی در پراکنش، جذب و عدم تحرک جیوه بازی کرده و ارتباط مثبتی بین میزان مواد آلی موجود رسوب و برگ مطابق، نتایج این مطالعه بدست آوردند.

علت وجود ارتباط میان غلظت مواد آلی و فلز موجود در رسوب و برگ وجود ساختار مواد آلی (مولکولهایی نظیر COOH و Phenolic COOH) (Saar and Weber, 1982). و تشکیل کمپلکس های موثر با فلزات است که سبب جذب و حفظ فلزات در ساختار شده و سبب به

- MacFarlane, G. R., Pulkownik, A., Burchett, M.D. 2003. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. *Environ. Pollution*. 123 : 139–151.
- Marchand, C., Allenbach, M., Lallier-Vergès, E. 2011. Relationships between heavy metals distribution and organic matter cycling in mangrove sediments (Conception Bay, New-Caledonia). *Geoderma*. 160:444-456.
- McCarthy, J. F., Zachara, J. M. 1989. Subsurface transport of contaminants: Role of mobile colloidal particles. *Environ. Sci. Technol.* 23: 496–504.
- Naji, A., Ismail, A., Ismail, A R. 2010. Chemical speciation and contamination assessment of Zn and Cd by sequential extraction in surface sediment of Klang River, Malaysia. *Micro. Chem. J.* 95: 285-92.
- Naji, A., Ismail, A. 2011. Assessment of Metals Contamination in Klang River Surface Sediments by using Different Indexes. *Environ. Asia*. 4: 30-38.
- Natesan, U., Sechan, B. R. 2010. Vertical profile of heavy metal concern ration in core sediments of Buckingham canal, Enore. *Indian. J. Geo-Marine Sci.* 40: 83-97.
- Neal, R. H., Sposito, G. 1986. Effects of soluble organic matter and sewage sludge amendment on cadmium sorption by soils at low cadmium concentrations. *Soil. Sci.* 142: 164–172.
- Peters, E. C., Gassman, N.J., Firman, J.C., Richmond, R.H., Power, E.A. 1997. *Ecotoxicology of tropical marine ecosystems*. *Environ. Toxicol. Chem.* 16: 12–40.
- Rangel, C.M.A., Neto, J.A.B.N., Fonseca, E.M., Mcalister J., Smith, B. J. 2010. Study of heavy metal concentration and partitioning in the Estrela River: implications for the pollution in Guanabara Bay – SE Brazil. *Anais. Academia. bras. Ciênc.* 83: 801-815.
- Saar, R. A., Weber, J. H. 1982. Fulvic acid: Modifier of metal-ion chemistry. *Environ. Sci. Technol.* 16: 510–517.
- Samuel, N. L., Phillips, D. J. H. 1988. *Mar. Pollut. Bull.* 19: 413-415.
- Sarwat, I. 2002. Assessment of heavy metal pollution in mangrove habitat of Karachi and Vicinity. Karachi university, p 147.
- Shriadah, M. M. 1998. Heavy metals in mangrove sediments of the United Arab
- Antoniadis, V., Alloway, B. J. 2003a. Evidence of heavy metal movement down the profile of a heavily sludge soil. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 34: 1225–1231.
- Antoniadis, V., Alloway, B. J. 2003b. Influence of time on the plant availability of Cd, Ni, and Zn after sewage sludge has been applied to soils. *Agrochemical* 47: 81–93.
- API-IA. 1995. Standard methods for the examinations of water and wastewater. 19 th ed., APHA/WWA-WPCF, Washington DC.
- Buffle, J. 1988. *Complexation Reactions in Aquatic Systems: An Analytical Approach*. Ellis Horwood Ltd: West Sussex, U.K.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1975. *Manual of methods in aquatic environment research, Part I: method for detection, measurement and monitoring of water pollution*. FAO Fisheries Technical Paper., United Nation ,p 137.
- Harbison, P. 1981. The case for the protection of mangrove swamps: geochemical considerations. *Search* 12: 273–276.
- Kaushik, A., Kansal, A., Santosh, M., Kumari, S, Kaushik, C. P. 2009. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediment. *J. Hazard. Mate.* 164: 265–70.
- Krupadam, R. J., Ahuja, R., Wate, S.R. 2007. Heavy metal binding fractions in the sediments of the Godavari estuary, East Coast of India. *Environ. Model. Assess.* 12:145–155.
- Lacerda, L. D., Abrao, J. J. 1984. Heavy metal accumulation by mangrove and salt marsh intertidal sediments. *Rev. Bras. Biol.* 7: 49–52.
- Lacerda, L.D., Martinelli, L.A., Rezende, C.A., Mozetto, A.A.,Ovalle, A.R.C., Victoria, R.I., Silva, C.A.R., Nogueira F.B. 1988. The fate of heavy metals in suspended matter in a mangrove creek during a tidal cycle. *Sci. Total Environ.* 75: 169–180.
- Lacerda, L. D., Paraquetti, H.H.M., Marins, R.V., Mounier, S., Frevier, D., Benaim, J. 2001. Mercury distribution and reactivity in waters of a sub-tropical coastal lagoon, Sepetiba Bay, SE Brazil. *J Brazil Chem Soc.* 1:93–98.
- Lin, J. G., Chen, S. Y., Su, C. R. 2003. Assessment of sediment toxicity by metal speciation in different particle-size fractions of river sediment. *Water Sci. Technol.* 477–8233–241.



Singer, P.C. 1974. Trace Metals and Metal-Organic Interactions in Natural Waters. Ann Arbor Science, USA.

Teisserenc, R., Lucotte, M., Houel, S. 2010. Terrestrial organic matter biomarkers as tracers of Hg sources in lake sediments. Biogeochemistry. 103: 235–244.

Emirates shoreline. Water. Air. Soil. Pollut. 116: 523- 534.

Silva, C. A. R. 1988. Distribuicao e ciclagem interna de metais pesados em um ecossistema de manguezal dominado por Rhizophora mangle, Baia de Sepetiba, Rio de Janeiro. T.Mest. Inst. Quimica, Univ. Fed. Fluminense.