رفتار Zn, Pb, Cd, Ni, Co, Mn, Fe و Cu در رسوبات بستر و ذرات معلق رودخانه تجن هنگام اختلاط با آب دریای خزر

دکتر محسن سعیدی [۱]

دکتر عبدالرضا کرباسی [۲]

دکتر غلام‌رضا نبی بیدهندی [۳]

دکتر ناصر مهردادی [٤]

دکتر سعید گیتی‌پور [٥]

دکتر ناصر حاجی‌زاده ذاکر [٦]

چکیده

در تحقیق حاضر رفتار خوددار و غیرخوددار (Conservative/non Conservative) عناصر Ni, Pb, Mn, Fe, Co, Cd, Cu و Zn در رسوبات و ذرات معلق رودخانه تجن و فرایند جذب/دفع عناصر تحت تأثیر اختلاط با آب دریای خزر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان می‌دهد در حالت معمول قبل از اختلاط آب رودخانه و دریـا ذرات معلـق غلظـت بیشـتری از عنـاصر Co, Fe, Pb, Mn و Zn و رسوبات بستر غلظت بیشتری از عناصر Cu, Ni و Cd را در خود دارند. نتایج آزمایشات اختلاط نشـان می‌دهد که در اثر اختلاط آب دریا و رودخانه تجن عناصر Cu و Fe در نهایت از فاز محلول جذب ذرات معلق گردیده و سایر عنـاصر از سطح ذرات دفع می‌گردند. همچنین در رسوبات بستر نیز عنصر Fe جذب ذرات گردیده و بقیه عناصر دفع مـی‌گردنـد. در مجمـوع رفتار عناصر Co و تا حدی Cu در ذرات معلق رودخانه تجن در طول اختلاط با آب شور دریا متمایل به حالت خوددار و بروز حداقـل تغییرات در غلظت عناصر بوده و غلظت سایر عناصر تغییرات بیشتری را نشان می‌دهد. در رسوبات بستر نیز عنصر Co رفتار نزدیـک به حالت خوددار و سایر عناصر تغییرات بیشتری را نشان می‌دهند. همچنین محاسبات آماری ضرایـب همبسـتگی و آنـالیز خوشـه‌ای نشان می‌دهد که در رسوبات بستر عامل محیطی pH آب بیشترین تأثیر را در رفتار عناصر Cd و پس از آن Mn, Pb و Cu داشته و عوامل TOC و شوری آب تا حدی بر رفتار عنصر Fe مؤثرند و تأثیر بسیار کمی بر رفتار عناصر Co, Ni و Zn دارند. ایـن در حـالی است که در ذرات معلق رودخانه رفتار عنصر Cu تا حدی متأثر از عوامل TOC و شوری محیط آبی و عناصر Cd, Mn و Pb متـأثر از تغییرات pH می‌باشند. به نظر می‌رسد غلظت Fe, Co و Ni در ذرات معلق در حین اختلاط با آب دریا متأثر از عواملی غیر از pH و TOC و شوری باشد.

کلمات کلیدی:

عناصر سنگین، آلودگی، رودخانه تجن، جذب/ دفع، رسوبات، ذرات معلق.

تاریخ دریافت:۱۳۸۱/۵/۸ تاریخ پذیرش:۱۳۸۱/۱۱/۲۹

---

(۱) دانش‌آموخته دوره دکتری مهندسی محیط‌زیست دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

(۲) مدیرکل انرژی‌های نوین، وزارت نیرو.

(۳-۶) استادیاران گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران.

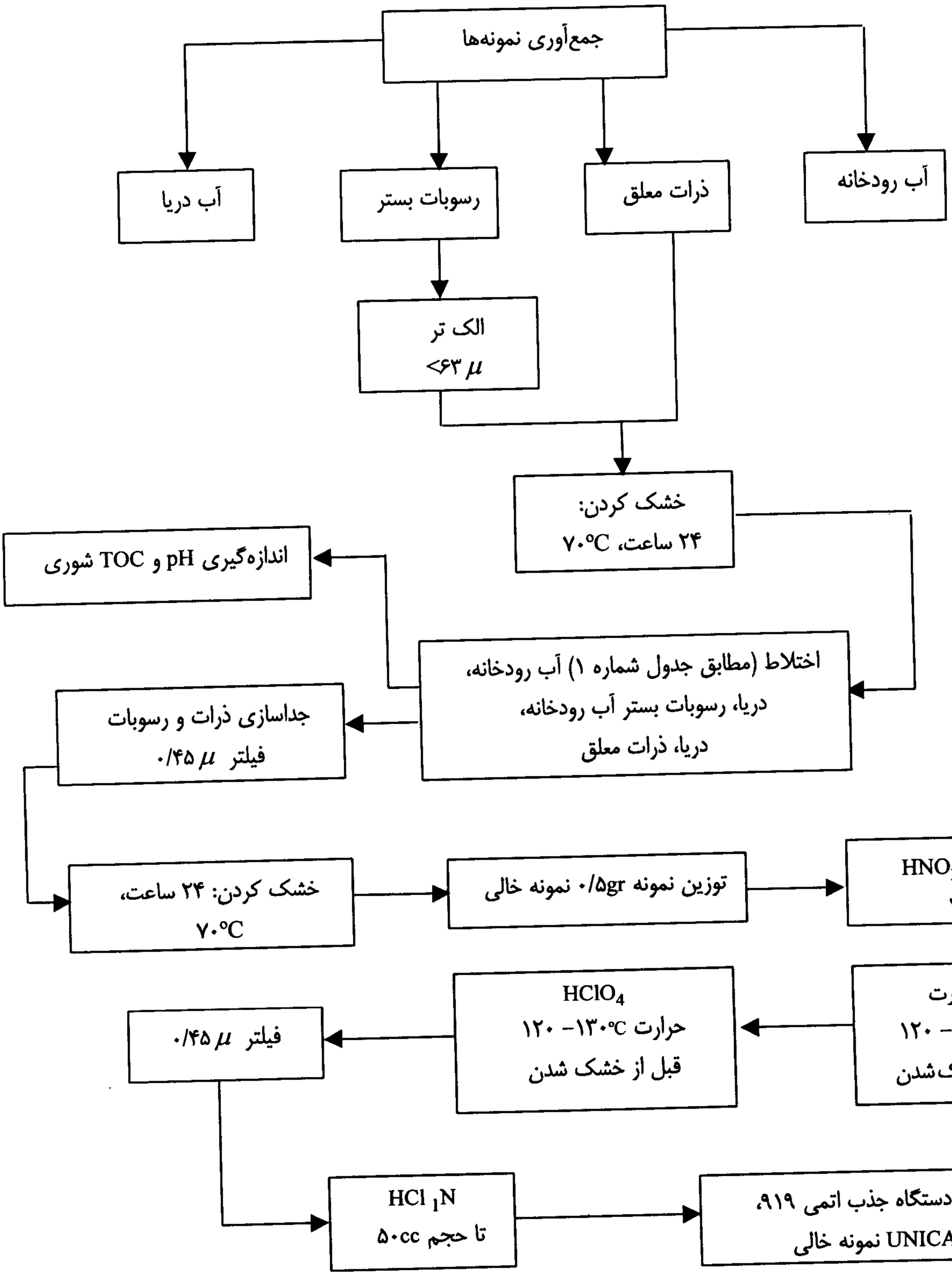
سرآغاز

عناصر سنگین اثرات مختلفی مـانند کـاهش رشـد، تغییـر رفتار ژنتیک و مـرگ و مـیر آبزیـان را در محیطزیسـت موجـب می‌گردند. این اثرات ممکـن اسـت بـاعث زوال شـرایط مناسـب زیست آبزیان، از بین رفتن یا کـاهش جمعیـت گونـه‌ای خـاص، تغییـر در اکوسیسـتم آبـی و در نـهایت اثـــر بـــر انســـان گردد (Reimann and De Caritat, 1998; Botkin and Keller 1995).

از طرفی رسوبات و مواد معلق در محیطهای آبی با توجـــه به قدرت جذب فراوان فلزات سنگین، ممکن است نقش حـامل و جاذب و یا منبع آزادکننده مجدد این آلاینده‌ها در آب‌را ایفانمایند (Forstner and Wittmann, 1981; Chapman, 1992). عمل جذب و یا آزاد کردن عناصر توسط رسوبات و مواد معلق به عوامل مختلفی از جمله به شرایط کیفی محیط آبی بسـتگی دارد (Forstner and Muller, 1976; Forstner et al., 1990). در حالت معمول در یک رودخانه عناصر سنگین تمایل به خـــروج از فاز محلول و ورود به فاز جامد و جذب رسوبات و مواد معلـق از خود نشان می‌دهند. با تغییر شرایط محیطی آب رودخانه از جملـه شوری، املاح، pH و مواد آلی، عناصر رفتار مختلفی از خود بـروز داده و احتمال دفع از ذرات و ورود مجدد به محیط آبـی افزایـش می‌یابد (Wittmann and Forstner, 1976). اختلاط آب شـور و شیرین در مصب رودخانـــه‌ها بـاعث تغییـر اساسـی در کیفیـت محیط آبی گردیده و برخی عناصر سنگین در فـاز غـیرمحلول در ایـــن شـــرایط ممکـــن اســـت دفـــع و یـــا جـــذب گردنـــد (Brugman, 1986; Hoyle et al., 1984). با توجه به اهمیت آلودگی و اکوسیستم آبی دریای خزر شناخت فرآیندهای مؤثر بـــر میزان و شرایط ورود انواع آلاینده‌ها به این دریاچـه بسـیار مـهم است. به طورکلی خطرات زیست محیطی عناصر سـنگین در فـاز محلول بیشتر از حـــالت غـیرمحلول می‌باشـد، بنـابراین شـناخت مکانیسم جـــذب و دفـع ایـن عنـاصر و شـرایط مؤثـر بـر آن در رودخانه‌های ورودی به دریای خزر یکی از عوامل تعیین‌کننده بار عناصر آلاینده محلول یا غیرمحلول ورودی به دریای خزر خواهد بود. در این تحقیق رفتار عناصر سنگین در رسوبات و مواد معلـق رودخانه تجن در استان مازندران هنـگام اختـلاط آب رودخانـه و دریا مورد بررسی قـــرار گرفتـه و مـیزان جـذب/ دفـع عنـاصر از رسوبات و مواد معلق هنگام ورود به دریـا تعییـن گردیـده اسـت. همچنین تأثیر تغییر پارامترهای شوری، pH و مواد آلی(TOC)[1] در اثر ورود آب دریا بر رفتار دفعی یا جذبی عناصر بررسی گردیده است. در این تحقیـق اختـلاط آب شـور و شـیرین در نسـبتهای مختلف در حضور رسوبات و ذرات مواد معلق شبیه‌سازی گردید و تغییر غلظت عناصر در ذرات و رسوبات و تغییـرات pH ، TOCو شوری مورد بررسی قرار گرفت.

روش کار

نمونه‌های آب، ذرات معلق و رسوبات از رودخانـه تجـن در منطقـــه پنبـــه چولـــه (´۹۳۷، ۴۲ °N۳۶ و ´۹۴۸، °E۵۳۰۶) از بالادست این رودخانه در فاصله دور از دریا در تـاریخ ۷۹/۱۱/۳۰ برداشت گردید. نمونـــه‌ها در جعبـه یـخ در دمـای کمـتر از ۴°C نگهداری و بـه آزمایشـگاه منتقـل گردیدنـد. نمونـه آب دریـا از نقطه‌ای به فاصله ۱۶ کیلومتر دور از ســاحل برداشـت شـد و در دمای کمتر از ۴°C به آزمایشگاه منتقل گردیـد. نمونـه رسـوبات بستر رودخانه با کمک روش الک تر با مش ۲۳۰ الک گردیـده و ذرات μ ۶۳> جهت آزمایشات بعدی جمع‌آوری شد. ذرات معلـق نیز پس از خشـک کـردن جـهت آزمایشـات نگهـداری گردیـد. اختلاط آب شور و شیرین به کمک شش آکواریوم شیشـه‌ای بـا شرایط اختلاط کـامل شبیه‌سـازی گردیدنـد. مـیزان آب شـور و شیرین و رسوبات و ذرات اضافه شده به هر سری از آکواریومـــها برای رسوبات و ذرات معلق در جدول شماره (۱) ارائه شده است. مؤلفه‌های شوری، TOC وpH در هر یک از آکواریومها پـس از اختلاط اندازه‌گیری گردید. شکل شماره (۱) نمایانگر روش کار و آنالیز ذرات می‌باشد.



شکل شماره (۱): روش کار و آنالیز عناصر سنگین در نمونه‌ها

(ROPME, 1998; Karbassi, 1989)

جدول شماره (۱): اختلاط آکواریومی آب رودخانه و دریا، رسوبات و ذرات معلق

شماره آکواریوم	حجم آب رودخانه (cc)	حجم آب دریا (cc)	وزن رسوب یا ذرات معلق (gr)
۱	۵۰۰	--	۵
۲	۵۰۰	۲۵۰	۵
۳	۵۰۰	۵۰۰	۵
۴	۵۰۰	۱۵۰۰	۵
۵	۵۰۰	۳۰۰۰	۵
۶	۵۰۰	۴۵۰۰	۵

بحث روی یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری مؤلفه‌های شوری، pH و TOC و غلظت عناصر سنگین در ذرات و رسوبات در هر یک از آکواریومها در جدول شماره (۲) ارائه شده است. همچنین در این جدول میزان غلظت عناصر سنگین در ذرات و رسوبات رودخانه تجن و مقایسه آن با مقادیر میانگین رسوبات جهانی و پوسته زمین نشان داده شده است. شکلهای شماره (۲ الی ۱۱) نمایانگر تغییرات pH و TOC و شوری در آکواریومهای شماره (۱ الی ۶) می‌باشند. همانگونه که از جدول شماره (۲) مشخص است در اثر اختلاط تدریجی آب رودخانه و دریا میزان pH ابتدا به طور محسوس و سپس به کندی کاهش می‌یابد. در همین حال مقادیر شوری و TOC آب افزایش پیدا می‌کند. بر این اساس می‌توان گفت مقادیر مواد آلی در آب دریا بسیار بیشتر از آب رودخانه می‌باشد. با توجه به نتایج جدول شماره (۲) و شکلهای (۲ الی ۶) می‌توان گفت تمام عناصر مورد مطالعه غیر از Fe در نهایت پس از اختلاط با آب دریا با نسبتهای متفاوت از سطح رسوبات دفع و وارد فاز محلول می‌گردند. در این میان Co کمترین مقدار دفع را نشان می‌دهد. به محض برخورد آب دریا با رودخانه در اولین مرحله اختلاط تنها عناصر Fe و Cu جذب سطح رسوبات گردیده و بقیه عناصر از سطح رسوبات دفع می‌گردند. در مراحل بعدی عناصر Fe و Cu که قبلاً در شوری‌های پایین جذب شده بودند در شوری‌های میانی از سطح رسوبات دفع گردیده و مجدداً در شوری‌های بالا جذب رسوبات می‌شوند. در نهایت میزان دفع عناصر از رسوبات به فاز محلول به تفکیک به شرح زیر است:

Ni(٪۲۱/۶)>Cd(٪۲۰/۳)>Cu(٪۹/۱)>Pb(٪۸/۶)>Zn(٪۶/۱)
>Mn(٪۵/۳)>Co(٪۱/۸)

جدول شماره (۲): مقادیر TOC ، pH و شوری آب عناصر سنگین در رسوبات و ذرات معلق رودخانه در حالات مختلف اختلاط با آب دریا

شماره آکواریوم	pH	S (ppt)	TOC (mg/l)	Pb (mg/kg)		Mn (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Ni (mg/kg)		Zn (mg/kg)		Cd (mg/kg)		Co (mg/kg)		Fe (mg/kg)	
				Se.*	PM.**	Se.	PM.	Se.	PM.	Se.	PM.	Se.	PM.	Se.	PM.	Se.	PM.	Se.	PM.
۱	۸/۳	۰/۱	۳/۲	۱۱۶	۱۵۰	۸۴۸	۹۳۲	۲۴	۱۹/۸	۶۲/۵	۵۶/۵	۸۲	۸۵/۸	۵/۴	۵/۲	۲۲/۱	۲۲/۵	۲/۹۶	۴/۶۸
۲	۷/۹	۰/۸	۴/۳	۱۱۳	۱۵۴	۸۳۸	۹۳۱	۲۵	۲۰/۵	۳۳	۴۵/۲	۷۳	۹۰/۹	۵/۳	۴/۷	۲۰	۲۱/۶	۳/۲۴	۳/۷۸
۳	۷/۸	۱/۵	۵/۴	۱۰۷	۱۳۳	۸۲۲	۸۶۶	۲۱	۱۹/۵	۳۶	۴۷/۷	۶۷	۹۲/۹	۵/۲	۴/۵	۲۰/۵	۲۱/۳	۲/۸۰	۳/۲۱
۴	۷/۷	۵/۲	۲۸/۱	۱۰۵	۱۲۳	۷۹۰	۸۱۴	۲۰	۲۰/۷	۴۳	۴۹/۲	۷۶	۸۶	۵	۴/۲	۲۰/۸	۲۲	۲/۴۰	۳/۵۳
۵	۷/۶	۶/۲	۳۴	۱۰۵	۱۱۵	۷۸۲	۸۰۵	۲۱	۱۹/۹	۵۰	۵۱	۷۵	۸۰/۹	۴/۳	۴/۲	۲۱/۶	۲۲	۳/۴۲	۳/۷۸
۶	۷/۴	۹/۵	۵۲	۱۰۶	۱۲۳	۸۰۳	۸۴۷	۲۲	۲۰/۷	۴۹	۵۴	۷۷	۷۹/۴	۴/۳	۴/۶	۲۱/۷	۲۱/۷	۳/۶۰	۵/۰۶

*Se.: رسوب بستر

**PM.: ذرات معلق

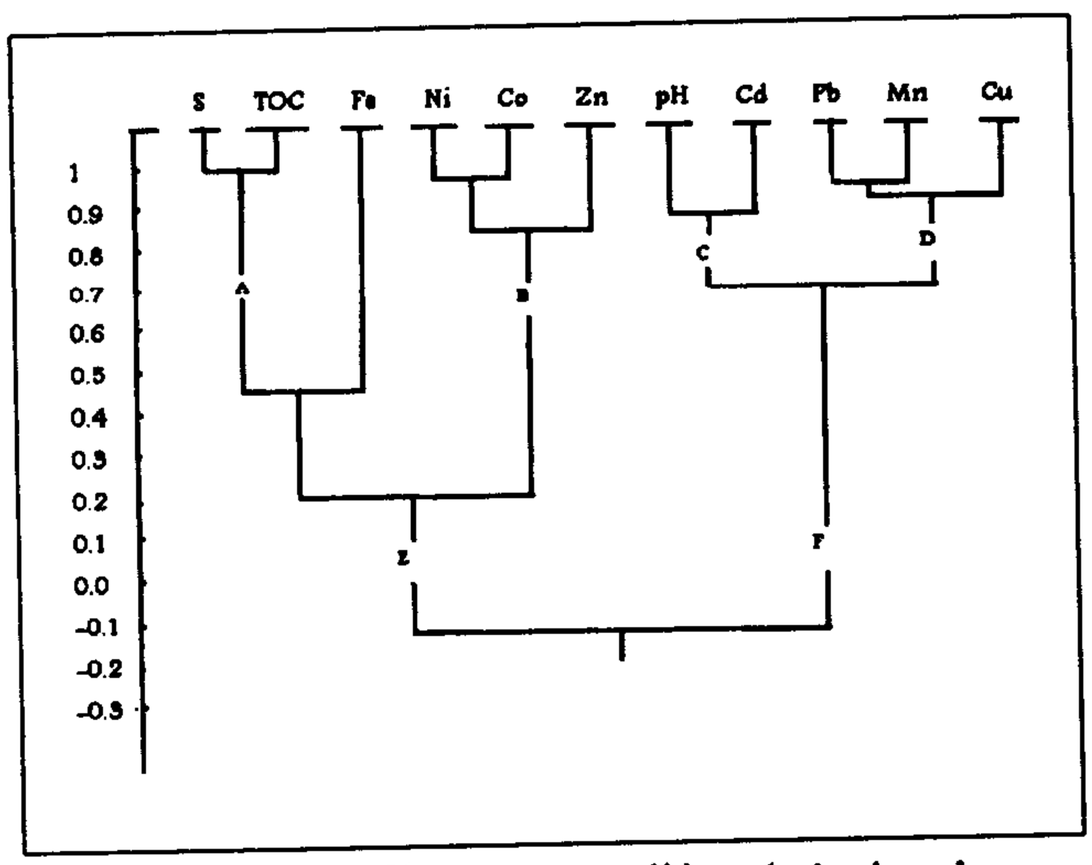
تنها عنصر آهن است که در نهایت پس از اختلاط آب شور و شیرین از فاز محلول خارج گردیده و جذب رسوبات می‌گردد. درصد جذب آهن ۲۱/۶٪ می‌باشد.

در مورد ذرات معلق با توجه به جدول شماره (۲) و شکلهای شماره (۶ الی ۱۱) مشخص می‌شود که در اولین مرحله اختلاط آب رودخانه با دریا بخشی از عناصر Cu, Pb و Zn از فاز محلول جدا شده و جذب ذرات معلق می‌گردند. عنصر Mn تغییر چندانی نشان نمی‌دهد و عناصر Cd, Co, Fe و Ni با نسبتهای متفاوتی از سطح ذرات معلق دفع می‌شوند. در نهایت پس از اختلاط کامل آب دریا و رودخانه جز عناصر Cu و Fe تمامی عناصر مورد مطالعه به ترتیب زیر از سطح ذرات معلق دفع و وارد فاز محلول می‌گردند:

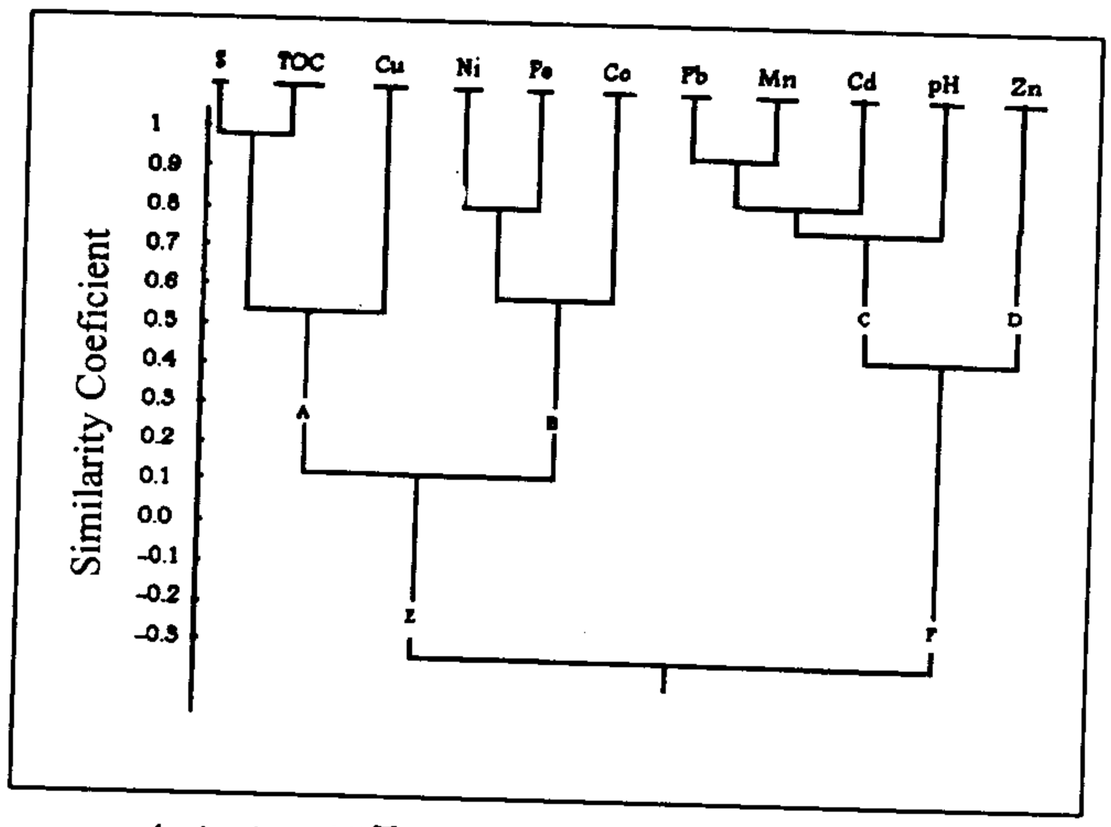
Pb(٪۱۸/۳)>Cd(٪۱۲)>Mn(٪۹/۱)>Zn(٪۷/۴)>Ni(٪۴/۴)
>Co(٪۳/۵)

عناصر Fe و Cu به ترتیب به مقدار ۸/۱٪ و ۴/۵٪ از فاز محلول جذب ذرات معلق می‌گردند.

در مقایسه رفتار عناصر سنگین در رسوبات و ذرات معلق رودخانه در حین اختلاط آب شور و شیرین عنصر مس از رسوبات بستر رودخانه دفع گردیده و جذب ذرات معلق رودخانه می‌گردد.شدت دفع عنصر نیکل از رسوبات بستر به مراتب بیشتر از ذرات معلق است. عنصر Pb نیز رفتار متفاوتی در محیط رسوبات بستر و ذرات معلق از خود نشان می‌دهد،شدت دفع Pb از ذرات معلق بسیار بیشتر از دفع آن از سوبات بستر می‌باشد. عناصر Zn و Cd با درصد تقریباً مشابهی دفع می‌گردند. اما رفتار عنصر Zn در طول اختلاط آب رودخانه با دریا در نسبتهای مختلف آب شور و شیرین در رسوبات و ذرات معلق متفاوت ست. به نظر می‌رسد عنصر Co کمترین تمایل را برای دفع از سطح رسوبات و ذرات معلق به خود نشان می‌دهد. عنصر Mn ر رسوبات و ذرات معلق هنگام اختلاط آب رودخانه و دریا ارای الگوی رفتاری کاملاً مشابه می‌باشد. جدولهای شماره ۲ و ۴) نمایانگر ضرایب همبستگی عناصر سنگین و مؤلفه‌های شوری، Ph و TOC می‌باشند. همچنین نمودارهای شماره (۱ و ۲) نشانگر نتایج آنالیز خوشه‌ای متغیرها با استفاده از ضرایب همبستگی هستند. همانگونه که از نمودار شماره (۱) پیداست ضریب تشابه TOC و شوری مقدار بسیار بالایی است. افزایش TOC درشوری‌های بالا نشان می‌دهد که مواد آلی کربنی دارای منشاء دریایی می‌باشند. مؤلفه‌های شوری و TOC با ضریب تشابه حدود ۰/۴۳۳ کنترل‌کننده تغییرات غلظت عنصر Fe می‌باشند. با توجه به شاخه‌های D وC در نمودار شماره (۱) پیداست که غلظت عنصر Cd با ضریب تشابه قابل توجه ۰/۸۴۸ تحت کنترل تغییرات pH بوده و تغییرات غلظت عناصر Mn و Pb در رسوبات نیز با یکدیگر رابطه‌ای نزدیک دارند. در مجموع عناصر Pb, Mn, Cu و Cd در رسوبات با ضریب تشابه ۰/۶۶۲ تحت کنترل مؤلفه pH بوده و متأثر از تغییرات شوری و TOC نیستند. شاخه B نمودار شماره (۱) نشان می‌دهد که عناصر Ni و Co و در درجه بعدی Zn در رسوبات با ضریب تشابه بالایی به تغییرات یکدیگر وابسته‌اند و هیچ یک از عوامل pH، شوری و TOC بر رفتار آنها چندان مؤثر به نظر نمی‌رسند. بنابراین احتمالاً عوامل محیطی دیگری بر تغییرات غلظت آنها در رسوبات مؤثرند.



نمودار شماره (۱): درختواره آنالیز خوشه‌ای عناصر در رسوبات



نمودار شماره (۲): درختواره آنالیز خوشه‌ای عناصر در ذرات معلق

در مورد ذرات معلق با توجه به نمودار شماره (۲) تفاوتهایی مشاهده می‌شود که مهمترین آنها تغییرات غلظت Fe در ذرات معلق کمتر است که متأثر از عوامل شوری و TOC و حتی pH می‌باشد. در این ذرات عنصر Cu تا حدی متأثر از تغییرات شوری و TOC و عناصر Cd و Pb و Mn متأثر از تغییراتpH هستند. همچنین در ذرات معلق Co, Ni و Fe دارای ضرایب تشابه متوسط با یکدیگر می‌باشند و تغییراتشان تقریبا مستقل از سایر مؤلفه‌های مورد مطالعه بوده است. مهمترین اشتراک رفتار عناصر در رسوبات و ذرات معلق ضریب تشابه بالای عناصر Mn و Pb با یکدیگر در هر دو این محیطها است.

اگر چه الگوهای جذب/ دفع و میزان احتمالی جذب یا دفع عناصر از فاز غیرمحلول در مصب‌های مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و بایستی برای هر مصب به طور جداگانه بررسی گردند اما نتایج به دست آمده در مورد جذب عناصر آهن و مس با نتایج (Hoyle et al., 1984, Brugmann, 1986) تا حدی تطابق نشان می‌دهد.

جدول شماره (۳): ضرایب همبستگی عناصر در ذرات معلق و مؤلفه‌های محیط آبی

	pH	S	TOC	Pb	Mn	Cu	Ni	Zn	Cd	Co	Fe
PH	۱										
S	-۰/۸۹۲۴۲	۱									
TOC	-۰/۸۵۴۰۲	۰/۹۹۶۳۱۴	۱								
Pb	۰/۷۹۷۳۰۵	-۰/۸۲۲۳۸	-۰/۷۹۷۲	۱							
Mn	۰/۷۶۰۱۱۲	-۰/۷۴۹۱۳	-۰/۷۲۰۱	۰/۹۷۹۰۲۱	۱						
Cu	-۰/۴۵۸۵۴	۰/۵۲۸۴۹۷	۰/۵۴۴۴۲۸	-۰/۱۲۸۹۷	-۰/۱۶۸۸	۱					
Ni	۰/۱۷۴۸۴۲	۰/۲۵۳۵۸۳	۰/۳۱۴۳۸۸	-۰/۱۱۴۹۴	۰/۰۱۹۳۰۵	-۰/۱۰۰۰۸	۱				
Zn	۰/۴۹۷۷۸	-۰/۸۱۲۲۱	-۰/۸۵۵۳۷	۰/۶۰۴۹۰۷	۰/۵۰۳۵۲۸	-۰/۳۶۸۱۲	-۰/۶۵۴۲۷	۱			
Cd	۰/۷۴۸۷۵۶	-۰/۵۵۱۸۵	-۰/۵۰۲۳۵	۰/۸۰۰۵۰۸	۰/۸۸۴۱۹۷	-۰/۲۳۲۷۲	۰/۴۷۷۶۹۹	۰/۱۷۳۴۸۲	۱		
Co	۰/۴۹۷۷۹۴	-۰/۰۸۸۴۳	-۰/۰۱۰۸۳	۰/۱۰۵۶۲۵	۰/۱۰۹۴۸۸	۰/۰۰۴۶۹۲	۰/۷۱۳۴۵۷	-۰/۴۴۸۱۹	۰/۳۸۹۶۴۳	۱	
Fe	-۰/۰۱۳۱۷	۰/۳۶۶۷۷۵	۰/۴۲۷۶۲۵	۰/۰۹۳۲۴۹	۰/۲۴۵۱۱۳	۰/۳۱۴۷۱۹	۰/۷۹۰۹۲۶	-۰/۶۶۳۶۴	۰/۵۶۰۷۶۳	۰/۴۵۵۰۸۷	۱

نتیجه‌گیری

در این تحقیق فرایند جذب/ دفع عناصر سنگین از رسوبات بستر و ذرات معلق رودخانه تجن تحت تأثیر اختلاط با آب دریا مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که با ورود آب رودخانه به دریا و اختلاط تدریجی در مصب میزان شوری و TOC افزایش یافته و pH به تدریج کاهش می‌یابد. متأسفانه در غالب موارد دفع عناصر از رسوبات و ذرات معلق مشاهده می‌شود که فقط دو عنصر مس و آهن در گروه جذب قرار می‌گیرند.

جدول شماره (۴): ضرایب همبستگی عناصر در رسوبات و مؤلفه‌های محیط آبی

	pH	S	TOC	Pb	Mn	Cu	Ni	Zn	Cd	Co	Fe
PH	۱										
S	-۰/۸۹۲۴۲	۱									
TOC	-۰/۸۵۴۰۲	۰/۹۹۶۳۱۴	۱								
Pb	۰/۸۷۵۷۵۵	-۰/۷۵۸۰۵	-۰/۷۰۹۲۷	۱							
Mn	۰/۸۰۲۸۶۴	-۰/۷۹۵۰۴	-۰/۷۷۲۲۸	۰/۹۲۶۷۵۳	۱						
Cu	۰/۵۷۸۰۲۳	-۰/۵۴۱۰۵	-۰/۴۹۹۷۹	۰/۸۸۸۴۱	۰/۸۲۴۳۹۹	۱					
Ni	۰/۳۱۷۶۰۴	۰/۱۱۹۵۹۷	۰/۱۸۹	۰/۲۷۸۰۴۴	۰/۰۵۶۰۰۳	۰/۰۶۱۷۰۴	۱				
Zn	۰/۳۱۷۵۰۷	۰/۱۲۴	۰/۲۰۶۹۱۲	۰/۴۰۶۹۵۱	۰/۱۲۲۱۳۳	۰/۲۹۲۰۶۸	۰/۸۴۸۲۰۷	۱			
Cd	۰/۸۴۶۰۰۷	-۰/۹۲۵۵۸	-۰/۹۲۲۹۶	۰/۷۱۹۰۹۲	۰/۷۹۷۵۰۹	۰/۴۷۴۷۳۱	-۰/۱۶۵۹۹	-۰/۰۶۵۳۵	۱		
Co	۰/۰۶۶۰۰۹	۰/۳۴۶۵۲۹	۰/۴۰۴۷۷	۰/۰۶۵۲۴۴	-۰/۱۱۷۳۷	-۰/۰۷۸۶	۰/۹۵۸۹۲۸	۰/۷۴۶۱۷۹	-۰/۴۰۵۰۹	۱	
Fe	-۰/۳۷۶۱۱	۰/۴۲۴۰۵۶	۰/۴۴۲۶۸۸	۰/۰۱۳۶۲۱	-۰/۰۴۷۵۲	۰/۳۶۳۳۵۸	۰/۱۵۶۰۲۳	۰/۱۳۲۶۳۲	-۰/۶۰۸۵۹	۰/۳۱۴۵۶۸	۱

درصد دفع عناصر به ترتیب زیر است:

رسوبات : Ni(٪۲۱/۶) >Cd(٪۲۰/۳) >Cu(٪۹/۱) >Pb(٪۸/۶) >Zn(٪۶/۱)>Mn(٪۵/۳)

ذرات معلق: Pb(٪۱۸/۳) >Cd(٪۱۲) >Mn(٪۹/۱) >Zn(٪۷/۴) >Ni(٪۴/۴)

درصد جذب عناصر به ترتیب زیر است:

رسوبات: Fe(٪۲۱/۶)

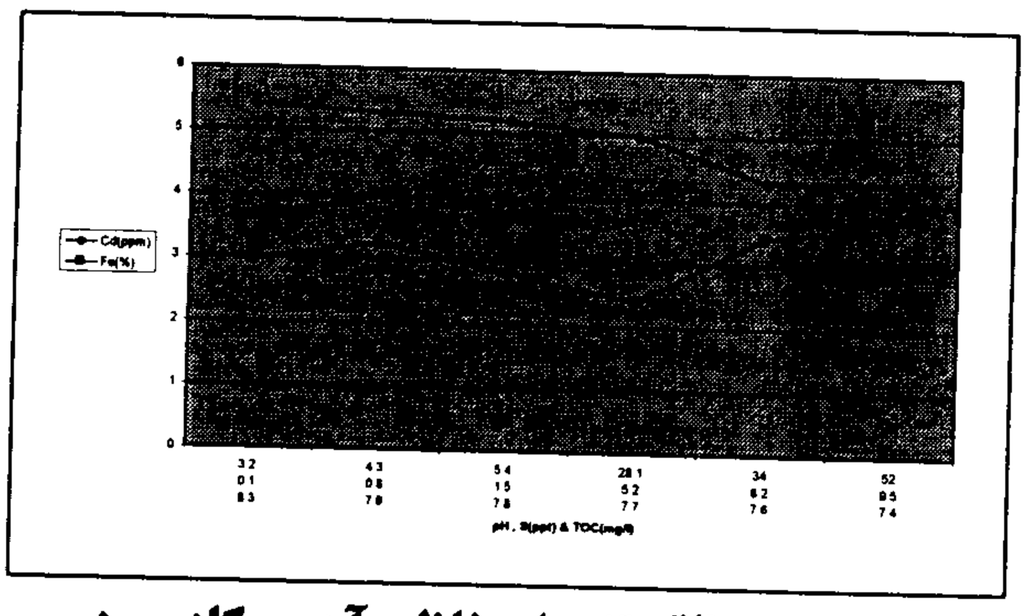
ذرات معلق: Fe(٪۸/۱) >Cu(٪۴/۵)

عنصر Co نیز با توجه به تفاوت اندک غلظت اولیه و نهایی به نظر می‌رسد رفتاری شبه خوددار از خود نشان می‌دهد. بدان معنی که تغییرات غلظت آن قابل توجه نمی‌باشد و این عنصر در ذرات معلق و رسوبات رودخانه پس از ورود به دریا از نظر غلظت کمترین تغییر را بروز می‌دهد. همچنین مشخص گردید که عامل محیطی pH بر رفتار عناصر در ذرات معلق بیشتر بر عناصر Mn,Cd و Pb مؤثر بوده و در رسوبات بیشتر بر رفتار Cd و در درجات بعدی بر MN, Pb و Cu. عوامل TOC و شوری آب تا حدی بر رفتار عنصر Fe در رسوبات و عنصر Cu در ذرات معلق مؤثرند.

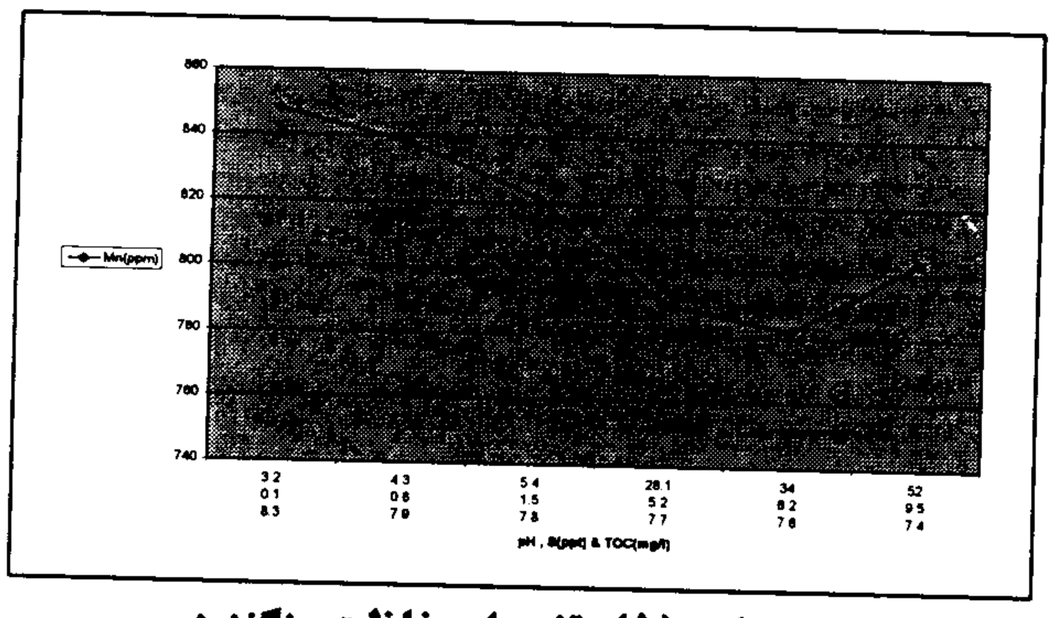
عناصر Ni, Fe و Co در ذرات معلق و Co, Ni و Zn در رسوبات وابستگی بسیار کمتری به عوامل TOC و شوری و pH نشان داده و احتمالاً متأثر از سایر شرایط محیطی می‌باشند.

تشکر و قدردانی

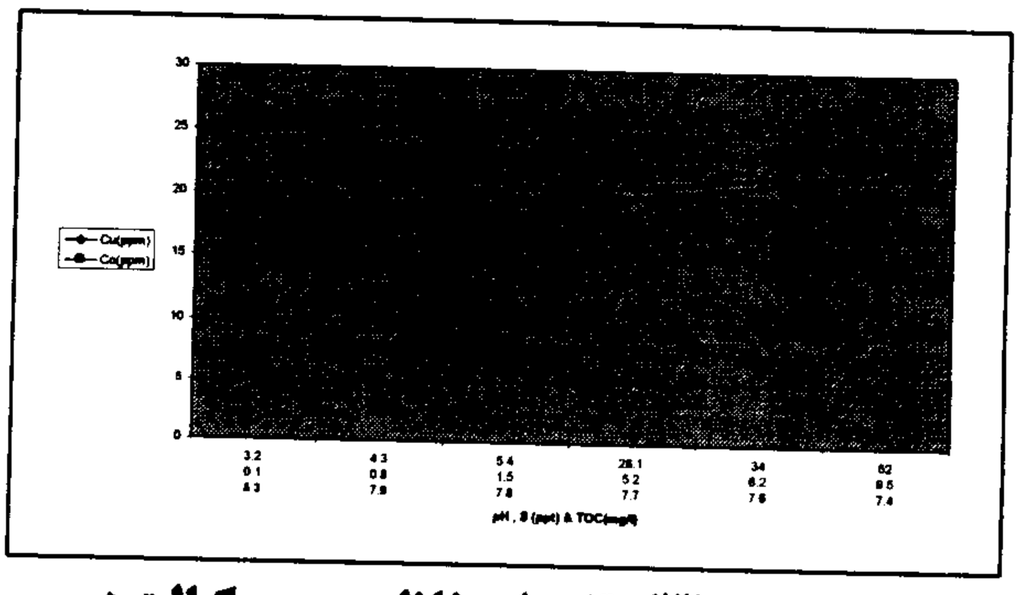
این تحقیق به عنوان بخشی از پایان‌نامه دکتری در دانشکده محیطزیست دانشگاه تهران به انجام رسیده است و لذا بدین‌وسیله از ریاست محترم دانشکده جناب آقای دکتر سید حسین بحرینی و مدیر محترم گروه مهندسی محیطزیست جناب آقای دکتر عظیمی به لحاظ فراهم آوردن نیازهای طرح تشکر و قدردانی می‌شود. پرسنل آزمایشگاه دانشکده مساعدت و صبر و حوصله زیادی در طی مراحل مختلف طرح نشان داده‌اند که از همه آنها سپاسگزاری می‌گردد.



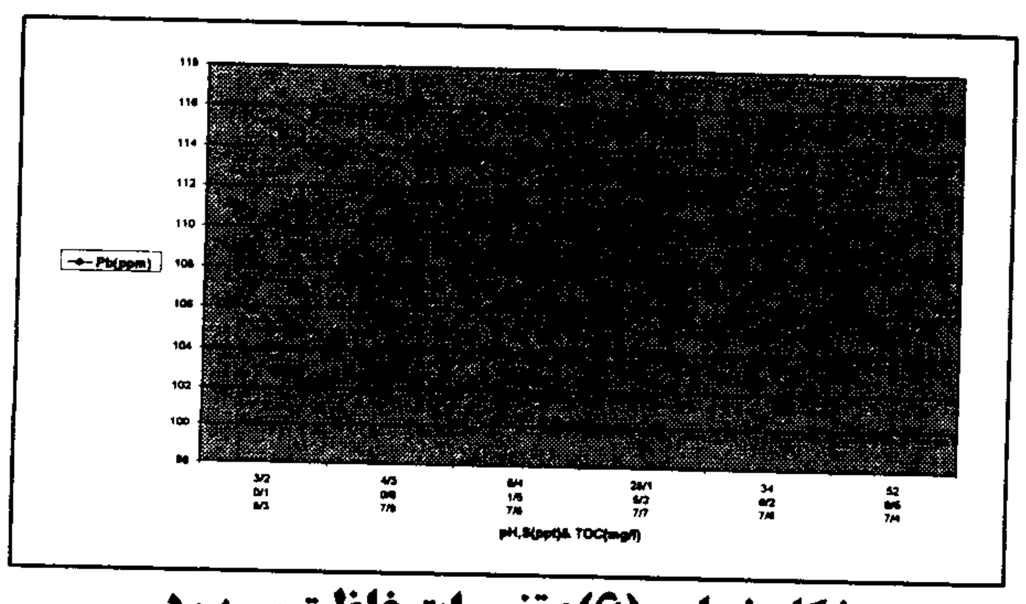
شکل شماره (۲): تغییرات غلظت آهن و کادمیم در رسوبات نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



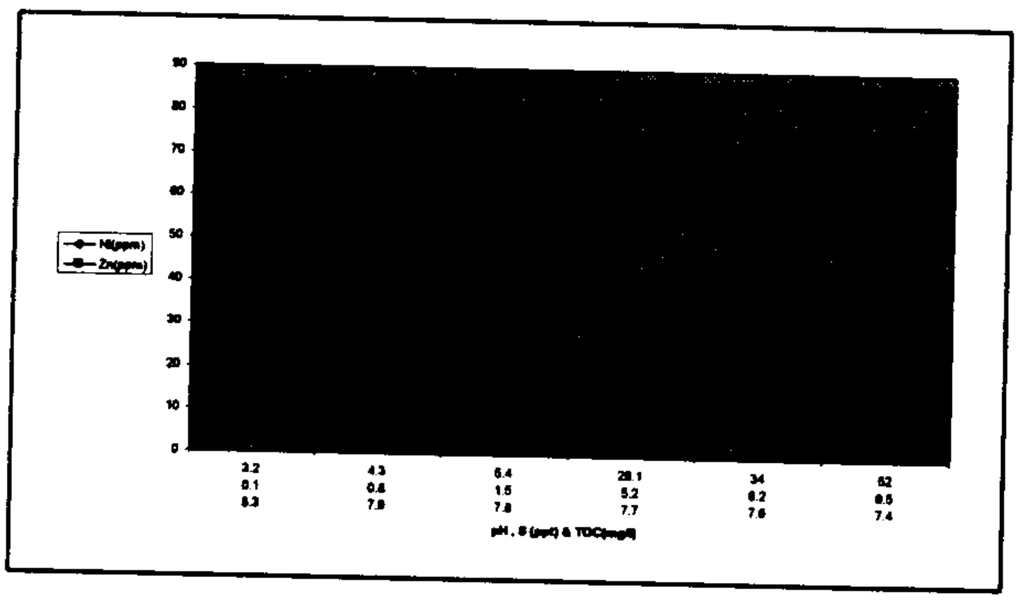
شکل شماره (۵): تغییرات غلظت منگنز در رسوبات نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



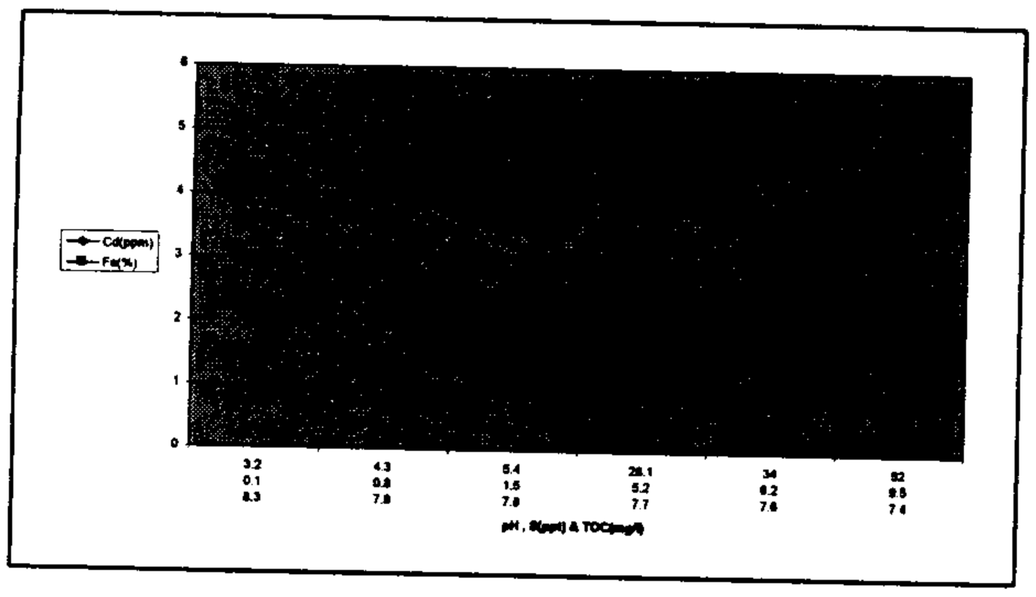
شکل شماره (۳): تغییرات غلظت مس و کبالت در رسوبات نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



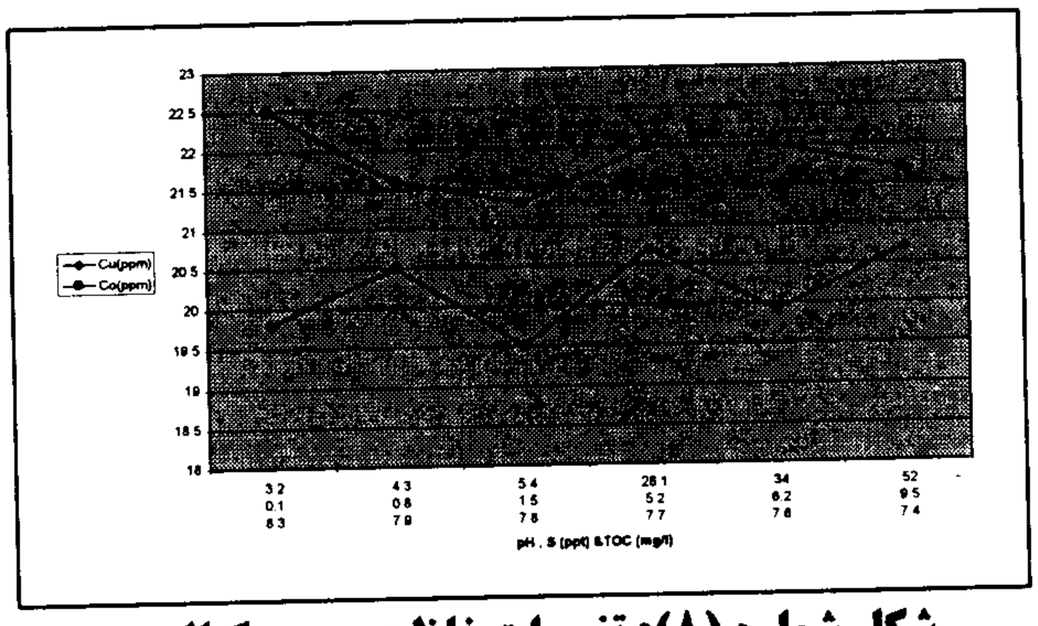
شکل شماره (۶): تغییرات غلظت سرب در رسوبات نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



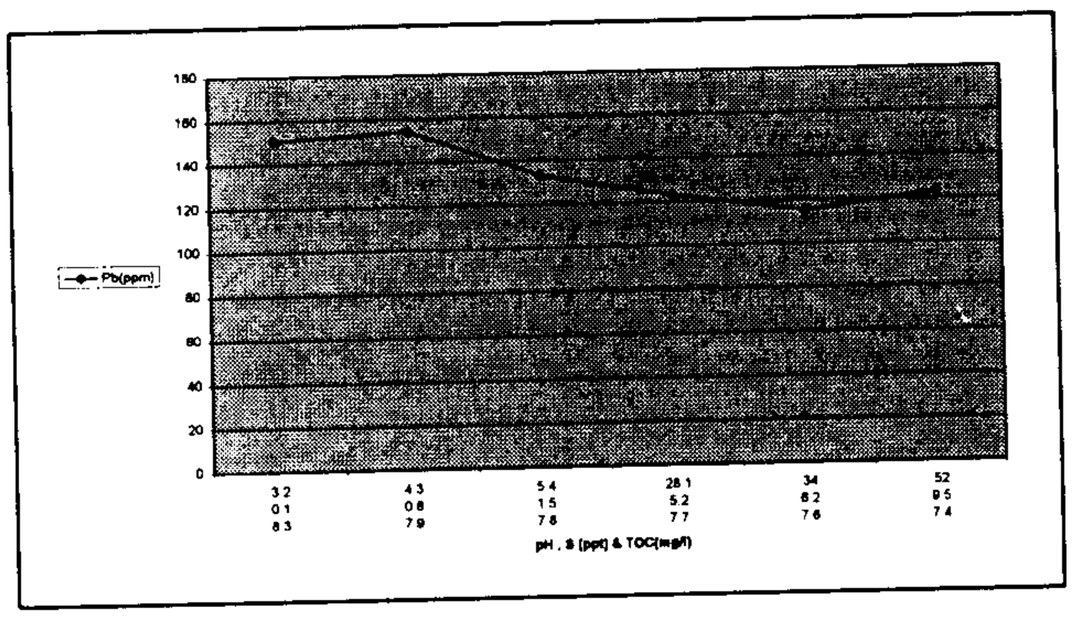
شکل شماره (۴): تغییرات غلظت روی و نیکل در رسوبات نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



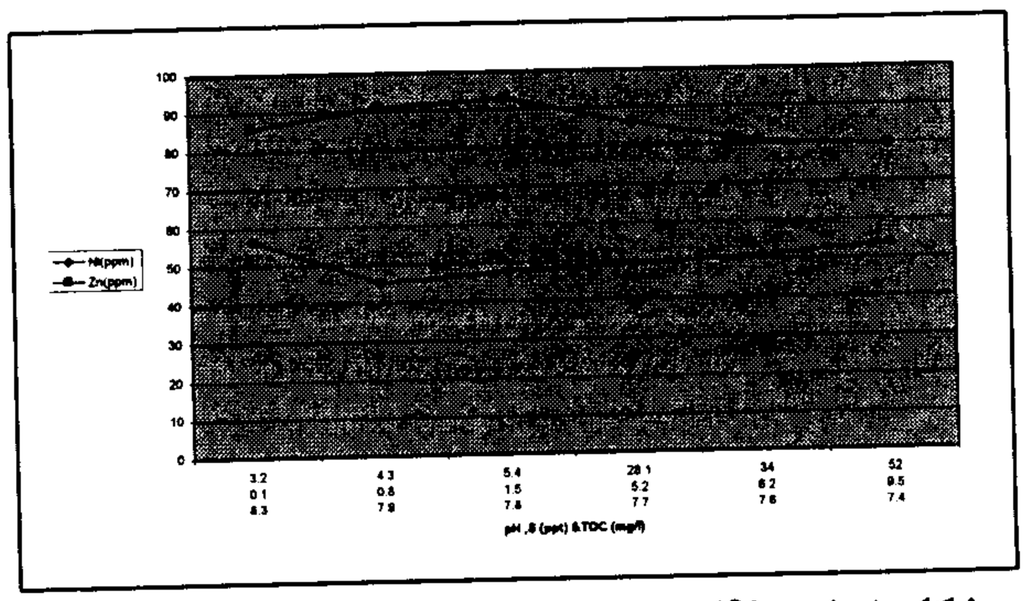
شکل شماره (۷): تغییرات غلظت آهن و کادمیم در ذرات معلق نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



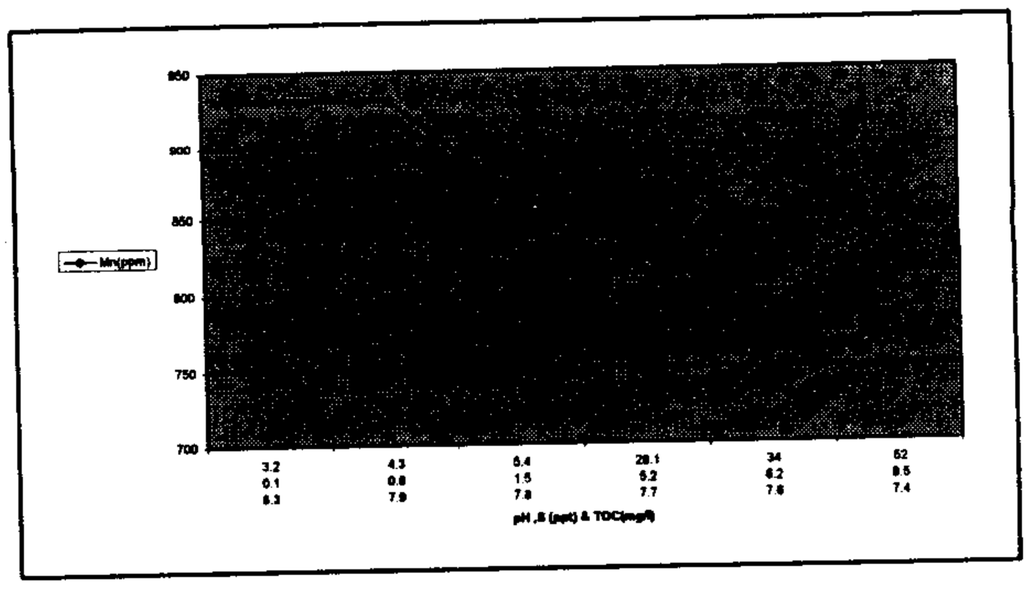
شکل شماره (۸): تغییرات غلظت مس و کبالت در ذرات معلق نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



شکل شماره (۱۱): تغییرات غلظت سرب در ذرات معلق نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



شکل شماره (۹): تغییرات غلظت روی و نیکل در ذرات معلق نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا



شکل شماره (۱۰): تغییرات غلظت منگنز در ذرات معلق نسبت به TOC، pH و شوری در حین اختلاط با آب دریا

یادداشتها

1. Total Organic Carbon

منابع مورد استفاده

Botkin, D. and Keller, E. 1995. Environmental Science. John Wiley and Sons.

Brugmann, L. 1986. The influence of coastal zone processes on mass balances for trace metals in the Baltic sea. Rapp . Cons. Explor. Mer. 186: 329-342

Chapman, D. 1992. Water Quality Assessment. Chapman and Hall. London.

Forstner, U. and Wittmann, G. T. W. 1981. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-verlag. Berlin.

Forstner, U. and Muller, G. 1976. Heavy metal accumulation in river sediments: a response to environmental pollution. Geoform. 14: 315-385.

Hoyle, J. et al., 1984. The behaviour of the rare elements during mixing of river and sea-waters. G.C.A. (48): 143-149.

Karbassi, A. R. 1989. Geochemical and Magnetic studies of marine, estuarine and riverine sediments. Banglore University . India.

Reimann, C. and De Caritat, P. 1998. Chemical Elements in the Environment. Springer-verlag. Berlin.

Wittmann, G. T. W. and Forstner, U. 1976. Metal enrichment of sediment in inland waters: The Jukskei and hennopes river drainage system. 2(2). April.

ROPME. 1998. Manual of Oceanographic Observations and Pollutants Analysis Methods (MOOPAM) V1-V42.