

نقش درختان حرا در کاهش آلودگی فلزات سنگین رسوبات خور بساتین

حمید داودی^{۱*}، حسین نگارستان^۲، محمدرضا غریب‌رضا^۳، راضیه لک^۴ و محمدصدیق مرتضوی^۵

*۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری علوم شیلاتی، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. پست الکترونیک: hdda1347@gmail.com

۲- دانشیار، گروه اکولوژی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهش، گروه مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴- استادیار، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ایران

۵- استادیار پژوهش، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۱۰

چکیده

خور بساتین در سواحل شمالی خلیج فارس و شرق استان بوشهر از یک‌سو به خلیج نای‌بند و از سوی دیگر به رودخانه گاو‌بندی منتهی می‌شود. خور بساتین از نظر دارا بودن شرایط ویژه اکولوژیکی، یکی از زیستگاه‌های جنگل‌های حرا در سواحل شمالی خلیج فارس به‌شمار می‌رود، اما در سال‌های اخیر جایگاه تمرکز انواع آلاینده‌های محیط زیستی شده است. آشکارسازی نقش تعدیل‌کننده جنگل‌های حرا در کاهش آلودگی و شناخت وضعیت تمرکز عناصر فلزی و شبه‌فلزی و تطابق آنها با رویدادهای محیطی در خور بساتین از اهداف پژوهش پیش‌رو بود. روش تحقیق به‌گونه‌ای طراحی شد که نمونه‌برداری جامعی با توجه به وسعت خور بساتین از رسوبات سطحی و عمقی دست‌نخورده انجام شود و غلظت ۵۰ عنصر فلزی، شبه‌فلزی و عناصر نفت- پیوند تعیین شود. ۱۲۰ نمونه رسوب پس از آماده‌سازی، توسط دستگاه ICP-OES تجزیه و تحلیل شدند. همچنین در تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار ماکرو XL Stat Pro 2015 به‌منظور بررسی ارتباط بین عناصر استفاده شد. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که با تغییر ریخت‌شناسی دهانه خور بساتین از سال ۱۳۷۹ و محدود شدن چرخه هیدرولیکی جریان‌های جزرومدی، نرخ رسوب‌گذاری در خور بساتین به‌اندازه‌ای افزایش یافته است که باعث خشک شدن درختان حرا شده است. این فرآیند نقش مستقیمی در غنی‌شدن فلزات سنگین در خور بساتین و عدم پالایش آنها توسط گیاهان داشته است. نتایج نشان داد که نرخ متوسط رسوب‌گذاری در خور بساتین بین ۱/۸ تا دو سانتی‌متر در سال در تغییر بوده است.

واژه‌های کلیدی: افق‌های کلیدی، پالایش بیولوژیکی، جنگل‌های حرا، فلزات سنگین، نرخ رسوب‌گذاری.

مقدمه

قابل مشاهده هستند، اما درختان چندل فقط در منطقه سیریک دیده می‌شوند (Danekar & Mashinchian, 2004). نزدیک به ۳۶۰ هکتار از منطقه ساحلی استان بوشهر از درخت‌های حرا پوشیده شده است. بخش جزئی از پراکنش این جنگل‌ها در خورهای ملگونزه (هشت هکتار) و

درختان حرا (*Avicennia marina* (Forssk.) Vierh.) و چندل (*Rhizophora mucronata* Poir.) گونه‌های تشکیل‌دهنده جنگل‌های مانگرو ایران هستند. درختان حرا در تمامی گستره جنگل‌های مانگرو در سواحل جنوبی ایران

منطقه مورد مطالعه نیز رسوبات آلوده به فلزات سنگین با منشاء آلودگی، از یک سو از تأسیسات پالایشگاهی نفت و گاز و ذخایر روباز گوگرد مازاد در منطقه ویژه عسلویه و از سوی دیگر از عناصر قلیایی خاک سطح حوضه آبخیز رودخانه گاوبندی به خورهای بساتین و عسلویه سرازیر می‌شوند. از جدیدترین مطالعات انجام شده در بررسی قابلیت جنگل‌های حرا در پالایش فلزات سنگین و تعادل بخشیدن به تمرکز این فلزات در محیط و نیز انباشت کربن آلی، می‌توان به پژوهش‌های Chaudhuri و همکاران (۲۰۱۴)، Abu El-Regal و Nesreen (۲۰۱۴)، Phung Ha و همکاران (۲۰۱۴) و Andreetta و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد.

هدف از پژوهش پیش‌رو بررسی تأثیر درختان حرا در روند تغییرات غلظت فلزات سنگین و عناصر فلزی مرتبط با فعالیت‌های صنعتی نفت و گاز در خور بساتین بود. همچنین تأثیر حوضه آبخیز در فرآیند آلودگی نیز از طریق مقایسه روند آلودگی‌ها در دو خور بساتین و عسلویه و خروجی حوضه آبخیز رودخانه گاوبندی بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

کرانه‌های شمالی خلیج فارس جایگاه توسعه ده‌ها خور و خلیج است که در آنها شرایط ایجاد جنگل‌های حرا وجود دارد. خور بساتین از جمله این خورها به‌شمار می‌رود که در پناه سد ماسه‌ای تشکیل شده است و از یک سو با خلیج نایبند و از سوی دیگر با رودخانه گاوبندی با حوضه‌ای به مساحت ۱۱۶۶۰۰ هکتار در ارتباط است که این رودخانه نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ و بقای این خور دارد. خور بساتین در خلیج نایبند در موقعیت جغرافیایی ۳۷° ۵۲' تا ۴۲° ۵۲' طول شرقی و ۲۲° ۲۷' تا ۲۹° ۲۷' عرض شمالی در منطقه ساحلی استان بوشهر و کرانه‌های شمالی خلیج فارس واقع شده است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیم برحسب طبقه‌بندی دومارتن، منطقه خشکی محسوب می‌شود. حداقل و حداکثر بارندگی در آن ۳۴ و

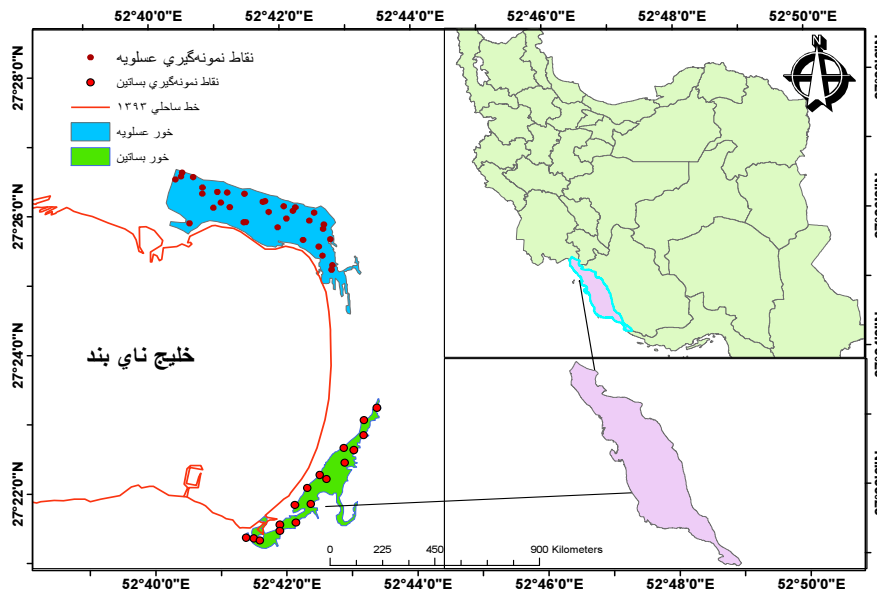
بردستان (یک هکتار) و بقیه این درختان در خلیج نایبند می‌باشند. مساحت جنگل‌های حرا خور بساتین حدود ۹۰ هکتار بوده است که در سال‌های اخیر به دلیل خشک‌شدگی وسیع به ۴۵ هکتار تقلیل یافته است. مهمترین دلیل این رویداد تغییر عرض دهانه خور بساتین، تنگ‌شدگی کانال جزرومدی و تا اندازه‌ای خشکسالی‌های اخیر بوده است.

فعالیت‌های انسانی در نواحی ساحلی از گذشته‌های دور بر ریخت‌شناسی ساحلی و پیرو آن بر هیدرودینامیک و آب‌شناسی ساحلی اثر گذاشته است (Goudie, 1993). اثر متقابل بین موج، جریان و انتقال رسوب در مناطق ساحلی و به‌خصوص خورها بسیار حائز اهمیت است. درک این تقابل برای بسیاری از علوم و به‌خصوص علم بوم‌شناسی بسیار حیاتی است. زیرا هرگونه تغییر در سیستم هیدرودینامیک امواج و رژیم رسوب‌گذاری، تأثیر مستقیمی بر محیط زیست و بوم‌شناسی ساحلی و دریایی دارد (Vaselali & Azarmsa, 2009). رسوبات می‌توانند موجب تغییر خطوط ساحلی و تغییر چهره ژئومورفولوژی سواحل شوند (Meng-guo, 2010). براساس برآوردهای به‌عمل آمده توسط Santín و همکاران (۲۰۰۹)، خورها از نظر اقتصادی در بین ۱۶ بوم‌سازگان مولد جهان، رتبه اول را دارند. جنگل‌های حرا به‌همراه محیط تالابی خود به‌عنوان پایاب یک حوضه آبخیز محسوب می‌شوند و محل تجمع رسوبات ریزدانه‌ای (سیلتی و رسی) هستند که مملو از ریزمغذی‌ها، فلزات و مواد معدنی هستند. محیط حرا یک مکان بسیار مناسب برای مطالعاتی مانند بایوژئوشیمی، هیدروژئوشیمی و فرآیندهای آب‌شناسی است (Prasad & Ramanathan, 2009).

براساس آخرین یافته‌ها درباره اثرات محیطی عناصر شیمیایی به‌ویژه فلزات سنگین، عناصر سولفور، نیکل، وانادیم، مس، کادمیم و سرب از جمله عناصر ردیابی به‌شمار می‌روند که از توزیع آنها در محیط می‌توان به منشأ آنها در مناطق و تأسیسات نفتی-گازی پی برد (Ashraf et al., 2015). بیشتر این عناصر به شرایط اکسیداسیون و احیاء محیط آبی که در آن پراکنده می‌شوند، حساس هستند و به دلیل تحرک‌پذیری از محیط شسته و دور می‌شوند. در

خور با درختان حرا پوشیده شده است و گونه‌های مختلفی از گیاهان شورپسند را نیز در خود جای داده است.

۴۶۲ میلی‌متر گزارش شده است (Anonymous, 2007). باوجود فصلی بودن رودخانه گاوبندی، خور بساتین تحت تأثیر سیلاب‌های فصلی رودخانه گاوبندی قرار دارد. این



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در خلیج نای بند و خلیج فارس و نقاط نمونه‌گیری

دو نمونه عمقی نیز از نقاط تعیین شده به ضخامت ۷۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه مغزه‌گیر ساخته شده در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری برداشت شد. لوله اصلی دستگاه مغزه‌گیر رسوب از جنس پلی‌اکریلیک شفاف بود که میزان نفوذ ستون رسوب در دستگاه را نشان می‌داد. عملیات نمونه‌برداری براساس استاندارد نمونه‌برداری از مصالح بستر برای تجزیه ژئوشیمی رسوبات بود (Radtke, 2005). مغزه‌های رسوبی با استفاده از کاردک پلاستیکی به طول دو سانتی‌متر برش داده شدند و بعد از کدگذاری، در ظروف جداگانه بسته‌بندی و منجمد شدند.

آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها

نمونه‌های عمقی در آزمایشگاه با ترازوی دیجیتالی مدل FX=3200 با دقت ۰.۱/ گرم توزین شدند و ابعاد آنها برای محاسبه وزن مخصوص با استفاده از یک میکرومتر (کولیس) با دقت یک میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس با درجه‌حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۶ ساعت (Agormoorthy et

روش تحقیق پژوهش پیش‌رو براساس اهداف مورد نظر طراحی شد که در آن اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایشگاهی هدفمند انجام شد. به‌همین منظور از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و نرم‌افزار ArcGIS 10.3 و ماکرو آماری Xlstat استفاده شد. از مهم‌ترین اطلاعات پایه مورد مطالعه می‌توان به تصاویر ماهواره‌ای Land Sat 8 با قدرت تفکیک ۱۵ متر و آمار بارندگی اشاره کرد.

نمونه‌برداری

محل نمونه‌برداری از سطح با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، پراکنش درختان حرا، سیستم هیدرودینامیک و سیستم رسوب‌گذاری خورها انتخاب شد. همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص شده است، نمونه‌برداری از تمام سطح خورهای بساتین و عسلویه انجام شد. محل نمونه عمقی نیز براساس خشکیدگی درختان حرا انتخاب شد. پانزده نمونه سطحی از خور بساتین با استفاده از دستگاه نمونه‌گیر رسوب استیل مدل هایدریوس به عمق ۲۰ سانتی‌متر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تراکمی (Agglomerative Hierarchical Clustering/ AHC) برای مجموعه اطلاعات به‌دست‌آمده به‌منظور دست‌یابی به عناصری که تجمع و افزایش آنها با یکدیگر ارتباط معنی‌دار مستقیم و معکوس داشت، انجام شد.

روش تفسیر نتایج

دست‌یابی به افق‌های کلیدی، از روش‌های مهم تفسیر رویدادهای محیطی در مطالعه ستون رسوبات به‌شمار می‌رود که در پژوهش پیش‌رو استفاده شد. رویدادهای محیطی به دو دسته رویدادهای طبیعی و رویدادهای ناشی از فعالیت‌های بشری قابل تقسیم هستند که سعی شد براساس نوع تغییرات در مقادیر فلزات سنگین در ستون رسوبات خور بساتین و رودخانه گاوبندی بررسی شوند و شرایط غنی‌شدگی و روندهای کاهشی یا افزایشی شناسایی شوند. در نهایت تفسیر نتایج به‌منظور بررسی شناخت رژیم آلاینده‌های فلزی در منطقه مورد مطالعه و تأثیر درختان حرا بر میزان فلزات سنگین انجام شد.

نتایج

بررسی رژیم رسوبی در پژوهش پیش‌رو نشان داد که روند رسوب‌گذاری در خور بساتین با خور عسلویه تفاوت دارد. مطالعات میدانی و مطالعات کتابخانه‌ای حاکی از آن بود که علت این تفاوت وجود رودخانه گاوبندی بوده است. مقدار آبدی رودخانه گاوبندی ۴۱/۹۴ میلیون متر مکعب در سال است. طبق تحقیقات انجام‌شده توسط شرکت مشاورین لار (Anonymous, 2007) کل بار رسوبی که شامل بار معلق و بار بستر است، ۵۸۷ هزار تن در سال محاسبه شده است. این درحالی است که خور عسلویه محل زهکش شدن مسیلهایی است که در شرایط سیلابی، رسوبات اطراف این خور را به داخل آن تخلیه می‌کنند. نتایج به‌دست‌آمده از پایش و مقایسه تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ نشان داد که مساحت خور بساتین بین سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹ کاهش یافته است، درحالی‌که بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۷۹

خشک شدند. مطالعات آزمایشگاهی شامل بررسی بافت رسوبات، شمارش تعداد پوسته سخت‌پوستان و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها بود. بدین‌منظور، تمام آنها با استفاده از هاون چینی به‌طور کامل پودر شدند. نمونه‌ها برای تعیین غلظت عناصر شیمیایی به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی ارسال شدند و غلظت ۵۰ عنصر در وزن خشک هر نمونه با دستگاه ICP-OES مدل Darian 735- ES اندازه‌گیری شد. تعیین غلظت عناصر شیمیایی با استفاده از روش استاندارد ۳۰۵۲ (Kingston & Jassie, 1988) انجام شد. براساس این روش، ۰/۲۵ گرم از نمونه با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد و در استوانه دستگاه هضم قرار داده شد. به هر نمونه به‌ترتیب نه میلی‌لیتر اسید نیتریک، دو میلی‌لیتر اسیدکلریدریک و سه میلی‌لیتر اسید فلوئوریدریک اضافه شد. در دستگاه هضم، هر نمونه به‌ترتیب پنج و ۱۰ دقیقه برای صعود دما و نگهداری تحت فشار قرار داده شد. سپس به نمونه نیمه‌هضم‌شده، ۱۸ میلی‌لیتر اسید بوریک اشباع برای دوره تکمیلی ۱۰ دقیقه‌ای هضم اضافه شد. لازم به‌ذکر است که دستگاه مذکور براساس پیش‌فرض، برای ۵۰ عنصر تنظیم شده است که در این میان، فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، نیکل، جیوه، بیسموت، اورانیوم، لیتیوم، طلا، وانادیوم، زرکونیوم و سلنیوم و عناصر مرتبط با نفت شامل مولیبدن، منگنز، باریم، استرانسیوم، تیتانیوم و گوگرد تجزیه و تحلیل شدند. وجود شباهت بین این عناصر در تجزیه و تحلیل آماری و نیز پیوند آنها با مواد نفتی، ملاک انتخاب این عناصر بود.

تجزیه و تحلیل آماری

در پژوهش پیش‌رو از ماکرو XL Stat Pro 2015 تحت نرم‌افزار Excel برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. ۲۳ عنصر منتخب که از نظر پراکنش در محیط رسوبی از شرایط همسان و یا کاملاً متفاوت پیروی می‌کردند، به‌عنوان متغیرهای آماری در نظر گرفته شدند. تجزیه و تحلیل معنی‌دار بودن متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. ارتباط بین متغیرها که همان مقادیر عناصر تجزیه و تحلیل شده بود، با استفاده از ضریب پیرسون آزمون شد. همچنین

کاهش را نشان نداده است. نتایج به دست آمده از بررسی نمونه‌های گیاهی در آزمایشگاه نشان داد که ریشه، ساقه و برگ درختان حرا عامل بسیار مهمی در جذب فلزات سنگین بوده‌اند (جدول ۱).

افزایش یافته است. در نهایت وسعت کانال این خور از ۱۷۳ هکتار در سال ۱۳۶۵ به ۱۱۴ هکتار در سال ۱۳۹۳ رسیده است. در همین زمان سطح جنگل‌های حرا در خور بساتین ۳۴ هکتار کاهش داشته است، در صورتی که خور عسلویه

جدول ۱- میزان جذب فلزات سنگین در قسمت‌های مختلف درخت حرا برحسب (mgkg^{-1}) در خور بساتین

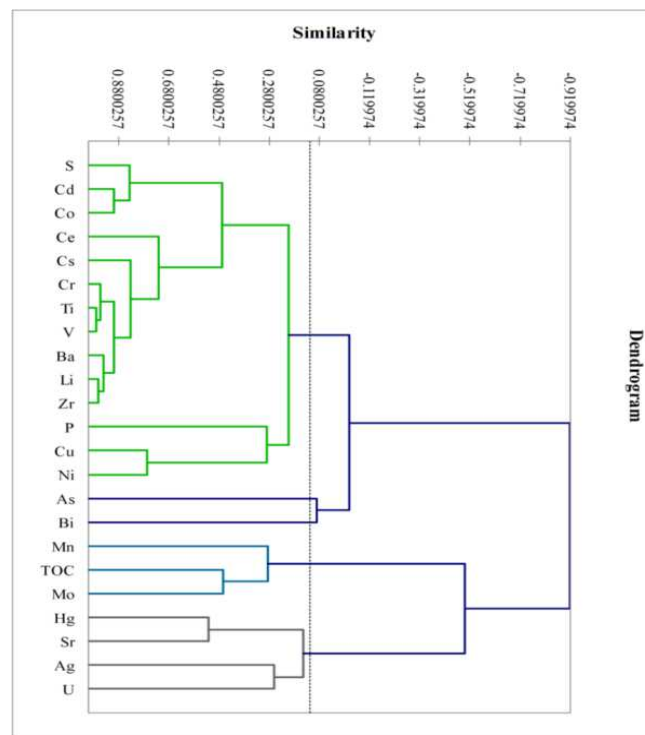
اندام	عنصر													
	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo	Ni	P	Zn	U	V
برگ	۰/۵	۱	۱/۲	۰/۵۳	۱۶/۹۷	۴	۰/۰۴	۸۷/۸	۰/۰۶	۶/۸	۰/۰۹	۸/۸	۰/۲۷	۰/۶۴
ساقه	۰/۵	۱	۰/۷	۰/۰۲	۱۲/۴۵	۸/۹۲	۰/۰۴	۳۶/۲۸	۰/۰۶	۳/۳۱	۰/۰۵	۲	۰/۱۷	۰/۳۶
ریشه	۰/۵	۲/۱	۱/۴	۰/۳۴	۶۱/۵۱	۵/۹	۰/۰۴	۲۱۲	۰/۰۷	۲۱/۴۳	۰/۰۴	۱۷/۵۸	۰/۷	۱/۲۹

و معنی‌دار بودن و یا عدم شباهت را بین عناصر در خوشه‌های به دست آمده نشان می‌دهد. عناصر As, Bi, Ba, Mo و U در خوشه‌بندی به عنوان کانون خوشه‌ها مشخص شده‌اند.

اولین و بزرگ‌ترین خوشه شامل عناصر Zr, P, Cu, Ni, Ba, Li, V, Ti, Cr, Cs, Ce, Co, Cd, S بود که از این بین، معنی‌دارترین شباهت بین عناصر نفت- پیوند V-Ti (ضریب ۰/۹۶۹) و Zr-Li (ضریب ۰/۹۵۹) مشاهده شد. مهم‌ترین دستاورد این خوشه، غنی‌شدگی هم‌زمان غالب عناصر در ترازهای سطحی ستون رسوبات و افزایش مناطق منشاء برای عناصر مختلف به ویژه گوگرد، منگنز و فسفر بود. خوشه دوم شامل دو عنصر As و Bi بود که با همبستگی ضعیفی به خوشه اول مرتبط بود. خوشه سوم شامل عناصر Mn و Mo (ضریب همبستگی ۰/۴۶۴ و ۰/۴۲۴) و مواد آلی بود که نشان از شباهت متوسط تا ضعیف بین خود خوشه و خوشه‌های چهارم و پنجم داشت. خوشه چهارم شامل عناصر Sr و Hg با ضریب همبستگی ۰/۵۲۲ بود که این خوشه رابطه معنی‌داری با خوشه پنجم که در آن عناصر Ag و U بودند، داشت.

از مجموع ۵۰ عنصر فلزی و شبه‌فلزی مورد بررسی در ستون رسوبات خور بساتین، مقادیر بیشینه، متوسط، کمینه و انحراف استاندارد فلزات سنگین و عناصر نفت- پیوند V, As, Ti, P, Ni, Mo, Mn, Hg, Cu, Cr, Co, Cd, Ba و S در جدول ۲ ارائه شده است (علت وجود یا عدم وجود بعضی از عناصر در جدول‌ها، قابل اتکا نبودن میزان غلظت فلز مورد نظر در بعضی از نمونه‌ها بود). روند کاهنده غلظت این عناصر به ترتیب:

$S > Ti > P > Mn > Zr > Ba > Cr > Ni > V > Cu > Co > As > M$
 $O > Hg$ به دست آمد. نتایج نشان داد که عناصر نفت- پیوند بیشترین غلظت را در بین عناصر دیگر مورد مطالعه داشتند. برازش داده‌های به دست آمده با عمق در ستون رسوبات خور بساتین تأییدی بر مفروضات پژوهش بود (شکل ۲) که در بیشتر عناصر، یک روند افزایشی از عمق به سطح مشاهده شد. از بین این عناصر، Ag, Hg, Mn, Mo, Sr و U روند کاهش نشان دادند. منظم‌ترین روند افزایشی برای عناصر Li ($R^2 \approx 0.878$), Zr ($R^2 \approx 0.855$), V ($R^2 \approx 0.83$), Ba ($R^2 \approx 0.78$) و Ti ($R^2 \approx 0.74$) به دست آمد. نتایج بررسی شباهت بین عناصر (جامعه آماری ۲۳ عنصر در ۳۴ لایه) و خوشه‌بندی آنها برای خور بساتین در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل ضریب پیرسون به خوبی میزان رابطه



شکل ۲- خوشه‌بندی عناصر فلزی و شبه‌فلزی و ماده آلی در مغزه رسوبی شاخص بساتین

درصد بود.

مطالعه شرایط تجمع و خوشه‌بندی عناصر در ستون رسوبات بستر رودخانه گاو‌بندی به‌عنوان محیط شاهد به‌منظور مقایسه آن با نتایج ارایه‌شده برای خورهای عسلویه و بساتین بسیار حائز اهمیت است. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که شرایط تمرکز عناصر در این ستون رسوبی بیشتر تحت تأثیر عامل‌های طبیعی و فعالیت‌های بشری در حوضه آبخیز بوده است. روند کاهش غلظت عناصر مورد مطالعه به‌ترتیب:

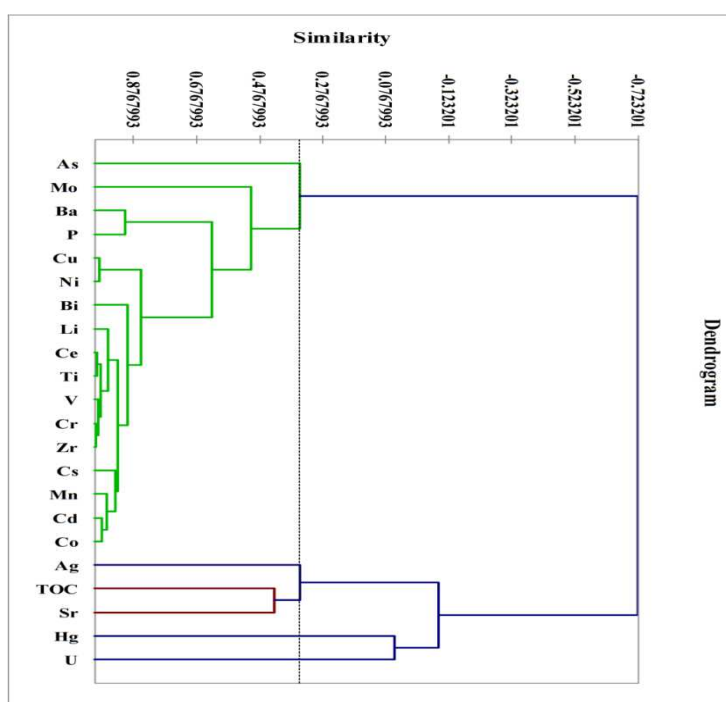
S>Ti>P>Mn>Ba>Zr>Cr>Ni>Li>V>Ce>Bi>Cs>Cu>Co
>U>As>Mo>Ag>Cd>Hg

به‌دست آمد. روند به‌دست‌آمده تطابق حداکثری با روند تمرکز عناصر در مغزه رسوبی شاخص خور بساتین داشت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که عناصر نفت- پیوند بیشترین غلظت را در بین عناصر مورد مطالعه دیگر داشتند. برازش داده‌های به‌دست‌آمده با عمق در ستون رسوبات رودخانه گاو‌بندی نشان از یک روند نزولی فراگیر در غالب عناصر

با بررسی مغزه رسوبی بساتین، لایه‌های کلیدی مهمی شناسایی شد که نشان از تغییرات یک‌باره و ورود آلودگی‌های شدید به‌خور داشت. مطالعه افق‌های کلیدی در ستون رسوبات این خور نشان داد که افق کلیدی در ۵۲ تا ۵۳ سانتی‌متری از سطح وجود داشت. در این تراز، غلظت عناصر Cu, Ni, Co, Cd و As نسبت به لایه‌های رسوبی زیرین که در شرایط محیطی عادی نهشته شده بودند، افزایش قابل توجهی داشتند. افق کلیدی ۳۳ سانتی‌متری از سطح، از افق‌های اصلی به‌دست‌آمده بود که از این افق به بالا افزایش چشم‌گیری در غلظت برخی عناصر روی داد. این امر بیان‌گر افزایش استعداد محیط برای حفظ عناصر بود و یا نشان از افزایش تعداد یا میزان مناطق منشاء و برخاستگاه فلزات سنگین داشت. برای نمونه، ستون رسوبات خور بساتین از عمق ۳۳ سانتی‌متری، ۳۱ درصد غنی‌شدگی آرسنیک را تجربه کرده بود. غنی‌شدگی فلزات سنگین Cr, Co, Ni, Cd, Cu, V, Ti, Sr, Ba و S نیز به‌ترتیب ۱۱، ۹/۴، ۱۸/۸۶، ۱۲/۲۱، ۱۱/۲۲، ۲۰/۱۸، ۱۲، ۳۰/۵۴، ۹/۵۶ و ۱۹/۲

ضریب پیرسون به خوبی میزان رابطه و معنی دار بودن و یا عدم شباهت را بین عناصر در خوشه‌های به دست آمده نشان داده است. عناصر Ag, Ba, Hg, U و TOC در خوشه‌بندی به عنوان کانون خوشه‌ها مشخص شدند که بیشترین فاصله بین Ba و Hg و بیشترین همبستگی بین Ag و TOC برقرار بود.

رو به لایه‌های سطحی داشت (شکل ۳). درمقابل فقط غلظت عناصر Ag, Hg, Sr و U روند صعودی داشت. منظم‌ترین روند کاهنده برای عناصر Cr ($R^2 \approx 0.43$), Bi ($R^2 \approx 0.41$) و Li ($R^2 \approx 0.41$) و Cd ($R^2 \approx 0.41$) و Mn ($R^2 \approx 0.42$) به دست آمد. نتایج بررسی شباهت بین عناصر (جامعه آماری ۲۳ عنصر در ۳۱ لایه) و خوشه‌بندی آنها برای رودخانه گاوبندی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- خوشه‌بندی عناصر فلزی و شبه‌فلزی و ماده آلی در مغزه رسوبی شاخص رودخانه گاوبندی

عطف که نشان‌دهنده یورش آلاینده‌ها در بستر رودخانه گاوبندی بودند، ترازهای ۴۹، ۳۵ و ۲۱ سانتی‌متری بودند. به‌طور تقریب تمام عناصر خوشه‌های پنج‌گانه در عمق‌های ۴۹ و ۳۵ سانتی‌متری از سطح دارای بیشینه غلظت خود بودند. عناصر Ni, Mo و Cu در عمق پنج سانتی‌متری و عناصر Mn, Mo و Ni در عمق ۵۹ سانتی‌متری دارای بیشینه غلظت مشخصی بودند. غالب عناصر قرارگرفته در خوشه اول تا سوم از عمق ۲۱ سانتی‌متری به طرف سطح، روند کاهنده‌ای را نشان دادند. خوشه چهارم شامل عناصر Sr و Ag به همراه عناصر Hg و U در خوشه پنجم، افزایش

باوجود خوشه‌بندی پنج‌گانه مجموعه عناصر مورد مطالعه، درعمل سه خوشه اصلی ایجاد شد که اولین و بزرگ‌ترین خوشه، عناصر As, Mo, Ba, P, Cu, Ni, Bi, Ce, N, Cr, Zr, Cs, Mn, Cd و Co را دربرگرفت. در این خوشه مرکب بیشترین شباهت بین Co-Cd (ضریب ۰/۹۷۷)، Cu-Ni (ضریب ۰/۹۸۶)، Cr-Zr (ضریب ۰/۹۹۵)، Ce-Ti (ضریب ۰/۹۹۴) و Ba-P (۰/۹) برقرار بود. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، مجموعه عناصر مذکور به‌جز افق‌های کلیدی ۴۹، ۳۳، ۲۱ و پنج سانتی‌متری دچار کاهش غلظت از عمق به سطح شدند. مهمترین نقاط

عمومی از عمق به سطح را نشان دادند.

بحث

از آنجایی که منشاء اصلی عناصر تجمع یافته در بستر رودخانه گاو بندی خشکی است، رویدادهای طبیعی یا انسان ساخت رخ داده در حوضه آبخیز، عامل ایجاد افق های کلیدی محسوب می شوند. مطالعات Alongi و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که افزایش شدید در مقدار تجمع رسوبات در خور حراخیز جیولون گلجیانگ چین به مقدار ۱۰ تا ۶۲ کیلوگرم در متر مربع در یک سال، ناشی از تخریب اراضی کشاورزی در حوضه آبخیز بوده است. بر این اساس، افق های به دست آمده در ستون رسوبات رودخانه گاو بندی با آمار بارندگی وزارت نیرو و براساس سال آبی ایستگاه های شرقی استان بوشهر و غربی استان هرمزگان برازش داده شد. نوسانات مقادیر بارش بین سال های ۱۳۵۱ تا ۱۳۸۷ به ترتیب به هفت دوره معنی دار ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۷، ۱۳۸۷ تا ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۲، ۱۳۷۵ تا ۱۳۶۷، ۱۳۶۷ تا ۱۳۶۲، ۱۳۶۲ تا ۱۳۵۴، ۱۳۶۲ تا ۱۳۶۷، ۱۳۶۷ تا ۱۳۶۲، ۱۳۶۲ تا ۱۳۵۴، ۱۳۵۴ تا ۱۳۶۲ و یک دوره قدیمی تر ۱۳۵۴ تفکیک شد. به نظر می رسد که بیشینه رسوب حاوی عناصر مختلف، در بیشینه بارش سال ۱۳۶۶ به میزان ۵۲۰ میلی متر روی داده باشد. بدین ترتیب بیشینه تمرکز غالب عناصر در افق ۴۹ سانتی متری از سطح را می توان به سال پربارش ۱۳۶۶ نسبت داد. همچنین می توان بیشینه تمرکز عناصر در افق کلیدی ۲۱ سانتی متری را به سال پربارش ۱۳۷۷ که در آن ۴۵۰ میلی متر بارش به ثبت رسیده است، نسبت داد. به همین ترتیب افق کلیدی پنج سانتی متری از سطح را می توان به سال پربارش ۱۳۸۲ که در آن بیشتر از ۶۰۰ میلی متر بارش به ثبت رسیده است، نسبت داد.

براساس تطابق سال های پربارش و عمق قرارگیری افق های کلیدی، نرخ رسوب گذاری نسبی رودخانه گاو بندی از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۵، حدود ۱/۸ سانتی متر در سال، از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۲ حدود ۱/۱۶ سانتی متر در سال و بالاخره از سال ۱۳۸۲ تاکنون به کمتر از ۰/۵ سانتی متر در سال کاهش یافته است. کاهش روند انباشت رسوب، ارتباط

مستقیمی با سال های متمادی خشکسالی در حوضه رودخانه گاو بندی داشته است. مقایسه و تطابق مقادیر تجمعی عناصر مورد مطالعه در ستون رسوبات خورهای عسلویه و بساتین نشان داد که وجود گستره به نسبت دائمی این جنگل ها در خور عسلویه نسبت به خور بساتین از یک سو و اثر تغییر ریخت شناسی خور بساتین و در نتیجه آن مدفون شدن بخشی از جنگل حرا و خشک شدن آن از سوی دیگر، در غنی شدگی غالب عناصر در خور بساتین انعکاس یافته است. مطالعات Tampanya و همکاران (۲۰۰۲) نیز ثابت کرد که افزایش مقدار رسوب گذاری باعث نابودی درختان مانگرو به خصوص حرا می شود. در نتیجه کاهش عملکرد این جنگل ها در خور بساتین، عناصر Zr, V, Ti, p, Mo, Ni, As, Ba, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Hg, Mn به ترتیب ۳۷٪، ۳۴٪، ۳۵٪، ۴۵٪، ۲۷٪، ۳۰٪، ۳۴٪، ۱۰٪، ۴۴٪، ۲۲٪، ۴۴٪، ۲۸٪، ۴۶٪، ۴۵٪، ۳۶٪، ۱/۵٪ و ۷۷٪ نسبت به مقادیر رودخانه گاو بندی، غنی شده اند که از بین آنها عناصر مولیبدن و آرسنیک در شرایط کاهش اثر جنگل های حرا، بیشترین افزایش غلظت را داشتند. این در حالی است که مقادیر غنی شدگی نسبت به محیط شاهد (رودخانه گاو بندی) در شرایط وجود پوشش جنگل حرا به مراتب کمتر بود.

روند افزایشی غالب عناصر به سمت لایه های سطحی نشان داد که آلاینده های فلزی با میزان سطح پوشش درختان حرا نسبت معکوس داشته اند. به این معنی که طبق تصاویر ماهواره ای و مطالعات میدانی مشخص شد که طی سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳، در اثر دخالت های انسانی از جمله ساخت جاده، دسترسی و استفاده از لوله برای تبادل آب خور افزایش یافته است که موجب کاهش دهانه خور از ۷۲۰ متر به ۳۴ متر شده است. در نتیجه رسوبات به دست آمده از سیلاب های رودخانه گاو بندی در اثر کاهش سرعت تخلیه در خور ته نشین شدند. این امر سبب کاهش عمق کانال های آب رسان و در نتیجه کاهش دسترسی درختان حرا به آب مورد نیاز و سپس مرگ آنها شد. خشک شدن درختان حرا یا کاهش سطح و تعداد آنها سبب شد که میزان

تعیین‌کننده‌ای در سلامت چرخه غذایی و رشد مرجان‌ها داشته‌اند. این درحالی است که میزان این فلزات در رسوبات خور بساتین به ترتیب ۳۱۲ واحد منگنز، ۷۰ واحد نیکل، ۸۵/۷۶ واحد کروم، ۰/۹۳ واحد کادمیوم و ۱۰/۳۱ واحد مس بوده است. نتایج تحقیقات Lindsey و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که با وجود بیشتر بودن مقادیر فلزات سنگین از جمله نیکل، آهن و سرب در رسوبات نسبت به ساقه، ریشه و برگ درختان مانگرو، این درختان نقش به‌سزایی در کاهش میزان فلزات سنگین در کشور پاناما داشته‌اند.

از مهم‌ترین دستاوردهای پژوهش پیش‌رو، آشکار شدن افق‌های کلیدی و یا ترازهایی از ستون رسوبات است که نشان از وقوع یک رویداد در محیط در راستای حفظ و تجمع عناصر و یا افزایش مناطق منشاء و برخاستگاه آنها دارد. مهم‌ترین افق‌های کلیدی در ستون رسوبات خور بساتین در اعماق ۵۱، ۳۳ و پنج سانتی‌متری و در خور عسلویه در اعماق ۴۵، ۳۰، ۱۵ و پنج سانتی‌متری از سطح قرار داشتند. غنی‌شدگی قابل ملاحظه رسوبات از عناصر مختلف (افق‌های ۳۳ تا ۶۷ سانتی‌متری در خور بساتین و ۳۰ تا ۴۵ سانتی‌متری در خور عسلویه) به‌ویژه عناصر نفت- پیوند را می‌توان مربوط به دو دوره جنگ نفتکش‌ها و جنگ عراق- کویت طی سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۹ میلادی دانست. تنها در خلال این جنگ، حدود شش تا هشت میلیون بشکه نفت وارد محیط خلیج فارس شد (UNEP, 2000). این مهم با غنی‌شدگی چشم‌گیر عناصر نفت- پیوند در ستون رسوبات محیط‌های ساحلی خلیج فارس قابل توجیه است. در زمان انباشت این رسوبات، هیچ کانون آلاینده رسوبات در پیرامون خورهای بساتین و عسلویه به‌جز ریزش هزاران بشکه مواد نفتی مختلف به دریا در طی جنگ‌های منطقه‌ای وجود نداشت.

افق ۵۲ تا ۵۳ سانتی‌متری ستون رسوبات خور بساتین را می‌توان نتیجه یورش آلاینده‌های نفتی دانست که بین سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۶۹ طی دو جنگ گسترده نفتکش‌ها و آتش‌سوزی میادین نفتی به خلیج فارس ریخته شده‌اند. در

فلزات سنگین کمتری توسط آنها جذب شود، در نتیجه میزان فلزات سنگین در لایه‌های سطحی نسبت به عمق افزایش یابد. مطالعات Machado و همکاران (۲۰۰۲) در برزیل نشان داد که مانگروهای خلیج گوانابارا (Guanabara Bay) مقادیر زیادی از فلزات سنگین را در ریشه، ساقه و برگ‌های خود ذخیره کرده‌اند. عامل مهم دیگر در افزایش میزان فلزات سنگین در رسوبات لایه‌های سطحی را می‌توان به عدم خودپالایی خور به دلیل کاهش چشم‌گیر تبادل آب خور با خلیج فارس نسبت داد.

بر اساس جدول ۲ مشخص شد که حداکثر میزان عناصری مانند S, P, Ni, Mn, Cu, Cr, Cd, Ba, Zr, V و Ti در رودخانه گاویندی از خور بساتین و عسلویه بیشتر بود. این در شرایطی است که میزان میانگین و حداقل این فلزات در خور بساتین نسبت به رودخانه گاویندی بیشتر بود. این موضوع نشان می‌دهد که حجم زیادی از فلزات سنگین و عناصر دیگر از بالادست حوضه آبخیز رودخانه گاویندی و همچنین فاضلاب‌های کشاورزی (مانند کود و سموم) از طریق فعالیت‌های انسانی به داخل رودخانه وارد شده است. این امر باعث شده است که عدد حداکثری این فلزات از نرخ زیادی در رسوبات رودخانه گاویندی برخوردار باشد، اما با ورود به خور بساتین این فلزات از طریق درختان حرا تعدیل شده‌اند و مقدار زیادی از آنها جذب این درختان شده‌اند، بنابراین میانگین و حداقل این فلزات در رسوبات خور بساتین بیشتر بوده است. بدین معنی که با مکانیسم اعمال‌شده از طرف درختان حرا، میزان زیادی از فلزات جذب شده‌اند و در نهایت در حد مناسبی ثابت نگه داشته شده‌اند. مطابق جدول ۱، این درختان در سه قسمت ریشه، ساقه و برگ خود، مقادیر بسیار زیادی از فلزات سنگین را به‌خود جذب کرده‌اند که حتی از میزان میانگین این فلزات در رسوبات نیز بیشتر است. به‌عنوان مثال این درختان با جذب ۳۳۶ واحد منگنز، ۳۱/۵ واحد نیکل، ۹۱ واحد کروم، ۳/۳ واحد کادمیوم و ۱۹ واحد مس، باعث تنظیم اکوسیستم خور شده‌اند و از گسترش این آلاینده‌های سمی به محیط خلیج نای‌بند جلوگیری کرده‌اند که نقش

- Geology, 208: 383-402.
- Andretta, A., Fusi, M. and Cameldi, I., 2014. Mangrove carbon sink: Do burrowing crabs contribute to sediment carbon storage? Evidence from a Kenyan mangrove system. *Journal of Sea Research*, 85: 524-533.
 - Anonymous, 2007. Evaluation of Nayband National Park, Booshehr. Published by Lar Consulting Engineers Company, Booshehr Province (In Persian).
 - Ashraf, M.A., Sarfraz, M., Naureen, R. and Gharibreza, M., 2015. Environmental Impact of Metallic Elements. Springer, Singapore, 434p.
 - Danekar, A., Mashinchian, A., 2004. Selection of Reforestation Practice for Mangrove Forests of Iran Consequent to the Persian Gulf War. Directorate of Environmental Protection of Iran, Tehran, 101p.
 - Chaudhuri, P., Nath, B. and Birch, G., 2014. Accumulation of trace metals in grey mangrove *Avicennia marina* fine nutritive roots: The role of rhizosphere processes. *Marine Pollution Bulletin*, 79: 248-292.
 - Goudie, A., 1993. Human influence in geomorphology. *Geomorphology*, 7: 37-59.
 - Kingston, H.M. and Jassie, L.B., 1988. Introduction to Microwave Sample Preparation: Theory and Practice. American Chemical Society Press, Washington, 263p.
 - Lindsey, D.H., Mair, J.M. and Guzman, H.M., 2005. An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 547-552.
 - Machado, W., Moscatelli, M., Rezende, L. and Laderda, L., 2002. Mercury, zinc, and copper accumulation in mangrove sediments surrounding a large landfill in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 120: 455-461.
 - Meng-guo, L., 2010. The effect of reclamation in areas between islands in a complex tidal estuary on the hydrodynamic sediment environment. *Journal of Hydrodynamics*, 22(3): 338-350.
 - Phung Ha, T.T., Dijk, H.V. and Visser, L., 2014. Impacts of changes in mangrove forest management practices on forest accessibility and livelihood: A case study in mangrove-shrimp farming system in Ca Mau Province, Mekong Delta, Vietnam. *Land Use Policy*, 36: 89-101.
 - Prasad, B.K. and Ramanathan, A., 2009. Organic

این سالها حدود ۲۸ درصد تولیدات نفتی کشورهای حاشیه خلیج فارس در اثر حملات نظامی به نفتکشها، به درون دریا ریخته شد. یکی دیگر از تنش‌های محیط زیستی، توسعه صنایع تبدیلی نفت و گاز در دو سوی سواحل شمالی و جنوبی خلیج فارس است. خلیج نایبند در حاشیه بزرگ‌ترین میدان گازی جهان واقع شده است که کشورهای ایران و قطر با احداث صنایع پتروشیمی علاوه بر استفاده چشم‌گیر از منافع ملی آنها، لاجرم تنش‌های محیط زیستی بسیاری به زیست‌بوم خلیج نایبند و خورهای مورد مطالعه وارد کرده‌اند. به نظر می‌رسد که افق کلیدی قرارگرفته در عمق ۳۰ تا ۳۳ سانتی‌متری از سطح، ناشی از آغاز افزایش مناطق منشاء و برخاستگاه انواع عناصر فلزی سازندی و نفت- پیوند در منطقه باشد. این تراز را می‌توان به آغاز شدت گرفتن فعالیت‌های پتروشیمی از سال ۱۳۷۵ نسبت داد.

تعیین نرخ متوسط رسوب‌گذاری براساس تطابق زمانی رویدادهای طبیعی از جمله رویدادهای نظامی و یا تغییر شدید کاربری با مقادیر عناصر مطالعه‌شده در افق‌های کلیدی، از دستاوردهای دیگر پژوهش پیش‌رو است که برای محیط‌های رسوبی ساحلی دیگر توصیه می‌شود. بر این اساس، متوسط نرخ رسوب‌گذاری در خور بساتین بین ۱/۸ تا دو سانتی‌متر در سال و در خور عسلویه بین ۱/۲ تا ۱/۶ سانتی‌متر در سال متغیر بود.

References

- Abu El-Regal, M.A. and Ibrahim, N., 2014. Role of mangroves as a nursery ground for juvenile reef fishes in the southern Egyptian Red Sea. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40(1): 71-78.
- Agormoorthy, G., Chen, F.A. and Hsu, J.M., 2008. Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. *Environmental Pollution*, 155: 320-326.
- Alongi, D.M., Saskumar, A. and Chong, V., 2004. Sediment accumulation and organic material flux in a managed mangrove ecosystem: estimates of land-ocean-atmosphere exchange in peninsular Malaysia. *Marine*

- Gonzalez-Vila, F.J., 2009. Effects of reclamation and regeneration processes on organic matter from estuarine soils and sediments. *Organic Geochemistry*, 40(9): 931-941.
- Tampanya, U., Vermaat, J.E. and Terrados, J., 2002. The effect of increasing sediment accretion on the seedlings of three common Thai mangrove species. *Aquatic Botany*, 74: 315-325.
 - Vaselali, A. and Azarmsa, S., 2009. Analysis of breakwater construction effects on sedimentation pattern. *Journal of Applied Sciences*, 19(9): 3522-3530.
 - matter characterization in a tropical estuarine-mangrove ecosystem of India: Preliminary assessment by using stable isotopes and lignin phenols. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 84: 617-624.
 - Radtke, D.B., 2005. *Bottom- Material Samples*. Published by U.S. Department of the Interior. USGS, USA, 60p.
 - UNEP, 2000. *Overview on Land Based Sources and Activities Effecting the Marine Environment in the ROPME Sea Area*. Regional Seas Reports and Studies, United Nations Environment Programme.
 - Santin, C., De la Rosa, J.M., Knicker, H. and

The role of gray mangroves in reducing pollution of heavy metals in Basatin Estuaries sediments

H. Davoodi^{1*}, H. Negarestan², M.R. Gharibreza³, R. Lak⁴ and M.S. Mortazavi⁵

1*- Corresponding author, Ph.D. Student, Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Sciences Research Institute (AREOO), Tehran, Iran. Email: hdda1347@gmail.com

2- Associate Prof., Department of Ecology, School of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

3 - Assistant Prof., Department of River and Coastal Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (AREOO), Tehran, Iran

4- Assistant Prof., Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran, Tehran, Iran

5- Assistant Prof., Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center (AREOO), Bandarabbas, Iran

Received: 01.08.2015

Accepted: 20.01.2016

Abstract

Basatin Estuary is located in the north of the Persian Gulf and in the east of Boushehr province, which is opening into the Nayband Bay and is connected to the Gavbandi River. This estuary is considered as one of mangroves forests in the northern shores of the Persian Gulf because of its spectacular ecological condition. On the other hand, Basatin estuary is setting for enrichment of several kinds of pollutions during the recent years. Therefore, this research aimed at 1) highlighting the role of the mangrove forest in mitigation and reducing concentration of pollutions, 2) estimating the concentration of metallic and metalloid elements, in particular oil bonded and terrestrial bonded in surface and in the sediment columns of Basatin Estuary, and 3) identifying key horizons in the column sediments and their compatibility with the environment and man-made events. Therefore, a comprehensive sampling of the sedimentary faces and chemical analysis of wide range of elements (50 elements) were implemented. Totally 120 sediment samples were recorded and were analyzed using ICP-OES devices. In addition, statistical analysis was carried out to reveal relationships between similarity or dissimilarity elements. The results approved the research hypothesis, and e.g. showed that changing in the estuary mouth in 1991 has resulted in limitation of hydraulic circulation of tidal currents and caused a severe increase in sediment accumulation, followed by covering aerial roots by sediments and finally drying of mangrove trees. This process has a direct role in the enrichment of heavy metals in the environment. Furthermore, the uppermost layer of sediment column (0-25 cm) has experienced moderate to high degrees of pollution by petrochemical industries. This layer was significantly enriched by Zr, V, Ti, S, P, Ni, Mn, Li, Cr, Co, Ce, Cd, Bi, Ba, as elements. Finally, time correlation of key horizons and environmental events showed that the average rate of sedimentation in the estuary Basatin fluctuated between 1.8 and 2 cm per year.

Keywords: Biological filtration, heavy metals, horizontal key, mangrove forests, sedimentation rate.