اقیانوس‌شناسی/ سال هفتم/ شماره ۲۶/ تابستان ۱۳۹۵/۱۰/۳۲-۲۳

بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در بوم‌سامانه‌های مرجانی جزیره هنگام، خلیج فارس

علیرضا پورخباز[1*]، مرضیه ناظری[2]

۱- دانشیار رشته محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، پست الکترونیکی: apourkhabbaz@birjand.ac.ir

۲- دانش‌آموخته رشته محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، پست الکترونیکی: dena_4470@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۹ ** نویسنده مسوول* *تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱*

© نشریه علمی ـ پژوهشی اقیانوس‌شناسی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه اقیانوس‌شناسی است.

چکیده

در این مقاله با توجه به اهمیت زیست‌محیطی و علمی بوم‌سامانه‌های مرجانی، غلظت چهار فلز آلومینیوم، کادمیوم، نیکل و سرب در آب، رسوب و گونه‌هایی از مرجان‌های جزیره هنگام با استفاده از دستگاه جذب اتمی AAS مورد بررسی قرار گرفت. سه گونه *Echinipora* sp.، *Acropora clathrata* و *Sinularia* sp. بیش‌ترین غلظت فلزات سنگین را در بافت‌های خود نشان دادند. مقایسه شاخص تجمع زیستی (BAF) نشان می‌دهد که مرجان‌ها سرب و کادمیوم را از آب در مقایسه با رسوبات بهتر جذب می‌کنند که می‌تواند به دلیل نحوه تغذیه آنها باشد. در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه ۱ بیش‌ترین و ایستگاه ۳ کمترین غلظت فلزات در مرجان‌ها مشاهده شد که با توجه به جهت جریان‌ها، ایستگاه ۱ مستقیما در معرض جریان‌های دریایی از سمت تنگه هرمز قراردارد در صورتیکه ایستگاه ۳ به دلیل قرار گرفتن در محدوده بسته، تحت تاثیر این جریانات قرار ندارد. پراکنش سوخت‌های فسیلی از قایق‌های ماهیگیری و قاچاق سوخت، احتمالا از مهم‌ترین عوامل آلاینده در جزیره هنگام است.

کلمات کلیدی: *رسوبات، جوامع مرجانی، فلزات سنگین، جزیره هنگام، خلیج فارس.*

۱. مقدمه

صخره‌های مرجانی از لحاظ تنوع زیستی مهمترین بوم‌سامانه دریایی هستند. این بوم‌سامانه باارزش در دهه‌های اخیر به دلیل فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی به شدت مورد تخریب قرار گرفته‌اند (Adjeroud et al., 2009; Shearer et al., 2009; Selkoe et al., 2009). طبق برآوردهای اتحادیه جهانی حفاظت (IUCN)[1] در۲۰ سال گذشته بیش از ۹۳ کشور جهان از جمله ایران سواحل مرجانی خود را به طور گسترده تخریب کرده‌اند. در ایران فشار حاصل از صنایع نفت و حمل و نقل دریایی مهم‌ترین عوامل تخریب‌کننده مرجان‌های خلیج فارس محسوب می‌شود (Shokri et al., 1999).

فلزات سنگین از عناصری هستند که در نفت وجود داشته و می‌توانند اثرات سویی بر حیات موجودات آبزی به ویژه مرجان‌ها

[1] International Union for Conservation of Nature

بر جا بگذارند. ارتباط بین فلزات سنگین، رسوب و بوم سازگان-های آبی بسیار با اهمیت هستند، زیرا رسوبات، مخزنی برای فلزات سنگین بوده که عناصر را به داخل آب انتشار می دهد و این امر در هنگام تغییر شرایط محیط می تواند منبع بالقوه آلودگی باشد. بررسی فلزات سنگین در محیط های آبی نشان داده است که این عناصر به شکل محلول در آب‌ها برای مدت طولانی وجود ندارند و عمدتاً به صورت کلوئیدهای معلق‌اند و یا با مواد آلی و معدنی مخلوط شده‌اند (پورخباز، ۱۳۹۲). مرجان‌ها به واسطه جذب فلزات سنگین می‌توانند نشانگر افزایش نسبی غلظت فلزات سنگین در آب یا رسوبات بوم‌سامانه مورد نظر باشند. غلظت فلزات سنگین در خلیج‌فارس در دهه گذشته روندی رو به افزایش داشته است (نوان مقصودی و همکاران، ۱۳۸۶). این فلزات پس از ورود به یک منبع آبی، به تدریج به فرم معدنی ته‌نشین می‌شوند یا به دنبال جذب سطحی توسط رسوبات ریزدانه یا بقایای مواد آلی در رسوبات بستر تجمع می‌یابند و بعد از ته‌نشینی در رسوبات یا حتی به فرم محلول می‌توانند به آسانی در بافت‌ها و در اسکلت مرجان‌ها تجمع پیدا کنند. معمول‌ترین مکانیسم‌های ورود فلزات به داخل بافت‌های مرجانی جذب فلزات محلول در آب دریا و تغذیه توسط پولیپ‌ها است (Fallon et al., 2002; Ramos et al., 2004). معمولا بعد از ورود فلزات در بافت مرجان‌ها، ساز و کاری برای حذف آنها وجود ندارد به عبارت دیگر یکی از اساسی‌ترین مسائل در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیزه شدن آنها در بدن است (Hanna and Muir, 1990; Bastidas et al., 1999)، بنابراین فلزات برای همیشه در اسکلت مرجانی باقی می‌مانند.

به این ترتیب باید رابطه مشخصی میان غلظت فلز در محیط آبی با غلظت آن در مرجان‌ها وجود داشته باشد. نتایج حاصل از مقایسه هم‌بستگی غلظت فلزات سنگین در مرجان‌ها با میزان آنها در محیط آب و رسوبات نشان می‌دهد که مرجان‌ها از چه منبعی عناصر سمی را جذب می‌کنند و در اغلب موارد، وجود ارتباطات به خوبی نشان‌دهنده این است که منطقه تحت‌تاثیر آلودگی فلزات سنگین ناشی از منابع انسانی قرار دارد. میزان نفود و تجمع فلزات سنگین در اسکلت مرجانی، غالبا به توانایی ماتریکس آلی آنها برای اتصال به فلزات طی فرآیندهای مربوط به تشکیل اسکلت کربناته[1] نسبت داده شده است که در بین مناطق مختلف زیست مرجان، گونه‌های مختلف و یا فرآیندهای مختلف، انتخاب و گزینش فلزات متفاوت است (Esslemont et al., 2000). به همین دلیل مقایسه بین کلنی‌های مرجان‌های سخت و نرم انجام می‌شود تا رفتار هر یک از گونه‌ها در جذب فلزات سنگین از محیط زیست مورد مقایسه و اندازه‌گیری قرار گیرد.

مطالعات متعددی در خصوص غلظت فلزات سنگین در مرجان‌ها انجام گرفته است، به عنوان مثال می‌توان به تحقیقات Banu Shah (2008) اشاره کرد که درجه تجمع فلزات سنگین همچون مس، کادمیوم، آهن، سرب و روی در مرجان‌ها را مورد بررسی قرار داد. از دیگر مطالعات انجام گرفته در همین راستا، می‌توان به بررسی غلظت ۷ فلز سنگین (Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co, Fe) در آب دریا، رسوبات، ساختارهای صخره‌ای مرجان‌های سخت و مرجان‌های نرم در ۷ ایستگاه در شمال دریای سرخ توسط Abdel-hamid (2010) اشاره نمود. همچنین Al-Rousan و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای در خلیج آکابا در اردن نتیجه گرفتند که مرجان‌های حجیم از جنس *Porites* بیشترین میزان غلظت فلزات سنگین را در بین سایر مرجان‌ها در خود انباشته می‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر، غلظت فلزات در نمونه مرجان‌های متعلق به خانواده Poritidae در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس توسط درویش نیا و همکاران (۱۳۹۳) بررسی گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که غلظت عنصر نیکل در بافت اسکلتی مرجان خانواده Poritidae بین ایستگاه‌های پارک زیتون، جزایر ناز و منطقه شیب دراز اختلاف معنی‌دار آماری وجود داشت ولی اختلاف معنی‌داری در خصوص فلز کادمیوم مشاهده نگردید. این مطالعه همچنین نشان داد که مرجان‌ها می‌توانند به عنوان موجودات پایشگر زیستی توصیه شوند.

با توجه به سمیت فلزات سنگین در مرجان‌های بوم‌سازگان-های آبی، در این مطالعه تعیین میزان فلزات (Pb, Cd, Ni, Al) در چنین محیط‌هایی، ضروری به نظر می‌رسد. آلومینیوم به دلیل اینکه به طور طبیعی در پوسته زمین حضور دارد و می‌تواند نشانگری از منشا طبیعی فلزات در منطقه باشد مورد اهمیت قرار دارد. سایر فلزات به دلیل هم‌بستگی با آلودگی‌های انسان منشا خصوصا آلودگی نفتی سنجش می‌شوند. عنصر نیکل نشانه آلودگی‌های نفتی و از آلاینده‌های احتمالی ناشی از فعالیت آب شیرین‌کن‌ها محسوب می‌شود که یکی از صنایع آلاینده فعال در منطقه مورد مطالعه است. کادمیوم و سرب عناصری هستند که

[1] Sclerogenesis

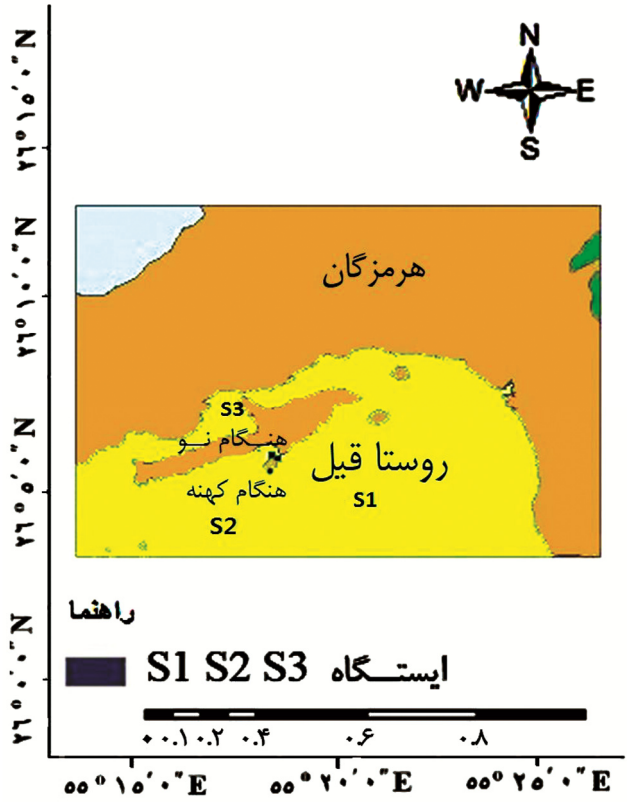
مشخصا منشا انسانی دارند و آلودگی منطقه به این عناصر می‌تواند نشان‌دهنده تخلیه پساب ماهیگیری و پراکنش گازوئیل قایق‌های ماهیگیری و قایق‌های قاچاق سوخت باشد (Esslemont et al., 2000).

جزیره هنگام از جمله بوم‌سازگان مهم آبی مرجان‌ها در خلیج فارس است که به لحاظ بوم‌شناسی دارای اهمیت خاصی است، چرا که مرجان‌ها به عنوان جاذب‌های طبیعی عمل می‌کنند و همچنین دارای فواید تجاری و تفرجی نیز هستند. با وجود سطح بالای آلودگی در خلیج فارس و همچنین اهمیت زیستگاه‌های مرجانی به عنوان بسترهای تولید و تنوع زیستی، کمتر مطالعه‌ای به بررسی تاثیر آلودگی فلزات‌سنگین بر جوامع مرجانی در خلیج فارس پرداخته شده است. به عبارت دیگر، تجمع فلزات سنگین در مرجان‌های این منطقه به طور سیستماتیک یا انجام نگرفته یا در دسترس نمی‌باشد. بنابراین انجام مطالعات اولیه جهت پایش این جوامع ضروری است. این مطالعه با هدف تعیین غلظت برخی فلزات سنگین (آلومینیوم، کادمیوم، سرب و نیکل) در آب، رسوبات سطحی و جوامع مرجانی جزیره هنگام، و بررسی میزان دسترسی زیستی و اثرات این فلزات بر جوامع مرجانی هنگام انجام گرفته‌است. مقایسه نرخ تجمع فلزات سنگین در خانواده‌های مختلف مرجانی و همچنین بررسی هم‌بستگی میان غلظت فلزات سنگین در مرجان‌ها با محیط اطراف از اهداف دیگر این مطالعه نیز است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ موقعیت جغرافیایی و تعیین ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه

جزیره هنگام در استان هرمزگان با وسعت ۵۰ کیلومتر در نزدیکی ورودی تنگه هرمز در جنوب جزیره قشم قرار گرفته و یکی از مناطق شاخص مرجانی خلیج فارس محسوب می شود. در این مطالعه سه ایستگاه انتخاب و سعی گردیده که ایستگاه‌ها حداکثر سطح منطقه را پوشش دهد و عمدتا پیرامون منابع آلاینده احتمالی باشند. ایستگاه اول در حوالی روستای قیل واقع شده و بیشتر متاثر از جریانات عبوری از تنگه هرمز و لکه‌های نفتی ناشی از قاچاق سوخت است. ایستگاه دو در نزدیکی روستای هنگام‌کهنه و سایت پرورش میگو واقع شده که محل خروجی کانال زهکش سایت پرورش میگو می‌باشد. ایستگاه سوم در محدوده بسته و در نزدیکی تاسیسات آب شیرین‌کن و روستای هنگام‌نو واقع شده و فقط مسیر تردد شناورها و دفع زباله و فاضلاب بعضی ساکنین روستا است. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جزیره هنگام

۲-۲ نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌برداری از آب، رسوب و گونه‌های مرجان از ایستگاه‌های مورد مطالعه طی ده روز انجام گرفت (شکل ۱). قبل از نمونه برداری کلیهٔ ظروف و ابزار با محلول شوینده شسته و به مدت معینی داخل ظرف حاوی اسید نیتریک ۵٪ نگهداری شدند، تا آلاینده‌ها و ترکیبات مزاحم احتمالی آن‌ها پاک گردد. در پایان کلیه ظروف بوسیلهٔ آب دوبار تقطیر (بدون یون) آبکشی و سپس خشک و درب آن‌ها بسته شد. در هر یک از ایستگاه‌ها حداقل سه نمونه و از هر نمونه سه تکرار برداشت شد و مختصات هر نقطه به کمک GPS[1] گارمین مدل Vertex ثبت و سایر پارامترهای نمونه‌برداری (شماره

[1] Global Positioning System

هر ایستگاه و تکرار آن، عمق نمونه‌برداری، تاریخ و ساعت نمونه‌برداری، وضعیت جوی و دریا و ...) روی هر نمونه یادداشت گردید. جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین کادمیوم، آلومینیوم، نیکل و سرب در آب، رسوبات و مرجان‌ها از دستگاه جذب اتمی AAS[1] مدل ContrAA700 (Analytik Jena AG) استفاده شد. حد تشخیص دستگاه برای قرائت فلز، کادمیوم ۰,۰۰۰۷، آلومینیوم ۰,۰۵، نیکل ۰,۰۰۶ و سرب ۰,۰۰۵ ppm بود.

۲-۲-۱ نمونه آب

نمونهٔ های آب توسط دستگاه نیسکین و از عمق نیم متری برداشت و به درون بطری‌های استریل یک لیتری انتقال یافتند، سپس جهت جلوگیری از فعالیت‌های زیستی درون بطری‌های آب، نمونه‌ها تا قبل از انتقال به آزمایشگاه به pH= ۲ رسانده و در دمای ۴+ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. بطری‌های آب در مجاورت یخ خشک و درون محفظهٔ یونولیتی درپوش‌دار قرار داده شدند و به آزمایشگاه منتقل گردیدند (پورخباز، ۱۳۹۲).

۲-۲-۲ نمونه رسوب

نمونه‌برداری از رسوبات با استفاده از نمونه‌بردار گرب با ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی‌متری مدل آکمن که عمدتاً برای نمونه‌برداری از رسوبات سطحی، جهت تعیین فلزات سنگین و دانه‌بندی رسوبات در رودخانه‌ها و بوم‌سازگان‌های دریایی بکار می‌رود، انجام شد. برای اندازه‌گیری و تعیین غلظت کل فلزات کادمیوم، نیکل، سرب و آلومینیوم، نمونه‌های رسوب به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. ۰/۵ گرم از نمونه‌های رسوب الک شده (۰/۰۶۳ میلی‌متر) وزن و با ۹ میلی‌لیتر اسید (ترکیبی از ۶ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ و ۳ میلی‌لیتر اسید پرکلریک ۷۰-۷۲٪ مرک آلمان) هضم گردید. بعد از هضم، حجم نمونه با آب مقطر دوبار تقطیر به ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس هر نمونه فیلتر و به ظروف مخصوص منتقل گردید (پورخباز، ۱۳۹۲؛ Huan and Jin, 2008; El-Rjoob et al., 2008).

۲-۲-۳ نمونه مرجان

در این تحقیق، نمونه‌برداری از چهار گونه مرجان سخت شامل *Acropora clathrata*، *Favia rotumana*، *Platygyrasinensis*، *Echinopora* sp. و یک گونه مرجان نرم *Sinularia* sp. در جزیره هنگام انجام گردید. نمونه‌ها به روش غواصی اسکوبا و استفاده از قلم‌تراش و چکش، جمع‌آوری و در کیسه پلاستیکی زیپ‌دار قرار داده شدند و در پوششی از یخ خشک به آزمایشگاه منتقل گردیدند. به منظور حذف مواد آلی، نمونه‌ها با آب جاری و سپس با آب دیونیزه شست‌وشو داده شد و به مدت ۴۸ تا ۷۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس پودر شدند. بعد از گذراندن از الک ۰/۰۶۳ میلی‌متر، یک گرم از هر نمونه در ۴ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ۶۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر اسیدپرکلریک ۷۰-۷۲ درصد (مرک آلمان) هضم گردید (Chester et al., 1998). بعد از هضم کامل، نمونه‌ها با آب دو بار تقطیر تا حجم ۵۰ میلی‌لیتر رقیق و توسط کاغذ صافی واتمن فیلتر شدند.

۲-۳ تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

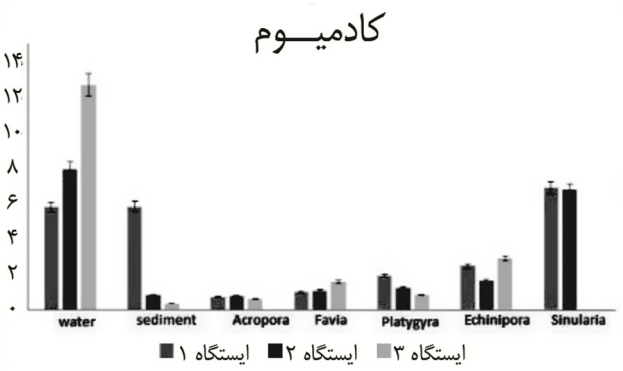
قبل از انجام هر عملیات آماری روی داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS بررسی و در صورت نیاز نرمال‌سازی داده‌ها انجام گردید. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SigmaPlot نسخه ۱۲، SPSS نسخه ۱۶ و Excel مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی معنی‌داری داده ها، تفاوت بین سطوح فلزات سنگین در بین ایستگاه‌های مختلف، گونه‌های مختلف مرجانی و رسوب، از آنالیز واریانس ANOVA استفاده گردید و تمام آنالیزها در سطح اطمینان $P< ۰/۰۵$ محاسبه شد. با استفاده از آزمون همبستگی اسپیرمن، همبستگی میان غلظت فلزات در رسوبات و مرجان‌ها مورد آزمون قرار گرفت.

۳. نتایج و بحث

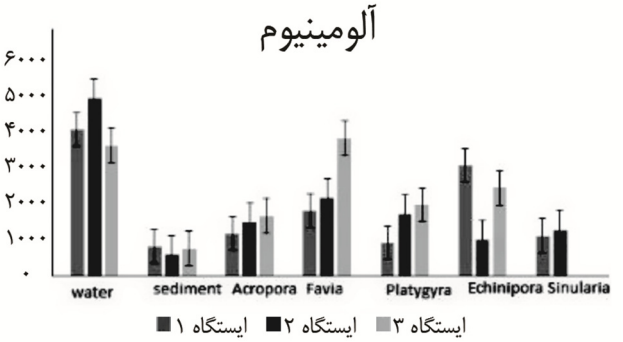
در شکل‌های ۲ تا ۵، میانگین غلظت کادمیوم، آلومینیوم، نیکل و سرب (ppm) در آب، رسوب و گونه‌های مرجانی سه ایستگاه مورد مطالعه در جزیره هنگام نشان داده شده است. کم‌ترین غلظت کادمیوم و نیکل در نمونه آب مربوط به ایستگاه ۲ در حالی‌که پایین‌ترین غلظت آلومینیوم و سرب به ترتیب در ایستگاه‌های ۱ و ۳ مشاهده گردید. مقایسه نتایج حاصل از سه ایستگاه مطالعاتی بیان‌گر آن است که از میان چهار فلز، کادمیوم کمترین و آلومینیوم بیشترین غلظت را داشته است. به طور کلی ترتیب غلظت این فلزات در آب منطقه به صورت

[1] Atomic Absorption Spectrophotometry

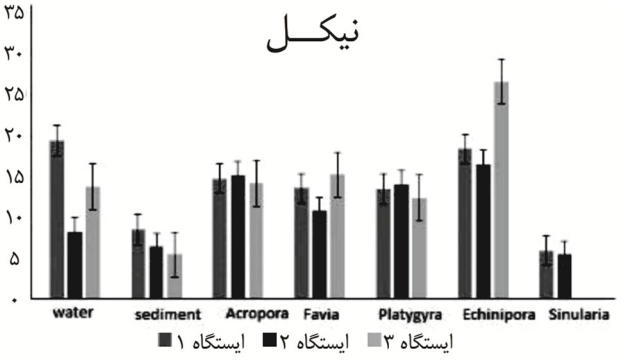
Al>Pb>Ni>Cd است. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های مرجانی نیز به طور کلی از ترتیب آلومینیوم> نیکل> سرب> کادمیوم پیروی می‌کند، در حالی‌که کیفیت رسوبات منطقه مورد مطالعه از نظر آلودگی به فلزات سنگین، از روند زیر برخوردار است: کادمیوم> سرب> نیکل> آلومینیوم.



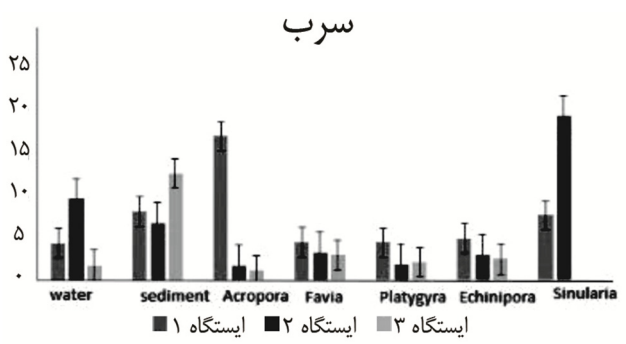
شکل ۲: غلظت کادمیوم در آب (میلی گرم بر لیتر)، رسوب و گونه‌های مرجانی سه ایستگاه مورد بررسی در هنگام (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)



شکل ۳: غلظت آلومینیوم در آب (میلی گرم بر لیتر)، رسوب و گونه‌های مرجانی سه ایستگاه در هنگام (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)



شکل ۴: غلظت نیکل در آب (میلی گرم بر لیتر)، رسوب و گونه‌های مرجانی سه ایستگاه مورد بررسی در هنگام (بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک)



شکل ۵: غلظت سرب در آب (میلی گرم بر لیتر)، رسوب و گونه‌های مرجانی سه ایستگاه مورد بررسی در هنگام بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک

میزان غلظت عناصر سنگین در رسوبات مناطق مختلف خلیج فارس دارای اختلافات زیادی است؛ که از دلایل عمده این نوسانات، جنس رسوبات و اندازه ذرات تشکیل دهنده آن است. تجمع و تراکم فلزات سنگین در رسوبات گلی و رسی به دلیل زمان ماندگاری بیشتر و جابجایی کمتر به مراتب بیشتر از رسوبات شنی یا به عبارتی دانه درشت‌تر است. در نتیجه بسترهای گلی جهت بررسی اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی و توسعه در سواحل و بنادر از سوی محققین توصیه شده‌است (نیکویان و همکاران؛ ۱۳۸۴ Salomons and Forstner, 1984; Tessier et al., 1982). رسوباتی که جوامع مرجانی اطراف جزیره هنگام را احاطه کرده‌اند عموما درشت‌دانه و از نوع رسوبات شنی- ماسه‌ای هستند. لذا گذشته از فقدان منابع بسیار آلاینده در منطقه، انتظار می‌رود که به دلیل جنس رسوبات میزان فلزات سنگینی که در آنها تجمع و تراکم پیدا کرده‌است، چندان زیاد نباشد.

مقایسه غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سطحی جزیره هنگام با استاندارد رسوبات جهانی و پوسته زمین نشان می‌دهد که غلظت فلزات آلومینیوم، نیکل و سرب در رسوبات جزیره هنگام، از میانگین پوسته زمین پایین‌تر و غلظت کادمیوم بالاتر از میانگین پوسته زمین است (جدول ۱).

جدول ۱: غلظت فلزات سنگین در استانداردهای جهانی و رسوبات جهانی و پوسته زمین

	Cd	Al	Ni	Pb
میانگین پوسته زمین	۰,۳	۸۲۰۰۰	۶۸	۲۰
میانگین خاک‌های جهانی	۰,۳۵	–	۵۰	۳۵
پوسته زمین	۰,۱۵	–	۷۵	۱۲,۵
حد طبیعی در خاک‌های مطلوب	۰,۸	–	۳۵	۸۵
مطالعه حاضر	۲,۲۳	۷۱۰,۱۱	۷,۶۱	۸,۸۲

مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مرجان‌ها می‌توانند به عنوان شاخص‌های زیستی از نظر میزان غلظت فلزات سنگین مورد توجه قرار گیرند چرا که استفاده از رسوبات در کنترل و پایش آلودگی از دقت کافی برخوردار نیست.

اختلافات غلظت کادمیوم، آلومینیوم، نیکل و سرب در گونه‌های مختلف مرجانی در بین سه ایستگاه مورد بررسی در این تحقیق، نشان می‌دهد که در نیمی از موارد، فلزات در گونه‌های مختلف مرجانی در ایستگاه یک بیشترین غلظت و در ایستگاه سه کمترین غلظت را دارند. بعنوان مثال در مرجان *Acropora clathrata* غلظت عنصر سرب در ایستگاه ۱ بیشترین (۲۱۷,۹۵ میکروگرم بر گرم) واز نظر آماری با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری دارد (P<۰/۰۵). این اختلاف برای عنصر آلومینیوم و نیکل در مرجان *Favia rotumana* و عنصر کادمیوم در مرجان *Platygyra sinensis* در ایستگاه ۱ با سایر ایستگاه‌ها مشاهده گردید. اما در تمامی ایستگاه‌ها میانگین بیشترین غلظت سرب (۱۲,۹ ppm) و کادمیوم (۶,۵ ppm) مربوط به مرجان نرم *Sinularia* sp. بود هر چند که از نظر آماری اختلاف معنی-داری بین ایستگاه‌ها مشاهده نگردید. کلنی‌های مرجانی در ایستگاه دوم مقادیر متفاوتی از فلزات‌سنگین را نشان می‌دادند.

امواج دریایی در خلیج فارس غالباً جهت شمال غرب – جنوب شرق دارند. جریان سطحی آب از تنگه هرمز در امتداد سواحل ایران به طرف شمال غرب و سپس از آن‌جا به سمت سواحل جنوب غرب ادامه دارد (حسن‌زاده، ۱۳۷۹). در نتیجه این جریان سطحی، ورود آب از اقیانوس هند به خلیج فارس از محل تنگه‌هرمز و خروج آب سنگین آن از پایین این تنگه به دریای عمان صورت می‌گیرد. با توجه به جهت غالب جریان آب، می‌توان ملاحظه کرد که ایستگاه اول مستقیما در معرض جریان‌های دریایی از سمت تنگه‌هرمز قرار دارد برخلاف ایستگاه سوم که به دلیل قرار گرفتن در محدوده بسته در منتهی‌الیه جنوبی جزیره قشم، از این جریانات بی‌بهره است. در نتیجه در ایستگاه اول مرجان‌ها بیشتر از ایستگاه سوم در معرض تماس با فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های انسانی به خصوص عبور و مرور شناورها و قایق‌های عبوری قرار دارند. پراکنش گازوئیل قایق‌های ماهیگیری و قایق‌های قاچاق سوخت مهم‌ترین عامل آلاینده در جزیره هنگام است، اگر چه تخلیه زباله و فاضلاب و فعالیت واحدهای آلاینده همچون کارخانه آب شیرین و پرورش میگو نیز در آلوده سازی منطقه بی تاثیر نیست.

در تمامی ایستگاه‌ها، میانگین غلظت فلزات در مرجان‌ها از ترتیب آلومینیوم> نیکل> سرب> کادمیوم پیروی می‌کند. آلومینیوم نسبت به سایر فلزات، بالاترین غلظت را در میان مرجان‌ها دارد که می‌تواند بازتابی از غلظت بالای این فلز در آب و رسوبات منطقه باشد. این عنصر همچنین، یکی از اجزا اصلی خاک و منابع رسوبی بوده و می‌تواند از طریق ذرات معلق رسوبات و غبارهای هوایی به محیط‌های دریایی راه پیدا کند بالاترین غلظت آلومینیوم در *Echinopora* sp. (۲۱۱۹,۱ میکروگرم بر گرم) و کمترین غلظت آن در *Acropora clathrata* (۱۴۰۸,۸۳ میکروگرم بر گرم) مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری (P=۰/۰۴۹) بین مرجان‌های *Sinularia* sp. و*Echinopora* sp. وجود دارد در حالی‌که این اختلاف آماری میان سایر گونه‌های مرجانی در خصوص فلز آلومینیوم مشاهده نمی‌شود.

سمیت نیکل در محیط‌های آبی متاثر از شوری و وجود سایر یون‌هاست. از نظر آماری بین مرجان‌های *Echinopora* sp. و *Sinularia* sp. (P=۰/۰۰۱)، *Echinopora* sp. و *Favia rotumana* (P=۰/۰۴۵) و *Sinularia* sp. و *Acropora clathrata* (P=۰/۰۱۹) اختلاف معنی‌داری در مورد عنصر نیکل وجود دارد. این تفاوت‌های بارز می‌تواند مربوط به عوامل فیزیکی–شیمیایی محیط آبی (Esslemont et al., 2000; Phillips, 1980) مکان-های‌های مورد مطالعه، روش‌ها و استراتژی‌های مختلف تجمع توسط مرجان‌ها باشد (Rainbow et al., 1990; Dallinger and Rainbow, 1993; Anu et al., 2007).

در نمونه‌های مرجان مقدار متوسط غلظت نیکل ۱۴/۹۹ میکروگرم بر گرم بر آورد گردید، اما این غلظت از حداقل ۵/۴۹ تا حداکثر ۳۹/۲۵ میکروگرم بر گرم در بین گونه‌های مرجان متغییر بود. مرجان *Echinopora* sp. بالاترین غلظت نیکل (۳۹/۲۵ میکروگرم بر گرم) و بالاترین عامل تجمع‌زیستی (۲/۹۹) را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. این موضوع ثابت نمود که این مرجان ظرفیت بالایی برای تجمع نیکل دارد و از توانایی حذف اثرات سمی نیکل تجمع‌یافته در بافت‌های خود برخوردار است (Viarengo, 1989). این نتیجه با تحقیقات Abdel-Hamid و همکاران (۲۰۱۰) که گزارش نمودند گونه مرجان سخت می-تواند مقادیر بالایی از فلز نیکل را در خود جذب کند، مطابقت دارد. به هر حال بررسی‌های صورت گرفته روی موجودات نشانگر آن است که فلز نیکل دارای توانایی تجمع زیستی بالایی نبوده، از این رو تا کنون موجود زنده‌ای یافت نشده که غلظت

نیکل در آن بالا باشد، از این رو نیکل فاقد آثار محسوس بر موجودات بویژه مرجان ها است (پورخباز، ۱۳۹۲).

ورود سرب و کادمیوم به داخل مرجان‌ها می‌تواند عمدتا در نتیجه ورود فلزات محلول شامل ذرات معلق ریزی باشد که توسط بافت مرجانی یا تغذیه، جذب مرجان‌ها می‌شود (Al-Rousan et al., 2007; Brown, 1987; Corrège, 2006). سرب می‌تواند مستقیما جایگزین کلسیم آراگونیت در این گونه‌ها شود و سبب صدمات جبران ناپذیری به بافت مرجان وارد نماید. سرب با ضریب انتشار (پخش شدگی) بین آراگونیت و آب دریا برابر با ۲/۳ (Shen and Boyle, 1987) به شدت در اسکلت مرجانی تجمع می‌یابد و غلظت آن در مقایسه با آب‌های اطراف در این گونه ها بیشتر می‌شود.

ارزش P برای فلز سرب بین مرجان‌های *Acropora clathrata* و *Platygyra sinensis*، *Acropora clathrata* و *Echinopora* sp. و مرجان *Acropora clathrata* و *Favia rotumana* به ترتیب ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۸ و ۰/۰۰۷ از نظر آماری بود. بالاترین غلظت سرب در مرجان *Acropora clathrata* و در ایستگاه ۱ (۳۵/۸۲ میکرگرم بر گرم) یافت شد، اختلاف غلظت عنصر سرب میان مرجان آکروپورا با سایر مرجان‌ها بدین دلیل می‌تواند باشد که این مرجان شکل شاخه‌ای داشته و سطح تماس بیشتری با محیط پیرامون خود دارد و از طرفی آکروپورا رشد سریعتری نسبت به سایر گونه‌های مورد مطالعه این تحقیق نشان می‌دهد (Banu Shah, 2008). بهتر است به این نکته اشاره شود که سطوح بالاتر سرب در مرجان‌ها که در ایستگاه ۱ به ثبت رسید تناسبی با غلظت اندک سرب در آب دریا و رسوبات این ایستگاه نداشت. فرض بر این است که پارامترهای زیست‌محیطی در این ایستگاه می‌تواند سرعت جذب فلز و تجمع در مرجان را از طریق تنظیم میزان دفع فلز، افزایش دهد، حتی اگر غلظت سرب در محیط بسیار اندک باشد (Waldichuk, 1985). علاوه بر این، این امر می‌تواند ناشی ازافزایش سرعت جذب سرب و کادمیوم نسبت به سرعت دفع این فلزات در این مرجان باشد که به افزایش میزان تجمع فلزات در آن‌ها منجر می‌شود (Phillips, 1980). عامل تجمع زیستی بالا (۴۶/۷) در این گونه مرجان نیز از این نظریه حمایت می‌کند.

از نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات‌سنگین در گونه‌های مختلف مرجانی می‌توان چنین نتیجه گرفت که به طور کلی دو گونه مرجان *Echinipora* sp.، *Acropora clathrata* و مرجان نرم *Sinularia* sp. بیشترین غلظت فلزات را در خود انباشته می‌کنند. با توجه به بالا بودن مواد آلی در مرجان‌های نرم، توانایی زیاد این مرجان‌ها در جذب فلزات سنگین قابل پیش‌بینی است. این نکته در تحقیقات سایرین نیز مورد اشاره قرار گرفته و مشخص شده‌است به غیر از آهن، غلظت سایر فلزات‌سنگین مورد مطالعه در مرجان‌های نرم در زیستگاه صخره‌ای مرجانی بخش شمالی دریای سرخ بیشتر از مرجان‌های سخت است (Abdel-hamid et al., 2010). این می‌تواند به دلیل توانایی مرجان‌های نرم برای تجمع دامنه وسیعی از آلاینده‌ها بدون اثرات منفی و توانایی‌شان در تشکیل کلنی در نواحی آلوده به فلزات باشد. از طرفی، کلنی‌های مرجان‌های نرم، مخصوصا نسبت به آلاینده‌های محلول در آب دریا یا آلاینده‌های جذب شده به ذرات حساس‌ترند زیرا لایه بافتی که اسکلت مرجانی را می‌پوشاند در مرجان‌های نرم نازک است (Abdel-hamid et al., 2010).

هم‌چنین مشخص شده‌است که شکل کلنی می‌تواند در میزان فلزات جذب شده از محیط موثر باشد (Anu et al., 2007)، به طوری که افزایش سطح تماس با محیط می‌تواند به افزایش غلظت فلز در مرجان بیانجامد (Banu Shah, 2008). این می‌تواند دلیلی برای افزایش جذب فلزات سنگین در مرجان‌های *Echinipora* sp. و *Acropora clathrata* و در مرتبه بعد *Favia rotumana* باشد که به خاطر شکل کلنی از سطح تماس بیشتری با محیط برخوردار هستند. مرجان‌های صفحه‌ای همچون اکینوپوراها علاوه بر دارا بودن سطح وسیع، میزان بافت بالایی نیز دارند. تحقیقات نشان داده است که بافت‌های مرجانی میزان غلظت بالایی از فلزات را در خود تجمع می‌دهند که این موضوع اثبات می‌کند که تمام موادی که توسط بافت جذب می‌شوند، به اسکلت انتقال پیدا نمی‌کنند (Banu Shah, 2008). میانگین غلظت فلزات‌سنگین (بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم) در اسکلت مرجانی در سایر مطالعات نشان می‌دهد که به طور کلی در مناطق مختلف غلظت آلومینیوم ۲/۰ –۰، غلظت کادمیوم ۰ تا بیشتر از ۲/۰ ، غلظت سرب از ۰/۲ –۰/۸ میکروگرم بر گرم تغییر می‌کند (Abdel –hamid et al., 2010; Hyanes et al., 2000).

افزایش شوری آب دریا می‌تواند منجر به افزایش جذب فلزات‌سنگین گردد (Ramos et al., 2004; پورخباز، ۱۳۹۲). همچنین انتظار می‌رود که فلزات‌سنگین و سایر آلاینده‌ها در دمای بالا با سرعت بیشتری جذب شوند (Rainbow, 1990). بنابراین بالا بودن دما و شوری در خلیج فارس می‌تواند یکی از عوامل

موثر در افزایش جذب فلزات در مرجان‌ها از محیط پیرامون خود باشد.

۳-۱ شاخص تجمع‌زیستی (BAF)[1]

شاخص تجمع‌زیستی به طریق ثبت غلظت فلز در اندام‌های یک موجود زنده به غلظت آن عنصر در آب یا رسوب محاسبه می‌شود. نتایج BAF نشان داد که به طور کلی سه مرجان *Sinularia* sp.، *Acropora clathrata* و *Echinopora* sp. قدرت بالایی در جذب فلزات داشته و می‌توانند به عنوان شاخص‌های زیستی فلزات سنگین مورد توجه قرار بگیرند (جداول ۲ و ۳).

جدول ۲: مقادیر BAF در هر یک از گونه‌های مرجانی نسبت به رسوبات

	Cd	Al	Ni	Pb
Acropora clathrata	۰,۳	۱,۵	۲,۱۴	۲,۲۷
Favia rotmana	۰,۵۲	۱,۷۱	۱,۹۲	۰,۳۹
Platygyra senensis	۰,۵۳	۱,۵۹	۱,۹۴	۰,۳۳
Echinopora sp.	۱,۰۰	۲,۲۶	۲,۲۹	۰,۳۷
Sinularia sp.	۱,۶۵	۰,۸۳	۱,۲۵	۲,۹۲

جدول ۳: مقادیر BAF در هر یک از گونه‌های مرجانی نسبت به آب

	Cd	Al	Ni	Pb
Acropora clathrata	۰,۰۷	۰,۳۴	۱,۰۶	۷,۴۶
Favia rotmana	۰,۱۳	۰,۳۹	۰,۹۵	۰,۶۸
Platygyra senensis	۰,۱۴	۰,۳۶	۰,۹۶	۰,۵۷
Echinopora sp.	۰,۲۶	۰,۵۱	۱,۴۸	۰,۵۶
Sinularia sp.	۰,۴۴	۰,۲۸	۰,۴۱	۲,۸۹

به طورکلی این مطالعه، مرجان‌های *Sinularia* sp.، *Acropora clathrata* و *Echinopora* sp. را به عنوان موجودات پایش زیستی حساس تایید می‌کند. به دلیل سمیت مواد فرار و عناصر و ترکیبات بسیار سمی، نمونه‌برداری موقتی و تجزیه و تحلیل نمونه‌های آب و رسوبات نمی‌تواند اطلاعات کافی در خصوص کیفیت بوم‌سامانه در اختیار قرار دهد (Carrasco et al., 2008) بنابراین پایش زیستی عناصر و ترکیبات در بافت‌ها و اندام های زنده روش سودمندی برای بررسی سلامت هر بوم‌سامانه‌ای است. همچنین مقایسه BAF در مورد غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات نشان می‌دهد که تمام مرجان‌ها، سرب و کادمیوم را به مراتب از آب بهتر جذب می‌کنند تا از رسوبات بستر، که می‌تواند به شیوه تغذیه مرجان‌ها بستگی داشته باشد. مرجان‌ها به نوعی تصفیه‌کننده آب بوده و از ذرات معلق موجود در آب اطراف خود تغذیه می‌کنند و از این طریق مقادیر متنابهی از فلزات سنگین و ترکیبات شیمیایی دیگر را در بافت‌هایشان تجمع می‌دهند (Murphy, 2002).

۴. نتیجه‌گیری کلی

در بین ۵ گونه مرجان مختلف مورد مطالعه در این تحقیق، دو گونه مرجان سخت *Echinipora* sp.، *Acropora clathrata* و مرجان نرم *Sinularia* sp. بیش‌ترین میزان غلظت فلزات سنگین را در بافت‌های خود انباشته می‌کنند. مقایسه غلظت فلزات سنگین در جوامع مرجانی در ایستگاه‌های مختلف جزیره هنگام نشان داد، گونه‌های مرجان در ایستگاه ۱ از بالاترین میزان آلایندگی فلزات سنگین برخوردار می‌باشد یا به عبارتی دسترسی زیستی عناصر در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها بالاتر است که به احتمال فراوان تاثیر جریان‌های دریایی از تنگه‌هرمز، پراکنش سوخت‌های فسیلی از قایق‌های ماهیگیری و شناورهای قاچاق سوخت مهم‌ترین عامل آلایندگی هستند. مقایسه شاخص تجمع زیستی (BAF) نشان می‌دهد که مرجان‌ها فلزات سرب و کادمیوم را از آب در مقایسه با رسوبات بهتر جذب می‌کنند که به دلیل نحوه تغذیه مرجان‌ها می‌باشد.

۵. سپاسگزاری

این تحقیق برگرفته از پایان نامه ارشد دانشجویی است و بدین وسیله از همکاری گروه محیط زیست دانشگاه بیرجند سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

پورخباز، ع.ر.، ۱۳۹۲. تعیین فلزات سنگین و منابع انتشار آن ها در ذخیره گاه زیست‌کرهٔ حرا، طرح پژوهشی، سازمان حفاظت و محیط زیست، اداره کل حفاظت و محیط زیست استان هرمزگان. ۹۷ صفحه.

حسن زاده، ن.، ۱۳۷۹. اکتشاف ذخایر صدف آهکی ساحل خلیج فارس در استان خوزستان. وزارت معادن و فلزات، اداره کل معادن و فلزات استان خوزستان. ۸۴ صفحه.

درویش نیا، ز.؛ ریاحی بختیاری، ع.؛ کامرانی، ا.؛ سجادی، م.، ۱۳۹۳.

[1] Bioaccumulation factor

تجمع زیستی فلزات سنگین Ni و Cd در بافت اسکلتی مرجان خانواده Poritidae و رسوبات پیرامونی آن در جنوب جزیره قشم- خلیج فارس. مجله آبزیان و شیلات. شماره ۵. صفحات ۱۵-۲۵.

نوان‌مقصودی، م.؛ اسماعیلی ساری، ع.؛ مهدی‌زاده، ع.، ۱۳۸۶. بررسی مقادیر آلودگی ناشی از هفت فلز سنگین (As, V, Cd, Cr, Hg, Pb, Vi) و هیدروکربن کل در بندر شهید رجایی، بندرعباس. مجله علمی شیلات ایران.۱۶. شماره ۲، صفحات ۱۶۱-۱۶۶.

نیکویان، ع.؛ ابراهیمی، م.؛ ایزدپناهی، غ.؛ نیلساز، م.، ۱۳۸۴. بررسی هیدروبیولوژیکی و هیدرولوژیکی خلیج فارس محدوده آب‌های خوزستان، بوشهر و هرمزگان. طرح پژوهشی. موسسه تحقیقات شیلات ایران. ۱۰۵ صفحه.

Abdel-hamid, A.M.; Ali Mohamed, A.; Hamed Hoda Abd El-Azim., 2010. Heavy metals distribution in the coral reef ecosystems of the Northern Red Sea. Helgoland Marine Research, 65: 67-80.

Adjeroud, M.; Michonneau. F.; Edmunds, P.J.; Chancerelle, Y.; Lison de Loma, T.; Penin, L., 2009. Recurrent disturbances, recovery trajectories, and resilience of coral assemblages on a South Central Pacific reef. Coral Reefs, 28: 775-780.

Al-Rousan, SA.; Al-Shloul, RN.; Al-Horani, FA.; Abu-Hilal, AH., 2007. Heavy metal contents in growth bands of Poritescorals: Record of anthropogenic and human developments from the Jordanian Gulf of Aqaba. Marine Pollution Bulletin, 54: 1912-1922.

Anu, G.; Kumar, NC.; Jayalakshmi, KV.; Nair, SM., 2007. Monitoring of heavy metal partitioning in reef corals of Lakshadweep Archipelago, Indian Ocean. Environmental Monitoring and Assessment, 128: 195-208.

Banu Shah, S., 2008. Study of heavy metal accumulation in scleractinian corals of Viti Levu, Fiji Islands. Master thesis. School of Biological, Chemical and Environmental Sciences. Faculty of Science and Technology, Japan. 173P.

Bastidas, C.; Bone, D.; Garcia, E., 1999. Sedimentation rates and metal content of sediments in a venezuelan coral reef. Marine Pollution Bulletin, 38: 16-24.

Brown, B.E., 1987. Heavy metals pollution on coral reefs. In: Salvat B (ed) Human impacts on coral reefs: facts and recommendations. Antenne museum E.P.H.E, French Polynesia, 119-134P.

Carrasco, L.; Dķez, S.; Soto, D.X.; Catalan, J.; Bayona, J.M., 2008. Assessment of mercury and methylmercury pollution with zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) in the Ebro River (NE Spain) impacted by industrial hazardous dumps. Science of the Total Environment, 407: 178-184.

Chester, R.; Lin, FG.; Basaham, AS., 1998. Trace metals solid state speciation changes associated with the down-column fluxes of oceanic particulates. Jornal of the geological society, 151: 351-360.

Corrège, T., 2006. Monitoring of terrestrial input by massive corals. Jornal of geochemicale exploration, 88: 380-383.

Dallinger, R.; Rainbow, PS., 1993. Ecotoxicology of metals in invertebrates. Lewis Publishers, 5-23P.

El-Rjoob, AO.; Mzssdeh, AM.; Omrani, MN., 2008. Variation and correlation of selected heavy metals in sediment and aquatic plants in Tasik chini, Malasya. Environmental Geology, 57: 823-831.

Esslemont, G.; Harriot, V.J.; McConchie, D.M., 2000. Variability of trace-metal concentrations within and between colonies of *Pocillopora damicornis*. Marine Pollution Bulletin, 40: 637-642.

Fallon, SJ.; White, JC.; McCulloch, MT., 2002. Porites coralsas recorders of mining and environmental impacts: Misima Island, Papua New Guinea. Geochim Cosmochim Acta, 66(1): 45-62.

Hanna, RGM.; Muir, GL., 1990. Red Sea corals as biomonitor of trace metal pollution. Environmental Monitoring and Assessment, 14: 211-222.

Huan, SW.; Jin, JY., 2008. status of heavy metals in agricultural soil as affected by different patterns of land

Papahanaumokuakea Marine National Monument. Coral Reef, 28: 635-650.

Shearer, TL.; Porto, I.; Zubillaga, AL., 2009. Restoration of coral populations in light of genetic diversity estimates. Coral Reefs, 28: 727-733.

Shen, GT.; Boyle, EA.; Lea, DW., 1987. Cadmium in corals as a tracer of historical upwelling and industrial fallout. Nature, 328: 794-796.

Shokri, MR.; Sheikholeslami, M.R.; Eghtesadi Araghi, P., 1999. Overall impact assessment of the Iranian coral reef resources in the Persian Gulf area, Proceeding of the ICES Young Scientists Conference on Marine Ecosystem Perspective, Gilleleje, Denmar, 20-24P.

Tessier, A.; Campbell, PGC.; Bisson, M., 1982. Particulate trace metal speciation in stream sedimens and relationships with grain size Implications for geochemical exploration. Journal of Geochemical Exploration, 16: 77-104.

Viarengo, A., 1989. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. Critical Reviews in aquatic Science, 1: 295-317.

Waldichuk, M., 1985. Biological availability of metals to marine organisms. Marine Pollution Bulletin, 16: 7-11.

use. Environtal Marine Assessment, 193: 317-327.

Hyanes, D.; Johanna, e.; Johansin., 2000. Organochlorine, heavy metal and polyaromatic hydrocarbon pollutant concentrations in the Great Barrier Reef (Australia) environment: a Review. Marine Pollution Bulletin, 41: 267-278.

Murphy, RC., 2002. Coral reefs: Cities under the seas. The Darwin Press, 23-25P.

Phillips, DJH., 1980. Toxicity and accumulation of cadmium in marine and estuarine biota.In: Nriagu JE (ed) Cadmium in the environment. Part 1. Ecological cycling, 426-570.

Rainbow, PS., 1990. Heavy metal levels in marine invertebrates.In: Furness RW, Rainbow PS (eds) Heavy metals in the marine environment. CRC Press, 67-79.

Ramos, AA.; Inoue, Y.; Ohde, S., 2004. Metal content in Porites corals: anthropogenic input of river runoff in to a coral reef from an urbanized area, Okinawa. Marine Pollution Bulletin, 48: 281-294.

Salomons, W.; Forstner U., 1984. Metals inhydrocycle. Springer-Verlay, new York, Berlin, Heidelberg; 349PP.

Selkoe, KA.; Halpern, BS.; Ebert, CM.; Franklin, EC.; Selig, ER.; Casey, KS., 2009. A map of human impacts to a “pristine” coral reef ecosystem, the