

ارزیابی آلودگی و منشاء یابی فلزات سنگین در رسوبات، آب و ساقه

گیاه نی تالاب کیاکلیه با استفاده از شاخص های کیفی و کمی

فرشته طالشی^۱؛ کیوان صائب^{۲*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن

(تاریخ دریافت ۹۹/۱۰/۲۲-تاریخ پذیرش ۹۹/۱۲/۰۵)

چکیده:

این مطالعه به ارزیابی غلظت فلزات مس، کبالت، کروم، کادمیوم و آرسنیک در رسوبات، آب و ریشه و ساقه گیاهان نی سه منطقه از تالاب کیاکلیه که تحت تاثیر پساب مسکن مهر، پساب کشاورزی و محل دپوی زباله شهری هستند، پرداخته است. نمونه‌ها بعد از هضم و آماده‌سازی بوسیله دستگاه ICP-OES اندازه‌گیری شدند. همچنین از شاخص‌های کیفی برای بررسی دقیق‌تر این آلاینده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که تجمع کبالت در رسوبات دریافت‌کننده پساب کشاورزی و مسکن مهر بیشتر از ناحیه‌ی از تالاب است که تحت تاثیر محل دپوی زباله شهری قرار دارد، ولی غلظت کروم، کادمیوم در رسوبات نزدیک به محل دپوی زباله بیشتر از دو منطقه دیگر تالاب است. همچنین در رسوبات تحت تاثیر پساب کشاورزی میزان مس و آرسنیک نسبت به دو منطقه دیگر بالاتر بود. تجمع کبالت و مس در ریشه گیاه نی در منطقه‌ی تحت تاثیر پساب مسکن مهر بیشتر از منطقه دریافت‌کننده پساب کشاورزی است، ولی میزان مس در ساقه گیاه نی رویده در بخش دریافت‌کننده پساب کشاورزی تالاب بالاتر است. در بین شاخص‌های کیفی، ضریب غنی‌شدگی بالاتر از ۱ برای کادمیوم و کبالت و بالاترین شاخص زمین‌انباشت مربوط به کادمیوم به پساب مسکن مهر بوده است در حالی که بالاترین سهم آنتروپوژنیک و همچنین بیشترین مقدار شاخص پتانسیل خطر اکولوژیک و شاخص اولویت‌بندی پتانسیل خطرات بیولوژیک برای فلزات مورد بررسی در منطقه آلوده به پساب کشاورزی بدست آمد و منطقه آلوده به پساب مسکن مهر از نظر شاخص بار آلودگی بالاترین مقدار را داشت. برای منطقه تحت آلودگی پساب مسکن مهر بدست آمد. بطور کلی می‌توان گفت که پساب کشاورزی بالاترین پتانسیل خطرات اکولوژیک و بیولوژیک و همچنین پساب مسکن مهر بالاترین بار آلودگی را برای اکوسیستم تالاب به دنبال دارند. آرسنیک در بخش آلوده به پساب کشاورزی و همچنین به ترتیب آرسنیک و مس در بخش آلوده به پساب مسکن مهر بالاترین فاکتور انتقال به ریشه گیاه نی را نشان دادند.

کلید واژگان: فلزات سنگین، تالاب کیاکلیه، پساب شهری، شاخص‌های کیفی

۱. مقدمه

پساب روستاهای سالکویه بالا و پایین وارد تالاب می‌شود. مهمترین منبع آلودگی ناشی از پساب شامل شیرابه‌های حاصل از دفن پسماندهای شهری لنگرود می‌باشد (Ramezani, 2010). امروزه ثابت شده است که فلزات سنگین به عنوان یکی از آلاینده‌های زیست محیطی اثرات مختلفی از جمله کاهش رشد، تغییر رفتار، تغییرات ژنتیکی و مرگ و میر در آبزیان دارند که در نهایت این اثرات منجر به زوال زیستی آبزیان می‌گردد. نابودی یا کاهش گونه‌ای خاص سبب تغییر در اکوسیستم آبی گشته و توازن آنها را بر هم می‌زند (Öztürk et al., 2009). در محیط‌های آلوده به فلزات سنگین، عمدتاً فلزاتی از جمله کادمیوم، نیکل، سرب، جیوه، آرسنیک، روی و نیکل بعنوان آلاینده‌های معمول یافت می‌شوند و به دلیل پایداری و حضور طولانی مدت این فلزات اکوسیستم‌های آبی، آلودگی فلزات سنگین در بین جوامع علمی و پژوهشگران اکولوژیک اهمیت بالایی دارد، در واقع این فلزات در اکوسیستم‌های آبی اختلالات بیولوژیک فراوانی به وجود خواهند آورد، در حالی که حذف شدن بخش کوچکی از این فلزات نیازمند مدت زمان بسیار طولانی می‌باشد. (Nordberg et al., 2007).

در حال حاضر بسیاری از رودخانه‌ها و تالاب‌های ایران در معرض آلودگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشند که تجمع آلودگی فلزات سنگین ناشی از فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی در آب و رسوبات و آبزیان نیز گزارش شده است (Mortazavi et al., 2018). رسوبات جز مهمی از اکوسیستم‌های آبی هستند و محلی مناسب برای تجمع مواد شیمیایی سمی که قابلیت تجمع زیستی داشته و می‌توانند سلامت موجودات را تحت تاثیر قرار دهند. رسوبات همیشه منبع بالقوه آلودگی

افزایش بی‌رویه جمعیت و توسعه کشاورزی، منجر به استفاده بی‌رویه کودها و سموم دفع آفات شده و در نتیجه فاضلاب شهری و همچنین پساب کشاورزی متشکل از ترکیبات شیمیایی مختلف به طور فزاینده ای وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند (Pham et al., 2020). تالاب‌ها به عنوان زیست بومی ارزشمند در بین انواع زیست بوم‌های طبیعی، کارکردهای بسیار گوناگونی دارند و علاوه بر حفاظت از تنوع زیستی، از جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی نیز حائز اهمیت می‌باشند. بیش از یک سوم جمعیت جهان در حاشیه تالاب‌ها، رودخانه‌ها، برکه‌ها و سواحل زندگی می‌کنند و این گواهِ اهمیت بالای این اکوسیستم‌های آبی در زندگی انسان است. با این حال همواره این زیست بوم‌ها با مخاطرات زیادی مواجه بوده‌اند که تهدیدات ناشی از فعالیت‌های انسانی، بیش از سایر عوامل، نظم و تعادل زیستی آنها را برهم زده است (Talaie and Daryadel, 2018). تالاب کیاکلايه یکی از غنی‌ترین تالاب‌های استان گیلان به لحاظ تنوع گونه‌های حیاتی بوده که علاوه بر جذب گردشگر و بهبود چرخه اقتصادی حاشیه نشینان، نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری اکوسیستم طبیعی دارد، ولی متأسفانه طی دهه اخیر شدیداً در معرض آلودگی‌های ناشی از فاضلاب مسکن مهر، پساب کشاورزی (عمدتاً شامل فضولات دامی پساب آغشته به سموم شیمیایی) و محل دپوی زباله‌های شهری قرار گرفته است. مقادیر زیادی از آلاینده‌ها (آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها) مستقیماً وارد تالاب می‌گردند. عوامل زیادی از جمله توسعه شهری و رهائش مواد نفتی به تالاب باعث ایجاد آلودگی‌های گسترده در این تالاب شده است. اگر چه پساب شهر لنگرود مستقیماً وارد تالاب نمی‌گردد، ولی

فاکتورهای کیفی به منظور دسته‌بندی میزان آلودگی رسوبات مناطق مختلف این اکوسیستم آبی به فلزات مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به فرم منحصربفرد تالاب کیاکلایه و اهمیت زیست‌محیطی این تالاب این تحقیق می‌تواند خطرات زیست‌محیطی اطراف این تالاب را به خوبی بررسی نماید و از فاکتورهای کیفی جدید و متنوعی برای مقایسه و تحلیل داده‌ها استفاده کند.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه و ایستگاه‌های نمونه برداری

تالاب کیاکلایه لنگرود در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه و ۵۳ ثانیه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۹ دقیقه و ۳۵ ثانیه طول شرقی در جنوب شهر لنگرود و در فاصله ۳ کیلومتری لیلاکوه واقع شده است. پس از بررسی کامل منطقه مورد مطالعه از روی نقشه‌های موجود، محل‌های مناسب نمونه‌برداری در سه منطقه تالاب کیاکلایه یعنی مکان‌هایی که تحت تاثیر پساب اراضی کشاورزی، محل دپوی زباله شهری و منطقه نزدیک به محل تخلیه پساب مسکن مهر بودند، انتخاب شدند (شکل ۱).

در محیط‌های آبی هستند و به عنوان شناساگر برای سنجش آلودگی این محیط‌ها مطرح می‌باشند که با مطالعه آن‌ها می‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را مشخص نمود (Klink *et al.*, 2014). گیاهان با توجه به قدرت جذب و ذخیره سازی آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین می‌توانند یکی از شاخص‌های سنجش آلودگی باشند، از جمله این گیاهان که رشد سریعی دارند و دارای سامانه ریشه‌ای گسترده است، می‌توان به نی اشاره کرد (Bonanno *et al.*, 2010). در تحقیقی در تالاب خدا آفرین غلظت فلزات آرسنیک و کادمیم در رسوب و بافت عضله ماهی بیش از حد استانداردهای جهانی گزارش شده است (Reshquoeieh *et al.*, 2016). همچنین ارفع‌نیا در بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات روخانه آبشینه گزارش داد که میزان سرب و کادمیم در حد آلوده بوده است (Arfania, 2017). هدف از مطالعه حاضر، اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیم، مس، کبالت و کروم) در رسوبات، ساقه و ریشه گیاه نی و در آب تالاب کیاکلایه در سه منطقه‌ی تحت تاثیر فاضلاب مسکن مهر، پساب‌های کشاورزی و محل دپوی زباله‌های شهری می‌باشد. علاوه بر آن تعیین منشا آنتروپوژنیک فلزات و ارزیابی



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری

۲-۲. نمونه برداری رسوب

در هر منطقه طی فواصل مشخص ۷ نمونه ۲۰۰ گرمی از رسوبات بستر (با استفاده از ون وین گرب)^۱ جمع‌آوری شد، سپس نمونه‌های رسوب در داخل پلاستیک زیپ دار به آزمایشگاه منتقل شده و تا انجام آزمایشات و آنالیزهای نهایی در دمای ۴ درجه سانتی گراد در یخچال نگهداری شدند.

۲-۳. نمونه‌های آب

کلیه ظروف مورد استفاده برای نمونه‌برداری، هضم و نگهداری نمونه‌ها، از قبل به مدت ۲۴ ساعت در اسیدنیتریک رقیق (۱۰ درصد) غوطه ور گشتند و سپس با آب دیونیزه شستشو و خشک شدند (Filipiak et al., 2015). برای آماده‌سازی نمونه‌های آب، ابتدا ۲۵ میلی‌لیتر از هر نمونه را برداشته و به هریک ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ افزوده گشت و به مدت ۱ ساعت با استفاده از هیتر در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و بعد از خنک شدن با صافی ۰/۴۵ میکرون صاف شده و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر با آب دیونیزه رسانده شد و غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES (مدل Model wista-mpx) اندازه‌گیری شدند (Qin et al., 2013).

۲-۴. آنالیز شیمیایی نمونه‌های بافت گیاه نی

نمونه‌های گیاه نی پس از انتقال به آزمایشگاه، در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌های خشک بطور کامل آسیاب شده و مقدار ۱ گرم از نمونه‌ها در داخل لوله‌های آزمایش ریخته شد و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO₃) غلیظ به آن اضافه گردید.

نمونه‌ها حدود ۱۲ ساعت زیر هواکش آزمایشگاه قرار گرفت. پس از آن نمونه‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از خنک شدن ۳ میلی‌لیتر اسید پرکلریدریک غلیظ به آن اضافه شده و مجدداً به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در پایان نمونه‌ها را با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف کرده و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد (Jackson, 1958).

۲-۵. آماده سازی نمونه‌ها جهت سنجش

فلزات سنگین

نمونه‌های رسوب جمع‌آوری شده در دستگاه فریزدرایر^۲ به مدت ۲۴ ساعت کاملاً خشک شدند، بعد از آسیاب نمونه‌ها با الک (مش ۶۳ میکرون) غربال شدند. برای آنالیز فلزات سنگین از هر نمونه یک گرم توزین و در ارلن ریخته شد و با اسید فلوئوریدریک، اسید نیتریک و اسید کلریدریک ۶۵ درصد (شرکت مرک آلمان) در دمای ۸۵-۹۰ درجه سانتی‌گراد با کمک گرمکن، هضم شدند. حجم نمونه‌ها به ۵۰ میلی‌لیتر رسید. ضمناً برای هر گروه از نمونه‌ها، یک نمونه شاهد تهیه و همراه با دیگر نمونه‌ها آنالیز شد. و سپس غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-OES (مدل wista-mpx) اندازه‌گیری شد (Qin, 2013).

۲-۶. پردازش آماری داده‌ها

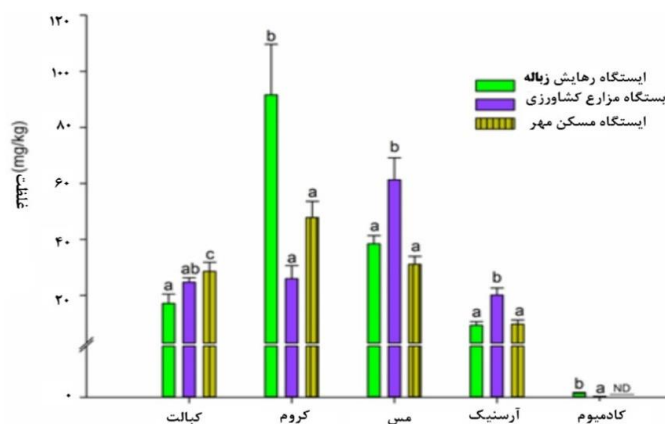
جهت پردازش آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. جهت آنالیز آماری داده‌های از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد.

۳. نتایج

۳-۱. غلظت فلزات سنگین در رسوبات

نتایج نشان داد که غلظت فلزات کروم و کادمیوم در رسوباتی از تالاب که تحت تاثیر منطقه دپوی زباله

شهری قرار دارند بیشترین مقدار را در مقایسه با ایستگاه‌های دیگر دارند، از طرفی رسوباتی از تالاب که تحت تاثیر پساب کشاورزی واقع شده اند به لحاظ آماری میزان مس و آرسنیک بالاتری در مقایسه با ایستگاه‌های دیگر در خود نگه داشته اند (شکل ۲).

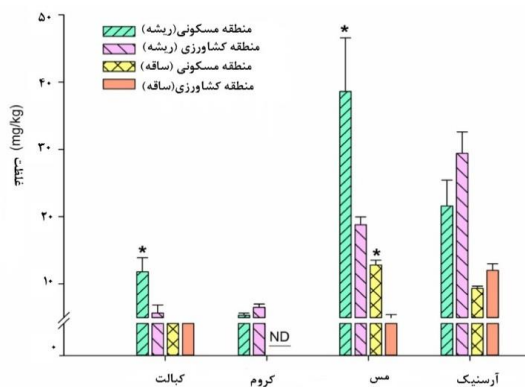


شکل ۲- غلظت کبالت، کروم، مس، آرسنیک و کادمیوم در رسوبات سه منطقه‌ی تالاب کیاکلیاه که تحت تاثیر پساب مسکن مهر و کشاورزی و همچنین منطقه دپوی زباله قرار دارند

۳-۲. تجمع فلزات سنگین در ریشه و ساقه گیاه نی

علی‌رغم تجمع زیستی بالاتر کبالت و مس در ریشه گیاهان نی رویش یافته در منطقه مسکونی، نتایج نشان داد که میزان تجمع مس در ساقه گیاه رویش یافته در بخش آلوده تالاب به پساب کشاورزی نسبت به منطقه مسکونی به لحاظ آماری تفاوت معنی داری دارد. در مورد میزان منگنز و وانادیم تجمع یافته در ریشه گیاه نی نتایج نشان داد که به ترتیب در بخش

آلوده به پساب مسکن مهر و پساب کشاورزی در مقایسه با دیگر ایستگاه‌های نمونه برداری شده بالاتر می باشد. تجمع زیستی کادمیوم در ریشه و ساقه گیاه نی رویش یافته در دو ایستگاه نمونه برداری پایین تر از حد تشخیص دستگاه مورد استفاده در آزمایش بوده است (شکل ۳).



شکل ۳-تجمع زیستی کبالت، کروم، مس و آرسنیک در ریشه و ساقه گیاه نی در دو منطقه آلوده به پساب مسکن مهر و پساب کشاورزی در تالاب کیاکلیاه

۳-۳. فاکتور انتقال (TF)

است، و همچنین فاکتور انتقال برای فلزات از رسوب به ریشه گیاهان نی رویش یافته در ایستگاهی که پساب مسکن مهر به تالاب وارد شده برای آرسنیک و مس بالاترین مقدار (به ترتیب ۲/۲۱ و ۱/۲۳) را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۱).

مقایسه میزان انتقال فلزات سنگین از رسوبات به ریشه گیاه نی در دو ایستگاه آلوده به پساب کشاورزی و پساب مسکن مهر نشان داد که آرسنیک در رسوبات آلوده به پساب کشاورزی میزان انتقال بسیار بالاتری در مقایسه با فلزات دیگر به گیاه مذکور داشته

جدول ۱- فاکتور انتقال (TF) فلزات سنگین از رسوبات به ریشه گیاه نی در دو بخش تالاب کیاکلیاه که پساب های کشاورزی و مسکن مهر به آن وارد می شود

فلز	فاکتور انتقال (TF)	منطقه کشاورزی	منطقه مسکن مهر
آرسنیک	۱/۴۵	۲/۲۱	
کادمیوم	-	-	
کبالت	۰/۲۲	۰/۴۱	
کروم	۰/۲۵	۰/۱۱	
مس	۰/۳۰	۱/۲۳	

همگی میزان EF پایین تر و نزدیک به عدد معیار را نشان دادند. این فاکتور در رسوباتی که پساب های کشاورزی را دریافت می کنند، برای کادمیوم EF ۶/۳۵ بدست آمد. همچنین در ایستگاهی که پساب مسکن مهر وارد می شود، میزان این فاکتور در خصوص فلز کبالت بالاتر از واحد معیار یعنی به ترتیب ارقام ۱/۳۵۶ را نشان داد (جدول ۲).

۳-۴. ضریب غنی شدگی (EF = Enrichment Factor)

نتایج حاصل از بررسی وضعیت غنای غلظت فلزات مورد بررسی در مطالعه حاضر براساس انتخاب فلز آهن بعنوان معیار مقایسه ای با EF برابر با ۱ (EF= ۱) نشان داد که فلزات در رسوباتی از تالاب کیاکلیاه که تحت تاثیر آلودگی ناشی از دپوی زباله قرار دارند،

جدول ۲- ضریب غنی شدگی (EF) فلزات سنگین رسوبات تالاب کیاکلیاه در سه ایستگاه تالاب که تحت تاثیر آلودگی های ناشی از مکان دپوی زباله شهری، پساب کشاورزی و پساب مسکن مهر قرار دارند.

فلز	ضریب EF	منطقه دپوی زباله	منطقه کشاورزی	منطقه مسکن مهر
آرسنیک	۰/۶۲۷۳	۰/۰۰۰۲	۰/۶۵۸۶	
کادمیوم	۰/۲۴۴۶	*۶/۳۵	-	
کبالت	۰/۸۰۹۷	۰/۰۰۰۳	*۱/۳۵۶	
کروم	۰/۸۸۹۱	۰/۰۰۱۹	۰/۴۶۷۰	
مس	۰/۷۴۶۲	۰/۰۰۰۹	۰/۶۰۷۸	
آهن	۱	۱	۱	

۳-۵. شاخص زمین انباشت (Igeo=)

(Geoaccumulation index)

نتایج حاصل از چگونگی و مقایسه وضعیت انباشتگی فلزات مورد بررسی در رسوبات سه ایستگاه نمونه برداری تالاب کیاکلیه در جدول ۳ نشان داده شده است. در رسوباتی از تالاب که تحت تاثیر دپوی زباله شهری قرار داشتند میزان فلز کادمیوم و آرسنیک (به

ترتیب با Igeo برابر با ۴/۹۰۶ و ۰/۰۴۶) بیشترین میزان آلودگی را در رسوباتی از تالاب که تحت تاثیر پساب‌های منطقه کشاورزی قرار دارند، بخود اختصاص دادند. همچنین در رسوباتی از تالاب که آلاینده‌های رها شده از منطقه مسکن مهر را دریافت - کردند، کبالت (Igeo= ۰/۰۴۲) فلزی است که بیشترین میزان آلودگی را در این منطقه داشت.

جدول ۳- شاخص زمین انباشت (Igeo) فلزات سنگین رسوبات تالاب کیاکلیه در سه ایستگاه تالاب که که تحت تاثیر آلودگی های ناشی از مکان دپوی زباله شهری، پساب کشاورزی و پساب مسکن مهر قرار دارند.

فلز	شاخص Igeo		
	منطقه دپوی زباله	منطقه کشاورزی	منطقه مسکن مهر
آرسنیک	-۱/۰۶۳	*۰/۰۴۶	-۱
کادمیوم	-۲/۴۲۱	*۴/۹۰۶	-
کبالت	-۰/۶۹۴	-۰/۱۶۷	*۰/۰۴۲
کروم	-۰/۵۵۹	-۲/۳۷۶	-۱/۴۹۶
مس	-۰/۸۱۲	-۰/۱۳۹	-۱/۱۱۵

۳-۶. شاخص بار آلودگی (PLI= Pollution

(load Index)

نتایج حاصل از محاسبه این شاخص نشان داد که هر سه منطقه مورد مطالعه تالاب کیاکلیه آلوده هستند، ولی میزان آلودگی رسوبات ایستگاهی از تالاب که

پساب‌های مسکن مهر به آنجا وارد می‌شوند بیشترین بار آلودگی به فلزات سنگین را دارند و بخش دیگر تالاب که تحت تاثیر زباله‌های دپو شده شهری قرار دارد کمترین بار آلودگی فلزات سنگین مورد بررسی را داراست (جدول ۴).

جدول ۴- شاخص‌های MERMQ، RI و PLI مربوط به رسوبات سه ایستگاه نمونه برداری تالاب کیاکلیه

نمونه برداری			
شاخص	منطقه کشاورزی	منطقه مسکن مهر	منطقه دپوی زباله
MERMQ	۰/۲۴۶۴	۰/۱۹۴۹	۰/۲۳۳۰
RI	۴۱/۲۲	۲۴/۱۸	۳۷/۵۷
PLI	۳/۴۰۴	۵/۹۵۸	۲/۰۸۸

۳-۷. غلظت فلزات سنگین در آب

غلظت فلزات آرسنیک و کبالت در آب ایستگاه‌های تالاب کیاکلیه که تحت تاثیر پساب مسکن مهر، پساب کشاورزی و منطقه دپوی زباله شهری قرار توسط دستگاه آنالیزگر قابل سنجش می‌باشند و سایر فلزات پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه بودند. (شکل ۲).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

رسوباتی که در تالاب‌های هم‌جوار با مناطق شهری و یا صنعتی قرار دارند توانایی بالقوه جذب و ته نشین کردن آلودگی‌های فلزی که از محیط‌های خشکی ناشی می‌شوند را دارند (Dehghani and Dast, 2016).

با توجه به اینکه حجم بالایی از زباله‌های جامد شهری که در محل‌های دپوی زباله دفع می‌شوند شامل مواد پلاستیکی، منسوجات، مواد حاوی رنگ‌های مختلف، زباله‌های الکترونیکی و غیره هستند و از طرفی این نوع از زباله‌ها در ساختار آنها به میزان خیلی زیادی کادمیوم، سرب و کروم استفاده می‌شود، بنابراین در شیرابه و خاک این مکان‌ها، میزان بالایی از فلزات مذکور قابل سنجش می‌باشد (Tangahu et al., 2011). در مطالعه حاضر نشان داده شد که غلظت کادمیوم و کروم در رسوباتی از تالاب که تحت تاثیر منطقه دپوی زباله شهری قرار دارند به میزان قابل توجهی در مقایسه با دو ایستگاه دیگر افزایش داشته است. بنابراین می‌توان گفت که به دلایل فوق‌الذکر، تجمع بالای این فلزات در رسوبات بخشی از تالاب که نزدیک به محل دپوی زباله‌های شهری است ناشی از زباله‌های ذکر شده می‌باشد. نتایج این تحقیق با تحقیق Nourozifard و همکاران (۱۳۹۷) در بندر

قشم که میزان کروم را در مناطق تحت الودگی پساب شهری و خانگی بالا گزارش کرده‌اند تطابق دارد همچنین غلظت کروم در ایستگاه دفع زباله و ایستگاه خروج پساب مسکن مهر بالاتر از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و USEPA بوده است و این عدد به ویژه در ایستگاه دفع زباله نگران‌کننده می‌باشد. Sobhanardakani و همکاران (۲۰۱۴) در تالاب میقان غلظت کادمیوم را کمتر از ۱ گزارش کرده و همچنین غلظت مس نیز کمتر از مطالعه حاضر گزارش کردند (Sobhanardakani et al., 2014).

با توجه به اینکه کودهای سولفات غیراستاندارد حاوی مقادیر بالایی فلزات سنگین می‌باشند، بنابراین غلظت بعضی از فلزات خیلی خطرناک مثل آرسنیک (با قابلیت جذب بالا توسط گیاه) و همچنین فلزات دیگری مثل مس، روی و نیکل و غیره در خاک‌های کشاورزی و پساب‌های خروجی از این محیط‌ها افزایش یافته است. از طرفی نیز نشان داده شده که آرسنیک که بطور طبیعی ممکن است در خاک محل کشاورزی وجود داشته یا در اثر استفاده از کودهای فسفاته، آبیاری شده و وارد اکوسیستم‌های آبی می‌گردد (Duodu et al., Cao et al., 2003). از این رو می‌توان گفت که افزایش آرسنیک و مس در بخشی از تالاب که تحت تاثیر پساب کشاورزی قرار دارند، نتیجه‌ی ورود کودهای شیمیایی استفاده شده در زمین‌های کشاورزی و در نهایت آبیاری آنها به درون آن بخش از تالاب باشد. غلظت مس بالاتر از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و USEPA بوده است با یافته‌های دهقانی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد و همچنین زارع و همکاران (۱۳۹۵) در تالاب خدا آفرین میزان فلز آرسنیک،

۴-۲. شاخص زمین انباشت (Igeo) مولر

براساس نتایج به دست آمده حاصل از بکارگیری شاخص زمین انباشت در مطالعه حاضر و مقایسه آنها با طبقه بندی مولر می توان گفت که در رسوبات تحت تاثیر محل دپوی زباله همه فلزات همگی میزان آلودگی در طبقه غیرآلوده نشان دادند. در رسوبات محل تخلیه پساب مسکن مهر نیز تمامی فلزات در طبقه غیرآلوده قرار دارند. همچنین بررسی این شاخص در رسوباتی که تحت تاثیر پساب کشاورزی قرار دارند نشان داد که کادمیوم و آرسنیک بترتیب با Igeo برابر با ۴/۹۰۶ و ۰/۰۴۶ بالاترین میزان را داشته اند، بطوریکه کادمیوم در طبقه خیلی آلوده- شدیداً آلوده قرار گرفت و آرسنیک در طبقه غیرآلوده واقع شد.

۴-۳. شاخص درصد آنتروپوژنیک (An%)

در مطالعه حاضر بکارگیری این شاخص نشان داد که در ایستگاهی از تالاب که نزدیک به محل دپوی زباله- های شهری قرار دارد، فلزات سهم بسیار ناچیزی داشته اند، ولی در رسوباتی از تالاب که پساب مسکن مهر را دریافت می کنند کبالت بالاترین سهم آنتروپوژنیک (۲۶/۲۷) را نشان دادند. این شاخص در رسوبات تحت تاثیر پساب کشاورزی نشان داد که به مراتب تعداد فلزاتی که عوامل آنتروپوژنیک سهم بالایی از غلظت آنها را باعث می شوند بالاتر از دو ایستگاه دیگر است. بطوری که بالاترین درصد آنتروپوژنیک مربوط به کادمیوم می باشد و رابطه ای بصورت کادمیوم (۴۳/۳۲) < آرسنیک (۳۵/۶۹) < مس (۲۶/۱۸۴) بدست آمد.

در مطالعه ای در رسوبات رودخانه کر درصد آنتروپوژنیک فلزات کروم و آرسنیک را بالای ۶۵ درصد اعلام کرده اند که بیشتر از نتایج این پژوهش

مس و کادمیوم را بالاتر از حد مجاز جهانی اعلام کردند.

۴-۱. ضریب غنی شدگی (EF) رسوبات به

فلزات سنگین

در پژوهش حاضر نرمالیزه کردن فلزات مورد بررسی با عنصر آهن صورت گرفت که به دلیل ماهیت ژئوشیمیایی و تغییرات بسیار ناچیزی که این عنصر در محیط از خود نشان می دهد و اینکه توزیع آن در محیط، مستقل از سایر فلزات و نیز غلظت آن در طبیعت زیاد است به عنوان مرجع در نظر گرفته می شود (Duodu et al., 2016).

نتیجه حاصل از این ضریب برای هر عنصر مورد مطالعه هر چقدر به ضریب غنی شدگی عنصر مرجع نزدیک باشد (یعنی به عدد ۱) نشان دهنده این است که عنصر مورد مطالعه با درصد بسیار بالا منشا طبیعی دارد و هر چه از ضریب عنصر مرجع بیشتر باشد ($EF < 1$) نشان دهنده این است که عوامل آنتروپوژنیک نقش خیلی زیادی در افزایش غلظت آن عنصر در مکان مورد مطالعه دارند (Mashiatullah et al., 2013, 2015). با توجه به اینکه در مطالعه حاضر آهن (Fe) بعنوان عنصر مرجع با $EF=1$ انتخاب شده است. رسوباتی از تالاب که پساب کشاورزی را دریافت میکنند، بالاترین آلودگی مربوط به کادمیوم با $EF=6/36$ بدست آمد که نشان از دخالت بسیار بالای عوامل آنتروپوژنیک در غلظت فلز مذکور در این بخش از تالاب دارد، بطور کلی براساس فاکتورهای غنی شدگی بدست آمده از فلزات مورد مطالعه در سه منطقه تالاب کیاکلیاه می توان گفت که در بین فلزاتی که فاکتور مذکور بیشتر از عنصر مرجع ($EF=1$) می باشد، کادمیوم بیشترین منشا آنتروپوژنیک را دارد.

نشان داد که این شاخص برای ایستگاه‌های آلوده به پساب کشاورزی، پساب مسکن مهر و ایستگاه تحت تاثیر دپوی زباله شهری به ترتیب ۴۱/۲۲، ۲۴/۱۸ و ۳۷/۵۷ می‌باشد. به طوریکه براساس دسته بندی مربوط به این شاخص، منطقه ای از تالاب که پساب کشاورزی به آن وارد می‌شود با بیشترین خطرات اکولوژیک و ایستگاهی که تحت تاثیر پساب مسکن مهر است، کمترین خطرات اکولوژیک را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه مواجه هستند.

۴-۵. شاخص بار آلودگی (PLI)

این شاخص در رسوبات تحت تاثیر پساب مسکن مهر، پساب کشاورزی و ایستگاه تحت تاثیر آلودگی‌های ناشی از محل دپوی زباله شهری به ترتیب ۵/۹۵۸، ۳/۴۰۴ و ۲/۰۸۸ می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که طبق شاخص PLI و صرفنظر از تاثیرات اکولوژیک و بیولوژیک، در بین این ایستگاه‌ها بالاترین بار آلودگی فلزات سنگین مورد مطالعه به تالاب کیاکلایه ناشی از تخلیه پساب مسکن مهر می‌باشد و کمترین بار آلودگی ورودی به تالاب ناشی از محل دپوی زباله شهری است. گزارشی از این شاخص در تالاب انزلی نشان داده است که مقادیر شاخص که در اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیش‌تر از یک است (Rafiei et al., 2014).

۴-۶. غلظت فلزات سنگین در ریشه و ساقه گیاه

نی

در مواقعی که گیاه در محیط خیلی آلوده به فلزات سنگین رشد دارد یا اینکه شرایط محیطی متفاوتی وجود داشته باشد، برخی فلزات در اثر شرایط حاکمه بویژه شرایط مدیای محل رشد گیاه (مثل اسیدیته، حضور مواد معدنی که می‌توانند با فلزات رابطه متضاد

می‌باشد) Karimi and Ghassempoorshirazi, (2012). با توجه به نتایج بدست آمده از شاخص درصد آنتروپوژنیک (An/%) و شاخص غنی شدگی (EF) و مقایسه آنها با غلظت‌های بدست آمده فلزات مورد بررسی در مکانهای نمونه‌برداری از تالاب میتوان گفت که شاخص درصد آنتروپوژنیک با دقت و اطمینان بهتری در خصوص میزان آنتروپوژنیک بودن عناصر تصمیم می‌گیرد.

۴-۴. شاخص اولویت بندی پتانسیل خطرات

بیولوژیک (MERMQ) و شاخص پتانسیل خطر

اکولوژیک (RI)

در مطالعه حاضر شاخص MERMQ برای رسوبات ایستگاه‌های دریافت‌کننده پساب کشاورزی، پساب مسکن مهر و منطقه دپوی زباله شهری به ترتیب ۰/۲۴۶۴، ۰/۱۹۴۹ و ۰/۲۳۳۰ می‌باشد. از اینرو با توجه به نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر، رسوبات منطقه‌ای از تالاب که پساب‌های کشاورزی به آن وارد می‌شود دارای بیشترین احتمال خطر سمیت برای موجودات زنده و بالاترین اولویت برای مدیریت آلاینده‌های فلزی است و بخشی از رسوبات تالاب که پساب‌های مسکن مهر به آن وارد می‌شود کمترین خطرات بیولوژیک را در مقایسه با ایستگاه‌های دیگر به دنبال دارد. ولی براساس این شاخص احتمال سمی بودن رسوبات هر سه ایستگاه برای موجودات زنده حدود ۲۱٪ می‌باشد.

همچنین شاخص RI دیگر شاخصی است که میزان خطرات اکولوژیک ناشی از فلزات سنگین رسوبات را برای موجودات زنده‌ای که بطور مستقیم و غیر مستقیم در ارتباط با رسوبات هستند مورد بررسی قرار می‌دهد (جدول ۶). نتایج حاصل از مطالعه حاضر

ایتالیا پرداخته شد که فلز کادمیوم بیشترین غلظت را در گیاه داشته است (Nawrot *et al.*, 2019).

۴-۷. فاکتور انتقال (TF)

فاکتور انتقال از جمله ابزارهای ارزشمند در انتخاب گیاهان جهت جذب و حذف آلاینده‌های فلزی از محیط زیست یک گیاه می باشد. به طوریکه اگر میزان فاکتور انتقال بالاتر از ۱ ($TF \geq 1$) باشد بیانگر میزان جذب بالای فلز مورد مطالعه توسط گیاه می باشد و در نتیجه گیاه سودمندی بالایی جهت جذب فلز مورد نظر از محیط هدف را دارد. ولی اگر این فاکتور کمتر از ۱ باشد ($TF < 1$) بیانگر این است که گیاه توانایی بالایی در جلوگیری از جذب فلز سنگین به درون خود را دارد (Cui, Zhu *et al.*, 2004; Sasmaz *et al.*, 2008). در مطالعه حاضر نشان داده شد که فاکتور انتقال برای آرسنیک ($TF = 1/45$) در ایستگاه آلوده به پساب کشاورزی بالاترین میزان را داشته و همچنین در ایستگاه آلوده به پساب مسکن مهر بصورت آرسنیک ($2/21$) < مس ($1/23$) می باشد. از این رو میتوان گفت که گیاه نی برای این فلزات که فاکتور انتقال بالاتر از ۱ دارند، به عنوان گیاه تجمعی محسوب می شود. Davodpour و همکارانش (۲۰۱۹) بیان کردند که فاکتور انتقال برای آرسنیک در گونه گون بیشتر از یک بوده است (Davodpour *et al.*, 2019).

با توجه به نتایج به دست آمده، سه منبع بررسی شده که دخیل در آلودگی تالاب هستند، همگی نقش بالایی در افزایش آلاینده‌های فلزی سمی در اکوسیستم مورد مطالعه داشته‌اند. به طوریکه افزایش خیلی بالای بار آلودگی این فلزات توسط یک منبع آلودگی (پساب مسکن مهر) و از طرف دیگری تخلیه پساب‌های حاوی فلزات سنگین خیلی خطرناک حتی

داشته باشند و همچنین حضور فلزات سنگین دیگری که خاصیت آنتاگونیستی با دیگر فلزات دارند، رفتار تجمعی متفاوت و برعکسی را نشان می دهند (Kabata Pendias, 2010). نتایج نشان داد غلظت برخی فلزات (مثل نیکل و کروم) در رسوبات دو ایستگاهی که تحت تاثیر پساب مسکن مهر و پساب کشاورزی قرار دارند تفاوت معنی وجود ندارد و این عدم تفاوت غلظت نیز در ریشه گیاهان نی روئیده در این مکان‌ها نیز مشاهده شد. ولی برخی دیگر از فلزات (مثل کبالت و آرسنیک) علی‌رغم عدم تفاوت غلظت آنها در رسوبات، رفتار تجمعی متفاوتی در ریشه گیاه نی نشان داده‌اند. از جمله دلایل احتمالی این نوع رفتار متفاوت تجمعی این فلزات تفاوت شرایط حاکم بر رسوباتی است که گیاهان نی در این دو منطقه رشد یافته‌اند. به عنوان مثال اگر در رسوبات میزان بالایی کلسیم دو ظرفیتی وجود داشته باشد باعث می شود که گیاه بطور انتخابی فلزات مذکور را جذب یا دفع کند. همچنین اگر رسوبات دارای اسیدیته بالا باشند باعث می شود که گیاه توانایی کنترل فعال ورود و خروج فلزات را نداشته باشد و در نتیجه میزان زیادی از فلزات سمی درون ریشه گیاه تجمع پیدا می کنند (Kabata Pendias, 2010). در یک بررسی در روخانه کارون غلظت کادمیوم در ساقه گیان نی $1/99$ mg/kg گزارش شد که بسیار بالاتر از نتایج این مطالعه می باشد (Mohammad *et al.*, 2018). کرباسی در سال ۱۳۸۶ مدل زیر را برای سمیت در گیاهان مطرح کرد. $\text{سرب} > \text{آهن} = \text{منگنز} > \text{روی} = \text{آرسنیک} > \text{نیکل} = \text{کبالت} > \text{مس} > \text{کادمیوم}$ (Karbasi *et al.*, 2006). همچنین در تحقیق دیگر به بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب آب و ریشه گیاه در روخانه سالسو

سم‌های مورد استفاده در زمین‌های کشاورزی می‌تواند در کوتاه مدت در کاهش آلودگی‌ها موثر باشد و در طولانی مدت معرفی جاذب‌های بیولوژیک برای حذف فلزات سنگین از رسوبات و آب کارساز خواهد بود.

در میزان کم از منبع دیگر آلودگی تالاب، اکوسیستم را به لحاظ اکولوژیک و بیولوژیک ناشی از فلزات سنگین، سمی و آلوده کرده‌اند. با توجه به اهمیت اکولوژیک این تالاب به نظر می‌رسد با ادامه روند رهایش آلودگی موجودات این تالاب در خطر بوده و اقداماتی مانند تصفیه فاضلاب مسکن مهر و مدیریت

References

Arfania, H., 2017. Heavy metals bio-availability (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in sediments of Abshineh River. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5, 133-146

Bagheri H, Darvish Bastami K, Sharmad T, Bagheri Z, 2012. Assessment of Heavy Metal Distribution in the Gorgan Bay. *joc* 3 (11), 65-72. (In Persian)

Bonanno, G. and Lo Giudice, R., 2010. Heavy metal bioaccumulation by the organs of *Phragmites australis* (common reed) and their potential use as contamination indicators. *Ecological Indicators*, 10, 639-645

Cao, X.; Ma, L.Q. and Shiralipour, A., 2003. Effects of compost and phosphate amendments on arsenic mobility in soils and arsenic uptake by the hyperaccumulator, *Pteris vittata* L. *Environmental Pollution*. 126, 157-167.

Christophoridis, C., D. Dedepsidis and K. Fytianos., 2009. "Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators." *Journal of hazardous materials* 168, 1082-1091.

Cui, Y.-J., Y.-G. Zhu, R.-H. Zhai, D.-Y. Chen, Y.-Z. Huang, Y. Qiu and J.-Z. Liang., 2004. "Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China." *Environment International* 30, 785-791.

Davodpour R, Sobhan Ardakani S, Cheraghi M, Abdi N, Lorestani B., 2019. Bioconcentration and stabilization potential studies of arsenic and some

heavy metals in *Astragalus* spp. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 15.

Dehghani M, Dast Afkan S., 2016. Assessment of heavy metals pollution indices in sediments of Tiyab and Kolahi International Wetlands. *J. Aqu. Eco*, 6, 82-92. (In Persian)

Duodu GO, Goonetilleke A, Ayoko GA., 2016. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. *Environmental Pollution*, 219, 1077-91

Filipiak-Szok, A., Kurzawa, M. and Szłyk, E., 2015. Determination of toxic metals by ICP-MS in Asiatic and European medicinal plants and dietary supplements. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 30, 54-58.

Gao X, Chen CT., 2012. Heavy metal pollution status in surface sediments of the coastal Bohai Bay. *Water Res.* 46, 1901-11.

Islam, M.A.; Awual, M. R. and Angove, M.J., 2019. A review on nickel (II) adsorption in single and binary component systems and future path. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5, 103-305

Jackson, M. L., 1958. *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey
Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants, CRC press.

Karbasi, A., Bayati, I. and NABI, B.G.R., 2006. Investigation on the heavy metal pollution intensity in Shefa-Rud river bed sediments.

Karimi, M. and Ghassempoorshirazi, M.R., 2012. Geochemical distribution and pollution rate of

heavy metals (Pb, Zn, Ni, Cr & As) in Kor river sediments (south of Marvdasht).

Klink, A., Wisłocka, M. and Musiał, M., 2014. Macro- and Trace-Elements Accumulation in *Typha angustifolia* L. and *Typha latifolia* L. Organs and their Use in Bioindication. Polish Journal of Environmental Studies 22,183-190.

Mashiatullah, A.; Chaudhary, M.Z.; Ahmad, N.; Javed, T. and Ghaffar, A., 2013. Metal pollution and ecological risk assessment in marine sediments of Karachi Coast, Pakistan." Environmental monitoring and assessment 185, 1555-1565.

Mortazavi, S., Rahmani, J. And Chamani, A., 2018. Biomonitoring of Heavy Metals using *Phragmites australis* in Hashilan Wetland, Kermanshah. (In Persian)

Mohammad, Z., Mohammadi, R.M. And Babaeinejad, T., 2018. Survey of heavy metals accumulation in (*Phragmites australis*) and sediments of Karoun river (Case Study: Ahvaz city). (In Persian)

Nordberg, F.; Fowler, A. and Nordberg, M., 2014. Handbook on the Toxicology of Metals, Academic Press, pp 110.

Nourozifard P, Mortazavi S, Asad S, Hassanzadeh N, 2018. Evaluation of contamination of Qeshm island coastal sediments with Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr using sediment quality indices. Ijhe 433-448 (In Persian).

Nawrot, N., Wojciechowska, E., Matej-Łukowicz, K., Walkusz-Miotk, J. and Pazdro, K., 2019. Heavy metal accumulation and distribution in *Phragmites australis* seedlings tissues originating from natural and urban catchment. Environmental Science and Pollution Research, pp.1-11.

Öztürk, M.G.; Özözen, O. and Minareci, E., 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam Lake in Turkey." Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering 6, 73-11.

Pejman, A., G. N. Bidhendi, M. Ardestani, M. Saeedi and A. Baghvand., 2015. "A new index for assessing heavy metals contamination in sediments:

A case study." Ecological Indicators 58, 365-373. (In Persian)

Pham, N.M.; Huynh, T.L. and Nasir, M.A., 2020. Environmental consequences of population, affluence and technological progress for European countries: A Malthusian view. Journal of Environmental Management, Vol. 260, 110143.

Qin, Y., Z. Zhang, L. Li, C. Chen, S. Shun and Y. Huang., 2013. "Inductively coupled plasma orthogonal acceleration time-of-flight mass spectrometry (ICP-oe-TOF-MS) analysis of heavy metal content in *Indocalamus tessellatus* samples." Food chemistry 141, 2154-2157.

Ramezani, B., 2010. The recognition of ecotourism bioclimatic comfort in Kiyakalaye, (Langrood) wetland using Avanz Method. (In Persian)

Rafiei, B., Movasagh A., Karimkhani A., Sadeghi Far M., 2014. Distribution of heavy metals in surficial sediments of the Anzali Lagoon outlet, North Iran. 2, 1-15. (In Persian)

Reshquoeieh Z, Hamidian A, Poorbagher H, Ashrafi S., 2016. Investigation of heavy metals accumulation in sediment and aquatic organism in Khodaafarin Dam, Azarbaijan-Sharghi, Iran. Veterinary Researches & Biological Products. 29, 72-80. (In Persian)

Sasmaz, A., E. Obek and H. Hasar., 2008. The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown

Sobhanardakani S, Jamshidi K, Niazi A., 2014. Investigation of Fe, Pb, Cd and Cu concentrations in sediments of Mighan Wetland using geo-accumulation index. Wetland Ecobiology.; 6, 67-77(In Persian)

Sulaiman, M.; Salawu, B. and Barambu, A.U., 2019. Assessment of Concentrations and Ecological Risk of Heavy Metals at Resident and Remediated Soils of Uncontrolled Mining Site at Daret Village, Zamfara, Nigeria. Journal of Applied Sciences and Environmental Management 23, 187-193.

Talaei f, Daryadel E., 2016. A Case Study of Anzali Lagoon in the Framework of Ramsar

Convention:Challenges and Solutions.
J.international right 52, 277-312. (In Persian)

Tangahu, B.V.; Sheikh, Abdullah, S.R.; Basri, H.; Idris, M.; Anuar, N. and Mukhlisin, M., 2011. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. International Journal of Chemical Engineering 122, 1-31

Wang, Y.; Yang, L.; Kong, L.; Liu, E.; Wang, L. and Zhu, J., 2015. Spatial distribution, ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediments from Dongping Lake, Shandong, East China. Catena 125, 200-205

Wang, Y.; Yang, L.; Kong, L.; Liu, E.; Wang, L. and Zhu, J., 2015. Spatial distribution, ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediments from Dongping Lake, Shandong, East China. Catena 125, 200-205.

Zou, J.; Yu, K.; Zhang, Z.; Jiang, W. and Liu, D., 2009. Antioxidant response system and chlorophyll fluorescence in chromium (VI)-treated Zea mays L. seedlings. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 51, 23-33