

تغییرات مکانی-زمانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و تأثیر آن‌ها بر تجمع فلزات سنگین در آب و رسوبات آبگیر تصفیه‌خانه‌های بخشی از رودخانه کارون

چکیده

ارزیابی غلظت فلزات سنگین در محیط‌های آبی می‌تواند در جهت انجام اقداماتی برای بهبود کیفیت شرایط محیطی مؤثر باشد. لذا مطالعه حاضر جهت ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات نقاط تأمین آب تصفیه‌خانه‌های شهرستان اهواز و ملائانی در طول رودخانه کارون و تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی بر غلظت این آلاینده‌ها صورت گرفت. بدین منظور شش ایستگاه در طول رودخانه انتخاب و به صورت تصادفی از هر ایستگاه سه نمونه آب و رسوب در تابستان و زمستان ۱۳۹۴ برداشت شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و هضم نمونه‌ها، سنجش فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی شعله صورت گرفت. از نرم‌افزار SPSS و نیز آزمون‌های آماری T-test, ANOVA و همبستگی پیرسون جهت تجزیه و تحلیل نتایج فلزات و پارامترهای مورد بررسی در آب و رسوبات استفاده گردید. بر اساس نتایج میانگین غلظت فلزات Pb, Zn, Cr و Cd در آب به ترتیب $۰/۶۲ \pm ۰/۳۱$ ، $۰/۴۵ \pm ۰/۶۵$ ، $۰/۲۵ \pm ۰/۴۱$ و $۰/۴۵ \pm ۰/۲۹$ و در رسوب $۰/۰۶ \pm ۰/۳۱$ ، $۰/۲۰ \pm ۰/۶۵$ ، $۰/۲۵ \pm ۰/۴۱$ و $۰/۴۵ \pm ۰/۲۹$ $\mu\text{g/g}$ اندازه‌گیری شد. نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد میانگین فلزات و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری هستند ($P < ۰/۰۵$). آزمون T-test نیز اختلاف معنی‌داری را در مقایسه غلظت فلزات و پارامترها (به‌جز DO و دانه‌بندی) بین دو فصل نشان داد ($P < ۰/۰۵$). بررسی ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی (pH, EC, TDS، دما و شوری) و میزان فلزات در آب رودخانه نشان داد پارامترهای مختلف بر میزان انحلال فلزات در آب رودخانه تأثیر متفاوتی دارند. ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب با میزان فلزات در رسوبات رودخانه نیز نشان داد اندازه ذرات رسوب تأثیر قابل توجهی بر توزیع مکانی و تجمع فلزات در رسوب ندارد، درحالی‌که درصد مواد آلی با میزان تمام فلزات رابطه مثبت معنی‌داری نشان داد. یافته‌های این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد توزیع پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین در رودخانه کارون ارائه می‌دهد که می‌تواند به نظارت و ارزیابی آب در منطقه کمک کند.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، پارامترهای فیزیکوشیمیایی، رسوبات، آبگیر تصفیه‌خانه‌ها.

مقدمه

با رشد سریع جمعیت و توسعه صنایع مختلف و گسترش مناطق کشاورزی متأسفانه آلودگی منابع آبی روزبه‌روز در حال افزایش است و امروزه علاوه بر آلودگی میکروبی، آلودگی شیمیایی نیز یکی از مسائل مهم در بحث بهداشت آب می‌باشد (Adel et al., 2016). آلاینده‌های محیط زیستی از جمله عوامل مختل‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی به شمار می‌روند و از میان آن‌ها فلزات سنگین به علت اثرات سمی، پایداری بالا و پتانسیل بالای تجمع زیستی قابل توجه هستند (Yuan et al., 2011). زیست‌بوم‌های آبی به دلیل این‌که از قابلیت‌های بالایی از نظر توسعه برخوردارند، در معرض خطرات جدی‌تری از فلزات سنگین قرار دارند (مر و همکاران، ۱۳۹۰). از مواردی که در بررسی آلودگی محیط‌های شهری

فریبا هدایت‌زاده^{۱*}

حمیدرضا پورخباز^۲

میترا چراغی^۳

۱. دانشجوی دکترای محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران

*مسئول مکاتبات:

Hedayatzadeh.fariba@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۲۰۶۳۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲

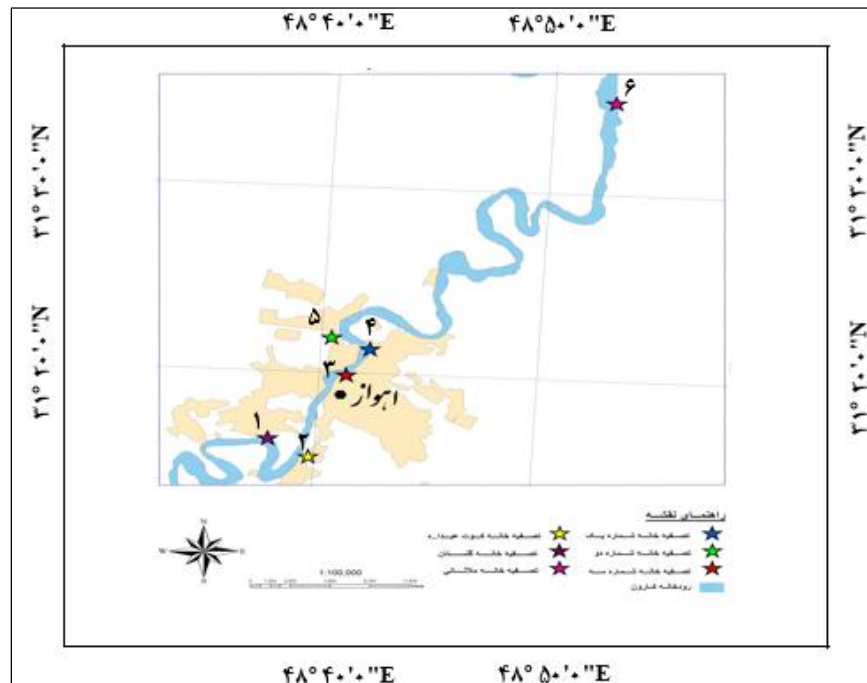
این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.



موردتوجه زیادی قرار گرفته است، رودخانه‌های شهری است که فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها از منابع مختلف وارد آن‌ها می‌شوند (رومیانی و پاینده، ۱۳۹۶). امروزه به علت استقرار مناطق شهری و روستایی و تمرکز واحدهای صنعتی در اطراف رودخانه‌ها، این بوم سامانه‌ها به شدت در معرض ورود آلاینده‌های فلزی قرار دارند (Mohiuddin *et al.*, 2011). کیفیت و کمیت آب رودخانه‌ها تحت تأثیر فاضلاب ورودی نواحی شهری و صنعتی و رواناب نواحی کشاورزی حوضه قرار می‌گیرد و بالطبع افزایش غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه‌ها را در پی دارند (اقبال شمس‌آباد و همکاران، ۱۳۸۹). در این میان رودخانه کارون تأمین‌کننده‌ی آب برای صنایع و منبع آب آشامیدنی برای شهرستان‌های مختلف می‌باشد و ماهی‌های آن یکی از منابع اصلی تغذیه مردم منطقه هستند (Karamouz *et al.*, 2004). باین‌وجود جریان‌ات بازگشتی کشاورزی، فاضلاب خانگی شهرستان‌ها و روستاها و پساب‌های صنعتی از جمله منابع نقطه‌ای آلودگی رودخانه کارون هستند که در نتیجه حضور آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین در کارون می‌تواند باعث آلودگی مواد غذایی شود (راست‌منش و همکاران، ۱۳۹۴). اگرچه فلزات به‌طور طبیعی در سنگ و خاک‌ها وجود دارند، اما نسبت ورود فلزات به سیستم خاک به‌طور مداوم از طریق فعالیت‌های انسانی در طول دهه گذشته افزایش یافته است (Sayadi *et al.*, 2015). فلزات سنگینی که توسط منابع طبیعی و انسانی به درون سیستم رودخانه‌ای تخلیه شده‌اند در طول انتقال، بین فازهای آبی و رسوبات بستر توزیع می‌شوند (بزی، ۱۳۹۴). به دلیل جذب، هیدرولیز و ته‌نشینی، تنها بخش کوچکی از یون‌های فلزی آزاد به‌صورت حل شده در آب باقی می‌ماند و مقدار زیادی از آن‌ها در رسوبات نهشته می‌شوند (Poté *et al.*, 2008). هنگامی که فلزات وارد این نواحی می‌شوند، بیشتر آن‌ها ته‌نشین می‌شود و با رسوبات، مواد آلی، اکسیدهای آهن و منگنز، سولفیدها و رس‌ها ترکیب می‌شوند (Karsten *et al.*, 2008). از آنجایی که آب و رسوبات در سیستم‌های آبی به آلاینده‌های فلزات سنگین بسیار حساس هستند و افزایش تدریجی آلاینده‌ها در یک اکوسیستم آبی خطر جدی و مسئله مهمی محسوب می‌شود. لذا آگاهی از میزان این آلاینده‌ها و پراکنش آن‌ها در محیط‌های آبی برای حفظ محیط‌زیست و سلامت موجودات زنده از جمله انسان بسیار حائز اهمیت است (راست‌منش و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین یکی از دلایلی که سبب اهمیت بررسی فلزات موجود در آب و رسوبات می‌شود، این است که بسیاری از گونه‌های زیستی بخش عمده‌ی زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند. پس در مجموع آب و رسوبات به‌منزله‌ی معرف و شناساگر مهمی برای آلودگی مطرح‌اند و می‌توانند برای برآورد میزان آلودگی در محیط‌زیست و خصوصاً محیط‌های آبی استفاده شوند (میرزایی و سلگی، ۱۳۹۴). تجمع فلزات سنگین در آب و رسوبات به فاکتورهای محیطی بسیاری مانند دما، جامدات محلول، شوری، اسیدیته، نوع و غلظت مواد آلی و غیر آلی در رسوبات، دانه‌بندی ذرات رسوبات بستر و میزان فلز در محیط بستگی دارد (Karsten *et al.*, 2008). مطالعات متعددی در زمینه‌ی بررسی تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و رسوبات بر تجمع و توزیع غلظت فلزات سنگین صورت گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهش آقاولی و همکاران (۱۳۹۵) (منابع آب زیرزمینی منطقه شهراب در شهرستان اردستان)، مطالعه فاضلی و شعبانی فرد جهرمی (۱۳۹۴) (تالاب میقان اراک)، میرزاییگی و همکاران (۱۳۹۵) (منابع تأمین آب آشامیدنی روستاهای تربت حیدریه)، سبحان اردکانی و همکاران (۱۳۹۵) (رودخانه کلین کبود مریوان)، مطالعه بهروش و پورخیز (۱۳۹۲) (تالاب انزلی) و نیز مطالعه پری‌زنگنه و لاکان (۱۳۸۶) (سواحل دریای خزر) اشاره کرد. از مطالعات خارجی انجام شده در این زمینه نیز می‌توان به پژوهش‌های Custodio و همکاران (۲۰۲۰)، Pathirana و همکاران (۲۰۱۹)، Bhatti و همکاران (۲۰۱۸)، Yan و همکاران (۲۰۱۸)، Manikandan و همکاران (۲۰۱۶)، Edokpayi و همکاران (۲۰۱۶)، Vincent-Akpu و همکاران (۲۰۱۵)، Marchand و همکاران (۲۰۱۱) و مطالعه Schmitt و همکاران (۲۰۰۲) اشاره کرد. با توجه به اینکه در مطالعات مختلف، پارامترهای فیزیکوشیمیایی مختلف در آب و رسوبات به‌عنوان متغیرهای مهم و مؤثر در غلظت و توزیع مکانی فلزات سنگین در محیط‌های آبی دانسته شده است، لذا در این مطالعه علاوه بر بررسی غلظت فلزات (سرب، روی، کروم و کادمیوم) و پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوبات در بین فصول و ایستگاه‌های مختلف، تحلیل همبستگی برای بررسی احتمال تأثیر این پارامترها بر پراکنش و غلظت آلاینده‌ها در طول بخشی از رودخانه کارون انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه رودخانه کارون در استان خوزستان را در برمی‌گیرد که با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی محدود می‌شود. رودخانه کارون یکی از پرآب‌ترین و طولی‌ترین رودخانه‌های ایران بوده و رواناب مناطق وسیعی از کشور را جمع‌آوری نموده و به خلیج فارس می‌رساند. طول رودخانه کارون ۹۵۰ کیلومتر است و حوضه آبریز آن منطقه‌ای به وسعت ۶۶۹۳۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود (راست‌منش و همکاران، ۱۳۹۴). امروزه آلودگی آب رودخانه کارون به دلیل برداشت بی‌رویه آب از رودخانه و تخلیه فاضلاب به آن زندگی آبیان آن را به خطر انداخته است. بخش زیادی از آب کشاورزی توسط زه‌کشی و جریان‌های برگشتی به رودخانه بازمی‌گردد. جریان‌های بازگشتی دارای غلظت بالایی از کودهای شیمیایی، فلزات سنگین، مواد معلق و مواد جامد محلول و آفت‌کش‌ها است که ناقض استاندارد ملی پساب می‌باشد. جریان‌های بازگشتی کشاورزی، فاضلاب خانگی شهرستان‌ها و روستاها و پساب‌های صنعتی منابع نقطه‌ای آلودگی رودخانه کارون هستند (Karamouz et al., 2004). یکی از دلایلی که سبب توجه به آلودگی رودخانه کارون شده است، تخلیه انواع فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به آن می‌باشد که در واقع منابع اصلی آلوده‌کننده رودخانه می‌باشند. در این مطالعه، نمونه‌برداری از ۶ ایستگاه مختلف در طول رودخانه کارون صورت گرفته است. ایستگاه‌ها بر اساس نقاط تأمین آب تصفیه‌خانه‌های آب شرب در محدوده شهرستان ملاتانی تا شهر اهواز انتخاب شده‌اند. مکان‌یابی نمونه‌ها و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) اندازه‌گیری شد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	تصفیه‌خانه گلستان	۴۸°۴۲'۱۶"	۳۱° ۲۱'۲۰"
۲	تصفیه‌خانه کوت عبدالله	۴۸°۴۱'۱۵"	۳۱°۱۹'۵۴"
۳	تصفیه‌خانه شماره ۳	۴۸°۳۹'۴۵"	۳۱°۱۵'۲۸"
۴	تصفیه‌خانه شماره ۱	۴۸°۴۰'۲۸"	۳۱°۲۱'۵۴"
۵	تصفیه‌خانه شماره ۲	۴۸°۳۷'۵۱"	۳۱°۱۶'۲۲"
۶	تصفیه‌خانه ملاثانی	۴۸°۵۲'۴۹"	۳۱°۳۴'۵۹"

نمونه‌برداری از آب و رسوبات ایستگاه‌ها در دو فصل تابستان و زمستان جهت بررسی دقیق تأثیر تغییرات فصلی بر میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و نیز غلظت فلزات سنگین انجام پذیرفت. در فصل زمستان به دلیل بارش‌های بیشتر و در نتیجه افزایش حجم کلی و جریان آب رودخانه، میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی و غلظت فلزات سنگین تحت تأثیر شرایط تلاطم و جریان آب در این فصل قرار می‌گیرند، ولی در فصل تابستان رودخانه عمدتاً با کاهش شدید بارندگی، کاهش شدت جریان آب و در نتیجه کاهش دبی آب و نیز کاهش رواناب‌های ورودی به رودخانه و تا حدی افزایش میزان تبخیر مواجهه است که این فرآیندها نیز به‌طور قابل توجهی بر میزان تغییرات پارامترها و غلظت فلزات سنگین مؤثر هستند، لذا دو فصل مذکور جهت بررسی اهداف مطالعه حاضر انتخاب شدند. به این ترتیب که نمونه‌های آب از عمق تقریبی ۰/۵ تا ۱ متر سطح آب به‌وسیله ظروف پلی‌اتیلنی برداشت گردید، سپس به‌وسیله کاغذ صافی واتمن صاف و با اسید نیتریک غلیظ تثبیت شد و به آزمایشگاه منتقل شدند. برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری‌ها، در هر ایستگاه، سه نمونه آب و رسوب سطحی جمع‌آوری شد. برای بررسی آلودگی رسوبات نیز، نمونه‌های رسوب سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) از ۶ ایستگاه مطالعاتی ذکرشده در طول رودخانه کارون جمع‌آوری شد. رسوبات سطحی هر نمونه در کیسه‌های پلاستیکی در یک جعبه یخ نگهداری شدند. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه گروه محیط‌زیست دانشگاه صنعتی خاتم‌الأنبیاء (ص) بهبهان در استان خوزستان منتقل و در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای مراحل هضم نگهداری شد (Delman et al., 2006). برای آنالیز فلزات سنگین، مواد زائد نمونه رسوبات در آزمایشگاه جدا شدند. نمونه‌ها با استفاده از آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک و پس‌از آن در هاون کوبیده و برای به دست آوردن جزء کوچک‌تر از ۰/۶۳ میکرون الک شدند. سپس نمونه‌ها در ظروفی که از قبل با اسید شسته شده بودند برای استفاده آینده نگهداری شدند. برای تعیین غلظت فلزات (سرب، روی، کروم و کادمیوم)، حدود ۱ گرم رسوبات خشک‌شده در ۱۰ میلی‌لیتر محلول مخلوط اسید نیتریک غلیظ (HNO₃) (۶۵ درصد) و اسید پرکلریک (HClO₄) (۷۰ درصد) در نسبت ۴:۱ به درون لوله‌آزمایش ریخته شدند (Yap et al., 2002). برای هضم اولیه، نمونه‌ها در دمای پایین (۴۰ درجه سانتی‌گراد) به مدت ۱ ساعت و سپس برای هضم کامل، در ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت هضم شدند (Naji and Ismail, 2012). جهت تجزیه و تحلیل فلزات و هضم نمونه‌های آب نیز، ۲۰ میلی‌لیتر از نمونه‌های آب با ۵ میلی‌لیتر اسید HNO₃ (۶۹ درصد) و ۲ میلی‌لیتر اسید H₂O₂ (۳۰ درصد) ترکیب شدند (Islam et al., 2015). نمونه‌های هضم شده با آب دو بار تقطیر رقیق شده و از طریق کاغذ صافی واتمن ۴۲ به درون بالن‌های حجمی ۲۵ میلی‌لیتری از قبل تمیز شده فیلتر شدند و تا زمان تزریق به دستگاه جذب اتمی در ظروف مخصوص در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند. عصاره نمونه‌ها برای اندازه‌گیری غلظت فلزات با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی شعله Shimadzu (AA-670G) استفاده شدند. برای جلوگیری از آلودگی‌های نامشخص، تمام تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده را دو بار با آب دو بار تقطیر (DDW) شستشو داده و در HNO₃ ۱۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت گذاشته شدند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به‌وسیله جذب اتمی، ابتدا با استفاده از محلول‌های استاندارد آماده شرکت مرک آلمان دستگاه جذب اتمی کالیبره شد و دستگاه آماده معرفی نمونه‌ها به دستگاه شد.

علاوه بر سنجش فلزات سنگین برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و رسوب نیز مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت. پارامترهای درجه حرارت آب (T)، کل جامدات محلول آب (TDS)، درصد شوری (SAL)، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO) و pH در دو فصل تابستان و زمستان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در رودخانه کارون سنجش گردید. سنجش برخی از این پارامترها در آزمایشگاه مرکزی آب و فاضلاب اهواز صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری درجه حرارت آب رودخانه از ترمومتر جیوه‌ای استفاده شد. جهت اندازه‌گیری پارامترهای pH از دستگاه pH meter مدل (WTW- inolab 720)، اکسیژن محلول از دستگاه DO meter مدل (WTW- oxi 340i)، هدایت الکتریکی نیز از دستگاه HACH مدل (Sens ion5) استفاده گردید. شوری نیز توسط دستگاه HACH مدل (PCD650) اندازه‌گیری شد. تعیین درصد مواد آلی رسوبات (TOM) در هر ایستگاه بر اساس روش استاندارد معرفی شده توسط (Allison, 1973) استفاده گردید. مقادیر به دست آمده در رابطه (۱) قرار داده شدند و مقدار درصد مواد آلی در هر ایستگاه به دست آمد.

$$\%TOM = (A - B/A - C) \times 100 \quad \text{رابطه ۱:}$$

A = وزن بوته چینی و رسوب خشک شده به مدت ۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون

B = وزن بوته و رسوب سوخته شده به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره

C = وزن بوته‌چینی خالی

آنالیز دانه‌بندی رسوبات طبق روش استاندارد معرفی شده توسط (Buchanan, 1984) انجام گرفت. بر اساس روش مذکور ابتدا مقداری از رسوبات به پتری دیش منتقل شد و به مدت ۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا رسوب خشک شود، پس از سرد شدن رسوب ۲۵ گرم از رسوب خشک شده را برداشته و به یک بشر ۵۰۰ سی‌سی منتقل گردید. سپس مقدار ۲۵۰ سی‌سی آب مقطر و ۱۰ سی‌سی محلول ۶/۲ گرم در لیتر هگزامتافسفات به بشر اضافه گردید. سپس محتویات بشر به مدت ۱۵ دقیقه هم زده شد و اجازه داده شد تا رسوب ته‌نشین شود. پس از گذشت یک ساعت مجدداً محتویات بشر را به مدت ۱۵ دقیقه به هم زده و پس از آن رسوب را از یک الک با چشمه ۰/۰۶۳ میلی‌متر عبور داده و آن قدر شست‌وشو داده شد تا دیگر رسوبی از الک خارج نشود. آنگاه رسوب باقیمانده درون الک را به یک پتری دیش منتقل کرده و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد و پس از خشک شدن، رسوبات از یک سری الک استاندارد با چشمه‌های (۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵، ۰/۰۶۳) عبور داده شد. رسوبات باقیمانده در هر الک با دقت خارج و با ترازوی حساس وزن گردید و به این ترتیب وزن و درصد حضور هر یک از دانه‌های رسوبی در کل رسوبات محاسبه گردید. درصد اندازه هر گروه از ذرات رسوب بر مبنای شن (قطر بیش از ۰/۱۲۵ میلی‌متر)، ماسه (قطر بین ۰/۰۶۳-۰/۱۲۵ میلی‌متر)، سیلت و رس (قطر کمتر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر) تفکیک گردید. با استفاده از رابطه (۲) درصد حضور دانه‌بندی رسوبات محاسبه شد.

$$GSA = \frac{m \times 100}{25} \quad \text{رابطه ۲:}$$

GSA: درصد حضور دانه‌بندی رسوبات

M: وزن رسوب

نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS (نسخه ۲۲) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلیک صورت گرفت. برای آنالیز اختلاف معنی‌داری با ضریب اطمینان ۹۵ درصد ($p=0/05$) میانگین داده‌های مربوط به پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب و رسوب و غلظت فلزات در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) استفاده شد. با توجه به همگنی واریانس‌ها بر اساس آزمون لون و نیز معنی‌دار بودن اختلاف میانگین داده‌ها در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از آزمون تعقیبی (Post Hoc) دانکن جهت تعیین و تفکیک ایستگاه‌های دارای اختلاف استفاده گردید. جهت بررسی اختلاف احتمالی این فاکتورها و غلظت فلزات سنگین

مورد مطالعه در دو فصل مورد مطالعه نیز از آزمون T-test استفاده شد. بررسی و تعیین میزان ارتباط و همبستگی غلظت فلزات سنگین با یکدیگر و با پارامترهای فیزیکوشیمیایی در آب و رسوب نیز آنالیز همبستگی پیرسون به کار برده شد. جهت ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب در ایستگاه‌های تحت بررسی از نظر میزان پارامترهای فیزیکوشیمیایی در دو فصل تابستان و زمستان در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در جدول (۲) میانگین پارامتر pH در فصل تابستان ۷/۸۳ و در فصل زمستان ۷/۰۰۶ می‌باشد. بر اساس آزمون T-test بین میانگین این پارامتر در دو فصل تابستان و زمستان اختلاف معنی‌داری وجود داشته است ($P < 0.05$). بر اساس آزمون تعقیبی دانکن این پارامتر در فصل تابستان در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ با میانگین ۸/۰۳ بیشترین میزان را داشته و در فصل زمستان ایستگاه ۳ با میانگین ۶/۲۷ کمترین مقدار را داشته است. میانگین پارامتر EC در ایستگاه‌های نمونه برداری نشان می‌دهد که مقدار آن در فصل تابستان ۳۲۸۲/۷۸ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و در فصل زمستان ۲۴۴۷/۵۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده است. نتایج آزمون T-test نیز نشان داد که بین میانگین این پارامتر در دو فصل نمونه برداری اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). بالاترین میانگین EC در فصل تابستان با ۵۱۹۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در ایستگاه شماره ۴ و کمترین میانگین آن در فصل زمستان با ۲۲۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در ایستگاه ۶ بر اساس آزمون دانکن ثبت شده است. بر اساس جدول ۲ میانگین پارامتر DO در فصل تابستان و زمستان به ترتیب ۴/۷۳ و ۵/۶۶ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. بر اساس آزمون T-test بین میانگین این پارامتر در دو فصل مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است ($P > 0.05$). بیشترین میانگین اکسیژن محلول در فصل زمستان در ایستگاه ۵ با ۶/۸۶ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میانگین آن در فصل تابستان با ۱/۷۰ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه ۴ ثبت گردید. نتایج حاصل از جدول ۲ مبین آن است که میانگین پارامتر TDS در فصل تابستان ۲۰۶۰/۱۵ و در فصل زمستان ۱۵۴۵/۲۷ می‌باشد. بر اساس نتایج آزمون T-test بین میانگین این پارامتر در دو فصل مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود داشته است ($P < 0.05$). بالاترین میانگین این پارامتر با ۳۲۶۹/۷۰ در فصل تابستان و کمترین مقدار آن با میانگین ۱۴۴۴/۸۰ در فصل زمستان در ایستگاه ۶ بوده است (بر اساس آزمون دانکن). نتایج میانگین دما در فصل تابستان و زمستان به ترتیب ۲۹/۴۰ و ۲۰/۹۰ درجه سانتی‌گراد بوده است. نتایج آزمون T-test اختلاف معنی‌داری را بین میانگین این پارامتر در دو فصل نشان داده است ($P < 0.05$). همچنین بر اساس آنالیز واریانس یک‌طرفه بین میانگین این پارامتر در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری وجود داشته است ($P < 0.05$); که بر اساس آزمون تعقیبی دانکن بیشترین میزان درجه حرارت در فصل تابستان در ایستگاه ۲ با میانگین ۳۰/۵۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان در فصل زمستان در ایستگاه ۵ با میانگین ۱۹/۴۱ درجه سانتی‌گراد ثبت گردیده است.

جدول ۲: خلاصه اطلاعات پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب ایستگاه‌های تأمین آب تصفیه‌خانه‌های آب شرب اهواز و

ملاطانی در سال ۱۳۹۴.

ایستگاه	pH		EC		DO		TDS		دما (C)		شوری (%)	
	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان
۱	۸/۰۲ ^a	۶/۷۹ ^C	۲۹۳۳/۳ ^c	۲۳۹۰/۳ ^c	۶/۸۶ ^a	۵/۹۶ ^b	۱۸۴۸ ^c	۱۵۰۵/۷ ^c	۲۵/۲۶ ^b	۲۵/۲۶ ^b	۲/۸۱ ^{bc}	۲/۲۹ ^b
۲	۸/۰۲ ^a	۷/۲۴ ^b	۲۹۶۶/۶ ^{bc}	۲۴۱۰/۰۴ ^c	۶/۱۵ ^{ab}	۶ ^b	۱۸۶۹ ^{bc}	۱۵۱۸/۳ ^c	۳۰/۵ ^a	۲۰/۸ ^b	۲/۸۸ ^b	۲/۳۳ ^b
۳	۸/۰۵ ^a	۶/۲۷ ^d	۳۰۳۶/۶ ^b	۲۴۹۰/۰۱ ^b	۵/۸۷ ^b	۶/۷ ^a	۱۹۱۳/۱ ^b	۱۵۶۸/۷ ^b	۳۰/۳ ^a	۲۰/۸ ^b	۲/۹۳ ^b	۲/۴۳ ^b
۴	۷/۵۸ ^b	۷/۶۹ ^a	۵۱۹۰ ^a	۲۵۰۸/۳ ^{bc}	۱/۷ ^c	۱/۷ ^c	۳۲۶۹/۷ ^a	۱۶۶۱/۱ ^b	۲۹/۸۳ ^a	۲۰/۹۳ ^b	۴/۷۵ ^a	۳/۹۲ ^a

ایستگاه	pH		EC		DO		TDS		دما (°C)		شوری (%)	
	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان
۵	۶/۴۸ ^{cd}	۷/۹۸ ^a	۲۶۲۶/۶۷ ^a	۵/۹۱ ^b	۶/۸۶ ^a	۱۸۷۹/۵ ^{bc}	۱۶۵۴/۸ ^a	۳۰/۱۳ ^a	۱۹/۴۱ ^c	۲/۹ ^b	۲/۵۶ ^b	۲/۵۶ ^b
۶	۷/۵۴ ^{ab}	۷/۳۱ ^c	۲۲۶۰ ^d	۱/۸۹ ^c	۶/۷۳ ^a	۱۶۲۹/۶ ^d	۱۴۴۴/۸ ^d	۳۰/۳۶ ^a	۲۲/۸۳ ^a	۲/۴۶ ^c	۱/۸۹ ^b	۱/۸۹ ^b
Mean	۷/۰۰	۷/۸۶	۲۴۴۷/۵	۴/۷۳	۵/۶۶	۲۰۶۸/۱	۱۵۵۸/۹	۲۹/۳۹	۲۰/۹۰	۳/۱۲	۲/۵۷	۲/۵۷

حروف غیرمشترک (a, b, c و...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) بین ایستگاه‌ها از نظر میانگین پارامترهای فیزیکی شیمیایی در نمونه‌های آب است.

میانگین غلظت فلزات سنگین (Cd و Cr, Zn, Pb) در نمونه‌های آب از ایستگاه‌های مطالعاتی در فصل زمستان و نیز میزان آن‌ها در فصل تابستان همین سال که توسط نویسندگان مقاله حاضر (پورخیز و همکاران، ۱۳۹۵) محاسبه و گزارش شده است، در جدول ۳ آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین غلظت فلزات در بین دو فصل با استفاده از آزمون T-test نشان داد که غلظت فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های آب در دو فصل تابستان و زمستان دارای تغییرات معنی‌داری بوده است ($P < 0.05$). مقایسه غلظت فلزات در نمونه‌های آب بین ایستگاه‌های مختلف بر اساس آزمون تعقیبی دانکن نیز نشان داد بیشترین غلظت فلزات در بخش آب در ایستگاه شماره ۲ یعنی محل آبگیر تصفیه‌خانه کوت‌عبدالله و کمترین غلظت این فلزات در ایستگاه شماره ۶ یعنی محل آبگیر تصفیه‌خانه ملاثانی مشاهده شد.

جدول ۳: میانگین فصلی ($\pm Sd$) غلظت فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) در آب در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری رودخانه کارون در سال ۱۳۹۴.

ایستگاه	pb		Zn		Cr		Cd	
	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان	زمرستان	تابستان
۱	۳/۱۷ ^b ±۰/۶۸	۴/۱۹ ^{bc} ±۰/۳۶	۶/۶۸ ^b ±۱/۴۶	۲/۰۵ ^{bc} ±۰/۲۷	۴/۱۸ ^{ab} ±۰/۸۴	۹/۱۵ ^b ±۰/۳۶	۰/۲۳ ^a ±۰/۰۵	۰/۳۲ ^a ±۰/۰۱
۲	۲/۴۹ ^{ab} ±۰/۶۹	۶/۸۳ ^d ±۰/۸۲	۹/۰۷ ^b ±۲/۷	۱/۳۸ ^{ab} ±۰/۴۹	۵/۵۷ ^b ±۱/۲۲	۹/۹۱ ^c ±۰/۳	۰/۳۸ ^b ±۰/۰۲	۰/۴۶ ^a ±۰/۰۱۶
۳	۲/۶۹ ^{ab} ±۰/۸۷	۳/۱۵ ^{ab} ±۰/۹۹	۸/۳۶ ^b ±۱/۹۱	۲/۷۵ ^c ±۰/۴۶	۴/۵۹ ^b ±۱/۰۳	۱۰/۸۰ ^d ±۰/۴۱	۰/۳ ^a ±۰/۰۳	۰/۳۳ ^a ±۰/۰۰۵
۴	۵/۲۸ ^{ab} ±۰/۴۷	۵/۵۵ ^{cd} ±۰/۹۹	۸/۳۹ ^b ±۰/۹۶	۲/۰۶ ^{bc} ±۱/۱۷	۴/۸۶ ^b ±۱/۴۸	۴/۹۲ ^a ±۰/۶۲	۰/۲۳ ^a ±۰/۰۶	۰/۵۰ ^a ±۰/۰۰۸
۵	۱/۸۳ ^a ±۰/۲۵	۲/۳۵ ^{ab} ±۰/۳۹	۷/۵۴ ^b ±۱/۹۵	۱/۷۸ ^{abc} ±۰/۳۵	۳/۸۱ ^{ab} ±۰/۹۶	۸/۵۵ ^b ±۰/۳۶	۰/۲۵ ^a ±۰/۰۷	۰/۴۴ ^a ±۰/۰۰۹
۶	۱/۵۳ ^a ±۰/۴۶	۱/۷۳ ^a ±۰/۴۸	۲/۲۷ ^a ±۰/۷۹	۰/۸ ^a ±۰/۰۶	۲/۲۳ ^a ±۰/۸۷	۷/۰۲ ^b ±۰/۳۲	۰/۲ ^a ±۰/۰۲	۰/۳۳ ^a ±۰/۰۰۳
Mean	۲/۳۳±۰/۵۷	۳/۹۶±۰/۶۷	۷/۰۵±۱/۶۲	۱/۸۰±۰/۴۶	۴/۲۰±۱/۰۶	۸/۳۹±۰/۳۹	۰/۲۴±۰/۰۴	۰/۳۹±۰/۰۰۸

حروف غیرمشترک (a, b, c و...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) بین ایستگاه‌ها از نظر میانگین غلظت عناصر در نمونه‌های آب است.

جهت بررسی همبستگی بین پارامترهای فیزیکی شیمیایی (pH, EC, TDS, DO, دما و درصد شوری) و غلظت فلزات سنگین (سرب، روی، کروم و کادمیوم) از آزمون همبستگی پیرسون استفاده گردید. در جدول ۴ نتایج آنالیز همبستگی این پارامترها و غلظت فلزات مورد مطالعه در آب آورده شده است. با توجه به داده‌های جدول ۴ ملاحظه می‌گردد بین پارامتر pH و غلظت فلزات سرب و کادمیوم در آب همبستگی وجود ندارد ($P > 0.05$)، ولی بین این پارامتر و غلظت فلزات روی و کروم همبستگی معنی‌دار است ($P < 0.05$). نتایج همبستگی پارامترهای EC و TDS در آب و غلظت فلزات مورد مطالعه نشان داد که میان این دو پارامتر و غلظت فلز سرب در آب همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$)، ولی میان این دو پارامتر و غلظت فلزات روی، کروم و کادمیوم همبستگی معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). بررسی همبستگی میان پارامتر DO و غلظت فلزات مورد مطالعه نشان داد که همبستگی معنی‌داری میان این پارامتر و غلظت فلزات سرب، روی و کادمیوم وجود ندارد ($P > 0.05$)، ولی همبستگی مثبت معنی‌داری میان غلظت فلز کروم و پارامتر DO مشاهده شد ($P < 0.05$). بررسی همبستگی میان پارامتر دما و غلظت فلزات

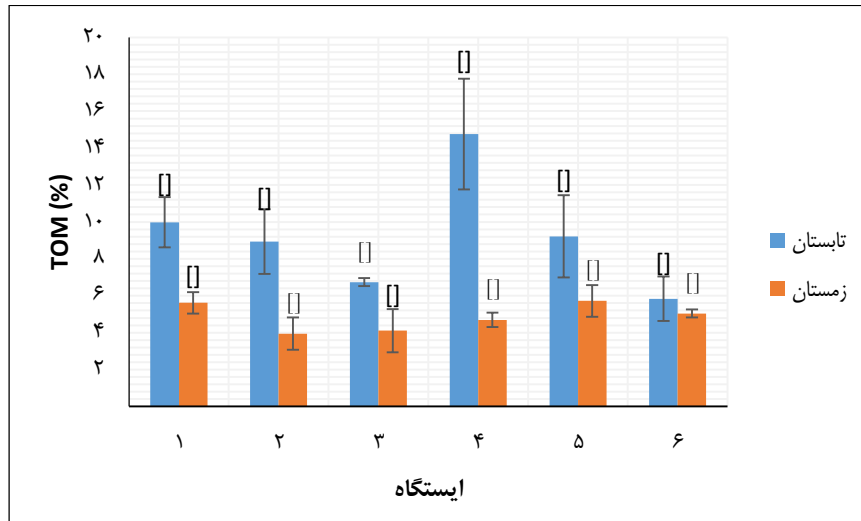
مورد مطالعه در آب نشان داد میان این پارامتر و غلظت فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم همبستگی معنی‌دار است ($P < 0.05$)، نتایج آنالیز همبستگی پارامتر درصد شوری و غلظت فلزات مورد مطالعه در آب نیز نشان داد میان غلظت فلزات سرب و کادمیوم و پارامتر شوری همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$)، ولی میان غلظت فلزات روی و کروم با این پارامتر همبستگی معنی‌دار است ($P < 0.05$).

جدول ۴: نتایج آزمون همبستگی بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی با غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در آب رودخانه.

پارامتر فیزیکوشیمیایی	فلز سنگین	ضریب همبستگی	N	Sig
pH	سرب	۰/۱۷۶ ^{ns}	۳۶	۰/۳۰۶
	روی	۰/۶۱۴*	۳۶	۰/۰۰۰
	کروم	۰/۷۱۸*	۳۶	۰/۰۰۰
	کادمیوم	۰/۲۵۱ ^{ns}	۳۶	۰/۱۴۰
EC	سرب	۰/۲۳۶ ^{ns}	۳۶	۰/۱۶۶
	روی	۰/۶۲۲**	۳۶	۰/۰۰۰
	کروم	۰/۳۴۲**	۳۶	۰/۰۴۱
	کادمیوم	۰/۳۷۶**	۳۶	۰/۰۲۴
DO	سرب	۰/۰۲۶ ^{ns}	۳۶	۰/۹۰۳
	روی	۰/۰۰۸ ^{ns}	۳۶	۰/۹۶۲
	کروم	۰/۵۱۳**	۳۶	۰/۰۰۱
	کادمیوم	۰/۰۶۷ ^{ns}	۳۶	۰/۶۹۷
دما	سرب	۰/۴۷۲**	۳۶	۰/۰۰۴
	روی	۰/۷۵۱**	۳۶	۰/۰۰۰
	کروم	۰/۷۵۴**	۳۶	۰/۰۰۰
	کادمیوم	۰/۵۸۱**	۳۶	۰/۰۰۰
درصد شوری	سرب	۰/۰۲۲ ^{ns}	۳۶	۰/۸۹۸
	روی	۰/۴۹۰**	۳۶	۰/۰۰۲
	کروم	۰/۳۷۳**	۳۶	۰/۰۲۵
	کادمیوم	۰/۰۵۵ ^{ns}	۳۶	۰/۷۵۰

ns* و ** به ترتیب بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

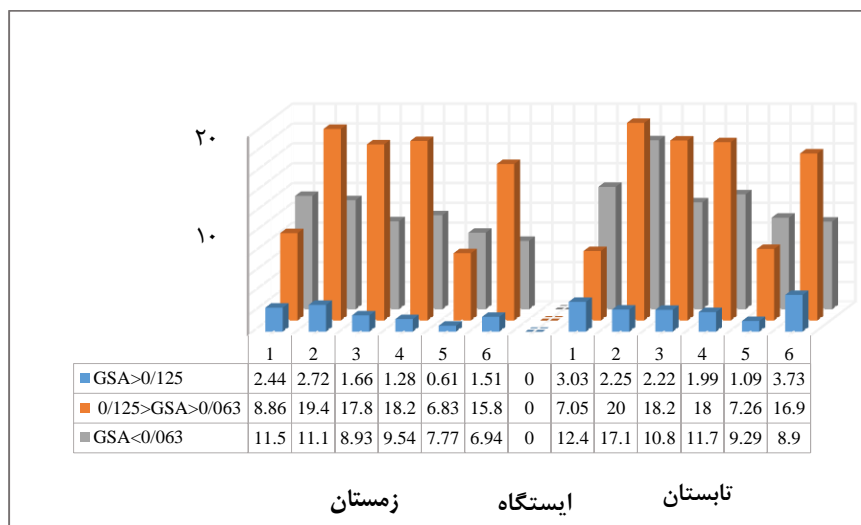
میزان درصد مواد آلی و تغییرات آن در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در بین فصول تابستان و زمستان در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس داده‌ها، میانگین پارامتر درصد مواد آلی در فصل تابستان ۹/۲۴ درصد و در فصل زمستان ۴/۸۵ درصد مشاهده شد که آزمون T-test اختلاف معنی‌داری را بین میانگین این پارامتر در دو فصل نشان داد ($P < 0.05$). بررسی درصد مواد آلی بین ایستگاه‌های مختلف بر اساس نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد در فصل تابستان بین میانگین درصد مواد آلی در ایستگاه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.05$)، ولی در فصل زمستان بین میانگین این پارامتر در ایستگاه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد یافت نشد ($P > 0.05$). بر اساس آزمون تعقیبی دانکن بالاترین میانگین درصد مواد آلی در فصل تابستان در رسوبات ایستگاه ۴ با میزان ۱۴/۷۶ درصد و کمترین مقدار آن در فصل زمستان در ایستگاه ۲ با میانگین ۳/۹۵ درصد ثبت شده است.



شکل ۲: درصد مواد آلی در ایستگاه‌ها و فصول نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۴.

(حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها).

شکل ۳ میانگین درصد دانه‌بندی رسوبات در ایستگاه‌های مختلف و تغییرات میانگین دانه‌بندی ذرات را در بین فصول تابستان و زمستان نشان می‌دهد. در این مطالعه، ذرات غالب در سه محدوده اندازه‌گیری قرار گرفت. ذرات درشت‌تر از ۰/۱۲۵ میلی‌متر (GSA_1)، ذرات ۰/۶۳-۰/۱۲۵ میلی‌متر (GSA_2) و ذرات ریزتر از ۰/۶۳ میلی‌متر (GSA_3)، بر اساس شکل (۲)، نتایج بررسی دانه‌بندی رسوبات در ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داد که ترکیب عمده رسوبات ذرات با ابعاد ۰/۶۳-۰/۱۲۵ میلی‌متر (ماسه ریز) بوده است. نتایج آزمون T نشان داد در ترکیب دانه‌بندی رسوبات بین دو فصل مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$). مقایسه ابعاد مختلف دانه‌بندی رسوبات بین ایستگاه‌های مختلف بر اساس آنالیز واریانس یک‌طرفه نیز نشان داد فقط ذرات با اندازه‌های ۰/۶۳-۰/۱۲۵ میلی‌متر یعنی GSA_2 در بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($P < 0.05$).



شکل ۳: میانگین درصد دانه‌بندی رسوبات بین ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان در سال ۱۳۹۴.

جدول ۵ نتایج حاصل از بررسی میانگین غلظت فلزات سنگین (Cd و Cr, Zn, Pb) در نمونه‌های رسوب از ایستگاه‌های مختلف را در فصل زمستان و نیز میزان آن‌ها در فصل تابستان همین سال که توسط نویسندگان مقاله حاضر (پورخباز و همکاران، ۱۳۹۵) محاسبه و گزارش شده است را نشان می‌دهد. استفاده از آزمون T-test جهت مقایسه میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب در دو فصل تابستان و زمستان دارای تغییرات معنی‌داری بوده است ($P < 0.05$). بر اساس این مقایسه میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب در فصل تابستان بیشتر از فصل زمستان مشاهده گردید. نتایج حاصل از مقایسه غلظت این فلزات در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در دو فصل تابستان و زمستان با استفاده از آزمون تعقیبی دانکن نشان داد که بیشترین میزان فلزات سنگین در بخش رسوب ایستگاه‌ها برای فلزات Cd و Cr, Zn, Pb در ایستگاه ۴ به ترتیب با میزان ۲۹/۱۴، ۸۹/۲۹، ۵۹/۹۸ و ۳/۷۳ میکروگرم بر گرم وزن خشک در فصل تابستان و کمترین میزان این فلزات در بخش رسوب برای فلز سرب در ایستگاه ۱ با میزان ۸/۵۸، روی در ایستگاه ۳ با ۴۹/۷۵، کروم در ایستگاه ۳ با ۳۰ و کادمیوم در ایستگاه ۵ با میزان ۰/۳۱ میکروگرم بر گرم وزن خشک در فصل زمستان بوده است. میانگین غلظت فلزات در رسوبات ایستگاه ۴ که محل تأمین آب تصفیه‌خانه شماره ۱ می‌باشد نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارای بیشترین میزان بود.

جدول ۵: میانگین فصلی ($\pm Sd$) غلظت فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) در بخش رسوب در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری در سال ۱۳۹۴.

ایستگاه	Pb		Zn		Cr		Cd	
	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان
۱	۲۶/۹ ^a ±۰/۵	۸/۵۴ ^a ±۴/۷	۶۶/۷ ^a ±۴/۵	۶۷/۰ ^{bc} ±۱۴/۷	۴۷/۷ ^a ±۱/۳	۳۱/۹ ^b ±۰/۷	۳/۵ ^{ab} ±۰/۵	۰/۴۵ ^a ±۰/۰۵
۲	۲۴/۸ ^a ±۷/۴	۱۶/۴ ^{ab} ±۵/۴	۸۷/۴ ^b ±۶/۸	۵۸/۳ ^{abc} ±۵/۰۲	۵۶/۸ ^a ±۳/۲	۳۰/۷ ^b ±۱/۲	۳/۳ ^a ±۰/۴	۰/۴۷ ^a ±۰/۰۸
۳	۲۸/۴ ^a ±۸/۲	۱۱/۱۱ ^{ab} ±۱/۹	۶۸/۸ ^a ±۱۰/۷	۴۹/۷ ^a ±۸/۵	۵۳/۹ ^a ±۱۰/۲	۲۷/۸ ^a ±۰/۸	۴/۳ ^{bc} ±۰/۵	۰/۳۲ ^a ±۰/۰۸
۴	۲۹/۱ ^a ±۱/۰۵	۲۵/۵ ^c ±۲/۲	۸۹/۳ ^b ±۴/۹	۷۲/۴ ^c ±۱۰/۷	۵۹/۹ ^a ±۰/۲	۳۱/۹ ^b ±۰/۳	۴/۷ ^c ±۰/۴	۰/۶۵ ^a ±۰/۰۵
۵	۲۳/۹ ^a ±۳/۹	۸/۶ ^a ±۳/۳	۵۹/۹ ^a ±۳/۷	۵۳/۰ ^a ±۴/۱	۴۸/۶ ^a ±۳/۰۶	۳۱ ^b ±۰/۵	۳/۶ ^{ab} ±۰/۳	۰/۳۱ ^a ±۰/۱
۶	۲۴/۵ ^a ±۴/۲	۱۰/۳ ^{ab} ±۱/۶	۶۱/۸ ^a ±۱۱/۲	۵۶/۷ ^{abc} ±۱/۴	۵۳/۷ ^a ±۶/۶	۲۸/۲ ^a ±۱/۷	۳/۴ ^a ±۰/۳	۰/۳۶ ^a ±۰/۲۸
Mean	۲۶/۲±۴/۲	۱۳/۴±۳/۲	۷۲/۳±۷/۰۱	۵۹/۵±۷/۴	۵۳/۴±۴/۱	۳۰/۲±۰/۹	۳/۸±۰/۴	۰/۴۲±۰/۱

حروف غیرمشترک (a, b, c و ...) در هر ستون، بیان‌گر تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) بین ایستگاه‌ها از نظر غلظت عناصر در نمونه‌های رسوب است.

بررسی همبستگی میان فلزات سنگین مختلف و پارامترهای درصد مواد آلی و ابعاد دانه‌های رسوبات با غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوب با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون نیز صورت گرفت. نتایج آزمون همبستگی میان پارامترها و غلظت فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم در رسوب در جدول ۶ آورده شده است. بر اساس نتایج، بین غلظت فلزات سنگین مختلف باهم و نیز بین پارامتر درصد مواد آلی و غلظت فلزات مورد مطالعه در رسوب همبستگی معنی‌داری وجود دارد ($P < 0.05$). با توجه به مقادیر ضرایب همبستگی رابطه میان پارامتر درصد مواد آلی و غلظت فلزات سنگین در رسوب مثبت است. نتایج بررسی همبستگی میان ابعاد مختلف دانه‌بندی و غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوب نیز با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در جدول ۶ قابل مشاهده است. بر اساس نتایج، همبستگی معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه و ابعاد مختلف دانه‌بندی رسوب وجود ندارد ($P > 0.05$).

جدول ۶: نتایج آزمون همبستگی بین پارامتر درصد مواد آلی و ابعاد مختلف دانه بندی رسوبات با غلظت فلزات سنگین در رسوب.

	Pb	Zn	Cr	Cd	TOM	GSA _۱	GSA _۲	GSA _۳
Pb	ضریب همبستگی	۱/۰۰						
	سطح معنی داری							
Zn	ضریب همبستگی	۰/۴۳۶**	۱/۰۰					
	سطح معنی داری	۰/۰۰۸						
Cr	ضریب همبستگی	۰/۶۸۳**	۰/۶۵۲**	۱/۰۰				
	سطح معنی داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱					
Cd	ضریب همبستگی	۰/۷۳۹**	۰/۵۰۵**	۰/۹۴۴**	۱/۰۰			
	سطح معنی داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱				
TOM	ضریب همبستگی	۰/۴۹۰**	۰/۵۵۶**	۰/۶۹۷**	۰/۷۲۸**	۱/۰۰		
	سطح معنی داری	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱			
GSA _۱	ضریب همبستگی	-۰/۰۲۵	۰/۰۳۹	۰/۱۰۰	۰/۰۶۳	۰/۰۴۵	۱/۰۰	
	سطح معنی داری	۰/۸۸۷	۰/۸۲۱	۰/۵۶۳	۰/۷۱۵	۰/۷۹۲		
GSA _۲	ضریب همبستگی	۰/۳۲۹	۰/۱۴۲	۰/۰۷۰	۰/۰۶۲	۰/۱۰۴	-۰/۱۲۲	1/00
	سطح معنی داری	۰/۰۵۰	۰/۴۰۹	۰/۶۸۴	۰/۷۱۹	۰/۵۴۸	۰/۴۷۹	
GSA _۳	ضریب همبستگی	۰/۲۳۹	۰/۲۴۵	۰/۳۰۶	۰/۲۶۵	۰/۲۶۶	-۰/۱۳۷	۰/۳۰۶
	سطح معنی داری	۰/۱۶۰	۰/۱۵۰	۰/۰۶۹	۰/۱۱۸	۰/۱۱۷	۰/۴۲۶	۰/۰۷۰

خط تیره زیر اعداد بیانگر وجود ارتباط معنی دار بین فلزات است ($P < 0.01$).

* ($GSA_1 > 0.125$; $GSA_2 > 0.125$; $GSA_3 > 0.063$; $GSA_3 > 0.063$)

بحث و نتیجه گیری

روند تغییرات هدایت الکتریکی آب نشان داد که میزان هدایت الکتریکی در فصل تابستان نسبت به زمستان بیشتر است. افزایش میزان هدایت الکتریکی در فصل تابستان به واسطه افزایش یون های املاح مختلف در طول فصل تابستان، کم بودن جریان آب، تبخیر نسبی آب در این فصل و راه یابی نمک های محلول از دیگر شاخه های رودخانه های مجاور به کارون بوده است و در فصل زمستان با افزایش جریان آب و رقیق شدن نمک های محلول، در مجموع شاخص هدایت الکتریکی کاهش یافته است. مطالعه انجام شده توسط رشماملو و همکاران (۱۳۹۲) نیز نشان داد که میزان هدایت الکتریکی در فصول کم آبی بیشتر از فصول پر آبی ایستگاه های مورد بررسی در رودخانه تجن بوده است که تأیید کننده نتایج این بخش است. روند تغییرات فاکتور pH آب رودخانه نشان داد که pH در فصل زمستان نسبت به فصل تابستان به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. بر اساس گزارش های این کاهش احتمالاً ناشی از: (۱) کاهش فعالیت های بیولوژیکی جانداران آبرزی و جلبک ها در زمستان، (۲) راه یابی آلاینده ها با پایه اسیدی به وسیله رواناب های صنعتی و کشاورزی به رودخانه می باشد (اقبالی شمس آباد و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس نتایج، تغییرات پارامتر DO در فصول کم آبی و پر آبی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری نداشت، ولی به طور کلی بر اساس دامنه تغییرات DO در طی دو فصل، میانگین اکسیژن محلول در فصل زمستان نسبت به تابستان بیشتر بوده است. دلیل این می تواند باشد که املاح در میزان DO اثرات متفاوتی دارند و اگر میزان املاح در آب بالا رود، میزان اکسیژن مولکولی محلول در آب کاهش می یابد (جایگزینی املاح با اکسیژن مولکولی). پس با توجه

به وجود آلودگی بیشتر در فصل تابستان، مقدار DO در تمامی ایستگاه‌ها می‌بایست کاهش یابد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۲). از سویی کاهش دما در فصل زمستان و افزایش جریان و تلاطم آب و همچنین کاهش تبخیر، موجب شده است که میزان اکسیژن محلول در آب افزایش پیدا کند (Engin *et al.*, 2017). نتایج این بخش از پژوهش با نتایج مطالعه برهانی جلودار و همکاران (۱۳۹۲) و مطالعه عباسپور و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت داشته است. در پژوهش Yezbie و Dessie (۲۰۱۹) در بررسی فلزات سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی کیفیت آب دریاچه Tana در اتیوپی علت بیشتر بودن میزان DO در فصول خشک نسبت به فصول تر به این دلیل اشاره گردید که در فصول خشک فعالیت‌های انسانی مانند رواناب‌های کشاورزی و بارندگی‌های غیرمعمول منجر به افزایش میزان کدورت آب و در نتیجه کاهش میزان DO در این فصول می‌شود. بالا بودن TDS حاکی از کیفیت پایین آب رودخانه است که نشانگر وجود انواع مواد جامدی است که به صورت سوسپانسیون و یا به صورت کلوئیدی و حل شده در آب وجود دارند. در این پژوهش میزان TDS در فصل کم‌آبی بیشتر از فصل پرآبی در ایستگاه‌های مورد بررسی بوده است، زیرا در فصول پرآبی که آب رودخانه به مراتب بیشتر است میزان این مواد جامد به مراتب کمتر می‌باشند. نتایج پژوهش رشمالو و همکاران (۱۳۹۲) در رودخانه تجن نیز مؤید این نتیجه است. روند تغییرات پارامتر شوری در طول رودخانه در طی دو فصل تابستان و زمستان در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان نداد، ولی به‌طور کلی نوسانات شوری طی دو فصل، افزایش اندک شوری در تابستان و کاهش آن در زمستان را بیان کرد که دلیل آن کاهش رواناب‌های ورودی به رودخانه و تا حدی افزایش میزان تبخیر در فصل تابستان می‌باشد. به‌طور کلی نتایج حاصل از بررسی غلظت پارامترهای کیفی مختلف در رودخانه نشان می‌دهد که رودخانه در فصل زمستان به دلیل بارش‌های شدید و افزایش دبی آب رودخانه، بالاترین میزان کیفیت و در فصل تابستان به دلیل کاهش شدید بارندگی و کاهش شدت جریان آب و در نتیجه کاهش دبی آب، کمترین میزان کیفیت را دارا بود. الحاق رودخانه‌های شور به همراه فاضلاب صنایع و زهاب‌های کشاورزی که بدون تصفیه مستقیماً وارد رودخانه می‌شوند، موجب افت کیفیت آب رودخانه کارون به‌ویژه در ماه‌های کم آب تابستان می‌شود (مددی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج پژوهش شمسانی و همکاران (۱۳۸۴) و مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی کیفیت آب رودخانه کارون با استفاده از شاخص‌های کیفی آب نشان داد که رودخانه کارون در فصل زمستان شرایط کیفی بهتری را نسبت به فصل تابستان دارا می‌باشد که تأییدکننده نتایج این بخش پژوهش است. نتایج حاصل از بررسی پارامترهای کیفی بین ایستگاه‌های مختلف نیز به‌طور کلی نشان داد ایستگاه شماره ۴ یعنی محل آبرگیر تصفیه‌خانه شماره ۱ در میان سایر ایستگاه‌ها از بدترین شرایط کیفی و زیستی برخوردار است. کم‌ترین میزان اکسیژن محلول در کل دوره نیز در این ایستگاه مشاهده شد. دلیل این است که در بالادست این ایستگاه کانال خروجی فاضلاب شهری به رودخانه واقع شده است. این فاضلاب شهری حاوی مواد معلق بسیار و بار آلی بالا می‌باشد که به همراه زهکش‌های کشاورزی وارد مسیر رودخانه شده و افت کیفیت رودخانه را سبب می‌شوند. در تأیید این مبحث نتایج مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی و محاسبه شاخص WQI در رودخانه کارون و نتایج پژوهش مددی‌نیا و همکاران (۱۳۹۳) نیز گویای آن بود که شاخص کیفیت آب در رودخانه کارون از ایستگاه بالادست تا پایین دست به تدریج کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از همبستگی غلظت فلزات سنگین موردنظر و پارامترهای فیزیکوشیمیایی (DO، TDS، EC، pH، دما و شوری) در آب رودخانه نشان داد در بررسی رابطه غلظت فلزات با پارامتر pH، بین غلظت فلز سرب و کادمیوم با پارامتر pH همبستگی وجود ندارد. بین غلظت فلز روی و pH همبستگی مثبت و بین غلظت فلز کروم و pH همبستگی منفی مشاهده شد. افزایش pH، باعث کاهش انحلال‌پذیری فلزات در آب رودخانه می‌شود. پس همبستگی منفی بین غلظت فلز کروم و pH قابل توجیه است و همبستگی مثبت بین فلز روی و این پارامتر را می‌توان به دلیل بالا بودن بیش‌ازحد این فلز در اثر منابع انتشار آن به رودخانه دانست. بررسی ارتباط غلظت فلزات با پارامترهای EC و TDS نشان داد بین غلظت فلز سرب و این دو پارامتر همبستگی وجود ندارد، ولی بین غلظت فلز روی و این دو پارامتر همبستگی مثبت و بین غلظت فلزات کروم و کادمیوم و این دو پارامتر همبستگی منفی مشاهده گردید. بالا بودن میزان EC و TDS نشان‌دهنده‌ی بالاتر بودن میزان یون‌ها و املاح در آب رودخانه است که افزایش این پارامتر سبب کاهش انحلال‌پذیری فلزات و انتقال بیشتر به رسوبات می‌شود. بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم با پارامتر شوری در آب ارتباطی یافت نشد، ولی بین غلظت فلز روی با این پارامتر همبستگی مثبت و با فلز کروم همبستگی منفی مشاهده شد.

افزایش شوری می‌تواند موجب کاهش انحلال‌پذیری فلزات در آب و در نتیجه کاهش دسترسی زیستی فلزات شود (Yalcin, 2009). پارامتر DO نیز با غلظت فلزات سرب، روی و کادمیوم در آب همبستگی نداشت و تنها با غلظت فلز کروم ارتباط مثبت داشت، پس می‌توان گفت به‌طور کلی DO بر غلظت فلزات در آب تأثیر چندانی ندارد. بررسی ارتباط دما با غلظت فلزات در آب نشان داد غلظت تمام فلزات به‌جز روی با این پارامتر همبستگی منفی دارند. افزایش دما منجر به کاهش انحلال فلزات در آب رودخانه و افزایش دسترسی زیستی فلزات می‌شود. پس بر اساس نتایج حاصله می‌توان گفت پارامترهای مختلف بر میزان انحلال فلزات در آب رودخانه تأثیر متفاوتی دارند. به‌عنوان مثال بر اساس نتایج این مطالعه با توجه به اینکه در فصل تابستان میزان پارامترهایی چون pH، EC، TDS، دما و شوری در آب رودخانه نسبت به فصل زمستان بالاتر بود پس همان‌طور که انتظار می‌رود میزان فلزات در آب رودخانه در فصل زمستان بالاتر مشاهده شد زیرا این پارامترها باعث کاهش انحلال‌پذیری فلزات در آب رودخانه می‌شوند. از جمله مطالعات در این زمینه می‌توان اشاره کرد به مطالعه George و Abowei (۲۰۱۸) در بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و برخی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه Upper New Calabar در نیجریه نشان داد در این پژوهش برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی با فلزات سنگین رابطه مثبت و برخی دیگر همبستگی منفی دارند. هیدرپور و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی اثر pH بر غلظت فلزات روی و سرب در آب رودخانه حبله‌رود که نشان داد pH آب رودخانه قلیایی است، پس باعث کاهش انحلال‌پذیری فلزات در آب رودخانه شده است. مطالعه ملکوتیان و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد بین غلظت فلزات سنگین با پارامترهای کیفی هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول و pH در سطح معنی‌داری همبستگی وجود ندارد. مطالعه منوچهری و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد همبستگی منفی و معنی‌داری بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم با pH آب و همبستگی مثبت و معنی‌داری بین دو فلز با شوری وجود دارد.

میزان مواد آلی یک مؤلفه مهم در رسوبات است، داشتن میزان متوسطی از مواد آلی در ایستگاه‌ها منجر به تجمع میزان متوسطی از فلزات سنگین در آن‌ها می‌شود، بنابراین مواد آلی ظرفیت نگهداری ویژه‌ای برای فلزات سنگین دارند (Elith and Garwood, 2001). گستره مواد آلی در این مطالعه در فصل تابستان و زمستان به ترتیب با میانگین ۹/۲۴ و ۴/۸۵ مشاهده شد. روند تغییرات میزان درصد مواد آلی حاکی از آن است که میزان درصد مواد آلی در فصل تابستان نسبت به زمستان بیشتر است. احتمالاً دلیل آن بارندگی بسیار کم در فصل مذکور بوده که این امر منجر به کاهش شدید جریان آب و کاهش قدرت خود پالایی رودخانه و در نتیجه افزایش ته‌نشینی مواد آلی در رسوبات بستر گردیده است. در فصل زمستان نیز به دلیل افزایش حجم کلی و جریان آب، غلظت ماده آلی تحت شرایط تلاطم و جریان آب در فصل زمستان از رسوبات خارج می‌شوند. بر اساس آزمون دانکن در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه شماره ۴ بیشترین درصد مواد آلی را نشان داد. مقادیر بالای OC رسوبات در درجه اول به حضور نسبتاً بالاتری از مواد آلی حاصل از اراضی زراعی، رواناب‌های کشاورزی، پسماندهای خانگی و پساب‌های صنعتی مربوط است (Marathe et al., 2011) که به‌وفور به این ایستگاه وارد می‌شوند. نتایج بررسی دانه‌بندی رسوبات نیز نشان داد که ترکیب عمده ذرات در دو فصل ماسه ریز بوده است و روند تغییرات ابعاد رسوبات در ایستگاه‌های مختلف به این صورت مشاهده شد که از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه ذرات با ابعاد ریزتر افزایش می‌یابد. عوامل مختلفی در پراکنش ابعاد مختلف دانه‌بندی رسوبات در ایستگاه‌های مختلف تأثیر گذارند. Brown و Mclachlan (۲۰۰۶) عواملی مانند تأثیر امواج آب در بخش‌های پایین‌دست، افزایش تلاطم و ناپایداری بستر، بار بالای ذرات معلق وارده به رودخانه و نهایتاً سرعت ته‌نشینی انواع ذرات را جزء مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار در توزیع و پراکنش ذرات رسوب عنوان کردند.

بررسی ارتباط بین فلزات سنگین با یکدیگر و با پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات (مواد آلی و دانه‌بندی) با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که فلزات سرب، روی، کروم و کادمیوم با یکدیگر همبستگی مثبت قوی دارند. وجود ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار بین غلظت این فلزات می‌تواند بیانگر یکسان بودن منبع انتشار این عناصر، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حمل‌ونقل باشد. یافته‌های پژوهش راست‌منش و همکاران (۱۳۹۴) در رودخانه کارون و نیز مطالعه کریمی و قاسمپور شیرازی (۱۳۹۱) در رودخانه کر در بررسی ارتباط بین فلزات مختلف نشان داد که همبستگی مثبت بین فلزات مختلف می‌تواند نشان‌دهنده روابط میان این فلزات و منبع آزادسازی و انتقال یکسان در شرایط نسبتاً مشابه در طول مسیر رودخانه باشد. همچنین بر اساس نتایج مطالعه آن‌ها عدم ارتباط بین برخی فلزات را احتمالاً به دلیل متفاوت بودن منابع

انتشار این فلزات و یا چون عوامل کنترل‌کننده و رفتارشان در طی فرایند انتقال با دیگر فلزات مورد مطالعه متفاوت است را عنوان کردند. Bhatti و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه خود در بررسی تغییرات زمانی-مکانی در پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و عناصر بالقوه مضر (PHEs) در تالاب‌های Uchali در پاکستان، عدم وجود ارتباط معنی‌دار بین عناصر Cd, Ni, Zn و Mn را به فرآیندهای مختلفی که مسئول این تنوع در غلظت‌ها هستند نسبت دادند. پس با توجه به نتایج حاصل، به نظر می‌رسد عامل اصلی آلودگی رودخانه کارون پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه رودخانه است که سبب انتشار فلزات مورد مطالعه گردیده است. همچنین بین درصد مواد آلی با تمام فلزات رابطه مثبت معنی‌داری مشاهده گردید و این می‌تواند نشان دهد که مواد آلی، جاذب مناسبی برای فلزات مورد نظر بوده و فولکوله شدن مواد آلی منجر به افزایش جذب سطحی فلزات خواهد شد (Fernandes et al., 2011). بنابر عقیده Berzonik (۱۹۹۳) این احتمالاً به تشکیل کمپلکس‌های پایدار این عناصر با لیگاندهای آلی مانند هیومیک، تانیک و فولیک موجود در مواد آلی و افزایش جذب آن مربوط است و برای عناصری که غلظت آن‌ها از راه اتصال به لیگاندهای آلی کنترل می‌شود، بین این نسبت و میل ترکیبی فلز به لیگاند، همبستگی مستقیمی وجود دارد (Mantoura et al., 1978). پس همبستگی بین فلزات و مواد آلی نشان‌دهنده تأثیر حضور مواد آلی در تجمع فلزات سنگین و تمایل فلزات برای تشکیل کمپلکس با این ترکیبات در رسوبات رودخانه کارون است. مطالعه محبوبی صوفیانی و همکاران (۱۳۹۴) و رجایی و همکاران (۱۳۹۱) در بررسی اثر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی بر غلظت فلزات سنگین نشان داد وجود مواد آلی در منطقه موجب جذب و ماندگاری بیشتر فلزات در رسوبات می‌شود، زیرا ماده آلی با برقراری پیوند با فلزات سنگین و کلاته کردن می‌تواند موجب تجمع فلزات سنگین و کاهش قابلیت دسترسی زیستی فلزات شود.

نتایج حاصل از بررسی همبستگی غلظت فلزات با دانه‌بندی رسوبات نشان داد بین غلظت فلزات سنگین و دانه‌بندی رسوبات همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$) و تغییر اندازه ذرات رسوب تأثیر قابل توجهی بر توزیع مکانی و تجمع فلزات در رسوب ندارد، اما بیشترین تجمع فلزات سنگین در ریزدانه‌های 0.063 میلی‌متر و کوچک‌تر بوده است و در ذرات بزرگ‌تر از 63 میکرون، قطر ذرات تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تجمع فلزات سنگین در رسوبات سطحی نداشته است. طی مطالعاتی که محققین انجام دادند یکی از دلایل مهم این رخداد را عدم وجود دانه‌های بسیار ریز در رسوبات مورد مطالعه بیان کردند. بیشترین میزان فلزات سنگین در دانه‌بندی‌های رسوب کوچک‌تر از 0.063 میلی‌متری مشاهده می‌شود، زیرا با افزایش نسبت سطح به حجم در رسوبات و در نتیجه احتمال جذب سطحی بیشتر آلاینده‌ها بر رسوبات، پتانسیل آن‌ها برای به دام انداختن آلاینده‌های آلی و غیر آلی بیشتر خواهد شد، لذا رسوبات بسترهای نرم و گلی آلاینده‌های بیشتری را نسبت به بسترهای شنی-ماسه‌ای در خود نگه می‌دارند (Mora and Sheikleslami, 2002). در این مطالعه نیز بر اساس نتایج آنالیز دانه‌بندی، رسوبات منطقه مورد مطالعه بیشتر ماسه‌ای ($0.063-0.125$) بوده و متوسط درصد بافت ماسه‌ای بیشتر از بافت رس و سیلت (0.063) مشاهده شد، پس عدم وجود همبستگی غلظت فلزات با درصد دانه‌بندی رسوبات قابل توجیه است. نتایج مطالعه بهروش و پورخباز (۱۳۹۲) در بررسی تأثیر دانه‌بندی بر تجمع فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب انزلی و نیز مطالعه پری‌زنگنه و لاکان (۱۳۸۶) در بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوبات دریای خزر نشان دادند که تغییر اندازه ذرات رسوب تأثیر قابل توجهی بر توزیع مکانی و تجمع فلزات در رسوب ندارد، اما بیشترین تجمع فلزات سنگین در ریزدانه‌های 0.063 میلی‌متر و کوچک‌تر بوده است و در ذرات بزرگ‌تر از 63 میکرون، قطر ذرات تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر تجمع فلزات سنگین در رسوبات سطحی نداشته است. دلیل عمده‌ی این امر را می‌توان افزایش جذب سطحی در ذرات کوچک‌تر از 63 میکرون بیان نمود که می‌تواند سبب جذب بیشتر فلزات سنگین گردد. همچنین نتایج مطالعه زارع‌زاده و رضائی (۱۳۹۵) در بررسی تجمع فلزات سنگین در رسوبات بستر مانگرو، خور گابریک نشان داد که عدم ارتباط معنی‌دار در برخی عناصر و پارامترها را می‌توان ناشی از بالاتر بودن میزان ماسه در نمونه‌ها و پایین‌تر بودن میزان سیلت و رس با قدرت جذب بالا دانست. همچنین به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی رسوبات منطقه به فلزات سنگین سرب، روی، کروم و کادمیوم، میانگین غلظت فلزات در رسوبات منطقه در دو فصل تابستان و زمستان با میانگین غلظت فلزات رسوبات در برخی استانداردهای جهانی مورد مقایسه قرار

گرفت. نتایج حاصل از مقایسه فلزات سنگین در محدوده موردبررسی با برخی از استانداردهای کیفیت در جهان از جمله استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)، استاندارد کیفیت رسوب کانادا، نیویورک و USEPA در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون با برخی استانداردهای جهانی.

موقعیت		غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم)				References
		Pb	Zn	Cr	Cd	
استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)	ERL ^۱	۳۵	۱۲۰	۸۰	۵	Mac Donald <i>et al.</i> , 2000
	ERM ^۲	۱۱۰	۲۷۰	۱۴۵	۹	
استاندارد کیفیت رسوب کانادا	ISQG ^۳	۳۵	۱۲۳	۳۷/۳	۰/۶	Persuad <i>et al.</i> , 1993
	PEL ^۴	۹۱/۳	۳۱۵	۹۰	۳/۵	
استاندارد کیفیت رسوب نیویورک	LEL ^۵	۳۱	۱۲۰	۲۶	۰/۶	Mac Donald <i>et al.</i> , 2000
	SEL ^۶	۲۵۰	۸۲۰	۱۱۰	۱۰	
USEPA	LAL ^۷	۲	۵	-	۰/۰۴	USEPA, 1999. Bowen, 1979.
	HAL ^۸	۲۱۸	۴۱۰	-	۹/۶	
رودخانه کارون	تابستان	۲۶/۲۸	۷۲/۳۶	۵۳/۴۸	۳/۸۵	مطالعه حاضر
	زمستان	۱۳/۴۷	۵۹/۵۴	۳۰/۲۶	۰/۴۲	

^۱the effect range low

^۲the effect range median

^۳Interim freshwater sediment quality guidelines

^۴Probable Effect levels

^۵Lowest Effect Level

^۶Severe Effect level

^۷Lowest Alert Level

^۸Highest Alert Level

در این بخش میانگین غلظت عناصر سرب و روی اندازه‌گیری شده در رسوب ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در دو فصل تابستان و زمستان در مقایسه با برخی استانداردهای جهانی از جمله استاندارد کیفیت رسوب آمریکا، استاندارد کیفیت رسوب کانادا، استاندارد کیفیت محیط‌زیست نیویورک و استاندارد USEPA نشان داد غلظت این دو فلز تنها از سطح LAL بالاتر است و نسبت به سایر استانداردها کمتر بوده و در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها آلودگی محسوب نمی‌شود. ولی نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلز کروم در رسوبات ایستگاه‌های مختلف با مقادیر مجاز غلظت فلزات سنگین بر اساس این استانداردها نشان داد میانگین غلظت فلز کروم در فصل تابستان از حد مجاز استانداردهای ISQG و LEL و در فصل زمستان تنها از حد استاندارد LEL بیشتر است. در مورد فلز کادمیوم نیز غلظت این فلز در فصل تابستان از سطح استانداردهای کیفیت رسوب کانادا (ISQG و PEL)، سطوح LEL و LAL و در فصل زمستان تنها از سطح استاندارد LAL بیشتر است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود غلظت فلز کادمیوم نسبت به سایر فلزات به میزان بیشتری در مقایسه با برخی استانداردهای مورد مطالعه بالاتر است و سایر فلزات اکثراً فقط در یک مورد از حد مجاز بالاترند. همچنین بر اساس نتایج فوق در فصل تابستان غلظت فلزات در رسوبات رودخانه نسبت به فصل زمستان از حد مجاز استانداردها بیشتر بودند که بیانگر این است که در فصل تابستان رسوبات رودخانه آلوده‌تر است.

در این پژوهش میزان غلظت فلزات سنگین سرب، روی، کروم و کادمیوم در نمونه‌های آب و رسوب در شش ایستگاه کلیدی رودخانه کارون که محل‌های تأمین آب ورودی به تصفیه‌خانه‌های محدوده شهرستان اهواز و ملاثانی می‌باشند، بررسی گردید. نتایج پژوهش نشان داد در میان

ایستگاه‌های مختلف مطالعه شده، ایستگاه‌های ۲ و ۴ واقع در پایین‌دست و میانه رودخانه نسبت به سایر ایستگاه‌ها از نظر پارامترهای فیزیکوشیمیایی و میزان آلاینده‌های فلزی بدترین کیفیت و ایستگاه ۶ در بالادست رودخانه بهترین کیفیت را داشته است. بر اساس نتایج این مطالعه با توجه به اینکه در فصل تابستان میزان پارامترهایی چون pH، EC، TDS، دما و شوری در آب رودخانه نسبت به فصل زمستان بالاتر بود پس میزان فلزات در آب رودخانه در فصل زمستان بالاتر از فصل تابستان مشاهده شد، زیرا این پارامترها باعث کاهش انحلال‌پذیری فلزات در آب رودخانه و افزایش تجمع فلزات در رسوبات می‌گردند. بعلاوه بررسی ارتباط بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوب (دانه‌بندی و درصد مواد آلی) با میزان فلزات در رسوبات رودخانه نشان داد اندازه ذرات رسوب تأثیر قابل توجهی بر توزیع مکانی و تجمع فلزات در رسوب ندارد، درحالی‌که درصد مواد آلی با میزان تمام فلزات رابطه مثبت معنی‌داری نشان داد. ارتباط بالای بین درصد مواد آلی با میزان فلزات سنگین نیز نشان‌دهنده‌ی این است که مواد آلی، جاذب مناسبی برای فلزات موردنظر بوده است. همچنین بر اساس نتایج در فصل تابستان غلظت فلزات در رسوبات رودخانه نسبت به فصل زمستان از حد مجاز استانداردها بیشتر بودند که بیانگر این است که در فصل تابستان رسوبات رودخانه آلوده‌تر است. لذا به‌منظور کنترل و ممانعت از افزایش بار آلودگی رودخانه کارون به این عناصر سمی، می‌بایست تمهیدات ویژه‌ای به‌ویژه در فصل تابستان در خصوص مدیریت منابع آلاینده ورودی به این بوم‌سازگان بااهمیت اندیشیده شود که کنترل کیفیت آب رودخانه از طریق مدیریت فاضلاب‌های ورودی می‌تواند مؤثر واقع شود.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل بخشی از طرح پژوهشی تحت عنوان بررسی امکان استفاده از جلبک به‌عنوان پیش‌گیر زیستی فلزات سنگین در رودخانه کارون مصوب شرکت آب و فاضلاب اهواز در سال ۱۳۹۵ و شماره ۳۳/۹۵/۲-۱۰۱ است که از حمایت شرکت آب و فاضلاب اهواز در اجرای این پروژه قدردانی به عمل می‌آید.

منابع

- اقبال شمس آباد، پ.، معماریانی، م. و معطر، ف.، ۱۳۸۹. بررسی عناصر سنگین کروم، کادمیوم، سرب و مواد آلی در سفیدرود با نگرشی بر منشأ زمین ساختاری. مجله آکو بیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، دوره ۲، شماره ۳، صفحات ۳۹-۵۵.
- آقاوی، ن.، نژادعلی، م. و قمی، م.، ۱۳۹۵. بررسی غلظت فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم و سرب در منابع آب زیرزمینی منطقه شهراب و روستاهای اطراف در شهرستان اردستان در خرداد ۱۳۹۴. فصلنامه بهداشت در عرصه، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشت درمانی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، دوره ۴، شماره ۴، صفحات ۱-۸.
- برهانی جلودار، م.، اسماعیلی فریدونی، ا. ق. و نبوی، س. م. ب.، ۱۳۹۲. بررسی نوسانات فصلی تراکم و زی‌توده گروه‌های ماکروبنیتیک در آب‌های منطقه ساحلی دریای خزر و منطقه مصبی رودخانه بابلرود. مجله زیست‌شناسی دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، جلد ۵، شماره ۲، صفحات ۴۷-۶۰.
- بزی، ع.، ۱۳۹۴. تعیین سطح آلودگی رسوبات سطحی خلیج چابهار به فلزات سنگین. مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ۸، شماره ۱، صفحات ۴۵-۵۶.
- بهروش، س. و پورخباز، ع.، ۱۳۹۲. تأثیر دانه‌بندی بر تجمع فلزات سنگین (Cr و Pb، Zn، Cu، Cd) در رسوبات سطحی جنوب غرب تالاب انزلی. فصلنامه علمی پژوهشی آکو بیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال ۵، شماره ۱۶، صفحات ۸۲-۷۵.
- پری‌زنگنه، ل. و لاکان، و. ک.، ۱۳۸۶. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل دریای خزر. نشریه آب و فاضلاب، دوره ۱۸، شماره ۳، صفحات ۱-۱۲.

- پورخباز، ح. ر.، هدایت‌زاده، ف. و چراغی، م.، ۱۳۹۵. بررسی ضریب همبستگی میان فلزات سنگین در جلبک *Chaetomorpha sp.*، آب و رسوب در آبگیر تصفیه‌خانه‌های آب شرب محدوده رودخانه کارون. مجله اقیانوس‌شناسی، جلد ۷، شماره ۲۷، صفحات ۶۹-۷۸.
- حیدرپور، ف.، دهرآزما، ب. و قاسمی، ح.، ۱۳۹۲. بررسی غلظت روی و سرب در آب رودخانه حبله رود (از سرشاخه نمرد تا دلیچای)، استان سمنان. همایش انجمن زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، دوره ۸، ۱۵ و ۱۶ آبان، ۸ صفحه.
- راست‌منش، ف.، زراسوندی، ع. ر. و طولابی، م.، ۱۳۹۶. بررسی غنی‌شدگی، سمناکی و خطر بوم‌شناختی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه بهمنشیر آبادان. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، شماره ۱، صفحات ۱۳۷-۱۲۴.
- راست‌منش، ف.، زراسوندی، ع. ر. و مسلم، ف.، ۱۳۹۴. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز. نشریه زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ۵، شماره ۱۷، صفحات ۲۲-۱۱.
- رجایی، ق.، پورخباز، ع. و حصاری‌مطلق، س.، ۱۳۹۱. ارزیابی ریسک سلامت فلزات سنگین منابع آب زیرزمینی دشت علی‌آباد کنول. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، سال ۴، شماره ۲، صفحات ۱۶۳-۱۵۵.
- رشمالو، ک.، حائری، س. و صائب، ک.، ۱۳۹۲. بررسی فلز سنگین کادمیوم رودخانه تجن ساری توسط رسوب (مطالعه موردی منطقه چوب و کاغذ ساری). همایش ملی پژوهش‌های محیط‌زیست ایران، همدان: دانشکده شهید مفتح، ۱۲ صفحه.
- رومیانی، ل. و پاینده، خ.، ۱۳۹۶. بررسی تجمع فلزات سنگین در آب، رسوبات سطحی و چهار گونه گیاهان آبی رودخانه کرخه. فصلنامه علمی پژوهشی اکویولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، سال ۹، شماره ۳۳، صفحات ۸۴-۶۹.
- زارع زاده، ر. و رضائی، پ.، ۱۳۹۵. مطالعه تجمع فلزات سنگین در رسوبات بستر مانگرو، خور گابریک (جاسک). محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، سال ۶۹، شماره ۱، صفحات ۷۸-۶۱.
- سبحان‌اردکانی، س.، محمودنژاد، س. و حیدری، م.، ۱۳۹۵. بررسی آلودگی آب رودخانه کلین کبود مریوان به فلزات سنگین در فصول بهار و تابستان سال ۱۳۹۲. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، سال ۲، شماره ۴، صفحات ۳۲۰-۳۱۱.
- شمسایی، ا.، اورعی زارع، ص. و سارنگ، ا.، ۱۳۸۴. بررسی تطبیقی شاخص‌های کیفی و پهنه‌بندی کیفی رودخانه کارون و دز. فصلنامه آب و فاضلاب اصفهان، سال ۱۶، شماره ۳، صفحات ۴۸-۳۹.
- عباسپور، م.، جاوید، ا. ح. و حبیبی، ا.، ۱۳۹۲. تعیین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه خرسان و بررسی روند تغییرات سالیانه آن. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۵، شماره ۴، صفحات ۱۱-۱.
- فاضلی، ف. و شعبانی‌فرد جهرمی، س.، ۱۳۹۴. ارزیابی غلظت فلزات سنگین در تالاب میقان اراک. مجله علمی-پژوهشی دانشگاه الزهرا (س)/زیست‌شناسی کاربردی، سال ۲۸، شماره ۲، صفحات ۹۴-۷۵.
- کریمی، م. و قاسمپور شیرازی، م. ر.، ۱۳۹۱. توزیع ژئوشیمیایی و میزان آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، نیکل، کروم و آرسنیک) در رسوبات رودخانه کر (جنوب مرودشت). نشریه زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی)، سال ۸، شماره ۲، صفحات ۱۴۵-۱۳۳.
- محبوبی صوفیانی، ن.، مرادی، ح.، رضوی، ز.، حیدری خسرو، ع. و میرغفاری، ن.، ۱۳۹۴. اثر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی رسوب بر غلظت فلزات سنگین در رسوبات رویشگاه، ریشه و برگ درختان مانگرو، محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۸، شماره ۲، صفحات ۲۹۲-۲۷۷.
- محمدی، س.، عالم، ز.، کاشفی پور، س. م. و خوب، ع.، ۱۳۹۰. بررسی کیفیت آب رودخانه کارون و کرخه با استفاده از شاخص WQI. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده عمران.
- مددی‌نیا، م.، منوری، س. م.، کرباسی، ع. ر.، نبوی، س. م. ب. و رجب زاده، ا.، ۱۳۹۳. بررسی کیفی آب رودخانه کارون در بازه‌ی اهواز با استفاده از شاخص کیفی آب. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره شانزدهم، شماره یک، صفحات ۶۰-۴۹.
- ملکوتیان، م.، موسوی، س. غ. و طولابی، ع.، ۱۳۹۰. مطالعه کنتیک و ایزوترم بیوجذب فلزات سنگین به‌وسیله جلبک اولتریکس زوناتا از فاضلاب‌های صنعتی. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، دوره ۱۹، شماره ۴، صفحات ۳۹-۲۶.
- منوچهری، ح.، نیکویان، ع. ر.، ولی‌نسب، ت.، نژاد بهادری، ف.، ماجدی، س. م.، چنگیزی، ر. و جعفریان مقدم، ا.، ۱۳۸۷. بررسی اثرات سرب و کادمیوم در آب، رسوب و جوامع ماکرونتیک خورزنگی (از انشعابات خور موسی در خلیج فارس). مجله شیلات، سال ۲، شماره ۲، صفحات ۲۲-۱۱.
- میرزاییگی، م.، عباس‌نیا، ع.، ناجی، م.، سلیمی، ج.، سجادی، م.، حراسی، ا. و محوی، ا.، ۱۳۹۵. تعیین غلظت فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و کروم) در منابع تأمین آب آشامیدنی در روستاهای شهرستان تربت‌حیدریه و توزیع آن با GIS. فصلنامه پژوهشی در بهداشت محیط، دوره ۲، شماره ۲، صفحات ۱۴۶-۱۵۳.

میرزایی، م. و سلگی، ع.، ۱۳۹۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی) در رسوبات رودخانه زاینده‌رود. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، دوره ۱، شماره ۴، صفحات ۲۶۵-۲۵۱.

Adel, M., Dadar, M., Fakhri, Y., Oliveri Conti, G. and Ferrante, M., 2016. Heavy metal concentration in muscle of pike (*Esox lucius Linnaeus*, 1758) from Anzali international wetland, southwest of the Caspian Sea and their consumption risk assessment. *Toxin reviews*, 35(3-4): 217-23.

Allison, F. E., 1973. Soil organic matter and its role in crop production: Elsevier; 1st Edition, pp. 634.

Berzonik, P. L., 1993. Chemical kinetics and process dynamic in aquatic systems, Lewis Pub. CRC Press, 784p.

Bhatti, S. G., Tabinda, A. B., Yasin, F., Yasar, A., Butt, H. I. and Wajahat, R., 2018. Spatio-temporal variations in physico-chemical parameters and potentially harmful elements (PHEs) of Uchalli Wetlands Complex (Ramsar site), Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(33): 33490-33507.

Bowen, H. J. M., 1979. Trace Element in Biochemistry. Academic press, New York, pp.241-244.

Buchanan, J., 1984. Sediment Analysis. In: N. A. Holme and A. D. McIntyre, editors. *Methods for the study of marine benthos*. Oxford: Blackwell Scientific Publications. pp. 41-65.

Custodio, M., Chirinos, C. and Peñaloza, R., 2020. Behavior of Physicochemical Parameters and Potentially Toxic Metals in Surface Water Evaluated by Means of Multimetric Indices: a Case Study in a Protected Natural Area of Peru. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(3): 1-13.

Delman, O., Demirak, A. and Balci, A., 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 65: 157-162.

Edokpayi, J., Odiyo, J., Popoola, O. and Msagati, T., 2016. Assessment of trace metals contamination of surface water and sediment: A case study of Mvudi River, South Africa. *Sustainability*, 8(2):135.

Elith, M. and Garwood, S., 2001. Investigation into the levels of heavy metals within Manly Dam Catchment. *Freshwater ecology report*.

Engin, M. S., Uyanik, A. and Seydahmet, C., 2017. Investigation of trace metals distribution in water, sediments and wetland plants of Kızılırmak Delta, Turkey. *International Journal of Sediment Research*, 32(1): 90-97.

Fernandes, L., Nayak, G., Ilangovan, D. and Borole, D., 2011. Accumulation of sediment, organic matter and trace metals with space and time, in a creek along Mumbai coast, India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91(3):388-99.

George, A. D. I. and Abowei, J. F. N., 2018. Physical and Chemical Parameters and Some Heavy Metal for Three Rainy Season Months in Water and Sediments of Upper New Calabar River, Niger Delta, Nigeria. *Open Access Library Journal*, 5: e4456.

Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. and Islam, M. K., 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological indicators*, 48:282-91.

Karamouz, M., Mahjouri, N. and Kerachian, R., 2004. River water quality zoning: a case study of Karoon and Dez River system. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 1(2): 1-2. (In Persian)

Karsten, J., Gjengedal, E. and Mobbsa, H. J., 2008. Trace element exposure in the environment from MSW landfill leachate sediments measured by a sequential extraction technique. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1):751-58.

Manikandan, R., Ezhili, N., Muthulakshmiandal, N., Favas, P. and Venkatachalam, P., 2016. Assessment of physicochemical characteristics and the level of nutrient contents as well as heavy metal ions in waters of three lakes at Coimbatore, Tamil Nadu, India. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(7): 2259-2266.

Mantoura, R., Dickson, A. and Riley, J., 1978. The complexation of metals with humic materials in natural waters. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 6(4):387-408.

Marathe, R., Marathe, Y. and Sawant, C., 2011. Sediment characteristics of Tapti River, Maharashtra, India. *International Journal of ChemTech Research*, 3(3):1179-83.

Marchand, C., Allenbach, M. and Lallier-Vergès, E., 2011. Relationships between heavy metals distribution and organic matter cycling in mangrove sediments (Conception Bay, New Caledonia). *Geoderma*, 160(3-4):444-56.

- McLachlan, A. and Brown, A. C., 2006.** The ecology of sandy shores: Elsevier, Academic Press, 2nd Edition, 392 P.
- Mohiuddin, K., Ogawa, Y., Zakir, H., Otomo, K. and Shikazono, N., 2011.** Heavy metals contamination in water and sediments of an urban river in a developing country. *International journal of environmental science and technology*, 8(4): 723-36.
- Mora, S. and Sheikleslami, M. R., 2002.** Contaminant screening program. Final report Interpretation of Caspian Sea Sediment Data.
- Naji, A. and Ismail, A., 2012.** Sediment quality assessment of Klang Estuary, Malaysia. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 15(3): 287-293.
- Pathirana, C., Ziyath, A. M., Jinadasa, K. B. S. N., Egodawatta, P., Sarina, S. and Goonetillek, A., 2019.** Quantifying the influence of surface physico-chemical properties of biosorbents on heavy metal adsorption. *Chemosphere*, 234: 488-495.
- Poté, J., Haller, L., Loizeau, J-L., Bravo, A. G., Sastre, V. and Wildi, W., 2008.** Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bioresource Technology*, 99(15):7122- 31.
- Sayadi, M, Rezaei, M., Afsari, K. and PoorMollaieib, N., 2015.** Natural and Concentration Factor Distribution of Heavy Metals in Sediments of Chah Nimeh Reservoirs of Sistan, Iran. *Ecopersia*, 3(2):1003-12. (In Persian)
- Schmitt, D., Taylor, H. E., Aiken, G., Roth, D. and Frimmel, F., 2002.** Influence of natural organic matter on the adsorption of metal ions onto clay minerals. *Environmental science and technology*, 36 (13):2932-38.
- USEPA, 1999.** EPA's Beach Watch Program. U.S", Environmental Protection Agency. EPA-823-F-99-004.
- Vincent-Akpu, I. F., Tyler, A. N., Wilson, C. and Mackinnon, G., 2015.** Assessment of physico-chemical properties and metal contents of water and sediments of Bodo Creek, Niger Delta, Nigeria. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 97(2):135-44.
- Yalcin, M. G., 2009.** Heavy mineral distribution as related to environmental conditions for modern beach sediments from the Susanoglu (Atakent, Mersin, Turkey). *Environmental geology*, 58(1):119-29.
- Yan, X., Liu, M., Zhong, J., Guo, J. and Wu, W., 2018.** How human activities affect heavy metal contamination of soil and sediment in a long-term reclaimed area of the Liaohe River Delta, North China. *Sustainability*, 10(2):338.
- Yap, C., Ismail, A., Tan, S. and Omar, H., 2002.** Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. *Environment international*, 28(1-2):117-26.
- Yezbie, K. and Dessie, T., 2019.** Analyses of Potential Heavy Metals and Physico-chemical Water Quality Parameters on Lake Tana, Ethiopia. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, 8 (7): 130-138.
- Yuan, G. L., Liu, C., Chen, L. and Yang, Z., 2011.** Inputting history of heavy metals into the inland lake recorded in sediment profiles: Poyang Lake in China. *Journal of hazardous materials*, 185(1): 336-45.

