

## ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه کارون در محدوده ی شهر اهواز

فاطمه راست منش

استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

علیرضا زراسوندی

استاد گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز

فاطمه مسلم

دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۴

f.rastmanesh@scu.ac.ir

### چکیده

بیشتر فلزات سنگین بر روی انسان و محیط تاثیر منفی زیست دارند. بنابراین، ارزیابی غلظت فلزات در محیط اجازه می دهد تا اقداماتی برای بهبود کیفیت زندگی و شرایط محیطی انجام دهیم. به منظور ارزیابی آلودگی رسوبات رودخانه کارون به فلزات سنگین، ۲۴ نمونه از رسوبات سطحی (۵-سانتیمتر) جمع آوری شد. غلظت فلزات سنگین (کروم، مس، روی، سرب، آرسنیک، نیکل، منگنز و آهن) توسط روش ICP-MS تعیین گردید. به منظور بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه، فاکتور آلودگی (C<sub>f</sub>) و درجه آلودگی (C<sub>d</sub>) محاسبه شدند. از معیار کیفی رسوب (SQGs) برای تعیین ریسک بوم شناختی فلزات سنگین استفاده شد. غلظت فلزات در رسوبات سطحی، از ppm ۱۲/۷۵ تا ۴۷/۲۵ برای مس، ppm ۳/۹۶ تا ۴۵/۲۴ برای سرب، ppm ۱۵۱/۷ تا ۳۰/۹ برای روی، ppm ۹۹/۷ تا ۵۰/۸ برای نیکل، ppm ۴/۹۹ تا ۲/۶ برای آرسنیک، ppm ۳۵/۷ تا ۵۹/۳ برای کروم، ppm ۳۸۲ تا ۴۹۳ برای منگنز و ppm ۱۳۲۰۰ تا ۲۰۰۰۰ برای آهن اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت نیکل در همه ایستگاهها بیش از سطح (PEL) و کروم در ۹۲٪ از نمونه ها بیش از سطح (TEL) است. بیشترین مقدار فاکتور آلودگی برای عنصر روی و بیشترین درجه آلودگی در منطقه نیوسایت (ایستگاه ۱۶) می باشد. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که مس، روی، سرب، ارتباط معنی داری با OC دارند و احتمالا به طور عمده از فاضلاب خانگی و پساب صنعتی ناشی می شوند. در مقابل، کروم و آرسنیک و نیکل با آهن و منگنز همبستگی دارند که احتمالا ناشی از منابع طبیعی یا کشاورزی است. نتایج نشان دهنده آلودگی متوسط رسوبات رودخانه است.

**کلمات کلیدی:** رسوبات، فلزات سنگین، فاکتور آلودگی، درجه آلودگی، رودخانه کارون

### مقدمه

تجمع یابند. تعامل بین فلزات سنگین و رسوبات رودخانه ها بسیار مهم است زیرا رسوبات رودخانه مخزنی برای فلزات سنگین هستند و می توانند یک منبع بالقوه آلاینده در هنگام تغییر شرایط محیطی باشند (Demirak et al., 2006; Farkas et al., 2007).

فلزات سنگین از این نظر که تجزیه نمی شوند و فقط می توانند در اجزای مختلف یک اکوسیستم طبیعی انتقال و تجمع یابند متمایز از مواد آلی می باشند. فلزات سنگین می توانند سلامت عمومی را هنگام وارد شدن به زنجیره ی غذایی به خطر اندازند (Gladyshev et al., 2001; Shrivastava et al., 2003). کارون طولانی ترین و تنها رود قابل کشتیرانی در ایران است، و بسیاری از صنایع فلزی، پتروشیمی و صنایع نفت کنار آن واقع شده است. رودخانه کارون تامین کننده آب برای این صنایع و منبع آب آشامیدنی برای شهرستانهایی مانند اهواز، آبادان و خرمشهر است. ماهی های آن یکی از منابع اصلی تغذیه مردم منطقه هستند، در نتیجه حضور فلزات سنگین در کارون می تواند باعث آلودگی مواد غذایی شود (Jafarzade and Morovaty, 1996). مطالعات نشان می دهد چندین منبع باعث بالا رفتن غلظت فلزات سنگین در رودخانه کارون می شوند.

غلظت فلزات سنگین در رسوبات به عملکرد اکوسیستم های آبی وابسته و تغییر غلظت فلزات در رسوبات کوچکتر از آب است، بر همین اساس عمده ی تحقیقات صورت گرفته برای ارزیابی فلزات سنگین در فاز رسوبی می باشد. فلزات پس از ورود به محیط آبی، از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی در رسوبات نهشته می شوند (Unlu et al., 2008). فلزات سنگین عمدتا از طریق منابع طبیعی همچون هوازدگی و فرسایش سنگ و منابع انسانی از جمله فعالیت های شهری، صنعتی و کشاورزی، رواناب زمینی و دفع فاضلاب وارد سیستم آبی می شوند (Cevik et al., 2009).

رسوبات به عنوان مخزن آلاینده ها عمل کرده، و آلاینده های ناشی از این منابع را دریافت و جذب می کنند (Liu et al., 2007)، و از اینرو یک شاخص مهم برای تعیین آلودگی آب محسوب می شوند (Larsen and Jensen, 1989; Bermejo et al., 2003). رسوبات رودخانه ها معمولا از ذرات ریز کانیایی با ظرفیت تبادل کاتیونی بالا (CEC)، مانند کانی های رسی و اکسید آهن تشکیل شده اند.

بنابراین فلزات سنگین در محیط های آبی به راحتی می توانند در رسوبات

پلاستیکی برداشته شدند. برای آنالیز فلزات سنگین، مواد زائد نمونه رسوبات در آزمایشگاه جدا شدند. نمونه ها خشک شده و پس از آن در هاون کوبیده و برای بدست آوردن جزء کوچکتر از  $0/63$  میکرون الک شدند.

برای اندازه گیری غلظت فلزات سنگین از ICP-MS استفاده شد. در این روش حدود ۵ گرم نمونه رسوب الک شده با قطر کمتر از  $0/63$  میکرون جهت تجزیه شیمیایی ارسال گردید.

جهت تجزیه شیمیایی ابتدا نمونه ها توسط اسید های هیدروفلوریک (HF)، پرکلریک (HClO<sub>4</sub>)، نیتریک (HNO<sub>3</sub>) و هیدروکلریک (HCl) هضم گردیده و به روش طیف سنج جرمی پلاسمای جفتیده القایی (ICP-MS) مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. همچنین جزء کوچکتر از ۲ میلی متر برای اندازه گیری خواص فیزیکوشیمیایی (pH و OC) جدا شد. آنالیز فلزات سنگین در آزمایشگاه ACME کانادا و اندازه گیری خواص فیزیکوشیمیایی در شرکت زاگرس آشناس فارس در شیراز انجام شد.

در این مطالعه از نمونه های رسوبی با عمق ۵۰ سانتی متر برای بدست آوردن زمینه طبیعی (زمینه طبیعی زمین شیمیایی، عبارتست از غلظت عناصر در رسوبات بدون هیچ گونه غنی سازی انسانی؛ و به طور کامل ناشی از منابع طبیعی است، Rubio et al., 2000; Cobelo-Garcia and Prego, 2003; Liaghati et al., 2003; Mil-Homens et al., 2006) استفاده شد. استفاده از زمینه طبیعی به این دلیل است که رسوبات سطحی به اندازه کافی زمان بازسازی تاریخ زمین شیمیایی را که بدون تاثیر از نفوذ انسان باشد را ندارند (Chen and Luo, 1991).

همچنین فرض بر این است که فلزات مغزه ی رسوبی انباشته شده در گذشته، از ورودی های مهم فلزی حاصل از فعالیت های انسانی نسبتا جدا هستند و همچنین فلزات پس از دفن تحرک ندارند (Choi et al., 2012).

### روشهای بررسی آلودگی رسوبات معیارهای کیفیت رسوب (SQGs)

تعیین اینکه آیا غلظت فلزات سنگین در رسوبات تهدیدی برای زندگی آبریان در برخواهد داشت مهم است. این موضوع با سه مجموعه از معیارهای کیفیت رسوب شامل؛ (TEL) سطح اثرات آستانه و (PEL) سطح اثرات احتمالی، (LEL) پایین ترین سطح اثر و (SEL) سطح اثر شدید، (ERL) محدوده اثرات کم و (ERM) محدوده اثرات متوسط ارزیابی می شود (Long et al., 1995; MacDonald et al., 1996; NYSDEC, 1999; MacDonald et al., 2003). این سه مجموعه برای ارزیابی خطر آلودگی فلزات سنگین در رسوبات به کار گرفته می شوند (Bai et al., 2011). SQG. Sundaray et al., 2011) برای ارزیابی وضعیت مواد شیمیایی در رسوب که ممکن است موجودات آبرزی را تحت تاثیر قرار دهد و برای کمک به تفسیر کیفیت رسوب طراحی شده است (CCME, 1995; Smith et al., 1996). در این مطالعه، از معیار TEL که نشان دهنده غلظت پایین است و در آن اثرات سوء بر موجودات ساکن رسوب به ندرت انتظار می رود؛ و PEL که نشان دهنده غلظت شیمیایی بالا بوده و احتمال ایجاد اثرات نامطلوب زیاد می باشد (MacDonald et al., 2000) برای ارزیابی کیفیت رسوبات استفاده شد.

معیار (SQGs) در آمریکا برای بوم سامانه آب شیرین و دریا استفاده شده، و برای شناسایی آلاینده های نگران کننده در بوم سامانه های آبی استفاده می شود (MacDonald et al., 2000).

۱- کودهای شیمیایی دارای نیکل و سرب که در صنایع کشاورزی در مناطق اطراف کارون، هفت تپه و دشت عقیلی استفاده می شود. ۲- کارگاه های سنتی در شوشتر، دزفول، و مسجد سلیمان که از ترکیبات کروم و نیکل در صنایع الکتریکی استفاده می کنند. ۳- استفاده از قارچ کش ها در پرورش ماهی برای جلوگیری از بیماری های واگیر دار ۴- ترکیبات مس، کروم و نیکل که به عنوان رنگدانه در صنایع رنگرزی و به عنوان عوامل ضد رسوب در رنگ های دریایی استفاده می شود (Ramelow et al., 1992). فاضلاب این صنایع بدون انجام هیچ گونه تصفیه ای تنها با یک غربالگری ساده به طور مستقیم وارد رودخانه کارون می شود (Diagomanolin et al., 2004). بنابراین هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین و درجه آلودگی ناشی از آنها برای ارزیابی کیفیت رسوب رودخانه کارون، و مشخص کردن منابع فلزات سنگین می باشد.

### روش تحقیق

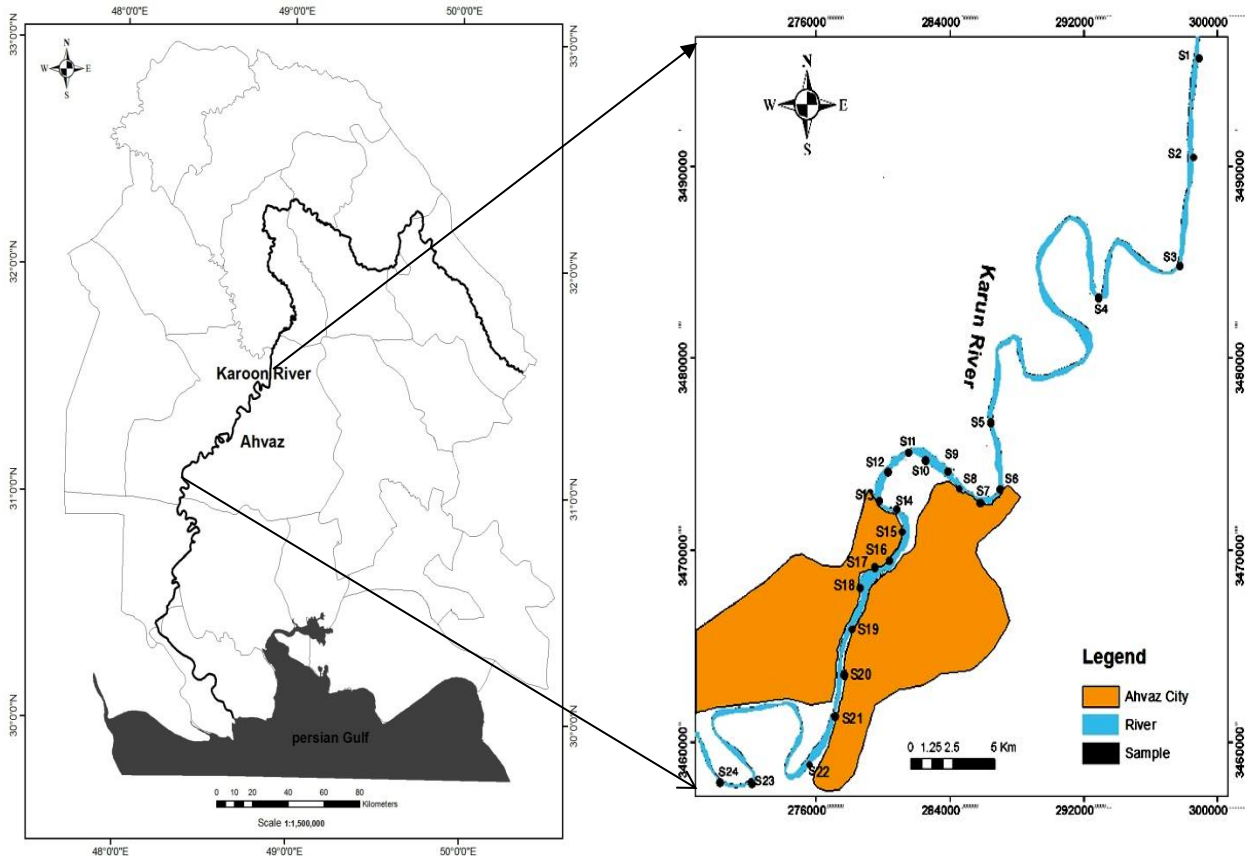
#### منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه کارون، با مساحت  $67200$  کیلومتر در جنوب ایران واقع شده است. رودخانه کارون تامین کننده آب ۱۶ شهرستان، چندین روستا، هزاران هکتار از زمین های کشاورزی، و چندین نیروگاه برق آبی است. آلودگی آب رودخانه کارون به دلیل برداشت بی رویه آب از رودخانه، و تخلیه فاضلاب به آن زندگی آبی آن را به خطر انداخته است. آلودگی سیستم رودخانه کارون می تواند به طور قابل توجهی توسعه خوزستان، به عنوان یکی از استان های استراتژیک کشور با پتانسیل بالا برای کشاورزی و توسعه صنعتی را به مخاطره اندازد. بخش زیادی از آب کشاورزی توسط زهکشی و جریانهای برگشتی به رودخانه بازمی گردد. جریان های بازگشتی دارای غلظت بالایی از کود های شیمیایی، فلزات سنگین، مواد معلق و مواد جامد محلول و آفت کش ها ست، که ناقص استاندارد ملی پساب است. جریانات بازگشتی کشاورزی، فاضلاب خانگی شهرستانها و روستاها و پساب های صنعتی منابع نقطه ای آلودگی رودخانه کارون هستند (Karamouz et al., 2004). رودخانه کارون در منطقه ای به نام گتوند وارد دشت خوزستان می شود. سرچشمه اصلی این رودخانه از زردکوه بختیاری و کوه های زاگرس است که از به هم پیوستن چندین رودخانه فرعی و مهمتر از همه آب ونگ، بهشت آباد، منج، کوهزنگ، بازفت و خرسان می باشد. یکی از دلایلی که سبب توجه به آلودگی رودخانه کارون شده است، تخلیه انواع فاضلابهای شهری، صنعتی و کشاورزی به آن می باشد. در واقع منابع اصلی آلوده کننده رودخانه همین فاضلابها می باشند.

فاضلابهای صنعتی و فاضلاب های شهری به طور عمده از، کارگاه های آبکاری الکتریکی کوچک، مغازه های تعمیر و نگهداری، بیمارستان ها و آزمایشگاه های پزشکی و علمی و روانابهای سطحی شهری ناشی می شوند (Babich and Stotsky, 1982). منابع اصلی آلودگی فاضلاب های کشاورزی، کودهای محتوی فلزات سنگین همچون کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس و نیکل هستند. قارچ کشها و جلبک کش های مورد استفاده در پرورش ماهی، دیگر منابع آلاینده هستند که به طور عمده متشکل از ترکیبات مس هستند (Spencer and Green, 1981).

#### نمونه برداری

موقعیت ایستگاههای نمونه برداری در شکل (۱) نشان داده شده اند. نمونه برداری در ۲۴ ایستگاه از رسوبات سطحی رودخانه (۵-۰ cm) از ملائانی تا انتهای شهر اهواز برای فلزات سنگین انجام گرفت. از سیستم موقعیت یاب GPS برای مکان یابی نمونه ها استفاده شد. رسوبات با استفاده از بیلیچه



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های نمونه برداری

رسوبات بین ۶/۸۴ تا ۷/۸۱ در نوسان است. در این مطالعه مقادیر pH در منطقه مورد مطالعه دارای روند مشخصی است و تنها در برخی ایستگاهها نوسان اندکی وجود دارد. کمترین میزان pH در ایستگاه ۱۶ است که می تواند ناشی از همجواری این منطقه به شرکت پالایش و پخش فرآورده های نفتی و تخلیه فاضلابهای منطقه مرتبط باشد و همچنین ایستگاه شماره ۷ که یکی از محلهای تخلیه فاضلابهای شهری به رودخانه می باشد. تقریباً در بیشتر ایستگاههای مورد مطالعه pH خنثی تا اندکی قلیایی است، که احتمالاً به طبیعت کربنات منطقه (Chuan et al., 1996, Thornton, 1996) و حضور ماسه سنگ های آهکی سازند آغاچاری مرتبط می باشد. کربن آلی (OC) نقش قابل توجهی در چرخه های ژئوشیمی عناصر که در رسوبات تجمع می کنند دارد، و ممکن است به عنوان شاخص در محیط رسوبی و فرآیندهای رسوبی استفاده شود (Seralathan et al., 1993). مقادیر غلظت کربن آلی رسوبات رودخانه در محدوده ۰/۱۷ تا ۲/۶۹ با مقدار متوسط ۰/۶۶ است.

ایستگاههای شماره ۷ و ۱۶ دارای محتوای کربن آلی بالاتری نسبت به ایستگاههای دیگر هستند. در کل توزیع جغرافیایی کربن آلی در قسمت شمالی و بخش جنوبی رودخانه تفاوت دارد. مقدار OC در بخش شمالی رودخانه نسبتاً بالاتر از بخش جنوبی است. مقادیر بالاتر OC رسوبات در درجه اول به حضور نسبتاً بالاتری از مواد آلی حاصل از زمین های زراعی، روانابهای کشاورزی، پسماندهای خانگی و پساب های صنعتی مربوط است (Marathe et al., 2011). غلظت فلزات سنگین در رسوبات توسط زمین شناسی محل و فعالیتهای انسانی تعیین می شود.

هوازگی کانیها منبع اصلی غلظت طبیعی فلزات است، در حالی که منابع انسانی شامل استفاده از کودها و علف کش ها، آبیاری، فاضلاب صنعتی، و نشت

## فاکتور آلودگی و درجه آلودگی

برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه، از فاکتور آلودگی (Cf) استفاده شد. Cf از رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$Cf = C_o / C_n \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن Cn غلظت هر عنصر در رسوب و Co متوسط غلظت هر عنصر در زمینه است. برای فاکتور آلودگی چهارده (جدول ۱) تعریف شده است. مجموع فاکتورهای آلودگی برای عناصر مورد بررسی نشان دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است (رابطه ۲).

$$Cdeg = \sum C_f \quad \text{رابطه (۲)}$$

این شاخص دارای چهار رده می باشد که در جدول ۱ بیان شده است.

## تحلیل های آماری

تجزیه و تحلیل چند متغیره ای فلزات سنگین پس از انجام آزمون نرمال بودن داده ها در رسوبات، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل عاملی (FA) و تجزیه و تحلیل خوشه ای سلسله مراتبی انجام شد. تمام این آنالیزها با استفاده از نرم افزار Spss، ۱۶ انجام شدند.

## نتایج و بحث

غلظت فلزات اندازه گیری شده در ایستگاههای مختلف نمونه برداری همراه با پارامترهای فیزیکوشیمیایی (pH, OC) در رسوبات سطحی و همچنین غلظت فلزات در شیل میانگین به همراه غلظت زمینه محلی در جدول (۲) گزارش شده است. سرنوشت و حمل بسیاری از آلاینده های انسانی نه تنها به چرخه هیدرولوژیکی، بلکه به فرایندهای فیزیکوشیمیایی وابسته است (Sujitha et al., 2011). همانگونه که جدول (۲) نشان می دهد، pH

از لوله ها است. در مناطق صنعتی همچون ایستگاه ۱۶ و در بخش فعالیت های کشاورزی مانند ایستگاه های (۱،۲،۳) به نظر می رسد منابع اصلی آلودگی این فعالیت ها باشد (Aprile and Bouvy, 2008). با توجه به داده های جدول (۲) و شکل (۲) مشاهده می شود که توزیع مکانی فلزات مس، سرب و روی در بیشتر ایستگاهها مشابه است. این موضوع همچنین برای عناصر نیکل، آرسنیک و کروم صادق است.

توزیع مکانی یکسان این عناصر، احتمالاً منابع مشترک آنها را آشکار می کند. همانطور که می دانیم بخش عمده ای از آلودگی رودخانه ها از تخلیه فاضلابها حاصل می شود. اطلاعات نشان می دهد غنی شدگی نگران کننده ای از برخی فلزات سنگین در فاضلاب شهری وجود دارد.

این فاضلاب غنی از فلز به رودخانه وارد، و باعث افزایش برخی از فلزات در رسوبات رودخانه می شود (Singh et al., 1997). با توجه به اینکه بسیاری از فاضلابهای محتوی فلزات سنگین که به رودخانه تخلیه می شوند، ناشی از صنایع فلزی و فاضلابهای شهری است، و این مطلب احتمالاً یکی از دلایل تشابه الگوی مکانی فلزات در رسوبات است.

با نظر به اینکه در منطقه مورد مطالعه سرریز فاضلاب به رودخانه بسیار معمول است، بالا بودن غیر طبیعی غلظت فلزات مس، سرب و روی در ایستگاه ۱۶ نسبت به سایر ایستگاههای محل خروج فاضلاب را می توان به حجم بسیار بالاتر فاضلاب در این ایستگاه ارتباط داد. این امر نشان دهنده دخیل بودن عوامل انسانی در بالا رفتن غلظت این عناصر می باشد.

همچنین غلظت فلزات نیکل و کروم در ایستگاه های ۲۳، ۲۴ و ۲۵ از سایر ایستگاهها بالاتر می باشد. با توجه به اینکه این ایستگاهها در منطقه ای با بافت

مسکونی- کشاورزی واقع شده اند، منبع آنها احتمالاً رواناب های کشاورزی محتوی کودهای شیمیایی دارای کروم و نیکل این مناطق است. غلظت آرسنیک تقریباً در تمامی ایستگاهها یکسان است. بر اساس بررسی غلظت فلزات سنگین، تاثیر فعالیت های انسانی بر روی کیفیت رسوب در رودخانه کارون به وضوح نشان داده شده است.

مقایسه غلظت فلزات در رسوبات رودخانه کارون با شیل میانگین نشان می دهد که غلظت برخی از فلزات همچون مس و روی (ایستگاه ۱۶)، سرب (ایستگاههای ۱۶ و ۱۹)، و نیکل در (ایستگاههای ۴، ۵، ۹، ۱۲، ۱۴، ۲۳ و ۲۴) بیشتر از شیل میانگین می باشد که نشان دهنده اثر فعالیتهای انسان بر این مناطق می باشد. در حالیکه غلظت کروم، آرسنیک، آهن و منگنز به طور کلی کمتر از مقادیر شیل میانگین بودند.

بر اساس میانگین، غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون به این ترتیب است  $As < Pb < Cu < Cr < Zn < Ni < Mn < Fe$ .

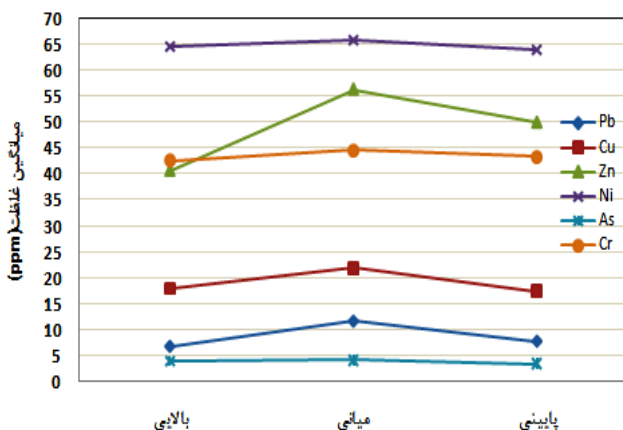
شکل (۳) وضعیت رودخانه کارون را در مناطق ورودی شهر، مرکز و در بخش خروجی نشان می دهد. همانگونه که مشاهده می شود میانگین غلظت تمام فلزات جز آرسنیک در بخش مرکزی شهر بالاتر از زون بالا دست و پایین دست رودخانه می باشد که احتمالاً دلیل آن تمرکز جمعیت، حضور صنایع مختلف و ترافیک در منطقه و همچنین کاهش آلودگی در قسمت میانی رودخانه به سبب وجود پل های متعدد که سبب تغلیظ عناصر شده است می باشد. همچنین عناصر سرب و روی در قسمت پایین دست رودخانه نسبت به منطقه ورودی دارای غلظت بالاتری هستند که احتمالاً با کارخانه فولاد و دیگر صنایع فلزی منطقه مرتبط می باشد. در واقع افزایش غلظت فلزات به خوبی با وضعیت صنعتی منطقه تطابق دارد.

جدول ۱. درجه بندی آلودگی رسوبات بر اساس فاکتور و درجه آلودگی (Hakanson 1980; Loska et al., 2004)

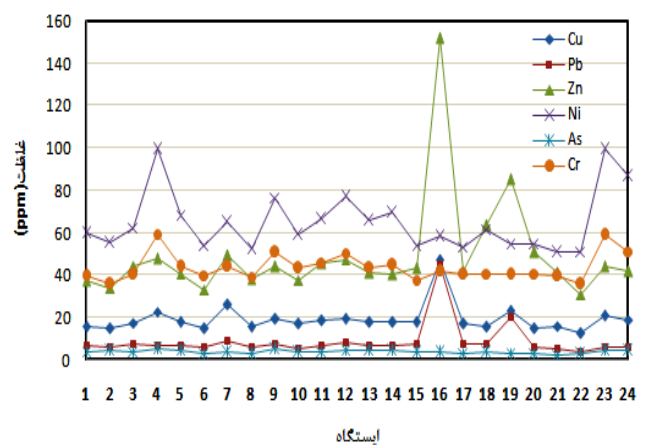
رده	درجه آلودگی	رده	فاکتور آلودگی
کم	$C_{deg} < 8$	کم	$C_f < 1$
متوسط	$8 \leq C_{deg} < 16$	متوسط	$1 \leq C_f < 3$
زیاد	$16 \leq C_{deg} < 32$	زیاد	$3 \leq C_f < 6$
خیلی زیاد	$32 \leq C_{deg}$	خیلی زیاد	$6 \leq C_f$

جدول ۲. توزیع ایستگاهی فلزات سنگین (بر حسب ppm) به همراه پارامترهای فیزیکی شیمیایی (pH, OC) در رسوبات رودخانه کارون

ایستگاه	فلز	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cr	Mn	Fe	pH	OC%
۱		۱۵,۳۸	۶,۴۲	۳۷,۵	۶۰	۴,۱	۳۹,۶	۳۹۵	۱۳۲۰۰	۷,۵۶	۰,۶۹
۲		۱۴,۶۵	۵,۸	۳۳,۹	۵۵,۱	۴,۳	۳۵,۷	۳۹۴	۱۲۸۰۰	۷,۷۴	۰,۶۱
۳		۱۷,۵۴	۷,۳۶	۴۴,۴	۶۲,۳	۴,۱	۴۰,۳	۴۰۷	۱۳۹۰۰	۷,۳۴	۰,۷۸
۴		۲۲,۷۴	۷,۰۳	۴۷,۹	۹۹,۷	۴,۹	۵۹,۳	۴۹۳	۲۰۰۰	۷,۸۱	۰,۴۲
۵		۱۷,۸۸	۶,۹	۴۰,۸	۶۸,۴	۴,۳	۴۴	۴۳۶	۱۶۰۰۰	۷,۴۱	۰,۵۲
۶		۱۴,۶۹	۵,۷۶	۳۳,۳	۵۴,۲	۳,۳	۳۹,۹	۳۹۴	۱۲۹۰۰	۷,۵۶	۰,۱۷
۷		۲۵,۸۴	۹,۳۲	۴۹,۵	۶۵,۱	۳,۷	۴۴,۲	۴۱۱	۱۵۸۰۰	۷,۰۷	۲,۱۴
۸		۱۵,۴۶	۵,۷۱	۳۷,۹	۵۲,۲	۳,۱	۳۹,۳	۴۰۸	۱۳۱۰۰	۷,۳۹	۰,۴۶
۹		۱۹,۴۶	۷,۷۵	۴۴,۲	۷۶,۷	۴,۹	۵۰,۸	۴۵۸	۱۸۱۰۰	۷,۴۶	۰,۵۹
۱۰		۱۶,۹۹	۵,۵	۳۷,۷	۵۹	۳,۸	۴۳,۴	۴۲۷	۱۵۴۰۰	۷,۲۶	۰,۳۸
۱۱		۱۸,۵	۶,۸	۴۵,۷	۶۶,۳	۳,۹	۴۵,۹	۴۱۹	۱۶۶۰۰	۷,۱۱	۰,۶۳
۱۲		۱۹,۵۲	۷,۹۸	۴۷,۴	۷۷	۴,۸	۵۰,۴	۴۶۰	۱۷۹۰۰	۷,۳۳	۰,۷۴
۱۳		۱۷,۸۴	۶,۸۸	۴۱	۶۶	۴,۳	۴۳,۴	۴۳۳	۱۵۸۰۰	۷,۱۸	۰,۸
۱۴		۱۸,۰۷	۶,۸۷	۴۰,۱	۶۹,۳	۴,۳	۴۴,۹	۴۳۲	۱۶۴۰۰	۷,۳۷	۰,۶۱
۱۵		۱۸,۰۹	۷,۴۸	۴۳,۲	۵۴,۲	۳,۵	۳۷,۶	۳۹۲	۱۳۵۰۰	۷,۳۵	۰,۶۵
۱۶		۴۷,۲۵	۴۵,۲۴	۱۵۱,۷	۵۸,۵	۳,۷	۴۱,۷	۳۹۱	۱۶۸۰۰	۶,۸۴	۲,۶۹
۱۷		۱۷,۰۸	۷,۲۳	۴۲,۳	۵۳,۴	۳,۲	۴۰,۳	۴۰۷	۱۳۹۰۰	۷,۴۶	۰,۳۹
۱۸		۱۵,۷	۷,۷۱	۶۳,۶	۶۱,۶	۳,۷	۴۰,۶	۴۰۵	۱۴۱۰۰	۷,۳	۰,۵۳
۱۹		۲۲,۹۹	۲۰,۵۵	۸۵,۳	۵۴,۸	۳,۳	۴۰,۴	۳۸۶	۱۵۳۰۰	۷,۱۵	۰,۶۱
۲۰		۱۵,۰۸	۵,۹۳	۵۰,۷	۵۴,۸	۳,۳	۴۰,۸	۴۱۴	۱۴۶۰۰	۷,۶	۰,۳۸
۲۱		۱۵,۸۷	۵,۵۶	۴۱,۲	۵۰,۸	۲,۶	۳۹,۵	۴۰۰	۱۳۸۰۰	۷,۵۷	۰,۳۲
۲۲		۱۲,۷۵	۳,۹۶	۳۰,۹	۵۱,۱	۲,۷	۳۶	۳۸۲	۱۳۲۰۰	۷,۸۱	۰,۲
۲۳		۲۱	۵,۹	۴۴,۱	۹۹,۷	۴,۵	۵۸,۹	۴۳۹	۱۸۳۰۰	۷,۵۴	۰,۳۴
۲۴		۱۸,۹۸	۵,۷۱	۴۱,۶	۸۶,۷	۴,۲	۵۱,۱	۴۳۶	۱۶۷۰۰	۷,۵۴	۰,۳۴
Mean		۱۹,۱۳	۸,۸۱	۴۸,۹۹	۶۴,۸۷	۳,۸۵	۴۳,۶۶	۴۱۷,۴۶	۱۵۳۰۰	۷,۴	۰,۶۶
Max		۴۷,۲۵	۴۵,۲۴	۱۵۱,۷	۹۹,۷	۴,۹	۵۹,۳	۴۹۳	۲۰۰۰۰	۷,۸۱	۲,۶۹
Min		۱۲,۷۵	۳,۹۶	۳۰,۹	۵۰,۸	۲,۶	۳۵,۷	۳۸۲	۱۳۲۰۰	۶,۸۴	۰,۱۷
Local background		۱۱,۱	۵,۳	۲۸	۴۱	۲,۵	۳۴	۳۵۳	۱۱۰۰۰	۷,۳۸	۰,۵۶
Average Shale		۴۵	۲۰	۹۵	۶۸	۱۳	۹۰	۸۵۰	۴۷۰۰۰		



شکل ۳. میانگین غلظت فلزات در بخش های پایینی (ایستگاههای ۱-۸)، میانی (ایستگاههای ۹-۱۶) و بالایی (ایستگاههای ۱۷-۲۴) رودخانه کارون



شکل ۲. توزیع مکانی فلزات در منطقه مورد مطالعه

### ارزیابی سمناکی رسوبات بر اساس SQGs

برای ارزیابی اثر غلظت فلزات سنگین بر اکوسیستم آبی از معیار کیفی رسوبات (SQGs) استفاده می شود. مقادیر SQGs همراه با اثرات آن و مقایسه نتایج در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. با مقایسه غلظت آرسنیک در ایستگاههای مختلف با SQG مشخص شد که غلظت آرسنیک در تمام نمونه ها زیر سطح TEL است. غلظت مس و سرب و روی تنها در ایستگاه ۱۶ بالاتر از TEL نشان داده شده است. برای کروم ۹۲٪ از نمونه ها بیشتر از سطح TEL است

که بارزترین آن در ایستگاههای ۲۳ و ۴ و احتمالاً به علت وجود فعالیتهای کشاورزی در این مناطق می باشد. این در حالیکه مقدار نیکل در ۱۰۰٪ نمونه ها بالاتر از سطح TEL و PEL است. علاوه بر این، غلظت نیکل ۱/۸ برابر بیش از سطح PEL مربوط به خود بود، بنابراین عوارض جانبی بیولوژیکی احتمالی، به علت غلظت بالای نیکل چندان دور از ذهن نیست.

جدول ۳. مقایسه بین معیار کیفیت رسوب (SQGs) و غلظت فلزات سنگین (ppm) در مطالعه حاضر همراه با درصد نمونه ها در هر معیار

	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	As
SQGs						
TEL	35.7	35	123	18	37.3	5.9
PEL	197	91.3	315	36	90	17
محدوده این مطالعه						
	12.75- 45.25	3.96- 45.24	30.9- 151.7	50.8- 99.7	35.7- 59.3	2.6- 4.9
درصد نمونه ها در هر معیار						
TEL < نمونه %	96%	96%	96%	0%	8%	100%
بین TEL-PEL	4%	4%	4%	0%	92%	0%
PEL < نمونه %	0%	0%	0%	100%	0%	0%

TEL (Smith et al., 1996) و PEL (Smith et al., 1996)

جدول ۴. رده بندی معیارهای های کیفیت رسوب (SQGs) و اثرات آن (MacDonald et al., 1996; MacDonald et al., 2003)

معیار کیفی رسوبات (TEL, PEL)	اثرات
<TEL	با اثرات نامطلوب زیست شناختی همراه نیست
میان TEL-PEL	گاهی اوقات ممکن است با اثرات نامطلوب زیست شناختی همراه باشد
>PEL	غالباً با اثرات نامطلوب زیست شناختی همراه است

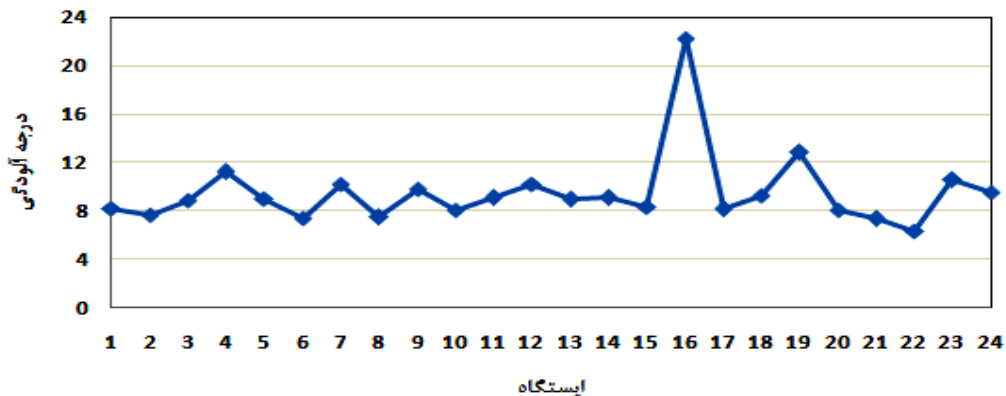
### فاکتور و درجه آلودگی

برای ارزیابی میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی (Cf) و درجه آلودگی (Cd) استفاده شد (جدول ۵). بیشترین میزان فاکتور آلودگی برای عنصر روی (۴۱،۸۹) و کمترین آنها برای آرسنیک (۳۰،۷۳) می باشد. همچنین برای عناصر مس، سرب و روی ایستگاههای ۱۶ و ۱۹ برای نیکل، آرسنیک و کروم ایستگاههای ۴ بالاترین مقادیر فاکتور آلودگی مشاهده شد. همانطور که مشاهده می شود فاکتور آلودگی برای تمام فلزات  $Cf < 3$  می باشد که نشان دهنده آلودگی متوسط رسوبات رودخانه

است. همینطور درجه آلودگی برای تمامی ایستگاهها در اندازه متوسط میباشد به جز ایستگاه ۱۶ که دارای درجه آلودگی زیاد و ایستگاه ۲۱، ۲۰، ۲۲ و ۲۳ با درجه آلودگی کم می باشد (شکل ۴). در واقع افزایش چشمگیر آلودگی در ایستگاه ۱۶ به علت تخلیه فاضلابهای است که احتمالاً مربوط به فرآوردهای نفتی است. بنابراین پایش و کنترل فاضلابهای ورودی خصوصاً در این منطقه باید مد نظر قرار گیرد.

جدول ۵. مقادیر فاکتور و درجه آلودگی در ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	As	درجه آلودگی	رده
۱	۱,۳۸	۱,۲۱	۱,۳۳	۱,۴۶	۱,۶۴	۱,۱۶	۸,۱۸	متوسط
۲	۱,۳۱	۱,۰۹	۱,۲۱	۱,۳۴	۱,۷۲	۱,۰۵	۷,۷۲	کم
۳	۱,۵۸	۱,۳۸	۱,۵۸	۱,۵۱	۱,۶۴	۱,۱۸	۸,۸۷	متوسط
۴	۲,۰۴	۱,۳۲	۱,۷۱	۲,۴۳	۱,۹۶	۱,۷۴	۱۱,۲	متوسط
۵	۱,۶۱	۱,۳	۱,۴۵	۱,۶۶	۱,۷۲	۱,۲۹	۹,۰۳	متوسط
۶	۱,۳۲	۱,۰۸	۱,۱۸	۱,۳۲	۱,۳۲	۱,۱۷	۷,۴	کم
۷	۲,۳۲	۱,۷۵	۱,۷۶	۱,۵۸	۱,۴۸	۱,۳	۱۰,۱۹	متوسط
۸	۱,۳۹	۱,۰۷	۱,۳۵	۱,۲۷	۱,۲۴	۱,۱۵	۷,۴۷	کم
۹	۱,۷۵	۱,۴۶	۱,۵۷	۱,۸۷	۱,۹۶	۱,۴۹	۹,۸۳	متوسط
۱۰	۱,۵۳	۱,۰۳	۱,۳۴	۱,۴۳	۱,۵۲	۱,۲۷	۸,۱۲	متوسط
۱۱	۱,۶۶	۱,۲۸	۱,۶۳	۱,۶۱	۱,۵۶	۱,۳۵	۹,۰۹	متوسط
۱۲	۱,۷۵	۱,۵	۱,۶۹	۱,۸۷	۱,۹۲	۱,۴۸	۱۰,۲۱	متوسط
۱۳	۱,۶	۱,۲۹	۱,۴۶	۱,۶	۱,۷۲	۱,۲۷	۸,۹۴	متوسط
۱۴	۱,۶۲	۱,۲۹	۱,۴۳	۱,۶۹	۱,۷۲	۱,۳۲	۹,۰۷	متوسط
۱۵	۱,۶۲	۱,۴۱	۱,۵۴	۱,۳۲	۱,۴	۱,۱	۸,۳۹	متوسط
۱۶	۴,۲۵	۸,۵	۵,۴۱	۱,۴۲	۱,۴۸	۱,۲۲	۲۲,۲۸	زیاد
۱۷	۱,۵۳	۱,۳۶	۱,۵۱	۱,۳	۱,۲۸	۱,۱۸	۸,۱۶	متوسط
۱۸	۱,۴۱	۱,۴۵	۲,۲۷	۱,۵	۱,۴۸	۱,۱۹	۹,۳	متوسط
۱۹	۲,۰۷	۳,۸۸	۳,۰۴	۱,۳۳	۱,۳۲	۱,۱۸	۱۲,۸۲	متوسط
۲۰	۱,۳۵	۱,۱۱	۱,۸۱	۱,۳۳	۱,۳۲	۱,۲	۸,۱۲	متوسط
۲۱	۱,۴۲	۱,۰۴	۱,۴۷	۱,۲۳	۱,۰۴	۱,۱۶	۷,۳۶	کم
۲۲	۱,۱۴	۰,۷۴	۱,۱	۱,۲۴	۱,۰۸	۱,۰۵	۶,۳۵	کم
۲۳	۱,۸۹	۱,۱۱	۱,۵۷	۲,۴۳	۱,۸	۱,۷۳	۱۰,۵۳	متوسط
۲۴	۱,۷	۱,۰۷	۱,۴۸	۲,۱۱	۱,۶۸	۱,۵	۹,۵۴	متوسط
$\sum Cf$	۴۱,۲۴	۳۹,۷۲	۴۱,۸۹	۳۷,۸۵	۳۷,۰	۳۰,۷۳		
Mean	۱,۷۱	۱,۶۵	۱,۷۴	۱,۵۷	۱,۵۳	۱,۲۳		



شکل ۴. درجه آلودگی در ایستگاههای نمونه برداری

## تجزیه و تحلیل آماری

### نرمال بودن داده ها

بررسی ارتباط میان فلزات سنگین با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و آنالیزهای چند متغیره بر اساس داشتن توزیع نرمال داده هاست. برای بررسی نرمال بودن داده ها از نرم افزار Spss. 16 و آزمون کلموگروف-اسمیرنوف (K-S) استفاده شد. در این آزمون، فرض صفر بر نرمال بودن توزیع داده ها بنا شده

است. بنا بر این اگر فرض صفر رد شود به معنی غیر نرمال بودن داده ها است. معمولاً چنانچه سطح معنی داری در این آزمون که در این جدول با Sig نمایش داده شده، بیشتر از ۰/۰۵ باشد، می توان داده ها را با اطمینان بالایی نرمال فرض کرد. در غیر این صورت نمی توان گفت توزیع داده ها، نرمال است. بنابراین آزمون K-S، انجام شد و نتایج نشان داد که به جز سرب و روی با  $Sig < 0/05$  بقیه عناصر دارای توزیع نرمال می باشند. در این مطالعه، از رابطه Ln برای نرمال کردن داده ها استفاده شد (Li et al., 2013).

### ضریب همبستگی پیرسون

به منظور بررسی ارتباط میان فلزات سنگین و خواص فیزیکوشیمیایی رسوبات از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون میان فلزات سنگین (آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب و روی)، عناصر اصلی ( آهن و منگنز) و خواص فیزیکوشیمیایی (pH, OC) محاسبه شد. (جدول ۶). همانطور که جدول (۷) نشان می دهد برخی فلزات همچون Cu, Pb, Zn همبستگی منفی قابل توجهی با pH دارند، این نشان می دهد، افزایش pH می تواند تحرک فلزات را کاهش دهد (Tripathi and Misra, 2012). همچنین OC همبستگی بالایی با مس و سرب و روی دارد که احتمالاً نشان دهنده جذب فلزات سنگین توسط OC است. بنابراین مواد آلی رسوبات می تواند به عنوان یک حامل برای این فلزات عمل کند (Ruzhong et al., 2010). ضریب همبستگی بالا بین فلزات مختلف می تواند به معنی منابع مشترک آنها، وابستگی متقابل و رفتار یکسان در طول حمل و نقل باشد (Jain et al., 2005) با توجه به توضیحات بیان شده بین عناصر مس و سرب ( $r=0/892$ )، مس و روی ( $r=0/856$ )، سرب و روی ( $r=0/943$ ) همبستگی مثبت قابل توجهی وجود دارد و با دیگر فلزات این همبستگی ضعیف و یا منفی است. همبستگی مثبت می تواند نشان دهنده روابط میان این فلزات و نشان دهنده منبع ورودی مشترک آنها باشد و با توجه به اینکه این فلزات در صنایع

کاربرد دارند و همچنین در محیط زیست شهری دارای غلظت فراوانترند بیان کننده منشأ انسانزاد آنها میباشد. همچنین آرسنیک، کروم و نیکل همبستگی بالایی دارند، و ارتباطی با فلزات دیگر ندارند، که نشان می دهد این فلزات دارای منابع متفاوتی بوده و یا عوامل کنترل کننده و رفتارشان در طی فرایند حمل و نقل با دیگر فلزات مورد مطالعه متفاوت است. جذب آهن و منگنز در pH های مختلف متفاوت است. همبستگی بالای میان آهن و منگنز با آرسنیک، کروم و نیکل می تواند نشان دهنده وجود یک منبع خاک زاد مشابه و یا مکانیسم های حمل و نقل مشابه و انباشت در رسوبات باشد (Ong et al., 2013). همچنین با توجه به نظر (Zabetoglou et al., 2002)، که اکسی/هیدروکسیدهای آهن و منگنز تمایل زیادی به جذب اکثر فلزات دارند و غلظت آهن اغلب در محیط های آبی با غلظت دیگر فلزات مرتبط است (Cevik et al., 2009)، و همانگونه که اشاره گردید منابع آرسنیک، کروم و نیکل می تواند ناشی از کودهای کشاورزی و صنایع رنگرزی باشد، بنابراین منابع می توانند منابع انسانزاد احتمالی این عناصر باشند. در مقابل، ارتباط ضعیف و یا عدم ارتباط فلزات (مس، سرب و روی) با آهن می تواند، نشان دهنده سهم انسانی فلزات به دلیل توسعه شهری (Davutluoglu et al., 2011) در اطراف حوضه رودخانه کارون باشد.

جدول ۶. محاسبه ضریب پیرسون بین فلزات سنگین و خواص فیزیکوشیمیایی رسوبات سطحی رودخانه کارون

	Cu	Ni	As	Cr	Pb	Zn	Mn	Fe	pH	OC
Cu	۱									
Ni	۰/۱۶۷	۱								
As	۰/۱۴۶	۰/۷۷۴**	۱							
Cr	۰/۲۱۵	۰/۹۶۴**	۰/۷۰۳**	۱						
Pb	۰/۸۹۲	-۰/۰۶۹	۰/۰۳۷	-۰/۰۱۷	۱					
Zn	۰/۸۵۶	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۵	۰/۰۶۴	۰/۹۴۳**	۱				
Mn	۰/۰۲	۰/۸۳۳	۰/۷۷۱**	۰/۸۷۰**	-۰/۱۷۲	-۰/۱۱۶	۱			
Fe	۰/۴۴۵*	۰/۸۵۸	۰/۷۱۱**	۰/۹۱۶**	۰/۲۵۰	۰/۳۰۷	۰/۸۴۲**	۱		
pH	-۰/۶۲۹**	۰/۱۶۷	۰/۰۰۵	۰/۰۸۷	-۰/۷۰۹**	-۰/۶۶۱**	۰/۱۶۷	-۰/۱۴۹	۱	
OC	۰/۸۵۴	-۰/۰۶۵	۰/۰۷۸	-۰/۰۵۴	۰/۷۶۶	۰/۶۹۰**	-۰/۱۵۶	۰/۱۸۵	-۰/۷۰۹**	۱

\*0.01 Level, \*\* 0.05 level

### تحلیل عاملی (FA)

بارتلت استفاده شد (Li et al., 2013). مقدار آزمون KMO، (۰/۶۸۵) است که نشان دهنده غلظت مناسب فلزات سنگین رسوبات برای تحلیل عاملی است (Varol and Sen, 2009; Chen et al., 2012). با انجام FA مشخص شد که دو عامل (شکل ۵) ۹۰/۳۷٪ از واریانس کل را شامل می شوند. فاکتور اول ۵۴/۰۱٪ از کل واریانس را در بر گرفته و شامل نیکل، آرسنیک، کروم، آهن و منگنز است. با توجه به اینکه آهن و منگنز، عموماً عناصری با منشأ طبیعی می باشند، میتوان نتیجه گرفت احتمالاً بخش عمده این فلزات از منابع سنگ زاد بوده و یا جذب آنها توسط اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز را نشان می دهد (Sundaray et al., 2011). و همچنین با توجه به حضور نیکل،

از آنجا که فلزات سنگین در رسوبات تهدیدی برای سلامت موجودات آبی نشان داده شده اند، شناسایی و کنترل منابع فلزات سنگین امری مهم است. فلزات سنگین در رسوبات غالباً دارای روابط متقابل پیچیده هستند. چندین عامل از جمله محتوای اصلی فلزات سنگین در سنگها و مواد والد، فرآیندهای تشکیل خاک، آلودگی توسط فعالیت های انسانی و سایر عوامل انسانی فراوانی نسبی فلزات را کنترل می کنند (Li et al., 2008). برای بررسی ارتباط زمین شیمیایی میان فلزات و عوامل کنترل کننده منشأ ورودی آنها از تحلیل عاملی استفاده می شود. در مرحله اول، به منظور بررسی مناسب بودن داده ها برای تحلیل عاملی (FA)، از آزمون (Kaiser-Meyer-Olkin) (KMO) و



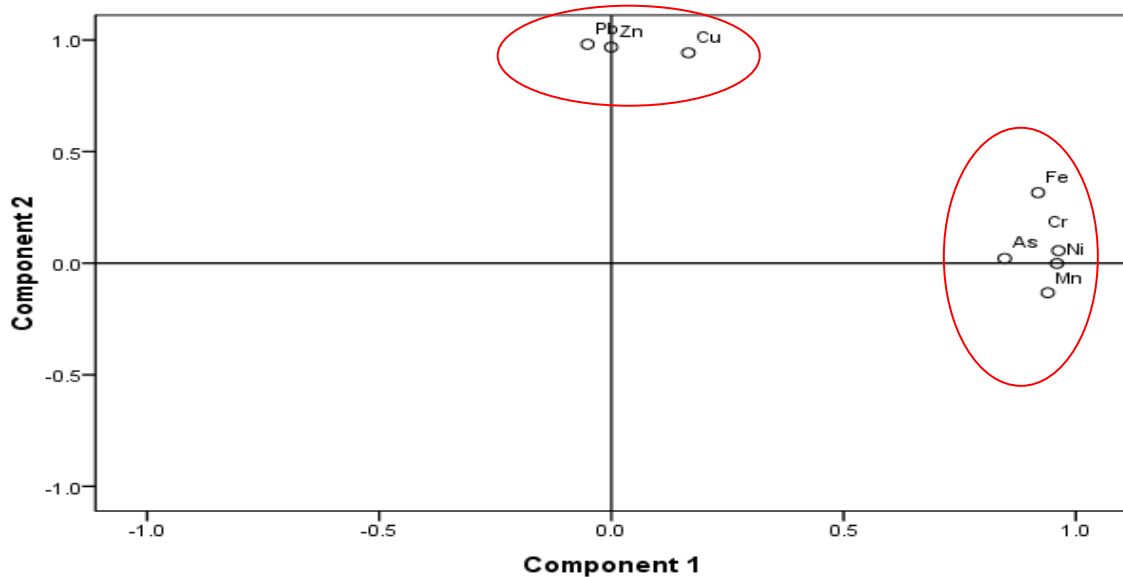
آرسنیک و کروم در میان آنها احتمال منابع انسانزاد آنها با توجه به وجود فعالیت های کشاورزی دور از انتظار نیست. فاکتور دوم، ۳۶/۳۶٪ از کل واریانس است و فلزات مس، سرب، و روی را در بر می گیرد که به نظر می رسد فاکتور یک فاکتور انسان زاد است. (Zhang et al., 2008). بنابراین منشا، مس، سرب، روی، را می توان انسانزاد تعریف کرده و ممکن است از منابع

آلودگی مشابه سرچشمه گرفته باشند (Guo and He, 2013). نتایج بدست آمده از FA به خوبی با نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون مطابقت دارد. مس، روی، سرب، به طور عمده از تخلیه و پسابهای صنعتی و خانگی ناشی می شوند. کروم و آرسنیک و نیکل به طور عمده از منابع طبیعی و یا احتمالا روانابهای کشاورزی می باشد.

جدول ۷. ماتریس چرخش برای فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه کارون

عناصر	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲
Cu	.۱۶۶	.۹۴۳
Ni	.۹۵۹	-.۰۰۱
As	.۸۴۷	.۰۲۱
Cr	.۹۶۳	.۰۵۶
Pb	-.۰۵۱	.۹۸۱
Zn	۰	.۹۶۸
Mn	.۹۴۰	-.۱۳۳
Fe	.۹۱۹	.۳۱۶

Extraction method: principle component analysis; rotation method: varimax



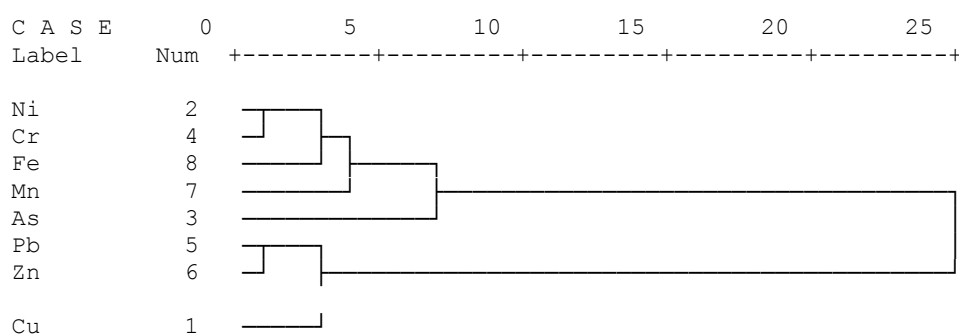
شکل ۵- رسم مؤلفه ها در فضای چرخشی

نزدیکتری دارند. شاخه شماره ۲ شامل، روی، سرب، مس است که میان آنها رابطه متقابل و تشابه بالایی است و می توان بیان کرد که احتمالا منابع ورودی و یا عوامل کنترل کننده آنها یکی است. این فلزات معمولا با کاربردهای صنعتی و تخلیه فاضلابهای شهری مرتبط می باشند. به عنوان مثال، صنعت متالورژی و احتراق سوخت های فسیلی می تواند سرب، و روی منتشر کنند (Nriagu and Pacyna, 1988). عدم وجود ارتباط میان این دو شاخه نشاندهنده نبود منشا یکسان برای آنهاست. تمام این نتایج به خوبی با ضریب همبستگی پیرسون مطابقت دارند.

### تجزیه و تحلیل خوشه ای

روش دیگری که برای درک منابع فلزات سنگین در رسوبات بکار گرفته شد تجزیه و تحلیل خوشه ای است. تجزیه و تحلیل خوشه ای یکی از مهم ترین روشها جهت طبقه بندی منابع آلودگی فلزات سنگین است (Mico et al., 2006). نتایج بدست آمده در شکل (۶) نشان داده شده است. عناصر در فاصله ۲۵ در دو شاخه قرار گرفتند. شاخه ۱ شامل کروم، نیکل، آهن، منگنز، آرسنیک می باشد که از میان آنها کروم و نیکل رابطه

## Rescaled Distance Cluster Combine



شکل ۶. دندروگرام آنالیز خوشه ای غلظت فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون در اهواز

۱۶ به علت تخلیه فاضلابها آلوده ترین ایستگاه است، و برای آرسنیک و کروم و نیکل ایستگاه ۴ از آلوده ترین مکانهاست. توزیع مکانی آلودگی فلزات سنگین ارتباط نزدیکی با ویژگی های شهرستان اهواز دارد. تجزیه و تحلیل چند متغیره نشان داد که مس، روی، سرب، عمدتاً نشأت گرفته از فاضلاب شهری و صنعتی است. کروم و آرسنیک و نیکل به طور عمده ناشی از منابع طبیعی و منابع کشاورزی هستند. در کل توزیع مکانی آلودگیها در رسوبات تاثیر مهم فعالیت های انسانی، شهرنشینی و صنعتی شدن را بر منطقه نشان می دهد.

**قدر دانی:**

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران بخاطر حمایت های مالی قدردانی می نمایند.

**نتیجه گیری**

در مطالعه حاضر آلودگیهای ناشی از فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون بررسی شد. سطح و شناسایی منابع فلزات سنگین بر اساس SQGs، روش های آماری چند متغیره شامل ضریب همبستگی پیرسون، FA، CA و محاسبه ضرایب Cf و Cdeg انجام شد. اندازه گیری پارامترهای فیزیکوشیمیایی رسوبات نشان داد که pH رسوبات خنثی تا کمی قلیایی است. همچنین OC در قسمت شمالی رودخانه بالاتر از بخش جنوبی است که احتمالاً ناشی از روانابهای کشاورزی است. با توجه به نتایج SQGs، نیکل به عنوان فلز دارای اثرات بیولوژیکی شناسایی شد و می تواند نگرانی هایی در ارتباط با تاثیر سوء بر حیات آبزیان در پی داشته باشد. درجه آلودگی رسوبات به فلزات سنگین در حد متوسط است. برای عناصر مس و سرب و روی و ایستگاه

**منابع**

- Aprile.F.M.,Bouvy.M., 2008, Distribution and enrichment of heavy metals in sediments at the Tapacura River basin, Northeastern Brazil.Braz. J.Aquat. Sci. Technol, Vol:12, No:1, p:1-8.
- Babich. H., Stotsky.G., 1982, Nickel toxicity to fungi: influence of environmental factors, Ecotoxicol. Environ. Saf, Vol: 6, No:6, p: 577- 589.
- Bai. J.H., Cui. B.S., Chen.B., Zhang. K.J., Deng.W., Gao.H.F., Xiao. R., 2011, Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland.China, Ecological Modelling, Vol:222, No:2, p: 301-306.
- Bermejo.J.C.S., Beltran. R., Ariza. J.L.G., 2003, Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain),Environ Int,Vol:29, No:1, p:69-77.
- CCME ,1995, Protocol for the derivation of Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME EPC-98E. Prepared by Environment Canada, Guidelines Division, Technical Secretariat of the CCME Task Group on Water Quality Guidelines, Ottawa.
- Cevik.F., Goksu.M.Z.L., Derici.O.B., Findik.O., 2009, An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses,Environ. Monit. Assess, Vol:152,No:1-4, p: 309-317.
- Chen. X.D., Lu. X.W., Yang.G., 2012, Sources identification of heavy metals in urban topsoil urban topsoil from inside the Xi'an Second Ringroad, NW China using multivariate statistical methods, Catena,Vol: 98, p:73-78.
- Chen.Y.T., Luo. Z.R., 1991, Modern sedimentary velocity and their reflected sedimentary characteristics in the Pearl River Mouth, Tropic Oceanology,Vol:10, No:2, p:57-64 (in Chinese).
- Choi.K.Y., Kim.S.H., Hong.G.H., Chon.H.T, 2012, Distributions of heavy metals in the sediments of South Korean harbors, Environ Geochem Health, Vol:34, No: s1, p:71-82.
- Chuan.M.C., Shu. G.Y. and Liu. J.C., 1996, Solubility of heavy metals in a contaminated soil: Effects of redox potential and pH, Water Air Soil Pollut, Vol:90, No:3-4, p:543-556.

- Cobelo-Garcia.A., Prego.R., 2003, Heavy metal sedimentary record in a Galician Ria (NW Spain): background values and recent contamination, *Marine Pollution Bulletin*, Vol:46, No:10, p:1253–1262.
- Davutluoglu.O., Seckin.G., B. Ersu.C., Yilmaz.T., Sari.B., 2011, Assessment of Metal Pollution in Water and Surface Sediments of the Seyhan River, Turkey, Using Different Indexes, *Clean – Soil, Air, Water*, Vol: 39, No:2, p:185–194
- Demirak. A., Yilmaz.F., Tuna. A.L., Ozdemir.N., 2006, Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey, *Chemosphere*, Vol:63, No:9, p:1451–1458.
- Diagomanolin.V., Farhang.M., Ghazi-Khansari .M., Jafarzadeh.N., 2004, Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the Karoon waterway river, Iran, *Toxicology Letters*, Vol:151, No:1, p:63–68.
- Farkas. A., Erratico. C., Vigano. L., 2007, Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po, *Chemosphere*, Vol:68, No:4, p:761–768.
- Gladyshev.M.I., Gribovskaya.I.V., Ivanova. E.A., Moskvichova. A.V., Muchkina Ya. E., Chuprov, S.M., 2001, Metal concentrations in the ecosystem and around recreational and fish-breeding pond Bugach, *Water Resour*, Vol:28, No:3, p:288–296.
- Guo.R., He.X., 2013, Spatial variations and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments on the upper reaches of Hun River, Northeast China, *Environ Earth Sci*, Vol:70, No:3, p:1083–1090.
- Hakanson.L., 1980, An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach, *Water Res*, Vol:14, No:8, p:975–1001.
- Jafarzadeh.N., Morovaty.K., 1996, Detection and determination of heavy metals in Karoon river: first report. Ahwaz Medical Sciences University and EPA of Khoozestan, Ahwaz, p: 112–124.
- Jain. C.K., Singhal. D.C., Sharma. M.K., 2005, Metal pollution assessment of sediment and water in the river Hindon, India, *Environ Monit Assess*, Vol:105, No:1-3, p:193–207.
- Karamouz. M., Mahjouri.N., Kerachian. R., 2004, River water quality zoning: A case study on Karoon and Dez river system, Iran *Journal of Envi*, Vol:1, No:2, p:15–21.
- Larsen.B., Jensen.A., 1989, Evaluation of the sensitivity of sediment stations in pollution monitoring, *Mar Pollut Bull*, Vol:20, No:11, p:556–560.
- Li .C., Lu. F.Y., Zhang .Y., Liu. T.W., Hou. W., 2008, Spatial distribution characteristics of heavy metals in street dust in Shenyang city, *Ecol Environ*, Vol:17, No:2, p:560–564 (in Chinese).
- Li.F., Huang.J., Zeng.G., Yuan.X., Li.X., Liang.J., Wang.X., Tang.X., Bai.B., 2013, Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China, *Geochemical Exploration*, Vol:132, p:75–83.
- Liaghati.T., Preda.M., Cox.M., 2003, Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia, *Environmental International*, Vol:29, No:7, p:935–948.
- Liu.Y., Guo.H.C., Yu .Y.J., Huang. K., Wang .Z., 2007, Sediment chemistry and the variation of three altiplano lakes to recent anthropogenic impacts in south-western China, *Water SA*, Vol:33, No: 2, p: 305–310.
- Long. E.R., MacDonald .D.D., Smith. S.L., Calder. F.D., 1995, Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments, *Environ. Manage*, Vol:19, No: 1, p:81–97.
- Loska.K., Wiechula.D., Korus.I., 2004, Metal contamination in farming soils affected by industry, *Environ Int*, Vol: 30, No:2, p:159–165.
- MacDonald. D.D., Scottcarr. R., Calder.F.D., Long. E.R., Ingersoll.C.G., 1996, Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters, *Ecotoxicology*, Vol:5, No:4, p: 253–278.
- MacDonald.D.D., Ingersoll.C.G., Dawn. E.S., Rebekka. A.L., 2003, Development and applications of sediment quality criteria for managing contaminated sediment in British Columbia, MacDonald Environmental Sciences Ltd., 24-4800 Island Highway North Nanaimo, British Columbia V9T 1W6, 2003.
- MacDonald.D.D., Ingersoll. C.G., Berger. T.A., 2000. Development and evaluation of consensus- based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol: 39, p:20–31.
- Marathe. R.B., Marathe.Y.V., Sawant.C.P., 2011, Sediment characteristics of Tapti River, Maharashtra, India, *ChemTech Research*, Vol:3, No:3, p:1179–1183.
- Mico.C., Recatalá .L., Peris .M., Sánchez. J., 2006, Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis, *Chemosphere*, Vol:65, No:5, p: 863–872.
- Mil-Homens.M., Stevens.R.L., Abrantes.F., Cato.I., 2006, Heavy metal assessment for surface sediments from three areas of the Portuguese continental shelf, *Continental Shelf Research*, Vol:26, No:10, p:1184–1205.
- Nriagu. J. O., Pacyna. J. M., 1988, Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals, *Nature*, Vol:333, p:134–139.
- NYSDEC (New York State Department of Environmental Conservation). 1999, Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments, Division of Fish, Wildlife and Marine Resources, NYSDEC, p: 45.
- Ong.M.C., Menier.D., Shazili. N.A.M., Kamaruzzaman.B.Y., 2013, Geochemical Characteristics of Heavy Metals Concentration in Sediments of Quiberon Bay Waters, South Brittany. France, *Oriental Journal of Chemistry*, Vol:29, No:1, p:39–45.
- Ramelow. G.J., Biven. S.L., Zhang.Y., Beck. J., Young. J.C., Callahan. J.D., Marcon. M.F., 1992, The identification of point sources of heavy metals in industrially impacted water way by periphyton and surface sediment monitoring, *Water Air Soil Pollut*, Vol:65, No:1-2, p:175–190.

- Rubio.B., Nombela.M.A., Vilas.F., 2000, Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): an assessment of metal pollution, *Marine Pollution Bulletin*, Vol:40, No:11, p: 968–980.
- Ruzhong.L., Kun.S., Yueying.L., Yong.S., 2010, Assessment of Heavy Metal Pollution in Estuarine Surface Sediments of Tangxi River in Chaohu Lake Basin, *Chin. Geogra. Sci*, Vol:20, No:1, p: 9–17
- Seralathan.P., Meenakshikutty. N.R., Asaref.K.V., Padmalal.D., 1993, Sediment and organic carbon distribution in the Cochin harbor area, *Indian J Mar Sci*, Vol:22, No:4, p:225–252.
- Shrivastava.P., Saxena.A., Swarup.A., 2003, Heavy metal pollution in a sewage-fed lake of Bhopal (MP), India. *Lakes Reserv Res Manag*, Vol:8, No:1, p:1–4.
- Singh. M., Ansari.A.A., Müller.G., Singh.I.B., 1997, Heavy metals in freshly deposited sediments of the Gomati River (a tributary of the Ganga River): effects of human activities, *Environmental Geology*, Vol:29, No:3-4, p:246-252
- Smith.S.L., MacDonald.D.D., Keenleyside.K.A., Ingersoll.C.G., Field.J., 1996, A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems, *Great Lakes Research*, Vol:22, No:3, p: 624–638.
- Spencer.D.F., Green. R.W., 1981, Effects of nickel on seven species of fresh water algae, *Environ. Pollut*, Vol:25, No:4, p:241–247.
- Sujitha, P., Dev, D. M., Sowmya, P. and Priya, R. 2011. Physico-Chemical parameters of Karamana River Water in Trivandrum District, Kerala, India. *International journal of environmental sciences*, 2, 472-490.
- Sundaray. S.K., Nayak .B.B., Lin. S., Bhatta. D., 2011, Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments-a case study: Mahanadi basin. India, *J Hazard Mater*, Vol:186, No: 2-3, p:1837–1846.
- Thornton.I., 1996, Risk assessment related to metals: The role of the geochemist. In: Report of the International Workshop on Risk Assessment of Metals and their Inorganic Compounds, Angers
- Tripathi.A., Misra.D.R., 2012, A study of physico-chemical properties and heavy metals in contaminated soils of municipal waste dumpsites at Allahabad, India. *Environmental Sciences*, Vol: 2, No:4, p:2024-2033.
- Unlu. S., Topcuoglu. S., Alpar.B., Kirbasoglu.C., Yilmaz.Y.Z., 2008, Heavy metal pollution in surface sediment and mussel samples in the Gulf of Gemlik, *Environ Monit Assess*, Vol:144, No:1-3, p: 169–178.
- Varol. M., Şen.B., 2009, Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol:159, No:4, p:543–553.
- Zabetoglou. K., Voutsas.D., Samara.C., 2002, Toxicity and heavy metal contamination of surficial sediments from the Bay of Thessaloniki (Northwestern Aegean Sea) Greece, *Chemosphere*, Vol:49, No:1, p:17–26.
- Zhang.C., Wu. L., Luo .Y., Zhang. H., Christie.P., 2008, Identifying sources of soil inorganic pollutants on a regional scale using a multivariate statistical approach: role of pollutant migration and soil physiochemical properties, *Environ Pollut*, Vol:151, No:3, p:470–476.