

پهنه‌بندی و انتشار هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) و فلزات سنگین در رسوبات سطحی رودخانه

اروند

چکیده

هدف از پژوهش حاضر تعیین میزان و پهنه‌بندی غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل (TPHs) و فلزات سنگین (Pb, Co, V, Ni) در رسوبات سطحی رودخانه اروند می‌باشد. به این منظور ۱۰ ایستگاه نمونه‌برداری در طول مسیر رودخانه انتخاب و نمونه‌برداری در فصل زمستان سال ۱۳۹۶ انجام شد. ۹۰ نمونه رسوب توسط گرب مدل ون‌وین با سطح مقطع ۰,۰۲۵ مترمربع برداشت شد. میزان فلزات سنگین و غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی بر اساس استاندارد MOOPAM و با استفاده از متد جذب اتمی (اسپکترومتری) یا AAS و دستگاه گروماتوگرافی اندازه‌گیری و پهنه‌بندی رسم گردید. بر اساس آنالیزهای انجام‌گرفته بیشترین و کمترین میزان هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه ۲ (سکوی آبگیر دیری فارم) ۰/۵۰ ± ۲۱/۹۶ میلی گرم بر لیتر و ایستگاه ۱ (نهر خین) ۰/۱۹ ± ۹/۹۱ میلی گرم بر لیتر بود. در مورد فلزات نیکل، سرب و وانادیوم بالاترین مقادیر در ایستگاه ۹ (یادمان شهدا) ۰/۰۵ ± ۷۵/۹۶ میلی گرم بر لیتر، در ایستگاه ۶ (خسروآباد) ۰/۱۰ ± ۱۳/۰۷ میلی گرم بر لیتر و در ایستگاه ۷ (ابتدای مینوحی) ۰/۰۲ ± ۱۸/۸۸ میلی گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. بر اساس استانداردهای جهانی، سواحل رودخانه اروند از نظر هیدروکربن‌های نفتی در شرایط فاقد آلودگی و کمی آلوده قرار داشت. مقدار کبالت در تمام ایستگاه‌ها مقدار کوچک‌تر از ۰/۱ < را نشان داد بود و در مورد نیکل، وانادیوم و سرب مقادیر اندازه‌گیری شده در رسوبات اروند رود بالاتر از مقدار استاندارد سازمان منطقه‌ای راهپی (خلیج فارس) بود.

صغری رحیمی معظم پور^۱

سید محمدباقر نبوی^۲

مریم محمدی روزبهانی^۳

مژگان خدادادی^۴

سیما سبزی‌علیپور^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
 ۲ و ۳ و ۵. گروه علوم محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
 ۴- گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*مسئول مکاتبات:

nabavishiba@yahoo.com

کد مقاله: ۱۴۰۰۰۴۰۹۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷

این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله دکتری است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، هیدروکربن‌های نفتی (TPHs)، فلزات سنگین، رسوبات، رودخانه اروند.

مقدمه

در طی دهه‌های اخیر بقای سواحل رودخانه‌ها و خورها به‌عنوان مناطقی با حساسیت بالا که از نظر بیولوژیکی، زیستگاهی مهم محسوب می‌شوند، توسط فعالیت‌های انسان در معرض خطر قرار گرفته است (Abdel-Shafy and Mansour, 2016). بخش کوچکی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی، مواد منشأ آلی و طبیعی دارند (Azhari, 2012; Munyengabe *et al.*, 2017; Mastral and Callen, 2000) اما بخش عمده‌ای از این آلاینده‌ها به‌واسطه نشت‌های تصادفی یا عمدی نفت از اسکله‌های نفتی یا کشتی‌ها وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند و در چند دهه اخیر مقادیر متناهی از فلزات سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک از طریق ورود نفت و ترکیبات نفتی از راه‌های مختلف نظیر جنگ، نشت لوله‌های نفتی، فعالیت‌های حفاری و اکتشافات نفت، پالایشگاه‌ها و صنایع مرتبط با نفت خام، وارد محیط‌زیست شده است (Whitehead, 2013).



امروزه در ایران و جهان موارد متعددی در مورد آلودگی‌های فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی رؤیت می‌شود. به‌عنوان مثال در خلیج فارس، مقادیر سرب (۰/۰۴ - ۱۹/۸ میلی گرم بر کیلوگرم)، نیکل (۹۷/۶ - ۵۹/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) در خور موسی گزارش شده است (Lahijan-zadeh et al., 2019). مطالعه‌ای در برزیل نشان می‌دهد در رودخانه ایتاجای آچو، فلزات سنگین وانادیوم، سرب و نیکل به ترتیب با مقادیر (۷/۹۹ - ۷/۳۲ میلی گرم بر کیلوگرم)، (۴/۲۰ - ۳/۹۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و (۲/۱۰ - ۱/۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم) وجود دارد (Valero et al., 2020). در چین جنوبی در رودخانه شین جیانگ مقادیر سرب (۴۶/۲۰ - ۳۸/۱۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و نیکل (۵۳/۵۸ - ۱۶/۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است (Huang et al., 2020).

فلزات سنگین گروهی از عناصر فلزی با جرم مخصوص بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به نیکل، وانادیوم، سرب و کبالت اشاره کرد (عرفانی منش و افیونی، ۱۳۸۱، غلام دخت بندری و رضائی، ۱۳۹۴). به دلیل سمیت، تجزیه‌ناپذیری و تجمع پذیری، فلزات سنگین یکی از جدی‌ترین آلاینده‌ها در محیط طبیعی می‌باشند (Silva et al., 2017). در سال‌های اخیر به رشد با شتاب توسعه، مقادیر بالایی از فلزات سنگین به محیط‌های طبیعی وارد شده است و اکوسیستم‌های آبی به دلیل قابلیت بالاتر که در گسترش توسعه صنعتی دارند، در معرض خطرات جدی‌تری از نظر فلزات سنگین برخوردارند (Akkajit et al., 2018; Melegy et al., 2010). فلزات سنگین پس از ورود به رسوبات با ترکیبات به‌صورت محلول و غیر محلول وارد واکنش شده و تغییر فاز می‌دهند. همچنین این عناصر ضمن تغییر با سایر ترکیبات پیوندهای شیمیایی برقرار کرده و باعث بروز تغییراتی در ترکیب رسوبات، pH، ترکیبات آلی و غیر آلی، اکسیژن محلول، واکنش‌های حرارتی و حتی بار میکروبی و جمعیتی رسوبات شوند (Whitehead, 2013; Mendelssohn et al., 2012). همچنین وجود آلودگی بالا در رسوبات، زمینه‌ی انتقال فلزات سنگین از طریق آب، ماهی و سایر آبزیان مصرفی به غذای انسان را فراهم می‌سازند (Mehouel et al., 2019). سرب یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین سمی است که سبب مسمومیت حاد شده که می‌تواند سبب سردرد، فشارخون بالا، خستگی، تهوع، بی‌اشتهایی، اسهال و افسردگی شود که با افزایش مدت‌زمان در معرض قرارگیری، سبب ضعف، کم‌خونی، نقص مادری، جنون و آسیب مغزی، آسیب کلیوی و مرگ شود. مکانیسم اثر سمی نیکل، ایجاد اتصالات غیر برگشتی با ماکرو مولکول‌های ضروری و حیاتی است که می‌تواند اختلال در فعالیت بیولوژیکی سلول‌ها را در پی داشته باشد (Latis et al., 2018). وانادیوم یکی از اجزای ضروری رژیم غذایی انسان محسوب می‌شود که علائم سمیت آن به‌ندرت مشاهده می‌شود اما یکی از فلزات اصلی در نفت محسوب می‌شود (Massoud et al., 1996). فلز کبالت به‌عنوان یک فلز ضروری برای انسان محسوب می‌شود اما مقادیر بیش‌ازحد آن منجر به مسمومیت و آسیب بافتی و بروز بیماری‌های قلبی و تنفسی نظیر آسم، فیبروز و پنومونی بینایی می‌شود. همچنین این فلز باعث آسیب‌پذیری قلب به رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (Jose Huertas et al., 2014).

هیدروکربن‌های نفتی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند چون آن‌ها بلافاصله جذب مواد خاص می‌شوند و در رسوبات به‌صورت تجمعی ته‌نشین می‌شوند که در نهایت به‌عنوان مخزن برای آلودگی‌های آب‌گریز عمل می‌کنند (Roa et al., 2019). در مطالعه‌ای منظمی تهرانی و همکاران مقدار هیدروکربن‌های نفتی را ۹۷/۱۵ - ۱۶/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم در خور موسی ارائه داده‌اند (Monazami Tehrani et al., 2016) و در خلیج آنگوا، آفریقای جنوبی، آدنیتی و همکاران مقدار هیدروکربن‌های نفتی را (۰/۷۲ - ۲۷/۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم) ارائه داده‌اند (Adeniji et al., 2017).

هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی گروه بزرگی از ترکیبات آلی با دو یا چند حلقه آروماتیک هستند و از آلاینده‌ها هستند که در فعالیت‌های اکتشاف و استخراج نفت ایجاد می‌شوند (Muijs and Jonker, 2009). این آلاینده‌ها یکی از شایع‌ترین عوامل آلوده‌کننده هوا، آب، خاک و رسوبات هستند (Zheng et al., 2012; Abdel-Shafy, 2016) و حتی در غلظت‌های کم، سمیتی کشنده دارند و می‌توانند موجب بروز سرطان و یا جهش‌های ژنتیکی شوند و بر اساس همین تأثیرات زیست‌محیطی عمیق و طبق نظر US-EPA (۲۰۰۹)، هیدروکربن‌ها در رده‌ی آلودگی‌های با اولویت بالا شناخته شدند (Pruell and Hoffman, 1984; Sari et al., 2018). این ترکیبات آلاینده نفتی به‌واسطه پایداری

شیمیایی و خواص بعضاً هیدروفوبی تمایل بسیاری به جذب و اتصال به ذرات کلئیدی و معلق دارند و پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلف رسوب کرده و تجمع می‌کنند (Godefroy *et al.*, 2005). رسوبات طی سالیان سال رفته‌رفته بر روی هم انباشته‌شده و در نهایت می‌توانند به‌عنوان تثبیت‌کننده میزان آلودگی‌ها در نظر گرفته شوند (Mohebbi *et al.*, 2016; ATSDR, 2001). بررسی مقدار تجمع فلزات و هیدروکربن‌ها در رسوبات، امکان نظارت پیوسته بر آلودگی در یک منطقه را میسر می‌کند که از تجزیه و مطالعه آن‌ها می‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را تشخیص داد و تصمیمات مقتضی را برای کنترل آن اتخاذ نمود (Shaheen *et al.*; Forstener, 1981; Shaheen *et al.*, 2019). اروندرود به‌عنوان یکی از عریض‌ترین رودهای جهان (۱۹۵۰ کیلومتر)، از تلاقی رودخانه‌های دجله، فرات و کارون تشکیل می‌شود و پس از گذر از شهرهای بصره در عراق و شهرهای خرمشهر و آبادان در ایران در ۸ کیلومتری جنوب اروندرکنار به خلیج‌فارس می‌ریزد. اروندرود در سال ۵۰ میلیون تن رسوب دارد که از مقدار رسوب رود نیل (در مصر) بیشتر است. عمق اروندرود مخصوصاً هنگام جزر و مد از ۱۵ تا ۳۵ و گاهی تا ۴۵ متر تفاوت پیدا می‌کند (خبرور و دادالهی، ۱۳۸۷).

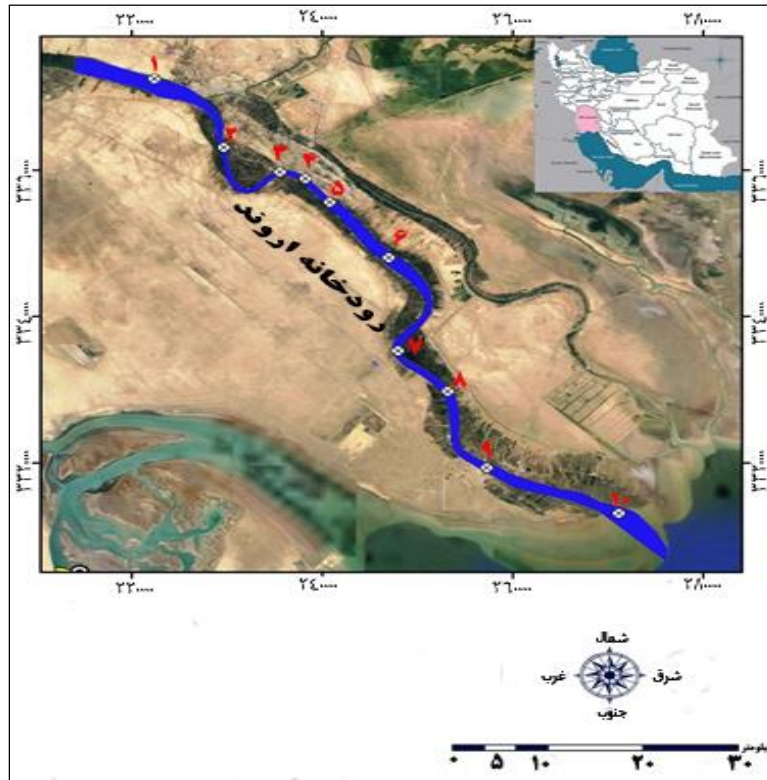
لازم به ذکر است که در دهه‌های اخیر عواملی نظیر جنگ، رشد روزافزون فعالیت‌های صنعتی و پالایشگاه‌ها و صنایع مرتبط با نفت خام موجب ورود حجم عظیمی از آلاینده‌های فلزی و نفتی درون این رودخانه ارزشمند شده است. اگرچه در سال‌های اخیر مطالعاتی در خلیج‌فارس و رودخانه‌های منتهی به آن (از جمله اروند، بهمنشیر و...) انجام‌گرفته است اما هیچ‌گونه داده‌ای در خصوص پهنه‌بندی در دسترس نمی‌باشد و این مطالعه می‌تواند این تصویری روشن از وضعیت آلودگی این منطقه را نشان دهد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور آغاز عملیات میدانی ابتدا در یک‌فاز مقدماتی تعداد ۱۰ ایستگاه مطالعاتی (از نهر خین تا مصب رودخانه اروند) در منطقه مورد مطالعه در طول رودخانه اروند طوری انتخاب شد که ضمن تحت پوشش دادن محدوده مورد مطالعه، امکان بررسی تأثیر آلودگی‌های حاصل از صنایع مختلف واقع در این محدوده به‌خصوص پتروشیمی و پالایشگاه آبادان و همچنین سایر عوامل و منابع آلاینده در منطقه را فراهم آورد (جدول و شکل ۱).

جدول ۱: تعیین موقعیت مکانی ایستگاه‌ها توسط دستگاه GPS.

ایستگاه	نام ایستگاه	X	Y	عمق
۱	نهر خین (مرز ایران و عراق)	۳۲	۴۸	۶/۵
۲	سکوی آبگیر دیری فارم	۱۳	۴۸	۴/۲
۳	خروجی پتروشیمی آبادان (انتهای جزیره مینو)	۵۷	۴۸	۶
۴	خروجی پالایشگاه آبادان (پایین دست آبادان)	۳۸	۴۸	۵
۵	شطیپ	۱۶	۴۸	۶
۶	خسروآباد	۱۵	۴۸	۵/۵
۷	ابتدای منیوچی	۲	۴۸	۴/۵
۸	انتهای منیوچی	۲۱	۴۸	۵
۹	یادمان شهدا	۳	۴۸	۶
۱۰	دهانه اروند (مصب)	۴۵"	۴۸°	۶



شکل ۱: ایستگاه‌های مورد مطالعه در رودخانه اروند.

نمونه‌برداری از رسوبات در هر ایستگاه طی یک مرحله و در فصل زمستان (دی‌ماه) ۱۳۹۶ با کمک قایق صیادی و با استفاده از روش استاندارد MOOPAM (۲۰۱۰) انجام شد. ۱۵۰ نمونه رسوب توسط گرب مدل ون وین با سطح مقطع ۰,۰۲۵ مترمربع برداشت شد که به ترتیب ۳۰ نمونه رسوبی جهت جمع‌آوری و شناسایی ماکروبتوزها، ۶۰ نمونه رسوبی به منظور سنجش آلاینده‌های فلزی، هیدروکربن‌های نفتی و ۶۰ نمونه رسوبی نیز جهت سنجش مواد آلی و آنالیز دانه‌بندی رسوبات برداشت شد. جهت نمونه‌برداری از رسوبات به منظور بررسی و آنالیز فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی (TPHS)، قسمتی از لایه‌ی سطحی رسوبات گرب بدون به هم خوردگی توسط قاشق‌چوبی (طبق روش استاندارد MOOPAM) برداشت و پس از انتقال به ظروف پلی‌اتیلنی تا رسیدن به آزمایشگاه در یخ‌نگهداری شدند. نمونه‌ها تا زمان شروع آنالیزها در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه نگهداری شدند.

سنجش آلاینده‌های فلزی (نیکل، وانادیوم، سرب، کبالت) از روش استاندارد معرفی‌شده توسط MOOPAM و با استفاده از متد جذب اتمی (اسپکتومتری) یا AAS انجام شد. برای این کار از اسیدکلریدریک، اسیدنیتریک و اسیدهیدروفلوریک (HF) استفاده گردید. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer 100B سنجش شد. به منظور اندازه‌گیری هیدروکربن‌های نفتی نخست مقدار ۱۰ گرم نمونه‌ی رسوب را وزن و عمل استخراج توسط سوکسله به مدت ۸ ساعت با میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر حلال ۵۰:۵۰ هگزان-دی‌کلرومتان انجام شد. هنگامی که استخراج کامل شد، ماده استخراج‌شده به وسیله‌ی دستگاه روتاری اپریتور تا حجم ۱۵ میلی‌لیتر تغلیظ گردید. سپس غلظت TPHs در نمونه‌های رسوبی توسط دستگاه گرماتوگرافی مدل Agilent Technologies-7890A متصل به طیف‌سنجی جرمی مدل Agilent Technologies-5975C با ستون کاپیلاری HP-5MS (طول ۳۰ متر × قطر بیرونی ۰/۲۵ میلی‌متر × ۲۵ میکرومتر قطر داخلی) اندازه‌گیری شد.

پهنه‌بندی آلاینده‌های فلزی و TPHs منطقه مورد مطالعه با استفاده از تکنیک GIS و برای طبقه‌بندی داده‌ها نرم‌افزار Arc Map و روش Natural breaks به کار گرفته شد. نقشه GIS در رودخانه برای فلزات سنگین، با استفاده از راهنمای کیفیت رسوب آمریکا و کانادا و برای TPH هم از خط‌کش شدت آلودگی نفتی در رسوبات خلیج فارس استفاده شد و طبق مقایسه با مقادیر استاندارد و با استفاده از رنگ‌بندی، وضعیت آلودگی رودخانه از نظر فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی مشخص شد. به منظور سنجش و ارزیابی تشابهات بین ایستگاه‌های مطالعاتی در ارتباط با آلاینده‌های مورد نظر از آنالیز خوشه‌ای به شکل دندروگرام، استفاده شد. از نرم‌افزار MVSP جهت پیدا کردن ارتباط بین متغیرها استفاده گردید. از آزمون Kolmogrov-Smirnov جهت نرمال بودن داده‌ها و از آزمون‌های Leven و دانکن اختلاف معنی‌دار پارامترهای مختلف و از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA برای مقایسه میانگین متغیرهای مختلف در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در محیط SPSS23 استفاده شد. برای مشخص شدن میزان همبستگی بین پارامترهای مورد مطالعه آزمون همبستگی پیرسون بکار گرفته شد.

نتایج

توزیع فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی و آمار توصیفی آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین کبالت، نیکل، سرب، وانادیوم و غلظت TPHs در رودخانه اروند به ترتیب $< 0/1$ میلی گرم بر کیلوگرم، $۱۵/۶۸ \pm ۳/۳۸$ ، $۷۲/۲۴ \pm ۳/۰۳$ ، $۹/۵۴ \pm ۱/۸۹$ ، $۱۵/۶۳ \pm ۱/۹۷$ بود. مقادیر این آلاینده‌ها به ترتیب زیر است:

میزان کبالت در طول مدت مطالعه و در تمامی ایستگاه‌ها بسیار کم و از میزانی کمتر از $0/1$ میلی گرم بر کیلوگرم برخوردار بود. نیکل در تمامی مدت مطالعه و در تمامی ایستگاه‌ها، از میزانی بیشتر از سایر عناصر برخوردار بود. نتایج آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری را در میزان نیکل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در رودخانه اروند نشان داد ($P < 0/05$). بالاترین میزان عنصر نیکل در ایستگاه ۹ (یادمان شهدا) با میزان $۷۵/۹۶ \pm 0/05$ میلی گرم بر کیلوگرم و پایین‌ترین آن در ایستگاه ۲ (سکوی آبگیر دیری فام) با میزان $۶۷/۲۰ \pm 0/۱۵$ میلی گرم بر کیلوگرم به ثبت رسید. طی این مطالعه در فصل زمستان (۱۳۹۶)، بالاترین میزان عنصر سرب در ایستگاه ۶ (خسروآباد) با میزان $۱۳/۰۷ \pm 0/۱۰$ میلی گرم بر کیلوگرم و پایین‌ترین میزان آن در ایستگاه ۱۰ (دهانه اروند) با میزان $۷/۱۱ \pm 0/02$ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. در رسوبات رودخانه اروند، بالاترین میزان عنصر وانادیوم در ایستگاه ۷ (ابتدای منیوحی) با میزان $۱۸/۸۸ \pm 0/02$ میلی گرم بر کیلوگرم و پایین‌ترین آن در ایستگاه ۸ (انتهای منیوحی) با میزان $۱۳/۵۳ \pm 0/02$ میلی گرم بر کیلوگرم ثبت گردید. در مطالعه حاضر، میزان غلظت TPHs مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و نتایج به دست آمده نشان دادند که بالاترین غلظت در ایستگاه ۲ (سکوی آبگیر دیری فام) با میزان $0/50 \pm$ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت TPHs در ایستگاه ۱ (نهر خین) با میزان $0/19 \pm$ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد.

جدول ۲: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، رودخانه اروند (زمستان ۱۳۹۶).

شماره	نام ایستگاه	فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)				هیدروکربن‌های نفتی (میلی گرم بر کیلوگرم)
		کبالت	نیکل	سرب	وانادیوم	
۱	نهر خین (مرز ایران و عراق)	$< 0/1$	$۶۸/۳۲ \pm 0/۳۳^b$	$۷/۳۸ \pm 0/۱۵^b$	$۱۳/۹۳ \pm 0/۰۴^b$	$۹/۹۱ \pm 0/۱۹^a$
۲	سکوی آبگیر دیری فام	$< 0/1$	$۶۷/۲۰ \pm 0/۱۵^a$	$۹/۵۴ \pm 0/۲۰^d$	$۱۵/۱۲ \pm 0/۱۰^d$	$۲۱/۹۶ \pm 0/۵۰^f$
۳	خروجی پتروشیمی آبادان (انتهای جزیره مینو)	$< 0/1$	$۷۳/۱۵ \pm 0/۰۵^f$	$۹/۹۰ \pm 0/۰۴^c$	$۱۴/۰۴ \pm 0/۰۲^c$	$۲۰/۳۱ \pm 0/۳۳^c$

شماره	نام ایستگاه	فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)				هیدروکربن های نفتی (میلی گرم بر کیلوگرم)
		کبالت	نیکل	سرب	وانادیوم	
۴	خروجی پالایشگاه آبادان (پایین دست آبادان)	<۰/۱	۷۵/۷۰ ± ۰/۱۵ ^h	۱۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ^g	۱۵/۶۴ ± ۰/۰۴ ^e	۱۶/۶۳ ± ۰/۵۷ ^d
۵	شطیپ	<۰/۱	۷۱/۰۱ ± ۰/۰۶ ^d	۸/۰۲ ± ۰/۰۳ ^c	۱۵/۶۴ ± ۰/۰۲ ^e	۱۵/۵۹ ± ۰/۵۶ ^c
۶	خسروآباد	<۰/۱	۷۰/۱۵ ± ۰/۰۴ ^c	۱۳/۰۷ ± ۰/۱۰ ^h	۱۶/۷۸ ± ۰/۰۲ ^f	۱۵/۰۸ ± ۰/۴۷ ^c
۷	ابتدای منیوخی	<۰/۱	۷۵/۲۵ ± ۰/۰۳ ^g	۱۰/۷۰ ± ۰/۰۲ ^f	۱۸/۸۸ ± ۰/۰۲ ^g	۱۴/۲۱ ± ۰/۳۵ ^b
۸	انتهای منیوخی	<۰/۱	۷۲/۹۸ ± ۰/۰۳ ^f	۸/۱۱ ± ۰/۰۳ ^c	۱۳/۵۳ ± ۰/۰۲ ^a	۱۴/۱۸ ± ۰/۷۰ ^b
۹	یادمان شهدا	<۰/۱	۷۵/۹۶ ± ۰/۰۵ ⁱ	۱۰/۶۶ ± ۰/۰۳ ^f	۱۸/۸۵ ± ۰/۱۰ ^g	۱۴/۷۲ ± ۰/۴۴ ^{bc}
۱۰	دهانه اروند (مصب)	<۰/۱	۷۲/۶۴ ± ۰/۰۳ ^e	۷/۱۱ ± ۰/۰۲ ^a	۱۳/۹۳ ± ۰/۰۲ ^b	۱۴/۲۴ ± ۰/۳۹ ^b

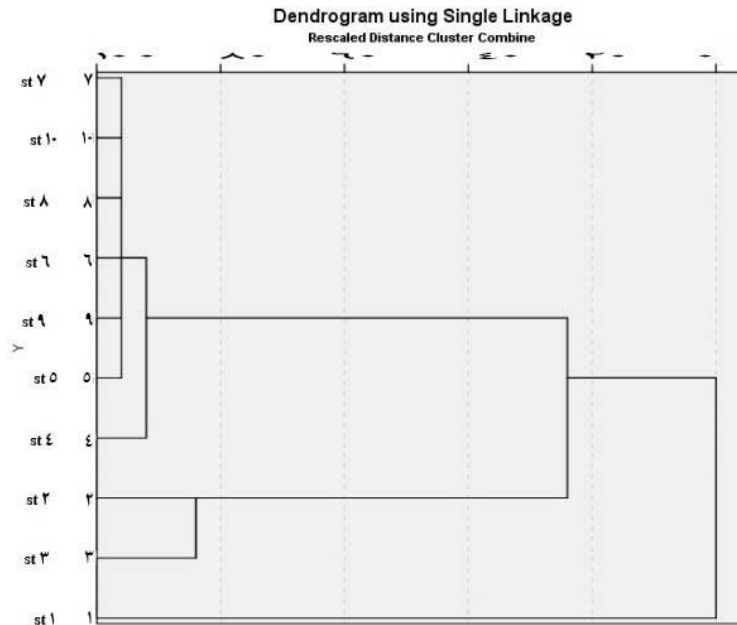
حروف غیرمشابه به معنی اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵).

ضریب همبستگی میزان ارتباط بین دو متغیر را تعیین می کند. این ضریب بین دو مقدار +۱ و -۱ قرار می گیرد. هر چه به مقدار +۱ نزدیک تر باشد، همبستگی بین دو متغیر خطی و مستقیم می گردد. در صورت نزدیک شده به -۱، همبستگی بین دو متغیر خطی و معکوس می شود. با توجه به همبستگی انجام شده، سرب و وانادیوم در سطح ۰/۰۵ همبستگی مثبت داشتند ولی همبستگی بین سایر پارامترها مشاهده نشد (جدول ۳).

جدول ۳: همبستگی پیرسون بین غلظت هیدروکربن های نفتی و فلزات سنگین در رسوبات رودخانه اروند (زمستان ۱۳۹۶).

	TOM	TPH	Ni	Pb	V
TOM	۱				
TPH	-۰/۴۲۳	۱			
Ni	-۰/۰۶۲	-۰/۱۰۷	۱		
Pb	-۰/۱۴۷	۰/۲۸۵	-۰/۲۶۹	۱	
V	۰/۱۴۳	-۰/۰۶۲	۰/۴۶۱	۰/۶۴۳*	۱

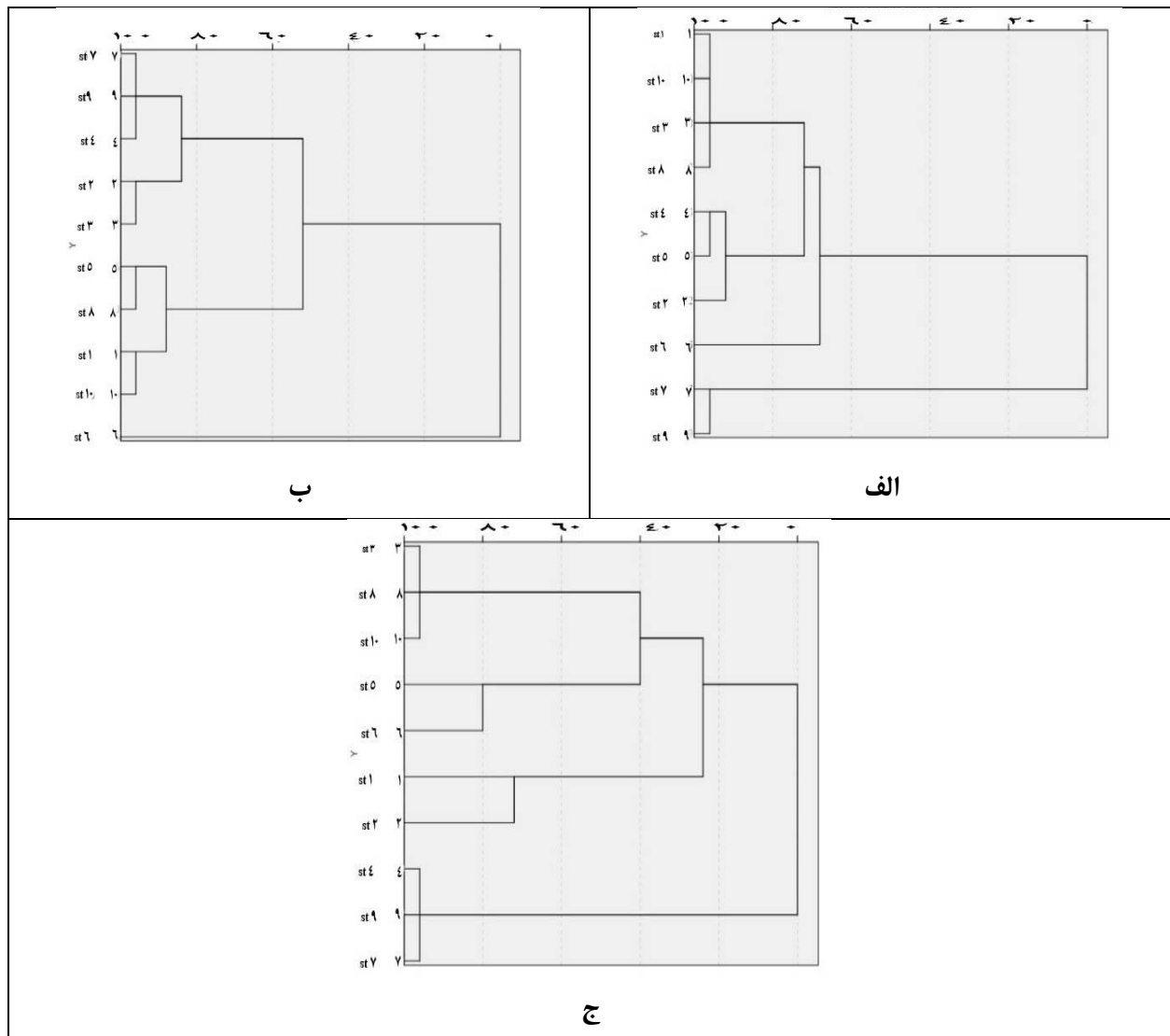
آنالیز خوشه ای یک روش پژوهشی چند متغیره است که در این مطالعه به منظور منشایابی عناصر استفاده شد. در بررسی شباهت بین ایستگاهها (شکل ۲) در فصل نمونه برداری و دسته بندی آن ها از طریق آنالیز خوشه ای، ۲ خوشه ای مجزا به دست آمد. ایستگاه ۱ نسبت به سایر ایستگاهها در خوشه ای کاملاً جداگانه ای قرار گرفت و سایر ایستگاهها نیز با درصد شباهت ۳۴ درصد نیز در خوشه ای دوم قرار گرفتند. در بین ایستگاههای خوشه ای دوم، ایستگاه ۲ و ۳ با شباهت ۸۵ درصد دسته ای جداگانه را تشکیل دادند. بالاترین درصد شباهت ایستگاهها از نظر میزان TPHs را در ایستگاههای ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ مشاهده شد که شباهتشان از نظر میزان TPHs ۹۶ درصد بود.



شکل ۲: مقایسه ایستگاه‌ها از نظر میزان TPHs با استفاده از آنالیز خوشه‌ای (زمستان ۱۳۹۶).

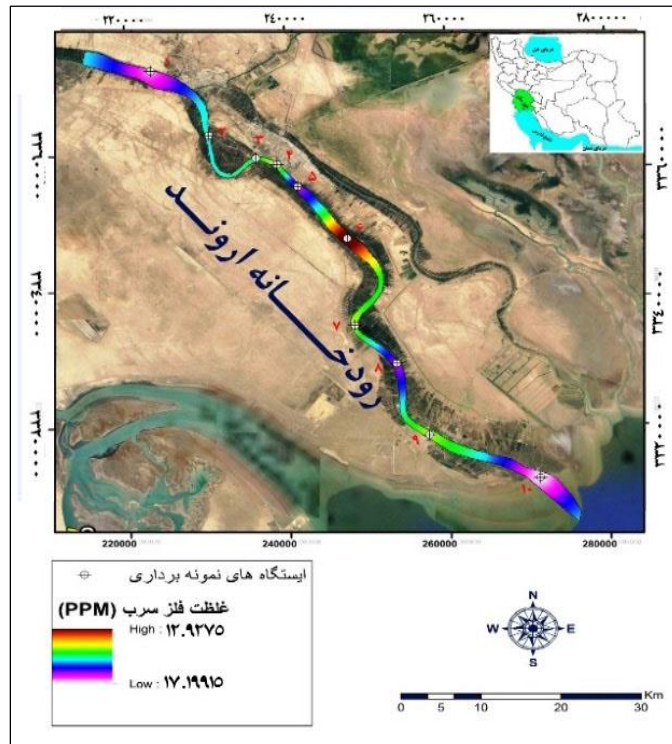
در بررسی شباهت بین ایستگاه‌ها غلظت عنصر نیکل، ایستگاه‌های ۴، ۹ و ۷ با شباهت ۹۶ درصد در خوشه ۱ و سایر ایستگاه‌ها با شباهت ۳۳ درصد نیز در خوشه‌ی ۲ قرار گرفتند (شکل ۳). در خوشه‌ی ۲، ایستگاه‌های ۱ و ۲ با تشابه ۷۴ درصد، ایستگاه‌های ۶ و ۸ با تشابه ۸۰ درصد و ایستگاه‌های ۳، ۸ و ۱۰ نیز با شباهت ۹۷ درصد زیر گروه‌های دیگری را از نظر تشابه میزان غلظت عنصر نیکل تشکیل دادند. در مورد فلز وانادیوم، ایستگاه‌های ۷ و ۹ با شباهت ۹۵ درصد در خوشه‌ی ۱ و سایر ایستگاه‌ها نیز با شباهت ۵۳ درصد در خوشه‌ی ۲ قرار گرفتند.

(شکل ۳). در بین ایستگاه‌های خوشه‌ی ۲، ایستگاه‌های ۲، ۴ و ۵ با شباهت ۹۳ درصد، ایستگاه‌های ۴ و ۵ با شباهت ۹۵ درصد و ایستگاه‌های ۱، ۳، ۸ و ۱۰ نیز با شباهت ۹۵ درصد از نظر میزان غلظت فلز وانادیوم، خوشه‌ی ۳ تشکیل دادند. بر اساس غلظت عنصر سرب، ایستگاه ۶ در خوشه‌ی ۱ و سایر ایستگاه‌ها با شباهت ۵۲ درصد در خوشه‌ی ۲ قرار گرفتند (شکل ۳). ایستگاه‌های ۱ و ۱۰، ۵ و ۸، ۳ و ۲ و نیز ایستگاه‌های ۴، ۷ و ۹، خوشه‌هایی را تشکیل دادند که ایستگاه‌های هر خوشه به میزان ۹۷ درصد با یکدیگر شباهت داشتند.



شکل ۳: آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها از نظر میزان غلظت فلزات سنگین

الف- نیکل، ب- وانادیوم، ج- سرب.



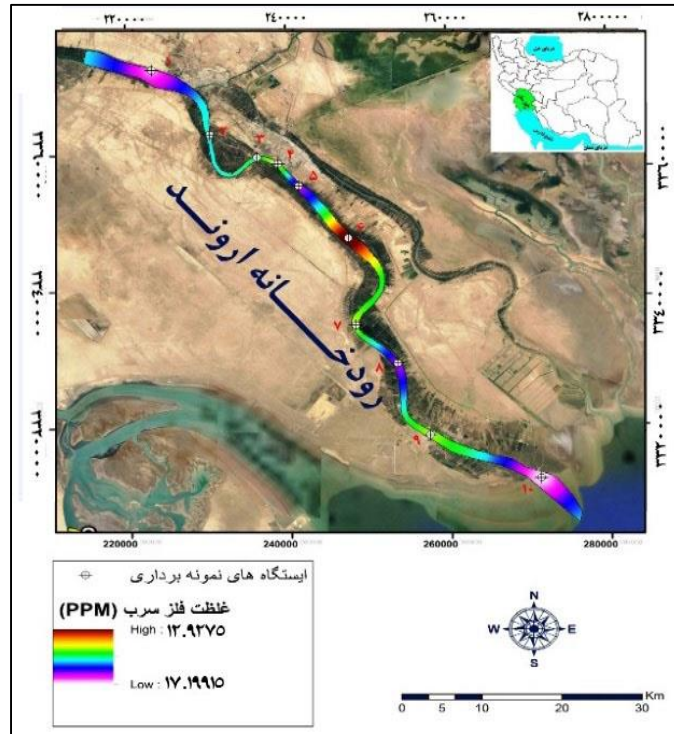
شکل ۴: پهنه‌بندی فلز سرب در رسوبات اروندرود.

بر اساس نقشه توزیع غلظت سرب در رسوبات رودخانه اروندرود، حداکثر مقدار غلظت سرب به ترتیب ۷/۱۹ و ۱۲/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بالاترین توزیع غلظت سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه به صورت لکه‌ای تیره در تقریباً در ناحیه میانی رودخانه اروندرود (ایستگاه ۴) خروجی پالایشگاه آبادان (پایین دست آبادان) و پایین ترین غلظت در ایستگاه ۵ (شطیط) و ۱۰ (دهانه اروندرود) واقع شده بود (شکل ۴).

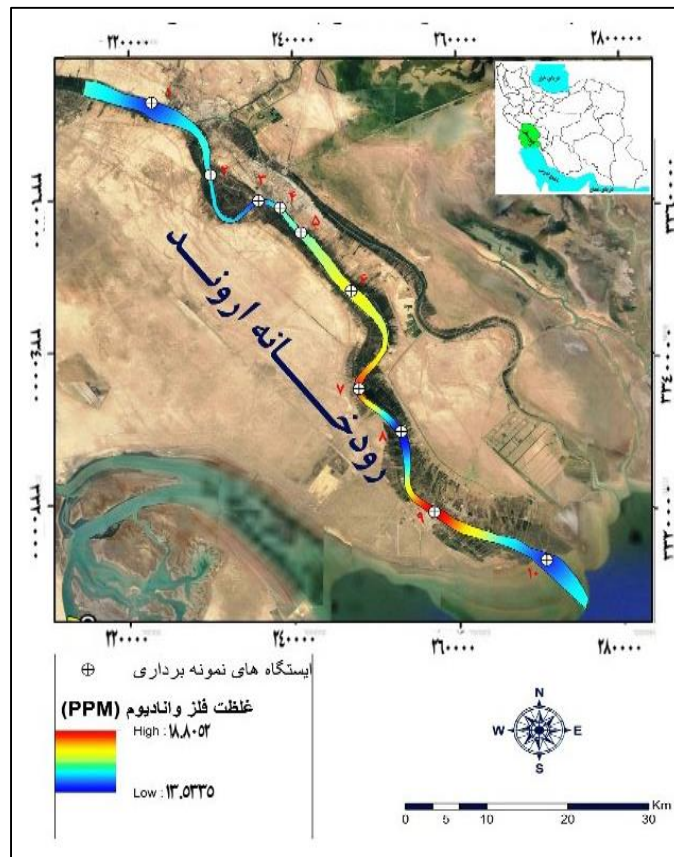
پهنه‌بندی فلز نیکل در سواحل رودخانه اروندرود محدود‌های بین ۷۳/۷۵-۷۰/۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم داشت. بر اساس نقشه پهنه‌بندی (شکل ۵) با حرکت به سمت انتهای رودخانه و ورود به خلیج فارس سطح آلودگی افزایش یافت و در ایستگاه‌های ۷، ۸ و ۹ مقادیر نیکل بالاترین سطح و ایستگاه ۱ با رنگ سبز کمترین میزان این فلز را داشت.

بر اساس تغییرات رنگ فلز وانادیوم در طول رودخانه اروندرود، دو لکه قرمز (ایستگاه ۹ و ۸) به عنوان نقطه‌ای با حداکثر میزان وانادیوم (۱۸/۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم) به عنوان آلوده‌ترین نقطه و ایستگاه‌های ۴، ۳، ۸ و ۱۰ با حداقل میزان وانادیوم را داشتند (شکل ۶).

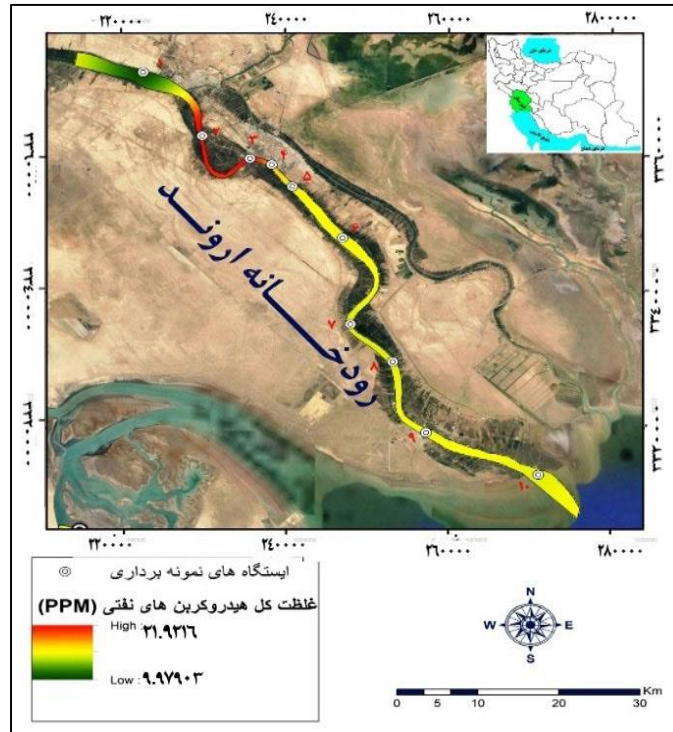
در مورد هیدروکربن‌های نفتی، روند تغییرات بر مبنای رنگ، سه منطقه رنگی را نشان می‌دهد، ابتدای رودخانه‌ی اروندرود (ایستگاه ۱) در محدوده کم، قسمت میانی با رنگ قرمز به معنی نقاطی با حداکثر میزان هیدروکربن (ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۴) و بخش انتهایی که شامل ایستگاه‌های ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ و بارنگ زرد بودند که از نظر آلودگی مقدار متوسطی را نشان دادند (شکل ۷).



شکل ۵: پهنه‌بندی فلز نیکل در رسوبات رودخانه اروند.



شکل ۶: پهنه‌بندی فلز وانادیوم در رسوبات رودخانه اروند



شکل ۷: پهنه‌بندی هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات رودخانه اروند.

بحث و نتیجه‌گیری

با بررسی الگوهای پراکنش یا پهنه‌بندی آلاینده‌های هیدروکربنی نفتی و فلزات سنگین، علاوه بر شناخت پیدا کردن از منشأ آن‌ها، می‌توان برنامه‌های مدیریتی کاهش بار آلودگی را به‌صورت هدفمند، تدوین کرد (Zhou et al., 2014; Mikkonen et al., 2019). در منطقه موردبررسی، مقدار هیدروکربن‌های نفتی پس از ایستگاه نهرخین (ایستگاه ۱) که کمترین مقدار را ($9/0 \pm 91/19$ میلی گرم بر کیلوگرم) نشان داد، روندی افزایشی در ایستگاه‌های سکوی آبگیری دیری فارم ($21/96 \pm 5/0$ میلی گرم بر کیلوگرم) (ایستگاه ۲)، خروجی پالایشگاه آبان دهانه اروند (ایستگاه ۳) و خروجی پتروشیمی ($20/31 \pm 0/33$ میلی گرم بر کیلوگرم) (ایستگاه ۴) نشان داد و در ایستگاه‌های پایین‌دست تا دهانه اروند (مصب) این روند کاهشی بود. بر اساس استانداردهای جهانی (SQGS) (CCME, 1999) سواحل رودخانه اروند (شامل ایستگاه‌های ۱ و ایستگاه‌های ۵ تا ۱۰) از نظر هیدروکربن‌های نفتی در شرایط فاقد آلوده ($15 \leq \text{TPH} \leq 10$ میلی گرم بر کیلوگرم) و در ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۴ در شرایط با آلودگی کم ($50 \leq \text{TPH} \leq 15$ میلی گرم بر کیلوگرم) در قرار داشت. نتایج مطالعات واعظی و همکاران (۱۳۹۳) در خور ماهشهر (جنوب غرب ایران) و Latif و همکاران (۲۰۱۳) در رسوبات خورهای جنوب عراق نوسانات هیدروکربنی نفتی رسوبات را بین ۵۰-۲۸ و $1/3-4/65$ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند که این مقادیر اگرچه دامنه‌ی آلودگی کم را نشان می‌دهد، اما در مقایسه با مطالعه حاضر نوسانات بیشتر داشتند که از جمله دلایل آن می‌توان به وجود جریان‌های جزر و مدی در رودخانه اروند اشاره کرد که عاملی مهم در جهت پخش شدن آلاینده‌های ورودی و انتقال آن به خلیج فارس هستند. عابدی و همکاران (۱۳۹۳)، محمدی گلگش و همکاران (۱۳۹۷) و Dudhagara و همکاران (۲۰۱۶) نوسانات هیدروکربن‌ها را به ترتیب در رسوبات ساحلی دریای خزر (شمال ایران)، در سواحل پارس شمالی (بوشهر) و سواحل Bhavnagar در هند را بین

۶/۱۰-۲/۲ میکروگرم بر گرم و میکروگرم بر گرم ۹۸۱/۱۸-۵/۰۲ و ۸۶/۵-۳۰/۲ نانوگرم بر گرم اعلام کردند که سطح بالاتر آلودگی در سواحل اروندرود به دلیل فعالیت‌های مرتبط با نفت را نشان می‌دهد.

مقادیر به‌دست‌آمده از سنجش عنصر نیکل (جدول ۲) در رسوبات اروندرود غلظت نسبتاً بالایی (۶۸/۷۴-۳۲/۹۳ میلی گرم بر کیلوگرم) را در مقایسه با استانداردهای موجود نشان داد به‌گونه‌ای که مقادیر سنجش شده نیکل در منطقه اروندرود از دامنه مجاز سازمان منطقه‌ای راه‌پیمایی مقایسه (ROPME, 1999) $(Ni = 70-80 \mu\text{g/g})$ ، دامنه مجاز نوآی آمریکا $(NOAA-ERL \text{ (Effect Range Low)} = 20/9 \text{ mg/kg})$ ، نوآی مقایسه با استانداردهای موجود نشان داد و استاندارد کانادا (ISQG) $(Ni = 15/9)$ میلی گرم بر کیلوگرم) بیشتر بود (Hoff, 2002). خیرور و دادالهی (۱۳۸۹) مقدار نیکل ۷۴/۹۳ میلی گرم بر کیلوگرم را در رسوبات اروندرود، واعظی و همکاران (۱۳۹۳) مقدار ۶۲ میلی گرم بر کیلوگرم را در رسوبات خور ماهشهر و سبحانی اردکانی و همکاران (۱۳۹۵) مقدار ۴۱/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم را در خوریات موسی برای عنصر نیکل به ثبت رساندند که با نتایج مطالعه حاضر (حداکثر مقادیر ۶۷/۲۰ و ۷۵/۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم) در اروندرود و خور ماهشهر هم‌خوانی و در مقایسه با خوریات موسی آلودگی بالاتری دارد. مقادیر اندازه‌گیری شده نیکل در طول رودخانه‌ی اروند، روندی افزایشی را تا مصب اروند نشان داد و ایستگاه‌های ۳ و ۴ (خروجی‌های پتروشیمی و پالایشگاه آبادان) در مقایسه با ایستگاه‌های ۱ (نهرخین) و ۲ (سکوی آبگیر دبری فارم) سطح فلز بالاتری داشتند. در ایستگاه‌های ۵ و ۶ به دلیل رقیق‌سازی این عنصر توسط توده‌های آبی و پدیده جزر و مدی نیکل کاهش یافت اما مجدداً به دلیل افت شدت جریان و اختلاط با آب‌های شور دریا روند کاهش مقادیر عنصر نیکل مشاهده شد (شکل ۵).

علاوه بر نفت و مشتقات آن که در بسیاری از منابع به‌عنوان منشأ عنصر وانادیوم در رسوبات از آن نام‌برده می‌شود، این عنصر در پساب‌های صنعتی از جمله مجتمع‌های پتروشیمی و نفتی نیز وجود دارد، به‌عنوان مثال داوری و همکاران (۱۳۹۱) در رسوبات جنگل‌های حرای خورهای بساتین و بیدخون استان بوشهر که در مجاورت مجتمع‌های پتروشیمی و فعالیت توسعه نفت و گاز پارس جنوبی (منطقه عسلویه) قرار دارند، میزان وانادیوم $33/31 \mu\text{g/g}$ میکروگرم بر گرم را گزارش نمودند که در مقایسه با میزان وانادیوم مطالعه حاضر مقادیر با محدوده‌ی ۱۸/۸۸-۱۳/۹۳، میلی گرم بر کیلوگرم کمتری را نشان می‌دهند. محبوبی صوفیانی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای که در منطقه حفاظت‌شده‌ی حرا در جزیره قشم و نایبند بوشهر انجام دادند میانگین وانادیوم موجود در رسوبات را به ترتیب ۳۸/۶۸ و ۱۷/۹۲ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند و مقایسه این مقادیر با یافته‌های مطالعه حاضر روشن می‌سازد سطح آلودگی رسوبات اروند به مقدار اندازه‌گیری شده از این فلز در منطقه حفاظت شده نزدیک است. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر روند افزایشی وانادیوم در رسوبات را نشان داد این روند افزایشی می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت پالایشگاه آبادان باشد. از آنجایی که وانادیوم در مطالعات مختلف از جمله Shaheen و همکاران (۲۰۱۹) و Mikkonen و همکاران (۲۰۱۹) به‌عنوان شاخص آلودگی نفتی معرفی شده است، می‌توان عنوان کرد فعالیت‌های نفتی و نیز آب توازن کشتی‌ها در رودخانه اروندرود، منبع اصلی آلودگی این رودخانه است. وجود ارتباط مثبت و معنی‌دار بین نیکل و وانادیوم به‌عنوان شاخص‌های آلودگی نفتی در سطح $P < 0/05$ و $r = 0/46$ (value) در منطقه مورد مطالعه مؤید وجود آلاینده‌های نفتی ناشی از فعالیت‌های پالایشگاهی و حمل‌ونقل دریایی است.

غلظت سرب در رسوبات اروندرود در مقایسه با استاندارد (Sediment quality guideline) $20 \mu\text{g/g SQGs}$ (CSBTS, 2002) و ROPME (۱۹۹۹) با مقدار ۱۵-۳۰ میکروگرم بر گرم بیشتر و در مقایسه با حد مجاز نوآی آمریکا $(NOAA-ERL = 7/46 \text{ mg/kg})$ ، نوآی مقایسه با استانداردهای موجود نشان داد و استاندارد کانادا (ISQG) $(pb = 30/20 \text{ mg/kg})$ (Hoff, 2002) کمتر بود که با توجه به اینکه این فلز در غلظت‌های کم هم خطرناک است (Pehlivan et al., 2009; Sari et al., 2018; Mehoul et al., 2019) لذا پایش مستمر عناصر سنگین مانند سرب در رودخانه‌هایی مانند اروند که هم یک آبراه بین‌المللی و هم در مسیر ورود پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های کشورهای عراق و جمهوری اسلامی ایران قرار دارد امری ضروری برای حیات پایدار زیست‌مندان و جوامع انسانی به شمار می‌رود. مقادیر به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر $(7/10-38/99 \text{ mg/kg})$ در مقایسه با مقدار $16/42 \text{ mg/kg}$ در رودخانه اروند (خیرور و دادالهی، ۱۳۸۷) کمتر و از مقدار $8/28 \mu\text{g/g}$ در سواحل جزیره خارک (خلیج فارس) (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۶) و $21/3$ میکروگرم بر گرم در سواحل هرمزگان (خلیج فارس) (Dadolah and

(Nazarizadeh, 2013) بیشتر بود. در ایستگاه ۶ به دلیل خروج پساب پالایشگاه آبادان این افزایش چشمگیرتر بود که می‌توان نتیجه گرفت، فعالیت پالایشگاه آبادان عاملی تأثیرگذار در افزایش سطح سرب در رودخانه اروند محسوب می‌شود.

کبالت به دلیل اینکه بخشی از ویتامین B₁₂ بوده و محرک تولید سلول‌های قرمز خون محسوب می‌شود برای انسان مفید است البته میزان زیاد آن می‌تواند برای محیط‌های آبی مانند رودخانه‌ها و انسان مضر باشد (Adel-Shafy and Mansour, 2016). در مطالعات مشابه کبالت در رسوبات رودخانه‌های شفا رود، بهم‌نشیر و خور غزاله در ماهشهر به ترتیب ارقام ۱۰/۳ میلی گرم بر کیلوگرم (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۵)، ۱/۰۷ mg/kg (کوشافر و همکاران، ۱۳۹۷) و ۲/۲۰ میکروگرم بر گرم (Hosseini et al., 2013) را نشان داد که با توجه به مقدار کمتر از ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده در اروندرود، به نظر نمی‌رسد که غلظت کبالت موجود در رسوبات رودخانه اروند در شرایط موجود مشکلات زیست‌محیطی برای زیست‌مندان آن و یا انسان داشته باشد.

یکی از تکنیک‌ها، جهت به تصویر کشیدن اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات میدانی و آزمایشگاهی، استفاده از GIS جهت تولید نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت هیدروکربن‌های نفتی و عناصر سنگین است. همان‌گونه که در شکل ۷ برای پهنه‌بندی غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی در منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است، ایستگاه‌های ۲ و ۳ و ۴ که مربوط به خروجی‌های پتروشیمی و پالایشگاه آبادان می‌باشند، بیشترین مقادیر غلظت هیدروکربن‌های نفتی را به ثبت رسانده‌اند و از ایستگاه ۴ به سمت دهانه اروندرود هیدروکربن‌های نفتی روندی کاهشی را نشان دادند. اساساً باید توجه داشت که اروندرود تأثیرپذیر از چند جریان آبی است که شامل رودخانه‌های کارون، دجله، فرات و جریانات جزر و مدی خلیج فارس می‌باشد. این رودخانه‌ها به‌نوبه خود مقادیری از آلاینده‌ها را با خود به اروندرود حمل می‌کنند. انتقال این آلاینده‌ها و سایر عوامل آلاینده به پایین‌دست می‌تواند موجب افزایش عناصر آلاینده در رسوبات بستر بشوند که می‌تواند در پراکنش آلاینده‌ها نقش داشته باشند. مطالعات کیفی انجام‌گرفته توسط مجلسی و همکاران در رودخانه اروند در سال ۱۳۹۶ نیز مؤید نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر است. مجلسی و همکاران (۱۳۹۶) هم در فصل سرد وضعیت کیفی رودخانه اروند را بر اساس شاخص‌های کیفیت آب سازمان بهداشت ملی آمریکا در طبقه متوسط قرار دارد. بر اساس CCME (۱۹۹۹) سازمان منطقه‌ای راپمی (کشورهای حاشیه خلیج فارس و دریای مکران (عمان)) و مقایسه نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر برحسب میلی گرم بر کیلوگرم با آن، منطقه مورد مطالعه اروندرود در شرایط کمی آلوده ($50 < \text{هیدروکربن‌های نفتی} < 10$) قرار دارد. با توجه به اینکه غلظت عنصر کبالت در رسوبات توسط دستگاه قابل کشف نبود و مقادیر آن در ایستگاه‌های نمونه‌برداری کمتر از ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود، لذا نقشه پهنه‌بندی انتشار آن در منطقه مورد مطالعه ارائه نشده است. آنالیز خوشه‌ای، روش آماری است که توسط آن گروه‌هایی از عناصر، غلظت هیدروکربن‌های نفتی یا ایستگاه‌هایی که باهم شباهت دارند را می‌توان مشخص نمود. بر اساس شکل ۳ ایستگاه ۱ با توجه به دارا بودن کمترین غلظت هیدروکربن‌های نفتی در یک دسته قرار گرفته است درحالی‌که ایستگاه‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ با شباهت ۹۶ درصد در یک دسته جداگانه قرار گرفته‌اند که نوسانات کم (۱۵/۵۹-۱۴/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم) هیدروکربن‌ها در این ایستگاه‌ها دلیل این شباهت است. روند کاهش تدریجی غلظت هیدروکربن‌های نفتی از ایستگاه ۲ (سکوی آبگیر دیری فارم) به سمت دهانه اروندرود را می‌توان ناشی از رقیق‌سازی آب‌های اروند توسط جریانات توده‌های آبی واردشده به اروندرود و جزر و مدهای خلیج فارس دانست.

دسته‌بندی ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در خصوص تشابه بین ایستگاه‌ها از نظر غلظت فلز نیکل در رسوبات (۳- الف) عدم وجود یک الگوی مشخص افزایشی یا کاهشی را نشان می‌دهد که می‌توان این امر را به جریانات جزر و مدی مربوط دانست که موجب شدت و ضعف رسوب‌گذاری و ته‌نشینی فلزات سنگین در بستر رودخانه می‌شوند. اگرچه که بر اساس مطالعات اکین و اونلو (۲۰۰۷) با دور شدن از منابع آلاینده در رودخانه دجله میزان نیکل از بالادست به سمت پایین‌دست افزایش یافته است که این امر با یافته‌های مطالعه حاضر مغایرت دارد که از دلایل آن می‌توان به تغییرات در سطح آب و نیز تغییرات زیست‌محیطی در طول زمان مرتبط دانست (Hosseini et al., 2013). با توجه به اینکه فلزات نیکل و وانادیوم شاخص‌های آلودگی نفتی بشمار می‌روند لذا هر دو الگوی انتشار مشابهی در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در رودخانه اروند را نشان دادند. به طوری که ایستگاه‌های ۱ و ۳ و ۸ و ۱۰ یک تشابه ۹۵ درصد را نشان دادند و ایستگاه‌های ۷ و ۹ هم شباهت ۹۳ درصد داشتند. پراکنش

غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های رودخانه اروند بر اساس دندورگرام آنالیز خوشه‌ای (شکل ۳-ج)، چهار دسته مجزا با شباهت ۹۷ درصد را تشکیل دادند و ایستگاه ۶ هم به‌تنهایی در یک دسته مجزا قرار گرفت. افزایش میزان فلز سرب و رسیدن به غلظت ۱۳/۰۷ میلی گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۶ را در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها می‌توان علت جدایی آن از سایر ایستگاه‌ها دانست.

نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که ایستگاه‌های نزدیک به خروجی پالایشگاه نفت آبادان و پتروشیمی بیشترین غلظت هیدروکربن‌های نفتی را داشتند که به تدریج یک‌روند کاهشی را به سمت مصب رودخانه اروند را به ثبت رساندند. ورود توده‌های آبی رودخانه‌های کارون، دجله و فرات و همچنین جریانات جزر و مدی خلیج فارس در اروندرود را می‌توان از جمله عوامل کاهش‌دهنده بار آلاینده‌گی در این منطقه دانست، اما همین انتقال آب به همراه جزر و مد در کنار فعالیت پالایشگاه آبادان، زمینه را برای افزایش غلظت نیکل، سرب و وانادیوم فراتر از استاندارد منطقه‌ای رایمی فراهم کرده است. در مورد فلز کبالت به دلیل پایین بودن غلظت این فلز در رسوبات (< 0.1 ppm)، مقادیر توسط دستگاه جذب اتمی قابل اندازه‌گیری دقیق نبود و در مورد هیدروکربن‌های نفتی منطقه اروندرود در وضعیت فاقد آلودگی و آلودگی کم قرار داشت.

منابع

- سبحانی اردکانی، س.، محمدی روزبهانی، م. و مشعل پورفرد، ر. ۱۳۹۵. بررسی غلظت عناصر کادمیوم، کروم و نیکل در جوامع درخت بی‌مهرگان بستری خوریات موسی و همبستگی آن با غلظت فلزات در رسوب. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۳): صفحات ۶۹۶-۶۸۱.
- عابدی، ا.، صالح، ا.، مهدی نیا، ع.، رحمانپور، ش.، عاربی، ا.، میرزا، ر.، فولادی، ح. و احمد پور، ف.، ۱۳۹۳. هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی رسوبات سطحی جزر و مدی منطقه‌ی ویژه اقتصادی انرژی پارس شمالی. اقیانوس‌شناسی، ۵ (۱۷): صفحات ۳۳-۴۰.
- محبوبی صوفیانی، ن.، مرادی، ح.، رضوی، ز.، حیدری خسرو، ع. و میر غفاری، ن.، ۱۳۹۴. اثر برخی خواص فیزیکوشیمیایی رسوب بر غلظت فلزات سنگین نیکل و وانادیوم در رسوبات رویشگاه، ریشه و برگ درختان مانگرو. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۶۸ (۲): صفحات ۲۹۲-۲۷۷.
- خیرور، ن. و دادالهی، س.، ۱۳۸۷. غلظت فلزات سنگین در رسوبات و ماهی شیر بت *Barbus grypus* در اروندرود. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۲ (۲): صفحات ۱۳۱-۱۲۴.
- خیرور، ن. و دادالهی، س.، ۱۳۸۹. غلظت فلزات سنگین در رسوبات و ماهی شیربت (*Barbus grypus*) در اروندرود. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۲ (۲): صفحات ۱۲۳-۱۳۱.
- داوری، ع.، خراسانی، ن. و دانه‌کار، ا.، ۱۳۹۱. مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات رویشگاه‌های حرا بیدخون، بساتین و مل‌کنزه. اکولوژی کاربردی، ۱ (۲): صفحات ۲۵-۱۵.
- عرفانی منشی، م. و افیونی، م.، ۱۳۸۰. آلودگی محیط‌زیست آب‌و‌خاک. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان. ۳۱۸ ص.
- غلام دخت بندری، م. و رضائی، پ.، ۱۳۹۴. مطالعه آلودگی فلزات سنگین رسوبات ساحلی جیره هرمز و منشأ آن‌ها. اقیانوس‌شناسی، ۶ (۲۲): صفحات ۱۰۶-۹۷.
- کرباسی، ع.ر.، بیاتی، آ. و نبی بیدهندی، غ.، ۱۳۸۵. بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارودف مجله‌ی محیط‌شناسی، ۳۹: صفحات ۴۸-۴۱.
- کوشافر، آ.، سواری، ا.، سخایی، ن.، ارچنگی، ب. و کریمی اورگانی، ف.، ۱۳۹۷. تعیین سطح آلودگی ناشی از فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه بهمنشیر. فصلنامه علمی-پژوهشی اکو بیولوژی تالاب. دانش آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۰ (۳۶): صفحات ۶۴-۵۳.
- محمدی گلنگش، م.، صنعتی، ع. م. و بزرگ پناه، ز.، ۱۳۹۷. بررسی هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات شاخص (V و Ni) در گاماروس. مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۷ (۴): صفحات ۱۹-۹.
- واعظی، ع.، کرباسی، ع.، ولی خانی سامانی، ع.، حیدری، م.، فخرایی، م. و رحمتی، ع.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی، توزیع و منشأ هیروکربن‌های نفتی کل (TPH) و آلاینده‌های فلزی در رسوبات خور ماهشهر، خلیج فارس. علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۶ (ویژه): صفحات ۱۹-۱.

- یزدان پناه، د.، صفاهیه، ع.، سالاری علی‌آبادی، م. ع.، و غانمی، ک.، ۱۳۹۶. مقایسه غلظت برخی از فلزات سنگین در رسوبات بین جزر و مدی جزیره خارک (خلیج فارس) در دو فصل تابستان و زمستان. اقیانوس‌شناسی، ۸ (۳۰): صفحات ۹-۱.
- مجلسی، م.، ۱۳۹۶. بررسی کیفیت پساب واحد بازیافت نفت پالایشگاه آبادان و تأثیر آن بر ژئوپلانکتون های رودخانه اروند با استفاده از شاخص کیفیت آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست‌شناسی دریا گرایش آلودگی دریا. گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
- Abdel-Shafy H. I. and Mansour, M. S. M., 2016.** A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25: 107-123.
- Adeniji, A. O., Omobola, O. O. and Okoh, A. I., 2017.** Petroleum Hydrocarbon Profiles of Water and Sediment of Algoa Bay, Eastern Cape, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2001.** Public Health Statement, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Atlanta, GA: USA Department of Health and Human Service.
- Akkajit, P., Jaileak, K., Suteersak, T. and Prueksakorn, K., 2018.** Assessment of Heavy Metals in Sediment at Saphan Hin, Phuket. *Chemical Engineering TRANSACTIONS*. 63: 301-306.
- Azhari, A., 2012.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air and vegetation: A case study of three selected toll stations along North, South Expressway in Johor, Malaysia. *Universiti Tun Hussein Onn, Malaysia*
- CCME, 1999.** Canadian water quality guidelines for protection of aquatic life, technical report, Canadian environmental quality guidelines, Canadian water quality index
- Chen, M., Kim, S. H., Jung, H. J., Hyun, J. H. and Choi, J. H., 2017.** Dynamics of dissolved Organic matter in riverine sediments affected by weir impoundments: Production, benthic flux, and environmental implications. *Journal of water Research*, 121, 150- 161.
- Dadolahi, A. and Nazarizadeh, M., 2013.** Heavy metals contamination in sediments from the North of the Strait of Hormuz. *Journal of the Persian Gulf*, 4: 39-46
- Dudhagara, D. R., Rajpara, R. K., Bhatt, J., Gosai, H. B., Sachaniya, B. K. and Dave, B. P., 2016.** Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in historically contaminated surface sediments at Bhavnagar coast, Gujarat, India. *Environmental Pollution* 213: 338e346
- Forstner, U. and Wittmann, G. T. W., 1981.** Metal Pollution in the Aquatic Environment. 2nd rev ed: Springer.
- Godefroy, S. J., Martincigh, B. S. and Salter, L. F., 2005.** Measurements of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Genotoxicity in Soot Deposited at a Toll Plaza near Durban, South Africa. *S Afr J Chem* 58: 61-66.
- Hoff, R., 2002.** Oil Spills in Mangroves. National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Ocean Service, Office of Response and Restoration, 70pp
- Hosseini, M., Nabavi, S. M. B. and Parsa, Y., 2013.** Bioaccumulation of mercury in trophic level of benthic, benthopelagic, pelagic fish species and sea bird from Arvand river Iran. *Biol Trace Elem Res.* Doi. 10.1007/s12011-0013-9841-2.
- Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J. and Zheng, B., 2020. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environmental Science Europe*.
- JoséHuertas, M., López-Maury, L., Giner-Lamia, J., Sánchez-Riego, A. M. and Florencio, F. J., 2014.** Metals in Cyanobacteria: Analysis of the Copper, Nickel, Cobalt and Arsenic Homeostasis Mechanisms. *Life* 2014, 4: 865-886
- Lahijanzadeh, A.R., Mohammadi rouzbahani, M., Sabalipour, S. and Nabavi, S. M. B., 2019.** Marine Pollution Bulletin, 145. 377-389.
- Latif, A. S., Ajmi, R. and Zeki, H. F., 2013.** Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Marsh, Plants and Sediments in Iraq. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 2: 532-537.
- Latis, A. K., Ajmi, R. N. and Zeki, H. F., 2018.** Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Marsh, Plants and Sediments in Iraq. *Journal of Environmental Science and Engineering B* 2: 532-537.
- Manual of Oceanographic Observations and Pollutant Analyse Methods (MOOPAM). ROPME. KUWAIT-2010.
- Massoud, M. S., Al-Abdali, F., AlGhabdan, A. N. and Al-Sarawi, M., 1996.** Bottom sediments of the Arabian Gulf-II. TPH and TOC contents as indicators of oil pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil slick. *Environmental Pollution*, 93: 271-284.

Mastral, A. M. and Callen, M. S., 2000. A Review on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) Emissions from Energy Generation. *Environment Science Technology*, 34: 3051-3057.

Mehouel, F., Bouayad, L., Hammoudi, A. H., Ayadi, O. and Regad, F., 2019. Evaluation of the heavy metals (mercury, lead, and cadmium) contamination of sardine (*Sardina pilchardus*) and swordfish (*Xiphias gladius*) fished in three Algerian coasts. *Veterinary World*, 12(1): 7-11.

Melegy, A., Cveckova, V., Krcmova, K. and Rapant, S., 2010. Environmental risk assessment of some potentially toxic elements in EI-Tabbian region (Cairo, Egypt). *Environmental Earth Sciences*. 61: 429-439

Mendelssohn, I. A., Andersen, G. A., Baltz, D. M., Caffey, R. H., Carman, A. R., Fleeger, J. W., Joye, S. B., Lin, Q., Maltby, E., Overturn, E. B. and Rozas L. P., 2012. Oil Impacts on Coastal Wetlands: Implications for the Mississippi River Delta Ecosystem after the Deepwater Horizon Oil Spill. *BioScience*, 6 (62): 562-576.

Mikkonen, H. G., Graff, R., Collins, N., Dasika, R., Wallis, C. J., Howard, D. and Reichman, H. S. M., 2019. Immobilisation of geogenic arsenic and vanadium in iron-rich sediments and iron stone deposits. *Science of The Total Environment*. 654: 1072-1081.

Mohebbi-Nozar, S. L., Zakaria, M. P., Mortazavi, M. S., Ismail, W. R. and Jokar, K. K., 2016. Concentrations and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Mangrove Sediments from North of Persian Gulf Polycyclic Aromatic Compounds. *Polycyclic Aromat Compd*, 36: 601-612.

Monazami Tehrani, G., Tavakoly Sany, S. B., Hashim, R. and Salleh, A., 2016. Predictive environmental impact assessment of total petroleum hydrocarbons in petrochemical wastewater effluent surface sediment. *Environment Earth Science*, 75: 177.

Muijs, B. and Jonker, M. T. O., 2009. Evaluation of clean-up agents for total petroleum Hydrocarbon analysis in biota and sediments. *Jornal of Chromatography A*. Vol.1216, pp.5182-9.

Munyengabe, A., Mambanda, A. and Moodley, B., 2017. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water, Soils and Surface Sediments of the Msunduzi River. *J Environ Anal Chem* 4: 227. doi:10.4172/2380-2391.1000227

Pehlivan, E., Ozkan, A. M., Dinc, S. and Parlayici, S., 2009. Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *J of Hazard Mater*. 167 (13): 1044-1049.

Pruell, R. J., Hoffman, E. J. and Quinn, J. G., 1984. Total hydrocarbons, polycyclic aromatic hydrocarbons and synthetic organic compounds in the Hard shell clam, *Mercenaria mercenaria*, purchased at commercial seafood stores *Marine Environmental Research.*, 11: 163-181.

Rao, M. N., Majithiya, D. and Ram, A., 2019. Distribution of total petroleum hydrocarbons in water, sediment and its impact on six commercially important fishes of Kundalika estuary, west coast of India. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, 48 (05): 787-794.

ROPME, 1999. Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analysis Methods (MOOPAM). Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait.

Sari, G. L., Trihadiningrum, Y. and Mimatzahroh, L., 2018. Petroleum Hydrocarbon Pollution in Soil and Surface Water by Public Oil Fields in Wonocolo Sub-district, Indonesia. *Journal of Ecological Engineering*. 19: 184-193.

Shaheen, S., Alessi, D., Alessi, D., Tack, F. and Ok, Y., 2019. Redox chemistry of vanadium in soils and sediments: Interactions with colloidal materials, mobilization, speciation, and relevant environmental implications- A review. *Advances in Colloid and Interface Science*. 265: 1-3.

Silva, C., Finseca, E., Grotto, B. W., Souza, F. and Neto, J. B., 2017. Potentially mobile of heavy metals on the surface sediments in tropical hyper-saline and positive estuaries. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (2017), 89(4): 2597-2607

USEPA., 1999. Rivers as sentile: Using the Biology of Rivers to Guide Landscape. Mnagement. Final report for USEPA, 28 p.

Valero, A., Unbria-Salinas, K., Wallner-Kersanach, M., De Andrade, C. F., Santos Yabe, M. J., Contreira-Pereira, L. and Wasserman, J. C., 2020. Potential availability of trace metals in sediments in southern and southern Brazilian shipyard areas the DGT technique and chemical extraction methods. *Science of Total Environmental*. Vol, 710.

Whitehead, A., 2013. Interactions between Oil-Spill Pollutants and Natural Stressors Can Compound Ecotoxicological Effects. *Integrative and Comparative Biology*, 53(4): 635-647.

Zheng, Y., Luo, X., Zhang, W., Wu, B., Han, F., Lin, Z. and Wang, X., 2012. Enrichment behaviour and transport mechanism of soil-bound PAHs during rainfallrunoff events. *Environment Pollution*, 171: 85-92.

Zhou, R., Qin, X., Peng, S. and Deng, S., 2014. Total petroleum hydrocarbons and heavy metals in the surface sediments of Bohai Bay, China: Long-term variations in *Pollution Bulletin*, 83: 290-297.

