



Distribution, accumulation, and origin of organochlorine pesticides (OCPs) the Karun and Arvand river in Khuzestan Province

Reza Javid¹ | Soheila Matroudi² | Ahmad Savari³ | Alireza Safaieh⁴

1. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: javiidreza@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: s.matroodi@gmail.com
3. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: savaria@gmail.com
4. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Oceanography, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran. E-mail: safahieh@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 25 June 2025

Received in revised form 24

August 2025

Accepted 31 August 2025

Published online 20 June 2025

Keywords:

**Organochlorine pesticides,
Seasonal variations Coastal
sediments,
Origin,
Environmental monitoring.**

ABSTRACT

Monitoring and controlling organochlorine pesticides (OCPs) is of great importance due to their carcinogenic properties, delayed toxicity effects, and adverse impacts on the nervous systems of aquatic organisms. This study was conducted to investigate the accumulation levels and compare the concentrations of aldrin, heptachlor, dieldrin, lindane, and DDT in sediments of the Karun and Arvand (Shatt al-Arab) rivers. Nine sampling stations were selected along the rivers from the Karun River to the Persian Gulf. After sample collection, the sediments were extracted, purified, and concentrated, followed by analysis using a gas chromatograph equipped with an electron capture detector (GC-ECD). The results revealed significant differences in pesticide concentrations among the sampling stations. Stations Darkhovain and Hafar along the Karun River, and Nahrekhai and Minoo island along the Arvand River, exhibited higher concentrations of aldrin, heptachlor, dieldrin, and lindane, which can be attributed to intensive agricultural activities in these areas. The Arvand-Abadan station showed the highest DDT concentration, likely due to the presence of a historical pesticide manufacturing plant. Overall, heptachlor exhibited the highest concentration, while DDT showed the lowest among the analyzed pesticides. The general order of pesticide concentrations in the sediments was: heptachlor > lindane > aldrin > dieldrin > DDT. Seasonal comparisons indicated that pesticide levels were generally higher during the cold season across most stations, except at the estuarine sites (Arvand estuary and Persian Gulf). Furthermore, concentrations at Darkhovain, Minoo island, and Nahrekhai exceeded established environmental quality standards. The findings suggest that agriculture, industrial activities, urbanization, and legacy contamination are the primary sources of OCPs entering the riverine environment. Effective regulatory measures and continuous monitoring are therefore essential to mitigate the ecological and health risks associated with these persistent pollutants.

Cite this article: Javid, R., Matroudi, S., Savari, A., & Safaieh, A. (2025). Distribution, accumulation, and origin of organochlorine pesticides (OCPs) the Karun and Arvand river in Khuzestan Province. *Journal of Natural Environment*, 78 (1), 141-154. DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.397592.2816>



میزان پراکنش، تجمع و منشأ یابی آفت کش های آلی کلره در طول رودخانه های کارون و اروند، استان خوزستان

رضا جاوید^۱ | سهیلا مطرودی^۲ | احمد سواری^۳ | علیرضا صفاعیه^۴

۱. گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: javiidreza@gmail.com
۲. گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: s.matroodi@gmail.com
۳. نویسنده مسئول، گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: savaria@gmail.com
۴. گروه زیست شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوس شناسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران. رایانامه: safahieh@gmail.com

چکیده	اطلاعات مقاله
پایش و کنترل آفت کش های ارگانوکلره به علت خاصیت سرطان زایی، اثر سمیت تأخیری و تأثیر این سموم بر سیستم عصبی آبزیان دارای اهمیت زیادی هستند. این تحقیق با هدف بررسی میزان تجمع و مقایسه میزان سموم آلدین، هپتاکلر، دیلدین، لیندان و ددت در رسوبات رودخانه های کارون و اروند انجام گرفت. پس از نمونه برداری از ۹ ایستگاه مختلف در طول رودخانه های کارون و اروند تا خلیج فارس، نمونه ها استخراج، جداسازی و تغلیظ گردیدند و سپس توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی مورد آنالیز قرار گرفتند. براساس نتایج به دست آمده، بین غلظت آفت کش ها در ایستگاه های مورد مطالعه اختلاف معنی داری وجود دارد، به طوری که ایستگاه دارخوین و حفار در حاشیه رودخانه کارون و نهر خین و جزیره مینو در طول اروند رود به دلیل وجود فعالیت های کشاورزی دارای غلظت بیشتری از آفت کش های آلدین، هپتاکلر، دیلدین، لیندان و ایستگاه اروند-آبادان دارای غلظت بیشتری از ددت به واسطه وجود کارخانه تولید سم امشی بوده است. نتایج مطالعه نشان داد اختلاف معنی داری بین غلظت سموم وجود دارد و هپتاکلر و ددت به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در رسوبات دارند و به طور کلی ترتیب غلظت سموم در رسوبات در رودخانه های کارون و اروند به صورت هپتاکلر < لیندان < آلدین < دیلدین < ددت بود. مقایسه سموم در طول فصول سرد و گرم در ایستگاه های مختلف نشان می دهد غلظت تمام سموم در فصل سرد در همه ایستگاه جزء ایستگاه های اروند رود-مصوب اروند-خلیج فارس و خلیج فارس بالاتر بوده است. براساس نتایج می توان نتیجه گیری کرد که غلظت آفت کش ها در ایستگاه های داروخوین، جزیره مینو و نهر خین از میزان استانداردها بالاتر بوده است و همچنین کشاورزی، صنعت، شهرنشینی و بقایای گذشته منشأ اصلی ورود آفت کش ها به محیط رودخانه ها هستند.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۰۹ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۳۰ کلیدواژه ها: آفت کش های ارگانوکلره، تغییرات فصلی، رسوبات ساحلی، منشأ یابی، پایش محیط زیست.

استناد: جاوید، رضا؛ مطرودی، سهیلا؛ سوار، احمد؛ و ، پروانه؛ و صفاعیه، علیرضا (۱۴۰۴). میزان پراکنش، تجمع و منشأ یابی آفت کش های آلی کلره در طول رودخانه های کارون و اروند، استان خوزستان. محیط زیست طبیعی، ۷۸ (۱)، ۱۵۴-۱۴۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jne.2025.397592.2816>



مقدمه

منابع آبی کشور مورد تهدید انواع آلودگی‌ها از قبیل پساب‌های صنعتی، کودها، سموم شیمیایی و فاضلاب‌های شهری قرار گرفته است که تأثیرات ناخوشایند بر روی محیط‌زیست و اکوسیستم دارد. سموم آفت‌کش و حشره‌کش برای از بین بردن آفات، کنترل علف‌های هرز و به‌طور کلی حفاظت از محصولات کشاورزی در این صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Behfar et al., 2012). سالانه سه میلیارد کیلوگرم آفت‌کش در سراسر جهان استفاده می‌شود، این در حالی است که تنها ۱٪ از کل آنها به‌طور مؤثر برای کنترل آفات در کشاورزی و محصولات هدف استفاده می‌شوند (Jomova et al., 2024). بنابراین مقادیر زیادی از سموم استفاده نشده همراه با پساب حاوی این سموم به اکوسیستم‌های مختلف نفوذ می‌کند. در نتیجه، آفت‌کش‌ها باعث آلودگی محیط‌زیست شده و تأثیرات منفی بر سلامت اکوسیستم‌های مختلف، موجودات و در نهایت انسان خواهند گذاشت. آفت‌کش‌های شیمیایی براساس عواملی مانند کلاس‌های شیمیایی، گروه‌های عاملی و سمیت به دسته‌های مختلف ارگانوفسفره، ارگانوکلره، کاربامات، ارگانوکلرین و آفت‌کش‌های پیرتروئید تقسیم‌بندی می‌شوند (Macdonald et al., 2000). از میان سموم کشاورزی، آفت‌کش‌های ارگانوکلره به‌دلیل اثرات سرطان‌زایی، اثر سمیت تأخیری و تأثیر این سموم بر سیستم عصبی ماهیان و انسان، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Liu et al., 2004). سموم کشاورزی ارگانوکلره به‌علت خاصیت تجمع‌پذیری، سرطان‌زایی و تأثیر این سموم بر سیستم عصبی ماهیان و انسان، دارای اهمیت زیادی هستند. این مواد صدمات شدید و جبران‌ناپذیری را به طبیعت، سلامت محیط‌زیست، توازن و پایداری اکوسیستم‌ها و سلامت موجودات زنده وارد کرده می‌کند (Zhang et al., 2010).

سموم ارگانوکلره که به دریا و محیط‌های آبی وارد می‌شوند، نامحلول در آب و چربی‌دوست هستند. این ویژگی‌ها، ورود آنها به بدن میکروارگانیسم‌ها، در نتیجه راهیابی به سطوح بالای هرم زنجیره غذایی و تجمع این سموم را در آبزیان آسان می‌کند (Sahin et al., 2022). ترکیبات ارگانوکلره در مقابل دما و تجزیه شدن در آب پایداری از ترکیبات ارگانوفسفره می‌باشند، در نتیجه پس از ورود به دریا می‌توانند در رسوب تجمع پیدا کنند و از طریق رسوبات وارد بافت‌های موجودات مختلف و زنجیره غذایی آبزی و در نهایت مصرف‌کنندگان شوند (Doong et al., 2002; Khan et al., 2022; Shiry et al., 2020). به‌نظر می‌رسد که آلودگی‌های سمی محیطی، به‌ویژه ترکیبات ارگانوکلره پایداری، تأثیر بسیار زیادی در سلامتی آبزیان و فعالیت اکوسیستم‌ها داشته باشد (Lopes et al., 2001; Shiry et al., 2023). با توجه به تراکم کشت‌های مختلف، استفاده از سموم کشاورزی، غالباً قارچ‌کش علف‌کش در مزارع زیاد می‌باشد و پس از مصرف، سموم از روش‌های مختلف نظیر نشت شستشوی خاک مزارع در اثر بارش باران پساب‌های کشاورزی و وزش باد به رودخانه‌ها وارد شده و در نتیجه منجر به آلوده نمودن آب دریا می‌گردند (Okeniya et al., 2013). با توجه به چرخه حیات ماهیان با ارزش اقتصادی، سموم در بافت این ماهی‌ها تجمع یافته و به این ترتیب خسارتی که این سموم به جوامع انسانی از طریق مصرف آبزیان آلوده وارد می‌کنند کمتر از خسارتی است که به محیط و اکوسیستم‌های آبی به‌طور مستقیم وارد می‌کنند، نیست (Liu et al., 2004). آفت‌کش‌های ارگانو کلره مانند هپتاکلر می‌تواند در بافت‌های چربی جانوران تجمع یابد و از طریق زنجیره غذایی تجمع زیستی پیدا کند. این ترکیب باعث اختلال در سیستم عصبی، کبد و سیستم ایمنی می‌شود و در دوزهای بالا می‌تواند منجر به تحریک عصبی، تشنج و مرگ شود. همچنین، به‌عنوان یک عامل بالقوه سرطان‌زا و اختلال‌زا در سیستم غدد درون‌ریز (به‌ویژه تولیدمثل) شناخته شده است (Liu et al., 2004; Shiry et al., 2023). آفت‌کش‌های لیندان و آلدین به‌عنوان حشره‌کش‌های ارگانوکلره، اثرات عصبی شدیدی در جانوران دارند و می‌توانند باعث تشنج، تحریک‌پذیری و مرگ ناشی از فلج تنفسی شوند. این ترکیبات همچنین با تجمع در کبد، باعث اختلال در عملکرد کبدی و تولیدمثل و افزایش خطر ابتلا به سرطان در انسان و جانوران می‌شوند (Long et al., 1995). آفت‌کش ددت می‌تواند با ایجاد اختلال در سیستم هورمونی و تولیدمثل، باعث کاهش تخم‌گذاری و نازایی در پرندگان و آبزیان شود. همچنین، به‌دلیل تجمع زیستی، در سطوح بالای زنجیره غذایی به انسان منتقل شده که این فرآیند پتانسیل ایجاد سرطان و ناهنجاری‌های جنینی را دارد (Liu et al., 2004).

سموم کشاورزی در اطراف رودخانه کارون، به‌ویژه در استان‌های خوزستان و ایلام، یکی از مهمترین چالش‌های محیط‌زیستی هستند. این منطقه به‌دلیل فعالیت‌های کشاورزی گسترده، از جمله کشت محصولات مانند گندم، جو، خرما، چغندر، سبزیجات

و پنبه، نیازمند استفاده از آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و کودهای شیمیایی است (Behfar et al., 2012). این مواد شیمیایی می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وارد رودخانه کارون شوند و تأثیرات منفی بر اکوسیستم‌های آبی و سلامت انسان داشته باشند. اروند رود، رودخانه پهنای در مرز ایران و عراق در جنوب غربی ایران است که از طریق رودهای دجله، فرات و کارون تغذیه می‌شود (Moshashaeian et al., 2022). سموم مصرفی در کشاورزی در اطراف اروند رود، که از تلاقی رودخانه‌های کارون و دجله در جنوب عراق تشکیل می‌شود، یکی از چالش‌های مهم محیط‌زیستی در این منطقه است (Rezaei et al., 2023). این منطقه به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود و فعالیت‌های کشاورزی گسترده در هر دو طرف مرز ایران و عراق، تحت تأثیر آلودگی‌های ناشی از سموم کشاورزی قرار دارد (Behfar et al., 2012).

رودخانه‌های خوزستان مانند کارون و اروند، علاوه بر اینکه منبع مهمی در صنعت شیلات و صیادی محسوب می‌شود، نوزادگاه‌های ماهیان و پرندگان مهاجر و مراکز تخم‌ریزی گونه‌های مختلف آبزیان می‌باشد (Moshashaeian et al., 2022). بنابراین ورود و تجمع سموم کشاورزی در این اکوسیستم‌ها دارای خطر بالایی برای زیست‌مندان این منطقه، تخریب آن، از بین بردن تنوع زیستی است و برای انسان و مصرف‌کنندگان این منطقه نیز مضر می‌باشد (Rezaei et al., 2023). با توجه به ارزش بالای اکولوژیک و اقتصادی این رودخانه‌ها و نبود اطلاعات کافی در این زمینه، مطالعه میزان سموم کشاورزی آلی کلره در رسوبات این مناطق دارای اهمیت فراوانی می‌باشد. هدف از این مطالعه، بررسی غلظت سموم آلدین، هپتاکلر، دیلدین، لیندان و ددت در رسوبات ایستگاه‌های مختلف در طول رودخانه‌های کارون و اروند با میزان مختلف از فعالیت‌های کشاورزی، منشأیابی آفت‌کش‌ها و همچنین مقایسه غلظت آفت‌کش‌ها با استانداردهای محیط‌زیستی می‌باشد.

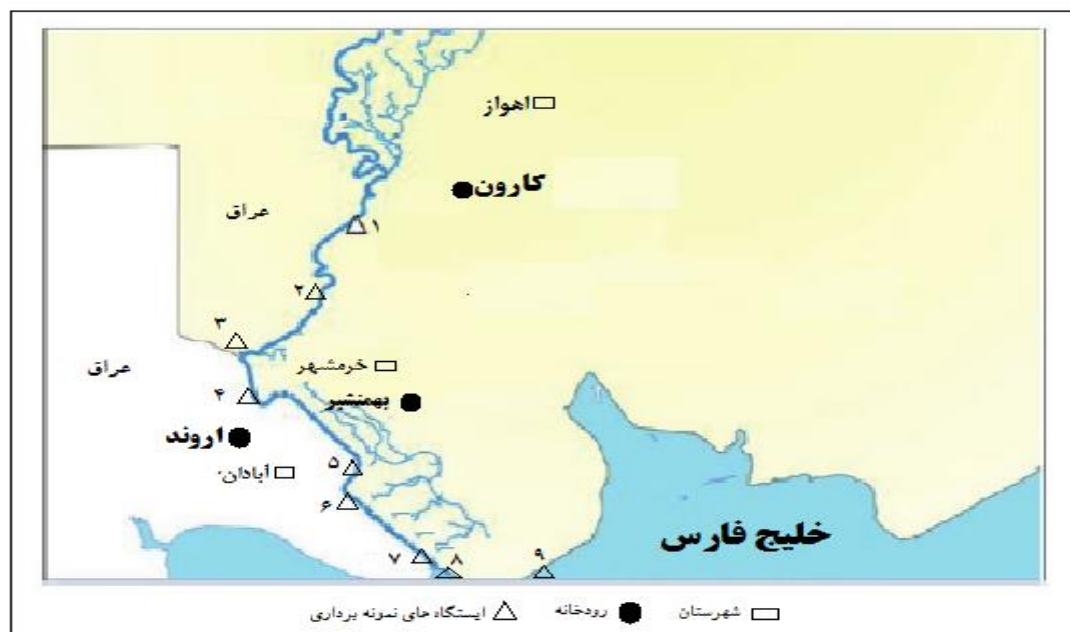
روش‌شناسی پژوهش

نمونه‌برداری از رسوبات در هر کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی (شکل ۱) در طول رودخانه‌های کارون و اروند صورت گرفت. انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری به گونه‌ای بود که در نزدیکی ایستگاه‌ها صنایع کشاورزی و دیگر صنایع وجود داشت. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل طول و عرض جغرافیایی در طول رودخانه‌های کارون و اروند در جدول ۱ نشان داده شده است. برای نمونه‌برداری از رسوبات از نمونه‌بردارون وین گرب که ابزاری مناسب برای نمونه‌برداری از رسوبات است، استفاده شد (Behfar et al., 2012). کلیه لوازم نمونه‌برداری شامل وین گرب و ظروف نگهداری نمونه‌ها، قبل از عملیات نمونه‌برداری در آزمایشگاه توسط آب و مواد شوینده کاملاً شستشو داده شدند، سپس توسط آب مقطر آبکشی و در آون خشک شدند. نمونه‌ها توسط یخدان‌های حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل گردیدند و در دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Behfar et al., 2012). برای آنالیز سموم ارگانوکلره مورد مطالعه (لیندان، هپتاکلر، آلدین، دیلدین و ددت)، ابتدا ۲۰ گرم از نمونه‌های رسوب از هر یک از ایستگاه‌ها مشخص شده برداشته شد، سپس نمونه‌های مرطوب به وسیله سولفات سدیم بدون آب (سه تا چهار برابر وزن نمونه) خشک شدند (Asaoka et al., 2019). حدود پنج تا ده گرم از نمونه خشک شده به دقت توزین شد و نمونه با استفاده از دستگاه سوکسله توسط ۲۰۰ میلی‌لیتر هگزان نرمال به مدت حداقل هشت ساعت با دوره گردش حلال به میزان چهار تا پنج مرتبه در ساعت استخراج گردید (Cheng et al., 2021).

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول رودخانه‌های کارون و اروند

شماره	ایستگاه	طول و عرض جغرافیایی
۱	رودخانه کارون-دارخوین	۳۰°۴۳'۴۴"N, ۴۸°۲۳'۵۲"E
۲	رودخانه کارون-حفار	۳۰°۲۹'۴۰"N, ۴۸°۱۷'۲۲"E
۳	رودخانه کارون-تلاقی با اروند رود	۳۰°۲۵'۳۸"N, ۴۸°۰۹'۵۴"E
۴	اروند رود-نهر خین	۳۰°۲۷'۰۴"N, ۴۸°۰۶'۳۸"E
۵	اروند رود-جزیره مینو	۳۰°۲۰'۱۵"N, ۴۸°۱۴'۳۲"E
۶	اروند رود-آبادان	۳۰°۱۹'۳۳"N, ۴۸°۱۶'۵۹"E
۷	اروند رود-اروند کنار	۳۰°۰۵'۲۴"N, ۴۸°۲۴'۴۰"E
۸	اروند رود-مصب اروند-خلیج فارس	۲۹°۵۴'۳۳"N, ۴۸°۳۸'۴۶"E

بخشی از محلول، اندازه‌گیری و جدا شد و توسط گاز نیتروژن کاملاً خشک شد. بقیه محلول استخراج شده درون دستگاه تبخیر دورانی قرار گرفت و تا حجم حدود ۱۵ میلی‌لیتر تغلیظ گردید (Guo et al., 2021). باقی حلال موجود در این محلول توسط دمیدن گاز نیتروژن خشک و تمیز، با ملایمت تا یک میلی‌لیتر تبخیر و تغلیظ گردید. سپس برای جداسازی سموم ارگانوکلره و حذف لیپیدها، مواد آلی مزاحم و سایر ترکیبات ناخالص حذف از مرحله پاک‌سازی (cleanup) عبور داده شدند که در این مرحله از ستون فلوروسیل و حلال هگزان و دی‌کلرومتان استفاده گردید (Gai et al., 2014). اندازه‌گیری سموم ارگانوکلره توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC 6890 N Agilent) انجام شد که با مقایسه سطح زیر منحنی مربوط به هر سم در هر کروماتوگرام حاصل با سطح زیر منحنی سموم استاندارد، غلظت سموم مورد مطالعه محاسبه شد (Hassaan et al., 2023).



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول رودخانه‌های کارون و اروند

همچنین برای مقایسه غلظت سموم در ایستگاه‌های مختلف و همچنین مقایسه بین سموم مختلف از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) استفاده گردید. برای مقایسه سموم در فصول زمستان و تابستان از آزمون t-test استفاده گردید. از روش (Relative Contribution Analysis) RCA و (Principal Component Analysis) PCA به منظور شناسایی منشأ، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و سهم نسبی هر یک از منابع آلوده‌کننده در غلظت سموم ارگانوکلره در رسوب استفاده شد (Kaabi, 2015). وزن غلظت سموم براساس میکروگرم بر گرم ($\mu\text{g/g}$) وزن خشک محاسبه گردید. مقادیر حد تشخیص (LOD) و حد کمی‌سازی (LOQ) آفت‌کش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. برای رسم نمودارها براساس نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۲۰ استفاده گردید.

جدول ۲- مقادیر حد تشخیص (LOD) و حد کمی‌سازی (LOQ) آفت‌کش‌ها

آفت‌کش	LOQ (میکروگرم بر میکرو گرم یا میکرو لیتر)	LOD (میکروگرم بر میکرو گرم یا میکرو لیتر)
آلدرین	۰/۰۳-۰/۰۳	۰/۰۱-۰/۰۰۱
هپتاکلر	۰/۰۳-۰/۰۳	۰/۰۱-۰/۰۰۱
دیلدرین	۰/۰۱-۰/۰۰۲	۰/۰۱-۰/۰۰۱
لیندان	۰/۰۱-۰/۰۰۳	۰/۰۱-۰/۰۰۱
ددت	۰/۰۱-۰/۰۰۲	۰/۰۱-۰/۰۰۱

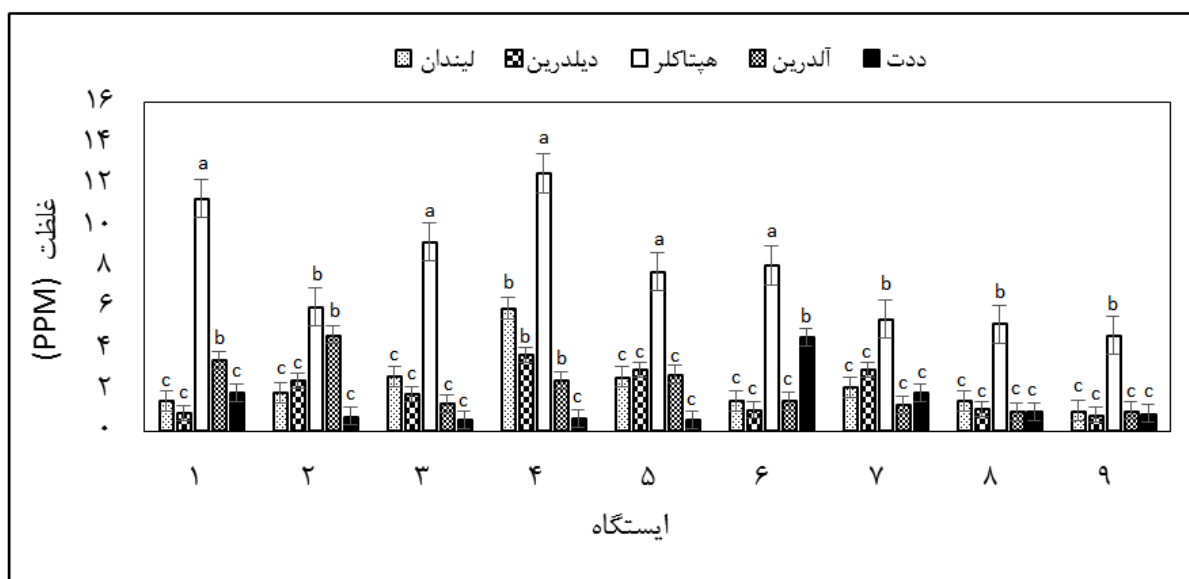
یافته‌های پژوهش

میانگین غلظت سموم ارگانو کلره ($\mu\text{g/g}$) در نمونه‌های رسوب در فصول زمستان و تابستان از ایستگاه‌های مختلف در طول رودخانه‌های کارون و اروند در جدول ۳ نشان داده شده است. غلظت لیندان بین $0/98 \pm 0/09$ در نمونه‌های رسوب خلیج فارس تا $0/02 \pm 0/98$ میکروگرم بر گرم ماده خشک در ایستگاه اروند رود جزیره مینو در فصل زمستان به دست آمده است. غلظت لیندان بین $0/98 \pm 0/09$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه خلیج فارس تا $0/02 \pm 0/98$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه اروند رود جزیره مینو در فصل زمستان و غلظت آن بین $1/08 \pm 1/05$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه کارون دارخوین تا $0/06 \pm 3/45$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه اروند رود نهر خین در فصل تابستان به دست آمد. غلظت دیلدرین بین $1/52 \pm 0/78$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه خلیج فارس تا $1/82 \pm 3/73$ میکروگرم بر گرم ماده خشک در ایستگاه اروند رود-جزیره مینو در فصل زمستان و غلظت آن بین $0/44 \pm 0/52$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه کارون-دارخوین تا $1/95 \pm 2/75$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه اروند رود کنار در فصل تابستان محاسبه شد.

جدول ۳- میانگین و خطای استاندارد غلظت سموم ارگانو کلره ($\mu\text{g/g}$) در نمونه‌های رسوب در فصول زمستان و تابستان از ایستگاه‌های مختلف رودخانه‌های کارون و اروند

ایستگاه	فصل	لیندان	دیلدرین	هپتاکلر	آلدرین	ددت
کارون-دارخوین	سرد	$1/45 \pm 3/82$	$0/89 \pm 0/02$	$11/32 \pm 0/42$	$3/45 \pm 3/05$	$1/88 \pm 1/06$
	گرم	$1/05 \pm 1/08$	$0/52 \pm 1/44$	$8/54 \pm 1/87$	$2/64 \pm 3/34$	$1/12 \pm 1/75$
کارون-حفار	سرد	$1/87 \pm 0/02$	$2/45 \pm 0/04$	$6/06 \pm 1/72$	$4/67 \pm 1/76$	$0/71 \pm 1/45$
	گرم	$1/21 \pm 0/45$	$1/56 \pm 0/75$	$4/32 \pm 0/05$	$2/55 \pm 5/09$	$0/41 \pm 3/05$
کارون-تلاقی اروند رود	سرد	$2/67 \pm 0/82$	$1/79 \pm 0/08$	$9/21 \pm 0/02$	$1/36 \pm 6/85$	$0/54 \pm 0/09$
	گرم	$2/55 \pm 0/32$	$1/65 \pm 0/03$	$8/34 \pm 0/07$	$1/45 \pm 1/09$	$0/51 \pm 2/03$
اروند رود-نهر خین	سرد	$5/98 \pm 0/02$	$3/73 \pm 1/82$	$12/55 \pm 3/52$	$2/44 \pm 0/22$	$0/61 \pm 0/12$
	گرم	$3/45 \pm 0/06$	$2/05 \pm 1/45$	$8/44 \pm 0/76$	$1/38 \pm 0/45$	$0/55 \pm 0/34$
اروند رود-جزیره مینو	سرد	$2/62 \pm 1/52$	$2/98 \pm 0/05$	$7/78 \pm 0/02$	$2/75 \pm 1/44$	$0/56 \pm 4/43$
	گرم	$1/78 \pm 1/05$	$2/21 \pm 1/08$	$5/32 \pm 0/06$	$2/11 \pm 0/05$	$0/42 \pm 2/09$
اروند رود-آبادان	سرد	$1/45 \pm 1/32$	$1/03 \pm 5/32$	$8/06 \pm 0/02$	$1/45 \pm 4/02$	$4/55 \pm 1/37$
	گرم	$1/34 \pm 1/05$	$0/98 \pm 0/08$	$7/84 \pm 0/05$	$1/32 \pm 0/06$	$3/83 \pm 1/54$
اروند رود-اروند کنار	سرد	$2/13 \pm 1/02$	$2/99 \pm 3/05$	$5/44 \pm 0/82$	$1/27 \pm 6/09$	$1/87 \pm 1/02$
	گرم	$2/06 \pm 1/65$	$2/75 \pm 1/95$	$5/11 \pm 4/09$	$1/14 \pm 0/05$	$1/67 \pm 5/65$
اروند رود-مصوب اروند-خلیج فارس	سرد	$1/45 \pm 0/82$	$1/05 \pm 0/02$	$5/21 \pm 4/82$	$0/94 \pm 0/45$	$0/94 \pm 1/08$
	گرم	$1/54 \pm 0/09$	$1/18 \pm 0/08$	$5/89 \pm 0/43$	$1/21 \pm 1/05$	$1/08 \pm 1/54$
خلیج فارس	سرد	$0/98 \pm 0/09$	$0/78 \pm 1/52$	$4/67 \pm 1/62$	$0/97 \pm 0/32$	$0/84 \pm 1/32$
	گرم	$1/23 \pm 0/45$	$1/23 \pm 1/89$	$5/32 \pm 1/62$	$1/45 \pm 0/78$	$1/65 \pm 1/32$

غلظت هپتاکلر بین $4/67 \pm 1/62$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه خلیج فارس تا $12/55 \pm 3/52$ میکروگرم بر گرم ماده خشک در ایستگاه اروند رود نهر خین در فصل زمستان و غلظت آن بین $4/32 \pm 0/05$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه کارون حفار تا $0/76 \pm 8/44$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه اروند رود-نهر خین در فصل تابستان به دست آمد. غلظت آلدرین بین $0/45 \pm 0/94$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه اروند رود-مصوب اروند-خلیج فارس تا $4/67 \pm 1/76$ میکروگرم بر گرم ماده خشک در ایستگاه کارون-حفار در فصل زمستان و غلظت آن بین $1/14 \pm 0/05$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه اروند رود-اروند کنار تا $2/64 \pm 3/34$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه کارون-دارخوین در فصل تابستان به دست آمد. غلظت ددت بین $4/43 \pm 0/56$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه اروند رود-جزیره مینو تا $4/55 \pm 1/37$ میکروگرم بر گرم ماده خشک در ایستگاه اروند رود-آبادان در فصل زمستان و غلظت آن بین $0/42 \pm 2/09$ در نمونه‌های رسوب ایستگاه اروند رود-اروند کنار تا $3/83 \pm 1/54$ میکروگرم بر گرم وزن خشک در ایستگاه اروند رود-آبادان در فصل تابستان محاسبه شد.

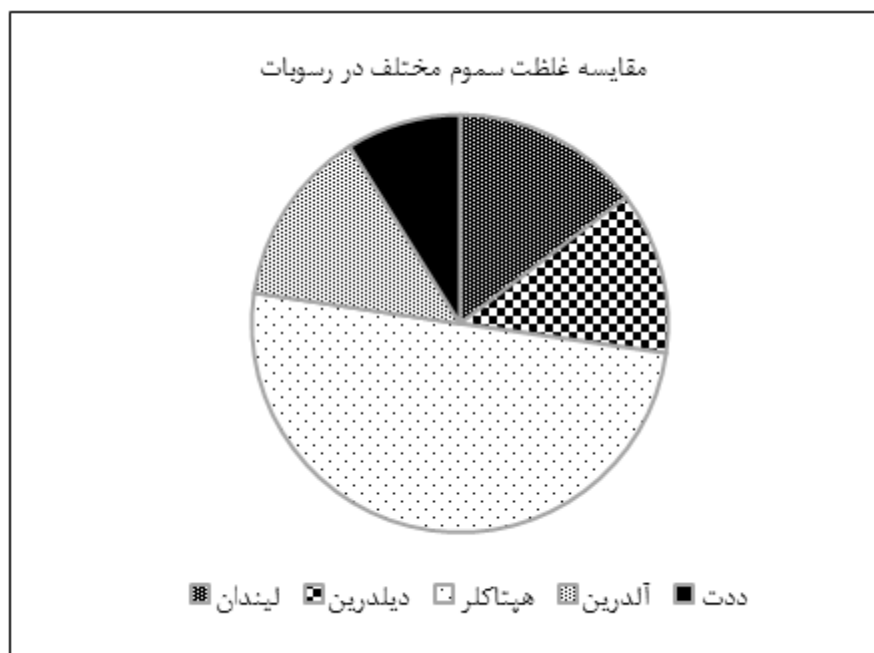


شکل ۱- نمودار نسبت بین فراوانی انباشت آفت‌کش‌ها در رسوبات بین ایستگاه‌های مختلف (a, b و c نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری)

مقایسه غلظت آفت‌کش‌ها در رسوبات بین ایستگاه‌های مختلف در طول رودخانه‌های کارون و اروند در نمودار شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین غلظت لیندان در ایستگاه اروند رود-جزیره مینو و کمترین آن در نمونه‌های رسوب ایستگاه خلیج فارس به‌دست آمد. بیشترین غلظت دیلدرین در ایستگاه کارون-دارخوین مشاهده گردید و کمترین غلظت این آفت‌کش در نمونه‌های رسوب ایستگاه خلیج فارس به‌دست آمد. دیگر آفت‌کش مورد بررسی هپتاکلر بود که رسوبات جمع‌آوری شده از ایستگاه اروند رود-نهر خین و ایستگاه خلیج فارس به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین غلظت این آفت‌کش بودند. بیشترین غلظت آلدرین در نمونه‌های رسوبات ایستگاه کارون-دارخوین به‌دست آمد و کمترین آن در نمونه‌های رسوب ایستگاه اروند رود-مصب اروند-خلیج فارس ثبت گردید. همچنین بیشترین غلظت ددت در ایستگاه اروند رود-آبادان و کمترین آن در نمونه‌های رسوب ایستگاه اروند رود-جزیره مینو به‌دست آمد. در میان ایستگاه‌های مورد بررسی، ایستگاه‌های کارون-دارخوین، اروند رود-نهر خین و اروند رود-جزیره مینو دارای بالاترین غلظت از آفت‌کش‌های مختلف بودند و فقط ددت در رسوبات اروند-آبادان مشاهده گردید.

در نمودار شکل ۲، غلظت سموم ارگانوکلره در ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در رسوبات رودخانه‌های کارون و اروند به تفکیک سموم (آلدرین، هپتاکلر، دیلدرین، لیندان و ددت) نشان داده شده است. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین غلظت سموم وجود دارد ($P < 0.05$) و هپتاکلر و ددت به‌ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در رسوبات دارند. به‌طور کلی ترتیب غلظت سموم در رسوبات در رودخانه‌های کارون و اروند به‌صورت هپتاکلر < لیندان < آلدرین < دیلدرین < ددت بود.

مقایسه سموم در طول فصول سرد و گرم در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد (شکل ۳) که در فصل سرد در ایستگاه‌های کارون-دارخوین، کارون-حفار، اروند رود-نهر خین و اروند رود-جزیره مینو به‌طور معنی‌داری از غلظت فصل گرم بالاتر بوده است. ($P < 0.05$). غلظت سموم در ایستگاه‌های کارون-تلاقی اروند رود، اروند رود-آبادان و اروند رود-کنار در فصل سرد بیشتر از فصل گرم بوده است ولی اختلاف آنها معنی‌دار نیست ($P > 0.05$). در ایستگاه اروند رود-مصب اروند-خلیج فارس غلظت سموم در فصل گرم از فصل سرد بالاتر بوده است ولی اختلاف آنها معنی‌دار نیست ($P > 0.05$). غلظت سموم در فصل گرم به‌طور معنی‌داری از غلظت آنها در ایستگاه خلیج فارس بالاتر بوده است ($P < 0.05$).

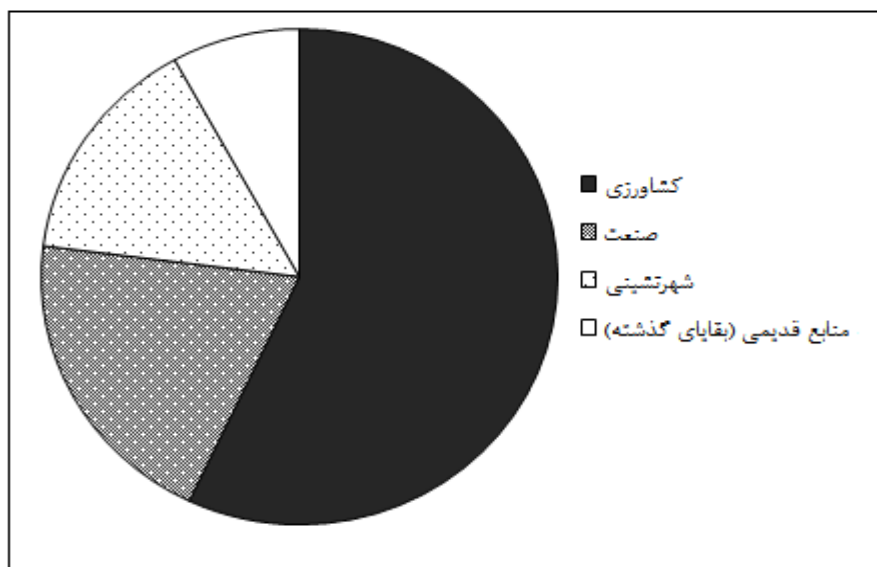


شکل ۲- نمودار نسبت بین فراوانی انباشت سموم مختلف در ایستگاه‌های مورد بررسی در طول رودخانه‌های کارون و اروند



شکل ۳- نمودار مقایسه غلظت سموم مختلف در طول فصول سرد و گرم (a, b و c نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌داری)

منشأیابی آفت‌کش‌های آلی در رسوبات رودخانه کارون و اروند رود در نمودار شکل ۴ نشان داده شده است. براساس نتایج آنالیز RCA، بیشترین سهم در غلظت سموم ارگانوکلره در منطقه رودخانه کارون و اروند رود مربوط به فعالیت‌های کشاورزی است که حدود ۵۴٪ از منشأ آلودگی را تشکیل می‌دهد. این مقدار بالا ناشی از کاربرد گسترده سموم دفع آفات در مزارع مرکبات، برنج و ذرت در حاشیه رودخانه‌ها و همچنین زهکش‌های کشاورزی وارد شده به رودخانه است. منابع صنعتی و فعالیت‌های مرتبط با صنایع پتروشیمی و نفتی در حاشیه رودخانه کارون و اروند رود نیز حدود ۲۳٪ از سهم آلودگی را تشکیل می‌دهند. همچنین فعالیت‌های شهری و فاضلاب‌های خانگی حدود ۱۵٪ از منشأ آلودگی را شامل می‌شوند. منبع چهارم، بقایای دوره‌های قبلی است (۸٪) که هنوز غلظت‌هایی از سموم ارگانوکلره مانند ددت و هپتاکلر را در رسوبات و ماهی‌های منطقه تحت تأثیر قرار می‌دهند.



شکل ۴- نمودار منشأ یابی آفت‌کش‌های آلی در رسوبات رودخانه کارون و اروند رود

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) در این مطالعه به‌خوبی توانست الگوهای فضایی و زمانی غلظت سموم ارگانوکلره در محیط‌های آبی حوضه کارون و اروند رود را شناسایی کند. نتایج PCA نشان داد که اولین مؤلفه (PC1) با بیشترین واریانس توجیه‌شده (حدود ۴۸٪)، تحت تأثیر غلظت‌های بالای هپتاکلر و مشتقات آن (HCHs) و همین‌طور ددت و مشتقات آن (DDTs) قرار دارد که این موضوع با منشأ فعالیت‌های کشاورزی مختلف در حاشیه رودخانه‌های کارون و اروند مرتبط است. مؤلفه دوم (PC2) با واریانس حدود ۲۵٪، متغیرهایی مانند ددت و مشتقات آن (DDTs) را شامل شد که نشان‌دهنده بقایای دوره‌های قبلی و تخریب طبیعی ددت در محیط است (جدول ۴). همچنین، مؤلفه سوم (PC3) با واریانس ۱۵٪ شامل لیندان و هپتاکلر بود که بیشتر در ایستگاه‌های جزیره مینو، آبادان و اروند کنار مشاهده شدند. این متغیرها با منشأ صنعتی و شهرنشینی ارتباط دارند و احتمالاً از طریق فاضلاب‌های صنعتی و شهری وارد رودخانه‌ها شده‌اند. در نهایت، PC4 با واریانس ۷٪ شامل آلدین و دیلدرین بود که بیشتر در مناطق مرزی و مناطقی با سابقه استفاده از سموم قدیمی مشاهده شدند. این سموم اکنون در بیشتر کشورها ممنوع هستند، ولی هنوز در منطقه حضور معنی‌داری دارند.

جدول ۴- شناسایی منشأ و الگوهای پراکنش آفت‌کش ارگانوکلره در رودخانه‌های کارون و اروند رود با استفاده از تحلیل PCA

مؤلفه	متغیرهای غالب	درصد واریانس	منشأ محتمل
PC1	آلدین، ددت، دیلدرین و هپتاکلر	۴۸٪	فعالیت‌های کشاورزی (استفاده بلندمدت از سموم در زمین‌های برنجی و مرکباتی حاشیه رودخانه)
PC2	ددت و مشتقات آن	۲۵٪	بقایای دوره‌های قبلی (DDT و مشتقات آن در رسوبات عمیق و آب‌های زیرزمینی)
PC3	لیندان و هپتاکلر	۱۵٪	فعالیت‌های صنعتی و شهرنشینی (فاضلاب‌های صنعتی و روستایی وارد شده به رودخانه)
PC4	آلدین، دیلدرین و ددت	۷٪	منابع محلی قدیمی (استفاده قبلی در کنترل حشرات و جذب طولانی‌مدت در خاک و رسوبات)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که آفت‌کش‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای غلظت متفاوتی دارند و حداقل، حداکثر و میانگین غلظت دارای اختلاف است. مقایسه بین غلظت انواع آفت‌کش در رسوبات رودخانه‌های کارون و اروند نشان داد که آفت‌کش هپتاکلر به‌طور معنی‌داری غلظت بالاتری دارد. هپتاکلر به‌عنوان یک آفت‌کش برای کنترل حشرات خاک‌زی و آفات گیاهی در کشاورزی استفاده می‌شود (Long et al., 1995). با آبیاری مزارع یا بارندگی، این سموم به‌راحتی از طریق رواناب‌ها

وارد آب‌های سطحی و رسوبات می‌شوند. هپتاکلر یک ترکیب شیمیایی پایدار است که به راحتی تجزیه نمی‌شود و این پایداری باعث می‌شود که این سم در محیط‌زیست برای مدت طولانی باقی بماند و در رسوبات تجمع یابد (Macdonald et al., 2000). این آفت کش می‌تواند در محیط رسوبات به هپتاکلر اپوکسید تبدیل شود که سمی‌تر و پایدارتر است و به راحتی در رسوبات تجمع می‌یابد. از طرفی هپتاکلر، به دلیل خاصیت لیپوفیلیک (حلالیت در چربی) و تمایل به مواد آلی، به راحتی به ذرات رسوبی متصل می‌شود و در آنها تجمع می‌یابد (Zhang et al., 2010). تجزیه شیمیایی هپتاکلر در محیطی با pH بالا (محیط قلیایی) و شرایط احیایی (فاقد اکسیژن)، کندتر انجام شود و باعث تجمع بیشتر این سم در رسوبات می‌شود (Okeniya et al., 2013). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده زیاد از آفت کش هپتاکلر در کشاورزی و ورود مستقیم از پساب کشاورزی و صنعتی به محیط رودخانه‌ها، پایداری بالای این ترکیب و جذب بالای آن به وسیله ذرات رسوبی، تأثیر pH و شرایط شیمیایی محیط از مهمترین دلایل بالا بودن غلظت هپتاکلر نسبت به دیگر سموم در رسوبات رودخانه‌های کارون و اروند است. Jomova و همکاران (۲۰۲۴) گزارش دادند که آفت کش هپتاکلر غلظت بالاتری نسبت به دیگر آفت کش‌ها در رسوبات سواحل برزیل داشته است. همچنین Doong و همکاران (۲۰۰۲) و Okeniya و همکاران (۲۰۱۳) دارای نتایج مشابهی بودند و نشان دادند که غلظت آفت کش هپتاکلر در رسوبات تایوان و نیجریه به طور معنی‌داری از دیگر آفت کش‌ها بالاتر بوده است.

آفت کش ددت دارای کمترین غلظت در بین سموم بود زیرا به دلیل تأثیرات مخرب ددت بر سلامت انسان و محیط‌زیست، از دهه ۱۹۷۰ در بسیاری از کشورها ممنوع شده است. این ممنوعیت باعث شده است که استفاده از ددت در مقایسه با سایر سموم کاهش یابد و بنابراین ورود آن به محیط‌زیست و رسوبات نیز کمتر شود (Long et al., 1995). ددت به دلیل خاصیت لیپوفیلیک خود، تمایل زیادی به تجمع در بافت‌های چربی موجودات زنده دارد که این تجمع می‌تواند باعث شود که بخش عمده‌ای از ددت در بافت‌های موجودات آبی و زنجیره غذایی باقی بماند و کمتر در رسوبات تجمع یابد (Zhang et al., 2010). برخلاف هپتاکلر که به متابولیت‌های پایدارتری مانند هپتاکلر اپوکسید تبدیل می‌شود، ددت ممکن است در محیط‌زیست به ترکیباتی تجزیه شود که پایداری کمتری دارند و در مدت زمان کمتری تجزیه می‌گردد (Liu et al., 2004). بنابراین این عوامل باعث می‌شوند که ددت در مقایسه با سایر سموم مانند هپتاکلر یا آلدین، غلظت کمتری در رسوبات داشته باشد. مطالعاتی مختلفی در نقاط مختلف جهان مانند Macdonald و همکاران (۲۰۰۰)، Doong و همکاران (۲۰۰۲) و Baqar و همکاران (۲۰۱۸) دارای نتایج مشابهی بودند. مقایسه بین غلظت آفت کش‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه در حاشیه رودخانه‌های کارون و اروند نشان داد اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود دارد. وجود فعالیت‌های کشاورزی در منطقه دارخوین و حفار در حاشیه رودخانه کارون، نقش مهمی در آلودگی سموم کشاورزی در این رودخانه دارد و عامل اصلی این آلودگی زهاب‌ها و رواناب‌های اراضی زراعی به خصوص توسعه کشت و صنعت نیشکر در حاشیه این رودخانه و دیگر محصولات کشاورزی مانند سبزی و صیفی، سورگوم، برنج، لوبیا و کنجد، ماش و خرما است (Behfar et al., 2012). سموم استفاده شده برای حفاظت از این محصولات از طریق رواناب‌ها وارد جریان رودخانه کارون و اروند رود می‌شود و سبب آلودگی و تجمع آفت کش‌ها در آب، رسوبات و موجودات این اکوسیستم می‌گردد (Moshashaeian et al., 2022). نهرخین یکی از شاخه‌های مهم اروند رود است که در مرز بین ایران و عراق جریان دارد و منشأ آلاینده‌های آفت کش و حشره کش در نهرخین و اروند رود می‌تواند به دلایل مختلفی از سوی هر دو کشور ایران و عراق باشد (Kolachian et al., 2011). کشاورزی یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های اقتصادی در این منطقه است و محصولات مانند گندم، جو، چغندر قند، پنبه و برنج به طور گسترده کشت می‌شوند. برای مقابله با آفات و بیماری‌های گیاهی، کشاورزان از انواع سموم و آفت کش‌ها استفاده می‌کنند که بارش‌های جوی و آبیاری مزارع باعث می‌شود بخشی از سموم و مواد شیمیایی از ایران و عراق به داخل شبکه‌های آبی منطقه، از جمله نهرخین و اروند رود راه یابد (DouAbul et al., 1987; Jasim et al., 2015). همچنین در برخی موارد، کشاورزان عراقی مواد شیمیایی و سموم را بدون رعایت استانداردهای محیط‌زیستی دور می‌ریزند که این مواد به راحتی وارد آب‌های سطحی می‌شوند. بنابراین منشأ آلاینده‌های آفت کش و حشره کش در نهرخین و اروند رود به دلیل فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در هر دو کشور ایران و عراق است (Behfar et al., 2012). جزیره مینو، یکی از مناطق مهم محصولات کشاورزی مانند برنج، گندم، جو، سبزیجات و صیفی‌جات (خیار و گوجه‌فرنگی) است که برای حفاظت از این

محصولات میزان زیادی از آفت‌کش‌ها استفاده می‌شود (Haji Sharifi and Shakoufar, 2015). کشاورزان در جزیره مینو برای مقابله با آفات و بیماری‌های گیاهی، به‌طور گسترده از انواع حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌هایی مانند آفت‌کش‌های حشره‌ای، قارچ‌کش‌ها و علف‌کش‌ها استفاده می‌کنند که به‌دلیل استفاده گسترده از این سموم شیمیایی، منجر به ورود این آلاینده‌ها به اروند رود و تجمع در رسوبات و آبزیان شوند (Moshashaeian et al., 2022). افزایش غلظت سم ددت در رسوبات سواحل اروند-آبادان به‌دلیل وجود یک کارخانه قدیمی تولید حشره‌کش امشی است که معمولاً پساب‌هایی حاوی مقادیر قابل توجهی از این حشره‌کش تولید می‌کنند که این پساب‌ها به‌صورت نادرست یا بدون تصفیه کافی وارد اروند رود می‌شوند و در رسوبات و آبزیان تجمع پیدا می‌کند (Behfar et al., 2012). کشاورزان به‌دلیل موفقیت ترکیبات کلره آلی (OCPs) در مدیریت بیماری‌های مختلف، مانند مالاریا، تیفوس و کنترل آفات، به استفاده از این مواد ادامه داده‌اند (Zhang et al., 2010). در نتیجه، بسیاری از رودخانه‌ها و جوی‌ها پس از عبور از مزارع کشاورزی گسترده و شهرهای بزرگ به‌دلیل آلودگی پایین‌دست، کیفیت آب خود را از دست می‌دهند. علاوه بر این، کشاورزانی که نمی‌توانند از آفت‌کش‌های ممنوعه استفاده کنند و آنها را انبار کنند، در نهایت این ترکیبات کلره آلی را در رودخانه‌ها یا در مزارع خود می‌ریزند که منجر به آلودگی می‌شود (Macdonald et al., 2000). شکل ۳ میانگین مقادیر ترکیبات کلره آلی (OCPs) را در رسوبات برای فصل‌های سرد و گرم نشان می‌دهد. تغییرات آلاینده‌ها در آب و رسوبات دریایی بین فصول سرد و گرم به‌دلیل عوامل مختلفی از جمله شرایط اقلیمی، فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رخ می‌دهد (Doong et al., 2002). آفت‌کش‌های کلره آلی در فصل سرد در رسوبات فراوان‌تر هستند که این موضوع حلالیت و تجمع زیستی این آفت‌کش‌ها در رسوبات را نشان می‌دهد (Baqar et al., 2018). همچنین غلظت آفت‌کش‌های کلره آلی در فصل بارانی به‌دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی و افزایش حجم رواناب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در امتداد کناره‌های رودخانه، بالاتر است (Liu et al., 2004). دمای پایین‌تر باعث کاهش فعالیت میکروبی و سرعت تجزیه آلاینده‌ها می‌شود (Jasim et al., 2015)، بنابراین، آلاینده‌ها ممکن است بیشتر در آب و رسوبات تجمع یابند. همچنین اختلاط بیشتر آب (به‌ویژه در زمستان) می‌تواند آلاینده‌ها را از لایه‌های بالایی آب به رسوبات منتقل کند (Sahin et al., 2022). بارندگی بیشتر و رواناب‌ها و جریان‌های سطحی می‌تواند آلاینده‌های موجود در خاک (مانند سموم کشاورزی، فلزات سنگین و نفت) را به آب‌های سطحی و رسوبات منتقل کند همچنین رواناب‌های ناشی از بارندگی می‌توانند آلاینده‌های شهری و صنعتی را به محیط‌های آبی وارد کنند (Lopes et al., 2001). استفاده از سموم و آفت‌کش در فصل سرد بیشتر است زیرا محصولات کشاورزی متنوع‌تری نسبت به فصل گرم کشت داده می‌شود (Moshashaeian et al., 2022). بالاتر بودن غلظت سموم در فصل گرم در ایستگاه خلیج فارس می‌تواند به عواملی مانند تبخیر بیشتر، فعالیت میکروبی سریع‌تر و ورود آلاینده‌ها از فعالیت‌های انسانی باشد. تبخیر بیشتر می‌تواند غلظت آلاینده‌ها در آب را افزایش دهد، زیرا حجم آب کاهش می‌یابد و از طرفی فعالیت میکروبی در رسوبات ممکن است سریع‌تر باشد و برخی آلاینده‌ها را تجزیه کند و غلظت آنها را در محیط افزایش دهد (Doong et al., 2002). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در فصل سرد، بارندگی بیشتر، اختلاط آب و کاهش فعالیت میکروبی، استفاده بیشتر از سموم و آفت‌کش می‌تواند آلاینده‌ها را به رسوبات منتقل کند و غلظت آنها را در رسوبات افزایش دهد. در مطالعه Doong و همکاران (۲۰۰۲) که در سواحل جنوب غربی تایوان انجام شد غلظت سموم آلی کلره در رسوبات در فصل زمستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل تابستان گزارش شد. همچنین، در مطالعه Okeniya و همکاران (2013) در سواحل شمالی نیجریه، غلظت سموم ددت، هپتاکلر، دیلدرین و لیندان در رسوبات در فصل زمستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل بود. Jomova و همکاران (۲۰۲۴) گزارش دادند غلظت سموم آلی کلره در رسوبات در فصل زمستان به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل تابستان است.

جدول ۵- مقایسه غلظت سموم بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم (mg/kg) در مطالعه حاضر با برخی از استانداردهای محیط‌زیستی

منبع	استاندارد	ددت	لیندان	دیلدرین	هپتاکلر	آلدرین
Hardebusch et al., (2023)	US EPA	۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱
	WHO	۵	۵	۵	۰/۰۵	۵
Hassaan et al., (2023)	M-TEL	۱	۰/۵	۰/۲۲		
	CMSQ	۱	۰/۵	-	۰/۶	۰/۵

M-TEL: marine sediment threshold effects level; CMSQ I: China Marine Sediment Quality

مقایسه غلظت سموم در این مطالعه با برخی از استانداردهای محیط‌های آبی نشان داد که غلظت ددت، لیندان، دیلدرین و هپتاکلر در این مطالعه از تمام استانداردها کمتر بوده است (جدول ۵). غلظت آلدین در ایستگاه‌های جزیره مینو و دارخوین از استاندارد US EPA بیشتر و از دیگر استانداردها کمتر بوده است. همچنین مقایسه غلظت سموم در این مطالعه با برخی از مطالعات مشابه نشان داد که غلظت سموم نسبت به اکثر موارد مشابه کمتر بوده است. در مطالعه‌ای در چین (Xiamen Harbour, China) که توسط Long و همکاران (۱۹۹۵) صورت گرفت غلظت سم ددت ۰/۱۵۷ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک و غلظت لیندان ۰/۰۰۰۶ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک تعیین شد که در مقایسه با غلظت این سموم در این مطالعه، ددت غلظت بیشتر و لیندان غلظت کمتری داشت. غلظت سموم ددت، هپتاکلر، آلدین و لیندان در مطالعه‌ای که توسط Doong و همکاران (۲۰۰۲) در سواحل جنوب غربی تایوان انجام شد به ترتیب ۰/۰۵۴، ۲۰/۴۳، ۴/۰۹ و ۰/۰۰۲ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است که در مقایسه با غلظت این سموم در این مطالعه، ددت، هپتاکلر، آلدین غلظت بیشتر و لیندان غلظت کمتری دارد. در یک مطالعه در سال ۲۰۰۴ در ویتنام (Cities Vietnam) غلظت سموم ارگانوکلره ددت ۰/۳۴۵ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک و لیندان ۰/۰۰۶ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است که در مقایسه با نتایج این مطالعه ددت غلظت بیشتر و لیندان غلظت کمتری را نشان می‌دهد (Liu et al., 2004). در یک مطالعه Okeniya و همکاران (۲۰۲۳) در سواحل شمالی نیجریه، غلظت سموم ددت، هپتاکلر، دیلدرین و لیندان را به ترتیب ۰/۱۲، ۵/۶۵، ۱۹/۱۲ و ۲/۴۴ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش کردند که از غلظت این سموم در رسوبات کارون و اروند بالاتر بوده است. در مطالعه دیگری در ایالات متحده آمریکا Baqar و همکاران (۲۰۱۸) غلظت سموم ددت، هپتاکلر، آلدین و لیندان به ترتیب ۰/۰۲۳، ۲۳/۹۹، ۱/۱۲ و ۰/۱۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش گردید که در مقایسه با غلظت این دو سم در این مطالعه، غلظت ددت و هپتاکلر بیشتر و آلدین و لیندان غلظت کمتری را نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای در سواحل برزیل غلظت سموم ددت، هپتاکلر و لیندان به ترتیب ۰/۰۳۶، ۱۷/۴۵ و ۱/۵۴ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش گردید که در مقایسه با غلظت آنها در این مطالعه هر دو سم غلظت بیشتری را نشان می‌دهند (Jomova et al., 2024). در پایان می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در خوزستان به دلیل شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب، صیفی‌جات و محصولات کشاورزی معمولاً نیاز شدیدی به استفاده از آفت‌کش‌ها دارند. از طرفی محصولات صیفی معمولاً حساس‌تر به آفات هستند و به دلیل بافت نرم و پرآب، مستعد تغذیه حشرات و آلودگی به بیماری‌های قارچی و باکتریایی هستند. بنابراین استفاده زیاد از این سموم از دلایل غلظت بالای آنها در رسوبات رودخانه‌های اطراف این مناطق است. ایستگاه‌های دارخوین و حفار در حاشیه رودخانه کارون و نهرخین و جزیره مینو در طول اروند رود به دلیل فعالیت‌های زیاد کشاورزی و کشت انواعی از محصولات مختلف مانند صیفی‌جات و گندم، غلظت بالاتری از سموم آلدین، هپتاکلر، دیلدرین و لیندان را نشان می‌دهند. همچنین ایستگاه اروند-آبادان به دلیل وجود کارخانه قدیمی تولید سم امشی، غلظت بالاتری از ددت را نشان داد. به طور کلی، ترتیب غلظت سموم در رسوبات رودخانه‌های کارون و اروند به صورت زیر بود: هپتاکلر < لیندان < آلدین < دیلدرین < ددت به طوری که هپتاکلر بیشترین و ددت کمترین غلظت را در بین سموم داشته‌اند. همچنین غلظت تمام سموم در فصل سرد در اکثر ایستگاه‌ها (به جز ایستگاه‌های اروند-مصب اروند-خلیج فارس و خلیج فارس) بالاتر بود. این تفاوت‌ها به دلیل فعالیت‌های کشاورزی متنوع در طول رودخانه‌های کارون و اروند در دو کشور ایران و عراق و ورود سموم از طریق بارش‌هایی که در طول فصل زمستان وجود دارد و سبب می‌شود آنها از طریق رواناب‌ها و آب‌های جاری وارد رودخانه‌ها گردد و در رسوبات تجمع پیدا کنند و به زنجیره غذایی انتقال پیدا کنند. باتوجه به اینکه فعالیت‌های شیلاتی و صید ماهیان محلی در رودخانه‌های کارون و اروند وجود دارد و ماهیان این مناطق مصرف‌کنندگان زیادی دارد، نگرانی از غلظت بالای این آفت‌کش‌ها در گونه‌های مختلف ماهیان و اثرات آنها بر مصرف‌کنندگان وجود دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی غلظت آفت‌کش‌های ارگانو کلره در گونه‌های مختلف ماهیان که در بین مردم محلی مصرف بالایی دارد، بررسی گردد تا بتوان از اثرات مخرب آنها بر مصرف‌کنندگان جلوگیری کرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله، از تمامی افراد و نهادهایی که در تحقق این پژوهش همراهی و حمایت لازم را فراهم آوردند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نماییم. این مقاله برگرفته از رساله دکتری تخصصی زیست شناسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، است. در پایان، امیدواریم این تلاش اندک بتواند گامی هر چند کوچک در جهت توسعه دانش و بهبود شرایط محیط زیستی داشته باشد.

References

- Asaoka, S., Umehara, A., Haga, Y., Matsumura, C., Yoshiki, R., Takeda, K., 2019. Persistent organic pollutants are still present in surface marine sediments from the Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution Bulletin* 149(2), 110543.
- Behfar, A., Nazari, Z., Rabiee, M.H., Raeesi, G.H., Oveisi, M.R., Sadeghi, N., Jannat, B., 2012. The Organochlorine Pesticides Residue Levels in Karun River Water. *Pharmaceutical Products* 8(1), 41-6.
- Buchman, M.F., 1999. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA HAZMAT Report 97-2; Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration: Seattle, WA, USA.
- Cheng, C., Hu, T., Liu, W., Mao, Y., Shi, M., Xu, A., et al., 2021. Modern lake sedimentary record of PAHs and OCPs in a typical karst wetland, south China: Response to human activities and environmental changes. *Environmental Pollution* 291(12), 118173.
- CSBTS, 2002. Marine Sediment Quality (GB/T 18668-2002); China Environmental Science Press: Beijing, China.
- de Brito, A.P.X., Ueno, D., Takahashi, S., Tanabe, S., 2002. Organochlorine and butyltin residues in walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) from Bering Sea, Gulf of Alaska and Japan Sea. *Chemosphere* 22(8), 401-411.
- DouAbul, A.A., Al-Saad, H.T., Al-Rekabi, H.N., 1987. Residues of organochlorine pesticides in environmental samples from the Shatt al-Arab River, Iraq. *Environmental Pollution* 43(3), 175-187.
- Ebrahimi, E., and Taherianfard, M., 2020. Histopathological changes in gills and livers of fish (*Barbus grypus*) exposed to organochlorine and organophosphate pesticides in Arvand River, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 27(12), 13652-13663.
- Environmental Conservation Center of Khuzestan Province., 2024. Annual Environmental Monitoring Report on Organochlorine Pesticides in the Arvand River-Persian Gulf Region. Department of Environment, Khuzestan Provincial Office.
- Gai, N., Pan, J., Tang, H., Tan, K.Y., Chen, D.Z., Zhu, X.H., Redid, M., 2014. Selected organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in atmosphere at Ruoergai high altitude prairie in eastern edge of Qinghai-Tibet Plateau and their source identifications. *Atmospheric Environment* 95(11), 89-95.
- Guo, F., Yin, S., Wang, H., Zhang, J., Liu, Y., Aamir, M., Reshon, R., 2021. Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the colostrum samples from the Yangtze River Region: Exposure profile and risk assessment. *Environmental Pollution* 285(4), 117253.
- Haji Sharifi, G., Shakoufar, A., 2015. Substitution of sugarcane herbicides to reduce chemical pesticide consumption and optimize the use of agricultural inputs in sugarcane fields of Khuzestan Province. *Journal of Crop Physiology* 1(5), 79-88. (In Persian)
- Hassaan, M.A., Elkatory, M.R., Ragab, S., El Nemr, A., 2023. Polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in water-sediment system of southern Mediterranean: Concentration, source and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin* 196(8), 115692.
- Hidayati, N.V., Asia, L., Khabouchi, I., Torre, F., Widowati, I., Sabdon, A., 2021. Ecological risk assessment of persistent organic pollutants (POPs) in surface sediments from aquaculture system. *Chemosphere* 263(5), 128372.
- Hu, C., Tao, Y., 2023. Spatial-temporal occurrence and sources of organochlorine pesticides in the sediments of the largest deep lake (Lake Fuxian) in China. *Environmental Science and Pollution Research* 30(13), 31157-31170.
- Jasim M. Salman and Amera O. Hussain, 2015. Distribution of Organochlorine Pesticide (OCPs) Residues in Water and Sediment from Euphrates River, Iraq. *International Journal of Advanced Research* 3(4), 76-87.

- Jomova, K., Alomar, S.Y., Alwasel, S.H., Nepovimova, E., Kuca, K., Valko, M., 2024. Several lines of antioxidant defense against oxidative stress: Antioxidant enzymes, nanomaterials with multiple enzyme-mimicking activities, and low-molecular-weight antioxidants. *Archives of Toxicology* 98(8), 1323-1367.
- Kaabi, H., 2015. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface sediments of Karoon River, Khuzestan Province, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 22(23), 19077–19092.
- Khan, M. U., Ahmed, M. J., Rehman, K., 2022. Long-term exposure to DDT reduces antioxidant enzyme activity in *Cyprinus carpio*. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 91(11), 103754.
- Kholaseh Zadeh, A., Dadaal Sohrab, A., Alishahy, M., Khozai, H., Mohammad Asgari, H., 2014. Investigation of chronic toxicity effects of the herbicide Atrazine (Atrazine) on its bioaccumulation trend in *Barbus grypus*. *Journal of Fisheries* 3(3), 21-30. (In Persian)
- Kolachian, H., Charm, M., Hosseini Zare, N., 2011. Study of adsorption reactions of the pesticide Lindane in sediments of the Karun River (Ahvaz-Khorramshahr stretch). *Scientific Journal of Agriculture* 34(10), 55-68. (In Persian)
- Liu, X.Y., Feng, Y.J., Liu, L.H., Yan, G.Y., Fan, Y.Q., 2004. Current situation of toxic organism-induced pollution in water environment of critical section of Yellow River. *Water Resources and Protection* 2(12), 37-41.
- 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. *Environmental Management* 19(2), 81-97.
- Lopes, P.A., Pinheiro, T., Santos, M.C., Mathias, M.L., Collares-Pereira, M.J., Viegas-Crespo, A.M., 2001. Response of antioxidant enzymes in freshwater fish populations (*Leuciscus alburnoides* complex) to inorganic pollutants exposure. *Science of the Total Environment* 280(6), 153-163.
- 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* 39(7), 20-31.
- Nasiri, B., Mahvi, A.H., Soltanian, S., Hosseinzadeh, S., 2018. Organochlorine and organophosphorus pesticide residues in water, sediment and fish species from the Karun River, Iran: Health risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment* 24(7), 1814-1827.
- Nezami, M., Karimi, K., Habibi, A., 2019. Health risks associated with consumption of native fish from the Karun River contaminated with organochlorine and organophosphorus pesticides. *Journal of Environmental Science and Technology* 15(2), 89-102.
- Rezaei, F., Rostegarimehr, M., & Shakoobi, A., 2023. Feasibility study of using agricultural drainage water entering the Khorramshahr (Nasari) Wetland for saline agriculture projects in terms of pesticide contamination. *Journal of Health and Environment* 3(9), 551-560. (In Persian)
- Okeniya, S.O., Egwikide, P.A., Akorhonore, E.E., 2013. Distribution of organochlorine and polychlorinated pesticides residues in water bodies of some rivers in Northern Nigeria. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 8(4), 1269-1289.
- Şahin, A., Karatepe, M., 2022. Vitamins A, E, C, β -carotene contents and MDA level of freshwater mussel, (*Unio elongatulus eucirrus* Bourguignat 1860) in the Karakaya Dam Lake. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39(8), 120-124.
- Shiry, N., Darvishi, P., Gholamhossieni, A., Pastorino, P., Caterina, F., 2023. Exploring the combined interplays: Effects of cypermethrin and microplastic exposure on the survival and antioxidant physiology of *Astacus leptodactylus*. *Journal of Contaminant Hydrology* 259(5), 104257
- Shiry, N., Alavinia, S.J., Gholamhosseini, A., Mirvaghefi, A., 2020. A bioassay on tissue cholinesterase activity of *Rutilus kutum* (Kamensky, 1901) exposed to some common pesticides in Iran. *Vet Res Forum* 11(4), 325-331.
- US EPA, 2000. Pesticides in the Aquatic Environment.
- Zhang, H., Zhang, Y., Zhou, J., Li, X., 2015. Pollution of Sediments by Persistent Organic Pollutants (POPs): A Review. *Environmental Pollution* 207(3), 123-134.
- Zhang, W., Ye, Y., Hu, D., 2010. Characteristics and transport of organochlorine pesticides in urban environment: Air, dust, rain, canopy throughfall, and runoff. *Journal of Environmental Monitoring* 12(1), 2153-2160.