19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

پایش آلکیل‌فنل‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور در خاک کشاورزی تحت آبیاری بلندمدت با پساب

فرزانه محمدی[1*]، مهناز نیک آئین[2]، حمیدرضا رحمانی[3]، مینا محمدی پور[2]

۱- دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، اصفهان، ایران.؛ *
fm_1363@hlth.mui.ac.ir
۲- دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط، اصفهان، ایران.
۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

چکیده

استفاده گسترده از فاضلاب تصفیه شده یا پساب در کشاورزی رویکردی مهم برای مقابله با کم‌آبی ناشی از تغییرات اقلیمی است؛ با این حال، نگرانی‌هایی درباره تجمع ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs)، به‌ویژه آلکِل‌فنل‌ها (APs)، در خاک و پیامدهای احتمالی برای سلامت انسان وجود دارد. این پژوهش حضور و تجمع ترکیبات ۴-نونیل‌فنل (4-NP) و ۴-ترت اکتیل‌فنل (4-t-OP) را در خاک‌های کشاورزی که برای بیش از سی سال با پساب آبیاری شده‌اند، بررسی می‌کند. سپس به تعیین میزان آلکیل‌فنل‌ها در خاک مناطق بایر منطقه که تحت کشت نبوده‌اند می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که خاک آبیاری‌شده با پساب نسبت به مناطق غیرآبیاری‌شده تجمع قابل‌توجهی از آلکیل‌فنل‌ها دارد و این آلودگی بر اثر درازمدت آبیاری با پساب تأکید می‌کند. غلظت 4-NP در خاک بین ۵/۳۳ mg/kg تا ۸۹/۰ وزن خشک (dw) بود؛ همچنین 4-t-OP از کمتر از حد تشخیص تا ۰/۲۶۴۳ mg/kg dw گزارش شد. در فاضلاب، غلظت 4-NP از ۰/۴۲ µg/L تا ۱۴/۶۱ µg/L و 4-t-OP از ۰/۰۱۲۷ µg/L تا ۰/۰۶۳۵ µg/L متغیر بود. این یافته‌ها بر نیاز به پایش دقیق آلاینده های نوظهور برای به حداقل رساندن خطرات زیست‌محیطی و سلامت انسان در پی آبیاری با پساب در درازمدت تأکید می‌کند.

واژگان کلیدی: ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs)، نونیل فنل، اکتیل فنل، فاضلاب، آبیاری، تجمع

مقدمه

خشکسالی رو به افزایش منابع آب شیرین به‌شدت تحت‌تأثیر عواملی مانند تغییرات اقلیم، گسترش سریع جمعیت و تشدید توسعه شهری قرار گرفته است. در پرتو کمبود جهانی آب، به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان رویکردی محیط‌زیستی پایدار و حیاتی مطرح شده است. با توجه به اینکه تقریباً ۹۲٪ از منابع آب در دسترس جهان در فعالیت‌های کشاورزی مصرف می‌شود، کاربرد فاضلاب به‌طور مناسب تصفیه‌شده به‌عنوان راه‌حل عملی و کارآمدی برای مقابله با کم‌آبی در حال گسترش است. این استراتژی به دلیل پتانسیل آن در کاهش فشار بر منابع آب سنتی، توجه روزافزون بین‌المللی را به خود جلب کرده است (Rathi et al., 2021).

سیستم‌های سنتی تصفیه فاضلاب اغلب کارایی لازم برای حذف کامل ترکیباتی مانند آلاینده های نوظهور و ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) را ندارند، این نکته منجر به انتشار این ترکیبات در محیط‌های آبی می‌شود و نگرانی‌هایی را درباره سلامت اکولوژیک و انسان ایجاد می‌کند. برای پاسخ به این مسئله، روش‌های تصفیه پیشرفته، مانند نانوفناوری سبز و کامپوزیت‌های

مواد نوین، در حال بررسی هستند تا ظرفیت‌های حذف آلاینده‌های موجود را افزایش دهند. اگرچه استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی به کاهش کمبود آب کمک می‌کند، این کار می‌تواند به تجمع ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs)در خاک منجر شود و نیازمند پایش و کنترل دقیق است. در میان این آلاینده‌ها، آلکیل‌فنول‌ها(APs) ، به‌ویژه 4-NP و 4-t-OP، به دلیل کاربرد گسترده آن‌ها به عنوان سورفکتانت‌ها و افزودنی‌های صنایع پلاستیک و رزین، افزودنی‌های سموم کاربردی در کشاورزی، افزودنی در پوشش‌های صنعتی و روغن‌های معدنی موجب نگرانی‌های جدی متخصصان محیط زیست را فراهم کرده است (Mohammadipour et al., 2024).

این ترکیبات می‌توانند فعالیت هورمونی را مختل کرده و به سلامت تولیدمثلی آسیب برسانند و خطر ابتلا به سرطان‌های مرتبط با هورمون را افزایش دهند. پایداری این ترکیبات در خاک‌های آبیاری‌شده می‌تواند ایمنی محصولات کشاورزی و کیفیت سفره‌های آب زیرزمینی را تهدید کند و در بسیاری از کشورها اقدام‌های قانونی را برای محدودکردن استفاده و حفاظت از سلامت عمومی و محیط‌زیست به دنبال داشته است (Gu et al., 2016).

تجمع آلاینده‌های نوظهور مانند APsدر فاضلاب و خاک، منجر به پایش مداوم برای تعیین حضور و توزیع آن‌ها در محیط شده است. دنبال‌کردن حضور محیطی APs به بهبود درک رفتار آن‌ها در پساب استفاده شده در مزارع کشاورزی کمک می‌کند. در دهه‌های اخیر، تحقیقات متعددی بر پایش AP ها در فاضلاب، پساب و محیط‌های خاکی تمرکز کرده و هدف آن‌ها یافتن روش‌های کارآمد برای تشخیص و کمی‌سازی این ترکیبات بوده است(Mohammadipour et al., 2024).

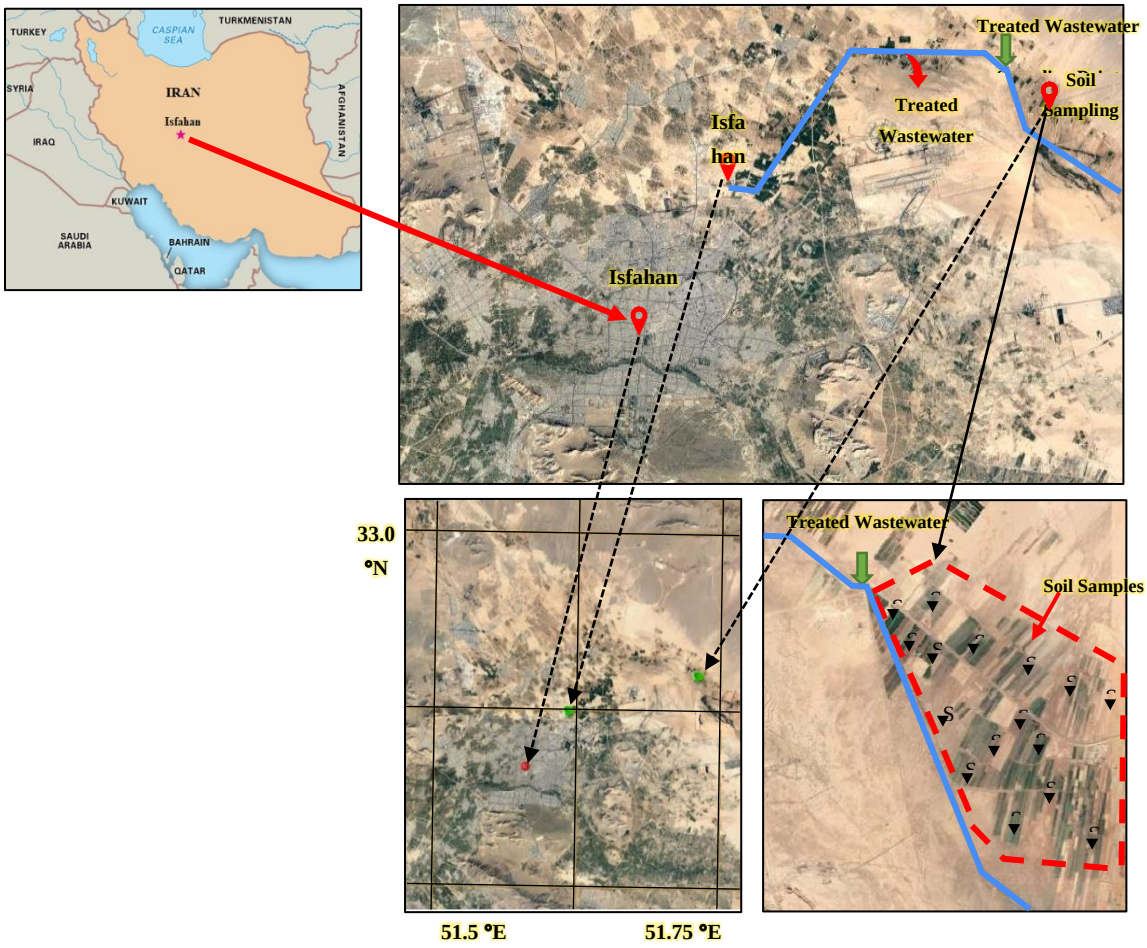
تحقیقات در سراسر جهان به طور فزاینده‌ای بر پایش حضور ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز(EDCs) ، از جمله آلکیل‌فنل‌ها، در فاضلاب، خاک آبیاری‌شده با پساب و محصولات کشاورزی در حال انجام است. آلکیل‌فنل‌ها که به طور گسترده در کاربردهای صنعتی و محصولات خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دلیل مقاومت در برابر تخریب در محیط باقی می‌مانند. مطالعات نشان داده‌اند که آلکیل‌فنل‌ها در فاضلاب تصفیه‌شده حضور دارند، که نگرانی‌هایی را در مورد اثرات بالقوه آن‌ها بر سلامت انسان و اکوسیستم، هنگام استفاده از پساب برای آبیاری ایجاد می‌کند. تحقیقاتی برای درک انتقال و تبدیل این ترکیبات در خاک‌های کشاورزی انجام شده و همچنین میزان انباشتگی این ترکیبات در خاک انباشته و سپس گیاهان کشت‌شده در حال انجام است (Crini et al., 2022).

در این مطالعه، ترکیبات 4-NPو 4-t-OP، در پساب تصفیه‌شده ثانویه (STW) و خاک کشاورزی در مناطقی که طی یک دوره طولانی با پساب آبیاری شده‌اند، پایش شدند. همچنین این ترکیبات در خاک های بایر منطقه نیز که تحت کشت نبوده اند پایش شد و نتایج با هم مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

الف-منطقه مورد مطالعه

این بررسی در منطقه اطراف شهر اصفهان (طول جغرافیایی: ° ۵۱/۹۶ شرقی، عرض جغرافیایی: ° ۳۲/۷۹ شمالی) انجام شد. بر پایه داده‌های اقلیم‌شناسی سه دهه‌ای، منطقه دارای میانگین دمای سالانه ۱۶٫۶ درجه سلسیوس و بارندگی سالانه تقریبی ۱۳۰ میلی‌متر است. فاضلاب جمعیتی حدود ۱/۲میلیون نفر در یک تصفیه‌خانه فاضلاب محلی (WWTP) با فرایند لجن فعال (activated sludge) تصفیه می‌شود. از زمان آغاز به کار تصفیه‌خانه در سال ۱۹۸۷، پساب خروجی آن برای آبیاری مزارع از طریق یک سامانه کانال روباز استفاده می‌شود. شکل ۱ موقعیت تصفیه‌خانه فاضلاب و محل‌های نمونه‌برداری خاک و پساب را نشان می‌دهد. الگوی کشت رایج در این منطقه شامل تناوب دومرحله‌ای ذرت و چغندر دامی است که به‌صورت یک‌بار در فصل پاییز و یک‌بار در فصل بهار انجام می‌گیرد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل نمونه‌برداری

ب-نمونه برداری

در پاییز سال ۲۰۲۲ (سپتامبر تا نوامبر)، تعداد ۱۶ نمونه مرکب خاک از اراضی کشاورزی آبیاری‌شده با پساب جمع‌آوری گردید. به‌دلیل تجمع آلاینده‌ها در لایه فعال ریشه و غنی‌ترین بخش خاک، نمونه‌برداری معمولاً از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و به‌صورت ترکیبی از چند نقطه انجام شد. پس از حذف مواد زائد، یک کیلوگرم خاک همگن‌شده به آزمایشگاه ارسال شد. همچنین، پنج نمونه کنترل از اراضی بایر مجاور به‌عنوان شاهد برداشت گردید. برای اطمینان از عدم کشت در سال‌های گذشته، وضعیت تاریخی اراضی شاهد از طریق بررسی سوابق محلی، مشاهدات میدانی و گفت‌وگو با کشاورزان منطقه تأیید گردید. برای پایش کیفیت فاضلاب، ۱۶ نمونه از ورودی کانال آبیاری جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک تا زمان انجام آنالیز در دمای ۲۰- درجه سلسیوس و نمونه‌های فاضلاب در دمای ۴- درجه سلسیوس نگهداری شدند. بنا بر اظهار کشاورزان محلی، لجن فاضلاب به‌عنوان کود در این منطقه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

ج- روش آنالیز

استانداردهای 4-NP و 4-t-OP با غلظت ۱ گرم در لیتر تهیه شدند، با استفاده از حلال‌های با خلوص زیاد و BSTFA دارای ۱٪ TMCS جهت مشتق‌سازی. استخراج از نمونه‌های مایع به روش ریزاستخراج مایع-مایع پراکنده DLLME با متانول و کلروفرم

انجام شد و سپس سانتریفوژ گردید. نمونه‌های خاک (۲۰ گرم) خشک شده و با مخلوطی به نسبت ۹:۱ از دی‌کلرومتان و کلروفرم استخراج شدند؛ محلول حاصل به مدت دو ساعت هم‌زده و سپس صاف گردید. سپس استخراج از این محلول به روش DLLME مشابه نمونه های مایع انجام شد. سپس عصاره‌ها تحت جریان نیتروژن تبخیر شده، مشتق‌سازی شدند و با دستگاه GC-MS در حالت SIM مورد آنالیز قرار گرفتند (Mohammadi et al., 2018) .

آزمایش‌های کنترل کیفیت نشان دادند که هیچ‌گونه آلودگی از آنالیت‌ها در نمونه‌های شاهد وجود ندارد. نرخ بازیابی برای 4-NPو 4-t-OP در خاک به ترتیب ۹۵٪ و ۱۰۴٪ و در آب به ترتیب ۹۵/۲٪ و ۹۷/۷۶٪ بود. حد تشخیص (LOD) برای 4-NP و 4-t-OP در خاک به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۱۵ میکروگرم در کیلوگرم و در آب به ترتیب ۰/۱۰ و ۰/۵۴نانوگرم در لیتر بود. حد کمّی‌سازی (LOQ) نیز برای آن‌ها در خاک به ترتیب ۱/۷۷ و ۰/۴۱ میکروگرم در کیلوگرم و در آب به ترتیب ۰/۳۷و ۱/۷۵ نانوگرم در لیتر تعیین شد که نشان‌دهنده حساسیت و قابلیت اعتماد زیاد روش مورد استفاده است.

نتایج و بحث

تحلیل نمونه‌های فاضلاب تصفیه‌شده ثانویه یا پساب (STW) نشان داد که غلظت‌های قابل اندازه‌گیری از آلکیل‌فنل‌های 4-NP و 4-t-OP در این پساب وجود دارد (جدول ۱). غلظت 4-NP در نمونه‌های STW در بازه‌ای بین ۰/۴۲ تا ۱۴/۶۱میکروگرم در لیتر متغیر بود و میانگین آن ۲/۷۷ میکروگرم در لیتر گزارش شد. برای 4-t-OP ، غلظت‌ها بین ۰/۰۱۲۷ تا ۰/۰۶۳۵ میکروگرم در لیتر قرار داشتند و میانگین آن ۰/۰۲۱۳ میکروگرم در لیتر بود. این مقادیر نشان‌دهنده حضور پایدار این آلاینده‌ها در پساب تصفیه‌شده‌ای است که به‌طور معمول برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مقایسه با پژوهش‌های پیشین، غلظت‌های 4-t-OP در STW در برخی موارد مشابه یا حتی بیشتر از مقادیر گزارش‌شده پیشین بوده‌اند که پایداری آلکیل‌فنل‌ها در جریان‌های خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را تأیید می‌کند. این نتایج نشان می‌دهند که علی‌رغم انجام فرآیند تصفیه، پساب خروجی همچنان دارای مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلکیل‌فنلی (APs) است که در صورت استفاده برای آبیاری، می‌تواند به آلودگی خاک منجر شود. اگرچه حد بحرانی مشخصی برای آلکیل‌فنل‌ها در خاک کشاورزی تعریف نشده است و این مساله در حال بررسی است اما حضور آن‌ها حتی در غلظت‌های پایین به‌دلیل خاصیت اختلال در غدد درون‌ریز، به‌عنوان شاخصی از خطر زیست‌محیطی تلقی می‌شود. بنابراین، پایش مستمر این ترکیبات در اراضی آبیاری‌شده با پساب ضروری است.

جدول ۱- شاخص‌های آماری توصیفی آلکیل‌فنل‌ها در نمونه‌های خاک و پساب

پارامترها	4-NP			4-t-OP		
	پساب	خاک آبیاری شده	خاک آبیاری نشده	پساب	خاک آبیاری شده	خاک آبیاری نشده
	µg/L	mg/kg DW	mg/kg DW	µg/L	mg/kg DW	mg/kg DW
تعداد	۲۳	۱۶	۵	۲۳	۱۶	۵
میانگین	۲/۷۷	۳۵/۲۸	۰/۵۹۹	۰/۰۲۳۱	۰/۰۹۳۷	۰/۰۱۷
انحراف معیار	۴/۰۸	۲۲/۸۶	۰/۰۸۷	۰/۰۱۲۶	۰/۰۸۸	۰/۰۱۵

در خاک‌های کشاورزی آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌شده ثانویه(STW) ، غلظت آلکیل‌فنل‌ها به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. غلظت4-NP در محدوده‌ای بین ۵/۳۳ تا ۸۹/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک قرار داشت و میانگین آن ۳۵/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در مقابل، غلظت 4-t-OP از زیر حد تشخیص تا ۰/۲۶۴۳ بر کیلوگرم متغیر بود و میانگین آن ۰/۰۹۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد. نمونه‌های خاک از اراضی غیرآبیاری و بایر، سطوح بسیار پایین‌تری از این ترکیبات را نشان دادند. آزمون t تست مستقل نیز تفاوت معنادار آماری در غلظت آلکیل‌فنل‌ها بین خاک‌های آبیاری‌شده و بایر را تأیید کرد. ($p < 0.05$) این تجمع با سابقه حدود ۳۰ سال آبیاری با پساب در منطقه هم‌خوانی دارد.

مقایسه با پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که غلظت‌های 4-NPدر این پژوهش از مقادیر گزارش‌شده در هند و مکزیک بیشتر بوده، اما به‌طور کلی کمتر از مقادیر گزارش‌شده در ایالات متحده است که بیانگر تفاوت‌های منطقه‌ای در سطح آلودگی است. به‌عنوان مثال، Rhindو همکاران (۲۰۰۲) غلظت 4-NPرا تا ۲۸۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک‌های اصلاح‌شده با لجن فاضلاب گزارش کردند (Rhind et al., 2002)، و Saha و همکاران (۲۰۲۲) مقدار ۱۹۲ نانوگرم در گرم را در خاک‌های هند مشاهده نمودند. در مقابل، آبیاری با آب رودخانه در این مناطق منجر به تجمع کمتر در خاک شد (Saha et al., 2022).

یافته‌ها نشان‌دهنده تجمع آشکار آلکیل‌فنل‌ها (APs) در خاک‌های کشاورزی آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌شده هستند که می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی بلندمدت به‌دنبال داشته باشد. تجمع این ترکیبات عمدتاً ناشی از استفاده از آب آبیاری آلوده، آفت‌کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب دارای آلکیل‌فنل‌ها است. به‌دلیل ویژگی‌های شیمیایی این ترکیبات از جمله حلالیت کم در آب، حلالیت زیاد در چربی، و تمایل زیاد به اتصال با ذرات خاک، آلکیل‌فنول‌ها تمایل به پایداری و تجمع در خاک دارند. ساختار حلقه فنلی با زنجیره آلکیل متصل نیز موجب مقاومت در برابر تجزیه میکروبی شده و سرعت تجزیه زیستی را کاهش می‌دهد. این پایداری، خطرات زیست‌محیطی و بهداشتی قابل توجهی ایجاد می‌کند؛ چرا که آلکیل‌فنل‌ها برای آبزیان سمی بوده و می‌توانند موجب اختلالات هورمونی در حیات‌وحش شوند. در خاک نیز ممکن است رشد گیاهان را مختل کرده و محصولات غذایی را آلوده سازند. بنابراین، تجمع آلکیل‌فنل‌ها در خاک‌های کشاورزی یک نگرانی زیست‌محیطی جدی محسوب می‌شود که نیازمند توجه فوری برای جلوگیری از آلودگی‌های مداوم است (Bai et al., 2017) .

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به پیامدهای زیست‌محیطی بلندمدت نا شی از ا ستفاده از پساب حا صل شده از تصفیه فا ضلاب با روش لجن فعال در آبیاری کشاورزی پرداخته شد. شناسایی و تجمع آلکیل‌فنل‌ها، به‌ویژه 4-NP و 4-t-OP در نمونه‌های خاک نشان‌دهنده پایداری و قابلیت جابجایی این ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) به عنوان آلاینده های نوظهور در اکوسیستم‌های کشاورزی است. غلظت‌های به‌مراتب بیشتری از این ترکیبات در خاک‌های آبیاری‌شده نسبت به مناطق بایر مشاهده شد که به نقش آبیاری طولانی‌مدت با پساب در تجمع آلاینده‌های نوظهور را تأیید می‌کند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد به شماره ۳۴۰۱۶۰۵ می‌باشد که با حمایت مالی کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران انجام شده است. کد اخلاق پژوهش: IR.MUI.RESEARCH.REC.1401.318.

فهرست منابع

Bai, N., Abuduaini, R., Wang, S., Zhang, M., Zhu, X., Zhao, Y., 2017. Nonylphenol biodegradation characterizations and bacterial composition analysis of an effective consortium NP-M2. Environ. Pollut. 220, 95–104. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.027

Crini, G., Cosentino, C., Bradu, C., Fourmentin, M., Torri, G., Ruzimuradov, O., Alaton, I.A., Tomei, M.C., Derco, J., Barhoumi, M., Prosen, H., Malinović, B.N., Vrabeľ, M., Huq, M.M., Soltan, J., Lichtfouse, E., Morin-Crini, N., 2022. Innovative technologies to remove alkylphenols from wastewater: a review. Environ. Chem. Lett. 2022 204 20, 2597–2628. https://doi.org/10.1007/S10311-022-01438-5

Gu, Y., Yu, J., Hu, X., Yin, D., 2016. Characteristics of the alkylphenol and bisphenol A distributions in marine organisms and implications for human health: A case study of the East China Sea. Sci. Total Environ. 539, 460–469. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.011

Mohammadi, F., Bina, B., Amin, M.M., Pourzamani, H.R., Yavari, Z., Shams, M.R., 2018. Evaluation of the effects of AlkylPhenolic compounds on kinetic parameters in a moving bed biofilm reactor. Can. J. Chem. Eng. 96, 1762–1769. https://doi.org/10.1002/cjce.23115

Mohammadipour, M., Mohammadi, F., Nikaeen, M., Ebrahimpour, K., Janati, M., Attar, H.M., 2024. The Lasting Effects of Wastewater Irrigation: Evaluating Alkylphenols Accumulation in Soil and Potential Health Risks for Farmers and Local Communities. Results Eng. 103245.

Rathi, B.S., Kumar, P.S., Vo, D.V.N., 2021. Critical review on hazardous pollutants in water environment: Occurrence, monitoring, fate, removal technologies and risk assessment. Sci. Total Environ. 797, 149134. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.149134

Rhind, S.M., Smith, A., Kyle, C.E., Telfer, G., Martin, G., Duff, E., Mayes, R.W., 2002. Phthalate and alkyl phenol concentrations in soil following applications of inorganic fertiliser or sewage sludge to pasture and potential rates of ingestion by grazing ruminants. J. Environ. Monit. 4, 142–148. https://doi.org/10.1039/B107539J

Saha, S., Narayanan, N., Singh, N., Gupta, S., 2022. Occurrence of endocrine disrupting chemicals (EDCs) in river water, ground water and agricultural soils of India. Int. J. Environ. Sci. Technol. 19, 11459–11474. https://doi.org/10.1007/s13762-021-03858-2

19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025
نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴
مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran
۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

Monitoring of Alkylphenols as Emerging Pollutants in Agricultural Soils Under Long-Term Treated Wastewater Irrigation

Farzaneh Mohammadi[1]*, Mahnaz Nikaein[2], Hamidreza Rahmani[3], Mina Mohammadipour[2]
1. Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. Email: fm_1363@hlth.mui.ac.ir
2.Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran.
3.Faculty Member, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, .Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

Abstract

The widespread use of secondary treated wastewater (STW) in agriculture is a key strategy to address water scarcity caused by climate change. However, concerns remain regarding the accumulation of endocrine-disrupting compounds (EDCs), particularly alkylphenols (APs), in soil and their potential implications for human health. This study investigates the presence and accumulation of 4-nonylphenol (4-NP) and 4-tert-octylphenol (4-t-OP) in agricultural soils that have been irrigated with wastewater for over thirty years. It also assesses AP concentrations in barren, uncultivated soils of the same region. The results indicate significantly higher levels of alkylphenols in wastewater-irrigated soils compared to non-irrigated areas, highlighting the impact of long-term effluent irrigation. The concentration of 4-NP in soil ranged from 5.33 to 89.0 mg/kg dry weight (dw), while 4-t-OP ranged from below detection limits to 0.2643 mg/kg dw. In wastewater samples, 4-NP concentrations varied from 0.42 to 14.61 µg/L, and 4-t-OP from 0.0127 to 0.0635 µg/L. These findings underscore the need for rigorous monitoring of emerging pollutants to minimize environmental and human health risks associated with prolonged wastewater irrigation.

Keywords: Emerging pollutants, alkylphenols, wastewater, irrigation, soil