مقاله پژوهشی
مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان
دوره ۲۳، خرداد ۱۴۰۳، ۲۳۶-۲۲۲

ارزیابی فرآیند گیاه پالایی با درخت کهور در حذف پایرن و کادمیوم از خاک‌های آلوده: یک مطالعه آزمایشگاهی

امین عالیوند[۱]، سید عنایت هاشمی[۲]، غلامرضا عبدی[۳]، فرزانه نصرزاده[۴]، محمد حیدری[۵]، مجتبی بهروزی[۶]

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲ ارسال مقاله به نویسنده جهت اصلاح: ۱۴۰۳/۲/۳ دریافت اصلاحیه از نویسنده: ۱۴۰۳/۳/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۳/۱۹

چکیده

زمینه و هدف: گیاه پالایی با گیاهان بومی به دلیل مزیت‌های زیاد و مقرون به صرفه بودن، یک فناوری نوظهور برای اصلاح خاک های آلوده به مواد آلی و فلزات سنگین محسوب می‌شود. مطالعه حاضر با هدف تعیین کارآیی فرآیند گیاه پالایی در حذف پایرن و کادمیوم از خاک آلوده با استفاده از درخت کهور از مهر ماه ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ در دانشگاه علوم پزشکی بوشهر انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه آزمایشگاهی نقش هر کدام از ماتریکس‌های خاک رس، کود حیوانی و سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات و غیریونی توئین ۸۰ با کشت درخت کهور به طور مجزا و تلفیقی در حذف پایرن و کادمیوم در غلظت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم/کیلوگرم در بازه یک تا سه ماهه مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند. آنالیز نمونه‌ها با دستگاه کروماتوگرافی گازی و جذب اتمی انجام شد. داده‌های نهایی با استفاده از نرم‌افزار اکسل مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در مطالعه اخیر با گذشت زمان غلظت پایرن و کادمیوم در خاک رس واجد سورفکتانت و کود حیوانی در فرآیند گیاه پالایی به کمک درخت کهور کاهش یافت. با افزایش غلظت پایرن به ترتیب از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم/کیلوگرم، حداکثر راندمان حذف پایرن بین ۸۵/۴۳ و ۵۷/۵۵ درصد و با افزایش غلظت کادمیوم از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم/کیلوگرم، حداکثر راندمان حذف کادمیوم بین ۸۳/۶۸ و ۶۷/۸۰ درصد، در پایان ماه سوم حاصل شد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که از بین تقویت کننده‌های مختلف، خاک‌های رسی حاوی کود حیوانی و سورفکتانت‌ها به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش در اصلاح خاک‌های آلوده به کادمیوم و پایرن توسط گیاه پالایی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: گیاه پالایی، پایرن، کادمیوم، سورفکتانت، خاک آلوده، درخت کهور

ارجاع: عالیوند ا، هاشمی س‌ع، عبدی غ‌ر، نصرزاده ف، حیدری م، بهروزی م. ارزیابی فرآیند گیاه پالایی با درخت کهور در حذف پایرن و کادمیوم از خاک‌های آلوده. یک مطالعه آزمایشگاهی. *مجله دانشگاه علوم پزشکی رفسنجان*، سال ۱۴۰۳، دوره ۲۳ شماره ۳، صفحات: ۲۳۶-۲۲۲.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط ،گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
۲- (نویسنده مسئول) دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
تلفن: ۰۷۷-۳۳۴۵۰۱۳۴، پست الکترونیکی: seyedenayat_hashemi@yahoo.com
۳- استادیار گروه بیوتکنولوژی، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران
۴- کارشناس آزمایشگاه خاک و پسماند، دانشکده بهداشت و تغذیه، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
۵- دکتری محیط زیست، آزمایشگاه EB/SM، پتروشیمی پارس، عسلویه، ایران
۶- کارشناس گروه مهندسی بهداشت محیط، معاونت بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

مقدمه

به دلیل اثرات منفی احتمالی تراتوژن، سرطان‌زا و جهش‌زا بر سلامت انسان و محیط زیست، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای و فلزات سنگین مشکلات زیست محیطی جدی ایجاد می‌کنند. مکان‌های آلوده به آلاینده‌های آلی و فلزی رایج هستند و به عنوان یک نگرانی عمومی و مشکل زیست محیطی در نظر گرفته می‌شوند. آلودگی خاک می‌تواند مشکلاتی بر سلامت انسان و یا اکوسیستم داشته باشد (۱). در میان آلاینده‌ها، کادمیوم به عنوان یک فلز غیرضروری و بالقوه سمی در نظر گرفته می‌شود و سطوح بالای آن در منابع آب و خاک تهدیدی برای سلامت انسان است (۲). از سوی دیگر، هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای به عنوان ترکیبات سمی، سرطان‌زا و جهش‌زا، به دلیل اثرات نامطلوب آن‌ها بر سلامت انسان، یک نگرانی عمده هستند (۳) .پایرن (Pyrene)، یکی از ۱۶ آلاینده آروماتیک چند حلقه‌ای، نیز به عنوان یک آلاینده پایدار در محیط در نظر گرفته می‌شود. آلودگی هم‌زمان با فلزات سنگین و هیدروکربن‌های حلقوی در خاک، تهدیدات جدی اکولوژیکی از جمله افزایش سمیت برای فعالیت و تنوع میکروبی، کاهش در دسترس پذیری بیولوژیکی و مهار رشد گیاه ایجاد کرده است (۴).

عوامل متعددی بر وضعیت خاک تأثیر دارند. اصلاح محیطی شامل تمام تکنیک‌ها و فرآیندهایی است که برای حذف آلاینده‌ها از خاک استفاده می‌شود. آلودگی خاک خطرات و نگرانی‌های زیادی را برای سلامتی افراد و محیط زیست ایجاد می‌کند، خواه آنها در تماس مستقیم با آن باشند، آن را مصرف کنند و یا وارد زنجیره تامین مواد غذایی کنند. روش‌های اصلاح خاک برای حذف انواع آلاینده‌ها از آن مانند فلزات سنگین، هیدروکربن‌های نفتی، آفت کش‌ها و مواد رادیواکتیو استفاده می‌شود. این روش‌ها بسته به نوع آلودگی که از بین می‌رود می‌تواند فیزیکی، شیمیایی، حرارتی یا بیولوژیکی باشند (۵). روش‌های مختلفی مانند اصلاح فیزیکی، پاکسازی شیمیایی، زیست پالایی (Bioremediation) و گیاه پالایی (Phytoremediation) برای کنترل و حذف فلزات سنگین و هیدروکربن‌های حلقوی و یا آلاینده‌های همراه از خاک استفاده شده است (۶). بسیاری از این روش‌ها تنها آلاینده را به آلاینده دیگری تبدیل می‌کنند یا آن را به بستر دیگری منتقل می‌کنند (۷)، اما زیست پالایی می‌تواند آلاینده‌ها را برای همیشه از بین ببرد و یا آن‌ها را به مواد بی‌ضرر تبدیل کند (۸). گیاه پالایی یک زیست پالایی نسبتاً جدید در محل است، فناوری که از گیاهان برای استخراج، جداسازی و سم زدایی آلاینده‌های زیست محیطی موجود استفاده می‌کند. گیاه پالایی یک فناوری بسیار کارآمد، کم هزینه، سازگار با محیط زیست و سبز بوده است و از گیاهان برای اصلاح خاک استفاده می‌کند (۹). خواص گیاه پالایی چندین گونه گیاهی مانند پوپولوس ترمولا، فاراگمیتس اوسترالیس، آلوپکوروس پراتنسیس، آرهنا تزوم الاتیوس، بروموس اینرسیس و سیلن ولگاریس، دیسفانیا بوتریس، لوتوس کورنیکولاتوس، لوتوس هیسپیدوس، پلانتاگو لانسئولاتا،اتریلوفیوم ریپنس و مدیکاگو لوپولینا (۱۰)، در مطالعات قبلی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. برای این‌که یک گیاه با این فناوری مطابقت داشته باشد، باید دارای ضریب تجمع‌پذیری بالا (غلظت آلاینده گیاه نسبت به آن در خاک)، چرخه زندگی کوتاه، سرعت تکثیر بالا، توزیع جغرافیایی وسیع باشد.

درخت کهور با نام علمی (*Prosopis cineraria*) معمولاً در نواحی خشک و یا نیمه خشک آسیا و آفریقا رشد می‌کند . جدای از استفاده سنتی برای ارزش غذایی و تغذیه‌ای آن، مطالعات مختلفی انجام شده و فواید سلامتی آن را مشخص کرده است (۱۱). در احیای زمین‌های آلوده/تخریب شده، گیاه پالایی، جداسازی CO_2 و فناوری کربناته‌سازی، استفاده برای تولید اتانول زیستی، ارزش افزوده و محصولات زنجیره ارزش، مصارف دارویی

CCBY-NC.4.0 DEED
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

و خدمات اکوسیستمی کاربرد دارد. درخت کهور به عنوان یکی از گونه‌های درختی مهاجم و مشکل ساز خارجی در نظر گرفته می شود و توجه ویژه‌ای را در مناطق گرمسیری برانگیخته است. مزیت اصلی آن تأمین چوب سوخت و گونه‌ای بسیار مناسب برای مبارزه با بیابان‌زایی است. هم‌چنین از طریق هیزم‌های جمع‌آوری شده، تولید زغال و غیره منابع متنوع و درآمد اضافی برای مردم محلی فراهم می‌کند (۱۲).

اگرچه مطالعاتی برای آزمایش گونه‌های مختلف گیاهی به عنوان گیاه پالایی مناطق آلوده انجام شده است، اما بهتر است از گونه‌های محلی سازگار در هر منطقه خاص استفاده شود. بر اساس مطالعات گذشته، از درخت کهور برای حذف پایرن و کادمیوم توسط فرآیند گیاه پالایی از خاک‌های آلوده استفاده نشده است. بنابراین، در این مطالعه روش گیاه پالایی با درخت کهور جهت حذف آلودگی هم‌زمان پایرن و کادمیوم از خاک برای اولین بار استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع آزمایشگاهی با استفاده از انواع تقویت کننده-ها برای حذف کادمیوم و پایرن از خاک‌های آلوده با استفاده از درخت کهور انجام شد. این طرح پس از تأیید و دریافت کد اخلاق IR.BPUMS.REC.1399.052 در دانشگاه علوم پزشکی بوشهر از مهرماه ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ انجام گرفت. مواد مورد آزمایش شامل پایرن، نیترات کادمیوم $Cd(NO_3)_2$، اسید نیتریک، سولفات سدیم، سورفکتانت آنیونی سدیم دودسیل سولفات ($C_{12}H_{25}NaO_4S$)، سورفکتانت غیر یونی توئین ۸۰ (Tween 80)، حلال‌های n-هگزان و استون که از شرکت مرک آلمان خریداری شد. به منظور سنجش غلظت کادمیوم از دستگاه جذب اتمی (مدل FS FLAME-۲۲۰، ساخت شرکت Shimadzu و تولید کشور ژاپن) و به منظور سنجش غلظت پایرن از دستگاه کروماتوگرافی گازی با دتکتور شعله‌ای (مدل A-۶۸۹۰، ساخت شرکت Agilent و تولید کشور آمریکا) استفاده گردید.

در این تحقیق خاک رس از لایه بالایی (۱۵-۱۰ سانتی‌متری) یک مزرعه کشاورزی برداشت گردید. خاک در هوا خشک شد و از طریق الک‌های استاندارد ۲ میلی‌متری الک شد. بر اساس آزمایش انجام شده روی خاک و کود حیوانی مورد استفاده نتایج آنالیز به شرح ذیل به دست آمد: میزان مواد آلی در خاک ۵/۴۱ درصد و در کود حیوانی ۶۵/۱۲ درصد، مقدار نیترات در خاک رس ۳۶/۶۵ درصد و در کود حیوانی ۳۱۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقدار فسفات در خاک رس ۰/۵۶ و در کود حیوانی ۰/۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، هدایت الکتریکی خاک رس و کود حیوانی به ترتیب۳۶/۶ و ۵/۴ میلی زیمنس بر متر گزارش گردید. به منظور حذف مواد آلی خاک، نمونه خاک خشک شده از نظر رطوبت با نسبت حجمی یکسان از مخلوط استون و n- هگزان (۱:۱) شستشو گردید به طوری که غلظت اولیه مواد آلی خاک به صفر رسید. در کلیه تیمارهای تصفیه مورد نظر تحقیق، سطوح غلظتی کادمیوم اضافه شده به خاک معادل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و سطوح غلظتی پایرن اضافه شده به خاک معادل ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی گرم پایرن بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد و مورد آنالیز قرار گرفت. به دلیل کم بودن عناصر غذایی خاک مورد استفاده، کود حیوانی (۱۵ درصد وزن خاک خشک) به آن اضافه شد (۱۳).

به منظور بهینه کردن غلظت سورفکتانت‌های Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) و Tween80 درخت کهور در ۹ گلدان در سه غلظت ۰/۵، ۰/۷۵ و ۰/۹۵ میلی‌مول بر لیتر به مدت سه ماه با غلظت اولیه متوسط پایرن ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کشت گردید. پس از پایان فرآیند گیاه پالایی با درخت کهور مشاهده گردید که بیشترین میزان حذف پایرن ۰/۷۵ میلی‌مول بر لیتر به دست آمد. بر اساس پیش‌آزمون انجام شده، در کلیه فرآیندهای

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

تصفیه غلظت بهینه سورفکتانت‌های آنیونی و غیر یونی SDS و Tween80 معادل ۰/۷۵ میلی‌مول بر لیتر نسبت حجمی ۱:۱ استفاده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، جهت سنجش غلظت پایرن توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی ساخت شرکت AGILENT کشور آمریکا مدل ۶۸۹۰ و جهت سنجش غلظت کادمیوم دستگاه جذب اتمی کوره‌ای مدل FS FLAME-۲۲۰ استفاده گردید. مطابق با جدول ۱، تعداد نمونه‌های برداشتی و مراحل انجام تحقیق به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول ۱- مراحل انجام تحقیق و آماده سازی نمونه‌ها

ردیف	تیمار (مراحل انجام تحقیق)	تعداد نمونه
۱	خاک رس + پایرن + کادمیوم (بدون کاشت گیاه)	۱۲
۲	خاک رس + سورفکتانت + پایرن + کادمیوم (بدون کاشت گیاه)	۱۲
۳	خاک رس + کود حیوانی + پایرن + کادمیوم (بدون کاشت گیاه)	۱۲
۴	خاک رس + سورفکتانت + کود حیوانی + پایرن + کادمیوم (بدون کاشت گیاه)	۱۲
۵	خاک رس + سورفکتانت + پایرن + کادمیوم + کشت درخت کهور	۱۲
۶	خاک رس + کود حیوانی + پایرن + کادمیوم + کشت درخت کهور	۱۲
۷	خاک رس + کود حیوانی + سورفکتانت + گیاه + پایرن + کادمیوم کشت درخت کهور	۱۲
۸	خاک رس + سورفکتانت + کود حیوانی + گیاه (برای تعیین سرعت رشد اندام‌های هوایی درخت کهور)	۱۲
تعداد کل نمونه	-	۹۶

برای استخراج کادمیوم موجود در نمونه‌های خاک، ۲ گرم خاک الک شده وزن گردید و ۱۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک به آن اضافه شد و به مدت ۲۰ ساعت در بن ماری با دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و در نهایت از کاغذ صافی واتمن با اندازه ۸ میکرو متر عبور داده شد. با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و نمونه‌ها برای تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه فرستاده شد. به منظور استخراج کادمیوم از هر کدام از اندام‌های مختلف گیاه خشک شده در شرایط آزمایشگاهی، ۰/۵ گرم از گیاه وزن گردید و ۱۵ میلی‌لیتر HNO_3 به آن اضافه شد و روی هات پلیت تا ۲۷۵ درجه سلسیوس قرار داده شد تا حجم آن به کمتر از ۱۵ میلی‌لیتر برسد و رنگ زرد بگیرد پس از ایجاد رنگ زرد H_2O_2 به آن اضافه گردید تا رنگ زرد آن از بین برود و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و در نهایت با دستگاه جذب اتمی مورد آنالیز قرار گرفت (۱۴).

برای استخراج پایرن از نمونه‌های خاک از روش استاندارد Environmental Protection Agency (EPA) (روش ۳۵۴۰) استفاده شد (۱۵). برای استخراج پایرن از نمونه‌های گیاهی، ۱۰ میلی‌لیتر استون و هگزان به نسبت حجمی ۱:۱ به ۰/۵ گرم از هر کدام از اندام‌های مختلف گیاه خشک شده در شرایط آزمایشگاهی اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی به هم زده شد. سپس نمونه به مدت ۱۰ دقیقه به منظور یکنواخت سازی کامل، در حمام اولتراسونیک قرار داده شد تا غلظت آن به کمتر از ۲ میلی‌لیتر رسید. پس از فیلتراسیون با فیلتر ۰/۲۲ میکرومتری، برای اندازه‌گیری غلظت پایرن، تمام نمونه‌ها با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگرافی ساخت شرکت AGILENT کشور آمریکا مدل ۶۸۹۰ مورد آنالیز قرار گرفتند. با توجه به مدل نرم افزار تاگوچی Qualitek-4 برای هر آزمون، متغیرها و سطوح آنها بر اساس آزمون پیشنهاد شد و آزمون‌ها در شرایط یکسان انجام شده است. هم چنین، داده‌های خروجی حاصل از آزمون‌ها با استفاده از نرم افزار اکسل مورد مقایسه قرار گرفت.

نتایج

همان‌طور که در جدول ۲ آمده است، با توجه به شرایط آزمایش، تیمارهای تصفیه ۱ تا ۴ مورد آنالیز قرار گرفتند و پس از

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

به دست آوردن غلظت ثانویه کادمیوم و پایرن در خاک با استفاده از معادله (۱)، درصد حذف هر کدام از آلاینده‌ها محاسبه و ثبت گردید (۱۶). با توجه به معادله (۱)، Removal (R%) در صد حذف آلاینده و Concentration (C_1 و C_2) غلظت‌های اولیه و ثانویه تعریف می‌شوند.

$$(۱)\quad R(\%) = \frac{(C1-C2)*100}{C1}$$

بر اساس جدول ۲، به منظورتعیین اثربخشی خاک رس در حذف کادمیوم و پایرن بدون کشت گیاه نتایج به شرح ذیل به دست آمد. راندمان حذف پایرن و کادمیوم در هر سه غلظت روندی افزایشی داشت، بنابراین حداکثر راندمان حذف در ماه سوم رخ داد. اما با افزایش غلظت پایرن از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف پایرن از ۷/۱۶ به ۴/۷۹ درصد در پایان ماه سوم کاهش یافت. در مورد کادمیوم، با افزایش غلظت کادمیوم از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف از ۱/۴۶ به ۰/۳۳ درصد در پایان ماه سوم کاهش یافت.

بر اساس جدول ۲، به منظور تعیین اثر سورفکتانت در حذف کادمیوم و پایرن از خاک رس (بدون کشت گیاه)، با در نظر گرفتن شرایط آزمایش مشروح در عنوان جدول، همان‌طور که در جدول ۲، مشاهده می‌شود با گذشت زمان، راندمان حذف پایرن و کادمیوم در هر سه غلظت روندی صعودی داشت، بنابراین حداکثر راندمان حذف در ماه سوم رخ داد. اما با افزایش غلظت پایرن از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف پایرن از ۱۴/۲ به ۷/۹۴ درصد در پایان ماه سوم کاهش یافت. هم‌چنین در مورد کادمیوم، با افزایش غلظت کادمیوم از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف از ۳/۶۴ به ۱/۱۳ درصد در پایان ماه سوم کاهش یافت.

بر اساس جدول ۲، به منظورتعیین کارآیی خاک رس حاوی کود حیوانی (تیمار ۳)، در حذف کادمیوم و پایرن (بدون کشت گیاه) با توجه به شرایط آزمایش، راندمان حذف پایرن و کادمیوم در هر سه غلظت روندی صعودی داشت، بنابراین حداکثر راندمان حذف در ماه سوم رخ داد. اما با افزایش غلظت پایرن از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف پایرن از ۱۲/۳۱ به ۶/۸۳ درصد در پایان ماه سوم کاهش یافت. در مورد کادمیوم، با افزایش غلظت کادمیوم از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف از ۰/۹۱ به ۰/۵۸ درصد در پایان ماه سوم کاهش یافت.

بر اساس جدول ۲، به منظورتعیین کارآیی خاک رس حاوی کود حیوانی و سورفکتانت در حذف کادمیوم و پایرن بدون کشت گیاهی (تیمار ۴)، راندمان حذف پایرن و کادمیوم با گذشت زمان از ماه اول به ماه سوم در هر سه غلظت روندی افزایشی داشت، بنابراین حداکثر راندمان حذف در ماه سوم رخ داد. اما با افزایش غلظت پایرن از ۵۰ به ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف پایرن از ۱۲/۳۱ به ۶/۸۳ درصد کاهش یافت. در مورد کادمیوم، با افزایش غلظت کادمیوم از ۵۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک، حداکثر راندمان حذف از ۰/۹۱ به ۰/۵۸ درصد کاهش یافت.

با توجه به جدول (۲) شرایط آزمایش: غلظت اولیه کادمیوم و پایرن خاک رس آلوده شده مشروح در جدول، سورفکتانت آنیونی SDS و غیریونی توین ۸۰ با غلظت بهینه ۰/۷۵ میلی‌مول بر لیتر، غلظت کود حیوانی ۱۵ درصد وزن خاک خشک می‌باشد.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

جدول ۲- تعیین کارآیی حذف پایرن و کادمیوم از خاک رس آلوده توسط ٤ تیمار تصفیه

ماده شیمیایی	ماه نمونه برداری	غلظت اولیه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	درصد حذف تیمار ۱ (خاک رس + پایرن + کادمیوم)	درصد حذف تیمار ۲ (تیمار ۱ + سورفکتانت)	درصد حذف تیمار۳ (تیمار ۱ + کود حیوانی)	درصد حذف تیمار ۴ (تیمار ۱ + تیمار ۲ + تیمار ۳)
	۱		۰/۴۴	۰/۶۸	۰/۴۴	۳/۳۴
	۲	۵۰	۱/۰۵	۲/۸۸	۰/۷۲	۴/۸۸
	۳		۱/۴۶	۳/۶۴	۰/۹۱	۵/۹۸
	۱		۰/۱۹	۰/۴۶	۰/۴۵	۲/۶۸
کادمیوم	۲	۷۵	۰/۳۸	۲/۵۲	۰/۵۴	۴/۶۰
	۳		۰/۵۴	۲/۸۹	۰/۶۵	۵/۴۸
	۱		۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۲۹	۰/۹۴
	۲	۱۰۰	۰/۲۲	۰/۹۹۵	۰/۳۷	۱/۴۴
	۳		۰/۳۳	۱/۱۳	۰/۵۸	۲/۲۳
	۱		۴/۴۰	۹/۳۶	۸/۹۰	۱۸/۹۲
	۲	۵۰	۵/۷۶	۱۱/۷۶	۱۰/۳۶	۲۳/۲۶
	۳		۷/۱۶	۱۴/۲۰	۱۲/۳۱	۲۵/۱۸
	۱		۳/۵۴	۶/۸۶	۷/۲۲	۱۳/۸۸
پایرن	۲	۱۰۰	۴/۵۵	۸/۵۷	۷/۸۹	۱۵/۲۲
	۳		۵/۹۵	۹/۹۵	۸/۹۱	۱۶/۶۹
	۱		۳/۳۹	۶/۷۹	۵/۷۸	۱۲/۷۸
	۲	۲۰۰	۴/۱۴	۷/۳۲	۶/۰۲	۱۳/۹۴
	۳		۴/۷۹	۷/۹۴	۶/۸۳	۱۴/۷۲

همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، غلظت کادمیوم و پایرن در خاک رسی در ماه سوم نسبت به ماه اول کاهش یافت و به تبع آن با کاهش غلظت کادمیوم و پایرن در خاک، غلظت آن‌ها در ریشه کاهش یافت اما در ساقه و برگ افزایش یافت. در مجموع، راندمان حذف کادمیوم از خاک این تیمار با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پایان ماه اول از ۴۲/۰۲ درصد به ۶۰/۰۲ درصد در پایان ماه سوم افزایش یافت. در غلظت ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۳۶/۱۵ درصد به ۴۸ درصد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۳۲/۰۱ درصد به ۴۰/۷۲ درصد افزایش یافته است. راندمان حذف پایرن از خاک این تیمار با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پایان ماه اول از ۳۲/۴۴ درصد به ۶۲/۰۴ درصد در پایان ماه سوم افزایش یافت. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۳۱/۰۲ درصد به ۴۰/۳۴ درصد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۱۳/۶۱ درصد به ۱۶/۰۹ درصد افزایش یافته است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

جدول ۳- کارآیی فرآیند گیاه پالایی با استفاده از درخت کهور در حذف پایرن از خاک رس آلوده حاوی کود حیوانی

ماده شیمیایی	ماه نمونه-برداری	غلظت اولیه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در ساقه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مقدار از دست رفته (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
کادمیوم	۱	۵۰	۲۸/۹۹	۱۰/۷۸	۳/۷۸	۲/۷۸	۲/۶۷
	۲		۲۳/۹۲	۱۳/۲۸	۴/۸۹	۳/۲۸	۴/۶۳
	۳		۱۸/۹۹	۱۵/۱۸	۵/۵۵	۳/۸۹	۶/۳۹
	۱	۷۵	۴۷/۸۹	۱۴/۰۵	۴/۹۸	۳/۰۹	۴/۹۹
	۲		۴۲/۲۹	۱۶/۰۹	۶/۰۴	۴/۱۱	۶/۵۷
	۳		۳۹/۰۰	۱۷/۰۵	۶/۷۷	۴/۷۷	۷/۴۱
	۱	۱۰۰	۶۷/۹۹	۱۵/۸۹	۵/۷۷	۴/۰۵	۶/۳۰
	۲		۶۴/۱۹	۱۶/۸۸	۶/۱۲	۵/۰۹	۷/۲۲
	۳		۵۹/۲۸	۱۸/۶۷	۶/۹۸	۶/۴۵	۸/۶۳
پایرن	۱	۵۰	۳۳/۷۸	۶/۳۳	۲/۳۳	۱/۲۷	۶/۲۹
	۲		۲۵/۸۸	۷/۴۴	۳/۷۸	۱/۵۵	۱۱/۳۵
	۳		۱۷/۹۸	۱۱/۲۸	۵/۳۰	۳/۱۸	۱۲/۲۶
	۱	۱۰۰	۶۸/۹۸	۱۳/۱۰	۴/۳۸	۲/۲۸	۱۲/۲۶
	۲		۶۳/۸۹	۱۴/۳۶	۵/۴۷	۳/۲۸	۱۳/۰۰
	۳		۵۹/۶۶	۱۶/۶۷	۶/۰۵	۴/۰۶	۱۳/۵۶
	۱	۲۰۰	۱۶۴/۴۳	۱۴/۷۸	۵/۰۹	۲/۰۹	۱۳/۶۱
	۲		۱۵۹/۱۲	۱۷/۲۸	۶/۵۹	۳/۲۹	۱۳/۷۲
	۳		۱۵۱/۵۶	۱۹/۲۷	۷/۶۹	۵/۳۸	۱۶/۰۹

همان‌طور که در جدول (۴) نشان داده شده است، غلظت کادمیوم و پایرن در خاک رسی در ماه سوم نسبت به ماه اول کاهش یافت و به تبع آن با کاهش غلظت کادمیوم و پایرن در خاک، غلظت آن‌ها در ریشه کاهش و در ساقه و برگ افزایش یافت. در مجموع، راندمان حذف کادمیوم از خاک این تیمار با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پایان ماه اول از ۴۷/۵۲ درصد به ۶۴/۶۸ درصد در پایان ماه سوم افزایش یافت. از ۴۰/۳۱ درصد به ۵۰/۵۱ درصد در غلظت ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و از ۳۵/۶۲ درصد به ۴۲/۵۱ درصد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافته است. راندمان حذف پایرن از خاک این تیمار با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پایان ماه اول از ۳۴/۸۱ درصد به ۴۲/۴۱ درصد در پایان ماه سوم افزایش یافت. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۳۷/۱ درصد به ۶۶/۶۸ درصد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۱۹/۹۵ درصد به ۲۶/۴۱ درصد افزایش یافته است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

جدول ٤- کارآیی فرآیند گیاه پالایی با استفاده از درخت کهور در حذف پایرن از خاک رس آلوده حاوی سورفکتانت

ماده شیمیایی	ماه نمونه برداری	غلظت اولیه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در ساقه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مقدار از دست رفته (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
	۱		۲۶/۲۶	۱۱/۲۹	۴/۰۶	۳/۸۸	۴/۵۹
	۲	۵۰	۲۱/۲۲	۱۴/۰۱	۵/۳۸	۴/۰۱	۵/۳۸
	۳		۱۷/۶۶	۱۶/۰۹	۶/۱۲	۳/۸۹	۶/۲۴
	۱		۴۴/۷۷	۱۶/۸۷	۶/۵۶	۳/۸۷	۲/۹۳
کادمیوم	۲	۷۵	۴۰/۲۸	۱۷/۶۶	۷/۰۹	۴/۱۱	۵/۸۶
	۳		۱۲/۳۷	۱۸/۸۹	۷/۴۵	۴/۷۷	۶/۷۷
	۱		۶۴/۳۸	۱۸/۰۹	۷/۸۸	۵/۴۹	۴/۱۶
	۲	۱۰۰	۶۱/۲۹	۱۹/۴۵	۹/۲۷	۵/۴۳	۴/۵۶
	۳		۵۷/۴۹	۲۱/۱	۸/۷۹	۶/۹۸	۵/۶۴
	۱		۳۱/۴۵	۶/۷۵	۲/۳۳	۱/۲۷	۸/۱۲
	۲	۵۰	۲۳/۷۸	۷/۴۴	۳/۹۹	۳/۲۷	۱۱/۵۲
	۳		۱۶/۶۶	۱۱/۴۵	۵/۶۸	۴/۰۹	۱۲/۱۳
	۱		۶۵/۱۹	۱۳/۲۸	۶/۷۰	۳/۰۹	۱۱/۷۴
پایرن	۲	۱۰۰	۶۰/۳	۱۵/۲۸	۷/۰۹	۳/۴۱	۱۳/۹۲
	۳		۵۷/۲۹	۱۷/۰۵	۷/۴۸	۴/۰۹	۱۴/۰۹
	۱		۱۶۰/۱۰	۱۵/۳۹	۶/۰۴	۲/۳۳	۱۶/۱۴
	۲	۲۰۰	۱۵۴/۲۹	۱۷/۸۸	۶/۷۷	۳/۳۴	۱۷/۷۳
	۳		۱۴۷/۱۹	۲۰/۷۷	۷/۸۸	۶/۰۹	۱۸/۰۷

همان‌طور که درجدول (۵) و شکل‌های (۱و ۲) نشان داده شده است، غلظت کادمیوم و پایرن در خاک رسی در ماه سوم نسبت به ماه اول کاهش یافت و به تبع آن با کاهش غلظت کادمیوم و پایرن در خاک، غلظت آن‌ها در ریشه کاهش و ساقه و برگ افزایش یافت. در مجموع راندمان حذف کادمیوم از خاک این تیمار با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پایان ماه اول از ۶۵/۶۲ درصد به ۸۳/۶۸ درصد در پایان ماه سوم افزایش یافت. در غلظت ۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۶۲/۴۱ درصد به ۷۲/۷۵ درصد و در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۵۸/۷۱ درصد به ۶۷/۸۱ درصد افزایش یافته است. راندمان حذف پایرن از خاک این تیمار با غلظت اولیه ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پایان ماه اول از ۷۱/۲۲ درصد به ۸۵/۴۲ درصد در پایان ماه سوم افزایش یافت. در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۶۲/۲۰ درصد به ۷۲/۰۱ درصد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از ۵۷/۴۰ درصد به ۵۶/۹۴ درصد افزایش یافته است.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

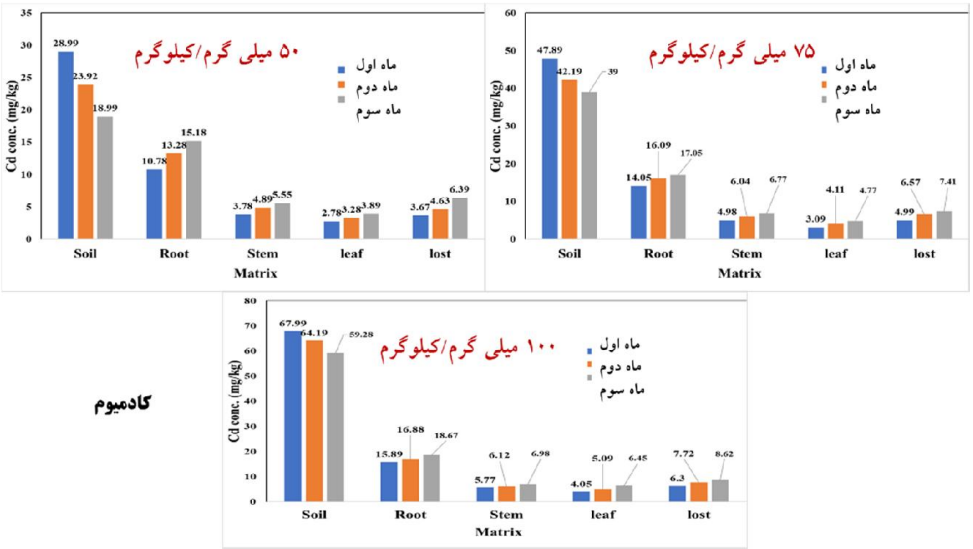
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

جدول ۵- تعیین کارآیی حذف پایرن و کادمیوم از خاک رس آلوده با استفاده از فرآیند گیاه پالایی واجد سورفکتانت و کود حیوانی

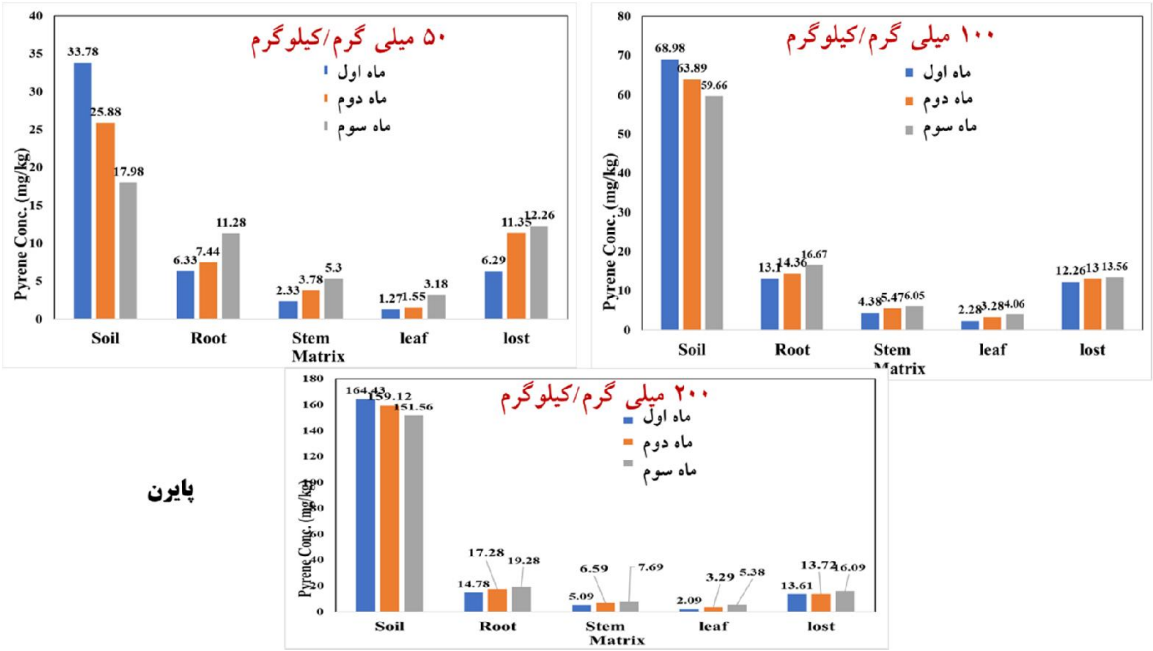
ماده شیمیایی	ماه نمونه-برداری	غلظت اولیه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در ریشه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در ساقه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	غلظت ثانویه در برگ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	درصد کلی حذف (٪)	مقدار از دست رفته (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
کادمیوم	۱	۵۰	۱۹/۱۷	۱۵/۱۸	۷/۷۱	۱۷/۱۹	۶۵/۶۲	۵/۸۰
	۲		۱۴/۱۹	۱۷/۱۹	۸/۱۱	۱۴/۱۸	۷۱/۶۲	۶/۲۶
	۳		۸/۱۶	۱۹/۱۹	۸/۶۷	۸/۱۶	۸۳/۶۸	۹/۱
	۱	۷۵	۲۸/۱۹	۲۳/۱۷	۱۱/۲۸	۲۸/۱۹	۶۲/۴۱	۶/۸۵
	۲		۲۴/۲۹	۲۴/۱۹	۱۱/۱۹	۲۴/۲۹	۶۷/۶۱	۹/۸۴
	۳		۲۱/۱۹	۲۶/۱۶	۱۱/۷۸	۲۱/۱۹	۷۱/۷۵	۹/۸۶
	۱	۱۰۰	۴۱/۲۹	۲۸/۱۹	۱۴/۳۹	۴۱/۲۹	۵۸/۷۱	۹/۵۴
	۲		۳۶/۱۹	۳۲/۱۸	۱۵/۴۹	۳۶/۱۹	۶۳/۸۱	۹/۰۲
	۳		۳۲/۱۸	۳۳/۸۹	۱۶/۲۹	۳۲/۱۹	۶۷/۸۰	۹/۴۴
پایرن	۱	۵۰	۱۴/۳۹	۱۳/۷۸	۳/۷۸	۲/۵۶	۶۵/۶۲	۱۵/۴۹
	۲		۱۱/۳۹	۱۴/۲۷	۴/۱	۳/۳۴	۷۷/۴۲	۱۷
	۳		۷/۲۸	۱۶/۲۸	۵/۸۱	۴/۱۶	۸۵/۴۳	۱۶/۴۶
	۱	۱۰۰	۳۷/۸	۱۹/۲۶	۹/۷۶	۵/۱۱	۶۲/۲	۲۸/۰۵
	۲		۳۱/۷۸	۲۲/۸۹	۹/۸۹	۵/۴۸	۶۸/۲۲	۲۹/۹۶
	۳		۲۷/۹۹	۲۵/۴۹	۱۰/۱۷	۶/۰۲	۷۲/۰۱	۳۰/۳۳
	۱	۲۰۰	۱۰۲/۸۹	۲۹/۱۸	۱۱/۱۹	۷/۱۹	۴۸/۵۵	۴۹/۵۵
	۲		۹۵/۷۸	۳۱/۸۹	۱۳/۲۹	۸/۱۹	۵۲/۱۱	۵۰/۸۵
	۳		۸۴/۸۹	۳۴/۲۹	۱۴/۲۹	۹/۵۹	۵۷/۵۵	۵۶/۹۴

با توجه به جدول (۵)، شرایط آزمایش: غلظت اولیه کادمیوم و پایرن خاک رس آلوده شده مشروح در جدول، سورفکتانت آنیونی SDS و غیریونی توین ۸۰ با غلظت بهینه ۰/۷۵ میلی‌مول بر لیتر، غلظت کود حیوانی ۱۵ درصد وزن خاک خشک و زمان فرآیند ۳ ماه می‌باشد.



شکل ۱- کارآیی فرآیند گیاه پالایی با استفاده از درخت کهور در حذف کادمیوم از خاک رس آلوده حاوی سورفکتانت و کود حیوانی

CCBY-NC.4.0 DEED
[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]



شکل ۲- کارآیی فرآیند گیاه پالایی با استفاده از درخت کهور در حذف پایرن از خاک رس آلوده حاوی سورفکتانت و کود حیوانی

بحث

پایرن و کادمیوم هر دو در خاک کاشته شده و کاشته نشده در پایان آزمایش ۹۰ روزه به طور قابل توجهی کاهش یافتند. راندمان حذف پایرن و کادمیوم در خاک کاشته شده به طور قابل توجهی بیشتر از خاک کاشته نشده بود که تأثیر مفید گیاه پالایی را تأیید کرد. در تعیین نقش سورفکتانت آنیونی SDS و غیر یونی Tween80 در حذف پایرن و کادمیوم از خاک رس حاوی سورفکتانت، مشاهده شد که میزان حذف پایرن و کادمیوم نسبت به خاک رس به تنهایی افزایش یافته است که نشان دهنده اثر پیش‌رونده سورفکتانت‌ها در حذف پایرن و کادمیوم از خاک آلوده بود. در مورد تیمار کود حیوانی، راندمان حذف پایرن و کادمیوم کمتر از تیمار سورفکتانت بود. در تیمار سورفکتانت آنیونی SDS و غیر یونی Tween80 و خاک رس با کود حیوانی، راندمان حذف پایرن و کادمیوم بیشتر از تیمار سورفکتانت و کود حیوانی به تنهایی بود. بنابراین، بیشترین راندمان حذف در بین تیمارهای کاشته نشده در این تیمار مشاهده شد. در تعیین کارآیی فرآیند گیاه پالایی در حذف پایرن و کادمیوم با استفاده از خاک حاوی کود حیوانی به میزان ۱۵ درصد وزن خاک و درخت کهور، نتایج نشان داد که به مرور زمان از آغاز فرآیند تا ماه سوم، با افزایش زمان فرآیند، سطوح پایرن و کادمیوم در خاک کاهش یافته است. همزمان با کاهش پایرن و کادمیوم در خاک، میزان این دو ترکیب در اندام‌های مختلف گیاه از جمله ریشه، ساقه و برگ افزایش یافته است. بیشترین میزان به ترتیب مربوط به ریشه، ساقه و برگ بود. همچنین، راندمان حذف در گیاه پالایی به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای بدون کاشت بود.

در مطالعه Li و همکاران، کمپوست در افزایش تثبیت گیاهی فلزات سمی در مقایسه با کود حیوانی مؤثرتر بود. کشت خاک‌های آلوده با افزودن کمپوست یک استراتژی موثر برای کاهش انتشار فلزات سمی در اکوسیستم و کاهش ورود آن‌ها به زنجیره غذایی است (۱۷). احتمالاً پایین بودن pH خاک و ترکیبات آلی غیرقابل تجزیه در کود حیوانی دلیل افزایش فراهمی زیستی کادمیوم و پایرن در خاک باشد (۱۷). در مطالعه Wang و همکاران، همچنین افزودن کمپوست به خاک حذف پایرن را افزایش داد و پیشنهاد شد که فعل و انفعالات بین کنسرسیوم‌های ترشحات ریشه گیاه،

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

میکروارگانیسم‌ها و کمپوست در خاک می‌تواند فراهمی زیستی پایرن را تسهیل کند و متعاقباً تخریب آن را افزایش دهد (۱۸). در مطالعه دیگری نیز، Wang و همکاران گزارش دادند که ورمی کمپوست کود خوک Pig manure vermicompost (PMVC) می‌تواند گیاه پالایی خاک آلوده با Cd و Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) را بهبود بخشد. بیشترین میزان حذف PAH در تیمار Plant□+□PMVC مشاهده شد. افزایش حذف PAH در تیمار Plant□+□PMVC می‌تواند به دلیل بهبود رشد ریشه گیاه باشد که ممکن است منجر به افزایش ترشحات ریشه و متعاقباً تغییر ساختار جامعه باکتریایی در جهت مطلوب برای حذف PAH شود. این مطالعه نشان داد که اصلاح خاک‌های آلوده به کادمیم و PAH را می‌توان با استفاده همزمان از PMVC افزایش داد (۱۹). نتایج مطالعه حاضر نقش مثبت سورفکتانت‌ها را در حذف پایرن و کادمیوم از خاک آلوده نشان داد.

هم‌چنین اثرات مثبت سورفکتانت‌ها بر گیاه پالایی اخیراً در مطالعات گلخانه‌ای مشاهده شده است. حضور برخی از سورفکتانت‌های غیریونی، از جمله پلی اکسی اتیلن سوربیتان مونولئات (Tween 80) و پلی اکسی اتیلن دودکانول (Brij35) در غلظت‌های نسبتاً پایین منجر به اثرات قابل توجهی بر گیاه پالایی برای خاک آلوده به پایرن شد. با این حال، سورفکتانت‌های آنیونی (SDS) و سورفکتانت‌های کاتیونی ستیل تری متیل آمونیوم بروماید Cetyltrimethylammonium bromide (CTMAB) به دلیل سمیت گیاهی مفید نبودند (۲۰). در مطالعه Liao و همکاران، مطالعه تجمع فنانترن و پایرن توسط گیاهان ذرت به طور قابل توجهی تحت تأثیر اصلاح خاک با سورفکتانت قرار گرفت سورفکتانت‌ها می‌توانند حذف آلاینده‌ها را از خاک‌های آلوده در طول گیاه‌پالایی افزایش دهند، که ممکن است به دلیل توانایی سورفکتانت برای دفع و فعالیت میکروبی در خاک باشد. علاوه بر این، سورفکتانت‌ها با کاهش کشش سطحی بین آب و آلاینده‌ها و یا تجمع آنها در میسل‌ها، می‌توانند حذف/ انتقال توده آلاینده به فاز آب را بهبود بخشند. هم‌چنین، سورفکتانت‌ها برای بهبود تجزیه زیستی آلاینده‌های آلی آبگریز در خاک و سیستم‌های هیدروپونیک گزارش شده‌اند. به طور کلی، سورفکتانت‌ها می‌توانند فراوانی PAH یا سایر تجزیه کننده‌های آلاینده را در طول قرار گرفتن در معرض افزایش دهند و هم‌چنین می‌توانند حلالیت آلاینده‌ها را افزایش دهند، یا آب گریزی سطوح تجزیه کننده PAH را برای تغییرات تخریب PAH افزایش دهند. با این حال، استفاده از سورفکتانت‌هایی مانند Tween 80 برای اصلاح خاک‌های آلوده به PAH ممکن است مقرون به صرفه باشد. علاوه بر این، اثرات منفی بالقوه سورفکتانت‌ها بر محیط خاک به طور کامل درک نشده است و تحقیقات آینده مورد نیاز است.

علاوه بر این، این نتایج در مقیاس آزمایشگاهی به دست آمد و در اکوسیستم طبیعی، قرار گرفتن در معرض و تجمع آلاینده‌ها در خاک در دوره‌های بسیار طولانی‌تری صورت می‌گیرد و عوامل متعددی مانند حرکت جزر و مد آب (در سواحل)، تغییرات فصلی در فعالیت گیاه و شرایط محیطی مؤثر است. بنابراین، برای اعتبارسنجی و تعمیم نتایج مطالعات آزمایشگاهی، مطالعات زیست محیطی نیز برای تدوین استراتژی‌های حفاظت از محیط زیست مورد نیاز است که با ترکیب نتایج تجربی و زیست محیطی می‌توان به آن دست یافت.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از تقویت کننده‌های مختلفی برای بهبود کارآیی حذف پایرن و کادمیوم از خاک آلوده با استفاده از درخت بومی کهور استفاده شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از خاک رس حاوی کود حیوانی (۱۵ درصد) و مخلوط SDS آنیونی و سورفکتانت غیر یونی Tween80 در حذف پایرن و کادمیوم در فرآیند گیاه پالایی با استفاده از درخت کهور راندمان حذف را در مقایسه با استفاده از خاک رس (کاشت نشده) یا کود حیوانی و

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]
[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

سورفکتانت به تنهایی افزایش داده است. این مطالعه نشان داد که استفاده از کود حیوانی و سورفکتانت‌ها به طور قابل توجهی اصلاح خاک‌های آلوده به کادمیوم و پایرن را با گیاه پالایی افزایش می دهد. هم‌چنین، نتایج این پژوهش برای اولین بار نشان داد که از گیاهان بومی می‌توان پایرن و کادمیوم را با موفقیت از خاک آلوده حذف کرد.

تشکر و قدردانی

به این‌وسیله از آزمایشگاه دانشگاه علوم پزشکی بوشهر و آزمایشگاه پتروشیمی پارس که در انجام این تحقیق همکاری لازم را داشته‌اند، کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض در منافع : این پژوهش تعارض منافع ندارد.

حامی مالی: این پژوهش هیچگونه حامی مالی نداشته است و بر گرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشجو دانشگاه علوم پزشکی بوشهر می باشد.

ملاحظات اخلاقی (کد اخلاق): در این پژوهش قبل از اجرای آن کد اخلاق (IR.BPUMS.REC.1399.052) دریافت شده است.

مشارکت نویسندگان:

- **طراحی ایده:** سید عنایت هاشمی، غلامرضا عبدی
- **روش کار:** امین عالیوند، فرزانه نصر زاده، محمد حیدری، مجتبی بهروزی
- **جمع آوری داده‌ها:** امین عالیوند، فرزانه نصرزاده
- **تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:** امین عالیوند، مجتبی بهروزی
- **نظارت:** سید عنایت هاشمی، غلامرضا عبدی
- **مدیریت پروژه:** سید عنایت هاشمی، غلامرضا عبدی
- **نگارش- پیش نویس اصلی:** امین عالیوند، سید عنایت هاشمی
- **نگارش- بررسی و ویرایش:** سید عنایت هاشمی، غلامرضا عبدی، محمد حیدری

References

1. Jeelani N, Yang W, Zhu H-L, An S. Phytoremediation for co-contaminated soils of cadmium and pyrene using Phragmites australis (common reed). *Inter Journal of Phytorem* 2020; 22(13): 1385-95.

2. Sun Y, Zhou Q, Wang L, Liu W. Cadmium tolerance and accumulation characteristics of Bidens pilosa L. as a potential Cd-hyperaccumulator. *Journal of Hazard Mate* 2009; 161(2-3): 808-14.

3. Khan N, Mir M, Nazar R, Singh S. The application of ethephon (an ethylene releaser) increases growth, photosynthesis and nitrogen accumulation in mustard (Brassica juncea L.) under high nitrogen levels. *Plant Biology* 2008; 10(5): 534-8.

4. González-Gaya B, Martínez-Varela A, Vila-Costa M, Casal P, Cerro-Gálvez E, Berrojalbiz N, et al. Biodegradation as an important sink of aromatic hydrocarbons in the oceans. *Nat Geosci* 2019; 12(2): 119-25.

5. Ogundiran MB, Adejumo SA, Fagbenro JA. Chapter 10 - Sustainable remediation techniques for solid waste polluted soils. In: Frazer-Williams R, Ogundiran MB, Unuabonah EI, editors. *Environmental Pollution and Public Health: Elsevier* 2024; p. 265-88. [Book]

6. Zhang X, Zhang X, Wang S, Zhao S. Improved remediation of co-contaminated soils by heavy metals and PAHs with biosurfactant-enhanced soil washing. *Scientific Reports* 2022; 12(1): 3801.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

7. Albatrni H, Qiblawey H, Almomani F, Adham S, Khraisheh M. Polymeric adsorbents for oil removal from water. *Chemosphere* 2019; 233: 809-17.

8. Mohammadi F, Samaei MR, Azhdarpoor A, Teiri H, Badeenezhad A, Rostami S. Modelling and optimizing pyrene removal from the soil by phytoremediation using response surface methodology, artificial neural networks, and genetic algorithm. *Chemosphere* 2019; 237: 124486.

9. Ehsan S, Ali S, Noureen S, Mahmood K, Farid M, Ishaque W, et al. Citric acid assisted phytoremediation of cadmium by Brassica napus L. *Ecotoxicology and environmental safety* 2014; 106: 164-72.

10. Matanzas N, Afif E, Díaz T, Gallego J. Phytoremediation potential of native herbaceous plant species growing on a paradigmatic brownfield site. *Water, Air, Soil Pollut* 2021; 232: 1-14.

11. Singh N, Pareek A. Prosopis cineraria: a potential functional food for improving sports performance. *Vegetos* 2023.

12. Prasad MNV, Tewari JC. Chapter 5 - Prosopis juliflora (Sw) DC: Potential for bioremediation and bio-based economy. In: Prasad MNV, editor. *Bioremediation and Bioeconomy* (Second Edition): Elsevier 2024; p. 99-118. [Book]

13. Dosoky WM, Farag SA, Almuraee AA, Youssef IM, Awlya OFA, Abusudah WF, et al. Vitamin C and/or garlic can antagonize the toxic effects of cadmium on growth performance, hematological, and immunological parameters of growing Japanese quail. *Poultry Science* 2024; 103(3): 103457.

14. Parmoon G, Ebadi A, Jahanbakhsh S, Hashemi M. Physiological Response of Fennel (Foeniculumvulgare Mill.) to Drought Stress and Plant Growth Regulators. *Rus Plant Physiol* 2019; 66(5): 795-805.

15. Lu L, Chen Y, Zou S, Wang Z, Fan L. The sources, diffusion, and health risks of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and sediment of a typical underground river in South China. *Environ Earth Sci* 2024; 83(3): 100.

16. Mathur J, Panwar R. Synergistic effect of pyrene and heavy metals (Zn, Pb, and Cd) on phytoremediation potential of Medicago sativa L. (alfalfa) in multi-contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res* 2024; 31(14): 21012-27.

17. Li J, Chang Y, Al-Huqail AA, Ding Z, Al-Harbi MS, Ali EF, et al. Effect of manure and compost on the phytostabilization potential of heavy metals by the halophytic plant wavy-leaved saltbush. *Plants* 2021; 10(10): 2176.

18. Wang MC, Chen YT, Chen SH, Chang Chien SW, Sunkara SV. Phytoremediation of pyrene contaminated soils amended with compost and planted with ryegrass and alfalfa. *Chemosphere* 2012; 87(3): 217-25.

19. Wang K, Zhang J, Zhu Z, Huang H, Li T, He Z, et al. Pig manure vermicompost (PMVC) can improve

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

phytoremediation of Cd and PAHs co-contaminated soil by Sedum alfredii. *J Soils Sediments* 2012; 12: 1089-99.

20. Yan-Zheng G, Wan-Ting L, Li-Zhong Z, Bao-Wei Z, ZHENG Q-S. Surfactant-enhanced phytoremediation of soils contaminated with hydrophobic organic contaminants: potential and assessment. *Pedosphere* 2007; 17(4): 409-18.

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

CCBY-NC.4.0 DEED

Evaluation of Phytoremediation Process with *Prosopis Cineraria* in Removing Pyrene and Cadmium from Contaminated Soils: A Laboratory Study

Amin Alivand[1], Seyed Enayat Hashemi[2], Gholamreza Abdi[3], Farzaneh Nasrzadeh[4], Mohammad Heydari[5], Mojtaba Behroozi[6]

Received: 21/03/24 Sent for Revision: 22/05/24 Received Revised Manuscript: 02/06/24 Accepted: 08/06/24

Background and Objectives: Plant remediation with native plants is considered an emerging technology for the remediation of soils contaminated with organic substances and heavy metals due to its many advantages and cost-effectiveness. The present study aimed to determine the effectiveness of the plant remediation process in removing pyrene and cadmium from contaminated soils using *Prosopis Cineraria* from October 2021 to 2022 at Bushehr University of Medical Sciences.

Materials and Methods: In this laboratory study, the role of each matrix of clay, animal manure, and anionic surfactant sodium dodecyl sulfate and non-ionic Tween 80 with the cultivation of *Prosopis Cineraria* tree were examined and analyzed separately and combined in the removal of pyrene and cadmium in concentrations of 50 to 200 mg/ Kg, in the period of one to three months. The samples were analyzed by gas chromatography and atomic absorption. The final data was analyzed using Excel software.

Results: In the current study, the concentration of pyrene and cadmium in clay containing surfactant and animal manure decreased with time in the phytoremediation process with the help of the *Prosopis Cineraria* tree. By increasing the concentration of pyrene from 50 to 200 mg/kg, the maximum efficiency of pyrene removal was obtained between 85.43 and 57.55% and with the increase of cadmium concentration from 50 to 100 mg/kg, the maximum efficiency of cadmium removal was obtained between 83.68 and 67.80% at the end of the third month.

Conclusion: The results of the present study showed that among the various enhancers, clay soils containing animal manure and surfactants significantly increase the remediation of soils contaminated with cadmium and pyrene by plant remediation.

Keywords: Phytoremediation, Pyrene, Cadmium, Surfactant, Contaminated soil, Prosopis Cineraria

Funding: This study was funded by Bushehr University of Medical Sciences.

Conflict of interest: None declared.

Ethical Considerations: The Ethics Committee of Bushehr University of Medical Sciences approved the study (IR.BPUMS.REC.1399.052).

Authors' Contributions:

-**Conceptualization:** Seyed Enayat Hashemi, Gholamreza Abdi
-**Methodology:** Amin Alivand, Farzaneh Nasrzadeh, Mohammad Heydari, Mojtaba Behroozi
-**Data collection:** Amin Alivand, Farzaneh Nasrzadeh
-**Formal analysis:** Amin Alivand, Mojtaba Behroozi
-**Supervision:** Seyed Enayat Hashemi, Gholamreza Abdi
-**Project administration:** Seyed Enayat Hashemi, Gholamreza Abdi
-**Writing - original draft:** Amin Alivand, Seyed Enayat Hashemi
- **Writing - review & editing:** Seyed Enayat Hashemi, Gholamreza Abdi, Mohammad Heydari

Citation: Alivand A, Hashemi SE, Abdi Gh, Nasrzadeh F, Heydari M, Behroozi M. Evaluation of Phytoremediation Process with Prosopis Cineraria in Removing Pyrene and Cadmium from Contaminated Soils: A Laboratory Study. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2024; 23 (3): 222-36. [Farsi]

[Downloaded from journal.rums.ac.ir on 2026-02-17]

[DOI: 10.61186/jrums.23.3.122]

1-MSc Student in Environmental Health Engineering, Dept. of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Nutrition, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran
2- Associate Prof., Dept. of Environmental Health Engineering, Faculty of Health and Nutrition, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran, ORCID: 0000-0003-1967-0904
(Corresponding Author) Tel: (077) 33450134, E-mail: seyedenayat_hashemi@yahoo.com
3- Assistant Prof., Dept. of Biotechnology, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
4- Expert of Soil and Waste Laboratory, Faculty of Health and Nutrition, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran
5- PhD in Environment, EB/SM Laboratory, Pars Petrochemical Company, Asalouyeh, Iran
6- Expert of the Dept. of Environmental Health Engineering, Vice-Chancellery of Health, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

CCBY-NC.4.0 DEED