ارزیابی توان گیاه‌پالایی گونه‌های درختی در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در محدوده تالاب عینک رشت

چکیده

گیاه‌پالایی نوعی تکنیک طبیعی و پایدار، آسان، کم‌هزینه، بوم سازگار، دوستدار محیط‌زیست و قابل کاربرد در سطوح وسیع است که در آن از گیاهان مقاوم جهت پالایش خاکه‌ای آلوده به ترکیبات آلی و معدنی استفاده می‌گردد. این تحقیق باهدف ارزیابی توان گیاه‌پالایی گونه‌های درختی اقاقیا، نارون، آیلان و ارغوان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم در محدوده تالاب عینک رشت در سال ۱۴۰۰ صورت پذیرفت. برای این منظور در رویشگاه‌های آلوده و شاهد، با توجه به جهت باد غالب یک ترانسکت انتخاب و نمونه‌برداری از برگ‌ها و ریشه‌های سطحی درختان در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام پذیرفت و میزان غلظت سرب و کادمیوم موجود در هر یک از آن‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان غلظت سرب و کادمیوم در اندام‌های درختان در رویشگاه‌های آلوده بیشتر از رویشگاه شاهد بوده است. همچنین گونه‌های اقاقیا، آیلان و ارغوان بیشترین ضریب انتقال سرب (۰/۵۹ppm، ۰/۵۶ppm و ۰/۱۹ppm) و کادمیوم (۰/۵۶ppm، ۰/۳۸ppm و ۰/۱۹ppm) را از ریشه به برگ دارا بوده‌اند. با توجه به این موضوع و شرایط سازگاری مناسب، این گونه‌ها می‌توانند به‌صورت گسترده در پروژه‌های گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم در مناطق مشابه مورداستفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، تالاب عینک، فلزات سنگین، گونه‌های درختی، گیاه‌پالایی.

بهروز کُرد[1]*

امین خادمی[2]

مرتضی معدنی‌پور کرمانشاهی[3]

سارا پورعباسی[4]

۱، ۲ و ۴. استادیار گروه مهندسی فضای سبز، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران.

۳. استادیار گروه محیط‌زیست، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران.

***مسئول مکاتبات:**

behrouzkord@gmail.com

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۳۱۰۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

این مقاله پژوهشی و برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در جهان محسوب می‌گردد (Anonymous, 2015). این فلزات در اثر فرسایش طبیعی سنگ‌ها و فعالیت‌های بشری نظیر احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، تصفیه سنگ‌های حاوی فلزات، فاضلاب‌های شهری، آفت‌کش‌ها، مواد رنگی و باتری‌ها وارد محیط‌زیست می‌گردند (EPA, 2006). میزان این فلزات در خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون سنگ مادر، منابع آلاینده صنعتی، کودهای شیمیایی مورداستفاده در کشاورزی و پساب‌های صنعتی و شهری بوده که با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط محیطی، روند تجمع و انباشت آن‌ها در لایه‌های خاک متفاوت است (Nagajyoti *et al*., 2010). از عوامل مؤثر بر پراکندگی این عناصر در خاک می‌توان به نوع و سن خاک، غلظت در اتمسفر، میزان بارندگی، جهت و سرعت وزش باد و نوع پوشش گیاهی اشاره نمود (سامانی‌مجد و همکاران، ۱۳۸۶، مجیدی و همکاران، ۱۳۹۴). برخی از این فلزات نظیر روی، مس و نیکل در مقادیر کم به‌عنوان عناصر کم‌مصرف برای رشد گیاهان لازم و ضروری هستند و به‌وسیله ریشه از خاک جذب می‌شوند. عناصری مانند سرب و کادمیوم نیز اگرچه در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی نداشته ولیکن به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن‌ها توسط گیاهان وجود دارد (Pilon-Smit, 2005). سرب بیشتر از طریق صنایع باطری‌سازی، افزودنی‌های رنگ، حشره‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

لحیم‌کاری وارد محیط‌زیست می‌گردد (Kadukova and Kalogerakis, 2007) درحالی‌که کادمیوم از طریق استهلاک تایر خودروها، انتشار ترافیکی، صنایع فلزی و مراکز دفن زباله به محیط شهری وارد می‌شود (جوکار و همکاران، ۱۳۹۵؛ دهقان و همکاران، ۱۳۹۵).

امروزه استفاده از روش‌های بیولوژیک به‌عنوان رویکردی جدید در پاک‌سازی خاک‌های آلوده موردتوجه قرارگرفته است (Gao and Zhu, 2003). برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین موجود در خاک رادارند بدون اینکه آثار سمّی آشکار در آن‌ها ایجاد گردد. به این گونه‌ها ابرانباشتگر گفته می‌شود (Megha *et al.*, 2015). برای اینکه یک‌گونه گیاهی به‌عنوان ابرانباشتگر یک عنصر سنگین شناخته شود باید غلظت آن در اندام هوایی به آستانه تحمل برسد که برای عناصر مختلف این میزان به نوع و مقدار فلزات موجود در خاک، دستیابی زیستی عناصر و نوع گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Yağdı *et al.*, 2000). یکی از روش‌های زیست پالایی خاک‌های آلوده که در آن از گیاهان مقاوم جهت پالایش ترکیبات آلی و معدنی استفاده می‌گردد، گیاه‌پالایی نام دارد (فرزامی سپهر و هانی، ۱۳۹۵؛ زعیم‌دار، ۱۳۹۷). در این روش با برداشت گیاهان از خاک و انجام عصاره کشی گیاهی نسبت به جذب و جمع‌آوری آلاینده‌ها در بافت‌های گیاهان اقدام می‌شود (Coupe *et al.*, 2013). در فرآیند گیاه‌پالایی پارامترهایی نظیر بردباری، سیستم ریشه‌ای قوی، فاکتور انتقال و سرعت رشد بالا مؤثر بوده ضمن اینکه به‌منظور دستیابی به کارایی مناسب در این روش، گیاهان مورداستفاده باید توانایی تولید زی‌توده زیادی را در خاک‌آلوده داشته باشند (Lasat, 2000).

این تحقیق باهدف ارزیابی توان گیاه‌پالایی گونه‌های درختی اقاقیا (*Robinia peseudoacacia* L.)، نارون (*Ulmus carpinifolia var umbraculifera* Rehd.)، آیلان (*Ailanthus altissima*) و ارغوان (*Cercis sili quastrum*) در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیوم در محدوده تالاب عینک رشت صورت پذیرفت.

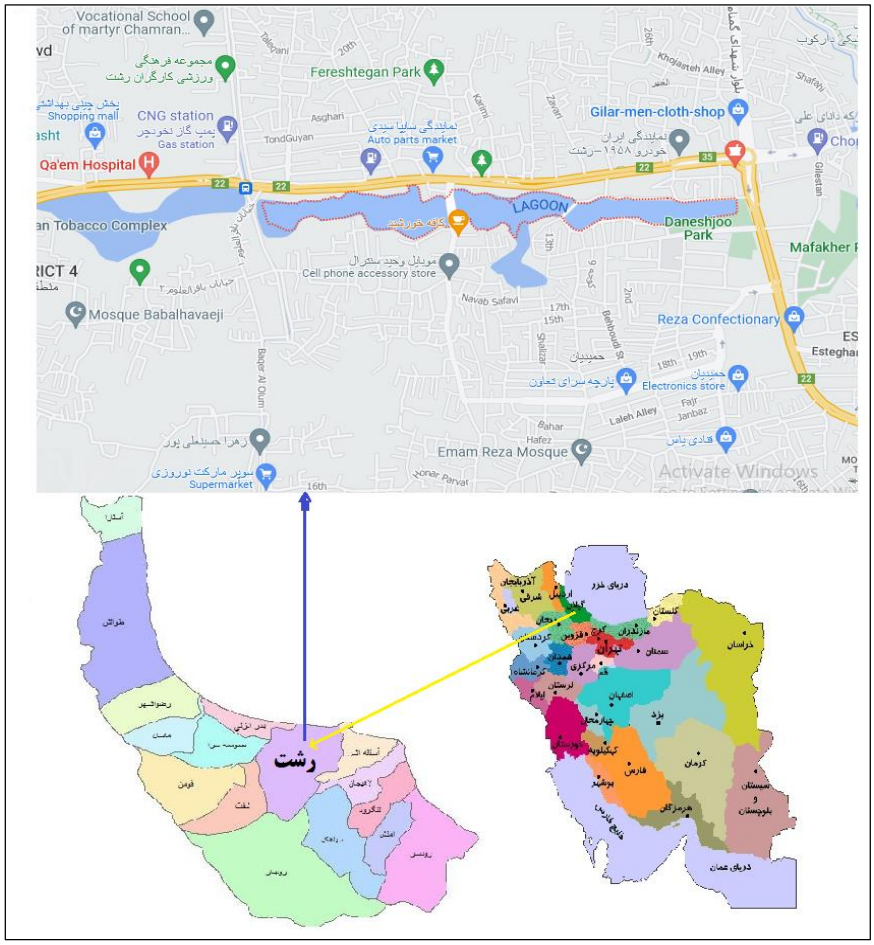
مواد و روش‌ها

تالاب عینک یا دریاچه عینک یا مرداب عینک، تالابی است طبیعی که در شهر رشت واقع‌شده و بزرگ‌ترین تالاب شهری ایران و دومین تالاب بزرگ استان گیلان محسوب می‌گردد. محیط این تالاب که در عکس‌های هوایی شبیه عینک است، ۱۲ کیلومتر و پهنه آبی آن ۴۴ هکتار و حریم و پهنه ساحلی و خشکی آن ۱۶۳ هکتار می‌باشد (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۴۰۰). بر اساس آمارهای ایستگاه هواشناسی رشت، میانگین بارندگی سالیانه ۱۳۶۹٫۲ میلی‌متر، متوسط حرارت سالیانه ۱۵٫۸ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه بسیار مرطوب می‌باشد (سازمان هواشناسی ایران، ۱۴۰۰).

با استفاده از گزارش‌های اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان گیلان، شهرداری رشت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیک شهر رشت و انجام نمونه‌برداری از هوا، جهات جنوبی (پارک دانشجو)، شرقی (تقاطع غیرهمسطح شهدای گمنام) و غربی (شرکت دخانیات) تالاب به‌عنوان رویشگاه‌های آلوده و جهت شمالی (بلوار شهید افتخاری) تالاب به‌عنوان رویشگاه شاهد در نظر گرفته شدند. با توجه به اینکه تعیین میزان سرب و کادمیوم در هیچ‌یک از رویشگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا در سطح شهر انجام نمی‌شود، لذا به دلیل نوع مطالعه لازم بود که قبل از انجام عملیات نمونه‌برداری از اجزای مختلف درختان و خاک زیرپوشش آن‌ها، مقدار سرب و کادمیوم موجود در هوا در رویشگاه‌های آلوده و شاهد مشخص گردد. بر این اساس در طی ۳ مقطع زمانی در فصل تابستان (۱۴۰۰)، در هر یک از رویشگاه‌های موردمطالعه با استفاده از دستگاه پمپ نمونه‌برداری هوا اقدام به نمونه‌برداری هوا به مدت ۴۵ دقیقه و به حجم ۱۵۰ لیتر (با ۳ تکرار) در هر یک از رویشگاه‌ها گردید. سپس فیلتر سلولزی نمونه‌گیری از دستگاه خارج و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی، میزان غلظت سرب و کادمیوم موجود در هوا در هر یک از رویشگاه‌های موردمطالعه تعیین گردید. سپس گونه‌های اقاقیا، نارون، آیلان و ارغوان که به‌صورت غالب و مشترک در بین رویشگاه‌ها وجود داشتند، به‌عنوان گونه‌های درختی موردمطالعه انتخاب شدند. پایه‌های حاشیه تالاب عمدتاً طبیعی و پایه‌های موجود در پارک و بلوارها به‌صورت

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

دست کاشت (فاصله کاشت ۳ متر) بودند. در شهریور سال ۱۴۰۰ و در هر رویشگاه با توجه به جهت باد غالب، یک ترانسکت انتخاب و نمونه‌برداری از برگ‌ها و ریشه‌های سطحی درختان در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در ۳ تکرار صورت پذیرفت. با در نظر گرفتن تیمارهای موردمطالعه، تعداد ۱۹۲ نمونه تهیه شد. نمونه‌های برگ از ۱۲ بخش مختلف تاج پوشش (ازنظر مقطع سطحی با توجه به جهت باد غالب و خط عمود بر آن و ازنظر ارتفاعی از سه بخش ابتدا، وسط و انتهای تاج‌پوشش) تهیه گردید که پس از کُدگذاری به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس نمونه‌ها با آب مقطر دو بار تقطیر شسته شده و در آون تهویه دار به مدت ۴۸ ساعت و در حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. نمونه‌های خشک‌شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر شده و برای عصاره‌گیری به روش هضم از اسید نیتریک ۴ نرمال در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد (Lewis *et al.*, 2015). پس از صاف کردن عصاره‌ها، میزان غلظت سرب و کادمیوم در هر یک از نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه جذب اتمی پرکین المر مدل ۳۰۳۰ اندازه‌گیری شد (James and Wells, 1990). همچنین در هر رویشگاه، نمونه‌برداری از خاک زیرپوشش درختان در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتیمتری (منطقه فعال ریشه) انجام پذیرفت. در آزمایشگاه علاوه بر تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌ها در دمای محیط خشک و به‌وسیله چکش پلاستیکی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و غلظت سرب و کادمیوم موجود در هر یک از آن‌ها با توجه به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید (Dolphen *et al.*, 2015).



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

تجزیه‌وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. به‌منظور تحلیل آماری ابتدا داده‌ها ازنظر نرمال بودن با استفاده از آزمون K-S موردبررسی قرار گرفتند و از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای قضاوت معنی‌دار بودن تأثیر تیمارها بر روی مؤلفه‌های موردتحقیق و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین مؤلفه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید.

نتایج

نتایج نمونه‌برداری از هوا نشان داد که غلظت سرب و کادمیوم در هوا در رویشگاه جنوبی و در شهریورماه دارای بیشترین مقدار و به ترتیب ۳٫۹۲ ppb و ۱٫۴۵ ppb و در رویشگاه شمالی و تیرماه دارای کمترین مقدار و به ترتیب ۱٫۲۵ ppb و ۰٫۴۸ ppb بوده است (جدول ۱).

جدول ۱: غلظت سرب و کادمیوم در هوای شهر رشت (سال ۱۴۰۰).

زمان	غلظت (ppb)	رویشگاه			
		جنوبی	غربی	شرقی	شمالی
تیر	سرب	۳٫۲۹	۲٫۶۷	۲٫۰۳	۱٫۲۵
	کادمیوم	۱٫۰۲	۰٫۸۱	۰٫۶۷	۰٫۴۸
مرداد	سرب	۳٫۴۶	۲٫۹۴	۲٫۲۱	۱٫۵۶
	کادمیوم	۱٫۲۸	۱٫۰۷	۰٫۸۱	۰٫۶۲
شهریور	سرب	۳٫۹۲	۳٫۱۴	۲٫۷۳	۱٫۵۹۱
	کادمیوم	۱٫۴۵	۱٫۱۵	۰٫۹۲	۰٫۷۴

جدول ۲ نتایج مشخصات فیزیکی، شیمیایی خاک و میزان غلظت سرب و کادمیوم را در عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ را در رویشگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس و آزمون دانکن حاکی از آن است که میزان غلظت سرب و کادمیوم در عمق‌های مختلف خاک و در رویشگاه‌های موردمطالعه دارای اختلاف معنی‌دار بوده است به‌نحوی‌که در عمق ۱۰-۰ سانتیمتری و در رویشگاه جنوبی دارای بیشترین مقدار و در رویشگاه شمالی و عمق ۲۰-۱۰ سانتیمتر دارای کمترین مقدار می‌باشد (جدول‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۲ و ۳).

جدول ۲: مشخصات فیزیکی، شیمیایی و میزان غلظت سرب و کادمیوم موجود در نمونه‌های خاک تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

رویشگاه	نمونه	عمق (cm)	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	اسیدیته	آهک ٪	مواد آلی ٪	کربن آلی ٪	پتاسیم (ppm)	ازت کل ٪	فسفر (ppm)	سرب (ppm)	کادمیوم (ppm)
جنوبی	۱	۰-۱۰	۴۷	۳۲/۴	۲۰/۶	۵/۹	۹/۸	۰/۷۳	۱/۴	۲۸۵	۰/۴۲	۱۰/۱	۳/۸۰	۱/۷۳
		۱۰-۲۰	۴۴/۲	۳۱/۵۴	۲۴/۲۶	۵/۸	۱۱/۳	۰/۵۷	۱/۲	۲۷۵	۰/۳۵	۱۰/۵	۱/۰۲	۰/۵۰
	۲	۰-۱۰	۴۲/۱	۴۶/۸	۱۱/۱	۶/۰	۸/۱	۰/۵۴	/۹	۲۹۵	۰/۳۱	۸/۹	۳/۴۴	۱/۴۱
		۱۰-۲۰	۳۹/۵	۴۵/۲	۱۵/۳	۵/۹	۷/۲	۰/۴۵	/۸	۲۸۵	۰/۲۸	۹/۲	۰/۹۶	۰/۴۵
غربی	۳	۰-۱۰	۴۸/۱	۱۸/۳	۳۳/۶	۶/۱	۱۲/۶	۰/۷۶	۱/۰	۲۸۵	۰/۳	۷/۱	۲/۸۴	۱/۱۱
		۱۰-۲۰	۳۷/۳	۲۰	۴۲/۷	۵/۹	۱۰/۳	۰/۶۱	۰/۸	۲۴۵	۰/۲۷	۷	۰/۸۰	۰/۳۸

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

رویشگاه	نمونه	عمق (cm)	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	اسیدیته	آهک ٪	مواد آلی ٪	کربن آلی ٪	پتاسیم (ppm)	ازت کل ٪	فسفر (ppm)	سرب (ppm)	کادمیوم (ppm)
شرقی	۴	۰-۱۰	۳۳/۰	۳۴/۲	۳۲/۸	۶/۲	۱۰/۵	۰/۷	۰/۹	۲۹۰	۰/۲۹	۸/۰	۲/۴۱	۱/۰۳
		۱۰-۲۰	۲۹/۲	۳۱/۹	۳۸/۹	۶/۰	۱۱/۶	۰/۵۸	۰/۷	۲۶۵	۰/۲۶	۸/۵	۰/۶۵	۰/۲۷
	۵	۰-۱۰	۴۰	۲۴/۸	۳۵/۲	۶/۳	۱۳/۱	۰/۸۱	۱/۳	۳۰۰	۰/۲۶	۸/۸	۱/۸۷	۰/۸۱
		۱۰-۲۰	۳۳/۸	۲۷/۲	۳۹	۶/۱	۱۰/۲	۰/۶۹	۱/۲	۲۷۵	۰/۲۸	۹/۵	۰/۴۹	۰/۲۱
	۶	۰-۱۰	۲۹/۰۶	۳۷/۰۳	۳۳/۹۱	۶/۵	۱۳/۴	۰/۷۷	۱/۲	۲۴۵	۰/۳۱	۶/۸	۱/۷۷	۰/۶۲
		۱۰-۲۰	۲۶/۸۰	۳۱/۶۵	۴۱/۵۵	۶/۴	۱۴/۶	۰/۳۶	۱/۰	۲۲۰	۰/۲۳	۶/۹	۰/۳۸	۰/۱۹
شمالی	۷	۰-۱۰	۲۸/۲	۳۸/۶	۳۳/۲	۶/۶	۱۲/۹	۰/۶۹	۱/۵	۲۷۰	۰/۳۷	۱۱/۱	۰/۴۳	۰/۱۸
		۱۰-۲۰	۲۴/۶۴	۴۴/۲	۳۱/۱۶	۶/۵	۱۳/۷	۰/۷۲	۱/۳	۲۴۵	۰/۴۶	۱۱/۴	۰/۱۰	۰/۰۴
	۸	۰-۱۰	۲۵/۲	۴۷/۶	۲۷/۲	۶/۸	۱۱/۸	۰/۸۶	۱/۱	۲۷۵	۰/۳۹	۱۰/۰۲	۰/۴۰	۰/۱۷
		۱۰-۲۰	۲۴/۳	۵۲/۳	۲۳/۴	۶/۵	۱۲/۶	۰/۷۴	۱/۰	۲۵۰	۰/۳۴	۹/۳	۰/۰۹	۰/۰۵

جدول ۳: تجزیه واریانس میزان غلظت سرب در عمق‌های مختلف خاک در رویشگاه‌های مورد بررسی تالا عینک در رشت (سال ۱۴۰۰) .

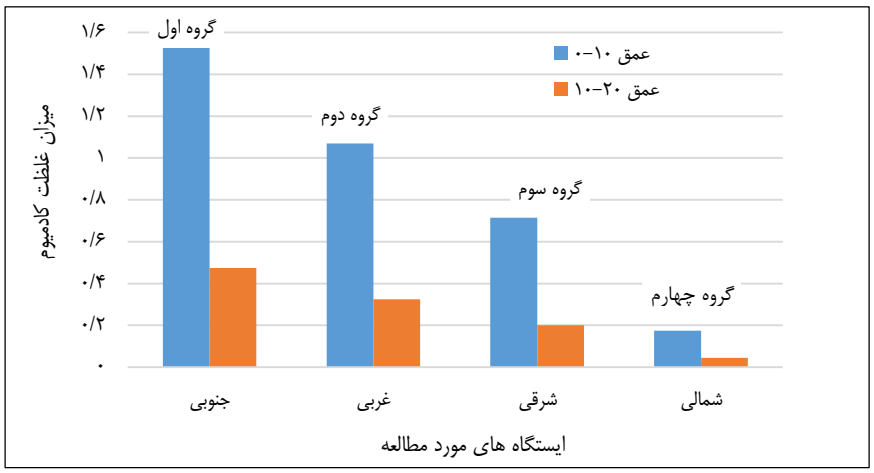
عمق خاک		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
۰-۱۰	تیمار	۲۲/۰۰۸	۲	۷/۳۳۶	۲۷۰/۵۳۷	۰/۰۰۱
	خطا	۰/۳۲۵	۱۲	۰/۰۲۷		
	کل	۲۲/۳۳۴	۱۵			
۱۰-۲۰	تیمار	۱/۷۷۶	۲	۰/۵۹۲	۱۸۵/۴۷۰	۰/۰۰۱
	خطا	۰/۰۳۸	۱۲	۰/۰۰۳		
	کل	۱/۸۱۴	۱۵			

شکل ۲: نتایج آزمون دان کن برای مقادیر غلظت سرب در ایستگاه‌های موردمطالعه در تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

جدول ۴: تجزیه واریانس میزان غلظت کادمیوم در عمق‌های مختلف خاک در رویشگاه‌های موردبررسی در تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

عمق خاک		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی‌داری
۰-۱۰	تیمار	۴/۱۴۶	۲	۱/۳۸۲	۱۱۴/۳۶۴	۰/۰۰۱
	خطا	۰/۱۴۵	۱۲	۰/۰۱۲		
	کل	۴/۲۹۱	۱۵			
۱۰-۲۰	تیمار	۰/۴۰۱	۲	۰/۱۳۴	۱۰۶/۲۴۵	۰/۰۰۱
	خطا	۰/۰۱۵	۱۲	۰/۰۰۱		
	کل	۰/۴۱۶	۱۵			



شکل ۳: نتایج آزمون دانکن برای مقادیر غلظت سرب در ایستگاه‌های موردمطالعه تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

نتایج مطالعات نشان داد که بیشترین میزان غلظت سرب و کادمیوم در درختان اقاقیا و در رویشگاه جنوبی به ترتیب با ۳/۰۱ ppm و ۲/۳۲ ppm و کمترین میزان این عناصر در درختان نارون و رویشگاه شمالی به ترتیب با ۰/۲۴ ppm و ۰/۱۸ ppm می‌باشد (جدول‌های ۵ و ۶).

آزمون تجزیه واریانس نیز حاکی از آن است که تأثیر رویشگاه بر انباشتگی غلظت عناصر سرب و کادمیوم در برگ گونه‌های درختی در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (جدول‌های ۷ و ۸) به‌نحوی‌که غلظت این عناصر در برگ درختان در رویشگاه جنوبی از بیشترین میزان و در رویشگاه شمالی (شاهد) از کمترین میزان برخوردار بوده است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

جدول ۵: میزان غلظت سرب (ppm) در برگ گونه‌های درختی در رویشگاه‌های موردمطالعه تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

رویشگاه	گونه‌های درختی	اقاقیا	آیلان	ارغوان	نارون
آلوده	جنوبی	۳/۰۱ C	۲/۶۱ C	۲/۰۸ D	۱/۴۳ D
	غربی	۲/۶۸ B	۲/۳۱B	۱/۹۸ C	۱/۱۲ C
	شرقی	۲/۴۸ B	۲/۰۲ B	۱/۶۲ B	۰/۷۷ B
شاهد	شمالی	۱/۳۶ A	۰/۸۲ A	۰/۵۸ A	۰/۲۴ A

جدول ۶: میزان غلظت کادمیوم (ppm) در برگ گونه‌های درختی در رویشگاه‌های موردمطالعه تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

رویشگاه	گونه‌های درختی	اقاقیا	آیلان	ارغوان	نارون
آلوده	جنوبی	۲/۳۲ C	۲/۰۱ C	۱/۶۰ D	۱/۱۰ D
	غربی	۲/۰۲B	۱/۷۸ B	۱/۵۲ C	۰/۸۶ C
	شرقی	۴/۷۸ B	۱/۵۵ B	۱/۲۴ B	۰/۵۹ B
شاهد	شمالی	۱/۰۴ A	۰/۶۳ A	۰/۴۵ A	۰/۱۸ A

جدول ۷: تجزیه واریانس غلظت سرب در برگ تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی تالاب عینک در رشت (۱۴۰۰).

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	۳	۱۵۰/۴۷۳	۵۰/۱۵۷	۱۲۵۳۹۲۵	۰/۰۰۰*
گونه	۳	۲۳/۳۴۰	۷/۷۸	۱۹۴۵۰۰	۰/۰۰۱*
رویشگاه × گونه	۹	۲/۶۵۹	۰/۲۹۵	۷۳۷۵	۰/۰۱*
خطا	۱۷۷	۰/۰۷۲	۰/۰۰۰۰۴		
کل	۱۹۲	۱۷۶/۵۴۳			

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

جدول ۸: تجزیه واریانس غلظت کادمیوم در برگ تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	۳	۵۵/۷۳۰	۱۸/۵۷۶	۱۸۵۷۶۰۰	۰/۰۰۱*
گونه	۳	۸/۶۴۴	۲/۸۸۱	۲۸۸۱۰۰	۰/۰۰۰*
رویشگاه × گونه	۹	۰/۹۸۴	۰/۱۰۹	۱۰۹۰۰	۰/۰۰۰*
خطا	۱۷۷	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۰۱		
کل	۱۹۲	۶۵/۳۸۴			

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت سرب و کادمیوم در درختان ارغوان و در رویشگاه جنوبی به ترتیب با ۲٫۱۰ ppm و ۱٫۶۱ ppm و کمترین میزان آن در درختان اقاقیا و در رویشگاه شمالی به ترتیب با ۰٫۴۰ ppm و ۰٫۳۰ ppm می‌باشد (جدول‌های ۹ و ۱۰).

آزمون تجزیه واریانس نیز نشان داد که تأثیر رویشگاه بر انباشتگی غلظت سرب و کادمیوم در ریشه گونه‌های درختی در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشد (جدول‌های ۱۱ و ۱۲) به‌طوری‌که غلظت این عناصر در ریشه درختان در رویشگاه جنوبی از بیشترین میزان و در رویشگاه شمالی (شاهد) از کمترین میزان برخوردار بوده است.

جدول ۹: میزان غلظت سرب (ppm) در ریشه گونه‌های درختی در رویشگاه‌های موردمطالعه در تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

رویشگاه	گونه‌های درختی	اقاقیا	آیلان	ارغوان	نارون
آلوده	جنوبی	۱٫۰۹ C	۰٫۹۲ C	۲٫۱۰ D	۱٫۷۶ D
	غربی	۰٫۹۷B	۰٫۷۳ B	۱٫۷۹ C	۱٫۶۳ C
	شرقی	۰٫۷۲ B	۰٫۵۹ B	۱٫۴۳ B	۱٫۳۴ B
شاهد	شمالی	۰٫۴۰ A	۰٫۴۵ A	۰٫۸۸ A	۰٫۸۰ A

جدول ۱۰: میزان غلظت کادمیوم (ppm) در ریشه گونه‌های درختی در رویشگاه‌های موردمطالعه در تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

رویشگاه	گونه‌های درختی	اقاقیا	آیلان	ارغوان	نارون
آلوده	جنوبی	۰٫۸۴ C	۱٫۱۱ C	۱٫۶۱ D	۱٫۳۶ D
	غربی	۰٫۷۴B	۰٫۹۶ B	۱٫۳۸ C	۱٫۲۹ C
	شرقی	۰٫۵۵ B	۰٫۸۵ B	۱٫۱۷ B	۱٫۰۱ B
شاهد	شمالی	۰٫۳۰ A	۰٫۷۴ A	۰٫۶۷ A	۰٫۶۲ A

جدول ۱۱: تجزیه واریانس غلظت سرب در ریشه تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی در تالاب عینک در رشت(سال ۱۴۰۰) .

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	۳	۱۰۳٫۶۲۳	۳۴٫۵۴۱	۱۷۲۷۰۵۰	۰٫۰۰۱*
گونه	۳	۱۲٫۶۷۳	۴٫۲۲۴	۲۱۱۲۰۰	۰/۰۵
رویشگاه * گونه	۹	۲٫۰۴۵	۰٫۲۲۷	۱۱۳۵۰	۰٫۰۱*
خطا	۱۷۷	۰٫۰۵۲	۰٫۰۰۰۰۲		
کل	۱۹۲	۱۱۸٫۳۹۳			

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

جدول ۱۲: تجزیه واریانس غلظت کادمیوم در ریشه تحت تأثیر رویشگاه و گونه‌های درختی تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P
رویشگاه	۳	۴۱/۴۴۹	۱۳/۸۱۶	۱۳۸۱۶۰۰	۰/۰۰۰*
گونه	۳	۶/۶۶۹	۲/۲۲۳	۲۲۲۳۰۰	۰/۰۴
رویشگاه * گونه	۹	۰/۹۸۳	۰/۱۰۹	۱۰۹۰۰	۰/۰۱*
خطا	۱۷۷	۰/۰۲	۰/۰۰۰۰۱		
کل	۱۹۲	۴۹/۱۲۱			

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

با توجه به اهمیت نسبت انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی یا همان فاکتور انتقال، نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های درختی اقاقیا، آیلان و ارغوان بیشترین ضریب انتقال سرب (۰/۵۹ppm، ۰/۵۶ppm و ۰/۱۹ppm) و کادمیوم (۰/۵۶ppm، ۰/۳۸ppm و ۰/۱۹ppm) را از ریشه به برگ دارا بوده و توانسته‌اند به‌نوعی این عناصر را به برگ خود انتقال داده و کمترین انباشتگی از آن‌ها را در ریشه خود داشته باشند (جدول ۱۳).

جدول ۱۳: نسبت غلظت سرب و کادمیوم در برگ به ریشه در گونه‌های درختی در تالاب عینک در رشت (سال ۱۴۰۰).

		اقاقیا	عرعر	ارغوان	نارون
فاکتور انتقال (TF)	سرب (ppm)	۰/۵۹	۰/۵۶	۰/۱۹	۰/۱۲
	کادمیوم (ppm)	۰/۵۶	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۱۲

بحث و نتیجه‌گیری

گیاه‌پالایی روشی زیستی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان می‌باشد. از این روش برای زدودن آلودگی‌های آب، خاک و هوا استفاده می‌شود. این فناوری می‌تواند برای رفع هر دو نوع آلاینده خاک یعنی معدنی و آلی بکار رود (Rohit Le Zhang *et al.*, 2022 ؛Kumar *et al.*, 2022). عدم آلودگی زمین برای تولید محصولات زراعی از اهمیت اساسی برخوردار است. تجمع مواد سمی در خاک بر جذب عناصر غذایی موجود در خاک توسط گیاه تأثیر داشته و به‌طورجدی بر امنیت محصول تأثیر می‌گذارد. گیاه‌پالایی به دلیل هزینه کم، اجرای ساده و عدم آلودگی ثانویه یک فناوری پرکاربرد برای پالایش، آلودگی خاک است (Haider *et al.*, 2021).

در رویشگاه‌های آلوده میزان غلظت سرب و کادمیوم در برگ و ریشه درختان بیشتر از رویشگاه شاهد بوده و به ترتیب شمالی (شاهد)، شرقی، غربی و جنوبی افزایش نشان می‌دهد. وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت این عناصر در رویشگاه‌های مختلف را می‌توان به میزان غلظت در هوا و تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک ازجمله وجود ذرات رسی، pH، غلظت کل و قابل‌جذب عناصر در خاک ارتباط داد. مطالعات گذشته به‌تناسب غلظت عناصر در محیط (اتمسفر و خاک) باقابلیت جذب آن‌ها به‌وسیله گیاهان اشاره نموده‌اند (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Marry *et al.*, 1996؛ Al-Shayeb and Seaward, 2001). بین درصد ذرات رس موجود در خاک و میزان جذب سرب و کادمیوم در درختان موردمطالعه رابطه معنی‌دار وجود دارد. در این خصوص می‌توان به تحقیقات سامانی مجد و همکاران (۱۳۸۶) اشاره نمود که اظهار داشتند کلوئیدهای رسی موجود در سطح خاک با جذب عناصر سنگین، مانع آبشویی و انتقال آن‌ها به لایه‌های پایین خاک می‌گردند به همین دلیل میزان جذب عناصر

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

توسط گیاهان افزایش می‌یابد. قابلیت دسترسی گیاهان به فلزات سنگین رابطه معکوسی با pH خاک دارد به‌نحوی‌که با کاهش pH، رسوب عناصر فلزی به‌صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی کاهش‌یافته و قابلیت جذب فلزات موجود در خاک برای گیاهان افزایش می‌یابد (تائبی و همکاران، ۱۳۸۶؛ Wang, 2005).

با توجه به اینکه در گیاه‌پالایی فلزات سنگین، نسبت انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی یا همان فاکتور انتقال (نسبت غلظت عنصر در اندام هوایی به غلظت همان عنصر در اندام زیرزمینی) بسیار مهم و ضروری است، نتایج نشان داد که گونه‌های اقاقیا، عرعر و ارغوان بیشترین توانایی را جهت انتقال سرب و کادمیوم دارا می‌باشند. Lasat (۲۰۰۰) و Mattina و همکاران (۲۰۰۳) اظهار داشتند از فاکتور انتقال عناصر از اندام زیرزمینی به اندام هوایی می‌توان به‌منظور شناسایی گونه‌های فرا انباشت کننده استفاده نمود. Brooks (۱۹۹۸) بیان نمود که گیاهانی می‌توانند فلزات سنگین را به اندام هوایی خود انتقال دهند که کمترین انباشتگی از این عناصر را در اندام زیرزمینی داشته باشند. برخی از محققین نیز از نسبت غلظت فلزات در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه به‌منظور توصیف مقاومت و عکس‌العمل گیاه به حضور مقادیر بالای فلزات در خاک استفاده نموده‌اند که این نسبت در گیاهان انباشتگر بزرگ‌تر از ۱ و در گیاهان دافع کمتر از ۱ می‌باشد (فرزامی سپهر و هانی، ۱۳۹۵؛ مصلح آرانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ Siyar *et al.*, 2022؛ Coelho, 2005).

به‌طورکلی گیاه‌پالایی استفاده از گیاهان سبز به‌منظور پاک‌سازی محیط‌زیست از آلاینده‌ها است. در این فرآیند که به دلیل هزینه اجرایی پایین‌تر، عدم تأثیر مخرب بر محیط‌زیست و کمک به زیباسازی محیط در اولویت قرار دارد، نیازی به تخریب و انتقال خاک نیست و استخراج فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان در طی جذب فلز از راه ریشه و انتقال آن به دیگر قسمت‌های گیاه ممکن شده و از مقدار غلظت آن فلز در محیط آلوده کاسته می‌شود (Atma *et al.*, 2017). نتایج این تحقیق نشان داد درختان اقاقیا، آیلان و ارغوان بدون نشان دادن علائم مسمومیّت، توانایی تولید زی‌توده بالا، رشد مناسب، جوانه‌زنی آسان، سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته و فاکتور انتقال بیشتر از ۱، گونه‌هایی مناسب جهت پالایش خاک‌های آلوده به سرب و کادمیوم می‌باشند و با توجه به نیازهای اکولوژیک آن‌ها می‌توانند در مناطق مشابه نیز توصیه گردند. ضمن اینکه در بین گونه‌های موردمطالعه از اقاقیا به دلیل نیازهای اکولوژیک بسیار کم در مقایسه با سایر گونه‌ها به‌آسانی می‌توان در پروژه‌های گیاه‌پالایی استفاده نمود. با توجه به نکات ذکرشده، تکنولوژی زیست پالایی با استفاده از گونه‌های درختی روشی مؤثر در حذف آلودگی ناشی از فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک‌های آلوده محیط‌های شهری می‌باشد. Yang و همکاران (۲۰۲۲) عنوان می‌کند که برای گیاه‌پالایی، گیاهانی را بایستی پرورش داد که توانایی جذب عناصر سمی را دارا بوده و مقاومت زیادی در برابر تنش داشته باشند و بتوانند با شرایط محلی سازگار شوند، این کار برای تسهیل امنیت غذایی و افزایش کیفیت محصول در آینده ضروری خواهد بود.

منابع

تائبی، ا.، سامانی‌مجد، س. و ابطحی، س. م.، ۱۳۸۶. ارتباط عوامل ترافیکی با غلظت سرب و کادمیوم در خاک حاشیه خیابان‌های شهری. پژوهشنامه حمل‌ونقل، ۴(۳): صفحات ۲۰۵-۱۹۵.

جوکار، م.، رستمی شاهچراغی، ت.، محمدی، م.، ۱۳۹۵. تعیین توان زیست پالایی گونه درختی دارتالاب (*Taxodium distichum L.*). فصلنامه علمی پژوهشی اکو بیولوژی تالاب، ۸(۲۸): صفحات ۹۶-۸۵.

خداکرمی، ی.، شیروانی، ا.، واردانیان، ژ. و سهرابی، ه.، ۱۳۹۴. ارزیابی توان گیاه‌پالایی کادمیوم در بافت‌های مختلف خاک توسط گونه‌های اقاقیا (*Robinia pseoudoacacia L.*)، زبان‌گنجشک (*Fraxinus rotundifolia Miller*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica Greene*). فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۳(۴): صفحات ۶۲۵-۶۱۷.

دهقان، م. ر.، مشکی، ع. ر. و ملاشاهی، م.، ۱۳۹۵. مقایسه جذب عناصر کادمیوم و روی در دو گونه اکالیپتوس. دو فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۴(۱): صفحات ۳۳-۲۲.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

زعیمدار، م.، ۱۳۹۷. استراتژی گیاه‌پالایی گونه‌های درختی برای کاهش آلودگی‌ها. مدیریت محیط‌زیست و توسعه پایدار، ۲: صفحات ۵ -۱.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.، ۱۴۰۰. آمار و اطلاعات زمین‌شناسی و خاکشناسی شهر رشت. ۸۶ ص.

سازمان هواشناسی ایران.، ۱۴۰۰. آمار و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور. ۱۲۷ ص.

سامانی‌مجد، س.، تائبی، ا. و افیونی، م.، ۱۳۸۶. آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم. مجله محیط‌شناسی، ۳۳(۴۳): صفحات ۱۰-۱.

فرزامی سپهر، م. و هانی، ع.، ۱۳۹۵. گیاه‌پالایی، دست آوردی سبز برای پالایش سیاهی. نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۱(۴۴): صفحات ۱۰۰-۸۸.

مجیدی، ط.، طاهری، م.، آقاجانلو، ف.، موسوی، ا.، شجاعی، م.، تکاسی، م.، مرادی، پ. و حیدری، ف.، ۱۳۹۴. مقدار جذب عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب در برگ چندگونهٔ چوبی. مجله پژوهش و توسعه جنگل، ۱(۴): صفحات ۲۸۴-۲۷۱.

مصلح آرانی، ا.، خسروی، م.، عظیم زاده، ح.ر.، سودایی‌زاده، ح. و سپه‌وند، ا.، ۱۳۹۷. مقایسه غلظت سرب در دو گیاه سرو خمره‌ای (*Thuja orientalis*) و زیتون (*Olea europaea*) به‌منظور کاربرد در فناوری گیاه‌پالایی. مجله محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۱(۱): صفحات ۱۲۳-۱۰۹.

Al-Shayeb, S. M. and Seaward, M. R. D., 2001. Heavy metal content of roadside soils along ring road in Riyadh (Saudi Arabia). Asian Journal of Chemistry, 13(2): 407-423.

Anonymous., 2015. General standard for contaminants and toxins in food and feed (CODEX STAN 193-1995), CODEX Alimentarius. 59 p.

Atma W., Larouci, M., Meddah, B., Benabdeli, K. and Sonnet, P., 2017. Evaluation of the phytoremediation potential of *Arundo donax L*. for nickelcontaminated soil. International Journal of Phytoremediation, 19(4): 377-386.

Coelho, M. C., Farias, T. L. and Rouphail, N. M., 2005. Impact of speed control traffic signals on pollutant emissions. Transportation Research Part D, 6: 323-340.

Coupe, S. J., Sallami, Kh. and Ganjian, E., 2013. Phytoremediation of heavy metal contaminated soil using different plant species. African Journal of Biotechnology, 12(43): 6185-6192.

Dolphen, R. and Thiravetyan, P., 2015. Phytodegradation of ethanolamines by Cyperus alternifolius: effect of molecular size. Internation Journal Phytoremediation. 17(7): 686-92.

EPA., 2006. Air Quality Criteria for Lead. Volume I & II: 1588p.

Gao, J. Z. and Zhu, L. Z., 2003. Phytoremediation and its models for organic contaminated soils. Journal of Environmental Science and Technology, 15: 302-310.

James, D. W. and Wells, K. L., 1990. Soil sample collection and handing technique based on source and degree of field variability. Soil Testing and Plant Analysis. Third edition. Soil science society of America, 25-44. In: R.L. Westerman (ed.).

Kadukova, J. and Kalogerakis, N., 2007. Lead accumulation from non-saline and saline environments by Tamarix smyrnensis Bunge. European Journal of Soil Biology, 43: 216-223.

Haider, F., Liqun, C., Coulter, J.,Cheema, S., Wu, J., Zhang, R., Wenjun, M. and Farooq, M., 2021. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. Ecotoxicol. Environ, 211: 111-128.

Lasat, M. M., 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil. Journal of Hazardous Substance Research, 2: 1-25.

Lewis, J., Qvarfort, U. and Sjöström, J., 2015. Betula pendula: A promising candidate for phytoremediation of TCE in northern climates international. Journal of Phytoremediation, 17(1):9-15.

Le Zhang, Y., Di He, G., Qing, Q. and Bing, T., 2022. Bibliometrics-Based: Trends in hytoremediation of Potentially. Toxic Elements in Soil, Land, 11: 1-16.

Marry, R. H.,Tiller. K. G. and Alston, A. M., 1996. The effect of contamination of soil with copper, lead and arsenic on the growth and composition of plant. Journal of Plant and Soil, 91: 115-128.

Mattina, M. J. I., Lannucci-Berger, W., Musante, C. and White, J. C., 2003. Concurrent plant uptake of heavy metal and persistent organic pollutants from soil. Environmental Pollution, 124: 375-378.

Megha, P. U., Kavya, P., Murugan, S. and Harikumar, P. S., 2015. Sanitation Mapping of Groundwater Contamination in a Rural Village of India. Journal of Environmental Protection, 6(1):34-44.

Nagajyoti, P. C., Lee, K. D. and Sreekanth, T. V. M., 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. Enviromental Chemistry Letters, 8: 199-216.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]

Rohit Kumar, V., Mahipal Singh, S, Ekta, J., Kapil, P. and Kumud Kant, A., 2022. Phytoremediation of Heavy Metals Extracted from Soil and Aquatic Environments: Current Advances as well as Emerging Trends, Biointerface Research in Applied Chemistry, 12: 5486-5509.

Siyar, R., Doulati Ardejani, F., Norouzi, P., Maghsoudy, S., Yavarzadeh, M. and Butscher, C., 2022**.** Phytoremediation Potential of Native Hyperaccumulator Plants Growing on Heavy Metal-Contaminated Soil of Khatunabad Copper Smelter and Refinery, Iran, Water, 1-19.

Pilon-Smits, E., 2005. Phytoremediation. Annual Review of Plant Biology, 56: 15-39.

Wang, X., 2005. Integrating GIS, simulation models and visualization in traffic impact analysis. Computers, Environment and Urban Systems, 29: 471-496.

Yağdı, K., Kacar, O. and Azkan, N., 2000. Heavy metal contamination in soils and its effects in agriculture. Journal of Agriculture Faculty OMU, 15(2): 109-115.

Yang, L., Wang, J., Yang, Y., Li, S., Wang, T., Oleksak, P., Chrienova, Z., Wu, Q., Nepovimova, E., Zhang, X. and Kuca, K., 2022. Phytoremediation of heavy metal pollution: Hotspots and future prospects. Ecotoxicology and Environmental Safety, 234: 1-9.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-28]