ارزیابی شاخص‌های زیستی (BCF، BAF و TF) در گیاهان بومی تحت تأثیر آلودگی عناصر بالقوه سمّی در سراب گاماسیاب نهاوند

چکیده

فناوری گیاه‌پالایی از جمله روش‌های پالایش سازگار با محیط‌زیست است که در آن از گیاهان برای پاک‌سازی آلودگی مواد آلی و غیرآلی خاک، آب‌وهوا استفاده می‌شود. این تحقیق با هدف ارزیابی شاخص‌های تغلیظ زیستی (BCF)، تجمع زیستی (BAF) و انتقال (TF) در گونه‌های گیاهی بومی تحت تأثیر آلودگی عناصر بالقوه سمّی در محدوده سراب گاماسیاب نهاوند صورت پذیرفت. برای این منظور در تابستان سال ۱۴۰۴، در منطقه مورد مطالعه، نمونه‌برداری از بافت‌های هوایی (برگ و ساقه) و زیرزمینی (ریشه) بارهنگ نیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.)، درمنه زاگرسی (*Artemisia haussknechtii* Boiss.)، علف پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon olivieri* (Jaub. & Spach) Boiss.)، گل ماهور (*Verbascum speciosum* Schrad.) و گون سفید (*Astragalus (Tragacantha) gossypinus* Fisch.ex Hoh) در چهار ایستگاه، در قالب طرح آماری بلوک‌های کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام پذیرفت و غلظت عناصر روی، سرب، کادمیوم، کروم، منگنز و نیکل در نمونه‌های گیاهی با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی اندازه‌گیری شد. در هر ایستگاه، غلظت عناصر در نمونه‌های خاک نیز تعیین گردید. همچنین مقادیر شاخص‌های BCF، BAF و TF محاسبه شدند. نتایج نشان داد که بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از حیث محتوی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های خاک، در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیش‌ترین غلظت عناصر، مربوط به فلز منگنز و در بافت هوایی (برگ و ساقه) گون سفید با ۹۳/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بافت زیرزمینی (ریشه) علف پشمکی با ۳۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، در ایستگاه سه مشاهده شد. بررسی شاخص‌های BCF، BAF و TF نشان داد که گون سفید، کلاه میرحسن و گل ماهور برای عناصر منگنز، نیکل، سرب و روی و درمنه زاگرسی برای عناصر منگنز، نیکل و سرب، با ضریب TF بزرگ‌تر از ۱ و BAF کوچک‌تر از ۱، دارای عملکرد خوبی در استخراج و انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی خود بوده و تحمل و سازگاری مطلوبی در مواجهه با غلظت بالای فلز از خود نشان داده‌اند. با استناد به میانگین محتوی عناصر در بافت‌های گیاهان و همچنین میانگین مقادیر محاسبه شده شاخص‌های BCF، BAF و TF برای عناصر، می‌توان اذعان کرد که گونه‌های گون سفید، کلاه میرحسن، گل ماهور و درمنه زاگرسی گونه‌هایی مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده به این عناصر بوده و در مناطق آلوده مشابه قابل معرفی هستند.

واژگان کلیدی: شاخص تجمع زیستی، شاخص تغلیظ زیستی، شاخص انتقال، گیاه‌پالایی.

بهروز کُرد*
سارا پورعباسی

گروه مهندسی فضای سبز، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران.

* **نویسنده مسئول مکاتبات**
behrouz.kord@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۲

این مقاله برگرفته از فعالیت پژوهشی مستقل است.

مقدمه

عناصر بالقوه سمّی از جمله مهم‌ترین گروه‌های آلاینده محیط‌زیست هستند که میزان آن‌ها در بوم‌سازگان‌های طبیعی رو به افزایش بوده و به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیک آن‌ها بر روی موجودات زنده، حتی در غلظت‌های بسیار کم نیز دارای اهمیت هستند. آلودگی ناشی از این عناصر تاکنون به‌طور مؤثر کنترل نشده، زیرا فعالیت‌های انسانی به ویژه در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش است (Phillips *et al.*, 2015). اگرچه، این آلاینده‌ها به‌طور عمده از منابع طبیعی (زمین‌شناختی) نشأت می‌گیرند، اما فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه رواناب سطحی یا زهاب کشاورزی به محیط، انتشارات صنعتی و حمل‌ونقل منجر به افزایش غلظت آن‌ها در محیط‌زیست شده است. این عناصر به دلیل سمیّت، اثرات محیط‌زیستی و بهداشتی بر سلامت بوم‌سازگان‌ها و انسان، به لحاظ بوم‌شناختی و زیستی حائز اهمیت ویژه‌ای هستند (کاکویی‌دینکی و همکاران، ۱۴۰۲). روی یکی از عناصر کمیاب بدن انسان است که مسمومیت با آن به‌صورت زخم معده، التهاب پانکراس، کم‌خونی، تب، تهوع، استفراغ، اختلال تنفسی و فیبروز ریه گزارش شده است (Barceloux, 1999). سرب نیز به

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

عنوان عنصر غیرضروری، نوروتوکسین قدرتمندی است که قرار گرفتن انسان در معرض آن، حتی در مقادیر بسیار کم، می‌تواند به ابتلا به فشارخون، ناهنجاری‌های کروموزومی، سرطان، آسیب و اختلال عملکرد کلیه منجر شود (Cheraghi *et al*., 2015). کادمیوم هم می‌تواند سبب کاهش رشد ذهنی در کودکان، آسیب به کبد، کلیه‌ها و سیستم تولیدمثل شود. ضمن اینکه به عنوان یک عنصر سرطان‌زا منجر به سرطان ریه و پروستات می‌شود (Shekoohiyan *et al*., 2012). کروم در مقادیر کم سبب سوزش پوست و یا ایجاد زخم می‌شود ولی مقادیر بالای آن به کبد، کلیه و بافت‌های عصبی انسان آسیب می‌رساند (Bewley, 2001). منگنز و نیکل نیز به عنوان عناصر ضروری، در غلظت‌های بیش از حد مجاز خطراتی را برای انسان ایجاد می‌کنند به نحوی که تجمع منگنز در بافت‌های مختلف بدن منجر به بیماری منگانیسم (بیماری شبیه پارکینسون) همراه با اثرات پاتولوژیک در مغز و سایر اندام‌ها می‌شود (رضویان و همکاران، ۱۳۹۱)، در صورتی که افزایش غلظت نیکل، شانس ابتلا به سرطان‌های ریه، بینی، حنجره و پروستات را افزایش می‌دهد (جعفرپور چک اب و همکاران، ۱۴۰۱). آلودگی خاک به عناصر بالقوه سمّی یکی از مهمترین نگرانی‌های محیط‌زیستی است که سلامت موجودات زنده را تهدید می‌کند. این عناصر بر خلاف آلاینده‌های آلی، توسط فرآیندهای زیستی و شیمیایی تجزیه نمی‌شوند و برای مدت زمان طولانی در خاک باقی مانده و سبب کاهش عملکرد و بهره‌وری خاک می‌گردند (Chen *et al.,* 2016). قابلیت دسترسی و سمّیت عناصر بالقوه سمّی در خاک به شاخص‌های مختلفی از جمله غلظت کل عناصر در خاک، نوع و موقعیت پیوند فلز و هم‌چنین خصوصیاتی مانند pH، هدایت الکتریکی و مواد آلی وابسته است (Sheoran *et al*., 2016; Shahid *et al*., 2017). از عوامل مؤثر بر پراکندگی این عناصر در خاک می‌توان به نوع و سن خاک و نوع پوشش گیاهی اشاره نمود. ضمن اینکه جابجایی آن‌ها در محیط خاک تابعی از اسیدیته، میزان رس، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی است (سامانی‌مجد و همکاران، ۱۳۸۶). برخی از عناصر بالقوه سمّی مانند آهن، روی، مس و منگنز در مقادیر کم به عنوان عناصر کم‌مصرف برای رشد گیاهان لازم و ضروری هستند و به‌وسیله ریشه از خاک جذب می‌شوند در حالی که عناصری مانند سرب، کادمیوم، کروم و نیکل اگرچه در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی ندارند ولیکن به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن‌ها توسط گیاهان وجود دارد (Pilon-Smits, 2005; Kafle *et al*., 2022).

امروزه از روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی مانند تبادل یونی، اُسمز معکوس، اکسایش و احیا، استخراج با حلال و غیره در پالایش عناصر بالقوه سمّی از خاک استفاده می‌شود (Sasmaz *et al*., 2015; Khalid *et al*., 2017)؛ اما اکثر این روش‌ها مقرون به صرفه نبوده و در اغلب موارد با محیط‌زیست سازگار نیستند. در دو دهه اخیر کاربرد روش‌های زیستی به دلیل هزینه پایین و سازگاری با محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته‌اند. گیاه‌پالایی از جمله فناوری‌های مقبول در این حوزه است و شامل تمام فرآیندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی گیاهان می‌شود که در حذف آلاینده‌ها از محیط نقش دارند (Fashola *et al*., 2016; Sarwar *et al*., 2017). تاکنون کاربرد این روش برای حذف آلاینده‌های مختلفی مانند هیدروکربن‌های نفتی، علف‌کش‌ها و عناصر بالقوه سمّی گزارش شده است (Gajic *et al*., 2018). در این روش که نوعی تکنیک طبیعی، پایدار، آسان، کم‌هزینه و بوم‌سازگار است، خصوصیات گیاهان نظیر بردباری، سیستم ریشه‌ای قوی، فاکتور انتقال و سرعت رشد بالا مؤثر بوده و به منظور دستیابی به کارایی مناسب در آن، لازم است که قدرت جذب گیاه، تولید زی‌توده بالا و انتقال زیاد عنصر از ریشه به ساقه و برگ مدنظر قرار گیرد (Lasat, 2000; Coupe *et al*., 2013). در این فرآیند گیاهان در مواجهه با عناصر بالقوه سمّی از سازوکارهای دفاعی کنترل‌کننده بهره می‌برند که از جمله آن‌ها می‌توان به استخراج گیاهی (Phytoextraction)، تثبیت گیاهی (Phytostabilization)، تجزیه گیاهی (Phytodegradation)، تبخیر گیاهی (Phytovolatilization) و تصفیه ریشه‌ای (Rhizofiltration) اشاره نمود (Yan *et al*., 2020). استخراج گیاهی یکی از مهم‌ترین و مناسب‌ترین روش‌های گیاه‌پالایی در پالایش خاک‌های آلوده معرفی شده است (McGrath and Zhao, 2003). در این روش، شاخص‌های تغلیظ زیستی (Biological Concentration Factor)، تجمع زیستی (Biological Accumulation Factor) و انتقال (Translocation Factor)، از ابزارهای مهم و ضروری محسوب می‌گردند (Haghnazar *et al*., 2023). برخی از محققین از نسبت غلظت عنصر بالقوه سمّی در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه به منظور توصیف مقاومت و عکس‌العمل گیاه به حضور مقادیر

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

بالای فلزات در خاک استفاده نموده‌اند که این نسبت در گیاهان بیش‌اندوزگر بزرگتر از یک (TF >1) است (Antoniadis *et al.*, 2017; Lasat, 2000). Kabata-Pendias و Dudka (۱۹۹۱) و Malinowska و همکاران (۲۰۱۵) پتانسیل استخراج گیاهی را بر پایه مقدار BCF به چهار گروه؛ جذب قوی (BCF =1-10)، جذب متوسط (BCF = 0.1–1)، جذب ضعیف (BCF = 0.01– 0.1) و جذب خیلی ضعیف (BCF = 0.001–0.01) تقسیم‌بندی نموده و مقدار این فاکتور را برای گیاهان بیش‌اندوزگر بیش از یک اعلام کردند. باید توجه داشت که گیاهانی با TF>1 و BAF>1 می‌توانند در فرآیند استخراج گیاهی مورد استفاده قرار گیرند و گیاهانی با TF<1 و BCF>1 دارای قابلیت تثبیت گیاهی هستند. همچنین گیاهانی که دارای TF>1 و BAF<1 برای یک عنصر باشند، دارای عملکرد خوبی در استخراج و انتقال آن عنصر از ریشه به اندام هوایی خود بوده و تحمل و سازگاری مطلوبی در مواجهه با غلظت بالای فلز از خود نشان می‌دهند. زمانی که این فاکتورها دارای مقدار کم‌تر از یک باشند، گیاه توانایی کمی برای جذب عنصر دارد و یا از جذب آن عنصر اجتناب می‌نماید (Yoon *et al.*, 2006; Sasmaz, 2008; Aghelan *et al.*, 2020). گیاهان زیادی با زی‌توده بالا نظیر ذرت، آفتابگردان و تنباکو، گیاهان خانواده بقولات و برخی گونه‌های درختی از جمله گونه‌های مناسب برای استخراج عناصر بالقوه سمّی عنوان شده‌اند (Yan *et al.*, 2020). همچنین گزارشات زیادی تأییدکننده توانایی بالای برخی از گونه‌های بومی در استخراج عناصر هستند (Alizadeh *et al.*, 2022). برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر بالقوه سمّی را در اندام هوایی خود دارند، بدون اینکه آثار سمّی آشکار در آن‌ها ایجاد گردد و به عنوان گیاهان بیش‌اندوزگر (Hyperaccumulator) معرفی می‌گردند (Market, 2003). برای اینکه یک گونه گیاهی به عنوان بیش‌اندوزگر یک عنصر بالقوه سمّی شناخته شود، باید غلظت آن در گیاه به آستانه تحمل برسد که برای عناصر مختلف این میزان به نوع و مقدار فلزات موجود در خاک، دستیابی زیستی عناصر (Bioavailability) و نوع گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Yaron *et al.*, 2006). تحقیقات متعددی غلظت سرب، کادمیوم، کبالت، کروم، مس و نیکل را بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و آهن، روی و منگنز را بیش از ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در گیاهان بیش‌اندوزگر اعلام کرده‌اند (Adriana, 2001; Van der Ent *et al.*, 2013; Bonanno *et al.*, 2018). با توجه به اینکه گیاهان بومی و مقاوم با سرعت رشد و زیست‌توده زیاد و سازگار با شرایط مختلف محیطی، گزینه‌هایی مناسب برای پایش و پالایش زیستی آلاینده‌های فلزی محسوب می‌شوند و نظر به نگرانی‌ها و مخاطرات محیط‌زیستی و بهداشتی مرتبط با این آلاینده‌ها و ضرورت پایش و پالایش آلودگی ناشی از عناصر بالقوه سمّی، این تحقیق با هدف ارزیابی شاخص‌های تغلیظ زیستی (BCF)، تجمع زیستی (BAF) و انتقال (TF) در گونه‌های گیاهی بومی بارهنگ نیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.)، درمنه زاگرسی (*Artemisia haussknechtii* Boiss.)، علف پشمکی (*Bromus tomentellus* Boiss.)، کلاه میرحسن (*Acantholimon olivieri* (Jaub. & Spach) Boiss.)، گل ماهور (*Verbascum speciosum* Schrad.) و گون سفید (*Astragalus (Tragacantha) gossypinus* Fisch.ex Hoh) تحت تأثیر آلودگی عناصر بالقوه سمّی در محدوده سراب گاماسیاب نهاوند صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

سراب گاماسیاب در مدارهای ″۲۹ ′۵۹ °۴۷ تا ″۵۳ ′۰۱ °۴۸ طول شرقی و″۱۷ ′۲۰ °۳۴ تا ″۰۱ ′۲۱ °۳۴ عرض شمالی، در ۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان نهاوند، در دامنهٔ رشته‌کوه گرین و در ارتفاع ۱۸۶۵ متری از سطح دریا واقع شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۴۰۳). این سراب که به عنوان بزرگ‌ترین چشمهٔ ایران و سی و دوّمین اثر طبیعی ملی در فهرست میراث طبیعی کشور ثبت شده است (اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی استان همدان، ۱۳۹۵)، در مجاورت کارخانه سیمان نهاوند قرار دارد. براساس آمارهای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک همدان، میانگین بارندگی سالیانه ۳۲۵/۹ میلی‌متر، متوسط حرارت سالیانه ۱۴/۸ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه نیمه خشک سرد است (سازمان هواشناسی کشور، ۱۴۰۳).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

با انجام بررسی‌های میدانی، چهار ایستگاه براساس تراکم پوشش گیاهی و جریان هوا در محدوده سراب گاماسیاب شامل ایستگاه یک در شمال، ایستگاه دو در جنوب، ایستگاه سه در شرق و ایستگاه چهار در غرب به عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. سپس گونه‌های گیاهی بارهنگ نیزه‌ای، درمنه زاگرسی، علف پشمکی، کلاه میرحسن، گل ماهور و گون سفید که به صورت غالب و مشترک در بین ایستگاه‌ها وجود داشتند، به عنوان گیاهان بومی مورد مطالعه برگزیده شدند (جدول ۱). در تابستان سال ۱۴۰۴، در هر ایستگاه با توجه به جهت باد غالب، یک ترانسکت انتخاب و نمونه‌برداری از بافت‌های هوایی و زیرزمینی گیاهان با انجام آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کاملاً تصادفی در سه تکرار صورت پذیرفت. با در نظر گرفتن تیمارهای مورد مطالعه (ایستگاه، گونه‌های گیاهی، بافت هوایی و زیرزمینی، فلزات سنگین و تکرار آزمایشات)، تعداد ۸۶۴ نمونه تهیه شد که پس از کُدگذاری به آزمایشگاه انتقال داده شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های گیاهی با آب مقطر شست‌وشو داده شده و بافت‌های برگ، ساقه و ریشه گیاهان از یکدیگر جدا گردیده و به منظور خشک شدن و رسوب، نمونه‌های گیاهی در درون ظروف پتری علامت‌گذاری‌شده، قرار داده شدند و در دستگاه اُتوکلاو به مدت ۴۸ ساعت و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند. در نهایت، پس از پودر کردن نمونه‌های خشک گیاهی توسط آسیاب برقی و انتقال آنها به کیسه‌های پلی‌اتیلنی، نمونه‌ها در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. برای عصاره‌گیری نمونه‌ها از روش هضم تر استفاده شد. بدین منظور، ۲/۵۰ گرم از هر نمونه به لوله هضم ۵۰ میلی‌لیتر انتقال داده و ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به آن افزوده شد. نمونه برای ۴۵ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سلسیوس گرمادهی گردید. سپس دما تا ۱۵۰ درجه سلسیوس افزایش داده شد و تا شفاف شدن کامل نمونه در همین دما قرار گرفت. پس از سرد شدن نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ درصد به آنها افزوده شده و نمونه‌ها به وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۰ صاف و با آب دو بار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسیدند (Lewis *et al.,* 2015). پس از صاف کردن عصاره‌ها، غلظت روی، سرب، کادمیوم، کروم، منگنز و نیکل به وسیله دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی پرکین المر مدل ICP-OES 2100 اندازه‌گیری شد (James and Wells, 1990). هم‌چنین شاخص‌های تغلیظ زیستی (BCF)، تجمع زیستی (BAF) و انتقال (TF) در گیاهان با استفاده از معادلات زیر محاسبه شدند (Kabata-Pendias and Dudka, 1991; Malinowska *et al.*, 2015).

معادله ۱: $BCF = C_{root} / C_{soil}$

که C_{root} و C_{soil} به ترتیب نشان‌دهنده غلظت فلز در ریشه گیاه و خاک برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

معادله ۲: $BAF = C_{aerial\ tissue} / C_{soil}$

که $C_{aerial\ tissues}$ و C_{soil} به ترتیب نشان‌دهنده غلظت فلز در شاخساره (اندام هوایی) گیاه و خاک برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

معادله ۳: $TF = C_{aerial\ tissues} / C_{root}$

که $C_{aerial\ tissues}$ و C_{root} به ترتیب نشان‌دهنده غلظت فلز در شاخساره (اندام هوایی) و ریشه گیاه برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

در هر ایستگاه، نمونه‌برداری از خاک در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری (منطقه فعال ریشه) انجام پذیرفت. در آزمایشگاه، نمونه‌ها در دمای محیط خشک و به‌وسیله چکش پلاستیکی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، pH گل اشباع با استفاده دستگاه pH متر (AZ 86552)، EC با استفاده از EC متر (AZ 86505)، مواد آلی خاک به روش سوزاندن در کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۴ ساعت مطابق استاندارد (ASTM D2974-00, 2000)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم و قرائت با فلیم فتومتر، نیتروژن کل به روش کلدال (Bremmer and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، آهک به روش تیتراسیون با سود (Black *et al,.* 1965) اندازه‌گیری شد. برای سنجش عناصر بالقوه سمّی در خاک، نمونه‌ها از الک ۰/۱۴۹ میلی‌متری عبور داده شده و از هر نمونه

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

به میزان ۰/۲ گرم توزین و بـه نمونـه‌هـا ترکیبی از سه اسید شامل ۴ میلی‌لیتر HNO3، ۱۲ میلـی‌لیتر HCl و ۴ میلی‌لیتر $HCLO_4$ اضافه شد و سـپس بـه مدت ۶ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس گرما داده شد. پس از اتمام عملیات هضـم، نمونـه‌هـا توسـط کاغـذ صافی واتمن ۴۲ صاف شده و توسط آب دو بار تقطیر به حجم ۲۵ میلـی‌لیتـر رسـیدند (Klute, 1986) و غلظت عناصر با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت‌شده القایی پرکین المر مدل ICP-OES 2100 تعیین گردید.

پردازش آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد. برای این منظور از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای بررسی نرمال بودن داده‌ها و از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای بررسی معنی‌دار بودن تأثیر ایستگاه‌ها و گونه‌های گیاهی بر غلظت عناصر بالقوه سمّی و از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین مؤلفه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

جدول ۱: گونه‌های گیاهی نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه.

خانواده	نام علمی	نام فارسی	فرم رویشی
Plantaginaceae	Plantago lanceolata L.	بارهنگ نیزه‌ای	علفی
Asteraceae = Compositae	Artemisia haussknechtii Boiss.	درمنه زاگرسی	بوته‌ای
Poaceae = Gramineae	Bromus tomentellus Boiss.	علف پشمکی	علفی
Plumbaginaceae	Acantholimon olivieri (Jaub. & Spach) Boiss.	کلاه میرحسن	بوته‌ای
Scrophullariaceae	Verbascum speciosum Schrad.	گل ماهور	بوته‌ای
Fabaceae = Papilionaceae	Astragalus (Tragacantha) gossypinus Fisch.ex Hoh	گون سفید	بوته‌ای

نتایج

نتایج بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد با توجه به میانگین pH (۷/۴۲)، خاک منطقه کمی‌قلیایی با بافت لومی شنی بوده و مواد آلی آن با میانگین ۲/۳۹ درصد، از مقدار مناسبی برخوردار است. همچنین میانگین EC با ۰/۴۳ دسی‌زیمنس بر متر، نشان‌دهنده قرار گرفتن خاک منطقه در رده خاک‌های معمولی است (جدول ۲). نتایج حاکی از آن است که بین مقادیر غلظت عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد به نحوی که میزان غلظت عناصر در نمونه‌های خاک به ترتیب منگنز>نیکل >سرب>روی> کروم>کادمیوم بوده و به صورت ایستگاه چهار<ایستگاه یک<ایستگاه دو<ایستگاه سه افزایش نشان می‌دهد (جدول ۳).

جدول ۲: مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک.

ایستگاه	بافت	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	شوری (dS/m-1)	اسیدیته	آهک (٪)	مواد آلی (٪)	کربن آلی (٪)	ازت کل (٪)	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)
۱	لومی شنی	۱۶/۲	۲۶/۹	۵۶/۹	۰/۴۵	۷/۴۸	۴۲/۵	۲/۵۱	۰/۷۷	۰/۲۴	۲۶۰	۸/۲
۲	لومی شنی	۱۵/۱	۲۰/۵	۶۴/۴	۰/۴۳	۷/۳۵	۵۱	۲/۲۲	۰/۸۰	۰/۳۰	۲۷۵	۷/۵
۳	لومی شنی	۱۵/۵	۱۸/۷	۶۵/۸	۰/۳۹	۷/۲۴	۴۸/۴	۲/۱۲	۰/۶۵	۰/۲۷	۲۵۰	۶/۱
۴	لومی شنی	۱۳/۱	۱۵/۸	۷۱/۱	۰/۴۸	۷/۶۲	۳۸/۵	۲/۷۱	۰/۷۳	۰/۵۱	۲۶۵	۱۰/۸

جدول ۳: میزان غلظت عناصر بالقوه سمّی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک.

ایستگاه	روی	سرب	کادمیوم	کروم	منگنز	نیکل
۱	۱۶۴/۷۵ ^{d} ±۰/۷	۱۸۱/۲ ^{c} ±۱/۴	۱۴۲/۹۸ ^{f} ±۰/۱۵	۱۵۵/۹۵ ^{e} ±۱/۰۱	۲۵۳/۲۹ ^{a} ±۰/۱۲	۲۱۴/۱۲ ^{b} ±۱/۱
۲	۱۷۵/۲۰ ^{d} ±۰/۳۱	۱۹۷/۸۵ ^{c} ±۰/۲۶	۱۵۰/۴۱ ^{f} ±۰/۱۲	۱۵۹/۱۷ ^{e} ±۰/۱۵	۲۷۹/۷۳ ^{a} ±۲/۱	۲۶۳/۶۱ ^{b} ±۰/۹
۳	۱۹۶/۱ ^{d} ±۰/۵	۲۴۷/۵ ^{c} ±۲/۴	۱۵۷/۰۶ ^{f} ±۰/۱۳	۱۷۱/۲ ^{e} ±۰/۶	۴۱۰/۳ ^{a} ±۱/۳	۳۵۳/۵ ^{b} ±۰/۸
۴	۸۳/۷ ^{d} ±۰/۸	۹۲/۰۶ ^{c} ±۰/۰۵	۷۶/۲۸ ^{e} ±۰/۰۷	۷۸/۱۱ ^{e} ±۰/۲۱	۱۶۶/۶۳ ^{a} ±۰/۹	۱۰۷/۴۱ ^{b} ±۰/۰۱

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. میانگین‌های دارای حروف مشابه در یـک سـطر، اخـتلاف آمـاری معنـی‌دار ندارنـد. مقـادیر نشان‌دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس نشان داد که اثر ایستگاه، گونه گیاهی و تأثیر متقابل این دو پارامتر بر غلظت عناصر بالقوه سمّی در بافت هوایی (برگ و ساقه) و زیرزمینی (ریشه) گیاهان در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار است (جدول ۴). نتایج حاکی از آن است که بیش‌ترین میزان غلظت عناصر بالقوه سمّی در بافت هوایی (برگ و ساقه) گون سفید و به ترتیب منگنز>نیکل >سرب>روی> کروم>کادمیوم بوده و گونه‌های کلاه میرحسن، گل ماهور، علف پشمکی، درمنه زاگرسی و بارهنگ نیزه‌ای به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بیش‌ترین مقدار غلظت فلزات مربوط به منگنز و ایستگاه سه با ۹۳/۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گون سفید و کم‌ترین مقدار این عناصر مربوط به کادمیوم و ایستگاه چهار با ۰/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در بارهنگ نیزه‌ای مشاهده شد (جدول ۵).

نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان غلظت عناصر بالقوه سمّی در بافت زیرزمینی (ریشه) علف پشمکی و به ترتیب منگنز> نیکل > سرب> روی> کروم> کادمیوم بوده و گونه‌های کلاه میرحسن، گل ماهور، گون سفید، بارهنگ نیزه‌ای و درمنه زاگرسی به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. بیش‌ترین مقدار غلظت فلزات مربوط به منگنز و ایستگاه سه با ۳۰/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در علف پشمکی و کم‌ترین مقدار این عناصر مربوط به کادمیوم و ایستگاه چهار با ۴/۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در درمنه زاگرسی مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۴: تجزیه واریانس غلظت عناصر بالقوه سمّی در بافت گیاهان تحت تأثیر ایستگاه و گونه.

منبع تغییرات	درجه آزادی	بافت هوایی		بافت زیرزمینی	
		میانگین مربعات	*F*	میانگین مربعات	*F*
ایستگاه	۳	۳۴۴/۸۳	۶۸۹۶۶۰*	۲۳۰/۲۷	۵۷۵۶۷۵*
گونه گیاهی	۵	۳۲/۰۹	۶۴۱۸۰*	۲۲/۲۳	۵۵۵۷۵*
ایستگاه × گونه گیاهی	۱۵	۱/۲۱	۲۴۲۰*	۰/۹۱	۲۲۷۵*
خطا	۸۴۱	۰/۰۰۰۵		۰/۰۰۰۴	
کل	۸۶۳				

*معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد.

جدول ۵: میزان غلظت عناصر بالقوه سمّی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در وزن خشک بافت هوایی (برگ و ساقه) گیاهان.

گونه گیاهی	ایستگاه	روی	سرب	کادمیوم	کروم	منگنز	نیکل
بارهنگ نیزه‌ای	۱	۳/۲۳ ^{d} ±۰/۰۵	۵/۳۹ ^{c} ±۰/۳	۰/۷۰ ^{e} ±۰/۰۴	۰/۷۹ ^{e} ±۰/۱	۸/۶۳ ^{a} ±۰/۰۳	۶/۴۸ ^{b} ±۰/۰۱
	۲	۵/۵۴ ^{d} ±۰/۶	۷/۱۰ ^{c} ±۰/۷	۰/۹۷ ^{e} ±۰/۲	۱/۵۹ ^{e} ±۰/۰۲	۱۲/۹۷ ^{a} ±۰/۱۰	۱۰/۰۱ ^{b} ±۰/۲
	۳	۸/۲۶ ^{d} ±۱/۱	۱۲/۶۰ ^{c} ±۰/۰۲	۱/۲۰ ^{e} ±۰/۵	۲/۶۷ ^{e} ±۰/۱۳	۱۹/۴۱ ^{a} ±۰/۰۵	۱۵/۲۵ ^{b} ±۰/۱۴
	۴	۱/۱۴ ^{b} ±۰/۰۰	۱/۴۳ ^{b} ±۰/۱	۰/۶۴ ^{c} ±۰/۰۱	۰/۷۴ ^{c} ±۰/۰۱	۲/۰۳ ^{a} ±۰/۰۱	۱/۹۸ ^{a} ±۰/۲
درمنه زاگرسی	۱	۴/۹۶ ^{d} ±۰/۱	۸/۲۹ ^{c} ±۰/۰۸	۱/۳۷ ^{e} ±۰/۰۱	۱/۶۶ ^{e} ±۰/۰۲	۱۳/۳۷ ^{a} ±۰/۵	۱۰/۱۴ ^{b} ±۰/۱۲
	۲	۸/۴۳ ^{d} ±۰/۴	۱۰/۸۱ ^{c} ±۰/۰۱	۲/۵۵ ^{e} ±۰/۰۴	۳/۳۴ ^{e} ±۰/۱	۱۹/۲۶ ^{a} ±۰/۰۲	۱۵/۱۲ ^{b} ±۰/۳
	۳	۱۲/۸۹ ^{d} ±۱/۰۲	۱۸/۲۳ ^{c} ±۰/۵	۳/۶۲ ^{e} ±۰/۱۱	۴/۰۶ ^{e} ±۰/۱۱	۲۷/۵۸ ^{a} ±۱/۱	۲۲/۲۴ ^{b} ±۱/۵
	۴	۱/۱۱ ^{b} ±۰/۰۳	۱/۰۵ ^{b} ±۰/۰۶	۰/۷۳ ^{c} ±۰/۰۲	۰/۸۱ ^{c} ±۰/۰۳	۲/۲۱ ^{a} ±۰/۰۱	۱/۹۵ ^{a} ±۰/۰۱
علف پشمکی	۱	۵/۸۹ ^{d} ±۰/۱	۹/۸۰ ^{c} ±۰/۰۳	۱/۲۱ ^{e} ±۰/۰۱	۱/۴۵ ^{e} ±۰/۵	۱۶/۰۶ ^{a} ±۰/۱	۱۲/۱۵ ^{b} ±۰/۰۲
	۲	۱۰/۰۸ ^{d} ±۰/۱۴	۱۲/۹۱ ^{c} ±۰/۸	۱/۷۸ ^{e} ±۰/۰۵	۲/۸۹ ^{e} ±۰/۲	۲۳/۴۱ ^{a} ±۰/۰۳	۱۸/۳۱ ^{b} ±۱/۱
	۳	۱۵/۰۳ ^{d} ±۰/۰۹	۲۲/۹۲ ^{c} ±۰/۱۶	۲/۱۹ ^{f} ±۰/۰۲	۴/۸۶ ^{e} ±۰/۰۱	۳۵/۱۱ ^{a} ±۰/۱۷	۲۷/۴۹ ^{b} ±۰/۳
	۴	۲/۲۶ ^{b} ±۰/۱	۲/۹۸ ^{b} ±۰/۰۱	۱/۲۳ ^{c} ±۰/۱	۱/۳۶ ^{c} ±۰/۰۰	۳/۶۹ ^{a} ±۰/۴	۳/۲۵ ^{a} ±۰/۰۵
کلاه میرحسن	۱	۱۱/۵۱ ^{d} ±۰/۳	۱۹/۲۱ ^{c} ±۰/۱	۳/۱۸ ^{e} ±۰/۱	۳/۸۶ ^{e} ±۰/۰۲	۳۰/۹۷ ^{a} ±۰/۰۳	۲۳/۴۸ ^{b} ±۲/۰۱
	۲	۲۰/۲۱ ^{d} ±۰/۱	۲۵/۰۲ ^{c} ±۰/۵	۵/۹۱ ^{e} ±۰/۱۳	۷/۱۵ ^{e} ±۰/۰۱	۴۴/۶۰ ^{a} ±۰/۵	۳۵/۰۱ ^{b} ±۰/۰۲
	۳	۲۹/۸۵ ^{d} ±۰/۰۲	۴۲/۲۰ ^{c} ±۰/۷	۸/۳۹ ^{e} ±۰/۰۱	۹/۴۳ ^{e} ±۰/۰۷	۶۳/۸۵ ^{a} ±۱/۱۳	۵۱/۴۱ ^{b} ±۰/۰۶
	۴	۲/۷۸ ^{b} ±۰/۱	۲/۴۴ ^{b} ±۰/۰۳	۱/۲۸ ^{c} ±۰/۴	۱/۴۹ ^{c} ±۰/۳	۳/۴۹ ^{a} ±۰/۰۶	۳/۱۱ ^{a} ±۰/۱
گل ماهور	۱	۸/۲۸ ^{d} ±۰/۱۲	۱۳/۸۳ ^{c} ±۰/۵	۲/۲۸ ^{e} ±۰/۴	۲/۷۷ ^{e} ±۰/۳	۲۲/۲۹ ^{a} ±۰/۸	۱۶/۹۰ ^{b} ±۱/۲
	۲	۱۴/۵۵ ^{d} ±۰/۷	۱۸/۰۱ ^{c} ±۰/۰۱	۴/۲۵ ^{e} ±۰/۰۹	۵/۵۷ ^{e} ±۰/۰۷	۳۲/۱۱ ^{a} ±۱/۱	۲۵/۲۰ ^{b} ±۰/۷
	۳	۲۱/۴۹ ^{d} ±۰/۰۴	۳۰/۳۸ ^{c} ±۰/۶	۶/۰۴ ^{e} ±۰/۱۱	۶/۷۸ ^{e} ±۰/۴	۴۵/۹۷ ^{a} ±۰/۵	۳۷/۰۸ ^{b} ±۰/۳
	۴	۱/۹۸ ^{b} ±۰/۰۱	۱/۷۵ ^{b} ±۰/۲	۰/۹۲ ^{c} ±۰/۰۰	۱/۰۷ ^{c} ±۰/۰۲	۲/۴۴ ^{a} ±۰/۱	۲/۱۶ ^{a} ±۰/۰۱

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

گون سفید	۱	۱۴/۸۳ ^{d} ±۰/۰۱	۲۵/۹۵ ^{c} ±۰/۰۵	۴/۳۲ ^{e} ±۰/۷	۵/۵۶ ^{e} ±۰/۰۲	۴۲/۸۳ ^{a} ±۱/۳	۳۲/۲۸ ^{b} ±۰/۶
	۲	۲۶/۹۳ ^{d} ±۱/۲	۳۳/۸۱ ^{c} ±۰/۱	۶/۸۵ ^{e} ±۰/۲	۸/۷۰ ^{e} ±۰/۱	۶۰/۱۵ ^{a} ±۰/۴	۴۷/۶۵ ^{b} ±۰/۱
	۳	۴۱/۹۲ ^{d} ±۰/۱	۶۰/۰۳ ^{c} ±۰/۲۱	۹/۱۴ ^{e} ±۰/۴	۱۱/۲۷ ^{e} ±۰/۵	۹۳/۹۷ ^{a} ±۱/۱	۷۳/۳۶ ^{b} ±۰/۰۳
	۴	۳/۳۱ ^{b} ±۰/۳	۳/۶۷ ^{b} ±۰/۳	۱/۰۳ ^{c} ±۰/۰۳	۱/۵۸ ^{c} ±۰/۰۱	۴/۴۲ ^{a} ±۰/۰۱	۴/۱۷ ^{a} ±۰/۳

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک سطر، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند. مقادیر نشان‌دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند.

جدول ۶: میزان غلظت عناصر بالقوه سمّی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در وزن خشک بافت زیرزمینی (ریشه) گیاهان.

گونه گیاهی	ایستگاه	روی	سرب	کادمیوم	کروم	منگنز	نیکل
بارهنگ نیزه‌ای	۱	۶/۹۷ ^{d} ±۰/۹	۸/۴۶ ^{c} ±۰/۱۱	۴/۵۷ ^{e} ±۰/۴	۴/۸۵ ^{e} ±۰/۱۵	۱۰/۴۸ ^{a} ±۰/۰۲	۹/۳۵ ^{b} ±۰/۴
	۲	۸/۴۱ ^{d} ±۰/۰۴	۱۰/۱۳ ^{c} ±۰/۲	۵/۱۶ ^{e} ±۰/۱۲	۵/۲۵ ^{e} ±۰/۰۴	۱۷/۲۴ ^{a} ±۰/۳	۱۱/۹۴ ^{b} ±۰/۷
	۳	۱۰/۳۹ ^{d} ±۰/۰۶	۱۳/۵۹ ^{c} ±۰/۰۱	۵/۶۸ ^{e} ±۰/۰۱	۵/۸۲ ^{e} ±۰/۱	۱۸/۷۱ ^{a} ±۰/۱۸	۱۵/۵۰ ^{b} ±۱/۱
	۴	۵/۷۱ ^{b} ±۱/۰۳	۶/۵۷ ^{b} ±۰/۰۷	۴/۴۳ ^{c} ±۰/۰۵	۴/۵ ^{c} ±۰/۰۱	۷/۹۴ ^{a} ±۰/۱	۷/۱ ^{a} ±۰/۰۲
درمنه زاگرسی	۱	۵/۸۶ ^{d} ±۰/۰۲	۶/۹۳ ^{c} ±۰/۱	۴/۳۷ ^{e} ±۰/۱۶	۴/۵۴ ^{e} ±۰/۵	۸/۴۲ ^{a} ±۰/۲۱	۷/۳۸ ^{b} ±۰/۱
	۲	۶/۸۵ ^{d} ±۰/۶	۸/۲۶ ^{c} ±۰/۰۳	۴/۷۴ ^{e} ±۰/۳	۴/۸۲ ^{e} ±۰/۰۲	۱۲/۱۷ ^{a} ±۰/۰۶	۹/۱۴ ^{b} ±۰/۰۳
	۳	۱۰/۱۳ ^{d} ±۰/۱	۱۰/۱۹ ^{c} ±۰/۹	۵/۰۵ ^{e} ±۰/۱	۵/۱۲ ^{e} ±۰/۱۲	۱۳/۵۱ ^{a} ±۰/۰۱	۱۱/۴۳ ^{b} ±۰/۱۶
	۴	۴/۸۹ ^{b} ±۰/۳	۵/۳۴ ^{b} ±۰/۱	۴/۲۲ ^{c} ±۰/۰۲	۴/۲۳ ^{c} ±۰/۰۷	۶/۱ ^{a} ±۰/۰۱	۵/۶ ^{a} ±۰/۰۲
علف پشمکی	۱	۹/۴۱ ^{d} ±۰/۲	۱۲/۰۱ ^{c} ±۰/۰۱	۵/۰۵ ^{e} ±۰/۰۶	۵/۵۵ ^{e} ±۰/۱۴	۱۶/۴۵ ^{a} ±۰/۵	۱۳/۷۴ ^{b} ±۰/۱۳
	۲	۱۲/۰۳ ^{d} ±۰/۰۷	۱۶/۰۲ ^{c} ±۰/۰۶	۶/۱۱ ^{e} ±۰/۱	۶/۲۹ ^{e} ±۰/۱	۲۸/۰۹ ^{a} ±۰/۰۲	۱۸/۴۵ ^{b} ±۰/۰۴
	۳	۱۵/۶۳ ^{d} ±۰/۱۶	۲۱/۴۵ ^{c} ±۰/۸	۷/۰۶ ^{e} ±۰/۳	۷/۳۲ ^{e} ±۰/۰۴	۳۰/۷۵ ^{a} ±۱/۲	۲۴/۹۱ ^{b} ±۰/۲
	۴	۷/۱۲ ^{b} ±۰/۴	۸/۶۸ ^{b} ±۰/۰۳	۴/۷۸ ^{c} ±۰/۰۲	۴/۸۹ ^{c} ±۰/۶	۱۱/۱۷ ^{a} ±۰/۱	۹/۶۱ ^{a} ±۰/۰۱
کلاه میرحسن	۱	۸/۴۶ ^{d} ±۰/۰۱	۱۰/۶۷ ^{c} ±۰/۲	۴/۸۶ ^{e} ±۰/۱۱	۵/۲۶ ^{e} ±۰/۳	۱۴/۲۴ ^{a} ±۰/۱	۱۲/۸۲ ^{b} ±۰/۰۲
	۲	۱۰/۶۱ ^{d} ±۰/۱۴	۱۳/۸۸ ^{c} ±۰/۰۶	۵/۷۳ ^{e} ±۰/۰۱	۵/۹۲ ^{e} ±۰/۵	۲۲/۹۳ ^{a} ±۰/۳	۱۵/۹۱ ^{b} ±۰/۸
	۳	۱۳/۵۷ ^{d} ±۰/۰۵	۱۸/۳۶ ^{c} ±۰/۴	۶/۵۲ ^{e} ±۰/۰۲	۶/۷۴ ^{e} ±۰/۱	۲۶/۰۲ ^{a} ±۰/۶	۲۱/۲۲ ^{b} ±۱/۴
	۴	۶/۰۸ ^{b} ±۰/۱	۷/۱۲ ^{b} ±۰/۰۱	۴/۵۱ ^{c} ±۰/۰۳	۴/۵۴ ^{c} ±۰/۰۱	۸/۷۸ ^{a} ±۰/۰۲	۷/۷۴ ^{a} ±۰/۱
گل ماهور	۱	۷/۱۱ ^{d} ±۰/۴	۸/۹۷ ^{c} ±۰/۰۳	۴/۶۳ ^{e} ±۰/۱	۴/۹۶ ^{e} ±۰/۰۸	۱۱/۳۷ ^{a} ±۰/۰۲	۹/۷۲ ^{b} ±۱/۰۱
	۲	۸/۷۵ ^{d} ±۰/۱	۱۱/۱۱ ^{c} ±۰/۹	۵/۲۴ ^{e} ±۰/۱۲	۵/۳۸ ^{e} ±۰/۱	۱۸/۱۷ ^{a} ±۰/۱۴	۱۲/۵۷ ^{b} ±۰/۰۱
	۳	۱۰/۸۹ ^{d} ±۰/۱۲	۱۴/۳۳ ^{c} ±۰/۱	۵/۸۴ ^{e} ±۰/۰۱	۵/۹۵ ^{e} ±۰/۰۲	۲۰/۱۸ ^{a} ±۰/۰۸	۱۶/۳ ^{b} ±۰/۵
	۴	۵/۴۹ ^{b} ±۰/۷	۶/۲۴ ^{b} ±۰/۰۵	۴/۳۶ ^{c} ±۰/۰۱	۴/۳۸ ^{c} ±۰/۴	۷/۴۴ ^{a} ±۰/۱	۶/۶۱ ^{a} ±۰/۳
گون سفید	۱	۷/۰۷ ^{d} ±۰/۰۶	۸/۸۹ ^{c} ±۰/۰۱	۴/۹۹ ^{e} ±۰/۱۵	۴/۹۱ ^{e} ±۰/۰۱	۱۱/۳۲ ^{a} ±۰/۵	۹/۶۳ ^{b} ±۰/۱۲
	۲	۸/۷۲ ^{d} ±۱/۱	۱۱/۰۵ ^{c} ±۰/۰۴	۵/۶۳ ^{e} ±۰/۱	۵/۳۵ ^{e} ±۰/۴	۱۷/۶۳ ^{a} ±۰/۱۶	۱۲/۴۳ ^{b} ±۰/۴
	۳	۱۰/۸۳ ^{d} ±۰/۱۳	۱۴/۲۶ ^{c} ±۰/۳	۵/۹۸ ^{e} ±۰/۰۸	۵/۹۲ ^{e} ±۰/۰۷	۱۹/۸۵ ^{a} ±۰/۲	۱۶/۱ ^{b} ±۰/۰۶
	۴	۵/۲۴ ^{b} ±۰/۰۱	۵/۸۷ ^{b} ±۰/۰۱	۴/۸۱ ^{c} ±۰/۰۰	۴/۳۳ ^{c} ±۰/۲	۶/۹۱ ^{a} ±۰/۰۳	۶/۳ ^{a} ±۰/۰۲

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است. میانگین‌های دارای حروف مشابه در یک سطر، اختلاف آماری معنی‌دار ندارند. مقادیر نشان‌دهنده میانگین همراه با انحراف معیار می‌باشند.

نتایج شاخص‌های تغلیظ زیستی (BCF)، تجمع زیستی (BAF) و انتقال (TF) عناصر بالقوه سمّی در گونه‌های گیاهی مورد بررسی در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقادیر BCF و BAF عناصر مورد مطالعه برای همه گونه‌های گیاهی کوچک‌تر از یک بوده و به ترتیب بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱ و ۰/۱ تا ۱ قرار گرفت. هم‌چنین نتایج حاکی از آن است بر مبنای مقادیر شاخص TF بزرگ‌تر از یک، گون سفید برای عناصر منگنز، نیکل، سرب، روی و کروم به ترتیب با ۳/۶۱، ۳/۵۴، ۳/۰۸، ۲/۷۳ و ۱/۳۲، کلاه میرحسن برای عناصر منگنز، نیکل، سرب و روی به ترتیب با ۱/۹۸، ۱/۹۵، ۱/۷۷ و ۱/۶۶، گل ماهور برای عناصر نیکل، منگنز، سرب و روی به ترتیب با ۱/۸، ۱/۷۹، ۱/۵۷ و ۱/۴۳ و درمنه زاگرسی برای عناصر منگنز، نیکل و سرب به ترتیب با ۱/۵۵، ۱/۴۷ و ۱/۲۴، بیش‌ترین ضریب انتقال را دارا بوده‌اند و توانسته‌اند این عناصر را از ریشه به ساقه و برگ خود انتقال دهند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

جدول ۷: مقادیر شاخص‌های BCF، BAF و TF در گونه‌های گیاهی مورد مطالعه.

گونه گیاهی	روی			سرب			کادمیوم			کروم			منگنز			نیکل		
	BCF	BAF	TF	BCF	BAF	TF	BCF	BAF	TF	BCF	BAF	TF	BCF	BAF	TF	BCF	BAF	TF
بارهنگ نیزه‌ای	^{a}۰/۰۵۰	^{c}۰/۰۲۹	^{f}۰/۵۷	^{b}۰/۰۵۳	^{c}۰/۰۳۶	^{f}۰/۶۸	^{a}۰/۰۳۷	^{b}۰/۰۰۶	^{f}۰/۱۷	^{a}۰/۰۳۶	^{b}۰/۰۱۰	^{f}۰/۲۸	^{b}۰/۰۴۸	^{c}۰/۰۳۸	^{f}۰/۷۹	^{b}۰/۰۴۶	^{c}۰/۰۳۵	^{f}۰/۷۶
درمنه زاگرسی	^{b}۰/۰۴۴	^{c}۰/۰۴۴	^{d}۰/۹۸	^{b}۰/۰۴۲	^{b}۰/۰۵۳	^{d}۱/۲۴	^{b}۰/۰۳۴	^{b}۰/۰۱۵	^{d}۰/۴۴	^{a}۰/۰۳۳	^{b}۰/۰۱۷	^{d}۰/۵۲	^{b}۰/۰۳۶	^{c}۰/۰۵۶	^{d}۱/۵۵	^{b}۰/۰۳۵	^{b}۰/۰۵۲	^{d}۱/۴۷
علف پشمکی	^{a}۰/۰۷۱	^{b}۰/۰۵۳	^{e}۰/۷۵	^{a}۰/۰۸۰	^{b}۰/۰۶۷	^{e}۰/۸۳	^{a}۰/۰۴۳	^{b}۰/۰۱۲	^{e}۰/۲۷	^{a}۰/۰۴۲	^{b}۰/۰۱۸	^{e}۰/۴۳	^{a}۰/۰۷۷	^{b}۰/۰۷۰	^{e}۰/۹۰	^{a}۰/۰۷۱	^{b}۰/۰۶۵	^{e}۰/۹۱
کلاه میرحسن	^{a}۰/۰۶۲	^{a}۰/۱۰۳	^{b}۱/۶۶	^{a}۰/۰۶۹	^{a}۰/۱۲۳	^{b}۱/۷۷	^{a}۰/۰۴۱	^{a}۰/۰۳۵	^{b}۰/۸۶	^{a}۰/۰۳۹	^{a}۰/۰۳۸	^{b}۰/۹۷	^{a}۰/۰۶۴	^{a}۰/۱۲۸	^{b}۱/۹۸	^{a}۰/۰۶۱	^{a}۰/۱۲۰	^{b}۱/۹۵
گل ماهور	^{a}۰/۰۵۲	^{b}۰/۰۷۴	^{c}۱/۴۳	^{b}۰/۰۵۶	^{b}۰/۰۸۹	^{c}۱/۵۷	^{a}۰/۰۳۸	^{a}۰/۰۲۵	^{c}۰/۶۷	^{a}۰/۰۳۶	^{a}۰/۰۲۸	^{b}۰/۷۸	^{b}۰/۰۵۱	^{b}۰/۰۹۲	^{c}۱/۷۹	^{b}۰/۰۴۸	^{b}۰/۰۸۶	^{c}۱/۸
گون سفید	^{a}۰/۰۵۱	^{a}۰/۱۴۰	^{a}۲/۷۳	^{b}۰/۰۵۵	^{a}۰/۱۷۱	^{a}۳/۰۸	^{a}۰/۰۴۰	^{a}۰/۰۴۰	^{a}۰/۹۹	^{a}۰/۰۳۶	^{a}۰/۰۴۸	^{a}۱/۳۲	^{b}۰/۰۵۰	^{a}۰/۱۸۱	^{a}۳/۶۱	^{b}۰/۰۴۷	^{a}۰/۱۶۷	^{a}۳/۵۴

حروف مختلف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

بحث و نتیجه‌گیری

خاک به عنوان منبع عناصر بالقوه سمّی و گیاه به دلیل پراکنش و حضور ثابت در یک منطقه، ابزارهای محیطی مفیدی برای سنجش آلودگی آلاینده‌های فلزی محسوب می‌گردند. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت اکثر عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه بیشتر از حد متوسط این عناصر در خاک است. دامنه نرمال غلظت روی، سرب، کادمیوم، کروم، منگنز و نیکل در خاک‌ها به ترتیب ۵۰، ۱۰، ۰/۰۶، ۱۰۰، ۶۰۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در پوسته زمین به ترتیب ۶۷، ۱۷، ۰/۱، ۶۹، ۹۵۰ و ۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (دریواسی و همکاران، ۱۳۹۴). این در حالی است که میانگین غلظت روی، سرب، کادمیوم، کروم، منگنز و نیکل در نمونه‌های خاک منطقه به ترتیب ۱۵۴/۹۳، ۱۷۹/۶۵، ۱۳۱/۶۸، ۱۴۱/۱۰، ۲۷۷/۴۸ و ۲۳۴/۶۶ بوده و به این معنا است که خاک منطقه از نظر این عناصر آلوده بوده و به نظر می‌رسد که دارای منشأ انسانی است. علت این موضوع را می‌توان به قرار گرفتن سراب گاماسیاب در مجاورت کارخانه سیمان نهاوند به عنوان مهم‌ترین منبع آلودگی عناصر بالقوه سمّی در منطقه ارتباط داد. در فرآیند تولید سیمان که شامل مراحل گوناگونی نظیر حرارت‌دهی، کلینگرسازی، خنک کردن کلینگر و انبار کردن سیمان است، گردوغبار زیادی تولید می‌شود که حاوی عناصر فلزی متعددی است؛ بنابراین کارخانه سیمان عامل افزایش غلظت عناصر بالقوه سمّی در خاک اطراف می‌تواند باشد. دریواسی و همکاران (۱۳۹۴) و کریمی‌سورند و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که غلظت عناصر بالقوه سمّی در اراضی اطراف کارخانه‌های سیمان بالاتر از مقدار میانگین در استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا و پوسته زمین است که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

نتایج نشان داد که بین ایستگاه‌های مورد مطالعه از حیث محتوی عناصر بالقوه سمّی در نمونه‌های خاک اختلاف معنی‌دار آماری ($p<0/05$) وجود داشته و به ترتیب کادمیوم<کروم<روی<سرب<نیکل< منگنز و ایستگاه چهار<ایستگاه یک<ایستگاه دو<ایستگاه سه افزایش نشان می‌دهد. افزایش غلظت عناصر در نمونه‌های خاک ایستگاه سه را می‌توان به دلیل استقرار این محل در مجاورت کارخانه سیمان مرتبط دانست. این در حالی است که کمترین مقادیر غلظت عناصر در نمونه‌های خاک ایستگاه چهار و با فاصله گرفتن از منبع آلودگی (کارخانه سیمان) مشاهده شد. در تأیید نتایج حاصل، Oludoye و Ogunyebi (۲۰۱۷) و سلگی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که بالاترین مقدار تجمع عناصر فلزی در خاک، در نزدیک کارخانه سیمان اتفاق افتاده است و با افزایش فاصله از کارخانه، غلظت عناصر به صورت لگاریتمی کاهش می‌یابد.

نتایج سنجش میانگین محتوی عناصر در نمونه‌های گیاهی نشان داد که بیشینه غلظت منگنز، نیکل، سرب، روی، کروم و کادمیوم در ایستگاه سه و به ترتیب ۹۳/۹۷، ۷۳/۳۶، ۶۰/۰۳، ۴۱/۹۲، ۱۱/۲۷ و ۹/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به بافت هوایی (برگ و ساقه) گون سفید و به ترتیب ۳۰/۷۵، ۲۴/۹۱، ۲۱/۴۵، ۱۵/۶۳، ۷/۳۲ و ۷/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به بافت زیرزمینی (ریشه) علف پشمکی بود. در این رابطه می‌توان اذعان داشت که محتوی عناصر در نمونه‌های گیاهی به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع گونه و بافت‌های مختلف گیاهی است. Malinowska و همکاران (۲۰۱۵)، Zhang و همکاران (۲۰۱۶) و Wang و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند که

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

گونه‌های مختلف گیاهی بسته به ویژگی‌های ریخت‌شناسی و وراثتی، مقادیر متفاوتی از عناصر فلزی را انباشته می‌کنند. همچنین Li و همکاران (۲۰۰۷) و Taskila و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی تجمع فلزات سنگین در گیاهان اذعان داشتند که تفاوت در محتوی انباشت عناصر فلزی در اندام‌های مختلف گیاهی ممکن است به دلیل روش‌های مختلف جذب فلزات در خاک و ریشه گیاهان باشد.

امروزه از توانایی گیاهان برای جذب، انباشت و تجزیه آلاینده‌ها، یا به عنوان نشانگرهای زیستی به منظور ارزیابی محیط‌های آلوده استفاده می‌شود. در این خصوص، بررسی دقیق پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به سبب فعالیت‌های انسانی آلوده محسوب می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و می‌تواند منجر به شناسایی گونه‌های گیاهی برای پایش و پالایش آلاینده‌های محیطی شود. بدین منظور شاخص‌های BCF، BAF و TF به عنوان عوامل اصلی تعیین‌کننده توانایی گیاه در جذب و انتقال عناصر از خاک، مهم‌ترین ابزارها در فرآیند گیاه‌پالایی محسوب می‌شوند (Haghnazar *et al.*, 2023). در این فرآیند، گیاهان در مواجهه با عناصر بالقوه سمّی از سازوکارهای دفاعی کنترل‌کننده بهره می‌برند که از جمله آن‌ها می‌توان به استخراج گیاهی (Phytoextraction)، تثبیت گیاهی (Phytostabilization)، تجزیه گیاهی (Phytodegradation)، تبخیر گیاهی (Phytovolatilization) و تصفیه ریشه‌ای (Rhizofiltration) اشاره نمود (Yan *et al.*, 2020). بر این اساس، گیـــاهان با TF و BAF بزرگ‌تر از یک، برای استخراج گیاهی و گیاهان دارای TF کوچک‌تر از یک و BCF بزرگ‌تر از یک، برای تثبیت گیاهی مناسب هستند. هم‌چنین گیـــاهان با TF بزرگ‌تر از یک و BAF کوچک‌تر از یک دارای عملکرد خوب در استخراج و انتقال عنصر از ریشه به اندام هوایی خود بوده و تحمل و سازگاری مطلوبی در مواجهه با غلظت بالای فلز از خود نشان می‌دهند (Yoon *et al.*, 2006; Sasmaz, 2008; Aghelan *et al.*, 2020). نتایج این مطالعه نشان داد که مقادیر BCF و BAF عناصر مورد مطالعه برای همه گونه‌های گیاهی کوچک‌تر از یک بود. در پژوهش حاضر مقادیر شاخص BCF در گونه‌های گیاهی برای عناصر مورد بررسی بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱ است که براساس طبقه‌بندی Kabata-Pendias و Dudka (۱۹۹۱) و Malinowska و همکاران (۲۰۱۵) دارای جذب خیلی ضعیف هستند. این در حالی است که مقادیر شاخص TF گون سفید برای عناصر منگنز، نیکل، سرب، روی و کروم، کلاه میرحسن و گل ماهور برای عناصر منگنز، نیکل، سرب و روی و درمنه زاگرسی برای عناصر منگنز، نیکل و سرب بزرگ‌تر از یک بود. این نتایج حاکی از آن است که جذب و توزیع فلزات در بین بافت‌های مختلف گیاهی نه تنها تحت تأثیر محتوی عنصر در محیط است، بلکه به نقش متابولیکی فلز در گیاه و سازوکارهای مرتبط با آن نیز بستگی دارد (Serafini *et al.*, 2022). از آنجا که مقادیر TF و BAF گونه‌های گون سفید، کلاه میرحسن و گل ماهور برای عناصر منگنز، نیکل، سرب و روی و درمنه زاگرسی برای عناصر منگنز، نیکل و سرب، به ترتیب بزرگ‌تر و کوچک‌تر از یک بود، می‌توان نتیجه گرفت که این گونه‌ها دارای عملکرد خوبی در استخراج و انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی خود بوده و تحمل و سازگاری مطلوبی در مواجهه با غلظت بالای فلز از خود نشان داده‌اند. Orisakwe و همکاران (۲۰۱۲) در ارزیابی توانایی گیاهان در جذب و پالایش عناصر سمّی، با استناد به میانگین محتوی عناصر در اندام‌های گیاهان بومی و مرتعی، آنها را گزینه‌ای مناسب برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده معرفی کردند.

آلودگی خاک به عناصر بالقوه سمّی به دلیل پراکنش گسترده، تجمع زیستی بالا و نیمه‌عمر زیستی طولانی سبب تهدید جنبه‌های کمی و کیفی امنیت غذایی شده و سلامتی انسان و سایر موجودات زنده را به خطر می‌اندازد. امروزه به‌کارگیری گیاهان، از روش‌های معمول پایش و پالایش این عناصر در محیط است. ضمن اینکه پتانسیل و کارایی این روش‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که غلظت عناصر روی، سرب، کادمیوم، کروم، منگنز و نیکل در نمونه‌های خاک و گیاه در محدوده نزدیک به منبع آلودگی (کارخانه سیمان نهاوند) به‌طور معنی‌داری روند افزایشی داشته است. از طرفی میانگین غلظت فلزات مورد مطالعه در نمونه‌های خاک منطقه بیشتر از حد متوسط این عناصر در خاک بود. همچنین مقادیر شاخص‌های BCF، BAF و TF، بیانگر آن بود که گونه‌های گون سفید، کلاه میرحسن و گل ماهور برای عناصر منگنز، نیکل، سرب و روی و درمنه زاگرسی برای عناصر منگنز، نیکل و سرب، دارای عملکرد خوبی در استخراج و انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی خود بوده‌اند. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های صنعتی انسان بر محتوی عناصر بالقوه سمّی خاک و گیاهان به‌ویژه در مناطق نزدیک به منبع آلودگی بود.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

منابع

اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی استان همدان.، ۱۳۹۵. سراب گاماسیاب، سی و دوّمین اثر طبیعی ملی ایران. ۱۱۸ صفحه.

جعفرپور چک اب، ز.، حیدری، آ.، فرزام، م. و روحانی، ع.، ۱۴۰۱. ارزیابی ریسک سلامتی انسان ناشی از مصرف گیاه خرفه (Portulaca Oleracea)کشت شده در خاک آلوده به فلز نیکل و اصلاح شده با آهن. فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط، ۸(۴): ۴۰۵-۳۹۲.

دریواسی، س.، صائب، ک. و ملاشاهی، م. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر میزان فاصله از منبع آلودگی بر غلظت فلزات سنگین در خاک اطراف کارخانه سیمان شهرستان نکا. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیطزیست، ۱۷(۴): ۴۴-۳۳.

رضویان، س.م.ح.، یادگاری، س.، تمدن، ن. و مساعی‌منش، م.ب.، ۱۳۹۱. ارزیابی اثر پاراآمینوسالیسیلیک اسید بر بهبود عوارض کلیوی مسمومیت با منگنز در رت‌های نر نژاد ویستار. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد، ۲۰(۵): ۶۰۴-۵۹۳.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.، ۱۴۰۳. آمار و اطلاعات زمین‌شناسی و خاک‌شناسی شهر نهاوند. ۸۹ صفحه.

سازمان هواشناسی کشور.، ۱۴۰۳. آمار و اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک کشور. ۳۲۵ صفحه.

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

سلگی، ع.، بیگ‌محمدی، ف. و زمانیان، ع. ۱۳۹۹. بکارگیری شاخص‌های آلودگی به‌منظور بررسی میزان ترسیب فلزات سنگین در خاک (مطالعه موردی کارخانه سیمان نهاوند). مجله تحقیقات کاربردی خاک، ۸(۳): ۲۰۱-۱۸۸.

کاکویی‌دینکی، ف.، چراغی، م.، لرستانی، ب.، سبحان‌اردکانی، س. و چمنی، ع.، ۱۴۰۲. تعیین محتوی عناصر بالقوه سمی (آهن، سرب و مس) در رسوبات سطحی و اندام‌های گیاهان آبزی بومی لویی (Typha Latifolia) و آب تره (Nasturtium microphyllum) رودخانه لار: ارزیابی قابلیت پایش و پالایش زیستی. مجله سلامت و محیطزیست، ۱۶(۳): ۴۳۲-۴۱۳.

کریمی‌سورند، م.، نوروزی، ا. و خلفی. م.، ۱۳۹۷. بررسی میزان و اثرات غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اطراف کارخانه سیمان. دومین همایش ملی دانش و تکنولوژی در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیطزیست ایران، ۸ صفحه.

Adriana, D.C., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer Science and Business Media., 867p.

Aghelan, N., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Lorestani, B. and Merrikhpour, H., 2020. Evaluation of chelating agents with different biodegradability rates on the enhanced phytoremediation efficiency of ornamental species (Amaranthus caudatus and Tagetes patula) in cadmium Contaminated Soils. Journal of Environmental Health Engineering, 7(4): 427-442.

Alizadeh, A., Ghorbani, J., Motamedi, J., Vahabzadeh, G., Edraki, M., and van der Ent, A., 2022. Metal and metalloid accumulation in native plants around a copper mine site: implications for phytostabilization. International Journal of Phytoremediation, 24 (11): 1141-1151.

Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S.M., Ok, Y.S., Sebastian, A., Baum, C. and Rinklebe, J., 2017. Trace elements in the soilplant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation–A review. Earth Science Reviews., 171: 621- 645.

ASTM D2974-00., 2000. Standard Test Method for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils (Test Method C).

Barceloux, D.G., 1999. Zinc. J Toxicol Clin Toxicol, 37(2): 279-292.

Bewley, R., 2001. An overview of chromium contamina on issues in the southeast of Glasgow and the poten al for remediaon. Environmental Geochemistry and Health, 23(3): 267- 271.

Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E., and Clark, F.E., 1965. Methods of soil analysis: Part 2. Agronomy, Monogr. ASA, Madison, Wisconsin (eds).

Bonanno, G., Vymazal, J. and Cirelli, G.L., 2018. Translocation, accumulation and bioindication of trace elements in wetland plants. The Science of the Total Environment., 631–632: 252–261.

Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. Nitrogen-total. In: Method of soil analysis, Part2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (eds). pp: 595-624.

Chen, Y., Xie, T., Liang, Q., Liu, M., Zhao, M., Wang, M. and Wang, G., 2016. Effectiveness of lime and peat applications on cadmium availability in a paddy soil under various moisture regimes. Environmental Science and Pollution Research, 23: 7757-7766.

Cheraghi, M., Sobhanardakani, S., Zandipak, R., Lorestani, B. and Merrikhpour, H., 2015. Removal of Pb (II) from aqueous solutions using waste tea leaves. Iranian Journal of Toxicology, 9(28): 1247-1253.

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

Fashola, M.O., Ngole-Jeme, V.M. and Babalola, O.O., 2016. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies forresistance. International Journal of EnvironmentalResearch and Public Health, 13(11): 1047.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

Gajić, G., Djurdjević, L., Kostić, O., Jarić, S., Mitrović, M. and Pavlović, P., 2018. Ecological potential of plants for phytoremediation and ecorestoration of fly ash deposits and mine wastes. Frontiers in Environmental Science, 6: 1–24.

Haghnazar, H., Sabbagh, K., Johannesson, K.H., Pourakbar, M. and Aghayani E., 2023. Phytoremediation capability of Typha latifolia L. to uptake sediment toxic elements in the largest coastal wetland of the Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin,188:114699.

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).

Kabata-Pendias, A. and Dudka, S., 1991. Baseline data for cadmium and lead in soils and some cereals of Poland. Water, Air, & Soil Pollution, 57: 723-731.

Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A. and Aryal, N., 2022. Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. Environmental Advances, 8: 100203.

Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N.K., Murtaza, B., Bibi, I. and Dumat, C., 2017. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. Journal of Geochemical Exploration, 182: 247-268.

Klute, A., 1986. Method of soil analysis. Part1: Physical methods. Soi. Sci SOC. Ameri. J. pp.432-449.

Lasat, M.M., 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil. 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. Phytoremediation, 17(1): 9-15.

Li, F.R., Kang, L.F, Gao, X.Q, Hua, W., Yang, F.W. and Hei, W.L. 2007. Traffic-related heavy metal accumulation in soils and plants in Northwest China. Soil & Sediment Contamination, 16(5): 473-484.

Malinowska, E., Jankowski, K., Wiśniewska-Kadżajan, B., Sosnowski, J., Kolczarek. R, Jankowska, J. and Ciepiela, G.A., 2015. Content of zinc and copper in selected plants growing along a motorway. The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology., 95: 638-643.

Market, B., 2003. Element concentration in ecosystems. International Institute of Advanced Ecological and Economic Studies. Zittau, Germany.

McGrath, S.P. and Zhao, F. J., 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. Current Opinion in Biotechnology, 14(3): 277-282.

Olsen, S.R. and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Method of soil analysis, Part 2. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (eds.). pp: 403-431.

Oludoye, O.O. and Ogunyebi, L.A., 2017. Nutrient's assessment of tropical soils around a Mega cement factory in southwest Nigeria, Journal of Ecological Engineering, 18(2): 21–28.

Orisakwe, O.E., Nduka, J.K., Amadi, C.N., Dike, D. and Obialor, O.O., 2012. Evaluation of potential dietary toxicity of heavy metals of vegetables. Environmental and Analytical Toxicology, 2(3): 50-61.

Phillips, D.P., Human, L.R.D. and Adams, J.B., 2015. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination. Marine Pollution Bulletin, 92(1-2): 227–232.

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

Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M.R., Ishaque, W., Kamran, M.A. and Matloob, A., 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. Chemosphere, 171: 710-721.

Sasmaz, A., 2008. Translocation and accumulation of boron in roots and shoots of plants grown in soils of low boron concentration in Turkey's Keban Pb-Zn mining area. International Journal of Phytoremediation, 10(4): 302-310.

Sasmaz, M., Arslan-Topal, E.I., Obek, E. and Sasmaz, A., 2015. The potential of Lemna gibba L. and Lemna minor L. to remove Cu, Pb, Zn, and As in gallery water in a mining area in Keban, Turkey. Journal of Environmental Management, 163: 246-253.

Serafini, R.J.M., Arreghini, S., Troiani, H.E. and de Iorio, A.R.F., 2022. Copper, zinc, and chromium accumulation in aquatic macrophytes from a highly polluted river of Argentina. Environmental Science and Pollution Research, 2022:1-14

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T. and Niazi, N.K., 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicityand detoxification in plants: a comparison offoliar and root metal uptake. Journal of HazardousMaterials, 325: 36-58.

Shekoohiyan, S., Ghoochani M., Mohagheghian, A., Mahvi, A. H., Yunesian, M. and Nazmara, S., 2012. Determination of lead, cadmium and arsenic in infu- sion tea cultivated in north of Iran. Iran. J. Environ. Health Sci. Eng., 9(37): 1-6.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

Sheoran, V., Sheoran, A.S. and Poonia, P., 2016. Factors affecting phytoextraction: a review. Pedosphere, 26(2): 148-166.

Taskila, S., Tuomola, M. and Ojamo, H., 2012. Enrichment cultivation in detection of food-borne Salmonella. Food Control, 26(2): 369-377.

Van der Ent, A., Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Pollard, A.J. and Schat, H., 2013. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. Plant Soil, 362: 319–334.

Yan, A., Wang, Y., Tan, S.N., Mohd-Yusof, M.L., Ghosh, S. and Chen, Z., 2020. Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. Frontiers in Plant Science, 11: 359.

Yaron, B., Calvet, R. and Prost, R., 2006. Soil pollution: Processes and Dynamics. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 312p.

Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., and Ma, L.Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the total environment, 368(2-3): 456-464.

Wang, H., Nie, L., Xu, Y., Li, M. and Lv, Y., 2018. Traffic-emitted metal status and uptake by Carex meyeriana Kunth and Thelypteris palustris var. pubescens Fernald growing in roadside turfy swamp in the Changbai Mountain area, China. Environmental Science and Pollution Researc, 25: 18498-18509.

Zhang, H., Zhang, Y., Wang, Z., Ding, M., Jiang, Y. and Xie Z., 2016. Traffic-related metal (loid) status and uptake by dominant plants growing naturally in roadside soils in the Tibetan plateau, China. Science of the Total Environment, 573:915-923.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]

Evaluation of Bioaccumulation Indices (BCF, BAF, and TF) in Native Plants Exposed to Potentially Toxic Element Contamination at Gamasiab Spring, Nahavand

Behrouz Kord*
Sara Pourabbasi

Department of Green Space Engineering, Mal.C., Islamic Azad University, Malayer, Iran.

***Corresponding author:**
behrouz.kord@iau.ac.ir

Received date: **January/21/2025**
Reception date: **February/01/2026**

Abstract

Phytoremediation technology is an environmentally friendly purification method that uses plants to clean organic and inorganic contaminants from soil, water, and air. This study aimed to investigate the Evaluation of bioaccumulation indices bioconcentration factor (BCF), bioaccumulation factor (BAF), and translocation factor (TF) in native plants exposed to potentially toxic element contamination at Gamasiab Spring, Nahavand. For this purpose, in September 2025, in the studied area, sampling of aerial tissue (leaves and stems) and subterranean tissue (roots) plant species of *Acantholimon olivieri* (Jaub. & Spach) Boiss., *Artemisia haussknechtii* Boiss., *Astragalus (Tragacantha) gossypinus* Fisch.ex Hoh, *Bromus tomentellus* Boiss., *Plantago lanceolata* L., and *Verbascum speciosum* Schrad., in 4 sites was carried out in the statistical design of completely randomized blocks in three replications. The concentration of cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb), manganese (Mn), nickel (Ni), zinc (Zn), in each sample of plants was measured using the device Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. At each station, the concentration of elements in soil samples was determined. In addition, the values of BCF, BAF, and TF were calculated. The results showed that there was a significant difference between the studied stations in terms of the content of toxic elements in soil samples at a 95% confidence level. The highest concentration of elements related to manganese metal was observed in the aerial tissue (leaves and stems) of *Astragalus (Tragacantha) gossypinus* with 93.97 mg/kg and the subterranean tissue (roots) of *Bromus tomentellus* with 30.75 mg/kg, at station 3. The BCF, BAF and TF indices showed that *Astragalus (Tragacantha) gossypinus*, *Acantholimon olivieri* and *Verbascum speciosum* for manganese, nickel, lead and zinc elements, and *Artemisia haussknechtii* for manganese, nickel and lead elements, with a TF coefficient greater than 1 and a BAF less than 1, had good performance in extracting and transferring elements from their roots to their aerial parts and they have shown good tolerance and adaptation to high metal concentrations. Based on the average content of elements in plant tissues as well as the average calculated values of BCF, BAF, and TF indices for elements, it can be concluded that the species of *Astragalus (Tragacantha) gossypinus*, *Acantholimon olivieri, Verbascum speciosum* and *Artemisia haussknechtii* are suitable for purifying soils contaminated with these elements and can be introduced in similar contaminated areas.

Keywords: Biological Accumulation Factor, Biological Concentration Factor, Translocation Factor, Phytoremediation.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-11-01]