مطالعه پراکندگی تعدادی از فلزات سنگین در خاک‌های اطراف روستای داشکسن (قروه، استان کردستان)، ایران

محمد معانی‌جو[1]* و مهسا کرمی[2]

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

نویسنده مسئول: maanijou@yahoo.com

دریافت: ۹۹/۱۰/۶ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۹

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

روستای داشکسن در جنوب‌خاوری استان کردستان قرار دارد. هدف از مطالعه حاضر برآورد شدت آلودگی آرسنیک، سرب، نیکل، روی، و کروم ناشی از فعالیت معدن‌کاری در محدوده روستای داشکسن می‌باشد. جهت انجام کار ابتدا از منطقه بازدید شد و از خاک نمونه‌برداری صورت پذیرفت. نتایج آنالیز فیزیکو شیمیایی نشان داد که میزان pH خاک در زمره خاک‌های خنثی است. هم‌چنین بررسی میزان هدایت الکتریکی نشان داد که خاک دارای کیفیت خیلی‌خوب از لحاظ شوری است. از لحاظ ظرفیت تبادل کاتیونی به طور تقریبی با میانگین ۱۵/۱۶ میلی‌اکی‌والان قرار دارد و درصد مواد آلی نمونه‌ها دارای میانگین ۴/۷۳ درصد بوده است. دانه‌سنجی رسوبات نشان داد که بافت خاک‌های منطقه متوسط تا دانه‌ریز و در حد ماسه، سیلت و رس است و اغلب در محدوده ماسه‌های گلی قرار گرفته‌اند و جورشدگی آن‌ها بسیار ضعیف می‌باشد و درصد پایینی از کربنات کلسیم هستند. جهت ارزیابی شدت آلودگی خاک از شاخص‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج ضریب آلودگی نشان داد که آلودگی شدید تا متوسط در منطقه وجود دارد. بیش‌ترین ضریب آلودگی مربوط به عنصر سرب (۹/۸۰) است. نتایج ضریب غنی‌شدگی نشان داد که بیش‌ترین ضریب غنی‌شدگی مربوط به عنصر سرب (۳/۴۷) است. نتایج شاخص زمین‌انباشت برای عناصر نشان داد که بعضی نمونه‌ها در گروه به شدت آلوده تا آلودگی زیاد قرار می‌گیرند. مقدار شاخص پتانسیل خطر زیست‌محیطی نشان داد که در نمونه‌ها، آرسنیک و سرب در محدوده خطر زیست‌محیطی خیلی بالا است. در تمامی نمونه‌های خاک بار آلودگی بالاتر از عدد ۱ به دست آمده است که نمایان‌گر این امر است که منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر غلظت‌های غیرعادی قرار گرفته است. براساس شاخص درصد عامل انسان‌زاد، بیش‌ترین اثر بر آلودگی عنصر سرب می‌باشد.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، ژئوشیمی، آلودگی خاک، داشکسن (ساری‌گونی).

پیشگفتار

تاکنون پژوهش‌های زیادی بر روی فلزات سنگین و ژئوشیمی خاک (رسولی و همکاران، ۱۳۹۲؛ رفیعی و همکاران، ۱۳۹۳؛ قاسمی‌دهنوی، ۱۳۹۹) و نتایج و آثار آن بر محیط‌زیست و انسان صورت گرفته است (محمدشفیعی، ۱۳۹۴). بختیاری‌نژاد (۱۳۸۸) به بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های محدوده معدن طلای داشکسن در شهرستان قروه پرداخت. نتایج نشان داد میزان بالای عناصر سنگین (آرسنیک، آنتیموان، کادمیوم و جیوه) در منطقه بالاتر از مقدار زمینه طبیعی است که منشأ آن بیش‌تر به زمین‌شناسی منطقه و به مقدار کمتر توسط فعالیت‌های انسانی پدید آمده است. شبان (۱۳۹۰) به مطالعه مقدار آنتیموان در گیاهان روییده بر خاک‌های آلوده اطراف معدن داشکسن، استان کردستان پرداخت. در این مطالعه که نتایج حاکی از اختلاف قابل‌توجه مقدار آنتیموان بین گونه‌های گیاهی بود و طبق نتایج و آمارها آنتیموان در خاک و گیاه منطقه نسبتاً بالا است. اسدی‌چربینی (۱۳۹۷)، در مطالعه خود به ارزیابی وضعیت آلودگی شاخص‌های زیست‌محیطی غلظت برخی از عناصر سنگین در خاک معدن طلای ساریگونی (شمال‌خاور قروه) پرداخت که نتایج آن نشان داد آرسنیک، سرب و آنتیموان دارای خطر زیست‌محیطی خیلی بالا هستند. چکرابورتی و همکاران (۲۰۱۳) بر روی آلودگی محیطی آرسنیک و اثرات بهداشتی آن در یک منطقه معدن‌کاری طلا در

شمال‌خاوری کارناتاکا، هند کار کردند و مقدار آرسنیک در مو، ناخن، آب، خاک و مواد غذایی اندازه‌گیری شده است. ۷۳ درصد از نمونه‌های آب و ۵۱ درصد از نمونه‌های خاک سطحی و تمامی نمونه‌های جمع‌آوری شده مو و ناخن از افراد نمونه‌گیری شده نشان داد که آلوده به مقدار بالایی از آرسنیک هستند. معانی‌جو و همکاران (۲۰۲۰) در روستای ضیاءآباد در استان قزوین به بررسی غلظت پس زمینه آرسنیک در رسوبات رودخانه پرداختند. براساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که محتوای آرسنیک رسوبات موجود در منطقه بیش‌تر از غلظت اثر احتمالی است و به طور بالقوه می‌تواند اثرات زیست‌محیطی داشته باشد. نواحی اطراف معادن به دلیل فعالیت‌های حاصل از اکتشاف و استخراج در معرض آلودگی شدید زیست‌محیطی قرار دارند. اگر چه معدن‌کاری زمینه لازم برای پیشرفت انسان ایجاد می‌کند ولی با افزایش آلودگی‌ها محیط‌زیست سالم را از انسان سلب می‌کند. بنابراین تعیین غلظت فلزات سنگین در محیط‌های مختلف به ویژه خاک در مناطق معدنی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به اهمیت زندگی روستایی در داشکسن ضرورت بررسی زیست‌محیطی عناصر بالقوه سمی در محیط‌های خاک و آب احساس می‌شود چرا که این روستا بسیار نزدیک به معدن طلای داشکسن است و احتمالاً کانی‌سازی طلا و عملیات معدن‌کاری می‌تواند باعث مشکلات زیست‌محیطی در روستا گردد. هدف از این بررسی زمین‌شیمی و پراکنش عناصر بالقوه سمی ناشی از کانه‌زایی طبیعی و معدن‌کاری در محیط خاک و گیاه در روستای داشکسن است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

کانسار طلای داشکسن- بهارلو در ۴۰ کیلومتری شمال خاور شهرستان قروه در حد فاصل سه روستای داشکسن، بهارلو و نی‌بند در کوهی به نام ساریگونی، در بخش جنوب- خاوری استان کردستان قرار دارد. روستای داشکسن دارای مختصات جغرافیایی ´´۵۴ ´۱۷ °۳۵ عرض‌شمالی و ´´۱۴ ´۰۹ °۴۸ طول‌خاوری است. بالاترین ارتفاع منطقه ۲۲۰۰ متر و پایین‌ترین ارتفاع ۱۸۳۵ متر می‌باشد که توسط تپه‌های متعددی در شمال و جنوب احاطه شده است (شکل ۱).

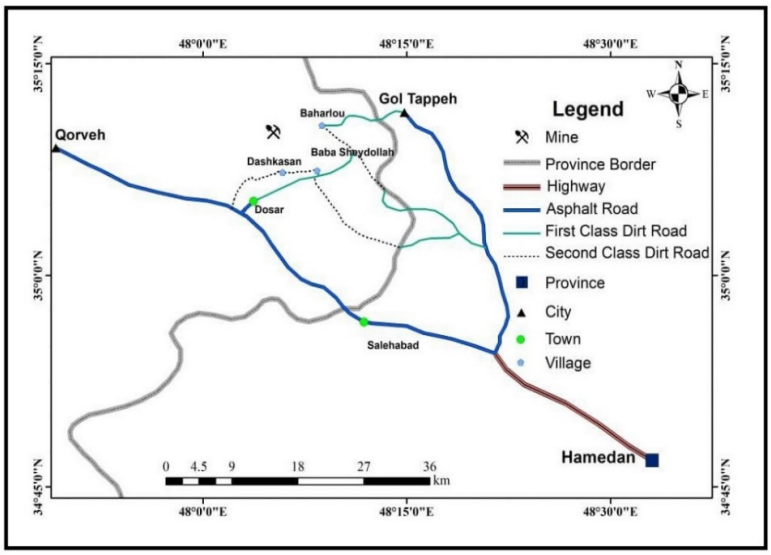
زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

پهنه سنندج- سیرجان به طول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و پهنای ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر از باختر دریاچه‌ی ارومیه آغاز می‌شود و در یک راستای شمال‌باختری- جنوب خاوری تا گسل میناب در شمال بندرعباس ادامه دارد. این زون شامل یک‌سری توالی‌های چینه‌شناسی، سنگ‌های ولکانیکی، سنگ‌های دگرگونه تغییرشکل یافته، مجموعه‌های آذرین نفوذی و گسل‌های شکننده می‌باشد (محجل و فرگوسن، ۲۰۱۴). منطقه کوهین به لحاظ پتانسیل‌های اقتصادی و اکتشاف از دو جهت حایز اهمیت می‌باشد: الف- گسترش واحدهای آتشفشانی جوان (نئوژن) و ارتباط آن‌ها با کانه‌زایی‌های مرتبط با فعالیت‌های آذرین از قبیل اپی‌ترمال که ممکن است با تشکیل فلزات گران‌بها در ارتباط باشند. ب- پوشش بخش بزرگ این منطقه با آبرفت‌های جوان، که می‌تواند یک پتانسیل اکتشافی به منظور بررسی‌های زیرسطحی باشد. مهم‌ترین رخداد کانه‌زایی در این گستره کانسار طلای ساریگونی (داشکسن- بهارلو) می‌باشد که در شمال خاور قروه واقع شده است. این کانسار از دیدگاه نوع کانه‌زایی در گروه کانسارهای اپی‌ترمال فلزات گران‌بها همراه با دگرسانی‌های گسترده قرار می‌گیرد. واحدهای در برگیرنده این کانسار مجموعه سنگ‌های آتشفشانی میوسن شامل لاتیت، تراکیت، داسیت، ریولیت و استوک‌های نیمه‌عمیق (میکروگرانیتی و میکروگرانودیوریتی) با ترکیب شیمیایی ساب‌آلکالن با پتاسیم فراوان تا آلکالن می‌باشند (معانی‌جو و همکاران، ۱۳۹۴). بر اساس اطلاعات نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کوهین برگرفته از سازمان زمین‌شناسی، ویژگی لایه‌های زمین‌شناسی در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

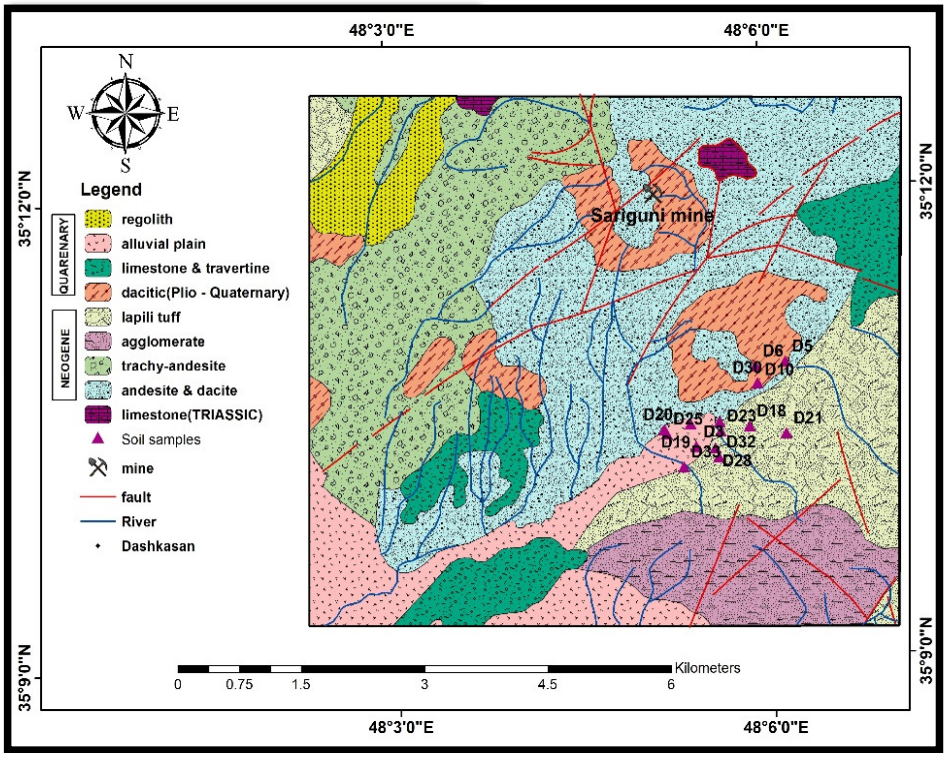
مواد و روش‌ها

پس از انجام مطالعات و بررسی‌های دقیق میدانی، مرحله نمونه‌برداری صورت گرفت. با توجه به بازدید اولیه و توپوگرافی منطقه و با در نظر گرفتن منبع آلودگی نمونه‌برداری در مساحتی بالغ بر ۱/۸۳ کیلومتر مربع انجام پذیرفت. در مجموع ۱۵ ایستگاه نمونه‌برداری (۱۵ نمونه خاک از منطقه) در محدوده برداشت شد. برای تعیین سطح آلودگی خاک در منطقه و با توجه به هدف نمونه‌برداری و ناهمواری‌های موجود در منطقه که باعث

توزیع غیریکنواخت موقعیت نمونه‌ها در منطقه می‌شود از سیستم نمونه‌برداری سیستماتیک (میرسال، ۲۰۰۸) برای جمع‌آوری نمونه‌ها استفاده شد. پس از آمـــاده‌ســازی داده‌ها، برای ارزیابی زیست‌محیطی شامل آنالیزهایی چون تعیین شاخص‌های فیزیکوشیمیایی (اسیدیته، اندازه‌گیری EC، تعیین بافت خاک، روش غربال‌تر، روش تخلیه، تیتراسیون، اندازه‌گیری مواد آلی، روش آنالیـز (OES -ICP) و هضم در دو اسید HCl و HNO_3 با نسبت ۳ به ۱، برای ارسال به آزمایشگاه آماده گردید. سپس نتایج حاصله تجزیه و تحلیل شده و با استانداردهای جهانی WHO برای تعیین حد مجاز مورد مقایسه قرار گرفت.



شکل ۱. راه‌های دسترسی به روستای داشکسن



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه داشکسن، با تغییر از نقشه‌های زمین‌شناسی کوهین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور (خان‌نظر و همکاران، ۱۳۷۹).

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک

به منظور تعیین اسیدیته (pH) خاک، نمونه‌های گذرانده شده از الک ۲۰۰ مش با مخلوطی از خاک و آب به نسبت ۱ به ۵ تهیه و به مدت دو ساعت بر روی شیکر هم زده شد، و توسط دستگاه pH متر Clean مدل pH500 ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد.

برای اندازه گیری هدایت الکتریکی (EC) عصاره آبی تهیه شده از نمونه خاک با آب مقطر به نسبت ۱ به ۵ (جرم به حجم) توسط دستگاه Clean با مدل CON500 ساخت کشور تایوان اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جهت مشخص کردن بار مواد آلی (LOI) از روش کوره (نلسون و سامرز، ۱۹۹۶) استفاده شد و درصد مواد آلی برای هر نمونه تعیین گردید. بعد از قرار گرفتن رسوبات در کوره (به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰۰° C) با استفاده از اختلاف وزن مقدار ماده آلی به درصد محاسبه شد.

ظرفیت تبادل کاتیونی یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده‌ی میزان مجاز ورود و تجمع فلزات سنگین در خاک‌هاست، به طوری که میزان ورود فلزات در خاک با افزایش CEC افزایش می‌یابد (هودجی و جلالیان، ۱۳۸۳)، که با در دست داشتن درصد رس و LOI طبق فرمول زیر محاسبه گردیده است (محمودی و حکیمیان، ۱۳۷۹) (جدول ۲).

CEC = (درصد رس × ۰/۵۷) + (درصد مواد آلی × ۲/۵)

برای دانه‌سنجی رسوبات در منطقه مورد مطالعه از روش غربال‌تر، تخلیه و برای تعیین میزان کربنات رسوبات از روش کلسیمتری استفاده شد. به دلیل فراوانی زیاد رسوبات گلی در نمونه‌ها از این روش استفاده شده است (لویس و مک‌کونچی، ۱۹۹۴). در این روش مخلوط آب و خاک با وزن اولیه مشخص از الک‌های ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۲۳۰ مش گذرانده شد و رسوب عبور کرده از الک ۲۳۰ که گل نمونه‌ها را تشکیل می‌دادند برای تعیین درصد سیلت و رس برای انجام آزمایش تخلیه در آون خشک شدند.

برای اندازه‌گیری کربنات کلسیم در نمونه‌های خاک به وسیله خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (HCl) و تیتراسیون با سود (آلیسون و همکاران، ۱۹۶۵)، انجام شده است.

آلودگی ناشی از فلزات سنگین حاصل از فعالیت‌های مختلف صنعتی به عنوان یک خطر جدی برای محیط‌زیست تلقی می‌شود (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). از این‌رو خاک آلوده به فلزات سنگین می‌تواند به شدت به محیط‌زیست آسیب وارد کند (یائو و همکاران، ۲۰۱۲). به همین جهت نمونه‌های برداشت شده از منطقه بعد از آماده‌سازی از الک ۲۰۰ مش گذرانده شد. سپس به روش تیزاب سلطانی (Aqua regia) با هضم در دو اسید HCl و HNO_3 با نسبت ۳ به ۱ نمونه‌ها به صورت محلول درآمدند. برای آنالیز شیمیایی نمونه‌ها از روش ICP- OES (مدل ۷۳۵ شرکت AGILENT) در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران در کرج استفاده شد. در مجموع ۱۵ عنصر مورد آنالیز قرار گرفت.

شاخص‌های زیست‌محیطی

شاخص ضریب‌آلودگی یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که معمولاً جهت ارزیابی آلودگی عنصر خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و ضریب‌آلودگی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$CF= C_s/C_b$

که در آن C_s غلظت عنصر مورد نظر در خاک و C_b غلظت زمینه همان عنصر است که از نمونه شاهد (خاک روستای باغلوچه) استفاده شده که بدون آلودگی است. ضریب‌آلودگی، غنی‌شدگی فلز در خاک را نشان می‌دهد. هاکانسون (۱۹۸۰) برای CF چهار رده تعیین کرده است (جدول ۳). ضریب غنی‌شدگی در تحلیل‌های زیست محیطی یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی میزان تمرکز عناصر تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد و طبیعی می‌باشد. این ضریب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathbf{EF} = \frac{(\frac{C_n}{C_{ref}})sample}{(\frac{B_n}{B_{ref}})reference}$$

در این رابطه Cn غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک، CRef غلظت عنصر مرجع در نمونه خاک، Bn غلظت عنصر مورد نظر در زمینه و BRef غلظت عنصر مرجع در زمینه است. در تعیین ضریب غنی‌شدگی عنصر مرجع عنصری می‌باشد که منشأ آن کاملاً زمین‌شناختی باشد یعنی در پوسته زمین فراوان باشد و یا در محیط زمین‌شیمیایی خاک، دارای روند تغییرات اندکی باشد، به گونه‌ای که هیچ منبع انسان‌زادی در محیط، غلظت طبیعی آن را تغییر ندهد (اسکلنج، ۲۰۰۶). غلظت عنصر مورد نظر در زمینه نمونه‌های خاک روستای باغلوچه می‌باشد که فاقد آلودگی است. هم‌چنین عنصر آلومینیم تغییرات اندکی را در محیط خاک منطقه نشان داد و از آنجایی که هیچ منبع انسانزادی

برای آن در منطقه وجود ندارد از آن به عنوان عنصر مرجع استفاده شد (جدول ۴).

به منظور تعیین شدت آلودگی منطقه از شاخص زمین انباشت مولر (۱۹۶۹) با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید (باربییری، ۲۰۱۶).

$$\mathrm{I_{geo}} = \log_2 \frac{(C_n)}{1.5 * Bn}$$

در این رابطه Cn غلظت عنصر در نمونه رسوب، و Bnغلظت عنصر در نمونه غیرآلوده یا نمونه کنترل است. برای نمونه کنترل می‌توان از میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در شیل استفاده کرد (جدول ۵).

عامل مخاطره زیستی و پتانسیل مخاطره زیستی رفتار آلودگی در محیط‌زیست را بررسی می‌کنند (ایل‌ترک و همکاران، ۲۰۱۸) که بر این اساس دو عامل شاخص آلودگی که قبلاً محاسبه شده است و عامل سمیت تعریف می‌شود (هاکانسون، ۱۹۸۰). برای ارزیابی کمی خطر زیست‌محیطی در محیط آلوده می‌توان از شاخص مخاطره زیستی استفاده کرد.

$$E_r^i = T_r^i * C_r^i$$

که در آن $\mathrm{E_r^i}$ شاخص مخاطره زیستی، T_r^i، عامل سمیت که برای عناصر به صورت معادله زیر:

As=10, Cu=5, Pb=5, Zn=1, Ni=5

و برای محاسبه عامل سمیت آرسنیک از مقدار عامل سمیت این عناصر استفاده شده است. در ادامه بحث قبلی مربوط به عامل و درجه آلودگی اکنون می‌توان شاخص پتانسیل مخاطره زیستی را محاسبه کرد. در این پژوهش از این عامل برای ارزیابی مخاطره زیستی عناصر مورد مطالعه در محیط استفاده شده است. رده‌بندی این شاخص در جدول (۶) نشان داده شده است.

$$\mathrm{RI} = \sum_{i=1}^{m} \mathrm{E_r^i}$$

جدول ۱. استاندارد کیفیت خاک بر اساس EC (dS / m) (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۷)

EC	۸>	۸-۱۲	۱۲-۱۶	۱۶<
کیفیت	خیلی خوب	خوب	متوسط	نامناسب
کلاس	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

جدول ۲. ارتباط انواع بافت خاک‌ها با ظرفیت تبادل کاتیونی (میلر و دوناهو، ۱۹۹۰)

نام بافت	CEC (بر حسب meq/ 100g)
ماسه‌ای	۱-۵
لوم ماسه‌ای ریز	۵-۱۰
لوم و لوم سیلتی	۱۰-۱۵
لوم رسی	۱۵-۳۰
رس	بیش از ۳۰

جدول ۳. رده‌های ضریب آلودگی (هاکانسون، ۱۹۸۰)

درجه آلودگی	ضریب آلودگی
آلودگی شدید	$CF \geq 6$
آلودگی نسبتاً شدید	$3 \leq CF < 6$
آلودگی متوسط	$1 \leq CF < 3$
آلودگی کم	$CF < 1$

جدول ۴. سطح آلودگی خاک‌ها بر اساس عامل EF (ساترلند، ۲۰۰۰)

درجه آلودگی	مقدار عامل غنی‌شدگی
غنی‌شدگی بسیار شدید	$EF > 40$
غنی‌شدگی بسیار زیاد	$20 < EF < 40$
غنی‌شدگی قابل‌توجه	$5 < EF < 20$
غنی‌شدگی متوسط	$2 < EF < 5$
غنی‌شدگی بسیار کم	$EF < 2$

برای ارزیابی وضعیت کلی آلودگی خاک به تمامی عناصر مورد بررسی از این شاخص بارآلودگی استفاده شده که نشان‌دهنده غلظت فلزات سنگین در خاک نسبت به غلظت زمینه است. شاخص بارآلودگی (PLI) به صورت نسبت غلظت یک عنصر در نمونه‌های خاک به مقدار زمینه همان عنصر در خاک‌های منطقه مورد مطالعه بیان می‌شود که بر اساس شاخص آلودگی، به صورت سه دسته آلودگی کم (PLI<1)، متوسط (1<PLI<3) و زیاد (PLI>3) مشاهده می‌شود (چن و همکاران، ۲۰۰۵). شاخص بارآلودگی بر طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$PLI = \sqrt[n]{Cf_1} * Cf_2 * \dots Cf_n$$

که در آن n تعداد فلزات مورد مطالعه و Cf ضریب آلودگی محاسبه شده در رابطه است (جدول ۷).

علاوه بر عوامل طبیعی و زمین‌شناسی محدوده فعالیت‌های انسانی نیز می‌توانند باعث تغییر ترکیب شیمیایی خاک شوند. به همین منظور برای تعیین سهم عوامل انسانی در تمرکز عناصر در خاک از رابطه درصد عوامل انسان‌زاد استفاده می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۰۹).

$$An\ (\%) = [Mt - (M´s \times (Mr/M´r))] / Mt \times 100$$

که در آن Mt مقدار عنصر در نمونه بررسی شده، Mr مقدار عنصر در محیط مرجع، M´s مقدار عنصر مرجع در نمونه مورد بررسی و M´r مقدار عنصر مرجع در محیط مرجع می‌باشد. عنصر آلومینیوم تغییرات اندکی را در محیط خاک منطقه نشان داد و چون هیچ منبع انسان‌زادی برای آن در منطقه وجود ندارد از آن به عنوان عنصر مرجع استفاده شد.

جدول ۵. شاخص زمین‌انباشت و ارتباط آن با کیفیت خاک (ایبی، ۲۰۰۴)

درجه آلودگی	مقدار زمین‌انباشت
به شدت آلوده	Igeo > 5
آلودگی به شدت زیاد	4< Igeo <5
آلودگی شدید	3< Igeo <4
آلودگی شدید تا متوسط	2< Igeo <3
آلودگی متوسط	1< Igeo <2
غیرآلوده تا آلودگی متوسط	0< Igeo <1
غیر آلوده	Igeo<0

جدول ۶. رده‌بندی پتانسیل مخاطره زیستی (هاکانسون، ۱۹۸۰)

کیفیت محیط	مقدار RI
خطر زیست‌محیطی خیلی بالا	RI ≥ 600
خطر زیست‌محیطی قابل توجه	300≤ RI <600
خطر زیست‌محیطی متوسط	150≤ RI <300
خطر زیست‌محیطی کم	RI <150

جدول ۷. رده‌بندی شاخص بار آلودگی (چن و همکاران، ۲۰۰۵).

شاخص بار آلودگی	درجه آلودگی
PLI<1	کم
1<PLI<3	متوسط
PLI>3	زیاد

روش‌های آماری

در مطالعات زیست‌محیطی زمانی که هدف تعیین ارتباط بین عناصر مختلف باشد، محاسبه ضریب همبستگی به تحلیل صحیح داده‌ها کمک قابل‌توجهی می‌کند. ضریب همبستگی مقدار عددی بین ۱ تا ۱- است. اگر مقدار ضریب همبستگی بین ۰ تا ۱ باشد به معنای داشتن همبستگی مثبت است و اگر این ضریب به ۱ نزدیک‌تر باشد همبستگی قوی‌تر دارد. مقدار ضریب همبستگی بین ۰ تا ۱- به معنی داشتن همبستگی منفی بین دو متغیر می‌باشد و هر چقدر مقدار این عدد به ۱- نزدیک‌تر باشد یعنی

همبستگی منفی قوی است. برای آنالیز داده‌های برداشت شده منطقه مورد مطالعه از نرم‌افزار SPSS ۲۵ و ۲۰۱۳ EXCEL استفاده شده است. هدف از این پردازش که به روش همبستگی اسپیرمن ارایه شده است تنها یافتن رابطه معنی‌دار بین خواص فیزیکوشیمیایی آنالیز شده خاک با غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در روستای داشکسن است.

نتایج و بحث

نتایج آنالیزهای شیمیایی و فیزیکوشیمیایی

میزان اسیدیته در خاک‌های اطراف روستای داشکسن در محدوده بین ۶/۶۹ تا ۷/۱۶ قرار می‌گیرد و بیان‌گر آن است که خاک‌های محدوده مورد نظر در زمره خاک‌های خنثی قرار گرفته است. نتایج آن در جدول (۲) نمایش داده شده است.

هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های منطقه میانگین ۵/۳۲ با حداقل ۰/۵۴ و حداکثر ۱۴/۹۹ را نشان می‌دهد.

درصد مواد آلی نمونه‌ها در معدن داشکسن بین ۳ تا ۹ درصد با میانگین ۴/۷۳ درصد متغیر بوده است. نتایج مربوط به نمونه‌های برداشت شده در جدول (۸) نشان داده شده است. میزان عددی ظرفیت تبادل کاتیونی به طور تقریبی در منطقه روستای داشکسن در گستره ۷/۸۷ تا ۲۸/۱۴۳ با میانگین ۱۵/۱۶ میلی‌اکی‌والان قرار دارد که دارای بافت لوم و لوم سیلتی تا لوم رسی می‌باشد.

نتایج حاصل از دانه‌بندی نمونه‌های خاک محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که به طور کلی، خاک‌های منطقه متوسط تا دانه‌ریز و در حد ماسه، سیلت و رس است و اغلب در محدوده ماسه‌های گلی قرار گرفته‌اند و جورشدگی آن‌ها بسیار ضعیف می‌باشد (شکل ۳).

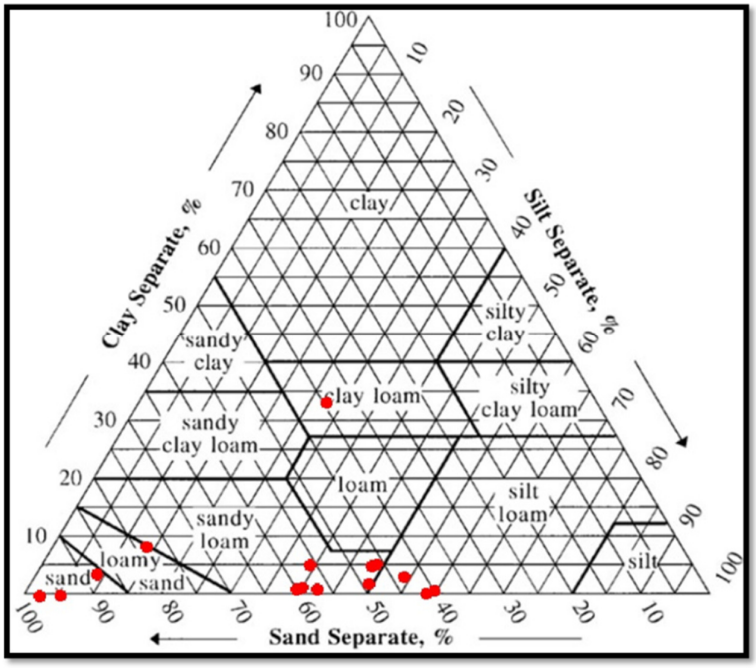
نتیجه کربنات‌سنجی نمونه‌های خاک روستای داشکسن که در جدول (۸) ارایه شده است، نشان می‌دهد که این نمونه‌ها به دلیل وجود سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی در منطقه دارای درصد پایینی از کربنات کلسیم هستند به طوری که متوسط مقدار میانگین درصد کربنات کلسیم در روستای داشکسن ۲۱/۳۳ درصد با حداقل مقدار ۱۴/۵ درصد و حداکثر ۲۹/۵ درصد متغیر بوده است.

جدول ۸. مقادیر فیزیکوشیمیایی در نمونه‌های خاک محدوده روستای داشکسن

Sample	X	Y	pH[1]	T[2](℃)	EC[3] (µSiemens/cm	T(℃)	CEC[4] (meg/100g	OC[5]	N1V1[6]
D19	3°17′46″	4°08′96″	7.11	25°	2.56	29.2	15.64	0.95	22.50
D23	3°17′38″	4°09′36″	7.16	25°	0.54	29.2	10.38	0.93	14.50
D28	3°17′20″	4°09′28″	6.89	25°	9.67	29.2	8.98	0.91	18.25
D19/1	3°17′48″	4°09′35″	7.09	25°	5.39	29.2	28.14	0.94	22.50
D25	3°17′37″	4°08′64″	7.02	25°	8.18	29.2	22.62	0.97	18.25
D30	3°17′88″	4°09′87″	7.06	25°	2.48	29.2	19.19	0.96	19
D20	3°17′41″	4°08′61″	7.05	25°	4	29.2	24.90	0.97	17
D32	3°17′10″	4°09′33″	6.78	25°	2.47	29.2	14.71	0.97	19.75
D33	3°17′01″	4°08′85″	7.11	25°	9.53	29.2	14.12	0.95	20
D5	3°18′10″	4°10′24″	6.69	25°	1.15	29.2	7.87	0.95	25
D6	3°18′06″	4°09′85″	7.07	25°	6.09	29.2	10.98	0.97	22.25
D18	3°17′42″	4°09′75″	7.30	25°	14.99	29.2	12.56	0.95	24.25
D3	3°17′22″	4°09′03″	7.04	25°	1.09	29.2	13.74	0.93	29.50
D10	3°17′88″	4°09′87″	6.87	25°	10.33	29.2	14.34	0.97	22.25
D21	3°17′24″	4°10′23″	7.05	25°	1.42	29.2	9.23	0.97	25
SUM			**105.2**		**79.89**		**227.47**	**14.2**	**29.50**
AVERAG			**7.01**		**5.326**		**15.16**	**0.95**	**14.50**

۱.تعیین اسیدیته، ۲. درجه حرارت (درجه سانتی‌گراد)، ۳. هدایت الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)، ۴. ظرفیت تبادل کاتیونی، ۵. تعیین درصد مواد آلی، ۶. روش کربنات‌سنجی (کلسیمتری).

بر اساس مطالعات رفیعی و همکاران (۲۰۱۰) که به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های محدوده معدن طلای داشکسن پرداختند، حداکثر میزان غلظت فلز آرسنیک ۴۸۵ ppm و حداقل ۱۸ ppm، حداکثر میزان غلظت فلز کادمیم ۳/۲۰ ppm و حداقل ۰/۵۰ppm، حداکثر میزان غلظت فلز جیوه ۱۰۰ ppm و حداقل ۰/۰۱ ppm، حداکثر میزان غلظت فلز سرب ۲۷۱۰ ppm و حداقل ۲۶ ppm و حداکثر میزان غلظت فلز آنتیموان ۶۴۰ ppm و حداقل ۵ ppm به دست آمده است (جدول‌های ۹ و ۱۰). حداکثر غلظت فلزات سنگین در اطراف معدن وجود دارد و با دور شدن از معدن از میزان غلظت این عناصر کاسته می‌شود. بر اساس مطالعه حاضر حداکثر میزان غلظت فلز آرسنیک ۷۵۲ ppm و حداقل ۱۷ ppm که بر اساس شکل ۴ بیش‌ترین مقدار آن در شمال‌خاور روستای داشکسن وجود دارد و حداکثر میزان غلظت فلز سرب ۷۶۰ ppm و حداقل ۳۰ ppm به دست آمده است که بر اساس شکل ۴ در خاور روستای داشکسن است.



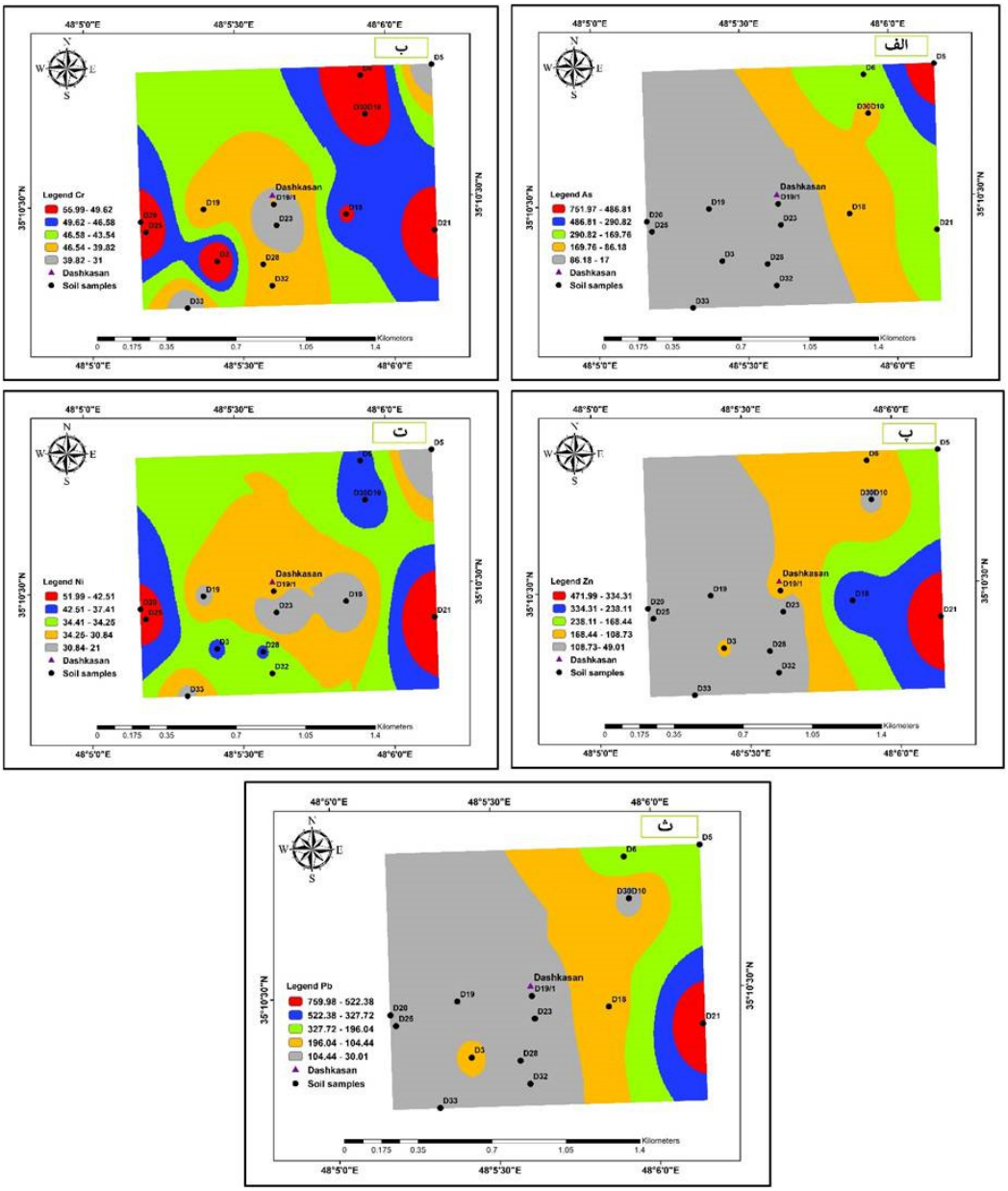
شکل ۳. نمودار رده‌بندی نمونه‌های خاک برداشت شده از خاک روستای داشکسن (اقتباس از فولک، ۱۹۸۰)

جدول ۹. غلظت برخی از عناصر نمونه‌های خاک (برحسب mg/kg) در محدوده معدن داشکسن

Sample	X	Y	As	Cr	Zn	Ni	Pb
D19	35°17′46′′	48°08′96′′	24	40	51	30	31
D23	35°17′38′′	48°09′36′′	37	31	78	23	45
D28	35°17′20′′	48°09′28′′	17	43	49	38	39
D19/1	35°17′48′′	48°09′35′′	48	40	121	33	56
D25	35°17′37′′	48°08′64′′	25	52	51	46	30
D30	35°17′88′′	48°09′87′′	147	52	96	40	73
D20	35°17′41′′	48°08′61′′	31	52	54	44	34
D32	35°17′10′′	48°09′33′′	34	41	107	36	51
D33	35°17′01′′	48°08′85′′	29	38	52	30	36
D5	35°18′10′′	48°10′24′′	752	35	215	21	256
D6	35°18′06′′	48°09′85′′	277	54	164	38	284
D18	35°17′42′′	48°09′75′′	97	50	304	28	181
D3	35°17′22′′	48°09′03′′	78	56	113	38	134
D10	35°17′88′′	48°09′87′′	160	72	247	65	193
D21	35°17′24′′	48°10′23′′	247	53	472	52	760

جدول ۱۰. آمار توصیفی نتایج غلظت فلزات سنگین (مقادیر عناصر بر حسب **mg/kg** است).

Statistics					
	As	Cr	Zn	Ni	Pb
N	15	15	15	15	15
	0	0	0	0	0
Mean	133.53	47.2667	144.93	37.4667	147
Median	48	50	107	38	56
Std.	190.225	10.368	120.008	11.3255	190.491
Minimum	17	31	49	21	30
Maximum	752	72	472	65	760
CV (%)	142.46	21.94	82.80	30.23	129.59
Skewness	2.776	0.635	1.708	0.885	2.672
Kurtosis	8.638	0.912	2.922	1.297	8.151



شکل ۴. پهنه‌بندی غلظت عناصر (**mg/kg**) در منطقه داشکسن. الف) **As**= آرسنیک، ب) **Cr**= کروم، پ) **Zn**= روی، ت) **Ni**= نیکل، ث) **Pb**= سرب

برای تعیین میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین باید غلظت این عناصر در منطقه مورد مطالعه با غلظت استاندارد ملی یا بین‌المللی شناخته شده این عناصر مقایسه گردد. در مطالعات مختلف عمدتاً با مقادیر زمینه از قبیل متوسط جهانی شیل، میانگین پوسته قاره‌ای و یا استانداردهای منطقه‌ای این مقایسه صورت می‌گیرد. اما بهترین نوع مقایسه، مقایسه کردن با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد چون شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی در مناطق مختلف دنیا غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی، مقادیر زمینه نقش مهمی را ایفا می‌کند. با این‌که بسیاری از پژوهشگران اغلب از میانگین شیل یا میانگین فراوانی پوسته به‌عنوان زمینه در مطالعات استفاده می‌کنند اما بهترین جایگزین مقایسه بین محتوای خاک آلوده با غیرآلوده است (ساکان و همکاران، ۲۰۰۹). غلظت زمینه به‌عنوان غلظت یک عنصر در خاک طبیعی بدون آلودگی انسانی است که نشان‌دهنده شرایط ایده‌آل می‌باشد. در این پژوهش از مقادیر میانگین پوسته (ودپول، ۱۹۹۵)، میانگین شیل و میانگین جهانی خاک (گرومت و همکاران، ۱۹۸۴) و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (۱۳۹۲) به‌عنوان زمینه برای انجام مقایسه استفاده شد. نتایج این مقایسه در شکل ۵ نمایش داده شده است.

میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌های خاک اطراف روستای داشکسن، ۱۳۳/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد که در مقایسه با مقادیر جهانی پوسته، شیل و میانگین جهانی خاک بالاتر از مقدار طبیعی آن‌ها می‌باشند و در مقایسه با سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران در نمونه‌های خاک D19/1، D30، D5، D6، D18، D3، D10 و D21 منطقه بالاتر در سایر نمونه‌ها پایین‌تر از حد مجاز می‌باشد. طبق شکل ۴ بیش‌ترین غلظت آرسنیک در شمال‌باختر منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

میانگین غلظت کروم در نمونه‌های خاک اطراف روستای داشکسن، ۴۷/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم است. میانگین غلظت عنصر کروم در نمونه‌های خاک منطقه در مقایسه با مقادیر جهانی پوسته، شیل و میانگین جهانی خاک (به جز نمونه D10)، پایین‌تر از مقدار طبیعی آن‌ها می‌باشند. میانگین غلظت عنصر کروم در تمامی نمونه‌های خاک منطقه در Cr^{+3} پایین‌تر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشند و هم‌چنین میانگین غلظت عنصر کروم در تمامی نمونه‌های خاک منطقه در Cr^{+6} بالاتر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشند.

شکل ۵. نمودار غلظت عناصر در خاک‌های اطراف روستای داشکسن و مقایسه استانداردها (مقادیر میانگین پوسته (ودپول، ۱۹۹۵)، میانگین شیل و میانگین جهانی خاک (گرومت و همکاران، ۱۹۸۴) و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران (۱۳۹۲) به‌عنوان زمینه)، (الف- As= آرسنیک، ب و پ- Cr = کروم، ت Zn= روی، ث- Ni= نیکل، ج- Pb= سرب).

میانگین غلظت روی در نمونه‌های خاک اطراف روستای داشکسن، ۳۷/۴۶ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بیش‌ترین میانگین غلظت عنصر روی در نمونه‌های خاک منطقه در مقایسه با مقادیر جهانی پوسته در نمونه‌های D19، D28، D25، D20، D18 و D33 منطقه پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر و شیل در نمونه‌های D19، D23، D28، D25، D30، D20 و D33 منطقه پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده جهانی می‌باشند. هم‌چنین برای میانگین جهانی خاک در نمونه‌های D19، D28، D25، D20 و D33 پایین‌تر و برای بقیه عناصر بالاتر از مقدار استاندار جهانی خاک است. میانگین غلظت عنصر روی در تمامی نمونه‌های خاک منطقه پایین‌تر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشند.

میانگین غلظت نیکل در نمونه‌های خاک اطراف روستای داشکسن، ۱۴۴/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم است. میانگین غلظت عنصر نیکل در نمونه‌های خاک منطقه در مقایسه با مقادیر جهانی پوسته (به جز نمونه D19/1)، شیل و میانگین جهانی خاک در نمونه‌های D18، D5 و D23 پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده جهانی می‌باشند. میانگین غلظت عنصر نیکل در تمامی نمونه‌های خاک منطقه پایین‌تر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشند.

میانگین غلظت سرب در نمونه‌های خاک اطراف روستای داشکسن، ۱۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم است. میانگین غلظت عنصر سرب در نمونه‌های خاک منطقه در مقایسه با مقادیر متوسط پوسته، شیل و میانگین جهانی خاک بالاتر از مقدار طبیعی آن‌ها می‌باشند. میانگین غلظت عنصر سرب در نمونه‌های خاک D5، D6، D18، D3، D10 و D21 منطقه بالاتر از مقدار طبیعی آن‌ها نسبت به حد مجاز تعیین شده سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشند. جهت تعیین میزان غلظت عناصر سنگین و مطالعه با غلظت استاندارد ملی یا بین‌المللی شناخته شده این عناصر مقایسه گردید، اما بهترین نوع مقایسه، مقایسه کردن با استانداردهای موجود برای همان منطقه می‌باشد. در جدول ۱۱ نتایج این بررسی بیان شده است.

جدول ۱۱. نتایج بررسی غلظت عناصر در محدوده روستای داشکسن (میلی‌گرم در کیلوگرم)

عناصر	میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده	در مقایسه با مقادیر جهانی پوسته	در مقایسه با شیل	در مقایسه با میانگین جهانی خاک	در مقایسه با سازمان حفاظت محیط زیست ایران
آرسنیک	۱۳۳/۵۳	بالاتر از مقدار طبیعی	بالاتر از مقدار طبیعی	بالاتر از مقدار طبیعی	در نمونه‌های D19.1، D30، D5، D6، D18، D3، D10، D21 منطقه بالاتر در سایر نمونه‌ها پایین‌تر
کروم	۴۷/۱۳	پایین‌تر از مقدار طبیعی	پایین‌تر از مقدار طبیعی	به جز نمونه D10 پایین‌تر از مقدار طبیعی	Cr^{+3} در تمامی نمونه‌ها پایین‌تر از مقدار طبیعی – Cr^{+6} در تمامی نمونه‌های بالاتر از مقدار طبیعی
روی	۳۷/۴۶	در نمونه‌های D19، D28، D25، D20، D18، D33 منطقه پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر	در نمونه‌های D19، D23، D28، D25، D30، D20، D33 منطقه پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر از مقدار طبیعی	در نمونه‌های D19، D28، D25، D20، D33 پایین‌تر و برای بقیه عناصر بالاتر	پایین‌تر از مقدار طبیعی
نیکل	۱۴۴/۹۳	به جز نمونه D19/1 پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر از مقدار طبیعی	پایین‌تر از مقدار طبیعی	در نمونه‌های D18، D5، D23 پایین‌تر و سایر نمونه‌ها بالاتر از مقدار طبیعی	پایین‌تر از مقدار طبیعی
سرب	۱۴۷	بالاتر از مقدار طبیعی	بالاتر از مقدار طبیعی	بالاتر از مقدار طبیعی	در نمونه‌های خاک D5، D6، D18، D3، D10، D21 منطقه بالاتر از مقدار طبیعی

نتایج شاخص‌های زیست‌محیطی

با مقایسه داده‌های محاسبه شده ضریب‌آلودگی (CF) محدوده روستای داشکسن با جدول مربوط به ضریب آلودگی هاکانسون نشان می‌دهد که در بیش‌تر نمونه‌ها ضریب آلودگی شدید تا متوسط دارند. بیش‌ترین ضریب آلودگی مربوط به عنصر سرب (۹/۸۰) است و آرسنیک آلودگی نسبتاً شدیدی دارد (جدول ۱۲).

با مقایسه داده‌های محاسبه شده غنی‌شدگی (EF) محدوده روستای داشکسن با جدول نشان می‌دهد که در بیش‌تر نمونه‌ها ضریب آلودگی کم است. بیش‌ترین ضریب غنی‌شدگی مربوط به عنصر سرب (۳/۴۷) است (جدول ۱۳). با مقایسه داده‌های به دست آمده از محدوده روستای داشکسن با جدول مربوط به شاخص زمین‌انباشت (I_{geo}) نشان داده شد عنصر سرب در نمونه D21 در گروه به شدت‌آلوده قرار می‌گیرد. هم‌چنین سرب در نمونه برداشت شده D6 در گروه آلودگی به شدت‌زیاد قرار می‌گیرد. بیش‌تر نمونه‌های برداشت شده در گروه غیرآلوده تا آلودگی متوسط جای گرفته‌اند (جدول ۱۴). با مقایسه داده‌های محاسبه شده محدوده روستای داشکسن با جدول مربوط به عامل مخاطره زیستی و پتانسیل مخاطره زیستی (E_r^i) نشان داده شد که نمونه‌های آرسنیک و سرب با مقادیر بالای ۶۰۰ در محدوده خطر زیست‌محیطی خیلی بالا است. عنصری با خطر زیست‌محیطی متوسط در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد و سایر عناصر نیز در محدوده خطر کم قرار می‌گیرند (شکل ۶).

جدول ۱۲. ضریب آلودگی (CF) عناصر در نمونه‌های خاک محدوده روستای داشکسن نسبت به زمینه (برحسب mg/kg). (آلودگی شدید رنگ قرمز، آلودگی نسبتاً شدید رنگ صورتی، آلودگی متوسط رنگ آبی، آلودگی کم رنگ سبز).

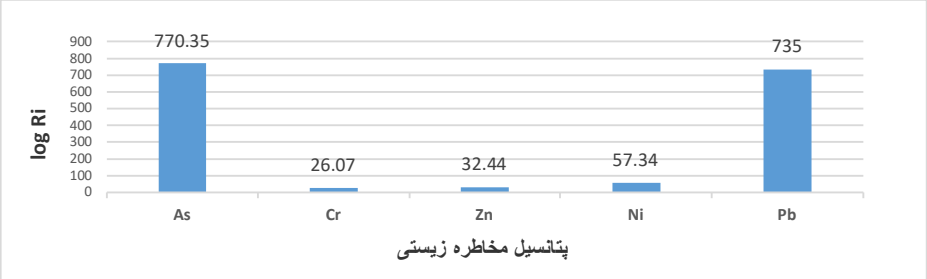
Sample	As	Cr	Zn	Ni	Pb
D19	0.92	0.69	0.76	0.61	2.07
D23	1.42	0.53	1.16	0.47	3.00
D28	0.65	0.74	0.73	0.78	2.53
D19/1	1.85	0.69	1.81	0.67	3.73
D25	0.96	0.90	0.76	0.94	2.00
D30	5.65	0.90	1.43	0.82	4.87
D20	1.19	0.90	0.81	0.90	2.27
D32	1.31	0.71	1.60	0.73	3.40
D33	1.12	0.66	0.78	0.61	2.40
D5	28.92	0.60	3.21	0.43	17.27
D6	10.65	0.93	2.45	0.78	18.93
D18	3.73	0.86	4.54	0.57	12.07
D3	3.00	0.97	1.69	0.78	8.93
D10	6.15	1.24	3.69	1.33	12.87
D21	9.50	0.91	7.04	1.06	50.67
Average	5.14	0.81	2.16	0.76	9.80

جدول ۱۳. مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر در نمونه‌های خاک محدوده روستای داشکسن نسبت به زمینه. (غنی‌شدگی قابل توجه رنگ زرد، غنی‌شدگی متوسط رنگ آبی، غنی‌شدگی بسیار کم رنگ سبز).

Sample	As	Cr	Zn	Ni	Pb
D19	0.36	0.27	0.29	0.24	0.80
D23	0.57	0.21	0.47	0.19	1.21
D28	0.24	0.27	0.27	0.28	0.93
D19/1	0.68	0.25	0.67	0.25	1.38
D25	0.33	0.31	0.26	0.32	0.68
D30	1.69	0.27	0.43	0.24	1.46
D20	0.43	0.32	0.29	0.32	0.81
D32	0.45	0.24	0.55	0.25	1.16
D33	0.39	0.23	0.27	0.22	0.85
D5	12.02	0.25	1.33	0.18	7.17
D6	3.11	0.27	0.71	0.23	5.52
D18	1.55	0.36	1.89	0.24	5.02
D3	0.87	0.28	0.49	0.23	2.60
D10	2.06	0.42	1.23	0.44	4.30
D21	3.41	0.33	2.53	0.38	18.21

جدول ۱۴. شاخص زمین‌انباشت عناصر در نمونه‌های خاک محدوده روستای داشکسن نسبت به زمینه، (به شدت آلوده رنگ قرمز، آلودگی به شدت زیاد رنگ صورتی، آلودگی شدید رنگ زرد، آلودگی شدید تا متوسط رنگ آبی، آلودگی متوسط رنگ سبز، غیرآلوده تا آلودگی متوسط رنگ سورمه‌ای، غیرآلوده رنگ فیروزه‌ای).

Sample	As	Cr	Zn	Ni	Pb	Mn
D19		0.19	-0.03	0.69	0.87	0.01
D23		-0.18	0.58		1.40	
D28		0.30	-0.09	1.03	1.16	0.25
D19/1		0.19	1.22	0.83	1.72	0.65
D25		0.57	-0.03	1.31	0.82	0.30
D30		0.57	0.88	1.10	2.10	
D20		0.57	0.05	1.24	1.00	0.45
D32		0.23	1.04	0.95	1.58	0.20
D33		0.12	0.00	0.69	1.08	0.15
D5		0.00	2.05		3.93	0.67
D6		0.63	1.66	1.03	4.06	0.90
D18		0.51	2.55	0.59	3.41	0.69
D3		0.68	1.12	1.03	2.98	0.31
D10		1.04	2.25	1.81	3.50	0.49
D21		0.60	3.18	1.48	5.48	2.13
Average		0.40	1.10		2.34	0.25



شکل ۶. مقادیر شاخص پتانسیل مخاطره زیستی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک روستای داشکسن

شاخص بار آلودگی برای نمونه‌های برداشت شده خاک در منطقه مورد مطالعه در شکل ۷ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است در تمامی نمونه‌های خاک برداشت شده در محدوده روستای داشکسن بار آلودگی بالاتر از عدد ۱ به دست آمده نمایان‌گر این امر است که منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر غلظت‌های غیرطبیعی قرار گرفته است و به نظر می‌رسد دلیل بالا بودن بار آلودگی ناشی از عوامل غیرطبیعی از جمله فعالیت معدن‌کاری، فعالیت‌های کشاورزی و کانی‌سازی منطقه می‌باشد. بیشینه مقدار آن مربوط به نمونه D21 و کمینه مقدار این شاخص متعلق به نمونه D28 با مقدار عددی ۱ می‌باشد.

بیش‌ترین تأثیر عامل انسان‌زاد بر آلودگی عنصر سرب با مقدار ۲۹/۹۷ درصد و برای سایر عناصر مقدار منفی به دست آمد که نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی نقشی در پراکندگی آن در خاک نداشته‌اند. جدول ۱۵ مقدار شاخص محاسبه شده برای نمونه‌های برداشت شده خاک در منطقه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.

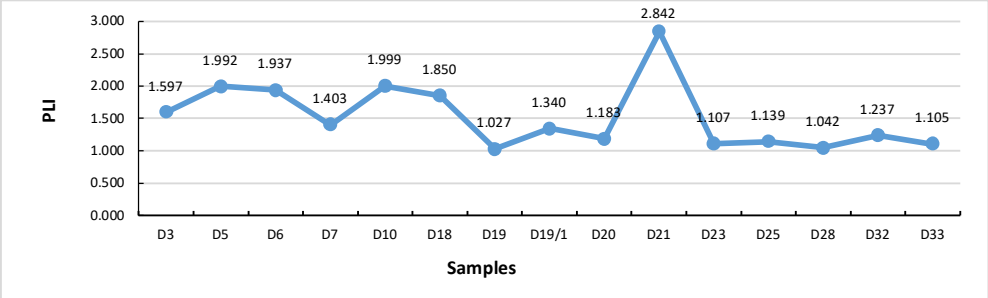
نتایج روش‌های آماری

جدول ۱۶ رابطه بین خواص فیزیکوشیمیایی خاک و غلظت فلزات سنگین را نشان می‌دهد. با بررسی ضرایب همبستگی نتایج زیر به دست آمد:

آرسنیک همبستگی مثبت و بسیار قوی ($r> 0.8$) با سرب و روی که نشان از منشأ مشترک و رفتار زمین‌شیمیایی مشابه این عناصر است.

کروم همبستگی مثبت و بسیار قوی ($r> 0.8$) با نیکل دارد.

روی همبستگی مثبت و بسیار قوی ($r> 0.8$) با سرب دارد.



شکل ۷. نمودار تغییرات مکانی شاخص بار آلودگی در نمونه‌های خاک روستای داشکسن

جدول ۱۵. ضرایب محاسبه شده برای عناصر در نمونه‌های خاک روستای داشکسن (برحسب درصد)

Sample	As	Cr	Zn	Ni	Pb
An	-59.56	-599.48	-112.04	-296.26	29.97

جدول ۱۶. ضریب همبستگی اسپیرمن خواص فیزیکوشیمیایی خاک با غلظت تعدادی فلزات سنگین و عناصر دیگر

Spearman Correlations					
Sample	As	Cr	Zn	Ni	Pb
As	1				
Cr	0.326	1			
Zn	.885**	0.338	1		
Ni	0.05	.828**	0.053	1	
Pb	.929**	0.38	.906**	0.075	1
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)					
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)					

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات آزمایشگاهی در نمونه‌های برداشت شده آب نشان داد که هیچ نوع آلودگی در آب وجود ندارد. نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک نشان داد که میزان pH خاک در محدوده بین ۶/۶۹ تا ۷/۱۶ قرار می‌گیرد که در زمره خاک‌های خنثی است. هم‌چنین بررسی میزان هدایت‌الکتریکی خاک (میانگین ۵/۳۲ با حداقل ۰/۵۴ و حداکثر ۱۴/۹۹) و براساس نمونه‌برداری انجام شده و نتایج به دست آمده از آزمایشگاه و مقایسه آن با مقادیر استاندارد کیفیت خاک مشخص شد که خاک دارای کیفیت خیلی خوبی از لحاظ شوری است. از لحاظ ظرفیت تبادل کاتیونی به طور تقریبی در گستره ۷/۸۷ تا ۲۸/۱۴۳ با میانگین ۱۵/۱۶ میلی‌اکی‌والان قرار دارد و درصد مواد آلی نمونه‌ها در معدن داشکسن بین ۳ تا ۹ درصد با میانگین ۴/۷۳ درصد متغیر بوده است. در نهایت دانه‌سنجی رسوبات نشان داد که به طور کلی، خاک‌های منطقه متوسط‌دانه تا دانه‌ریز و در حد ماسه، سیلت و رس است و اغلب در محدوده ماسه‌های گلی قرار گرفته‌اند و جورشدگی آن‌ها بسیار ضعیف می‌باشد و دارای درصد پایینی از کربنات کلسیم هستند به طوری که متوسط مقدار میانگین درصد کربنات کلسیم در روستای داشکسن ۲۱/۳۳ درصد با حداقل مقدار ۱۴/۵ درصد و حداکثر ۲۹/۵ درصد متغیر بوده است. جهت تعیین میزان غلظت عناصر سنگین نمونه‌های برداشت شده مطالعه با غلظت استاندارد ملی یا بین‌المللی شناخته شده این عناصر مقایسه گردید.

جهت ارزیابی شدت آلودگی خاک‌های محدوده روستای داشکسن تعدادی از شاخص‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفت: نتایج ضریب آلودگی محدوده روستای داشکسن نشان داد که آلودگی شدید تا متوسط در منطقه وجود دارد. بیش‌ترین ضریب آلودگی مربوط به عنصر سرب (۹/۸۰) است و آرسنیک آلودگی نسبتاً شدیدی دارند. نتایج ضریب غنی‌شدگی نشان داد که در بیش‌تر نمونه‌ها آلودگی کمی دارند. بیش‌ترین ضریب غنی‌شدگی مربوط به عنصر سرب (۳/۴۷) است.

نتایج شاخص زمین‌انباشت نشان داد که عنصر سرب در نمونه D21 نیز در گروه به شدت آلوده قرار می‌گیرد.

هم‌چنین سرب در نمونه برداشت شده D6 در گروه آلودگی به شدت زیاد قرار می‌گیرد. بیش‌تر نمونه‌های برداشت شده در گروه غیرآلوده تا آلودگی متوسط جای گرفته‌اند. عامل مخاطره زیستی و پتانسیل مخاطره زیستی نشان داد که در نمونه‌های آرسنیک و سرب با مقادیر بالای ۶۰۰ در محدوده خطر زیست‌محیطی خیلی بالا است. عنصری با خطر زیست‌محیطی متوسط در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد و سایر عناصر نیز در محدوده خطر کم قرار می‌گیرند. در تمامی نمونه‌های خاک برداشت شده در محدوده روستای داشکسن بار آلودگی بالاتر از عدد ۱ به دست آمده است که نمایان‌گر این امر است که منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر غلظت‌های غیرطبیعی قرار گرفته است و بیشینه مقدار آن مربوط به نمونه D21 و کمینه مقدار این شاخص متعلق به نمونه D28 با مقدار عددی ۱ می‌باشد. بیش‌ترین تأثیر عامل انسان‌زاد بر آلودگی عنصر سرب با مقدار ۲۹/۹۷ درصد می‌باشد و سایر عناصر مقدار منفی به دست آمد که نشان می‌دهد فعالیت‌های انسانی نقشی در پراکندگی آن در خاک نداشته‌اند.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه بوعلی‌سینا بخاطر حمایت از این پژوهش تشکر می‌شود.

منابع

اسدی‌چربینی، م (۱۳۹۷) ارزیابی زیست‌محیطی غلظت برخی از عناصر سنگین در خاک معدن طلای ساریگونی (شمال شرق قروه)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی سینا، گروه زمین‌شناسی، ۱۲۷ص.

بختیاری‌نژاد، م (۱۳۸۸) ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های محدوده معدن طلای داشکسن (قروه کردستان)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه بوعلی‌سینا، گروه زمین‌شناسی، ۱۱۸ص.

بخشی‌خانیکی، غ (۱۳۹۲) آلودگی زیست‌محیطی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۸۵ص.

خداکرمی، ل؛ سفیانیان، ع؛ میرغفاری، ن؛ افیونی، م؛ گلشاهی، ا (۱۳۹۰) پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سه زیر حوزه آبخیز استان همدان با استفاده از فناوری‌های GIS و زمین‌آمار، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره پنجاه و هشتم، ص ۲۵۴- ۲۴۳.

رسولی، و. مدبری، س. علیپور اصل، م (۱۳۹۲) ارزیابی آلودگی خاک منطقه ونارچ (جنوب قم) به فلزات سنگین. دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۸۲-۹۲.

رفیعی، ب؛ حسین‌پناهی، ف؛ شکیباآزاد، ع؛ صادقی‌فر، م (۱۳۹۳) بررسی پراکندگی و منشأ فلزات سنگین (Ni, Co, Mn, Ti, V) در رسوبات بستر دریاچه زریوار، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره۲، شماره ۳، ص ۱۱-۱.

شبان، س (۱۳۹۰) مطالعه مقدر آنتیموان (Sb) در گیاهان روییده بر خاک‌های آلوده اطراف معدن داشکسن (استان کردستان)، سیدمجید قادریان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم، ۷۵ص.

علیپور، ص (۱۳۸۴) مبانی اکتشافات بیوژئوشیمیایی در کشف ذخایر معدنی و مطالعات زیست‌محیطی، ارومیه، انتشارات دانشگاه ارومیه، ۳۱۹ ص.

قاسمی‌دهنوی، آ (۱۳۹۹) ارزیابی آلـودگی فلـزات سنگین خاک‌های سرپانتینی منطقه هرسین- صحنه، کرمانشاه، دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۶، ص ۹۲-۱۰۳.

گرانوند، م (۱۳۸۹) ارزیابی آلودگی طبیعی فلزات سنگین در خاک‌های حاصل از شیست‌های گرگان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده علوم زمین.

محمدشفیعی، م؛ محمدشفیعی، ا (۱۳۹۴) فلزات سنگین، منابع و اثرات آن بر انسان، کنفرانس بین‌المللی معماری، شهرسازی، عمران، هنر و محیط‌زیست؛ افق‌های آینده، نگاه به گذشته، تهران.

محمودی، ش؛ و حکیمیان، م (۱۳۷۹) مبانی خاک‌شناسی، انتشارات دانشگاه تهران.

مـعانی‌جـو، م؛ پوینده، ن؛ سـپاهـی، ع؛ دادفـر، ث (۱۳۹۴) نقشه‌برداری مناطق دگرسانی معدن طلای اپی‌ترمال داشکسن (ساری‌گونای) با استفاده از تلفیق تصاویر سنجده ASTER و تجزیه XRD، نشریه علوم‌زمین، دوره ۲۴، شماره ۹۵، ص ۱۰۴- ۹۵.

گزارش معاونت محیط‌زیست انسانی، دفتر آب و خاک، استانداردهای کیفیت منابع خاک و راهنمای آن، انتشارات سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، ۱۳۹۲.

مکرم، م؛ نگهبان، س (۱۳۹۷) بررسی شوری آب و خاک و ارتباط آن با پستی و بلندی‌های سطح زمین با استفاده از مدل فازی در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیاخ دارنگون در غرب شیراز، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۷، شماره ۱۱۵، ص ۱۵۷-۱۴۵.

هودجی، م؛ جلالین، ا (۱۳۸۳) پراکنش نیکل- منگنز و کادمیم در خاک و محصولات کشاورزی منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۸، شماره ۳، ص ۶۶- ۵۵.

Allison, L., Bollen, W. B., and Moodie, C. D (1965) Total carbon. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilanb), 1346-1366 p.

Barbieri, M (2016) The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. Journal of Geology & Geophysics, 5(1), 1000237.

Chakraborti, D., Rahman, M. M., Murrill, M., Das, R., Siddayya, S.G., Sarkare, A., Yendigeri, S., Ahmed, R (2013) Environmental arsenic contamination and its health effects in a historic goldmining area of the Mangalur greenstone belt of Northeastern Karnataka, India. Journal of Hazardous Materials, 262: 1048-1055.

Eby, N (2004) Principles of Environmental Geochemistry. Thomson Brooks/Cole publications. 514 p.

ELTurk, M., Abdullah, R., Abu Bakar, N. K (2018) Evaluation of heavy metals and environmental risk assessment in the Mangrove Forest of Kuala Selangor estuary, Malaysia. Marine Pollution Bulletin,136: 1-9.

Gromet, L. P.,Larry, A. H., Randy, L. K., & Robert. F. D (1984) The North American shale composite: Its compilation, major and trace element characteristics, Geochimica et Cosmochimica Acta,48 (12): 2469-2482.

Hakanson, L (1980) An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution ControlSedimentological Approach. Research Gate, 14: 975-1001.

Lewis, D. W., & McConchie, D (1994) Analytical Sedimentology, Champan and Hall, London, 197p.

Liu, L., Li, W., Song, W., Guo, M (2018) Remadiation techniques for heavy metalcontaminated soils: principles and applicability. Sciens of the Total Environment, 633: 206-219.

Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J. Zhai, Y (2009) Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China, Journal of Hazardous Material,161 (2-3): 1058-1062.

Maanijou, M., Poursheikhi, E., Ramezani, T (2020) Estimation of arsenic background concentration in stream sediments in Zia-Abad area (NW Iran). Environmental Monitoring and Assessment, 192(3): 165 p.

Miller, W. M., & Donahue, R. L (1990) Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth. 6th Edn., Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ., USA., ISBN: 9780138202262, pp: 768.

Mirsal, I. A (2008) Soil Pollution: Origin, Monitoring and Remeddiation. Spring- Verlag Berlin Heidelberg, 312: 137-173.

Muller, G (1969) Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River, GeoJournal, 2: 108-118.

Nelson, D. W., Sommers, L. E (1996) Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter, In Sparks, D.L., et al., Eds., Methods of Soil Analysis. Part 3, SSSA Book Series, Madison, 961-1010.

Rafiei, B., Bakhtiari Nejad, M., Hashemi, M., Khodaei, A. S (2010) Distribution of Heavy Metals around the Dashkasan Au Mine, Int. J. Environ. Res, 4(4):647-654.

Richards, J. P., Wilkinson, D., & Ullrich, T (2006) Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, northwest Iran. Economic geology, 101(8): 1455-1496.

Sakan, S. M., Đorđević, D. S., Manojlović, D. D., Predrag, P. S (2009) Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. J. Environ. Manag. 90: 3382–3390.

Scalenghe, R (2006) Soils: Basic concepts and new perspectives, Cambrige University Press, 310 p.

Sutherland, R. A (2000) Bed sediment associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii Sutherland R.A. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. Environ. Geol, 39(6): 611- 627.

Thiombane, M., Bonitob, M., Albanesea, S., Zuzoloc, D., Limaa, A., Vivod, G (2019) Geogenic versus anthropogenic behaviour and geochemical footprint of Al, Na, K and P in the Campania region (Southern Italy) soils through compositional data analysis and enrichment factor. Geoderma, 335: 12-26.

Wedepohl, K. H (1995) The composition of the continental crust. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59(7): 1217-1232.

Yao, Z., Li, J., Xie, H., Yu, C (2012) Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals, Procedia Environmental Sciences, 16: 722-729.