

ارزیابی ریسک اکولوژیک عناصر کروم و نیکل در خاک حاشیه جاده شادمهر-گناباد در استان خراسان رضوی

قاسم ذوالفقاری^{۱*}، محمد مظلوم پناه^۲ و مهدی جمعه پور^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵)

چکیده

آلودگی ناشی از تردد خودروها از احتراق ناقص، سایدگی لنت، و فرسایش سطوح جاده حاصل می‌شود. هدف از این تحقیق تعیین غلظت نیکل و کروم در خاک حاشیه جاده شادمهر-گناباد در استان خراسان رضوی، ارزیابی کیفیت خاک و بررسی تاثیر تردد خودروها بر غلظت این عناصر بود. نمونه‌های خاک از سه ایستگاه پلیس راه گناباد، پلیس راه شادمهر و محور فیض‌آباد برداشت گردید. بیشترین غلظت کروم و نیکل در ایستگاه فیض‌آباد به ترتیب ۲۱۲/۷۵ و ۱۹۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز و ۱۴۳/۲۵ و ۱۵۹/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در زمستان بود. طبق نتایج شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه و شاخص ریسک، میزان سمیت بیولوژیک کروم و نیکل در کلاس کم خطر قرار داشت. آزمون‌های تجزیه و تحلیل واریانس و پیرسون حاکی از همبستگی معکوس کروم و نیکل با فاصله از جاده ($p < 0/05$) بودند. نتایج شمارش خودروها با فیلم‌برداری نشان داد که حجم خودروهای عبوری در پلیس راه شادمهر نسبت به دو ایستگاه دیگر بیشتر بود. میانگین غلظت کروم (۷۴/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقادیر نیکل (۷۳/۷۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک، از میانگین جهانی و میانگین خاک‌های خراسان رضوی بیشتر بود. این تحقیق نشان داد که آلودگی خاک این منطقه به دلیل تأثیر همزمان تردد خودروها و منشاء زمین‌شناختی است.

واژه‌های کلیدی: عناصر سمی، وسایل نقلیه، فاکتور آلودگی، شاخص ریسک اکولوژیک

۱. دانشیار علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳. کارشناس نظارت و پایش اداره حفاظت محیط زیست، بردسکن، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: ghr_zolfaghari@yahoo.com

مقدمه

فعالیت‌های انسانی در مسیر توسعه از یک سو تأثیرات مثبتی بر زندگی بشر گذاشته اما از طرف دیگر منجر به ایجاد آلودگی محیط زیست شده است (۴، ۳۲ و ۴۷). صنعت، کشاورزی و حمل و نقل جاده‌ای از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین هستند (۴۳). آلودگی محیط‌زیست به دلیل وجود آثار سمی فلزات سنگین در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی قابل توجه می‌باشد (۲۶ و ۵۷). فلزات غیر ضروری مانند نیکل و کروم شش ظرفیتی در فعالیت‌های متابولیکی هیچ نقشی ندارند (۳۹) و حتی در غلظت‌های کم، بر بافت‌های مختلف موجودات زنده اثر مضر دارند (۲۴ و ۵۴). این آثار برای برخی از گروه‌های سنی بیشتر است به‌طوری‌که کودکان به دلیل فرو بردن اشیاء غیر خوراکی به دهان و مکیدن مکرر دست احتمال بیشتری نسبت به بزرگسالان دارند که مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین را دریافت کنند (۲۷). با توجه به سمی بودن فلزات سنگین و اثر آن بر انسان و دیگر موجودات، وجود آن‌ها در خاک حاشیه جاده‌ها و بزرگراه‌ها از موضوعات مهم محسوب می‌شود (۲۱) چرا که نزدیک بسیاری از جاده‌ها محل فعالیت‌های کشاورزی و مواجهه انسان است. در ده‌های اخیر، افزایش خودروها منجر به افزایش آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی به فلزات سنگین شده است (۱۱ و ۳۳). آلودگی گیاهان و خاک‌های حاشیه جاده‌ها به فلزات سنگین به دلیل احتمال ورود این آلاینده‌ها به زنجیره غذایی، خطری جدی برای سلامتی انسان و حیات وحش به شمار می‌رود (۱۹). آلودگی ایجاد شده از حمل و نقل جاده‌ای یک خطر زیست‌محیطی است که مسئول مرگ زودرس در سراسر جهان می‌باشد (۱۴). آلودگی ناشی از ترافیک، فقط نتیجه اثر احتراق ناقص سوخت نیست، بلکه انتشار ذرات غیر قابل احتراق ناشی از ساییدگی لنت، دیسک ترمز و کلاچ و خوردگی ناشی از آن، زیرساخت‌های جاده و زوال سطوح جاده را نیز باید به آن افزود (۳۵). فلزاتی مانند کادمیوم،

سرب و روی از طریق لنت ترمز، روان کننده و روغن صنعتی وارد محیط می‌شوند، در حالی که کروم و نیکل از طریق سایش قطعات فلزی و لوازم جانبی وارد محیط می‌شوند. فلزات سنگین از قبیل نیکل و کروم در خاک کنار جاده به شدت با ترافیک مرتبط است (۴۳). در مطالعات مختلف مشخص شده که غلظت فلزات سنگین تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ترافیک، راه‌سازی، کشاورزی، آغوز خودروها، قطعات خودرو، خوردگی مصالح ساختمانی، فرونشست جوی و غیره قرار دارد (۱۳ و ۵۵). وجود فلزات سنگین به عنوان شاخص آلودگی در خاک سطحی، رسوبات و گرد و غبار می‌باشد (۴۶). افزایش ترافیک در ترکیب با فعالیت‌های صنعتی و کارگاهی پیرامون جاده‌ها نقش تشدید کننده‌ای در افزایش آلودگی دارد و خاک، گیاهان، و ساکنین کنار جاده‌ها را در معرض فلزات سنگین قرار می‌دهد. محققین رایج‌ترین فلزات سنگین در بین آلاینده‌های ناشی از ترافیک را کادمیوم، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی می‌دانند (۲۳) که در این میان، سرب، نیکل و کروم انتشار گسترده‌ای در حاشیه جاده‌ها دارند. آلودگی خاک ناشی از حمل و نقل با وسایل نقلیه در سال‌های اخیر مورد توجه علمی زیادی قرار گرفته است (۲۲). در مطالعه‌ای آلودگی خاک‌های شهری به فلزات سنگین در شهر لیسبون پرتغال بررسی شد. کادمیوم و نیکل از مقادیر معمول این فلزات در پوسته زمین فراتر رفته بود که نشان دهنده منشأ انسانی آن‌ها بود. تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که بین مقادیر کروم و نیکل، کادمیوم و نیکل و کادمیوم و سرب با یکدیگر در خاک‌های شهر لیسبون همبستگی معنی‌داری وجود دارد (۴۲). همچنین در سال ۲۰۲۰ آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کنار بزرگراه کوتاهیا- اسکیشهر (Kütahya-Eskişehir) در ترکیه مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه با توجه به فاکتور غنی شدگی (Enrichment Factor, EF)، شاخص زمین‌انباشتگی (Geoaccumulation Index, I_{geo}) و مقادیر غلظت به‌دست آمده از نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه، شواهدی از غنی شدگی و آلودگی از نظر سرب،

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان گناباد حدود ۵۹۰۲ کیلومتر مربع وسعت دارد از نظر موقعیت، این شهرستان در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه قرار دارد. شهرستان‌های هم‌جوار این شهرستان در شمال مه‌ولات و رشتخوار، کاشمر و بجستان، در غرب فردوس و بجستان، در مشرق خواف و در جنوب شهرستان قاینات در خراسان جنوبی است. محور پلیس راه شادمهر-گناباد جاده مواصلاتی استان خراسان رضوی به استان‌های خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان و همچنین استان‌های جنوبی کشور از طریق جاده گناباد-فردوس است. شهرستان مه‌ولات در استان خراسان رضوی واقع شده و از شمال با تربت حیدریه، از جنوب با گناباد، از شرق با رشتخوار و از غرب نیز با کاشمر هم‌مرز است و مرکز آن فیض آباد است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های گناباد و مه‌ولات را نشان می‌دهد.

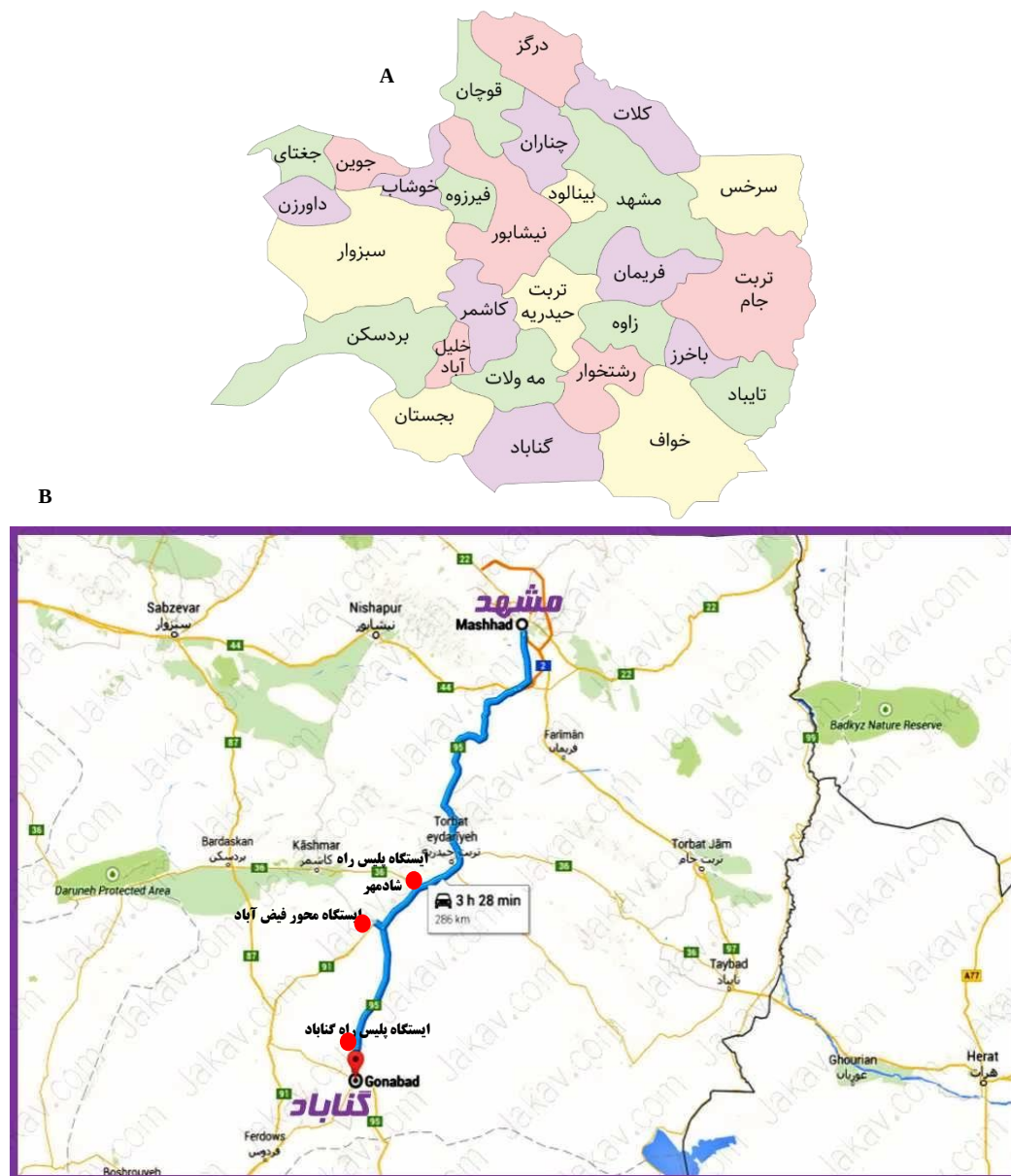
نمونه‌برداری

برای بررسی آلودگی خاک اطراف جاده به فلزات سنگین نیکل و کروم ناشی از تردد وسایط نقلیه، محور سه راهی شادمهر-پلیس راه گناباد، با بار ترافیکی نسبتاً بالا، انتخاب شد. در طول مسیر تعداد ۳ ایستگاه پلیس راه گناباد (طول جغرافیایی: ۳۸۱۰۲۰۷ و عرض جغرافیایی: ۶۵۳۹۵۹) پلیس راه شادمهر (طول جغرافیایی: ۳۸۱۰۲۰۳ و عرض جغرافیایی: ۶۵۳۹۵۴) و محور فرعی فیض آباد به محور پلیس راه شادمهر-گناباد (طول جغرافیایی: ۳۸۷۴۷۰۹ و عرض جغرافیایی: ۶۶۶۷۶۹) انتخاب شد (شکل ۱).

نمونه‌گیری از خاک در پاییز و زمستان ۱۴۰۱، به صورت ماهانه و در جهت باد غالب منطقه، از فواصل ۱، ۲۰ و ۵۰ متری از حاشیه جاده و از عمق ۰-۲۰ cm حدود ۲ کیلوگرم انجام شد. از

روی و نیکل مشاهده شد. نتایج نشان داد که خاک‌های کنار جاده و گرد و غبار بزرگراه دارای آلودگی و درجه غنی شدگی کم و متوسط برای مس، سرب، روی، کروم و جیوه و درجات نسبتاً زیادی برای نیکل هستند (۲). در مطالعه دیگری تجمع فلزات سنگین روی برگ درختان سوزنی برگ و خاک در نزدیکی ترافیک سنگین شهری بررسی گردید. در این تحقیق غلظت فلزات سنگین مانند کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی که باعث آلودگی نمونه‌ها می‌شوند اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غلظت همه فلزات سنگین در این مناطق از حد مجاز فراتر رفته است (۵۰). همچنین مایا و همکاران آلودگی فلزات در گرد و غبار جاده و خاک کنار جاده شهر سووا در کشور فیجی را ارزیابی کردند. به طور کلی، این مطالعه نشان داد که غلظت تمام فلزات سنگین (کبالت، کروم، نیکل، مس، سرب، روی و آهن) از حد مجاز فراتر رفته و برای عموم مردمی که در مجاورت منطقه صنعتی زندگی و کار می‌کنند، نگران‌کننده است (۲۵).

عدم رعایت استانداردهای بین‌المللی در ایران منجر به آلوده شدن محیط‌های پیرامون جاده‌ها شده است. به منظور حفاظت زیست بوم‌ها از آلودگی فلزات سمی، بررسی آلودگی خاک به این فلزات بسیار ضروری است (۵۳). این مساله به‌ویژه از آن جهت مهم است که در ایران، چرای دام و کاشت محصولات زراعی در حاشیه جاده‌ها رایج است و این موضوع سلامت انسان و محیط زیست را تهدید می‌کند. با وجود گزارشات مذکور، تحقیقات انجام شده در ایران، در این زمینه، اندک است. هدف از این تحقیق تعیین غلظت نیکل و کروم در خاک حاشیه جاده شادمهر-گناباد در استان خراسان رضوی و ارزیابی کیفیت خاک منطقه و اراضی پیرامون آن با استفاده از شاخص زمین انباشتگی (I_{geo})، فاکتور آلودگی ($Contamination\ Factor, C_F$)، شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک ($Potential\ Ecological\ Risk\ Index, PERI$) و شاخص پتانسیل کل ریسک اکولوژیک ($Risk\ RI$) است.



شکل ۱. موقعیت شهرستان‌های گناباد و مه‌ولات در استان خراسان رضوی (A) و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه (B).

توسط دستگاه GPS (Global Positioning System) مختصات جغرافیایی نقاط به صورت UTM (Universal Transverse Mercator) ثبت شد (جدول ۱). سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی ریخته و بسته‌بندی شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری خصوصیات خاک، نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و از هر نمونه

هر نقطه سه بار نمونه برداری شد و نمونه‌ها با هم ترکیب و یک نمونه مخلوط حاصل شد. در آزمایشگاه نیز هر نمونه مخلوط شده، سه بار آنالیز شده و پاسخ میانگین به عنوان غلظت نمونه گزارش شد. در مجموع ۵۴ آزمایش تعیین غلظت کروم و ۵۴ آزمایش تعیین غلظت نیکل انجام شده است. نقاط برداشت شده

محلول فلزی حاصل از هضم (ppm)، V حجم رقت (۵۰ ml)، و W وزن خشک (۰/۲ g) است. حد تشخیص دستگاه جذب اتمی برای نیکل ۰/۰۵۰ و برای کروم ۰/۰۰۳ میلی گرم بر کیلوگرم بود. برای درصد بازیابی کروم و نیکل از فرمول زیر استفاده شد (۴۸):

$$R = \frac{C_{\text{sample}} - C_0}{C_{\text{spiked}}} \times 100 \quad (2)$$

که R : درصد بازیابی، C_{sample} : غلظت نمونه ای که مقدار مشخصی از عناصر به آن اضافه شده است، C_0 : غلظت اولیه نمونه، و C_{spiked} : غلظت معادل عناصری که به خاک اضافه شده، می باشد. درصد بازیابی برای نیکل و کروم با روش جذب اتمی بین ۹۱ تا ۹۶ درصد حاصل گردید. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل همبستگی بین غلظت نیکل و کروم در نمونه های خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین تجزیه و تحلیل داده های آماری به صورت آنالیز واریانس چند طرفه انجام شد و به منظور مقایسه میانگین از آزمون توکی استفاده شد.

شاخص های ارزیابی کیفیت خاک

در این مطالعه از شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) برای بررسی وضعیت کیفی عناصر در محیط خاک و درجه آلودگی آن استفاده شد. برای تعیین سطح آلودگی و میزان تأثیر عوامل انسان زاد از عوامل طبیعی، از شاخص زمین انباشتگی استفاده می شود. این شاخص می تواند مبین تأثیر عوامل خارجی (انسان زاد) باشد. اولین بار شاخص زمین انباشتگی توسط مولر طبق رابطه ۳ ارائه شد.

$$I_{\text{geo}} = \log \left[\frac{C_n}{1.5B_n} \right] \quad (3)$$

در این رابطه I_{geo} شاخص زمین انباشتگی، C_n غلظت فلز در نمونه، B_n غلظت فلز در پوسته زمین می باشد. مقدار B_n برای نیکل و کروم به ترتیب ۸۰ mg/kg و ۱۰۰ mg/kg می باشد (۳۰). طبقه بندی شاخص زمین انباشتگی به این صورت است که $I_{\text{geo}} \leq 0$ نسبتاً غیر آلوده، $0 < I_{\text{geo}} \leq 1$ غیر آلوده تا آلودگی متوسط، $1 < I_{\text{geo}} \leq 2$ آلودگی متوسط تا شدید، $2 < I_{\text{geo}} \leq 3$ آلودگی متوسط تا شدید،

یک کیلوگرم پس از عبور از الک ۲ mm به آزمایشگاه منتقل شد. شکل ۱ تصویر محل های نمونه برداری را نشان می دهد. جهت تهیه آمار خودروها در ایستگاه های مذکور، در فصل های پاییز و زمستان ۱۴۰۱ در ساعات پیک ترافیک، دو نوبت صبح و عصر برای هر فصل به مدت ۱۰ دقیقه از ساعت ۷ تا ۹ و از ساعت ۱۷ تا ۱۹ از بزرگراه فیلم برداری شد. تعداد و حجم تردد خودروها به تفکیک کلاس ۱ (سواری و وانت)، کلاس ۲ (کامیونت و کامیون های کوچک و مینی بوس)، کلاس ۳ (کامیون های معمولی کمتر از ۱۰ متر و سه محوره)، کلاس ۴ (اتوبوس)، و کلاس ۵ (تریلرها و باربرهای بالاتر از سه محوره) از طریق فیلم های تهیه شده به کمک روش چوب خط شمارش شد. با توجه به اینکه میانگین اعداد به دست آمده در ایستگاه های مختلف باید برای بازه زمانی یک ساعته مورد محاسبه قرار گیرند، از طریق نسبت گیری این موضوع در نرم افزار اکسل انجام شد.

آماده سازی و آنالیز نمونه ها

در این مطالعه تعیین بافت خاک توسط روش هیدرومتری صورت گرفت. همچنین برای هدایت الکتریکی از ECmeter، برای اندازه گیری pH نمونه ها از دستگاه pH، و برای تعیین مواد آلی خاک از روش والکی بلک (Walkey and Black) بهره گرفته شد (۳۱). به منظور اندازه گیری غلظت نیکل و کروم در نمونه های خاک ابتدا باید نمونه ها با اسید کلریدریک، اسید نیتریک و اسید فلوئوریک هضم شده و سپس با دستگاه جذب اتمی

(Atomic Absorption Spectrometer, AAS) مدل

Perkin Elmer 4100 مقدار نیکل و کروم خاک لندازه گیری شد (۳۴). دستگاه غلظت فلز را در محلول حاصل از هضم نمونه های فوق در حد ppb نشان می دهد که غلظت فلز در وزن خشک نمونه جامد به صورت ذیل محاسبه شد.

$$C = \frac{G_C \times V}{W} \quad (1)$$

که C غلظت فلز در نمونه جامد (mg/kg)، G_C غلظت فلز در

جدول ۱. نتایج مطالعات خصوصیات خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	فاصله از جاده	pH	EC (ds/m)	درصد کربن آلی	درصد ماده آلی	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک
پلیس راه گناباد	۱	۸/۴۶	۳/۰۹	۰/۹۹	۱/۹۵	۶	۲۲	۷۲	شنی - لومی
	۲۰	۸/۵۴	۵/۵۶	۰/۲۲	۰/۴۵	۲	۲۲	۷۶	لومی - شن
	۵۰	۸/۲۳	۰/۷۹۲	۰/۱۵	۰/۳۰	۶	۱۴	۸۰	لومی - شن
پلیس راه شادمهر	۱	۸/۰۷	۳/۶۵	۱/۶۶	۳/۲۷	۱۴	۳۰	۵۶	شنی - لومی
	۲۰	۸/۵۰	۱/۱۶۹	۰/۲۸	۰/۵۶	۲۰	۵۲	۲۸	سیلت - لومی
	۵۰	۸/۳۲	۱/۱۱۰	۰/۴۰	۰/۷۹	۱۴	۳	۸۳	شنی - لومی
محور فیض آباد	۱	۸/۲۳	۰/۷۳۳	۰/۷۲	۱/۴۳	۴	۱۶	۸۰	لومی - شن
	۲۰	۸/۲۹	۰/۸۰۳	۰/۲۴	۰/۴۸	۸	۳۶	۵۶	شنی - لومی
	۵۰	۸/۱۸	۰/۸۰۷	۰/۳۰	۰/۶۰	۸	۳۲	۶۰	شنی - لومی

برآورد جامعی از خطرات زیستی فلزات در محیط داشته باشد. شاخص ریسک اکولوژیک از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$Er = Tr \times CF \quad (5)$$

Ecological risk (Er): ریسک اکولوژیک عنصر، Toxicity (Tr): فاکتور سمیت فلزات سنگین، و Contamination (CF): فاکتور آلودگی می‌باشد. پارامتر Tr فاکتور سمیت فلزات نام دارد که برای کروم ۲ و نیکل ۵ است (۱۷). طبق شاخص مذکور $PERI < 150$ ریسک کم، $150 \leq PERI < 300$ ریسک متوسط، $300 \leq PERI < 600$ ریسک زیاد، و $PERI \geq 600$ ریسک بسیار زیاد است. به علاوه شاخص ریسک (RI) طبق رابطه ۶ محاسبه می‌گردد که در آن n تعداد عناصر مورد بررسی است.

$$RI = \sum_{i=1}^n Er \quad (6)$$

نتایج و بحث

خصوصیات خاک منطقه

جدول ۱ نتایج مطالعات خصوصیات خاک در ایستگاه‌های مورد

$3 < I_{geo} \leq 4$ آلودگی شدید، $5 < I_{geo} \leq 4$ آلودگی شدید تا نسبتاً شدید، و $I_{geo} > 5$ آلودگی بسیار شدید است. همچنین از فاکتور آلودگی (CF) جهت تعیین آلاینده‌های خاک به عناصر سنگین استفاده گردید. توسط این فاکتور می‌توان مقدار عناصر را نسبت به محیط طبیعی خود مقایسه کرد و میزان آلودگی خاک را مشخص نمود. فاکتور آلودگی طبق رابطه ۴ برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه گردید.

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (4)$$

در این معادله CF_{metal} ، نسبت غلظت هر فلز (C_{metal}) به مقدار غلظت زمینه طبیعی آن ($C_{background}$) می‌باشد. مقدار $C_{background}$ برای نیکل و کروم به ترتیب 80 mg/kg و 100 mg/kg است. غلظت ماده مرجع، میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در پوسته زمین می‌باشد. بر اساس معادله فاکتور آلودگی (CF) چهار رده آلودگی ارائه شده است (۱): $CF < 1$: آلودگی پایین؛ $1 \leq CF < 3$: آلودگی متوسط؛ $3 \leq CF < 6$: آلودگی قابل توجه؛ و $6 \leq CF$: آلودگی خیلی بالا. شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه (PERI) در برآورد سمیت بیولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است و می‌تواند

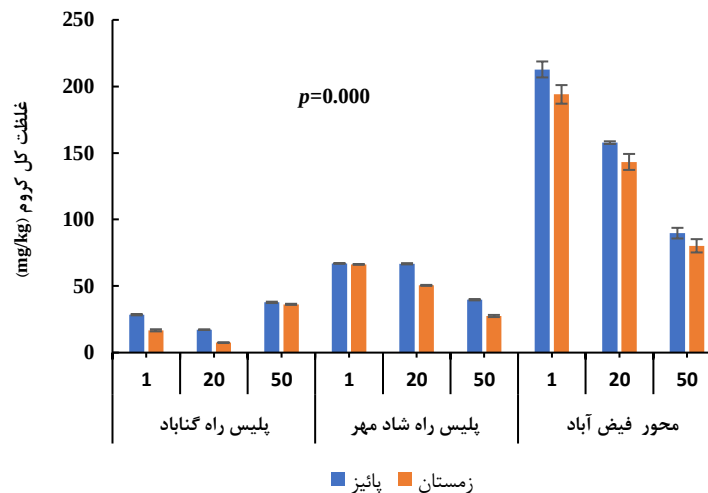
جدول ۲. ضریب همبستگی بین فاکتورهای مورد بررسی

فاکتورهای مورد بررسی	پارامتر آماری	کروم	نیکل
نیکل	همبستگی پیرسون	۰/۹۵۲**	۱
	سطح معنی دار	۰/۰۰۰	-
pH	همبستگی پیرسون	-۰/۴۹۲	-۰/۴۸۴
	سطح معنی دار	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
درصد کربن	همبستگی پیرسون	۰/۰۳۴	۰/۰۴۶
	سطح معنی دار	۰/۸۰۷	۰/۷۴۳
درصد ماده آلی	همبستگی پیرسون	-۰/۰۳۲	-۰/۰۴۷
	سطح معنی دار	۰/۸۱۹	۰/۷۳۸
میزان رس	همبستگی پیرسون	-۰/۰۱۲	-۰/۰۷۱
	سطح معنی دار	۰/۹۳۳	۰/۶۰۹
فاصله	همبستگی پیرسون	*-۰/۳۰۵	*-۰/۲۷۴
	سطح معنی دار	۰/۰۲۵	۰/۰۴۵

مطالعه را نشان می‌دهد. برخی از محققان بیان کرده‌اند که انتقال ذرات سایشی از سطح جاده به خاک حاشیه جاده، با گذشت زمان pH را به سمت خنثی یا حتی قلیایی تغییر می‌دهد (۳۷ و ۴۴). از طرفی، افزایش pH خاک منجر به افزایش رسوب عناصر فلزی به شکل کمپلکس‌های آلی، کربنات‌های نامحلول، هیدروکسیدها می‌شود (۶ و ۱۸). کلاس بافت خاک در تمام نمونه‌ها به جز فاصله ۲۰ متری از ایستگاه پلیس راه شادمهر لومی-شنی بود و در این فاصله سیلت لومی است که بیشترین مقدار خاک نمونه برداری شده از نوع خاک درشت بافت می‌باشد (جدول ۱).

بر اساس یافته‌های جدول ۲ رابطه همبستگی (آزمون پیرسون) که بین کروم و نیکل وجود دارد در سطح ۹۹٪ بوده و این ارتباط مستقیم است. ضریب همبستگی (۹۵٪) این فلزات با یکدیگر قوی بوده بنابراین از یک منشأ یکسانی برخوردار می‌باشند. طبق نتایج این مطالعه رابطه همبستگی بین میزان رس و ماده آلی با غلظت فلزات کروم و نیکل منفی است. به عبارت دیگر با افزایش رس و مواد آلی غلظت فلزات سنگین مورد بررسی کاهش می‌یابد. خاک

رس و مواد آلی خاک با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک میزان عناصر سمی و سنگین را کاهش می‌دهند. از طرفی رابطه همبستگی که بین کروم و نیکل و pH وجود دارد در سطح ۹۹٪ است و این ارتباط معکوس می‌باشد. فلزات سنگین در pH پایین خاصیت انحلال بیشتری دارند یکی از دلایل این رابطه معکوس می‌توان به این مورد اشاره کرد که با افزایش pH انحلال فلزات سنگین کاهش پیدا می‌کند که در نتایج این پژوهش این امر نیز اثبات شده است. رابطه همبستگی فاصله از جاده منفی است به این صورت که با افزایش فاصله از لبه جاده میزان کروم و نیکل کاهش پیدا می‌کند (جدول ۲). آزمون تجزیه و تحلیل واریانس چند طرفه نیز حکایت از رابطه معنی دار بین کروم و نیکل با فاصله از جاده ($p < ۰/۰۵$) دارد. در مطالعه قاسم‌زاده و همکاران ارزیابی آلودگی و منشأ برخی عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی انجام شد. مقادیر بالای کادمیم و نیکل در خاک، براساس شاخص غنی‌شدگی، زمین‌انباشت و خطرات اکولوژیک، به ترتیب به کاربردهای طولانی مدت و گسترده کودهای شیمیایی،



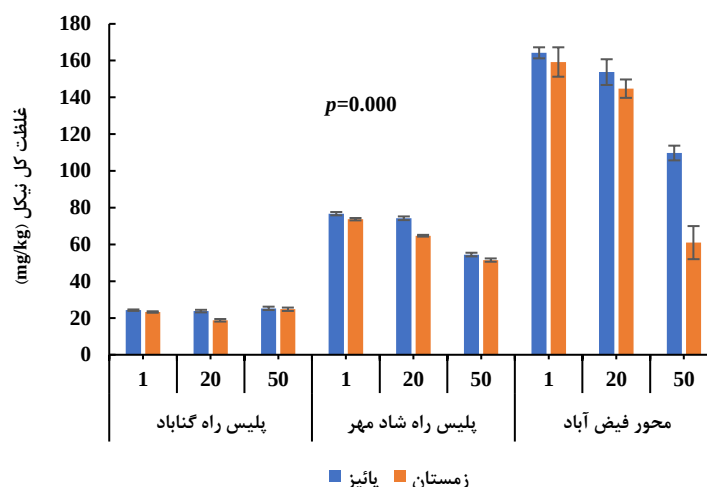
شکل ۲. میانگین غلظت کل کروم (mg/kg) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

($p = 0.000$). بر اساس آزمون توکی به طور کلی در هر سه ایستگاه مورد بررسی بین فواصل مختلف نمونه برداری تفاوت معنی دار آماری در غلظت کروم وجود نداشت ($p = 0.71$). مقایسه میانگین غلظت کروم با استفاده از آزمون T جفتی (T-Test) نشان می‌دهد که تفاوت معنی داری بین غلظت کروم بین فصل زمستان و پاییز وجود دارد ($p = 0.001$) و غلظت این عنصر در فصل زمستان کمتر از پاییز می‌باشد (شکل ۲). در مطالعه اندازه‌گیری فلزات سنگین در خاک سطحی کنار جاده در اطراف آزاد راه رشت به قزوین گزارش شد که عبور و مرور خودروها در جاده، از عوامل مهم و موثر بر تجمع غلظت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی کنار جاده منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که منابع انتشار عناصر مس، کبالت، کروم و نیکل یکسان و ناشی از فرسودگی و خوردگی قطعات آبکاری شده بدنه خودرو، فرسایش تیر و لنت ترمز و نشت روغن‌های روان‌کننده بود؛ در حالی که پارگی و ساییدگی رزین تایرها، فرسودگی حفاظ کنار جاده‌ها و تابلوهای راهنمایی و رانندگی، بنزین سرب دار و وزنه‌های سربی بالانس چرخ خودروها، منشأ انتشار روی و سرب می‌باشد (۲۸). غلظت کروم در نمونه‌های برداشت شده از ایستگاه

انتشار ناشی از تردد خودروها، و مواد مادری افیولیت (Ophiolite) نسبت داده شد؛ در حالی که مقدار بالای این شاخص‌ها برای مس به منشأ دو گانه انسان زاد و زمین زاد ارتباط داده شد. در صورت عدم رعایت ملاحظات زیست محیطی، مانند نبود اعمال مدیریت صحیح در منطقه، در دراز مدت صدمات جبران ناپذیری به چرخه محیط زیست وارد خواهد شد. لذا ضروری به نظر می‌رسد که تصمیماتی در راستای کاهش این آلودگی‌ها و نیز در صورت امکان حذف آن‌ها اتخاذ گردد (۳۶).

غلظت عناصر کروم و نیکل

در این مطالعه غلظت کل عناصر کروم و نیکل در فصل پاییز و زمستان اندازه‌گیری گردید. کمترین غلظت کروم در فاصله ۲۰ متری ایستگاه پلیس راه گناباد به میزان $7/5 \text{ mg/kg}$ در زمستان و $17/25 \text{ mg/kg}$ در پاییز بود. بالاترین غلظت کروم در فاصله ۱ متری ایستگاه ۳ محور شهر فیض‌آباد به محور پلیس راه شادمهر-گناباد به میزان 194 mg/kg در زمستان و $212/75 \text{ mg/kg}$ در پاییز می‌باشد. مقایسه آماری با استفاده از آزمون توکی نشان داد که تفاوت غلظت کروم بین ۳ ایستگاه مورد مطالعه معنی دار است



شکل ۳. میانگین غلظت کل نیکل (mg/kg) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

مطالعه حرکت نمایند و در میزان آلودگی تاثیر گذار باشند. همین مساله باعث شده تا غلظت فلزات سنگین مورد بررسی، بر عکس سایر ایستگاه‌ها، در فاصله دورتر بیشتر باشد زیرا فاصله ۵۰ متری جاده به شهرک صنعتی نزدیک‌تر است. همچنین باد غالب ایستگاه شادمهر باعث تاثیرگذاری بیشتر تردد خودروها بر غلظت عناصر محل نمونه‌برداری می‌شود.

در این مطالعه کمترین غلظت نیکل در فاصله ۲۰ متری ایستگاه شماره یک پلیس راه گناباد به ترتیب در زمستان و پاییز به میزان $18/75 \text{ mg/kg}$ و $23/75 \text{ mg/kg}$ بود. همچنین بالاترین غلظت نیکل در فاصله ۱ متری ایستگاه شماره ۳ محور شهر فیض آباد به محور پلیس راه شادمهر-گناباد به ترتیب در زمستان و پاییز به میزان $159/25 \text{ mg/kg}$ و $164/25 \text{ mg/kg}$ است (شکل ۳). مقایسه آماری با استفاده از آزمون توکی نشان داد که تفاوت غلظت نیکل بین ۳ ایستگاه مورد مطالعه معنی دار است ($p=0.000$). بر اساس آزمون توکی به طور کلی در هر سه ایستگاه مورد بررسی بین فواصل مختلف نمونه برداری تفاوت معنی دار آماری در غلظت کروم وجود نداشت ($p=0.87$). مقایسه میانگین غلظت نیکل با استفاده از آزمون T جفتی نشان می‌دهد که تفاوت

پلیس راه گناباد از نمونه‌های سایر ایستگاه‌ها کمتر است. از طرف دیگر فقط در ایستگاه مذکور غلظت کروم در فاصله ۵۰ متری بیشتر از سایر فاصله‌ها است ولی در ایستگاه‌ها دیگر خلاف این روند است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهند که با افزایش فاصله از جاده تاثیر پذیری خاک از شهرک صنعتی گناباد بیشتر می‌شود، زیرا شهرک صنعتی در حوالی این ایستگاه نمونه‌برداری است. کروم در صنایع رنگ، آبکاری فلز، دباغی چرم و همچنین در تولید مواد نسوز استفاده می‌شود (۵۲). صنایع مرتبط با مواد اولیه خاک از صنایع مهم منطقه مورد مطالعه هستند. این عنصر در پوسته زمین فراوان می‌باشد و سمیت آن به بسته به حالت شیمیایی آن می‌باشد (۵ و ۵۶). کروم به دو شکل شش ظرفیتی و سه ظرفیتی وجود دارد. کروم سه ظرفیتی در مقادیر کم غیر سمی است، اما کروم شش ظرفیتی، سمی و سرطان‌زا است (۱۵). گرد و غبار کروم اثرات نامطلوبی را بر کارگران تولید کرومات بر جای می‌گذارد (۴۹). جهت باد غالب ایستگاه پلیس راه گناباد جنوب شرقی، جهت باد غالب ایستگاه شادمهر شمال شرقی، و جهت باد غالب ایستگاه فیض آباد جنوب شرقی است. باد جنوب شرقی گناباد باعث می‌شود ذرات صنایع آلاینده به طرف ایستگاه مورد

جدول ۳. میانگین شاخص زمین انباشتگی عناصر سمی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	فاصله از جاده (متر)	کروم		نیکل	
		پائیز	زمستان	پائیز	زمستان
پلیس راه گناباد	۱	-۰/۷۲	-۰/۹۵	-۰/۶۹	-۰/۷۱
	۲۰	-۰/۹۳	-۱/۳۰	-۰/۷۰	-۰/۸۰
	۵۰	-۰/۵۹	-۰/۶۱	-۰/۶۷	-۰/۶۸
پلیس راه شادمهر	۱	-۰/۳۵	-۰/۳۵	-۰/۱۹	-۰/۲۱
	۲۰	-۰/۳۵	-۰/۴۷	-۰/۲۰	-۰/۲۶
	۵۰	-۰/۵۷	-۰/۸۳	-۰/۳۴	-۰/۳۶
محور فیض آباد	۱	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۲
	۲۰	۰/۰۲	-۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۸
	۵۰	-۰/۲۲	-۰/۲۷	-۰/۰۳	-۰/۲۹

معنی داری بین غلظت نیکل بین فصل زمستان و پاییز وجود ندارد ($p = 0.098$) و غلظت این عنصر در فصل زمستان کمتر از پاییز می‌باشد. در دو ایستگاه شادمهر و فیض آباد هر چه به حاشیه جاده نزدیک‌تر می‌شویم، غلظت نیکل نیز افزایش می‌یابد. در تحقیقات مشابه نیز بیشترین غلظت فلزات سنگین در امتداد جاده‌هایی با حجم تردد زیاد خودرو گزارش شد (۱۲ و ۲۰). در مطالعه رحمانی و همکاران در اطراف بزرگراه‌های رشت-انزلی (منطقه انزلی)، کلاچای-رامسر (منطقه رامسر)، تهران-کرج (منطقه کرج) و تهران-اصفهان (منطقه دلیجان) مشخص شد که بیشترین غلظت سرب در هر فاصله از جاده، در عمق سطحی خاک (صفر تا پنج سانتی‌متر) است، که نشان‌دهنده جذب تثبیت سرب در سطح خاک می‌باشد. تحقیقاتی که در زمینه آلودگی خاک با سرب انجام شده نشان می‌دهد که غلظت سرب با فاصله از جاده و با کاهش عمق کم می‌شود (۳۸). افزایش غلظت نیکل در خاک حاشیه جاده می‌تواند به دلیل نشست بنزین یا احتراق روان‌کننده‌ها، خوردگی و سایش قطعات خودرو از جمله لنت ترمز، تایر و سایش سطح جاده باشد (۲۰). به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی در تولید آلیاژ، آبکاری الکتریکی، باتری‌های نیکل-کادمیم و به عنوان

کاتالیزور در صنایعی مانند صنایع شیمیایی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گسترش زیاد محصولات حاوی نیکل منجر به آلودگی محیط‌زیست در تمام مراحل ساخت، بازیافت و دفع و اثرات سوء سلامتی بر انسان می‌شود (۱۶ و ۴۵).

ارزیابی کیفیت خاک منطقه

با رابطه ارائه شده توسط مولر، شاخص زمین انباشتگی (Igeo) برای عناصر مورد مطالعه، به جهت بررسی شدت آلودگی ناشی از حضور آن‌ها محاسبه گردید. مطالعه آلودگی به فلز کروم در فصل پاییز نشان داد که در ایستگاه ۳ در فاصله ۱ و ۲۰ متری غیرآلوده تا آلودگی متوسط و در فاصله ۵۰ متری این ایستگاه و همچنین تمام فواصل بقیه ایستگاه‌ها در رده نسبتاً غیر آلوده قرار دارد (جدول ۳). همچنین کروم در فصل زمستان در فاصله ۱ متری در ایستگاه ۳ در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط بوده است و در بقیه ایستگاه‌ها در رده نسبتاً غیر آلوده قرار دارد. در مورد فلز نیکل نیز در فصل پاییز در فاصله ۱ و ۲۰ متری در ایستگاه ۳ در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط بوده است و در فاصله ۵۰ متری این

جدول ۴. میانگین فاکتور آلودگی فلزات سنگین مورد نظر در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	فاصله از جاده (متر)	کروم		نیکل	
		پائیز	زمستان	پائیز	زمستان
پلیس راه گناباد	۱	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۳۰	۰/۲۹
	۲۰	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۲۹	۰/۲۳
	۵۰	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۳۰
پلیس راه شادمهر	۱	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۹۵	۰/۹۲
	۲۰	۰/۶۶	۰/۵۰	۰/۹۲	۰/۸۰
	۵۰	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۶۸	۰/۶۴
	۱	۲/۱۲	۱/۹۴	۲/۰۵	۱/۹۹
	۲۰	۱/۵۷	۱/۴۳	۱/۹۲	۱/۸۰
محور فیض آباد	۵۰	۰/۸۹	۰/۸۰	۱/۳۷	۰/۷۶

ایستگاه و تمام فواصل بقیه ایستگاه‌ها در رده نسبتاً غیر آلوده قرار دارد. همچنین در فصل زمستان نیز در فاصله ۱ و ۲۰ متری در ایستگاه ۳ در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط بوده است و در بقیه ایستگاه‌ها در رده نسبتاً غیر آلوده قرار دارد. صحرایی و همکاران برای ارزیابی آلودگی خاک‌های خوزستان به فلزات سنگین از شاخص زمین انباشتگی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که بیشتر نمونه‌های مورد نظر در منطقه در رده غیر آلوده می‌باشند و تنها ۲ درصد از نمونه‌ها از نظر عنصر روی، کروم و نیکل، کمی آلوده بودند. بیشترین مقدار زمین انباشتگی در نزدیکی شهرک‌های صنعتی به ویژه صنایع فولاد خوزستان مشاهده شد (۴۰).

شاخص فاکتور آلودگی (CF) نیز بررسی شد. مقدار فاکتور آلودگی کروم در فصل پائیز در فاصله ۱ و ۲۰ متری ایستگاه شماره سه بیشتر از یک می‌باشد که با توجه به توصیف مقادیر ضریب آلودگی برای این فلز در محدوده متوسط بوده و در بقیه فواصل ایستگاه‌ها در محدوده آلودگی پایین قرار دارد. همچنین مقدار فاکتور آلودگی در فصل زمستان نیز مشابه فصل پائیز است (جدول ۴). از طرفی مقدار فاکتور آلودگی نیکل در

فصل پائیز در فاصله ۱، ۲۰، و ۵۰ متری ایستگاه سه بیشتر از یک می‌باشد. با توجه به توصیف مقادیر ضریب آلودگی برای این فلز نیز در محدوده متوسط بوده و در بقیه ایستگاه‌ها در محدوده آلودگی پایین قرار دارد. همچنین مقدار فاکتور آلودگی در فصل زمستان به جز فاصله ۱ و ۲۰ متری ایستگاه ۳، سایر ایستگاه‌ها در رده آلودگی پایین قرار دارند. مشابه فصل پائیز می‌باشد (جدول ۴). صلاح ورزی و همکاران (۴۱) آلودگی خاک به عناصر آهن، روی، کادمیم و کروم در خاک سطحی شهرستان خرم آباد را ارزیابی کردند. مقادیر محاسبه شده CF در تمامی مکان‌های مورد مطالعه کم‌تر از یک بر آورد شد.

با توجه به محاسبات انجام شده برای شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه عنصر کروم و نیکل، جدول ۵ نشان می‌دهد که میزان سمیت بیولوژیکی کروم و نیکل در ایستگاه‌های مورد مطالعه در کلاس کم خطر قرار دارد و خطر بهداشتی جدی ندارد. در تحقیقی که در زمینه بررسی آلودگی خاک به کروم، مس، نیکل، سرب و کادمیم در تهران انجام شد، شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه مس، سرب، کادمیم در بهار، پائیز و زمستان بیشترین آلودگی را نشان داد و نیکل و کروم در کلاس کم خطر قرار

جدول ۵. شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه عناصر سمی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	فاصله از جاده (متر)	کروم		نیکل	
		پائیز	زمستان	پائیز	زمستان
پلیس راه گناباد	۱	۰/۵۶	۰/۳۲	۱/۵	۱/۴۵
	۲۰	۰/۳۴	۰/۱۴	۱/۴۵	۱/۱۵
	۵۰	۰/۷۴	۰/۷۲	۱/۵۵	۱/۵
پلیس راه شادمهر	۱	۱/۳۴	۱/۳۲	۴/۷۵	۴/۶
	۲۰	۱/۳۲	۱	۴/۶	۴
	۵۰	۰/۷۸	۰/۵۴	۳/۴	۳/۲
	۱	۱/۲۴	۳/۸۸	۱۰/۲۵	۹/۹۵
	۲۰	۳/۱۴	۲/۸۶	۹/۶	۹
محور فیض آباد	۵۰	۱/۷۸	۱/۶	۶/۸۶	۳/۸

داشت. از دلایل این امر می‌توان به بادهای شدید در مناطق غربی تهران و همچنین الگوی توپوگرافی شهر تهران اشاره کرد (۳). میانگین غلظت فلزات سنگین در اصفهان در اکثر فصول سال تفاوت معنی‌داری با یکدیگر دارند. این تفاوت‌ها به عوامل مختلفی مانند سرعت باد، تغییر جهت باد، میزان و نوع فعالیت صنایع، تردد خودرو، میزان رطوبت خاک و رطوبت هوا مرتبط بوده است (۲۹). با توجه به محاسبات انجام شده برای شاخص ریسک عنصر کروم و نیکل، میزان سمیت بیولوژیکی این عناصر در ایستگاه‌های مورد مطالعه در کلاس کم خطر قرار دارد و خطر بهداشتی جدی ندارد. همچنان‌که در تحقیق نگاهبان و مکرم (۳۰) مقدار این شاخص نشان داد که کروم و نیکل در رده آلودگی پایین قرار دارند.

به منظور بررسی وضعیت آلاینده‌های مورد مطالعه در این پژوهش و شناخت وضعیت موجود نیاز به مقایسه غلظت عناصر سمی لندازه‌گیری شده با مقادیر معیار است. در این تحقیق غلظت‌های به‌دست آمده با میانگین پوسته زمین، استاندارد خاک جهانی، استاندارد خاک ایران، متوسط شیل و مطالعات انجام شده روی خاک‌های خراسان رضوی مورد مقایسه شده است. همچنین

استاندارد خاک سازمان حفاظت محیط زیست در خصوص نیکل برای کاربری تجاری 600 mg/kg ، کشاورزی 110 mg/kg ، جنگل و مرتع 530 mg/kg ، حفاظت محیط زیست 50 mg/kg ، و حفاظت آب‌های زیرزمینی 600 mg/kg است. استاندارد خاک سازمان حفاظت محیط زیست در خصوص کروم ۶ ظرفیتی برای کاربری تجاری، جنگل، و مرتع 15 mg/kg ، کشاورزی 2 mg/kg ، حفاظت محیط زیست $0/4 \text{ mg/kg}$ ، و حفاظت آب‌های زیرزمینی 100 mg/kg است (۱۰). همچنین معیار پوسته زمین برای کروم و نیکل به ترتیب 80 mg/kg (Bowen, 1979) و 100 mg/kg ، معیار خاک جهانی برای کروم و نیکل به ترتیب 70 mg/kg و 50 mg/kg (۷)، معیار شیل برای کروم و نیکل به ترتیب 90 mg/kg و 68 mg/kg (۸)، میانگین خاک‌های طبیعی برای کروم و نیکل به ترتیب 100 mg/kg و 40 mg/kg (۵۱)، و میانگین غلظت کروم و نیکل در خاک‌های خراسان رضوی به ترتیب $68/03 \text{ mg/kg}$ و $44/86 \text{ mg/kg}$ (۹) گزارش شده است. میانگین غلظت کروم و نیکل در مطالعه حاضر در ایستگاه پلیس راه گناباد به ترتیب 24 mg/kg و 23 mg/kg ، پلیس راه شادمهر 52 mg/kg ، و محور فیض آباد 146 mg/kg و 132 mg/kg بوده که قابل مقایسه با معیارهای مذکور می‌باشد.

جدول ۶. تعداد خودروها در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز و زمستان

نام ایستگاه	فصل	وسیله نقلیه کلاس* ۱	وسیله نقلیه کلاس ۲	وسیله نقلیه کلاس ۳	وسیله نقلیه کلاس ۴	وسیله نقلیه کلاس ۵	کل وسایل نقلیه
پلیس راه	پاییز	۵۳۴۸۹۹	۱۲۱۲۷	۳۰۰۰۱	۱۱۹۳۹	۴۰۸۵۶	۶۲۹۸۲۲
گناباد	زمستان	۲۲۶۵۶۲	۶۷۶۲	۱۷۳۷۱	۸۷۶۹	۲۷۱۷۱	۲۸۶۶۳۵
پلیس راه	پاییز	۱۲۴۶۵۷۲	۶۶۰۱۲	۵۵۴۷۵	۲۶۷۱۹	۱۰۸۸۱۳	۱۵۰۳۵۹۱
شادمهر	زمستان	۱۱۶۱۵۱۵	۶۷۹۹۹	۵۹۴۵۲	۲۵۸۹۵	۱۲۱۸۸۱	۱۴۳۶۷۴۲
محور فیض	پاییز	۶۳۳۷۴۰	۲۵۳۹۶	۱۲۸۰۵	۲۰۲۵۲	۳۹۲۹۷	۷۳۱۴۹۰
آباد	زمستان	۶۳۷۷۳۷	۳۶۴۰۷	۱۴۲۶۱	۲۴۲۵۷	۴۹۳۳۰	۷۶۱۹۹۲

* کلاس ۱: سواری و وانت، کلاس ۲: کامیونت و کامیون‌های کوچک و مینی بوس، کلاس ۳: کامیون‌های معمولی کمتر از ۱۰ متر و سه محوره، کلاس ۴: اتوبوس، کلاس ۵: تریلرها و باربرهای بالاتر از سه محوره

منشاء آلودگی عناصر کروم و نیکل در منطقه

جدول ۶ تعداد خودروهای شمارش شده در ایستگاه‌های پلیس راه گناباد، پلیس راه شادمهر، و محور فیض آباد نشان می‌دهد. جهت بررسی رابطه بین تردد خودروها در جاده و غلظت عناصر کروم و نیکل از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که بین تعداد خودروهای عبوری اکثر کلاس‌های وسایل نقلیه و غلظت کروم و نیکل همبستگی وجود دارد و در برخی از کلاس‌ها از قبیل کلاس ۴ (اتوبوس) این همبستگی مستقیم (۰/۶۰) و معنی‌دار ($p=0/003$ برای کروم و $p=0/000$ برای نیکل) است. بر اساس نتایج حاصل از میانگین نتایج آنالیز کروم و نیکل به‌دست آمده ایستگاه یک که کمترین میزان تردد خودرو را دارد کمترین آلودگی را نیز دارد. این نتایج نشان می‌دهد که میزان خودروها یکی از عوامل تاثیر گذار بر غلظت عناصر است.

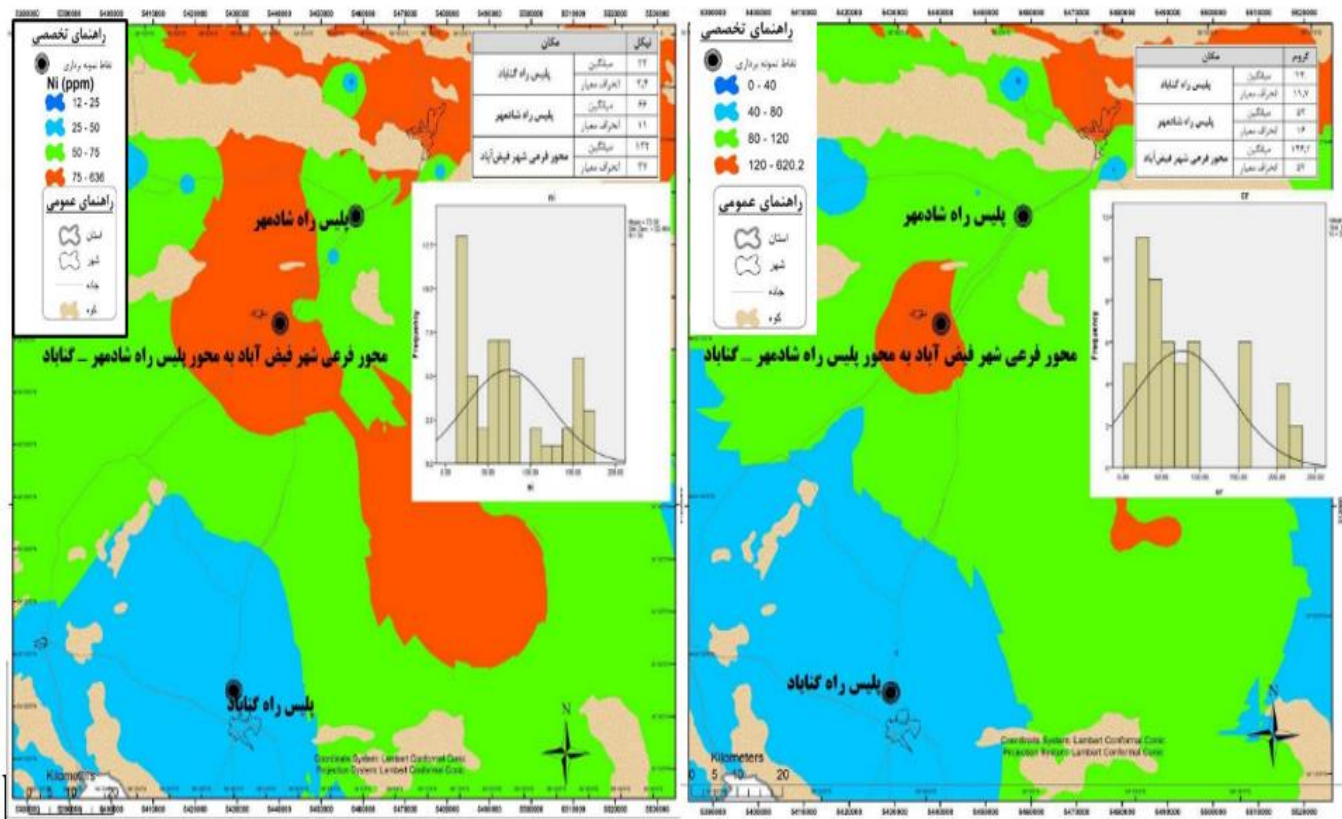
در مطالعه‌ای که توسط سازمان حفاظت محیط زیست انجام شده نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت کروم و نیکل در خاک‌های خراسان رضوی تهیه گردیده که در شکل ۴ نشان داده شده است (۹). این نقشه‌ها حاکی از غلظت‌های کم نیکل و کروم در مناطقی که ایستگاه ۱ این تحقیق (پلیس راه گناباد) واقع شده است. بر

عکس در حوالی ایستگاه ۳ یعنی محور فیض آباد غلظت‌های بالایی از نیکل و کروم مشاهده می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که نقش عوامل طبیعی زمین‌شناختی در غلظت‌های عناصر می‌تواند موثر باشد.

در مطالعه رحمانی و همکاران به منظور بررسی آلودگی خاک به وسیله ذرات سرب خارج شده از آگروز اتومبیل‌ها در بزرگراه‌های رشت-انزلی (منطقه انزلی)، کلاچای-رامسر (منطقه رامسر)، تهران-کرج (منطقه کرج) و تهران-اصفهان (منطقه دلیجان) در فاصله ۱۰۰ متری یک یا دو طرف جاده نمونه‌برداری شد. نتایج نشان داد که غلظت سرب در حاشیه بزرگراه‌ها، به ویژه در سطح خاک، در مقایسه با غلظت زمینه بسیار بیشتر است، و با افزایش فاصله از جاده به صورت نمایی کاهش می‌یابد. غلظت سرب نمونه‌های خاک حاشیه جاده‌ها با حجم تردد خودرو همبستگی مستقیم و خوبی داشت (۳۸).

نتیجه‌گیری

میانگین کروم در این مطالعه ($74/41 \text{ mg/kg}$) از میانگین پوسته زمین، میانگین شیل و میانگین خاک‌های طبیعی (USEPA) کمتر



شکل ۴. انطباق ایستگاه‌های مورد مطالعه بر نقشه پهنه‌بندی غلظت کروم (سمت راست) و نیکل (سمت چپ) در خاک‌های خراسان رضوی (۷).

و از میانگین خاک جهانی و میانگین خاک‌های خراسان رضوی بیشتر است. مقادیر نیکل ($73/79 \text{ mg/kg}$) نیز از پسته زمین کمتر ولی از میانگین خاک جهانی، شیل، خاک‌های طبیعی و میانگین خاک‌های خراسان رضوی بیشتر است. شاخص‌های زمین‌انباشتی (I_{geo}) و فاکتور آلودگی (CF) حاکی از وجود آلودگی در برخی از ایستگاه‌ها هستند. شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه (PERI) و شاخص ریسک (RI) نشان می‌دهند که خطر سلامتی جدی وجود ندارد. به نظر می‌رسد آلودگی بالای ایستگاه ۳ به دلیل تأثیر همزمان تردد خودروها (Anthropogenic influence) بر آلودگی و منشاء زمین‌شناختی (Lithogenic origin) باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود نمونه‌گیری از خاک در عمق پایین‌تری صورت گیرد تا بتوان یک ارزیابی مقایسه‌ای را انجام داد. اندازه‌گیری

آلاینده‌ها در یک ایستگاه شاهد دور از آلودگی با منشاء انسانی برای مقایسه می‌تواند مفید باشد. لازم است تا سایر فلزات سنگین و سمی نیز مورد سنجش و مقایسه قرار گیرد. همچنین با توجه به اثرات محیط‌زیستی و سلامتی فلزات سنگین بر بوم‌سازگان و انسان، پایش منظم و دوره‌ای نمونه‌های خاک و همچنین مدیریت و کنترل منابع انتشار آلاینده‌ها به منظور حفظ سلامت محیط و انسان توصیه می‌شود. بررسی عناصر سنگین کادمیم، سرب و روی که به عنوان آلاینده حاشیه جاده مطرح هستند و فرم‌های شیمیایی آنها در مطالعات آینده ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

از همکاری ارزشمند نمایندگی محیط زیست شهرستان زاوه در

مراحل مختلف این تحقیق سپاسگزاری می گردد.

منابع

1. Abraham, G. M. S., and R. J. Parker. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* 136 (1-3): 227–38.
2. Acar, R.U., and C. Özkul. 2020. Investigation of heavy metal pollution in roadside soils and road dusts along the Kütahya–Eskişehir highway. *Arabian Journal of Geosciences* 13 (5), 216.
3. Arsalani, F., M. Khoddam, S. H. Mohammadkhan and S. Arsalani. 2022. Investigation of pollution and ecological risk of heavy metals (Cadmium, Chromium, Copper, Nickel and Lead) in the falling dust of Tehran, Iran. *Desert* 27 (2): 200–214.
4. Atabati, A., H. Adab, G. Zolfaghari and M. Nasrabadi. 2022. Modeling groundwater nitrate concentrations using spatial and non-spatial regression models in a semi-arid environment. *Water Science and Engineering* 15 (3): 218–227.
5. Batyrova, G., V. Kononets, A. Amanzholkzy and J. Umarova. 2022. Chromium as a risk factor for breast cancer: A Meta-Analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 23 (12): 3993–4003.
6. Bernardino, C. A. R., R. E. Mahler, A. Santelli, B. Freire and L. Novo. (2019). Metal accumulation in roadside soils of Rio de Janeiro, Brazil: Impact of traffic volume, road age, and urbanization level. *Environmental Monitoring and Assessment* 191 (3): 156.
7. Bowen, H. J. M. 1979. Environmental chemistry of the elements. Academic Press, New York, 333 pages.
8. Chabukdhara, M., and A. K. Nema. (2012). Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediment: A chemometric and geochemical approach. *Chemosphere* 87: 945–953.
9. Department of Environment, Department of Human Environment. 2018. The plan to prepare the atlas of soil pollutants of Khorasan Razavi province, the third volume, 313 pages.
10. Department of Environment, Department of Human Environment. 2023. Quality standards of soil resources and its guidelines. pp. 166. (In Persian)
11. Economou-Eliopoulos, M., and I. Megremi. 2021. Contamination of the soil–groundwater–crop system: Environmental Risk and Opportunities. *Minerals* 11: 775.
12. Eid, E. M., K. H. Shaltout and M. A. El-Sheikh. 2012. Seasonal courses of nutrients and heavy metals in water, sediment and above-and below-ground domingensis biomass in lake burullus (Egypt): perspectives for typha. *Flora -Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 207: 783–794.
13. Esmaili Sari, A., G. Zolfaghari, S. M. Ghasempouri, S. S. Shayegh and M. Hasani Tabatabaei. 2007. Effect of age, gender, years of practice, specialty and number of amalgam restorations on mercury concentration in nails of dentists practicing in Tehran. *Journal of Iranian Dental Association* 19(1), 97–104.
14. European Environment Agency. 2016. Air quality in Europe-2016 report. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 88 pages.
15. Fontaine, M., Y. Clement, N. Blanc, and C. Demesmay. 2019. Hexavalent chromium release from leather over time natural ageing vs accelerated ageing according to a multivariate approach. *Journal of Hazardous Materials* 368: 811–818.
16. Genchi, G., A. Carocci, G. Lauria and M. Stefania Sinicropi. 2020. Human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (3): 679–700.
17. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* 14: 975–1001.
18. Hazratzadeh, S. H., and S. Sobhanardakani. 2018. Assessment of Zn, Pb, Cd, and Cu Contamination in surface soils of urban parks in city of Hamedan. *Iranian Journal of Soil Research* 32(3): 417–430.
19. Hegazi, A. A., and A. El-Kady. (2010). Effect of road dust on vegetative characters and leaves heavy metal contents of *Zizyphus spina-christi* (L.). willd, *Syzygium cuimini* (L.) skeels and *Olea europea* L. seedlings. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants* 2(3): 98–107.
20. Khalid, N., H. Hussain, M. Young, M. Ashraf and R. Ahmad. 2018. Lead concentrations in soils and some wild plant species along two busy roads in Pakistan. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 100 (2): 250–258.

21. Kharkan, J., M. H. Sayadi and M. R. Rezaei. 2019. Investigation of heavy metals accumulation in the soil and pine trees. *Environmental Health Engineering and Management Journal* 6 (1): 17–25.
22. Krailertrattanachai, N., D. Ketrot, D and W. Wisawapipat. 2019. The distribution of trace metals in roadside agricultural soils, Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(5), 714.
23. Kupka, D., L. Adam and P. Gruba. 2021. Multiple factors influence the accumulation of heavy metals (Cu, Pb, Ni, Zn) in forest soils in the vicinity of roadways. *Water Air and Soil Pollution* 232(5).
24. Li, R., C. Tang, Y. Cao, T. Jiang and J. Chen. 2018. The distribution and partitioning of trace metals (Pb, Cd, Cu, and Zn) and metalloid (As) in the Beijiing River. *Environmental Monitoring and Assessment* 190 (7): 399.
25. Maeaba, W., S. Prasad and Sh. Chandra. 2019. First assessment of metals contamination in road dust and roadside soil of Suva City, Fiji. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 77 (2): 249–62.
26. Maleki, A., N. A. Azadi, B. Mansouri, F. Majnoni, Z. Rezaei and F. Gharibi. 2015. Health risk assessment of trace elements in two fish species of Sanandaj Gheshlagh Reservoir, Iran. *Toxicology and Environmental Health Sciences* 7 (1): 43–49.
27. Meza-Figueroa, D. M. De La O-Villanueva and M. L. DeLaParra. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmospheric Environment* 41: 276–88.
28. Mohamadi, M., R. Ghasemi and M. Naeimi. 2018. Distribution pattern of heavy metals in roadside topsoils around the Rasht-Qazvin Freeway. *Journal of Health* 9 (3): 249-58 (In Persian).
29. Namazi, N., M. H. Salehi and J. Mohammadi. 2015. Spatial and temporal variability of some of heavy metals in aerosols of Lenjanat Region, Esfahan. *Water and Soil* 29: 114–25.
30. Negahban, S., and M. Mokarram. 2021. Potential ecological risk assessment of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in roadside soils. *Earth and Space Science* 8 (4): 1–12.
31. Nelson, B. W., and L. E. Sommers. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. *Methods of Soil Analysis* 539-577.
32. Nizamutdinov, E., T. Morgun, A. Pechkin, J. Kostecki, A. Greinert and E. Abakumov. 2021. Differentiation of trace metal contamination level between different urban functional zones in permafrost affected soils (The example of several cities in the Yamal Region, Russian Arctic). *Minerals* 11 (7): 668.
33. Nortjé, G. P., and M. C. Laker. 2021. Factors that determine the sorption of mineral elements in soils and their impact on soil and water pollution. *Minerals* 11: 821.
34. Olowu, R. A., O. O. Ayejuyo, G. U. Adewuyi, I. A. Adejoro, A. A. B. Denloye, A. O. Babatunde and A. L. Ogundajo. 2010. Determination of heavy metals in fish tissues, water and sediment from Epe and Badagry Lagoons, Lagos, Nigeria. *Journal of Chemistry* 7(1): 215-221.
35. Pant, P., and R. M. Harrison. 2013. Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review. *Atmospheric Environment* 77: 78–97.
36. Qasemzade, A., A. R. Karimi, A. Ziyade and A. Fotovat. 2021. Pollution assessment and source of selected heavy metals in agricultural soils, southern Sabzevar, northeastern Iran. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 11(1): 1-26.
37. Radziemska, M., and J. Fronczyk. 2015. Level and contamination assessment of soil along an expressway in an ecologically valuable area in central Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (10): 13372–13387.
38. Rahmani, H., M. Kalbasi and S. Hajrasuliha. 2001. Lead-polluted soil along some Iranian highways. *Journal of Crop Production and Processing* 4 (4) :31-42 (In Persian)
39. Rehman, I. U., M. Ishaq, L. Ali, S. Khan, I. Ahmad, I. U. Din and H. Ullah. 2018. Enrichment, spatial distribution of potential ecological and human health risk assessment via toxic metals in soil and surface water ingestion in the vicinity of sewakht mines, District Chitral, Northern Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 154: 127–36.
40. Sahraei, N. 2023. Assessment of pollution in the central soils of Khuzestan province with potentially toxic elements (PTEs) and their origins. *Journal of Water and Soil* 37 (3): 457–71 (In Persian)
41. Selahvarzi, M., S. Sobhanardakani, A. H. Hemmasi, L. Taghavi and J. Ghoddousi. 2023. Contamination and source apportionment of iron, zinc, cadmium and chromium elements in surface soil of Khorramabad County, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment* 15 (4) :651-670
42. Silva, H. F., N. Frade Silva, C. M. Oliveira and M. José Matos. 2021. Heavy metals contamination of urban soils-a decade study in the city of Lisbon, Portugal. *Soil Systems* 5 (2), 1-18.

43. Skorbiłowicz, M., E. Skorbiłowicz and W. Rogowska. 2021. Heavy metal concentrations in roadside soils on the Białystok-Budzisko route in Northeastern Poland. *Minerals* 11 (11).
44. Skrynetska, I. J., G. Karcz, M. Barczyk, R. Kandziora-Ciupa, A. Ciepał and A. Nadgórska-Socha. 2019. Using *Plantago* major and *Plantago lanceolata* in environmental pollution research in an urban area of southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research* 26: 23359–23371.
45. Song, X., S. S. F. Kenston, L. Kong, and J. Zhao. 2017. Molecular mechanisms of nickel induced neurotoxicity and chemoprevention. *Toxicology* 392: 47–54.
46. Szwalec, A., P. Mundała, R. Kedzior and J. Pawlik. 2020. Monitoring and assessment of cadmium, lead, zinc and copper concentrations in arable roadside soils in terms of different traffic conditions. *Environmental Monitoring and Assessment* 192: 1–12.
47. Tan, B., H. Wang, X. Wang, C. Ma, J. Zhou and X. Dai. 2021. Health risks and source analysis of heavy metal pollution from dust in Tianshui, China. *Minerals* 11 (5): 502.
48. Topolski, B., and M. Thompson. 2010. Digestion of tissue samples for total mercury analysis. HG-015-2.15, Department of Environmental Protection, Florida. Available online at: <http://www.dep.state.fl.us/labs>. Accessed 25 April 2023.
49. Tsuchiyama, T., A. Tazaki, M. A. Al Hossain, I. Yajima, N. Ahsan, A. A. Akhand, K. Hashimoto, N. Ohgami and M. Kato. 2020. Increased levels of renal damage biomarkers caused by excess exposure to trivalent chromium in workers in tanneries. *Environmental Research* 188: 109770.
50. Turan, O., H. Ozdemir and G. Demir. 2020. Deposition of heavy metals on coniferous tree leaves and soils near heavy urban traffic. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies* 1 (1): 35–41.
51. USEPA- Office of Solid Waste and Emergency Response. 1983. Hazardous Waste Land Treatment SW-874, 273 pages.
52. Vaiopoulou, E., and P. Gikas. 2020. Regulations for chromium emissions to the aquatic environment in Europe and elsewhere. *Chemosphere* 254: 126876.
53. Zhao, H., B. Cui and K. Zhang. 2010. The distribution of heavy metal in surface soils and their uptake by plant along road side slop in longitudinal range Gorge region, China. *Environmental Earth Sciences* 61:1013-1023.
54. Zolfaghari, G. (2018). Risk assessment of mercury and lead in fish species from Iranian international wetlands. *MethodsX*, 5: 438–447.
55. Zolfaghari, G., A. Esmaili Sari, S. M. Ghasempouri, F. Ghorbani, N. Ahmadifard and N. Shokri. (2006). Relationship between age, gender and weight with mercury concentration in different organs of *Chalcalburnus chalcalburnus* from Anzali wetland. *Journal of Marine Science and Technology*, 5(3-4), 23-31 (In Persian)
56. Zolfaghari, G., and M. Kargar. 2019. Nanofiltration and microfiltration for the removal of chromium, total dissolved solids, and sulfate from water. *MethodsX* 6: 549–557.
57. Zolfaghari, G., M. Delsooz and S. Rajaei. 2016. Study of mercury pollution in water, sediments, and fish from Hamoon International Wetland. *Journal of Water and Waste water* 27(5):25-37 (In Persian)

Ecological Risk Assessment of Chromium and Nickel in Soil Along the Shadmehr-Gonabad Road in Khorasan Razavi Province, Iran

G. Zolfaghari^{1*}, M. Mazlounpanah² and M. Jumapour³

(Received: June 20-2024; Accepted: October 16-2024)

Abstract

Pollution caused by traffic is the result of incomplete combustion, wear of pads, and erosion of road surfaces. The purpose of this research was to determine the concentration of nickel and chromium in soil along the road of Shadmehr-Gonabad, in Khorasan Razavi, to evaluate the soil quality and effect of traffic on the concentration of elements. The results showed that the highest concentration of chromium and nickel in Faiz Abad station was 212.75 and 194 mg/kg in autumn and 143.25 and 159.25 mg/kg in winter, respectively. According to the results of the Potential Ecological Risk Index and the Risk Index, the biological toxicity of the elements was in the low-risk class. ANOVA and Pearson's analysis tests indicated the correlation between chromium and nickel with the distance from the road inversely and significantly ($p < 0.05$). The results of counting the cars using video showed that the number of passing cars at Shadmehr police station was more than the other stations. The average concentration of chromium (74.41 mg/kg) and nickel (73.79 mg/kg) were higher than the global soil average and the average soil of Khorasan Razavi. This research showed that high pollution is due to the simultaneous effect of traffic and geological origin.

Keywords: Toxic elements, Vehicles, Pollution factor, Ecological risk index.

1. Associate Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
2. M.Sc. Alumnus, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
3. Monitoring agent, Department of Environment, Bardaskan, Iran.
Corresponding Author, Email: ghr_zolfaghari@yahoo.com