بوم‌شناسی کاربردی/ سال سیزدهم / شماره اول / بهار ۱۴۰۳/ صفحات ۶۱ تا ۷۸

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

قاسم ذوالفقاری[1*]، محمد مظلوم پناه[2] و مهدی جمعه پور[3]

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

چکیده

آلودگی ناشی از تردد خودروها از احتراق ناقص، ساییدگی 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 ۱۹٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم در پاییز و ۱٤۳/۲۵ 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 ($p<$ ۰/۰۵) 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 (۷٤/٤۱ 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.د انش‌آموخته 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

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

مقدمه

فعالیت‌های انسانی در مسیر توسعه از یک سو تاثیرات مثبتی بر زندگی بشر گذاشته اما از طرف دیگر منجر به ایجاد آلودگی محیط زیست شده است (٤، ٣٢ و٤٧) . صنعت، کشاورزی و حمل و نقل جاده‌ای از منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین هستند (٤٣) . آلودگی محیط‌زیست به دلیل وجود آثار سمی فلزات سنگین در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی قابل توجه می‌باشد (٢٦ و ٥٧). فلزات غیر ضروری مانند نیکل و کروم شش ظرفیتی در فعالیت‌های متابولیکی هیچ نقشی ندارند (٣٩) و حتی در غلظت‌های کم، بر بافت‌های مختلف موجودات زنده اثر مضر دارند (٢٤ و ٥٤). 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 (٢٧).

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 (٢١) چرا که نزدیک بسیاری از جاده‌ها محل فعالیت های کشاورزی و مواجهه انسان است. در دهه‌ای اخیر، افزایش خودروها منجر به افزایش آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی به فلزات سنگین شده است (١١ و ٣٣). 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 (١٩). آلودگی ایجاد شده از حمل‌ونقل جاده‌ای یک خطر زیست‌محیطی است که مسئول مرگ زودرس در سراسر جهان می‌باشد (١٤) .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 (٣٥). 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 (٤٣). در مطالعات مختلف مشخص شده که غلظت فلزات سنگین تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ترافیک، راه‌سازی، کشاورزی، اگزوز خودروها، قطعات خودرو، خوردگی مصالح ساختمانی، فرونشست جوی و غیره قرار دارد (١٣و ٥٥). وجود فلزات سنگین به عنوان شاخص آلودگی در خاک سطحی، رسوبات و گرد و غبار می‌باشد (٤٦). افزایش ترافیک در ترکیب با فعالیت های 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 می دهد. محققین رایج‌ترین فلزات سنگین در بین آلاینده‌های ناشی از ترافیک را کادمیم، کروم، مس، منگنز، نیکل، سرب و روی می دانند (٢٣) 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 (٢٢). 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 (٤٢). همچنین در سال ٢٠٢٠ آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کنار بزرگراه کوتاهیا- اسکیشهیر (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 به‌دست‌آمده از نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه مورد مطالعه، شواهدی از غنی شدگی و آلودگی از نظر سرب،

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

روی و نیکل مشاهده شد. نتایج نشان داد که خاک‌های کنار جاده و گرد و غبار بزرگراه دارای آلودگی و درجه غنی شـــدگی کم و متوسـط برای مس، سـرب، روی، کروم و جیوه و درجات نسـبتاً زیادی برای نیکل هســتند (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، سـرب و روی که باعث آلودگی نمونه‌ها می‌شـوند اندازه‌گیری شـد. نتایج نشـان داد که غلظت همه فلزات سـنگین در این مناطق از حد مجاز فراتر رفته اسـت (۵۰) . همچنین مایبا و همکاران آلودگی فلزات در گرد و غبار جاده و خاک کنار جاده شـهر سـووا در کشـور فیجی را ارزیابی کردند. به طور کلی، این مطالعه نشـــان داد که غلظت تمام فلزات ســـنگین (کبالت، کروم، نیکل، مس، سرب، روی و آهن) از حد مجاز فراتر رفته و برای عموم مردمی که در مجاورت منطقه صـنعتی زندگی و کار می‌کنند، نگران‌کننده است (۲۵).

عدم رعایت استانداردهای بین‌المللی در ایران منجـــربه آلوده شدن محیط‌های پیرامون جاده‌ها شـــده اســـت. به منظور حفاظت زیست بوم‌ها از آلودگی فلزات سـمی، بررسـی آلـودگی خـاک به ایـــن فلزات بسـیار ضـــروری است (۵۳). این مساله به‌ویژه از آن جهت مهم اســـت که در ایران، چرای دام و کاشـــت محصـــولات زراعی در حاشیه جاده ها رایج است و این موضوع سلامت انسان و محیط زیســـت را تهدید می کند. با وجود گزارشـــات مذکور، تحقیقات انجام شـده در ایران، در این زمینه، اندک اسـت. هدف از این تحقیق **تعیین غلظت نیکل و کروم در خاک حاشـــیه جاده شـادمهر- گناباد در اسـتان خراسـان رضـوی و ارزیابی کیفیت خاک** منطقه و اراضـی پیرامون آن با اسـتفاده از شـاخص زمین انباشـتگی (I_{geo})، فاکتور آلودگی (C_F ,Contamination Factor)، شـــاخص پتانسـیل ریسـک اکولوژیک (Potential Ecological Risk Indx, PERI)، و شـاخص پتانسـیل کل ریسـک اکولوژیک (Risk RI Index,) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شـهرسـتان گناباد حدود ۵۹۰۲ کیلومتر مربع وسـعت دارد از نظر موقعیت، این شـهرسـتان در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ٤١ دقیقه و عرض جغرافیایی ٣٤ درجه و ۲۱ دقیقه قرار دارد. شهرستان‌های هم‌جوار این شـهرسـتان در شـمال مه‌ولات و رشـتخوار، کاشـمر و بجســـتان، در غرب فردوس و بجســـتان، در مشـــرق خواف و در جنوب شهرستان قاینات در خراسان جنوبی است. محور پلیس راه شادمهر-گناباد جاده مواصلاتی استان خراسان رضوی به استان‌های خراسـان جنوبی و سـیسـتان و بلوچسـتان و همچنین اسـتان‌های جنوبی کشـور از طریق جاده گناباد-فردوس اسـت. شـهرسـتان مه ولات در اسـتان خراسـان رضـوی واقع شـده و از شـمال با تربت حیدریه، از جنوب با گناباد، از شـرق با رشـتخوار و از غرب نیز با کاشـمر هم مرز است و مرکز آن فیض آباد است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی شهرستان‌های گناباد و مه ولات را نشان می‌دهد.

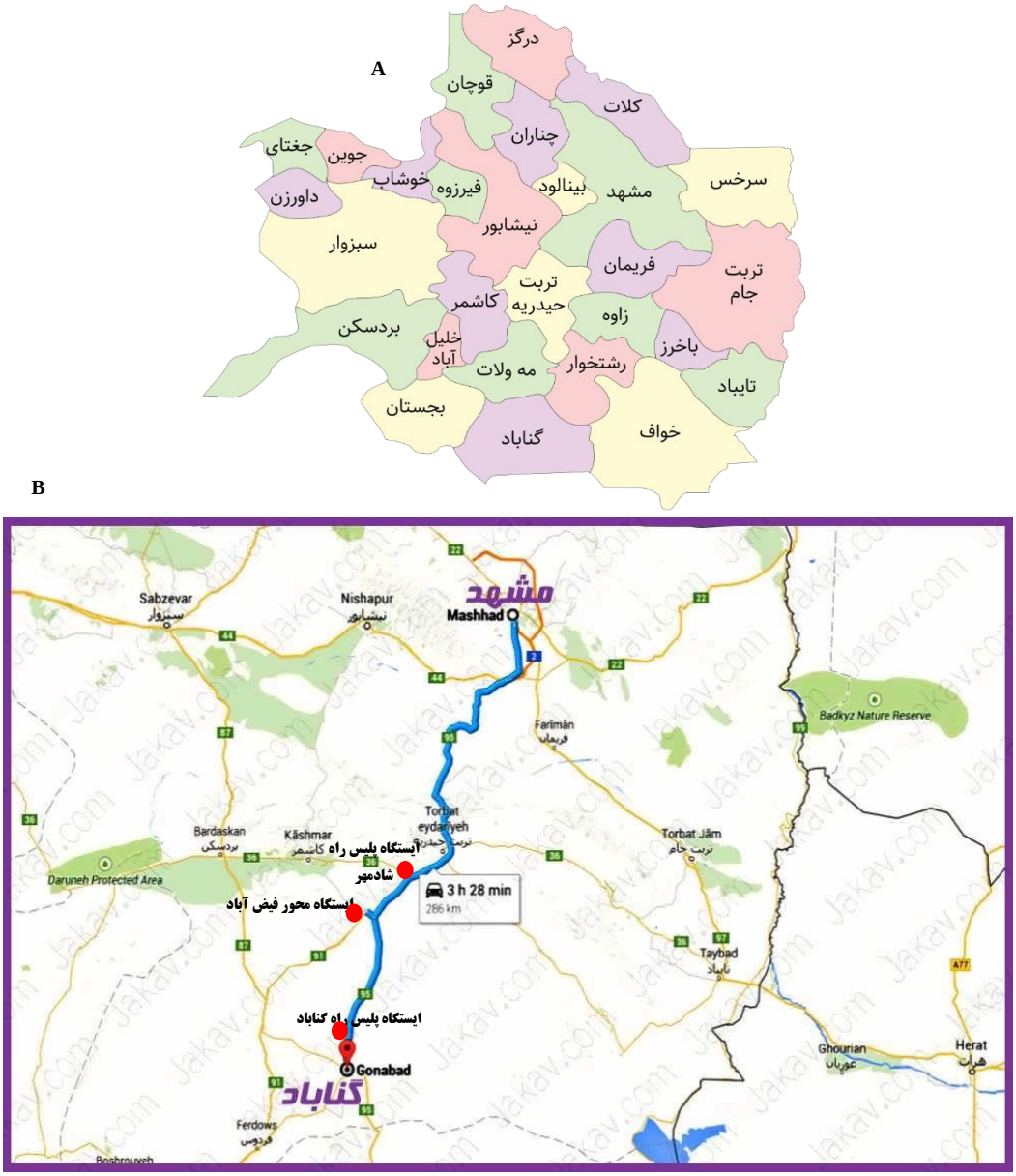
نمونه‌برداری

برای بررسـی آلودگی خاک اطراف جاده به فلزات سـنگین نیکل و کروم ناشی از تردد وسایط نقلیه، محور سه راهی شادمهر-پلیس راه گناباد، با بار ترافیکی نسـبتاً بالا، انتخاب شـد. در طول مسـیر تعداد ۳ ایسـتگاه پلیس راه گناباد (طول جغرافیایی: ۳۸۱۰۲۰۷ و عرض جغرافیـایی: ٦٥٣٩٥٩) پلیس راه شـــادمهر (طول جغرافیـایی: ۳۸۱۰۲۰۳ و عرض جغرافیایی: ٦٥٣٩٥٤) و محور فرعی فیض‌آباد به محور پلیس راه شـادمهر-گناباد (طول جغرافیایی: ۳۸۷٤۷۰۹ و عرض جغرافیایی: ٦٦٦٧٦٩) انتخاب شد (شکل ۱).

نمونه‌گیری از خاک در پاییز و زمســـتان ۱٤۰۱، به صـــورت ماهانه و در جهت باد غالب منطقه، از فواصـل ۱، ۲۰ و ۵۰ متری از حاشیه جاده و از عمق cm ۲۰-۰ حدود ۲ کیلوگرم انجام شد. از

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]



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

هر نقطه سه بار نمونه برداری شد و نمونه ها 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 ٥٤ آزمایش تعیین غلظت کروم و ٥٤ آزمایش تعیین غلظت نیکل انجام شده است. نقاط برداشت شده توسط دستگاه GPS (Global Positioning System) مختصات جغرافیایی نقاط به صورت UTM (Universal Transverse Mercator) ثبت شد (جدول ۱). سپس نمونه‌ها درکیسه های پلاستیکی ریخته و بسته‌بندی شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری خصوصیات خاک، نمونه‌ها در هوای آزاد خشک و از هر نمونه

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

یک کیلوگرم پس از عبور از الک mm ۲ به آزمایشگاه منتقل شد. شکل ۱ تصویر محل‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. جهت تهیه آمار خودروها در ایستگاه‌های مذکور، در فصل‌های 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 فیلم‌برداری شد. تعداد و حجم تردد خودروها به تفکیک 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 ٤ (اتوبوس)، و کلاس ٥ (تریلرها و باربرهای بالاتر از سه محور) از طریق فیلم‌های تهیه شده به کمک روش چوب خط شمارش شد. با توجه به اینکه میانگین اعداد به‌دست آمده در ایستگاه‌های مختلف باید برای بازه زمانی یک ساعته مورد محاسبه قرار گیرند، از طریق نسبت‌گیری این موضوع در نرم افزار اکسل انجام شد.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

در این مطالعه تعیین بافت خاک توسط روش هیدرومتری صورت گرفت. همچنین برای هدایت الکتریکی از ECmeter ، برای اندازه گیری pH نمونه‌ها از دستگاه pH ، و برای تعیین مواد آلی خاک از روش والکی بلک (Walkey and Black) بهره گرفته شد (۳۱). به منظور اندازه‌گیری غلظت نیکل و کروم در نمونه‌های خاک ابتدا باید نمونه‌ها با اسید کلریدریک، اسید نیتریک و اسیدفلوئوریک هضم شده و سپس با دستگاه جذب اتمی (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) مدل Perkin Elmer4100 مقدار نیکل و کروم خاک اندازه گیری شد (۳٤). 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)، Gc غلظت فلز در 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 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. برای درصد بازیابی کروم و نیکل از فرمول زیر استفاده شد (٤٨):

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

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 ۹٦ درصد حاصل گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل همبستگی بین غلظت نیکل و کروم در نمونه‌های خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. همچنین تجزیه و تحلیل داده‌های آماری به صورت آنالیز واریانس چند طرفه انجام شد و به منظور مقایسه میانگین از آزمون توکی استفاده شد.

شاخص‌های 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 انسان‌زاد از عوامل طبیعی، از شاخص زمین انباشتگی استفاده می‌شود. این شاخص می‌تواند مبین تأثیر عوامل خارجی (انسان‌زاد) باشد. اولین بار شاخص زمین انباشتگی توسط مولر طبق رابطه ۳ ارائه شد.

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

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

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

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
	۱	۸/٤٦	۳/۰۹	۰/۹۹	۱/۹۵	٦	۲۲	۷۲	شنی – لومی
پلیس راه گناباد	۲۰	۸/٥٤	٥/٥٦	۰/۲۲	۰/٤٥	۲	۲۲	۷٦	لومی– شنی
	٥۰	۸/۲۳	۰/۷۹۲	۰/۱٥	۰/۳۰	٦	۱٤	۸۰	لومی– شنی
	۱	۸/۰۷	۳/٦٥	۱/٦٦	۳/۲۷	۱٤	۳۰	٥٦	شنی– لومی
پلیس راه شادمهر	۲۰	۸/٥۰	۱/۱٦۹	۰/۲۸	۰/٥٦	۲۰	٥۲	۲۸	سیلت– لومی
	٥۰	۸/۳۲	۱/۱۱۰	۰/٤۰	۰/۷۹	۱٤	۳	۸۳	شنی – لومی
	۱	۸/۲۳	۰/۷۳۳	۰/۷۲	۱/٤۳	٤	۱٦	۸۰	لومی– شنی
محور فیض آباد	۲۰	۸/۲۹	۰/۸۰۳	۰/۲٤	۰/٤۸	۸	۳٦	٥٦	شنی – لومی
	٥۰	۸/۱۸	۰/۸۰۷	۰/۳۰	۰/٦۰	۸	۳۲	٦۰	شنی – لومی

$٤ \leq I_{geo} > ۳$ آلودگی شدید، $٥ \leq I_{geo} > ٤$ آلودگی شدید تا نسبتا شدید، و $٥ < I_{geo}$ آلودگی بسیار شدید است. همچنین از فاکتور آلودگی (CF) جهت تعیین آلایندگی 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 ٤ برای تمام عناصر مورد بررسی محاسبه گردید.

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \quad (٤)$$

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 ۸۰ mg/kg و ۱۰۰ 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 $CF \geq 6$: آلودگی خیلی بالا. شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه (PERI) در برآورد سمیت بیولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است و می‌تواند برآورد جامعی از خطرات زیستی فلزات در محیط داشته باشد. شاخص ریسک اکولوژیک از طریق رابطه ٥ محاسبه می‌شود.

$$Er=Tr\times CF \quad (٥)$$

Ecological risk (Er): ریسک اکولوژیک عنصر، Toxicity (Tr) ratio: فاکتور سمیت فلزات سنگین، و Contamination (CF) Factor: فاکتور آلودگی می‌باشد. پارامتر Tr فاکتور سمیت فلزات نام دارد که برای کروم ۲ و نیکل ٥ است (۱۷). طبق شاخص مذکور $PERI < ۱٥۰$ ریسک کم، $۱٥۰ \leq PERI < ۳۰۰$ ریسک متوسط، $۳۰۰ \leq PERI < ٦۰۰$ ریسک زیاد، و $PERI \geq ٦۰۰$ ریسک بسیار زیاد است. به‌علاوه شاخص ریسک (RI) طبق رابطه ٦ محاسبه می‌گردد که در آن n تعداد عناصر مورد بررسی است.

$$RI = \sum_{i=1}^{n} Er \quad (٦)$$

نتایج و بحث

خصوصیات خاک منطقه

جدول ۱ نتایج مطالعات خصوصیات خاک در ایستگاه‌های مورد

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

جدول ۲. ضریب همبستگی بین فاکتورهای مورد بررسی

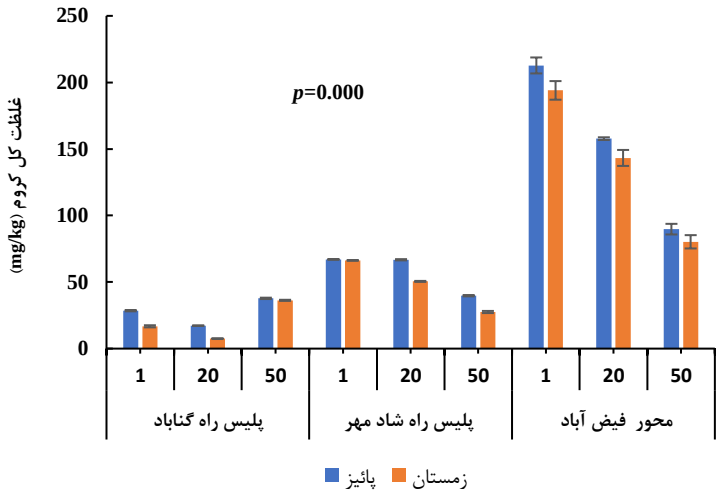
فاکتورهای مورد بررسی	پارامتر آماری	کروم	نیکل
نیکل	همبستگی پیرسون	**۰/۹۵۲	۱
	سطح معنی‌دار	۰/۰۰۰	-
pH	همبستگی پیرسون	-۰/٤۹۲	-۰/٤۸٤
	سطح معنی‌دار	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
درصد کربن	همبستگی پیرسون	۰/۰۳٤	۰/۰٤٦
	سطح معنی‌دار	۰/۸۰۷	۰/۷٤۳
درصد ماده آلی	همبستگی پیرسون	-۰/۰۳۲	-۰/۰٤۷
	سطح معنی‌دار	۰/۸۱۹	۰/۷۳۸
میزان رس	همبستگی پیرسون	-۰/۰۱۲	-۰/۰۷۱
	سطح معنی‌دار	۰/۹۳۳	۰/٦۰۹
فاصله	همبستگی پیرسون	*-۰/۳۰۵	*-۰/۲۷٤
	سطح معنی‌دار	۰/۰۲۵	۰/۰٤۵

مطالعه را نشـــان می‌دهد. برخی از محققان بیان کرده‌اند که انتقال ذرات سایشی از سطح جاده به خاک حاشیه جاده، با گذشت زمان pH را به سـمت خنثی یا حتی قلیایی تغییر می‌دهد (۳۷ و ٤٤). از طرفی، افزایش pH خاک منجر به افزایش رسوب عناصر فلزی به شـــکل کمپلکس‌های آلی، کربنات‌های نامحلول، هیدروکســـیدها می‌شـــود (٦ و ۱۸). کلاس بافت خاک در تمام نمونه‌ها به جز فاصله ۲۰ متری از ایستگاه پلیس راه شادمهر لومی-شنی بود و در این فاصـــله سـیلت لومی اســـت که بیشـــترین 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 سـطح ۹۹٪ بوده و این ارتباط مستقیم است. ضریب همبستگی (۹۵٪) این فلزات با یکدیگر قوی بوده بنابراین از یک منشأ یکسـانی برخوردار می‌باشـند. طبق نتایج این مطالعه رابطه همبســـتگی بین میزان رس و ماده آلی با غلظت فلزات کروم و نیکل منفی اسـت. به عبارت دیگر با افزایش رس و مواد آلی غلظت فلزات سنگین مورد بررسی کاهش می یابد. خاک رس و مواد آلی خاک با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک میزان عناصـــر ســـمی و ســـنگین را کاهش می دهند. از طرفی رابطه همبسـتگی که بین کروم و نیکل و pH وجود دارد در سـطح ۹۹٪ اسـت و این ارتباط معکوس می‌باشـد. فلزات سـنگین در pH پایین خاصـیت انحلال بیشـتری دارند یکی از دلایل این رابطه معکوس می‌توان به این مورد اشـــاره کرد که با افزایش pH انحلال فلزات ســـنگین کاهش پیدا می‌کند که در نتایج این پژوهش این امر نیز اثبات شـده اسـت. رابطه همبسـتگی فاصـله از جاده منفی اسـت به این صـورت که با افزایش فاصـــله از لبه جاده میزان کروم و نیکل کاهش پیدا می‌کند (جدول ۲). آزمون تجزیه و تحلیل واریانس چند طرفه نیز حکایـت از رابطه معنی دار بین کروم و نیکل با فاصـله از جاده ($p< ۰/۰۵$) دارد. در مطالعه قاسـم‌زاده و همکاران ارزیابی آلودگی و منشـــأ برخی عناصـــر ســـنگین در خاک های کشـــاورزی انجام شـــد. مقادیر بالای کادمیم و نیکل در خاک، براساس شاخص غنی شدگی، زمین انباشت و خطرات اکولوژیک، به ترتیب به کاربردهای طولانی مدت و گسترده کودهای شیمیایی،

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]



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

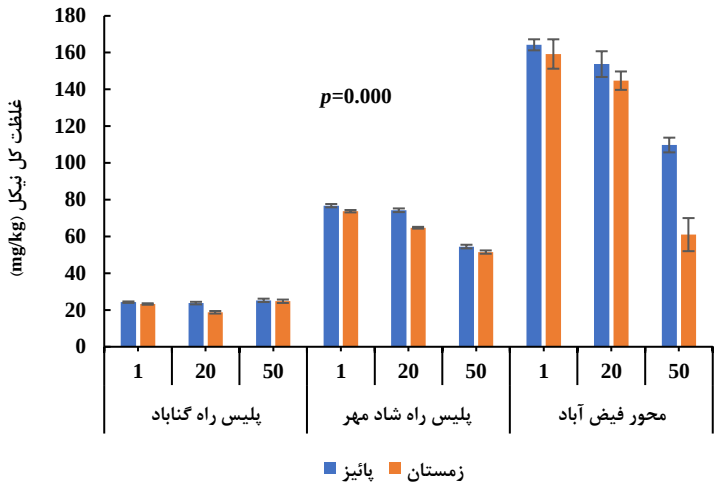
انتشار ناشی از تردد خودروها، و مواد مادری افیولیت (Ophiolite) نسبت داده شد؛ در حالی که مقدار بالای این شاخص‌ها برای مس به منشأ دو گانه انسان زاد و زمین زاد ارتباط داده شد. در صورت عدم رعایت ملاحظات زیست محیطی، مانند نبود اعمال مدیریت صحیح در منطقه، در دراز مدت صدمات جبران ناپذیری به چرخه محیط زیست وارد خواهد شد. لذا ضروری به نظر می‌رسد که تصمیماتی در راستای کاهش این آلودگی‌ها و نیز در صورت امکان حذف آن ها 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 ۷/۵ mg/kg در زمستان و ۱۷/۲۵mg/kg در پاییز بود. بالاترین غلظت کروم در فاصله ۱ متری ایستگاه ۳ محور شهر فیض‌آباد به محور پلیس راه شادمهر– گناباد به میزان ۱۹٤ mg/kg در زمستان و ۲۱۲/۷۵ 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 ($p = 0.000$). 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 تایر 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

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]



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

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 می شود، 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 ٥٦). 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 (٤٩). جهت باد غالب ایستگاه پلیس راه گنلباد جنوب شرقی، جهت باد غالب ایستگاه شادمهر شمال شرقی، و جهت باد غالب ایستگاه فیض‌آباد جنوب شرقی است. باد جنوب شرقی گناباد باعث می‌شود ذرات صنایع آلاینده به طرف ایستگاه مورد 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 ۱۸/۷۵ mg/kg و ۲۳/۷۵ mg/kg بود. همچنین بالاترین غلظت نیکل در فاصله ۱ متری ایستگاه شماره ۳ محور شهر فیض‌آباد به محور پلیس راه شادمهر–گناباد به ترتیب در زمستان و پاییز به میزان ۱۵۹/۲۵ mg/kg و ۱٦٤/۲۵ 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

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

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

نام ایستگاه	فاصله از جاده (متر)	کروم		نیکل	
		پائیز	زمستان	پائیز	زمستان
	۱	−۰/۷۲	−۰/۹۵	−۰/٦۹	−۰/۷۱
پلیس راه گناباد	۲۰	−۰/۹۳	−۱/۳۰	−۰/۷۰	−۰/۸۰
	۵۰	−۰/۵۹	−۰/٦۱	−۰/٦۷	−۰/٦۸
	۱	−۰/۳۵	−۰/۳۵	−۰/۱۹	−۰/۲۱
پلیس راه شادمهر	۲۰	−۰/۳۵	−۰/٤۷	−۰/۲۰	−۰/۲٦
	۵۰	−۰/۵۷	−۰/۷۳	−۰/۳٤	−۰/۳٦
	۱	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۲
محور فیض‌آباد	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 نشت 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 (۱٦ و ٤۵).

ارزیابی کیفیت خاک منطقه

با رابطه ارائه شده توسط مولر، شاخص زمین انباشتگی (I_{geo}) برای عناصر مورد مطالعه، به جهت بررسی شدت آلودگی ناشی از حضور آن‌ها محاسبه گردید. مطالعه آلودگی به فلز کروم در فصل پائیز 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 نسبتا 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 نسبتا غیر آلوده قرار دارد. در مورد فلز نیکل نیز در فصل پائیز در فاصله ۱ و ۲۰ متری در ایستگاه ۳ در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط بوده است و در فاصله ۵۰ متری این

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

جدول ٤. 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	۰/۱٦	۰/۳۰	۰/۲۹
	۲۰	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۲۹	۰/۲۳
	۵۰	۰/۳۷	۰/۳٦	۰/۳۱	۰/۳۰
پلیس راه شادمهر	۱	۰/٦۷	۰/٦٦	۰/۹۵	۰/۹۲
	۲۰	۰/٦٦	۰/۵۰	۰/۹۲	۰/۸۰
	۵۰	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/٦۸	۰/٦٤
محور فیض‌آباد	۱	۲/۱۲	۱/۹٤	۲/۰۵	۱/۹۹
	۲۰	۱/۵۷	۱/٤۳	۱/۹۲	۱/۸۰
	۵۰	۰/۸۹	۰/۸۰	۱/۳۷	۰/۷٦

ایستگاه و تمام فواصل بقیه ایستگاه‌ها در رده نسبتا 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 نسبتا 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 (٤٠).

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 آلودگی برای این فلز در محدوده متوسط بوده و در بقیه فواصل و ایستگاه‌ها در محدوده آلودگی پایین قرار دارد. همچنین مقدار فاکتور آلودگی در فصل زمستان نیز مشابه فصل پائیز است (جدول ٤). 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 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 به‌جز فاصله ۱و ۲۰ متری ایستگاه ۳، سایر ایستگاه‌ها در رده آلودگی پایین قرار دارند. مشابه فصل پاییز می‌باشد (جدول ٤). صلاح ورزی و همکاران (٤۱) 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 کادمیوم در تهران انجام شد، شاخص ریسک اکولوژیک بالقوه مس، سرب، کادمیوم در بهار، پاییز و زمستان بیشترین آلودگی را نشان داد و نیکل و کروم در کلاس کم خطر قرار

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

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

نام ایستگاه	فاصله از جاده (متر)	کروم		نیکل	
		پائیز	زمستان	پائیز	زمستان
	۱	۰/۵٦	۰/۳۲	۱/۵	۱/٤٥
پلیس راه گناباد	۲۰	۰/۳٤	۰/۱٤	۱/٤٥	۱/۱٥
	۵۰	۰/۷٤	۰/۷۲	۱/۵۵	۱/۵
	۱	۱/۳٤	۱/۳۲	٤/۷۵	٤/٦
پلیس راه شادمهر	۲۰	۱/۳۲	۱	٤/٦	٤
	۵۰	۰/۷۸	۰/۵٤	۳/٤	۳/۲
	۱	۱/۲٤	۳/۸۸	۱۰/۲۵	۹/۹۵
محور فیض‌آباد	۲۰	۳/۱٤	۲/۸٦	۹/٦	۹
	۵۰	۱/۷۸	۱/٦	٦/۸٦	۳/۸

داشت. از دلایل این امر می توان 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 ٦۰۰ mg/kg، کشاورزی ۱۱۰ mg/kg، جنگل و مرتع ۵۳۰ mg/kg، حفاظت محیط زیست ۵۰ mg/kg، و حفاظت آبهای زیرزمینی ٦۰۰ mg/kg است. استاندارد خاک سازمان حفاظت محیط زیست در خصوص کروم ٦ ظرفیتی برای کاربری تجاری، جنگل، و مرتع ۱۵ mg/kg، کشاورزی ۲ mg/kg، حفاظت محیط زیست ۰/٤ mg/kg، و حفاظت آبهای زیرزمینی ۱۰۰ mg/kg است (۱۰). همچنین معیار پوسته زمین برای کروم و نیکل به ترتیب ۱۰۰ و ۸۰ mg/kg (Bowen, 1979)، معیار خاک جهانی برای کروم و نیکل به ترتیب ۷۰ و ۵۰ mg/kg (۷)، معیار شیل برای کروم و نیکل به ترتیب ۹۰ و ٦۸ mg/kg (۸)، میانگین خاک‌های طبیعی برای کروم و نیکل به ترتیب ۱۰۰ و ٤۰ mg/kg (۵۱)، و میانگین غلظت کروم و نیکل در خاک‌های خراسان رضوی به ترتیب ٦۸/۰۳ و ٤٤/۸٦ mg/kg (۹) گزارش شده است. میانگین غلظت کروم و نیکل در مطالعه حاضر در ایستگاه پلیس راه گناباد به ترتیب ۲٤ و ۲۳ mg/kg، پلیس راه شادمهر ۵۲ و ٦۵ mg/kg، و محور فیض آباد ۱٤٦ و ۱۳۲ mg/kg بوده که قابل مقایسه با معیارهای مذکور می‌باشد.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

جدول ٦. 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 ٤	وسیله نقلیه کلاس ٥	کل وسایل نقلیه
پلیس راه	پاییز	٥٣٤٨٩٩	١٢١٢٧	٣٠٠٠١	١١٩٣٩	٤٠٨٥٦	٦٢٩٨٢٢
گناباد	زمستان	٢٢٦٥٦٢	٦٧٦٢	١٧٣٧١	٨٧٦٩	٢٧١٧١	٢٨٦٦٣٥
پلیس راه	پاییز	١٢٤٦٥٧٢	٦٦٠١٢	٥٥٤٧٥	٢٦٧١٩	١٠٨٨١٣	١٥٠٣٥٩١
شادمهر	زمستان	١١٦١٥١٥	٦٧٩٩٩	٥٩٤٥٢	٢٥٨٩٥	١٢١٨٨١	١٤٣٦٧٤٢
محور فیض	پاییز	٦٣٣٧٤٠	٢٥٣٩٦	١٢٨٠٥	٢٠٢٥٢	٣٩٢٩٧	٧٣١٤٩٠
آباد	زمستان	٦٣٧٧٣٧	٣٦٤٠٧	١٤٢٦١	٢٤٢٥٧	٤٩٣٣٠	٧٦١٩٩٢

*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 ٤: اتوبوس، کلاس ٥: تریلرها و باربرهای بالاتر از سه محور

منشاء آلودگی عناصر کروم و نیکل در منطقه

جدول ٦ تعداد خودروهای شمارش شده در ایستگاه های پلیس راه گناباد، پلیس راه شادمهر، و محور فیض آباد نشان می دهد. جهت بررسی رابطه بین تردد خوردوها 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 کلاس ها از قبیل کلاس ٤ (اتوبوس) این همبستگی مستقیم (٠/٦٠) و معنی‌دار (p=٠/٠٠٣ برای کروم و p=٠/٠٠٠ 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 می دهد 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 ٤ نشان داده شده است (٩). این نقشه‌ها حاکی از غلظت‌های کم نیکل و کروم در مناطقی که ایستگاه ١ این تحقیق (پلیس راه گناباد) واقع شده است. بر عکس در حوالی ایستگاه ٣ یعنی محور فیض‌آباد غلظت‌های بالایی از نیکل و کروم مشاهده می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که نقش عوامل طبیعی زمین‌شناختی در غلظت‌های عناصر می‌تواند موثر باشد.

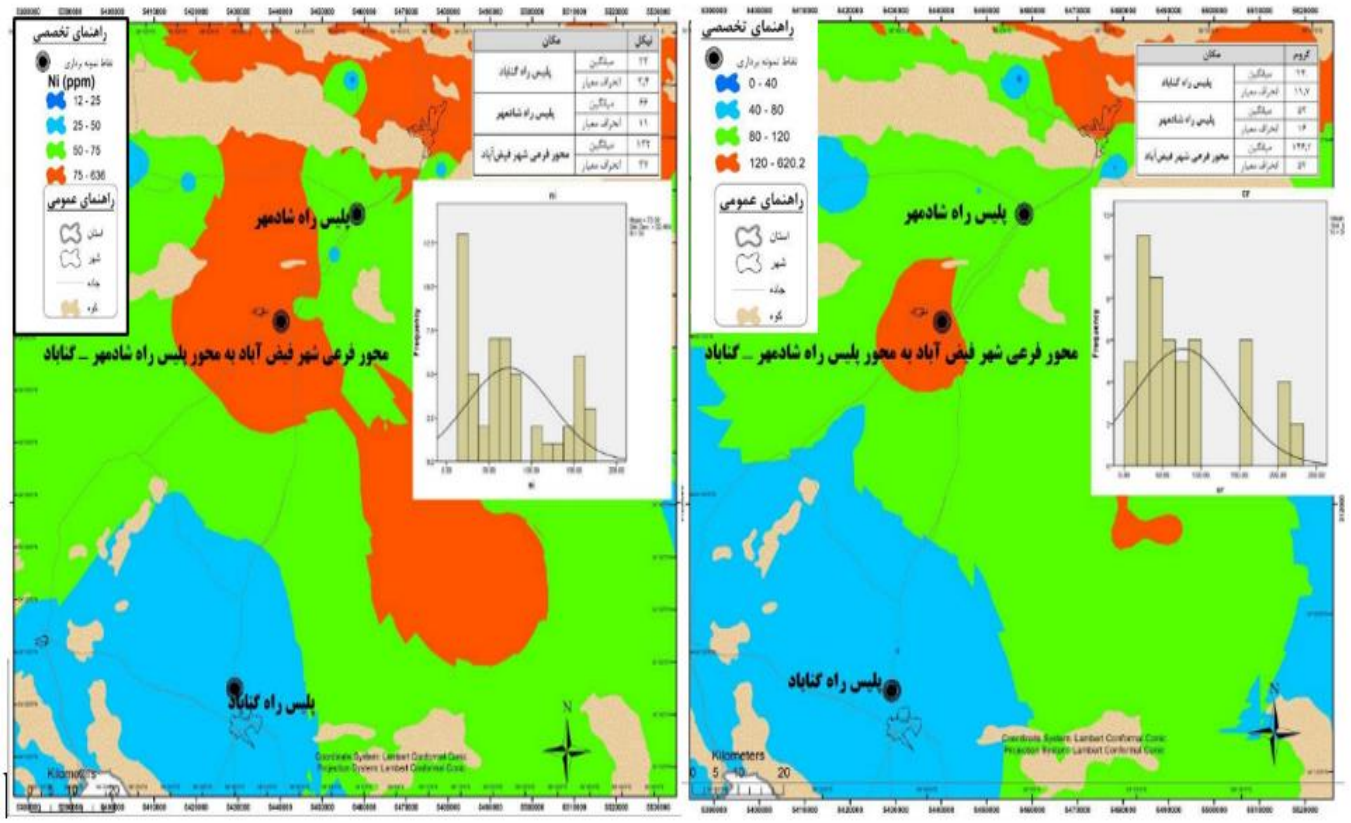
در مطالعه رحمانی و همکاران به منظور بررسی آلودگی خاک به وسیله ذرات سرب خارج شده از اگزوز اتومبیل‌ها در بزرگراه‌های رشت-انزلی (منطقه انزلی)، کلاچای-رامسر (منطقه رامسر)، تهران-کرج (منطقه کرج) و تهران-اصفهان (منطقه دلیجان) در فاصله ١٠٠ متری یک یا دو طرف جاده نمونه‌برداری شد. نتایج نشان داد که غلظت سرب در 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 (٣٨).

نتیجه‌گیری

میانگین کروم در این مطالعه (٧٤/٤١ mg/kg) از میانگین پوسته زمین، میانگین شیل و میانگین خاک‌های طبیعی (USEPA) کمتر

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]



شکل ٤. 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 (۷۳/۷۹ mg/kg) نیز از پوسته زمین کمتر ولی از میانگین خاک جهانی، شیل، خاک‌های طبیعی و میانگین خاک‌های خراسان رضوی بیشتر است. شاخص‌های زمین‌انباشتگی (I_{geo}) و فاکتور آلودگی (CF) حاکی از وجود آلودگی در برخی از ایستگاه ها 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 فرم های شیمیایی آنها در مطالعات آینده ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

از همکاری ارزشمند نمایندگی محیط زیست شهرستان زاوه در

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

مراحل مختلف این تحقیق سپاسگزاری می گردد.

منابع

1. Abrahim, 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. Amanzholkyzy 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 Tabatabei. 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* l00 (2): 250–258.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

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., Ł. 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 Beijiang 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. Ziyaee 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.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

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 beetween 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. Rajaee. 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)

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]

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

G. Zolfaghari[1*], M. Mazloumpanah[2] and M. Jumapour[3]

(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, Bardskan, Iran.
Corresponding Author, Email: ghr_zolfaghari@yahoo.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-10-17]

[DOI: 10.47176/ijae.13.1.1496.1]