ارزیابی شاخص های آلودگی و ریسک اکولوژیکی مربوط به فلزات سنگین در خاکهای اطراف جاده های برون شهری ایران

علیرضا پرداختی [۱*]، فاطمه زاهد [۲]

۱- نویسنده مسئول، دانشکده محیط زیست ، دانشگاه تهران، تهران، ایران

2 - عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه ، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: alirezap@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۹

چکیده

هدف از انجام این مقاله ، بررسی آلودگی خاک اطراف جاده های برون شهری به فلزات سنگین به لحاظ شاخص های غنی شدگی خاک، زمین انباشتگی، درجه آلودگی وریسک اکولوژیکی می باشد. داده های این مقاله مستخرج از دو پروژه پژوهشی می باشد که در یکی، نمونه های فلزات سنگین از ۲۲ ایستگاه محور تهران- ایوانکی و ۲۶ ایستگاه محور تهران- ساوه و در دیگری نمونه های نیکل و وانادیم برای محورهای آمل- بابل ، ایوانکی-کیلان و جلفا- سیه رود، از هر محور ۵ ایستگاه، برداشت شده اند. نتایج حاکی از آن است که میزان آلودگی محورهای مذکور به لحاظ شاخص غنی شدگی در اکثر ایستگاه ها کم، به لحاظ شاخص درجه آلودگی در حد کم تا متوسط ، برای شاخص زمین انباشتگی کم تا متوسط و موارد معدودی آلودگی زیاد (با آلاینده مسئول سرب یا کادمیم) می باشد. نتایج شاخص ریسک اکولوژیک بیانگر این است که در اکثر ایستگاه ها و ضعیت ریسک در حد متوسط و کم و در برخی ایستگاه ها بخصوص ایستگاه های ابتدایی و انتهایی محورها، ریسک اکولوژیک خیلی زیاد و قابل توجه ملاحظه می شود. که این مقادیر زیاد با توجه به نزدیکی به شهرها و وجود صنایع مختلف معقول به نظر می رسد.

کلمات کلیدی

"آلودگی خاک" , فلزات سنگین" ,"جاده برون شهری" ,"ارزیابی ریسک اکولوژیک"

Pollution Indices and Ecological Risk Assessment for Heavy Metals in Side Soils of Interurban Roads, Iran

Alireza Pardakhti[1,*], Fatemeh Zahed[2]

[1] Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Teharn, Iran

[2] Road and Urban Development Research Center, Teharn, Iran

*Email Address: alirezap@ut.ac.ir

Abstract

The aim of this paper is to investigate the soils around the roadways for heavy metals in terms of soil enrichment factor, Geoaccumulation, degree of contamination and potential ecological risk. The data of this paper have been used from two research projects. In one project, samples of heavy metals were collected from 22 stations along Tehran-Eyvanekey roadway and 26 stations along Tehran-Saveh and in other project samples of nickel and vanadium were taken for the roadways of Amol-Babol, Eyvanekey-kilan and Jolfa-Siahrood, from 5 stations along each road. The results indicate that soil contamination in terms of the enrichment factor, in most of the stations is low, in terms of contamination degree and geoaccumulation index is low to moderate for most of the stations and high in few cases (lead or cadmium as responsible pollutants) .The results of the ecological risk index indicate that in most stations, the risk is low to moderate and in few stations ,specially those at the beginning and the end of the road axis, is considerable or high which according to proximity to the cities seems reasonable.

Keywords :"Soil Pollution", "Heavy Metals", "Interurban Road", "Ecological Risk Assessment"

۱- مقدمه

امروزه جاده ها یکی از زیرساختهای اصلی و جزء جدایی ناپذیر توسعه کشورها می باشند. در اکثر نقاط جهان خاکهای کنار جاده ها در مناطق شهری نمایانگر آلودگی فلزات سنگین ناشی از منابع مختلف بخصوص منابع انسان ساخت هستند. اگرچه بسیاری از فلزات سنگین منبع طبیعی دارند، لیکن برخی دارای خطرات بالقوه سلامت، خصوصا در غلظتهای بالا، در انسان و سلولهای گیاهان می باشند. فلزات سنگینی نظیر کادمیوم و سرب و برخی نظیر مس و روی بالقوه سمی بوده و حتی در غلظتهای پایین تهدیدی برای سلامت انسان و بهداشت مواد غذایی محسوب می شوند (Adedegi,Oludare et.al, 2013).

فلزات سنگین می توانند مدت مدیدی در خاک کنار جاده باقی بمانند زیرا به کندی تجزیه می شوند. لذا ریسک شدیدی را به اکوسیستم تحمیل نموده و سلامت انسان را از طرق مختلف مواجهه از جمله تنفس ذرات گرد و خاک، تماس پوستی و هضم گیاهان پرورش یافته در اینگونه خاکها مورد تهدید قرار می دهد. (Zhang et.al , 2017)

در خصوص آلودگی خاک اطراف جاده ها به فلزات سنگین مطالعاتی در کشور انجام شده است. در پژوهشی غلظت فلزات سرب، روی، وانادیم، نیکل و کادمیوم ناشی از تردد وسایل نقلیه در خاک حاشیه بزرگراه تهران- کرج بیش از میزان مجاز گزارش شده است (Saeedi et.al ,2009). در پژوهش دیگری نیز میزان سرب و کادمیوم در خاک حاشیه محور تهران- دماوند مورد بررسی قرار گرفته است که در این مورد نیز غلظت سرب بیش از حد مجاز برآورد شده است (Behbahaninia , 2009) . همچنین در پژوهشی مشابه، میزان غلظت سرب در خاک حاشیه بزرگراه رشت- انزلی، کلاچای- رامسر، تهران-کرج و تهران- اصفهان بیش از حد مجاز گزارش شده است (Rahmani et.al, 2001).

در مقاله ای اندازه گیری فلزات سنگین در برخی جاده های درون شهری چین انجام شده است که غلظت فلز سرب بیش از حد مجاز گزارش شده است. (Zhang,et.al, 2017)

در بسیاری از مطالعات به رابطه بین فاصله از کناره جاده و غلظت فلزات سنگین در خاک حاشیه جاده پرداخته شده است . نتایج مطالعات در ایران نشان می دهد که آلودگی خاک ناشی از ترافیک در فاصله ۱۰۰ متر از کنار جاده به حداقل مقدار خود می رسد. همچنین بیشتر ذرات فلزی رسوب کرده در عمق ۰ تا ۵ سانتی متری سطح خاک باقی می مانند (Saeedi et.al ,2009).

در خصوص ارزیابی ریسک اکولوژیک، در مقاله ای فلزات سنگین موجود در غبارات رسوب کرده اطراف خیابانهای شهر تهران بررسی شده که نتایج بیانگر غنی شدگی زیاد خاک به فلزات کادمیم و سرب و مس و روی و ریسک اکولوژیک خیلی زیاد در تمامی نقاط می باشد. (Saeedi et.al ,2012). همچنین در پژوهشی که بر روی آلودگی خاک پارکهای شهر مونتنگرو صربستان به فلزات سنگین انجام شده است، یافته ها حاکی از ریسک اکولوژیک کم تا متوسط در اکثر ایستگاه ها می باشد و در ایستگاه های با ریسک اکولوژیک بالا، کادمیوم آلاینده اصلی ناشی از فعالیتهای انسانی از جمله ترافیک بوده است. (Boban et.al,2016)

در پژوهشی با عنوان" اندازه گیری و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی) در یک اکوسیستم تولید کننده مواد غذایی" ، ۳۱ تاکستان مورد مطالعه قرار گرفته اند که حدود ۷۷ درصد ریسک پایین (RI<150) و مابقی ریسک متوسط و قابل ملاحظه ای داشته اند. (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۶)

فلزات سنگین متداول در محیط های مجاور فعالیتهای ترافیکی و ساخت و ساز جاده شامل سرب (Pb)، مس (Cu)، کادمیوم (Cd)، روی (Zn)، کروم (Cr) ، نیکل (Ni) و وانادیم(V) می باشند.

آلودگی خاک ناشی از منابع طبیعی و انسانی باعث کاهش کیفیت زیست محیطی خاک می گردد. مطالعه حاضر به پایش غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی اطراف جاده ها و بررسی چند نمونه موردی (در اقلیم های متفاوت) به لحاظ شاخص های آلودگی و ارزیابی ریسک اکولوژیک خاکهای اطراف جاده های مورد بررسی می پردازد.

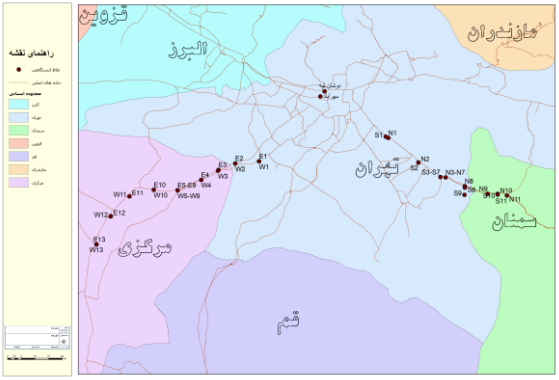
بدیهی است گام اول در ارزیابی گسترش و شدت آلودگی فلزات سنگین در مناطق مشکوک به آلودگی، تعیین غلظت فلزات سنگین می باشد. در گام دوم به تحلیل وضعیت آلودگی خاکهای اطراف جاده، توسط شاخص هایی نظیر ضریب غنی شدگی، شاخص زمین انباشتگی و درجه آلودگی اصلاح شده می پردازیم و در انتها ریسک اکولوژیک آنها محاسبه می گردد.

۲-روش انجام تحقیق

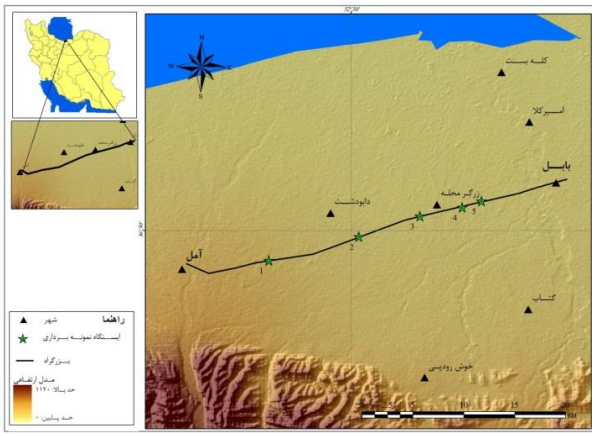
- **محدوده مورد مطالعه**

در این مقاله داده های نمونه برداری از جاده های تهران- ساوه و تهران- ایوانکی مبنای کار قرار گرفته اند. نمونه برداری برای

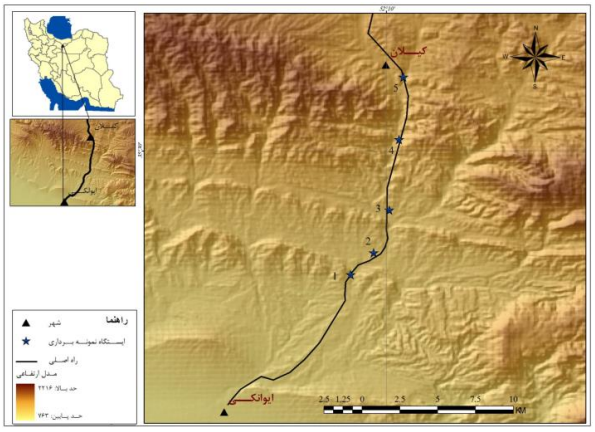
جاده تهران- ایوانکی در فصل تابستان سال ۱۳۹۱ (اواخر مرداد ماه) و برای جاده تهران-ساوه اوایل شهریور ماه که بارندگی در حداقل میزان خود است، انجام گرفته است. همچنین داده های نمونه برداری سه محور آمل- بابل در استان مازندران (به طول ۲۵ کیلومتر) ، ایوانکی- کیلان در استان سمنان (به طول ۳۱ کیلومتر) و جلفا- سیه رود در استان آذربایجان شرقی (به طول ۳۷ کیلومتر) نیز که در دو نوبت (زمستان ۱۳۸۹ و بهار ۱۳۹۰) انجام شده اند، به منظور مقایسه نتایج نیز مورد بحث و بررسی قرار می گیرند. ضمنا در انتخاب محورها و ایستگاه های نمونه برداری، مهمترین مساله حذف محدوده های تاثیر گذار توسط منابع آلاینده ثابت و متغیر نامرتبط با بهره برداری از جاده ها مورد نظر بوده است . در جاده تهران- ایوانکی که جهت آن شرقی- غربی است، نمونه ها از شمال و جنوب جاده و به تعداد ۲۲ ایستگاه و در جاده تهران- ساوه که شمالی جنوبی است، نمونه ها از شرق و غرب جاده و به تعداد ۲۶ ایستگاه برداشت شدند. در مجموع ۴۸ ایستگاه به فاصله ۵ متری از کنار جاده و به فواصل ۵ تا ۱۰ کیلومتر ی از هم می باشند. نمونه برداری با استفاده از بیلچه فولادی ضد زنگ و برداشت دو نمونه موازی از هر ایستگاه به میزان حدودی ۵۰۰ گرم برای هر نمونه از سطح خاک تا عمق حدکثر ۲۰ سانتی متری انجام شده است.



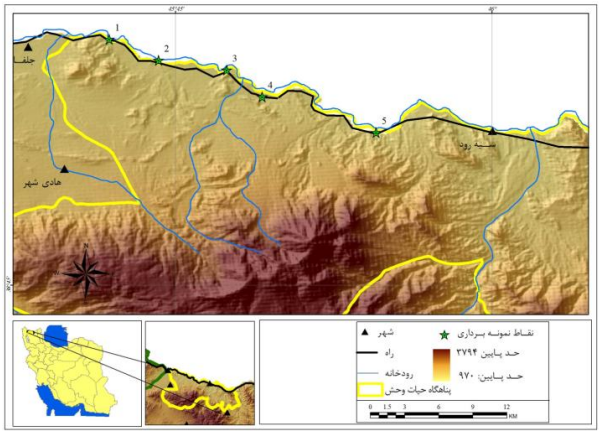
شکل ۱- ایستگاه های نمونه برداری محورهای تهران- ساوه و تهران ایوانکی



شکل ۲- ایستگاه های نمونه برداری محور آمل- بابل



شکل ۳- ایستگاه های نمونه برداری محور ایوانکی- کیلان



شکل ۴- ایستگاه های نمونه برداری محور جلفا- سیه رود

در خصوص محورهای آمل- بابل ، ایوانکی-کیلان و جلفا- سیه رود نیز برای هر مسیر، ۵ نقطه به عنوان ایستگاه نمونه برداری انتخاب شده اند. و سعی شده است که ایستگاه های مذکور بیشینه

ی فاصله را از محیط های مسکونی، شهرک های صنعتی، صنایع و تاسیسات بزرگ و با اهمیت داشته باشند تا معرف آلودگی حاصل از تردد جاده ای باشند. محورهای مذکور با توجه به معیار طبقه بندی اقلیمی در اقلیم های متفاوت قرار گرفته اند و می توانند معرف شرایط جاده های کشور باشند. کما اینکه عمده طول محور آمل- بابل در طبقه هوای گرم و مرطوب منطقه معتدل، عمده طول محور جلفا- سیه رود در طبقه خشک و معتدل، محور ایوانکی- کیلان دارای آب و هوای خشک و استپی با تابستان های گرم و محورهای تهران- ایوانکی و تهران ساوه با آب و هوای گرم و خشک می باشند. محل قرار گیری ایستگاه های نمونه برداری در محورهای مورد مطالعه در شکل های ۱ تا ۴ ارائه شده اند.

- **شاخص های سنجش آلودگی فلزات سنگین**

با در دست داشتن غلظت فلزات سنگین در خاکهای مختلف می توان با استفاده از شاخص ها و استانداردهای آماری مختلف میزان شدت این غلظت، منابع اصلی آلاینده و میزان خطر آفرینی و ریسک آلودگی در هر منطقه را محاسبه کرد. برای این منظور از شاخص های آماری ،ضریب غنی شدگی[1](EF)، زمین انباشتگی[2] (Igeo) ، درجه آلودگی اصلاح شده[3](mCd)، و نشانه ریسک اکولوژیک بالقوه[4](RI) استفاده شده است.

الف) ضریب غنی شدگی (EF) :

یکی از رایج ترین رویکردها برای ارزیابی میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، محاسبه ضریب غنی شدگی فلزات سنگین در منطقه مورد نظر است. در این روش میزان فلزات سنگین مورد مطالعه به فلز مبنایی همچون آهن یا آلومینیوم یا منگنز نرمالیزه می شود. علت انتخاب این فلزات به عنوان مبنا این است که تصور می شود میزان غلظت این فلزات در خاک، مستقل از غلظت فلزات دیگر بوده و در نتیجه از آنها تاثیر نمی پذیرد. (Salomons and Forster, 1984)

$$EF_x = \frac{(C_x / R)_{sample}}{(C_x / R)_{Reference}}$$

رابطه شماره ۱

که در آن C_x غلظت فلز مربوطه و R غلظت فلز مبناست. نوشته Sample یعنی هر یک از متغیرهای موجود در پرانتز مقادیر مربوط به نمونه خاک هستند و نوشته Refrence یعنی هر یک از متغیرهای موجود در پرانتز مقادیر مربوط به خاک آلوده نشده هستند. در این مقاله مقادیر غلظت فلزات در پوسته زمین به عنوان مقادیر زمینه فلزات در نظر گرفته شده است. در جدول شماره ۱ ، درجه آلودگی فلزات سنگین در خاک با توجه به میزان غنی شدگی ارائه شده است.

جدول شماره ۱- درجه بندی آلودگی فلزات سنگین در خاک (Barbieri M.,2016)

مقادیر EF	میزان غنی شدگی
$EF < 2$	غنی شدگی کم
$2 < EF < 5$	غنی شدگی متوسط
$5 \le EF < 20$	غنی شدگی قابل توجه
$20 \le EF < 40$	غنی شدگی خیلی زیاد
$EF > 40$	غنی شدگی به شدت زیاد

ب) درجه آلودگی (C_d) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd):
برای برآورد آلودگی کلی یک نمونه خاک به فلزات سنگین و آلاینده ارگانیک PCB روابط ضریب آلودگی (C_f) و درجه آلودگی (C_d) توسط هاکانسون به شرح رابطه ۲ ارائه گردیده است: (Hakasnson, 1980)

که در آن C_f ضریب آلودگی، M_x غلظت متوسط آلاینده های مورد نظر در نمونه خاک، M_b غلظت فلز سنگین مورد نظر در خاک غیر آلوده و i شماره i امین فلز سنگین مورد نظر هستند.

$$C_f = \frac{M_x}{M_b} \qquad C_d = \sum_{i=1}^{8} C_f^i$$

[1] Enrichment factor
[2] Geoaccumulation
[3] Modified Degree of Contamination
[4] Potential Ecological Risk

رابطه شماره۲

اما چون برای استفاده از این شاخص حتماً می بایست از هفت فلز و آلاینده ارگانیک PCB استفاده شود، لذا از فرمول اصلاح شده درجه آلودگی (رابطه شماره ۳) که در آن تعداد فلزات محدود نمی باشد، می توان استفاده نمود. (Abrahim and Parker, 2008)

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_f^i}{n}$$

رابطه شماره ۳

در این معادله n تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه و C_f فاکتور آلودگی مورد بررسی می باشد .مطابق با رابطه شماره ۳، این شاخص به دلیل فرآیند میانگین گیری که در فرمول آن اتفاق می افتد، تأثیرات مقادیر انباشتگی آلاینده ها، در نتیجه نهایی تعدیل می گردد. طبقه بندی شاخص مذکور در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول شماره۲- مقادیر مقایسه ای آلودگی برای شاخص اصلاح شده درجه آلودگی mC_d (Abrahim and Parker, 2008)

میزان آلودگی	میزان شاخص mC_d
عدم آلودگی تا آلودگی خیلی کم	$mC_d < 1.5$
آلودگی کم	$1.5 \le mC_d < 2$
آلودگی متوسط	$2 \le mC_d < 4$
آلودگی زیاد	$4 \le mC_d < 8$
آلودگی خیلی زیاد	$8 \le mC_d < 16$
آلودگی فوق العاده زیاد	$16 \le mC_d < 32$
آلودگی فوق العاده شدید زیاد	$32 \le mC_d$

ج) شاخص زمین انباشتگی

شاخص زمین انباشتگی یکی دیگر از رویکردهای معمول در ارزیابی میزان آلودگی خاک توسط فلزات سنگین می باشد که در سال ۱۹۶۹ توسط آقای مولر ارائه شده است. طریقه محاسبه آن به صورت زیر است:

$$I_{geo} = \log_2(\frac{Cn}{1.5Bn})$$

رابطه شماره ۴

که در آن C_n میزان غلظت عنصر مورد نظر در نمونه خاک و B_nمیزان غلظت همان عنصر در خاک طبیعی و غیر آلوده (در مطالعه حاضر غلظت عنصر در شیل جدول شماره ۳) می باشند.

جدول شماره ۳- غلظت فلزات سنگین در میانگین شیل بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم (میرزایی و همکاران ، ۱۳۹۶)

نام فلز	غلظت میانگین شیل	نام فلز	غلظت میانگین شیل
Fe	۴۷۰۰	Zn	۹۵
Cr	۹۰	Pb	۲۰
Cu	۴۵	Cd	۰,۳۸
V	۱۲۰	Hg	۰,۴

ضریب ۱,۵ با هدف کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت های زمین منظور شده است که عموما به تغییرات سنگ شناسی خاکها و تاثیر عوامل زمینی نسبت داده می شود.

در جدول شماره ۴ درجه بندی سطح آلودگی خاک بر اساس شاخص زمین انباشتگی ارائه شده است. (Muller, 1969)

جدول شماره ۴- درجه بندی سطح آلودگی خاک بر اساس شاخص زمین انباشتگی

رده شاخص	عدد بدست آمده	درجه آلودگی خاک
۰	کمتر از صفر	کاملا غیر آلوده
۱	0-1	غیر آلوده تا کمی آلوده
۲	1-2	کمی آلوده

۳	2-3	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۴	3-4	خیلی آلوده
۵	4-5	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
۶	بیشتر از ۵	شدیداً آلوده

د) نشانه ریسک اکولوژیکی بالقوه (RI)

پس از حصول آگاهی از میزان آلودگی نقاط مختلف، توجه به این نکته که کدام ناحیه از لحاظ آلودگی شرایط بحرانی دارد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نشانه ریسک اکولوژیکی که در سال ۱۹۸۰ توسط هاکانسون ارائه شده است، با استفاده از میزان سمیت هر یک از فلزات سنگین و میزان انباشتگی این فلزات در منطقه مورد نظر، تصویری از میران ریسک شرایط منطقه به دست می دهد. (Hakanson, 1980) این نشانه به صورت زیر محاسبه می شود:

رابطه شماره۵

$$RI = \sum_{i=1}^{n} E_r \quad ، \quad E_r = T_r \times C_f \quad و \quad C_f = \frac{C_s}{C_n}$$

که در آن C_S غلظت فلز سنگین مورد نظر در نمونه مورد نظر، C_n غلظت اولیه ناحیه مورد مطالعه، C_f میزان آلودگی نمونه به فلز مورد نظر، E_r فاکتور ریسک اکولوژیکی بالقوه برای یک فلز، T_r فاکتور سمیت فلز مورد نظر و RI نشانه ریسک اکولوژیک بالقوه برای مجموع فلزات هستند. در جدول شماره ۵ پاسخ سمیت برای فلزات سنگین مختلف و جدول شماره۶ مقادیر ریسک اکولوژیکی بالقوه با توجه به فاکتورهای Er و RI آورده شده است.

جدول شماره ۵- مقدار فاکتور سمیت برای فلزات سنگین مختلف (Hakanson, 1980)

فلز سنگین	مقدار Tr
جیوه	۴۰
کادمیم	۳۰
آرسنیک	۱۰
سرب	۵
مس	۵
کروم	۲
روی	۱

جدول شماره ۶ – مقادیر مشخصه ریسک اکولوژیکی بالقوه

ریسک کل	شاخص ریسک RI	ریسک هر فلز	شاخص E_r
کم	$RI < 150$	پایین	$E_r < 40$
متوسط	$150 \le RI < 300$	متوسط	$40 \le E_r < 80$
زیاد	$300 \le RI < 600$	قابل ملاحظه	$80 \le E_r < 160$
خیلی زیاد	$RI \ge 600$	زیاد	$160 \le E_r < 320$
-	-	خیلی زیاد	$E_r \ge 320$

۳- نتایج

در جدول شماره ۷ نتایج غلظت فلزات سنگین در محورهای مورد مطالعه خاک کنار جاده تهران- ایوانکی و تهران- ساوه به همراه میانگین غلظت فلزات سنگین در پوسته زمین ، استاندارد ملی ایران برای حفاظت از محیط زیست و استاندارد کاربری کشاورزی کانادا ارائه شده است . با توجه به جدول ۷ در مورد جاده تهران- ایوانکی ، غلظت میانگین فلزات کادمیوم، سرب و

روی از میانگین غلظت آنها در پوسته زمین بالاتر است و حتی در مورد دو فلز کادمیم و سرب، حداقل غلظتشان نیز از مقادیر موجود در پوسته زمین بالاتر است. حداکثر غلظت مس نیز از میانگین در پوسته بیشتر است ولی در مورد فلزات نیکل، منگنز و آهن کلیه مقادیر از پوسته کمتر هستند که این نشان می دهد منابع انسانی به ترتیب بیشترین تاثیر را بر انتشار فلزات سرب، کادمیوم، روی و مس داشته و در مورد سایر فلزات منابع انسانی تاثیر چندانی ندارد. با مقایسه مقادیر غلظت نمونه ها با مقادیر استاندارد غیر از فلز سرب که از استاندارد کشاورزی کانادا بالاتر است، بقیه در حد مجاز می باشند. در حالت حداکثر، فلزات روی ، سرب و مس بالاتر از مقادیر مجاز می باشند. فلز مس اگر چه میانگین مجازی دارد ولی در برخی نمونه ها برای کاربری کشاورزی منع استفاده دارد و همچنین بالاتر از استاندارد حفاظت محیط زیست ایران است.

در خصوص جاده تهران- ساوه نیز غلظت میانگین فلزات کادمیم، سرب و روی از میانگین غلظت آنها در پوسته زمین بالاتر است و حتی در مورد فلز سرب، حداقل غلظت نیز از مقادیر موجود در پوسته زمین بالاتر است. حداکثر غلظت مس نیز از میانگین در پوسته بیشتر است ولی در مورد فلزات نیکل، منگنز و آهن کلیه مقادیر از پوسته کمتر هستند که این نشان می دهد منابع انسانی به ترتیب بیشترین تاثیر را بر انتشار فلزهای سرب، کادمیم، روی و مس داشته و در مورد سایر فلزات منابع انسانی تاثیر چندانی ندارد. با مقایسه مقادیر غلظت نمونه ها با استاندارد کیفیت خاک کانادا تنها فلز سرب برای کاربری کشاورزی بطور میانگین مجاز است و فلزهای کادمیم، مس، نیکل و روی در حالت حداکثر برای این کاربری غیر مجاز هستند.

محور مطالعاتی		روی	سرب	نیکل	منگنز	آهن (درصد)	مس	کادمیم	وانادیم
تهران- ایوانکی	میانگین	۱۲۸	۸۱	۲۰	۶۰۴	۳,۷	۴۵	۰,۵	–
	حداقل	۵۱	۲۶	۴	۲۹۶	۲,۹	۸	۰,۱	–
	حداکثر	۳۰۷	۱۸۹	۳۵	۷۶۳	۳,۸	۱۸۷	۱,۴	–
	انحراف معیار	۶۷	۴۴	۸	۱۴۵	۰,۲	۵۰	۰,۴	–
تهران- ساوه	میانگین	۱۲۷	۱۰۳	۳۳	۶۴۹	۳,۸	۳۲	۰,۳	–
	حداقل	۴۶	۶۹	۱۷	۴۵۶	۳,۶	۲۰	۰	–
	حداکثر	۲۹۶	۲۹۲	۵۷	۸۰۳	۴	۶۷	۲,۲	–
	انحراف معیار	۴۳	۴۸	۹	۸۷	۰,۰۷	۱۲	۰,۵	–
ایوانکی -کیلان	میانگین	–	–	۲۲,۶	–	–	–	–	۱۳۳,۶
	حداقل	–	–	۸,۱۵	–	–	–	–	۳۹,۰
	حداکثر	–	–	۳۷,۷	–	–	–	–	۲۴۹,۴
	انحراف معیار	–	–	۸,۱	–	–	–	–	۸۳,۸
آمل - بابل	میانگین	–	–	۳۴	–	–	–	–	۶۸,۶
	حداقل	–	–	۲۸,۲	–	–	–	–	۴۵,۲
	حداکثر	–	–	۴۵,۶	–	–	–	–	۱۱۹,۱
	انحراف معیار	–	–	۵,۷	–	–	–	–	۲۴,۲
جلفا-سیه رود	میانگین	–	–	۴۶,۴	–	–	–	–	۷۴,۷
	حداقل	–	–	۱۵,۵	–	–	–	–	۸,۹۷
	حداکثر	–	–	۱۳۷	–	–	–	–	۱۶۸,۷
	انحراف معیار			۳۲,۸					۵۲,۱
مقادیر استاندارد	میانگین در پوسته زمین	۷۵	۱۴	۸۰	۹۵۰	۴۱۰۰۰	۵۰	۰,۲	۱۲۰

	استاندارد کاربری کشاورزی کانادا	۲۰۰	۷۰	۵۰	–	–	۶۳	۱,۴	–
	استاندارد ایران (حفاظت محیط زیست)	۲۰۰	۳۰۰	۵۰	–	–	۶۳	۳,۹	۱۳۰

جدول شماره۷ – غلظت فلزات سنگین در محورهای مورد مطالعه و پوسته زمین و مقادیر استاندارد (میلی گرم بر کیلوگرم)

- **نتایج شاخص های آلودگی خاک**

در مورد سه جاده دیگر که فقط غلظت های نیکل و وانادیم اندازه گیری شده اند، مشاهده می شود که غلظت نیکل در تمام حالات از حد مجاز و مقادیر موجود در پوسته زمین کمتر می باشد که با نتایج دو محور تهران- ایوانکی و تهران- ساوه مطابقت می کند و تنها غلظت میانگین وانادیم در جاده ایوانکی- کیلان و غلظت حداکثر وانادیم در جاده جلفا- سیه رود بیش از حد مجاز حفاظت میحط زیست ایران می باشند.

۱) ضریب غنی شدگی

با توجه به رابطه شماره ۱ و با انتخاب فلز آهن به عنوان فلز مبنا و با داشتن میانگین غلظت فلزات در پوسته زمین میزان غنی شدگی محاسبه شده و در جدول شماره ۸ ارائه شده است.

جدول شماره ۸- نتایج ضریب غنی شدگی برای محورهای مطالعاتی با در نظر گرفتن آهن به عنوان فلز مینا

محور		روی	سرب	نیکل	منگنز	مس	کامیم	وانادیم
تهران- ایوانکی	میانگین	۱,۸۷	۶,۳۹	۰,۲۸	۰,۷	۰,۹۸	۵,۶۵	–
	غنی شدگی	کم	قابل توجه	کم	کم	کم	قابل توجه	
ساوه - تهران	میانگین	۱,۸	۷,۸	۰,۴۴	۰,۷۲	۰,۶۸	۳,۳۲	–
	غنی شدگی	کم	قابل توجه	کم	کم	کم	متوسط	–
کیلان - ایوانکی	میانگین	–	–	۰,۳۱	–	–	–	۱,۲۳
	غنی شدگی	–	–	کم	–	–	–	کم
بابل- آمل	میانگین	–	–	۰,۴۷	–	–	–	۰,۶۳
	غنی شدگی	–	–	کم	–	–	–	کم
رود سیه جلفا-	میانگین	–	–	۰,۶۴	–	–	–	۰,۷
	غنی شدگی	–	–	کم	–	–	–	کم

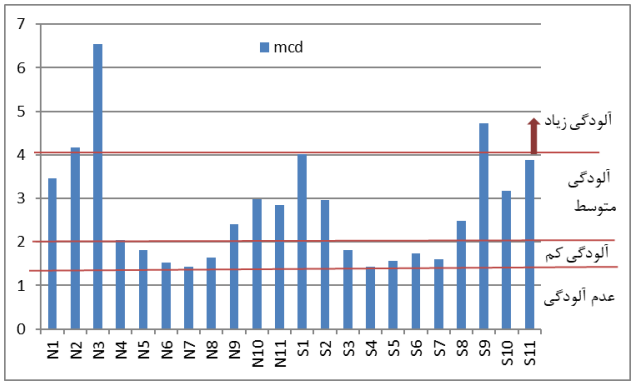
با توجه به مقادیر محاسبه شده می توان گفت در هر دو محور تهران- ایوانکی و تهران-ساوه فلزات سرب و کادمیم احتمالا دارای منشا انسانی بوده و دارای خطر برای سلامتی انسان هستند. در هر دو جاده مذکور غنی شدگی فلزات مس ، منگنز ، نیکل و روی کم بوده و فقط برای دو فلز کادمیم و سرب تا حدی قابل توجه است. در خصوص سه محور دیگر نیز غنی شدگی فلز نیکل کم بوده و در مورد فلز وانادیم نیز بطور میانگین غنی شدگی کم است ولی در حالت حداکثر غنی شدگی متوسط نیز قابل ملاحظه است.

۲) درجه آلودگی اصلاح شده

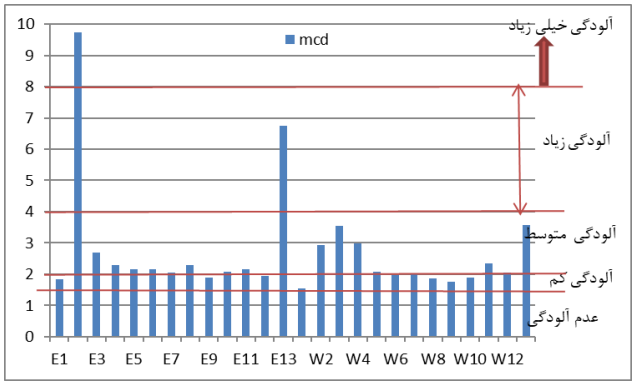
نتایج شاخص درجه الودگی اصلاح شده در شکلهای ۵و ۶ و۷ برای محورهای مورد بررسی نشان داده شده است.

همانگونه که ملاحظه می شود در جاده تهران- ایوانکی بیشترین مقادیر در شمال جاده و در ایستگاه نزدیک به تهران (N3) است که با توجه به وجود صنایع مختلف، جهت باد و جهت امتداد جاده قابل توجیه است. در جاده تهران-ساوه نیز وضعیت مشابه جاده قبلی است و بیشترین مقادیر در شرق جاده و ایستگاه های نزدیک به تهران (E2) و ساوه (E13) بوده و

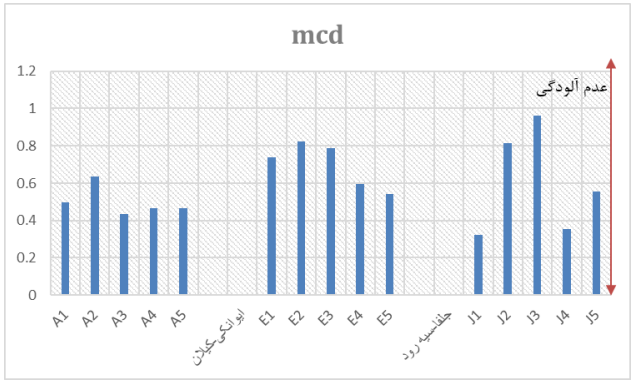
اختلاف زیادی با سایر ایستگاه ها دارند که با توجه به صنایع مختلف، جهت باد، و جهت امتداد جاده نیز قابل توجیه است.



شکل شماره ۵- نتایج شاخص درجه آلودگی اصلاح شده برای محور تهران- ایوانکی



شکل شماره ۶ – نتایج شاخص درجه آلودگی اصلاح شده برای محور تهران- ساوه

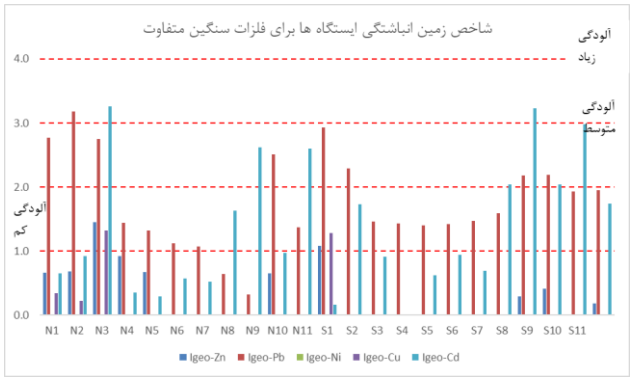


شکل شماره۷ – نتایج شاخص درجه آلودگی اصلاح شده برای محورهای به ترتیب آمل-بابل، ایوانکی-کیلان و جلفا- سیه رود

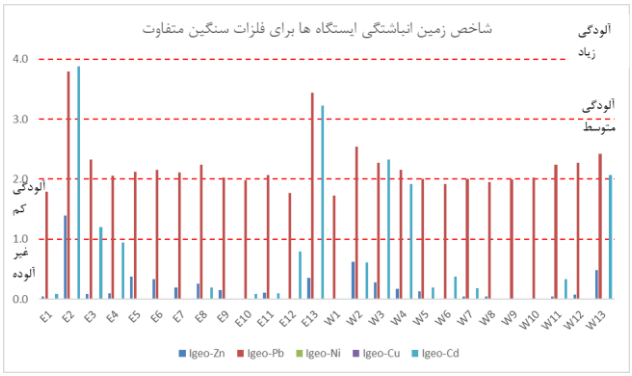
۳) شاخص زمین انباشتگی

در خصوص محورهای آمل-بابل، ایوانکی- کیلان و جلفا-سیه رود در تمام ایستگاه ها مقادیر میانگین درجه آلودگی اصلاح شده به ازای دو فلز نیکل و وانادیم بسیار پایین است.

نتایج شاخص زمین انباشتگی در شکلهای ۸ و ۹ برای محورهای مورد بررسی نشان داده شده است.



شکل شماره ۸- نتایج شاخص زمین انباشتگی در محور تهران- ایوانکی



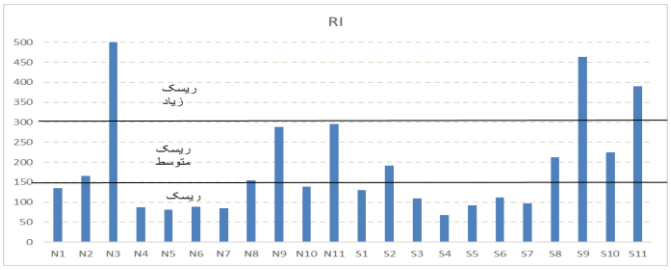
شکل شماره ۹- نتایج شاخص زمین انباشتگی در محور تهران- ساوه

همانطور که ملاحظه می شود شاخص زمین انباشتگی در اکثر ایستگاه ها زیر حد متوسط است و فقط در چند ایستگاه بالاتر از حد متوسط و در حد شدید است که این مقادیر بالا نیز مربوط به فلزات سرب و کادمیم می باشد. برای سه محور آمل- بابل ، جلفا- سیه رود و ایوانکی- کیلان که فقط فلزات نیکل و وانادیم اندازه گیری شده بودند شاخص زمین انباشتگی در تمام ایستگاه ها صفر بدست آمد. همانطور که در شکلهای ۸ و ۹ ملاحظه می شود، شاخص زمین انباشتگی نیکل برای محورهای تهران- ساوه و تهران- ایوانکی نیز ناچیز بدست آمده

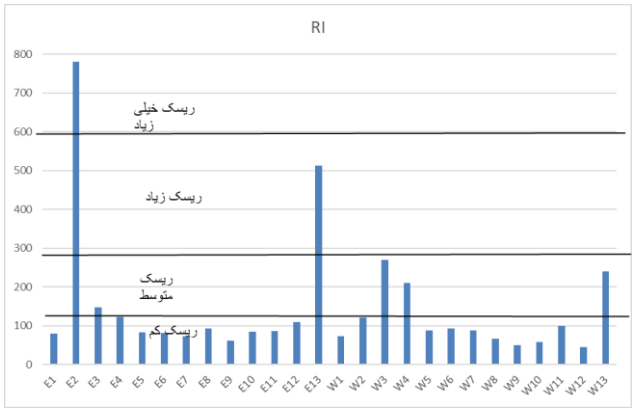
است که نشان می دهد نیکل فلز بحرانی برای جاده های بین شهری نمی باشد.

۴) ریسک اکولوژیکی بالقوه

با استفاده از غلظت کلی فلزات و غلظت زمینه ای فلزات در پوسته زمین، ضریب ریسک اکولوژیک بالقوه برای هر فلز و متعاقبا میزان ریسک اکولوژیکی در ۲۲ ایستگاه جاده تهران- ایوانکی و ۲۶ ایستگاه جاده تهران- ساوه محاسبه شده است.



شکل شماره ۱۰- مقادیر ریسک اکولوژیک جاده تهران- ایوانکی



شکل شماره ۱۱- مقادیر ریسک اکولوژیک جاده تهران- ساوه

نتایج در شکلهای شماره ۱۰ و ۱۱ آورده شده است. مقادیر ریسک اکولوژیک برای محورهای آمل- بابل، ایوانکی- کیلان و جلفا- سیه رود بدلیل عدم کفایت تعداد فلزات قابل محاسبه نمی باشد. لیکن برای هر فلز بصورت جداگانه در ایستگاه های مختلف از حاصلضرب شاخص غنی شدگی در ضریب سمیت فلز محاسبه گردید که با توجه به غنی شدگی کم نیکل و وانادیم در محورهای مذکور و ضریب سمیت پایین آنها مقادیر محاسبه شده ریسک برای تمامی ایستگاه ها نشاندهنده ریسک پایین می باشند .

۳- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج شاخص ریسک اکولوژیک ، ملاحظه می شود که در جاده تهران- ایوانکی فقط در ۳ ایستگاه و در جاده تهران- ساوه فقط در ۲ ایستگاه ریسک اکولوژیک خیلی زیاد و قابل توجه است که این ایستگاه ها در ابتدا و انتهای محورها قرار دارند و این با توجه به نزدیکی به شهرها و وجود صنایع مختلف معقول به نظر می رسد و در سایر ایستگاه ها و ضعیت ریسک متوسط و کم می باشد. در مورد ریسک هر فلز بصورت جداگانه نیز باید گفت تنها ریسک فلز کادمیم در چند ایستگاه زیاد و قابل توجه است.

بطور کلی مقادیر ریسک بالا مربوط به فلزات سرب و کادمیوم می باشند و سایر فلزات چندان تعیین کننده نمی باشند کما اینکه در سه محور مطالعاتی دیگر نیز فلز نیکل مقادیر پایین آلودگی و ریسک را نشان داد. ضمن اینکه مقادیر فلزات در جاده ساوه به طور کلی از مقادیر مشابه در جاده ایوانکی بیشتر بود که جاده ساوه بر اساس آمار تردد شماری، تردد سالیانه بیشتری دارد. در مقایسه با نتایج کار تحقیقاتی که برای جاده تهران- کرج انجام شده بود که در آن میزان آلودگی بالاتر از حد مجاز و شدید گزارش شده یود این تفاوت را می توان به تردد بیش از سه برابری جاده تهران- کرج نسبت به تهران —ساوه نسبت داد. گر چه سرب از بنزین حذف شده ولی با توجه به استفاده از بنزین سرب دار در گذشته و باقی ماندن این فلز در محیط خاک، می تواند توجیهی برای مقادیر نسبتا بالای سرب باشد.

شاخص غنی سازی ، تجمع قابل توجه تنها دو فلز سرب و کادمیم را در خاکهای کنار جاده بر اثر فعالیت های انسانی نشان داد. بطور کلی می توان نتیجه گرفت که در مطالعات آتی در خصوص خاکهایی که بیشتر متاثر از آلاینده های ناشی از ترافیک جاده ای هستند، تمرکز بیشتری بر روی آلاینده های سرب و کادمیم صورت پذیرد. همچنین مقایسه با تحقیقات مشابه انجام شده در جاده های درون شهری نشاندهنده وضعیت بحرانی تر خاکهای حاشیه این جاده ها نسبت به جاده های برون شهری می باشد.

در این مطالعه تاثیر پارامتر های هواشناسی و اقلیمی نظیر سرعت و جهت باد،رطوبت و نوع اقلیم منطقه بر روی آلودگی

خاک در نظر گرفته نشده است که نیازمند تحقیقات بیشتر می باشد.

٤- تقدیر و تشکر

داده های این مقاله برگرفته از پروژه های پوهشی با عناوین " بررسی اثر ترافیک بر آلودگی خاک به فلزات سنگین و هیدروکربنهای نفتی " و " اجرای پایلوت ممیزی زیست محیطی راه های منتخب و ارائه ی الگوی نهایی" که با حمایت مالی پژوهشکده حمل و نقل مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام پذیرفته اند، می باشد که بدین وسیله از کلیه دست اندرکاران پروژه ها تشکر و قدردانی می شود.

منابع

1- Abrahim, G.M.S.; Parker, R.J. (2008) "Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand". Environ. Monit. Assess,136, 227–238

2- Adedeji, Oludareh; Olayinka, Oluwafunmilayo O.; OYEBANJI ,Felicia F. , *December 2013*,

3- "Assessment of Traffic Related Heavy Metals Pollution of Roadside Soils in Emerging Urban Centers in Ijebu-North Area of Ogun State, Nigeria", J. Appl. Sci. Environ. Manage. Vol. 17 (4) 509-514

4- Barbieri M., (2016) "The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination", J Geol Geophys, 5:1

5- Behbahaninia, A. (2009) " The investigation of metals pollution of fossil fules in roadside soils of Tehran-Damavand", Plant and Ecosystem, 17,PP. 45-56.

6- Boban, M. , Dijana, Đ., Mirjana, N., Snežana, B. and Miroslav, V.**,** (2016), **"**Assessment of Ecological Risk of Heavy Metal Contamination in Coastal Municipalities of Montenegro", International Journal of Environmental Research

7- Hakanson, L., (1980) " Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach", Water Research,.

8- Muller G. "Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River". Geo J 1969; 2:108-18.

9- Rahmani, H., Kalbasi, M and Hajrasuliha, S. (2001) " Lead- polluted soil along some Iranian highways", JWSS-Isfahan University of Technology, 4(4), PP. 31-42.

10- Saeedi, M., Hosseinzadeh, M., Jamshidi, A. and Pajooheshfar, S.P. (2009) " Assessment of heavy metals contamination and leaching characteristics in highway side soils", Environmental Monitoring Assessment, Iran, 151 (1-4), PP. 231-241.

11- Saeedi, M. , Li, L., Salmanzadeh, S., (2012), "Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran", Journal of Hazardous Materials 227– 228

12- Salmanzadeh, M., Saeedi M., LI., L.Y. and Nabi-Bidhendi, Gh., Winter (2015) "Characterization and metals fracrtionation of street dust samples from Tehran, Iran", Int. J. Environmental Research, 9 (1):213-224,.

13- Salomons W., Forstner, U. , " Metals in the hydrocycle", Springer, Berlin Heidelberg Tokyo.

14- Zhang Hui, Wu Caiqiu, Gong Jiping, Yuan Xuyin, Wang Qiao, Pei Wenming, Long Tao, Qiu Jie, Zhang Hanpei, (2017) "Assessment of Heavy Metal Contamination in Roadside Soils Along the Shenyang-Dalian Highway in Liaoning Province, China", Pol. J. Environ. Stud. Vol. 26, No. 4, 1539-1549,.

15- Zheng, Na., Liu, J., Wang, Q., Liang Zh., (2010) "Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China", J. Science of the Total Environment, 408,.

16- سلمان زاده م، سعیدی م، نبی بیدهندی ؛، "آلودگی فلزات سنگین در غبارهای ته نشین شده خیابانی شهر تهـران و ارزیـابی ریسـک اکولوژیک آنها"، مجله محیط شناسی سال سی و هشتم ، شماره ۶۱، بهار ۱۳۹۱

17- مختارانی ن، زاهد ف، " تعیین بستر مناسب نمونه برداری برای شناسایی آلاینده های راه ها" ، مجله مهندسی عمران شریف، دوره ۲ شماره ۳، بهار ۱۳۹۴

18- میرزایی م ، معروفی ص، سلگی ع، عباسی م، کریمی ر، "اندازه گیری و ارزیابی ریسک اکولوژیکی مربوط به آلودگی فلزات سـنگین (کادمیوم، سرب، کروم، مس و روی) در یک اکوسیستم تولید کننده مواد غـذایی "، مجلـه تحقیقـات سـلامت در جامعـه، دانشـکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، تابستان ۱۳۹۶، دوره ۳ ، شماره ۲

19- نورپور ع، صدری جهانشاهی آلف، " سنجش و ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در هوای تهران (مطالعه موردی: خیابان انقلاب)، مجله محیط شناسی، شماره ۴ ، زمستان ۱۳۹۲.