



**Evaluation of Bio- Monitoring and Remediation Capacities of Heavy Metals (Co, Cr, and Mn) by Some Herbaceous Species Collected From Roadside Biotype**

Nayereh Sadat Hosseini<sup>1</sup>, Soheil Sobhan Ardakani<sup>2\*</sup>

1 PhD. in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

2 Professor in Environmental Science, Department of the Environment, College of Basic Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran

DOI :10.22034/eiap.2023.169978

**Document Type**  
Research Paper

**Received**  
2022/05/14

**Accepted**  
2023/04/15

**Abstract**

Monitoring and remediation of metal contaminants in roadside environments is of particular importance in order to estimate, control and reduce the level of threats to humans and the biosphere. Therefore, this study was conducted to the evaluation of the ability of some herbaceous species (*Cardaria draba* and *Achillea wilhelmsii*) collected from the roadside biotype of Hamadan, west of Iran to biomonitoring the Co, Cr and Mn in 2019. In this descriptive study, a total of 63 soil samples and 126 plant samples were collected from 3 stations. After preparation and acid digestion of the samples in the laboratory, the content of elements in them was read by induced coupled plasma spectroscopy (ICP). Also, bioconcentration factor (BCF), bioaccumulation (BAF), and transfer factor (TF) were calculated to evaluate the ability of plants to monitor and refine heavy metals. Statistical processing of the results was performed using SPSS statistical software. *Cardaria draba* had average BAF and TF values greater than 1 for cobalt and manganese and mean BCF values greater than 1 and TF less than 1 for chromium. Besides, *Achillea wilhelmsii* had average BAF and TF values greater than 1 for manganese and mean BCF values greater than 1 and TF less than 1 for cobalt and chromium. Based on the average content of elements in plant tissues and the average values of BAF, BCF and TF of elements can be used from *C. draba* and *A. wilhelmsii* as efficient native species for monitoring and remediation of heavy metals in contaminated areas.

**Keywords:** Traffic emissions, Phytoremediation, Biomonitoring, Native species, Hamedan.

\* Corresponding author

Email: [s\\_sobhan@iauh.ac.ir](mailto:s_sobhan@iauh.ac.ir)

## Extended abstract

### Introduction

Heavy metals, as a hazardous group of inorganic chemical pollutants, could be originated from natural sources (Volcanoes, sea spray, soil erosion, storm runoff, and forest fires) and also anthropogenic sources (mining, industrial activities, smelting and quarrying activities, agriculture, and fossil fuel combustion) (Hosseini et al., 2020; Karmakar and Padhy, 2020). The pollution and destruction of ecosystems following the development and advancement of technology in the industrial world has gone through a growing trend and has caused the aggravation of environmental and health threats (Hosseini et al., 2020, 2021). Meanwhile, heavy metal contamination of the ecosystem is a global concern due to its long half-life, toxicity, high stability, ability to accumulate and bioaccumulation of these pollutants. Roads, as one of the basic pillars of the infrastructure development of any country, are considered the second non-point source of heavy metal pollution in the urban ecosystem. Metal pollutants related to traffic are released due to fossil fuel consumption, tire wear, brake pads, depreciation and corrosion of metal car parts, lubricant leakage and erosion of road surfaces and directly (dermal contact, ingesting, and inhaling) and Indirect (food chain) are considered a potential threat to human health and the biosphere (Acar & Özkul, 2020). Co and Cr due to widely used in engine components and cover many mechanical parts of the car such as brake pads and tires (components that require high wear resistance) and Mn as a fuel additive in gasoline and diesel are the most common metal pollutants related to traffic (De Silva et al. 2021).

In recent years, various physical, chemical and biological technologies and methods have been developed for monitoring and remediation of heavy metals in the environment; but among them, biotechnology is considered a useful and environmentally friendly method to evaluate the pollution of ecosystems due to its relatively low cost and ease of implementation. In this regard, plants have become the most suitable biological tools for estimating and reducing the amount of pollutants, including heavy metals, due to the ease of identifying species, easy sampling, and widespread presence in most environments. However, native and herbaceous species that have the ability to adapt to polluted environmental conditions and the ability to absorb and accumulate heavy metals are suitable options for monitoring and bioremediation of metal pollutants (Raikova et al., 2019; Hosseini et al., 2020, 2021).

Therefore, according to the environmental and health concerns and risks caused by heavy metals and despite the studies conducted in the field of monitoring and refining these pollutants through grassy plants in the roadside environment, the problem of metal pollutants related to road traffic is still standing and can be evaluated. On the other hand, the situation of heavy metal pollution along the main roads of Iran has not been fully studied and lacks basic data; therefore, this research was conducted with the aim of evaluating the capability of monitoring and remediation capacities of heavy metals (Co, Cr, and Mn) by some herbaceous species located in the roadside biotype of Hamedan in 2018.

**Methods:** In this research, three roads Hamedan-Goltepe (30 years old and average daily traffic of 2417 vehicles), Hamedan-Saveh (approximately 10 years old and average daily traffic of 11326 vehicles) and Hamedan-Kermanshah (with more than 70 years of age and an average daily traffic of 14,797 vehicles) were selected as sampling stations (Figure 1). The studied areas have a cold, semi-arid climate, an average annual rainfall of 330 mm, and an average annual temperature of 11 °C (Hosseini et al., 2022). In this study, a total of 63 surface soil samples and also 126 plant samples were selected along 700 m from a 9 km section of mentioned roads and preparing and acidic digestion of samples in the laboratory, the content of elements in the soil and plant samples were determined using ICP-OES. The bioconcentration factor (BCF), bioaccumulation (BAF), and transfer factor (TF) were calculated to evaluate the ability of plants to monitor and refine heavy metals. Statistical analysis of the results was performed using SPSS software.

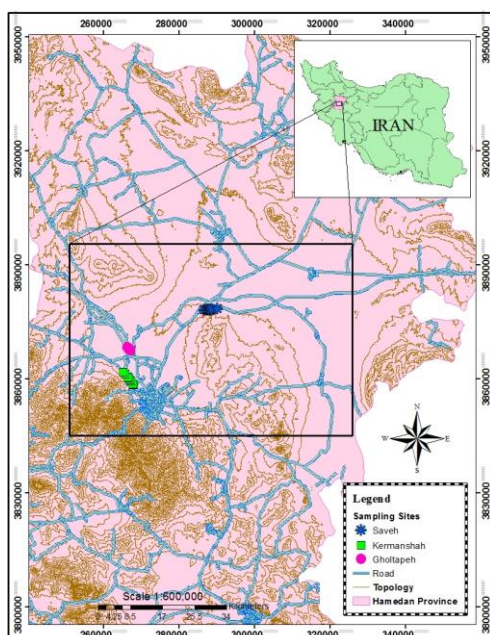


Figure 1. Sampling sites in the study area

## Results and Discussion

The results of the analysis of variance test showed that the increase in traffic volume, in most cases, has increased the content of cobalt, chromium and manganese elements in soil and plant samples significantly ( $p < 0.05$ ). Based on the results obtained, the highest concentrations of all the analyzed elements in soil samples were found to be 0.033 mg/kg for Co, 0.060 mg/kg for Cr, and 8.90 mg/kg for Mn and in plant samples were 0.171, 2.51 and 58.7 mg/kg for Co, Cr and Mn respectively, and all observed in specimens collected from the sites with high vehicle traffic (Saveh and Kermanshah stations); that can be related to the high volume of traffic and consequently the high rate of combustion of fossil fuels and the depreciation of car parts. This finding is similar to those obtained by (Novo et al., 2017) and (Bernardino et al., 2019) who concluded that the increase of element contents in roadside plants and soils coincided with increased traffic volumes.

The results of the independent t-test showed that the washing process caused a significant decrease in the content of cobalt, chromium and manganese elements in the samples of both investigated species ( $p < 0.05$ ). Based on the results, the highest content of all the studied elements in shoot samples belonged to unwashed shoot specimens of *C. draba* (with the mean contents  $0.252 \pm 0.070$ ,  $2.44 \pm 0.071$ , and  $50.9 \pm 0.265$  for Co, Cr, and Mn, respectively) and *A. wilhelmsii* (with the mean contents  $0.136 \pm 0.054$ ,  $2.35 \pm 0.053$ ,  $41.3 \pm 0.649$  for Co, Cr, and Mn, respectively). In this regard, the reduction of the content of elements due to the washing process can be related the atmospheric depositions. Similarly, (Abbaszadeh et al., 2019) also reported that the washing process reduced the content of heavy metals in leaves by 50%.

The results of this research showed that the *C. draba* had the values bioaccumulation and transfer factor greater than one for Co and Mn and the values bioconcentration greater than 1 and transfer factor less than 1 for Cr. Therefore, it can be concluded that *C. draba* is a suitable species for extraction for Co and Mn and stabilization of Cr in the soil. In the case of *A. wilhelmsii*, the average values of bioaccumulation and transfer factor for Mn were greater than 1. On the other hand, *A. wilhelmsii* had the values bioconcentration greater than 1 and transfer factor less than 1 for Co and Cr. Therefore, *A. wilhelmsii* is a suitable species for extraction of Mn and stabilization cobalt and chromium elements in the soil. These findings are analogous to the results of (Hosseini et al., 2020), who reported that *A. wilhelmsii* and *C. draba* had high potentials for transferring Cd, Cu, Pb, Ni, and Zn from the roots to aerial parts.

**Conclusion:** The results showed that by performing the washing process, the concentrations of Co, Cr and Mn elements in the samples significantly decreased, which was also confirmed by the independent t-test results. On the other hand, the content of elements in soil and plant samples was affected by traffic volume; so that the soil and plants along the highways with higher traffic volume (Saveh and Kermanshah stations) clearly had the highest concentration of elements in their tissues. This shows that significant amounts of

elements released by traffic activities have caused contamination of roadside soil and plant species. The evaluation of phytoremediation capability of the studied herbaceous species based on the values of bioconcentration factor, bioaccumulation, and transfer factor values also showed that *C. draba* is a suitable species for extraction of Co and Mn, and stabilization of Cr, *A. wilhelmsii* is a suitable species for extraction of Mn and stabilization of Co and Cr in the soil; that the results of the average content of elements in plant tissues also confirmed this issue. Therefore, *C. draba* and *A. wilhelmsii* can be used as effective native species for monitoring and remediation heavy metals from soil and air in polluted areas.

## References

- Abbaszadeh, H.; Mohammadi Roozbahani, M. & Sobhanardakani, S. 2019. Use of *Ziziphus spina-christi* and *Prosopis cineraria* leaves as bio-indicators of environmental pollution emitted from industrial areas. *Iranian Journal Health and Environment*.12(1): 87-100. (In Persian)
- Acar, R.U. & Özkul, C. 2020. Investigation of heavy metal pollution in roadside soils and road dusts along the Kütahya–Eskişehir Highway. *Arabian Journal of Geosciences*. 13(5): 1-11.
- Bernardino, C.A.; Mahler, C.F.; Santelli, R.E.; Freire, A.S.; Braz, B.F. & Novo, L.A. 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.
- De Silva, S.; Ball, A.S.; Indrapala, D.V. & Reichman, S.M. 2021. Review of the interactions between vehicular emitted potentially toxic elements, roadside soils, and associated biota. *Chemosphere*. 263: 128135.
- Hosseini, N.S.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2020. Heavy metal concentrations in roadside plants (*Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba*) and soils along some highways in Hamedan, west of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(12): 13301-13314.
- Hosseini, N.S.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2021. Feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* for biomonitoring and bioremediation of heavy metals (Zn, Pb and Ni) in the roadside environments. *Iranian Journal of Health and Environment*. 13(4): 607-620. (In Persian)
- Hosseini, N.S.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2022. Expansive herbaceous species as bio-tools for elements detection in the vicinity of major roads of Hamedan, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 19(3): 1611-1624.
- Karmakar, D. & Padhy, P.K. 2020. Metals uptake from particulate matter through foliar transfer and their impact on antioxidant enzymes activity of *S. robusta* in a tropical forest, west Bengal, India. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 76: 605-616.
- Novo, L.A.; Onishi, V.C.; Bernardino, C.A. & Da Silva, E.F. 2017. Metal bioaccumulation by plants in roadside soils: Perspectives for bioindication and phytoremediation. *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants*. 215-230.
- Raikova, S.; Piccini, M.; Surman, M.K.; Allen, M.J. & Chuck, C.J. 2019. Making light work of heavy metal contamination: the potential for coupling bioremediation with bioenergy production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 94(10): 3064-3072.

## ارزیابی قابلیت پایش و پالایش فلزات سنگین کبالت، کروم و منگنز توسط برخی گونه‌های علفی مستقر در بیوتیپ کنار جاده‌ای

نیره السادات حسینی<sup>۱</sup>، سهیل سبحان اردکانی<sup>۲\*</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری تخصصی، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

۲. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴

### چکیده

پایش و پالایش آلاینده‌های فلزی در محیط‌های کنار جاده به‌منظور برآورد، کنترل و کاهش سطح تهدیدات برای انسان و زیست‌کره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی قابلیت پایش و پالایش عناصر کبالت، کروم و منگنز توسط گونه‌های علفی از مگ و بومادران مستقر در بیوتیپ کنار جاده‌ای همدان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت. به این منظور، در مجموع ۶۳ نمونه خاک و ۱۲۶ نمونه گیاهی از سه ایستگاه برداشت شد. پس از آماده‌سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها در آزمایشگاه، محتوی عناصر در آن‌ها توسط روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP) خوانده شد. همچنین، برای ارزیابی قابلیت گیاهان مورد بررسی در پایش و پالایش فلزات سنگین فاکتورهای تغلیظ زیستی (BCF)، تجمع‌زیستی (BAF) و انتقال (TF) محاسبه شد. پردازش آماری نتایج نیز با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام یافت. نتایج نشان داد که از مگ دارای میانگین مقادیر BAF و TF بزرگ‌تر از یک برای عناصر کبالت و منگنز و میانگین مقادیر BCF بزرگ‌تر از یک و TF کوچک‌تر از یک برای عنصر کروم بود. از طرفی، بومادران دارای میانگین مقادیر BAF و TF بزرگ‌تر از یک برای عنصر منگنز و میانگین مقادیر BCF بزرگ‌تر از یک و TF کوچک‌تر از یک برای عناصر کبالت و کروم بود. با استناد به میانگین محتوی عناصر در بافت‌های گیاهی و همچنین میانگین مقادیر محاسبه شده BAF، BCF و TF عناصر می‌توان از مگ و بومادران به‌عنوان گونه‌های بومی کارآمد برای پایش و پالایش فلزات سنگین از خاک و هوا در مناطق آلوده استفاده کرد.

**کلید واژه‌ها:** انتشارات ترافیکی، گیاه‌پالایی، پایش زیستی، گونه بومی، همدان.

## سرآغاز

آلودگی و تخریب بوم‌سازگان بدنبال گسترش و پیشرفت فن‌آوری در دنیای صنعتی، روند رو به رشدی را طی کرده و سبب تشدید تهدیدات محیط‌زیستی و بهداشتی شده است (Sobhan Ardakani et al., 2014; Luo et al., 2017; Pan et al., 2018; Hosseini et al., 2020, 2021). در این میان آلودگی زیست‌بوم به فلزات سنگین به سبب نیم‌عمر طولانی، سمیت، پایداری زیاد، قابلیت تجمع‌پذیری و انباشت زیستی این آلاینده‌ها یک نگرانی جهانی است (Rezaei Raja et al., 2016; Salehi et al., 2018; Sobhan Ardakani, 2016, 2018). جاده‌ها به عنوان یکی از ارکان اساسی توسعه زیربنایی هر کشور، دومین منبع غیرنقطه‌ای در ایجاد آلودگی فلزات سنگین در زیست‌بوم شهری به شمار می‌آیند (Khaleghi et al., 2019). آلاینده‌های فلزی مرتبط با ترافیک به واسطه مصرف سوخت فسیلی، سایش لاستیک، لنت ترمز، استهلاک و خوردگی قطعات فلزی خودرو، نشت روان‌کننده‌ها و فرسایش سطوح پوششی جاده منتشر شده و به طور مستقیم (تماس پوستی، بلع و تنفس) و غیرمستقیم (زنجیر غذایی) تهدیدی بالقوه برای سلامت انسان و زیست‌سپهر محسوب می‌شوند (De Silva et al., 2016; Farzan et al., 2016; Janta & Chantara, 2017; Novo et al., 2017; Sabzevari & Sobhanardakani, 2018; Yan et al., 2018; Bernardino et al., 2019; Acar & Özkuş, 2020). کبالت و کروم به سبب استفاده گسترده در اجزای موتور و پوشش بسیاری از قطعات مکانیکی خودرو مانند لنت ترمز و لاستیک (اجزایی که به مقاومت در برابر سایش زیاد نیاز دارند) و منگنز به عنوان یک افزودنی سوخت در بنزین و گازوئیل از جمله رایج‌ترین آلاینده‌های فلزی مربوط به ترافیک هستند (Lu et al., 2009; Tian et al., 2018; Devi et al., 2019; Kumar et al., 2019; De Silva et al., 2021). این فلزات به عنوان عناصر ضروری در مقادیر اندک برای بقا و فرآیندهای زیستی جانداران لازم و بی‌خطر هستند، اما در شکل‌های خاص و یا مقادیر زیاد می‌توانند موجب اختلال در عملکرد طبیعی اندام‌ها، بروز بیماری‌ها از جمله اختلالات عصبی، تنفسی، قلبی و انواع سرطان و در موارد حاد مرگ شوند (Sobhanardakani et al., 2017; Sobhanardakani et al., 2020; Karimi et al., 2019).

در سال‌های اخیر فن‌آوری‌ها و روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مختلف برای پایش و پالایش فلزات سنگین در محیط، توسعه یافته‌اند؛ اما در بین آن‌ها فن‌آوری زیستی به دلیل هزینه

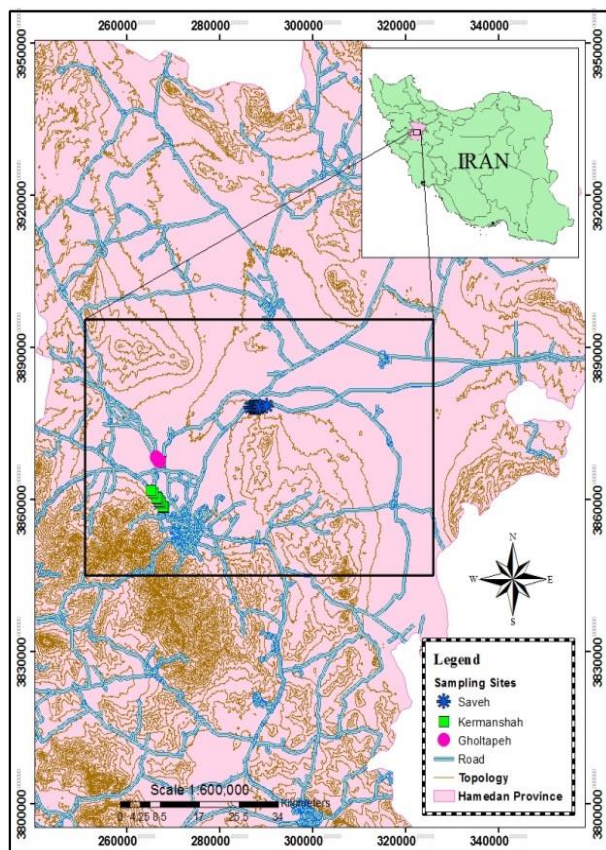
نسبتاً کم و سهولت در اجرا روشی مفید و سازگار با محیط‌زیست به منظور ارزیابی آلودگی بوم‌سازگان محسوب می‌شود (Yan et al., 2013; Wiseman et al., 2014; Galal & Shehata, 2015; Zhang et al., 2016; Raikova et al., 2019; Hosseini et al., 2020, 2021). در این راستا، گیاهان به دلیل سهولت شناسایی گونه‌ها، نمونه‌برداری آسان و حضور فراگیر در بیش‌تر محیط‌ها به مناسب‌ترین ابزار زیستی برای تخمین و کاهش مقدار آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین، مبدل شده‌اند (Sumiahadi & Acar, 2018; Gajbhiye et al., 2019; Korzeniewska & Stanislawska-Glubiak, 2019). این حال، گونه‌های بومی و علفی که قابلیت تطابق در شرایط محیطی آلوده و توانایی جذب و انباشت فلزات سنگین را داشته باشند، گزینه‌های مناسب برای پایش و پالایش زیستی آلاینده‌های فلزی محسوب می‌شوند (Garcia & Millan, 1998; Lai & Chen, 2004; Jankowski et al., 2015; Wisniewska-Kadzajjan et al., 2015).

ازمک (*Cardaria draba* (L.) Desv) از خانواده شب‌بوینان (Brassicaceae) بومی غرب آسیا و جنوب شرق اروپا و بومادران (*Achillea wilhelmsii* C. Koch) از خانواده کاسنی (Asteraceae) بومی آسیا، اروپا و شمال آمریکا از جمله پوشش‌های علفی رایج در مناطق کنار جاده‌ای، شرایط مختلف محیطی را تحمل می‌کنند و پراکنش گسترده‌ای در زیست‌بوم‌های مختلف (طبیعی، نیمه‌طبیعی و مصنوعی) مانند مراتع، باغ‌ها، زمین‌های کشاورزی و مناطق صنعتی و شهری دارند؛ از این رو، می‌توانند به عنوان نشانگرهای زیستی مناسب در نظر گرفته شوند (Hosseini et al., 2020, 2022).

تاکنون چندین مطالعه در رابطه با پایش و پالایش زیستی فلزات سنگین در محیط‌های حاشیه جاده توسط گیاهان انجام یافته است. (Galal & Shehata, 2015)، انباشت زیستی و جابه‌جایی فلزات سنگین توسط گیاه بارهنگ<sup>(۱)</sup> رشد یافته در خاک آلوده تحت تاثیر ترافیک را ارزیابی کرده و این گیاه را به عنوان پایش‌گر و پالاینده عناصر کروم، کبالت و منگنز مرتبط با ترافیک معرفی کردند. (Jeddi & Chaieb, 2018) نیز نسبت به ارزیابی گیاه نوک لک‌لکی<sup>(۲)</sup> در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات اقدام کرده و نتیجه گرفتند که از این گیاه می‌توان به عنوان یک گونه بومی کارآمد در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به عنصر منگنز منتشر شده از ترافیک بهره برد. (Anwar et al., 2020) با ارزیابی آلاینده‌های معدنی منتشر شده از اتومبیل و



کاهش عوامل مداخله‌گر احتمالی، در همه ایستگاه‌ها، نمونه‌برداری (خاک و گیاه) در روز آفتابی و پس از ۱۳ روز بارندگی در طول ۷۰۰ متر از یک قطعه ۹ کیلومتری هر جاده با ویژگی‌های مشابه (مانند میانگین سرعت وسیله نقلیه و پوشش جاده)، در فواصل ۱۰۰ متر از یکدیگر و از هر دو طرف حاشیه جاده (۲-۰ متر از لبه جاده) با سه تکرار انجام شد. به‌منظور تهیه نمونه همگن از ریشه و شاخساره در هر جاده، از هر گونه ۲۰ پایه (با شرایط مشابه رویشی و سلامتی) از هر فاصله برداشت و به تفکیک گونه با یکدیگر مخلوط و به پاکت‌های کاغذی با برچسب معین منتقل شدند (Zhai et al., 2016; Wang et al., 2018; Hosseini et al., 2020, 2022). نمونه‌های خاک سطحی (عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر) نیز توسط بیلچه باغبانی برداشت (از هر ایستگاه ۵۰۰ گرم) و برای تهیه یک نمونه همگن، نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده هر منطقه با یکدیگر مخلوط و به کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپ‌دار منتقل شدند (Abbaszadeh et al., 2019). بدین‌صورت، در مجموع ۱۲۶ نمونه گیاهی و ۶۳ نمونه خاک سطحی جمع‌آوری شد.



شکل (۱): موقعیت استقرار محل‌های نمونه‌برداری

پویایی آن‌ها در خاک، گردوغبار و گیاهان از بزرگراه‌های اصلی پاکستان، گونه‌های استبرق<sup>(۳)</sup>، ترشک<sup>(۴)</sup> و تاتوره<sup>(۵)</sup> را به عنوان گیاهان شاخص برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین کروم و منگنز معرفی کردند. (Hosseini et al., 2021) نیز نسبت به امکان‌سنجی استفاده از گونه‌های بومادران و از مک برای پایش و پالایش زیستی فلزات سنگین روی، سرب و نیکل در محیط کنار جاده‌ای اقدام کرده و گزارش کردند که این گونه‌ها از قابلیت برداشت و تثبیت فلزات مذکور برخوردارند.

بنابراین، با توجه به نگرانی‌ها و مخاطرات محیط‌زیستی و بهداشتی مترتب از فلزات سنگین و با وجود مطالعات انجام شده در زمینه پایش و پالایش این آلاینده‌ها از طریق گیاهان علفی در محیط حاشیه جاده، مشکل آلاینده‌های فلزی مرتبط با ترافیک جاده‌ای همچنان پابرجا و قابل ارزیابی است (Jankowski et al., 2019). از طرفی، وضعیت آلودگی فلزات سنگین در امتداد جاده‌های اصلی ایران به طور کامل مطالعه نشده و فاقد داده‌های پایه است؛ از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی قابلیت پایش و پالایش فلزات سنگین کبالت، کروم و منگنز توسط برخی گونه‌های علفی مستقر در بیوتیپ کنار جاده‌ای همدان در سال ۱۳۹۸ انجام یافت.

## روش کار

### معرفی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، نمونه‌برداری از سه جاده همدان-گلتهپه (با ۳۰ سال قدمت و میانگین ترافیک روزانه ۲۴۱۷ وسیله نقلیه)، همدان-ساوه (تقریباً با ۱۰ سال قدمت و میانگین ترافیک روزانه ۱۱۳۲۶ وسیله نقلیه) و همدان-کرمانشاه (با بیش از ۷۰ سال قدمت و میانگین ترافیک روزانه ۱۴۷۹۷ وسیله نقلیه) انجام شد (شکل ۱). مناطق مورد مطالعه دارای آب و هوای سرد نیم خشک، میانگین بارندگی سالانه ۳۳۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد هستند (Hosseini et al., 2022).

### نمونه‌برداری از خاک و گیاه

در این پژوهش توصیفی-مقطعی با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمانی و مالی، ۲ گونه علفی شامل بومادران و از مک به سبب فراوانی (گونه غالب) و پراکنش گسترده در مناطق مورد مطالعه انتخاب شدند. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت و

## آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی و خاک و تعیین محتوی عناصر در آن‌ها

در آزمایشگاه، پس از جدا کردن شاخسارها (اندام‌های هوایی) و ریشه‌ها (اندام‌های زیرزمینی)، نمونه‌های شاخسار به دو گروه تقسیم شدند. نمونه‌های ریشه و یک گروه از شاخسارها به منظور زدودن و حذف آلاینده‌های سطحی، ابتدا با آب شرب و سپس با آب دوبار تقطیر شسته شدند. در گروه دیگر فرآیند شستشوی شاخسارها انجام نشد. نمونه‌های گیاهی تا زمان خشک شدن کامل (در حدود ۴۸ ساعت) در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در نهایت، پس از پودر کردن نمونه‌های خشک گیاهی توسط آسیاب برقی و انتقال آن‌ها به کیسه‌های پلی‌اتیلنی، نمونه‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Zhai et al., 2016; Hosseini et al., 2020, 2022). نمونه‌های خاک نیز در آزمایشگاه ابتدا هوا خشک شده و سپس به منظور حذف ذرات بزرگ و بقایای آلی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند (Sobhanardakani et al., 2018).

به منظور عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی، یک گرم از هر نمونه گیاهی پودر شده (شاخساره و ریشه) را به طور مجزا به بشر ۱۵۰ میلی‌لیتری منتقل کرده و پس از افزودن پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به هر بشر، محلول حاصل بمدت ۱۰ دقیقه روی هیتر با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد رفلاکس شد. پس از تغییر رنگ و سرد شدن محلول‌ها، در دو مرحله متوالی هر بار پنج میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ را به نمونه‌ها افزوده و محلول حاصل روی هیتر با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه مجدداً رفلاکس شد. پس از آن، دو میلی‌لیتر آب مقطر و سه میلی‌لیتر پراکسید هیدروژن ۳۰٪ به محلول افزوده و سپس به مدت دو تا پنج دقیقه روی هیتر با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. در مرحله بعد، پس از خنک شدن به هر یک از آن‌ها ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ اضافه شد و بعد از ۱۵ دقیقه رفلاکس، عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و با آب دوبار تقطیر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد (Khalid et al., 2018).

از سوی دیگر، به منظور تعیین محتوی قابل دسترس فلزات (بخش قابل جذب فلزات سنگین) در نمونه‌های خاک، از عصاره‌گیر DTPA (دی‌اتیلن‌تری‌آمین پنتا استیک اسید) (۶) ۰/۰۰۵ مول در لیتر و کلرورکلسیم (۷) ۰/۰۱ مول در لیتر و تری اتانول آمین (۸) ۰/۱ مول در لیتر) استفاده شد و pH محلول عصاره‌گیر

با استفاده از اسید کلریدریک یک نرمال در حدود  $0.5 \pm 0.3$  تنظیم شد. سپس، ۱۰ گرم از هر نمونه خاک را به طور مجزا به ارلن ۱۵۰ میلی‌لیتری منتقل کرده و پس از افزودن ۲۰ میلی‌لیتر از محلول استخراج DTPA به هر ارلن، درب آن‌ها بسته و به مدت دو ساعت با سرعت ۱۲۰ دور در دقیقه، روی همزن مکانیکی دورانی قرار داده شد. در مرحله بعد، عصاره حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف شد (Lindsay & Norvell, 1978; Randelović et al., 2018). در نهایت، پس از ساخت محلول مادر (استوک) و استاندارد نمک عناصر و کالیبره کردن دستگاه نشر اتمی Varian مدل ۷۱۰-ES، محتوی عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه‌های مورد مطالعه اعم از گیاه و خاک به ترتیب در طول موج‌های ۲۲۸/۶۱۵، ۲۶۷/۷۱۶ و ۲۵۷/۶۱۰ نانومتر و در سه تکرار خوانده شد. مقادیر حد تشخیص برای عناصر آهن، کبالت و منگنز به ترتیب برابر با ۰/۱۴۱، ۰/۱۲۹ و ۰/۰۹۳ و مقادیر محدودیت کمی نیز به ترتیب برابر با ۰/۴۲۲، ۰/۳۸۵ و ۰/۲۷۹ به دست آمد. نتایج حاصل از درصد بازیابی فلزات سنگین (بین ۹۴-۱۰۱٪ برای نمونه‌های خاک و بین ۹۵-۱۰۶٪ برای نمونه‌های گیاهی) نیز نشان داد که روش مورد استفاده برای تعیین فلزات سنگین مورد مطالعه از اطمینان کافی و دقت خوب برخوردار بوده است. همچنین، انحراف استاندارد ۵٪ مشاهده شد.

## محاسبه فاکتور تجمع زیستی<sup>(۹)</sup> (BAF)، فاکتور تغلیظ زیستی<sup>(۱۰)</sup> (BCF) و فاکتور انتقال<sup>(۱۱)</sup> (TF)

در این پژوهش، شاخص‌های تجمع زیستی (BAF)، تغلیظ زیستی (BCF) و فاکتور انتقال (TF) به منظور ارزیابی قابلیت گیاهان مورد بررسی در پایش و پالایش فلزات سنگین به ترتیب با استفاده از روابط ۱ تا ۳ محاسبه شدند (Wang et al., 2018; Devi et al., 2019; Aghelan et al., 2020):

$$BAF = \frac{C_{shoot}}{C_{soil}} \quad (1)$$

در رابطه (۱):

BAF بیان‌گر فاکتور تجمع زیستی؛  $C_{shoot}$  و  $C_{soil}$  نیز به ترتیب نشان‌دهنده محتوی فلز در شاخساره گیاه (اندام هوایی) و خاک بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم است.

$$BCF = \frac{C_{root}}{C_{soil}} \quad (2)$$



در رابطه (۲):

BCF بیان گر فاکتور تغلیظ زیستی؛  $C_{root}$  و  $C_{soil}$  نیز به ترتیب نشان دهنده محتوی فلز در ریشه گیاه (اندام زمینی) و خاک بر حسب میلی گرم در کیلوگرم است.

$$TF = \frac{C_{shoot}}{C_{root}} \quad (۳)$$

در رابطه (۳):

TF بیان گر فاکتور انتقال؛  $C_{shoot}$  و  $C_{root}$  نیز به ترتیب نشان دهنده محتوی فلز در اندام هوایی و ریشه گیاه بر حسب میلی گرم در کیلوگرم است.

### پردازش آماری داده‌ها

پردازش آماری داده‌ها با استفاده از نسخه ۱۹ نرم افزار آماری SPSS انجام یافت. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها و برابری واریانس‌ها به ترتیب از آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف<sup>(۱۲)</sup> و لون<sup>(۱۳)</sup>، به منظور مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه‌های گیاه و خاک بین ایستگاه‌های نمونه برداری از آزمون تحلیل واریانس بین آزمودنی یک طرفه<sup>(۱۴)</sup> و بدنبال آن آزمون تعقیبی دانکن<sup>(۱۵)</sup> در سطح معنی داری ۵٪ و برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار آماری میانگین محتوی فلزات سنگین بین شاخسارهای شسته نشده و شسته شده گونه‌ها از آزمون تی مستقل استفاده شد.

### نتایج

نتایج سنجش محتوی فلزات سنگین کبالت، کروم و منگنز در

نمونه‌های مورد مطالعه (اندام‌های گیاهی و خاک) به تفکیک ایستگاه نمونه برداری در جداول (۱ تا ۳) ارائه شده است. نتایج آزمون آماری تی مستقل نشان داد که فرایند شستشو سبب کاهش معنی دار محتوی عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه‌های شاخسار هر دو گونه مورد بررسی شد ( $p < 0.05$ ). با استناد به نتایج سنجش محتوی عناصر در اندام‌های گیاهی (جدول ۱) بیشینه میانگین محتوی عنصر کبالت در نمونه‌های شاخسار با ۰/۲۵۲ و ۰/۱۳۶ میلی گرم در کیلوگرم به ترتیب در شاخسار شسته نشده گونه‌های ازمک و بومادران تجمع یافته بود. همچنین، بیشینه میانگین محتوی عنصر کروم در نمونه‌های شاخسار گونه‌های ازمک و بومادران به ترتیب با ۲/۴۴ و ۲/۳۵ میلی گرم در کیلوگرم به شاخسار شسته نشده این گونه‌ها تعلق داشت (جدول ۲). از سوی دیگر، بیشینه میانگین غلظت عنصر منگنز با ۵۰/۹ و ۴۱/۳ نیز به ترتیب مربوط به شاخسار شسته نشده گونه‌های ازمک و بومادران بود (جدول ۳).

نتایج آزمون تحلیل واریانس بیان گر آن بود که افزایش حجم ترافیک، در اغلب موارد محتوی عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه‌های خاک و گیاه را به طور معنی داری ( $p < 0.05$ ) افزایش داده است. بر اساس نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها (دانکن)، بیشینه میانگین محتوی عنصر کبالت در نمونه‌های خاک با ۰/۰۳۳ میلی گرم در کیلوگرم و در نمونه‌های گیاهی نیز با ۰/۱۷۱ میلی گرم در کیلوگرم مربوط به ایستگاه کرمانشاه بود (جدول ۱). از طرفی بیشینه میانگین محتوی عنصر کروم در نمونه‌های خاک و گیاه به ترتیب با ۰/۰۶۰ و ۲/۵۱ میلی گرم در کیلوگرم مربوط به نمونه‌های جمع آوری شده از ایستگاه ساوه بود (جدول ۲).

جدول (۱): آمار توصیفی محتوی کبالت در نمونه‌های گیاهی و خاک (میلی گرم در کیلوگرم)

| نمونه‌های خاک            | نمونه‌های گیاهی          | غلظت کبالت               |                          |                          |                          |                          |                           | ایستگاه  |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------|
|                          |                          | ریشه                     |                          | شاخسار شسته شده          |                          | شاخسار شسته نشده         |                           |          |
|                          |                          | بومادران                 | ازمک                     | بومادران                 | ازمک                     | بومادران                 | ازمک                      |          |
| جز قابل دسترس            |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                           |          |
| ۰/۰۳۲±۰/۰۱۲ <sup>b</sup> | ۰/۱۱۱±۰/۰۶۱ <sup>a</sup> | ۰/۱۸۳±۰/۱۲۳ <sup>a</sup> | ۰/۱۴۱±۰/۰۹۱ <sup>a</sup> | ۰/۱۰۳±۰/۰۵۳ <sup>a</sup> | ۰/۰۷۴±۰/۰۵۱ <sup>a</sup> | ۰/۱۲۳±۰/۰۸۱ <sup>a</sup> | ۰/۱۲۱±۰/۰۶۲ <sup>a*</sup> | گلپیه    |
| ۰/۰۱۱±۰/۰۰۱ <sup>a</sup> | ۰/۱۴۳±۰/۰۵۲ <sup>b</sup> | ۰/۱۵۲±۰/۰۵۱ <sup>a</sup> | ۰/۱۴۳±۰/۰۳۳ <sup>a</sup> | ۰/۰۵۱±۰/۰۲۲ <sup>a</sup> | ۰/۰۸۲±۰/۰۲۲ <sup>a</sup> | ۰/۱۰۴±۰/۰۱۱ <sup>a</sup> | ۰/۳۷۲±۰/۰۹۱ <sup>c</sup>  | ساوه     |
| ۰/۰۳۳±۰/۰۱۳ <sup>c</sup> | ۰/۱۷۱±۰/۰۹۳ <sup>b</sup> | ۰/۱۶۴±۰/۰۳۳ <sup>a</sup> | ۰/۰۹۲±۰/۰۲۲ <sup>a</sup> | ۰/۱۳۳±۰/۱۲۱ <sup>b</sup> | ۰/۱۹۱±۰/۰۵۲ <sup>b</sup> | ۰/۱۸۱±۰/۰۷۳ <sup>b</sup> | ۰/۲۶۴±۰/۰۱۳ <sup>b</sup>  | کرمانشاه |
| ۰/۰۲۵±۰/۰۰۸              | ۰/۱۴۱±۰/۰۶۸              | ۰/۱۶۶±۰/۰۶۸              | ۰/۱۲۵±۰/۰۴۸              | ۰/۰۹۵±۰/۰۶۵              | ۰/۱۱۵±۰/۰۴۱              | ۰/۱۳۶±۰/۰۵۴              | ۰/۲۵۲±۰/۰۷۰               | میانگین  |

\* مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی دار آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس نتایج آزمون آماری دانکن هستند.

جدول (۲): آمار توصیفی محتوی کروم در نمونه‌های گیاهی و خاک (میلی گرم در کیلوگرم)

| نمونه‌های خاک             | نمونه‌های گیاهی         | غلظت کروم               |                         |                         |                         |                         |                          | ایستگاه  |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------|
|                           |                         | اندام‌های هوایی         |                         | ریشه                    |                         | شاخسار شسته نشده        |                          |          |
|                           |                         | بومادران                | ازمک                    | بومادران                | ازمک                    | بومادران                | ازمک                     |          |
| جز قابل دسترس             |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                          |          |
| ۰/۰۴۱±۰/۰۱۱ <sup>a</sup>  | ۱/۸۷±۰/۴۲۳ <sup>a</sup> | ۲/۱۵±۰/۱۹۱ <sup>a</sup> | ۱/۹۴±۰/۱۴۴ <sup>a</sup> | ۱/۵۸±۰/۳۵۱ <sup>a</sup> | ۱/۲۶±۰/۲۹۲ <sup>a</sup> | ۲/۴۸±۰/۱۰۳ <sup>b</sup> | ۱/۸۱±۰/۱۰۱ <sup>a*</sup> | گلنیه    |
| ۰/۰۶۰±۰/۰۰۱ <sup>b</sup>  | ۲/۵۱±۰/۵۴۳ <sup>b</sup> | ۲/۷۹±۰/۱۹۳ <sup>b</sup> | ۲/۱۳±۰/۲۴۲ <sup>b</sup> | ۱/۹۶±۰/۱۱۱ <sup>b</sup> | ۱/۴۶±۰/۳۴۳ <sup>a</sup> | ۲/۱۲±۰/۰۲۴ <sup>a</sup> | ۳/۰۵±۰/۰۲۳ <sup>c</sup>  | ساوه     |
| ۰/۰۵۰±۰/۰۱۳ <sup>ab</sup> | ۲/۳۵±۰/۵۱۱ <sup>b</sup> | ۲/۹۳±۰/۳۲۲ <sup>b</sup> | ۲/۴۲±۰/۲۸۱ <sup>b</sup> | ۲/۱۶±۰/۱۹۳ <sup>c</sup> | ۱/۷۱±۰/۱۲۱ <sup>a</sup> | ۲/۴۴±۰/۰۳۳ <sup>b</sup> | ۲/۴۷±۰/۰۹۱ <sup>b</sup>  | کرمانشاه |
| ۰/۰۵۰±۰/۰۰۸               | ۲/۲۴±۰/۴۹۲              | ۲/۶۲±۰/۲۳۵              | ۲/۱۶±۰/۲۲۲              | ۱/۹۱±۰/۲۱۸              | ۱/۴۶±۰/۲۵۲              | ۲/۳۵±۰/۰۵۳              | ۲/۴۴±۰/۰۷۱               | میانگین  |

\* مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس نتایج آزمون دانکن هستند.

کیلوگرم بیش‌تر از غلظت این فلز در شاخسارهای شسته شده با میانگین ۰/۰۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. از طرفی، میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر منگنز در شاخسار شسته شده ازمک با ۴۴/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بیش‌تر از جذب این عنصر در ریشه ازمک با میانگین ۱۸/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

نتایج محاسبه فاکتورهای تجمع زیستی، تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه‌های شاخسار شسته شده و ریشه گونه‌های گیاهی بومادران و ازمک در نمودارهای (۱) تا (۳) ارائه شده است.

از سوی دیگر، بیشینه میانگین محتوی عنصر منگنز در نمونه‌های خاک با ۸/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در نمونه‌های گیاهی با ۵۸/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های کرمانشاه و ساوه بود (جدول ۳). همچنین، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم در ریشه هر دو گونه ازمک و بومادران به ترتیب با ۲/۱۶ و ۲/۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بیش‌تر از جذب این عنصر در شاخسارهای شسته شده ازمک و بومادران به ترتیب با میانگین ۱/۴۶ و ۱/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. افزون بر این، میانگین محتوی عنصر کبالت در ریشه بومادران با ۰/۱۶۶ میلی‌گرم در

جدول (۳): آمار توصیفی محتوی منگنز در نمونه‌های گیاهی و خاک (میلی گرم در کیلوگرم)

| نمونه‌های خاک          | نمونه‌های گیاهی        | غلظت منگنز              |                         |                         |                         |                         |                          | ایستگاه  |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------|
|                        |                        | اندام‌های هوایی         |                         | ریشه                    |                         | شاخسار شسته نشده        |                          |          |
|                        |                        | بومادران                | ازمک                    | بومادران                | ازمک                    | بومادران                | ازمک                     |          |
| جز قابل دسترس          |                        |                         |                         |                         |                         |                         |                          |          |
| ۸/۲±۰/۲۴۴ <sup>b</sup> | ۲۷/۵±۶/۳۳ <sup>a</sup> | ۲۴/۵±۰/۰۷۳ <sup>b</sup> | ۱۶/۶±۰/۳۹۲ <sup>b</sup> | ۲۱/۳±۰/۲۴۴ <sup>a</sup> | ۳۴/۴±۰/۱۱۱ <sup>b</sup> | ۳۰/۷±۰/۴۴۴ <sup>a</sup> | ۳۷/۷±۰/۱۶۲ <sup>a*</sup> | گلنیه    |
| ۷/۱±۰/۰۹۳ <sup>a</sup> | ۵۸/۷±۱۸/۴ <sup>b</sup> | ۵۵/۷±۰/۴۵۱ <sup>c</sup> | ۲۴/۷±۱/۳۹ <sup>c</sup>  | ۵۲/۳±۰/۴۶۲ <sup>c</sup> | ۷۳/۹±۰/۴۴۳ <sup>c</sup> | ۶۱/۵±۱/۱۵ <sup>b</sup>  | ۸۳/۳±۰/۴۸۱ <sup>b</sup>  | ساوه     |
| ۸/۹±۰/۲۲۳ <sup>c</sup> | ۲۵/۷±۵/۸۲ <sup>a</sup> | ۲۱/۹±۰/۴۳۴ <sup>a</sup> | ۱۲/۹±۰/۱۹۴ <sup>a</sup> | ۲۸/۱±۰/۰۷۳ <sup>b</sup> | ۲۴/۱±۰/۴۷۴ <sup>a</sup> | ۳۱/۸±۰/۳۵۴ <sup>a</sup> | ۳۱/۹±۰/۱۵۳ <sup>a</sup>  | کرمانشاه |
| ۸/۰۸±۰/۲۸۶             | ۳۷/۳±۱۰/۱              | ۳۴/۰±۰/۳۱۹              | ۱۸/۱±۰/۶۵۸              | ۳۴/۲±۰/۲۵۹              | ۴۴/۱±۰/۳۴۲              | ۴۱/۳±۰/۶۴۹              | ۵۰/۹±۰/۲۶۵               | میانگین  |

\* مقادیر دارای حروف مشترک در هر ستون فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس نتایج آزمون دانکن هستند.

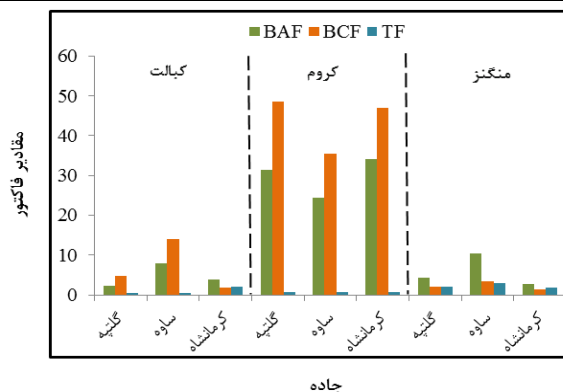
کرمانشاه بود (نمودار ۲). از طرفی، میانگین مقادیر تغلیظ زیستی و تجمع زیستی همه عناصر شاخسارهای شسته شده و ریشه هر دو گونه مورد مطالعه بزرگ‌تر از یک بود (نمودار ۳). از حیث میانگین مقادیر فاکتور انتقال، گونه ازمک دارای ضریب انتقال بزرگ‌تر از یک برای عناصر کبالت و منگنز بود. در رابطه با گونه بومادران نیز میانگین مقادیر فاکتور انتقال عنصر منگنز بزرگ‌تر از یک بود.

با استناد به نتایج مندرج در نمودار (۱ و ۲)، مقادیر تغلیظ زیستی و تجمع زیستی همه عناصر در هر دو گونه ازمک و بومادران در همه ایستگاه‌ها بزرگ‌تر از یک بود. از طرفی، ازمک مقادیر فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک را برای عنصر کبالت در ایستگاه کرمانشاه و برای عنصر منگنز در همه ایستگاه‌ها نشان داد (نمودار ۱). این در حالی است که بومادران دارای مقادیر فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک برای عناصر کبالت و منگنز در ایستگاه

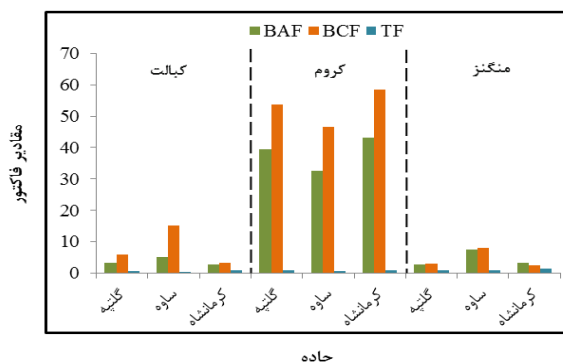
### بحث و نتیجه گیری

فلزات سنگین منتشر شده از ترافیک ممکن است از طریق رسوب بر سطح خاک و جذب توسط اندام‌های زیرزمینی (ریشه) یا از طریق فرورنشست‌های اتمسفری و جذب توسط اندام‌های هوایی (روزنه) در گیاهان حاشیه جاده تجمع یابند (Nabulo et al., 2006; Feng et al., 2011; Jankowski et al., 2015; Hosseini et al., 2020). نتایج این پژوهش نشان داد که محتوی عناصر در شاخسارهای شسته شده نسبت به شاخسارهای شسته نشده ۱/۵۰ تا دو برابر کمتر بود. در این خصوص، کاهش محتوی عناصر در اثر فرآیند شستشو را می‌توان به فرورنشست‌های هواپه‌ری مرتبط دانست. در تأیید نتایج این پژوهش، Norouzi و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی درختان به عنوان نشان‌گر زیستی آلودگی فلزات سنگین عنوان کردند که بیشینه محتوی عنصر منگنز نمونه‌های برگ مربوط به برگ‌های شسته نشده بود. همچنین، (Serbula et al., 2012) و (Pourkhabbaz et al., 2015) نیز گزارش کردند که فرآیند شستشو باعث کاهش ۵۰٪ از محتوی فلزات سنگین در برگ‌ها شده است. Abbaszadeh و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی درختان به عنوان نشان‌گر زیستی آلودگی فلزات سنگین عنوان کردند که بیشینه غلظت عناصر نمونه‌های برگ مربوط به برگ‌های شسته نشده بود.

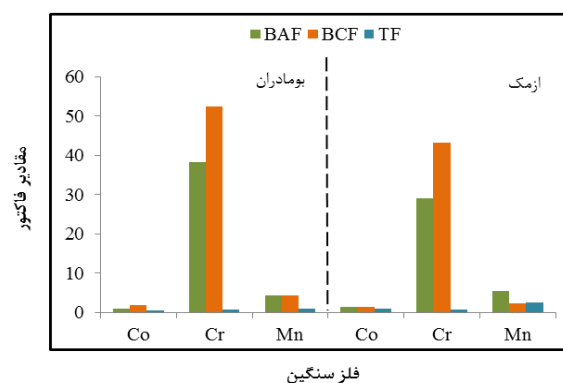
ترافیک و فعالیت‌های مرتبط با آن آلاینده‌های فلزی مختلفی را در محیط آزاد می‌کند که به طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامت انسان و بوم‌سازگان تأثیر می‌گذارد (Maeaba et al., 2019; Acar RU & Özkul, 2020). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بیشینه محتوی عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه‌های خاک و گیاه مربوط به ایستگاه‌های ساوه و کرمانشاه (ایستگاه‌های با حجم زیاد ترافیک) بود. این موضوع را می‌توان با حجم زیاد ترافیک و به تبع آن استهلاک قطعات خودروها و نرخ زیاد احتراق سوخت‌های فسیلی مرتبط دانست. در مطالعات مشابه و در تأیید نتایج حاصل، Baycu و همکاران (۲۰۰۶)، Eid و همکاران (۲۰۱۲) و همچنین Bonanno و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه زیست‌ردیابی آلودگی فلزات سنگین گزارش کردند که افزایش حجم ترافیک به افزایش غلظت عناصر کبالت، کروم و منگنز در گیاهان و خاک کنار جاده منجر شده است. علاوه بر این، نتایج مشابهی نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (Malizia et al., 2012). از طرفی، Wessolek و Kluge



نمودار (۱): مقادیر فاکتورهای تجمع زیستی، تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه بافت‌های گیاهی از مک



نمودار (۲): مقادیر فاکتورهای تجمع زیستی، تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه بافت‌های گیاهی بومادران



نمودار (۳): میانگین مقادیر فاکتورهای تجمع زیستی، تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال عناصر کبالت، کروم و منگنز در نمونه بافت‌های گیاهی از مک و بومادران

بومادران از قابلیت بیش‌تر تجمع عناصر کبالت و کروم در ریشه در مقایسه با شاخسار شسته شده برخوردار بودند. بنابراین، می‌توان ادعان داشت که ازمک گونه‌ای مناسب برای تثبیت عنصر کروم و گونه بومادران گیاهی مفید برای تثبیت عناصر کبالت و کروم در خاک است. از تثبیت گیاهی می‌توان برای کاهش تحرک فلزات و به‌تبع آن محدود کردن آلودگی‌ها در خاک استفاده کرد. در این فرآیند از توانایی ریشه‌های گیاه برای کاهش تحرک و روان‌شویی فلز به منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود و در نتیجه فراهمی زیستی فلزات برای ورود به زنجیر غذایی کاهش می‌یابد. یکی از مزایای این فرآیند نسبت به استخراج گیاهی این است که دفع مواد گیاهی که مقادیر متناهی از فلزات در اندام‌های هوایی آن تجمع یافته است، مورد نیاز نیست (Naderi et al., 2013). در مطالعات مشابه و در تایید نتایج حاصل، Galal و Shehata (۲۰۱۵) نیز با ارزیابی قابلیت انباشت زیستی و جابه‌جایی فلزات سنگین توسط گونه بارهنگ رشد یافته در خاک آلوده متأثر از فعالیت‌های ترافیکی، این گونه را گزینه‌ای مناسب برای تثبیت گیاهی عناصر کبالت، کروم و منگنز در محیط پیرامون جاده‌ها و مناطق آلوده به فلز معرفی کردند. از سوی دیگر تجمع زیستی، تغلیظ زیستی و فاکتور انتقال به عنوان عوامل اصلی تعیین‌کننده توانایی گیاه در جذب و انتقال عناصر از خاک مهم‌ترین شاخص‌ها در فرآیند گیاه‌پالایی معرفی شدند (Weis et al., 2004; Galal & Shehata, 2015; Zhang et al., 2016). بر این اساس، گونه گیاهی با ضریب تجمع‌زیستی و فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک، برای برداشت گیاهی و گونه گیاهی با ضریب تغلیظ زیستی بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک، برای تثبیت گیاهی مناسب هستند (Abbaszadeh et al., 2019; Devi et al., 2019). نتایج این پژوهش نشان داد که گونه علفی ازمک دارای تجمع زیستی و فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک برای عناصر کبالت و منگنز و تغلیظ زیستی بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک برای عنصر کروم بود. از این‌رو، می‌توان نتیجه گرفت که ازمک، گونه‌ای مناسب برای برداشت عناصر کبالت و منگنز و تثبیت فلز کروم در خاک است. در مورد بومادران مقادیر میانگین تجمع زیستی و فاکتور انتقال برای عنصر منگنز بزرگ‌تر از یک بود. از طرفی، گونه بومادران دارای تغلیظ زیستی بزرگ‌تر از یک و فاکتور انتقال کوچک‌تر از یک برای عناصر کبالت و کروم بود. بنابراین، بومادران گونه‌ای مناسب برای برداشت فلز منگنز و

(Novo و همکاران (۲۰۱۷) و Bernardino و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان کنار جاده نتیجه گرفتند که محتوی زیاد فلزات سنگین کبالت، کروم و منگنز در محیط مجاور جاده‌ها می‌تواند ناشی از سایش و خوردگی قطعات خودرو (مانند سایش تایر و ترمز)، نشت روان‌کننده‌ها و احتراق بنزین باشد. همچنین، نتایج بیان‌گر آن بود که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر کروم در ریشه هر دو گونه ازمک و بومادران و میانگین محتوی عنصر کبالت در ریشه بومادران بیش‌تر از غلظت این عناصر در شاخسارهای شسته شده بود. محققان دیگر نیز اظهار داشتند که کروم و کبالت از قابلیت تجمع زیاد در سیستم ریشه‌ای گیاهان برخوردارند (Baycu et al., 2006; Eid et al., 2012; Bonanno et al., 2013; Romeh, 2018). این در حالی است که میانگین غلظت تجمع‌یافته عنصر منگنز در شاخسار شسته شده ازمک بیش‌تر از جذب این عنصر در ریشه بود. در سایر مطالعات نیز که به نتایج مشابه دست‌یافته‌اند، این موضوع را با توانایی انتقال عناصر مرتبط دانسته‌اند (Jeddi & Chaieb, 2018). همچنین، برخی از محققان گزارش کردند که تفاوت در محتوی انباشت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف گیاه ممکن است به دلیل سبک‌های مختلف جذب فلزات در خاک و گیاه باشد (Li et al., 2007; Taskila et al., 2012).

گیاه‌پالایی به عنوان فناوری سبز و دوست‌دار محیط‌زیست روشی کم‌هزینه به‌منظور تخمین و کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی به ویژه فلزات سنگین است (Aghelan et al., 2020; Davodpour et al., 2020). از این‌رو، ارزیابی دقیق پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به‌سبب فعالیت‌های انسانی آلوده محسوب می‌شوند، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و می‌تواند منجر به شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب برای پایش و پالایش آلاینده‌های محیطی شود. در این راستا، گیاهان متحمل<sup>(۱۶)</sup> تمایل دارند که انتقال عناصر از خاک به ریشه و همچنین از ریشه به اندام‌های هوایی را محدود کنند، بنابراین، از این طریق انباشت فلزات در زیست‌توده گیاهی را کاهش می‌دهند، در حالی‌که، گونه‌های گیاهی فراانباشت‌کننده فعالانه فلزات را در زیست‌توده خود (ریشه و شاخسار) جذب، انباشته و جابه‌جا می‌کنند (Yoon et al., 2006; Rafati et al., 2011; Ali et al., 2013; Jeddi & Chaieb, 2018). با استناد به نتایج پژوهش حاضر، گونه ازمک از توانایی بیش‌تر انباشت فلز کروم در ریشه و گونه

غلظت فلزات سنگین (سرب، روی و کادمیوم) در اندام هوایی بومادران و مقادیر محاسبه شده فاکتور انتقال گزارش کردند که گیاه بومادران گزینه مناسبی برای پالایش خاک آلوده به فلزات سنگین است. نظر به محدودیت‌های مالی و زمانی در اجرای این پژوهش، ارزیابی قابلیت پایش و پالایش سایر گونه‌های گیاهی و آلودگی خاک به سایر عناصر بالقوه سمی در مطالعه‌های آتی پیشنهاد می‌شود.

### یادداشت‌ها

1. *Plantago major* L.
2. *Erodium cicutarium* L.
3. *Calotropis procera* L.
4. *Rumex acetosa* L.
5. *Datura stramonium* L.
6. Diethylenetriaminepentaaceticacid  
( $C_{14}H_{23}N_3O_{10}$ )
7.  $CaCl_2, 2H_2O$
8. Triethanolamine ( $C_6H_{15}NO_3$ )
9. Bioaccumulation factor (BAF)
10. Bioconcentration factor (BCF)
11. Transfer factor (TF)
12. Kolmogorov-Smirnov
13. Levene's Test
14. Independent-Samples T-Test
15. Duncan Multiple Range Test
16. Tolerant plants

تثبیت عناصر کبالت و کروم در خاک است. از این‌رو، می‌توان از ازمک و بومادران به عنوان گونه‌های بومی کارآمد برای پایش و پالایش فلزات سنگین از خاک و هوا در مناطق آلوده استفاده کرد. محققان دیگر نیز در مطالعات خود گزارش کردند که از گیاهان با فاکتور انتقال و تجمع زیستی بزرگتر از یک می‌توان به طور بالقوه برای استخراج گیاهی استفاده کرد، در حالی که گیاهانی که دارای فاکتور انتقال کمتر از یک و تغلیظ زیستی بزرگتر از یک هستند، قابلیت تثبیت گیاهی را دارند (Mousavi et al., 2020; Cheraghi et al., 2011). از طرفی، Hosseini و همکاران (۲۰۲۰) نیز با بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاهان کنار جاده (بومادران و ازمک) و خاک در امتداد برخی از بزرگراه‌های همدان واقع در غرب ایران با استناد به مقادیر محاسبه شده فاکتور انتقال، عنوان کردند که هر دو گونه از توانایی قابل توجه انتقال عناصر کادمیم، سرب، روی، مس و نیکل از ریشه به اندام‌های هوایی برخوردار بوده‌اند. همچنین، Jeddi و Chaieb (۲۰۲۰) نیز با ارزیابی قابلیت گونه نوک لک‌لکی در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات عنوان کردند که با استناد به مقادیر محاسبه شده فاکتور انتقال، این گونه از قابلیت تثبیت گیاهی عنصر منگنز در خاک برخوردار بوده است. Adelkhah و همکاران (۲۰۲۰) نیز با امکان‌سنجی استفاده از گیاهان جاذب برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب صنعت پتروشیمی (مطالعه موردی رازی تهران) با استناد به میانگین

### فهرست منابع

- Abbaszadeh, H.; Mohammadi Roozbahani, M. & Sobhanardakani, S. 2019. Use of *Ziziphus spina-christi* and *Prosopis cineraria* leaves as bio-indicators of environmental pollution emitted from industrial areas. *Iranian Journal Health and Environment*. 12(1): 87-100. (In Persian)
- Acar, R.U. & Özkul, C. 2020. Investigation of heavy metal pollution in roadside soils and road dusts along the Kütahya–Eskişehir Highway. *Arabian Journal of Geosciences*. 13(5): 1-11.
- Adelkhah, A.; Babaei Semiromi, F. & Alipour, S. 2020. Feasibility Study of Using Adsorbent Plants to Remove Heavy Metals from Wastewater of Petrochemical Industry (Razi Case Study of Tehran). *Journal of Health*. 10; 11(3): 299-310. (In Persian)
- Aghelan, N.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2020. Evaluation of chelating agents with different biodegradability rates on the enhanced phytoremediation efficiency of ornamental species (*Amaranthus caudatus* and *Tagetes patula*) in cadmium contaminated soils. *Journal of Environmental Health Engineering*. 7(4): 427-442. (In Persian)
- Ali, H., Khan, E. & Sajad, M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals—concepts and applications. *Chemosphere*. 91(7): 869-881.

- Anwar, S.; Naz, A.; Ashraf, M.Y. & Malik, A. 2020. Evaluation of inorganic contaminants emitted from automobiles and dynamics in soil, dust, and vegetations from major highways in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*. 27: 32494-32508.
- Baycu, G.; Tolunay, D.; Özden, H. & Günebakan, S. 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environmental pollution*. 143(3): 545-554.
- Bernardino, C.A.; Mahler, C.F.; Santelli, R.E.; Freire, A.S.; Braz, B.F. & Novo, L.A. 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.
- Bonanno, G. 2013. Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 97: 124-130.
- Cheraghi, M.; Lorestani, B.; Khorasani, N.; Yousefi, N. & Karami, M. 2011. Findings on the phytoextraction and phytostabilization of soils contaminated with heavy metals. *Biological Trace Element Research*. 144(1): 1133-1141.
- Davodpour, R.; Sobhan Ardakani, S.; Cheraghi, M.; Abdi, N. & Lorestani, B. 2020. Bioconcentration and stabilization potential studies of arsenic and some heavy metals in *Astragalus* spp. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*. 33(2): 477-488. (In Persian)
- De Silva, S.; Ball, A.S.; Huynh, T. & Reichman, S.M. 2016. Metal accumulation in roadside soil in Melbourne, Australia: effect of road age, traffic density and vehicular speed. *Environmental Pollution*. 208: 102-109.
- De Silva, S.; Ball, A.S.; Indrapala, D.V. & Reichman, S.M. 2021. Review of the interactions between vehicular emitted potentially toxic elements, roadside soils, and associated biota. *Chemosphere*. 263: 128135.
- Devi, U.; Taki, K.; Shukla, T.; Sarma, K.P.; Hoque, R.R. & Kumar, M. 2019. Microzonation, ecological risk and attributes of metals in highway road dust traversing through the Kaziranga National Park, Northeast India: implication for confining metal pollution in the national forest. *Environmental Geochemistry and Health*. 41(3): 1387-1403.
- Eid, E.M.; Shaltout, K.H.; El-Sheikh, M.A. & Asaeda, T. 2012. Seasonal courses of nutrients and heavy metals in water, sediment and above-and below-ground *Typha domingensis* biomass in Lake Burullus (Egypt): perspectives for phytoremediation. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 207(11): 783-794.
- Farzan, M. & Sobhan, A.S. 2016. Analysis of Fe, Pb, and Cd content of surface runoff in regions with high traffic intensity in Hamedan, Iran, in 2014. *Health System Research*. 12(2): 208-213. (In Persian)
- Feng, J.; Wang, Y.; Zhao, J.; Zhu, L.; Bian, X. & Zhang, W. 2011. Source attributions of heavy metals in rice plant along highway in Eastern China. *Journal of Environmental Sciences*. 23(7): 1158-1164.
- Gajbhiye, T.; Pandey, S.K.; Lee, S.S. & Kim, K.H. 2019. Size fractionated phytomonitoring of airborne particulate matter (PM) and speciation of PM bound toxic metals pollution through *Calotropis procera* in an urban environment. *Ecological Indicators*. 104: 32-40.
- Galal, T.M. & Shehata, H.S. 2015. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution. *Ecological Indicators*. 48: 244-251.
- Garcia, R. & Millan, E. 1998. Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain). *Chemosphere*. 37(8): 1615-1625.



- Hosseini, N.S.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2020. Heavy metal concentrations in roadside plants (*Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba*) and soils along some highways in Hamedan, west of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(12): 13301-13314.
- Hosseini, N.S.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2021. Feasibility of using *Achillea wilhelmsii* and *Cardaria draba* for biomonitoring and bioremediation of heavy metals (Zn, Pb and Ni) in the roadside environments. *Iranian Journal of Health and Environment*. 13(4): 607-620. (In Persian)
- Hosseini, N.S.; Sobhanardakani, S.; Cheraghi, M.; Lorestani, B. & Merrikhpour, H. 2022. Expansive herbaceous species as bio-tools for elements detection in the vicinity of major roads of Hamedan, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 19(3): 1611-1624.
- Jankowski, K.; Malinowska, E.; Ciepiela, G.A.; Jankowska, J.; Wiśniewska-Kadžajan, B. & Sosnowski, J. 2019. Lead and cadmium content in grass growing near an expressway. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 76(1): 66-75.
- Jankowski, K.; Ciepiela, A.G.; Jankowska, J.; Szulc, W.; Kolczarek, R.; Sosnowski, J.; Wiśniewska-Kadžajan, B.; Malinowska, E.; Radzka, E.; Czeluściński, W. & Deska, J. 2015. Content of lead and cadmium in aboveground plant organs of grasses growing on the areas adjacent to a route of big traffic. *Environmental Science and Pollution Research*. 22(2): 978-987.
- Janta, R. & Chantara, S. 2017. Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand. *Atmospheric Pollution Research*. 8(5): 956-967.
- Jeddi, K. & Chaieb, M. 2018. Evaluation of the potential of *Erodium glaucophyllum* L. for phytoremediation of metal-polluted arid soils. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(36): 36636-36644.
- Karimi, A.; Naghizadeh, A.; Biglari, H.; Peirovi, R.; Ghasemi, A. & Zarei, A. 2020. Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(10): 10317-10327.
- Khaleghi, S.; Safadoust, A. & Kolahchi, Z. 2019. Pollution Status of Some Heavy Metals in an Agricultural Land Along Arak-Qom Highway. *Iranian J Soil Res*. 33(3): 387-400. (In Persian)
- Khalid, N.; Hussain, M.; Young, H.S.; Ashraf, M.; Hameed, M. & Ahmad, R. 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.
- Kluge, B. & Wessolek, G. 2012. Heavy metal pattern and solute concentration in soils along the oldest highway of the world—the AVUS Autobahn. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184(11): 6469-6481.
- Korzeniowska, J. & Stanislawska-Głubiak, E. 2019. Phytoremediation potential of *Phalaris arundinacea*, *Salix viminalis* and *Zea mays* for nickel-contaminated soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 16(4): 1999-2008.
- Kouhi, S.M.M. & Moudi, M., 2020. Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted saline-sodic soil. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(9): 10027-10038.
- Kumar, R.; Kumar, V.; Sharma, A.; Singh, N.; Kumar, R.; Katnoria, J.K.; Bhardwaj, R.; Thukral, A.K. & Rodrigo-Comino, J. 2019. Assessment of pollution in roadside soils by using multivariate statistical techniques and contamination indices. *SN Applied Sciences*. 1(8): 842.
- Lai, H.Y. & Chen, Z.S. 2004. Effects of EDTA on solubility of cadmium, zinc, and lead and their uptake by rainbow pink and vetiver grass. *Chemosphere*. 55(3): 421-430.

- Li, F.R.; Kang, L.F.; Gao, X.Q.; Hua, W.; Yang, F.W. & Hei, W.L. 2007. Traffic-related heavy metal accumulation in soils and plants in Northwest China. *Soil & Sediment Contamination*. 16(5): 473-484.
- Lindsay, W.L. & Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42(3): 421-428.
- Lu, X.; Wang, L.; Lei, K.; Huang, J. & Zhai, Y. 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 161: 1058-1062.
- Luo, Y.; Zhao, X.; Xu, T.; Liu, H.; Li, X.; Johnson, D. & Huang, Y. 2017. Bioaccumulation of heavy metals in the lotus root of rural ponds in the middle reaches of the Yangtze River. *Journal of Soils and Sediments*. 17(10): 2557-2565.
- Maeaba, W.; Prasad, S. & Chandra, S. 2019. First assessment of metals contamination in road dust and roadside soil of Suva City, Fiji. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 77(2): 249-262.
- Malizia, D.; Giuliano, A.; Ortaggi, G. & Masotti, A. 2012. Common plants as alternative analytical tools to monitor heavy metals in soil. *Chemistry Central Journal*. 6(2): 1-10.
- Mohammadi, M.J.; Yari, A.R.; Saghazadeh, M.; Sobhanardakani, S.; Geravandi, S.; Afkar, A.; Salehi, S.Z.; Valipour, A.; Biglari, H.; Hosseini, S.A. & Rastegarimehr, B. 2018. A health risk assessment of heavy metals in people consuming Sohan in Qom, Iran. *Toxin Reviews*. 37(4): 278-286.
- Nabulo, G.; Oryem-Origa, H. & Diamond, M. 2006. Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala City, Uganda. *Environmental Research*. 101(1): 42-52.
- Naderi, M.R.; Danesh-Shahraki, A. & Naderi, R. 2013. A review on Phytoremediation of heavy metals contaminated soils. *Human & Environment*. 10(23): 35-49. (In Persian)
- Norouzi, S.; Khademi, H.; Cano, A.F. & Acosta, J.A. 2015. Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: a case study from Isfahan, Central Iran. *Ecological Indicators*. 57: 64-73.
- Novo, L.A.; Onishi, V.C.; Bernardino, C.A. & Da Silva, E.F. 2017. Metal bioaccumulation by plants in roadside soils: Perspectives for bioindication and phytoremediation. *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants*. 215-230.
- Pan, L.; Wang, Y.; Ma, J.; Hu, Y.; Su, B.; Fang, G.; Wang, L. & Xiang, B. 2018. A review of heavy metal pollution levels and health risk assessment of urban soils in Chinese cities. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(2): 1055-1069.
- Pourkhabbaz, A.R.; Shirvani, Z. & Ghader Ghaderi, M. 2015. Biomonitoring of air pollution in urban regions by *Platanus orientalis* and *Fraxinus excelsior* (Case study: Shiraz city). *Journal of Environmental Studies*. 41(2):351-360.
- Rafati, M.; Khorasani, N.; Moattar, F.; Shirvany, A.; Moraghebi, F. & Hosseinzadeh, S. 2011. Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromium and nickel absorption from polluted soil. *International Journal of Environmental Research*. 5(4): 961-970.
- Raikova, S.; Piccini, M.; Surman, M.K.; Allen, M.J. & Chuck, C.J. 2019. Making light work of heavy metal contamination: the potential for coupling bioremediation with bioenergy production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 94(10): 3064-3072.
- Randelović, D.; Jakovljević, K.; Mihailović, N. & Jovanović, S. 2018. Metal accumulation in populations of *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth from diverse anthropogenically degraded sites (SE Europe, Serbia). *Environmental Monitoring and Assessment*. 190(4): 1-17.
- Rezaei Raja, O.; Sobhanardakani, S. & Cheraghi, M. 2016. Health risk assessment of citrus contaminated with heavy metals in Hamedan city, potential risk of Al and Cu. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 3(3): 131-135.

- Romeh, A.A.A. 2018. Risk assessment of heavy metals pollution at Zagazig University, Zagazig, Egypt. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 15(7): 1393-1410.
- Sabzevari, E. & Sobhanardakani, S. 2018. Analysis of selected heavy metals in indoor dust collected from city of Khorramabad, Iran: A case study. *Jundishapur Journal of Health Sciences*. 10(3): e67382.
- Serbula, S.M.; Miljkovic, D.D.; Kovacevic, R.M. & Ilic, A.A. 2012. Assessment of airborne heavy metal pollution using plant parts and topsoil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 76: 209-214.
- Sobhan Ardakani, S.S.; Razban, S.S. & Maànijou, M. 2014. Evaluation of concentration of some heavy metals in ground water resources of Qahavand Plain-Hamedan. *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences*. 18(6): 339-348. (In Persian)
- Sobhanardakani, S. 2016. Evaluation of the water quality pollution indices for groundwater resources of Ghahavand plain, Hamadan province, western Iran. *Iranian Journal of Toxicology*. 10(3): 35-40.
- Sobhanardakani, S. 2017. Potential health risk assessment of heavy metals via consumption of caviar of Persian sturgeon. *Marine Pollution Bulletin*. 123(1-2): 34-38.
- Sobhan Ardakani, S. 2018. Assessment of Pb and Ni contamination in the topsoil of ring roads' green spaces in the city of Hamadan. *Pollution*. 4(1): 43-51.
- Sobhanardakani, S. 2019. Ecological and human health risk assessment of heavy metal content of atmospheric dry deposition, a case study: Kermanshah, Iran. *Biological Trace Element Research*, 187(2): 602-610.
- Sumiahadi, A. & Acar, R. 2018. A review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 142, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- Taskila, S.; Tuomola, M. & Ojamo, H. 2012. Enrichment cultivation in detection of food-borne Salmonella. *Food Control*. 26(2): 369-377.
- Tian, X.; Zhang, H.; Zhao, Y.; Mehmood, K.; Wu, X.; Chang, Z.; Luo, M.; Liu, X.; Ijaz, M.; Javed, M.T. & Wang, H.; Nie, L.; Xu, Y.; Li, M. & Lv, Y. 2018. Traffic-emitted metal status and uptake by *Carex meyeriana* Kunth and *Thelypteris palustris* var. *pubescens* Fernald growing in roadside turfy swamp in the Changbai Mountain area, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(19): 18498-18509.
- Weis, J.S. & Weis, P. 2004. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environment International*. 30(5): 685-700.
- Wiseman, C.L.; Zereini, F. & Püttmann, W. 2014. Metal translocation patterns in *Solanum melongena* grown in close proximity to traffic. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(2): 1572-1581.
- Wisniewska-Kadzaj, B.; Jankowski, K.; Malinowska, E.; Kolczarek, R.; Sosnowski, J.; Jankowska, J.; Ciepiela, G.A. & Szulc, W. 2015. Copper content in some grasses from the areas adjacent to the E30 highway in Poland. *Fresenius Environmental Bulletin*. 24(2): 498-504.
- Yan, X.; Gao, D.; Zhang, F.; Zeng, C.; Xiang, W. & Zhang, M. 2013. Relationships between heavy metal concentrations in roadside topsoil and distance to road edge based on field observations in the Qinghai-Tibet Plateau, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 10(3): 762-775.
- Yan, G.; Mao, L.; Liu, S.; Mao, Y.; Ye, H.; Huang, T.; Li, F. & Chen, L. 2018. Enrichment and sources of trace metals in roadside soils in Shanghai, China: a case study of two urban/rural roads. *Science of the Total Environment*. 631: 942-950.
- Yoon, J.; Cao, X.; Zhou, Q. & Ma, L.Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*. 368(2-3): 456-464.
- Zhai, Y.; Dai, Q.; Jiang, K.; Zhu, Y.; Xu, B.; Peng, C.; Wang, T. & Zeng, G. 2016. Traffic-related heavy metals uptake by wild plants grow along two main highways in Hunan Province, China: effects of soil

factors, accumulation ability, and biological indication potential. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(13): 13368-13377.

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

Zhou, D. 2018. Transcriptome analysis reveals the molecular mechanism of hepatic metabolism disorder caused by chromium poisoning in chickens. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(16): 15411-15421.