



Journal of Environmental Studies

Vol. 48, No. 1, Spring 2022

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

The Effect of Heavy Metals and Petroleum Hydrocarbons on the Collembolan Fauna in Soil of Some Industrial Regions of Isfahan

Document Type
Research Paper

Shaghayegh Keyghobadi¹, Esmail Mahmoudi¹, Mehran Hoodaji², Alireza Jalalizand^{1*}

Received
November 26, 2021

Accepted
April 21, 2022

1 Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2 Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

DOI: 10.22059/JES.2022.328017.1008209

Abstract

This research was aimed to investigate the effects of heavy metals and petroleum hydrocarbons contaminants in Isfahan Refinery and Mobarake Steel factory soils on diversity of Collembolan Arthropods. The concentration of heavy metals and petroleum hydrocarbons were measured using atomic absorption and Soxhlet methods, respectively. Soil Collembola were collected using burl funnel, and finally, eleven species belonging to 6 families from 2 suborder of collembola were identified. In heavy metals contaminated soils, three species including *Isotomiella minor*, *Ceratophysella stercoraria* and *Hypogastura sp.1*, have the highest percentages of frequency respectively. As well as, the highest frequency of collembola in contaminated soil with petroleum hydrocarbons were related to *Hypogastura sp.*, *Isotomiella minor* and *Ceratophysella stercoraria* species respectively. In this research, the *Folsomia candida* showed highly susceptibility against soil pollutions, was not collected from heavy metals and oil hydrocarbons contaminated soils and can be used as a biomarker. This is the first report of collembolan fauna in soils containing environmental pollutants in Iran.

Keywords: Biomarkers, Environmental pollutions, Oil hydrocarbons, Cadmium

* Corresponding Author:

Email: jalalizand@khuisf.ac.ir

Extended Summary

Introduction

Soil pollution and accumulation of heavy metals such as lead, cadmium, silver and mercury in agricultural products of industrial areas is one of the most important environmental issues that threaten the lives of plants, animals and humans. Harmful effects of these pollutants on living organisms, including disruption of biological activities, adverse effects on plants and humans due to their entry into the food chain have been proven. As well as, oil pollution is one of the most common of pollution in terrestrial and aquatic ecosystems. The development of the petrochemical industry and the non-observance of environmental requirements, have led to the introduction of large amounts of hydrocarbon pollutants into the environment in recent decades.

Biomarkers include biological processes, species, or communities of living organisms that are used to assess the quality of the environment and how the environment changes over time. In recent years, the use of biomarkers to identify environmental pollutants, especially heavy metals and petroleum hydrocarbons, has increased. Collembolan arthropods are one of the most important soil decomposers with high species diversity and density, especially in forest ecosystems. These organisms are widely used organisms as biomarkers due to their short life cycle, high density and high susceptibility to various contaminants in terrestrial ecosystems. This research was aimed to identify the collembola fauna in soils contaminated with heavy metals and petroleum hydrocarbons in two industrial areas of Isfahan and to investigate the impact of these contaminants on the diversity and population abundance of these organisms as a biological indicator of soil contamination.

Materials and Methods

Soil samples were taken from the lands around Isfahan Oil Refinery and the area around Mobarakeh Steel factory, as contaminated areas to petroleum hydrocarbons and heavy metals respectively. Also, a sample of pristine soil (non-contaminated soil) was taken from the test areas as a control. Heavy metals concentration was measured by atomic absorption method and the amount of petroleum hydrocarbons in the samples was measured by Soxhlet method. The terrestrial arthropods were collected using Berlese funnel. To identify the Collembola species, microscopic slides were prepared and identified according to the taxonomic keys.

Discussion of Results

Diversity of Collembola in contaminated soils

The results of chemical analysis of soils showed that there were different degrees of contamination with petroleum hydrocarbons and heavy metals including lead, cadmium and nickel in the sampled areas, and the soil of the control area was free of any contamination. The highest concentration of heavy metal in the studied soils was related to cadmium with 21.92 mg/kg and the lowest concentration of nickel was related to 42.85 mg/kg. Sampling was performed to collect collembolan arthropods throughout the year and a total of 11 species of collembola from 6 families and 2 suborders were collected (table 1).

As shown in Figure 1a, *Istomiella minor*, *Ceratophysella stercoraria*, *Hypogastrura sp.1*, *Entomobrya sp.1* and *Onychiurus sp.2* species are more abundant in heavy metal contaminated area than uncontaminated soil (control). Also, *Folsomia candida* was not found in the soil samples around the steel factory. On the other, the diversity and abundance of Collembola species collected in soils contaminated with petroleum compounds around the oil refinery were similar to soils contaminated with heavy metals (Figure 1-b). In these soils, the highest abundance of collembolan communication is related to *Hypogastura sp.1*, *I. minor* and *C. stercoraria*, respectively. Also, the frequency percentage of *F. candida*, *Pseudosinella sp.2* and *Onychurus sp.1* was zero and no samples of these species were collected, which indicates the high sensitivity of these species to petroleum products and hydrocarbon compounds.

Sampling was performed to isolate terrestrial Collembola in different seasons of the year. The results showed that these arthropods were active only in spring and summer. In both autumn and winter, no samples of Collembola were collected in either of the two areas contaminated with heavy metals and petroleum compounds. The interesting point in this study was that no significant difference was observed between the collembola population of contaminated soils and non-contaminated soils in spring.

However, in summer, the population of non-contaminated soils was much higher than soils contaminated with heavy metals and petroleum compounds and a significant difference ($p \leq 0.05$) was observed between them.

Table 1- Collembola species collected from heavy metals and petroleum hydrocarbons contaminated soils

No.	Suborder	Family	Species	Heavy metals	petroleum hydrocarbons	Non contaminated soil
1	Entomobryomorpha	Isotomidae	<i>Isotoma sp.</i>	+ [†]	+	+
2	Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Hypogastrura sp.1</i>	+	+	+
3	Entomobryomorpha	Entomobyridae	<i>Pseudosinella octopunctata</i>	+	+	+
4	Entomobryomorpha	Entomobyridae	<i>Entomobrya sp.1</i>	+	+	+
5	Entomobryomorpha	Isotomidae	<i>Isotomiella minor</i>	+	+	+
6	Poduromorpha	Onychiuridae	<i>Onychiurus sp.2</i>	+	+	+
7	Poduromorpha	Onychiuridae	<i>Onychiurus sp.1</i>	+	-	+
8	Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Ceratophysella stercoraria</i>	+	+	+
9	Entomobryomorpha	Entomobyridae	<i>Pseudosinella sp.2</i>	+	-	+
10	Poduromorpha	Tullbergidae	<i>Mesaphorura sp.1</i>	+	+	+
11	Entomobryomorpha	Poduridae	<i>Folsomia candida</i>	-*	-	+

†: The species was collected from soil sample

*: The species was not collected from soil sample

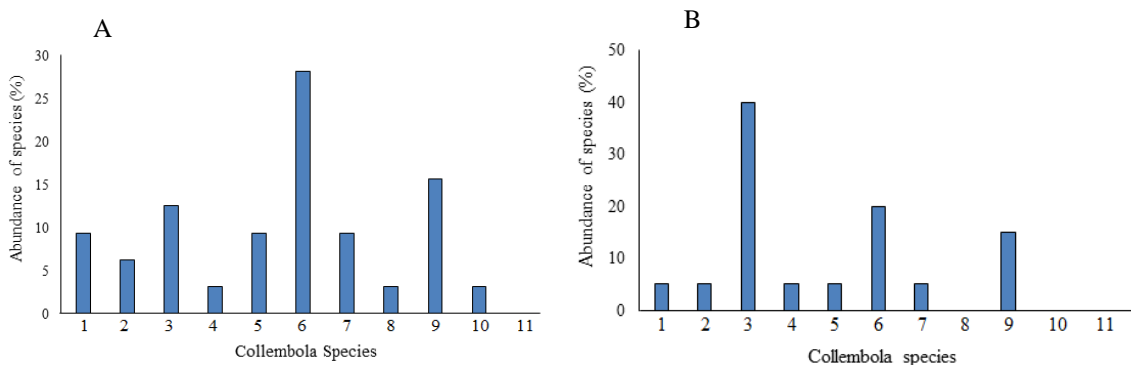


Fig. 1: Abundance percentage of Collembola species collected from heavy metals (A) and petroleum hydrocarbons (B) contaminated soils. 1: *Mesaphorura sp.1*; 2: *Isotoma sp.1*; 3: *Hypogastrura sp.1*; 4: *Pseudosinella octopunctata*; 5: *Entomobrya sp.1*; 6: *Onychiurus sp.1*; 7: *Isotomiella minor*; 8: *Onychiurus sp.2*; 9: *Ceratophysella stercoraria*; 10: *Pseudosinella sp.2*; 11: *Folsomia candida*.

As shown in Figure 2, the frequency of *Hypogastrura sp.1* and *Pseudosinella octopunctata* species in oil-contaminated soils is higher than their frequency in heavy metal-contaminated soils. The frequency of *Hypogastrura sp.1* in oil-contaminated soils (40%) was significantly higher ($p \leq 0.05$) than the frequency of this species in heavy metal-contaminated soils (12.5%) (Fig. 2). Therefore, *Hypogastrura sp.1* is the most resistant species to petroleum products among the species studied in this research. Also, the *I. minor* showed the highest frequency (28.13%) in soils contaminated with heavy metals. Therefore, this species is the most resistant to heavy metals among the studied species.

The main purpose of this study was to compare the Collembola fauna in soils contaminated with heavy metals and petroleum compounds as a biological indicator in the some industrial regions of Isfahan. In this study, a total of 11 species belonging to 6 families from 2 suborders of Collembola were collected. *F. candida* was not isolated from contaminated soils with heavy metals, while this species has acceptable population abundance in pristine and non-polluted soils. These results indicate the high sensitivity of this species to heavy metals. Lead and cadmium have very destructive effects on the reproduction of *F.*

candida and cause a significant reduction in reproduction of this species. According to Sandifer and Hopkin (1996), when the cadmium concentration in the soil reaches to 1.2 µg / kg, the reproduction of *Folsomia* species decreases dramatically. The soils studied in this study were also highly contaminated with cadmium and the concentration of this element in some samples was 21.92 mg / kg, which is several hundred times than the global pollution standard, this is why *F. candida* was not collected from these soils.

Also the species *F. candida*, *Pseudosinella sp.2* and *Onchiusus sp.1* were not collected from soils contaminated with petroleum hydrocarbons. Studies by Fountain and Hopkin (2005) show the very high susceptibility of these species, especially *F. candida*, to chemical contaminants and introduce this species as a reliable biomarker against soil pollutants. In contrast, populations of some species such as *I. minor*, *C. stercoraria* and *Hypogastrura sp.1* was higher in soils contaminated with heavy metals and petroleum compounds than in non-contaminated soils. These results may be due to the fact that some species of Collembola have the ability to detoxify and remove of poisonous chemicals from their bodies with repeated molting.

Conclusions

The genus *Folsomia* is one of the most well-known soil collembolan which whose species, due to non-migratory living and its low dependence on sub-habitats, make them important organisms for determining air and soil quality and tracking pollution. Among the identified species of this genus, *F. candida* has been considered as an ecological criterion and biological indicator of soil. In this study, this species was not isolated in soils contaminated with heavy metals and petroleum compounds and was introduced as the most sensitive species to chemicals. On the other hand, *I. minor* with a population frequency of about 25% in the studied soils was introduced as the most resistant species to chemical compounds.

تأثیر آلودگی‌های فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی بر فون پادمان خاک در برخی مناطق صنعتی اصفهان

شقایق کیقبادی^۱، اسماعیل محمودی^۱، مهران هودجی^۲، علیرضا جلالی زند^{۱*}

۱ گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
۲ گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۵

چکیده

بندپایان رده پادمان به دلیل تراکم بالا در اکوسیستم‌های خشکی‌زی و حساسیت زیاد به آلودگی‌های شیمیایی، از مهمترین شاخص‌های زیستی در بررسی آلودگی‌ها هستند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر آلودگی‌های فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در خاک‌های دو منطقه پالایشگاه اصفهان و کارخانه فولاد مبارکه بر تنوع و فراوانی جمعیت پادمان انجام شد. با استفاده از کیف برلز، بندپایان رده پادمان از خاک جداسازی شدند و در مجموع ۱۱ گونه متعلق به ۶ خانواده از ۲ زیرراسته پادمان شناسایی شدند. در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بیشترین درصد فراوانی مربوط به گونه‌های *Isotomiella minor* و *Ceratophysella stercoraria* و *Hypogastura sp.1* بود و هیچ نمونه‌ای مربوط به گونه *Folsomia candida* جداسازی نشد. در خاک‌های آلوده به مواد نفتی بیشترین درصد فراوانی به ترتیب مربوط به گونه‌های *Hypogastura sp.* و *Isotomiella minor* و *Ceratophysella stercoraria* بود. در این پژوهش گونه *F. candida* در هیچ‌کدام از دو نوع خاک آلوده جمع‌آوری نشد که نشان‌دهنده تأثیرپذیری زیاد این گونه از آلودگی‌های شیمیایی خاک است و می‌توان از آن به‌عنوان یک نشانگر زیستی در پایش خاک‌های آلوده به ترکیبات شیمیایی استفاده نمود. این اولین گزارش از تغییرات فون پادمان در اثر آلودگی‌های زیست محیطی خاکها در ایران می‌باشد.

کلید واژه: نشانگرهای زیستی، آلودگی‌های زیست محیطی، ترکیبات نفتی، کادمیوم

سراغاز

حفاظت از این منبع و اطمینان از پایداری آن بسیار مهم است. پیشرفت صنعت و رهاسازی مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی منجر به افزایش نگرانی در رابطه با تجمع فلزات سنگین در خاک شده است (Wuana and Okieimen, 2011). آلودگی خاک و تجمع فلزات سنگین از جمله سرب، کادمیوم، نقره و جیوه در محصولات کشاورزی مناطق صنعتی یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌نماید

آلودگی یکی از مشکلات عمده محیط زیست است که آب، خاک و هوا را در معرض نابودی قرار داده است. خطر آلودگی خاک کمتر از خطر آلودگی هوا نیست، اما از آنجایی که این آلودگی ملموس نبوده و توسط افراد غیرمتخصص قابل درک نبوده، کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد (Market, 2008). خاک‌های کشاورزی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق تولید غذا روی سلامت عمومی اثر می‌گذارند، بنابراین

هیدروکربن‌ها در محیط افزایش یافته است (Hodson, 2010؛ Zareabyaneh et al., 2011). شاخص زیستی یا بیواندیکاتورها شامل فرایندهای بیولوژیکی، گونه یا اجتماعات موجودات زنده هستند که برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیست و اینکه چگونه محیط‌زیست در طول زمان تغییر می‌کند، استفاده می‌شوند. این موجودات با تغییر در فیزیولوژی و رفتار خود نسبت به وجود تغییرات در محیط‌زیست و وجود آلودگی واکنش نشان می‌دهند. بندپایان به دلیل داشتن اندازه کوچک، طول دوره رشد کوتاه و حساسیت شدید نسبت به تغییرات دمایی و رطوبتی، شاخص زیستی مناسبی برای نشان دادن تغییرات اکوسیستم‌ها می‌باشند (Abdulmaleque et al., 2009).

در میان جانوران، بندپایان رده پادمان جزء مهم‌ترین تجزیه‌کننده‌های خاک هستند که دارای تنوع گونه‌ای و تراکم بالا به‌ویژه در اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشند. فعالیت آن‌ها در خاک سبب تداوم چرخه عناصر، تغییر در نحوه رشد گیاهان و تغییر در جمعیت میکروارگانیسم‌های اطراف ریشه می‌شود (Chahartaghi, 2006؛ Gao and Luan, 2008). بندپایان این رده در خاک‌های آلوده توانایی زیستن دارند و حتی در برخی موارد جمعیت آن‌ها نسبت به خاک‌های فاقد آلودگی، بالاتر است (Yahyapour and Shayanmehr, 2014).

پادمان به دلیل دارا بودن چرخه زندگی کوتاه و تراکم بالا در اکوسیستم‌های خشکی زی، یکی از پرکاربردترین ارگانیسم‌هایی هستند که به‌عنوان شاخص زیستی استفاده می‌شوند. یکی دیگر از دلایل استفاده از پادمان به‌عنوان شاخص‌های زیستی، حساسیت بالای آن‌ها به آلودگی‌های مختلف موجود در خاک می‌باشد (Yahyapour, 2011). تأثیرات زیست‌محیطی طیف وسیعی از آلاینده‌های موجود در خاک را می‌توان با بررسی تنوع و فراوانی جمعیت پادمان مشاهده کرد. پادمان را می‌توان در معرض آلودگی‌های خاک و یا غذا قرار داده و پارامترهای زیستی، تجمع و تأثیرات رفتاری آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. چنین آزمایش‌هایی

(Hoodaji and Jalalian, 2004). اثرات زیان‌بار این آلاینده‌ها بر موجودات زنده از جمله اختلال فعالیت‌های بیولوژیکی، اثرات سوء بر گیاهان و انسان در اثر ورود آنها به زنجیره غذایی ثابت شده است (Bakhshi-Khaniki, 2011).

از طرف دیگر آلودگی‌های نفتی از عمومی‌ترین و شایع‌ترین نوع آلودگی‌ها، در زیست‌بوم‌های خشکی و آبی هستند. توسعه صنعت پتروشیمی از یک سو و عدم رعایت الزامات زیست‌محیطی از سوی دیگر، سبب شده است تا در دهه‌های اخیر مقادیر زیادی از آلاینده‌های هیدروکربنی وارد محیط‌زیست شوند (Besharati, 2014). بخشی از این آلاینده‌ها به‌واسطه میکروارگانیسم‌های موجود در آب، خاک یا تحت تأثیر عوامل فیزیکی و بیولوژیکی تجزیه و حذف می‌شود ولی بخش عمده آن‌ها در محیط‌زیست تجمع پیدا کرده و تهدید جدی برای سلامت انسان و موجودات زنده به حساب می‌آیند (Wilson and Jones, 1993؛ Azizinikoo et al., 2014). پایش آلوده بودن خاک‌ها یکی از راهکارهای مناسب برای اصلاح به‌موقع اراضی آلوده است، که بدین منظور می‌توان از شاخص‌های زیستی استفاده کرد (Raymond and Okieimen, 2011).

تعادل بیولوژیکی خاک تحت تأثیر ترکیبات نفتی قرار می‌گیرد و می‌توان سمیت اکولوژیک این ترکیبات را با ردیابی جمعیت گیاهان، باکتری‌ها و بی‌مهرگان خاک ارزیابی نمود که در این میان، بی‌مهرگان خاکزی بیشترین آسیب را از این آلودگی‌ها می‌بینند. تجمع این ترکیبات سمی در چربی بدن بندپایان و سپس آزاد شدن آنها در خون، باعث آسیب‌زدن به سیستم عصبی و تولید مثلی این بی‌مهرگان می‌شود (Bahrapour and Moghanlo, 2012). از میان بی‌مهرگان خاک، نماتدها، پادمان، عنکبوت‌ها و کرم‌های خاکی به‌عنوان شاخص زیستی آلودگی خاک به ترکیبات شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Rusin et al., 2018).

در سال‌های اخیر استفاده از شاخص‌های زیستی برای شناسایی آلودگی‌های محیطی بویژه فلزات سنگین و

در هر فصل، سه مرتبه نمونه‌برداری انجام شد و میانگین نمونه‌برداری‌های انجام‌شده در آن فصل به‌عنوان نمونه آزمایش در نظر گرفته شدند. نمونه‌های خاک از ۱۲ نقطه به صورت تصادفی و از عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک و به حجم تقریبی یک کیلوگرم برداشته شدند. یک نمونه از خاک با فاصله پنج کیلومتری از هر دو منطقه مورد بررسی، به عنوان خاک غیرآلوده و شاهد برداشته شد. نمونه‌های خاک به‌وسیله بیلچه برداشته و داخل کیسه‌های پلاستیکی زیپ نگهداری شدند و روی کیسه‌ها مشخصات محل و تاریخ نمونه‌برداری ثبت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال و تا زمان آنالیز نهایی در دمای 4°C نگهداری شدند.

برای آماده‌سازی نمونه‌های خاک جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی، ابتدا مقدار مورد نظر از هر نمونه (حدود ۵۰۰ گرم) در ظروف پتری‌دیش ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در آن با دمای 110°C درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. سپس خاک‌ها از الک با چشمه ۲ میلی‌متر عبور کرده و جهت انجام آزمایشات توزین شدند.



شکل ۱. موقعیت مناطق نمونه‌برداری. خاک اطراف پالایشگاه اصفهان به عنوان منطقه آلوده به هیدروکربن‌های نفتی؛ زمینهای اطراف روستای قلعه سفید در نزدیکی کارخانه فولاد مبارکه به عنوان منطقه آلوده به فلزات سنگین.

رنج وسیعی از آلاینده‌های آلی و معدنی را به‌منظور نظارت بر موفقیت اصلاح خاک‌های آلوده به آن‌ها را شامل می‌شود (Son et al., 2006; Fountain and Hopkin, 2005).

مطالعات Karbasian و Jalalizand (۲۰۱۷) نشان می‌دهد که تجمع فلزات سنگین و ترکیبات نفتی در خاک باعث تغییر جمعیت کنه‌های خاکزی نسبت به خاک‌های غیرآلوده شده به نحوی که جمعیت کنه‌های اریباتید مانند *Microppia minus* و *Nothrus biciliatus* در خاک‌های آلوده به نیکل و کادمیوم به شدت کاهش پیدا کرده است. از طرف دیگر گونه *Tyrophagus perniciosus* سازگاری خوبی با آلودگی‌های نفتی خاک پیدا کرده و جمعیت بالایی در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی داشت. Gospodarek و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که آلودگی‌های نفتی و مشتقات آنها مانند روغن موتور و سوخت دیزل در خاک باعث کاهش جمعیت بی‌مهرگان بویژه پادمان می‌شود به طوری که چهار تا پنج سال بعد از آلودگی خاک با این ترکیبات، جمعیت خانواده‌های *Hypogastridae*، *Isotomidae* و *Entomobryidae* به شدت کاهش پیدا می‌کند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی گونه‌های رده پادمان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در دو منطقه صنعتی اصفهان و بررسی تأثیر این آلودگی‌ها بر تنوع و فراوانی جمعیتی این موجودات زنده به عنوان شاخص زیستی آلودگی خاک انجام گرفت.

مواد و روش بررسی نمونه‌برداری خاک آلوده

برای بررسی فون حشرات خاکزی در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی از زمین‌های اطراف پالایشگاه نفت اصفهان ($32^{\circ}47' \text{N}$, $52^{\circ}30' \text{E}$ با ارتفاع ۱۶۸۲ متر از سطح دریا) و منطقه قلعه سفید از توابع شهرستان مبارکه اصفهان ($32^{\circ}22' \text{N}$, $51^{\circ}31' \text{E}$ با ارتفاع ۱۶۷۰ متر از سطح دریا)، به دلیل مجاورت با مجتمع فولاد و آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین، نمونه‌برداری انجام شد (شکل ۱). بدین صورت که

تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک

گلیسرین) نگهداری شدند. برای شناسایی حشرات، ابتدا حشرات بزرگتر اتاله و از حشرات ریز اسلاید میکروسکوپی تهیه و مطابق با کلیدهای تاکسونومیک معتبر (Wise, 1987; Bellinger et al., 2018; Daghighi et al., 2013) شناسایی در حد جنس و گونه انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. مقایسه میانگین فراوانی گونه‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($p \leq 0.05$) و رسم نمودارها با نرم افزار اکسل ۲۰۱۰ انجام شد.

نتایج

تنوع گونه‌های مختلف پادمان در خاک‌های آلوده نتایج آنالیز شیمیایی خاک‌های مورد بررسی نشان داد که در مناطق نمونه‌برداری شده غلظت‌های مختلف از فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل وجود داشت و نمونه خاک شاهد کمترین غلظت فلزات سنگین را داشت که بر اساس استانداردهای آلاینده‌های ایران، خاک غیرآلوده به فلزات سنگین محسوب می‌شود. بیشترین غلظت فلز سنگین در خاک‌های مورد بررسی مربوط به کادمیوم با $21/92$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین غلظت آلودگی مربوط به نیکل با $42/85$ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۱). بر اساس داده‌های جدول ۱، هر سه نمونه خاک مورد بررسی، آلوده به فلز سنگین کادمیوم بودند. همچنین در ۱۲ نمونه خاک جمع‌آوری شده از اطراف پالایشگاه اصفهان، غلظت‌های مختلفی از هیدروکربن‌های نفتی اندازه‌گیری شد که بیشترین و کمترین مقدار این ترکیبات، به ترتیب $8/32$ درصد و $2/32$ درصد بود. نمونه خاک شاهد برای این منطقه، حدود $0/8$ درصد ترکیبات آروماتیک داشت که غیر آلوده می‌باشد. نمونه‌برداری‌ها برای جمع‌آوری بندپایان پادمان در تمام طول سال صورت گرفت و در مجموع ۱۱ گونه پادمان از ۶ خانواده و ۲ زیرراسته جمع‌آوری و شناسایی گردید (جدول ۲).

فراوانی گونه‌های مختلف پادمان جمع‌آوری شده در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و مواد نفتی
همان طور که در شکل ۲- الف نشان داده شده است

برای اندازه‌گیری غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی^۱ (TPHs) و نیز برخی ترکیبات چندحلقه‌ای آروماتیک^۲ (PAHs) در خاک‌های مورد مطالعه، عصاره‌گیری این ترکیبات با دستگاه سوکسله و استفاده از نسبت‌های مساوی حلال‌های آلی دی‌کلرومتان و n-هگزان (روش شماره ۸۱۰۰ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا) انجام شد. به این منظور ۲۰ گرم از خاک‌های مورد نظر در کاغذ تیمبل قرار داده شد و ۱۲۵ میلی‌لیتر از هر حلال به فلاسک دستگاه اضافه شد. با تنظیم دستگاه در دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد (دمای جوش حلال‌ها)، در هر ساعت به طور متوسط ۶ مرتبه عمل سوکسله انجام گرفت. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه سوکسله قرار گرفتند و سپس عصاره داخل فلاسک با استفاده از دستگاه تبخیرکننده، تغلیظ شد. با توزین عصاره بدست آمده نسبت به وزن اولیه خاک‌ها، مقدار کل هیدروکربن‌های نفتی تعیین شد (Christopher et al., 1988). غلظت فلزات سنگین با روش جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. بدین صورت که به یک گرم از نمونه خاک الک شده، میزان ۲۰ میلی‌لیتر از مخلوط اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۳ به ۱ اضافه شد. بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها را به مدت چند ساعت روی حمام آب با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از خنک شدن نمونه‌ها به آن چند سی‌سی آب اکسیژنه برای حذف مواد آلی اضافه نموده و مجدداً نمونه‌ها روی حمام آب قرار گرفت. هضم خاک تا زمان بی‌رنگ شدن نمونه ادامه یافت و پس از خنک شدن، نمونه از کاغذ صافی واتمن عبور داده و غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Perkin Elmer Analytic 3030) و بر اساس استانداردها تعیین شد (Baker and Amacher, 1982).

جداسازی و شناسایی پادمان از خاک

برای جداسازی پادمان از قیف برلز- تولنگر استفاده شد. حشرات جمع‌آوری شده در محلول الکل سفید ۷۰ درصد ترکیب شده با گلیسرین (۹۵ قسمت الکل+ ۵ قسمت

بود. همچنین گونه *F. candida* در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین اطراف کارخانه فولاد یافت نشد. از طرف دیگر تنوع و فراوانی گونه‌های پادمان جمع‌آوری شده در خاک‌های آلوده به ترکیبات نفتی اطراف پالایشگاه شباهت زیادی به خاک‌های آلوده به فلزات سنگین داشت (شکل ۲-ب).

گونه‌های *Ceratophysella* *Istomiella minor* *Entomobrya sp.1* *Hypogastrura sp.1* *stercoraria* *Onychiurus sp.2* در مناطق آلوده به فلزات سنگین بیشتر فراوانی را نسبت به خاک غیر آلوده (شاهد) دارند. در مقابل درصد فراوانی سایر گونه‌ها در منطقه بدون آلودگی بیشتر

جدول ۱. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک مورد مطالعه و مقایسه آن با استاندارد ایران

شماره نمونه	عنصر	غلظت فلزات سنگین در خاک مورد مطالعه (mg/kg)	استاندارد آلاینده‌گی ایران (mg/kg)	وضعیت بر اساس استاندارد آلاینده‌گی ایران
۱	Pb	۵۰/۸	۷۵	غیر آلوده
	Cd	۷/۰۳	۵	آلوده
	Ni	۵۸/۴۵	۱۱۰	غیر آلوده
۲	Pb	۵۰	۷۵	غیر آلوده
	Cd	۲۱/۹۲	۵	بسیار آلوده
	Ni	۵۴/۳۰	۱۱۰	غیر آلوده
۳	Pb	۴۰	۷۵	غیر آلوده
	Cd	۸/۸۳	۵	آلوده
	Ni	۴۲/۸۵	۱۱۰	غیر آلوده
شاهد	Pb	۳۴	۷۵	غیر آلوده
	Cd	۰/۸	۵	غیر آلوده
	Ni	۳۹/۴	۱۱۰	غیر آلوده

زمستان در هیچ‌کدام از دو منطقه آلوده به فلزات سنگین و ترکیبات نفتی هیچ نمونه‌ای از پادمان جداسازی نشد. علاوه بر این، میزان جمعیت این بندپایان در خاک هر دو منطقه در بهار و تابستان اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند و بیشترین تعداد نمونه در فصل بهار جمع‌آوری شده است که برای خاک‌های آلوده به فلزات سنگین ۶۸/۲۹ درصد و برای مناطق آلوده به ترکیبات نفتی فراوانی جمعیت پادمان ۸۰ درصد بود. نکته جالب توجه در این پژوهش این بود که در فصل بهار اختلاف معنی‌داری بین جمعیت پادمان خاک‌های آلوده و خاکی غیر آلوده مشاهده نشد. اما در فصل تابستان جمعیت پادمان خاک‌های غیر آلوده بسیار بیشتر از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و ترکیبات نفتی بود و اختلاف معنی‌داری ($p \leq 0/05$) بین آنها مشاهده شد.

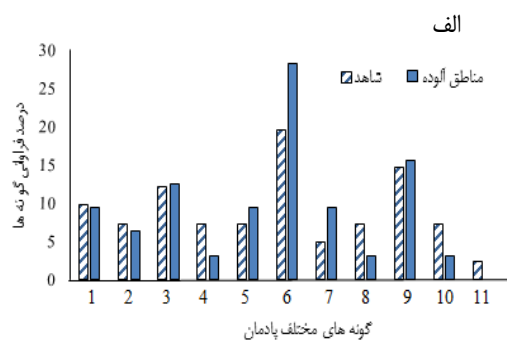
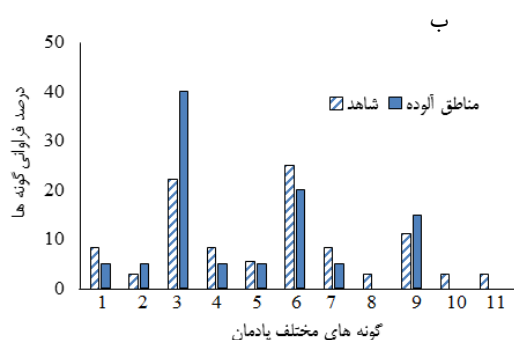
در این خاک‌ها بیشترین درصد فراوانی به ترتیب مربوط به گونه‌های *C. stercoraria* و *I. minor* *Hypogastura sp.1* است. گونه *Hypogastura sp.1* ۴۰ درصد از جمعیت گونه‌های جمع‌آوری شده در منطقه پالایشگاه را به خود اختصاص داده است. همچنین درصد فراوانی مربوط به گونه‌های *Onychurus*، *Pseudosinella sp.2*، *F. candida* و *sp.1* صفر درصد بود و هیچ نمونه‌ای از این گونه‌ها جمع‌آوری و شناسایی نشد که نشان دهنده حساسیت زیاد این گونه‌ها به مواد نفتی و ترکیبات هیدروکربنی است. نمونه برداری جهت جداسازی پادمان خاک در فصول مختلف سال انجام شد. نتایج نشان داد که این بندپایان فقط در بهار و تابستان فعال بوده و در نمونه برداری‌ها از خاک‌های مورد نظر جمع‌آوری شدند. در دو فصل پاییز و

جدول ۲. اسامی گونه‌های مختلف پادمان جمع‌آوری شده از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی

نمونه	زیرراسته	خانواده	گونه	فلزات سنگین	ترکیبات نفتی	خاک غیر آلوده
۱	Entomobryomorpha	Isotomidae	<i>Isotoma sp.1</i>	+	+	+
۲	Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Hypogastrura sp.1</i>	+	+	+
۳	Entomobryomorpha	Entomobyridae	<i>Pseudosinella octopunctata</i>	+	+	+
۴	Entomobryomorpha	Entomobyridae	<i>Entomobrya sp.1</i>	+	+	+
۵	Entomobryomorpha	Isotomidae	<i>Isotomiella minor</i>	+	+	+
۶	Poduromorpha	Onychiuridae	<i>Onychiurus sp.2</i>	+	+	+
۷	Poduromorpha	Onychiuridae	<i>Onychiurus sp.1</i>	+	-	+
۸	Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Ceratophysella stercoraria</i>	+	+	+
۹	Entomobryomorpha	Entomobyridae	<i>Pseudosinella sp.2</i>	+	-	+
۱۰	Poduromorpha	Tullbergidae	<i>Mesaphorura sp. 1</i>	+	+	+
۱۱	Entomobryomorpha	Poduridae	<i>Folsomia candida</i>	*-	-	+

†: نمونه از خاک مورد نظر جداسازی شد

*: نمونه در خاک مورد نظر یافت نشد



شکل ۱. درصد فراوانی گونه‌های مختلف پادمان جمع‌آوری شده در خاک‌های آلوده به الف: فلزات سنگین؛ ب: مواد نفتی.

1: *Mesaphorura sp.1*, 2: *Isotoma sp.1*, 3: *Hypogastrura sp.1*, 4: *Pseudosinella octopunctata*, 5: *Entomobrya sp.1*, 6: *Onychiurus sp.1*, 7: *Isotomiella minor*, 8: *Onychiurus sp.2*, 9: *Ceratophysella stercoraria*, 10: *Pseudosinella sp.2*, 11: *Folsomia candida*.

فلزات سنگین (۱۲٫۵ درصد) بود (شکل ۳). بنابراین گونه *Hypogastrura sp.1* مقاوم‌ترین گونه به مواد نفتی در بین گونه‌های مورد بررسی در این پژوهش می باشد.

درصد فراوانی سایر گونه‌ها در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بیشتر از درصد فراوانی آن‌ها در خاک‌های آلوده به مواد نفتی بود. در بین گونه‌های مختلف پادمان مورد بررسی، گونه *I. minor* بالاترین درصد فراوانی (۲۸/۱۳ درصد) را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را نشان داد (شکل ۳). در نتیجه گونه *I. minor* مقاوم‌ترین گونه نسبت به فلزات سنگین در بین گونه‌های مورد بررسی می باشد. هرچند که این گونه با درصد فراوانی ۲۰ درصد در خاک‌های آلوده به مواد نفتی

مقایسه درصد فراوانی گونه‌های مشترک پادمان بین دو منطقه مبارکه و پالایشگاه اصفهان

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است درصد فراوانی دو گونه *Hypogastrura sp.1* و *Pseudosinella octopunctata* در خاک‌های آلوده به مواد نفتی بیشتر از درصد فراوانی آن‌ها در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین است. این موضوع نشان می دهد که این دو گونه مقاومت بیشتری نسبت به مواد نفتی در مقایسه با فلزات سنگین دارند. درصد فراوانی گونه *Hypogastrura sp.1* در خاک‌های آلوده به مواد نفتی (۴۰ درصد) به طرز معناداری بیشتر از فراوانی این گونه در خاک‌های آلوده به

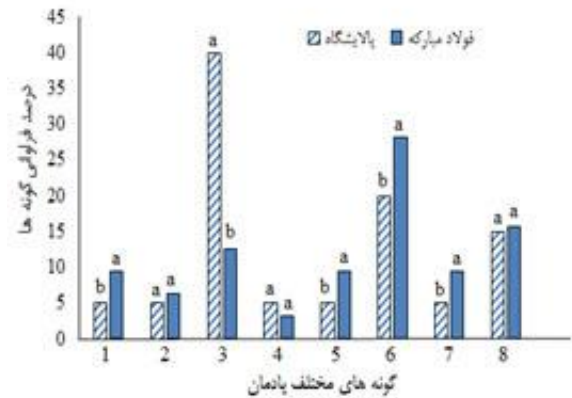
Hypogastura sp.1 بوده است و کمترین درصد فراوانی مربوط به گونه *F. candida* (درصد فراوانی صفر درصد) است که حساسیت زیاد این گونه به فلزات سنگین را نشان می‌دهد.

سرب و کادمیوم اثرات بسیار مخربی را بر روی تولیدمثل گونه *F. candida* ایجاد می‌نمایند و باعث کاهش محسوس تولیدمثل بر روی پادمان و به‌خصوص گونه مذکور می‌شوند. بر اساس تحقیقات Sandifer و Hopkin (۱۹۹۶)، هنگامی که غلظت کادمیوم در خاک به ۱/۲ میکروگرم بر کیلوگرم برسد، تولیدمثل گونه‌های *Folsomia* به‌صورت چشم‌گیری کاهش می‌یابد اما در غلظت ۰/۳ میکروگرم بر کیلوگرم این اثر به‌صورت چشم‌گیری کاهش پیدا می‌کند. همچنین آن‌ها بیان نمودند که تأثیر کادمیوم بر روی نتاج پادمان نسبت به بالغین بیشتر می‌باشد. سرب نیز مانند کادمیوم باعث نابودی نتاج حاصل از پادمان می‌شود و در نتیجه باعث کاهش جمعیت پادمان در داخل خاک می‌گردد. غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم بر گرم سرب در خاک باعث نابودی جمعیت زیادی از نتایج پادمان می‌گردد. در برخی از نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش، غلظت بسیار بالای کادمیوم (۲۱/۹۲ میلیگرم بر کیلوگرم) در برخی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که این نمونه‌های فاقد هرگونه جمعیتی از پادمان بودند.

علیرغم وجود عناصر فوق و دخیل بودن آن‌ها در سمیت خاک، تغییرات pH خاک نیز تأثیر بسیار زیادی در تنوع زیستی پادمان موجود در خاک دارد. به‌نحوی که کاهش اسیدیته خاک‌های آلوده نیز باعث کاهش جمعیت پادمان موجود در خاک می‌شود (Luo et al., 2014).

نتایج فراوانی گونه‌های پادمان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین نشان می‌دهد که گونه‌های *Pseudosinella octopunctata*، *Isotoma sp.1*، *Onchiurus sp.1* و *Isotomiella sp. 2* جمعیت کمتری نسبت به خاک غیرآلوده داشتند و گونه *F. candida* که در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین وجود نداشت. از خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی نیز هیچکدام از گونه‌های

مقاومت قابل توجهی نسبت به مواد نفتی نیز از خود نشان داده است.



شکل ۳. مقایسه درصد فراوانی گونه‌های مشترک پادمان جداشده از خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (کارخانه فولاد مبارکه) و هیدروکربن‌های نفتی (پالایشگاه). حروف غیر مشابه روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ درصد بین تیمارهاست.

1: *Mesaphorura sp.1*, 2: *Isotoma sp.1*, 3: *Hypogastrura sp.1*, 4: *Pseudosinella octopunctata*, 5: *Entomobrya sp.1*, 6: *Isotomiella minor*, 7: *Onychiurus sp.2*, 8: *Ceratophysella stercoraria*.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش مقایسه فون پادمان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و ترکیبات نفتی به‌عنوان شاخص زیستی در بخش‌های صنعتی استان اصفهان بوده است. در این مطالعه در مجموع ۱۱ گونه متعلق به ۶ خانواده از ۲ زیرراسته پادمان جمع‌آوری شد. در میان گونه‌های شناسایی شده پادمان، گونه *F. candida* از گذشته تا به امروز به‌عنوان معیارهای اکولوژیک و شاخص‌های زیستی خاک مورد توجه قرار گرفته است. نوع زندگی ساکن و مقیم بودن در یک محل، غیر مهاجر بودن و وابستگی کم این پادمان به خرده زیستگاه‌ها، آن‌ها را به موجودات شاخص برای تعیین کیفیت هوا و خاک تبدیل کرده است. با توجه به این ویژگی‌ها به نظر می‌رسد جنس *Folsomia* دارای پتانسیل برای به‌کارگیری در بحث کیفیت محیط‌زیست باشند (Buch et al., 2016). در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد بررسی در این پژوهش، بیشترین درصد فراوانی به ترتیب مربوط به گونه‌های *I. minor* و *C. stercoraria* و

موجود در خاک و همچنین سیستیک مواد سمی در بدن پادمان نیز بر میزان حساسیت و مقاومت پادمان نسبت به سموم شیمیایی تأثیرگذار است.

همچنین در فصول مختلف سال نیز درصد فراوانی پادمان جمع‌آوری شده متفاوت بود به طوریکه بیشترین تعداد نمونه جمع‌آوری شده در فصل بهار (۶۸/۲۹ درصد) و پس از آن بیشترین تعداد پادمان در فصل تابستان جمع‌آوری شد (۳۱/۷۱ درصد). بر اساس نتایج Liefting و همکاران (۲۰۱۰) مشخص شد که فاکتورهایی مانند دما و فتوپریود در میزان باروری و افزایش جمعیت بندپایان تأثیر ویژه‌ای دارد. افزایش طول روز و تغییر در ریتم شبانه‌روزی هورمون‌ها باعث بیان برخی ژن‌ها و تغییر در رفتارهای تولیدمثلی می‌شود و به همین دلیل در بهار و تابستان شاهد جمعیت بالاتری از پادمان نسبت به پاییز و زمستان هستیم.

یادداشت‌ها

1. Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs)
2. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

Onchiusus sp. 1 و Pseudosinella sp. 2, F. candida جداسازی نشدند که نشانگر حساسیت بسیار بالای این گونه‌ها نسبت به آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد. مطالعات Fountain و Hopkin (۲۰۰۵) نیز حساسیت بسیار بالای این گونه‌ها بخصوص گونه F. candida نسبت به آلودگی‌های شیمیایی را نشان می‌دهد و این گونه را به عنوان نشانگر زیستی قابل اعتماد در مقابل آلودگی‌های خاک معرفی می‌کند. در مقابل جمعیت برخی گونه‌ها مانند C. J. minor و stercoraria و Hypogastrura sp. 1 در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بیشتر از خاک غیر آلوده بود. نکته جالب اینکه این سه گونه در خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی نیز جمعیت بالاتری نسبت به خاک غیر آلوده داشتند. این نتایج شاید به دلیل آن باشد که برخی از گونه‌های پادمان توانایی سم زدایی مواد سمی را دارند و با پوست‌اندازی‌های مکرر خود می‌توانند مواد سمی را از بدن خود خارج کنند. این عمل را می‌توان نوعی سازگاری و مقاومت قلمداد نمود که بر اثر تکامل و فشار انتخابی محیط رخ داده است. Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۷ بیان نمودند که دینامیک مواد سمی

فهرست منابع

- Abdulmaleque, M., Maeto, K., & Ishii, H. (2009). Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests. *Applied entomology zoology journal*, 44, 1-11.
- Aziznikoo, P., Haddadi, A., Shavandi, M., Soleimani, M., & Tabib, A. (2014). Isolation of bacteria that degrade long-chain alkanes from oil contaminated soil. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal*, 3(12), 99-105.
- Bahrampour, T., & Moghanlo, V. (2012). Evaluation of soil biological activity after soil contaminating by crude oil. *International Journal of Agricultural Research*, 2, 671-679.
- Baker, D. E., & Amacher, M. C. (1982). Nickel, Copper, Zinc and Cadmium. In: Page, A. L., Millers, R. H. and Keeney, D. R., Eds., *Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition, Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, 323-334.
- Bakhshi-Khaniki, G. (2011). *Environmental pollutions*. Payam-e-Noor University Press.
- Bellinger, P. F., Christiansen, K. A., & Janssens, F. (2018). Checklist of the Collembola of the World. Available online: <http://www.collembola.org> (accessed on 25 May 2018)
- Besharati, H. (2014). Microbial Remediation of Petroleum Contaminated Soils and the Role of Rhizosphere in Microorganisms Efficiency. *Iranian Journal of Soil Research*, 28(3), 573-584.
- Buch, A. C., Niemeyer, J., Fernandez-correia, M., & Silva-filho, E. (2016). Ecotoxicity of mercury to folsomia candida and Proisotoma minuta (Collembola: Isotomidae) in tropical soils: Baseline for ecological risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 127, 22-29.

- Chahartaghi, M. (2006). *Trophic niche differentiation, sex ratio and phylogeography of European Collembola* (PhD thesis). Vom Fachbereich Biologie der Technischen Universität Darmstadt.
- Christopher, S., Hein, P., Marsden, J., & Shurleff, A. S. (1988). *Evaluation of methods 3540 (soxhlet) and 3550 (Sonication) for evaluation of appendix IX analyses from solid samples*. S-CUBED, Report for EPA contract 68- 03-33-75, work assignment No.03, Document No. SSS-R-88-9436.
- Daghighi, E., Hajizadeh, J., Hosseini, R., & Moravvej, A. (2013). A checklist of Iranian Collembola with six new records from family Isotomidae (Collembola: Isotomidae). *Entomofauna*, 34(11), 149-156.
- Fountain, M. T., & Hopkin, S. P. (2005). *Folsomia candida* (Collembola): A “Standard” Soil Arthropod. *Annual Review of Entomology*, 50, 201–22.
- Gao, Y., Bu, Y., & Luan, Y. X. (2008). Phylogenetic relationships of basal hexapods reconstructed from nearly complete 18S and 28S rRNA gene sequences. *Zoological Science*, 25, 1139-1145.
- Gospodarek, J., Rusin, M., Barczyk, G., & Nadgorska-Socha, A. (2021). The Effect of Petroleum-Derived Substances and Their Bioremediation on Soil Enzymatic Activity and Soil Invertebrates. *Agronomy*, 11, 80-100
- Hodson, M. E. (2010). Effects of Heavy Metals and Metalloids on Soil Organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 22-29.
- Hoodaji, M., & Jalalian, A. (2004). Distribution of iron, zinc and lead in soil and agricultural products in the area of Mobarakeh Steel Complex. *Journal of Environmental Studies*, 30 (36), 26-36.
- Karbasian, M., & Jalalizand, A. (2017). The mites fauna of the soils contaminated by heavy metals and petroleum hydrocarbons in Isfahan. *Journal of Entomological Research*, 9, 283-303.
- Liefting, M., Weerenbeck, M., Van-Dooremalen, C., & Eilers, J. (2010). Temperature-induced plasticity in egg size and resistance of eggs to temperature stress in a soil arthropod. *Functional Ecology*, 24, 1291–1298.
- Luo, W., Verweij, R. A., & Van-Gestel, C. A. M. (2014). Assessment of the bioavailability and toxicity of lead polluted soils using a combination of chemical approaches and bioassays with the collembolan *Folsomia candida*. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 524–530.
- Market, B. (2008). From biomonitoring to integrated observation of the environment the multi-marrend bioindication concept. *Ecological Chemistry and Engineering*, 15, 315-330.
- Raymond, A. V., & Okieimen, F. (2011). Heavy metal in contaminated soils: a review of source, chemistry risks and best available strategies for remediation. *Isrn Ecology*, 3, 1-20.
- Rusin, M., Gospodarek, J., Nadgorska–Socha, A., Barczyk, G., Boligłowa, E., & Dabioch, M. (2018). Effect of petroleum–derived substances on life history traits of bird cherry–Oat aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) and on the growth and chemical composition of winter wheat. *Environmental Science Pollution Research*, 25, 27000–27012.
- Sandifer, R. D., & Hopkin, S. P. (1996). Effects of pH on the toxicity of cadmium, copper, lead and zinc to *Folsomia candida* Willem, 1902 (Collembola) in a standard laboratory test system. *Chemosphere*, 33, 2475–86.
- Son, J., Ryoo, M., Jung, J., & Cho, K. (2006). Effects of cadmium, mercury and lead on the survival and instantaneous rate of increase of *Paronychiurus kimi* (Lee) (Collembola). *Applied Soil Ecology*, 35, 404-411.
- Wilson, S. E., & Jones, K. E. (1993). Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) : a review. *Environmental pollution*, 81, 229-249.
- Wise, K. A. J. (1987). Collembola (Springtails). *Entomology of Antarctica*, 23, 123-148.
- Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Notices: Ecology*, 1, 1-20.
- Yahyapour, A. (2011). *Phonetic study of Insecta: Collembola in different areas of Sari*. (MSc Thesis). Agricultural Sciences and Natural Resources University of Sari, Iran.

- Yahyapour, E., & Shayanmehr, M. (2014). Introduction several species of Entomobryidae (Collembola) from North of Iran. *Biosystematics and Taxonomic*, 5(15), 15-24.
- Zareabyaneh, H., Bayat Varkeshi, M., Marofi, S., & Ildromi, A. R. (2011). Simulation of Malayer Plain Groundwater Level Based on Weather Data Using Artificial Neural Network. *Physical Geography Research Quarterly*, 43, 17-28.
- Zhang, B., Yang, Y., Zhou, X., Shen, P., Peng, Y., & Li, Y. (2017). A laboratory assessment of the potential effect of Cry1Ab/Cry2Aj-containing Bt maize pollen on *Folsomia candida* by toxicological and biochemical analyses. *Environmental Pollution*, 222, 94-100.