

Ecological Risk of Heavy Metals Pollution and its Relationship with Soil Physicochemical Properties in the Urmia Plain Gardens

Zhaleh Afra¹, Salar Rezapour^{2*}, Elnaz Sabbaghtazeh³, Mohammad Reza Dalalian⁴, Omid Rafeyan⁵

(Received: April 2023 Accepted: September 2023)

Abstract

The contamination of agricultural lands, especially orchard soils with heavy metals, caused by long-term agricultural practices (overuse of fertilizers and pesticides), has become a high-priority topic for soil, food, and human health. This research was conducted with the aim of investigating the pollution and ecological risk of heavy metals in different types of soil in the apple orchards of Urmia Plain. The studied soils were classified in the Inceptisols order and the subgroups: TypicHaploxerepts (TH), Typic Endoaquepts (TE), Typic Calcixerepts (TC), Fluventic Haploxerepts (FH) and Aquic Calcixerepts (AC). The Nemerow Pollution Index (PIN), and Ecological Risk (ER) were calculated. Most heavy metals had the highest concentration in the Ap horizon. The results showed that the concentration of all studied heavy metals are lower than the permissible limit of pollution. The highest average concentration of the Zn and Cu were in the TH soil (73.1 and 21.87 mg kg⁻¹, respectively). The difference of the concentration of Pb was significant only in the FH and there was no significant difference in other soil types. The highest average concentration of the Ni and Cd was observed in the TH soil (30.86 and 1.19 mg kg⁻¹, respectively) and the lowest in the TE soil (25.96 and 0.8 mg kg⁻¹, respectively). The PIN order of the studied heavy metals was as Cd>Zn>Pb>Cu>Ni, showed that the risk of Cd for the soil contamination was higher than other metals. Multivariate analysis showed that the main sources of Mn and Cu are from natural processes, while Cd, Pb and Ni were derived from the both natural and anthropogenic factors.

Keywords: Soil type, Nemerow index, Soil pollution, Heavy metal

Afra J., Rezapour S., Sabbaghtazeh E. Dallalian M and Rafeyian O. 2024. Ecological risk of heavy metals pollution and its relationship with soil physicochemical properties in the Urmia plain gardens. *Applied Soil Research*, 12(2): 96-110.

1- PhD Student, Department of Soil Science, , Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2-Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University ,Urmia, Iran

3-Assistant-Professor, Department of Soil Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University Tabriz, Iran

4- Assistant-Professor, Department of Soil Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University Tabriz, Iran

5- Assistant-Professor, Department of Environmental Science, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

* Corresponding Author Email: s.rezapour@urmia.ac.ir

خطراکولوژیکی آلودگی عناصر سنگین و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغات سیب دشت ارومیه

ژاله افرا^۱، سالار رضاپور^{۲*}، الناز صباغ تازه^۳، محمدرضا دلایان^۴، امید رفیعیان^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶)

چکیده

آلودگی اراضی کشاورزی بویژه باغات به فلزات سنگین، ناشی از عملیات طولانی مدت کشاورزی (استفاده گسترده از کودها و سموم کشاورزی)، به موضوعی با اولویت بالا برای سلامت خاک، غذا و انسان تبدیل شده است. تحقیق حاضر با هدف بررسی آلودگی و خطر فلزات سنگین در باغات سیب دشت ارومیه انجام شد. از نظر رده بندی، خاک های مورد مطالعه در رده اینسپتی سول ها و زیرگروه های (TH) Typic Haploxerepts، (TE) Typic Endoaquepts، (TC) Typic Calcixerepts، (FH) Fluventic Haploxerepts و (AC) Aquic Calcixerepts قرار دارند. شاخص های آلودگی نمر (PIN^۱) و خطراکولوژیکی (ER^۲) محاسبه شد. عمده ی فلزات سنگین در محدوده ی افق Ap بیشترین مقدار را دارا بود. نتایج نشان داد مقادیر غلظت همگی فلزات سنگین مورد مطالعه کم تر حد مجاز آلاینده ی می باشد. بیشترین میانگین غلظت کل فلز روی و مس در خاک TH (به ترتیب ۷۳/۱ و ۲۱/۸۷ میلی گرم بر کیلوگرم) دیده شد. اختلاف غلظت سرب تنها در خاک FH معنی دار بود و در سایر تیپ ها، تفاوت معنی دار دیده نشد. بیشترین میانگین غلظت کل نیکل و کادمیوم در خاک TH (به ترتیب ۳۰/۸۶ و ۱/۱۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن ها در خاک TE (به ترتیب ۲۵/۹۶ و ۰/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. مقدار شاخص نمر و عناصر به صورت Cd>Zn>Pb>Cu>Ni بود که نشان داد خطر کادمیوم برای آلودگی خاک بیشتر از سایر فلزات است. تجزیه و تحلیل چند متغیره نشان داد که منشأ عمده آلودگی فلزات منگنز و مس در درجه اول از فرآیندهای طبیعی (ژئوژنیکی) است، در حالی که فلزات کادمیوم، سرب و نیکل از عوامل طبیعی و انسانی مشتق شده است.

واژه های کلیدی: تیپ خاک، شاخص نمر، آلودگی خاک، فلزات سنگین

افرا ژ، رضاپور س، صباغ تازه ا، دلایان م، رفیعیان ا. ۱۴۰۳. خطراکولوژیکی آلودگی عناصر سنگین و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در باغات سیب دشت ارومیه. جلد ۱۲، شماره ۲. صفحه ۹۶-۱۱۰.

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی علوم خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز ایران
 - ۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه ایران (مکاتبه کننده)
 - ۳- استادیار گروه علوم و مهندسی علوم خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز ایران
 - ۴- استادیار گروه علوم و مهندسی علوم خاک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز ایران
 - ۵- استادیار گروه محیط زیست، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز ایران
- * پست الکترونیک: s.rezapour@urmia.ac.ir

مقدمه

رشد روز افزون جمعیت طی چند دهه اخیر و افزایش نیاز غذایی جوامع بشری منجر به بالا رفتن سطح زیرکشت و افزایش کشت‌های مستمر و استفاده‌ی بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی از قبیل سموم، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و آبیاری با آب‌های با کیفیت نامناسب و ادوات سنگین کشاورزی شده است. چنین رویکردهایی در طولانی مدت بر غلظت، توزیع، رفتار و دامنه‌ی آلاینده‌ی عناصر خاک، تأثیر قابل توجهی دارد (Stafilov *et al.*, 2010). آلودگی محیط زیست به‌وسیله فلزات سنگین به دلیل پایداری این فلزات در محیط زیست و اثرات سمی آن بر موجودات زنده، یک مشکل جهانی است (Chakraborty *et al.*, 2009).

آلودگی فلزات سنگین در خاک ناشی از منابع طبیعی (لیتوژنیک) و انسانی است. منابع انسانی ورود فلزات سنگین به اکوسیستم خاک، شامل صنایع آهن و فولاد، معدن کاوی، حمل و نقل جاده‌ای، تولید سوخت، انتقال انرژی، کشاورزی متراکم، آبیاری با فاضلاب، انباشت لجن، سوزاندن پسماند و بویژه استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی است (Shah *et al.*, 2010). آلودگی فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت زیستی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود به زنجیره غذایی و امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی محسوب شده و در خاک و آب به دلیل ایجاد سمیت، منابع فراوان، طبیعت غیر قابل تجزیه و دارا بودن رفتار تجمعی در محیط، یک مشکل جدی در سراسر جهان به شمار می‌آید (Zhu *et al.*, 2008). از پیامدهای ورود فلزات سنگین به بدن انسان، تحریک ایمنی بدن، تهوع، بی‌اشتهایی، استفراغ، ناهنجاری‌های گوارشی، درماتیت، اختلال در دستگاه عصبی مرکزی و ذهنی، تغییر ترکیب خون، آسیب به ریه‌ها، کلیه‌ها و دیگر اندام‌های مهم بدن، آسیب دستگاه تنفسی و بیماری‌های آلزایمر، پارکینسون و ام اس^۱ گزارش شده است (Oves *et al.*, 2016). امروزه نگرانی‌های زیست محیطی و ملاحظات اقتصادی در کشورهای پیشرفته باعث شده تا در رابطه با مصرف کودهای شیمیایی و موادی که به عنوان

اصلاح‌کننده به خاک افزوده می‌شود، دقت شود. ارزان بودن کودهای شیمیایی و مصرف بی‌رویه آن‌ها در ایران، محیط زیست را در معرض خطر جدی آلودگی به فلزات سنگین قرار گیرد (Malakouti & Homaei, 2004). اندازه‌گیری عناصر سنگین خاک شاخص مهمی برای ارزیابی میزان آلودگی خاک در مناطق صنعتی و کشاورزی است. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی با استفاده از شاخص‌های CF, Igeo و PLI *et al.* (Bhuiyan *et al.*, 2010)، ارزیابی خطر زیست محیطی و خطر سلامت انسان، موثر از فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی (Giri & Singh, 2017) نیز تاکنون انجام شده است. درک جامع از آلودگی فلزات سنگین در خاک برای تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد روش‌های کاهش آلودگی و کاهش خطرات آن‌ها برای انسان ضروری است.

با توجه به اهمیت تولیدات باغی در زندگی مردم استان آذربایجان غربی و احتمال افزایش آلودگی به عناصر سنگین به علت مصرف مداوم کود، سم در دراز مدت به همراه سیستم‌های آبیاری غرقابی و گاه‌آبیاری با فاضلاب (Rezapour *et al.*, 2020)، همچنین اهمیت عناصر سنگین بر کمیت و کیفیت محصولات باغی، تحقیق حاضر در راستای بررسی میزان آلودگی عناصر سنگین روی، مس، منگنز، سرب، نیکل و کادمیوم در تیپ‌های مختلف خاک باغات دشت ارومیه و ارتباط آن با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در منطقه‌ای تحت کاربری باغ سیب به مساحت ۳۵ هزار هکتار واقع در جنوب شهرستان ارومیه با عرض جغرافیایی ۸° ۴۵' تا ۱۲' ۴۵° و طول جغرافیایی ۲۹' ۳۷° تا ۳۱' ۳۷° صورت گرفت (شکل ۱). میانگین سالانه دمای آن ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد، دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً گرم بوده و رژیم رطوبتی خاک‌های منطقه، زریک (Xeric) و رژیم رطوبتی مزیک (Mesic) است. زمین‌شناسی منطقه متعلق به دوران‌هایی از پرکامبرین تا دوران سوم زمین‌شناسی است.

روی (Zn)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni) و کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) به وسیله جذب اتمی (Shimadzu Merck - 6300) اندازه گیری شد (Soon et al., 1993). تجزیه و تحلیل داده های مربوط به ویژگی های فیزیکی شیمیایی و غلظت کل عناصر سنگین با استفاده از نرم افزار SPSS-20 و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. به منظور ارزیابی ارتباط متقابل میان توزیع عناصر مختلف و منشاء آنها، راه کارهای تجزیه به مؤلفه های اصلی، تجزیه به عامل ها و ماتریس ضرایب همبستگی در محیط نرم افزاری SPSS-20 انجام گرفت. تجزیه به مؤلفه های اصلی با استفاده از Factor Analysis به عمل آمد و مقایسه میانگین داده ها توسط آزمون دانکن انجام شد.

شاخص های آلودگی

شاخص آلودگی نمرو (PIN¹) از رابطه ۱ محاسبه شد (Hakanson, 1980).

$$PIN = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI_i\right)^2 + [\max(PI)]^2} \quad (1)$$

که در رابطه ۱: $PI_{Nemerow}$ شاخص آلودگی عنصری نمرو، PI شاخص آلودگی، PI_{max} ماکزیمم شاخص آلودگی فلزات سنگین و n تعداد فلزات می باشد (Rezapour et al., 2020). بر اساس شاخص آلودگی نمرو، کیفیت خاک در پنج سطح طبقه بندی می شود (جدول ۱).

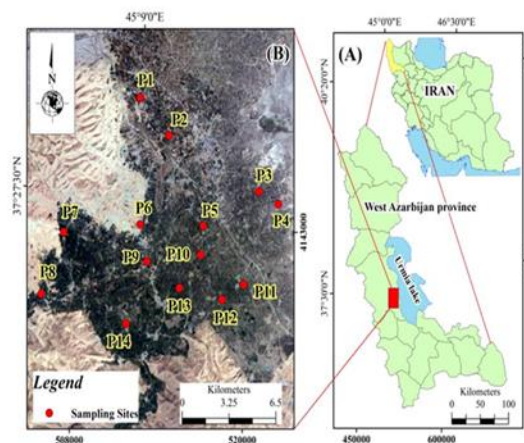
شاخص خطر بوم شناختی (ER^2) با استفاده از روابط ۲ و ۳ محاسبه گردید (Hakanson, 1980).

$$PI_i = \frac{C_i}{C_{ri}} \quad (2)$$

$$ER^i = T_r^i \cdot PI_i \quad (3)$$

در این روابط، E : خطر بوم شناختی برای هر عنصر و PI : شاخص آلودگی هر عنصر و T : شدت آلودگی هر عنصر است که مقدار آن برای روی (Zn) عدد یک، برای سرب (Pb)، مس (Cu) و نیکل (Ni) برابر ۵ و برای کادمیوم (Cd) برابر ۳۰ است. کلاس بندی فاکتور خطر اکولوژیکی عناصر در جدول ۲ ارائه شده است.

مواد مادری غالب در منطقه شامل ترانس های آبرفتی مربوط به دوره زمین شناسی کواترنری می باشد که از شمال منطقه به سمت جنوب کشیده شده است (نادر قائمیان، نشریه فنی شماره ۱۵۳۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه مور مطالعه و پروفیل های حفر شده - آذربایجان غربی - ارومیه

Figure 1. The location of the studied area and the excavated profiles-West Azarbijan-Urmia

عملیات صحرائی و نمونه برداری

تعداد ۱۴ پروفیل از سری های مختلف خاک و لندفرم های این منطقه بر اساس تغییرات در ارتفاع، شیب زمین، شرایط فیزیوگرافی، زهکشی و نوع خاک حفر گردید و سپس تشریح و مورد نمونه برداری قرار گرفت (Soil Survey Staff, 2014). نمونه های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی متری، مورد آزمایش های مختلف فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت و غلظت عناصر سنگین آنها بوسیله روش های استاندارد تعیین شد.

عملیات آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل داده ها

توزیع اندازه ذرات بافت با روش هیدرومتر (Gee and Or, 2002). pH در گل اشباع، EC در عصاره گل اشباع، کربن آلی به روش والکی- بلاک، کربنات کلسیم معادل (CEC) به روش خنثی سازی با اسید، CEC به روش استات سدیم نرمال (Swift & Sparks, 1996)، نسبت سدیم جذبی (SAR) و درصد سدیم تبادلی (ESP) خاک (Swift & Sparks, 1996) تعیین شد. غلظت کل عناصر سنگین

جدول ۱- کلاس آلودگی عناصر بر اساس شاخص آلودگی نمر (Kowalska *et al.*, 2018)

Table ۱. Pollution classification based on Nemerow pollution index

Pollution level	PI _{Nemerow}	Class
Clean	<0.7	1
Warning Limit	0.7-1	2
Slight Pollution	1-2	3
Moderate Pollution	2-3	4
Heavy Pollution	>3	5

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفیت خاک بر اساس شاخص خطر اکولوژیکی عناصر (Kowalska *et al.*, 2018)

Table 2. Classification of soil quality based on the Ecological Risk Index (ER)

Ecological potential risk	ER
Low	<40
Moderate	40-80
Strong	80-160
Very Strong	160-320
Highly Strong	>320

جدول ۳- مشخصات پروفیل‌های حفر شده

Table3. Characteristics of excavated profiles

*علائم S و W به ترتیب نشان دهنده محدودیت خاک و زهکشی است.

* S and W indicate soil limits and drainage, respectively

Soil Type	Soil Classification	Land Subclass	Physiographic position	Elevation (m)	Slope Class	Profile	Soil Series
TH	Typic Haploxerepts	<i>IIIS</i> *	River alluvial plain	1321	Aa	1	Choobtrash
TE	Typic Endoaquepts	<i>IIIW</i> *	Lowlands	1212	Aa	2	Sarajoogh
TC	Typic Calcixerepts	<i>IIS</i>	Piedmont alluvial plain	1370	Ba	3	Goortapeh
TE	Typic Endoaquepts	<i>IIIW</i>	Lowlands	1210	Aa	4	Ordooshahi
TC	Typic Calcixerepts	<i>IIS</i>	Plateau	1331	Cc	5	Dizajtekih
FH	Fluventic Haploxerepts	<i>I</i>	River alluvial plain	1317	Aa	6	Saralan
TH	Typic Haploxerepts	<i>IIS</i>	Piedmont alluvial plain	1380	Bb	7	Didan
FH	Fluventic Haploxerepts	<i>I</i>	Piedmont alluvial plain	1360	Bb	8	Barandooz
TH	Typic Haploxerepts	<i>IIS</i>	Piedmont alluvial plain	1270	Aa	9	Saatloo
TC	Typic Calcixerepts	<i>IIS</i>	Plateau	1310	Cc	10	Balanej
AC	Aquic Calcixerepts	<i>IIISW</i>	River alluvial plain	1315	Cc	11	Babarood
TC	Typic Calcixerepts	<i>IIS</i>	Plateau	1290	Aa	12	Rashakan
TC	Typic Calcixerepts	<i>IIS</i>	River alluvial plain	1267	Aa	13	Dolama
AC	Aquic Calcixerepts	<i>IIIW</i>	Lowlands	1260	Aa	14	Kokia

نتایج و بحث

رده‌بندی و ژئومورفولوژی خاک‌ها

خاک‌های مورد مطالعه براساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2017) در رده‌ی اینسپتی‌سول قرار گرفت. با توجه به تنوع فرآیندهای خاکساز، زیرگروه‌های مختلفی در منطقه وجود داشت. این زیرگروه‌ها عبارت بود از Typic Haploxerepts (TH) (پروفیل‌های ۱، ۷ و ۹)، Typic Endoaquepts (TE) (پروفیل‌های ۲ و ۴)، Typic Calcixerepts (TC) (پروفیل‌های ۳، ۵، ۱۰، ۱۲ و ۱۳)، Fluventic Haploxerepts (FH) (پروفیل‌های ۶ و ۸) و Aquic Calcixerepts (AC) (پروفیل‌های ۱۱ و ۱۴). خاک‌های مورد مطالعه در چهار واحد فیزیوگرافی شامل اراضی پست، دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای، دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای و فلات‌ها و تراس‌های فوقانی واقع شد (جدول ۳).

مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین میانگین وزنی ذرات رس با مقدار ۳۴/۱۲ درصد متعلق به خاک Typic Calcixerepts (TC) و کمترین آن متعلق به خاک Aquic Calcixerepts (AC) بود. در بیشتر پروفیل‌ها، با افزایش عمق خاک، مقدار رس در منطقه فعال یا سولوم خاک افزایش یافت. در واقع فعالیت‌های مستمر کشاورزی مخصوصاً عملیات شخم و سست کردن خاک و به دنبال آن آبیاری غرقابی، منجر به فرسایش سطحی در خاک شده و متعاقباً می‌تواند منجر به خارج شدن رس از بخش سطحی خاک شود (Rezapour, 2014). بیشترین میانگین وزنی ذرات سیلت متعلق به خاک TH و کمترین آن در خاک AC بود. همانند درصد ذرات رس، با افزایش عمق در منطقه‌ی سولوم خاک مقدار سیلت نیز افزایش پیدا کرد. وجود تنوع زیاد در توزیع ذرات شن، سیلت و رس (۴۰- CV=۲۵٪) نشان می‌دهد که انواع فعالیت‌های طبیعی و انسانی در شکل‌گیری و توسعه خاک‌های مورد مطالعه تأثیرگذار بوده است (Rezapour et al., 2020). توزیع اندازه‌ی ذرات رس، سیلت و شن در تیپ‌های مختلف خاک، به ترتیب به صورت $TH > TC > FH > TE > AC$ ، $AC > TH > TC > TE > FH$ و $TE > FH > TC > TH > AC$ بود.

با توجه به نتایج pH و CCE، تقریباً تمام نمونه‌های خاک قلیایی و آهکی بود. بیشترین میانگین وزنی pH متعلق به

خاک AC و کمترین آن مربوط به خاک FH بود. نتایج مقایسه میانگین مقدار pH افق‌های سطحی دارای تغییرات قابل توجهی نبود. اما با این وجود، روند تغییرات آن‌ها به صورت $AC > TH > TE > FH > TC$ بود. این تفاوت در تیپ‌های خاک به علت فعالیت‌های انسانی، وجود افق‌های ناشی از تجمع آهک و املاح و همچنین شرایط احیایی در بعضی از خاک‌هاست. بیشترین میانگین وزنی آهک در خاک TC و کمترین آن در خاک AC بود. در بیشتر پروفیل‌ها مقدار آهک در افق AP نسبت به افق B کمتر بود. دلیل آن احتمالاً فرآیند آبشویی تحت آبیاری غرقابی است و همچنین در افق سطحی با توجه به حضور مقدار ماده‌ی آلی زیاد، فعالیت‌های ریشه و موجودات ذره بینی خاک و تولید فشار نسبتاً بالای گاز CO₂ باعث انتقال آهک از افق سطحی به خاک شده است (Rezapour, 2014; Rezapour et al., 2015). نتایج مقایسه میانگین آهک برای تیپ‌های مختلف خاک به صورت $FH > TC > TH > TE > AC$ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ماری و آهکی است، منشاء آهک در این خاک‌ها، احتمال دارد آب‌های سطحی حاوی کربنات کلسیم، باد و رسوبات تخریبی باشد. بدین صورت که کربنات کلسیم معادل از رسوبات آهکی مناطق مرتفع بالادست توسط رواناب به سمت مناطق آبرفتی دامنه‌ای منتقل شده است. همچنین آب‌های زیرزمینی منطقه سرشار از آهک بوده و این آب‌ها می‌تواند منشاء ورود آهک به قسمت‌های مختلف پروفیل خاک باشد (Rezapour, 2014). خاک‌های مورد مطالعه از نظر ماده‌ی آلی در دامنه‌ی خیلی کم (۰/۴-۰/۶٪) تا فوق‌العاده زیاد (۳/۷-۸٪) قرار داشت (Hazelton & Murphy, 2016). با این وجود میانگین وزنی اکثر پروفیل‌های خاک در محدوده‌ی کم تا متوسط بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین مقدار ماده‌ی آلی در افق‌های سطحی، توالی تیپ‌های خاک برای کربن آلی به صورت $TE > TC > TH > FH = AC$ بود. بیشترین مقدار ماده‌ی آلی در همه‌ی پروفیل‌ها به جز پروفیل ۱۱، در افق‌های سطحی دیده شد. کمیت و کیفیت بقایای گیاهی اضافه شده به خاک، رژیم‌های رطوبتی خاک، خصوصیات خاک (به ویژه نوع و مقدار رس) و فرسایش و تخریب خاک نقش مهمی در تجمع مواد آلی در خاک دارد (Rezapour, 2014).

جدول ۴- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد مطالعه
Table 4. Some physicochemical characteristics of the studied soils

	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	pH	EC	CEC	OM (%)	CCE
Max	90.42	65	55	8.4	3.8	39.1	4.82	45.5
Min	7.5	4.16	5.4	7.4	0.58	4.96	0.21	4.5
Mean	29.57	40.25	28.65	7.65	0.89	20.13	1.13	21.5
SD	13.8	8.9	9.4	0.25	0.45	4.3	0.67	6.1
(%) CV	33.8	25	40.3	0.03	74.3	28.5	42	28.6

که مشاهده می شود اختلاف غلظت مس تنها در خاک TE معنی دار بود و در سایر خاک ها، معنی دار نبود. مقدار این عنصر با توجه به منابع مختلف (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی گرم)، بسیار کمتر از حد مجاز بود (Kabata-Pendias, 2010; Standards of Soil Resources Pollution). توزیع پروفیلی مس یکنواخت نبوده و مقدار مس در بیشتر پروفیل ها در افق سطحی کمتر از افق زیرین بود. در اکثر پروفیل ها، تغییرات مس با تغییرات مواد آلی همراه است. مس وابستگی شدیدی به مواد آلی دارد و با آن ها ترکیب تشکیل می دهد. مقایسه میانگین غلظت مس در افق های سطحی تیپ های مختلف خاک به صورت $TE > TH > AC > FH$ بود.

مقادیر غلظت منگنز (Mn) در دامنه قابل قبول (۲ تا ۱۰۰۰ میلی گرم در کیلوگرم) قرار داشت (Kabata-Pendias, 2010). بیشترین و کمترین میانگین غلظت منگنز به ترتیب در خاک های FH و TC مشاهده شد. اختلاف بین خاک های AC و FH معنی دار نبود (شکل ۲- c). توالی مشاهده شده برای تیپ های مختلف خاک به صورت $TE > TH > AC > FH > TC$ بود. آذری کومار و رضاپور (Azari Komar & Rezapour, 2021) با مطالعه ی توزیع سطحی و پروفیلی منگنز در تیپ های مختلف خاک و واحدهای چشم انداز نشان دادند که با تغییر فیزیوگرافی و به دنبال آن تغییر فرآیندهای خاک سازی و تیپ خاک، مقدار شکل های منگنز شامل شکل کل و شکل قابل جذب به طور معنی داری تغییر پیدا کرده است (Azari Komar & Rezapour 2021).

منگنز از توزیع پروفیلی یکنواختی برخوردار نبود، اما به طور کلی در بیشتر پروفیل ها مقدار منگنز در افق B بیشتر از افق AP تجمع یافته است. روند ذکر شده ممکن است به علت شستشوی منگنز از افق های سطحی به افق های زیرسطحی به دلیل آبیاری و یا زراعت طولانی مدت باشد. به دلیل این که منگنز عنصری است که در حالت آبیاری غرقابی و ایجاد شرایط احیا در خاک به شکل احیا و

خاک های مورد مطالعه از لحاظ CEC، طبق طبقه بندی هازلتن و مورفی در محدوده متوسط قرار گرفت (Hazleton & Murphy, 2016). این دامنه متوسط یک خصوصیت عمومی برای خاک های اینسپتی سول است (Rezapour & Moazzeni, 2016). نتایج مقایسه میانگین مقدار CEC در افق های سطحی به صورت $TE > AC > TH > FH > TC$ بود. با توجه به این که افق های سطحی این خاک ها دارای مقدار رس قابل توجهی بوده و همچنین دارای بیشترین مقدار ماده آلی بود، بنابراین در در بیشتر پروفیل ها مقدار CEC افق های سطحی بیشتر از افق های زیرین بود. (Rezapour, 2014; Rezapour et al., 2015).

بررسی غلظت عناصر سنگین در تیپ های مختلف خاک
مقایسه میانگین وزنی غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در تیپ های مختلف خاک مورد مطالعه در شکل ۲ آورده شده است. بیشترین میانگین غلظت فلز روی (Zn) در خاک TH و کمترین آن در خاک TE بود (شکل ۲- a). با توجه به حد مجاز روی کل براساس منابع مختلف (۳۰۰ تا ۳۶۰ میلی گرم بر کیلوگرم)، مقدار روی در خاک مورد مطالعه کمتر از حد مجاز بود (Standards of Soil Resources Pollution; Kabata-Pendias, 2010; مقدار روی، به دلیل تجمع بقایای گیاهی در افق های سطحی، با افزایش عمق کاهش یافت (Rezapour & Samadi, 2011). زیرا روی می تواند با مواد آلی ترکیبات محلول تشکیل دهد (Kossoff et al., 2012). همچنین فعالیت های انسانی نظیر مصرف کودهای دامی، مواد شیمیایی، از دلایل دیگر تجمع روی در افق های سطحی می باشد (Han & Singer, 2007). در این پژوهش ترتیب توالی تغییرات روی در تیپ های مختلف خاک به صورت $TE > TC > AC > FH > TH$ بود.

بیشترین میانگین غلظت فلز مس (Cu) در خاک TH (۲۱/۸۷ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در خاک TC (۱۵/۶۸ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۲- b). همان طور

Kabata-Pendias,) ۳ تا ۵ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (2010). در حال حاضر نگرانی از لحاظ آلودگی کادمیوم در خاکها وجود ندارد، اما با توجه به اینکه کادمیوم جزء سمی ترین و خطرناک ترین عناصر بوده و دارای نیمه عمر بالا و خاصیت تجمعی در گیاهان و سایر موجودات زنده دارد (Brady & Weil, 2016; Rezapour *et al.*, 2019). بنابراین در درازمدت بایستی مراقبت های میدانی و دوره ای انجام شود. مقدار کادمیوم در پروفیل های مختلف خاک، در افق های سطحی کمتر از افق های زیرسطحی بود. در بین عناصر سنگین موجود در خاک های خشک و نیمه خشک، کادمیوم نسبت به بقیه از درجه تحرک بالاتری برخوردار بوده و می تواند با کربنات ها و کلریدها ترکیبات محلولی تشکیل دهد و در داخل خاک نقل و انتقال پیدا کند (Samadi, 2011; Rezapour *et al.*, 2015). کادمیوم با تشکیل ترکیب های مختلف با یون های $CdOH^+$ ، $CdCl_2^0$ ، $CdCl^+$ ، $CdSO_4^0$ ، $CdHCO_3^+$ که به راحتی جذب ریشه گیاهان می شود، می تواند به زنجیره غذایی منتقل شده و خطرات جدی برای انسان ایجاد کند (Kabata-Pendias, 2010). با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه، انواع کودهای شیمیایی به ویژه کودهای نیتروژنه و فسفات که در ترکیب آن ها مقدار قابل توجهی کادمیوم وجود دارد، در حجم بالایی مصرف می شود (Kabata-Pendias, 2010)، احتمال افزایش میزان کادمیوم در خاک، در آینده وجود دارد (Rezapour *et al.*, 2015). از دیگر عوامل دخیل در افزایش غلظت کادمیوم و سایر عناصر سنگین در خاک های این منطقه می توان به آبیاری توسط رودخانه های حومه شهر ارومیه یعنی باراندوزچای و شهرچای اشاره کرد، که این رودخانه ها در معرض انواع آلاینده ها و فاضلاب ها بوده و حاوی مقادیر بالایی از عناصر سنگین می باشد (Moazzeni & Rezapour, 2016). البته با توجه به این که خاک های این مطالعه تحت کاربری باغ سیب است، هر ساله حجم بسیار بالایی از سموم شیمیایی برای مبارزه با آفات و بیماری های محصول راهبردی این باغ ها مانند کرم سیب مصرف می شود که این عوامل نیز می تواند در افزایش عناصر سنگین این خاک ها بسیار سهیم باشد (Smith, 2009; Rezapour *et al.*, 2012; Lu *et al.*, 2011).

بررسی منشاء احتمالی عناصر سنگین

متحرک درآمده و به افق های زیرسطحی انتقال پیدا می کند (Kabata-Pendias, 2010). بیشترین میانگین غلظت سرب (Pb) با مقدار ۳۰/۴۸ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک FH و کمترین آن با مقدار ۲۵/۴ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک AC مشاهده شد (شکل ۲-d). با توجه به حد مجاز سرب (۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم) مقادیر این عنصر در خاک های مورد مطالعه کمتر از حد مجاز بود (Standards of Soil Resources Pollution). ترتیب توالی میانگین سرب در افق های سطحی تیپ های مختلف خاک به صورت $TE > AC > TH > FH > TC$ بود. در همه پروفیل ها مقدار سرب در افق Ap بیشتر از افق های زیرین بود که این روند هم چندان دور از انتظار نیست. زیرا سرب در خاک های آهکی و مناطق خشک و نیمه خشک (مانند منطقه مورد مطالعه) جزو کم تحرک ترین عناصر بوده و خاصیت کمپلکس کنندگی سرب توسط مواد آلی نیز می تواند از دیگر دلایل تجمع سرب در خاک سطحی باشد (Kabata-Pendias, 2010; Rezapour *et al.*, 2011). بیشترین میانگین غلظت نیکل (Ni) با مقدار ۳۰/۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک TH و کمترین آن با مقدار ۲۵/۹۶ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک TE مشاهده شد. در بین تیپ های مختلف خاک، اختلاف بین خاک های TH و FH معنی دار نبود (شکل ۲-e). با توجه به حداکثر مقدار مجاز نیکل (۱۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مقدار نیکل در خاک های مورد مطالعه کمتر از حد مجاز بود (Kabata-Pendias, 2010). تغییرات نیکل کل در همه ی پروفیل ها با افزایش عمق روند کاهشی منظمی را نشان داد، که بیانگر این است که هوازدگی، فرآیندهای خاک سازی و تغییر خصوصیات خاک نقش مهمی در توزیع عمقی نیکل خاک داشته است. مقایسه روند تغییرات نیکل و روی نشان می دهد که این عناصر منشاء مشترکی دارند. همچنین بین نیکل و روی همبستگی مثبت و معنی دار ($r=0.761$)، مشاهده شد، که نشان می دهد بخشی از تغییرات مقدار نیکل به موازات تغییرات روی اتفاق افتاده است (جدول ۵). بیشترین میانگین غلظت کادمیوم در خاک تیپ TH و کمترین آن در خاک تیپ TE (به ترتیب ۱/۱۹ و ۰/۸ میلی گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۲-f). در همه پروفیل های خاک، مقدار کادمیوم اندازه گیری شده کمتر از حد مجاز

بین روی و ظرفیت تبادل کاتیونی ($r=0/324$ ، $p<0/05$) نشان می‌دهد که بخشی از روی کل به شکل تبادلی در سطح رس‌ها تحت تأثیر فرآیندهای پدوژنیکی قرار گرفته است. از طرفی همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عناصر مس- منگنز ($r=0/571$ ، $p<0/01$) می‌توان نتیجه گرفت که مس و منگنز دارای منشأ یکسانی است (Moazzeni, Rezapour & 2016). پژوهش‌های گذشته نشان داده است که مقدار منگنز با افزایش مقدار ماده‌ی آلی و همچنین مقدار رس همبستگی دارد. (Sarma *et al.*, 2011) بیان کردند که عناصر روی، مس، آهن و منگنز همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد سیلت، رس و کربن و همبستگی منفی و معنی‌داری با pH و مقدار کربنات کلسیم معادل خاک دارد.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

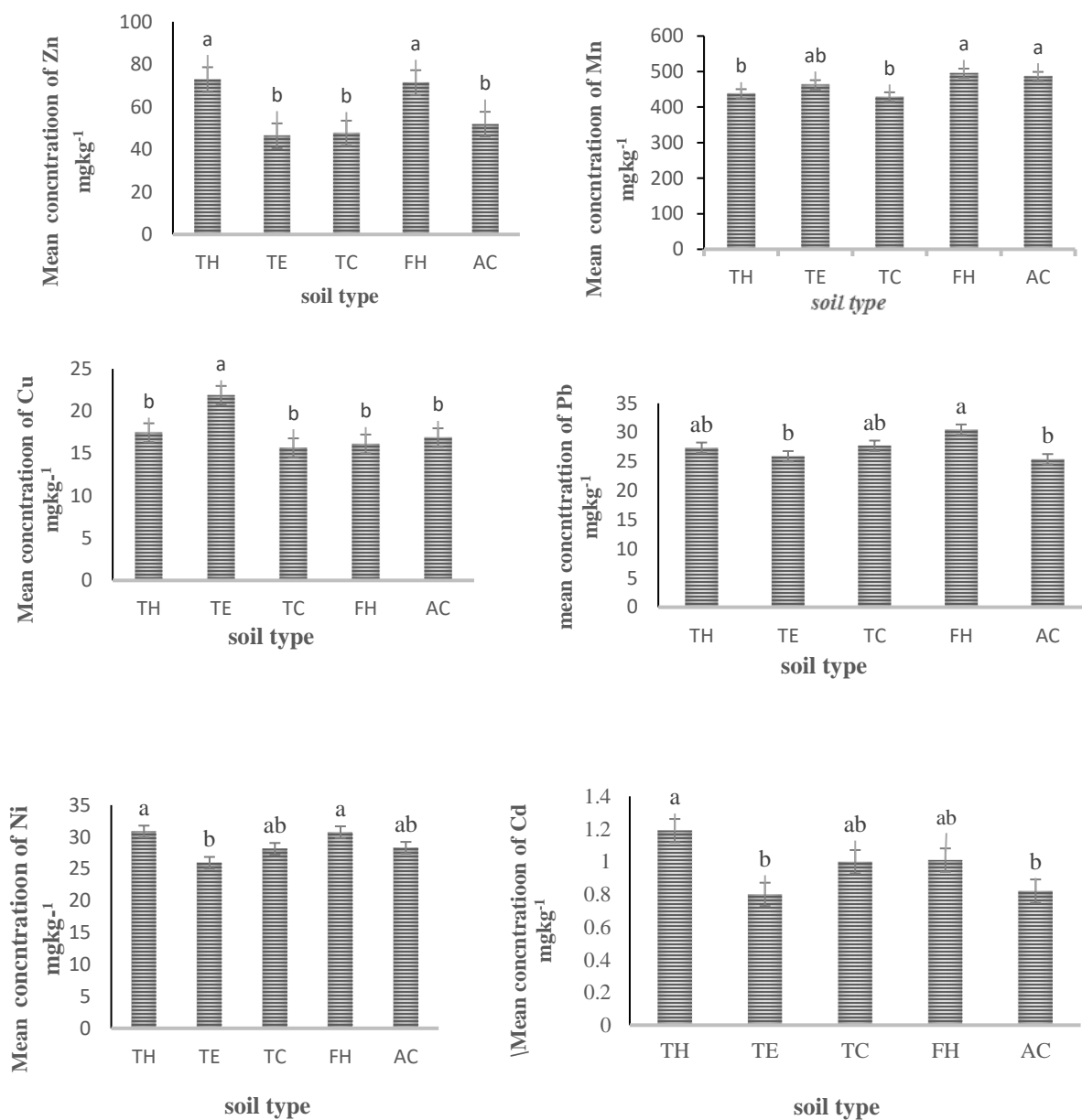
به منظور ارزیابی بیشتر فلزات عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه و شناسایی منبع آن از روش PCA نیز استفاده شد. نتایج نشان داد منشأ اکثر مقادیر فلزات منگنز و مس که در PC دوم قرار گرفته است، ژئوژنیکی مانند هوازدگی و تخریب سنگ مادر حاوی این عناصر است. اما منشأ بیشتر مقادیر فلزات سرب، نیکل، روی و کادمیوم که در PC اول قرار گرفته است، عمدتاً انسان‌زا (ناشی از فعالیت‌های انسان) مانند مصرف کودهای شیمیایی، سموم و آفات و بیماری‌ها، آبیاری با پساب‌ها و ریزش‌های جوی می‌باشد (جدول ۶). در مطالعات مختلف، نتایج مشابه بدست آمده است (Kabata-Pendias, 2010; Rezapour *et al.*, 2019).

عناصر سنگین خاک ممکن است منشأ متفاوتی داشته باشد، اما به طور کلی منشأ عناصر سنگین می‌تواند ناشی از فعالیت‌های طبیعی مانند هوازدگی سنگ مادر و مواد مادری و یا نتیجه‌ی فعالیت‌های انسانی باشد. برای تفکیک این منشأها روش‌های مختلفی وجود دارد که بین آن‌ها دو روش استفاده از ماتریکس همبستگی بین عناصر با خصوصیات خاک و همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌تواند راهنمای خوبی برای تخمین منشأ عناصر سنگین باشد که در مطالعات متعددی این دو روش برای ارزیابی منشأ عناصر سنگین مورد استفاده قرار گرفته است (Sun Wang 2010; Ungureanu *et al.*, 2017 and Khosravi & *et al.*, 2018).

ماتریس همبستگی پیرسون

ماتریس همبستگی بین فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های اصلی خاک در جدول ۵ ارائه شده است. طبق این جدول، ماده‌ی آلی خاک با غلظت تمام فلزات سنگین مورد مطالعه رابطه معنی‌دار و مثبت نشان داد. این همبستگی تمایلی که عناصر سنگین برای تشکیل کمپلکس‌های آلی دارد، را نشان دهد (Kossoff *et al.*, 2012). در بین فلزات سنگین، تنها سرب با درصد رس رابطه معنی‌دار نشان داد ($r=0/306$). اکثر فلزات سنگین مورد مطالعه همبستگی مثبت و معنی‌دار با ظرفیت تبادل کاتیونی نشان دادند. از فلزات سنگین مورد مطالعه، نیکل، مس و کادمیوم همبستگی معنی‌دار با کربنات کلسیم نشان داد. نتایج نسبتاً مشابهی توسط میکو و همکاران (Mico *et al.*, 2006) گزارش شده است. بین درصد کربنات کلسیم و کادمیوم، همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت، که نشان از تشکیل ترکیبات کم محلول کادمیم و کربنات کلسیم است (Kabata-Pendias, 2010). از همبستگی معنی‌دار مثبت و قوی بین کادمیوم- نیکل ($r=0/673$)، روی- نیکل ($r=0/761$) و سرب- نیکل ($r=0/608$) می‌توان نتیجه گرفت که این عناصر دارای منشأ مشترکی می‌باشد. مس و منگنز عمدتاً منشأ ژئوژنیک داشته و توسط مواد مادری کنترل می‌شود.

همبستگی بالا بین عناصر سنگین می‌تواند نشان‌دهنده‌ی سطح آلودگی و منبع آلودگی مشابه، وابستگی متقابل و یا رفتار یکسان در طول حمل آن‌ها باشد (Sun *et al.*, 2010; Rastmanesh *et al.*, 2015). همبستگی مثبت و معنی‌دار



شکل ۲- میانگین وزنی غلظت عناصر سنگین در تیپ‌های مختلف خاک مورد مطالعه (روی، منگنز، مس، سرب، نیکل، کادمیوم)

میانگین‌های دارای حرف لاتین مشترک، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2. The average concentration of heavy metals in different types of studied soils (Zn, Mn, Cu, Pb, Ni, Cd)
Means followed by the same superscript letters are not significantly different at $P < 0.05$

جدول ۵- ماتریس همبستگی بین فلزات سنگین و برخی خصوصیات خاک

Table 5. Correlation matrix between heavy metals and some soil properties

	Clay	PH	EC	CCE	O.M	CEC	Ni	Zn	Cu	Mn	Cd	Pb
Clay	1											
PH	0.153	1										
EC	-0.231	0.252*	1									
CCE	0.22	-0.470**	0.029	1								
O.M	0.297	-0.141	-0.224	0.331**	1							
CEC	0.633**	0.168	0.259*	0.187	0.413**	1						
Ni	0.153	0.050	-0.147	0.253*	0.449**	0.387*	1					
Zn	0.030	0.139	-0.037	0.200	0.506**	0.324*	0.761**	1				
Cu	0.010	0.367**	0.038	-0.292	0.353*	0.550**	0.271*	0.431**	1			
Mn	-0.176	0.111	-0.043	0.102	0.332**	0.254*	0.533**	0.457**	0.571**	1		
Cd	0.082	0.058	0.115	0.332**	0.379**	0.324**	0.673**	0.549	0.095	0.391**	1	
Pb	0.306*	-0.145	0.113	0.092	0.551**	0.651**	0.608**	0.371**	0.261	0.177	0.401**	1

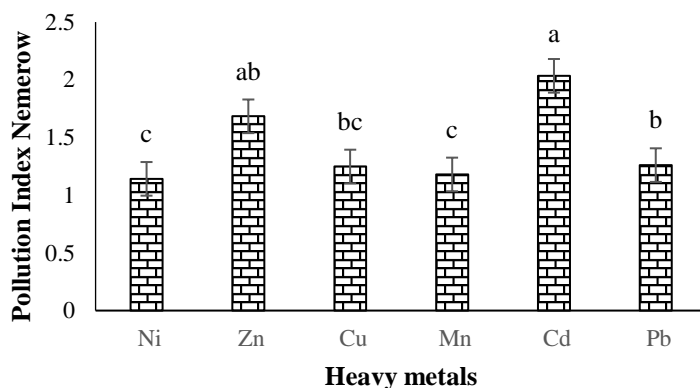
** and * Significant at 1% and 5% probability level

جدول ۶- نتایج PCA عناصر سنگین در افق‌های سطحی خاک

Table 6. PCA results of heavy metals in surface horizons

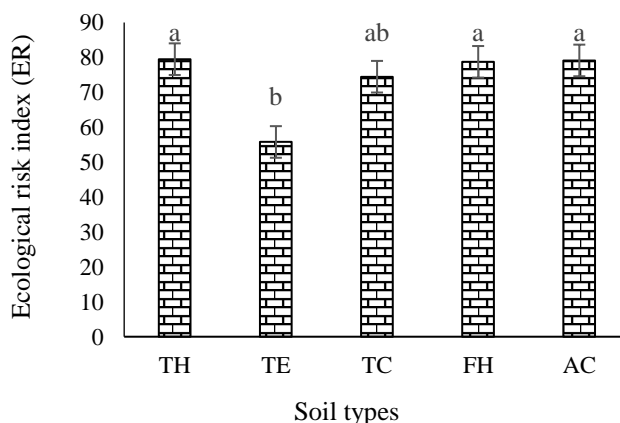
Variable	PC1	PC2
Eigen value	3.12	1.17
Of Variance	52.0	19.6
Cumulative%	52.0	71.6
Mn-Total	0.334	0.88
Cu-Total	0.031	0.918
Zn-Total	0.814	0.196
Cd-Total	0.831	0.06
Pb-Total	0.638	.089
Ni-Total	0.886	0.296

شاخص آلودگی نمر (PIN) با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین شاخص جامع آلودگی نمرو همهی نمونه‌ها از حداقل ۱/۱۴ تا حداکثر ۲/۰۳ متغیر بود که بیانگر کلاس آلودگی کم (۱ تا ۲) تا متوسط (۲ تا ۳) می‌باشد (شکل ۳). مقدار میانگین این شاخص ۱/۴۲ بود که نشان می‌دهد این شاخص در کل منطقه مطالعه شده دارای کلاس کم است. از نظر سطح آلودگی فلزات مورد مطالعه، شاخص نمرو برای نیکل ۱/۱۴، برای روی ۱/۶۸، برای مس ۱/۲۵، برای منگنز ۱/۱۸، برای کادمیوم ۲/۰۳ و برای سرب ۱/۲۶ بدست آمد (به صورت توالی $Cd > Zn > Pb > Cu > Ni$). شاخص نمروی کادمیوم به طور معنی‌داری بیشتر از سایر فلزات بود. در کل نتایج نشان داد که عنصر کادمیوم نسبت به سایر عناصر نقش بسیار پررنگ‌تری در تغییر مقدار این کمیت در همهی نمونه‌های مورد مطالعه داشت (Rezapour et al., 2017).



شکل ۳- نتایج شاخص آلودگی نمرو برای عناصر سنگین در خاک‌های مورد مطالعه
Figure 3. Nemerow pollution index results for the heavy metals in the studied soils

ارزیابی خطر اکولوژیکی (ER) نتایج مقایسه میانگین شاخص ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین مورد مطالعه در تیپ‌های مختلف خاک (شکل ۴) نشان داد که به استثنای تیپ خاک TE، سایر تیپ‌ها از لحاظ آماری تفاوتی از این لحاظ نداشتند. در کل همهی تیپ‌های خاک دارای کلاس ریسک اکولوژیکی متوسط بوده و روند تغییرات ریسک اکولوژیکی در آن‌ها به صورت $TH > AC > FH > TC > TE$ بود. پروفیل‌های مختلف خاک‌های مطالعه شده از نظر ریسک اکولوژیکی در دو کلاس متوسط قرار داشت (Kowalska et al., 2018).



شکل ۴- میانگین شاخص ریسک اکولوژیکی عناصر سنگین در تیپ‌های مختلف خاک مورد مطالعه
Figure 4. The mean of ER index in soil types studied

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه آلودگی برخی از فلزات سنگین نظیر سرب، مس، روی، منگنز، نیکل و کادمیوم در باغات دشت ارومیه بررسی شد. نتایج نشان داد مقادیر غلظت همگی فلزات سنگین مورد مطالعه، کم تا متوسط حد مجاز آلاینده‌گی است. عمده‌ی فلزات سنگین در محدوده‌ی افق Ap بیشترین مقدار را دارا بود که از دلایل عمده آن می‌توان به فعالیت‌های کشاورزی و مصرف زیاد نهاده‌ها از جمله کود و سم و تجمع بیشتر مواد آلی در این محدوده اشاره نمود. با در نظر گرفتن شاخص‌های ER و PIN، خاک‌های مورد مطالعه در معرض آلودگی کم تا متوسط فلزات سنگین قرار داشت و در بین فلزات مطالعه شده، خطر کادمیوم برای آلودگی خاک بیشتر از سایر فلزات بود. همچنین این عنصر بیش از سایر عناصر نقش و تأثیرپذیری بر روی کلاس‌های شاخص‌های آلودگی ترکیبی عناصر مانند شاخص نمر و ریسک اکولوژیکی به جای گذاشته بود.

بیشترین میانگین غلظت فلز روی و مس متعلق به خاک TH (به ترتیب ۳۰/۸۶ و ۲۱/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. توزیع پروفیلی مس یکنواخت نبوده و مقدار مس در بیشتر پروفیل‌ها در افق سطحی کمتر از افق زیرین بود. مقدار منگنز در افق B بیشتر از

افق Ap تجمع یافته بود. اختلاف غلظت سرب فقط در خاک FH معنی‌دار بود و در سایر تیپ‌ها، تفاوت معنی‌دار دیده نشد. بیشترین میانگین وزنی نیکل و کادمیوم در خاک TH (به ترتیب ۳۰/۸۶ و ۱/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن‌ها در خاک TE (به ترتیب ۲۵/۹۶ و ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. با وجود مصرف گسترده نهاده‌های شیمیایی و آبیاری با آب‌های بی کیفیت یا کم کیفیت در این منطقه، غلظت کلیه عناصر سنگین اندازه‌گیری شده کمتر از حد مجاز استاندارد بود و اغلب شاخص‌ها نیز دارای خطر کم تا متوسط برای انسان بود. با توجه به نتایج به دست آمده منشأ عمده عناصر روی، نیکل و کادمیوم از فعالیت‌های انسانی و منشأ عمده عناصر مس و منگنز ژئوژنیکی بود. با توجه به اهمیت کشاورزی در معیشت مردم منطقه و ورود هر ساله فلزات سنگین از طریق آب‌های آلوده و نهاده‌های کشاورزی، سازمان جهاد کشاورزی بایستی نظارت بیشتری بر زمان و مقدار مصرف سموم، قارچ‌کش‌ها و کودهای شیمیایی داشته و پایش‌های دوره‌ای کیفیت آب‌های مورد استفاده و آلودگی فلزات سنگین در خاک انجام شود.

References

- Bhuiyan M.A., Parvez L., Islam M.A., Dampare S.B., and Suzuki S. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3): 384-392.
- Chakraborty A.K., Coleman K.S., and Dhanak V.R. 2009. The electronic fine structure of 4-nitrophenyl functionalized single-walled carbon nanotubes. *Nanotechnology*, 20(15): 155704.
- Døelsch E., Van de Kerchove V., and Saint Macary, H. 2006. Heavy metal content in soils of Réunion (Indian Ocean). *Geoderma*, 134(1-2): 119-134.
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization/World Health Organization). 2017. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Foods. Codex Alimentarius Commission. <http://www.fao.org/fao-who-codex-alimntari-us/sh>
- Gee G.W., and Or D. 2002. 2.4 Particle - size analysis. *Methods of soil analysis: Part 4 physical methods*, 5, 255-293.
- Giri S., and Singh A.K. 2017. Ecological and human health risk assessment agricultural soils based on heavy metals in mining areas of Singhbhum copper belt, India. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(5):1008-27.
- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*, 14(8): 975-1001.
- Han F.X., and Singer A. 2007. Biogeochemistry of Trace Elements in Arid Environments. 1st ED. Springer Dordrecht, 368 p.
- Hazelton P.A., and Murphy B.W. 2016. Interpretation of soil test results (what do all the numbers mean?). CSIRO publishing 150 Oxford Street.
- Kabata-Pendias, A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press
- Khosravi Y., Zamani A.A., Parizanganeh A.H., Yaftian M.R. 2018. Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. *Geoderma Regional*, 12: 10-17.

- Kossoff D., Hudson-Edwards K. A., Dubbin W. E. 2012. Major and trace metal mobility during weathering of mine tailings: Implications for floodplain soils. *Applied Geochemistry*, 27(3): 562-576.
- Kowalska J.B., Mazurek R., Gąsiorek M., and Zaleski T. 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination—A review. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(6): 2395-2420.
- Lu Z., Zhang Q., and Streets D.G. 2011. Sulfur dioxide and primary carbonaceous aerosol emissions in China and India, 1996–2010. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(18): 9839-9864.
- Malakouti M.J., and Homae, M. 2004. Soil Fertility of arid and semi-arid regions. Tarbiat Modarres University.
- Micó C., Recatalá L., Peris M., and Sánchez J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65(5): 863- 872.
- Oves M., Saghri Khan M., Huda Qari A., Nadeen Felemban M., and Almeelbi, T. 2016. Heavy Metals: Biological Importance and Detoxification Strategies, *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 7(2): 1000334
- Rezapour S., Samadi A. 2011. Soil quality response to long-term wastewater irrigation in Inceptisols from a semi-arid environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 91: 269-280.
- Rezapour S., Samadi A., Khodaverdiloo H. 2011. An investigation of the soil property changes and heavy metal accumulation in relation to long-term wastewater irrigation in the semi-arid region of Iran. *Soil and Sediment Contamination*, 20 (7): 841-856.
- Rezapour S. 2014. Response of some soil attributes to different land use types in calcareous soils with Mediterranean type climate in north-west of Iran. *Environmental earth sciences*, 71(5): 2199-2210.
- Rezapour S., Kouhinezhad P., Samadi A., and Rezapour M. 2015. Level, pattern, and risk assessment of the selected soil trace metals in the calcareous-cultivated Vertisols. *Chemistry and Ecology*, 31(8): 692-706.
- Rezapour S., Moazzeni H. 2016. Assessment of the selected trace metals in relation to long-term agricultural practices and landscape properties. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 13: 2939-2950.
- Rezapour S., Kalashypour E., Asadzadeh F. 2017. Assessment of the quality of salt-affected soils after irrigation and cultivation in semi-arid condition. *International Journal of Environmental Research*, 11: 301-313.
- Rezapour, S., Samadi, A. and Kafei, F. 2019. Effects of landfill leachate on the pollution degree of heavy metals in the calcareous soils of Miandoab region. *Applied Soil Research*, 7(3): 110-121.
- Rezapour S., Kouhinezhad P., and Samadi, A. 2020. Trace metals toxicity in relation to long-term intensive agricultural production in a calcareous environment with different soil types. *Natural Hazards*, 100(2): 551- 570.
- Sarma H., Deka S., Deka H., Saikia R.R. 2011. Accumulation of Heavy Metals in Selected Medicinal Plants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Pp: 63-86
- Shah M.T., Begum S., and Khan S. 2010. Pedo and biogeochemical studies of mafic and ultramafic rocks in the Mingora and Kabal areas, Swat, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 60(5):1091-1102.
- Smith S.R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment international*, 35(1): 142-156.
- Soil Survey Division Staff. 2017. Soil survey manual. Agriculture handbook No. 18.
- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.
- Soon W.H., Baliunas S.L., and Zhang Q. 1993. An interpretation of cycle periods of stellar chromospheric activity. *The Astrophysical Journal*, 414: L33-L36.
- Stafilov T., Šajin R., Pančevski Z., Boev B., Frontasyeva M.V., and Strelkova L.P. 2010. Heavy metal contamination of topsoils around a lead and zinc smelter in the Republic of Macedonia. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3): 896-914.
- Standards of Soil Resources Pollution and Guidelines. Water and Soil Office, Vice President of Human Environment, Department of Environment - Islamic Republic of Iran, Pp:161 (In Persian)
- Sun X., and Wang X. 2010. Acetylcholinesterase biosensor based on prussian blue-modified electrode for detecting organophosphorous pesticides. *Biosensors and Bioelectronics*, 25(12): 2611-2614.

- Swift R.S., and Sparks D.L. 1996. Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America Book Series, 5: 1018-1020.
- Ungureanu T., Lancu G.O., Pintilei M., Chicos M.M. 2017. Spatial distribution and geochemistry of heavy metals in soils: A case study from the NE area of Vaslui county, Romania. *Journal of Geochemical Exploration*, 176: 20-32.
- Zhu Y.G., Williams P.N., and Meharg A.A. 2008. Exposure to inorganic arsenic from rice: a global health issue? *Environmental pollution*, 154(2): 169-171.