



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
E-ISSN: 2423-8007
Document Type: Research Paper
Vol. 36, Issue 1, No. 78, Spring 2020, pp. 21-38
Received: 26.10.2019 Accepted: 31.12.2019

Assessing the heavy metal contamination in sediments of Mighan playa using pollution indices

Feridon Ghadimi*

Associate Professor, Department of Mining, Faculty of Earth Science Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran
ghadimi@arakut.ac.ir

Abstract

Mighan playa in the central part of Arak watershed receives heavy elements from urban, industrial and agricultural activities. In order to evaluate the pollutants of Mighan playa, 29 sediment and soil samples were collected from playa and heavy metal concentrations were determined and compared with local and upper crust reference. The concentration of heavy metals in most samples is lower than their concentration in the crust reference. Individual contamination index, such as contamination factor, determined the degree of contamination in all samples medium for Cu and Cr and low grade for other elements. However, indices such as ecological risk, enrichment factor, and geo-accumulation index were low for all samples. Moreover, integrated indices such as sum of degree of pollution, ecological risk potential and Nemerow index for sum of elements indicate low degree of contamination. Municipal wastewater, industrial and agricultural wastewater are the most important source of heavy metals in the Mighan playa. Therefore, efforts should be taken to reduce heavy elements from pollutants, especially municipal sewage in the vicinity of the Mighan playa.

Keywords: Heavy Metals, Sediment Pollution, Pollution Indices, Mighan Playa, Arak

Introduction

The role of human activities in the production of heavy metals can be traced to industrial activities, agricultural effluents, mining activities, urban and rural wastewater, industrial and domestic solid waste. Long-term use of heavy metals (such as Hg, Cd, As, and Pb) in an ecosystem will increase the heavy metals in organisms and cause morbidity and mortality. Arak Plain in the center of the Mighan playa is at the center of major urban, agricultural and industrial activities. Industrial, agricultural, municipal wastewaters and leachate, landfill and atmospheric depletion in Arak were the most important heavy metal production potentials that may reach the Mighan playa. In this study, the role of heavy metals will be determined by examining the concentration of heavy metals in soil and sediments in and around Mighan playa with local and international reference. On the other hand, pollution were evaluated using different indices of pollution and the degree of contamination and the source of heavy metals were determined.

Material & Methods

Arak basin with an area of 5500 km² was a closed area of which 62% of its mountains, 36% of plain and 2% of Mighan playa. The playa in the center of the basin consists of two parts of island and lake. Twenty-nine samples were collected from soil and sediment from different land uses at a depth of

10 cm and measured heavy metals such as As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Cd using ICP-MS at Zarazma Lab. in Tehran.

Discussion of Results & Conclusion

Investigation of 29 soil and sediment samples from Mighan playa showed that the mean concentrations of As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Cd were 4.03, 53, 23, 34, 13, 50 and 0.21 mg / kg, respectively. The heavy metal values were compared with the local (As=5.90, Cr=73, Cu=23, Ni=45, Pb=13, Zn=66, Cd=0.25 mg/kg) and upper crust reference values (As=4.80, Cr=92, Cu=28, Ni=47, Pb=17, Zn=67, Cd=0.09 mg / kg). The study showed that 17.5% of the samples have arsenic above local reference and 35% above upper crust reference. 28% of Cr is above the local reference and 3.5% above the upper crust reference. The values for Cu are 43% and 21%, for Ni, 24% and 17%, for Pb, 59% and 14%, for Zn, 24% and 24%, and for Cd, 62% and 72%, respectively. Therefore, the role of human activities is significant in increasing metals in the sediments of Mighan playa. Cd and Pb are two heavy metals that accounted for the largest proportion of human influences in the Mighan playa. Most of the soils around Mighan playa are rich in elements such as As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Cd. Arak's municipal wastewater treatment is also rich in Pb and Zn.

In all samples, the total contamination index is less than seven and falls within the low contamination level. In other

*Corresponding author

Copyright©2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

words, soils and sediment of different land uses are not contaminated with heavy metals such as As, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Cd. Ecological risk potential index was also low in all samples with less than 150. The Nemerow index fall within the safety domain in all samples (except for rangelands). The Nemerow index is within the precaution domain in the rangelands. Contamination indices in soil and sediment samples of different land use indicate no contamination of As, Cr, Ni and Zn (low pollution grade). Cu and especially Pb vary from low to medium pollution degree in most samples.

Therefore, comparing the concentrations of heavy metals

with local reference and upper crustal reference showed that the Mighan playa was affected by pollutants such as municipal wastewater, industrial effluent and agricultural activities. The contamination indices indicate heavy metal have low contamination and safety domain in soil and sediments of Mighan playa. If it is not controlled heavy metal pollution in wastewaters, the degree of contamination tend to intermediate to advanced degree in future. Therefore, birds and aquatic animals will be exposed to heavy metals. Since the most important source of heavy metals is urban wastewater, therefore, measures should be taken to reduce heavy metals from municipal wastewater.

ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخص‌های آلودگی

فریدون قدیمی*، دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اراک، ایران

ghadimi@arakut.ac.ir

چکیده

تالاب میقان در بخش مرکزی حوزه آبخیز اراک، عناصر سنگین ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی را دریافت می‌کند. در راستای ارزیابی آلاینده‌های تالاب میقان، ۲۹ نمونه رسوب و خاک از تالاب برداشت، غلظت عناصر سنگین تعیین و با مرجع محلی و مرجع پوستانه بالایی مقایسه شد. میانگین غلظت آرسنیک ۴/۰۳، سرب ۱۳، روی ۵۰، کروم ۵۳، مس ۳۳، نیکل ۳۴ و کادمیوم ۰/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و در بیشتر نمونه‌ها کمتر از مرجع بود. ضریب آلودگی و درجه آلودگی در تمام نمونه‌ها برای مس و کروم متوسط و برای سایر عناصر کم بود؛ همچنین شاخص‌هایی مانند ضریب ریسک اکولوژیک، ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین‌انباشت برای تمام نمونه‌ها درجه کم را نشان دادند. شاخص‌های مرکب نظیر مجموع درجه آلودگی، پتانسیل ریسک اکولوژیک و شاخص نمو برای مجموع عناصر گویای درجه کم آلودگی بود. فاضلاب شهری، پساب صنایع و کشاورزی مهم‌ترین منشأ ورود فلزات سنگین به تالاب میقان محسوب می‌شوند؛ بنابراین، بایستی اقدامات لازم برای کاهش عناصر سنگین در منابع آلاینده به‌ویژه فاضلاب شهری در هم‌جوار با تالاب میقان انجام شوند. **واژه‌های کلیدی:** فلزات سنگین، آلودگی رسوبات، شاخص‌های آلودگی، تالاب میقان، اراک

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۶۱۲۱۶۶

مقدمه

نقش فعالیت‌های انسانی در تولید عناصر سنگین را می‌توان در فعالیت‌های صنعتی، پساب‌های کشاورزی، فعالیت‌های معدن‌کاری، فاضلاب‌های شهری و روستایی، زیاله‌های جامد صنعتی و خانگی دنبال کرد (Pyri 2010). مجموعه‌ای از عناصر سنگین نظیر آرسنیک، جیوه، نیکل، کادمیوم، کروم، روی، مس و سرب از صنایع شیمیایی، کارخانه‌های تولید اسید (سولفوریک‌اسید، نیتریک‌اسید و فسفریک‌اسید)، سرامیک‌ها، صنایع تولید قطعه‌های الکتریکی، صنایع فولاد، صنایع تولیدکننده آفت‌کش‌ها، تولیدکننده‌های باتری، صنایع چاپ و گرافیک، رنگدانه و رنگ، صنایع ذوب فلزی غیرآهنی و دفع زیاله (سوزاندن) وارد پساب می‌شوند (Siegel 2002)؛ آبیاری با پساب‌ها نیز عواقب مشابهی دارد و سبب انتقال فلزات سنگین به خاک و رواناب می‌شود. آفت‌کش‌ها فلزات سنگین نظیر آرسنیک و جیوه را وارد خاک می‌کنند (Kabata-Pendias 2007)؛ آرسنیک و جیوه از طریق خاک به سفره‌های آب زیرزمینی غیرمحصور یا از طریق رواناب به رودخانه‌ها و سپس تالاب‌ها راه می‌یابند (Boussen et al. 2013; Razdar et al. 2010). لجن فاضلاب، کود و رسوب لایروبی شده از بنادر و رودخانه‌ها مقادیر زیادی فلزات سنگین نظیر آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سلنیم، مولیبدن و کبالت دارند. آرسنیک، کادمیوم، مس، جیوه و سرب از جمله عناصر سنگین در فعالیت‌های معدن‌کاری‌اند و فرآوری مواد معدنی سبب ورود بسیاری از عناصر سنگین به جویبارها و رودخانه‌ها و سپس تالاب‌ها می‌شود (Lacerda 1995).

استفاده طولانی‌مدت از فلزات سنگین نظیر جیوه، کادمیوم، آرسنیک و سرب در اکوسیستم موجب افزایش فلزات سنگین درون موجودات و بیماری و مرگ‌ومیر می‌شود؛ برعکس، کمبود برخی عناصر نظیر سلنیم، روی و مس در رژیم غذایی موجودات سبب بیماری و مرگ می‌شود. کنترل ورود عناصر سنگین به تالاب‌ها و خروج آنها تابع فرایندهای زمین‌شناسی و عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی است

(Ghomi and Ghadimi 2013). شیمی سیستم طبیعی تحت تأثیر فلزات سنگینی قرار دارد که از فعالیت‌های بشر ناشی می‌شوند؛ از این رو، پیش از طراحی پروژه‌های صنعتی (نظیر صنایع شیمیایی، معدنی و تولید برق) باید اقدامات اساسی برای کنترل عناصر سنگین انجام شوند.

دشت حوزه اراک که تالاب میقان در مرکز آن واقع شده است، قطب فعالیت‌های بزرگ شهری، کشاورزی و صنعتی است. سه شهر بزرگ اراک، آشتیان و فرمهین، کشاورزی دیم و شهرک‌های صنعتی بزرگی مانند شهرک صنعتی اراک، ایبک‌آباد و خیرآباد در بالادست تالاب میقان واقع شده‌اند (Ghadimi 2014). شهرک‌های صنعتی یادشده مرکز فعالیت‌های شیمیایی، مکانیکی، فرآوری مواد معدنی و صنایع غذایی‌اند؛ از سوی، بزرگ‌ترین تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اراک در ۱ کیلومتری تالاب واقع شده است که ۲۰۰ لیتر در ثانیه در فصل خشک و ۸۰۰ لیتر در ثانیه در فصل مرطوب آب فاضلاب تصفیه‌شده را وارد تالاب میقان می‌کند (Ghadimi 2013)؛ همچنین دفن زیاله شهر اراک در ۵ کیلومتری بالادست تالاب میقان واقع شده است. پساب صنایع، پساب کشاورزی، فاضلاب شهری و شیرابه محل دفن و ریزش‌های اتمسفری شهر اراک مهم‌ترین پتانسیل‌های تولید فلزات سنگین به شمار می‌آیند که ممکن است به تالاب میقان راه یابند (Ghadimi 2015).

در پژوهش حاضر با بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک و رسوبات تالاب میقان و اطراف آن با مرجع محلی و بین‌المللی، نقش هر فلز و مجموعه فلزات در آلودگی مشخص شد؛ از سوی با استفاده از شاخص‌های مختلف آلاینده‌گی، درجه و شدت آلودگی هر فلز و مجموعه فلزات و همچنین منشأ منابع آلاینده تعیین شد.

پیشینه پژوهش

در زمینه منشأ فلزات سنگین در تالاب‌ها، ریورا و همکاران (Rivera et al. 2019) پژوهش‌هایی را در تالاب RAMSAR

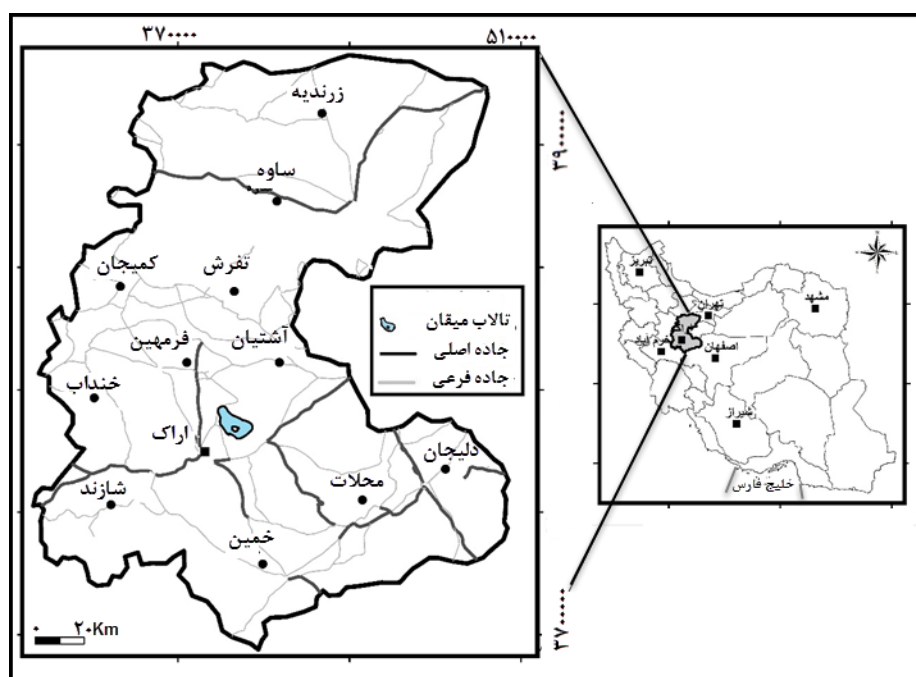
Hossini et al. 2013; Ansarian 2015; Saberi-Nasab 2015; Mortazavi and Saberi-Nasan 2016; Saberi-Nasab and Mortazavi 2018; Safari Sinegan et al. 2018)

منطقه مطالعه شده

حوزه اراک با مساحت ۵۵۰۰ کیلومتر مربع، حوزه بسته‌ای است که ۶۲ درصد از مساحت آن را ارتفاعات، ۳۶ درصد را دشت و ۲ درصد را تالاب میقان تشکیل داده است (شکل ۱). بلندترین نقطه حوزه با ارتفاع ۳۱۷۰ متر در جنوب و پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۱۶۵۰ متر در تالاب میقان واقع شده است. درجه حرارت و بارندگی متوسط سالانه حوزه اراک به ترتیب ۱۴ درجه سانتی‌گراد و ۳۵۰ میلی‌متر است. تالاب از دو بخش جزیره در مرکز و دریاچه در اطراف جزیره تشکیل شده است. عمق متوسط آب دریاچه نیم متر است. آبرفت تالاب میقان با ضخامتی بالغ بر ۳۰۰ متر روی سنگ‌های آهکی کرتاسه واقع شده است و دو گسل بزرگ تلخاب در شمال و گسل تبرته در جنوب تالاب، گودی بزرگ تالاب را از ارتفاعات جدا می‌کنند (Ghadimi and Ghomi 2013).

شیلی و کامزتی و همکاران (Kamzati et al. 2019) پژوهش‌هایی را در تالابی در آفریقای جنوبی انجام داده‌اند؛ همچنین پژوهش‌های بسیاری در زمینه ارزیابی فلزات سنگین و نقش پساب صنایع و فاضلاب‌های شهری و پساب کشاورزی در آلودگی تالاب‌های مختلف ایران به‌ویژه تالاب گمیشان گرگان (Fazeli and Malaki-Alagha 2000)، تالاب بین‌المللی شادگان خوزستان (Charkhabi et al. 2005)، تالاب بین‌المللی گاوخونی (Vahid-Dastjerdi et al. 2006)، تالاب میانکاله (Hassanzadeh-Hosseinabadi et al. 2009)، هامون (Pyri 2010)، تالاب انزلی (Karimi et al. 2011; Khazaei et al. 2011; Vasali-Naseh et al. 2011; Babaee et al. 2013; Baghari et al. 2013; Panahandeh et al. 2014; Khodakhah and Pishgar 2015; Mehdi-pour et al. 2015; Rahat-Talab et al. 2015)، تالاب گاوخونی (Aghasi et al. 2015)، تالاب کجی خراسان جنوبی (Sayadi and Razaee 2015)، تالاب‌های بین‌المللی آلاگل، آماگلواچی گلدر استان گلستان (Nafar et al. 2015) و تالاب انزلی (Panahandeh and Morovati 2019; ALabdeh et al. 2018) انجام شده است.

پژوهش‌های مختلفی در زمینه ارزیابی شاخص‌های آلاینده‌گی، پهنه‌بندی و تعیین منشأ فلزات سنگین (نیکل، روی، مس و سرب) رسوبات تالاب میقان انجام شده‌اند (Haji-



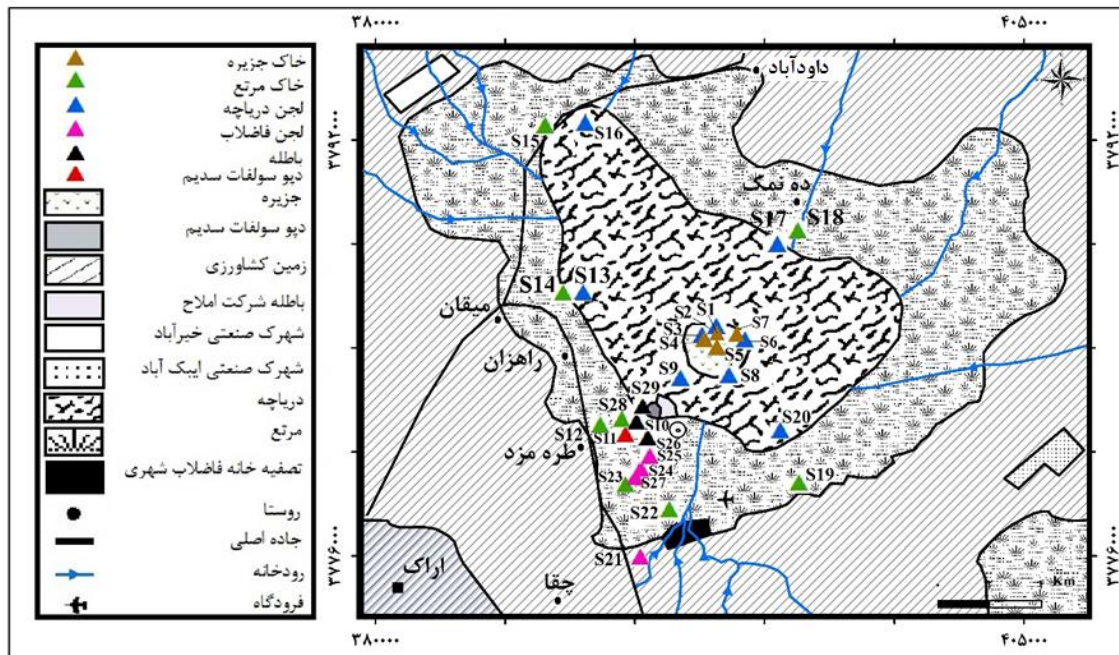
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی تالاب میقان اراک در ایران و استان مرکزی

(S20) و فاضلاب (S27, S21, S24, S25) بود و از دیگر کاربری‌ها عبارتند از: باطله شرکت املاح (S10, S26, S29) و دپوی ماده معدنی شرکت املاح (S11). تعداد ۳۳ نمونه از عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک و رسوب با بیلچه برداشت و به منظور تجزیه و تحلیل عناصر سنگین نظیر آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم با دستگاه ICP-MS به آزمایشگاه زرازا ارسال شد. گفتنی است از ۳۳ نمونه خاک و رسوب، ۳ نمونه تکراری برای کنترل داده‌های آزمایشگاه و ۱ نمونه مرجع محلی از عمق یک متری خاکی در منطقه داوودآباد در غرب تالاب میقان برداشت شد. داده‌های ۲۹ نمونه برای بررسی‌های آماری و شاخص‌های آلودگی تحلیل شدند.

روش کار و شیوه انجام مطالعه

نمونه‌برداری

به منظور تعیین نقش کاربری‌های رسوب و خاک در آلودگی تالاب میقان، کاربری‌های مختلف تعیین و نمونه‌برداری انجام شد (شکل ۲). کاربری‌های مختلف با توجه به منشأ طبیعی و منشأ انسانی شامل اراضی کشاورزی، اراضی مرتعی، جزیره میقان، دریاچه میقان، شهرک‌های صنعتی، تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، محل باطله شرکت املاح و محل دپوی ماده معدنی سولفات سدیم در محل کارخانه شرکت املاح بودند. خاک منطقه دارای دو کاربری جزیره (S1, S4, S5, S7) و مرتع (S12, S14, S15, S18, S19, S22, S23, S28) و دو کاربری دریاچه (S2, S3, S6, S8, S9, S13, S16, S17, S20)



شکل ۲- نمونه‌های خاک و رسوب از کاربری‌های مختلف تالاب میقان

تعیین دقت نتایج آزمایش

هنگام ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ۱۰ درصد کل نمونه‌ها به شکل نمونه‌های تکراری با کدگذاری محرمانه انتخاب و به آزمایشگاه ارسال و نتایج آزمایشگاه کنترل و دقت نتایج بررسی شدند. به منظور تعیین دقت آزمایش از روش محاسباتی استفاده شد؛ در این روش که معمولاً برای محاسبه دقت غلظت عناصر یا متغیرها به کار می‌رود، خطای تجزیه نمونه‌های تکراری از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Ghadimi and Ghomi 2016).

(۱)

$$R = \frac{2}{n} \sum \frac{|X_i - X_j|}{X_i + X_j} \times 100$$

که در آن، n تعداد تکراری، X_i نتیجه تجزیه نمونه، X_j نتیجه تجزیه نمونه تکراری و R خطای نسبی تجزیه است. گفتنی است حد دقت تعریف شده به انتظار شخص از آزمایشگاه و نوع دستگاه تجزیه بستگی دارد که معمولاً ۱۰ درصد انتخاب می‌شود.

شاخص‌های آلودگی

کایرو و همکاران (Caeiro et al. 2005) شاخص‌های آلودگی در

زمینه فلزات سنگین را ارزیابی و آنها را به سه گروه شاخص‌های آلودگی (Contamination Indices)، شاخص‌های غنی‌شدگی زمینه (Background Enrichment Indices) و شاخص‌های ریسک اکولوژیکی (Ecological Risk Indices) تقسیم کردند؛ بنابراین، شاخص‌های آلودگی به دو شاخص منفرد (Single Indices) و شاخص مرکب (Integrated Indices) تقسیم می‌شوند.

الف- شاخص‌های منفرد: شاخص‌های منفرد که برای

محاسبه آلودگی یک فلز استفاده می‌شوند، عبارتند از: ضریب آلودگی (Contamination factor)، ضریب ریسک اکولوژیکی (Ecological Risk Factor)، ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor) و شاخص زمین‌انباشت (Index of Geo-accumulation).

ضریب آلودگی (C_f): نخستین بار، هاکنسون (Håkanson

1980) ضریب آلودگی را به شکل رابطه ۲ برای فلزات سنگین دریاچه‌ها پیشنهاد کرد:

$$C_f = \frac{C_o}{C_n} \quad (2)$$

در اینجا، C_o مقدار میانگین عنصر در حداقل پنج نمونه و

C_n مقدار مرجع پیش از صنعتی شدن (Pre-industrial) برای

عنصر مدنظر است. مقادیر مرجع (Reference Level) مربوط به دریاچه‌های اروپا و آمریکا به شرح جدول ۱ است. درجه ۱ تا ۳، زیاد (۳ تا ۶) و بسیار زیاد (بیش از ۶).

جدول ۱- مقدار مرجع پیش از صنعتی شدن (میلی گرم در کیلوگرم) و ضریب مسمومیت زایی (Toxic Response Factor) که هاکنسون (Håkanson 1980) ارائه کرده است.

عنصر	جیوه	کادمیوم	آرسنیک	مس	سرب	کروم	روی	نیکل
مقدار مرجع پیش از صنعتی شدن	۰/۲۵	۱	۱۵	۵۰	۷۰	۹۰	۱۷۵	۸۵
ضریب مسمومیت زایی	۴۰	۳۰	۱۰	۵	۵	۲	۱	۱

$$EF = (C_i/C_{ie})_S (C_i/C_{ie})_{RS} \quad (5)$$

در اینجا، C_i مقدار عنصر در نمونه یا نمونه مرجع انتخاب شده و C_{ie} مقدار عنصر غیرقابل انتقال در نمونه یا نمونه مرجع است؛ بنابراین، $(C_i/C_{ie})_S$ نسبت عنصر سنگین به عنصر غیرقابل انتقال در نمونه‌ها و $(C_i/C_{ie})_{RS}$ نسبت عنصر سنگین به عنصر غیرقابل انتقال در نمونه مرجع است (Zhang 2007). نمونه مرجع معمولاً متوسط عنصر در پوسته زمین یا نمونه زمینی محلی است. عناصر غیرقابل انتقال معمول عبارتند از: تیتانیم، آلومینیوم، لیتیم، زیرکونیم و گاهی اوقات آهن و منگنز. عناصر آلومینیوم (برای منابع خشکی) و سدیم (برای منابع اقیانوسی) برای مقایسه ترکیب شیمیایی مواد اتمسفری نسبت به ترکیب پوسته و اقیانوس استفاده می‌شوند. ساترلند (Sutherland 2000) معیارهای ضریب غنی‌شدگی را بدون غنی‌شدگی (کمتر از ۲)، متوسط (۲ تا ۵)، درخور توجه (۵ تا ۲۰)، بسیار زیاد (۲۰ تا ۴۰) و فوق‌العاده زیاد (بیش از ۴۰) معرفی کرده است.

شاخص زمین‌انباشت (I_{geo}): شاخص زمین‌انباشت برای تعیین آلودگی عنصری رسوبات نسبت به زمینه پیش از صنعتی شدن استفاده می‌شود و به شکل رابطه ۶ است:

$$I_{geo} = \log_2 [C_i / (1/5C_n)] \quad (6)$$

در اینجا، C_i غلظت عنصر اندازه‌گیری شده و C_n غلظت عنصر زمینه یا مقدار مرجع همان عنصر است. مقدار ۱/۵ به علت تغییرات ممکن مقدار زمینه عنصر در محیط و همچنین تأثیر ناچیز عوامل انسانی (Anthropogenic) استفاده می‌شود. شاخص زمین‌انباشت شامل هفت کلاس کیفی بدون آلودگی

رابطه ۲ را می‌توان برای هر عنصر به شکل رابطه ۳ نیز بیان کرد:

$$C_f = \frac{C_i}{C_r} \quad (3)$$

رابطه ۳ به ضریب غلظت معروف است که در آن، C_i مقدار عنصر به جای مقدار میانگین حداقل پنج نمونه و C_r مقدار زمینه (Baseline Level) یا مرجع عنصر (Reference Level) است (Cabrera et al. 1999).

ضریب ریسک اکولوژیکی (Er): ضریب ریسک اکولوژیکی، پتانسیل ریسک اکولوژیکی آلاینده را به طور کمی بیان می‌کند و هاکنسون (Håkanson 1980) آن را به شکل رابطه ۴ ارائه کرده است:

$$Er = Tr \cdot C_f \quad (4)$$

در اینجا، Tr ضریب مسمومیت‌زا برای ماده معین و C_f ضریب آلودگی است. هاکنسون (Håkanson 1980) مقدار Tr برای عناصر سنگین را مطابق جدول ۱ ارائه کرده است و درجه آلودگی به کم (کمتر از ۴۰)، متوسط (۴۰ تا ۸۰)، چشمگیر (۸۰ تا ۱۶۰)، زیاد (۱۶۰ تا ۳۲۰) و بسیار زیاد (بیش از ۳۲۰) تقسیم می‌شود. این ضریب نخستین بار برای ارزیابی آب‌های آلوده استفاده شد و امروزه شاخص مهمی در ارزیابی کیفی آلودگی خاک و رسوب به عناصر سنگین است.

ضریب غنی‌شدگی (EF): ابتدا ضریب غنی‌شدگی برای تعیین منشأ عناصر در اتمسفر، بارش‌ها یا آب دریا استفاده می‌شد، اما امروزه کاربرد زیادی در مطالعه‌های خاک‌ها، رسوبات دریاچه، زغال‌ها، پسماندها و سایر مواد محیطی دارد (Aiman et al. 2016) و طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

(Cabrera et al. 1999) $C_d \geq 4m$ (آلودگی بسیار زیاد) استفاده می‌شود.

شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (RI): شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی نظیر درجه آلودگی برابر مجموع ضرایب ریسک است (رابطه ۹).

$$RI = \sum_{i=1}^m Er \quad (9)$$

در اینجا، Er شاخص منفرد ضریب ریسک اکولوژیکی و m تعداد انواع فلز سنگین است. درجه شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی عبارتست از: کم (کمتر از ۱۵۰)، متوسط (۱۵۰ تا ۳۰۰)، درخور توجه (۳۰۰ تا ۶۰۰) و بسیار زیاد (بیش از ۶۰۰).

شاخص آلودگی نمره (Nemerow Pollution Index): شاخص آلودگی نمره ($PI_{Nemerow}$) برای تعیین کیفیت خاک به کار می‌رود و طبق رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود (Cheng et al. 2007).

$$PI_{Nemerow} = \sqrt{\frac{(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i)^2 + P_{imax}^2}{2}} \quad (10)$$

در اینجا، P_i شاخص آلودگی منفرد فلز سنگین، P_{imax} بیشترین مقدار شاخص آلودگی منفرد تمام فلزات سنگین و m تعداد انواع فلز سنگین است. واژه‌های توصیفی این روش عبارتند از: محدوده سالم (کمتر از ۰/۷)، محدوده احتیاط (۰/۷ تا ۱)، محدوده آلودگی کم (۱ تا ۲)، محدوده آلودگی متوسط (۲ تا ۳) و محدوده آلودگی زیاد (بیش از ۳). مقدار مرجع در روش شاخص آلودگی نمره، مقدار زمینه محلی است.

بحث و تحلیل

غلظت عناصر سنگین

از آنجا که نمونه MS31 تکرار نمونه MS6، نمونه MS32 تکرار نمونه MS15 و نمونه MS33 تکرار نمونه MS22 است، برخی عناصر مهم از جمله آرسنیک، سرب، روی، کادمیوم و کروم طبق رابطه ۱ آزمون شدند. این بررسی نشان داد خطای نسبی تجزیه ($R\%$) کمتر از ۱۰ درصد است؛ از این رو، دقت داده‌ها تأیید می‌شود (جدول ۲).

(صفر)، بدون آلودگی تا آلودگی متوسط (صفر تا ۱)، آلودگی متوسط (۱ تا ۲)، آلودگی متوسط تا زیاد (۲ تا ۳)، آلودگی زیاد (۳ تا ۴)، آلودگی زیاد تا فوق‌العاده زیاد (۴ تا ۵) و آلودگی فوق‌العاده زیاد (بیش از ۵) است (Cabrera et al. 1999).

مقدار مرجع در تمام روابط یادشده درجه آلودگی را تعیین می‌کند. مقدار مرجع یکنواخت نیست و مرجع می‌تواند مرجع پیش از صنعتی شدن، متوسط پوسته زمین، مقدار زمینه، معیار ملی، مقدار آستانه آلودگی (Threshold Pollution Value) و متوسط پوسته بالایی باشد. بدیهی است مراجع مختلف، مقادیر کیفی مختلفی از آلودگی را به دست می‌دهند. مقدار زمینه محلی بهترین مرجع برای شاخص‌های منفرد است.

ب- شاخص‌های مرکب: شاخص‌های مرکب برای محاسبه آلودگی بیش از یک عنصر و بر اساس شاخص‌های منفرد بنا نهاده شده‌اند. هر شاخص مرکب ترکیبی از شاخص‌های منفرد است.

مجموع شاخص آلودگی (Sum of Pollution Index):

مجموع شاخص آلودگی (PI_{sum}) طبق رابطه ۷ تعریف می‌شود:

$$PI_{sum} = \sum_{i=1}^m P_i \quad (7)$$

در اینجا، P_i شاخص آلودگی منفرد فلز سنگین و m تعداد انواع فلز سنگین است. مجموع شاخص آلودگی کاربردهای بسیاری در تعیین کیفیت خاک و رسوب بر اساس فلزات سنگین دارد که از جمله این شاخص‌های کیفی عبارتند از: درجه آلودگی (Degree of Contamination) و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (Potential Ecological Risk Index). درجه آلودگی (C_d) یعنی مجموع تمام ضرایب آلودگی و بر اساس رابطه ۸ محاسبه می‌شود:

$$C_d = \sum_{i=1}^m C_f \quad (8)$$

در اینجا، C_f شاخص منفردی از ضریب آلودگی و m تعداد انواع فلز سنگین است. به منظور توصیف درجه آلودگی از واژه‌های $C_d < m$ (آلودگی کم)، $m \leq C_d < 2m$ (آلودگی متوسط)، $2m \leq C_d < 4m$ (آلودگی درخور توجه) و

جدول ۲- تعیین دقت آزمایش‌های شیمیایی خاک و رسوب تالاب میقان

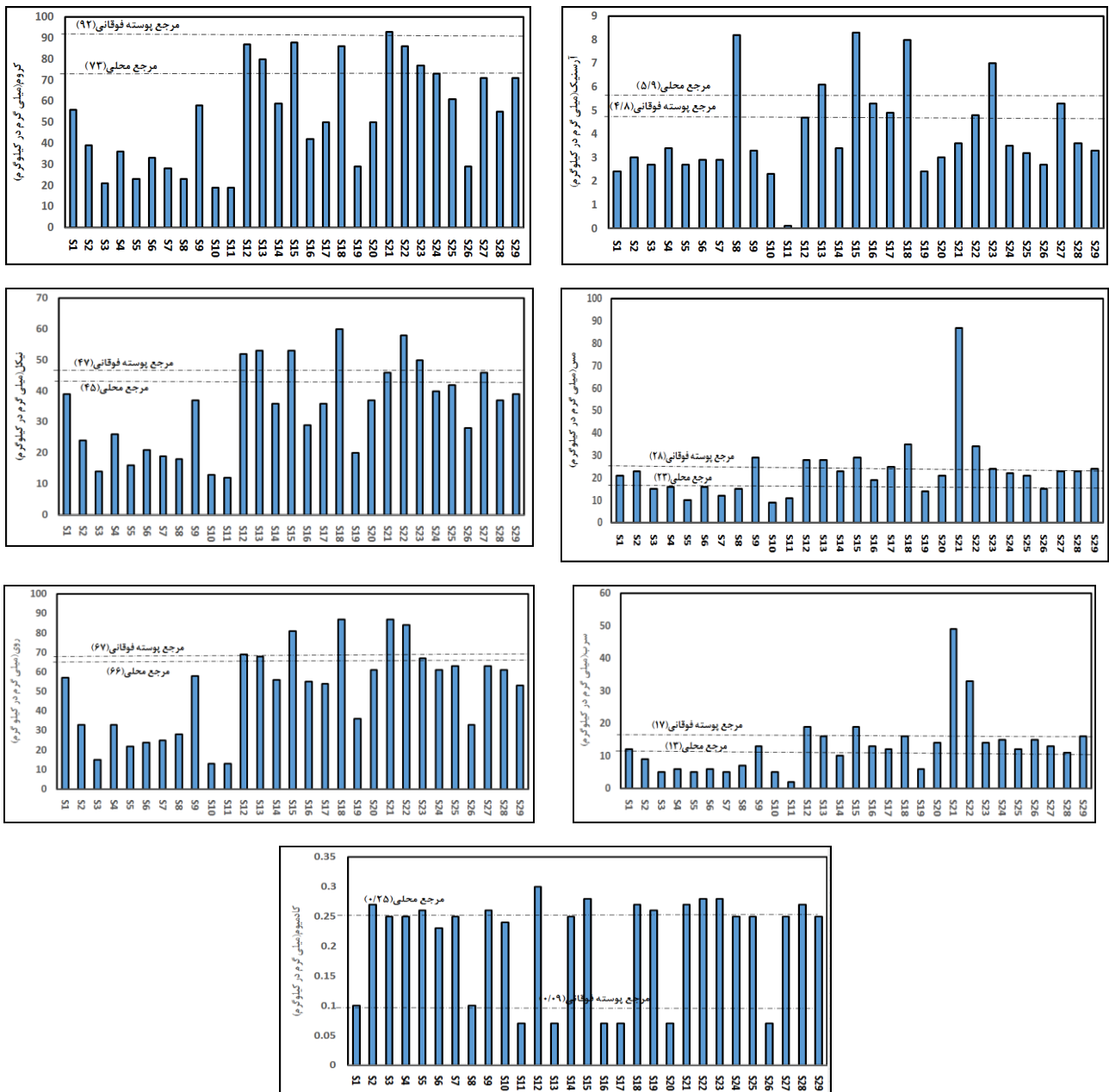
کد نمونه	آرسنیک	سرب	روی	کادمیوم	کروم
MS6	۲/۹	۶	۲۴	۰/۲۳	۳۳
MS15	۸/۳	۱۹	۸۱	۰/۲۸	۸۸
MS22	۳/۶	۴۹	۲۱۰	۰/۲۷	۹۳
MS31	۳/۵	۷	۳۲	۰/۲۴	۳۳
MS32	۶/۳	۱۶	۶۰	۰/۲۵	۶۲
MS33	۵	۶۱	۱۷۹	۰/۳۹	۶۷
R%	۹	۹/۵	۶/۹	۶/۵	۹/۶

بررسی ۲۹ نمونه خاک و رسوب تالاب میقان نشان داد میانگین غلظت آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم به ترتیب برابر ۴/۰۳، ۵۳، ۲۳، ۳۴، ۱۳، ۵۰ و ۰/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۳)؛ همچنین مقادیر مرجع محلی (رسوب برداشت‌شده از عمق ۱ متری منطقه داوودآباد) و مرجع پوسته بالایی (Ghadimi and Ghomi 2016) در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. غلظت آرسنیک در نمونه‌های S13، S16، S18 و S23 بیش از مرجع محلی و مرجع پوسته بالایی است (شکل ۳). در تمام نمونه‌ها، مقدار کروم کمتر از مرجع پوسته بالایی است و غلظت آن در نمونه‌های S13، S16، S18 و S22 بیشتر از مرجع محلی است. مس تنها در نمونه‌های S18 و S22 غلظت زیادی نسبت به مرجع پوسته بالایی دارد (شکل ۳) و غلظت آن در تعدادی دیگر از نمونه‌ها (S2، S9، S17، S18، S20 و S26 نسبت به مرجع پوسته بالایی و مرجع محلی کمتر از حد مرجع است (شکل ۳)).

بررسی ۲۹ نمونه خاک و رسوب تالاب میقان نشان داد میانگین غلظت آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم به ترتیب برابر ۴/۰۳، ۵۳، ۲۳، ۳۴، ۱۳، ۵۰ و ۰/۲۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۳)؛ همچنین مقادیر مرجع محلی (رسوب برداشت‌شده از عمق ۱ متری منطقه داوودآباد) و مرجع پوسته بالایی (Ghadimi and Ghomi 2016) در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. غلظت آرسنیک در نمونه‌های S13، S16، S18 و S23 بیش از مرجع محلی و مرجع پوسته بالایی است (شکل ۳). در تمام نمونه‌ها، مقدار کروم کمتر از مرجع پوسته بالایی است و غلظت آن در نمونه‌های S13، S16، S18 و S22 بیشتر از مرجع محلی است. مس تنها در نمونه‌های S18 و S22 غلظت زیادی نسبت به مرجع پوسته بالایی دارد (شکل ۳) و غلظت آن در تعدادی دیگر از نمونه‌ها (S2، S9، S17، S18، S20 و S26 نسبت به مرجع پوسته بالایی و مرجع محلی کمتر از حد مرجع است (شکل ۳)).

جدول ۳- خلاصه آمار فلزات سنگین در خاک و رسوب تالاب میقان (واحدها به میلی‌گرم در کیلوگرم)

متغیر	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	مرجع محلی	مرجع پوسته بالایی
آرسنیک	۴/۰۳	۳/۴۰	۰/۱۰	۸/۳۰	۱/۹۴	۰/۸۴	۰/۵۱	۵/۹۰	۴/۸۰
کروم	۵۳	۵۵	۱۹	۹۳	۲۴	۰/۱۰	-۱/۳۷	۷۳	۹۲
مس	۲۳	۲۲	۹	۸۷	۱۴	۳/۵۰	۱۵	۲۳	۲۸
نیکل	۳۴	۳۷	۱۲	۶۰	۱۴	۰/۰۳	-۱/۰۸	۴۵	۴۷
سرب	۱۳	۱۲	۲	۴۹	۹	۲/۴۳	۸	۱۳	۱۷
روی	۵۰	۵۶	۱۳	۸۷	۲۲	-۰/۱۵	-۱/۰۲	۶۶	۶۷
کادمیوم	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۰۸	-۰/۹۸	-۰/۹۱	۰/۲۵	۰/۰۹



شکل ۳- غلظت فلزات سنگین در خاک و رسوب تالاب میقان

۲۴ و ۱۷ درصد، برای سرب به ترتیب ۵۹ و ۱۴ درصد، برای روی به ترتیب ۲۴ و ۲۴ درصد و برای کادمیوم به ترتیب ۶۲ و ۷۲ درصد است؛ بنابراین، نقش فعالیت‌های انسانی در افزایش فلزات رسوبات تالاب میقان درخور توجه است. کادمیوم و سرب دو عنصری‌اند که به ترتیب در ۶۲ و ۵۹ درصد نمونه‌های خاک و رسوب، بیشترین سهم عوامل انسانی را در

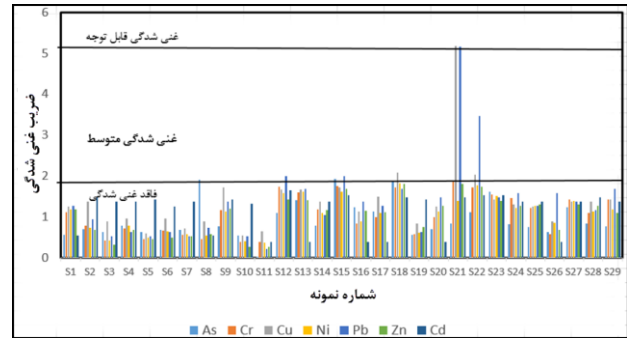
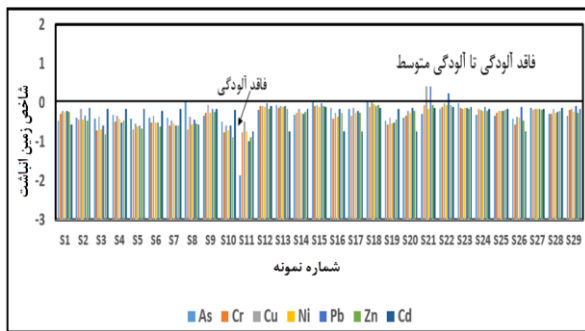
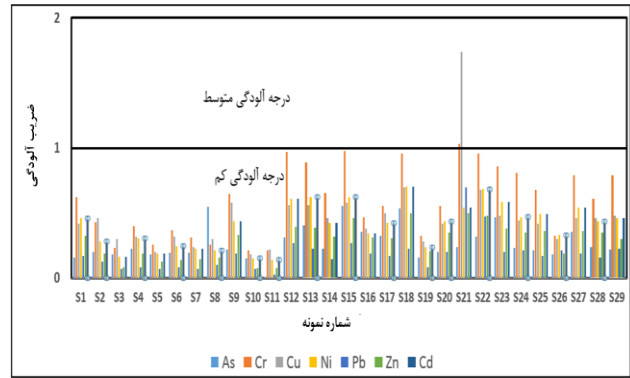
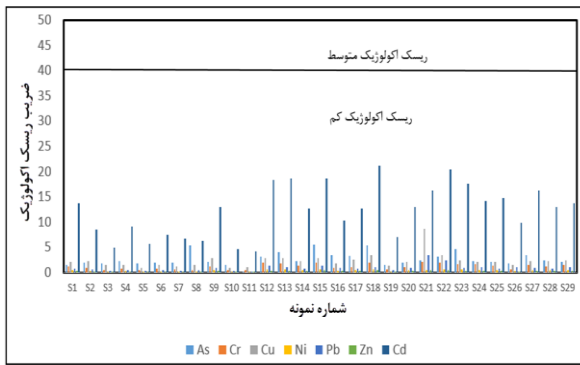
بررسی حاضر نشان داد ۱۷/۵ درصد نمونه‌ها در خاک و رسوب تالاب میقان دارای آرسنیک بیش از مرجع محلی و در ۳۵ درصد از نمونه‌ها، آرسنیک بیش از مرجع پوسته بالایی است. کروم در ۲۸ درصد نمونه‌ها بیش از مرجع محلی و در ۳/۵ درصد نمونه‌ها بیش از مرجع پوسته بالایی است؛ این مقدار برای مس به ترتیب ۴۳ و ۲۱ درصد، برای نیکل به ترتیب

شاخص‌های آلودگی

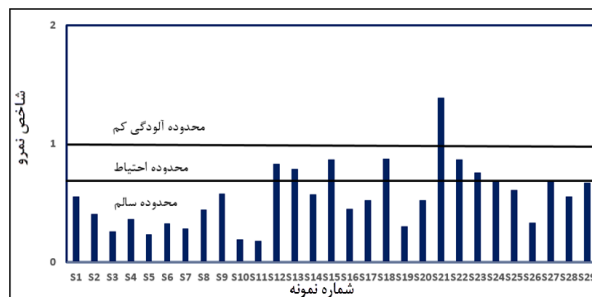
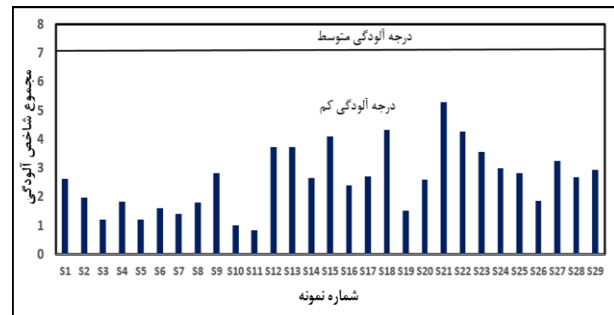
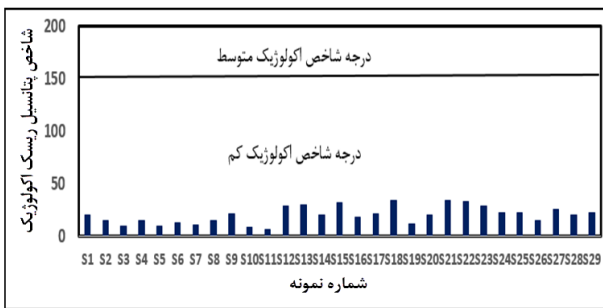
الف: شاخص‌های آلودگی منفرد: مقدار زمینه محلی بهترین مرجع برای شاخص‌های آلودگی منفرد است. نمونه S21 برای عناصر مس و کروم دارای ضریب آلودگی متوسط، اما در سایر نمونه‌ها دارای ضریب آلودگی کم است (شکل ۴). ضریب ریسک اکولوژیکی در تمام نمونه‌های خاک و رسوب تالاب میقان کمتر از ۴۰ و در نتیجه، ریسک اکولوژیکی آلودگی در آنها کم است. ضریب غنی‌شدگی در نمونه S21 برای سرب و مس، در نمونه S22 برای سرب و در نمونه S18 برای مس با توجه به مقدار ۲ تا ۵، متوسط و در سایر نمونه‌ها با مقدار کمتر از ۲، کم است. شاخص زمین‌انباشت S18 برای مس، S21 برای عنصر مس و سرب و S22 برای سرب از بدون آلودگی تا آلودگی متوسط و در سایر نمونه‌ها بدون آلودگی است (شکل ۴).

ب- شاخص‌های آلودگی مرکب: با توجه به m کمتر از ۷، مجموع شاخص آلودگی برای هفت عنصر از خاک و رسوب تالاب میقان کم است (شکل ۵). شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی (RI) تمام نمونه‌های خاک و رسوب تالاب میقان در رده کم قرار دارد. تمام خاک‌ها و رسوبات تالاب میقان از نظر شاخص آلودگی نمره در محدوده سالم و احتیاط قرار دارند؛ بنابراین، هیچ‌کدام از کاربری‌های مختلف خاک‌ها و رسوبات محدوده تالاب میقان طبق روش مجموع شاخص آلودگی، شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی و شاخص نمره از نظر هفت عنصر سنگین آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم آلوده نیستند.

تالاب میقان نشان می‌دهند. بیشتر خاک‌های اطراف تالاب میقان غنی از عناصری مانند آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم هستند؛ فاضلاب تصفیه‌شده شهری اراک نیز غنی از سرب و روی است (Ghadimi and Ghomi 2013). حاجی حسینی و همکاران (Haji Hossini et al. 2013) زیاده‌بودن نیکل، روی و مس در رسوبات تالاب میقان را ناشی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اراک می‌دانند. انصاریان (Ansarian 2015) با مطالعه رسوبات تالاب میقان، منشأ سرب و روی را ناشی از آب تصفیه‌شده فاضلاب شهری اراک می‌داند. مرتضوی و صابری‌نسب (Mortazavi and Saberi- Nasab 2016) منشأ مس و نیکل رسوبات تالاب میقان را ناشی از ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی، زه‌آب اراضی کشاورزی و استقرار شرکت معدنی املاح ایران در مجاور تالاب می‌دانند. فاضلی و ملکی آل آقا (Fazali and Malaki 2000) بر افزایش عناصر روی، سرب و مس در رسوبات تالاب گمیشان گلستان در اثر افزایش آلاینده‌های شیمیایی به‌ویژه پساب‌های صنعتی و کشاورزی تأکید می‌کنند. بابایی و همکاران (Babaee et al. 2013)، وصالی ناصح و همکاران (Vasali-Naseh et al. 2011)، خزایی و همکاران (Khazaee et al. 2011) پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری را در ورود عناصر مس، روی، سرب، کادمیوم، کروم و جیوه به رسوبات تالاب انزلی مؤثر می‌دانند. پیری (Pyri 2010) غلظت زیاد عناصری مانند سرب، کادمیوم، مس، نیکل و جیوه را در رسوبات تالاب هامون در سیستان و بلوچستان ناشی از فعالیت‌های صنعتی بالادست تالاب می‌داند. آقاسی و همکاران (Aghasi et al. 2015) نقش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی را در افزایش فلزات سنگین کادمیوم، سرب و روی در تالاب گاوخونی اصفهان بررسی کرده‌اند. صیادی و رضایی (Sayadi and Razaee 2015) زیاده‌بودن غلظت عناصری مانند کادمیوم، مس و روی در رسوبات تالاب کجی خراسان جنوبی را ناشی از رواناب‌های کشاورزی عنوان کرده‌اند.



شکل ۴- شاخص‌های آلودگی منفرد برای خاک و رسوب تالاب میقان

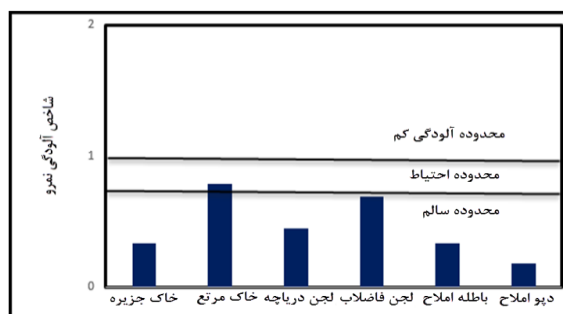
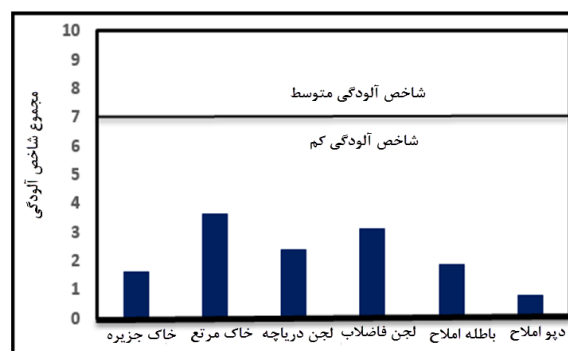
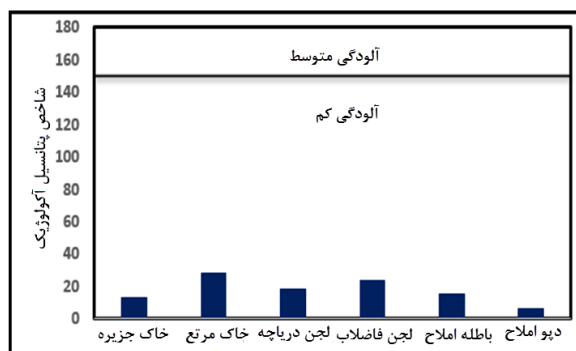


شکل ۵- شاخص‌های آلودگی مرکب برای خاک و رسوب تالاب میقان

شاخص آلودگی در کاربری‌های مختلف

در تمام نمونه‌ها، مجموع شاخص آلودگی با عدد کمتر از ۷ در رده شاخص آلودگی کم قرار دارد (شکل ۶)؛ به عبارتی، خاک‌ها و لجن‌های کاربری‌های مختلف از نظر فلزات سنگین آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم آلوده

نیستند؛ همچنین شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک در تمام نمونه‌ها با عدد کمتر از ۱۵۰ در رده شاخص آلودگی کم قرار دارد. شاخص نمره در تمام نمونه‌ها به‌جز کاربری مرتع با عدد کمتر از ۰/۷ در محدوده سالم قرار دارد. شاخص نمره در مراتع در محدوده احتیاط است (شکل ۶).



شکل ۶- شاخص‌های آلودگی مرکب در کاربری‌های مختلف از خاک و رسوب اطراف تالاب میقان

ضریب غنی‌شدگی و شاخص درجه آلودگی عناصر کادمیوم، سرب و روی به‌ترتیب در درجه‌های بسیار زیاد، متوسط و کم قرار دارند. فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی طی چند سال اخیر در حوزه آبخیز زاینده‌رود، مهم‌ترین منشأ عناصر کادمیوم، سرب و روی به‌شمار می‌آیند.

نتیجه

بررسی حاضر نشان داد غلظت عناصر آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، روی و کادمیوم به‌ترتیب در ۱۷، ۱۴، ۷، ۱۷، ۱۰، ۱۴، ۶۵ درصد از نمونه‌های خاک و رسوب منطقه بیشتر از پوسته بالایی است. شاخص آلودگی هر یک از عناصر در تمام

شاخص‌های آلودگی در نمونه‌های خاک و رسوب و همچنین در کاربری‌های مختلف تالاب میقان گویای نبود آلودگی عناصر سنگین آرسنیک، کروم، نیکل و روی است (رده آلودگی کم). مس و به‌ویژه سرب در بیشتر نمونه‌ها از رده کم تا متوسط متغیرند. صابری‌نسب و مرتضوی (Saberi-Nasab and Mortazavi 2018) با بررسی شاخص‌های آلودگی در رسوبات تالاب میقان نشان دادند سرب، روی، نیکل و مس در درجه متوسط آلودگی قرار دارند و فاضلاب شهری مهم‌ترین منشأ آنها در رسوبات تالاب میقان است. نتایج بررسی آقاسی و همکاران (Aghasi et al. 2015) در رسوبات تالاب گاوخونی اصفهان نشان دادند شاخص‌های آلودگی نظیر

- Ansarian F. 2015. Measurement of heavy metal surface sediments in mighan wetland to investigate the effects of arak wastewater treatment plant, Second Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran University (in Persian).
- Babae H. Khadaprast SH. and Shavandasht J. 2013. The impact of industrial, agricultural and urban wastewater on mineral pollutants in Anzali international wetland, First National Iranian Wetlands Conference, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran (in Persian).
- Baghari SM. Mahdian MH. Karimkhani A. and Pazira E. 2013. Integration of fuzzy logic and geostatistical methods in copper and cobalt zoning in Anzali wetland, First Iranian Conference on Conservation of Wetlands and Aquatic Ecosystems. Tomorrow's Environment Co-thinkers, Iran (in Persian).
- Boussen S. Soubrand M. Bril H. Ouerfelli K. and Abdeljaouad S. 2013. Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticum aestivum*) in carbonated Mediterranean (Northern Tunisia) soils, *Geoderma*, 192:227-236.
- Cabrera F. Clemente L. and Barrientos D E. 1999. Heavy metal pollution of soils affected by the Guadiamar Toxic Flood. *The Science of the Total Environment*, 242(1-3): 117-129.
- Caeiro S. Costa M H. and Ramos T B. 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado estuary sediment: An Index Analysis Approach. *Ecological Indicators*, 5:151-169.
- Charkhabi AH. Mahdian MH. Tanha M. and Lamaee M. 2005. Evaluation of three statistical models to estimate the spatial distribution of heavy metal elements available in surface soils in shadegan international wetland, Khuzestan, 4th Iranian Conference on Engineering Geology and Environment (in Persian).
- Cheng J L. Shi Z. and Zhu Y W. 2007. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19: 50-54.
- Fazeli MSh. and Malaki Alagh M. 2000. Investigation of some heavy metals in sediments of Gomishan wetland, Third National Conference on Environmental Health, Islamic Azad University of Shiraz Branch (in Persian).
- Ghadimi F. and Ghomi M. 2013. Assessment of the effects of municipal wastewater on the heavy metal pollution of water and sediment in Arak Mighan Lake, Iran, *Journal of Tethys*, 1(3):205-214.
- Ghadimi F. 2014. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Arak

نمونه‌ها با استفاده از روش‌های ضریب آلودگی، ضریب ریسک اکولوژیک، ضریب غنی‌شدگی و ضریب زمین‌انباشت درجه کم را مشخص کرد؛ همچنین درجه آلودگی برای مجموع عناصر در تمام نمونه‌ها به روش‌های مجموع شاخص آلودگی و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک کم بود؛ اما در روش شاخص نمره، ۶۹ درصد در محدوده سالم و ۳۱ درصد در محدوده احتیاط قرار داشتند.

مقایسه غلظت عناصر با مرجع محلی و مرجع پوسته بالایی نشان داد تالاب میقان اراک متأثر از منابع آلاینده‌ای مانند فاضلاب شهری، پساب صنایع و کشاورزی است که عناصر سنگین مانند کادمیوم، سرب و روی و همچنین آرسنیک، کروم، نیکل و مس را وارد تالاب می‌کنند. اگرچه شاخص‌های آلودگی، درجه آلودگی فلزات سنگین را در خاک و رسوبات تالاب میقان کم و در محدوده سالم مشخص کردند، چنانچه ورود عناصر از منابع آلاینده کنترل نشود، بدیهی است درجه آلودگی به سمت متوسط تا زیاد پیش می‌رود و حیوانات، پرندگان و آبزیان تالاب در معرض خطر عناصر سنگین قرار می‌گیرند. باتوجه به اینکه فاضلاب شهری مهم‌ترین منشأ فلزات سنگین تالاب است، بایستی اقدامات لازم برای کاهش عناصر سنگین در فاضلاب شهری انجام شوند.

References

- Aiman U. Mahmood A. Waheed S. and Malik RN. 2016. Enrichment, geo-accumulation and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmood Booti dumping site, Lahore city, Pakistan, *Chemosphere*, 144:2229-2239.
- Aghasi B. Jalalian A. and Khadami H. 2015. Evaluation of heavy metal contamination in sediments of international Gvkhuni wetland, Second Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran University (in Persian).
- ALabdeh D. Karbassi AR. Omidvar B. and Sarang A. 2019. Speciation of metals and metalloids in Anzali wetland, Iran, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02471-8>.

- sediments (Anzali wetland), *Echobiology Wetland*, 3(11): 47-56, (in Persian).
- Khodakhah M. and Pishgar F. 2015. Investigation of heavy metal production industries in Anzali wetland basin and appropriate filtration management to reduce their pollution, Second National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Komae-Ali Afaran Danesh Scientific Research Institute, Babol, Iran (in Persian).
- Lacerda D. Guimaraes JRD. Salomons W. and Wilken RD. 1995. Mercury and the new goldrush in the south. In: W. Salomons and W.M. Stigliani, (Eds.), *Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments*. Springer, Berlin:213-245.
- Mehdipour N. Moradi-Nasab AA. and Saeidpour B. 2015. Evaluation of hazards of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Hg) on watersheds and sediments in Anzali wetland, Second International Conference on Wetland Management and Engineering, Environment and Health Tehran University, Karaj (in Persian).
- Mortazavi S. and Saberi -Nasab F. 2016. Survey of copper and nickel heavy metals pollution in surface sediments of Mighan Arak wetland using pollution and sediment quality indices, International Conference on Civil, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, Rasht (in Persian).
- Nafar RA. Zamani AA. Paryzanganeh AH. and Shokrzadeh M. 2015. Evaluation of concentration of some heavy metals in water of Alagol international wetlands, Almaglooaji Golder, Golestan Province, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Faculty of Environment, University of Tehran, Iran (in Persian).
- Pnahandeh M. Moravati M. and Javan S. 2014. Investigation and comparison of annual concentration of heavy metals in anzali wetland sediments, Eighth Conference on Modern Research in Science and Technology, Kerman (in Persian).
- Panahandeh M. and Morovati M. 2018. Risk of heavy metals (copper, zinc, lead, cadmium and chromium) on the life of fish in Anzali Wetland Ecosystem, *Applied Biology*, 3(10): 23-39.
- Pyri H. 2010. Evaluation of heavy metal concentrations of nickel, copper, cadmium, mercury and lead in Hamoon wetland, Second National Wetlands Conference of Iran, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Iran (in Persian).
- industrial City, Iran. *Journal of Tethys*, 2(3): 196–209.
- Ghadimi F. 2015. Prediction of heavy metals contamination in the groundwater of Arak region using artificial neural network and multiple linear regression, *Journal of Tethys*, 3(3):203-215.
- Ghadimi F. and Ghomi M. 2016. Statistical analysis of exploration geochemical data using function in statistica environment, Print: Arak University of Technology Publications, 288 pages (in Persian).
- Ghomi M. and Ghadimi F. 2013. Evolution of soil contamination in the abandoned Lakan Lead and Zinc mine by heavy metals, Iran, *Journal of Tethys*, 1(1):12-28.
- Haji-Hossini M. Varvani J. and Abdi N. 2013. Investigation and comparison of annual concentration of heavy metals in anzali wetland sediments, Second National Conference on Environmental Protection and Planning, Hamedan (in Persian).
- Hassanzadeh-Hosseinabadi H. Shirdel Shahmiri F. Ahamadi O. and Mehdinia M. 2009. Investigation of heavy metals release in water and sediments of Miankaleh international wetland and comparison with Tajan and Seyahrood rivers in Mazandaran Province, First National Iranian Wetlands Conference, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran (in Persian).
- Håkanson L. 1980. An Ecological risk index for aquatic pollution control: A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14: 975–1001.
- Kabata-Pendias A. and Mukherjee A B. 2007. Trace elements from soil to human. Berlin: Springer p449.
- Kamzati LLJ. Kaonga CC. Mapoma HWT. Thulu FG. Abdel-dayem SM. Anifowose AJ. Chidya RCG. Chitete-Mawenda U. and Sakugawa H. 2019. Heavy metals in water, sediment, fish and associated risks from an endorheic lake located in Southern Africa, *International Journal of Environmental Science and Technology*, First Online: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02464-7>.
- Karimi M. Tazrvy Z. Sobhan M. and Norazi F. 2011. Comparison of Cd and Cu heavy elements in surface sediments of anzali and gavkhuni wetlands, First Iranian National Geological Conference, Islamic Azad University of Shiraz (in Persian).
- Khazaei T. and Pourkhabaz AR. 2011. Investigation of heavy metals cocentration in different size of

- sediments of Mighan Playa (Iran), Lake and Reservoir, <https://doi.org/10.1111/ire.12208>.
- Sayadi MH. and Razaee A. 2015. Evaluation of cadmium, copper and zinc heavy metals concentrations in the Koji wetlands wildlife refuge south Khorasan, Second International Wetland Management and Engineering Conference, Environment University of Tehran, Karaj (in Persian).
- Sutherland R A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39: 611–627.
- Siegel RF. 2002. *Environmental geochemistry of potentially toxic Metals* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 218P.
- Vahid-Dasjerdi M. Shanbehzadeh S. Zahab Sanaei A. and Rozgar R. 2006. Comparison of heavy metal accumulation in water and soil and plant of Gavkhuni international wetland in 81 and 83, 10th National Conference on Environmental Health (in Persian).
- Vasali-Nash MR. Karbasi AR. Gazban F. and Baghvand AA. 2011. Analysis of relationship between heavy metals contents in water and sediment samples of Anzali wetland, Fifth Specialized Conference on Environmental Engineering, University of Tehran, School of Environment, Tehran, Iran (in Persian).
- Zhang LP. Ye X. and Fen H. 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 974–982.
- Rahat-Talab Z. Lotfi S. and Sotohian F. 2015. Investigation of heavy metal concentrations in sediment water and biological elements of Anzali wetland, Second National Congress of Biology and Natural Sciences of Iran, Center for Sustainable Development Strategies and Mehr Arvand Institute of Higher Education, Tehran, Iran (in Persian).
- Razdar B. Ghavidel A. Fallah F. and Piroz B. 2010. Evaluation of water quality in Amir Kalei wetland in heavy metal content, 4th Specialized Conference on Environmental Engineering, University of Tehran, Environment Science University of Tehran, Tehran, Iran (in Persian).
- Rivera C. Quiroga Ed. Meza V. and Pastene M. 2019. Evaluation of water quality and heavy metal concentrations in the RAMSAR Wetland El Yali (Central Chile, 33°45'S), *Marine Pollution Bulletin*, 45: 499-507.
- Saberi-Nasab F. 2015. Quantitative and qualitative estimation of contamination in surface sediments of Mighan Arak wetland using sedimentation indices, 8th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering (in Persian).
- Saberi-Nasab F. and Mortazavi S. 2018. Evaluation of Pb, Zn, Cu and Ni Concentration in Arak Mighan Wetland Based on Sediment Pollution Indices. *Journal of Water and Soil Science*, 22(1):15-27 (in Persian).
- Safari Sinegani M. Safari Sinegani AA. and Hadipour M. 2018. Sources and spatial distribution of lead (Pb) and cadmium (Cd) in saline soils and

