تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۰، دی ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۴۸۱-۲۴۶۹) DOI: 10.22059/ijswr.2020.298194.668505

Assessment of Heavy Metals in Hooralazim Wetland Sediments by Calculation of Pollution Index

HAJAR ABYAT[1], MOHAMMAD REZA ANSARI[1*], NAFISEH RANGZAN[1], AHMAD ABYAT[2]

1. Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources, Mollasani, Iran.

2. Department of Petroleum Engineering, Omidiyeh Branch, Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran.

(Received: Feb. 29, 2020- Revised: June. 13, 2020- Accepted: Aug. 15, 2020)

ABSTRACT

Heavy metals have received much attention in recent years due to their stability in the environment and pollution potential in the soil. In sediments, a significant proportion of toxic metals are absorbed by clays and remain for a long time, so they can increase the severity of air pollution due to dust which is rising by wind. The aim of this study was to investigate the contamination level of heavy metals in Hooralazim wetland sediments which known as dust zone. For this purpose, 65 samples were collected from 0-15 cm depth of Hooralazim Wetland sediments and the concentration of heavy metals were measured using atomic absorption spectrometry. In order to evalute the contamination level, Molar geochemical index, enrichment factor, contamination coefficient and contamination load index were calculated. Based on the molar geochemical index, the results showed Cd, Ni and Cr were in the non-contaminated range to moderate contamination and Pb, Cu, Zn, Fe and Mn were in the non-contaminated range. Also, based on the enrichment factor, Cd had the highest enrichement, Ni and Cr had moderately enrichement and Pb, Cu, Zn, Fe and Mn had low enrichment. Contamination coefficients were also found to be low for Pb, Cu, Zn, Fe and Mn, moderate for Ni and Cr and high for Cd. The contamination load index showed no pollution for the sediments. Therefore, based on the calculated indices, the amount of Cd, and then Ni and Cr were above the standard level. Since, the effluents of industerial, oil fasilitiess and chemical fertilizers are entering into Hoorolazim wetland.

Keyword: Dust Sources**,** Heavy Metal, Hooroalazim Wetland, Pollution Index.

* Corresponding Author's Email: m_ansari@asnrukh.ac.ir

ارزیابی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم با محاسبه شاخص‌های آلودگی

هاجر عبیات[۱]، محمدرضا انصاری*[۱]، نفیسه رنگ‌زن[۱]، احمد عبیات[۲]

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.

۲. گروه مهندسی نفت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۲۴- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۲۵)

چکیده

فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل ثبات و پایداریشان در خاک و همچنین ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی، شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. در رسوبات بخش قابل توجهی از فلزات سمی، جذب رس‌ها شده و برای مدت زیادی در سطح باقیمانده و یا در اثر باد، همراه رس به هوا برخاسته و بر شدت آلودگی هوا نیز می‌افزایند. بخشی از تالاب هورالعظیم تحت تأثیر خشکسالی‌های پی در پی به کانون ریزگرد تبدیل شده است؛ لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی آلودگی رسوبات تالاب هورالعظیم به فلزات سنگین صورت گرفت. به این منظور، تعداد ۶۵ نمونه از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری رسوبات تالاب هورالعظیم برداشت و با استفاده از دستگاه جذب اتمی غلظت عناصر اندازه‌گیری گردید. جهت مطالعه سطح آلودگی رسوبات، شاخص ژئوشیمیایی مولر، فاکتور غنی‌شدگی، ضریب آلودگی و شاخص بار آلودگی محاسبه شدند. نتایج نشان داد که بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر عناصر کادمیم، نیکل و کروم در محدوده غیرآلوده تا آلودگی متوسط و عناصر سرب، مس، روی، آهن و منگنز در محدوده غیرآلوده قرار دارند. همچنین بر اساس فاکتور غنی‌شدگی عنصر کادمیم دارای غنی‌شدگی شدید، نیکل و کروم غنی‌شدگی متوسط و عناصر سرب، مس، روی، آهن و منگنز غنی‌شدگی اندک داشتند. ضرایب آلودگی نیز برای سرب، مس، روی، آهن و منگنز کم، برای نیکل و کروم متوسط و برای کادمیم در سطح خیلی زیاد بدست آمد. شاخص بار آلودگی، همه‌ی نقاط مورد مطالعه را غیرآلوده نشان داد. لذا بر اساس شاخص‌های محاسبه شده عناصر کادمیم و سپس نیکل و کروم تا حدی بالاتر از حد مجاز بوده که علت آن را می‌توان ورود از مسیر پساب کارخانجات، تأسیسات نفتی و همچنین کودهای شیمیایی دانست.

واژه‌های کلیدی: کانون ریزگرد، تالاب هورالعظیم ، فلزات سنگین، شاخص‌های آلودگی.

مقدمه

فلزات سنگین عناصری هستند که به طور طبیعی به مقدار بسیار کم در اکوسیستم‌ها یافت می‌شوند. این عناصر می‌توانند خاک و آب را آلوده نمایند و همچنین با تجمع در گیاهان و جانوران به وسیله انسان مورد مصرف قرار گیرند (Javan Siamardi *et al.*, 2014). عناصر سنگین از مسیرهای مختلف مانند ریزش‌های جوی، استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی، لجن فاضلاب، آفت‌کش‌ها، پساب‌های صنعتی حاصل از کارخانجات تولیدی، فلزکاری و معادن به خاک وارد و از طریق جذب توسط گیاهان و آبشویی از منطقه ریشه از سیستم خارج می‌شوند (Barzin *et al.*, 2015). معمولا میزان خروج آن‌ها نسبت به میزان ورود به خاک کمتر است. این امر منجر به انباشته شدن تدریجی عناصر در خاک می‌شود و از آنجایی که فلزات سنگین در خاک و رسوبات تجمع پیدا می‌کنند، ردیاب‌های بسیار مناسبی برای نمایش میزان آلودگی محیطی هستند (Karimi and Gassempooshirazi, 2012). ذرات دانه ریز بویژه رس‌ها با توجه به ساختار فیزیکی و ترکیب شیمیایی خاص خود می‌توانند جذب کننده عناصر، به خصوص عناصر سنگین باشند(Darvishi khatooni, 2016). اطلاع از شکل فلزات سنگین موجود در خاک و نیز مقدار آنها می‌تواند به اتخاذ یک تصمیم مدیریتی مناسب برای کاهش فلزهای سنگین در خاک کمک کند(Yari *et al.*, 2016). تالاب‌ها دارای اهمیت استراتژیکی و ارزش زیستگاهی فوق‌العاده‌ای هستند. از نظر جوامع گیاهی و جانوری دارای تنوع بسیار زیادی هستند و محل زندگی گونه‌های آسیب پذیر و در خطر انقراض می‌باشند(Moosavi *et al.*, 2018). کمبود رطوبت خاک و از بین رفتن پوشش گیاهی باعث شده است تا خاک تالاب هورالعظیم درمعرض وزش مستقیم باد قرارگرفته و از پتانسیل فرسایش پذیری بالایی برخوردار گردد(Mirian *et al.*, 2014).

Sabzalizadeh and Naseri (2011) مطالعه‌ای به منظور تعیین غلظت عناصر سنگین تالاب رفیع در استان خوزستان انجام

* نویسنده مسئول: m_ansari@asnrukh.ac.ir

دادند. فاکتور آلودگی برای هر عنصر(Cf) و در مجموع درجه آلودگی برای هر ایستگاه(Cd) تعیین شد. با توجه به نتایج تحقیق، فاکتور آلودگی برای عناصر مختلف از روند زیر برخوردار بوده است: Cu> Cr> Pb> Cd> Ni. کیفیت رسوبات از نظر میزان عناصر سنگین در کلاس آلودگی صفر(غیرآلوده) قرار گرفت. غلظت‌های اندازه‌گیری شده با شاخص ژئوشیمیایی مولر با استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا و کانادا مقایسه گردیدند. عنصر مس در همه ایستگاه‌ها بیش از استاندارد کانادا بوده است. سایر عناصر پائین تر از سطوح تعیین شده برای رسوبات بودند. Saberinasab and Mortazavi (2017) در تحقیقی به بررسی و ارزیابی آلودگی میزان سرب، روی، مس و نیکل در رسوبات تالاب میقان اراک پرداختند. در این پژوهش از شاخص‌های ضریب آلودگی، شاخص ژئوشیمیایی مولر و شدت آلودگی استفاده شد. نتایج نشان دهنده غلظت بالایی از فلزات مس و نیکل نسبت به عناصر روی و سرب در رسوبات منطقه مورد مطالعه بود. آنها بالا بودن میزان غلظت کل عناصر سنگین در تالاب را به منابع انسانی و طبیعی نسبت دادند که از جمله‌ی آنها می‌توان به عواملی همچون استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی به ویژه کودهای میکرو و گرانوله، کاربرد سموم و کود بی‌کیفیت، ورود زه‌آب‌های اراضی زراعی به تالاب و بالا بودن بار مواد آلی اشاره کرد. Panahpour *et al.* (2018) پژوهشی در خاک سطحی شهر صنعتی ماهشهر انجام دادند. نتایج بیانگر این بود که بالاترین مقادیر شاخص آلودگی مربوط به عناصر کروم و نیکل است که در سطح آلودگی شدید قرار دارند. بسیاری از خاک‌های شهری در بندر ماهشهر با سطوح کم یا متوسط به سرب، روی و مس آلوده بودند. همچنین عناصر سرب، روی و مس، عناصری با منشأ انسان‌زاد گزارش شدند. Al-Heydari *et al.* (2010) شاخص ژئوشیمیایی مولر را در ۱۰ ایستگاه از رسوبات تالاب هورالعظیم عراق محاسبه کرد. آلودگی رسوبات با بررسی تجمع شش عنصر سنگین(آرسنیک، کادمیم، کروم، کبالت، مس و سرب) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که رسوبات تالاب به میزان متفاوت کم تا زیاد به عناصر سنگین آلوده هستند. همچنین جنوب منطقه السوده به مقدار زیاد به عنصر آرسنیک و به میزان کم به کادمیم آلوده بود. دو ایستگاه ام الورد و البیده به همه‌ی عناصر، به جز عنصر سرب، آلودگی داشتند. بقیه ایستگاه ها به آرسنیک، کادمیم،کروم و سرب آلوده بودند.

Mashaan Rabee *et al* (2011) برای نشان دادن آلودگی رسوبات رود دجله بغداد، 6 ایستگاه را مورد مطالعه قرار دادند. کادمیم با ۳-۰/۳ میکروگرم در گرم، کمترین مقدار و منگنز با 166 –426 میکروگرم در گرم، بیشترین مقدار را دارا بودند. شاخص ژئوشیمیایی مولر نشان داد که رسوبات در اکثر مناطق مورد مطالعه آلودگی کم به سرب و کادمیم دارند. همچنین هیچ کدام از ایستگاه‌ها به نیکل، مس و منگنز آلودگی نداشتند. میزان شاخص بار آلودگی بسیار کم گزارش شد که حاکی از آن بود که منطقه نسبت به عناصر سنگین آلودگی ندارد.

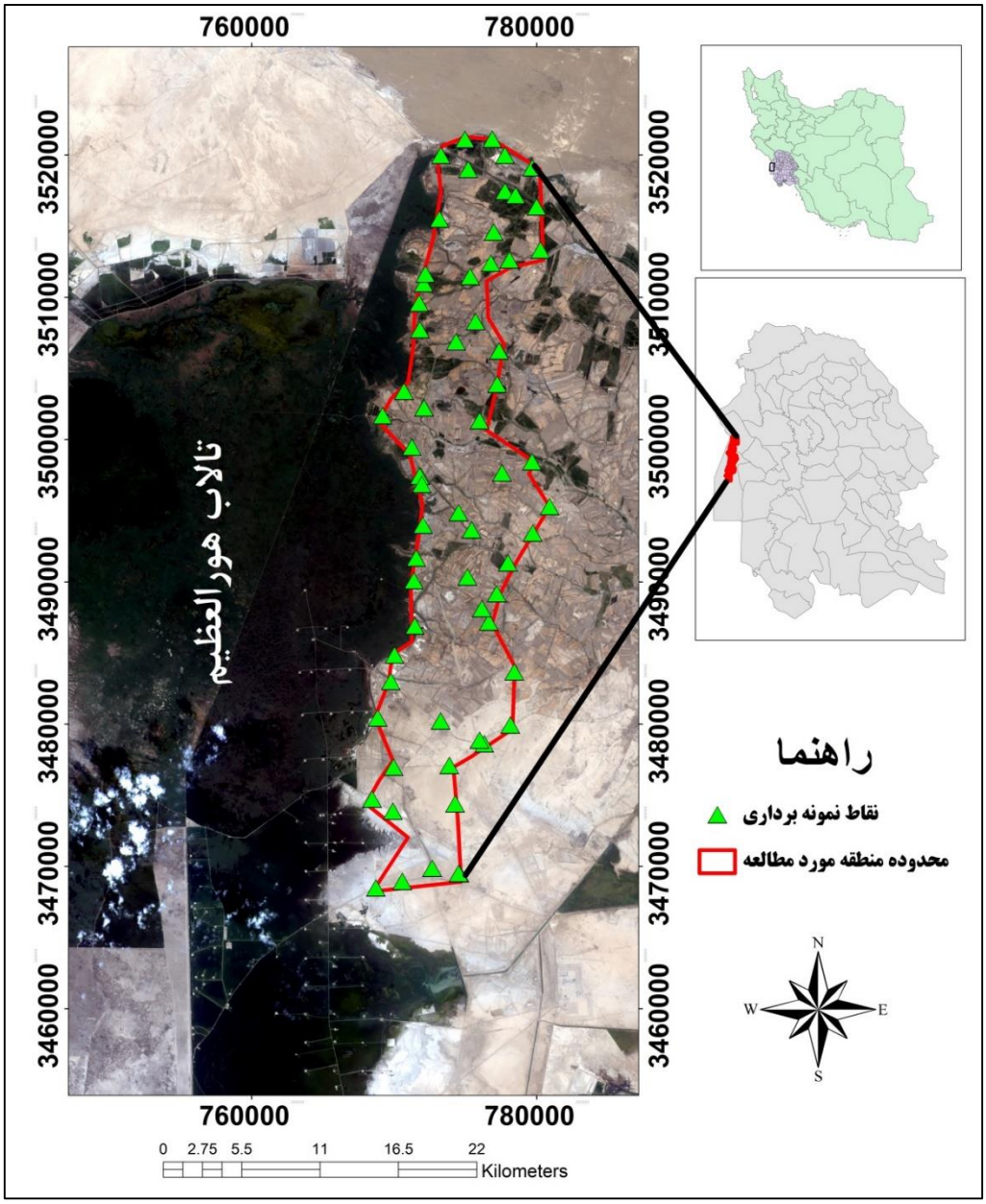
در رسوبات تالاب‌ها بخش قابل توجهی از عناصر سنگین و سمی جذب رس‌ها شده و برای مدت زیادی در سطح باقیمانده و یا در اثر باد همراه رس به هوا برخاسته و بر شدت آلودگی هوا نیز می‌افزاید. تنفس گرد و غبار حاوی عناصر سنگینی همچون سرب و کادمیوم، موجب بروز بیماری‌های خطرناکی از جمله انواع سرطان، بیماری‌های قلبی، عروقی و تنفسی می‌شود (Shabani and Ezzatian, 2012). به عبارت دیگر این عناصر به شدت بر سلامت انسان تاثیرگذار هستند که دلیلی بر انجام این مطالعه در تالاب هورالعظیم می‌باشد. در این پژوهش میزان آلودگی رسوبات تالاب به فلزات سنگین و همچنین منشا ورود این عناصر(زمین‌زاد یا انسان‌زاد بودن) تعیین گردید.

مواد و روش

تالاب هورالعظیم در جنوب شرق عراق و جنوب غرب ایران قرار دارد. این تالاب در محدوده استان‌های میسان (شهر العماره) و بصره در عراق و در محدوده استان خوزستان در غرب شهرهای هویزه، رفیع و بستان در ایران واقع شده است. طول جغرافیایی ۲۵َ ۴۷ الی ۵۰َ ۴۷ و عرض جغرافیایی آنَ ۰۰ ۳۱ الی ۴۵َ ۳۱ می‌باشد. هورالعظیم در شرایط عادی دارای مساحتی در حدود ۳۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد که در مواقع سیلابی بالغ بر ۵۰۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شود(UNEP, 2001). از این مساحت دو سوم در عراق و یک سوم در ایران قرار دارد. در منابع مختلف موقعیت‌های جغرافیایی مختلفی برای هورالعظیم ارائه شده است که دلیل این امر تغییر مساحت تالاب در سال‌ها و فصل‌های مختلف می‌باشد. هورالعظیم تا قبل از سال ۱۹۷۳ تالاب از نظر تامین آب با مشکلی مواجه نبود، اما با انحراف جریان آب رودخانه‌های دجله و فرات و احداث سدهای مخزنی در بالادست آن‌ها، حدود ۷۱ درصد از مساحت آن خشک شد و این امر باعث از بین رفتن محیط زیست طبیعی تالاب گردید (Zibanchi *et al.*, 2010). همچنین آغاز فعالیت شرکت نفت در میدان نفتی آزادگان، احداث راه‌های دسترسی به تالاب برای عملیات حفاری نفتی در تالاب هورالعظیم، احداث سد کرخه و پایین آمدن دبی آب ورودی به تالاب در حال حاضر از مهم‌ترین تهدیداتی است که علاوه بر حیات وحش منطقه، امکان زندگی را برای ساکنان روستاهای اطراف تالاب نیز سلب کرده است. زه‌آب ناشی از اراضی کشاورزی

بالادست نیز املاح زیادی به تالاب وارد می‌کنند که با تبخیر شدید آب از سطح تالاب، آن را در آینده به نمکزار تبدیل خواهند کرد(Moosavi *et al.*, 2018). تالاب هورالعظیم و مناطق مجاور آن از نظر اقلیمی در منطقه گرم و خشک قرار دارند به طوری که میزان بارش اندک و میزان تبخیر و دما بسیار بالا می‌باشد. موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری شده در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.

تعداد ۶۵ نمونه به صورت تصادفی و مرکب از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری رسوبات برداشت شد که محل دقیق نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه GPS مشخص گردید (جدول ۱). به دلیل تغییرات جانبی زیاد رسوبات در محیط مورد مطالعه، نمونه‌برداری از یک نقطه، ممکن است با خطاهایی همراه باشد. برای رفع این مشکل، نمونه‌برداری به صورت مرکب انجام شد. در این نمونه‌برداری، برای حصول نتایج دقیق‌تر، تعداد ۳ نمونه در فواصل نزدیک به هم از یک نقطه، اخذ شده و هر سه نمونه باهم ترکیب شدند. در نتیجه، نمونه مرکبِ حاصل، نماینده میانگین نمونه‌های نقطه مورد بررسی می‌باشد. جهت آماده‌سازی، نمونه‌های رسوب برداشت شده خشک و سپس از الک۲ میلی‌متر عبور داده شدند. دو گرم خاک توسط مخلوط سه به یک از اسید کلریدریک و اسید نیتریک هضم شد و نمونه‌های هضم شده بوسیله دستگاه جذب اتم جهت اندازه‌گیری غلظت کل فلزات سنگین شامل سرب(Pb)، مس(Cu)، آهن(Fe)، روی(Zn)، منگنز(Mn)، کادمیم(Cd)، کروم(Cr) و نیکل(Ni) مورد آزمایش قرار گرفتند(Quevauviller, 1998).



شکل ۱- موقعیت منطقه و نقاط نمونه‌برداری شده

پ-هاش در نمونه‌ها به روش قرائت در عصاره گل اشباع(Rhoades, 1996)، درصد رس به روش هیدرومتری بایکوس(1962) و مواد آلی با استفاده از روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شده‌اند. در این پژوهش به منظور تعیین همبستگی میان غلظت عناصر و برخی از ویژگی‌های خاک، از روش همبستگی پیرسون استفاده شد. تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین عناصر مختلف و خصوصیات خاک می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست محیطی کمک کند. استفاده از شاخص‌های آلودگی، یکی از روش‌های معمول برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک به عناصر سنگین می‌باشد. در این مطالعه شاخص‌های ژئوشیمیایی مولر، ضریب غنی‌شدگی، شاخص بار آلودگی و ضریب آلودگی مدنظر قرار گرفت.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری شده

N	X(UTM)	Y(UTM)	N	X(UTM)	Y(UTM)	N	X(UTM)	Y(UTM)	N	X(UTM)	Y(UTM)
۱	۷۷۷۷۶۲	۳۵۱۹۹۸۵	۱۸	۷۷۴۲۷۲	۳۴۷۴۳۸۸	۳۵	۷۷۶۹۸۲	۳۵۱۴۵۹۱	۵۲	۷۷۷۵۶۳	۳۴۹۷۶۵۱
۲	۷۷۶۸۷۵	۳۵۲۱۱۱۷	۱۹	۷۷۴۵۱۷	۳۴۶۹۴۸۷	۳۶	۷۷۸۰۷۹	۳۵۱۲۶۲۹	۵۳	۷۷۱۹۳۴	۳۴۹۶۸۵۷
۳	۷۷۵۱۸۱	۳۵۱۹۰۰۰	۲۰	۷۶۹۷۶۵	۳۴۸۲۹۹۱	۳۷	۷۷۵۷۱۲	۳۵۰۸۳۰۲	۵۴	۷۷۲۰۱۴	۳۴۹۳۹۸۷
۴	۷۷۷۷۶۱	۳۵۱۷۴۶۰	۲۱	۷۷۸۱۵۰	۳۴۷۹۹۳۱	۳۸	۷۷۴۳۳۶	۳۵۰۶۸۷۵	۵۵	۷۷۱۵۳۶	۳۴۹۱۶۶۸
۵	۷۷۸۵۰۹	۳۵۱۷۱۶۶	۲۲	۷۷۳۲۵۷	۳۴۸۰۲۰۶	۳۹	۷۷۲۰۸۳	۳۵۰۲۲۳۴	۵۶	۷۷۱۳۷۷	۳۴۹۰۰۷۷
۶	۷۷۹۹۸۲	۳۵۱۶۳۷۱	۲۳	۷۷۳۸۶۵	۳۴۷۷۰۸۱	۴۰	۷۷۲۰۸۰	۳۵۰۲۲۲۸	۵۷	۷۷۱۴۳۹	۳۴۸۶۸۹۴
۷	۷۸۰۲۵۲	۳۵۱۳۳۳۲	۲۴	۷۶۹۹۵۵	۳۴۷۶۹۶۷	۴۱	۷۷۰۶۷۵	۳۵۰۳۴۰۰	۵۸	۷۷۰۰۱۵	۳۴۸۴۸۵۳
۸	۷۷۶۷۷۰	۳۵۱۲۳۹۹	۲۵	۷۷۸۴۲۳	۳۴۸۳۶۶۶	۴۲	۷۶۹۱۸۰	۳۵۰۱۶۷۸	۵۹	۷۷۴۵۷۳	۳۴۶۹۴۷۳
۹	۷۷۵۳۲۴	۳۵۱۱۴۵۷	۲۶	۷۷۶۶۳۶	۳۴۸۷۱۷۳	۴۳	۷۷۱۲۳۵	۳۴۹۹۴۶۹	۶۰	۷۷۰۵۶۴	۳۴۶۸۹۳۴
۱۰	۷۷۲۰۶۱	۳۵۱۰۹۷۰	۲۷	۷۷۶۱۴۹	۳۴۸۸۱۰۹	۴۴	۷۷۱۸۵۰	۳۴۹۷۴۳۸	۶۱	۷۶۸۷۰۸	۳۴۶۸۴۷۰
۱۱	۷۷۲۱۸۶	۳۵۱۱۶۴۵	۲۸	۷۷۷۱۹۶	۳۴۸۹۱۶۳	۴۵	۷۷۱۷۸۷	۳۴۹۷۴۳۰	۶۲	۷۷۲۶۵۲	۳۴۶۹۸۵۸
۱۲	۷۷۳۱۶۲	۳۵۱۵۴۹۷	۲۹	۷۷۵۱۳۱	۳۴۹۰۳۳۶	۴۶	۷۷۵۹۹۰	۳۵۰۱۳۲۷	۶۳	۷۶۸۸۴۰	۳۴۸۰۴۲۷
۱۳	۷۷۳۲۶۷	۳۵۱۹۹۸۲	۳۰	۷۷۷۹۸۶	۳۴۹۱۳۲۱	۴۷	۷۷۷۲۲۵	۳۵۰۳۸۸۸	۶۴	۷۶۸۴۳۹	۳۴۷۴۷۲۴
۱۴	۷۷۴۹۵۳	۳۵۲۱۱۰۶	۳۱	۷۷۹۷۲۰	۳۴۹۳۴۲۱	۴۸	۷۷۷۳۵۷	۳۵۰۶۲۲۲	۶۵	۷۶۹۸۹۷	۳۴۷۳۸۶۷
۱۵	۷۷۹۶۷۹	۳۵۱۹۱۰۶	۳۱	۷۸۰۹۰۷	۳۴۹۵۲۹۰	۴۹	۷۷۱۷۹۳	۳۵۰۷۷۳۲			
۱۶	۷۷۶۳۱۶	۳۴۷۸۶۰۷	۳۳	۷۷۵۴۲۶	۳۴۹۳۶۴۸	۵۰	۷۷۱۷۴۴	۳۵۰۹۵۹۳			
۱۷	۷۷۵۹۸۷	۳۴۷۸۸۶۰	۳۴	۷۷۴۵۱۰	۳۴۹۴۸۵۷	۵۱	۷۷۹۶۶۶	۳۴۹۸۴۴۴			

شاخص‌های آلودگی

الف) شاخص ژئوشیمیایی مولر(I_{geo})

این شاخص اولین بار توسط مولر در سال ۱۹۷۹ بیان گردید که برای اندازه‌گیری و تعریف سطح آلودگی رسوبات از طریق مقایسه غلظت کنونی عنصر با میزان آن، قبل از ورود فعالیت‌های صنعتی به منطقه، محاسبه می‌گردد (Karimi and Gassempoorshirazi, 2012). شاخص مولر از رابطه‌ی شماره‌ی۱ بدست می‌آید.

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{Cn}{1.5Bn}\right] \quad \text{(رابطه ۱)}$$

C_n= غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه خاک یا رسوب، B_n= غلظت عنصر مورد مطالعه در مقدار زمینه (متوسط شیل جهانی) و ضریب ۱/۵ برای حذف تاثیر سنگ‌شناسی است. طبقه‌بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر در جدول (۲) آورده شده است (Sabzalizadeh and Naseri, 2011).

جدول ۲- طبقه‌بندی کیفیت رسوبات موردمطالعه بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر

وضعیت آلودگی	درجه آلودگی	مقادیر
غیر آلوده	۰	<۰
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۱-۰
آلودگی متوسط	۲	۲-۱
آلودگی متوسط تا زیاد	۳	۳-۲
الودگی زیاد	۴	۴-۳
آلودگی زیاد تا به شدت آلوده	۵	۵-۴
به شدت آلوده	۶	>۵

ب) ضریب غنی‌شدگی(EF):

ضریب غنی‌شدگی یک عنصر خاص در یک نمونه معین عبارت است از نسبت غلظت آن عنصر در آن نمونه به غلظت زمینه همان عنصر در جامعه‌ای که نمونه مربوطه متعلق به آن است. این ضریب

از رابطه‌ی شماره‌ی ۲ به دست می‌آید (Al-Heydari *et al.*, 2010).

$$EF = \frac{[C_x/C_{ref}]_{Sample}}{[C_x/C_{ref}]_{Background}}$$ (رابطه ۲)

EF= ضریب غنی‌شدگی، C_x= غلظت عنصر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های رسوب، C_{ref}= غلظت عنصر مرجع است. C_x(background) و C_{ref} (background)نیز به ترتیب غلظت فلز در نمونه مرجع و غلظت عنصر مرجع را نشان می‌دهد. اساس این روش بر مبنای مقایسه غلظت فلز مورد نظر در نمونه‌ها با غلظت همان فلز در ناحیه غیرآلوده است. این غلظت‌ها بر اساس غلظت عنصر مرجع که می‌تواند آلومینیوم یا آهن باشد، نرمال می‌شوند. طبقه بندی فاکتور غنی‌شدگی در جدول (۳) آورده شده است (Chen *et al.*, 2007).

جدول ۳- طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی

کلاس شدت غنی‌شدگی	میزان فاکتور غنی‌شدگی
بدون غنی‌شدگی	کمتر از یک
اندک	بین۱ تا ۳
متوسط	بین ۳ تا ۵
نسبتا شدید	بین ۵ تا ۱۰
شدید	بین ۱۰ تا ۲۵
خیلی شدید	بین ۲۵ تا ۵۰
بی‌نهایت شدید	بیشتر از ۵۰

با استفاده از این ضریب می‌توان منشا ورود عناصر(انسان‌زاد یا زمین زاد) را نیز مشخص نمود. فاکتور غنی‌شدگی نشان می‌دهد که غلظت یک عنصر نسبت به مقدار طبیعی آن در پوسته، سنگ بستر و خاک چه میزان افزایش داشته است. به عبارت دیگر این ضریب بیانگر شدت تاثیر عوامل خارجی و انسان‌زاد است(Karimi and Gassempooshirazi, 2012).

Zhang and Leo(2002) مقدار۱/۵ را به عنوان حد بحرانی برای فاکتور غنی‌شدگی پیشنهاد کردند. بدین صورت که اگر فاکتور غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۱/۵ باشد، این عناصر از پوسته و در نتیجه هوازدگی به رسوب وارد شده‌اند و زمین‌زاد هستند. هنگامی که فاکتور غنی‌شدگی از۱/۵ بالاتر باشد، بخش عمده‌ای از فلزات سنگین از منابعی غیر از پوسته و در نتیجه فعالیت‌های انسان‌زاد وارد رسوب شده‌اند (Karimi and Gassempooshirazi, 2012).

ج) ضریب آلودگی(C_f):

به منظور بیان آلودگی محیط به یک عنصر خاص می‌توان از ضریب آلودگی (رابطه‌ی شماره‌ی ۳) استفاده کرد (Sarikhani *et al.*, 2017).

$$C_f = \frac{C_0}{C_n}$$ (رابطه ۳)

C_f= ضریب آلودگی، C_0= غلظت فلز در نمونه مورد بررسی، C_n =غلظت فلز در شیل میانگین به عنوان مرجع می‌باشد. بر اساس این فاکتور می‌توان غلظت فلزات را نسبت به غلظت زمینه خود سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد. دامنه و شدت ضریب آلودگی در جدول (۴) نشان داده شده است (Hakanson, 1980).

جدول ۴- طبقه‌بندی ضریب آلودگی

دامنه تغییرات ضریب آلودگی	شدت آلودگی
کمتر از ۱	آلودگی کم
بین ۱ تا ۳	آلودگی متوسط
بین ۳ تا ۶	آلودگی زیاد
بزرگتر از ۶	آلودگی خیلی زیاد

د) شاخص بار آلودگی (PLI):

شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترهایی است که برای ارزیابی و تخمین شدت آلودگی استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی هم زمان وضعیت کلی آلودگی خاک به تمامی عناصر آلاینده اندازه گیری شده، اقدام به محاسبه شاخص بار آلودگی می‌شود(Bagheri *et al.*, 2018). شاخص بار آلودگی برای مجموعه ای از عناصر آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت تمامی فلزات مورد نظر(رابطه‌ی شماره‌ی ۴) محاسبه می‌شود(AL-Sabah, 2013).

$$PLI = \frac{(C_{f1} * C_{f2} * C_{f3} * \ldots * C_{f3})}{n}$$ (رابطه ۴)

C_f = ضریب آلودگی و n تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه می‌باشد.

درصورتی که این شاخص به عدد یک نزدیک باشد نشان دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه و غلظت بالاتر از یک آلودگی خاک را نشان می‌دهد(Mashaan Rabee *et al.*, 2011).

نتایج و بحث

آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۵) نشان داده شده است. غلظت عناصر برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم می باشد. آهن به صورت درصد بیان شده است.

جدول ۵- آمار توصیفی عناصرسنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	منگنز	آهن	کروم	نیکل	کادمیم	روی	مس	سرب	ماده آلی	میزان رس	پ-هاش
حداقل	۱۴۹/۱	۰/۲۵	۹/۳۹	۵/۶۰	۱/۰۱	۱۸/۲۲	۲/۰۳	۷/۷۰	۰/۸۶	۶/۰۰	۶/۷۰
حداکثر	۶۹۸	۳/۱	۱۲۱/۷۵	۱۲۶/۸۰	۲۰/۷۰	۶۹/۵۰	۳۶/۲۷	۳۷/۱۰	۷/۵۹	۵۰/۰	۷/۶۳
میانگین	۴۲۶/۷۵	۱/۵۶	۸۴/۹۸	۷۵/۳۹	۲/۱۵	۴۴/۱۷	۱۹/۰۷	۱۴/۸۳	۳/۰۹۱	۲۰/۹۶	۷/۱۹
واریانس	۹۷۷۷/۶۹	۰/۳۱۳	۴۹۷	۵۵۱	۶/۱۹	۱۰۳/۴۸	۲۹/۷۶	۱۵/۸۴	۱/۷۸	۱۱۱/۰۹	۰/۰۴۵
تعداد	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵
محدوده طبیعی در خاک*	۲۰-۱۰۰۰۰	۷-۰/۵۵	۵-۱۵۰۰	۲-۱۰۰۰	۰۱-۰/۲۴	۳۰۰ -۱۰	۲۵۰- ۲	۲-۳۰۰	-	-	-
مقدار معمول*	۱۰۰۰	۴۰	۷۰	۵۰	۰/۳۵	۹۰	۳۰	۳۵	-	-	-

* (Bowen, 1979)

تشخیص ارتباط و همبستگی متقابل بین غلظت عناصر مختلف می‌تواند در ارزیابی دقیق‌تر اثرات زیست محیطی کمک کند. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول۶- بررسی همبستگی(ضریب پیرسون) بین عناصر موردمطالعه و برخی خصوصیات خاک

	ماده آلی	درصدرس	پ-هاش	منگنز	آهن	کروم	نیکل	کادمیم	روی	مس	سرب
سرب	-۰/۰۰۵	۰/۲۵۹*	۰/۱۹۱	۰/۲۶۶*	۰/۳۲۴**	۰/۳۳۵**	۰/۳۱۳*	۰/۱۵۱	۰/۳۷۴**	۰/۱۳۸	۱
مس	۰/۱۴۴	۰/۲۷۵*	۰/۰۰۶	۰/۲۹۴*	۰/۳۸۴**	۰/۳۹۷**	۰/۱۲۷	۰/۰۴۴	۰/۴۸۳**	۱	
روی	۰/۱۱۶	۰/۶۵۶**	۰/۳۰۶*	۰/۵۴۸**	۰/۵۳۸**	۰/۸۲۸**	۰/۶۶۸**	-۰/۰۷۱	۱		
کادمیم	-۰/۰۷۹	-۰/۰۳۷	-۰/۲۷۷*	۰/۰۵۱	۰/۰۳۸	۰/۰۳۰	۰/۰۳۳	۱			
نیکل	۰/۰۴۳	۰/۳۵۲**	۰/۲۹۲*	۰/۶۰۲**	۰/۵۷۳**	۰/۷۰۰**	۱				
کروم	۰/۰۵۸	۰/۵۲۴**	۰/۲۶۷*	۰/۷۵۰**	۰/۷۱۴**	۱					
آهن	۰/۰۵۷	۰/۴۰۲**	۰/۲۵۳*	۰/۸۰۷**	۱						
منگنز	-۰/۰۹۴	۰/۳۸۷**	۰/۲۹۳*	۱							
پ-هاش	۰/۰۳۲	۰/۱۶۹	۱								
درصدرس	۰/۱۸۰	۱									
ماده آلی	۱										

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین همبستگی مثبت به ترتیب میان عناصر کروم و روی و عناصر منگنز و آهن می‌باشد. همبستگی بالا میان عناصر در منطقه ممکن است نشان‌دهنده آلودگی خاک به عناصر به عنوان یکی از نتایج فعالیت‌های صنعتی طولانی مدت در ناحیه موردمطالعه باشد(Zhang *et al*., 2007). همچنین مقادیر بالای ضریب همبستگی بین فلزات سنگین، بیانگر یکسان بودن منبع انتشار این عناصر و ناشی از ورود این عناصر از طریق منابع مشترک مانند ورود از طریق فعالیت‌های کشاورزی، از طریق اتمسفر یا از طریق مواد مادری می‌باشد (Khodakarami *et al*., 2014).

پ-هاش با عناصر روی، نیکل، کروم و آهن همبستگی مثبت معنی‌دار دارد. علت همبستگی مثبت میان پ-هاش و عناصر ذکر شده را می‌توان به این دلیل دانست که در پ-هاش‌های بالا حداکثر رسوب فلزات در خاک اتفاق افتاده که به مرور زمان باعث تجمع و بروز اثرات آلودگی به علت ارتباط مستقیم مقدار کل فلز در خاک و مقدار قابل جذب آن می‌گردد. به عبارت دیگر افزایش پ-هاش ظرفیت نگهداشت کاتیونی فلزات سنگین در سطوح خاک را از طریق جذب سطحی یا رسوب افزایش می‌دهد(McBride and Spiers, 2001).

درصد رس در خاک‌های موردمطالعه با عناصر سرب، مس، روی، نیکل، کروم، آهن و منگنز رابطه مثبت معنی‌دار نشان داد. میزان کانی‌های رسی به عنوان ذراتی با کارایی بالا در جذب عناصر سمی بسیار مهم هستند (Ibhadon, 2004). کانی‌های رسی می‌توانند فلزات سنگین را بر روی بارهای وابسته به پ-هاش و بارهای ثابت خود، جذب و یا این‌که این فلزات را در شبکه بلوری خود محبوس کنند. به عبارت دیگر جزء رسی رسوبات عامل مهمی در جذب و تبادل فلزات به حساب می‌آید. در حقیقت کانی‌های رسی با داشتن بار سطحی منفی و سطح واکنشی بالا

می‌توانند بسیاری از کاتیون‌های چند ظرفیتی و تک ظرفیتی را جذب کنند (Salamons and Forstner, 1984). به‌طورکلی رسوبات با درصد رس بیشتر دارای فلزات سنگین کل بیشتری می‌باشند. بنابراین می‌توان همبستگی بین این عناصر و میزان رس را به دلیل وجود فلزات سنگین به خصوص آهن و منگنز در ساختمان کانی‌های رسی نیز دانست (Arfania and Asadzadeh, 2016).

ماده آلی با هیچ کدام از عناصر رابطه معنی‌دار نشان نداد. ارتباط فلزات سنگین با ماده آلی خاک همواره پیچیده بوده و روند ثابتی ندارد (Feizi *et al*., 2012).

میزان شاخص‌های عناصر مورد مطالعه

سرب: میزان شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عنصر سرب ۰/۲۶- می‌باشد که آن را در محدوده‌ی غیرآلوده قرار می‌دهد (طبق جدول ۱). شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عنصر سرب در پژوهش Sabzalizadeh and Naseri (2011) در رسوبات تالاب رفیع خوزستان نیز غیرآلوده به دست آمده است.

ضریب غنی‌شدگی این عنصر۱/۲۶ به دست آمد که بر اساس جدول (۲)، غنی‌شدگی اندک دارد. براساس تقسیم‌بندی ژنگ و لیو این عنصر زمین‌زاد می‌باشد. ضریب آلودگی سرب ۰/۴۲ بدست آمد که با توجه به جدول (۳)، شدت آلودگی این عنصر کم است. ضریب آلودگی برای سرب در مطالعه AL-Sabah (2013) در رسوبات تالاب هورالعظیم جنوب عراق نیز کم گزارش شده است.

سرب یکی از فلزات سنگین با اهمیت و از نظر ترتیب سی و ششمین عنصر فراوان در پوسته زمین است. در مناطق شهری غلظت بالاتری از سرب نسبت به مناطق روستایی وجود دارد. این عنصر از طریق دودهای خروجی از اتومبیل‌ها، کارخانه‌ها، مخزن باطری‌ها، آفت‌کش‌ها، احتراق بنزین دارای سرب، صنعت پتروشیمی و کودهای کشاورزی به خاک وارد می‌شود (Mansuri, 2015). سرب به دلیل انباشت زیاد در بخش سطحی خاک، به راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرد و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی فرایندهای متابولیک گیاه و اختلال در رشد و نمو آن‌ها می‌شود. این عنصر پس از رها شدن به صورت ذرات معلق همراه با هوا منتقل شده و از طریق خاک جذب گیاهان می‌شود و یا مستقیماً روی برگ‌های گیاه می‌نشیند و به این ترتیب وارد زنجیره‌های غذایی خشکی می‌شود. اندازه گیری این عنصر به دلیل خاصیت تجمع آن در خاک ضرورت دارد. قسمت عمده سرب از طریق تنفس وارد بدن می‌شود (Erfanmanesh and Afuni, 2008).

مس: شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عنصر مس ۰/۰۹- بدست آمد، بنابراین طبق جدول (۱)، این عنصر غیر آلوده گزارش می‌شود. شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عنصر مس در مطالعات Elsagh and Barmaki (2014) در رسوبات ساحلی خلیج فارس نیز غیر آلوده به دست آمد. ضریب غنی‌شدگی۱/۸۷، نشان می‌دهد عنصر فوق غنی‌شدگی اندک دارد (جدول ۲). بر اساس تقسیم‌بندی ژنگ و لیو، به دلیل اینکه ضریب غنی‌شدگی بالای ۱/۵ به دست آمد، عنصر مس انسان‌زاد می‌باشد. همچنین ضریب آلودگی عنصر مس، ۰/۶۴حاصل شد که بر اساس جدول (۳) این عنصر در کلاس ضریب آلودگی کم قرار دارد. مس عنصر نسبتا متحرکی است و تغییرات کمی را در محتوای کل پروفیل خاک نشان می‌دهد. این عنصر پتانسیل سمیت بالایی دارد. ترکیبات مس در قارچ‌کش‌ها، جلبک‌کش‌ها و کودهای شیمیایی وجود دارند و استفاده مداوم از این ترکیبات در فرایندهای کشاورزی باعث حضور آن‌ها در خاک، آب‌های سطحی و چراگاه‌ها می‌شود (Mansuri, 2015) که این امر می‌تواند دلیلی بر انسان‌زاد بودن عنصر مس در منطقه مورد مطالعه باشد.

روی: عدد بدست آمده برای عنصر روی در شاخص ژئوشیمیایی مولر۰/۲۰- می‌باشد، بنابراین بر اساس جدول (۱)، در وضعیت غیرآلوده قرار دارد. ضریب غنی‌شدگی محاسبه شده‌ی عنصر روی، ۱/۴ به دست آمد. طبق جدول (۲)، شدت غنی‌شدگی آن اندک است و بر اساس تقسیم‌بندی ژنگ و لیو این عنصر منشا زمین‌زاد دارد. میزان غنی‌شدگی اندک برای عنصر روی در مطالعات Motamedi Rad *et al*. (2018) در رسوبات حوضه کارستی رویین نیز گزارش شده است. ضریب آلودگی عنصر روی ۰/۴۹ حاصل شد. طبق جدول (۳) این عنصر شدت آلودگی کم دارد. شدت آلودگی کم برای روی در مطالعه ALSabah (2013) در رسوبات تالاب هورالعظیم جنوب عراق نیز بدست آمده است.

روی بعد از آهن، آلومینیوم و مس چهارمین فلز صنعتی مورد استفاده در دنیا است. بسیاری از سنگ‌های معدنی سنگین استخراج شده حاوی ۴۰ تا ۵۰ درصد روی هستند. لاستیک خودروها، نساجی و کودهای کشاورزی از عوامل بالا رفتن میزان روی در خاک هستند.

کادمیم: عدد بدست آمده برای این عنصر در شاخص ژئوشیمیایی مولر۰/۸۴ می‌باشد. این میزان، کادمیم را در وضعیت غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌دهد. ضریب غنی‌شدگی کادمیم ۱۸/۲۹ به دست آمد، بنابراین میزان غنی‌شدگی آن بر اساس جدول (۲) شدید می‌باشد. همچنین بر اساس تقسیم بندی ژنگ و لیو این عنصر منشا انسان‌زاد دارد. میزان غنی‌شدگی شدید برای کادمیم توسط Pakzad *et al*. (2018) در نهشته‌های شیلی معادن ایرانکوه جنوب غرب اصفهان نیز گزارش شده است. ضریب

آلودگی حاصل‌شده برای این عنصر، ۶/۱۶ می‌باشد که آن را در کلاس آلودگی خیلی زیاد قرار می‌دهد.

در بین عناصر سنگین، کادمیم یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین است که در صورت تجمع زیاد در گیاه، سمیت زیادی برای انسان و دام دارد. حلالیت زیاد این عنصر در آب و تحرک آن در خاک سبب شده که امروزه به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم شناخته شود. افزایش میزان کادمیم خاک منجر به افزایش غلظت کادمیم در بافت‌های مختلف گیاهی می‌گردد. کادمیم سطحی خاک، به شدت به فعالیت‌های مختلف بشر بستگی دارد (Ardali, 2015). فتوسنتز نیز به کادمیم حساس می‌باشد (Chaffei *et al*., 2004). دامنه غلظت این عنصر در رسوبات مناطق مختلف وسیع بوده و از آنجایی که کادمیم آلاینده‌ای با منشاء انسانی است این اختلاف وسیع در غلظت، قابل انتظار است (Salomons and Forstner, 1984). کادمیم در خاک‌های اسیدی نسبت به خاک‌های آهکی از تحرک بیشتری برخوردار می‌باشد (Malakouti *et al*., 2008). احتراق سوخت فسیلی، کود فسفاته، سموم دفع آفات کشاورزی، صنایع رنگ از عوامل افزایش میزان این عنصر می‌باشند (Mansouri and Azimi, 2015).

از دیگر عوامل آلودگی خاک به کادمیم مصرف لجن فاضلاب و کودهای فسفاته در زمین‌های کشاورزی و باقیمانده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشند. اکتشافات نفتی اطراف هورالعظیم از عوامل آلودگی تالاب به این عنصر می‌باشند. همچنین با توجه به اینکه بیشتر نقاط موردمطالعه کاربری کشاورزی دارند، بالا بودن میزان کادمیم می‌تواند ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی باشد.

نیکل: شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عنصر نیکل ۰/۲۷ بدست آمد که بر اساس جدول (۱)، در وضعیت آلودگی غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. ضریب غنی‌شدگی آن ۴/۱۱ حاصل شد، بنابراین عنصر نیکل دارای شدت غنی‌شدگی متوسط (طبق جدول ۲) و بر اساس تقسیم‌بندی ژنگ و لیو این عنصر منشا انسان‌زاد دارد. ضریب آلودگی عنصر نیز ۱/۵۱ می‌باشد که نشان می‌دهد این عنصر دارای شدت آلودگی متوسط است. نتیجه پژوهش حاضر برای عنصر نیکل، در پژوهش (2011) Sabzalizadeh and Naseri در رسوبات تالاب رفیع خوزستان نیز بدست آمد.

نیکل از نظر ترتیب بیست و سومین عنصر فراوان در پوسته زمین به شمار می‌رود (Moore, 1991). غلظت این عنصر در خاک به میزان زیادی به طبیعت مواد مادری بستگی دارد (Alloway, 1995). سمیت نیکل به طور وسیعی متغیر بوده و تحت تأثیر شوری و حضور سایر یون‌ها قرار می‌گیرد (Sabzalizadeh and Naseri, 2011).

این عنصر در تمام گروه‌های خاک بسیار فراوان است ولی تراکم بیشتر آن در خاک‌های کمبی‌سول و اکسی‌سول مشاهده می‌شود (Herselman, 2005). صنایع عمل‌آوری فلز، ساخت فولاد ضد زنگ و سوخت‌های فسیلی باعث افزایش غلظت نیکل در خاک می‌گردد (Ghasemi *et al*., 2013). سوخت‌های فسیلی معمولا غنی از نیکل هستند. همچنین احتراق نفت و زغال منجر به وارد شدن مقدار زیادی از این فلز به هوا می‌گردد (Mansouri and Azimi, 2015).

ورود پساب کارخانجات به تالاب و هیدروکربن‌های نفتی می‌تواند از دلایل آلودگی تالاب به عنصر نیکل باشد. کودهای معدنی که عمدتاً کود فسفاته می‌باشند نیز منبع اصلی ورود این عنصر به خاک هستند.

کروم: شاخص ژئوشیمیایی مولر برای این عنصر ۰/۱۸ بدست آمد که نشان می‌دهد وضعیت آلودگی این عنصر در محدوده‌ی غیرآلوده تا آلودگی متوسط می‌باشد (جدول شماره ۱). شاخص ژئوشیمیایی مولر در مطالعات Al-Heydari *et al*. (2010) در رسوبات تالاب هورالعظیم عراق نیز در محدوده غیرآلوده تا آلودگی متوسط بدست آمد. ضریب غنی‌شدگی این عنصر ۳/۲۹ حاصل شد. این عدد طبق جدول (۲)، کروم را در کلاس شدت غنی‌شدگی متوسط قرار می‌دهد. همچنین بر اساس تقسیم‌بندی ژنگ و لیو عنصر کروم، انسان‌زاد می‌باشد. ضریب آلودگی عنصر نیز ۱/۲۱ بدست آمد که بر اساس جدول (۳) در کلاس آلودگی متوسط قرار می‌گیرد.

متداول‌ترین سنگ معدن کروم، کرومیت یا کروم سه ظرفیتی است. حالت پایدار کروم به صورت سه ظرفیتی است. هوازدگی، اکسیداسیون و فعالیت‌های باکتریایی باعث انحلال بیشتر کروم می‌شود. کروم بیشتر به صورت آلیاژهای کروم، حفاظت و پوشش، رنگسازی، منسوجات، سرامیک، شیشه و عکاسی کاربرد دارد. کودهای کشاورزی،شهرک‌های صنعتی، جاده‌ها، مناطق مسکونی از عوامل ورود کروم به خاک می‌باشند (Sabzalizadeh and Naseri, 2011). انسان‌ها ممکن است از طریق تنفس، خوردن یا نوشیدن و یا از طریق تماس پوستی با کروم یا ترکیبات حاوی کروم در معرض آلودگی این فلز قرار بگیرند(Katz and Salem, 1992). استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند یکی از دلایل بالا رفتن میزان کروم و آلوده‌شدن تالاب به این عنصر باشد. اکتشافات نفتی در نزدیکی آن نیز از عوامل افزایش دهنده میزان کروم در رسوبات تالاب هورالعظیم به حساب می‌آیند.

آهن: شاخص ژئوشیمیایی مولر بدست آمده برای این عنصر ۰/۳۲- می‌باشد. بنابراین بر اساس جدول (۱)، از نظر وضعیت

آلودگی غیرآلوده گزارش می‌شود. شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عنصر آهن، در تحقیقات Motamedi Rad *et al.* (2018)، در رسوبات حوضه کارستی رویین (شمال شهرستان اسفراین) نیز غیرآلوده بدست آمده است. ضریب غنی‌شدگی آهن عدد ۱ بدست آمد که بر اساس جدول (۲)، این عنصر در کلاس غنی‌شدگی اندک قرار می‌گیرد و طبق تقسیم‌بندی ژنگ و لیو دارای منشا طبیعی می‌باشد. در پژوهش Javan Siamardi *et al.* (2014) در خاک‌های کشاورزی سیستان و همچنین مطالعه Motamedi Rad *et al.* (2018) در رسوبات حوضه کارستی رویین اسفراین میزان غنی‌شدگی آهن اندک گزارش شده است. ضریب آلودگی آهن ۰/۳۹ است که نشان می‌دهد این عنصر آلودگی کم دارد. در مطالعه AL-Sabah (2013) در رسوبات تالاب هورالعظیم جنوب عراق نیز نتیجه مشابه بدست آمد.

آهن چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است. این عنصر در اغلب رس‌ها، ماسه سنگ‌ها و گرانیت‌ها وجود دارد. آهن از طریق نشت از محل دفن زباله‌ها، زهکشی معادن اسیدی، فاضلاب، صنایع اتومبیل، ساختمان، کانتینرها، بسته‌بندی، کشتیرانی، ماشین‌آلات و تجهیزات صنعتی، حمل و نقل ریلی، صنایع نفت و گاز، تجهیزات الکتریکی، تجهیزات و وسایل آشپزخانه وارد محیط زیست می‌شود (Moosavi, 2016).

منگنز: عدد بدست آمده برای این عنصر در شاخص ژئو شیمیایی مولر ۰/۲۶- است که بر اساس جدول (۱) غیر آلوده می‌باشد. ضریب غنی‌شدگی منگنز در این مطالعه ۱/۱۸ حاصل شد. طبق جدول (۲) این عنصر شدت غنی‌شدگی اندک دارد. عنصر منگنز منشا طبیعی و زمین‌زاد دارد (تقسیم‌بندی ژنگ و لیو). همچنین ضریب آلودگی عنصر، ۰/۴۳ بدست آمد. این عدد بر اساس جدول (۳)، آن را محدوده‌ی آلودگی کم قرار می‌دهد. در نتایج پژوهش Timory *et al.* (2012) در رسوبات رودخانه گرگانرود ضریب آلودگی کم برای منگنز گزارش شده است.

منگنز از نظر فراوانی، دوازدهمین عنصر فراوان در پوسته زمین است. مقدار منگنز در ترکیب پوسته جامد زمین یک درصد می‌باشد. عنصر منگنز رفتاری مشابه با عناصری مانند آهن، آلومنیوم و غیره دارد. بهره‌برداری از معادن، کشاورزی، شیشه‌سازی، چرم‌سازی و کودهای شیمیایی از عوامل انتشار این عنصر به محیط می‌باشند (Mansuri and Azimi, 2015).

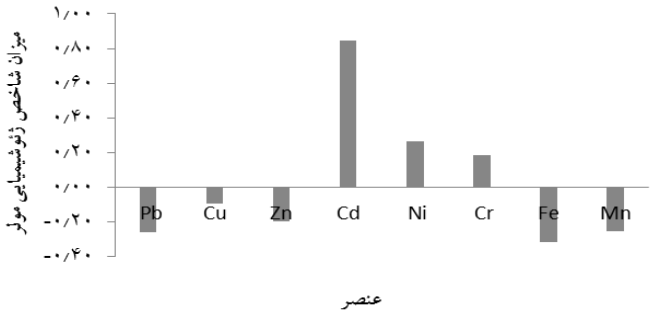
شاخص بار آلودگی (PLI):

درصورتی که این شاخص به عدد یک نزدیک باشد، نشان دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه و غلظت بالاتر از یک، آلودگی خاک را نشان می‌دهد. میانگین شاخص بار آلودگی رسوبات منطقه ۰/۰۵۹۹ می‌باشد. از آنجایی شاخص بار آلودگی در همه نقاط کمتر از یک به دست آمد، بنابراین رسوبات غیرآلوده هستند. Zamani (2017) طی تحقیقی مشابه با پژوهش حاضر میزان بار آلودگی در رسوبات سطحی تالاب چغاخور واقع در ۶۱ کیلومتری شهرکرد را کمتر از یک بدست آورد و رسوبات تالاب را غیرآلوده گزارش کرد. همچنین آلودگی رسوبات تالاب امیر کلایه در ۱۲ کیلومتری شهرستان لنگرود استان گیلان، طی مطالعه Sajady Zare Khosh Eghbal and Nasab (2015) کمتر از یک و غیرآلوده گزارش شد.

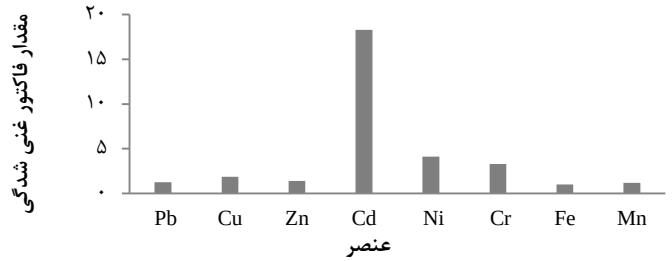
مقایسه مقادیر شاخص‌ها:

مقایسه مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عناصر مورد مطالعه در شکل (۲)، مقایسه مقادیر فاکتور غنی‌شدگی عناصر در شکل (۳) و مقایسه ضریب آلودگی عناصر مورد بحث در شکل (۴) نشان داده شده است. روند مقادیر شاخص‌ها یکسان و به صورت زیر می‌باشد: کادمیم> نیکل> کروم> مس> روی> سرب> منگنز> آهن. همانگونه که در شکل‌ها مشاهده می‌شود در هر سه شاخص ژئوشیمیایی مولر، ضریب غنی‌شدگی و ضریب آلودگی، عنصر کادمیم بالاترین میزان را دارد. کادمیم به دلیل کاربردهای وسیع و مختلف در صنایع و فعالیت‌های انسانی از مهم‌ترین منابع آلودگی با منشاء انسانی به شمار می‌رود. در پژوهش حاضر این عنصر دارای غنی‌شدگی بالاتر از حد بحرانی می‌باشد که نشان‌دهنده تاثیر فعالیت‌های انسان‌زاد است. از دلایل بالا بودن میزان کادمیم در این منطقه می‌توان به استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی اشاره کرد.

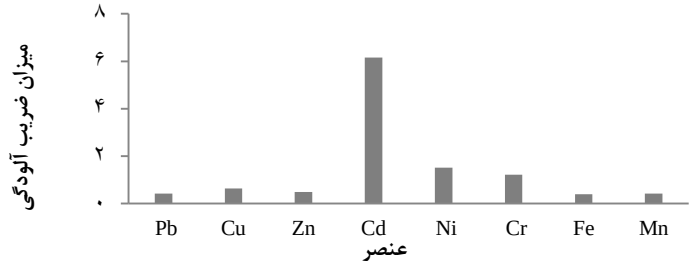
منطقه، نسبت به عناصر نیکل و کروم نیز آلودگی متوسط نشان داد. از دلایل افزایش نیکل در خاک‌های مورد مطالعه سوخت‌های فسیلی می‌باشند. سوخت‌های فسیلی غنی از نیکل هستند و سوختن آن‌ها مقادیر زیادی از نیکل را به اتمسفر وارد می‌سازد. نیکل شدیداً جذب سطحی رسوبات می‌گردد. این عنصر از طریق زایدات و پساب‌های صنعتی وارد محیط می‌شود. همچنین استفاده از آفت‌کش‌ها و سموم حاوی فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی نیز از عوامل بالابودن این فلز در خاک‌های منطقه می‌باشند. وجود کارخانجات در اطراف تالاب هورالعظیم و نیز ورود پساب آنها به تالاب به همراه وجود هیدروکربن‌های نفتی و همچنین ورود فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی می‌تواند دلیل آلوده شدن تالاب به عنصر کروم باشد.



شکل ۲- مقادیر شاخص ژئوشیمیایی مولر برای عناصر مورد مطالعه



شکل ۳- مقادیر فاکتور غنی شدگی عناصر مورد مطالعه



شکل ۴- ضریب آلودگی عناصر مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

بر اساس شاخص ژئوشیمیایی مولر عناصر سرب، مس، روی، آهن، منگنز در محدوده غیر آلوده و عناصر کادمیم، نیکل و کروم در محدوده غیرآلوده تا آلودگی متوسط قرار گرفتند. همچنین طبق فاکتور غنی‌شدگی، کلاس غنی‌شدگی عناصر سرب، مس، روی، آهن و منگنز، اندک، کلاس غنی‌شدگی عناصر نیکل و کروم، متوسط و کلاس غنی‌شدگی عنصر کادمیم شدید می‌باشد. ضریب آلودگی برای عناصر سرب، مس، روی، آهن و منگنز کم، برای عناصر کروم و نیکل متوسط و برای کادمیم بالا بدست آمد. روند مقادیر شاخص‌های بررسی شده یکسان و به صورت نشان داده شده می‌باشد: کادمیم> نیکل> کروم> مس> روی> سرب> منگنز> آهن. شاخص بار آلودگی نیز رسوبات منطقه مورد مطالعه را، غیر آلوده نشان داد. عنصر کادمیم ضریب آلودگی بالا داشته و همچنین انسان‌زاد است. از عوامل آلودگی خاک به کادمیم مصرف کودهای فسفاته در زمین‌های کشاورزی و باقیمانده‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی می‌باشند که با توجه به اینکه بیشتر این نقاط کاربری کشاورزی دارند می‌تواند ناشی از استفاده از کودهای شیمیایی باشد. منطقه، نسبت به عناصر نیکل و کروم نیز آلودگی متوسط نشان داد. به کار بردن کودهای شیمیایی، ورود پساب کارخانجات به تالاب و هیدروکربن‌های نفتی می‌توانند دلیل آلودگی تالاب به این عناصر سنگین باشد. ورود زه آب مناطق جنگی به رودخانه کرخه و در نهایت به هورالعظیم از دیگر عوامل آلودگی این مناطق به عناصر سنگین می‌باشد. جذب عناصر سنگین توسط گیاهان کشت شده در این مناطق موجب آلودگی محصولات کشاورزی شده و در نتیجه ورود آن‌ها به بدن انسان از طریق زنجیره غذایی، موجب بر جا گذاشتن اثرات سوء در بدن انسان می‌شود. بنابراین در مناطقی که احتمال آلودگی خاک به عناصر سنگین وجود دارد باید راهکارهای مناسب برای کنترل آلودگی در این مناطق و ممانعت از پیشرفت آن اتخاذ شود. از جمله این راهکارها تشویق کشاورزان به استفاده از کود بیولوژیک به جای کودهای شیمیایی رایج می‌باشد. همچنین سبزیجات و محصولاتی که دارای پتانسیل تجمع فلزات سنگین هستند، در منطقه کشت نشود. پیشنهاد می‌شود مطالعات وسیع‌تری در منطقه با استفاده از طیف عناصر بیشتر جهت حصول نتایج دقیق‌تر صورت گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Al-Heydari, M. J., Hassan, F., Alkubaisey, A. and Douabul, A. (2010). The Geoaccumulation Index of Some Heavy Metals in Al-Hawizeh Marsh, Iraq. *Journal of Chemistry*, 7(1), 157-162.

Alloway, B.J. (1995). Heavy Metals in Soils. Chapman & Hall, London.

Al-Sabah, B. (2013). Assessment of Sediment Quality Collected from AL-Hawizeh Marsh, Southern Iraq. *Marsh Bulletin*, 8(1), 27-38.

Ardali, T. (2015) .Investigation of environmental effects of Heavy on agricultural soils. Agri*cultural and Natural Resources* Eng*ineering* Org*anization of* IRAN, 12(46), 36-39. (In Farsi)

Arfania, H. and Asadzadeh, F. (2016). Heavy metals bio-availablity (Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb) in Sediments of Abshineh River. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 5(4), 133-146. (In Farsi)

Bagheri, Y.R., Meskini-Vishkaee, F., Mohammad E,. Saadat, Z. S. and Rezaei, h. (2018). Evaluating and mapping the environmental risk of soil heavy metals using by contamination indexes in the Tehran south farms. *Journal of Natural Environment*, 70(4), 757-868 (In Farsi)

Barzin, M., Kheirabadi, H. and Afyuni, M. (2015). An Investigation into Pollution of Selected Heavy Metals of Surface Soils in Hamadan Province Using Pollution Index. *Journal of Water and Soil Science*, 19 (72), 69-79. (In Farsi)

Bowen, H.J.M., (1979). Environmental Chemistry of the Element. *Academic Press. London*. 217p

Chaffei, C., Pageau, K., Suzuki, A., Gouia, H., Ghorbel, H.M. *and* Mascalaux-Daubresse, C. *(*2004*).* Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in Lycopersicon esculentum leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. Plant Cell Physiol. 45, 1681–1693.

Chen, C. W., Kao, C. M., Chen, C. F. and Dong, C. D. (2007). Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, *Taiwan. Chemosphere*, 66, 1431-1440.

Darvishi khatooni, j. (2016). Sedimentary Geochemistry Report of Dust hotspot in Khuzestan Province. Geological and Mineral Exploration Organization of the Southwest (Ahwaz) Geological and Mineral Exploration Management. (In Farsi)

Elsagh, A. and Barmaki, M. (2014). Determination of Pollution Caused by Heavy Metals Cu, Zn, Ni and Pb in the Persian Gulf Coastal Sediments. *Journal of Environmental Science and Technology*, 15(2), 1-11. (In Farsi)

ErfanManesh, M. and Afyuni, M. (2008). Environmental Pollution (Water, Soil and Air) . *Isfahan: Arkan Publication.* (In Farsi)

Feizi, H., Chorom, M. and Heidari, A. (2012). Study of the Amount and Distribution Pattern of Soil Heavy Metals (Ni, Cd) in Soils Affected by Hydrocarbon Pollution. *Journal of Water and Soil Science*, 17(64), 95-108. (In Farsi)

Ghasemi, S., Torabi golsefidi, H., Bostani, A.A. and Davatgar, N. (2013). *Mapping of distribution of lead, cadmium and nickel in the southern arable land by Geostatic and GIS*. Shahed University, College of Agricultural Sciences, pp 31.(In Farsi)

Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.

Herselman, J.E., Steyn, C.E. and Fey, M.V. (2005). Baseline concentration of Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn in surface soils of South Africa: research in action. *South African Journal of Science*, 101(11-12), 509-512.

Ibhadon, A. O., Wright, P., and Daniels, R. (2004). Trace metal speciation and contamination in an intertidal estuary. *Envi- ronmental Monitoring*, 6, 679–683.

Javan Siamardi, S., Rezaei Kahkha, M. R., Safaei Moghaddam, A. and Noori, R. (2014). Survey of Heavy Metals Concentration (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb) in Farmland Soils of Sistan Central Part. *Journal of Environmental Health Engineerin*, 2(1), 46-53. (In Farsi)

Karimi, M. and Gassempooshirazi, M.R. (2012). Geochemical Distribution and Pollution rate of heavy metals (Pb, Zn, Ni, Cr & As) in kor river sediment (south of Marvdasht). *Journal of geotechnical gology (Applied geology)*, 8 (2), 133 - 145. (In Farsi)

Katz, S. A. and Salem, H. (1992). The toxicology of chromium with respect to its chemical speciation: A review. *Journal of Applied Toxicology*, 13 (3), 217–224.

Khodakarami, L., Soffianian, A., Mohamadi, E. and Mirghafari, N. (2014). Study of heavy metals concentration Copper, Zinc and Arsenic soil using RS and GIS techniques (Case study: Kaboudarahang, Razan and Khonjin- Talkhab catchment in Hamedan province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(3), 45-55. (In Farsi)

Malakouti, M.J., Bybordi, A., Lotfollahi, M., Shahabi, A.A., Siavoshi, K., Vakil, R., Ghaderi, J., Shahabifar, J., Majidi, A., Jafarnajadi, A.R., Dehghani, F., Keshavarz, M.H., Ghasemzadeh, M., Ghanbarpouri, R., Dashadi, M., Babaakbari, M.,and Zaynalifard, N. (2008). Comparison of complete and sulfur coated urea fertilizers with pre-plant urea inincreasing grain yield and nitrogen use efficiency in wheat. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10, 173-183.

Mansouri, N. and Azimi, S. (2015). Heavy Metal in the Envirment. *Hak Publishers*. (Vol. 1).Tehran. (In Farsi)

Mashaan Rabee, A., Al-Fatlawy, Y.F., Najim Abd own,

A. and Nameer, M. (2011). Using Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (I-Geo) for the Assessment of Heavy Metals Pollution in Tigris River Sediment in Baghdad Region. *Journal of Al-Nahrain University*, 14 (4), 108-114.

McBride, M. and Spiers, G. (2001).Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. *Commun Soil Sci Plan Analysis*, 32(1), 139-156.

Mirian, A., Pahlevanrooy, A. and Khalilimoghadam, B. (2014). The Role of Human Factors and its Impacts in the Destruction of the Hooralizim Wetland. *Second National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*, (In Farsi)

Moore, J. W. (1991). Inorganic contaminants of surface water. Springer-valag New York, Inc.

Moosavi, M., Araee, T., Babae, A. and Ordookhani, M. (2018). Investigating the Destructive Factors of Hooral Azim Wetland. Environment. *Natural Resources and Sustainable Development Studies Journal*, 2(5), 19-26. (In Farsi)

Moosavi, M., Pourkhabbaz, H., Javanmardi, S. and Cheraghi, M. (2016*). Environmental evaluation of heavy metals contamination in Zarghan region soil*. Bebahan khtam Alanbia University of technology, Department of environment. (In Farsi)

Motamedi Rad, M., Mokhtari, G., Bahrami, L., zanganeh, S. and Asadi, M.A. (2018). Assessment of the heavy- metal pollution in sediments of the Roein karstic basin. *Journal of Researches in Earth Sciences*, 9(4), 146-166. (In Farsi)

Pakzad, H., Bagheri, H. and Teymouri, F. (2018). Study of heavy metal concentrations in shale deposits of Irankouh Mine (Southwest of Isfahan*). Environmental Sciences*, 15(4), 125-140. (In Farsi)

Panahpour, E., Mohammad Alizade, F. and Nazarpoor, A. (2018). The Study on the Level of Pollution and Spatial Distribution of Concentrations of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Pb and Zn) in the Industrial City of Mah-Shahr. *Journal of Natural Environment*, 71(3), 399-412. (In Farsi)

Quevauviller, P. (1998). Operationally defined extraction procedures for soil and sedimen analysis. Trend in analytical, 17(5), 289-298.

Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids, 417-435.

Saberinasab, F. and Mortazavi, S. (2017). Evaluation of Pb, Zn, Cu and Ni Concentration in Arak Mighan Wetland Based on Sediment Pollution Indices. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(1), 15-27. (In Farsi)

Sabzalizadeh, s. and Naseri, s. (2011). Investigation and Determination of Heavy Metals (Pb, Cd, Cr, Cu and Ni) in Bed Sediments of Rofaye Wetland in Khuzestan Province, Iran. *Khuzestan Water & Power*. *Authority*, pp113. (In Farsi)

Salomons, W., and Förstner, U., (1980). Trace metal analysis on polluted sediments. Evaluation of environmental impact. *Envir. Technol. Lett*, 1, 506–517.

Sarikhani, S., Ghassemi Dehnavi, A., Moradpour, A. and Amiri, M. (2017). Study of Soil Pollution with Heavy Metals from Leakage of Petroleum Hydrocarbons at Kermanshah Refinery. *Journal of Environment and Water Engineering*, 3(2), 157 – 169. (In Farsi)

Shabani, S. and Ezzatian, V. (2012). Relationship between diseases with climatic elements and atmospheric pollutants in Isfahan province. *Scientific-Reseearch Quarterly of Geographical Data*, 20(80), 47-56. (In Farsi)

UNEP, (2001). The mespotamian marshland: demise of an ecosystem. Early warning and assessment technical report.*UNEP. DEWA*. 1-46.

Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organice matter and proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.

Yari, M., Rahimi, G., Moradi, S., Ebrahimi, E. and Sadeghi, S. (2016). Effect of Municipal Solid Waste Compost Application on the Fractions of Various Heavy Metals in Three Soil Textures. *Iranian Journal of Soil Research*, 9(30), 329-341. (In Farsi)

Zamani Ahmad Mahmoodi, R. (2017). Investigation of heavy metals concentration in surface sediments of Choghakhor wetland. *Journal of Environmental Studies*, 43(1), 149-161. (In Farsi)

Zare Khosh Eghbal1, M. and Sajady Nasab, M. (2015). Evaluation of pollution in Amir-kalayeh wetland sediment using geochemical analyses. *Journal of Environmental Geology*, 9(30), 1-11. (In Farsi)

Zhang, L., Ye, X., Feng. H., Jing, Y., Ouyang, T., Yu, X., Liang, R., Gao, C., and Chen, W. (2007). Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin*, 54, 974–982.

Zibanchi, M., Naseri, A., Haghighi, N. and Bina, M. (2010). Describing a quantitative and qualitative balance model in determining wetland rights. *Third Specialized Conference on Environmental Engineering*. IRAN.