



مقاله علمی - پژوهشی:

ارزیابی ریسک تالاب اینچه بر اساس شاخص‌های ژئوشیمیایی (استان گلستان)

سید قاسم قربان زاده زعفرانی*^۱، فرهاد حسینی طایفه^۱، منا ایزدیان^۱، بهزاد رایگانی^۲

*Ghorbanzadeh110@yahoo.com

۱- گروه تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست،

تهران، ایران

۲- گروه پژوهشی ارزیابی و مخاطرات محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت

محیط‌زیست، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

تالاب اینچه با اهمیت اکولوژیک بالا، در شمال شهر آق‌قلا در استان گلستان واقع شده است. در مطالعه حاضر، به منظور منشاء‌یابی و تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در تالاب و محاسبه شاخص‌های فاکتور غنی‌شدگی (EF)^۱ و بار آلودگی (PLI)^۲، رسوبات سطحی تالاب اینچه از هفت ایستگاه با حداکثر عمق ۲/۸ متر در آبان ۱۳۹۷ جمع‌آوری شد. متغیرهای محیطی آب، فلزات سنگین، دانه‌بندی و مواد آلی کل رسوب، به ترتیب با دستگاه پرتابل مولتی‌پارامتر، طیف‌سنجی جرمی پلاسما جفت‌شده القایی، روش پراکنش لیزی و روش سوزاندن در کوره اندازه‌گیری شد. میانگین آلومینیوم و آهن در رسوبات به ترتیب 0.8 ± 0.1 و 1.5 ± 0.6 بوده است. همچنین میانگین آرسنیک، مس، نیکل، سرب، کروم، روی و وانادیوم در رسوبات به ترتیب 2.8 ± 0.6 ، 12.8 ± 3.6 ، 26.7 ± 6.4 ، 7.0 ± 2.7 ، 25.7 ± 7.8 ، 32.4 ± 16.2 و 28.6 ± 7.1 میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. به طور کلی، از لحاظ شاخص فاکتور غنی‌شدگی، تالاب دارای غنی‌شدگی کم ($1-1/8$) بوده است درحالی‌که ایستگاه ۵، از لحاظ میزان آهن ($3/7$) و آرسنیک ($5/7$) به ترتیب دارای غنی‌شدگی متوسط و غنی‌شدگی متوسط الی شدید است. از نظر گستره شاخص بار آلودگی ($0/84 - 0/46$)، کلیه ایستگاه‌ها کمتر از یک بوده، بنابراین فاقد آلودگی بودند. به طور کلی، چون میزان نیکل و آرسنیک به ترتیب در کلیه ایستگاه‌ها و ایستگاه ۵ از استاندارد "سطوح اثرات آستانه" بالاتر بوده است، می‌توان نتیجه گرفت احتمال بروز اثرات شدید زیستی بر اکثر موجودات بسترزی، کم و در حد آستانه است.

لغات کلیدی: رسوب، تالاب اینچه، فلزات سنگین، فاکتور غنی‌شدگی، شاخص بار آلودگی

*نویسنده مسئول

¹ Enrichment factor (EF)

² Pollution Load Index (PLI)

مقدمه

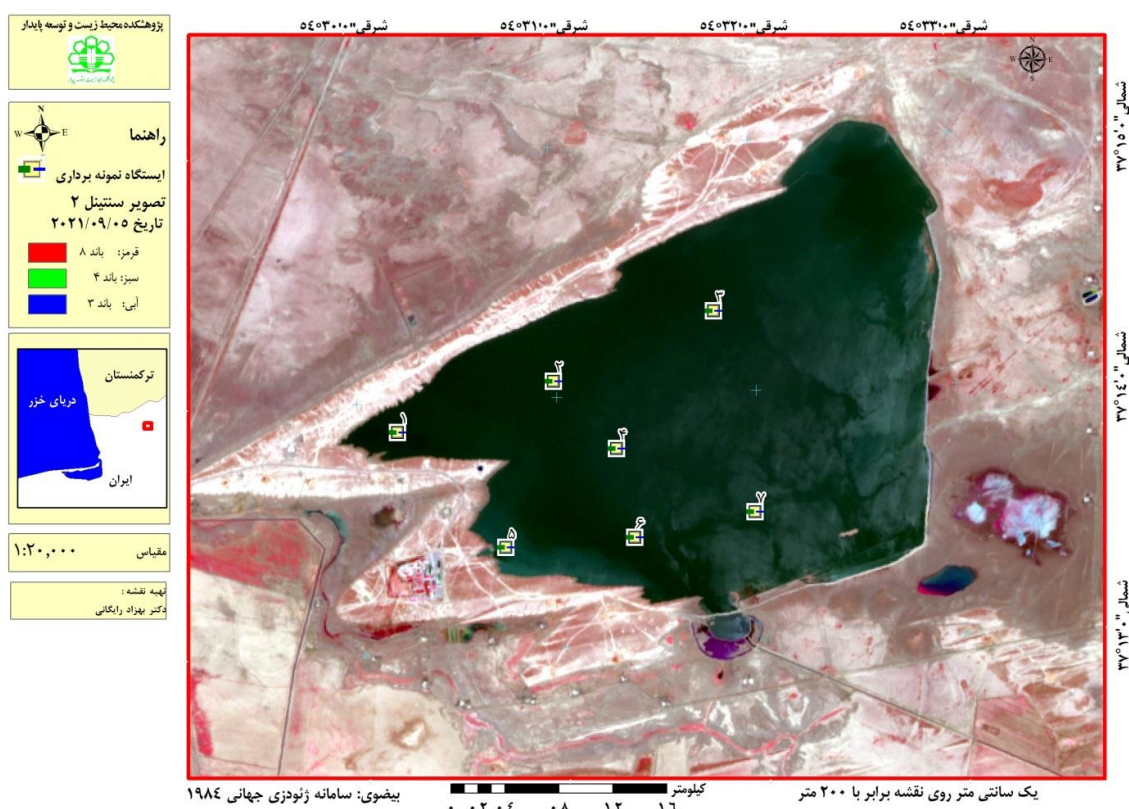
در دهه‌های اخیر، افزایش روزافزون جمعیت و صنعتی شدن جهان باعث پیدایش آلودگی‌های جدید و متعاقباً بروز معضلات خاص محیط‌زیستی شده است. از جمله آلاینده‌هایی که از نظر خطرات محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. منشاء طبیعی این عناصر، فرسایش و انحلال خاک و سازندهای زمین‌شناسی و ورود آنها از طریق رودخانه یا روان‌آبهای سطحی به محیط آبی می‌باشد (فرح‌بخش و همکاران، ۱۳۹۸). منشاء انسانی این عناصر نیز انواع پساب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی و احتراق انواع سوخت‌های فسیلی است. مهم‌ترین عناصر سنگین که از دیدگاه خطرات محیط‌زیستی دارای اهمیت است شامل: آهن، نقره، جیوه، روی، سرب، منگنز، نیکل، مس، کبالت، کروم، آرسنیک و وانادیوم می‌باشند (Montgomery, 2006). این عناصر به صورت محلول یا غیرمحلول وارد محیط‌های آبی می‌شوند. از سوی دیگر، رسوبات محل نهایی تجمع فلزات سنگین در محیط آبی هستند و در شرایطی می‌توانند به عنوان منبع آلودگی در آب عمل کنند (Yu et al., 2001). از روش‌های تشخیص ورود آلاینده‌هایی با منشاء انسانی به محیط‌های آبی، بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در رسوبات می‌باشد (MacDonald et al., 2000). از این‌رو، مطالعات شیمیایی رسوبات موجود در محیط‌های آبی، می‌تواند گام مؤثری برای تعیین منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی وضعیت آلاینده‌ها در طول مدت حضور در اکوسیستم باشد (Shajan, 2001). بر اساس نتایج بررسی الگوی پراکنش مکانی و زمانی فلزات سنگین در رسوبات که در چهار فصل انجام شد، کل خلیج گرگان از لحاظ شاخص غنی‌شدگی و بار آلودگی به ترتیب با ریسک کم و بدون آلودگی ارزیابی شده و به دو بخش شرقی و غربی تقسیم شده و بخش شرقی دارای میزان بالاتری از فلزات سنگین نسبت به سایر بخش‌ها بوده است که بیشتر از منابع طبیعی طی فرسایش به خلیج وارد شده‌اند (Bagheri et al., 2012; Bastami et al., 2012; Bastami et al.

2016; Ghorbanzadeh et al., 2014a). بر اساس مطالعه مشابه در خصوص ارزیابی آلودگی و پهنه‌بندی فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل در دو فصل تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶، بخش غربی تالاب آلاگل تالاب دارای آلودگی بیشتر بوده است ولی کمتر از حد استاندارد گزارش شدند. برخلاف نیکل که دارای منشأ طبیعی بوده، سرب و کادمیوم بیشتر از منبع انسانی وارد تالاب شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸). اینچه در شمال استان گلستان و در محدوده‌ی دشت گرگان و دشت آق‌قلا قرار گرفته است. قبل از استقرار کارخانه ید در غرب تالاب، دریاچه در فصل تابستان به دلیل کاهش بارندگی، افت سطح آب زیرزمینی و کاهش رواناب‌های سطحی، خشک و در فصل زمستان پرآب بوده است. با فعالیت کارخانه مذکور و ورود پساب‌های آن به تالاب، میزان آب تالاب رو به افزایش بوده است. به دلیل شیب کم، نفوذپذیری پایین و سطح ایستابی بالای زمین منطقه، رسوبات تالاب، ماندابی و مردابی می‌باشد (قره محمودلو و همکاران، ۱۳۹۹). این تالاب به همراه تالاب آلاگل، آلماکل، آجی‌گل، دانشمند، بی‌بی شیروان و شور به عنوان مجموعه تالاب‌های رودخانه اترک در مجموع دارای مساحت حدود ۳۰۰۰ هکتار می‌باشند که با توجه به شرایط پر آبی و کم آبی منطقه متغیر است. این مجموعه تالابی، دارای اهمیت زیستگاهی زمستان‌گذران برای برخی از پرندگان مهاجر است (فیضی و شجاع، ۱۳۸۹). بنابراین، با توجه به توسعه فعالیت کارخانه ید در مجاورت آن و اثرات احتمالی پساب ورودی آن بر تالاب، بررسی کیفیت آب تالاب بر اساس میزان فلزات سنگین در رسوب و مقایسه آن با استانداردهای جهانی، ضروری به نظر می‌رسد. از سویی، تاکنون ویژگی‌های محیطی رسوب تالاب اینچه گزارش نشده‌است. این مطالعه می‌تواند مطالعه‌ای پایه برای تحقیقات بعدی در تالاب اینچه و زمین‌های کشاورزی اطراف آن باشد.

مواد و روش کار

در این مطالعه، هشت ایستگاه نمونه برداری به صورت زیگزاک و تصادفی، انتخاب و با GPS ثبت گردید. عملیات نمونه برداری در آبان ۱۳۹۷ از هفت ایستگاه واقع در تالاب اینچه (ایستگاه‌های ۱ الی ۳ واقع در بخش شمالی تالاب، ایستگاه ۴ در مرکز و ایستگاه‌های ۵ الی ۷ در بخش جنوبی تالاب) و یک ایستگاه از ورودی کانال کارخانه ید (به عنوان ایستگاه ۸) انجام شد. از ۷ ایستگاه نمونه رسوب

سطحی (برای دانه بندی، مقادیر فلزات سنگین و ماکروبیونتوزها) به وسیله گروپ ونوین ($0/025m^2$) جمع آوری شد (شکل ۱). همزمان فاکتورهای دما، شوری، هدایت الکتریکی، اکسیژن محلول، pH و کدورت با دستگاه DKK و HACH اندازه گیری شد. عمق ایستگاه‌های نمونه برداری با دستگاه عمق سنج دیجیتال دستی (Hondex PS-7 Depth Sounder) تعیین گردید.



شکل ۱: ایستگاه‌های مورد مطالعه در تالاب اینچه (۱۳۹۷)

Figure 1: Map of the study sites along Incheh Wetland (2018)

استاندارد ISO 13320:2009 (E) و با استفاده از دستگاه سنجش اندازه ذرات لیزی مدل Horiba LA950 و مواد آلی کل (TOM^2) رسوب با روش سوزاندن در کوره (LOI^3 ; 550) اندازه گیری شد. همچنین از مثلث بافت

نمونه‌های رسوب (به منظور دقت و صحت انجام آزمون‌های آماری، سه تکرار در هر ایستگاه) جهت آنالیز فلزات سنگین (As, Ni, V, Cr, Pb, Cu, Zn, Al, Fe)، بافت و مواد کل آلی رسوب (دو تکرار) جمع آوری گردید. دانه بندی رسوب با روش پراکنش لیزی^۱ مطابق با

²Total Organic Matter

³Loss on Ignition

¹Laser Diffraction Particle Size Analyzer

نمونه مورد مطالعه و زمینه (Miller and Orbock)
(Miller, 2007)

بر اساس گزارش‌های موجود، مقادیر پس زمینه فلزات متفاوت و به مکان و منطقه وابسته می‌باشد. این موضوع می‌تواند احتمال خطا را در ارزیابی شاخص بالا ببرد. بنابراین، استفاده از مقادیر زمینه محلی و منطقه‌ای برای تعیین کمیت آلودگی فلزی در رسوبات پیشنهاد شده است (Sakan et al., 2015). در مطالعه حاضر، به دلیل عدم وجود سابقه در خصوص میزان فلزات سنگین در رسوب تالاب اینچه و تالاب‌های اطراف و با توجه به نزدیکی و دارا بودن شرایط جغرافیایی مشابه با خلیج گرگان، از داده‌های رسوبات خلیج گرگان (به منظور کاهش خطای احتمالی ارزیابی)، به عنوان غلظت زمینه برای آلومینیوم، آهن، آرسنیک، نیکل، سرب، کروم، مس، روی و وانادیوم استفاده گردید که به ترتیب ۱۳۰۰۰، ۲۰۴۰۰، ۷/۸، ۲۹/۲، ۱۱/۵، ۳۲، ۱۸/۸، ۴۲/۱ و ۲۶/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۱؛ Bastami et al., 2012; Bastami et al., 2014b).

براساس نتایج مطالعات انجام شده، مقادیر فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه‌های مختلف اگر $EF < 1$ ، غنی‌شدگی وجود ندارد؛ $EF < 3$ ، غنی‌شدگی کم؛ $5 - 3 < EF$ ، غنی‌شدگی متوسط؛ $10 - 5 < EF$ ، غنی‌شدگی متوسط تا شدید؛ $25 - 10 < EF$ ، غنی‌شدگی شدید؛ $50 - 25 < EF$ ، غنی‌شدگی خیلی شدید و $EF > 50$ ، غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید است (Grant and Middleton, 1990; Acevedo-Figueroa et al., 2006; Abraham and Parker, 2008). در صورتی‌که شاخص EF از ۳ کمتر باشد، بیشتر عوامل طبیعی و فرایند هوازدگی تاثیرگذار می‌باشد و اگر میزان شاخص از ۳ بیشتر باشد، بیانگر نقش موثرتر عوامل انسان‌ساخت در غنی‌شدگی این فلزات در منطقه می‌باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین، در این تحقیق نیز عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر نرمال‌ساز جهت جداسازی آلودگی‌های انسانی و طبیعی به کار برده شد.

خاک^۱ (نرم افزار TAL version 4.2) برای کلاس‌بندی بافت بستر تالاب استفاده شد (Flemming, 2000; Folk et al., 1970). از نظر رسوب‌شناسی، یکی از دستجات هشتگانه رسوب، رسوب لومی می‌باشد که از رس و شن تشکیل شده و غنی و دارای هوموس یا مواد آلی است.

نمونه‌های رسوب (سه تکرار) برای مطالعه ماکروبتوزها در محل با الکترون (۵۰۰ میکرون) شستشو گردید. ۰/۵ گرم از هر نمونه رسوب جهت سنجش Fe و Al (٪) و عناصر V، Cu, Zn, Cr, Pb, Ni و As (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در ۲/۴ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (مخلوط اسید نیتریک غلیظ و هیدروکلریک اسید به نسبت حجمی یک به سه) در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت دو ساعت هضم شد (ASTM D4698-2013) و غلظت عناصر در نمونه‌های هضم و رقیق شده با آب یون زدوده و با روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی^۲ قرائت گردید. برای کنترل دقت دستگاه و صحت نتایج، از مواد استاندارد مرجع IAEA-433 استفاده شد که میزان خطای آزمایش در دامنه مورد نظر استاندارد قرار داشت. به منظور کنترل تکرارپذیری از تعداد متوسط ۲۱ نمونه، پنج نمونه تکرار انتخاب و متوسط خطای ده درصد بازیابی گردید.

برای مقایسه میزان فلزات سنگین مورد نظر در رسوب تالاب و ارزیابی ریسک بوم‌شناختی از استانداردهای جهانی طبق سازمان ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا^۳، استفاده گردید (Buchman, 2008). برای محاسبه فاکتور غنی‌شدگی^۴ فلزات سنگین از فرمول ذیل استفاده شد:

$$EF = (H_s / A_s) / (H_c / A_c)$$

H_s و H_c : غلظت فلز مورد نظر به ترتیب در نمونه مورد مطالعه (s; sample) و در نمونه زمینه (c; crust; background)، A_s و A_c : میزان آلومینیوم به ترتیب در

¹ Soil Texture Triangle (USDA)

² Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

³ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

⁴ Enrichment Factor

آزمون تمهنه^۳ و همبستگی بین متغیرها با آزمون اسپیرمن در سطح ($p < 0.05$) با استفاده از نرم‌افزار SPSS۲۳ مشخص شد. همچنین برای تعیین مولفه‌های اصلی و شباهت بین پارامترها، از PCA^۴ و برای دسته‌بندی ایستگاه‌ها از آنالیز خوشه‌ای استفاده گردید (حبیب‌پور گتایی و صفری شالی، ۱۳۹۱).

نتایج

بر اساس جدول ۱، میانگین کل DO در ایستگاه‌های مختلف ۳/۱ میلی‌گرم در لیتر بود. کمترین و بیشترین میانگین اکسیژن محلول در ایستگاه ۸ و ۳، به ترتیب ۲/۵ و ۳/۳ میلی‌گرم در لیتر به ثبت رسید.

برای ارزیابی کیفیت محیطی رسوبات از فرمول شاخص بار آلودگی^۱ (Suresh *et al.*, 2011) استفاده شد:

$$PLI = (CF1 * CF2 * CF3 \dots CFn)^{1/n}$$

CF^۲: فاکتور آلودگی برابر است با نسبت بین میزان هر یک از فلزات در نمونه مورد مطالعه به میزان فلز در نمونه زمینه، n: تعداد عناصر فلزی مورد مطالعه

$$CF_{metals} = CH_{metal} / CH_{back}$$

برای تعیین میزان بار آلودگی در یک منطقه، اگر شاخص $PLI > 1$ باشد، نشان‌دهنده آلوده بودن و اگر $PLI < 1$ ، منطقه فاقد آلودگی می‌باشد (Seshan *et al.*, 2010). با توجه به نرمال نبودن اکثر میانگین داده‌ها، اختلاف بین گروه‌ها با انجام آزمون غیرپارامتریک کروسکال والیس و

جدول ۱: میانگین مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب (میانگین \pm انحراف معیار و رنج) در تالاب اینچه، ۱۳۹۷، حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($p < 0.05$) (Tamhene) می‌باشد.

Table 1: Spatial means (\pm SD) and range of heavy metals in the sediments of Incheh Wetland, 2018, Different letters above the bars show significant difference (Tamhene; $p < 0.05$)

ایستگاه	عمق (متر)	DO (میلی‌گرم در لیتر)	شوری (قسمت در هزار)	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)	pH	کدورت (NTU)
ST۱	۲/۵ ^{ac} \pm ۰/۲ (۲/۴-۲/۷)	۳/۳ ^{ac} \pm ۰/۰ (۳/۲-۳/۳)	۲۱۸/۰ ^{ac} \pm ۱/۰ (۲۱۷/۰-۲۱۹/۰)	۲۱/۴ ^b \pm ۰/۱ (۲۱/۴-۲۱/۵)	۱۶/۳ ^{ade} \pm ۰/۱ (۱۶/۳-۱۶/۴)	۶/۷۸ ^{abdf} \pm ۰/۰۱ (۶/۷۷-۶/۷۸)	۰/۹ ^{ad} \pm ۰/۲ (۰/۸-۱/۲)
۲ST	۲/۸ ^c \pm ۰/۱ (۲/۷-۲/۸)	۳/۲ ^a \pm ۰/۰ (۳/۲-۳/۲)	۲۱۹/۰ ^c \pm ۱/۰ (۲۱۸/۰-۲۲۰/۰)	۲۱/۴ ^b \pm ۰/۰ (۲۱/۳-۲۱/۴)	۱۶/۶ ^{abdefh} \pm ۰/۲ (۱۶/۴-۱۶/۸)	۶/۷۷ ^{bdfh} \pm ۰/۰۱ (۶/۷۶-۶/۷۸)	۰/۰ ^{ad} \pm ۰/۰ (۰/۰-۰/۰)
۳ST	۰/۹ ^b \pm ۰/۱ (۰/۸-۰/۹)	۳/۳ ^{ac} \pm ۰/۰ (۳/۲-۳/۳)	۲۱۰/۰ ^c \pm ۱/۰ (۲۰۹/۰-۲۱۱/۰)	۲۱/۳ ^b \pm ۰/۱ (۲۱/۲-۲۱/۴)	۱۵/۸ ^c \pm ۰/۱ (۱۵/۷-۱۵/۹)	۶/۷۹ ^{de} \pm ۰/۰۱ (۶/۷۸-۶/۷۹)	۰/۰ ^{ad} \pm ۰/۰ (۰/۰-۰/۰)
۴ST	۲/۰ ^a \pm ۰/۱ (۱/۹-۲/۱)	۳/۱ ^{ac} \pm ۰/۰ (۳/۱-۳/۲)	۲۱۳/۰ ^{ac} \pm ۱/۰ (۲۱۲/۰-۲۱۴/۰)	۲۱/۳ ^b \pm ۰/۱ (۲۱/۳-۲۱/۴)	۱۷/۴ ^{adhf} \pm ۰/۳ (۱۷/۲-۱۷/۷)	۶/۷۹ ^{abdf} \pm ۰/۰۱ (۶/۷۹-۶/۸۰)	۰/۶ ^d \pm ۰/۱ (۰/۵-۰/۶)
۵ST	۱/۰ ^b \pm ۰/۱ (۱/۰-۱/۱)	۳/۱ ^{ac} \pm ۰/۰ (۳/۱-۳/۱)	۱۴۴/۰ ^b \pm ۱/۰ (۱۴۳/۰-۱۴۵/۰)	۲۱/۴ ^b \pm ۰/۰ (۲۱/۳-۲۱/۴)	۱۷/۴ ^{dhf} \pm ۰/۲ (۱۷/۳-۱۷/۶)	۶/۸۲ ^{hf} \pm ۰/۰۱ (۶/۸۲-۶/۸۳)	۰/۱ ^a \pm ۰/۱ (۰/۰-۰/۱)
۶ST	۱/۷ ^a \pm ۰/۱ (۱/۶-۱/۸)	۳/۱ ^c \pm ۰/۰ (۳/۰-۳/۱)	۲۰۱/۷ ^b \pm ۰/۶ (۲۰۱/۰-۲۰۲/۰)	۲۱/۳ ^b \pm ۰/۰ (۲۱/۳-۲۱/۳)	۱۸/۰ ^b \pm ۰/۱ (۱۷/۵-۱۸/۰)	۶/۸۲ ^f \pm ۰/۰۱ (۶/۸۲-۶/۸۳)	۰/۱ ^{ad} \pm ۰/۱ (۰/۰-۰/۲)
۷ST	۰/۸ ^b \pm ۰/۱ (۰/۷-۰/۹)	۳/۰ ^c \pm ۰/۰ (۳/۰-۳/۰)	۲۱۱/۰ ^c \pm ۱/۰ (۲۱۰/۰-۲۱۲/۰)	۲۱/۳ ^b \pm ۰/۰ (۲۱/۲-۲۱/۳)	۱۸/۵ ^f \pm ۰/۱ (۱۸/۴-۱۸/۵)	۶/۸۳ ^{ef} \pm ۰/۰۱ (۶/۸۲-۶/۸۴)	۰/۴ ^{ad} \pm ۰/۲ (۰/۲-۰/۶)
۸ST	۰/۳ ^d \pm ۰/۱ (۰/۱-۰/۲)	۲/۵ ^b \pm ۰/۰ (۲/۵-۲/۵)	۷۹/۰ ^d \pm ۱/۰ (۷۸/۰-۸۰/۰)	۱۱/۷ ^a \pm ۰/۰ (۱۱/۷-۱۱/۸)	۲۶/۳ ^c \pm ۰/۲ (۲۶/۰-۲۶/۴)	۷/۹۳ ^c \pm ۰/۰۵ (۷/۸۷-۷/۹۶)	۸/۸ ^c \pm ۰/۲ (۸/۶-۹/۰)
میانگین کل (SD و رنج)	۱/۵ \pm ۰/۹ (۰/۱-۲/۸)	۳/۱ \pm ۰/۲ (۲/۵-۳/۳)	۱۸۷/۰ \pm ۴۷/۸ (۷۸/۰-۲۲۰/۰)	۲۰/۱ \pm ۳/۲ (۱۱/۷-۲۱/۵)	۱۸/۳ \pm ۳/۲ (۱۵/۷-۲۶/۴)	۶/۹۴ \pm ۰/۳۸ (۶/۷۶-۷/۹۶)	۱/۴ \pm ۲/۹ (۰/۰-۹/۰)

³ Tamhene

⁴ Principal Component Analysis

¹ Pollution Load Index (PLI)

² Contamination Factor

میلی گرم در کیلوگرم به ثبت رسید. بنابراین میزان فلزات سنگین در رسوب تالاب اینچه به ترتیب ذیل می باشد:



بیشینه میانگین آلومینیوم در ایستگاه ۳ (۰/۱۳٪) و کمینه مقدار آن ایستگاه ۵ (۰/۰۴٪) قرائت شد. آزمون Tamhene اختلاف معنی دار ($p < 0/05$) را بین میانگین غلظت این فلز در ایستگاه ۵ با ایستگاه ۱ و ۶ نشان داد. بیشینه میانگین آرسنیک در ایستگاه ۵، ۱۳/۶ میلی گرم بر کیلوگرم و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۳، ۰/۸ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد. بین میانگین غلظت این فلز در ایستگاه ۴ و ۵ اختلاف معنی دار نشان داد ($p < 0/05$). بیشینه و کمینه مقدار کروم به ترتیب ۳۴ و ۱۵/۳ میلی گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۳ و ۵ به ثبت رسید. اختلاف معنی دار بین میانگین غلظت این فلز در ایستگاه ۳ با ایستگاه های ۲، ۵ و ۶ وجود داشت ($p < 0/05$). بیشینه میانگین غلظت مس در ایستگاه های ۳ و ۵، به ترتیب ۱۶/۴ و ۸/۵ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری شد که اختلاف معنی دار بین ایستگاه ها مشاهده نشد ($p < 0/05$). همچنین بیشترین و کمترین مقدار آهن به ترتیب در ایستگاه ۵، ۲/۳٪ و ایستگاه ۲، ۰/۷٪ به ثبت رسید. بر اساس میانگین آهن، بین ایستگاه ۵ با ایستگاه های ۱، ۲، ۳، ۶ و ایستگاه ۳ با ایستگاه های ۲ و ۶ اختلاف معنی دار وجود داشت ($p < 0/05$). بیشترین مقادیر نیکل و وانادیوم به ترتیب در ایستگاه ۳، ۳۳/۶ و ۳۶/۱ میلی گرم بر کیلوگرم و کمترین آنها در ایستگاه ۵ به ترتیب ۱۷/۹ و ۱۸/۹ میلی گرم بر کیلوگرم اندازه گیری و اختلاف بین میانگین غلظت این دو فلز در ایستگاه ۳ با ایستگاه های ۲، ۵ و ۶ معنی دار بود ($p < 0/05$). بیشینه میانگین مقدار سرب و روی نیز به ترتیب در ایستگاه های ۴، ۱۰/۷ و ۴۹/۳ میلی گرم بر کیلوگرم و کمینه مقدار آنها در ایستگاه ۵ به ترتیب ۳/۳ و ۶/۸ میلی گرم بر کیلوگرم به ثبت رسید که اختلاف معنی دار بین غلظت سرب بین ایستگاه ۳ با ایستگاه ۵ و بین غلظت روی در ایستگاه ۳ با ۵ و ۶ و ایستگاه ۶ با ۷ مشاهده گردید ($p < 0/05$).

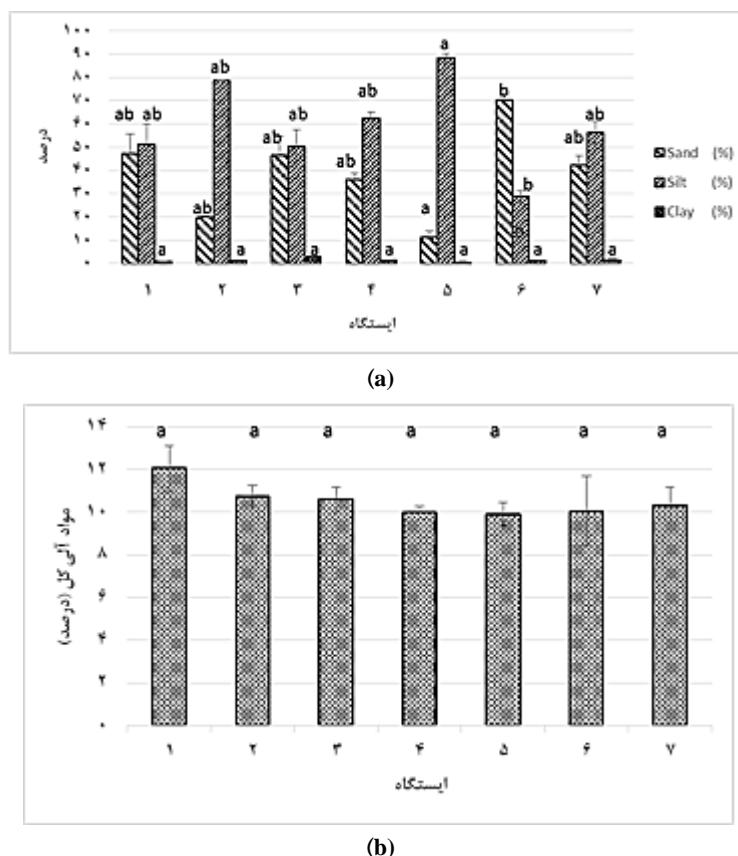
میانگین DO در ایستگاه ۸ با سایر ایستگاه ها و ایستگاه ۲ با ایستگاه ۶ و ۷ اختلاف معنی داری نشان داد ($p < 0/05$). میانگین کل شوری، هدایت الکتریکی، دما، pH و کدورت به ترتیب ۱۸۷ قسمت در هزار، ۲۰/۱ میکروزیمنس بر متر، ۱۸/۳ درجه سانتی گراد، ۶/۹۴ و ۱/۴ NTU بوده است. از نظر میانگین پارامترهای مذکور، ایستگاه ۸ که خروجی کارخانه ید می باشد، با سایر ایستگاه ها اختلاف معنی داری نشان داد. از سویی، ایستگاه های ۵، ۶ و ۷ در جنوب تالاب نیز با سایر ایستگاه ها متفاوت بود. این موضوع می تواند به دلیل نزدیکی به کانال خروجی کارخانه ید (ایستگاه ۸) باشد.

مطابق با شکل های (۲a)، بیشینه مقدار میانگین شن در ایستگاه ۶ (۰/۷۰/۴٪) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۵ (۰/۱۱/۱٪)، بیشینه مقدار سیلت (۰/۸۸/۴٪) در ایستگاه ۵ و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۶ (۰/۲۸/۷٪) و بیشینه مقدار رس نیز در ایستگاه ۳ (۰/۲/۸٪) و کمینه مقدار آن در ایستگاه ۵ (۰/۰/۵٪) اندازه گیری شد. آزمون Tamhene نشان داد بین هر یک از درصد شن و سیلت اختلاف معنی دار در ایستگاه های ۵ و ۶ وجود دارد ($p < 0/05$ ، ولی بین میانگین رس در ایستگاه های مختلف اختلاف معنی داری وجود ندارد. همچنین TOM ($0/9 \pm 0/15$) در ایستگاه های مختلف، با بیشینه و کمینه مقدار به ترتیب در ایستگاه ۱ (۰/۱۲/۱٪) و ایستگاه ۵ (۰/۹/۹٪) اختلاف معنی داری نشان نداده است ($p < 0/05$ ؛ شکل ۲b). بر اساس کلاس دانه بندی با روش USDA، دانه بندی کل تالاب اینچه در کلاس ۸ (سیلت لوم^۱) قرار دارد. ایستگاه ۵ سیلتی (کلاس ۷) و ایستگاه ۶، ماسه ای لوم^۲ (کلاس ۱۲) و بقیه ایستگاه ها دارای دانه بندی سیلت لوم (کلاس ۸) می باشند.

مطابق با جدول ۲، میانگین کل آلومینیوم و آهن در رسوب سراسر تالاب به ترتیب، ۰/۸ و ۱/۱۵٪ و میانگین کل آرسنیک، کروم، مس، نیکل، سرب، وانادیوم و روی به ترتیب ۲/۸، ۲۵/۷، ۱۲/۸، ۷/۲۶، ۰/۷، ۲۸/۶ و ۳۲/۴

¹ Silt loam

² Sandy loam



شکل ۲: تغییرات مکانی (میانگین \pm انحراف معیار) دانه بندی (a) و مواد آلی کل (b) در رسوب در تالاب اینچه ۱۳۹۷ (آزمون Tamhene، $p < 0.05$ ، حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار می باشد).

Figure 2: Spatial variation (mean \pm SD) of grain size (a) and TOM (b) in Incheh Wetland's sediment samples, 2018, Different letters above the bars show significant difference (Tamhene; $p < 0.05$)

سنگین و دانه بندی رسوب تالاب بر اساس ایستگاه به صورت سه مؤلفه اصلی (معادل ۹۵٪ کل واریانسها) گروه بندی شدند (شکل ۳). مؤلفه اصلی اول (با ۶۰٪ از کل واریانسها) ارتباط مثبت و قوی با Cr, Pb, Cu, Zn, Al, Ni و V (با پوشش ۲۰٪ از کل واریانسها) ارتباط مثبت و قوی با درصد شن و ارتباط منفی با میزان سیلت نشان داد. در صورتی که مؤلفه اصلی سوم (با پوشش ۱۵٪ از کل واریانسها) ارتباط مثبت و قوی با Fe و As دارد.

بر اساس آزمون Spearman، ارتباط بسیار قوی و مثبتی بین فلزات سنگین در رسوب (Cr, Pb, Cu, Zn, V, Al) و Ni وجود داشت ($p < 0.05$). همچنین بر اساس این آزمون، اکسیژن محلول با دمای آب ارتباط منفی و با عمق ارتباط مثبت قوی، هدایت الکتریکی با وانادیوم، نیکل، مس، کرم و رس ارتباط منفی قوی، میزان رس با مقادیر آلومینیوم، مس، کرم، نیکل و وانادیوم ارتباط قوی مثبت و در نهایت میزان سیلت با شن ارتباط منفی قوی نشان داد ($p < 0.05$).

در جدول ۳، مقادیر میانگین فلزات سنگین در مطالعه حاضر با مطالعات قبلی در منطقه و با استانداردهای جهانی نیز مقایسه گردید. با انجام آزمون PCA ($p < 0.0001$)، $KMO = 0.56$ ، $Eigenvalues \geq 1$ ، متغیرهای فلزات

جدول ۲: میانگین مکانی فلزات سنگین (میانگین \pm انحراف معیار و رنج) در رسوبات تالاب اینچه، ۱۳۹۷، حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار (Tamhene; $p < 0.05$) می باشد.

Table 2: Spatial means (\pm SD) and range of heavy metals in the sediments of Incheh Wetland, 2018, Different letters above the bars show significant difference (Tamhene; $p < 0.05$)

بستگاه	Al (قسمت در صد)	As (میلی گرم در کیلوگرم)	Cu (میلی گرم در کیلوگرم)	Fe (قسمت در صد)	Ni (میلی گرم در کیلوگرم)	Pb (میلی گرم در کیلوگرم)	Zn (میلی گرم در کیلوگرم)	V (میلی گرم در کیلوگرم)	Cr (میلی گرم در کیلوگرم)
ST1	۰/۸ ^a \pm ۰/۱ (۰/۷-۰/۸)	۱/۱ ^{ab} \pm ۰/۵ (۰/۸-۱/۷)	۱۲/۴ ^{ab} \pm ۰/۶ (۱۱/۷-۱۲/۹)	۱/۲ ^{bcd} \pm ۰/۱ (۱/۱-۱/۴)	۲۶/۹ ^{abc} \pm ۲/۲ (۲۴/۴-۲۸/۲)	۵/۹ ^{ab} \pm ۱/۶ (۴/۱-۷/۱)	۳۴/۹ ^{abc} \pm ۶/۲ (۲۷/۸-۳۹/۷)	۳۰/۰ ^{abeh} \pm ۱/۷ (۲۸/۶-۳۲/۰)	۲۷/۰ ^{abghc} \pm ۲/۰ (۲۵/۴-۲۹/۲)
ST2	۰/۶ ^{ab} \pm ۰/۰ (۰/۵۹-۰/۶۰)	۰/۸ ^{ab} \pm ۰/۰ (۰/۷۹-۰/۸)	۱۰/۵ ^{bc} \pm ۰/۵ (۱۰/۰-۱۰/۹)	۰/۷ ^c \pm ۰/۱ (۰/۶-۰/۹)	۲۱/۰ ^{bc} \pm ۱/۰ (۲۰/۱-۲۲/۱)	۵/۶ ^{ab} \pm ۲/۰ (۳/۳-۶/۸)	۲۷/۱ ^{abc} \pm ۷/۸ (۲۱/۷-۳۶/۱)	۲۲/۰ ^{deh} \pm ۱/۱ (۲۱/۰-۲۳/۱)	۱۸/۳ ^{hgac} \pm ۰/۷ (۱۷/۶-۱۹/۱)
ST3	۱/۳ ^{ab} \pm ۰/۱ (۱/۱-۱/۴)	۰/۸ ^{ab} \pm ۰/۰ (۰/۷۸-۰/۸)	۱۶/۴ ^{abc} \pm ۱/۴ (۱۵/۱-۱۷/۹)	۱/۷ ^d \pm ۰/۱ (۱/۶-۱/۸)	۳۳/۶ ^a \pm ۱/۸ (۳۲/۶-۳۵/۶)	۸/۶ \pm ۰/۷ (۷/۸-۹/۱)	۴۳/۶ ^b \pm ۲/۹ (۴۰/۶-۴۶/۵)	۳۶/۱ ^{ab} \pm ۱/۷ (۳۴/۳-۳۷/۷)	۳۴/۰ ^f \pm ۰/۷ (۳۲/۲-۳۴/۵)
ST4	۱/۳ ^{ab} \pm ۰/۶ (۰/۸-۱/۸)	۱/۶ ^a \pm ۱/۵ (۰/۸-۳/۴)	۱۶/۳ ^{abc} \pm ۶/۱ (۱۲/۴-۲۳/۳)	۱/۷ ^{bacd} \pm ۰/۹ (۱/۲-۲/۷)	۳۲/۸ ^{abc} \pm ۸/۲ (۲۷/۳-۴۲/۲)	۱۰/۷ ^{ab} \pm ۲/۱ (۹/۰-۱۳/۰)	۴۹/۳ ^{abc} \pm ۲۵/۰ (۳۰/۴-۷۷/۶)	۳۵/۳ ^{acch} \pm ۹/۹ (۲۷/۵-۴۶/۵)	۳۲/۹ ^{abcghd} \pm ۱۰/۶ (۲۵/۳-۴۵/۰)
ST5	۰/۴ ^b \pm ۰/۰ (۰/۳-۰/۴)	۱۳/۶ ^b \pm ۱/۸ (۱۱/۶-۱۵/۱)	۸/۵ ^{abc} \pm ۲/۳ (۷/۰-۱۱/۱)	۲/۳ ^a \pm ۰/۱ (۲/۲-۲/۴)	۱۷/۹ ^b \pm ۰/۵ (۱۷/۵-۱۸/۵)	۳/۳ ^b \pm ۰/۹ (۲/۴-۴/۳)	۶/۸ ^{bc} \pm ۴/۹ (۱/۴-۱۰/۹)	۱۸/۹ ^{cb} \pm ۰/۵ (۱۸/۴-۱۹/۵)	۱۵/۳ ^{dghc} \pm ۰/۶ (۱۴/۹-۱۶/۰)
ST6	۰/۶ ^a \pm ۰/۱ (۰/۶-۰/۷)	۰/۹ ^{ab} \pm ۰/۲ (۰/۸-۱/۱)	۱۰/۷ ^b \pm ۰/۶ (۱۰/۰-۱۱/۱)	۱/۱ ^b \pm ۰/۱ (۱/۰-۱/۲)	۲۲/۶ ^{bc} \pm ۱/۵ (۲۱/۸-۲۴/۵)	۵/۸ ^{ab} \pm ۰/۶ (۵/۳-۶/۵)	۲۳/۰ ^c \pm ۲/۱ (۲۱/۸-۲۵/۳)	۲۵/۵ ^b \pm ۱/۱ (۲۴/۲-۲۶/۴)	۲۲/۳ ^{cd} \pm ۱/۴ (۲۰/۷-۲۳/۵)
ST7	۱/۰ ^{ab} \pm ۰/۲ (۰/۸-۱/۲)	۰/۸ ^{ab} \pm ۰/۰ (۰/۷۵-۰/۸)	۱۵/۱ ^{ad} \pm ۱/۸ (۱۳/۵-۱۷/۱)	۱/۵ ^{bacd} \pm ۰/۳ (۱/۲-۱/۸)	۳۱/۰ ^{abc} \pm ۳/۶ (۲۸/۲-۳۵/۱)	۹/۰ ^{ab} \pm ۲/۴ (۶/۸-۱۱/۶)	۴۲/۴ ^{ab} \pm ۱/۱ (۴۱/۰-۴۳/۱)	۳۲/۴ ^{abch} \pm ۴/۳ (۲۹/۰-۳۷/۲)	۳۰/۴ ^{bc} \pm ۵/۰ (۲۶/۸-۳۶/۱)

جدول ۳: مقایسه میانگین (میانگین \pm انحراف معیار و رنج) غلظت فلزات سنگین در رسوب تالاب اینچه با مطالعات قبلی و استانداردهای جهانی -۱۳۹۷

Table 3: Comparison of mean (\pm SD) and range of heavy metal concentration in Inche Wetland sediment with previous studies and international standards - (2018)

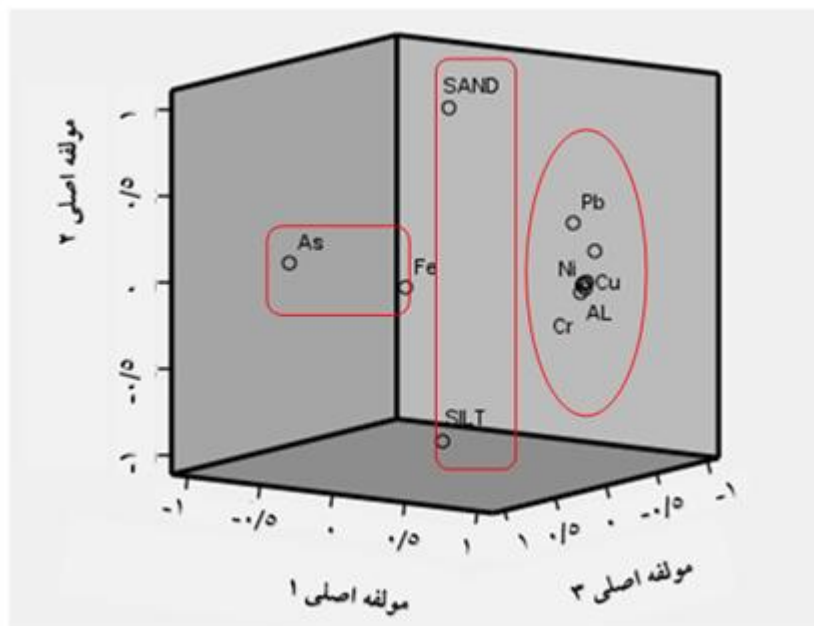
منطقه / استاندارد جهانی	Al (قسمت در صد)	As (میلی گرم در کیلوگرم)	Cu (میلی گرم در کیلوگرم)	Fe (قسمت در صد)	Ni (میلی گرم در کیلوگرم)	Pb (میلی گرم در کیلوگرم)	Zn (میلی گرم در کیلوگرم)	V (میلی گرم در کیلوگرم)	Cr (میلی گرم در کیلوگرم)	مرجع
تالاب اینچه	۰/۸ \pm ۰/۴ (۰/۸-۱/۲)	۲/۸ \pm ۴/۶ (۰/۸-۱۳/۶)	۱۲/۸ \pm ۲/۶ (۸/۵-۱۶/۴)	\pm ۰/۶ ۱/۵ (۰/۷-۲/۳)	۲۶/۷ \pm ۶/۴ (۱۷/۹-۳۳/۶)	۷/۰ \pm ۲/۷ (۳/۳-۱۰/۷)	۳۲/۴ \pm ۱۶/۲ (۶/۸-۴۹/۳)	۲۸/۶ \pm ۷/۱ (۱۸/۹-۳۶/۱)	۲۵/۷ \pm ۷/۸ (۱۵/۳-۳۶/۰)	مطالعه حاضر
تالاب آلاکلی	-	-	-	-	-	۱/۴۹ \pm ۰/۴۸ (۱/۰-۳/۲۵۵)	۱/۸۷ \pm ۰/۵۵ (۱/۱۴-۲/۸۳)	-	-	علی پور و همکاران، ۱۳۹۶

منطقه / استاندارد جهانی	Al (قسمت در صد)	As (میلی گرم در کیلوگرم)	Cu (میلی گرم در کیلوگرم)	Fe (قسمت در صد)	Ni (میلی گرم در کیلوگرم)	Pb (میلی گرم در کیلوگرم)	Zn (میلی گرم در کیلوگرم)	V (میلی گرم در کیلوگرم)	Cr (میلی گرم در کیلوگرم)	مرجع
تالاب آلاچی	--	--	--	--	۰.۳۵±۰.۲۰* (۰.۶۴-۰.۱۷۸)	۱.۷۹±۰.۲۶* (۰.۱۲۶-۰.۱۹)	--	--	--	یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸
خلیج هرمان	۱.۳±۰.۵ (۰.۴-۲.۱)	۴.۸±۱.۶ (۲.۵-۱۰.۳)	۱.۰۵±۳.۶ (۴.۴-۱۶.۹)	۱.۰±۰.۳ (۰.۴-۱.۶)	۱.۳۶±۴.۴ (۶.۲-۲۱.۵)	۹.۱±۲.۳ (۴.۷-۱۲.۹)	۲۳.۹±۸.۳ (۱۰.۳-۳۹.۴)	--	--	Ghorbanza deh, <i>et al.</i> , 2016
خلیج هرمان	--	۷.۷۷±۲.۱۲ (۴.۴-۱۱.۸)	۱.۸±۸.۸ (۳.۸-۳۱.۱)	--	۲.۹۲±۱۴.۷ (۱.۰۳-۵۰.۴)	۱.۱۵±۴.۹ (۴.۱-۱۸.۳)	۴.۲۱±۱۵.۲۲ (۱.۳-۷.۵)	۲.۶۴±۱۰.۲۵ (۱.۳۱-۴۱.۰)	۳.۲۰±۱۵.۲ (۱.۲۱-۵۴.۰)	Bastami <i>et al.</i> ,2012; Bastami <i>et al.</i> ,2014b
خلیج هرمان	۱.۳±۰.۷ (۰.۳-۲.۴)	۷.۸±۲.۱ (۴.۴-۱۱.۸)	---	۲.۰۴±۰.۹۹ (۰.۸۱-۳.۸۱)	۲.۹۲±۱۴.۷ (۱.۰۳-۵۰.۴)	--	--	--	--	باقری و همکاران، ۱۳۹۱
خلیج هرمان	--	--	۱.۷۸±۹.۱۹ (۳.۸-۳۱.۲)	--	--	۱.۱۳±۵.۱۶ (۴.۱-۱۸.۳)	۴.۲۰±۲۳.۲۳ (۱.۳-۷.۵)	--	۳.۱۷±۱۵.۷ (۱.۲۱-۵۴.۰)	درویش بسطامی و همکاران، ۱۳۹۱
دریای خزر (ایران)	۶.۰۵±۱.۱ (۳.۸-۷.۸)	۱۲.۵±۳.۰۴ (۶.۹۷-۲۰.۱)	۳.۴۷±۱۱.۹ (۱.۳۲-۵۰.۹)	۳.۶±۰.۵۹ (۲.۲-۴.۴)	۵.۱۶±۱۱.۸ (۲.۹۴-۶.۷۸)	۱.۸±۴.۱۷ (۱.۱۳-۴.۴۶)	۸.۵۳±۱۷.۹ (۵.۵۹-۱۴.۶۰)	--	۸.۵۳±۱۵.۳ (۵.۹۶-۱۲.۸۰)	De Mora and Sheikholes lami, 2002
دریای خزر (ایران)	--	۴.۱۱±۱.۲۷ (۲.۲۶-۵.۱۶)	۹.۰۹±۳.۱۶ (۵.۰-۱۴.۰)	--	۱.۷۴±۳.۷۸ (۱.۶۳۳-۲.۴۱۰)	۱.۳۰±۳.۱۴ (۰.۹۰-۱.۶۰)	۲.۸۰±۵.۷۱ (۲.۲۳-۲.۶۳)	--	--	Bastami <i>et al.</i> ,2014a
دریای مدیترانه	--	۹.۴۳±۴.۸ (۵-۲۴)	۸.۵۸۷±۶.۵۶۳ (۱.۰-۲۰.۸)	---	۱.۶۳±۵.۸۵ (۸-۲۹)	۳.۳۸±۱۲.۸ (۸-۵۴)	۷.۵±۲.۷۵ ۱.۱۵ (۳.۸-۲.۲۷)	--	۱.۷۴±۵.۸ (۱.۰-۲۷.۰)	Moreno <i>et al.</i> , 2009
نمونه دست نخورده پوسته زمین	۱/۱ ۸/۰۴	۱۰ ۵	--	۱/۵ ۳/۵	۱۹ ۲۰	--	--	۲۲ ۶۰	--	باقری و همکاران، ۱۳۹۱ Long, <i>et al.</i> ,1995

منطقه/ استاندارد جهانی	Al (قسمت در صد)	As (میلی گرم در کیلوگرم)	Cu (میلی گرم در کیلوگرم)	Fe (قسمت در صد)	Ni (میلی گرم در کیلوگرم)	Pb (میلی گرم در کیلوگرم)	Zn (میلی گرم در کیلوگرم)	V (میلی گرم در کیلوگرم)	Cr (میلی گرم در کیلوگرم)	مرجع
TEL ¹	--	۷/۲۴	۱۸/۷	--	۱۵/۹	۳۰/۲	۱۲۴	--	۵۲/۳	
PEL ²	--	۴۱/۶	۱۰۸	--	۴۲/۸	۱۱۲	۲۷۱	--	۱۶۰	Buchman, 2008
AET ³	۱/۸	۳۵	۳۵۰	۲۲	۱۱۰	۴۰۰	--	۵۷	۶۲	

¹ Threshold Effects Levels, ² Probable Effects Levels, ³ Apparent Effects Threshold

* واحد مربوطه میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک می باشد.

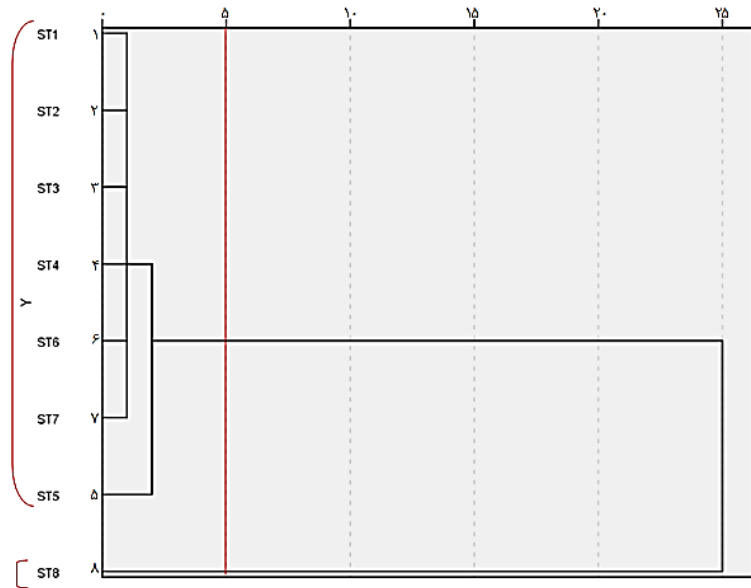


شکل ۳: مولفه‌های اصلی فلزات سنگین (Al, As, Cu, Fe, Ni, V, Cr, Pb, Zn) و دانه‌بندی در رسوب تالاب اینچه، آبان ۱۳۹۷
 Figure 3: PCA diagram of heavy metals (Al, As, Cu, Fe, Ni, V, Cr, Pb and Zn) and grain size in sediment of Incheh Wetland, 2018

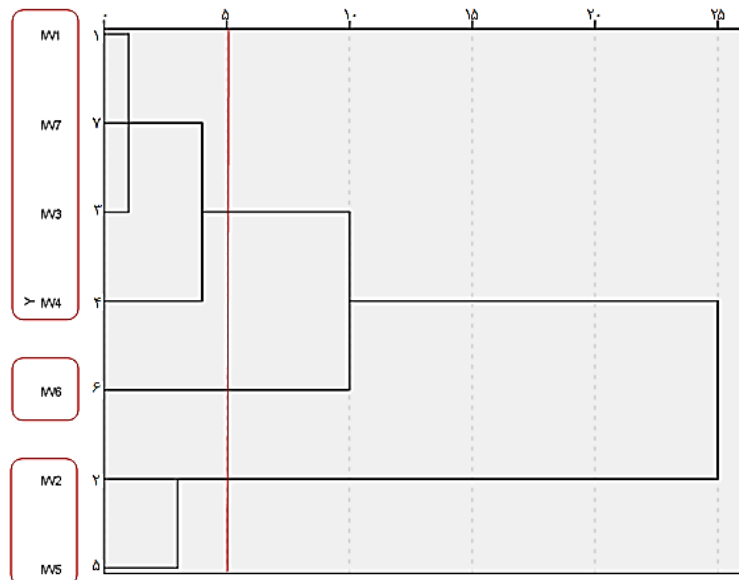
(که در یک گروه قرار گرفتند) دارد. به لحاظ خصوصیات رسوب (فلزات سنگین، مواد آلی کل و دانه‌بندی) در فاصله عددی ۵، ایستگاه‌های ۱، ۳، ۷ و ۴ که دارای شباهت بیشتری بودند، در یک گروه و ایستگاه ۶ در گروه جداگانه و در نهایت ایستگاه ۲ و ۵ در گروه سوم قرار گرفت (شکل ۴b). در جدول ۴ فاکتور غنی‌شدگی هشت فلز مورد نظر در ایستگاه‌های مختلف تالاب اینچه نشان داده شد.

با انجام آزمون خوشه‌ای^۱، ایستگاه‌ها بر اساس پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی آب (در فاصله عددی ۵) در دو گروه عمده دسته‌بندی شدند (شکل ۴a). به طوری که ایستگاه ۸ (خروجی کارخانه ید) از سایر ایستگاه‌ها متمایز شده و ایستگاه ۵ نیز به دلیل مجاورت با آن از سایر ایستگاه‌ها جدا شده و شباهت کمتری با ایستگاه‌های ۱ الی ۴، ۶ و ۷

¹ Squared Euclidean Distance, Ward's linkage



(a)



(b)

شکل ۴: آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌های تالاب اینچه بر اساس پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب (a) و فلزات سنگین و دانه‌بندی رسوب (b) - آبان ۱۳۹۷؛ ST و W معرف ایستگاه می‌باشد.

Figure 4: Cluster analysis of Incheh Wetland stations based on The physicochemical parameters of water (a) and heavy metals and grain size (b), 2018; ST and W represent stations

بررسی قرار گرفت. در هیچ‌یک از رسوبات ایستگاه‌های مورد نظر به‌جز پوسته صدفی دوکفه‌ای، نمونه زنده‌ای یافت نشد.

بیشینه و کمینه مقدار شاخص PLI به‌ترتیب در ایستگاه ۴ (۰/۸۴) و ایستگاه ۲ (۰/۴۶) محاسبه شده است (جدول ۵). در این مطالعه، هم‌زمان با بررسی پارامترهای محیطی آب و رسوب، نمونه‌های ماکروبن‌توزهای بستر نرم نیز مورد

جدول ۴: فاکتور غنی‌شدگی (EF) در رسوبات تالاب اینچه، ۱۳۹۷

Table 4: Enrichment factor in the sediments of Incheh Wetland, 2018

ایستگاه	As	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	V	Cr
	(میلی گرم در کیلوگرم)	(میلی گرم در کیلوگرم)	(قسمت در صد)	(میلی گرم در کیلوگرم)	(میلی گرم در کیلوگرم)	(میلی گرم در کیلوگرم)	(میلی گرم در کیلوگرم)	(میلی گرم در کیلوگرم)
۱ST	۰/۲	۱/۱	۱/۰	۱/۵	۰/۸	۱/۳	۱/۸	۱/۴
۲ST	۰/۲	۱/۲	۰/۴	۱/۶	۱/۱	۱/۴	۱/۸	۱/۲
۳ST	۰/۱	۰/۹	۰/۸	۱/۲	۰/۷	۱/۰	۱/۴	۱/۱
۴ST	۰/۲	۰/۹	۰/۹	۱/۲	۱/۰	۱/۳	۱/۴	۱/۱
۵ST	۵/۷	۱/۵	۳/۷	۲/۰	۰/۹	۰/۵	۲/۳	۱/۶
۶ST	۰/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۸	۱/۱	۱/۲	۲/۱	۱/۵
۷ST	۰/۱	۱/۰	۱/۰	۱/۴	۱/۰	۱/۳	۱/۶	۱/۲
میانگین (±SD)	۰/۲±۱/۰	۰/۲±۱/۱	۱/۰±۱/۳	۰/۳±۱/۵	۰/۱±۱/۰	۰/۳±۱/۲	۰/۳±۱/۸	۰/۲±۱/۳

جدول ۵: میزان PLI بر اساس غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مختلف تالاب اینچه، ۱۳۹۷

Table 5: The amount of PLI based on the concentration of heavy metals in different stations of Incheh Wetland, 2018

ایستگاه	۱ST	۲ST	۳ST	۴ST	۵ST	۶ST	۷ST
PLI	۰/۶۱	۰/۴۶	۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۵۲	۰/۵۰	۰/۷۰

بحث

میانگین شوری تالاب اینچه در این مطالعه ۱۸۷/۰ سم در هزار اندازه‌گیری شد که در مقایسه با شوری خلیج گرگان (۱۰/۰ قسمت در هزار) و جنوب دریای خزر (۱۳ قسمت در هزار) که لب شور می‌باشد (Ghorbanzadeh *et al.*, 2017)، شوری بالایی دارد. میانگین میزان pH آب تالاب اینچه ۶/۹۴ بوده که نسبت به خلیج گرگان (۷/۹-۸/۲۸) و سواحل جنوبی دریای خزر (۸/۶) کمتر و نزدیک به خنثی است (هاشمیان، ۱۳۷۷؛ Ghorbanzadeh *et al.*, 2017). بر اساس مطالعات انجام شده، تالاب اینچه از نظر شوری و pH تغییرات زیادی نشان داده است. محدوده شوری و pH تالاب اینچه در سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۲۳/۳-۲۸/۷ و ۴/۲-۴/۶ گزارش شده است (زرپرور و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه قره محمودلو و همکاران (۱۳۹۹) نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی آب تالاب اینچه و آب زیرزمینی قبل از فعالیت کارخانه ید نشان داد که غلظت پارامترهای مورد مطالعه در تالاب اینچه در فصل تابستان نسبت به فصل زمستان

میانگین اکسیژن محلول تالاب، ۳/۱ میلی گرم در لیتر بوده است که در قیاس با مقدار این پارامتر در خلیج گرگان در مطالعه Taheri و همکاران (۲۰۱۲) و Ghorbanzadeh و همکاران (۲۰۱۷) به ترتیب ۵/۱ تا ۸/۲ و ۷/۴۹ میلی گرم در لیتر گزارش شد، کمتر می‌باشد. در مطالعات انجام شده، میانگین غلظت اکسیژن محلول در آب دریا ۵ میلی گرم در لیتر گزارش شد. مقادیر کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر ممکن است سبب تغییر رفتار، کاهش رشد و تولید مثل و مرگ و میر در گونه‌های حساس و تازه بالغ گردد (Al-Yamani *et al.*, 2004). در مطالعه حاضر، با توجه به اینکه میانگین اکسیژن محلول تالاب اینچه، ۳/۱ میلی گرم در لیتر بوده است، می‌توان گفت تالاب شرایط مناسبی برای زیست آبزیان ندارد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، عدم حضور نمونه زنده ماکروبنتوزی می‌تواند مصداق شرایط نامناسب تالاب برای آبزیان باشد.

(قربانزاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ خدابخشی و همکاران، ۱۳۹۶). به طور کلی، حداقل دو منبع متفاوت شامل: منشاء زمین‌زادی ناشی از فرسایش سنگ‌های بالادست حوضه (به‌ویژه سنگ‌های آذرین) به عنوان منشأ اصلی عناصر آهن، نیکل، کروم و روی و منشاء انسان‌زاد (شامل فاضلاب‌های خانگی و صنعتی و زهکشی زمین‌های کشاورزی) به عنوان منبع تأمین عناصر آرسنیک، سرب، مس و وانادیوم برای ورود به رسوب پیشنهاد شده است (Loska and Wiechula, 2003). رفتار آرسنیک و آهن در رسوب منطقه متفاوت با اکثر فلزات سنگین دیگر منطقه، رفتار متفاوتی نشان داد. این موضوع با توجه به عدم همبستگی بین این دو فلز با سایر فلزات مورد مطالعه و آزمون PCA که به عنوان مؤلفه سوم شناخته شدند، قابل توضیح می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت منشأ و منبع ورودی (طبیعی یا انسانی) این دو فلز با سایر فلزات (V, Al, Zn, Cu, Pb, Cr و Ni) که در مؤلفه اول قرار دارند و همبستگی قوی و مثبتی و در نهایت رفتار مشابهی نشان دادند، متفاوت می‌باشد. برخی از گزارش‌ها از خلیج گرگان و سواحل خزر، رفتار مشابه یا منبع زیستی مشترک فلزات سرب، نیکل، مس، آهن را در یک گروه پیشنهاد داده است (Agah et al., 2012; Ghorbanzadeh et al., 2016).

مطابق با جدول ۳، مقادیر اکثر فلزات در مطالعه حاضر از برخی از گزارش‌ها در خلیج گرگان، تالاب آلاگل و دریای خزر بالاتر بوده است (علی پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸; Bastami et al., 2009; Moreno et al., 2016; Ghorbanzadeh et al., 2016a, b). با این وجود، میانگین آرسنیک و آلومینیوم در کل تالاب اینچه از تمامی مطالعات قبلی در تالاب‌های خلیج گرگان، آلاگل، دریای خزر و استانداردهای مورد نظر کمتر بوده ولی تن‌ها میانگین کل نیکل در رسوبات تالاب اینچه (۲۶/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) از مقادیر آن در پوسته زمین (۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و استاندارد TEL (۱۵/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) بالاتر بوده است (Long et al., 1995; Buchman, 2008). با توجه به تغییرات مکانی معنی‌دار در میزان فلزات سنگین و این‌که میانگین مقدار آرسنیک

بیشتر می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی در این بازه زمانی به همراه بالا بودن نرخ تبخیر باشد. نتایج هیدروشیمی تالاب قبل از فعالیت کارخانه مذکور نشانگر شور شدن آب تالاب در نتیجه انحلال کانی‌های سطحی تبخیری نظیر کلریده و سولفات‌ها و نفوذ آب زیرزمینی حاوی یون‌های مذکور است.

با توجه به کلاسه‌بندی بافت رسوب تالاب اینچه که در کلاس سیلت‌لومی قرار گرفت، مطابق با انتظار، میزان بالایی از مواد آلی کل (۱۰/۵٪) در تالاب اندازه‌گیری شد که از میانگین خلیج گرگان (۷/۲٪) و دریای خزر (۶/۶ - ۳/۳٪) بیشتر می‌باشد (قاسمی، ۱۳۹۰؛ Ghorbanzadeh et al., 2016). با توجه به ارتباط معنی‌دار منفی بین میزان شن با سیلت می‌توان نتیجه گرفت که هرچه میزان دانه‌های ریز رسوبات بستر در ایستگاه‌های مختلف افزایش یابد، میزان شن کاهش یافته و میزان مواد آلی نیز می‌تواند با افزایش دانه‌های ریز، افزایش یابد. البته با توجه به عدم همبستگی معنی‌دار بین میزان مواد آلی در ایستگاه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت مواد آلی رسوبات دارای توزیع تقریباً یکنواخت در کل تالاب اینچه می‌باشد.

با توجه به ارتباط قوی و مثبت با اکثر فلزات مورد مطالعه (V, Al, Cu, Cr و Ni) با میزان رس، دلیل بالا بودن این فلزات در ایستگاه ۳ می‌تواند میزان بالای ریزدانه‌ها به‌ویژه رس در این ایستگاه باشد. ذرات ریز رسوبات با افزایش نسبت سطح به حجم (یا وزن)، پتانسیل بالاتری برای به‌دام انداختن آلاینده‌های آلی و غیر آلی از ستون آب دارند. به طور کلی، ذرات ریز رسوبات بسترهای نرم و گلی با داشتن مواد آلی بیشتر، آلاینده‌های بیشتری را نسبت به بسترهای شنی - ماسه‌ای در خود نگه می‌دارند (De Mora and Sheikholeslami, 2002; Sharbaty, 2011).

هدف از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، تعیین حداقل تعداد متغیرهایی است که بیشترین تغییرات را بین داده‌ها نشان می‌دهند. ویژگی‌های یونی، میزان تحرک، میزان ارتباط رفتاری عناصر با اجزاء رسوب (مواد آلی و کانی‌های رسی) و وجود منابع مشترک از جمله مواردی هستند که توزیع متفاوت عناصر را در مؤلفه‌های اصلی رقم می‌زنند

کیلوگرم) بود که می‌تواند به علت نزدیکی به ورودی خروجی کارخانه ید باشد. بنابراین، اختلاف در منشاء ورودی فلزات به همراه سایر خصوصیات آب و رسوب می‌تواند دلیل گروه‌بندی مجزای ایستگاه ۵، ۲، ۶ و ۸ باشد (شکل ۲). به رغم غنی‌شدگی متوسط و متوسط تا شدید به ترتیب برای آهن و آرسنیک در ایستگاه ۵، بر اساس نتایج شاخص بار آلودگی (۰/۸۴-۰/۴۶)، کلیه ایستگاه‌های تالاب اینچه، فاقد آلودگی ارزیابی شدند. به طور کلی، می‌توان گفت که فقط آرسنیک و آهن در تالاب اینچه با منشاء احتمالی انسان‌زاد، دارای غنی‌شدگی بالا نسبت به سایر فلزات سنگین مورد مطالعه بودند که می‌تواند به دلیل مجاورت با خروجی کانال کارخانه ید باشد. لذا، به منظور افزایش کیفیت اکوسیستم تالابی و حفظ سلامت زیست‌مندان تالاب اینچه، با توجه به توسعه صنعت مذکور در اطراف تالاب و احتمال افزایش پساب ورودی و فقدان اطلاعات و داده‌های پایشی کافی از منطقه، انجام مطالعات پایشی منظم از آب و رسوب حائز اهمیت می‌باشد.

منابع

باقری، ح.، درویش بسطامی، ک.، شارم، ت. و باقری، ز.، ۱۳۹۱. ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان، اقیانوس شناسی، ۱۱(۳): ۶۵-۷۲
DOI: 20.1001.1.15621057.1391.3.11.7.0
حبیب‌پور گتایی، ک. و صفری شالی، ر.، ۱۳۹۱. راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی (تحلیل داده‌های کمی). نشر لویه. ۸۶۶ صفحه.
خدابخشی، خ.، کریم‌زاده، ف.، خوش منش، ب. و ضیاء ظریفی، ا.، ۱۳۹۶. بررسی مقادیر عناصر آلوده کننده رسوب رودخانه کرج در محدوده اسلامشهر (جنوب تهران) و اثرات سوء آن بر محیط زیست پیرامون، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، ۱۱(۸۳): ۱۰۳-۸۵.
درویش بسطامی، ک.، طاهری، م.، باقری، ح.، یزدانی فشتمی، م.، سلطانی، ف.، حق پرست، س.، حمزه-

در ایستگاه ۵ (۱۳/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) از استاندارد TEL (۷/۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) و میانگین نیکل در کلیه ایستگاه‌ها از استاندارد مذکور (۱۵/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر بوده‌است، این موضوع بیانگر آن است که احتمال مشاهده اثرات احتمالی و بروز اثرات شدید زیستی بر اکثر موجودات بسترزی، کم و در حد آستانه می‌باشد (Persaud *et al.*, 1993; Buchman, 2008). در مطالعه حاضر، از آلومینیوم به عنوان فلز مرجع در شاخص EF استفاده شد که به طور وسیع به صورت ترکیب سیلیکات آلومینیوم در نواحی ساحلی وجود دارد. شاخص EF ابزار مناسبی برای تعیین میزان رسوب‌گذاری عناصر به واسطه منبع ورودی انسانی یا طبیعی

(Huang and Lin, 2003; Woitke *et al.*, 2003; Adamo *et al.*, 2005) می‌باشد. در مطالعه حاضر، محدوده میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای کل تالاب از ۱/۰ (برای آرسنیک و سرب) الی ۱/۸ (برای وانادیوم) متغیر می‌باشد. از آنجایی که شاخص غنی‌شدگی کلیه فلزات (جدول ۳) در اکثر ایستگاه‌ها از سه کمتر می‌باشد، می‌توان گفت این فلزات با وضعیت بدون غنی‌شدگی تا غنی‌شدگی کم، بیشتر منشاء طبیعی داشته‌اند ولی آرسنیک با غنی‌شدگی متوسط تا شدید (۵/۷) و آهن با غنی‌شدگی متوسط (۳/۷) در ایستگاه ۵ می‌تواند دارای منشاء انسانی باشد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱). این موضوع می‌تواند متأثر از مجاورت ایستگاه ۵ با کانال خروجی کارخانه ید (به عنوان اصلی‌ترین ورودی تالاب) و در نتیجه متأثر از فعالیت کارخانه باشد. از عوامل مهم دیگر در افزایش غلظت آرسنیک و سایر فلزات می‌توان به دانه‌بندی و بافت رسوب اشاره نمود. بر اساس مطالعات قبلی، اگر جنس رسوب ماسه‌ای و ماسه‌ای-گلی باشد، آرسنیک در رسوب افزایش می‌یابد ولی برخی فلزات دیگر از جمله کادمیوم در رسوبات گلی بیشتر انباشته می‌شوند (Kaki *et al.*, 2011; Ghorbanzadeh *et al.*, 2016). در مطالعه حاضر، میزان اکثر فلزات در ایستگاه‌هایی که دارای ریزدانه‌ها (سیلت لوم) بودند، بیشتر بوده ولی برخلاف مطالعات مذکور، میزان آرسنیک در جایی که سیلنتی بوده (ایستگاه ۵) دارای بالاترین میزان (۱۳/۶ میلی‌گرم در

- رسوبات رودخانه کرج (استان البرز)، مجله علمی شیلات ایران، ۳۰ (۱): ۵۲-۳۷. DOI : 10.22092/ISFJ.2021.123946
- قره محمودلو، م.، رقیمی، م.، قلی‌زاده، م. و صیادی، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی کیفی آب دریاچه اینچه در بخش کشاورزی قبل از ورود پساب کارخانه ید. سی و نهمین کنگره ملی و چهارمین کنگره بین‌المللی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۴ تا ۶ اسفند ۱۳۹۹، ۷ صفحه.
- هاشمیان کفشگری، ع.، ۱۳۷۷. بررسی پراکنش و تغییرات فصلی زی‌توده (بیوماس) و تنوع ماکروبن‌توزهای غالب سواحل جنوبی خزر. پایان‌نامه کارشناس ارشد. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور. دانشگاه تربیت مدرس.
- یوسفی، ذ.، ظفرزاده، ع.، محمدپور تهمتن، ر.ع.، شکرزاده، م.، بابانژاد اریمی، ا.، فولادیان، ع. و خیرآبادی، و.، ۱۳۹۸. ارزیابی آلودگی و پهنه‌بندی فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و نیکل در آب و رسوب تالاب آلاگل استان گلستان در سال ۱۳۹۶، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۹ (۱۷۷): ۱۹۴-۱۸۰.
- Abraham, G.M.S. and Parker, R.J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Estuarine. Coastal and Shelf Science*, 136: 227-238. DOI: 10.1007/s10661-007-9678-2.
- Acevedo-Figueroa, D., Jimenez, B.D. and Rodriguez-Sierra, C.J., 2006. Trace metals in sediments of two estuarine lagoons from Puerto Rico. *Journal of Environmental Pollution*, 141: 336-342. DOI: 10.1016/j.envpol.2005.08.037.
- پور، ع. و لطفی آشتیانی، م.، ۱۳۹۱. ارتباط بین غلظت برخی فلزات سنگین در رسوبات و جمعیت ماکروبن‌توزها در خلیج گرگان. فصلنامه علمی- پژوهشی محیط زیست جانوری، ۴ (۴): ۱۰۲-۹۱. DOI:20.1001.1.27171388.1391.4.4.11.8.
- زرپرور، پ.، آموزگار، م.ع. و فلاحیان، م. ر.، ۱۳۹۳. بررسی تنوع زیستی باکتری‌های نمک‌دوست نسبی و تحمل‌کننده نمک قابل کشت در تالاب پرشور اینچه‌برون، مجله پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۲۷ (۱): ۴۶-۵۶.
- علی پور، ح.، کریمی، غ.، مرتضوی، ث. و حسن پور، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی زیست محیطی آلودگی روی، کادمیوم و سرب در آب، رسوب و میگوی رودخانه‌ای شرق (*Macrobrachium nipponense De Haan*, 1849) در تالاب آلاگل، زیست‌شناسی دریا، ۹ (۳۳): ۷۳-۸۲.
- فرح‌بخش، ز.، اکبرزاده، آ. و ناجی، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی خطر فلزات سنگین Cu, Zn, Ni برای سلامت انسان ناشی از مصرف عضله ماهی سیاه‌کولی (Linnaeus, 1754) *Vimba vimba persa* و ماهی سفید (*Rutilus kutum*, 1901) در تالاب انزلی، دریای خزر، مجله شیلات ایران، ۲۸ (۳): ۷۷-۸۸. DOI : 10.22092/ISFJ.2019.119236.
- فیضی، و. و شجاع جمال آباد، م.، ۱۳۸۹. اندازه‌گیری بقایای آلودگی‌های نفتی " هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای " در آب‌های ۳ تالاب بین‌المللی (آلاگل، آماگل و آجی‌گل) در شمال ایران، فصلنامه علمی محیط زیست، ۴۹: ۶۳-۵۷.
- قاسمی، ا.، ۱۳۹۰. بررسی ساختار جمعیت و تنوع گونه‌ای ماکروبن‌توزهای دریای خزر در مناطق ساحلی سیسنگان و نوشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست‌شناسی دریا. دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۸۰ صفحه.
- قربان‌زاده زعفرانی، س. ق.، حسینی طایفه، ف.، عظیمی، س. ب.، گندمکار، م.، غلامعلی فرد، م. و بادام فیروز، ج.، ۱۴۰۰. ارزیابی کیفیت محیطی

- Adamo, P., Arienzo, M., Imperato, M., Naimo, D., Nardi, G. and Stanzione, D., 2005.** Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples City Port. *Chemosphere*, 61: 800–809. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.001.
- Agah, H., Hashtroudi, M.S. and Baeyens, W., 2012.** Trace Metals and Major Elements in Sediments of the Northern Persian Gulf, *Journal of the Persian Gulf (Marine Science)*, 3 (7/13): 45-58.
- Al-Yamani, F., Bishop, J., Ramadhan, E., Al-Husaini, M. and Al-Ghadban, A., 2004.** Oceanographic Atlas of Kuwait's Water, Kuwait Institute for Scientific Research, Safat, Kuwait, 203p.
- Bagheri, H., Bastami, K.D., Sharmad, T. and Bagheri, Z., 2012.** Assess the distribution of heavy metal pollution in Gorgan Bay. *Oceanography*, 3(11): 65-72.
- Bastami, K.D., Bagheri, H., Haghparast, S., Soltani, F., Hamzehpoor, A. and Bastami, M.D., 2012.** Geochemical and geo-statistical assessment of selected heavy metals in the surface sediments of the Gorgan Bay, Iran. *Marine pollution Bulletin*, 64: 2877-2884. DOI: 10.1016/J.Marpolbul.2012.08.015.
- Bastami, D.K., Bagheri, H., Kheirabadi, V., Ghorbanzadeh Zaferani, G., Teymori, B., Hamzehpoor, A., Soltani, F., Haghparast, S., Moussavi Harami, S.R., Farzaneh Ghorghani, N. and Ganji, S., 2014a.** Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments along southeast coast of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 81: 262-267. DOI:10.1016/J.Marpolbul.2014.01.029.
- Bastami, K. D, Taheri, M., Bagheri, H., Foshtomi, M.Y., Ganji, S. Haghparast, S., Soltani, F., Hamzehpoor A. and Karimi, B., 2014b.** Response of sediment-dwelling annelida community in relation to geochemical parameters in the Gorgan Bay, Caspian Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11, 2025-2036. DOI:10.1007/s13762-014-0658-0.
- Buchman, M.F., 2008,** NOAA Screening Quick Reference Tables (SQuiRTs), NOAA OR and R Report; 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34p.
- De Mora, S.D. and Sheikholeslami, M.R., 2002.** ASTP: Contaminant Screening Program: Final report: Interpretation of Caspian Sea sediment data. Caspian Environment Program (CEP), 27 p.
- Flemming, W.B., 2000.** A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. *Continental Shelf Research*, 20: 1125-1137. DOI: 10.1016/S0278-4343 (00)00015-7.
- Folk, R.L., Andrews, P.B. and Lewis D.W., 1970.** Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13: 937-968. DOI:10.1080/00288306.1970.10418211.

- Ghorbanzadeh, Zaferani, S.G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari A.R. and Fatemi S.M.R., 2016.** Distribution pattern of heavy metals in the surficial sediment of Gorgan Bay (South Caspian Sea, Iran). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 15(3): 1144-1166. DOI: 20.1001.1.15622916.2016.15.3.18.6.
- Ghorbanzadeh, Zaferani, S.G., Machinchian Moradi, A., Mousavi Nadushan, R., Sari A.R. and Fatemi, S.M.R., 2017.** Spatial and temporal patterns of benthic macrofauna in Gorgan Bay, south Caspian Sea, Iran). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(1): 251-274. DOI: 20.1001.1.15622916.2017.16.1.21.2.
- Grant, A. and Middleton, R., 1990.** An assessment of metal contamination of sediments in the Humber Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31: 71–85. DOI: 10.1016/0272-7714(90)90029-Q.
- Huang, K.M. and Lin, S., 2003.** Consequences and implication of heavy metal spatial variations in sediments of the Keelung River drainage basin, Taiwan. *Chemosphere*, 53: 1113–1121. DOI: 10.1016/s0045-6535(03)00592-7.
- Kaki, C., Guedenon, P., Kelome, N., Edoth, P.A. and Adechina, R., 2011.** Evaluation of heavy metals pollution of Nokoue Lake. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(3): 255-261.
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. and Calder, F.D., 1995.** Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 18–97. DOI:10.1007/BF02472006.
- Loska, K. and Wiechula, D., 2003.** Application of principal component analysis for the estimation of Sources of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, 51: 723-733. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00187-5.
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. and Berger, T.A., 2000.** Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environment Contamination and Toxicology*, 39: 20- 31. DOI: 10.1007/s002440010075.
- Miller, J.R. and Orbock Miller, S.M., 2007.** Contaminated rivers : A Geomorphological-Geochemical Approach to Site Assessment and Remediation, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 432 p.
- Montgomery, W.C., 2006.** Environmental Geology. McGraw Hill. New York, New York, US, 576 p.
- Moreno, M., Albertelli, G. and Fabiano, M., 2009.** Nematode response to metal, PAHs and organic enrichment in tourist marinas of the mediterranean sea. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 1192–1201. DOI:10.1016/J.Marpolbul.2009.03.016.
- Persaud, D., Jaagumagi, R. and Hayton, A., 1993.** Guidelines for the protection and

- management of aquatic sediment quality in Ontario. Ministry of Environment and Energy, Queen's Printer for Ontario, Canada, 39 p.
- Sakan, S., Dević, G., Relić, D., Anelkovic, I., Sakan, N. and Dordevic, D., 2015.** Evaluation of sediment contamination with heavy metals: the importance of determining appropriate background content and suitable element for normalization. *Environmental Geochemistry and Health*, 37: 97–113. DOI: 10.1007/s10653-014-9633-4.
- Seshan, B.R.R., Natesan, U. and Deepthi, K., 2010.** Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (2): 291–306. DOI:10.1007/BF03326139.
- Shajan, K.P., 2001.** Geochemistry of bottom sediments from a river-estuary-shelf mixing zone on the tropical southwest coast of India. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 52(8): 371-382. DOI: 10.9795/bullgsj.52.371.
- Sharbaty, S., 2011.** Two dimensional simulation of flow pattern in Gorgan Bay by using Mike21 software. *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(4): 241-246.
- Suresh, G., Ramasamy, V., Meenakshisundaram, V., Venkatachalapathy, R. and Ponnusamy, V., 2011.** Influence of mineralogical and heavy metal composition on natural radionuclide concentrations in the river sediments, *Applied Radiation and Isotopes*, 69(10):1466-1474, DOI: 10.1016/j.apradiso.2011.05.020.
- Taheri, M., Yazdani Foshtomi, M., Noranian1 M. and Mira, S.S., 2012.** Spatial distribution and biodiversity of macrofauna in the southeast of the Caspian Sea, Gorgan Bay in relation to environmental conditions, *Ocean Science Journal*, 47(2): 113-122. DOI:10.1007/s12601-012-0012-8.
- Woitke, P., Wellmitz, J., Helm, D., Kube, P., Lepom, P. and Litheraty, P., 2003.** Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51: 633–642. 2. DOI: 10.1016/S0045-6535(03)00217-0.
- Yu, K.C., Tsal, L.J., Chen, S.H. and Ho, S.T., 2001.** Chemical binding of heavy metals in anionic river sediments. *Water Research*, 35(17): 4086-4096. DOI:10.1016/S0043-1354(01)00126-9.

Risk assessment of the Incheh wetland based on geochemical indices (Golestan Province)Ghorbanzadeh Zafarani S.G.*¹; Hoseani Tayefeh F.¹; Izadian M.; Raygani B.¹

*Ghorbanzadeh110@yahoo.com

1-Research group of Biodiversity & Biosafety, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department Of Environment, Tehran, Iran

2-Research group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development, RCESD, Department of Environment, Tehran, Iran

Abstract

The Incheh wetland, with high ecological importance, is located in the north of Aq-Qala (Golestan province). In this study, the surface sediments of the Incheh wetland from 7 stations with a maximum depth of 2.8 m were collected in November 2018 to find the source and determine the amount of heavy metals pollutions in the wetland and calculate the indices of enrichment factor and pollution load. The water environmental parameters, heavy metals, grain size, and total organic matter were measured by portable multi-parameter meter, inductively-coupled plasma mass spectrometry, laser diffraction particle size analyzer, and oven combustion, respectively. The mean of Al and Fe in the sediments were 0.8 ± 0.4 and $1.5\pm 0.6\%$. Also, the mean of As, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn and V in the samples were measured 2.8 ± 4.6 , 12.8 ± 3.6 , 26.7 ± 6.4 , 7.0 ± 2.7 , 25.7 ± 7.8 , 32.4 ± 16.2 and 28.6 ± 7.1 mg/kg, respectively. In general, in terms of the enrichment factor index, the wetland has low enrichment (1-1.8). In the case that station 5, in terms of Fe (3.7) and As (5.7) had moderate enrichment and moderate to severe enrichment, respectively. In terms of the range of pollution load index (0.46-0.84), all stations were less than 1, so they were not polluted. In general, due to the fact that the amount of nickel and arsenic in all stations and station 5 was higher than the TEL, respectively, it can be concluded that the probability of severe biological effects on most of benthic organisms is low and at the threshold level.

Keywords: Sediment, Incheh Wetland, Heavy metals, Enrichment factor, Pollution load index

*Corresponding author