

ارزیابی آلودگی و پهنه‌بندی کیفی رسوبات سطحی تالاب انزلی بر اساس نتایج شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین

احمد جمشیدی زنجانی*^۱، محسن سعیدی^۲

۱. دکتری آب و محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران

msaeedi@iust.ac.ir

۲. دانشیار گروه آب و محیط‌زیست، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۲

چکیده

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌هایی محسوب می‌شوند که از طریق منابع متعدد انسان‌ساخت یا طبیعی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وارد پیکره‌های آبی می‌شوند. تالاب انزلی یکی از اکوسیستم‌های بسیار حائز اهمیت در ایران است که به علت برنامه‌های توسعه صنعتی و کشاورزی از منابع آلاینده متعددی تأثیر می‌پذیرد. در تحقیق حاضر رسوبات ۴۱ ایستگاه نمونه‌برداری در تالاب انزلی مطالعه و غلظت فلزات مس، روی، کروم، آهن، منگنز، سرب، نیکل و کادمیوم در رسوبات این نمونه‌ها آنالیز و بررسی شد. همچنین، شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات (شاخص غنی‌سازی، درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک) همراه آنالیزهای آماری چندمتغیره (PCA و CA) برای سنجش وضعیت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی استفاده شد که نتایج بیانگر آلودگی بیشتر مناطق شرقی و رودخانه‌های پیربازار، پسیخان و شیجان (ایستگاه‌های ۱، ۳ و ۴) در مقایسه با سایر مناطق بود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از شاخص غنی‌سازی، غنی‌شدگی رسوبات به فلزات کادمیوم، سرب و کروم مشهود بود. علاوه بر موارد بالا، نتایج شاخص‌های ریسک اکولوژیک و درجه آلودگی اصلاح‌شده بیانگر وضعیت آلودگی متوسط و ریسک اکولوژیکی بالایی در مناطق شرقی و جنوب شرقی تالاب انزلی بود. نتایج آنالیزهای آماری چندمتغیره تأثیر زیاد منابع انسان‌ساخت در مقادیر فلزات مس، روی، کروم، سرب و نیکل را تأیید کرد. همچنین، فلزات آهن، منگنز و تا حدی نیکل نیز احتمالاً از منابع طبیعی در منطقه مورد مطالعه سرچشمه می‌گیرند.

کلیدواژه: آنالیز آماری چندمتغیره، تالاب انزلی، ریسک اکولوژیک، فلزات سنگین، GIS.

۱. سرآغاز

مواد سمی و خطرناک از جمله فلزات سنگین از طریق مسیرهایی مانند تخلیه پساب‌های مایع، رواناب‌های زمینی، نشت حاصل از منابع صنعتی و کشاورزی و نزولات جوی آلوده می‌شوند (Rividal Da Silva, et al., 1996; Karageorgies, et al., 2002; Mucha, et al., 2003). فلزات سنگین به صورت بالقوه خطر سمیت را برای زندگی موجودات زنده و محیط‌زیست به همراه دارند. اثر آلودگی آن‌ها در محیط‌هایی مانند خاک و رسوب به مشارکت شیمیایی آن‌ها وابسته است. عموماً تکنیک‌های پاک‌سازی رسوبات از آلاینده‌ها در مقابل سایر مواد زاید جامد بسیار محدود است. بررسی فعالیت‌های لایروبی در

فلزات سنگین در آب‌های سطحی از منابع طبیعی یا انسان‌ساخت سرچشمه می‌گیرند. منابع عمده ورود آلودگی فلزات احتراق سوخت‌های فسیلی، معدن‌کاری، زایدات شهری و صنعتی، فاضلاب، کودها و آفت‌کش‌ها به شمار می‌روند (Pendias and Pendias, 1989). برخلاف مواد آلی، فرایندهای طبیعی تجزیه به حذف یا خروج فلزات سنگین از محیط‌های درگیر به خصوص خاک و رسوبات منجر نخواهند شد. بیش از ۹۰ درصد فلزات سنگین در پیکره‌های آبی در ترکیب با ذرات معلق و رسوبات‌اند (Calmano, et al, 1993). رسوبات به وسیله بسیاری از

درصد از جمعیت استان گیلان در محدوده حوزه آبریز تالاب انزلی سکونت دارند. مهم‌ترین این شهرها عبارت‌اند از: رشت، انزلی، صومعه‌سرا، خمام و فومن. همچنین، ۴۱ کارخانه شامل صنایع چوب و کاغذ، صنایع غذایی، فلزی و وابسته به آن، پلاستیک و لاستیک‌سازی، نساجی و تأسیسات الکتریکی عمدتاً در بخش شرقی و جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه و در مجاورت رشت واقع شده است (Ayati, 2003; JICA, 2005). تالاب انزلی با میزان شوری کمتر از ۰/۵ppt جزو آب‌های شیرین محسوب می‌شود (JICA, 2005). بر اساس مطالعات جایکا میزان اکسیژن محلول از ۷/۱ تا ۸/۳ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است که بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده در نواحی غربی و شمال غربی تالاب گزارش شده است. فقدان سیستم و تجهیزات مناسب تصفیه انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی و زهاب کشاورزی سبب شده است COD در حدود ۶۵۳۰۰ تن در سال، کل نیتروژن و فسفر به ترتیب به میزان ۶۹۳۰ و ۸۱۹ تن در سال به صورت مستقیم یا غیرمستقیم وارد تالاب انزلی شود (JICA, 2005). همچنین، مطالعات Ayati (2003) بیانگر مقادیر بالایی از نیتروژن و فسفر کل و COD در رودخانه‌های منتهی به تالاب بوده است. برای مثال، در ۳ رودخانه بخش شرقی و جنوبی تالاب؛ پیربازار (نیتروژن کل: ۳۵، فسفر کل: ۴، COD: ۳۷ میلی‌گرم بر لیتر)، رودخانه پسیخان (نیتروژن کل: ۱۰، فسفر کل: ۲، COD: ۲۲ میلی‌گرم بر لیتر) و رودخانه خمام یا شیجان (نیتروژن کل: ۲۲، فسفر کل: ۳، COD: ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) گزارش شده است (Ayati, 2003). همچنین، برخی محققان مطالعاتی در خصوص آلودگی رسوبات تالاب انزلی از منظر فلزات سنگین نیز انجام داده‌اند. در تحقیقی که از سوی غضبان و زارع در سال ۱۳۹۰ روی رسوبات سطحی و عمقی تالاب انزلی انجام شد، غلظت فلزاتی نظیر Mo, Ba, Cd, Ni, Pb, Cr, Cu, Zn, V, As و Co در ۱۰ ایستگاه مطالعه و بررسی شد. به طور کلی نتایج تحقیق مذکور بیانگر غلظت بالاتری از اکثر فلزات یادشده در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی تالاب بود و بخش‌های مرکزی و سیاه‌کشیم مقادیر کمتری از فلزات سنگین را به

نقاط مختلف دنیا بیانگر آن است که بخش بسیار کوچکی از این رسوبات از طریق اعمال تکنیک‌های مختلف تصفیه مانند تصفیه بیولوژیکی^۱ و واجذبی حرارتی^۲ پاک‌سازی خواهند شد. همچنین، عملیاتی‌شدن روش‌های مورد اشاره به سهولت میسر نمی‌شود. از این رو سنجش وضعیت آلودگی رسوبات محیط‌های آبی، شناسایی دقیق منابع آلودگی و اعمال راهکارهای مدیریتی با توجه به نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته به منظور کاهش میزان ورود آلاینده‌ها به محیط‌های آبی از اهمیت بیشتری در مقایسه با روش‌های پاک‌سازی برخوردار است. از این رو از دهه‌های گذشته تاکنون مطالعات بسیاری بر سنجش وضعیت آلودگی رسوبات محیط‌های آبی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. (Hakanson, 1980; Saeedi, et al., 2004; Saeedi, et al., 2011; Saeedi, et al., 2012; Caeiro, et al., 2005; Calmano, et al., 1993; Salamons and Forstner, 1984; Dickinson, et al., 1996; Sharma, et al., 1999).

۲. محدوده مطالعاتی

حوزه آبریز تالاب انزلی با وسعتی در حدود ۳۷۴۰ کیلومتر مربع در محدوده مختصات $48^{\circ}45'$ تا $49^{\circ}42'$ طولی و $36^{\circ}55'$ تا $37^{\circ}32'$ عرضی واقع شده است. میانگین بارش سالانه در حوزه آبریز تالاب، ۱۲۸۰ میلی‌متر برآورد شده است (غزبان و زارع، ۱۳۹۰). در حدود ۱۰ رودخانه مهم در این حوزه آبریز با متوسط دبی ۷۶ متر مکعب بر ثانیه به تالاب انزلی منتهی می‌شود. از سویی، توسعه شهرنشینی و رشد جمعیت به همراه گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی در محدوده حوزه آبریز تالاب انزلی سبب ورود آلاینده‌های فلزی و سایر انواع آلاینده‌ها و آثار منفی در شرایط کیفی تالاب شده است (JICA, 2005). بخش جنوبی و شرقی تالاب عموماً برای مصارف کشاورزی و کاشت برنج استفاده می‌شود و پوشش گیاهی سایر نقاط این قسمت درختزارهای متعدد است، در حالی که بخش شمالی تالاب را علفزارها و برخی گیاهان محلی پوشانده است (Ayati, 2003). بر اساس مطالعات جایکا بیش از ۴۰

بررسی شده است. همچنین، شاخص ریسک اکولوژیک توسعه داده شده از سوی هاگانسون (۱۹۸۰) که به نوعی بیانگر مخاطره رسوبات آلوده به فلزات سنگین برای اکولوژی منطقه مورد مطالعه است بررسی و تحلیل و نتایج به صورت پهنه‌بندی کیفی در قالب نقشه‌های GIS ارائه شده است.

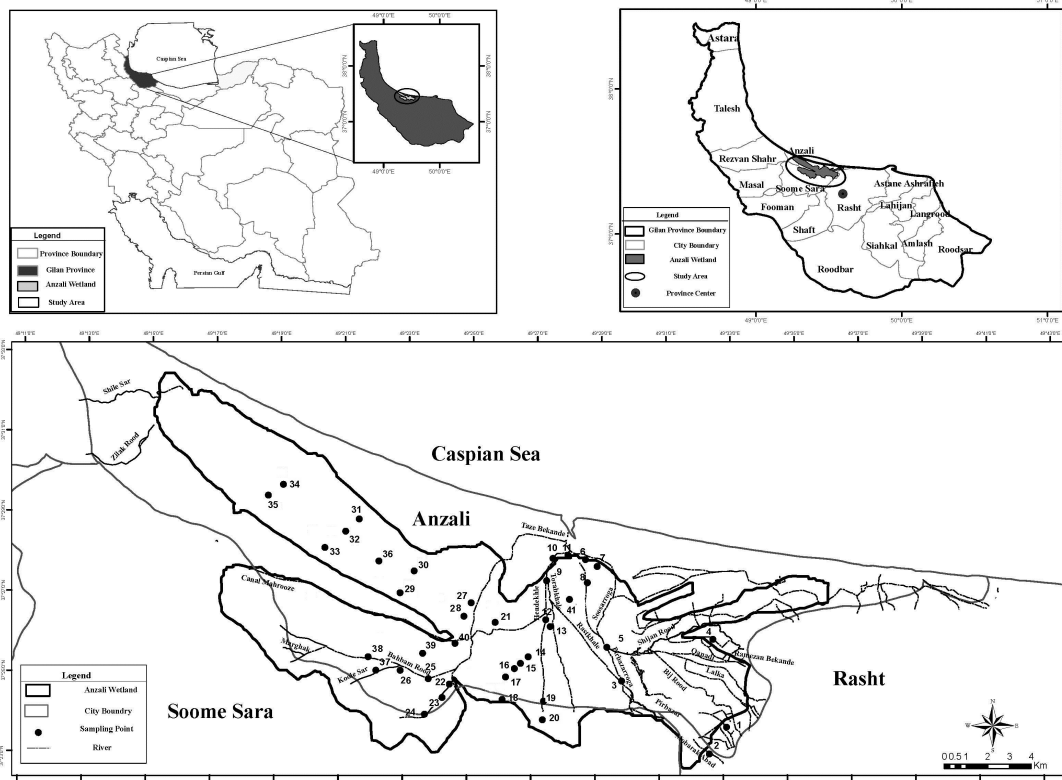
۳. مواد و روش‌ها

۳.۱. نمونه‌برداری

در زمستان ۱۳۸۹ تعداد ۴۱ ایستگاه نمونه‌برداری در تالاب انزلی مشخص و نمونه‌برداری از ایستگاه‌های مذکور انجام شد. نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از نمونه‌بردار گراب انجام شد و برای اجتناب از هرگونه خطا، نمونه‌ها با استفاده از قاشق پلاستیکی داخل زیپ‌کیپ‌های پلاستیکی قرار گرفت. در شکل ۱ محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب انزلی ارائه شده است.

خود اختصاص دادند. خسروی و همکاران (۱۳۹۰) غلظت فلزات سنگین Zn, Cu, Hg, Cd و Pb را در رسوبات ۹ ایستگاه در بخش‌های شرقی، غربی و مرکزی تالاب انزلی بررسی کردند. بنابر نتایج تحقیق ذکر شده بیشینه غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در بخش شرقی تالاب انزلی گزارش شده است.

نتایج مطالعات محققان در زمینه آلودگی فلزی در رسوبات تالاب انزلی که بدان اشاره شده است بر یافته‌هایی مبنی بر مقادیر بالاتری از فلزات سنگین در بخش شرقی و جنوب شرقی تالاب حکایت دارد که به نوعی با نتایج گزارش شده از سوی مطالعات جایکا و آیتی (۲۰۰۳) همخوانی و مطابقت نزدیکی دارد. در این تحقیق با توجه به اهمیت آلاینده‌های فلزی و نقش بسزای رسوبات در جذب این دسته از آلاینده‌ها، آلودگی رسوبات در ۴۱ ایستگاه مختلف از کل تالاب با استفاده از شاخص‌های معتبر سنجش آلودگی فلزات و آنالیزهای آماری چندمتغیره برای شناسایی وضعیت و منابع آلاینده‌های فلزی مطالعه و



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب انزلی

در انتخاب ایستگاه‌ها محدودیت دسترسی به آن‌ها تحت تأثیر عمق بسیار کم تالاب در برخی نقاط و رشد گیاهان آبی قرار گرفته است. نمونه‌برداری با استفاده از گراب انجام و نمونه‌ها تا رسیدن به آزمایشگاه در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در آزمایشگاه پس از الک کردن نمونه‌ها (عبوردادن رسوبات از الک ۶۳ میکرون) جداسازی ریزدانه‌ها انجام و آزمایش‌های تعیین غلظت فلزات سنگین روی رسوبات ریزدانه اعمال شد. به منظور تعیین غلظت فلزات در رسوبات، از هضم اسیدی شامل مرحله اول افزودن تیزاب (اسید نیتریک و اسید کلریدریک به نسبت ۱ به ۳) و مرحله دوم افزودن اسید پرکلریک استفاده شد (Madrid, et al., 2008). پس از هضم اسیدی نمونه‌ها رقیق شدند و برای قرائت فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی (مدل Buck Scientific 210VGP) استفاده شد. شایان یادآوری است که فلزات مس (Cu)، روی (Zn)، کروم (Cr)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، سرب (Pb)، نیکل (Ni) و کادمیوم (Cd) در این تحقیق مطالعه و بررسی شدند.

۱.۴. درجه آلودگی اصلاح شده^۴ (mCd)

ابراهیم^۵ (۲۰۰۵) شاخص ارائه شده از سوی هاکانسون^۶ (۱۹۸۰) (شاخص درجه آلودگی اصلاح شده) را به صورت زیر معرفی کرد:

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_f^i}{n}$$

$$C_f = M_x / M_b$$

در رابطه بالا M_x و M_b به ترتیب نشان‌دهنده غلظت میانگین فلز در رسوبات آلوده و غیرآلوده^۷ است. در این رابطه n بیانگر تعداد عناصر آنالیز شده و i نشان‌دهنده آمین عنصر یا آلاینده است. در جدول ۱ طبقه‌بندی ارزیابی وضعیت آلودگی رسوبات بر اساس این شاخص ارائه شده است.

جدول ۱. طبقه‌بندی ارزیابی وضعیت آلودگی رسوبات بر اساس شاخص درجه آلودگی اصلاح شده (Abraham, 2005)

وضعیت آلودگی رسوب	عدد به دست آمده برای C_d
آلودگی ناچیز تا بسیار کم	$mC_d < 1.5$
آلودگی کم	$1.5 \leq mC_d < 2$
آلودگی متوسط	$2 \leq mC_d < 4$
آلودگی شدید	$4 \leq mC_d < 8$
آلودگی بسیار شدید	$8 \leq mC_d < 16$
آلودگی بی نهایت شدید	$16 \leq mC_d < 32$
آلودگی بسیار شدید	$mC_d \geq 32$

۲.۴. شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک

هاکانسون (۱۹۸۰) برای ارزیابی ریسک اکولوژیک رسوبات محیط‌های آبی شاخصی به صورت زیر بیان کرد.

$$RI = \sum_{i=1}^m Er$$

$$Er = Tr \times Cf$$

$$Cf = Cs / Cn$$

۴. شاخص‌های سنجش آلودگی فلزات سنگین شاخص غنی‌سازی^۳ (EF)

رابطه شاخص غنی‌سازی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$EF = \frac{\left(\frac{C_M}{C_s}\right)_x}{\left(\frac{C_M}{C_s}\right)_c}$$

که در آن:

C_M : غلظت فلز سنگین موردنظر

C_s : غلظت عنصر آهن یا آلومینیوم (به‌منزله عناصر مرجع زمینی) و x و c به ترتیب نشان‌دهنده غلظت‌های مورد اشاره در رسوب و پوسته زمین‌اند.

همان‌گونه که در رابطه بالا بیان شده است، نرمال‌سازی غلظت فلزات سنگین در شاخص غنی‌سازی با استفاده از میانگین غلظت آهن و آلومینیوم و در برخی مراجع منگنز در پوسته زمین صورت می‌گیرد (Windom, et al., 1989;)

تمایز تری شکل خواهد یافت. تشکیل خوشه‌ها بر مبنای محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در مجموعه اطلاعات استوار است. به عبارت دیگر، هدف اصلی استفاده از آنالیز خوشه‌ای تعیین گروه‌های مشابه آلاینده‌های مورد مطالعه است تا بر اساس آن بتوان از منابع آلاینده‌ها و تفکیک آن‌ها ارزیابی اولیه انجام داد. همچنین، آنالیز اجزای اصلی هنگامی که اطلاعات و مقادیری برای تعدادی از متغیرها وجود دارد؛ به گونه‌ای که بتوان از تعداد متغیرها با شناسایی روابط و تشابه بین آن‌ها و بر اساس واریانس متغیرها کاست، بسیار مناسب است. بر این اساس، آنالیز اجزای اصلی فرایندی برای کاهش تعداد متغیرهاست در شرایطی که اطمینان کافی از رابطه درونی بین متغیرها وجود دارد. به‌طور کلی منظور از کاهش تعداد متغیرها، شناسایی رابطه و شباهت بین آن‌هاست، به گونه‌ای که بتوان آن‌ها را به اجزای اصلی که هر جزء می‌تواند شامل چند متغیر باشد تبدیل کرد. نخستین گام در تعیین اجزای اصلی محاسبه ماتریس همبستگی بین متغیرها با توجه به اطلاعات است. اجزای اصلی بر اساس ترکیب خطی وزن متغیرهای مورد مطالعه به دست می‌آیند. در فرایند آنالیز اجزای اصلی امکان محاسبه امتیاز هر یک از عناصر اجزای اصلی وجود دارد. وزن و امتیاز هر یک از اجزا بر اساس مقدار ویژه متناظر آن محاسبه می‌شود. تعداد اجزای استخراج شده در این آنالیز برابر با تعداد متغیرهاست. با این حال با توجه به کل واریانس اجزا، اجزای اولیه در مقایسه با بقیه از اهمیت بیشتری برخوردارند. اولین جزء استخراج شده، دارای بیشترین واریانس کل در مجموعه متغیرهاست. بر این اساس ارتباط و همبستگی با تعداد بیشتری از متغیرها در این جزء وجود دارد. جزء دوم از نظر اهمیت و واریانس کل در مرتبه دوم قرار دارد. در این جزء، متغیرهایی که در جزء اول وزن و اهمیت کمتری داشتند، بیشتر نمایان می‌شوند. این روند برای اجزای دیگر نیز ادامه خواهد یافت. تمامی آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شده است.

در روابط بالا، C_s و C_n به ترتیب غلظت فلز سنگین در نمونه و مقدار زمینه است. E_r پتانسیل ریسک اکولوژیکی هر یک از عناصر و RI بیانگر پتانسیل ریسک اکولوژیکی کل فلزات (تجمیعی) است. بر اساس نظر هاکانسون (۱۹۸۰) T_r به صورت ضریب سمیت تعریف شده که مقادیر آن برای فلزات Zn ، Cr ، Pb ، Cu ، Cd به ترتیب ۳۰، ۵، ۵ و ۱ بیان شده است. در جدول ۲ طبقه‌بندی نتایج محاسبه شده این شاخص ارائه شده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی ریسک اکولوژیکی بر مبنای محاسبه RI (Hakanson, 1980)

مقدار RI	وضعیت ریسک اکولوژیکی
$RI < 150$	ریسک اکولوژیکی کم
$150 < RI < 300$	ریسک اکولوژیکی متوسط
$300 < RI < 600$	ریسک اکولوژیکی درخور ملاحظه
$RI > 600$	ریسک اکولوژیکی بسیار زیاد

۳.۴. آنالیزهای آماری چندمتغیره

آنالیزهای آماری چندمتغیره مانند آنالیز اجزای اصلی^۸ (PCA) و خوشه‌ای^۹ (CA) از جمله ابزارهای مناسب سنجش رابطه بین مجموعه اطلاعات و تفسیر هرچه بهتر داده‌های آنالیز شده در منطقه مورد مطالعه به شمار می‌روند (Spanos, et al., 2008; Varol, 2011). آنالیزهای آماری PCA و CA از پرکاربردترین و مؤثرترین آنالیزهای آماری برای کاهش ابعاد متغیرها در مجموعه داده‌ها محسوب می‌شوند که در مطالعات آلودگی فلزات سنگین در سطح دنیا بسیار استفاده شده است (Wei et al., 2010; Varon, 2011; Spanos; et al., 2008; Casado-Martinez, et al., 2009; Khedhiri, et al., 2011; Gargouri, 2011; Choueri, et al., 2009). هدف اصلی در تشکیل گروه‌ها در آنالیز خوشه‌ای این است که متغیرهایی که همبستگی بسیاری با یکدیگر دارند در گروه مجزا قرار گیرند که این گروه با گروه‌های شکل‌یافته دیگر بی‌ارتباط خواهد بود. هرچه شباهت یا اختلاف متغیرها بیشتر باشد، خوشه‌های

۵. نتایج و بحث

۱.۵. میانگین غلظت کل فلزات

نتایج قرائت فلزات سنگین در نمونه‌های رسوبات سطحی بستر تالاب انزلی به صورت میانگین در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳ می‌توان دریافت فلزاتی مانند مس، روی، سرب، نیکل و کادمیوم دارای مقادیر میانگین بیشتر از غلظت همان فلز در پوسته زمین و میانگین رسوبات جهانی‌اند. همچنین، فلز کروم اگرچه میانگینی کمتر در مقایسه با غلظت کروم در پوسته زمین دارد، با این حال مقدار بیشینه آن بیانگر آن است که در برخی مناطق غلظت این فلز از مقدار کروم در پوسته زمین تجاوز کرده است. به طور کلی می‌توان بیان داشت با توجه به مقادیر میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده احتمال آلودگی رسوبات تالاب انزلی به فلزات ذکر شده وجود دارد. در شکل ۲ پهنه‌بندی توزیع غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در تحقیق حاضر ارائه شده است. شایان یادآوری است، ارائه نقشه‌های پهنه‌بندی کیفی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS انجام و بر این اساس برای پهنه‌بندی از نرمال‌سازی داده‌ها و درون‌یابی استفاده شده است.

همچنین، برای درک عمیق‌تر نسبت به میزان فلزات مورد مطالعه در رسوبات تالاب انزلی، مقایسه با برخی از تالاب‌ها و اکوسیستم‌های آبی در سایر نقاط دنیا صورت گرفته که نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

بر اساس جدول ۴، میانگین غلظت فلزات مس، آهن،

منگنز و نیکل در رسوبات تالاب انزلی بسیار بالاتر از مقادیر مشابه در سایر تحقیقات اشاره شده در جدول است. میزان فلزات مس و نیکل در رسوبات تالاب انزلی به ترتیب ۱/۳ و ۲/۲ برابر بیشتر از مقدارشان در سیدنی استرالیاست. همچنین، مقادیر آهن و منگنز در تحقیق حاضر بسیار بیشتر از سایر تحقیقات مشابه ارائه شده است. از سوی دیگر غلظت فلزات در رسوبات تالاب انزلی بسیار بیشتر از میزان آن‌ها در اکوسیستم‌های آبی مورد مطالعه در سایر کشورهای در حال توسعه (مورد اشاره در جدول ۴) است. همچنین، به طور کلی مقدار تمامی فلزات مورد مطالعه (به غیر از کادمیوم) در رسوبات تالاب انزلی از مقادیرشان در رسوبات تالاب شادگان واقع در جنوب کشورمان بیشتر است. میانگین غلظت‌های فلزات کادمیوم و سرب در بیشتر تحقیقات مورد اشاره در جدول بالا بیشتر از میانگین غلظت آن‌ها در پوسته زمین است. همچنین، مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق پیشین که روی رسوبات تالاب انزلی صورت پذیرفته بود، بیانگر آن است که میانگین غلظت‌ها برای تمامی فلزات مورد مطالعه غیر از کروم اختلافی کمتر از ۱۰ درصد دارد. روش‌های متفاوت در آنالیز فلزات، خطای قرائت دستگاه‌های متفاوت جذب اتمی و پراکندگی متفاوت ایستگاه‌های نمونه‌برداری از دلایل احتمالی اختلاف اندک در مقادیر گزارش شده از غلظت فلزات رسوبات تالاب انزلی در دو تحقیق ذکر شده‌اند.

جدول ۳. مقادیر میانگین، ماکزیمم و مینیمم فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در ۴۱ ایستگاه تالاب انزلی

فلزات	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار		
				میانگین جهانی رسوبات	میانگین زمین	پوسته زمین
				mg/kg		
Cu	۵۷/۳	۳۱/۶	۱۱۱/۴	۱۳/۸	۳۳	۵۰
Zn	۱۲۵/۴	۹۰/۸	۲۰۳/۶	۲۵/۶	۹۵	۷۵
Cr	۵۱/۱	۳۲/۱	۱۱۳/۲	۱۴/۷	۷۳ ^a	۱۰۰
Fe	۴۵۴۲۴/۵	۳۶۶۲۹/۲	۵۴۷۷۵/۶	۴۳۵۵/۱	۴۱۰۰۰	۴۱۰۰۰
Mn	۱۲۵۵/۳	۳۵۵/۴	۲۶۳۵/۳	۵۶۰/۷	۷۷۰	۹۵۰
Pb	۲۷/۶	۱۳/۰	۹۳	۱۳/۲	۱۹	۱۴
Ni	۸۱/۱	۶۰/۳	۱۰۵/۲	۱۰/۱	۵۲	۸۰
Cd	۰/۳۸	۰/۰۵	۱/۴	۰/۳۵	۰/۱۷	۰/۲

جدول ۴. مقایسه میانگین غلظت فلزات در تالاب انزلی و برخی اکوسیستم‌های آبی دیگر در دنیا

Cd	Ni	Pb	Mn	Fe	Cr	Zn	Cu	فلز (mg/kg) تالاب
۰/۳۸	۸۱/۴۲	۲۷/۶۱	۱۲۶۳/۹	۴۵۴۲۴	۵۱/۴۷	۱۲۴/۵۱	۵۷/۱۳	تالاب انزلی (مطالعه حاضر)
۱/۷	-	۴۳/۳	-	۹۴۲۲	-	۱۷/۰	۹/۶	تالاب وایس، سیدنی a
۳/۴۷	۱۸/۴۶	۳۵/۶۳	-	-	۶/۹۱	۲۰۶/۰۱	۳۸/۸۳	تالاب کوچک طبیعی، ایالت میناس گریاس، برزیل b
۰/۷۶	۳۵/۹۹	۵۳/۱۹	-	-	۸۶/۷۳	۸۶/۸۲	۳۱/۴	دریاچه بیلانگ، چین c
۰/۰۱۷	-	۱۹/۸۴	-	-	۵۲/۶۷	۶۸/۳۹	۲۳/۸۰	تالاب هنگشایهو، چین d
۰/۶	-	۴۲/۵	-	-	۴۵/۲۶	۱۳۶/۸۹	-	میای‌پو، هنگ‌کنگ e
۰/۰۰۶	۰/۵	۲/۵	۵۲	۵۵۶	۰/۶۹	۱/۶	۱/۲۱	تالاب طبیعی، مورگان کانتی، امریکا f
۴/۷	۴۷/۱	۱۴/۲	۳۱۰/۶	-	۱۲/۴	۳۶/۴	۱۴/۸	تالاب شادگان، ایران g
۰/۴۰	۴/۴۴	۶/۲۵	۸۱/۴۹	۱۳۵۸۳/۹۶	۱۰/۵۳	۴۱/۶۴	۳/۰۸	ناحیه پومیس استون، کوئینزلند، استرالیا h
۰/۱۱	-	۱۹	-	-	۴۰	۵۷	۱۸	بندر دونگزای، هینان، چین i
۶/۶	-	۱۱/۲	-	-	۱۴۱/۲	۹۳	۴۳/۴	پیچاواراما، هند j
۰/۱۸	-	۱۲/۲۸	-	-	۱۶/۶۱	۵۱/۲۴	۷/۰۶	سانگی بولا، سنگاپور k
۰/۲۸	۷۵/۹۴	۲۴/۴۸	-	-	۹۸/۴	۱۱۹	۶۲/۳۴	تالاب انزلی، ایران l

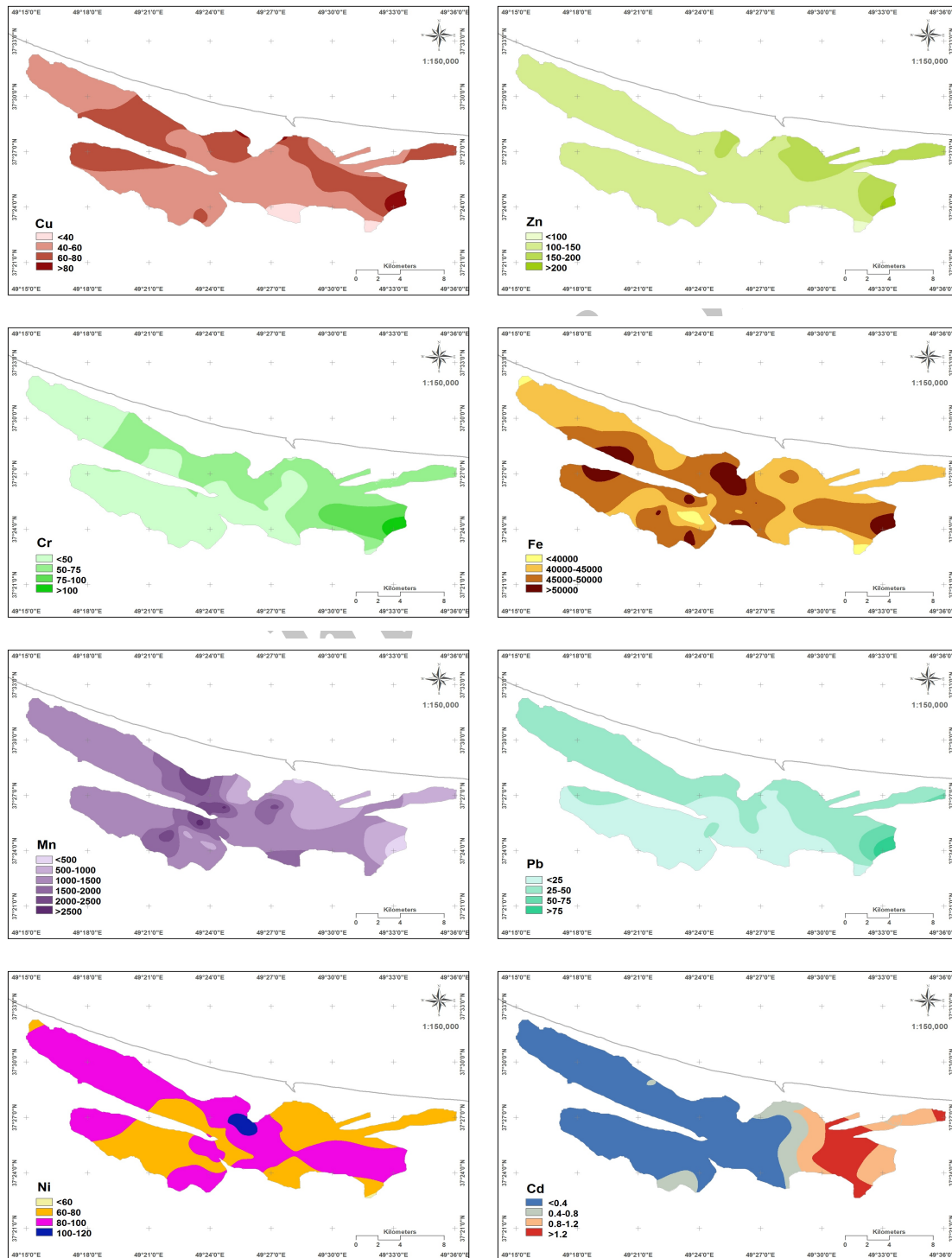
a. Connor and Thomas, (2003), b. Calijuri, et al., (2011), c. Bai, et al., (2011), d. Zhang, et al., (2009), e. Man, et al., (2004), f. Mays and Edwards, (2001), g. Hossein i Alhashemi, et al., (2011), h. Preda and Cox, (2002), i. Qiu et al., (2011), j. Ramanathan, et al., (1999), k. Cuong, et al., (2005), l. غضبان و زارع (۱۳۹۰).

با این حال، به صورت کلی تشابه الگوی توزیع برای فلزات ذکر شده قابل مشاهده است. به عبارت دیگر، در بخش مرکزی و شمالی تالاب مقادیر بالاتری از غلظت آن فلزات قابل ردیابی است. همان‌گونه که پیشتر نیز بدان اشاره شده است این بخش از تالاب کمتر از سایر بخش‌های آن در معرض انواع منابع آلودگی قرار دارد. این مناطق از یک سو به طور کلی غلظت‌های بیشتری از فلزات آهن، منگنز، و نیکل را نمایش داده و از سوی دیگر به صورت نسبی مقادیر کمتری از فلزات مس، روی، کروم، سرب و کادمیوم را نیز در خود گنجانده‌اند. این امر در حالی است که بخش‌هایی از تالاب که در معرض بیشتری از منابع آلودگی قرار دارند، مقادیر بیشتری از فلزات مس، روی، کروم، سرب و کادمیوم را نشان داده‌اند. از این رو

با توجه به شکل ۲ می‌توان بیان داشت بخش‌های شرقی و جنوب شرقی تالاب انزلی مقادیر بیشتری از فلزات مس، روی، کروم، سرب و کادمیوم را نشان داده‌اند. مناطق ذکر شده بخش‌هایی از تالاب انزلی است که بیش از سایر بخش‌ها از انواع پساب (تخلیه انواع فاضلاب‌های تصفیه‌نشده شهری، صنعتی و کشاورزی به رودخانه‌های شیجان، پیربازار و پسیخان) تأثیر می‌پذیرد. همچنین، مقادیر نسبتاً درخور توجه سرب و مس در آبکنار مشاهده شده است. شایان یادآوری است این منطقه از تالاب تا حدی متأثر از پساب‌های خانگی و کشاورزی است به گونه‌ای که رشد بیش از حد گیاهان آبی در برخی مناطق آن مانع از دسترسی و نمونه‌برداری شد. از سویی، فلزات آهن، منگنز، لیتیوم و نیکل الگوی توزیع غلظت متمایزی نشان نداده‌اند.

گرفته‌اند. با این حال، برای دقیق‌تر شدن این یافته آنالیزها و تحلیل‌های آماری مورد نیاز است که در ادامه به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

می‌توان این‌گونه استنتاج کرد که فلزات مس، روی، کروم، سرب و کادمیوم با احتمال بیشتری از منابع انسان‌ساخت سرچشمه می‌گیرند و احتمالاً فلزات آهن، منگنز و نیکل عمدتاً از منابع طبیعی در محدوده مورد مطالعه سرچشمه



شکل ۲. پهنه‌بندی توزیع فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سطحی تالاب انزلی (غلظت فلزات بر حسب mg/Kg)

با توجه به ماهیت شاخص EF، چنانچه مقدار محاسبه‌شده آن بالاتر از ۱ باشد نمونه مورد مطالعه نسبت به آن فلز از غنی‌شدگی برخوردار است. به عبارت دیگر میزان غلظت فلز از میزان گزارش‌شده آن در پوسته زمین یا سایر مقادیر زمینه‌ای معتبر بسیار بیشتر خواهد بود. این امر بنا بر توصیه محققان می‌تواند دلیل احتمالی فعالیت‌های انسانی در محدوده مورد مطالعه باشد. بر اساس مقادیر جدول ۵ می‌توان بیان داشت فلزات کادمیوم (۰/۰۶-۰/۲۴)، سرب (۰/۷۶-۱۷/۷۶) و روی (۰/۵۴-۷/۱۵) دارای بیشترین درجه غنی‌شدگی در مقایسه با سایر فلزات مورد مطالعه در تحقیق حاضرند. فلزات مس، نیکل و کروم نیز در درجات کم تا متوسط غنی‌شدگی قرار دارند. بیشترین درجه غنی‌شدگی در ایستگاه‌های بخش شرقی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. این امر می‌تواند بر تأثیر سوء فعالیت‌های انسانی در غنی‌شدگی فلزات سنگین در این منطقه از تالاب انزلی دلالت داشته باشد. به طور کلی، فلزات کادمیوم و سرب که بسیار سمی‌اند و مخاطرات جدی برای سلامت انسان و سایر گونه‌های جانوری دارند، از بیشترین درجه غنی‌شدن برخوردارند.

۳.۵. نتایج شاخص‌های درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک

در شکل ۳ پهنه‌بندی کیفی رسوبات سطحی تالاب انزلی با استفاده از شاخص‌های ریسک اکولوژیک و درجه آلودگی اصلاح‌شده در قالب تصاویر GIS ارائه شده است.

مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده از ۰/۸۳ تا ۳/۷۲ و ریسک اکولوژیک از ۲۷/۱۷ تا ۴۳۹/۶۹ متغیر است. بر اساس شکل ۳، بخش شرقی تالاب انزلی در محدوده درجه آلودگی متوسط قرار دارد و از آن ریسک اکولوژیک بالایی برخوردار است. تجمع فلزات در محاسبه این دو شاخص از مهم‌ترین مزایای استفاده شاخص‌های درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک است که ممکن است با کاهش حجم داده‌های نهایی

۲.۵. نتایج شاخص غنی‌سازی

با توجه به آنکه شاخص غنی‌سازی برای هر فلز به طور مجزا محاسبه می‌شود و در تحقیق حاضر ایستگاه‌های زیادی مطالعه شده است، برای اجتناب از ارائه جداول نامفهوم نتایج محاسبه‌شده شاخص‌های غنی‌سازی (بر اساس غلظت فلز آهن و منگنز در پوسته زمین) به صورت مقادیر میانگین، ماکزیمم و مینیمم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر میانگین، ماکزیمم و مینیمم شاخص‌های غنی‌سازی و انباشت ژئوشیمیایی در ۴۱ ایستگاه تالاب انزلی

عنصر (mg/kg)	EF بر اساس غلظت منگنز در پوسته				EF بر اساس غلظت آهن در پوسته			
	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	
Cu	۱/۱۶	۰/۳۶	۴/۵۲	۰/۹۵	۱/۰۴	۰/۵۸	۲	۰/۲۳
Zn	۱/۷	۰/۵۴	۷/۱۵	۱/۳۹	۱/۵۲	۱/۱۸	۲/۴۴	۰/۳۱
Cr	۰/۵۲	۰/۱۳	۳/۰۲	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۲۶	۰/۸۹	۰/۱۲
Pb	۲/۱۶	۰/۴۱	۱۷/۷۶	۲/۸۵	۱/۱۹	۰/۳	۲/۳۹	۰/۵۱
Ni	۰/۹۶	۰/۳۶	۳/۲۳	۰/۵۷	۱/۷۸	۰/۹۸	۵/۲۴	۰/۷۶
Cd	۴/۳۱	۰/۲۵	۲۴/۰۶	۵/۴۴	۳/۵۲	۰/۵۷	۱۴/۳۹	۳/۴۳

ساکان و همکاران (۲۰۰۹) طبقه‌بندی مطابق جدول ۶ را برای مقادیر متفاوت شاخص غنی‌سازی در نظر گرفته‌اند.

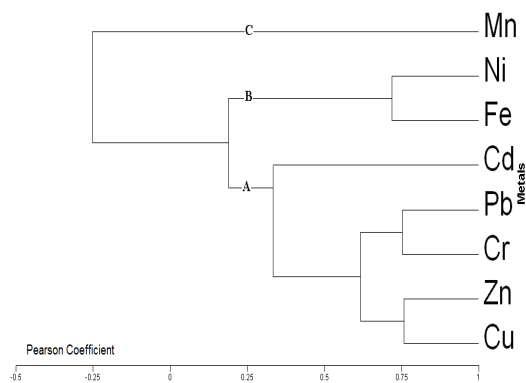
جدول ۶. طبقه‌بندی پیشنهادی شاخص غنی‌سازی (Sakan, et al., 2009)

مقدار EF	طبقه‌بندی شاخص غنی‌سازی
$EF < 1$	بدون غنی‌شدگی
$1 \leq EF < 3$	غنی‌شدگی کم
$3 \leq EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط
$5 \leq EF < 10$	غنی‌شدگی بیش از متوسط
$10 \leq EF < 25$	غنی‌شدگی شدید
$25 \leq EF < 50$	غنی‌شدگی بسیار شدید
$EF > 50$	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید

با توجه به این نتایج می‌توان بیان داشت بخش شرقی تالاب و نواحی مشرف به رودخانه‌های پسیخان و پیربازار (جنوب شرقی) آلوده‌ترین بخش‌های تالاب به شمار می‌روند و به منظور کنترل و جلوگیری از آلودگی بیشتر به تمهیدات خاص و مؤثرتری نیاز دارند. با توجه به مقادیر درجه آلودگی اصلاح‌شده سایر بخش‌های تالاب نیز اگرچه مقادیر کمتر از ۲ دارند، با این حال با ادامه روند ورود انواع آلودگی از طریق منابع آلاینده به تالاب انزلی می‌توان بیان داشت در آینده نزدیک این بخش از تالاب از وضعیت آلودگی شدیدتری برخوردار خواهد بود. این امر می‌تواند هشدار برای مسئولان و مصرف‌کنندگان منابع تالاب انزلی باشد، زیرا با آزادسازی فلزات یادشده از رسوبات (با تغییر شرایط محیطی) بخشی از آن‌ها در آب حل می‌شود و ممکن است در دسترس گونه‌های گیاهی و جانوری به خصوص ماهیان و در درجه بعدی انسان‌ها قرار گیرد.

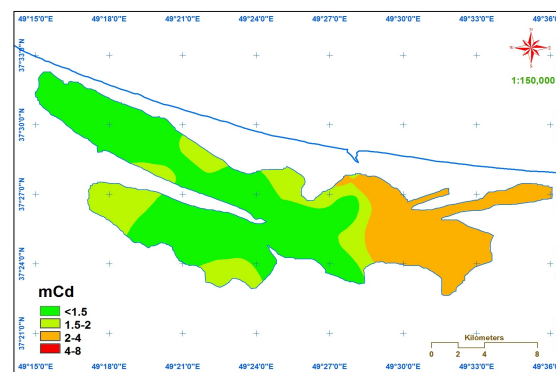
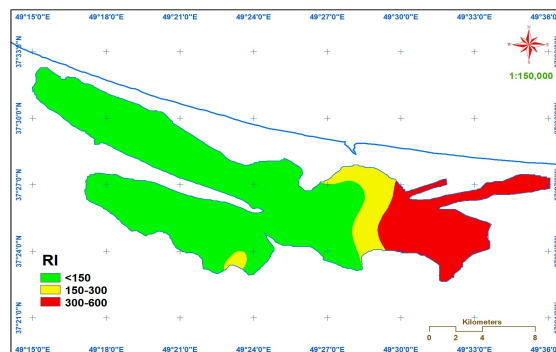
۶. آنالیز خوشه‌ای

در شکل ۴ نتایج آنالیز خوشه‌ای غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی بستر تالاب انزلی ارائه شده است. نتایج آنالیز خوشه‌ای بر اساس ضریب همبستگی عناصر و سطح معنی دار معادل ۵ درصد به دست آمده است. بر اساس مراجع معتبر فلزاتی مانند آهن، منگنز، لیتیوم و آلومینیوم عمدتاً منشأ طبیعی دارند و فلزاتی مانند سرب، کادمیوم، و مس، روی و کروم ممکن است از فعالیت‌های انسانی متأثر شوند (Abraham, 2005).



شکل ۴. آنالیز خوشه‌ای و تعیین رابطه بین متغیرهای مورد سنجش در رسوبات سطحی تالاب انزلی

تفسیرپذیر، سهولت سنجش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و اولویت مدیریت منابع، آلودگی در اکوسیستم‌های آبی را همراه داشته باشد. بیشترین مقدار شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده (۳/۷) و ریسک اکولوژیک (۴۴۰) در نواحی شرقی تالاب انزلی واقع شده است. همچنین، میانگین مقادیر این دو شاخص در ایستگاه‌های بخش شرقی (شامل ۱۱ ایستگاه) به ترتیب ۲/۴۴ برای درجه آلودگی اصلاح‌شده و ۲۸۳/۶ برای ریسک اکولوژیک بسیار بالاتر از بیشینه مقدار این دو شاخص (به ترتیب ۱/۵۴ و ۱۵۹/۴) در سایر بخش‌های تالاب انزلی است. از این رو می‌توان تطابق زیادی در نتایج این دو شاخص و شاخص درجه غنی‌سازی مشاهده کرد. به طور کلی هر ۳ شاخص مذکور در مقایسه با سایر بخش‌های آن درجه آلودگی بالاتری را در بخش‌های شرقی تالاب نشان داده‌اند. این امر به علت تعداد بیشتری از منابع آلودگی انسان‌ساخت نظیر شهرهای پرجمعیت (به ویژه رشت)، پساب‌های صنعتی و زهاب‌های کشاورزی در بخش شرقی است.



شکل ۳. پهنه‌بندی کیفی رسوبات تالاب انزلی با استفاده از شاخص‌های درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک

جدول ۸. مقدار بار هر یک از متغیرها (فلزات سنگین) بر اساس آنالیز آماری PCA در رسوبات سطحی تالاب انزلی

فلزات	مقدار بار هر یک از اجزا		
	جزء ۱	جزء ۲	جزء ۳
Cu	۰/۸۲۸	۰/۰۹۷	-۰/۳۸۵
Zn	۰/۸۶۸	-۰/۱۸۷	-۰/۲۳۳
Cr	۰/۸۱۸	۰/۰۱۶	۰/۴۵۰
Fe	۰/۳۹۷	۰/۸۰۳	۰/۱۱۴
Mn	-۰/۵۳۷	۰/۵۱۵	۰/۲۸۹
Pb	۰/۸۷۹	-۰/۰۵۰	-۰/۰۴۳
Ni	۰/۴۲۰	۰/۷۸۰	۰/۱۰۶
Cd	۰/۴۴۱	-۰/۵۸۶	۰/۵۷۸

شایان یادآوری است، بر اساس مقدار ویژه بیشتر از ۰/۸، ۳ جزء اصلی شناسایی شده است.

با توجه به جدول ۸ سه جزء اصلی با مقدار ویژه بزرگ‌تر از ۰/۸ قابل دریافت است که مجموعاً دارای ۸۱ درصد واریانس مجموعه داده‌هاست. مطابق جدول ۸، جزء اول با ۴۶ درصد کل واریانس مقادیر بار مثبت بسیار بالایی برای فلزات مس، روی، سرب و کروم نشان داده است. با توجه به میزان بالای بار برای فلزات یادشده، می‌توان بیان داشت این جزء عموماً از منابع آلودگی انسان‌ساخت سرچشمه می‌گیرد. همچنین، مقادیر مثبت متوسط برای فلزات آهن، نیکل و کادمیوم نیز قابل دریافت است. جزء دوم با حدود ۲۴ درصد کل واریانس، مقدار بار مثبت بالایی را برای فلزات آهن، منگنز و نیکل نشان داده است. این جزء بیانگر منابع طبیعی فلزات آهن، نیکل و منگنز است. همچنین، جزء سوم با حدود ۱۱ درصد واریانس، مقدار بار مثبت برای فلز کادمیوم ارائه داده است. این جزء نیز بیانگر منبع آلودگی انسان‌ساخت است. با توجه به نتایج آنالیز PCA می‌توان بیان داشت اجزای ۱ و ۳ با منابع آلودگی انسان‌ساخت مرتبطانند و در این بین احتمالاً فلز کادمیوم منبع متفاوتی در مقایسه با فلزات مس، روی، سرب و کروم داراست. همچنین، جزء دوم بیانگر اثر منابع

با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت فلزات مس - روی و سرب - کروم از ضریب همبستگی مثبت بالایی برخوردارند و از این رو در یک خوشه قرار گرفته‌اند. همچنین، فلز کادمیوم نیز با فلزات مس، روی، سرب و کروم از منظر ضریب همبستگی مشابهت زیادی دارد و در مجموع خوشه کلی A را تشکیل می‌دهند. چنین تشابهی می‌تواند دلیلی احتمالی بر منابع انسان‌ساخت در فلزات مس، روی، سرب، کروم و کادمیوم باشد. از سویی دیگر فلزات آهن و نیکل نیز خوشه بزرگ دیگری (B) را شکل داده‌اند. همچنین، فلز منگنز نیز خوشه مجزای C را تشکیل داده است. بر اساس نتایج آنالیز خوشه‌ای می‌توان دریافت فلزات آهن و منگنز و بخشی از فلز نیکل از منابع طبیعی متأثر شده‌اند. این یافته در خصوص فلز نیکل ممکن است بسیار حائز اهمیت باشد و می‌توان بخشی از مقادیر نسبتاً زیاد این فلز را تا حدی مرتبط با منابع طبیعی و ویژگی‌های زمین‌شناسی تالاب انزلی دانست.

۷. آنالیز اجزای اصلی

در تحقیق حاضر از آنالیز آماری PCA نیز برای تعیین رابطه بین فلزات مورد مطالعه و تشخیص منابع آلودگی استفاده شده است. در جداول ۷ و ۸ به ترتیب مقدار ویژه و واریانس هر یک از اجزا و مقادیر بار متغیرها^۱ با استفاده از آنالیز PCA ارائه شده است.

جدول ۷. نتایج واریانس و مقدار ویژه هر یک از اجزا در آنالیز PCA

اجزا	مقدار ویژه اولیه		
	مجموع	درصد انحراف معیار	درصد انحراف معیار تجمیعی
۱	۳/۶۹	۴۶/۱۵	۴۶/۱۵
۲	۱/۹۱	۲۳/۸۶	۷۰/۰۱
۳	۰/۸۵	۱۰/۶۱	۸۰/۶۲
۴	۰/۵۹	۷/۴۱	۸۸/۰۳
۵	۰/۴۳	۵/۴۴	۹۳/۴۷
۶	۰/۲۶	۳/۲۲	۹۶/۶۹
۷	۰/۱۶	۲/۰۶	۹۸/۷۵
۸	۰/۱	۱/۲۵	۱۰۰

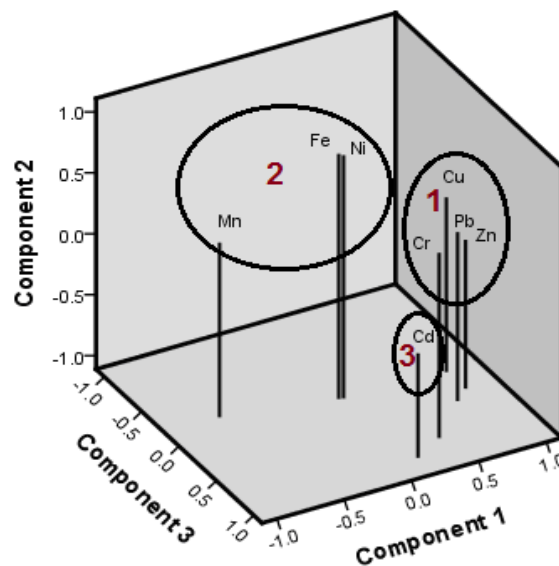
آلودگی رسوبات به فلزات سنگین ارائه دهد. بر این اساس رسوبات سطحی نواحی شرقی تالاب انزلی در مقایسه با سایر نقاط تالاب وضعیت کیفی نامناسب‌تری دارند. این یافته منطبق با یافته سایر مطالعات پیشین در زمینه آلودگی رسوبات تالاب انزلی است که در بخش‌های قبل بدان پرداخته شد.

همچنین، بالابودن غلظت فلزات مورد مطالعه در مقایسه با مقدار متناظر آن‌ها در پوسته زمین، به همراه مقادیر بالای شاخص غنی‌سازی برای فلزات کادمیوم، سرب و روی از تأثیر فعالیت‌های انسانی در آلودگی و انباشت فلزات سنگین ذکر شده در رسوبات تالاب انزلی حکایت دارد. علاوه بر موارد بالا، نتایج آنالیزهای آماری چندمتغیره صحت این ادعا که فلزات مس، روی، کروم، سرب و کادمیوم از منابع انسان‌ساخت سرچشمه می‌گیرند را تأیید کرد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان داشت استفاده از یک شاخص و الگوی خاص به تنهایی برای ارزیابی وضعیت کیفی رسوبات کافی نیست و استفاده از شاخص‌های کیفی تجمیعی همراه آنالیزهای آماری مانند PCA و CA در ارزیابی دقیق‌تر وضعیت آلودگی رسوبات نتایج ارزشمندی به دست خواهد داد. شایان یادآوری است، استفاده از آنالیز اجزای اصلی در صورت تعداد قابل قبولی از نمونه‌ها و پارامترهای آلودگی می‌تواند کمک بسیاری برای منشأیابی منابع فلزات در رسوبات تالابی و سایر اکوسیستم‌های آبی در پی داشته باشد.

یادداشت‌ها

1. Bioremediation
2. Thermal desorption
3. Enrichment factor
4. Modified degree of contamination
5. Abraham
6. Hakanson
7. Pre-industrial baseline sediment
8. Principal Component Analysis (PCA)
9. Cluster Analysis (CA)
10. Loading of variables

طبیعی در فلزات آهن، منگنز و بخشی از نیکل است. نتایج سه‌بعدی آنالیز آماری PCA در شکل ۵ ارائه شده است.



شکل ۵. نتایج آنالیز PCA به صورت سه‌بعدی

با مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ می‌توان به تطابق بسیار نزدیک نتایج آنالیز خوشه‌ای و PCA در دسته‌بندی و منشأیابی فلزات سنگین مورد مطالعه در رسوبات سطحی تالاب انزلی پی‌برد.

۸. جمع‌بندی

در تحقیق حاضر غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب انزلی مطالعه شد. برای سنجش وضعیت آلودگی رسوبات از شاخص‌های پرکاربرد و قابل اعتماد مانند شاخص غنی‌سازی، درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک استفاده شده است. همچنین، پهنه‌بندی کیفی رسوبات تالاب انزلی بر اساس نتایج شاخص‌های تجمیعی (درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک) و چگونگی توزیع غلظت فلزات در بخش‌های مختلف تالاب در قالب نقشه‌های GIS ارائه شد. نتایج بیانگر آن بود که استفاده از شاخص‌های تجمیعی درجه آلودگی اصلاح‌شده و ریسک اکولوژیک علاوه بر کاستن از حجم داده‌های قابل تفسیر می‌تواند ارزیابی قابل قبولی از وضعیت احتمالی

منابع

- خسروی، م؛ بهرامی‌فر، ن؛ قاسم‌پوری، س.م؛ (۱۳۹۰). «بررسی آلودگی فلزات سنگین Zn، Cu، Hg، Cd و Pb در رسوب سه بخش تالاب انزلی»، مجله سلامت و محیط، دوره چهارم، شماره دوم، ۲۲۳-۲۳۲.
- غضبان، ف؛ زارع خوش‌اقبال، م؛ (۱۳۹۰). «بررسی منشأ آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی»، شمال ایران، مجله محیط‌شناسی، سال ۳۷، شماره ۵۷، ۴۵-۵۶.
- Abraham, G.M.S. 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent hum an activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand. Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 361p.
- Ayati, B. 2003. Investigation of sanitary and industrial wastewaters effects on Anzali reserved wetland. Final report presented to: MAB-UNESCO.
- Bai, J., et al. 2011. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling*, 222, 301-306.
- Caeiro, S., et al. 2005. Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*. 5, 151-169.
- Calijuri, M.L., et al. 2011. Evaluation of the Ability of a Natural Wetland to Remove Heavy Metals Generated by Runways and Other Paved Areas from an Airport Complex in Brazil. *Water, Air, and Soil Pollution*. 219, 319-327.
- Calmano, W., J., Hong, U., Förstner. 1993. Binding and mobilization of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water Sci. Tech.* 28, 8-9, 53-58.
- Casado-Martinez, M.C., J.M., Forja, T.A., DelValls. 2009. A multivariate assessment of sediment contamination in dredged materials from Spanish ports. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1353-1359.
- Choueri, R.B., et al. 2009. In tegrated sediment quality assessment in Paranagua' Estuarine System, Southern Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72, 1824-1831.
- Connor, S.E., I., Thomas. 2003. Sediments as archives of industrialization: Evidence of atmospheric pollution in coastal wetlands of southern Sydney, Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*. 149, 189-210.
- Cuong, D.T., et al. 2005. Heavy metal contamination in mangrove habitats of Singapore, M arine Pollution Bulletin. 50(12), 1713-1744.
- Dickinson, W. W., G. B., Dunbar, H., McLeod. 1996. Heavy metal history from cores in Wellington Harbour, New Zealand. *Environmental Geology*, 27, 59-69.
- Din, T. B. 1992. Use of aluminum to normalize heavy metal data from estuarine and coastal sediments of straits of Melaka, *Marine Pollution Bulletin*, 24, 484-491.
- Gargouri, D., et al. 2011. Heavy m etal concentrations in the surface marine sediments of Sfax Coast, Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 175, 519-530.
- Hakanson, L. 1980. Ecological risk i ndex for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
- Hosseini Alhashemi, A., et al. 2011, Accum ulation and bioaccessibility of trace elements in wetland sediments. *African Journal of Biotechnology*. 10(9), 1625-1636.
- Japan International C ooperation Agency (Jica). 2005, The study on integrated m anagement for ecosy stem conservation of the Anzali wetland in the Islamic Republic of Iran. Nipon Koei Co., LTD.
- Karageorgis, A.P., A.I., Sioulas, C.L., Anagnostou. 2002. Use of surface sediments in Pagassitikos Gulf, Greece, to detect anthropogenic influence. *Geo-Marine Letters* 21, 200-211.
- Khedhiri, S., et al. 2011. Comparison of sequential extraction and principal com ponent analysis for determination of heavy m etal partitioning in sedim ents: the case of protected Lagoon El Kelbia (Tunisia). *Environmental Earth Sciences*, 62, 1013-1025.

- Madrid, F., M., Biasioli, F., Ajmone-Marsan. 2008. Availability and Bioaccessibility of Metals in Fine Particles of Some Urban Soils. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 55, 21-32.
- Man, K.W., et al. 2004. Distribution and behavior of trace metals in the sediment and porewater of a tropical coastal wetland. *Science of the Total Environment*. 327, 295-314.
- Mays, P.A., G.S., Edwards. 2001. Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage. *Ecological Engineering*. 16, 487-500.
- Mucha, A.P., M.T.S.D., Vasconcelos, A.A., Bordalo. 2003. Macroinvertebrate community in the Douro Estuary: relations with trace metals and natural sediment characteristics. *Environmental Pollution* 121, 169-180.
- Pendias, H., K., Pendias. 1989. Trace Elements in Soil and Plants. Boca Raton, FL, CRC.
- Preda, M., M.E., Cox. 2002. Trace metal occurrence and distribution in sediments and mangroves, Pumicestone region, southeast Queensland, Australia. *Environment International*. 28, 433-449.
- Qiu, Y.W., et al. 2011. Accumulation and partitioning of seven trace metals in mangroves and sediment cores from three estuarine wetlands of Hainan Island, China. *Journal of Hazardous Materials*. 190, 631-638.
- Ramanathan, A.L., et al. 1999. Environmental geochemistry of the Pichavaram mangrove ecosystem (tropical), southeast coast of India. *Environmental Geology*. 37(3), 223-233.
- Rivail Da Silva, M., et al. 1996. Metal contamination in surface sediments of mangroves, lagoons and Southern Bay in Florianopolis Island. *Environmental Technology* 17, 1035-1046.
- Saeedi, M., S., Daneshvar, A. R., Karbassi. 2004. Role of riverine sediment and particulate matter on adsorption of heavy metals. *International journal of Environmental Science and Technology*. 1(2), 135-140.
- Saeedi, M., M., Hosseinzadeh, M., Rajabzadeh. 2011. Competitive heavy metals adsorption on natural bed sediments of Jajrood River, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 62(3), 519-527.
- Saeedi, M., et al. 2012. Sorbed metals fractionation and risk assessment of release in river sediment and particulate matter. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185, 1737-1754
- Sakan, S.M., et al. 2009. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*, 90, 3382-3390.
- Salomons, W., U., Förstner. 1984. Metals in the hydrocycle. Springer, Berlin Heidelberg Tokyo.
- Sharma, V. K., et al. 1999. Metals in sediments of Texas estuaries, USA. *Journal of Environmental Science and Health*, 34, 2061-2073.
- Spanos, T., et al. 2008. Environmetrics to evaluate marine environment quality. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143, 215-225.
- Stewart, C. 1989. Spatial and temporal trends in trace metal deposition in Canterbury, New Zealand. Ph.D. thesis, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- Varol, M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 195, 355-364.
- Wei, B., et al. 2010. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160, 33-45.
- Windom, H.L., R.G. Jr., Smith, C., Rawlinson. 1989. Particulate trace metal composition and flux across the south eastern US continental shelf, *Marine Chemistry*, 27, 283-297.
- Zhang, M., et al. 2009. Distribution and enrichment of heavy metals among sediments, water body and plants in Hengshuihu Wetland of Northern China. *Ecological Engineering*. 35, 563-569.