

بررسی روند انتشار و تجمع فلزات سنگین (Pb و Zn، Cd، Cu، Ni، Cr) در رسوبات تالاب انزلی^۱

مجید سرتاج^۲ فرزاد فتح‌اللهی دهکردی^۳ یوسف فیلی‌زاده^۴

چکیده

میزان ترسیب فلزات سنگین در تالاب انزلی و عملکرد تصفیه‌ای این تالاب مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه نمونه‌های ماهیانه رسوب در ۱۵ ایستگاه شامل ورودی‌ها، خروجی‌ها و داخل تالاب در یک دوره شش ماهه (مرداد تا دی ۱۳۸۱) جمع‌آوری و آنالیز شد. در نمونه‌های رسوب شش فلز سنگین شامل کروم، کادمیم، سرب، روی، مس و نیکل اندازه‌گیری شد. برای استخراج و عصاره‌گیری فلزات از نمونه‌های رسوب از روش هضم‌تر و از ترکیب اسیدهای کلریدریک و نیتریک استفاده شد و برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه طیف سنجی جذب اتمی دارای لامپ دوتریم استفاده شد. برای بررسی موضوع و تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های آماری از قبیل آنالیز واریانس، هم‌بستگی داده‌ها و آنالیز خوشه‌ای استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد مقدار فلزات سنگین موجود در رسوبات در ایستگاه‌ها و دوره‌های مختلف دارای تفاوت معنی‌داری است. در بین فلزات مطالعه شده روی بیشترین مقدار را در رسوبات دارد. غلظت فلزات سنگین در رسوبات نقاط داخل تالاب (ایستگاه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳) نسبت به ایستگاه‌های دیگر کمتر است. رسوبات در ورودی پیربزار (ایستگاه ۵) نیز بیشترین مقدار فلزات را در بین ایستگاه‌ها دارد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که با دور شدن از مصب رودخانه‌های ورودی مقدار فلزات سنگین در رسوبات تالاب کاهش می‌یابد که در اثر عملکرد اجزای تالاب در کاهش و ترسیب فلزات سنگین در مناطق ابتدای تالاب است.

واژه‌های کلیدی: تالاب انزلی، فلزات سنگین، رسوبات، خودپالایی.

^۱- تاریخ دریافت: ۸۲/۸/۲۸، تاریخ پذیرش: ۸۳/۶/۳۰

^۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان (E-mail: msartaj@CC.iut.ac.ir)

^۳- کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

^۴- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران

مقدمه

افزایش بیش از حد جمعیت و صنعتی شدن جوامع خصوصاً از نیمه دوم قرن حاضر باعث پیدایش مشکلات و مسائل جدید آلودگی محیط زیست شده است. از جمله آلاینده‌هایی که در فاضلاب صنایع، معادن و رواناب‌های شهری و کشاورزی وجود دارد، می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. فلزات سنگین به صورت محلول در آب و خاک وارد شده و باعث آلودگی آب‌های سطحی، زیرزمینی و خاک شده و سبب برهم زدن اکوسیستم‌هایی که به آن وارد می‌شوند، می‌گردند. انسان و جانوران با مصرف سبزیجات، گیاهان و مواد غذایی آبیاری شده با چنین آب‌هایی و یا برخاسته از چنین خاک‌های آلوده‌ای و نیز مصرف جانوران و آبزیانی که در معرض این فلزات زندگی می‌کنند، مبتلا به انواع بیماری‌های شناخته شده و یا ناشناخته می‌گردند. بنابراین لازم است نسبت به کنترل و کاهش آلودگی چنین موادی در محیط زیست اقدام شود (۷ و ۱۰).

به طور کلی فلزات سنگین عناصری هستند که به طور طبیعی به مقدار بسیار کم در اکوسیستم‌های زنده یافت می‌شوند. این عناصر جزو آلاینده‌های بسیار پایدار هستند و طی فرایندهای بیولوژیک تجزیه نمی‌شوند (۱). در یک محیط آبی انجام مطالعاتی در خصوص آلودگی رسوبات بستر از دیدگاه‌های مختلفی قابل توجه است. اول اینکه آلودگی رسوبات (به ویژه آلودگی فلزات سنگین) برای کفزیان، آبزیان کفزی‌خوار و همچنین گیاهان آبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ثانیاً در صورتی که مقدار آلودگی رسوبات از مقادیر خاصی تجاوز کند، سریعاً باعث برهم خوردن تعادل اکوسیستم و زوال آن می‌شود. جنبه دیگر اهمیت بررسی مقدار تجمع فلزات در رسوبات این است که نظارت پیوسته بر آلودگی منطقه میسر می‌شود، زیرا بسیاری از انواع مواد و ترکیبات آلوده کننده (مخصوصاً فلزات سنگین) پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر آن به صورت‌های مختلف رسوب کرده و تجمع

می‌کنند. در مجموع می‌توان گفت رسوبات به عنوان معرف و شناساگر مهمی برای آلودگی محیط‌های آبی مطرح می‌باشند که از تجزیه و مطالعه آنها می‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگی را تشخیص داد و تصمیمات مقتضی را برای کنترل آن اتخاذ نمود (۲).

در ادامه برای بیان اهمیت موضوع و تشریح کارهای انجام شده در این زمینه به خلاصه‌ای از پژوهش‌هایی که در سال‌های اخیر در جهان روی این موضوع انجام شده است اشاره می‌کنیم.

در سال ۱۳۷۱ امینی‌رنجبر بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین (Cd, Ni, Cu, Zn, Pb) در رسوبات سطحی تالاب انزلی را انجام داد. در این تحقیق مقدار این پنج فلز در رسوبات سطحی ۱۱ ایستگاه نمونه برداری تعیین شد. از چهار روش مختلف برای تعیین مقادیر فلزات مذکور در یکی از نمونه‌ها استفاده شد و روش هضم با مخلوط اسیدهای نیتریک و کلریدریک که کارایی بالاتری داشت به‌عنوان مناسب‌ترین روش انتخاب شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌دار آماری بین فصول مختلف سال در غلظت فلزات وجود نداشت (۱).

اندرسون^۱ و همکاران^۱ (۲۰۰۰) جذب فلزات سنگین را در رسوبات یک تالاب مصنوعی واقع در ساکرامنتو در طول سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۸ انجام دادند. نمونه‌برداری از رسوبات و آنالیز آنها نشان داد که غلظت عناصر آرسنیک (As)، کروم (Cr)، مس (Cu)، نیکل (Ni) و روی (Zn) در طول زمان افزایش یافته است ولی مقدار غلظت عناصر نقره (Ag)، کادمیم (Cd)، سرب (Pb) و جیوه (Hg) در رسوبات افزایش چشمگیری نشان نداد (۸).

لاو^۲ و همکاران^۲ (۲۰۰۰) آلودگی رسوبات تالاب ساحلی مایی پو^۳ واقع در هنگ‌کنگ را بررسی کردند. نمونه‌ها از شش ایستگاه در طول تالاب در فوریه جمع‌آوری شد و

^۱-Anderson^۲-Lou^۳- Mai Po

انزلی دارای مساحتی حدود ۳۷۴ هزار هکتار است که از این مقدار ۵۴ درصد جنگل و مرتع، ۳۲ درصد زمین‌های کشاورزی، ۹ درصد تالاب‌ها، آب‌بندها و استخرها و ما بقی را نقاط مسکونی، صنایع و استفاده‌های دیگر تشکیل می‌دهد. این تالاب از شمال به دریای خزر، از جنوب به صومعه سرا و بخشی از رشت، از شرق به پیربازار و از غرب به کیورچال و آبکنار محدود می‌شود. همچنین این تالاب جزو ۱۸ تالاب بین‌المللی ایران است که تحت کنوانسیون رامسر قرار دارد (۳).

پس از بررسی کامل منطقه مورد مطالعه (تالاب انزلی) از روی نقشه‌های موجود برای انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری نکاتی از قبیل نوع پوشش گیاهی قسمت‌های مختلف تالاب، عمق آب رودخانه‌های ورودی به هر قسمت و نوع آلودگی آنها، سهولت دسترسی در تمام ماه‌های سال و پارامترهای دیگر ارزیابی شد. سپس با بازدیدهای مکرر از منطقه بخش‌های شرقی و مرکزی تالاب به عنوان ناحیه مورد مطالعه انتخاب شد. به دلیل تحت محافظت بودن بخش سیاه‌کشیم و عدم امکان تردد در این بخش این ناحیه مورد مطالعه قرار نگرفت. همچنین بخش غربی تالاب (آبکنار) به علت پایین بودن مقدار آلودگی انتخاب نشد. به دلیل محدود بودن امکانات و برای بالا بردن کیفیت و کمیت آزمایش‌ها به همان بخش‌های شرقی و مرکزی تالاب که دارای بیشترین بار آلودگی نیز بودند، اکتفا شد.

پس از مشخص شدن نواحی مورد مطالعه ایستگاه‌های نمونه‌برداری روی نقشه مشخص شد. موقعیت و مختصات این ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. سپس با استفاده از سیستم مکان‌یابی ماهواره‌ای جغرافیایی (GPS) نقاط مشخص شده روی نقشه در داخل تالاب علامت‌گذاری شد. تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری ۱۵ نقطه برای نمونه‌گیری رسوب است. از این ۱۵ ایستگاه هشت ایستگاه در ورودی رودخانه‌های مهم بخش شرقی و مرکزی تالاب، دو ایستگاه در خروجی‌های بخش غربی (آبکنار) و سیاه‌کشیم بوده، دو ایستگاه در خروجی تالاب به دریا در

پارامترهای TN، TP، Cu، Cd، Ni و Zn اندازه‌گیری شد. با استفاده از آنالیز آماری داده‌ها از جمله آنالیز واریانس مشخص شد که در ابتدا و انتهای تالاب مقدار نیتروژن کل و مس بیشتر از نواحی دیگر در رسوبات جمع شده‌اند. همچنین غلظت فسفر کل در انتهای تالاب (خروجی) و غلظت روی در ابتدای تالاب (ورودی) بیشترین مقدار را دارند. در کل مقدار آلاینده‌ها در محل ورود فاضلاب‌های صنعتی زیاد بود (۱۱).

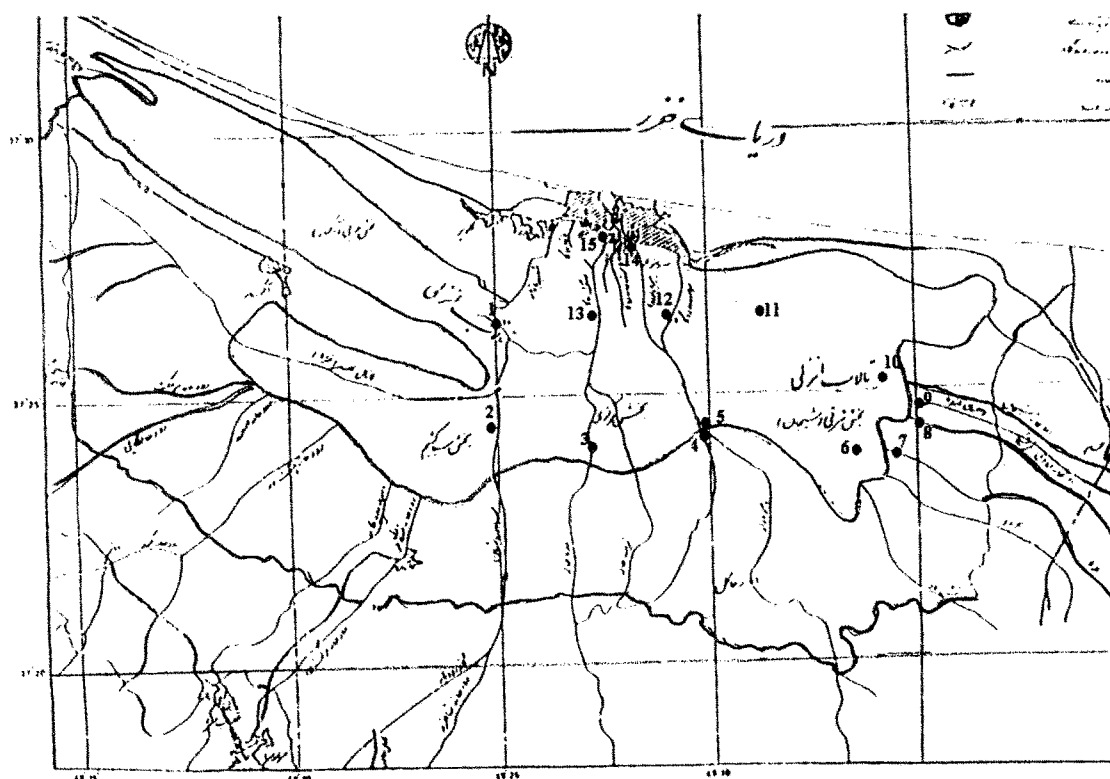
آلودگی‌های غیرطبیعی یا انسان ساخت عمدتاً توسط فاضلاب‌های شهری، صنعتی و پساب‌های کشاورزی وارد محیط شده و نهایتاً منجر به افزایش مقدار آلاینده‌های آلی و معدنی مخصوصاً عناصر سنگین در آب، رسوبات و به تبع آن در آبزیان خواهند شد. تالاب انزلی نیز از این قاعده مستثنی نیست و به دلیل عدم وجود سیستم تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی و ورود مستقیم پساب‌های کشاورزی (حاوی کودها و سموم کشاورزی) در معرض خطر بوده که در نتیجه مقدار تجمع آلاینده‌ها در آب، رسوبات و آبزیان افزایش می‌یابد. فلزات سنگین و سمی تهدیدی جدی برای حیات تالاب به حساب می‌آیند (۴). در این مطالعه با در نظر گرفتن موارد فوق و همچنین با توجه به جنبه‌های مختلف تالاب انزلی از نظر شیلاتی و زیست‌محیطی، روند انتشار و تجمع فلزات سنگین (Cr، Ni، Cu، Cd، Zn و Pb) در رسوبات تالاب انزلی بررسی شد. این تحقیق با هدف بررسی نحوه حرکت فلزات سنگین و ته‌نشینی آنها در تالاب انزلی و تأثیر خودپالایی تالاب در جلوگیری از انتشار و انتقال آلاینده‌ها به آب دریا انجام شد.

مواد و روش‌ها

در حاشیه جنوبی دریای خزر و در محدوده ۲۰' ۳۷° و ۳۰' ۳۷° عرض شمالی و ۱۵' ۴۹° تا ۴۰' ۴۹° طول شرقی یکی از مهم‌ترین تالاب‌های جهان با مساحت تقریبی ۱۸۰ تا ۲۰۰ کیلومتر مربع واقع شده که به دلیل همجواری با شهر انزلی به همین نام خوانده می‌شود. حوزه آبخیز تالاب

از مرداد تا دی‌ماه سال ۱۳۸۱ انجام شد. در نمونه‌های رسوب ایستگاه‌های ذکر شده مقدار فلزات سنگین اندازه‌گیری شد.

زیر پل غازیان و پل انزلی و سه ایستگاه نیز در قسمت داخلی تالاب است. نمونه‌برداری ماهیانه برای رسوب طی یک دوره ۶ ماهه



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

خاکی و بیولوژیک (بافت‌های گیاهی) با در نظر گرفتن تجربیات کارشناسان آزمایشگاه از روش هضم تر استفاده شد و برای انتخاب اسید و مواد لازم برای استخراج و عصاره‌گیری فلزات از نمونه‌های رسوب از ترکیب اسیدهای کلریدریک و نیتریک استفاده شد. برای آنالیز نمونه‌ها از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی^۲ مدل Shimadzu AA-680/680G دارای لامپ دوتریم استفاده شد (۱، ۲ و ۹).

به منظور نمونه‌برداری رسوبات کف از نمونه‌گیر دستی^۱ استفاده شد. پس از هر بار گسیل نمونه‌گیر دستی به بستر تالاب و بالا آوردن آن محتویات آن به آرامی درون یک ظرف پلاستیکی عاری از هر گونه آلودگی تخلیه گردید و سپس با استفاده از قاشق‌های پلاستیکی مقداری از قسمت مرکزی رسوبات (محلی که با بدنه گراب تماس نداشت) برداشته و داخل کیسه‌های پلاستیکی همراه با برچسب مشخصات قرار داده شد و تا هنگام شروع آنالیزهای آزمایشگاهی در دمای ۴°C نگهداری گردید. برای اندازه‌گیری کمی فلزات سنگین در نمونه‌های

^۲ - Atomic Adsorption Spectrophotometer

^۱ - Grab Sampler

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس داده‌های رسوب برای ایستگاه‌ها و دوره‌ها (میانگین مربعات)

منبع تغییر	درجه آزادی	کادمیم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
ایستگاه	۱۴	۲۲۲/۴**	۲۳۷۶/۹**	۴۴۳۳/۴**	۲۸۲۰**	۳۵۷۴/۳**	۹۳۸۲۸**
دوره	۵	۹۹/۷**	۱۷۰۵/۰**	۳۰۵۹/۸**	۲۶۹**	۷۱۰/۵**	۲۰۶۵۳**
خطا	۷۰	۲/۷	۲۶/۹	۱۹/۰	۶/۲	۱۲/۵	۲۴۸/۴

** : اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪
* : اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪

نتایج

در اینجا ضمن اشاره به روش‌های آماری آنالیز داده‌ها به ارایه نتایج حاصل از هر روش می‌پردازیم. روش‌های آماری به کار گرفته شده به ترتیب عبارتند از: آنالیز واریانس^۱، ضرایب هم‌بستگی داده‌ها^۲ و تجزیه خوشه‌ای^۳ (۵، ۶ و ۱۲).

۱- نتایج حاصل از بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین بر اساس آنالیز واریانس در رسوبات تالاب

در ۱۵ ایستگاه مورد بررسی طی شش دوره (مرداد تا دی) مقدار شش فلز سنگین در رسوبات ارزیابی شد که در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و قلمداد کردن ایستگاه‌های مورد بررسی به عنوان تیمار آزمایش با شش تکرار (دوره) آنالیز واریانس داده‌های رسوب و به کارگیری نرم افزار SAS صورت گرفت.

ایستگاه‌ها و دوره‌های ارزیابی شده در مورد تمام پارامترها اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد ($P > 0.01$) نشان دادند. آنالیز واریانس برای شش پارامتر به طور جداگانه انجام شد. جدول (۱) نتایج آنالیز واریانس برای داده‌های رسوب برای ایستگاه‌ها و دوره‌ها را نشان می‌دهد. روند تغییرات برای هر پارامتر مربوط به اختلاف مقدار پارامترها در هر ایستگاه و اختلاف مقدار پارامترها در هر دوره است که بیانگر کاهش غلظت فلزات در رسوبات تالاب در اثر کاهش آنها در آب در ایستگاه‌های مختلف تحت

عملکرد تصفیه‌ای تالاب و تفاوت در منابع آلاینده هر منطقه است. بر اساس آنالیز واریانس داده‌های رسوب می‌توان گفت که همه پارامترها در ایستگاه‌ها و دوره‌های ارزیابی شده دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد آماری هستند.

الف: مقایسه میانگین ایستگاه‌ها

با توجه به این که مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف اختلاف آماری نشان دادند، برای بررسی این اختلاف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه میانگین ایستگاه‌ها انجام شد. شکل (۲) مقایسه میانگین ایستگاه‌ها برای داده‌های رسوب را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۱۰ به ترتیب در عین داشتن اختلاف معنی‌دار با یکدیگر بالاترین مقدار تمام پارامترها را به خود اختصاص دادند. در مجموع ایستگاه‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱، ۲ و ۳ برای همه فلزات مقادیر کمتری نشان دادند. مقایسه میانگین ایستگاه‌ها در مورد مقدار کادمیم موجود در رسوبات نشان داد که ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۳ بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر پایین‌ترین مقدار و پس از آن ایستگاه ۱۲ در جایگاه دوم قرار گرفت و ایستگاه‌های ۷، ۱۵، ۸ و ۹ به ترتیب بعد از ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۱۰ بیشترین مقدار کادمیم را داشتند. ایستگاه ۱۳ پایین‌ترین مقدار کروم را نشان داد و بعد از آن ایستگاه‌های ۱۱ و ۱ بدون اختلاف معنی‌دار آماری قرار گرفتند. ایستگاه‌های ۲، ۳ و ۱۲ نیز در رتبه بعدی قرار گرفتند. برای مس ایستگاه ۱۳ پایین‌ترین مقدار و ایستگاه‌های ۱ و ۲ بدون اختلاف

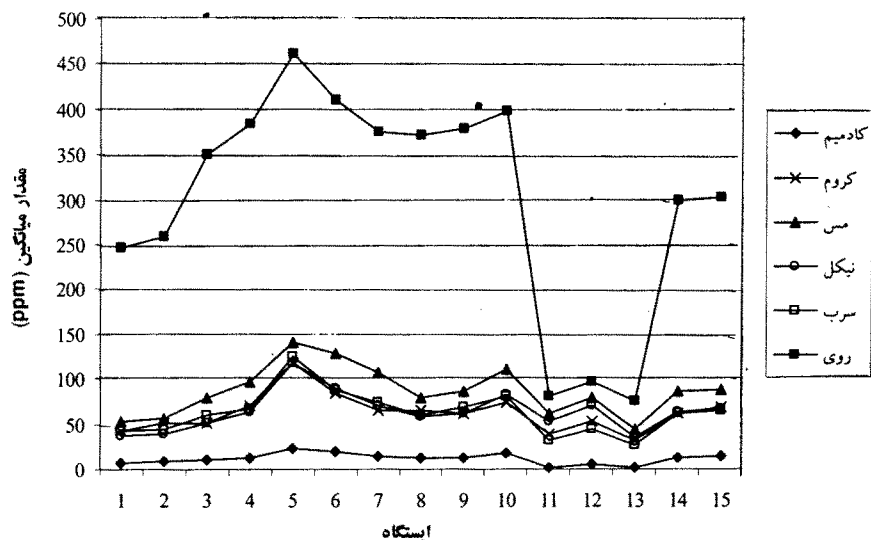
^۱- Analysis of Variance (ANOVA)

^۲- Correlation Coefficient

^۳- Cluster Analysis

سرب ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۱ به ترتیب کمترین و سپس ایستگاه‌های ۱۲، ۱ و ۲ بدون اختلاف معنی‌دار قرار گرفتند. در مورد روی نیز ایستگاه‌های ۱۱ و ۱۳ و پس از آن ایستگاه ۱۲ کمترین مقدار را داشت. ایستگاه‌های ۱ و ۲ و ایستگاه‌های ۱۴ و ۱۵ بدون اختلاف معنی‌دار در رده‌های بعدی قرار گرفتند.

معنی‌دار در رتبه بعدی قرار گرفتند. ایستگاه‌های ۱۲، ۱۳ و ۸ بدون اختلاف معنی‌دار در رتبه بعدی قرار گرفتند. مقایسه میانگین ایستگاه‌ها برای نیکل نشان داد که ایستگاه ۱ کمترین مقدار و پس از آن ایستگاه‌های ۱۳ و ۲ بدون اختلاف معنی‌دار آماری قرار گرفتند. ایستگاه‌های ۳ و ۱۱ بدون اختلاف معنی‌دار در رتبه بعدی واقع شدند. برای



شکل ۲- مقایسه میانگین ایستگاه‌ها برای داده‌های رسوب

بررسی این اختلاف با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه میانگین دوره‌ها انجام شد. تغییر پارامترها طی ماه‌های مختلف بسیار نامشابه بود. کادمیم در ماه‌های آبان و دی بیشترین مقدار و در مردادماه کمترین مقدار را داشت. این نتایج نشان می‌دهند که احتمالاً به علت ورود سیلاب‌ها در پاییز و زمستان و حمل رسوبات حاوی این فلز از حوزه آبریز تالاب مقدار فلز کادمیم در رسوبات تالاب نیز طی این دو فصل افزایش یافته است. از طرفی به دلیل اینکه واکنش‌های تبادل یونی و ترسیب شیمیایی تحت تأثیر pH و دما هستند، می‌توان گفت این واکنش‌ها برای کادمیم در ماه‌های سرد و pH بالاتر از ۷ بهتر انجام می‌شود.

مس و نیکل بیشترین مقدار را به ترتیب در ماه‌های مرداد و شهریور داشته در حالی که مس در ماه‌های آذر و دی بدون اختلاف معنی‌دار و نیکل در آبان کمترین مقدار

برای تمام فلزات مشاهده می‌شود که ایستگاه‌های داخل تالاب (۱۱، ۱۲ و ۱۳) همراه با ایستگاه‌های ۱ و ۲ (خروجی‌های بخش غربی و سیاه‌کشیم) تقریباً دارای کمترین مقدار فلزات در بین ایستگاه‌ها هستند. ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۱۰ نیز به دلیل استقرار در نواحی که پذیرنده فاضلاب‌های صنعتی و رواناب‌های شهری هستند، دارای بیشترین مقدار فلزات در رسوب می‌باشند. با توجه به نتایج فوق برای رسوب تأیید می‌شود که با فاصله گرفتن از حاشیه تالاب مقادیر آلاینده‌ها (در این جا فلزات سنگین) کاسته می‌شوند که بیانگر قدرت تالاب در حذف و یا کاهش آلاینده‌هایی مانند فلزات سنگین است.

ب: مقایسه میانگین دوره‌ها

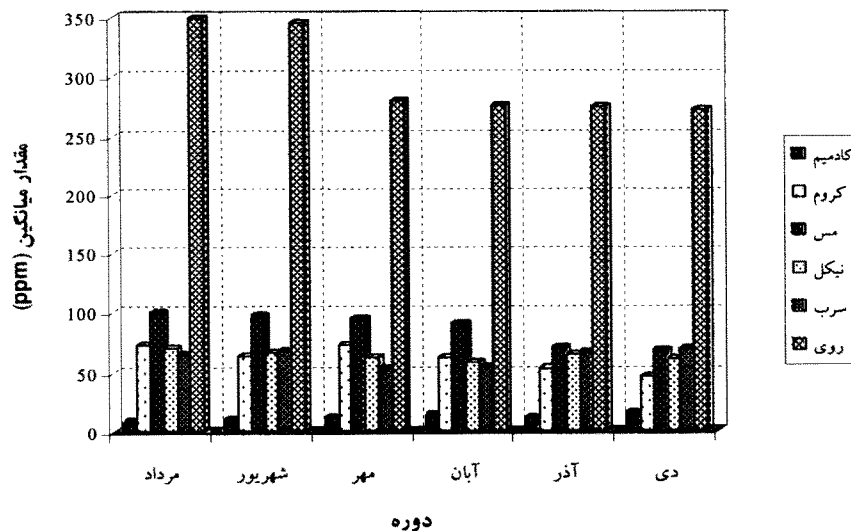
با توجه به این که مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده در دوره‌های مختلف اختلاف آماری نشان دادند، برای

دارای بیشترین مقدار و ماه‌های مهر، آبان، آذر و دی را بدون اختلاف معنی‌داری دارای کمترین مقدار در رسوبات نشان داد. توجیحات ذکر شده برای مس و نیکل در مورد روی نیز می‌تواند صادق باشد. کروم نیز در ماه‌های مرداد و مهر بیشترین مقدار و در دی ماه کمترین مقدار را داشت. دلایل ذکر شده برای مس و نیکل در مورد کروم نیز صادق است.

سرب نیز طی ماه‌های مختلف بالاترین مقدار را در دی ماه داشت. سپس ماه‌های شهریور و آبان بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر در رتبه دوم قرار گرفتند و کمترین مقدار در ماه‌های مهر و آذر بدون اختلاف معنی‌دار مشاهده شد که تقریباً روندی مشابهی با کادمیم دارد.

را داشتند. در توجیه این که مقادیر این فلزات در رسوب در ماه‌های آخر کمتر از مقدار آن‌ها در ماه‌های اول نمونه‌برداری است، می‌توان گفت که احتمالاً با ورود سیلاب‌ها در ماه‌های آخر نمونه‌برداری رسوباتی با غلظت کم نیکل و مس وارد تالاب شده که نهایتاً در بستر تالاب رسوب کرده و در ماه‌های آخر از آنها نمونه‌برداری شده است (با توجه به نمونه‌گیری سطحی رسوب). شکل (۳) مقایسه میانگین دوره‌ها برای داده‌های رسوب را نشان می‌دهد.

مقایسه میانگین دوره‌ها برای مقدار روی، ماه‌ها را در عین روند نزولی به دو دسته کلی تقسیم کرد به طوری که ماه‌های مرداد و شهریور بدون اختلاف معنی‌دار با یکدیگر



شکل ۳- مقایسه میانگین دوره‌ها برای داده‌های رسوب

شش دوره در ایستگاه‌های ۱۵ گانه برای تک تک پارامترها محاسبه شد. همان‌طور که جدول (۲) نشان می‌دهد، فلزات سنگین در رسوبات همبستگی زیادی با یکدیگر دارند. سرب بیشترین همبستگی را با بقیه فلزات دارد. در بین فلزات نیکل و روی کمترین همبستگی را با یکدیگر دارند.

۲- رابطه بین غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی بر اساس ضرایب همبستگی
به منظور ارزیابی ارتباط بین پارامترهای اندازه‌گیری شده در رسوب طی ایستگاه‌ها و دوره‌های مختلف همبستگی پیرسون بین پارامترها بر اساس داده‌های حاصل از میانگین

جدول ۲- جدول ضرایب همبستگی پارامترهای کیفی رسوب

پارامتر	کادمیم	کروم	مس	نیکل	سرب	روی
کادمیم	۱					
کروم	۰/۹۴	۱				
مس	۰/۹۲	۰/۹۴	۱			
نیکل	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۹۵	۱		
سرب	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۱	۱	
روی	۰/۹۲	۰/۸	۰/۷۷	۰/۶	۰/۸۵	۱

۳- آنالیز خوشه‌ای پارامترها و ایستگاه‌ها

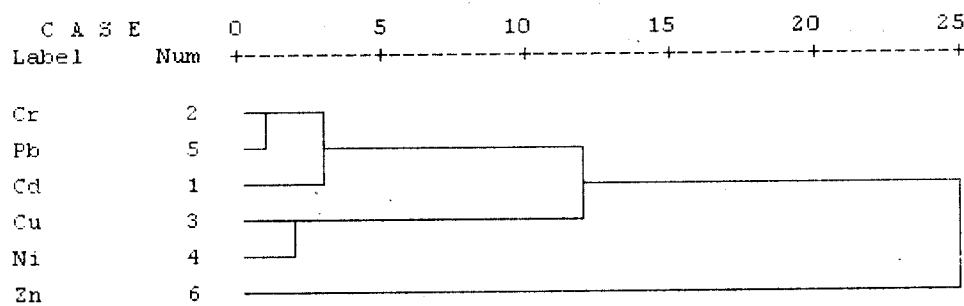
الف: آنالیز خوشه‌ای پارامترهای کیفی رسوب (فلزات

سنگین) بر مبنای ایستگاه‌ها و دوره‌ها

آنالیز خوشه‌ای پارامترهای کیفی رسوب (فلزات سنگین) بر اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه مجزا مشاهده شد. فلزات کروم، سرب و کادمیم در یک گروه، فلزات مس و نیکل در گروه دوم و فلز روی به تنهایی با اختلاف زیاد در گروه سوم قرار گرفتند که بیانگر تشابه بین سرب، کروم و

کادمیم از نظر واکنش‌های تبادل یونی و ته نشینی و یا در منابع ورودی است. همچنین فلزات مس و نیکل نیز مانند هم عمل می‌کنند و فلز روی روندی متفاوت دارد. شکل (۴) دندروگرام آنالیز خوشه‌ای پارامترهای کیفی رسوب (فلزات سنگین) است و مطالب ذکر شده فوق را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از ضرایب همبستگی در مورد رابطه بین آلاینده‌ها در رسوب تطابق خوبی دارند.

Squared Euclidean Distance



شکل ۴- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای پارامترهای کیفی رسوب (فلزات سنگین) بر مبنای داده‌های ایستگاه‌ها

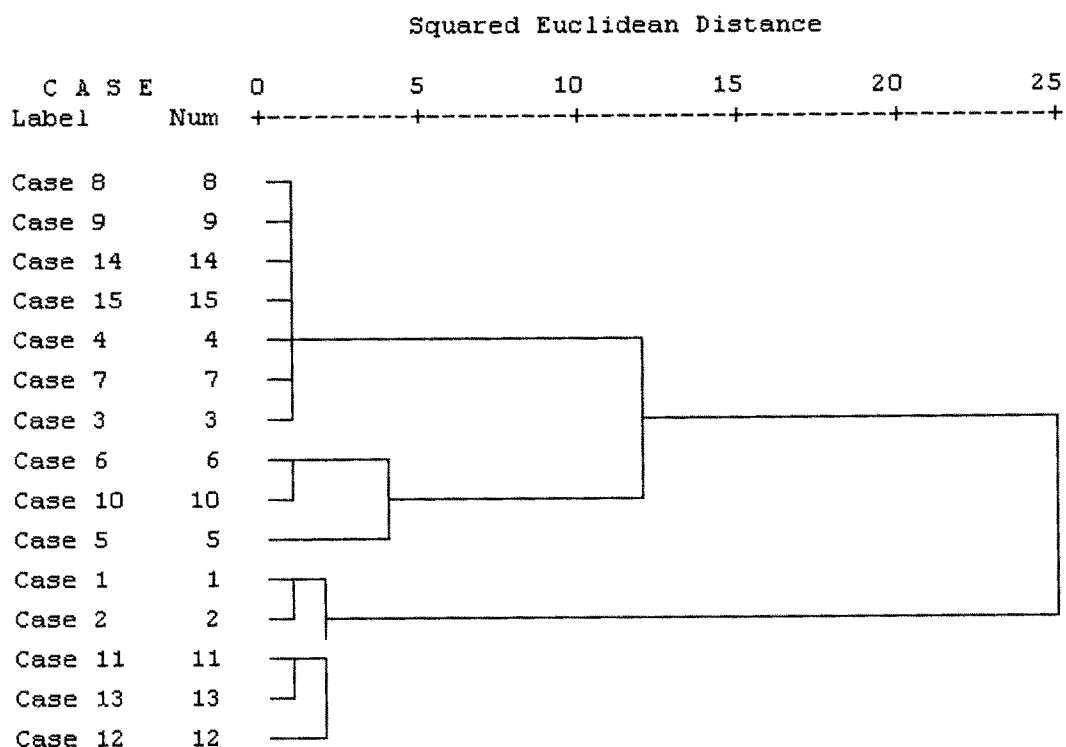
۱۴ و ۱۵ بود. ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۱۰ در گروه دوم و ایستگاه‌های ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ با اختلاف بسیار زیاد از بقیه در گروه سوم قرار گرفتند. در ایستگاه ۱۴ و ۱۵ به علت عمق زیاد آب معمولاً فلزات فرصت ته نشینی پیدا نمی‌کنند و روانه دریا می‌شوند. به‌عین دلیل غلظت فلزات

ب: آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها بر مبنای پارامترها و دوره‌ها

شکل (۵) دندروگرام آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها (بر مبنای پارامترهای کیفی رسوب) را نشان می‌دهد. آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها بر اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه اصلی مشاهده شد. گروه اول شامل ایستگاه‌های ۳، ۴، ۷، ۸، ۹،

این ایستگاه‌ها است. لازم به ذکر است که نتایج آنالیز خوشه‌ای برای رسوب نتایج به دست آمده از ضریب همبستگی را تأیید می‌کنند.

در رسوبات این دو ایستگاه در عین بالا بودن غلظت این فلزات در آب در حد متوسط بقیه ایستگاه‌ها قرار دارند. در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ غلظت فلزات در رسوب پایین است که به دلیل پایین بودن غلظت فلزات در آب



شکل ۵- دندروگرام آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها بر مبنای پارامترهای کیفی رسوب

نتایج حاصل از ضریب همبستگی بین پارامترهای کیفی

رسوب (فلزات سنگین)

فلزات سنگین در رسوبات همبستگی زیادی با یکدیگر دارند. سرب بیشترین همبستگی را با بقیه فلزات دارد. در بین فلزات نیکل و روی کمترین همبستگی را با یکدیگر دارند. که این روابط احتمالاً در اثر وجود تفاوت و تشابه در واکنش‌های فیزیکوشیمیایی هر فلز و یا در منابع تولید این فلزات در هر منطقه است.

نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای داده‌های رسوب

الف: آنالیز خوشه‌ای پارامترهای کیفی رسوب (فلزات سنگین) بر

مبنای ایستگاه‌ها و دوره‌ها

آنالیز خوشه‌ای پارامترهای کیفی رسوب (فلزات سنگین) بر

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها برای بررسی روند تغییر غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌ها و دوره‌های مختلف در رسوبات

۱- ایستگاه‌ها و دوره‌های مورد ارزیابی در مورد تمام فلزات سنگین موجود در رسوبات اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان دادند.

۲- در بین فلزات، روی بیشترین مقدار را در رسوبات داشت. غلظت فلزات در رسوبات در ایستگاه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نسبت به ایستگاه‌های دیگر کمتر است و رسوبات ایستگاه ۵ نیز بیشترین مقدار فلزات را در بین ایستگاه‌ها داشت.

در آب این ایستگاه‌ها است. ایستگاه‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ داخل تالاب و ایستگاه‌های ۱ و ۲ در خروجی‌های بخش غربی و سیاه‌کشیم قرار داشته و دارای کمترین مقدار فلزات در بین ایستگاه‌ها هستند. ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۱۰ نیز به دلیل استقرار در نقاطی که پذیرنده فاضلاب‌های صنعتی و رواناب‌های شهری هستند، دارای بیشترین مقدار فلزات در رسوب می‌باشند.

به‌عنوان نتیجه کلی می‌توان گفت که با دور شدن از مصب رودخانه‌های ورودی مقدار فلزات سنگین در رسوبات تالاب کاهش می‌یابد که در اثر عملکرد و نقش خودپالایی تالاب و ترسیب این فلزات ناشی از واکنش‌های فیزیکوشیمیایی در ابتدای ورود به تالاب است. همچنین در ایستگاه‌هایی که غلظت فلزات موجود در آب بالاست در رسوبات آن ایستگاه نیز شاهد غلظت‌های بالا هستیم و برعکس که همبستگی بین مقادیر پارامترها در آب و رسوب را بیان می‌کند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از سازمان مدیریت منابع آب ایران به خاطر حمایت مالی و مرکز تحقیقات شیلات استان گیلان که امکانات انجام این پروژه تحقیقاتی را فراهم آوردند تشکر و قدردانی می‌کنند.

اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه مجزا مشاهده شد. فلزات کروم، سرب و کادمیم در یک گروه، فلزات مس و نیکل در گروه دوم و فلز روی به تنهایی با اختلاف زیاد در گروه سوم قرار گرفتند که بیانگر تشابه بین سرب، کروم و کادمیم از نظر واکنش‌های تبادل یونی و ته نشینی فلز و یا در منابع ورودی این فلزات است. همچنین فلزات مس و نیکل مانند هم عمل کرده و فلز روی روندی متفاوت دارد. نتایج حاصل از آنالیز خوشه‌ای پارامترها با نتایج حاصل از ضریب همبستگی مطابقت دارد.

ب: آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها بر مبنای پارامترهای کیفی رسوب و دوره‌ها

آنالیز خوشه‌ای ایستگاه‌ها بر اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه اصلی مشاهده شد. گروه اول شامل ایستگاه‌های ۳، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۴ و ۱۵ بود. ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۱۰ در گروه دوم و ایستگاه‌های ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ با اختلاف بسیار زیاد از بقیه در گروه سوم قرار گرفتند. در ایستگاه ۱۴ و ۱۵ به علت عمق زیاد آب معمولاً فلزات فرصت ته نشینی پیدا نمی‌کنند و روانه دریا می‌شوند. به‌همین دلیل غلظت فلزات در رسوبات این دو ایستگاه در عین بالا بودن غلظت این فلزات در آب در حد متوسط بقیه ایستگاه‌ها قرار دارند. در ایستگاه‌های ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نیز غلظت فلزات در رسوب پایین است که به دلیل پایین بودن غلظت فلزات

منابع

- ۱- امینی رنجبر، غلام‌رضا، ۱۳۷۱. بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) در رسوبات سطحی تالاب انزلی، مجله علمی شیلات، سال سوم، (۳): ص ص ۲۶-۵.
- ۲- امینی رنجبر، غلام‌رضا و طیبه کنشلو، ۱۳۷۷. ارزیابی کمی آلاینده‌های معدنی در چهار گونه از گیاهان آبی در تالاب انزلی، مجله پژوهش و سازندگی، (۳۸): ص ص ۲۹-۲۳.
- ۳- ثابت‌رفتار، کریم، ۱۳۷۴. طرح حفاظت و بازسازی تالاب انزلی فاز اول و دوم، سازمان حفاظت محیط زیست و دانشگاه گیلان، گزارش.
- ۴- حق‌پناه، وحید، ارزش‌های عمومی تالاب انزلی، ماهنامه آبریان، ص ص ۲۱-۱۶.
- ۵- دولتی، علی و علی همدانی، تجزیه و تحلیل‌های آماری با نرم افزار SAS، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۶- فتح‌اللهی دهکردی، فرزاد، ۱۳۸۲. بررسی عملکرد سیستم تالاب طبیعی انزلی (Anzali Natural Wetland) در کاهش و حذف آلاینده‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی محیط زیست.

۷- منشوری، محمد، منوچهر وثوقی، کرامت ا... ایماندل، مهدی برقی و احمد بادکوبی، ۱۳۷۸. حذف فلزات سنگین توسط نیزارهای مصنوعی، مجله آب و فاضلاب، (۳۱): ص ۴۳-۲۸.

8- Anderson, M.B., G.D., Dombeck, W., Mark, and P.E., Perry, Trace Metals Assimilation in Treatment Wetland Sediments, www.nolte.com/shared/pdf/sacwetl

9- APHA, 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20th ed. APHA., AWWA. and WEF., Washington DC.

10-Crites, R. and G., Tchobanoglus, 1998. Small and Decentralized Wastewater Management System, McGraw-Hill, New York.

11- Lau, S.S.S. and L.M., Chu, 2000. The Significance of Sediment Contamination in a Coastal Wetland, Hong Kong, China, *Wat. Res.*, 34(2): 379-386.

12- Morrison, D.F., 1976. Multivariate Statistical Analysis, 1th ed., McGraw-Hill, New York.

An Investigation of the Evolution of Distribution and Accumulation of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Cd, Zn and Pb) in Anzali Wetland's Sediments

M. Sartaj¹

F. Fatollahi²

Y. Filizadeh³

Abstract

To investigate the precipitation of heavy metals in Anzali wetland and evaluate its refining performance this study was carried out on the wetland. Monthly samples of sediments from 15 stations including inlets, outlets and some internal locations in the wetland were collected and analyzed over a period of six months (July - December 2002). Sediment samples were analyzed for six metals of Cr, Cd, Pb, Zn, Cu and Ni. Wet digestion method was employed for extraction of metals in samples by and through a solution containing HNO₃ and HCL. Atomic Adsorption Spectrophotometry was employed for measurement of the heavy metals. Statistical methods, including analysis of variance (ANOVA), correlation and Cluster analysis were used for analysis of the data. The results indicated that concentration of heavy metals present in sediments (collected from different stations and at different times) were significantly different. Among the metals studied, Zn was of the highest concentration. Heavy metal concentrations in stations 11, 12 and 13 were lower than in other stations. Sediments in station 5 contained the highest concentrations of heavy metals among all sediments. It can be stated that concentration of heavy metals decreases with an increase in the distance from delta of rivers entering the wetland. This is due to the role and performance of wetland chemical contents in reduction of pollutants, the self-purification action of wetland as well as precipitation of heavy metals at the beginning of the entries into the wetland.

Keywords: Anzali wetland, Heavy metals, Sediments, Self-purification.

¹ -Assistant Professor, Civil Engineering Faculty, Isfahan University of Technology (E-mail:msartaj@CC.iut.ac.ir)

² -Senior Expert of Environmental Engineering, Civil Engineering Faculty, Isfahan University of Technology

³ -Associate Professor, Faculty of Agriculture, Shahed University