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

مجيد سرتاج[۲] فرزاد فتح‌اللهي دهكردي[۳] يوسف فيلي‌زاده[۴]

چكيده

ميزان ترسيب فلزات سنگين در تالاب انزلي و عملكرد تصفيه‌اي اين تالاب مورد مطالعه قرار گرفت. در اين مطالعه نمونه‌هاي ماهيانه رسوب در ۱۵ ايستگاه شامل ورودي‌ها، خروجي‌ها و داخل تالاب در يك دوره شش ماهه (مرداد تا دي ۱۳۸۱) جمع‌آوري و آناليز شد. در نمونه‌هاي رسوب شش فلز سنگين شامل كروم، كادميم، سرب، روي، مس و نيكل اندازه‌گيري شد. براي استخراج و عصاره‌گيري فلزات از نمونه‌هاي رسوب از روش هضم‌تر و از تركيب اسيدهاي كلريدريك و نيتريك استفاده شد و براي اندازه‌گيري فلزات سنگين از دستگاه طيف سنجي جذب اتمي داراي لامپ دوتريم استفاده شد. براي بررسي موضوع و تجزيه و تحليل داده‌ها از روش‌هاي آماري از قبيل آناليز واريانس، هم‌بستگي داده‌ها و آناليز خوشه‌اي استفاده شد. نتايج اين تحقيق نشان مي‌دهد مقدار فلزات سنگين موجود در رسوبات در ايستگاه‌ها و دوره‌هاي مختلف داراي تفاوت معني داري است. در بين فلزات مطالعه شده روي بيشترين مقدار را در رسوبات دارد. غلظت فلزات سنگين در رسوبات نقاط داخل تالاب (ايستگاه‌هاي ۱۱، ۱۲ و ۱۳) نسبت به ايستگاه‌هاي ديگر كمتر است. رسوبات در ورودي پيربزار (ايستگاه ۵) نيز بيشترين مقدار فلزات را در بين ايستگاه‌ها دارد. با توجه به نتايج به دست آمده مي‌توان گفت كه با دور شدن از مصب رودخانه‌هاي ورودي مقدار فلزات سنگين در رسوبات تالاب كاهش مي‌يابد كه در اثر عملكرد اجزاي تالاب در كاهش و ترسيب فلزات سنگين در مناطق ابتداي تالاب است.

واژه‌هاي كليدي: *تالاب انزلي، فلزات سنگين، رسوبات، خودپالايي*.

---

[۱]- تاريخ دريافت:۸۲/۸/۲۸، تاريخ پذيرش: ۸۳/۶/۳۰

[۲]- استاديار دانشكده عمران، دانشگاه صنعتي اصفهان**(E-mail:msartaj@CC.iut.ac.ir)**

[۳]- كارشناس ارشد مهندسي محيط‌زيست دانشكده عمران، دانشگاه صنعتي اصفهان

[۴]- دانشيار دانشكده كشاورزي، دانشگاه شاهد تهران

مقدمه

افزايش بيش از حد جمعيت و صنعتي شدن جوامع خصوصا" از نيمه دوم قرن حاضر باعث پيدايش مشكلات و مسائل جديد آلودگي محيط زيست شده است. از جمله آلاينده‌هايي كه در فاضلاب صنايع، معادن و رواناب‌هاي شهري و كشاورزي وجود دارد، مي‌توان به فلزات سنگين اشاره كرد. فلزات سنگين به صورت محلول در آب و خاك وارد شده و باعث آلودگي آب‌هاي سطحي، زيرزميني و خاك شده و سبب برهم زدن اكوسيستم‌هايي كه به آن وارد مي‌شوند، مي‌گردند. انسان و جانوران با مصرف سبزيجات، گياهان و مواد غذايي آبياري شده با چنين آب‌هايي و يا برخاسته از چنين خاك‌هاي آلوده‌اي و نيز مصرف جانوران و آبزياني كه در معرض اين فلزات زندگي مي‌كنند، مبتلا به انواع بيماري‌هاي شناخته شده و يا ناشناخته مي‌گردند. بنابراين لازم است نسبت به كنترل و كاهش آلودگي چنين موادي در محيط زيست اقدام شود (۷ و ۱۰).

به طور كلي فلزات سنگين عناصري هستند كه به طور طبيعي به مقدار بسيار كم در اكوسيستم‌هاي زنده يافت مي‌شوند. اين عناصر جزو آلاينده‌هاي بسيار پايدار هستند و طي فرايندهاي بيولوژيک تجزيه نمي‌شوند (۱). در يک محيط آبي انجام مطالعاتي در خصوص آلودگي رسوبات بستر از ديدگاه‌هاي مختلفي قابل توجه است. اول اينكه آلودگي رسوبات (به ويژه آلودگي فلزات سنگين) براي كفزيان، آبزيان كفزي‌خوار و همچنين گياهان آبزي از اهميت ويژه‌اي برخوردار است. ثانيا" در صورتي‌كه مقدار آلودگي رسوبات از مقادير خاصي تجاوز كند، سريعا" باعث برهم خوردن تعادل اكوسيستم و زوال آن مي‌شود. جنبه ديگر اهميت بررسي مقدار تجمع فلزات در رسوبات اين است كه نظارت پيوسته بر آلودگي منطقه ميسر مي‌شود، زيرا بسياري از انواع مواد و تركيبات آلوده كننده (مخصوصا" فلزات سنگين) پس از ورود به يک منبع آبي به تدريج در بستر آن به صورت‌هاي مختلف رسوب كرده و تجمع مي‌كنند. در مجموع مي‌توان گفت رسوبات به عنوان معرف و شناساگر مهمي براي آلودگي محيط‌هاي آبي مطرح مي‌باشند كه از تجزيه و مطالعه آنها مي‌توان به سهولت مقدار و نوع آلودگي را تشخيص داد و تصميمات مقتضي را براي كنترل آن اتخاذ نمود (۲).

در ادامه براي بيان اهميت موضوع و تشريح كارهاي انجام شده در اين زمينه به خلاصه‌اي از پژوهش‌هايي كه در سال‌هاي اخير در جهان روي اين موضوع انجام شده است اشاره مي‌كنيم.

در سال ۱۳۷۱ اميني‌رنجبر بررسي مقدار تجمع فلزات سنگين (Ni, Cu, Zn، Pb و Cd) در رسوبات سطحي تالاب انزلي را انجام داد. در اين تحقيق مقدار اين پنج فلز در رسوبات سطحي ۱۱ ايستگاه نمونه برداري تعيين شد. از چهار روش مختلف براي تعيين مقادير فلزات مذكور در يكي از نمونه‌ها استفاده شد و روش هضم با مخلوط اسيدهاي نيتريک و كلريدريک كه كارايي بالاتري داشت به‌عنوان مناسب‌ترين روش انتخاب شد. نتايج نشان داد كه تفاوت معني‌دار آماري بين فصول مختلف سال در غلظت فلزات وجود نداشت (۱).

اندرسون[۱] و همكاران (۲۰۰۰) جذب فلزات سنگين را در رسوبات يک تالاب مصنوعي واقع در ساكرامنتو در طول سال‌هاي ۱۹۹۸-۱۹۹۴ انجام دادند. نمونه‌برداري از رسوبات و آناليز آنها نشان داد كه غلظت عناصر آرسنيک (As)، كروم (Cr)، مس (Cu) ، نيكل (Ni) و روي (Zn) در طول زمان افزايش يافته است ولي مقدار غلظت عناصر نقره (Ag) ، كادميم (Cd)، سرب (Pb) و جيوه (Hg) در رسوبات افزايش چشمگيري نشان نداد (۸).

لاو[۲] و همكاران (۲۰۰۰) آلودگي رسوبات تالاب ساحلي مايي پو[۳] واقع در هنگ‌كنگ را بررسي كردند. نمونه‌ها از شش ايستگاه در طول تالاب در فوريه جمع‌آوري شد و

[۱]-Anderson
[۲]-Lou
[۳]- Mai Po

پارامترهاي TN، TP، Cd، Cu، Ni و Zn اندازه‌گيري شد. با استفاده از آناليز آماري داده‌ها از جمله آناليز واريانس مشخص شد كه در ابتدا و انتهاي تالاب مقدار نيتروژن كل و مس بيشتر از نواحي ديگر در رسوبات جمع شده‌اند. همچنين غلظت فسفر كل در انتهاي تالاب (خروجي) و غلظت روي در ابتداي تالاب (ورودي) بيشترين مقدار را دارند. در كل مقدار آلاينده‌ها در محل ورود فاضلاب‌هاي صنعتي زياد بود (۱۱).

آلودگي‌هاي غيرطبيعي يا انسان ساخت عمدتاً توسط فاضلاب‌هاي شهري، صنعتي و پساب‌هاي كشاورزي وارد محيط شده و نهايتاً منجر به افزايش مقدار آلاينده‌هاي آلي و معدني مخصوصاً عناصر سنگين در آب، رسوبات و به تبع آن در آبزيان خواهند شد. تالاب انزلي نيز از اين قاعده مستثني نيست و به‌دليل عدم وجود سيستم تصفيه فاضلاب‌هاي شهري و صنعتي و ورود مستقيم پساب‌هاي كشاورزي (حاوي كودها و سموم كشاورزي) در معرض خطر بوده كه در نتيجه مقدار تجمع آلاينده‌ها در آب، رسوبات و آبزيان افزايش مي‌يابد. فلزات سنگين و سمي تهديدي جدي براي حيات تالاب به حساب مي‌آيند (۴). در اين مطالعه با در نظر گرفتن موارد فوق و همچنين با توجه به جنبه‌هاي مختلف تالاب انزلي از نظر شيلاتي و زيست‌محيطي، روند انتشار و تجمع فلزات سنگين (Cr، Ni، Cu، Cd، Zn و Pb) در رسوبات تالاب انزلي بررسي شد. اين تحقيق با هدف بررسي نحوه حركت فلزات سنگين و ته‌نشيني آنها در تالاب انزلي و تأثير خودپالايي تالاب در جلوگيري از انتشار و انتقال آلاينده‌ها به آب دريا انجام شد.

مواد و روش‌ها

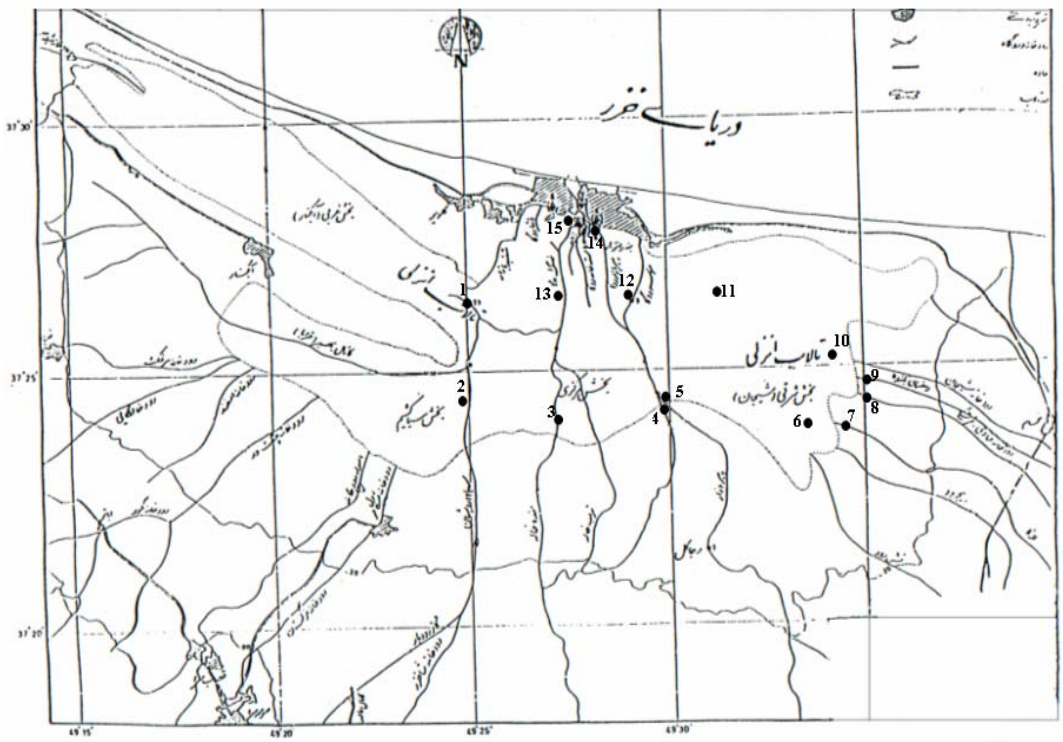
در حاشيه جنوبي درياي خزر و در محدوده ′۲۰ °۳۷ و ′۳۰ °۳۷ عرض شمالي و ′۱۵ °۴۹ تا ′۴۰ °۴۹ طول شرقي يكي از مهم‌ترين تالاب‌هاي جهان با مساحت تقريبي ۱۸۰ تا ۲۰۰ كيلومتر مربع واقع شده كه به دليل همجواري با شهر انزلي به همين نام خوانده مي‌شود. حوزه آبخيز تالاب انزلي داراي مساحتي حدود ۳۷۴ هزار هكتار است كه از اين مقدار ۵۴ درصد جنگل و مرتع، ۳۲ درصد زمين‌هاي كشاورزي، ۹درصد تالاب‌ها، آب‌بندها و استخرها و ما بقي را نقاط مسكوني، صنايع و استفاده‌هاي ديگر تشكيل مي‌دهد. اين تالاب از شمال به درياي خزر، از جنوب به صومعه سرا و بخشي از رشت، از شرق به پيربازار و از غرب به كپورچال و آبكنار محدود مي‌شود. همچنين اين تالاب جزو ۱۸ تالاب بين‌المللي ايران است كه تحت كنوانسيون رامسر قرار دارد (۳).

پس از بررسي كامل منطقه مورد مطالعه (تالاب انزلي) از روي نقشه‌هاي موجود براي انتخاب ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري نكاتي از قبيل نوع پوشش گياهي قسمت‌هاي مختلف تالاب، عمق آب رودخانه‌هاي ورودي به هر قسمت و نوع آلودگي آنها، سهولت دسترسي در تمام ماه‌هاي سال و پارامترهاي ديگر ارزيابي شد. سپس با بازديدهاي مكرر از منطقه بخش‌هاي شرقي و مركزي تالاب به عنوان ناحيه مورد مطالعه انتخاب شد. به دليل تحت محافظت بودن بخش سياه‌كشيم و عدم امكان تردد در اين بخش اين ناحيه مورد مطالعه قرار نگرفت. همچنين بخش غربي تالاب (آبكنار) به علت پايين بودن مقدار آلودگي انتخاب نشد. به دليل محدود بودن امكانات و براي بالا بردن كيفيت و كميت آزمايش‌ها به‌همان بخش‌هاي شرقي و مركزي تالاب كه داراي بيشترين بار آلودگي نيز بودند، اكتفا شد.

پس از مشخص شدن نواحي مورد مطالعه ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري روي نقشه مشخص شد. موقعيت و مختصات اين ايستگاه‌ها درشكل (۱) نشان داده شده است. سپس با استفاده از سيستم مكان‌يابي ماهواره‌اي جغرافيايي (GPS) نقاط مشخص شده روي نقشه در داخل تالاب علامت‌گذاري شد. تعداد ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري ۱۵ نقطه براي نمونه‌گيري رسوب است. از اين ۱۵ ايستگاه هشت ايستگاه در ورودي رودخانه‌هاي مهم بخش شرقي و مركزي تالاب، دو ايستگاه در خروجي‌هاي بخش غربي (آبكنار) و سياه‌كشيم بوده، دو ايستگاه در خروجي تالاب به دريا در

زير پل غازيان و پل انزلي و سه ايستگاه نيز در قسمت داخلي تالاب است.

نمونه‌برداري ماهيانه براي رسوب طي يك دوره ۶ ماهه از مرداد تا دي‌ماه سال ۱۳۸۱ انجام شد. در نمونه‌هاي رسوب ايستگاه‌هاي ذكر شده مقدار فلزات سنگين اندازه‌گيري شد.



شكل ۱- موقعيت ايستگاه‌هاي نمونه‌برداري

به منظور نمونه‌برداري رسوبات كف از نمونه‌گير دستي[1] استفاده شد. پس از هر بار گسيل نمونه‌گير دستي به بستر تالاب و بالا آوردن آن محتويات آن به آرامي درون يك ظرف پلاستيكي عاري از هر گونه آلودگي تخليه گرديد و سپس با استفاده از قاشق‌هاي پلاستيكي مقداري از قسمت مركزي رسوبات (محلي كه با بدنه گراب تماس نداشت) برداشته و داخل كيسه‌هاي پلاستيكي همراه با برچسب مشخصات قرار داده شد و تا هنگام شروع آناليزهاي آزمايشگاهي در دماي ۴℃ نگهداري گرديد.

براي اندازه‌گيري كمي فلزات سنگين در نمونه‌هاي خاكي و بيولوژيك (بافت‌هاي گياهي) با در نظر گرفتن تجربيات كارشناسان آزمايشگاه از روش هضم تر استفاده شد و براي انتخاب اسيد و مواد لازم براي استخراج و عصاره‌گيري فلزات از نمونه‌هاي رسوب از تركيب اسيدهاي كلريدريك و نيتريك استفاده شد. براي آناليز نمونه‌ها از دستگاه طيف‌سنجي جذب اتمي[2] مدل Shimadzu AA-680/680G داراي لامپ دوتريم استفاده شد (۱، ۲ و ۹).

[1]- Grab Sampler

[2]- Atomic Adsorption Spectrophotometer

جدول ۱- نتايج آناليز واريانس داده‌هاي رسوب براي ايستگاه‌ها و دوره‌ها (ميانگين مربعات)

منبع تغيير	درجه آزادي	كادميم	كروم	مس	نيكل	سرب	روي
ايستگاه	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 معني‌دار در سطح ۱% *: اختلاف معني‌دار در سطح ۵%

نتايج

در اينجا ضمن اشاره به روش‌هاي آماري آناليز داده‌ها به ارايه نتايج حاصل از هر روش مي‌پردازيم. روش‌هاي آماري به كار گرفته شده به ترتيب عبارتند از: آناليز واريانس[1]، ضرايب هم‌بستگي داده‌ها[2] و تجزيه خوشه‌اي[3] (۵، ۶ و ۱۲).

۱- نتايج حاصل از بررسي مقدار تجمع فلزات سنگين بر اساس آناليز واريانس در رسوبات تالاب

در ۱۵ ايستگاه مورد بررسي طي شش دوره (مرداد تا دي) مقدار شش فلز سنگين در رسوبات ارزيابي شد كه در قالب طرح بلوك‌هاي كاملاً تصادفي و قلمداد كردن ايستگاه‌هاي مورد بررسي به عنوان تيمار آزمايش با شش تكرار (دوره) آناليز واريانس داده‌هاي رسوب و به كارگيري نرم افزار SAS صورت گرفت.

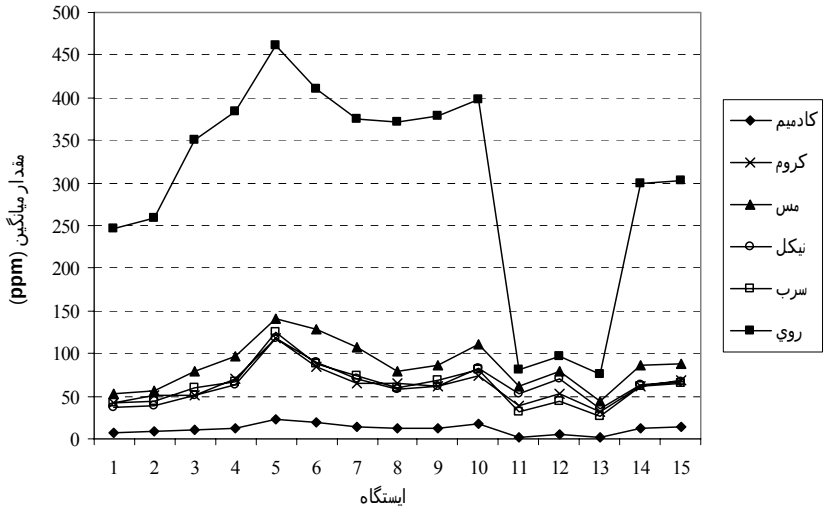
ايستگاه‌ها و دوره‌هاي ارزيابي شده در مورد تمام پارامترها اختلاف معني‌داري در سطح ۱درصد ($P>0/01$) نشان دادند. آناليز واريانس براي شش پارامتر به طور جداگانه انجام شد. جدول (۱) نتايج آناليز واريانس براي داده‌هاي رسوب براي ايستگاه‌ها و دوره‌ها را نشان مي‌دهد. روند تغييرات براي هر پارامتر مربوط به اختلاف مقدار پارامترها در هر ايستگاه و اختلاف مقدار پارامترها در هر دوره است كه بيانگر كاهش غلظت فلزات در رسوبات تالاب در اثر كاهش آنها در آب در ايستگاه‌هاي مختلف تحت عملكرد تصفيه‌اي تالاب و تفاوت در منابع آلاينده هر منطقه است. بر اساس آناليز واريانس داده‌هاي رسوب مي توان گفت كه همه پارامترها در ايستگاه‌ها و دوره‌هاي ارزيابي شده داراي اختلاف معني‌دار در سطح ۱درصد آماري هستند.

الف: مقايسه ميانگين ايستگاه‌ها

با توجه به اين كه مقادير پارامترهاي اندازه‌گيري شده در ايستگاه‌هاي مختلف اختلاف آماري نشان دادند، براي بررسي اين اختلاف با آزمون دانكن در سطح احتمال ۵درصد مقايسه ميانگين ايستگاه‌ها انجام شد. شكل (۲) مقايسه ميانگين ايستگاه‌ها براي داده‌هاي رسوب را نشان مي‌دهد. ايستگاه‌هاي ۵، ۶ و ۱۰ به ترتيب در عين داشتن اختلاف معني‌دار با يكديگر بالاترين مقدار تمام پارامترها را به خود اختصاص دادند. در مجموع ايستگاه‌هاي ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱، ۲ و ۳ براي همه فلزات مقادير كمتري نشان دادند. مقايسه ميانگين ايستگاه‌ها در مورد مقدار كادميم موجود در رسوبات نشان داد كه ايستگاه‌هاي ۱۱و ۱۳ بدون اختلاف معني‌دار با يكديگر پايين‌ترين مقدار و پس از آن ايستگاه ۱۲ در جايگاه دوم قرار گرفت و ايستگاه‌هاي ۷، ۱۵، ۸ و ۹ به ترتيب بعد از ايستگاه‌هاي ۵، ۶ و ۱۰ بيشترين مقدار كادميم را داشتند. ايستگاه ۱۳ پايين‌ترين مقدار كروم را نشان داد و بعد از آن ايستگاه‌هاي ۱۱ و ۱ بدون اختلاف معني‌دار آماري قرار گرفتند. ايستگاه‌هاي ۲، ۳ و ۱۲ نيز در رتبه بعدي قرار گرفتند. براي مس ايستگاه ۱۳ پايين‌ترين مقدار و ايستگاه‌هاي ۱ و ۲ بدون اختلاف

[1]- Analysis of Variance (ANOVA)
[2]- Correlation Coefficient
[3]- Cluster Analysis

معني‌دار در رتبه بعدي قرار گرفتند. ايستگاه‌هاي ۱۲، ۳ و ۸ بدون اختلاف معني‌دار در رتبه بعدي قرار گرفتند. مقايسه ميانگين ايستگاه‌ها براي نيكل نشان داد كه ايستگاه ۱ كمترين مقدار و پس از آن ايستگاه‌هاي ۱۳ و ۲ بدون اختلاف معني‌دار آماري قرار گرفتند. ايستگاه‌هاي ۳ و ۱۱ بدون اختلاف معني‌دار در رتبه بعدي واقع شدند. براي سرب ايستگاه‌هاي ۱۳ و ۱۱ به ترتيب كمترين و سپس ايستگاه‌هاي ۱۲، ۱ و ۲ بدون اختلاف معني‌دار قرار گرفتند. در مورد روي نيز ايستگاه‌هاي ۱۱ و ۱۳ و پس از آن ايستگاه ۱۲ كمترين مقدار را داشت. ايستگاه‌هاي ۱ و ۲ و ايستگاه‌هاي ۱۴ و ۱۵ بدون اختلاف معني‌دار در رده‌هاي بعدي قرار گرفتند.



شكل ۲- مقايسه ميانگين ايستگاه‌ها براي داده‌هاي رسوب

براي تمام فلزات مشاهده مي‌شود كه ايستگاه‌هاي داخل تالاب (۱۱، ۱۲ و ۱۳) همراه با ايستگاه‌هاي ۱ و ۲ (خروجي‌هاي بخش غربي و سياه‌كشيم) تقريباً داراي كمترين مقدار فلزات در بين ايستگاه‌ها هستند. ايستگاه‌هاي ۵، ۶ و ۱۰ نيز به دليل استقرار در نقاطي كه پذيرنده فاضلاب‌هاي صنعتي و رواناب‌هاي شهري هستند، داراي بيشترين مقدار فلزات در رسوب مي‌باشند. با توجه به نتايج فوق براي رسوب تأييد مي‌شود كه با فاصله گرفتن از حاشيه تالاب مقادير آلاينده‌ها (در اين جا فلزات سنگين) كاسته مي‌شوند كه بيانگر قدرت تالاب در حذف و يا كاهش آلاينده‌هايي مانند فلزات سنگين است.

ب: مقايسه ميانگين دوره‌ها

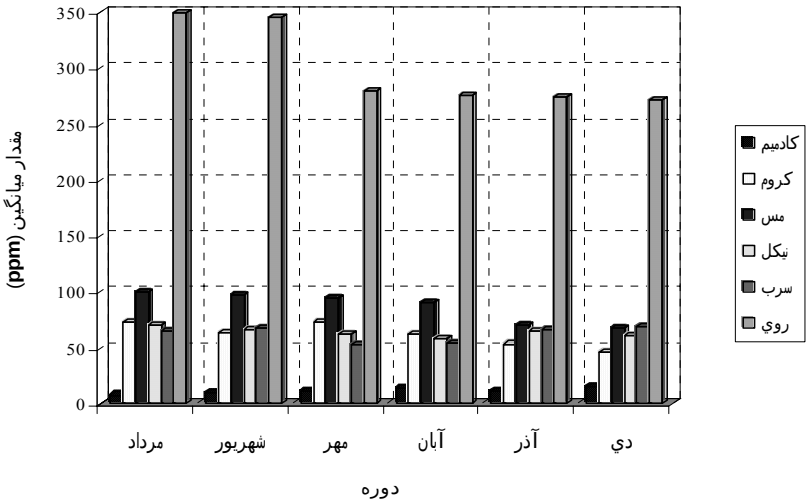
با توجه به اين كه مقادير پارامترهاي اندازه‌گيري شده در دوره‌هاي مختلف اختلاف آماري نشان دادند، براي بررسي اين اختلاف با آزمون دانكن در سطح احتمال ۵ درصد مقايسه ميانگين دوره‌ها انجام شد. تغيير پارامترها طي ماه‌هاي مختلف بسيار نامشابه بود. كادميم در ماه‌هاي آبان و دي بيشترين مقدار و در مردادماه كمترين مقدار را داشت. اين نتايج نشان مي‌دهند كه احتمالاً به علت ورود سيلاب‌ها در پاييز و زمستان و حمل رسوبات حاوي اين فلز از حوزه آبريز تالاب مقدار فلز كادميم در رسوبات تالاب نيز طي اين دو فصل افزايش يافته است. از طرفي به‌دليل اينكه واكنش‌هاي تبادل يوني و ترسيب شيميايي تحت تأثير pH و دما هستند، مي‌توان گفت اين واكنش‌ها براي كادميم در ماه‌هاي سرد و pH بالاتر از ۷ بهتر انجام مي‌شود.

مس و نيكل بيشترين مقدار را به ترتيب در ماه‌هاي مرداد و شهريور داشته در حالي كه مس در ماه‌هاي آذر و دي بدون اختلاف معني‌دار و نيكل در آبان كمترين مقدار

را داشتند. در توجيه اين كه مقادير اين فلزات در رسوب در ماه‌هاي آخر كمتر از مقدار آن‌ها در ماه‌هاي اول نمونه‌برداري است، مي‌توان گفت كه احتمالاً با ورود سيلاب‌ها در ماه‌هاي آخر نمونه‌برداري رسوباتي با غلظت كم نيكل و مس وارد تالاب شده كه نهايتاً در بستر تالاب رسوب كرده و در ماه‌هاي آخر از آنها نمونه‌برداري شده است (با توجه به نمونه‌گيري سطحي رسوب). شكل (۳) مقايسه ميانگين دوره‌ها براي داده‌هاي رسوب را نشان مي‌دهد.

مقايسه ميانگين دوره‌ها براي مقدار روي، ماه‌ها را در عين روند نزولي به دو دسته كلي تقسيم كرد به‌طوري‌كه ماه‌هاي مرداد و شهريور بدون اختلاف معني‌دار با يكديگر داراي بيشترين مقدار و ماه‌هاي مهر، آبان، آذر و دي را بدون اختلاف معني‌داري داراي كمترين مقدار در رسوبات نشان داد. توجيهات ذكر شده براي مس و نيكل در مورد روي نيز مي‌تواند صادق باشد. كروم نيز در ماه‌هاي مرداد و مهر بيشترين مقدار و در دي ماه كمترين مقدار را داشت. دلايل ذكر شده براي مس و نيكل در مورد كروم نيز صادق است.

سرب نيز طي ماه‌هاي مختلف بالاترين مقدار را در دي ماه داشت. سپس ماه‌هاي شهريور و آبان بدون اختلاف معني‌دار با يكديگر در رتبه دوم قرار گرفتند و كمترين مقدار در ماه‌هاي مهر و آذر بدون اختلاف معني‌دار مشاهده شد كه تقريباً روندي مشابهي با كادميم دارد.



شكل ۳- مقايسه ميانگين دوره‌ها براي داده‌هاي رسوب

۲- رابطه بين غلظت فلزات سنگين در رسوبات تالاب انزلي بر اساس ضرايب همبستگي

به منظور ارزيابي ارتباط بين پارامترهاي اندازه‌گيري شده در رسوب طي ايستگاه‌ها و دوره‌هاي مختلف همبستگي پيرسون بين پارامترها بر اساس داده‌هاي حاصل از ميانگين شش دوره در ايستگاه‌هاي ۱۵ گانه براي تك تك پارامترها محاسبه شد. همان‌طوركه جدول(۲) نشان مي‌دهد، فلزات سنگين در رسوبات همبستگي زيادي با يكديگر دارند. سرب بيشترين همبستگي را با بقيه فلزات دارد. در بين فلزات نيكل و روي كمترين همبستگي را با يكديگر دارند.

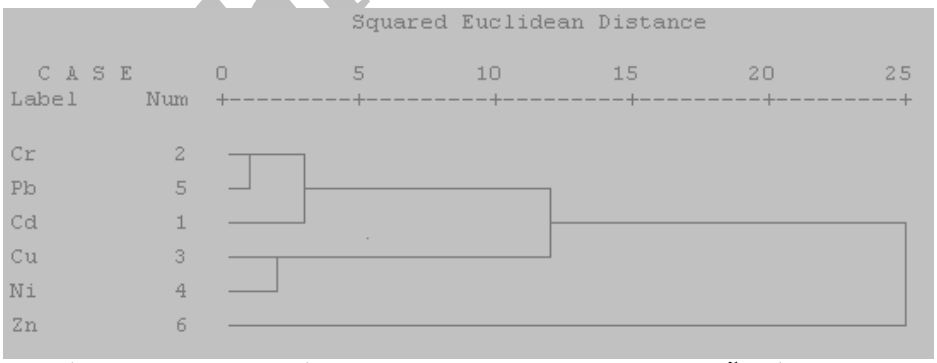
جدول۲- جدول ضرايب هم‌بستگي پارامترهاي كيفي رسوب

پارامتر	كادميم	كروم	مس	نيكل	سرب	روي
كادميم	۱					
كروم	۰/۹۴	۱				
مس	۰/۹۲	۰/۹۴	۱			
نيكل	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۹۵	۱		
سرب	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۱	۱	
روي	۰/۹۲	۰/۸	۰/۷۷	۰/۶	۰/۸۵	۱

۳- آناليز خوشه‌اي پارامترها و ايستگاه‌ها

الف: آناليز خوشه‌اي پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين) بر مبناي ايستگاه‌ها و دوره‌ها

آناليز خوشه‌اي پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين) بر اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه مجزا مشاهده شد. فلزات كروم، سرب و كادميم در يك گروه، فلزات مس و نيكل در گروه دوم و فلز روي به تنهايي با اختلاف زياد در گروه سوم قرار گرفتند كه بيانگر تشابه بين سرب، كروم و كادميم از نظر واكنش‌هاي تبادل يوني و ته نشيني و يا در منابع ورودي است. همچنين فلزات مس و نيكل نيز مانند هم عمل مي‌كنند و فلز روي روندي متفاوت دارد. شكل (۴) دندروگرام آناليز خوشه‌اي پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين) است و مطالب ذكر شده فوق را نشان مي‌دهد. نتايج به دست آمده با نتايج حاصل از ضرايب هم‌بستگي در مورد رابطه بين آلاينده‌ها در رسوب تطابق خوبي دارند.

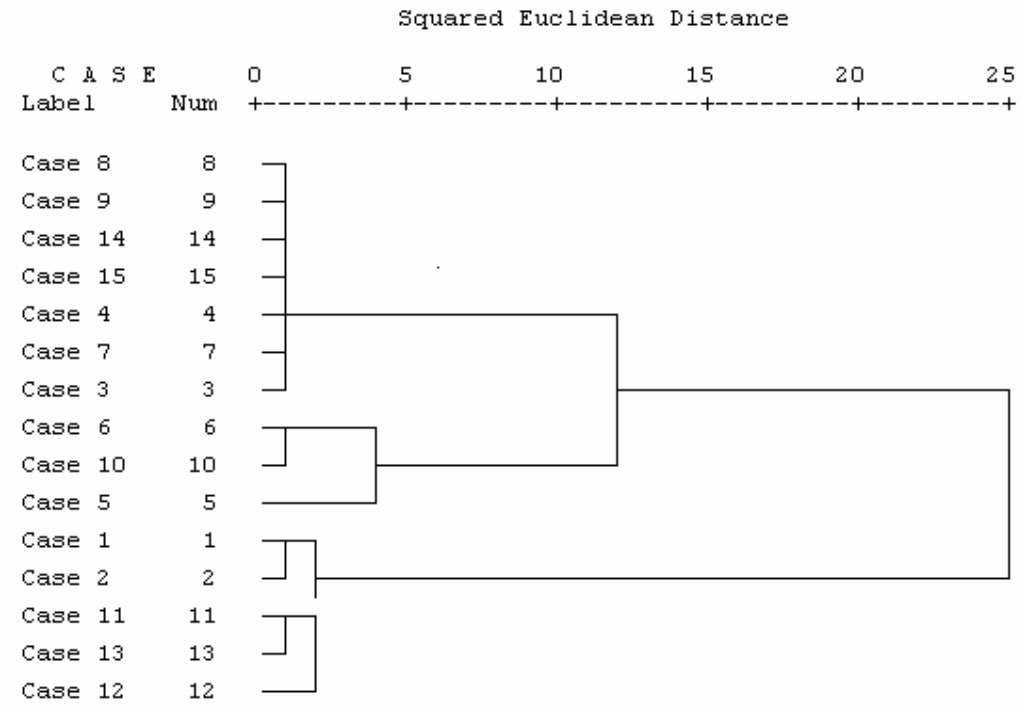


شكل ۴- دندروگرام آناليز خوشه‌اي پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين) بر مبناي داده‌هاي ايستگاه‌ها

ب: آناليز خوشه‌اي ايستگاه‌ها بر مبناي پارامترها و دوره‌ها

شكل (۵) دندروگرام آناليز خوشه‌اي ايستگاه‌ها (بر مبناي پارامترهاي كيفي رسوب) را نشان مي‌دهد. آناليز خوشه‌اي ايستگاه‌ها بر اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه اصلي مشاهده شد. گروه اول شامل ايستگاه‌هاي ۳، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۴ و ۱۵ بود. ايستگاه‌هاي ۵، ۶ و ۱۰ در گروه دوم و ايستگاه‌هاي ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ با اختلاف بسيار زياد از بقيه در گروه سوم قرار گرفتند. در ايستگاه ۱۴ و ۱۵ به علت عمق زياد آب معمولاً فلزات فرصت ته نشيني پيدا نمي‌كنند و روانة دريا مي‌شوند. به‌همين دليل غلظت فلزات

در رسوبات اين دو ايستگاه در عين بالا بودن غلظت اين فلزات در آب در حد متوسط بقيه ايستگاه‌ها قرار دارند. در ايستگاه‌هاي ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ غلظت فلزات در رسوب پايين است كه به دليل پايين بودن غلظت فلزات در آب اين ايستگاه‌ها است. لازم به ذكر است كه نتايج آناليز خوشه‌اي براي رسوب نتايج به دست آمده از ضريب همبستگي را تأييد مي‌كنند.



شكل ۵- دندروگرام آناليز خوشه‌اي ايستگاه‌ها بر مبناي پارامترهاي كيفي رسوب

بحث و نتيجه‌گيري

نتايج حاصل از آناليز واريانس داده‌ها براي بررسي روند تغيير غلظت فلزات سنگين در ايستگاه‌ها و دوره‌هاي مختلف در رسوبات

۱- ايستگاه‌ها و دوره‌هاي مورد ارزيابي در مورد تمام فلزات سنگين موجود در رسوبات اختلاف معني‌داري در سطح ۱درصد نشان دادند.

۲- در بين فلزات، روي بيشترين مقدار را در رسوبات داشت. غلظت فلزات در رسوبات در ايستگاه‌هاي ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نسبت به ايستگاه‌هاي ديگر كمتر است و رسوبات ايستگاه ۵ نيز بيشترين مقدار فلزات را در بين ايستگاه‌ها داشت.

نتايج حاصل از ضريب همبستگي بين پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين)

فلزات سنگين در رسوبات همبستگي زيادي با يكديگر دارند. سرب بيشترين همبستگي را با بقيه فلزات دارد. در بين فلزات نيكل و روي كمترين همبستگي را با يكديگر دارند. كه اين روابط احتمالا" در اثر وجود تفاوت و تشابه در واكنش‌هاي فيزيكوشيميايي هر فلز و يا در منابع توليد اين فلزات در هر منطقه است.

نتايج حاصل از آناليز خوشه‌اي داده‌هاي رسوب

الف: آناليز خوشه‌اي پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين) بر مبناي ايستگاه‌ها و دوره‌ها

آناليز خوشه‌اي پارامترهاي كيفي رسوب (فلزات سنگين) بر

اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه مجزا مشاهده شد. فلزات كروم، سرب و كادميم در يك گروه، فلزات مس و نيكل در گروه دوم و فلز روي به تنهايي با اختلاف زياد در گروه سوم قرار گرفتند كه بيانگر تشابه بين سرب، كروم و كادميم از نظر واكنش‌هاي تبادل يوني و ته نشيني فلز و يا در منابع ورودي اين فلزات است. همچنين فلزات مس و نيكل مانند هم عمل كرده و فلز روي روندي متفاوت دارد. نتايج حاصل از آناليز خوشه‌اي پارامترها با نتايج حاصل از ضريب همبستگي مطابقت دارد.

ب: آناليز خوشه‌اي ايستگاه‌ها بر مبناي پارامترهاي كيفي رسوب و دوره‌ها

آناليز خوشه‌اي ايستگاه‌ها بر اساس حداقل عدم تشابه در سه گروه اصلي مشاهده شد. گروه اول شامل ايستگاه‌هاي ۳، ۴، ۷، ۸، ۹، ۱۴ و ۱۵ بود. ايستگاه‌هاي ۵، ۶ و ۱۰ در گروه دوم و ايستگاه‌هاي ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ با اختلاف بسيار زياد از بقيه در گروه سوم قرار گرفتند. در ايستگاه ۱۴ و ۱۵ به علت عمق زياد آب معمولاً فلزات فرصت ته نشيني پيدا نمي‌كنند و روانة دريا مي‌شوند. به‌همين دليل غلظت فلزات در رسوبات اين دو ايستگاه در عين بالا بودن غلظت اين فلزات در آب در حد متوسط بقيه ايستگاه‌ها قرار دارند. در ايستگاه‌هاي ۱، ۲، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نيز غلظت فلزات در رسوب پايين است كه به دليل پايين بودن غلظت فلزات در آب اين ايستگاه‌ها است. ايستگاه‌هاي ۱۱، ۱۲ و ۱۳ داخل تالاب و ايستگاه‌هاي ۱ و ۲ در خروجي‌هاي بخش غربي و سياه‌كشيم قرار داشته و داراي كمترين مقدار فلزات در بين ايستگاه‌ها هستند. ايستگاه‌هاي ۵، ۶ و ۱۰ نيز به دليل استقرار در نقاطي كه پذيرنده فاضلاب‌هاي صنعتي و رواناب‌هاي شهري هستند، داراي بيشترين مقدار فلزات در رسوب مي‌باشند.

به‌عنوان نتيجه كلي مي‌توان گفت كه با دور شدن از مصب رودخانه‌هاي ورودي مقدار فلزات سنگين در رسوبات تالاب كاهش مي‌يابد كه در اثر عملكرد و نقش خودپالايي تالاب و ترسيب اين فلزات ناشي از واكنش‌هاي فيزيكوشيميايي در ابتداي ورود به تالاب است. همچنين در ايستگاه‌هايي كه غلظت فلزات موجود در آب بالاست در رسوبات آن ايستگاه نيز شاهد غلظت‌هاي بالا هستيم و برعكس كه همبستگي بين مقادير پارامترها در آب و رسوب را بيان مي‌كند.

تقدير و تشكر

نويسندگان اين مقاله از سازمان مديريت منابع آب ايران به خاطر حمايت مالي و مركز تحقيقات شيلات استان گيلان كه امكانات انجام اين پروژه تحقيقاتي را فراهم آوردند تشكر و قدرداني مي‌كنند.

منابع

۱- اميني رنجبر، غلامرضا، ۱۳۷۱. بررسي مقدار تجمع فلزات سنگين (Pb, Ni, Cu, Zn, Cd) در رسوبات سطحي تالاب انزلي، مجله علمي شيلات، سال سوم، (۳): ص ص ۲۶-۵.

۲- اميني رنجبر، غلامرضا و طيبه كنشلو، ۱۳۷۷. ارزيابي كمي آلاينده‌هاي معدني در چهار گونه از گياهان آبزي در تالاب انزلي، مجله پژوهش و سازندگي، (۳۸): ص ص۲۹-۲۳.

۳- ثابت‌رفتار، كريم، ۱۳۷۴. طرح حفاظت و بازسازي تالاب انزلي فاز اول و دوم، سازمان حفاظت محيط زيست و دانشگاه گيلان، گزارش.

۴- حق‌پناه، وحيد، ارزش‌هاي عمومي تالاب انزلي، ماهنامه آبزيان ، ص ص۲۱-۱۶.

۵- دولتي، علي و علي همداني، تجزيه و تحليل‌هاي آماري با نرم افزار SAS ، دانشگاه صنعتي اصفهان.

۶- فتح‌اللهي دهكردي، فرزاد، ۱۳۸۲. بررسي عملكرد سيستم تالاب طبيعي انزلي (Anzali Natural Wetland) در كاهش و حذف آلاينده‌هاي شهري، صنعتي و كشاورزي، دانشكده مهندسي عمران، دانشگاه صنعتي اصفهان، پايان‌نامه كارشناسي ارشد

مهندسي محيط زيست.
۷- منشوري، محمد، منوچهر وثوقي، كرامت ا... ايماندل، مهدي برقعي و احمد بادكوبي، ۱۳۷۸. حذف فلزات سنگين توسط نيزارهاي مصنوعي، مجله آب و فاضلاب، (۳۱): ص ص۴۳-۲۸.
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. Sartaj[1] F. Fatollahi[2] Y. Filizadeh[3]

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 HNO_3 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*