اندازه گیری و مدل سازی فلزات سنگین(Ni, Pb, Cd, Co, Hg) در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه (خلیج نایبند)

ابراهیم قاضی[1]* و مرتضی کاشفی الاصل[2]

۱- گروه آلودگی و حفاظت محیط زیست دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲- گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۵

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی میزان تجمع فلزات سنگین و محاسبه میزان آلودگی رسوبات بستر در اثر فعالیت-های عظیم صنعتی در منطقه عسلویه انجام شده است. آب‌های منطقه عسلویه در خلیج فارس به دلیل موقعیت استثنائی خود که محل احداث تعداد زیادی پالایشگاه گاز و کارخانه‌های پتروشیمی است، به طور مستقیم و غیر مستقیم در معرض ورود آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی قرار دارد. با توجه به موقعیت منطقه، این مطالعه در شهریور ماه سال ۱۳۹۲ در ۱۰ ایستگاه برای بررسی آلودگی ناشی از فلزات سنگین کبالت، کادمیوم، سرب ، نیکل و جیوه انجام شد. با استفاده از نمونه بردار گراپ مدل اکمن رسوبات برداشته شده و پس از هضم به وسیله دستگاه جذب اتمی کوره ای غلظت فلزها ارزیابی شد. در ادامه داده‌های بدست آمده با استفاده از منطق فازی مدل سازی شدند. مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری آزمایشگاهی، مبین کارایی مناسب منطق فازی برای پیش بینی مقادیر غلظت فلزات سنگین می‌باشد.

واژگان کلیدی: مدلسازی، فلزات سنگین، منطق فازی، عسلویه، خلیج فارس

***نگارنده پاسخگو: ghazi_1361@yahoo.com**

مقدمه

آب از فراوان‌ترین ترکیباتی است که در طبیعت یافت می شود و تقریباً بیش از ۸۵ درصد سطح زمین را در بر می-گیرد و سرآغاز زندگی موجودات زنده می‌باشد. آلودگی آب حاصل از افزودن هر جسم خارجی به آن است، به طوریکه کیفیت فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی آن طوری تغییر نماید که برای مصرف انسان و سایر موجودات و کشاورزی مضر باشد و انسان نتواند حتی با تصفیه عادی آن، آب مورد نیاز مصارف زندگی خود را تامین کند (اسماعیلی و بیداری، ۱۳۷۱).

فلزات سنگین به عناصری اطلاق می‌شود که دانسیته آنها بیشتر از ۶ گرم بر سانتی متر مکعب باشد، نظیر کادمیوم و کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، کبالت، وانادیم و روی. اهمیت این گروه از عناصر مربوط به اثرات سمی آنها در غلظت‌های کم بر روی گیاهان و جانوران و همینطور تجمع آنها در مواد غذایی می‌باشد (شریعت پناهی، ۱۳۷۲).

یکی از اساسی‌ترین مسائل در ارتباط با فلزات سنگین تجمع آنها در بدن می‌باشد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن، دیگر از بدن دفع نشده بلکه در بافت‌هائی مثل چربی، عضلات، استخوان‌ها و مفاصل رسوب کرده و انباشته می‌گردند که همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود.(ناصری و همکاران، ۱۳۸۱).

حضور فلزات سنگین بیش از استانداردهای تعریف شده در محیط باعث بروز مشکلات و عوارض زیست محیطی برای ساکنان آن محل و اکوسیستم می‌گردد. تأثیرات فلزات سنگین روی انسان مختلف بوده و عمده‌ترین آن مربوط به بروز اختلالات عصبی است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۷۱).

مطالعات انجام شده در سواحل غربی و جنوب غربی خلیج‌فارس برای اندازه‌گیری فلزات سنگین در رسوب های آب‌های ساحلی کویت، عربستان سعودی، بحرین، قطر و شمال شرقی قطر نشان‌دهنده اینست که میزان فلزات سنگین از شمال شرقی قطر به سمت سواحل کویت افزایش می‌یابد که از عوامل اصلی آن آلودگی نفتی حاصل از جنگ متحدین آمریکا با عراق می‌باشد و بیشتر این فلزات شاخص آلودگی نفتی می‌باشند(ملاح، ۱۳۷۷). یزدان پناه و همکاران(۱۳۸۸) و جعفرآبادی آشتیانی (۱۳۸۵) آلودگی منطقه عسلویه در خلیج فارس به فلزات سنگین مختلف را در نتیجه فعالیت های صنعتی منطقه نشان دادند.

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اولین بار لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی نمود (Zadeh, 1965) و تحقیقات متعددی بر اساس آن انجام شده است(Özturk, 2014 ; Zadeh, 1983) ;Rahmanian *et al.*, 2011a, 2011b, 2011c بنیاد منطق فازی بر شالوده نظریه مجموعه‌های فازی استوار است. این نظریه تعمیمی از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها در علم ریاضیات است. در تئوری کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموعه است یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک تبعیت می‌کند. اما تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را بسط می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی - و نه کاملاً - عضو یک مجموعه باشد. در این تئوری، عضویت اعضای مجموعه از طریق تابع $u(x)$ مشخص می‌شود که x نمایانگر یک عضو مشخص و u تابعی فازی است که درجه عضویت x در مجموعه مربوطه را تعیین می‌کند و مقدار آن بین صفر و یک است (Hiirsalmi *et al.*, 2000).

منطق فازی را از طریق قوانینی که «عملگرهای فازی» نامیده می‌شوند، می‌توان به‌کار گرفت. این قوانین معمولاً بر اساس مدل If Variable is set Then Action تعریف می شود.

منطق فازی، همچون منطق کلاسیک تعدادی عملگر پایه دارد. مثلاً در منطق کلاسیک از عملگرهای «و»، «یا» و «نیست» استفاده می‌شود. در منطق فازی معادل همین عملگرها وجود دارد که به آن‌ها عملگرهای زاده گفته می شود.

لذا در تحقیق حاضر در ابتدا با استفاده از دستگاه جذب اتمی، غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر دریا متعلق به خلیج نایبند واقع در شهرستان عسلویه ارزیابی

شد. سپس مقدار این فلزات برحسب شرایط موجود با استفاده از روش منطق فازی مدلسازی گردید و مقایسه ای بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدلسازی در قالب داده‌های آماری و رسم اشکال انجام گرفته است.

مواد و روش ها

نمونه برداری از رسوبات در منطقه عملیاتی عسلویه (در عرض جغرافیایی۲۷ درجه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه شرقی) در خلیج فارس بعد از تعیین ۱۰ ایستگاه نمونه برداری در اعماق ۱ تا ۲۶ متر در شهریور ۱۳۹۲ به کمک دستگاه نمونه برداری گراپ مدل اکمن (EKMAN) با ابعاد (۱۵*۱۵) انجام گرفت. نمونه‌ها به صورت منجمد برای آماده‌سازی و اندازه‌گیری فلزات سنگین، به آزمایشگاه منتقل شدند.

نمونه های رسوب پس از یخ زدایی در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند تا کاملا خشک شوند. در مرحله بعد رسوب ها الک شد و ذرات کمتر از ۶۳ میکرومتری جدا شده و در هاون عقیق به صورت پودر در آورده شد(ربانی و همکاران، ۱۳۸۷).

روش هضم کامل

۰/۵ گرم از نمونه های الک شده داخل بشر تفلونی ریخته و ۲ تا ۳ قطره محلول HCl ۰/۱ مولار به آن اضافه شد. بعد از چند لحظه ۷ میلی لیتر هیدروفلوئوریک اسید به ترکیب اضافه گردید و تا نزدیکی خشک شدن بر روی حمام بخار حرارت داده شد. در ادامه ۷ میلی لیتر مخلوط اسیدی ($3HCl+HNO_3$) اضافه شد و تا زمانی که فقط یک میلی لیتر از محلول در بشر باقی بماند، بر روی حمام شن حرارت داده شد. پس از تغییر رنگ محلول از زرد به سبز، به عنوان آخرین مرحله هضم کامل ۵ میلی لیتر پرکلریک اسید ($HClO_4$) به نمونه اضافه شد و تا زمان خشک شدن، حرارت دادن ادامه یافت و سپس با HCl یک نرمال به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد. نمونه ها به دستگاه جذب اتمی مدل (AA240FS) تزریق و غلظت فلزهای سنگین اندازه گیری شد.

پیش از شروع مراحل مدلسازی، به منظور محدود کردن اثرات نامطلوب نظم نامناسب در پارامترهای ورودی و خروجی، همه داده‌ها با استفاده از رابطه زیر بین صفر و یک نرمال شدند.

$$y_n = \frac{y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$ رابطه (۱)

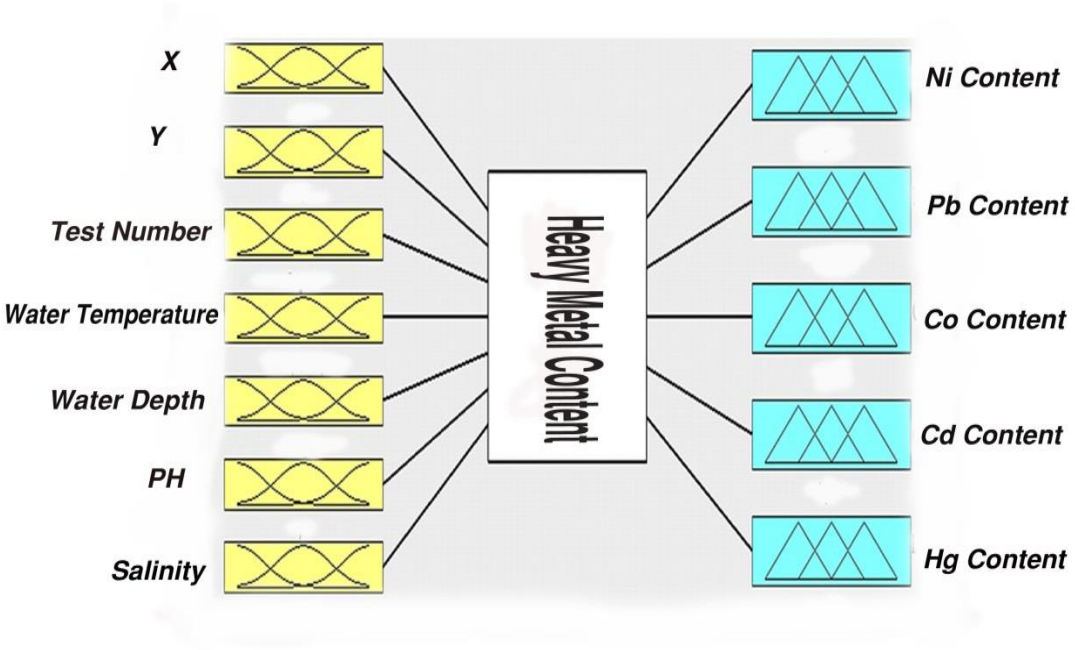
در رابطه شماره (۱) y_n ،y ،y_{min} و y_{max} به ترتیب نشان دهنده داده نرمال شده، داده آزمایشگاهی، کمترین مقدار داده آزمایشگاهی و بیشترین مقدار داده آزمایشگاهی است.

حال با توجه به داده‌های بدست آمده از نمونه برداری منطقه‌ای، با استفاده از منطق فازی تاثیر پارامترهای مختلف شامل طول و عرض جغرافیایی، شماره تست، دمای آب، عمق آب، pH و شوری آب در نواحی مختلف از منطقه مورد ارزیابی یعنی خلیج نایبند را بر محتوای فلز سنگین موجود بررسی خواهد شد. در ادامه با استفاده از منطق فازی مدل سازی انجام و نتایج آنها ارائه خواهد شد.

مدلسازی با استفاده از منطق فازی

در منطق فازی برای مدل کردن از واسطهای محلی استفاده شده است و این بدان معنی است که هر قانون به صورت جداگانه تفسیر شده و در پایان نتیجه به صورت جمع و به صورت یک خروجی واحد ارائه می‌گردد. همانطور که در شکل (۱) مشاهده می‌گردد متغیرهایی مانند دما، pH، شماره تست، طول جغرافیایی ، عرض جغرافیایی، عمق و شوری همگی در ابتدا بصورت جدا گانه مورد بررسی قرار گرفته‌اند و سپس اثر آنها در خروجی به صورت جمع جواب‌ها ارائه شده است. در مجموعه شکل (۱) مدل فازی به کار برده شده برای پیش بینی محتوای فلزات سنگین به همراه ورودی‌ها (طول و عرض جغرافیایی، شماره تست، دمای آب، عمق آب، pH و شوری آب) و پارامتر خروجی نشان داده شده است. بازه همگی پارامترهای مدل حاضر $[0,1]$ است. مدل فازی حاضر دارای ۵ متغیر خروجی (محتوای ۵ فلز سنگین) است. بازه این ۵ پارامتر $[0,1]$ بوده و هر متغیر دارای

۱۱ تابع همبستگی است که شایان ذکر است کـه همگـی از نوع گاوسین است.



شکل ۱- شماتیک گرافیکی مدل فازی پیشنهادی برای پیش بینی محتوای فلز سنگین

در فرآیند مدلسازی فازی حاضر محاسبات max-min به دلیل دقت بالاتر مورد استفاده بوده و همچنین در مرحلـه deffuzification، روش‌هـــــای maximum matching and centroid معمول تر هستند. در ایـن تحقیق نتایج منطق فازی بـرای خروجـی‌هـا بـا یکپارچـه سازی ست‌های ورودی بدست می‌آیند. در اینجا یکپارچـه سازی با روش sum-product انجام شده است.

داده‌هـای آمـاری شـامل R^2، SSE، MSE، RMSE و انحراف معیار که با کمک روابط زیر محاسبه شـده اسـت. تعداد نرون‌های بدست آمده برای این مدل برابر با ۱۹ بود که به روش حدس و خطا و بـا معیارهـای آمـاری بدسـت آمده است.

رابطه (۲)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{\exp,i} - Y_{Model-Mean})^2 - \sum_{i=1}^{n}(Y_{Model,i} - Y_{\exp,i})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Y_{\exp,i} - Y_{Model-Mean})^2}$$

رابطه (۳)

$$SSE = \sum_{i=1}^{n}(Y_{Model,i} - Y_{\exp,i})^2$$

رابطه(۴)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{Model,i} - Y_{\exp,i})^2}{n}$$

رابطه (۵)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_{Model,i} - Y_{\exp,i})^2}{n}}$$

رابطه (۶)

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{N}\left(\left|\frac{Y_{Exp,i} - Y_{Model,i}}{Y_{Exp,i}}\right| - AARE\right)^2}$$

رابطه (۷)

$$AARE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}\left(\left|\frac{Y_{Exp,i} - Y_{Model,i}}{Y_{Exp,i}}\right|\right)$$

نتایج

نتایج حاصل از نمونه بـرداری در منـاطق مختلـف خلـیج نایبند که مقدار فلزات سنگین شامل نیکل، سرب، کبالت، کادمیوم و جیوه را به صورت تابعی از متغیرهـای طـول و عرض جغرافیایی، شماره تست، دمای آب، عمـق آب، pH و شوری آب در جدول هـای شـماره (۱ و۲) ارایـه شـده است

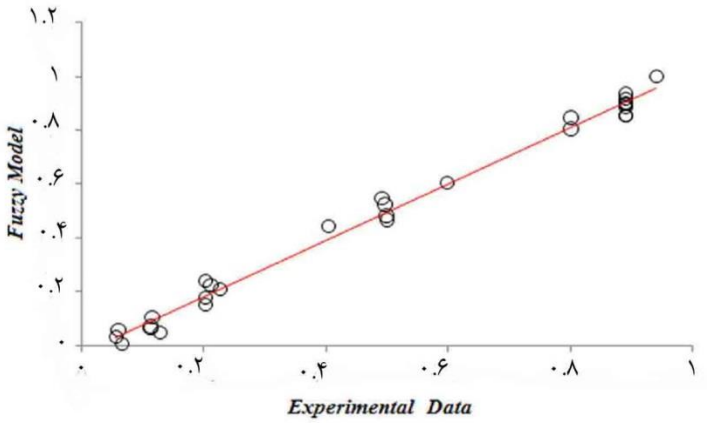
جدول ۱- پارامترهای اندازه گیری شده در خلیج نایبند در منطقه عسلویه در سال ۱۳۹۲

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شماره تست	دمای آب (C)	عمق (m)	pH	شوری ppt
(خروجی تصفیه خانه مبین A)	۶۵۰۱۶۲	۳۰۵۰۱۴۳	۱	۳۳/۱	۲۷	۹	۴۰
	۶۵۰۰۳۴	۳۰۵۰۱۱۹	۲	۳۳/۲	۲۷	۹	۴۰
	۶۵۰۱۲۱	۳۰۴۹۹۶۱	۳	۳۲/۹	۲۷	۹	۳۹
(پایانه پتروشیمی ها B)	۶۵۲۰۷۵	۳۰۴۶۶۰۴	۱	۳۲/۵	۳۱	۹/۱	۳۹
	۶۵۲۲۰۰	۳۰۴۶۲۸۰	۲	۳۲/۶	۳۱	۹/۱	۴۰
	۶۵۲۴۸۸	۳۰۴۶۱۹۷	۳	۳۲/۸	۳۱	۹	۳۹
(اسکله بندری پارسC)	۶۵۳۵۴۲	۳۰۴۳۷۲۸	۱	۳۲/۴	۱۸	۹/۱	۴۰
	۶۵۳۷۹۱	۳۰۴۳۷۸۷	۲	۳۲/۵	۱۸	۹/۱	۴۰
	۶۵۳۸۹۰	۳۰۴۴۵۸۷	۳	۳۲/۵	۱۸	۹/۱	۴۰
(خروجی فاز ۲و D۳)	۶۵۴۸۱۷	۳۰۴۴۸۸۰	۱	۳۴	۴	۹	۴۰
	۶۵۴۹۲۹	۳۰۴۴۶۰۴	۲	۳۳/۶	۴	۹	۴۰
	۶۵۵۱۱۵	۳۰۴۴۳۳۳	۳	۳۴/۲	۴	۸/۹	۴۰
(اسکله عسلویهE)	۶۵۸۰۹۵	۳۰۳۹۵۲۳	۱	۳۲/۹	۵	۹	۴۰
	۶۵۸۴۰۰	۳۰۳۹۴۵۲	۲	۳۳	۵	۹	۴۰
	۶۵۸۴۷۴	۳۰۳۹۲۸۷	۳	۳۳	۵	۹	۳۹
(خروجی فاز ۹و F۱۰)	۶۵۹۲۰۷	۳۰۳۸۸۰۲	۱	۳۳/۶	۴	۹	۳۹
	۶۵۹۳۱۴	۳۰۳۸۷۰۸	۲	۳۳/۴	۴	۹	۳۹
	۶۵۹۲۱۴	۳۰۳۸۵۹۹	۳	۳۳	۴	۹	۳۹
(اسکله یادگار امامG)	۶۶۱۵۸۲	۳۰۳۷۶۲۰	۱	۳۳	۵	۹	۴۰
	۶۶۱۷۹۳	۳۰۳۷۴۸۷	۲	۳۲/۹	۵	۹	۴۰
	۶۶۲۰۶۸	۳۰۳۷۴۷۵	۳	۳۳	۵	۹	۴۰
(خوربیدخونH)	۶۶۵۴۵۵	۳۰۳۷۴۴۴	۱	۳۳/۶	۱	۹/۱	۴۰
	۶۶۵۴۰۵	۳۰۳۷۲۴۳	۲	۳۳/۵	۱	۹/۱	۴۰
	۶۶۵۴۸۱	۳۰۳۷۱۴۰	۳	۳۳/۶	۱	۹/۱	۴۰
(خلیج نایبندI)	۶۶۴۲۳۲	۳۰۳۴۸۵۷	۱	۳۳/۶	۶	۹	۴۰
	۶۶۴۲۳۳	۳۰۳۴۸۷۸	۲	۳۳/۷	۶	۹	۴۰
	۶۶۴۲۳۱	۳۰۳۴۷۴۵	۳	۳۳/۷	۶	۹/۱	۴۰
(اسکله هالهJ)	۶۶۳۳۴۴	۳۰۳۳۱۱۶	۱	۳۳	۵	۹/۱	۴۰
	۶۶۳۴۳۰	۳۰۳۲۸۶۱	۲	۳۳	۵	۹/۱	۴۰
	۶۶۲۹۱۲	۳۰۳۲۶۵۸	۳	۳۳/۵	۵	۹/۱	۴۰

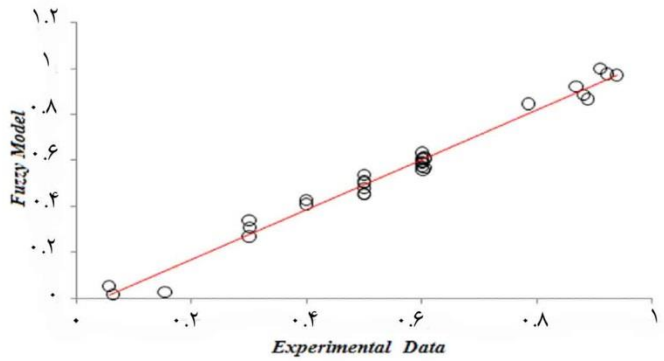
جدول ۲- میزان فلزات سنگین بر حسب میلی گرم در کیلوگرم خلیج نایبند در منطقه عسلویه در سال ۱۳۹۲

ایستگاه	نیکل (Ni)	سرب (Pb)	کبالت (Co)	کادمیوم (Cd)	جیوه (Hg)
(خروجی تصفیه خانه مبینA)	۳۸/۷	۴۳/۲	۱۳/۷	۶/۹	۰/۰۳۶
	۳۷/۹	۴۹/۹	۱۲/۹	۷/۲	۰/۰۳۴
	۳۷/۴	۴۲/۴	۱۴/۱	۶/۸	۰/۰۳۵
(پایانه پتروشیمی هاB)	۳۷/۴	۴۱/۳	۱۴/۲	۶/۶	۰/۰۳۵
	۳۷/۵	۴۱/۸	۱۳/۵	۵/۸	۰/۰۳۵
	۳۶/۹	۴۲/۲	۱۳/۲	۶/۳	۰/۰۳۴
(اسکله بندری پارسC)	۳۷/۴	۴۰/۸	۱۵/۸	۶/۶	۰/۰۳۴
	۳۶/۹	۴۰/۳	۱۶/۳	۵/۹	۰/۰۳۳
	۳۷/۳	۴۱/۲	۱۴/۹	۶/۳	۰/۰۳۴
(خروجی فاز ۲و D۳)	۳۷/۷	۴۰/۳	۱۶/۵	۷/۳	۰/۰۳۵
	۳۶/۳	۳۹/۸	۱۶/۳	۷/۱	۰/۰۳۳
	۳۶/۸	۳۹/۵	۱۵/۹	۶/۸	۰/۰۳۴
(اسکله عسلویهE)	۲۸/۹	۴۷/۵	۱۱/۵	۴/۸	۰/۰۲۱
	۲۸/۱	۴۸/۲	۱۲/۴	۵/۳	۰/۲۲
	۲۸/۵	۴۹/۹	۱۱/۸	۵/۶	۰/۲۶
(خروجی فاز ۹و F۱۰)	۲۹/۳	۴۳/۶	۱۳/۶	۶/۹	۰/۰۲۷
	۲۷/۶	۴۲/۹	۱۴/۲	۶/۳	۰/۰۲۸
	۲۸/۲	۴۳/۱	۱۳/۵	۵/۹	۰/۰۲۴
(اسکله یادگار امامG)	۳۲/۱	۴۲/۸	۱۵/۲	۶/۵	۰/۰۲۲
	۳۲/۳	۴۳/۱	۱۴/۳	۵/۵	۰/۰۲۵
	۳۱/۸	۴۲/۵	۱۳/۹	۵/۷	۰/۰۲۶
(خوربیدخونH)	۳۳/۸	۴۹/۸	۱۱/۸	۴/۹	۰/۰۲۲
	۳۲/۸	۵۰/۳	۱۲/۳	۶/۳	۰/۰۲۱
	۳۳/۱	۴۸/۹	۱۲/۶	۵/۵	۰/۰۲
(خلیج نایبندI)	۲۷/۱	۳۱/۹	۱۱/۵	۵/۳	۰/۰۲۲
	۲۶/۴	۳۲/۳	۱۱/۹	۴/۸	۰/۰۲۴
	۲۶/۹	۳۲/۵	۱۲/۱	۴/۶	۰/۰۲۳
(اسکله هالهJ)	۲۷/۲	۳۷/۶	۱۱/۸	۴/۳	۰/۰۲۳
	۲۶/۳	۳۸/۲	۱۲/۲	۵/۱	۰/۰۲۱
	۲۶/۷	۳۶/۹	۱۱/۴	۴/۷	۰/۰۲۱

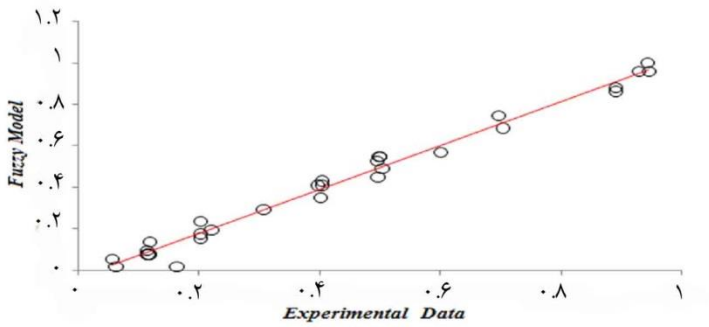
با توجه به داده‌های بدست آمده از نمونه برداری منطقه‌ای، با استفاده از منطق فازی تاثیر پارامترهای مختلف شامل طول و عرض جغرافیایی، شماره تست، دمای آب، عمق آب، pH و شوری آب در نواحی مختلف از منطقه مورد ارزیابی یعنی خلیج نایبند بر محتوای فلزات سنگین موجود بررسی گردید و نتایج حاصل از مدل کردن توسط منطق فازی در مقابل نتایج واقعی در شکل های (۲ الی ۶) ارائه شده است.



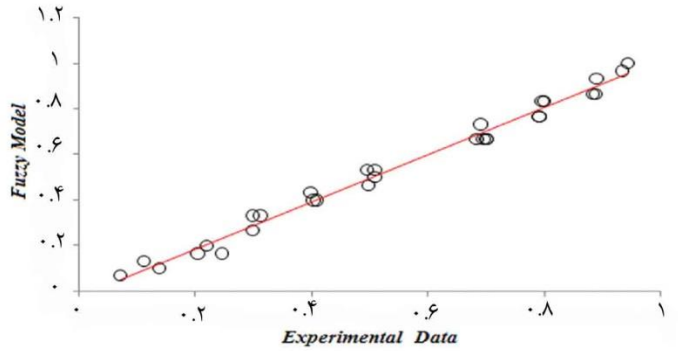
شکل ۲- نتایج حاصل از مدل منطق فازی در مقابل نتایج واقعی برای فلز نیکل



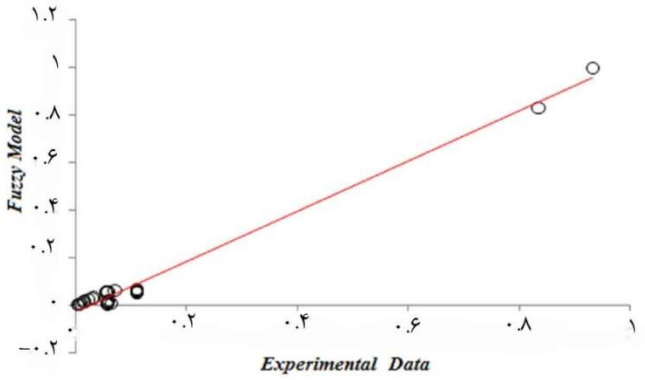
شکل ۳- نتایج حاصل از مدل منطق فازی در مقابل نتایج واقعی برای فلز سرب



شکل ۴- نتایج حاصل از مدل منطق فازی در مقابل نتایج واقعی برای فلز کبالت



شکل ۵- نتایج حاصل از مدل منطق فازی در مقابل نتایج واقعی برای فلز کادمیوم



شکل ۶- نتایج حاصل از مدل منطق فازی در مقابل نتایج واقعی برای فلز جیوه

همانطور که در شکل‌های بالا مشاهده می‌گردد مدل منطق فازی مدلی قدرتمند در پیش بینی نتایج واقعی می‌باشد. اما برای بررسی بهتر داده‌های آماری حاصل از مدل نیز در جدول (۵) آورده شده است. نتایج جدول نشان می دهد که نتایج حاصل از منطق فازی همپوشانی مناسبی با نتایج واقعی دارند. شایان ذکر است توانایی مدل فازی در مدلسازی مقدار محتوای فلزات سنگین در این جدول قابل بررسی است.

جدول ۵- داده های آماری حاصل ازمنطق فازی برای فلزات سنگین

نام فلز	SD	AARE	RMSE	MSE	SSE	R^2
نیکل	۱/۴۸	-۰/۳۵	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۹۸
سرب	۰/۸۴	-۰/۱۸	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۹۷
کبالت	۱/۵۳	-۰/۳۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۹۸
کادمیم	۰/۱۵	-۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۹۸
جیوه	۰/۷۹	-۱/۳۴	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳	۰/۹۷

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر در ابتدا با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار فلزات سنگین جمع شده در خلیج نایبند واقع در نزدیکی بندر عسلویه اندازه‌گیری شده و سپس مقدار این فلزات برحسب شرایط موجود با استفاده از روش منطق فازی مدلسازی شده و مقایسه‌ای بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از مدلسازی انجام شده و در قالب داده‌های آماری و رسم اشکال انجام گرفته است. نتایج حاکی از عملکرد مناسب این روش در اندازه گیری محتوای فلزات نیکل، سرب، کبالت، کادمیوم و جیوه بوده و مقادیر R-Value بالاتر از ۰/۹۷ گزارش شده است.

۱. پارامترهای ورودی مدل طول و عرض جغرافیایی، شماره تست، دمای آب، عمق آب، pH و شوری آب و خروجی این مدل میزان فلزات سنگین برحسب میلی گرم در کیلوگرم می باشد.
۲. نتایج حاصل از مدل سازی با منطق فازی همخوانی مناسبی با نتایج واقعی دارد، که مبین توانایی این مدل برای پیش بینی فلزات سنگین می باشد.
۳. در کنار مدل سازی با منطق فازی از دو مدل شبکه های عصبی و انفیس استفاده شد که نتایج حاصل نشان دهنده مدل سازی عالی هر یک از تکنیک ها و قدرتمند بودن آنها در پیش بینی نتایج می باشد.
۴. مقادیر R-Value در مدلسازی فلزات سنگین اندازه گیری شده با منطق فازی به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۹۷، ۰/۹۸، ۰/۹۸ و ۰/۹۷ گزارش شده است. حال آنکه مقادیر انحراف معیار برای آنها به ترتیب عبارتند از: ۱/۴۸، ۰/۸۴، ۱/۵۳، ۰/۱۵ و ۷۹/ ۰که نتایج حاصل از منطق فازی نیز مبین کارکرد بسیار مناسب این تکنیک مدل سازی در پیش بینی مناسب فلزات سنگین می باشد.

مطابق نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر، Özturk(2014) و Rahmanian و همکاران در سال (2011_a) نشان دادند که منطق فازی برای مدلسازی رفع آلودگی روی بسیار مطلوب عمل می نماید. به همین ترتیب Rahmanian و همکاران در سال (2011_b) و (2011_c) مدلسازی منطق فازی برای برداشت سرب از محیط و رفع آلودگی را مناسب ارزیابی نمودند.

با توجه به مقادیر بالای R-Value به عنوان یک معیار آماری برای بررسی فرآیندهای مختلف، می توان این روش را به عنوان ابزاری قدرتمند برای پیش بینی عملکرد سیستم به کار برده شده، چراکه باصرف هزینه و زمان کمتر پاسخ موارد مشابه قابل دستیابی است.

مراجع

اسماعیلی، م. و بیداری، ا. ۱۳۷۱. مسمومیتها و حوادث محیطی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ایران.

جعفرآبادی آشتیانی، ا. ۱۳۸۵. اندازه گیری میزان آلودگی ناشی از فلزات سنگین نیکل، سرب و جیوه در رسوبات خلیج فارس/منطقه عسلویه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فنون دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

شریعت پناهی، م. ۱۳۷۲. مبانی بهداشت محیط. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

ملاح، م. ۱۳۷۷. تعیین ساختار و بررسی خواص تبادل یک نوع زئولیت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.

ناصری، س. و قانعیان ، م. ۱۳۸۱. مدیریت کیفیت آب. انتشارات نصر. تهران.

ربانی، م. آشتیانی، ا. و شریف، ا. ۱۳۸۴. اندازه گیری فلزات سنگین سرب، نیکل و جیوه در آب و رسوب در خلیج فارس منطقه عملیاتی عسلویه. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۹(۳): ۳۱-۲۳.

یزدان پناه، ا.، جوادی نسب، ع.، نظریها، م. و مهردادی، ن. ۱۳۸۸ بررسی فلزات سنگین و هیدروکربن های نفتی در رسوبات ساحلی منطقه عسلویه. دوازدهمین همایش مای بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت. تهران.

Özturk, B. Y., Akkoz, C., Asikkutlu, B. & Gumus, M. E. 2014. Fuzzy logic evaluation of heavy metal pollution of Apa Dam Lake. *Journal of Applied Biological Sciences, 8 (3): 14-20*.

Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338-353.

Zadeh, L.A. 1983. The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. *Fuzzy sets and systems*, 11 (1):199-227.

Hiirsalmi, M., Kotsakis, E., Pesonen, A. & Wolski, A. 2000. Discovery of fuzzy models from observation data, VTT Information Technology. Finland.

Rahmanian, B., Pakizeh, M., Esfandyari, M. & Maskoki, M. 2011_a. Fuzzy Inference System for Modeling of Zinc Removal Using Micellar-enhanced Ultrafiltration, *Journal of Separation Science and Technology*, 46(10): 1571-1581.

Rahmanian, B., Pakizeh, M., Esfandyari, M., Heshmatnezhad, M. & Maskoki, M.2011_b. Fuzzy modeling and simulation for lead removal using micellar-enhancedultrafiltration (MEUF). *Journal of Hazardous Materials*, 192:585-592.

Rahmanian, B., Pakizeh, M., Mansoori, S. A. & Abedini, R. 2011_c. Application of experimental design approach and artificial neural network (ANN) for the determination of potential micellar-enhanced ultrafiltration process. *Journal of Hazardous Materials*, 187: 67-74.