نشریه فن‌آوری‌های نوین در توسعه آبزی‌پروری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آزادشهر/ ISSN: 2008-0026 سال یازدهم، شماره اول، بهار ۹۶ / صفحات: ۸۲-۷۱

میزان تأثیرگذاری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و ویژگی‌های ریخت‌شناسی بر میزان تجمع کادمیوم در کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)

مهسا پاکزاد[۱]، *عاطفه چمنی[۲] و علی‌اصغر بسالت‌پور[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، [۲]استادیار گروه محیط زیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران و مرکز تحقیقات پسماند و پساب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، [۳]استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب (pH، EC، TDS، TSS و TS) و خصوصیات ریخت‌شناختی (طول، وزن، سن و جنس) ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) با میزان تجمع کادمیوم در عضله آن در تالاب چغاخور مورد بررسی قرار گرفت. بدین‌منظور، ٤٥ نمونه ماهی کپور معمولی توسط تور صیادی به همراه ٤٥ نمونه آب در سه ایستگاه، از بهمن‌ماه ۱۳۹۳ لغایت خرداد ۱۳۹٤ نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های ماهی ابتدا مورد ریخت‌سنجی اولیه قرار گرفتند و بعد از هضم مرطوب بافت عضله هر نمونه، غلظت کادمیوم موجود در آن با استفاده از دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی کوره گرافیتی اندازه‌گیری و داده‌ها با استفاده از روش SVM مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که باقی‌مانده کادمیوم در عضله ماهی کپور از حداکثر مجاز اتحادیه اروپا (۲۰۰ میکروگرم در لیتر) پایین‌تر می‌باشد اما از آن‌جا که میزان تجمع و ذخیره فلز کادمیوم در بافت عضله بسیار ناچیز و به مراتب کم‌تر از سایر بافت‌ها می‌باشد، احتمال آلودگی فلز کادمیوم در کبد و آبشش این ماهیان بسیار بالاتر است. در بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب، EC، pH، TS، TSS و TDS به‌ترتیب دارای بیش‌ترین تأثیر در میزان جذب کادمیوم در عضله کپور ماهی می‌باشند. در حالی‌که بر اساس آنالیزهای توصیفی هیچ‌کدام از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب تأثیری بر تجمع فلز کادمیوم در ماهی ندارند. بنابراین برای ارزیابی تأثیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و ریخت‌شناسی بر میزان تجمع فلزات در بافت ماهی در اکوسیستم‌های طبیعی، روش‌های SVM و RSM در مقایسه با آنالیزهای توصیفی قابل استنادتر می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: تالاب چغاخور، روش RSM، روش SVM، کپور معمولی

مقدمه

بوم‌سازگان‌های آبی و آبزیان نقش مهمی در تامین نیاز غذایی انسان‌ها دارند، از این‌رو وضعیت بهداشتی آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). امروزه افزایش جمعیت، توسعه صنایع مختلف و گسترش سطح زیرکشت باعث ورود حجم بالایی از آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین به محیط‌های آبی گردیده است (ابراهیمی‌سیریزی و همکاران، ۱۳۹۱). فلزات سنگین آلاینده‌های پایداری هستند که بر خلاف ترکیبات آلی از طریق فرآیندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی‌شوند و به‌علت اثرات سمیت و پتانسیل بالای تجمع زیستی در بسیاری از گونه‌های آبزی قابل‌توجه‌اند (قربانی‌رنجبری و همکاران، ۱۳۸۹). به‌منظور شناسایی آلودگی‌های یک محیط از جمله فلزات سنگین از شاخص‌ها و نمایه‌های زیستی استفاده می‌شود. در این راستا ماهیان می‌توانند به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در برآورد

* نویسنده مسئول: atefehchamani@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

سطوح آلودگی فلزات در بوم‌سازگان‌های آبی به‌شمار روند (Özturk و همکاران، ۲۰۰۹). در بسیاری از کشورها، فرآورده‌های دریایی به‌ویژه ماهی بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد (Hosseini و همکاران، ۲۰۱۳). به دنبال انتقال آلاینده‌ها به محیط‌های آبی ممکن است برخی فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی توسط آبزیان و به‌ویژه گونه‌های ماهی جذب شوند (نصراله‌زاده ساروی و همکاران، ۱۳۹۲). میزان جذب و تجمع عناصر سنگین در آبزیان به‌ویژه ماهیان تابعی از شرایط بوم‌شناختی، فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب، نوع عنصر و فیزیولوژی بدن گونه آبزی می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). از بیش‌ترین فلزات سنگین موجود در سیستم‌های آبی می‌توان به روی، کادمیوم، جیوه و سرب اشاره کرد (موسوی‌ندوشن، ۱۳۹۲). مقادیر برخی از این فلزات مانند مس، روی، آهن و ... در غلظت‌های پایین برای متابولیسم آبزیان ضروری هستند، در حالی‌که نقش بیولوژیک برخی از آن‌ها مانند جیوه، کادمیوم و سرب هنوز شناخته نشده است و این فلزات حتی در غلظت‌های پایین نیز برای موجودات زنده سمی هستند (Canli و Atli، ۲۰۰۳). کادمیوم یک فلز بسیار سمی است که بر ریه‌ها، کلیه‌ها و استخوان‌ها اثرات منفی جدی می‌گذارد (موسوی‌ندوشن، ۱۳۹۲). کادمیوم در بعضی از کودهای شیمیایی از جمله کودهای فسفاته نیز وجود دارد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۰؛ Jill و همکاران، ۲۰۰۱). تاکنون مطالعات متعددی در خصوص میزان تجمع فلزات سنگین در ماهیان انجام گرفته شده است. از جمله در ایران می‌توان به بررسی میزان تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت‌های عضله و کبد دو گونه کفشک‌ماهی تیزدندان و گرد در سواحل بندرلنگه و بندرعباس (نبوی و همکاران، ۱۳۸۵)، تعیین میزان سرب و کادمیوم در گوشت ماهیان صیدشده از تالاب چغاخور استان چهارمحال و بختیاری (رحیمی و رئیسی، ۱۳۸۷)، میزان فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و جیوه در بافت‌های مختلف عضله، آبشش، کبد ماهی گطان[1] رودخانه کارون (عسگری‌ساری و همکاران، ۱۳۸۹)، مقایسه تجمع زیستی جیوه کل در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای سد قشلاق سنندج (خوشناموند و همکاران، ۱۳۸۹)، بررسی الگوی تجمع فلزات سنگین روی، مس، سرب و نیکل در بافت‌های عضله، کبد، کلیه، آبشش و فلس ماهی کپور نقره‌ای[2] چاه‌نیمه‌های سیستان (پاکزاد توچایی، ۱۳۹۲)، میزان غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت‌های عضله و کبد ماهی طلال[3] در آب‌های خلیج‌فارس (چاکری و همکاران، ۱۳۹٤) اشاره نمود. در خارج از کشور نیز در دریای آدریاتیک، بررسی غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب در بافت‌های کبد و عضله دو گونه ماهی هیک اروپایی[4] و کفال قرمز[5] (Gaspic و همکاران، ۲۰۰۲)، اندازه‌گیری غلظت فلزات سرب و کادمیوم ماهیان دریاچه تایهو[6] در چین (Qiao-qiao و همکاران، ۲۰۰۷)، تعیین نسبت تجمع فلزات سنگین در عضله، پوست و آبشش برخی از گونه‌های ماهی مهاجر با روش استقرایی همراه با نشر طیف‌سنج پلاسمای نوری (ICP-OES) در تالاب بیملک در ترکیه (Uysal و همکاران، ۲۰۰۸)، بررسی غلظت فلز در ماهیچه دو گونه از ماهی پهن[7] از ساحل جنوب‌شرقی برزیل (Roy و همکاران، ۲۰۱٤)، توزیع سه فلز کم‌مقدار غیرضروری کادمیوم، جیوه و سرب در اعضای ماهی در پشت سد Aiba در نیجریه (Atobatele و Olutona، ۲۰۱۵)، توزیع و موارد سنی مرتبط زیست‌انباشتگی سرب، جیوه، کادمیوم و آرسنیک در بافت‌های ماهی کپور و گربه‌ماهی اروپایی[8] (Schön و

1- *Barbus xanthopterus*
2- *Hipophthalmichthys molitrix*
3- *Rustrelliger kanagurta*
4- *Merluccius merluccius*
5- *Mullus barbatus*
6- Taihu
7- *Flat fish*
8- *Sylurus glanis*

Archive of SID

www.SID.ir

همکاران، ۲۰۱۵) و غلظت فلزات در گروه‌های سنی مختلف گونه *Fluviatilis perc* (Szefer و همکاران، ۲۰۰۳) در بوسنی و هرزگوین مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

هدف اصلی این گونه بررسی‌ها، پیشگیری از ابتلای انسان به امراض و عوارض گوناگون ناشی از استفاده از آبزیان آلوده به فلزات سنگین به‌عنوان منبع غذایی است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) به‌دلیل بزرگی اندازه بدن و میانگین سنی بیش‌تر می‌تواند میزان بالاتری از فلزات سنگین را در خود تجمع نماید. در بوم‌سازگان‌های آبی طبیعی، رسوبات، منابع غذایی مهمی برای کپور وحشی محسوب می‌شود. به‌طورکلی گونه‌های ماهی همه‌چیزخوار و رسوب‌خوار مانند کپور به‌علت غلظت تجمع‌یافته بالاتر فلزات در رسوب در مقایسه با آب، ممکن است از تجمع فلزات سنگین بالاتری نسبت به سایر گونه‌های آبزی برخوردار باشند (Pazooki و همکاران، ۲۰۱۲). ویژگی‌های موجود زنده (سن، طول، وزن، جنس، عادت تغذیه‌ای و نیازهای اکولوژیک)، غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب، مدت زمان ماندگاری در محیط آبی، فصل سال و خواص فیزیکی و شیمیایی آب (pH، EC[1]، نرخ جذب سدیم[2]، کلر، کربنات، بیکربنات، سولفات، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، TDS[3] و TSS[4]) از عوامل مؤثر در تجمع فلزات سنگین در اندام‌های گوناگون گونه‌ها هستند (Demirak، ۲۰۰۶). هدف از این پژوهش، استفاده از الگوریتم SVM و RSM در بررسی روابط میان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب و ویژگی‌های ریختی موجود زنده با میزان تجمع فلز سنگین کادمیوم در عضله کپور معمولی است.

مواد و روش‌ها

تالاب چغاخور بزرگ‌ترین تالاب در استان چهارمحال و بختیاری است که دارای مساحتی بالغ بر ۲۳۰۰ هکتار می‌باشد و یکی از ذخیره‌گاه‌های اکولوژیکی مهم در منطقه محسوب می‌گردد (شکل ۱).

شکل ۱- موقعیت تالاب چغاخور در ایران و استان چهارمحال و بختیاری

1- Electrical conductivity
2- SAR (Sodium Absorption Rate)
3- Total dissolved solids
4- Total suspended soilds

Archive of SID
www.SID.ir

مطالعات میدانی و بازدید از منطقه طی زمستان ۱۳۹۳ و بهار ۱۳۹٤ صورت پذیرفت. جامعه آماری مورد بررسی شامل ٤٥ نمونه ماهی کپور معمولی می‌باشد که توسط ماهیگیران محلی صید گردید. نمونه‌ها در یخدان محتوی یخ نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه، بعد از زیست‌سنجی اولیه شامل اندازه‌گیری وزن، طول، سن و جنس، کل نمونه‌ها در فریزر با دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا مرحله انجماد را پشت سر بگذارند. پیش از کالبدشکافی، ابتدا نمونه‌ها با آب مقطر شستشو داده شد تا پوشش لزج و ذرات خارجی جذب‌کننده فلزات از سطح بدن دفع گردد. تمام نمونه‌های عضله از عمق پوست و از قسمت راست بدن ماهیان گرفته شد. نمونه‌های بافت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت نگهداری گردید (خیرور و دادالهی، ۱۳۸۹). پس از خشک شدن، نمونه‌ها در هاون کوبیده شدند. به این منظور ۲ گرم از نمونه رطوبت‌گیری‌شده به داخل ارلن منتقل شد و ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک مرک ٦٥ درصد و ۵ میلی‌لیتر آب اکسیژنه اضافه شد، سپس به‌مدت یک شب (۱۲ ساعت) در زیر هود قرار داده شد. این مخلوط به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد در هات‌پلیت گرما داده شد. به تک‌تک نمونه‌ها ۵-۲ میلی‌لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد اضافه شد و به‌مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰-۸۵ درجه سانتی‌گراد در هات‌پلیت گرما داده شدند. محلول شفاف پس از سرد شدن آماده فیلتر کردن است. پس از گذشت این زمان و خنک شدن ظرف، محلول آماده‌سازی شده در بالن ژوژه ۲۵ میلی‌لیتری با آب مقطر دو بار تقطیر و با استفاده از کاغذ صافی واتمن ٤۲ صاف شد و به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد (AOAC[1]، ۱۹۸۰). جهت اطمینان از دقت عملیات هضم و رفع خطای ناشی از آماده‌سازی نمونه و عدم تأثیر مواد مصرفی بر غلظت فلزات، در هر نوبت از عملیات هضم، یک نمونه شاهد[2] در نظر گرفته شد. غلظت فلزات در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی کوره گرافیتی مدل Furnace AAS Model 67OG مشخص گردید. غلظت فلزات موردنظر در نمونه‌های شاهد نیز اندازه‌گیری شده و از مقادیر به‌دست آمده برای نمونه‌ها کسر گردید. میزان ریکاوری نتایج بین ۹٦ تا ۱۰۱ درصد به‌دست آمد. همراه با نمونه‌های ماهی، ٤٥ نمونه آب نیز از ایستگاه‌های موجود برداشت گردید و ویژگی‌های فیزیکی آب از جمله هدایت الکتریکی (EC) با کنداکتیویتی‌متر و pH توسط pH متر اندازه‌گیری شد. همچنین مقادیر کل ذرات (TS)، کل ذرات محلول (TDS) و کل ذرات معلق (TSS) آب نیز محاسبه گردید.

انتخاب متغیر به روش SVM: ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) از جمله روش‌های یادگیری نظارت‌شونده[3] می‌باشند که از آن‌ها برای طبقه‌بندی و رگرسیون استفاده می‌شود (بسالت‌پور و همکاران، ۱۳۹٤). الگوریتم SVM نوع خاصی از مدل‌های خطی را می‌یابد که حاشیه ابرصفحه بیشینه شود. بیشینه کردن حاشیه ابرصفحه، منجر به حداکثر شدن تفکیک بین طبقات می‌شود. در واقع، نزدیک‌ترین نقاط آموزشی به حداکثر حاشیه ابرصفحه را بردارهای پشتیبان می‌نامند که از آن‌ها برای مشخص کردن مرز بین طبقات استفاده می‌شود. اگر داده‌ها به‌صورت خطی قابل جداسازی باشند، از ماشین‌های خطی برای تولید یک سطح بهینه که داده‌ها را بدون خطا و با حداکثر فاصله میان صفحه و نزدیک‌ترین نقاط آموزشی (بردارهای پشتیبان) تفکیک می‌نماید، استفاده می‌شود. به‌منظور مفهوم‌سازی چگونگی عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان، نقاط آموزشی به‌صورت رابطه زیر در نظر گرفته شدند:

1- Association of Official Analytical Chemistry

2- Blank

3- Supervised learning

Archive of SID

www.SID.ir

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^{n} \quad (۱)$$

که در آن، x_i بردار ورودی بوده که $x_i \in X$ و y_i مقدار مطلوب می‌باشد که $y_i \in R$ است و n تعداد کل الگوهای داده‌ای می‌باشد. اگر داده‌ها به‌صورت خطی قابل تفکیک باشند؛ آن‌گاه قواعد تصمیم‌گیری که توسط یک صفحه بهینه که طبقات تصمیم‌گیری باینری را تفکیک می‌کند به‌صورت معادله زیر خواهد بود:

$$y = sign\left(\sum_{i=1}^{n} y_i a_i (X.X_i) + b\right) \quad (۲)$$

که در آن، y خروجی معادله، y_i ارزش طبقه نمونه آموزشی، بردار $x=(x_1, x_2, ..., x_n)$ نشان‌دهنده یک داده ورودی و بردارهای X_i (i =1,..,N)، بردارهای پشتیبان هستند. در این معادله، پارامترهای b و a_i تعیین‌کننده ابرصفحه هستند.

اگر داده‌ها به‌صورت خطی قابل تفکیک نباشند، معادله به‌صورت زیر تغییر می‌یابد:

$$y = sign\left(\sum_{i=1}^{n} y_i a_i K(X, X_i) + b\right) \quad (۳)$$

که در آن، تابع $K(X, X_i)$، تابع کرنلی[1] است که برای ایجاد ماشین‌هایی با انواع مختلفی از سطوح تصمیم‌گیری غیرخطی در فضای داده‌ها، ضرب‌های داخلی تولید می‌کند (Vapnik، ۱۹۹۵؛ Vapnik، ۱۹۹۸). به‌عنوان مثال، سه نوع تابع کرنل که در مدل SVM به‌کار می‌روند، عبارتند از:

الف) ماشین چندجمله‌ای با تابع کرنل

$$K(X, X_i) = (X.X_i + 1)^d \quad (٤)$$

که در آن، d درجه کرنل چندجمله‌ای است.

ب) ماشین تابع پایه شعاعی با تابع کرنل

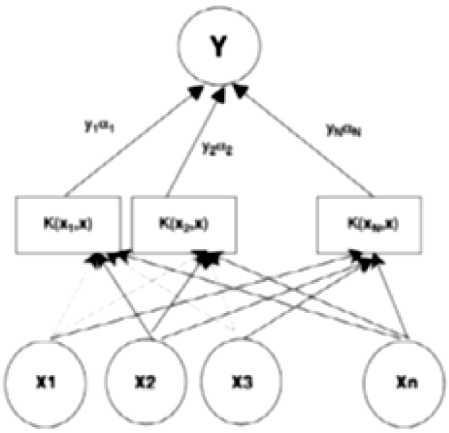
$$K(X, X_i) = \exp(-1/\vartheta^2 (X - X_i)^2 \quad (۵)$$

که در آن، ϑ پهنای باند کرنل تابع پایه شعاعی است.

پ) ماشین دو لایه با تابع کرنل

$$K(X, X_i) = S[(X.X_i)] = 1/[1 + \exp\{v(X.X_i) - c] \quad (٦)$$

که در آن، c و v پارامترهای تابع زیگموییدی $S[(X.X_i)]$ هستند، به‌گونه‌ای که نامعادله $c \geq v$ برقرار باشد (Wang، ۲۰۰۵). شکل زیر، فرآیند مدل SVM را نشان می‌دهد. مدل‌سازی با ماشین‌های بردار پشتیبان در این پژوهش در محیط نرم‌افزار کلمنتاین[2] انجام شد (شکل ۲).

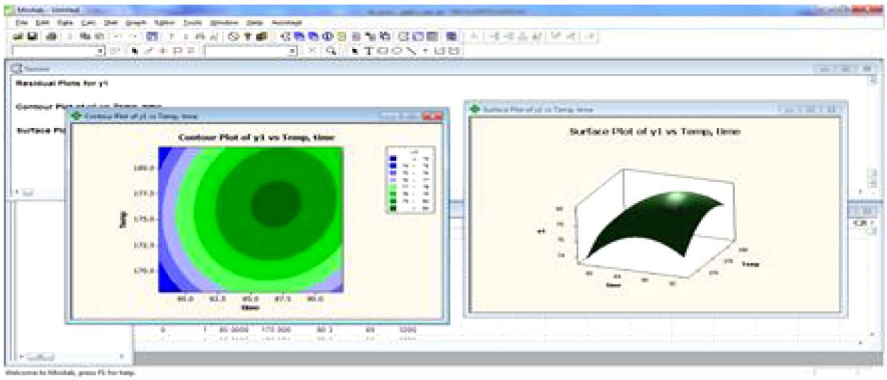


شکل ۲- فرآیند مدل SVM

1- Kernel function
2- Clementine

Archive of SID
www.SID.ir

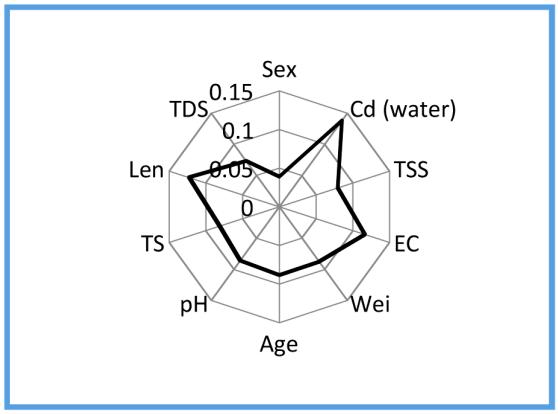
انتخاب متغیر به روش RSM: روش رویه پاسخ RSM[1] مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که در بهینه‌سازی فرایندهایی به‌کار می‌رود که پاسخ موردنظر توسط تعدادی از متغیرها تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. این روش، از نمونه‌ها و داده‌های به‌دست آمده یک چندجمله‌ای را ایجاد می‌کند و روابط بین این داده‌ها را توضیح می‌دهد. در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی CCD[2] استفاده شده است تا حداکثر اطلاعات با کم‌ترین تعداد اجرا از طریق توزیع نقاط آزمایشی در محدوده بهینه به‌دست آمده از نتایج پیش‌آزمایش (در سه سطح برای هر متغیر) قابل دسترسی باشد.



شکل ۳- انتخاب متغیر با استفاده از RSM

نتایج و بحث

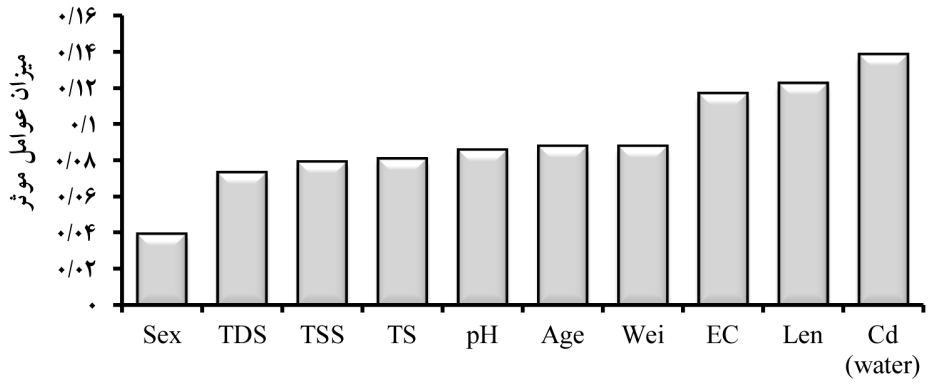
با توجه به نتایج روش SVM، در بین پارامترهای آب، EC، pH، TS، TSS و TDS به‌ترتیب دارای بیش‌ترین تأثیر در میزان جذب کادمیوم در عضله کپور ماهی می‌باشد. از طرفی پارامترهای ریخت‌شناسی شامل طول، وزن، سن و جنس دارای تأثیر در میزان جذب کادمیوم در عضله کپور ماهی می‌باشند. در بین این پارامترها، طول دارای بیش‌ترین تأثیرگذاری (R=۰/۱۲۲۷) می‌باشد و بعد از آن وزن (R=۰/۰۸۷۹)، سن (R=۰/۰۸۷۸) و جنس (R=۰/۰۳۹۳) در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.



شکل ٤- نتایج حاصل انتخاب متغیر به روش مدل SVM برای تعیین عوامل مؤثر بر غلظت کادمیوم در بافت عضله ماهی کپور معمولی

1- Response surface methodology
2- Central composite design

Archive of SID
www.SID.ir



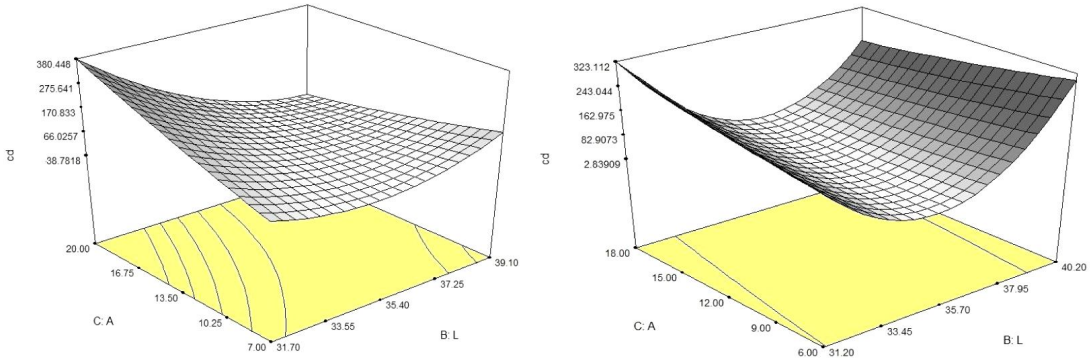
شکل ۵- نتایج حاصل انتخاب متغیر به روش مدل SVM برای تعیین عوامل مؤثر بر غلظت کادمیوم در بافت عضله ماهی کپور معمولی

با وجود این‌که pH مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده غلظت کادمیوم در خاک می‌باشد ولی نتایج بررسی‌های متعدد نشان داده است که نقش شوری در افزایش حلالیت کادمیوم، می‌تواند مهم‌تر از pH باشد (خوشگفتارمنش و همکاران، ۱۳۸۲). کمپلکس‌های کلرید ناشی از کلرید سدیم با کادمیوم، جذب این فلز سنگین به‌وسیله خاک را به‌طور چشمگیری کاهش و افزایش غلظت کادمیوم و کلر در فاز محلول می‌تواند فراهمی کادمیوم در خاک را افزایش دهد (Usman و همکاران، ۲۰۰۵). شوری، فراهمی فلزات سنگین را در خاک‌ها افزایش می‌دهد و میزان فراهمی به نوع و مقدار کل فلزات سنگین و نوع نمکی که باعث شوری می‌شود، بستگی دارد (Acosta و همکاران، ۲۰۱۱). ورود کادمیوم به زنجیره زمانی رخ می‌دهد که این فلز در دسترس زیستی آبزیان باشد (Giulio و Meyer، ۲۰۰۸). این فلز در صورت راه یافتن به زنجیره‌های غذایی در طول این زنجیره‌ها حرکت کرده و در نهایت، در سطوح بالاتر زنجیره تجمع پیدا می‌کند (Tuzen، ۲۰۰۳؛ Turkmen و همکاران، ۲۰۰۵؛ Altindag و Yig، ۲۰۰۵). مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب تالاب چغاخور به‌علت مجاور بودن با روستاها و زمین‌های کشاورزی، ورود هرزآب‌های حاوی کودهای مورد استفاده در بخش کشاورزی و همچنین ورود سیلاب‌های فصلی (ناشی از ذوب برف‌های کوه‌های اطراف و بارش‌های موسمی) به تالاب، به‌طور دائم تغییر می‌کند. بنابراین ورود هرزآب‌های حاوی کودهای فسفاته مورد استفاده در بخش کشاورزی و سیلاب‌های فصلی و بارش‌های موسمی سبب افزایش حلالیت غلظت کادمیوم و کلر در خروجی زهاب کشاورزی می‌شود که در نهایت به بوم‌سازگان‌های آبی ورود می‌یابد. این تغییرات شرایط زیست را برای انواع ماهیان، گیاهان آبزی و پرندگان آبزی موجود در تالاب سخت می‌کند. به همین دلیل موجوداتی که دارای دامنه تحمل بالایی نسبت به این تغییرات می‌باشند توانایی بیش‌تر برای زیستن در این منطقه دارند. داده‌های حاصل به‌طورکلی نشان‌دهنده ثبات و پایداری pH و قرار گرفتن آن در دامنه قلیایی در آب تالاب در تمام فصول سال، می‌باشد. مقدار pH گویای بالا بودن خاصیت بافری آب بوده و نشان‌دهنده آب‌های دارای املاح کربنات کلسیم می‌باشد. با کنترل میزان مصرف کود و سموم توسط کشاورزان و استفاده از کودهایی که دارای میزان کم‌تری فلزات سنگین هستند، حضور کادمیوم در آب و به تبع از آن آلوده شدن ماهی‌ها کاهش یابد. در واقع استفاده گسترده از کودهای فسفاته در امر کشاورزی طی سالیان اخیر می‌تواند نقش مؤثری در افزایش این آلاینده در آب،

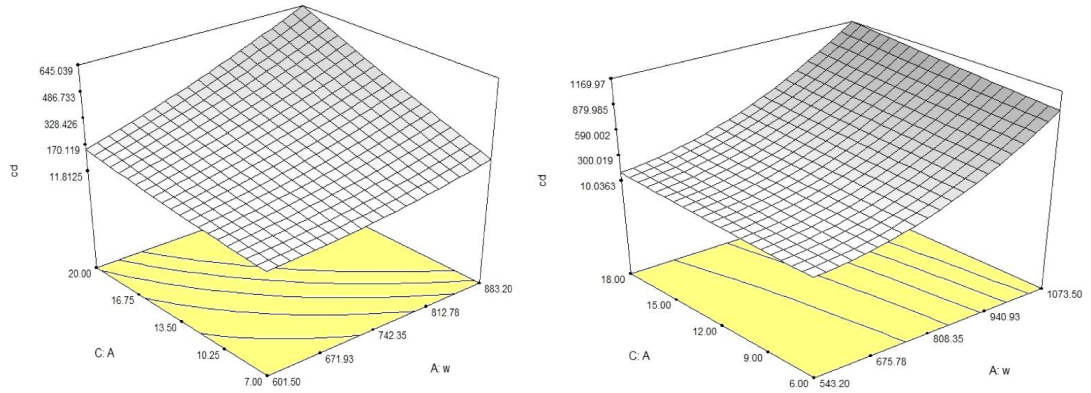
Archive of SID

www.SID.ir

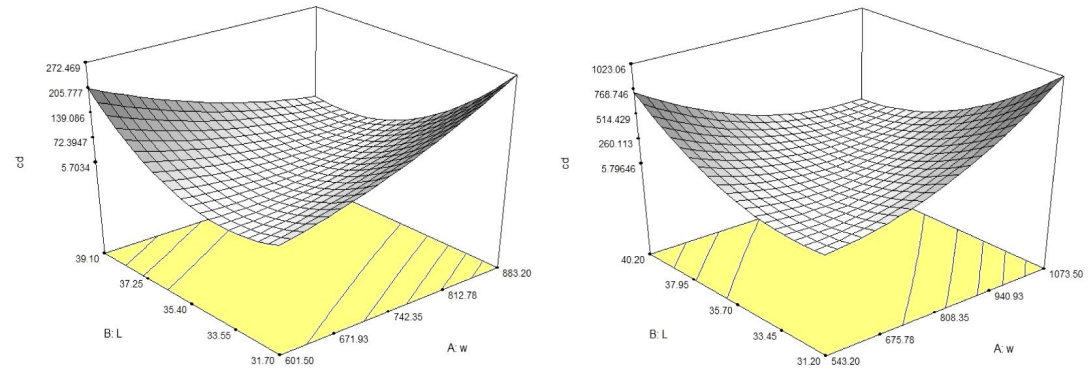
رسوبات و در نهایت آبزیان داشته باشد (رحیمی و رئیسی، ۱۳۸۷). بنابراین مدیریت مصرف این کودها می‌تواند نقش عمده‌ای در کنترل بار آلودگی وارد شده به تالاب داشته باشد. همچنین پایش دوره‌ای آلاینده‌های مختلف در تالاب می‌تواند گامی مؤثر در جهت آگاهی یافتن از وضعیت تالاب باشد.



شکل ٦- خروجی RSM در رابطه با بررسی رابطه میان میزان جذب کادمیوم با طول و سن در کپور ماهی ماده (راست) و نر (چپ)



شکل ۷- خروجی RSM در رابطه با بررسی رابطه میان میزان جذب کادمیوم با سن و وزن در کپور ماهی ماده (راست) و نر (چپ)



شکل ۸- خروجی RSM در رابطه با بررسی رابطه میان میزان جذب کادمیوم با طول و وزن در ماهی کپور ماده (راست) و نر (چپ)

www.SID.ir

پارامترهای ریخت‌شناسی شامل طول، وزن، سن و جنس دارای تأثیر در میزان جذب کادمیوم در عضله کپور ماهی می‌باشند. در بین این پارامترها، طول دارای بیش‌ترین تأثیرگذاری (R=۰/۱۲۲۷) می‌باشد. به همین دلیل تأثیر پارامترهای ریخت‌شناسی بر میزان جذب کادمیوم به‌وسیله روش سطح پاسخ (RSM) به تفکیک مورد بررسی قرار گرفت. بین دو ماهی کپور ماده دارای طول زیاد، ماهی با سن بالاتر، میزان کادمیوم کم‌تری را جذب کرده است این در حالی است که بین دو ماهی کپور ماده دارای طول کم‌تر، ماهی با سن بیش‌تر میزان کادمیوم بیش‌تری را جذب کرده است. بین دو ماهی کپور ماده با سن یکسان، ماهی که با وزن بیش‌تر، کادمیوم بیش‌تری را جذب کرده است که بالطبع به‌دلیل بیوماس بیش‌تر و تغذیه بیش‌تر ماهی سنگین‌تر می‌باشد. همچنین بین دو ماهی کپور ماده با وزن یکسان، در ماهی که با سن بیش‌تر، میزان بیش‌تری از فلز کادمیوم در عضله تجمع‌یافته است. از طرفی بین دو ماهی ماده دارای وزن زیاد، ماهی که با طول بیش‌تر، دارای غلظت کم‌تر کادمیوم در عضله می‌باشد. همچنین بین دو ماهی ماده دارای وزن کم‌تر، ماهی دارای طول بیش‌تر، حاوی کادمیوم بیش‌تری در عضله می‌باشد. بدین‌ترتیب، تنها در ماده‌های دارای وزن کم‌تر، طول با میزان جذب فلز کادمیوم دارای همبستگی مثبت می‌باشد.

بین دو ماهی کپور نر که دارای طول کم هستند، ماهی که با سن بیش‌تر مقادیر بیش‌تری از فلز کادمیوم را در عضله جذب کرده است. اما بین دو ماهی کپور نر با طول بزرگ‌تر، ماهی که مسن‌تر، کادمیوم کم‌تری را در عضله جذب کرده است. همچنین بین دو ماهی کپور نر هم وزن، ماهی مسن‌تر غلظت بیش‌تری از فلز کادمیوم را در عضله جذب کرده است و بین دو ماهی نر همسن، ماهی که با وزن بیش‌تر، کادمیوم بیش‌تری را جذب کرده است. به‌طورکلی با افزایش توأم سن و وزن، میزان جذب افزایش می‌یابد. بین دو ماهی نر دارای وزن زیاد، ماهی با طول بیش‌تر، کادمیوم بیش‌تری را جذب کرده است و بین دو ماهی نر دارای وزن کم‌تر، ماهی با طول بیش‌تر، افزایش جذب کادمیوم در عضله را نشان می‌دهد. بررسی و مقایسه همه نمودارها نشان می‌دهد بین ماهی نر و ماده هیچ تفاوتی از نظر میزان جذب کادمیوم و رابطه آن با پارامترهای دیگر ریخت‌شناسی مثل وزن، طول و سن وجود ندارد. بدین‌ترتیب نتایج RSM نیز نتایج روش SVM را مبنی بر این‌که تفاوت در جنس تأثیر قابل‌ملاحظه و معنی‌داری نسبت به سایر متغیرهای ریخت‌شناسی بر میزان جذب کادمیوم در عضله ماهی ندارد، تأیید می‌کند. بیش‌تر بودن غلظت کادمیوم در ماهی‌های سنین پایین‌تر می‌تواند به‌دلیل تغییر در رژیم‌های غذایی و زیستگاه همچنین کاهش میزان تغذیه نسبت به وزن و اندازه بدن در ماهی‌های بالغ باشد (دایگیولیو و هینتون، ۲۰۰۸).

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر محسن نوروزی به‌دلیل همراهی صبورانه در انجام آنالیزها و تحلیل نتایج، جناب آقای دکتر محمدهادی ابوالحسنی به‌دلیل ارائه راهنمایی‌های ارزشمند در تحلیل نتایج و نگارش مقاله، جناب آقای مهندس بختیار طاهری که انجام مراحل نمونه‌برداری بدون لطف و همراهی ایشان میسر نمی‌شد و جناب آقای مهندس باقری، کارشناس محترم آزمایشگاه آبزیان و علوم دامی دانشگاه آزاد واحد اصفهان صمیمانه سپاسگزاری می‌نمائیم.

Archive of SID
www.SID.ir

منابع

ابراهیمی‌سیریزی، ز.، ساکی‌زاده، م.، اسماعیلی‌ساری، ع.، بهرامی‌فر، ن.، قاسمپوری، م.، و عباسی، ک.، ۱۳۹۱. بررسی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی در بافت عضله اردک‌ماهی تالاب بین‌المللی انزلی، انباشتگی و ارزیابی خطرات. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۲، شماره ۸۷ صفحات ۵۷-۶۳.

بسالت‌پور، ع.ا.، شیرانی، ح.، و اسفندیارپور، ع.، ۱۳۹٤. مدل‌سازی پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان و رگرسیون چندمتغیره خطی. مجله آب و خاک. سال ۲۹، شماره ۲، صفحات ٤۰٦-٤۱۷.

پاکزاد توچایی، س.، ۱۳۹۲. بررسی الگوی تجمع فلزات سنگین روی، مس، سرب و نیکل در بافت‌های عضله، کبد، کلیه، آبشش و فلس ماهی کپور نقره‌ای (*Hipophthalmichthys molitrix*) چاه نیمه‌های سیستان. نشریه اقیانوس‌شناسی، سال چهارم، شماره ۱۳، صفحات ۲۸-۲۱.

چاکری، ر.، سجادی، م.، کامرانی، ا.، و آقاجاری، ن.، ۱۳۹٤. تعیین میزان غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت‌های عضله و کبد ماهی طلال (*Rastrelliger kanagurta*) در آب‌های خلیج‌فارس. مجله علمی شیلات ایران. سال بیست و چهارم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹٤. صفحات ۳٤-٤۳.

خوشگفتارمنش، ا.ح.، شریعتمدار، ح.، و کریمیان، ن.، ۱۳۸۲. اثر شوری آب آبیاری و کاربرد روی بر حلالیت کادمیوم خاک و غلظت آن در گندم. هشتمین کنگره علوم خاک ایران، ۱۲-۹ شهریور، دانشگاه گیلان، صفحات ۵۹۹-۵۹٦.

خوشناموند، م.، کبودوندپور، ش.، غیاثی، ف.، و بهرام‌نژاد، ب.، ۱۳۸۹. مقایسه تجمع زیستی جیوه کل در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای سد قشلاق سنندج. مجله محیط‌شناسی، سال سی و ششم، شماره پنجاه و شش، صفحات ٥٤-٤۷.

خیرور، ن.، دادالهی سهراب، ع.، و ثقیلی، م.، ۱۳۸۹. غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، سرب و مس در جلبک‌ها و رسوبات مناطق ساحلی استان هرمزگان (بندرعباس و بندرلنگه). مجله شیلات ایران، سال بیستم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۰، صفحات ٤۲-۳۱.

رحیمی، ا.، و رئیس، م.، ۱۳۸۷. تعیین میزان سرب و کادمیم در گوشت ماهیان صیدشده از تالاب چغاخور استان چهارمحال و بختیاری. مجله دامپزشکی ایران. دوره چهارم، شماره ٤، صفحات ۷۹-۸۳.

عسکری‌ساری، ا.، و ولایت‌زاده، م.، ۱۳۸۹. بررسی غلظت سرب و روی در بافت‌های کبد و عضله دو گونه ماهی پرورشی کپور معمولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان، مجله دامپزشکی ایران، دوره هفتم، شماره ۱، صفحات ٦-۱.

قربانی‌رنجبری، ع.، قربانی‌رنجبری، ن.، قربانی‌رنجبری، ز.، مرحمتی‌زاده، م.ح.، و چراغی، پ.، ۱۳۸۹. بررسی میزان سرب، جیوه و کادمیوم در اندام‌های ماهی شیربت (*Barbus grypus*) و بیاح (*Liza abu*) بومی رودخانه کارون منطقه اهواز. بهداشت مواد غذایی. دوره ۲، شماره ٤، پیاپی ۸ زمستان ۱۳۹۱. صفحات ۵۳-٦۰.

محمدی، م.، عسگری‌ساری، ا.، و خدادادی، م.، ۱۳۸۹. میزان کادمیوم و سرب در عضله و کبد ماهی شیربت (*Barbus grypus*) در رودخانه دز. فصلنامه علمی پژوهشی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، سال اول، شماره چهارم، صفحات ۹٦-۹۱.

ملکوت، م.ج.، نفیسی، م.، و متشرع‌زاده، ب.، ۱۳۸۰. عزم ملی برای تولید کود در داخل کشور. چاپ اول، نشر آموزش کشاورزی، صفحات ۳۷۳-۳۸۰.

Archive of SID

www.SID.ir

موسوی‌ندوشن، ر.، سلیمی، ل.، و ظاهری‌عبده‌وند، ل.، ۱۳۹۲. تعیین مقدار نیکل، سرب و کادمیوم در ماهی شیربت رودخانه دز. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. (۱۱۰)۲۳. صفحات ۲۳۶-۲۳۲.

نبوی، م.، سعیدپور، ب.، خشنود، ر.، و صدیق‌مرتضوی، م.، ۱۳۸۵. بررسی تجمع فلزات سنگین (V، Pb، Ni، Hg و Cd) در دو گونه از کفشک‌ماهیان بندرعباس و بندرلنگه، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز. صفحات ۷۳-۷۶.

نصراله‌زاده ساروی، ح.، پورغلام، ر.، پورنگ، ن.، رضایی، م.، مخلوق، ا.، و یونسی‌پور، ح.، ۱۳۹۲. مطالعه تجمع برخی از فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی کپور (*Cyprinus carpio*) و برآورد میزان سیبل خطر در حوزه ایرانی دریای خزر. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۲۳، شماره ۱۰۳، صفحات ۳۳-۴۴.

Altindag, A., and Yig, S., 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beys-ehir, Turkey. Chemosphere, 60, 552-556.

Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A., and Martinez, S., 2011. Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemosphere. 85, 1318-1324.

Atobatele, O., and Olutona, G., 2015. Distribution of three non-essential trace metals (Cadmium, Mercury and Lead) in the organs of fish from Aiba Reservoir, Iwo, Nigeria. Toxicology Reports. 2, 896-903.

AOAC., 1980. Official methods of analysis, Association of official analytical chemists, INC., Arlington, Virginia, USA. 3172p.

Canli, M., and Atli, G., 2003. The relationship between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. J. Environ. Poll. 121, 129-136.

Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A.L., and Ozdemir, N., 2006. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere, 63, 1451-1458.

Gaspic, Z.K., Zvonaric, T., Vrgoc, N., Odzak, N., and Baric, A., 2002. Cadmium and Lead in selected tissues of two commercially important fish species from the Adriatic Sea. Water Research, 3d, pp. 5023-5028.

Giulio, R.T., and Meyer, J.N., 2008. Reactive oxygen species and oxidative stress, in The Toxicology of Fishes, edited by Di Giulio, R.T., and D.E. Hinton, pp. 273-324, CRC.

Hosseini, S.V., Aflaki, F., Sobhanardakani, S., Tayebi, L., Babakhani Lashkan, A., and Regenstein, J.M., 2013. Analysis of mercury, selenium and tin concentrations in canned fish marketed in Iran. Environmental Monitoring Assessment. 185 (8), 6407-6412.

Jill, C.M., Hoseph, J.P.M., and Stephan, D.S., 2001. Metals. In: Wallace A. Hayes, principles and Methods of Toxicology, 4th ed. Taylor and Francis, Philadelphia, pp. 469-683.

Özturk, M., Özözen, G., Minareci, O., and Minareci, E., 2009. Determination of heavy metals in fish, water and sediments of Avsar Dam lake in Turkey, J. Environ. Health Sci. Engin. 6 (2), 73-80.

Pazooki, J., Ghaffar Haddadi, F., and Abtahi, B.A., 2012. Comparison of heavy metal concentrations in skin and muscle tissues of wild and cultured carp (*Cyprinus carpio*) in the southeastern Caspian Sea area of Iran. Environmental Sciences. 9 (1), 51-58.

Qiao-qiao, C., Guang-wei, Z., and Langdon, A., 2007. Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. J. Environ. Sci. 19, 1500-1504.

Roy D., Ghosh, D., and Kumar Mandal, D., 2013. Cadmium induced histopathology in the olfactory epithelium of a Snakehead fish, *Channa punctatus* (Bloch). Inter. J. Aqua. Biol. 1 (5), 221-227.

Schön, E., Bogut, I., Vuković, R., Galović, D., and Bogut, A., 2015. Distribution and age-related bioaccumulation of lead (Pb), mercury (Hg), Cadmium (Cd) and arsenic (As) in tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) and European catfish (*Sylurus glanis*) from the Buško Blato reservoir (Bosnia and Herzegovina). *Chemosphere,* 135, 289-96.

Archive of SID

www.SID.ir

Szefer, P., Ali, A.A., Ba-Haroon, A.A., Rajeh, A.A., Geldon, J., and Nabrzyski, M., 2003. Distribution and relationships of selected trace metals in mollusks and associated sediments from the Gulf of Aden, Yemen. Environmental Pollution. 106, 299-314.

Turkmen, N., Sari, F., and Velioglu, S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolic and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chemistry. 93, 713-718.

Tuzen, M., 2003. Determination of heavy metals in fish samples of the middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. Food Chemistry. 80, 119-123.

Usman, A.R.A., Kuzyakov Y., and Stahrk L.A., 2005. Effect of immobilizing substances and salinity on heavy metals availability to wheat grown on sewage sludge-contaminated soil. Soil and Sediment Contamination, 14, 329-344.

Uysal, K., Emre, Y., and Kose, E., 2008. The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). Microchem. J.

Vapnik, V., 1995. The Nature of Statistical Learning Theory, Springer-Verlag, New York. pp. 163-167.

Vapnik, V., 1998. Statistical Learning Theory, Wiley, New York. pp. 204-208.

Wang, L., 2005. Support Vector Machines: Theory and Applications. Springer-Verlag, Ne. pp. 3-10.

Archive of SID

www.SID.ir