ارزیابی ریسک آلودگی آرسنیک در دشت همدان – بهار با استفاده از روش فازی

مینا توزنده‌جانی*، علیرضا سفیانیان و نورالله میرغفاری[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۱)

چکیده

در بین عناصر سنگین، آرسنیک به‌عنوان یک عنصر سرطان‌زا شناسایی شده است و غلظت‌های زیاد آن در اکوسیستم می‌تواند یک نگرانی بزرگ برای سلامتی عمومی و محیط زیست ایجاد کند. هدف از این مطالعه، تهیه نقشه ریسک آلودگی آرسنیک و احتمال ورود آن به زنجیره غذایی با استفاده از روش فازی در بخش مرکزی دشت همدان – بهار است. بدین منظور غلظت آرسنیک در ۹۴ نقطه آب زیرزمینی و ۴۹ نقطه خاک سطحی منطقه، اندازه‌گیری و بررسی شد. فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک (درصد رس، مواد آلی و pH)، نقشه احتمال آلودگی خاک، نقشه احتمال آلودگی آب زیرزمینی و نقشه کاربری زمین، به‌عنوان ورودی روش انتخاب شدند. در روش فازی از دو عملگر and و or استفاده شد. جهت استانداردسازی پارامترها نیز توابع خطی فازی استفاده شدند. مقایسه نقشه طبقه‌بندی شده ارزیابی ریسک با استفاده از عملگر and و or نشان می‌دهد که نتایج حاصل از عملگر or دارای بیشترین اعتماد است، بنابراین در مناطقی که مقدار غلظت آرسنیک در خاک و آب زیرزمینی بالا است و همچنین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مانند اسیدیته، درصد مواد آلی و درصد رس خاک پایین و کاربری کشاورزی منطقه، دارای محصولاتی با قابلیت جذب بالای فلزات سنگین است، بهتر است از روش فازی با عملگر or استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: آرسنیک، دشت همدان – بهار، ریسک، روش فازی

۱. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.touzandejani91@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

آلودگی زیست‌محیطی شامل تغییرات نامطلوب در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع اصلی حیات یعنی آب، هوا و خاک است، البته به میزانی که بقا و سلامت انسان و دیگر موجودات را به خطر انداخته و یا فعالیت آنها را محدود سازد (۲۴). در میان تعداد زیادی از آلاینده‌های زیست‌محیطی، فلزات سنگین به‌ویژه فلزات سنگین خطرناک به‌علت سمیت و ماندگاری بالا در محیط زیست و بهداشت عمومی اهمیت زیادی دارد (۲۲). سرنوشت فلزات سنگین و کمپلکس‌های فلزی تخلیه شده به خاک و آب، با توجه به شرایط خاک و آب بسیار متفاوت است (۳۰). از نظر رز (۲۳) عوامل تأثیرگذار زیادی بر جذب فلزات مؤثر هستند. عوامل کنترل کننده اصلی در جذب فلزات عبارتند از: pH، درصد رس و مقدار مواد آلی (۹). در بین فلزات سنگین، آرسنیک یک شبه‌فلز سمی و سرطان‌زا است که به‌طور گسترده در محیط زیست پراکنده شده است و رتبه بیستم فراوانی عناصر در پوسته زمین را با میانگین ۱/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارد (۱۹). این عنصر در طبیعت به حالت‌های اکسایش As(V) (آرسنات) و As(III) (آرسنیت) دیده می‌شود (۱۵). آرسنیت ۶۰ بار سمی‌تر از آرسنات است (۱۳). آرسنیک از طریق فرآیندهای طبیعی و یا انسان‌زاد، وارد محیط می‌شود. فعالیت‌های انسانی شامل دفن پسماندهای خطرناک صنعتی، ذوب و خالص کردن مواد معدنی دارای آرسنیک، احتراق ذغال سنگ، برداشت آب زیرزمینی و فعالیت‌های کشاورزی است (۱۴). آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و کودهای مصرفی از منابع مهم آرسنیک در خاک‌های کشاورزی محسوب می‌شوند. استفاده بی‌رویه از ترکیبات آرسنیک در فعالیت‌های کشاورزی در طول قرن بیستم باعث آلودگی گسترده خاک شده است (۲۱).

آلودگی آرسنیک یک مشکل زیست‌محیطی بسیار جدی در سراسر جهان است و آلودگی خاک و آب توسط آرسنیک و خطرات سلامتی مرتبط با آن، در بسیاری از کشورها گزارش شده است. در ایران نیز مواردی از آلودگی در استان‌های خراسان، کردستان، آذربایجان شرقی و غربی گزارش شده است، ولی مطالعه جامعی در این زمینه صورت نگرفته است و با پایش‌هایی که هر ساله صورت می‌گیرد بر تعداد روستاها و مناطق آلوده به آرسنیک افزوده می‌شود (۱۱).

تاکنون پژوهش‌های متعددی به‌منظور بررسی آلودگی‌های زیست‌محیطی آرسنیک انجام گرفته است. اصغری مقدم و همکاران طی پژوهشی، وضعیت هیدروشیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت خوی را از جنبه تعیین آلودگی آرسنیک مورد بررسی قراردادند (۲). نبی‌اللهی و همکاران به بررسی منابع آلودگی و ارزیابی نقش خصوصیات خاک در سطوح مختلف ژئومورفولوژیکی اراضی بر توزیع مکانی آرسنیک خاک در منطقه بیجار پرداختند (۱۰). بوداغی و همکاران مطالعه‌ای را به‌منظور تعیین میزان آرسنیک در خاک شالیزاری و آب زیرزمینی و ارتباط آن با کود شیمیایی در شهرستان قائم‌شهر انجام دادند (۴). یونگارو و همکاران طی مطالعه‌ای غلظت آرسنیک موجود در دشت برنتا در شمال ایتالیا را با استفاده از روش نقشه‌سازی احتمال تجاوز از آستانه بحرانی، بررسی کردند (۲۸). فرانسیسکا و همکاران در ارزیابی آرسنیک موجود در آب زیرزمینی از روش‌های زمین‌آمار برای تعیین توزیع مکانی آرسنیک استفاده کردند (۱۷). گارسیا و همکاران فاکتورهای مؤثر بر غلظت آرسنیک در آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند (۱۸).

از جمله روش‌هایی که می‌تواند برای بررسی آلودگی‌های محیط زیستی در یک منطقه استفاده شود، روش فازی است. مدل‌های فازی عموماً در مسائلی که با عدم قطعیت ذاتی همراه هستند، مناسب است. درواقع توابع فازی تجربه و دانش انسانی را به‌صورت ترکیبی از اعداد در مقابل وی قرار می‌دهد و او را قادر می‌سازد تا تصمیمی براساس ریاضیات و منطق بگیرد. در منطق فازی، درستی هر چیزی با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است، نشان داده می‌شود. این امر با استفاده از یک سیستم استنتاج و ایجاد رابطه بین مجموعه‌ای از داده‌های ورودی و مجموعه‌ای از داده‌های خروجی تحقق می‌یابد (۵).

www.SID.ir

Archive of SID

یک مجموعه فازی Ã در فضای جهانی M به‌وسیله یک تابع $\tilde{A}(x)\mu$ که مقادیری در بازه [۱،۰] اختیار می‌کند، مشخص می‌شود. اگر X یک مجموعه مرجع باشد، آن‌گاه Ã در X یک مجموعه از زوج‌های مرتب است (۲):

$$\tilde{A} = \{(x, \mu\tilde{A}'(x)) \mid x \in X\} \quad [1]$$

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ تابع عضویت یا درجه عضویت x به Ã که تابعی از X به [۱،۰] است. نزدیکی مقدار $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به عدد یک نشان دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه Ã است. در حالتی که x کاملاً در مجموعه Ã وجود داشته باشد، داریم: $\mu\,\tilde{A}(x) = 1$

در قسمت زیر فهرستی از عملگرهای مناسب روش فازی برای استفاده در برخی شرایط خاص آمده است (۵):

اگر بخواهیم، هنگامی‌که حداقل یکی از رسترهای ورودی مقدار بالایی دارد، خروجی نیز مقدار بالایی داشته باشد، از عملگر or استفاده می‌شود.

اگر بخواهیم، هنگامی که همه رسترهای ورودی مقدار بالایی دارد، خروجی نیز مقدار بالایی داشته باشد، از عملگر and استفاده می‌شود.

زمانی که میزان اهمیت ترکیب داده‌ها، از تک‌تک داده‌ها کمتر است از عملگر PRODUCT استفاده می‌شود.

زمانی که میزان اهمیت ترکیب داده‌ها، از تک‌تک داده‌ها بیشتر است از عملگر PRODUCT استفاده می‌شود.

در روش فازی برای همسان‌سازی مقیاس‌های اندازه‌گیری و تبدیل آنها به واحدهای قابل مقایسه از فرآیند استانداردسازی معیارها استفاده می‌شود. در سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ساخت نقشه‌های معیار قابل مقایسه و استاندارد شده چند رویکرد اصلی شامل روش‌های قطعی، احتمالاتی و فازی وجود دارد. در استانداردسازی داده‌ها، کلیه مقادیر و ارزش لایه‌های نقشه‌ای به دامنه یکسانی مثلاً صفر تا یک تبدیل می‌شود. فرآیند استانداردسازی در روش فازی، از طریق باز قالب‌بندی مقادیر و ارزش‌ها، به شکل یک مجموعه عضویت، عملی می‌شود. در این حالت بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی عدد صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد. در روش استانداردسازی فازی، برای باز قالب‌بندی مقادیر، معمولاً از توابع مختلفی چون توابع S شکل، J شکل و خطی استفاده می‌شود (۸).

در روش فازی ابتدا متغیر ورودی و خروجی مشخص شده و سپس تعداد و نوع تابع عضویت معرفی می‌شود. قابل ذکر است با تلفیق روش فازی با روش‌های زمین‌آمار، به‌دلیل در نظر گرفتن هم‌زمان عوامل مختلف تأثیرگذار بر آلودگی، می‌توان نتایج دقیق‌تری را به‌دست آورد. هدف از انجام این پژوهش نیز نقشه‌سازی میزان ریسک آلودگی ناشی از آرسنیک با استفاده از روش فازی و با توجه به فاکتورهای مؤثر در انتقال آن به زنجیره غذایی در محدوده بخش مرکزی دشت همدان –بهار است.

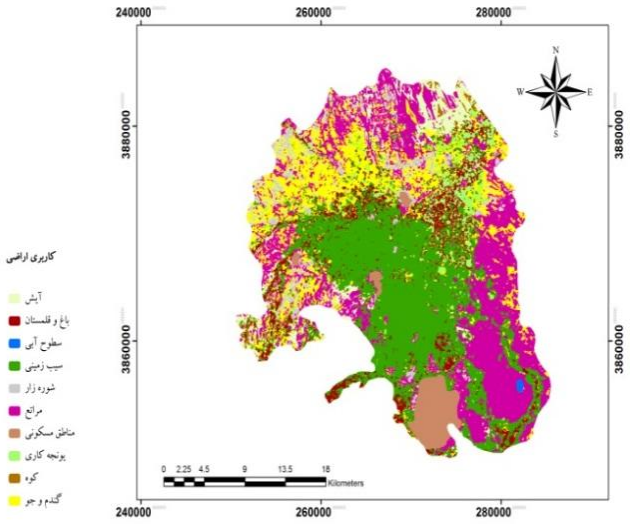
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

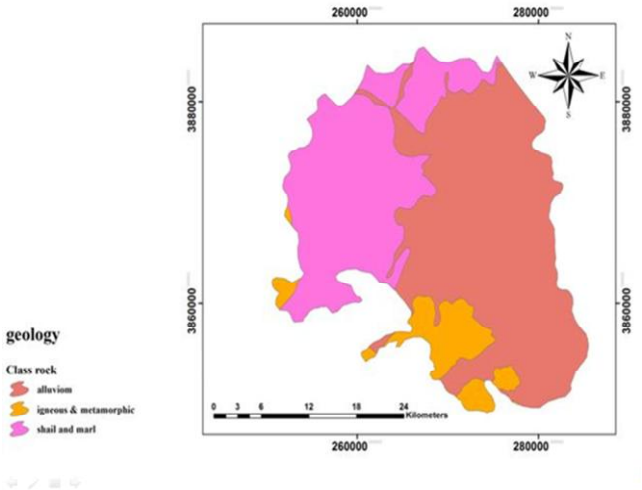
منطقه مورد مطالعه بخش مرکزی دشت همدان – بهار است که با وسعتی حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند بین طول شرقی ´۱۷، °۴۸ تا ´۳۳، °۴۸ و عرض شمالی ´۴۹، °۳۴ تا ´۰۲، °۳۵ قرار گرفته است. در این دشت، بخش‌های مرکزی از شهرستان همدان و بخش‌های لاله‌جین، صالح‌آباد و شهرستان بهار واقع شده است. حدود ۳۷ درصد از جمعیت ۱/۷ میلیون نفری استان در این محدوده که ۱۲/۷ درصد از مساحت استان را دارا است، ساکن هستند. دشت همدان – بهار به‌عنوان یکی از دشت‌های ممنوعه و مسئله‌دار از نظر بروز افت در سطح آب‌های زیرزمینی آن، مطرح است. از نظر زمین‌شناسی محدوده موردمطالعه جزء ناحیه سنندج – سیرجان محسوب می‌شود و علامت مشخصه آن باتولیت گرانیتی الوند است که هسته ارتفاعات جنوبی حوزه را تشکیل داده‌اند و در دامنه این ارتفاعات سنگ‌های دگرگونی در مقیاس وسیع وجود دارند (۲۰). کاربری عمده این منطقه، کشاورزی است و محصولات غالب آن شامل سیب‌زمینی، یونجه، گندم و جو است. نقشه‌های کاربری و زمین‌شناسی به ترتیب در

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. نقشه کاربری اراضی منطقه



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه

شکل‌های (۱ و ۲) نشان داده شده است از مطالعات مشابهی که در منطقه مورد مطالعه، انجام گرفته بود، مورد استفاده قرار گرفت (۷). قابل ذکر است نقشه کاربری اراضی در سال ۱۳۸۸ تهیه گردیده است. در شکل (۳) پراکنش نقاط نمونه‌برداری در سطح محدوده مطالعاتی نشان داده شده است. به‌دلیل وجود اختلاف زمانی با نمونه‌برداری‌ها، صحت نقشه مذکور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و انجام عملیات میدانی مورد بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

به‌منظور انجام این تحقیق، تعداد ۹۴ نمونه آب زیرزمینی و ۴۹ نمونه خاک سطحی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌برداری خاک، براساس روش سیستماتیک تصادفی انجام گرفت و بدین منظور ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS و تصاویر ماهواره‌ای به شبکه های ۲/۵×۲/۵ کیلومتر تقسیم‌بندی و محل تلاقی شبکه‌ها به‌عنوان نقاط نمونه‌برداری درنظر گرفته شد، سپس در کار میدانی، نقاطی که در مناطق غیر قابل دسترس نظیر قله‌ها و مکان‌های نظامی بودند، حذف شدند. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متر عبور داده و برای آنالیز آماده شدند. برای تعیین غلظت آرسنیک، نمونه‌ها پس از آماده‌سازی اولیه و هضم اسیدی با استفاده از HNO_3 و HCL توسط دستگاه جذب اتمی مورد آنالیز قرار گرفتند (۲۹). علاوه بر این برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH، درصد رس و مواد آلی که در انتقال و جذب آلاینده توسط گیاه مؤثرند، نیز اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها در گل اشباع خاک با استفاده از pH متر، درصد ماده آلی به روش تیتراسیون با استفاده از فروسولفات آمونیوم، دی‌کرومات پتاسیم و اسیدسولفوریک غلیظ و درصد رس نیز برای تمامی نمونه‌ها به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۳).

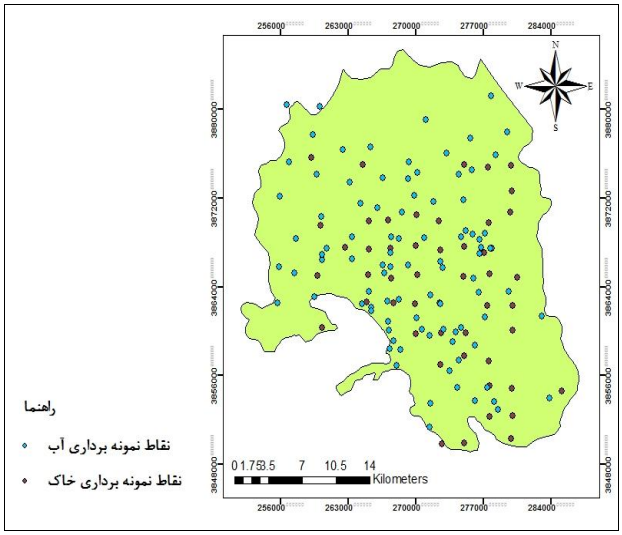
تجزیه و تحلیل‌های آماری

آمار توصیفی داده‌ها به‌منظور بررسی چگونگی توزیع آنها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری داده‌های موردنظر صورت گرفت. در این مطالعه توزیع فراوانی با شاخص‌های میانه، میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و چولگی بررسی شد. به‌منظور آزمون نرمال بودن در سطح اطمینان ۹۵ درصد، آماره کولموگروف – اسمیرنوف استفاده شد. جهت نرمال کردن داده‌ها نیز از روش تبدیل لگاریتم استفاده گردید.

در این مطالعه به‌منظور به‌دست آوردن احتمال ورود آرسنیک به زنجیره غذایی و آسیب رساندن به انسان، نقشه ارزیابی ریسک آلودگی منطقه به آرسنیک با استفاده از روش

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. پراکنش نقاط نمونه‌برداری

فازی و با توجه به فاکتورهای مؤثر، تهیه شد. فاکتورهایی که در این مطالعه درنظر گرفته شد، عبارتند از: نقشه فاکتورهای فیزیکی شیمیایی خاک (درصد رس، ماده آلی و pH) (شکل ۴)، نقشه احتمال آلودگی آب (شکل ۵)، نقشه احتمال آلودگی خاک (شکل ۶) و نقشه کاربری اراضی (شکل ۱).

نقشه احتمال آلودگی آب و خاک به‌ترتیب با روش‌های کریجینگ شاخص و کریجینگ احتمال و نقشه فاکتورهای فیزیکی شیمیایی خاک نیز با روش توابع پایه شعاعی (RBF) تهیه شد. میزان جذب فلزات سنگین به‌وسیله گیاه و ورود آن به زنجیره غذایی بستگی به قابلیت جذب این عنصر در خاک دارد. قابلیت جذب فلزات سنگین در خاک نیز به غلظت کل فلزات سنگین و همین‌طور ویژگی‌های خاک مانند pH، میزان ماده آلی و درصد رس بستگی دارد.

برای استاندارد کردن نقشه کاربری اراضی، اولویت‌بندی کاربری‌ها براساس میزان مصرف محصولات غذایی و کوتاه‌ترین مسیر ورود آرسنیک به زنجیره غذایی انسان است. تابع عضویت فازی کاربری‌ها، با توجه به نظرات کارشناسان به‌صورت جدول (۱) است:

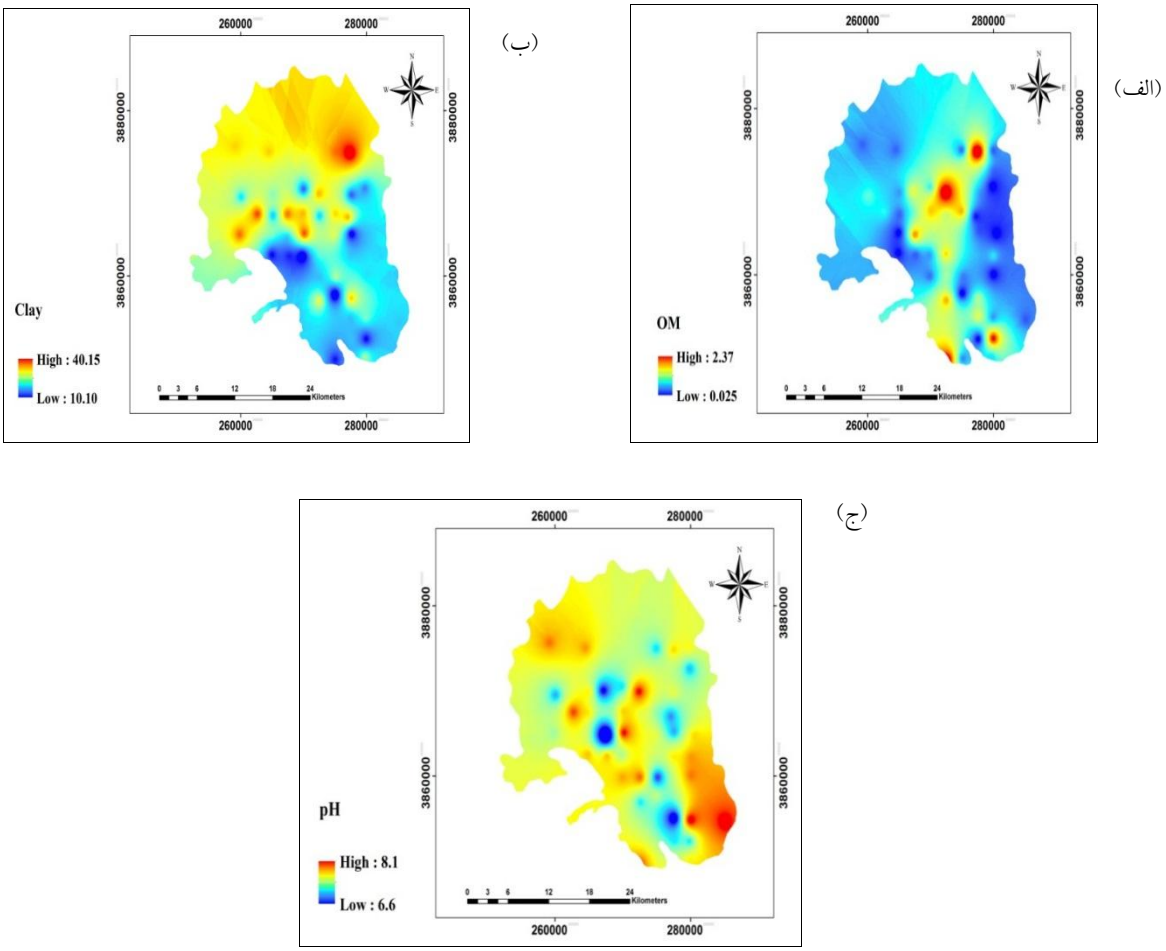
در نقشه پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک (pH، مواد آلی و درصد رس) ازآنجایی‌که با افزایش pH خاک، قابلیت حلالیت فلزات سنگین در خاک کاهش می‌یابد و همچنین بالا بودن درصد مواد آلی و درصد رس خاک، موجب افزایش جذب فلزات سنگین توسط مواد آلی و ذرات رس خاک می‌شود، در نتیجه با افزایش این سه پارامتر، قابلیت جذب فلزات سنگین در زنجیره غذایی انسان کاهش می‌یابد. بنابراین از تابع خطی نزولی فازی برای استاندارد کردن این سه پارامتر استفاده شد. یعنی به بالاترین مقدار در هر سه پارامتر (pH، درصد مواد آلی و درصد رس) مقدار تابع عضویت صفر و به پایین‌ترین ارزش، تابع عضویت یک داده می‌شود.

نقشه‌های احتمال آلودگی خاک و آب زیرزمینی نیز با استفاده از روش کریجینگ شاخص و با توجه به حدود استاندارد ارائه شده برای آرسنیک خاک و آب زیرزمینی تهیه شد. برای استانداردسازی نقشه پهنه‌بندی احتمال آلودگی آب زیرزمینی و خاک از تابع خطی صعودی فازی استفاده شد، به این معنی که مقدار تابع عضویت یک به مناطقی که دارای بالاترین درصد احتمال هستند، داده شد و مقدار تابع عضویت صفر به مناطقی با کمترین درصد احتمال اختصاص یافت.

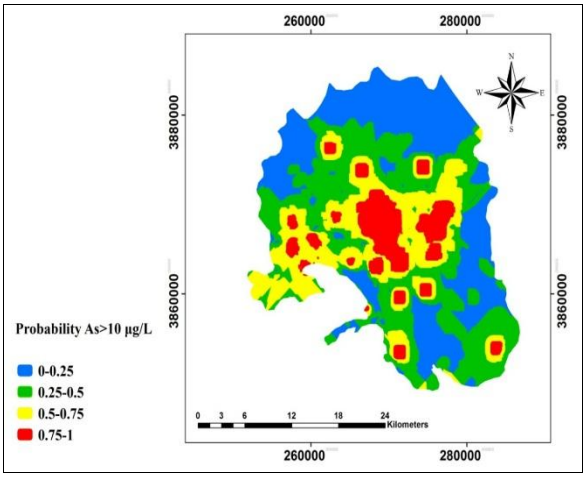
پس از استانداردسازی پارامترها، برای تهیه نقشه ارزیابی ریسک به روش فازی از عملگر and و or استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



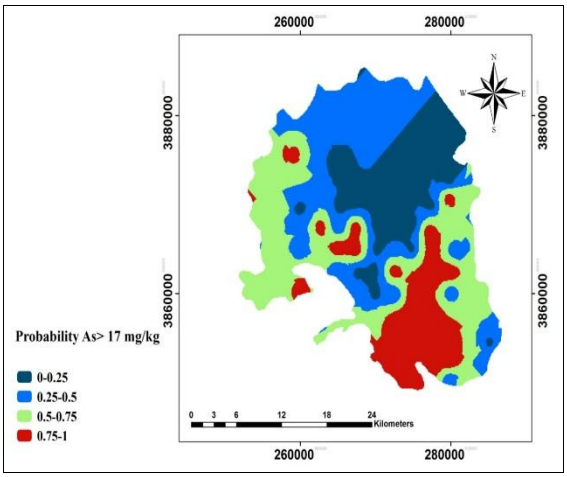
شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک: الف) درصد رس، ب) مواد آلی و ج) pH



شکل ۵. نقشه احتمال آلودگی آب و افزایش غلظت آرسنیک از حد آستانه ۱۰ میکروگرم بر لیتر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. نقشه احتمال آلودگی خاک و افزایش غلظت آرسنیک از حد آستانه ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم

جدول ۱. تابع عضویت نقشه کاربری اراضی

نوع کاربری	تابع عضویت فازی
گندم	۱
سیب‌زمینی	۰/۹
باغ	۰/۸
یونجه	۰/۷
مراتع	۰/۶
سطوح آبی	۰/۵
شهر	۰/۴
آیش	۰/۳
کوه	۰/۲
شوره‌زار	۰/۱

نتایج و بحث

توصیف آماری غلظت آرسنیک در نمونه‌های آب و خاک و گیاه و همچنین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در جدول ۲ نشان داده شده است.

pH خاک سطحی منطقه مورد مطالعه با دامنه ۱/۴ بین ۶/۷ تا ۸/۱ متغیر است. به‌دلیل ضریب تغییرات پایین ۳/۷۲ درصد می‌توان گفت که خاک منطقه دارای pH خنثی تا کمی قلیایی است. میانگین درصد ماده آلی خاک منطقه ۰/۷ درصد است و مقدار ماده آلی بین ۰/۰۲۹ و ۲/۳۷ متغیر است. در بین پارامترهای خاک، ماده آلی با ۸۴/۶۵ بیشترین ضریب تغییرات را دارد. ضریب تغییرات بالا و چولگی مثبت بالا (۱/۲۵) حاکی از آن است که میانگین ماده آلی نمی‌تواند معرف خوبی برای ماده آلی منطقه باشد. حداقل، حداکثر و میانگین درصد رس در منطقه به‌ترتیب ۱۰/۱۰، ۴۰/۱۳ و ۲۳/۰۶۴ است. به‌طورکلی بافت خاک منطقه بیشتر لومی و لومی رسی است.

حداقل و حداکثر آرسنیک خاک سطحی به‌ترتیب ۸ و ۳۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. با مقایسه غلظت آرسنیک خاک منطقه با دامنه طبیعی غلظت آرسنیک خاک سطحی، مشخص

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. توصیف آماری داده‌ها

فاکتور	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	دامنه	چولگی
آرسنیک خاک	mg/kg	۸/۰۰	۳۷	۱۸/۲۱	۱۶/۵	۶/۸۷	۳۷/۴۷	۲۹	۰/۸۴
آرسنیک آب	µg/l	۵	۷۹/۵	۱۲/۴	۷	۱۵/۵۶	۱۲۵/۵۰	۷۴	۳/۱۱
ماده آلی خاک	٪	۰/۰۲	۲/۳۷	۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۵۹	۸۴/۶۵	۲/۳۴	۱/۲۵
pH خاک	-	۶/۷	۸/۱۸	۷/۶۸	۷/۷۵	۰/۲۸	۳/۷۲	۱/۴۸	-۰/۹۹
مقدار رس خاک	٪	۱۰/۱۰	۴۰/۱۳	۲۳/۰۶	۲۲/۰۵	۶/۹۶	۳۰/۲۰	۳۰/۰۲	۰/۲۷

شد که غلظت فلز مذکور در دامنه طبیعی(۴۰-۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۲۷) قرار دارد. میانگین آرسنیک خاک منطقه، ۱۸/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که بالاتر از میانگین جهانی (۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (۲۷) و میانگین کشورهایی مانند آمریکا و چین (به‌ترتیب با ۷ و ۱۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. حد استاندارد غلظت آرسنیک برای خاک‌های قلیایی در ایران ۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (از جنبه حفاظت محیط زیست) (۱) که این نشان می‌دهد میانگین آرسنیک منطقه از حد استاندارد تعیین شده برای خاک‌های ایران نیز تجاوز کرده است.

میانگین غلظت آرسنیک آب زیرزمینی ۱۲/۴ میکروگرم بر لیتر است که از میزان حد آستانه آن (۱۰ میکروگرم بر لیتر) بیشتر است (۲۴). دامنه آرسنیک در آب زیرزمینی بین ۷۹/۵-۵ میکروگرم بر لیتر و ضریب تغییرات آن نیز بالا است.

پس از استاندارد کردن نقشه‌ها با استفاده از توابع فازی، برای تهیه نقشه ارزیابی ریسک، عملگر and و or به‌کار برده شد. عملگر and برای تهیه نقشه‌هایی با حداقل اعتماد استفاده می‌شود یعنی اگر همه رستر‌های ورودی مقدار بالایی داشته باشد، خروجی نیز مقدار بالایی دارد. عملگر or برای تهیه نقشه‌های با حداکثر اعتماد به‌کار می‌رود، به این صورت که اگر حداقل یکی از رستر‌های ورودی مقدار بالایی داشته باشد، خروجی نیز مقدار بالایی دارد.

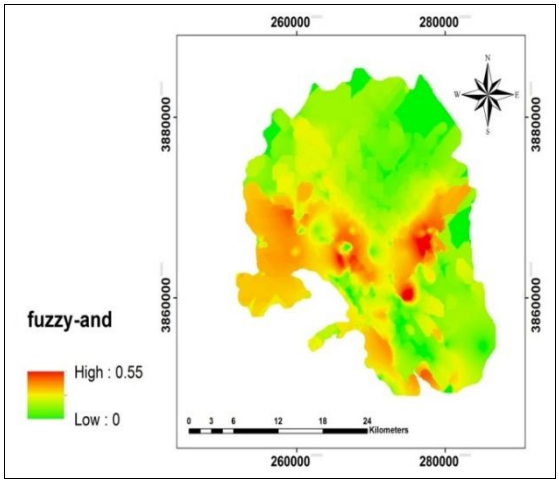
همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در نقشه ارزیابی ریسک با استفاده از عملگر and، دامنه ریسک کم و بین ۰ تا ۰/۵۴ متغیر است. در این نقشه بیشترین میزان ریسک در مناطق مرکزی محدوده مطالعه و همچنین در قسمت غرب شهرستان همدان، قرار دارد. نقشه ارزیابی ریسک آرسنیک با استفاده از عملگر or نیز در شکل ۸ نشان داده شده است. در این نقش دامنه ریسک بین ۱-۰/۲۶ قرار دارد. مناطقی با ریسک آلودگی پایین، عمدتاً در شمال منطقه قرار دارد و با کاربری‌های آیش، شوره‌زار و مراتع شمال دشت همخوانی دارد، همچنین روی هم‌گذاری این نقشه با نقشه‌های توزیع مکانی آرسنیک در خاک و آب زیرزمینی نشان می‌دهد که در نواحی که ریسک آلودگی کمتر است، میزان غلظت آرسنیک در خاک و آب زیرزمینی نیز پایین است. مناطقی نیز که میزان ریسک در آن بالا است، عمدتاً در کاربری کشاورزی قرار دارد و با اراضی گندم همخوانی دارد.

برای سهولت تفسیر نقشه‌های ارزیابی ریسک آلودگی با استفاده از روش فازی و با در نظر گرفتن احتمال ریسک ۰/۵ به‌عنوان حد قابل‌قبول ریسک، نقشه‌های مذکور به سه طبقه شامل طبقه اول: ۰/۵-۰ ریسک آلودگی کم، طبقه دوم: ۰/۷-۰/۵ ریسک آلودگی متوسط و طبقه سوم: ۱-۰/۷ ریسک آلودگی زیاد تقسیم شدند:

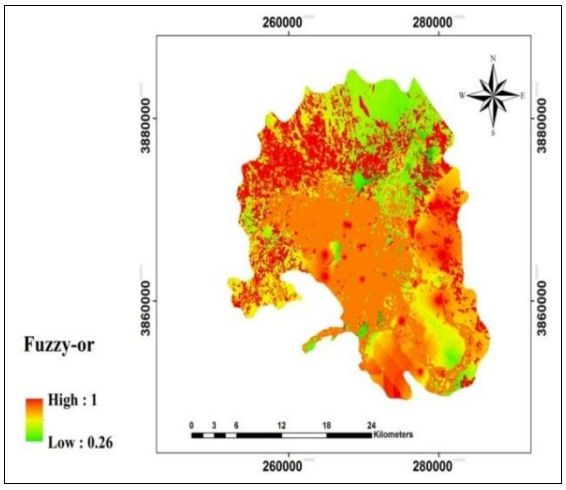
الف) نقشه طبقه‌بندی شده ارزیابی ریسک آلودگی با استفاده از روش فازی عملگر and در شکل ۹ نشان داده شده است. همچنین مساحت هر یک از طبقات و درصد فراوانی آن در جدول ۳ آمده است. همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، در نقشه ریسک آلودگی حاصل از عملگر and، بیش از ۹۹ درصد منطقه مورد مطالعه در دامنه قابل قبول با ریسک آلودگی

www.SID.ir

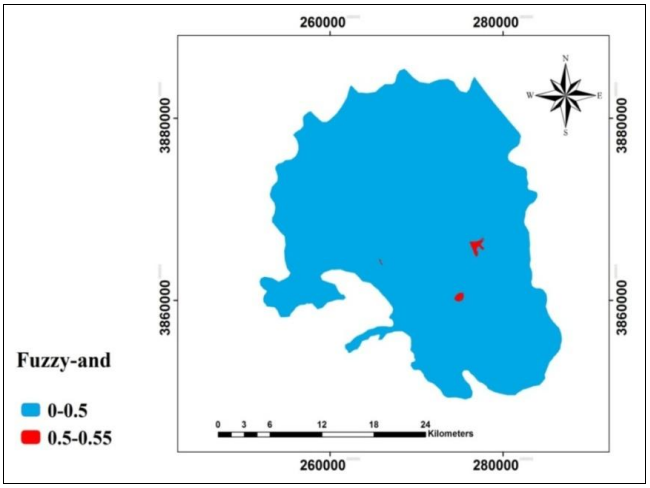
Archive of SID



شکل ۷. نقشه ریسک آلودگی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش فازی، عملگر and



شکل ۸. نقشه ریسک منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش فازی، عملگر or



شکل ۹. نقشه طبقه‌بندی شده ارزیابی ریسک با استفاده از روش فازی عملگر and

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. ارزیابی ریسک با استفاده از روش فازی (عملگر and)

طبقه	دامنه ریسک	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۰–۰/۵	۷۹۲۳۰/۱۱	۹۹/۷
۲	۰/۵–۰/۵۵	۲۲۶/۴۴	۰/۳

پایین (۰/۵–۰) قرار دارد و فقط دو لکه کوچک در نقشه وجود دارد که میزان ریسک آن در محدوده متوسط (۰/۷۵–۰/۵) قرارگرفته است که مساحت آن حدود ۲۶۶ هکتار است. روی هم‌گذاری نقشه ریسک آلودگی با نقشه کاربری منطقه نشان می‌دهد، مناطقی که دارای ریسک آلودگی بالاتر هستند، بیشتر در اطراف شهرستان همدان قرار دارند. این مناطق عمدتاً در کاربری کشاورزی قرار داشته و با اراضی گندم همخوانی دارد. در این قسمت‌ها به‌دلیل مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش‌ها غلظت آرسنیک در منطقه زیادتر بوده و به‌دلیل نوع کاربری که بیشتر شامل اراضی گندم است، احتمال ورود این عنصر به زنجیره غذایی بالا است.

به‌طورکلی نقشه‌های ارزیابی ریسک حاصل از روش فازی با استفاده از عملگر and، به‌دلیل اینکه در تلفیق پارامترها حداقل مقدار ارزش پیکسل در یکی از پارامترها را در نظر می‌گیرد و از سایر ارزش پارامترها در همان پیکسل، صرف نظر می‌کند (۶)، دارای حداقل اعتماد است و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه اول با خطر ریسک پایین قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد بیشتر وسعت منطقه مورد مطالعه از لحاظ تهدید برای سلامت انسان دارای خطر ریسک پایین است.

ب) نقشه طبقه‌بندی شده ارزیابی ریسک با استفاده از روش فازی عملگر or در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۱۰ و جدول ۴ مشاهده می‌شود، در نقشه ارزیابی ریسک آرسنیک با استفاده از عملگر or، حدود پنج درصد از وسعت منطقه در طبقه اول با ریسک آلودگی پایین (۰/۵–۰)، ۱۳/۵ درصد در طبقه دوم با ریسک آلودگی متوسط (۰/۷۵–۰/۵) و حدود ۸۱ درصد از منطقه مورد مطالعه که مساحت آن بالغ بر ۶۷۷۴/۷۵ هکتار است، در طبقه سوم با ریسک آلودگی بالا (۱–۰/۷۵) قرار گرفته است. به‌طورکلی، نقشه ارزیابی ریسک حاصل از روش فازی با عملگر or به‌دلیل اینکه در تلفیق پارامترها، حداکثر مقدار ارزش پیکسل در یکی از پارامترها را در نظر می‌گیرد و از سایر ارزش پارامترها در همان پیکسل صرف نظر می‌کند، دارای حداکثر اعتماد و حداقل ریسک است و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بیشتر سطح منطقه مورد مطالعه در طبقه سوم با خطر ریسک بالا قرار می‌گیرد که نشان می‌دهد، بیشتر وسعت منطقه مورد مطالعه از لحاظ تهدید برای سلامت انسان نسبت به آرسنیک دارای خطر ریسک بالا است.

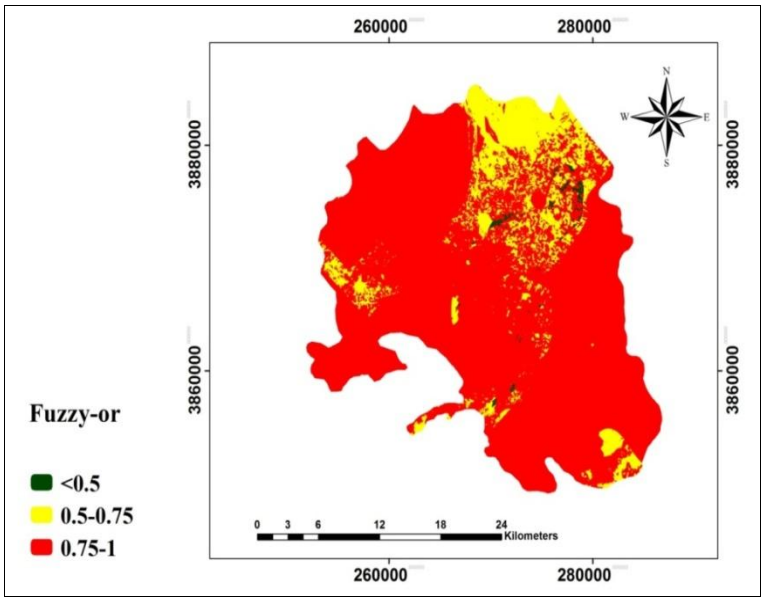
در روش فازی ابتدا متغیر ورودی و خروجی مشخص شده و سپس تعداد و نوع تابع عضویت معرفی می‌شود. روش فازی یکی از کاربردی‌ترین مباحث و مجموعه‌ای از فنون و روش‌های استنتاج شده از ریاضیات است و می‌تواند در بهبود روش‌های مدیریتی، مؤثر واقع شود. عدم اطمینان محیطی و ابهامات بیش از پیش مسائل نیز ضرورت کاربرد منطق فازی را روشن می‌کند، به‌طوری‌که بتوان گزاره‌های زبانی را به زبان ریاضیات ترجمه و اعمال کرد.

در مجموع با مقایسه روش مورد استفاده در این پژوهش با پژوهش‌های پیشین، می‌توان نتیجه گرفت تلفیق روش فازی با روش‌های زمین‌آمار، به‌دلیل درنظر گرفتن هم‌زمان عوامل مختلف تأثیرگذار بر آلودگی، نتایج دقیق‌تری را به‌دست می‌دهد.

کانیانی و همکاران از منطق فازی برای بررسی ریسک آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه باسیلیکاتا در کشور ایتالیا استفاده کردند (۱۶). در این مطالعه روش فازی با سایر روش‌های سنتی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. نقشه ارزیابی ریسک طبقه‌بندی شده آرسنیک با استفاده از روش فازی عملگر or

جدول ۴. ارزیابی ریسک با استفاده از روش فازی (عملگر or)

طبقه	دامنه ریسک	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	۰–۰/۵	۴۳۸/۳۵	۰/۵
۲	۰/۵–۰/۷۵	۱۱۲۷۰/۶۴	۱۴/۱۸
۳	۰/۷۵–۱	۶۷۷۴۷/۵۶	۸۵/۲۶

روش فازی ابزار مفیدی برای بررسی ریسک و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی است (۱۶). نوریان و همکاران نیز پراکنش آلودگی خاک به عناصر سنگین را در استان زنجان با استفاده از زمین‌آمار و خوشه‌بندی فازی، مورد مطالعه قرار دادند (۱۲). تان و همکاران نیز برای ارزیابی وضعیت آلودگی خاک به برخی از فلزات سنگین ازجمله آرسنیک در حومه شهر پکن چین از طبقه‌بندی فازی استفاده کردند و نتایج نشان داد که شدت آلودگی به فلزات سنگین در خاک‌های منطقه بالا است. پیش‌بینی موفقیت‌آمیز آلودگی خاک در این مطالعه، نشان داد که از این تکنیک می‌توان به‌خوبی برای پیش‌بینی آلودگی خاک‌ها استفاده کرد (۲۶). پژوهشگران دیگری نیز با استفاده از منطق فازی، اقدام به پهنه‌بندی و تعیین مناطق‌آلوده کردند و این روش را روش مناسبی برای شناسایی مناطق آلوده و بحرانی دانستند (۲۵).

نتیجه‌گیری

به‌منظور به‌دست آوردن احتمال ورود آرسنیک به زنجیره غذایی و آسیب رساندن به انسان، ارزیابی ریسک آلودگی آرسنیک در بخش مرکزی دشت همدان - بهار که گستره آبخوان این دشت را در بر می‌گیرد، با استفاده از روش فازی (عملگر and و or) انجام گرفت. در روش فازی با عملگر and بیشتر مساحت منطقه مورد مطالعه در طبقه اول با خطر ریسک کم (۰/۵–۰) قرار گرفته است، درحالی‌که در عملگر or بیشتر وسعت منطقه مورد مطالعه در طبقه سوم با ریسک زیاد (۱–۰/۷۵)، قرار گرفته است. بنابراین با مقایسه نقشه طبقه‌بندی شده ارزیابی ریسک با استفاده از عملگر and و or، به این نتیجه می‌رسیم که نتایج حاصل از عملگر or دارای حداکثر اعتماد و عملگر and دارای حداقل اعتماد است. قابل ذکر است، استفاده

www.SID.ir

Archive of SID

از هر کدام از عملگرهای and یا or وابسته به گزینه‌های مدیریتی است که در منطقه مورد نظر اتخاذ می‌شود. باید توجه داشت که استفاده از عملگر or، باعث می‌شود بیشتر منطقه در حالت بحرانی نمایش داده شود. با توجه به شرایط موجود در منطقه (محدوده غلظت عناصر، pH خنثی، کاربری‌های موجود) شاید بتوان گفت عملگر and، نتایج واقعی‌تری را از میزان ریسک آلودگی آرسنیک منطقه نشان دهد.

پیشنهاد می‌شود در مناطقی که مقدار غلظت آرسنیک در خاک و آب زیرزمینی بالا و همچنین مقدار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مانند اسیدیته، درصد مواد آلی و درصد رس خاک پایین است و کاربری کشاورزی منطقه دارای محصولاتی با قابلیت جذب بالای فلزات سنگین است از روش فازی با عملگر or استفاده شود که دارای حداکثر اعتماد و حداقل ریسک است.

قابل ذکر است در این مطالعه، مناطقی که دارای ریسک آلودگی بالایی هستند، در اطراف شهر همدان قرار داشته و ساختار زمین‌شناسی آن شامل سنگ‌های آذرین و دگرگونی است که دارای بیشترین غلظت زمینه آرسنیک است. علاوه بر این، مناطق با ریسک بالا با کاربری‌های کشاورزی به‌خصوص اراضی گندم، مطابقت داشت. در این اراضی به‌دلیل مصرف زیاد کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، احتمال آلودگی آرسنیک و ورود این فلز به زنجیره غذایی بالا است.، بنابراین آلودگی در این مناطق می‌تواند متأثر از زمین‌شناسی منطقه و همچنین نتیجه فعالیت‌های انسانی باشد. از این‌رو، به‌نظر می‌رسد منطقه نیازمند برنامه‌های پایش و مدیریتی بیشتری برای کنترل ورود آرسنیک به زنجیره غذایی است.

منابع مورد استفاده

۱. *استاندارد کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن*. ۱۳۹۱. سازمان محیط زیست ایران.

۲. اصغری مقدم، ا.، ل. جلالی. ۱۳۹۳. بررسی آنومالی آرسنیک و منشأ احتمالی آن در آب زیرزمینی دشت خوی، *مجله علوم زمین* ۲۴(۹۴): ۱۵۴-۱۴۷.

۳. براتی، س. ۱۳۸۹. توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل در خاک سطحی و تجمع آنها در تعدادی از محصولات زراعی استان همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. بوداغی، ه.، م. یونسیان، ا. محوی، م. محمدی، م. دهقانی و ش. نظم‌آرا. ۱۳۹۰. بررسی میزان آرسنیک، کادمیوم و سرب در خاک و آب زیرزمینی و ارتباط آن با کود شیمیایی در خاک شالیزاری، *مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران* ۲۱(۱): ۲۸-۲۰.

۵. خاکپور، ب.، س. حیاتی، م. کاظمی‌بی‌نیاز و غ . ربانی ابوالفضلی. ۱۳۹۱. مقایسه تطبیقی/تحلیلی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: شهر لامرد)، *فصلنامه آمایش محیط* ۲۲: ۳۸-۲۱.

۶. خداکرمی، ل. ۱۳۸۸. ارزیابی منابع آلودگی غیرنقطه‌ای کشاورزی با استفاده از GIS و RS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. طرح اطلس آلاینده‌های خاک استان همدان. ۱۳۸۸. بخش مطالعات پایه، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان. اصفهان، ایران.

۸. ت. عابدی، م. خیرخواه، م. اوجاقی، م. محمدی. ۱۳۹۰. کاربرد ارزیابی چند معیاره مکانی (SMCE) در مکان‌یابی دفن پسماند شهری (مطالعه موردی شهر تبریز)، *فصلنامه علمی محیط زیست* ۵۱: ۳۶-۲۶.

۹. کلانتری، ن.، ز. سجادی، م. مکوندی و م. کشاورز. ۱۳۹۰. خصوصیات شیمیایی خاک و آب زیرزمینی دشت آبرفتی عسلویه، با تأکید بر آلودگی فلزات سنگین، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی* ۴: ۳۴۲-۳۳۳.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰. نبی اللهی، ک.، ا. حیدری، ن. تومانیان و غ. ثوابقی. ۱۳۹۲. ارتباط خصوصیات خاک در سطوح مختلف ژئومورفیک با تغییرات مکانی آرسنیک خاک مطالعه موردی: منطقه بیجار استان کردستان، *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار* ۳(۲): ۲۶-۱.

۱۱. نظری، ی. و ا. عباس‌نژاد. ۱۳۹۳. تعیین منشأ و پراکندگی آرسنیک در آب‌های زیرزمینی دشت راین (جنوب خاور کرمان) با استفاده از تکنیک‌های آماری، *مجله علوم زمین* ۲۴(۹۴): ۱۲۸-۱۱۷.

۱۲. نوریان، م.، م. دلاور، پ. شکاری و س. عبداللهی. ۱۳۹۳، مطالعه پراکنش آلودگی خاک به عناصر سنگین با استفاده از زمین‌آمار و خوشه‌بندی فازی در منطقه دیزج‌آباد استان زنجان، *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک* ۲۱(۱): ۱۴۳-۱۲۵.

13. Akter, A. and M. H. Ali. 2011. Arsenic contamination in groundwater and its proposed remedial Measures, *International Journal of Environmental Science and Technology* 8: 433-443.
14. Appelo, T. 2006. Arsenic in Groundwater -World Problem, Seminar Utrecht 2006, Netherlands National Committee of the IAH.
15. Bissen, M. and F. H. Frimmel. 2003. Arsenic- a review, part I: Occurrence, toxicity, speciation, mobality, *Journal of Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 31(1): 9–18.
16. Caniani, D., D. S. Lioi, I. M. Mancini and S. Masi. 2015. Hierarchical classification of groundwater pollution risk of contaminated sites using fuzzy logic: A case study in the basilicata region (Italy), *Water* 7: 2013-2036.
17. Francisca, F. M. and M. E. Carro. 2009. Assessment of natural in groundwater in Cordoba Province, Argentina, *Environ Geochem Health* 31: 673-682.
18. Garcia, M. G., O. Sracek, D. S. Fernandez and M. Hidalgo. 2007, Factors affecting arsenic concentration in groundwaters from Northwestern Chaco-Pampean Plain, Argentina, *Environmental Geology* 52: 1261-1275.
19. Hakan, A. and N. A. Turan. 2015. Estimation of spatial distribution of heavy metals in groundwater using interpolation methods and multivariate statistical techniques; its suitability for drinking and irrigation, *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 1-13.
20. http://www.hmrw.ir/SC.php?type=static&id=54
21. Liu, X., W. Zhang, Y. Hu, E. Hu, L. Wang and H. Cheng. 2014. Arsenic pollution of agricultural soils by concentrated animal feeding operation (CAFAOs), *Chemosphere* 119: 273-281.
22. Mico C., L. Recatala, M. Peris and J. Sanchez. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65: 863-872.
23. Ross, S. M. 1994. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils, *Journal of Toxic Metals in Soil–Plant Systems* 63-152.
24. Sparks G. L. 2003. Environmental Soil Chemistry. Academic Press, San Diego, California, USA.
25. Sun, X. L., Y.G. Zhao, , Wang, H.L., Yang, L., Qin, C.Z., Zhu, A.X., Zhang, G.L., Pei, T., and Li, B.L. 2012. Sensitivity of digital soil maps based on FCM to the fuzzy exponent and the number of clusters. Geoderma. 171: 24-34.
26. Tan, M. Z., F. M. Xu, J. Chen, X. L. Zhang and J. Z. Chen. 2006. Spatial prediction of heavy metal pollution for soils in peri-urban Beijing, China based on fuzzy set theory. *Pedosphere* 16: 545-554.
27. Toxicological Profile for Arsenic, U.S. 2007. Department of Health and Human Services .Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
28. Ungaro, F., F. Ragazzi, R. Cappellin and P. Giandon. 2008. Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): Mapping the probability of exceeding contamination thresholds, *Journal of Geochemical Exploration* 96: 117 – 131.
29. Weaver, R. W., J. S. Angle and P. S. Bottomley. 1994. Methods of Soil Analysts, Microbiological and Biochemical Properties, Part II, Soil Science of America INC, Wisconsia.
30. Guidelines for Drinking-Water Quality. 1998. World Health Organization (WHO), 2nd. Geneva.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 22, No. 2, Summer 2018, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Arsenic Contamination Risk Assessment in Hamedan Plain-Spring Using the Fuzzy Method

M. Touzandejani*, A. Soffianian and N. Mirghaffari[1]

(Received: January 16-2016 ; Accepted: June 11-2017)

Abstract

Among the heavy metals, arsenic is known as a carcinogen material and its high concentrations in the ecosystem can be a major concern for public health and environment. The aim of this study was to evaluate the risk map of arsenic contamination and the possibility of its entering into the food chain using the fuzzy method in the central part of the Hamedan-Bahar plain. For this purpose, arsenic concentration in 94 points of groundwater and 49 points of surface soil was analyzed and evaluated in the study area. Soil physico-chemical parameters (clay, organic matter and pH), soil and groundwater contamination probability map, and land use map were selected as the input of this method. In the fuzzy method, two operators (and & or) were used. In order to standardize the parameters, the fuzzy linear function was used. Comparing the classified risk assessment using these operators showed that the results of the operator had the maximum trust. So in areas where concentrations of arsenic in soil and groundwater were high, the physico-chemical parameters such as pH, organic matter and clay content of the soil were low and agriculture products had a high ability to absorb heavy metals and ensure its better to use for the operator.

Keywords: Arsenic, Fuzzy method, Hamedan-Bahar plain, Risk

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: m.touzandejani91@gmail.com

www.SID.ir