ارزیابی آلودگی خاکهای منطقه اصفهان با استفاده از تلفیق منطق فازی و تخمین مکانی

منوچهر امینی ، مجید افیونی ، حسین خادمی و نادر فتحیان پور

به ترتیب: دانشجوی دوره دکتری ، دانشیار و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان و استادیار دانشکده معدن دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

آلودگی خاک خطرات روز افزونی برای سلامتی انسانها و محیط زیست دارد. عناصر سنگین از جمله مهمترین آلاینده‌های محیط زیست می باشند که درچند دهه اخیر به شدت مورد توجه محققین قرار گرفته اند. تجمع عناصر سنگین در خاک، به ویژه در زمین‌های کشاورزی، امری تدریجی بوده و غلظت عناصر می تواند به سطوحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه هزاران تن از این عناصر، که ناشی از فعالیتهای شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک ها می‌شوند. به عنوان مثال سالانه بیشتر از ۳۸ هزار تن کادمیم و یک میلیون تن سرب از منابع مختلف وارد خاک می‌شوند(۸). ارزیابی، سیاست گذاری، برنامه ریزی و مدیریت مناسب جهت جلوگیری از آلوده شدن خاک ها، بخصوص زمین‌های کشاورزی، توسط عناصر سنگین و همینطور بهسازی زمین‌های آلوده در مقیاسهای محلی، منطقه‌ای و جهانی منوط به توانائی در تخمین و شناسایی پراکنش مکانی غلظت آلاینده‌ها و پروسه های موثر در ایجاد آلودگیها می‌باشد. پیچیدگی توزیع مکانی، بالا بودن تغییرات، و وجود لکه های آلوده(Hot spot) باعث مشکل شدن تشخیص زمین‌های آلوده میشود (۴). روشهای تخمین مبتنی بر زمین آمار برای میانیابی غلظت عناصر سنگین در مکانهای نمونه برداری نشده بسیار معمول می باشند (۱ ، ۶) .

این روشها ابزاری را برای تخمین غلظت عناصر و همینطور احتمال بالاتر بودن غلظت آنها از حدود مشخصی را در اختیار محققین قرار داده است. علیرغم توانایی های روشهای زمین آماری تخمینهای حاصل از این روشها دارای همراه با عدم قطعییت می باشند. روش دیگری که برای ارزیابی آلودگی خاک میتواند به کار رود تلفیقی از روشهای زمین آماری و منطق فازی می‌باشد(۲، ۴، ۵، ۷). این روش ترکیبی امکان ارزیابی آلودگی چندین عنصر را در یک زمان فراهم می نماید

تفسیر نتایج حاصل از گروه بندی فازی مبتنی بر مقادیر درجه عضویت می‌باشد. هرچه مقدار درجه عضویت برای کلاسی بیشتر باشد تعلق به آن کلاس بیشتر است. نمایش نتایج گروه بندی فازی از اهمیت زیادی در تفسیر این نتایج برخوردار می‌باشد. معمول ترین روش نمایش کلاسهای با درجه عضویت زیادتر می‌باشد(۴، ۷). نمایش کلاسها بصورت جداگانه روشی دیگر برای نمایش نتایج گروه بندی پیوسته است. در این روش پیوستگی کلاسها حفظ میشود لیکن امکان نمایش کلاسها بصورت همزمان وجود ندارد. روش اختلاط رنگها(Color mixture) روش پیشرفته‌ای است که برای نمایش نتایج حاصل از گروه بندی فازی مورد استفاده قرار میگیرد. در این روش علاوه بر حفظ پیوستگی کلاسها امکان نمایش آنها بطور همزمان نیز وجود دارد لیکن تفسیر نتایج و تعریف راهنمای نقشه حاصل بسیار مشکل می‌باشد. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی آلودگی خاکهای منطقه اصفهان به سرب، کادمیوم، روی، کبالت و مس صورت گرفته و در آن روش تلفیقی مذکور مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر آن در این مطاله روش شاخص پیوسته رنگ، که تلفیقی از روش اختلاط رنگ و ترکیب نقشه‌ها برای نمایش نتایج حاصل از گروه بندی فازی ارائه شده است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه تقریباً ۷۵۰۰ کیلومتر مربع از زمین‌های اطراف شهر اصفهان و در حاشیه رودخانه زاینده رود را شامل می شود(عرض جغرافیایی " ۳۰ ، ' ۳۱ ، ° ۳۲ و " ۴۸ ، ' ۵۹ ، ° ۳۲ عرض شمالی و طولهای ' ۱۵ ، ° ۵۱ و " ۴۲ ، ' ۴۱ ، ° ۵۲ طول شرقی). حدود ۲۵۵ نمونه مخلوط از خاک سطحی (۰- ۲۵ سانتیمتر) در محل گره‌های یک شبکه نسبتاً منظم برداشت گردید. در هر نقطه ۵ نمونه خاک با فاصله حدود ۱۰ متر برداشت و مخلوط شده و یک نمونه از مخلوط حاصله برداشته شد.

فاصله نمونه برداری بین ۲ تا ۵ کیلومتر بسته به محدودیتهای جغرافیایی و یا موانع موجود مانند کارخانجات و مناطق نظامی متفاوت بود. منطقه مورد مطالعه کاربریهای مختلفی مانند کشاورزی، صنعتی، شهری و بایر را در بر میگیرد. غلظت کل عناصر سرب، کادمیوم، روی، کبالت و مس در نمونه ها توسط اسید نیتریک غلیظ عصاره گیری و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردیدند.

در این مطالعه از تلفیق الگوریتم گروه بندی فازی و کریجینک معمولی برای تخمین غلظت عناصر در نقاط نمونه برداری نشده استفاده شده است. برای نمایش نتایج حاصل دو روش نقشه های جداگانه کلاسها و روش شاخص پیوسته رنگ مورد استفاده قرار گرفت که به دلیل طولانی بودن از تشریح جزئیات آن خودداری میشود.

نتایج و بحث

خلاصه ای از ویژگیهای آماری عناصر اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه و آستانه های آلودگی مورد استفاده در کشور سوئیس (FEOFL, 1988) در جدول زیر گنجانده شده است.

همانگونه که ملاحظه میشود میانگین غلظت کادمیوم در منطقه مورد مطالعه از حد مجاز برای خاکهای غیرآلوده بالاتر می‌باشد که بیانگر وقوع آلودگی توسط این عنصر در برخی از مناطق می‌باشد. حد اکثر غلظت سرب نیز از آستانه مورد نظر بالاتر می‌باشد ولی در مورد سایر عناصر اندازه گیری شده آلودگی وجود ندارد. انحراف استاندارد عناصر حدود $\frac{1}{3}$ مقادیر میانگین می‌باشد که نشانگر توزیع متقارن عناصر بجز روی می‌باشد.

جدول ۱ - خلاصه اماری عناصر سنگین اندازه گیری شده (تمام مقادیر بر حسب $mg\ kg^{-1}$).

متغیر	تعداد	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	آستانه
سرب	۲۵۵	۳/۴	۲۵/۶	۶۳	۸/۹۷	۳۵/۱	۵۰
کادمیوم	۲۵۵	۰/۲	۱/۷۳	۵	۰/۵۶	۳۲/۳	۰/۸
روی	۲۵۵	۱/۵	۴/۵۸	۳۲	۲/۲۷	۴۹	۲۰۰
مس	۲۵۵	۲/۷	۱۶/۷۴	۳۳	۵/۱۶	۳۰/۸	۵۰
کبالت	۲۵۵	۱/۴	۱۱/۸۱	۲۱	۲/۴۶	۲۰/۸	۲۵

گروه بندی فازی در مورد عناصر با استفاده از الگوریتم FCM ابتدا با استفاده از تمامی متغییرها صورت گرفت لیکن بدلیل ناهماهنگی بین مراکز کلاسهای محاسبه شده در بین متغیرها، عناصر سرب و کادمیوم تحت یک فایل و سایر عناصر نیز تحت فایل دیگری بصورت جداگانه گروه بندی شدند. در گروه بندی فازی برای عناصر تعداد کلاسها و درجه فازی بودن به ترتیب ۴ و ۱/۳ برای سرب و کادمیوم و ۴ و ۱/۴ برای سایر عناصر با توجه به محاسبات صورت گرفته انتخاب گردید. مراکز کلاسهای حاصل از گروه بندی فازی در جدول زیر خلاصه شده است.

جدول ۲ مراکز کلاسها برای دو فایل حاوی غلظت عناصر.

متغیرها	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
سرب	۱۶/۲۴	۲۳/۵۸	۳۴/۵۶	۵۹/۷
کادمیوم	۱/۰۴۶	۱/۷۶	۲/۱۳	۴
روی	۳/۱۹	۳/۸۶	۴/۸	۶/۰۹
مس	۹/۰۸	۱۳/۹	۱۷/۹۴	۲۵/۱۷
کبالت	۶/۳۸	۱۱	۱۲/۹۵	۱۳/۹۷

پس از گروه بندی فازی مقادیر درجه عضویت برای کلاسها به کمک کریجینگ معمولی و با استفاده از واریوگرامهای محاسبه و مدلسازی شده میانیابی شدند. واریوگرامهای محاسبه شده عمدتا از مدل کروی و نمائی تبعیت مینمودند. پس از میانیابی نقشه کلاسها بصورت جداگانه و ترکیبی تهیه شد(که در مقاله اصلی ارائه خواهند شد) . نتایج بیانگر بروز آلودگی شدید در مرکز و اطراف شهر اصفهان توسط سرب و کادمیوم بود. استفاده از سوختهای حاوی سرب و کار برد کمپوست در پارکها و فضای سبز اصفهان میتواند بعنوان مهمترین عوامل آلودگی سرب و کادمیوم تلقی شوند. خاکهای منطقه شرق و جنوب شرقی منطقه مطالعاتی بیشتر به کلاسهای ۱ و ۲ که بیانگر خاکهای غیر آلوده می باشند در حالیکه خاکهای ناحیه غربی و مرکزی منطقه مورد مطالعه تعلق بیشتری به کلاسهای ۳ و ۴ که خاکهای در معرض آلودگی و آلوده می باشند. افزایش غلظت این عناصر در مناطق مذکور ناشی از فعالیتهای شهری و صنعتی است که بیشتر در این ناحیه متمرکز می باشند. در مورد عناصر روی، مس و کبالت هرچند آلودگی در منطقه مطالعاتی مشاهده نمی شود لیکن یک ناحیه در منطقه شمالی مطقه مورد مطالعه و در اطراف تصفیه خانه فاضلاب شمال شهر اصفهان مشاهده میشود که تعلق بیشتری به کلاس ۴ دارد. استفاده از لجن فاضلاب توسط کشاورزان در این ناحیه باعث شده است که غلظت این عناصر بطور چشمگیری افزایش یابد. هر چند در حال حاضر آلودگی ناشی از روی، مس و کبالت وجود ندارد ولی استمرار مدیریت موجود میتواند در آینده موجب آلودگی این عناصر گردد. علاوه بر این بخش عمده‌ای از زمین‌های منطقه مورد مطالعه بخصوص در بخش مرکزی و غربی تعلق بیشتری به کلاس ۳ نشان میدهند که بیانگر افزایش غلظت این عناصر در ناحیه مذکور می‌باشد. فعالیتهای کشاورزی شامل استفاده از کودهای شیمیایی، آلی و سموم کشاورزی از یک سو و نهشت های اتمسفری از سوی دیگر میتواند بعنوان عوامل افزایش غلظت در نظر گرفته شوند.

منابع مورد استفاده

1- Atteia, O., Dubois, J. P., and Webster, R., 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura, Environ. Pollu. 86, 315-327.
2- De Grijter, J. J., Walvoort, D. J. J., and Van Gaans, P. F. M., 1997. Continuous soil map-a fuzzy approach to bridge the gap between aggregation levels of process and distribution *models*, *Geoderma*, 77, 169-195.
3- FOEFL (Swiss Federal Office of Environment, Forest and Landscape), 1987. Commentary on the ordinance relating to pollutants in soil (VSBo of June 9, 1986). FOEFL, Bern.
4- Hendrick Franssen, H. J. W. M., Van Eijnsbergen, A. C., and Stein, A., 1997. Use of spatial prediction techniques and fuzzy classification for mapping soil pollutants, Geoderma, 77, 243-262.
5- Mc Bratnay, A. B., and De Grijter, J. J., 1992. A continum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades, J. Soil Sci. 43, 159-17.
6- Meuli, R., Schulin, R., and Webster, R., 1998. Experience with the replication of regional survey of soil pollution. Environ. Pollu. 101, 311-320.
7- Odeh, I. O. A., Mc Bratnay, A. B., and Chittleborough, D. J., 1992. Soil pattern recognition with fuzzy C- means: application to classification and soil landform interrelationhips, Soil Sci. Soc. Am. J. 56, 505-516.
8- Tiller, K. G., Mc Laughlin, M. J., and Roberts, A. H. C., 1999. Environmental impacts of heavy metals in Agoecosystems and amelioration strategies in Oceania, In Huang, P. M., and Iskander, I. K., Soils and goundwater pollution and remadiation, Lewis, USA.