تعیین شاخص‌های کیفیت خاک به منظور ارزیابی کمی آلودگی عناصر سنگین و کیفیت زیستی خاک

سیما چهاردولی، محمد صادق عسکری، پریسا علمداری
به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیاران گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
Email: a.chahardoli94@gmail.com

چکیده

هدف از این مطالعه ایجاد شاخص‌های کیفیت خاک به منظور ارزیابی کمی آلودگی فلزات سنگین در اراضی مرکزی استان زنجان می باشد. ۲۴۱ نمونه (از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) به روش شبکه‌بندی جمع‌آوری شد. فلزات سنگین شامل نیکل، کروم، سرب، روی، مس، آهن، کبالت، منگنز و کادمیم محاسبه گردید و از روش تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی(PCA) برای تعیین حداقل ویژگی‌های مؤثر بر ارزیابی آلودگی خاک استفاده شد. ۸ شاخص آلودگی با استفاده از توابع نمره‌دهی خطی و غیرخطی تعیین شد و جهت اعتبارسنجی شاخص‌ها، آلودگی خاک، منطقه مورد مطالعه به سه کلاس "آلودگی کم"، "آلودگی متوسط" و "آلودگی زیاد" با استفاده از روش‌های آماری، تقسیم شد. از هر کلاس نمونه‌های خاک به منظور بررسی تاثیر آلودگی بر فعالیت‌های بیولوژیکی خاک تهیه گردید. شاخص‌های آلودگی تفاوت معنی‌داری بین کلاس‌های آلودگی خاک در منطقه مورد مطالعه داشتند و نتایج تاثیر آلودگی خاک بر کیفیت زیستی خاک در استان زنجان را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های آلودگی، کیفیت خاک، فلزات سنگین

مقدمه

افزایش فعالیت‌های صنعتی توام با تولید آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین یکی از مشکلات جدی و در حال گسترش پیش‌روی انسان عصر حاضر است (Wang, 2013). آلودگی‌های زیست‌محیطی از مهم‌ترین عوامل موثر در تخریب و تنزل کیفیت بیوسفر و اجزای آن محسوب می‌شوند و در این میان فلزات سنگین از نقطه نظرهای بیولوژیکی، اکولوژیکی و سلامتی بشر حائز اهمیت هستند (Adriano, 2001). عناصر سنگین گروهی از فلزات و شبه فلزات هستند که وزن اتمی آن‌ها از ۶۳/۵ تا ۲۰۰/۶ متغیر بوده و دارای چگالی ویژه بزرگ‌تر از پنج هستند (Srivastava and Majumder, 2008). دو منبع برای آلودگی فلزات سنگین در خاک وجود دارد: منابع طبیعی (لیتوژنیک) و منابع غیرطبیعی (آنتروپوژنیک یا انسانی).

منابع طبیعی آلودگی خاک، شامل ورود فلزات سنگین از طریق فرسایش و هوازدگی مواد مادری خاک بوده و منابع غیرطبیعی این فلزات را می‌توان متاثر از فعالیت‌های انسان از جمله معدنکاوی، استخراج و ذوب فلزات، سوزاندن سوخت‌های فسیلی، حمل‌ونقل جاده‌ای، دفع زباله و سوزاندن پسماندها و به‌ویژه استفاده از کودها و مواد شیمیایی در کشاورزی دانست (Hansen "et al.," 2002; Hutton and de Meeûs, 2001; Yalcin "et al.," 2007). آلودگی فلزات سنگین علاوه بر اینکه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت زیستی و کاهش دستیابی زیستی مواد مغذی خاک تاثیر می‌گذارند، هم‌چنین خطر جدی برای سلامتی انسان از طریق ورود در زنجیره‌ی غذایی محسوب می‌شوند و باعث کاهش امنیت زیست‌محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی نیز می‌شوند (Boisson "et al.," 1999).

کیفیت خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تاثیرگذار بر تولید گیاهان و کشاورزی پایدار می‌باشد. کیفیت مطلوب خاک نه تنها در تولید و عملکرد خوب گیاهان، بلکه در حفظ کیفیت محیط‌زیست و سلامت گیاه، حیوان و انسان نقش اساسی دارد (Lal "et al.," 1999). کیفیت خاک معمولا از سه جنبه فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی موردتوجه قرار می‌گیرد و برای ارزیابی میزان تخریب اراضی یا اصلاح و تعیین نوع فعالیت‌های مدیریتی برای کاربری پایدار مهم است (Dexter, 2004). کیفیت خاک عبارت از توانایی پایدار یک خاک برای انجام وظایف خود به عنوان یک سیستم زنده داخل اکوسیستم خاک و کاربری‌های متفاوت است به طوری که خاک علاوه بر حفظ یک مجموعه ویژگی‌های زیست محیطی ضروری از جمله حاصلخیزی و بیولوژیکی، بتواند کیفیت آب و هوا را بهبود بخشد و تامین‌کننده سلامت انسان، حیوان و گیاه باشد (Karlen "et al.," 2003).

چون کیفیت خاک را نمی‌توان مستقیما اندازه‌گیری کرد، باید از شناسه‌های کیفیت استفاده نمود. شناسه‌های کیفیت ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک هستند که ظرفیت خاک برای تولید محصول و عملکرد زیست‌محیطی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و به تغییر کاربری اراضی، مدیریت و عملیات حفاظتی حساس می‌باشند (Bredja "et al.," 2000). محاسبه شاخص کیفیت آلودگی خاک یکی از روش‌های کمی در ارزیابی تاثیر منابع آلوده‌کنند بر کیفیت خاک است که معمولا از حاصل جمع مقادیر موثر بر شرایط خاک و با توجه به وزن اختصاص یافته به هر ویژگی به دست می‌آید (Qi "et al.," 2009). از این رو به دست آوردن روش‌ها و شاخص‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک به علت تاثیر مهم آن بر نتیجه‌گیری و قضاوت نهایی در مورد وضعیت کیفیت و مدیریت خاک، از جمله مهم‌ترین مسائل موردتوجه است (Ditzler and Tugel, 2002). در بین روش‌های کمی ارزیابی کیفیت خاک، تعیین شاخص یکی از متداول‌ترین روش‌ها است، که برتری آن قابلیت استفاده آسان، انعطاف‌پذیری و کمی بودن است (Wang and Gong, 1998). این مطالعه به منظور ایجاد شاخص‌های آلودگی خاک به عناصر سنگین جهت ارزیابی شرایط زیستی و کیفیت خاک در استان زنجان صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این مطالعه در قسمتی از اراضی مرکزی استان زنجان انجام شد. منطقه مطالعاتی دارای اهمیت فوق‌العاده از لحاظ تولیدات کشاورزی و جمعیت می‌باشد و با مساحتی بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومتر مربع، بین مدارهای ´41 °36 تا ´20 °36 عرض شمالی و °48 ´19 تا ´53 °48 طول شرقی قرار گرفته است. میانگین ارتفاع استان زنجان بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالانه ۳۳۰ تا ۳۶۰ میلیمتر است (www. Ostandari- zn. ir).

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری بر اساس روش شبکه‌بندی به صورت کاملا تصادفی صورت گرفته است. در کل تعداد ۲۴۱ نقطه کار نمونه‌برداری سطحی از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر انجام شد و تجزیه‌های آزمایشگاهی صورت گرفت. هضم خاک با استفاده از اسید نیتریک ۵ نرمال (اسپوزیتو "و همکاران" ۱۹۸۲) انجام گرفت. غلظت کل عناصر Pb ، Zn، Ni، Mn، Cu، Cr، Fe و Co توسط دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer: AA 200 و غلظت کادمیم کل با دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی مدل Rayleigh: WF-1 E تعیین شد.

ایجاد شاخص کیفیت خاک به منظور ارزیابی عناصر سنگین در خاک

۱-تعیین حداقل داده‌های ضروری برای ارزیابی کیفیت خاک

در این مرحله حداقل داده‌های مورد نیاز[1](MDS) برای ارزیابی کیفیت آلودگی خاک تعیین شد. از روش تجزیه‌ی مؤلفه‌های اصلی[2](PCA) برای تعیین حداقل ویژگی‌های مؤثر استفاده شد. در این روش بر اساس متغیرهای وابسته و مرتبط (شناسه‌های کیفیت خاک)، مؤلفه‌های غیروابسته تعریف می‌شوند و با تفسیر همبستگی بین شناسه‌ها، داده‌های مورد نیاز شناسایی می‌شوند (Wackernagel, 1995). در این مرحله ۶ عنصرکروم، روی، سرب، مس، منگنز و آهن به عنوان حداقل داده شناسایی شد.

۲- تهیه‌ی شاخص‌های کیفیت خاک

[1] Minimum data set

[2] Principal components analysis

پس از شناسایی حداقل ویژگی‌های مؤثر (MDS)، نرمال کردن خصوصیات انتخاب شده با استفاده از توابع امتیازدهی خطی (Sharma "et al.," 2005) و غیرخطی (D'Hose "et al.," 2014) انجام شد. در مرحله بعد امتیازات هر شناسه با استفاده از روش‌های ساده و وزنی ترکیب و شاخص کیفیت خاک تعیین شد (Askari and Holden., 2015). نهایتا هشت شاخص کیفیت آلودگی خاک با استفاده از دو نمودار نمره‌دهی خطی و غیرخطی و روش‌های ترکیبی تجمعی[1] و تجمعی-وزن‌دهی[2] و با استفاده از کل داده‌ها و حداقل داده‌های مورد موثر تهیه و در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

اعتبارسنجی شاخص‌ها

به منظور اعتبارسنجی شاخص‌های تولید شده، منطقه مورد مطالعه براساس کل خصوصیات اندازه‌گیری شده به سه کلاس آلودگی کم، متوسط و زیاد تقسیم شد. کلاس‌های آلودگی با استفاده از روش‌های آماری و ماتریس‌های چند بعدی تعیین شد (Askari and Holden 2014). از هرکلاس نمونه‌برداری مجدد صورت گرفته و با بررسی و اندازه گیری خصوصیات بیولوژیکی خاک، اعتبار سنجی شاخص‌های آلودگی صورت خواهد گرفت.

نتایج و بحث

شاخص‌های تعیین شده به خوبی توانستند آلودگی خاک در منطقه مورد مطالعه را نشان دهند و همبستگی خوبی بین کلاس‌ها آلودگی تعیین شده و شاخص‌ها بدست آمد. نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) در جدول ۱ خلاصه شده است. این نتایج نشان داد که هر هشت شاخص ایجاد شده با استفاده از نمودارهای خطی و غیرخطی و روش‌های تجمعی ساده و وزنی برای هر دو دسته از داده‌ها (TDSو MDS) به احتمال ۹۹٪ دارای تفاوت معنی‌دار بین کلاس‌های آلودگی خاک هستند.

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس شاخص‌های خاک بین کلاس‌های آلودگی در منطقه

شاخص‌ها	نتایج آنالیز واریانس	
	F	p-Value
SQI-TDS-NL-A	۵۶۹,۴۹۴	۰,۰۰۰
SQI-TDS-L-A	۶۰۰,۶۶۷	۰,۰۰۰
SQI-TDS-NL-W	۵۷۰,۶۱۰	۰,۰۰۰
SQI-TDS-L-W	۵۷۹,۲۲۴	۰,۰۰۰
SQI-MDS-NL-A	۵۵۳,۷۷۶	۰,۰۰۰
SQI-MDS-L-A	۵۵۳,۶۰۷	۰,۰۰۰
SQI-MDS-NL-W	۷۱۲,۰۸۲	۰,۰۰۰
SQI-MDS-L-W	۶۴۳,۷۶۹	۰,۰۰۰

مقایسه میانگین‌ها (با استفاده از روش LSD[3]) بین هر سه کلاس آلودگی کم، متوسط و زیاد را برای هر هشت شاخص‌های خطی، غیرخطی، ساده و وزنی برای هر دو دسته داده‌ها (TDS و MDS) با احتمال ۹۹٪ نشان داد .

شاخص‌های ایجاد شده با استفاده از روش‌های غیرخطی، واریانس و میانگین کمتری را نسبت به شاخص‌های خطی نشان دادند، به نظر می‌رسد که شاخص‌های غیرخطی بهتر توانسته‌اند کیفیت خاک در ارتباط با آلودگی عناصر سنگین را مدل کنند. مطالعات قبلی انجام شده در ارتباط با شاخص‌های کیفیت و بیولوژیکی خاک نیز بر برتری روش‌های غیرخطی نسبت به

[1] Additive

[2] Weighted additive

[3] Least significant differences

روش‌های خطی تاکید کرده‌اند (Sinha et al.," 2009; Zhang "et al.," 2011; Bastida "et al.," 2006). ارزیابی کامل شاخص‌های ایجاد شده و انتخاب بهترین روش برای تعیین شاخص آلودگی خاک به عناصر سنگین با استفاده از پارامترهای بیولوژیکی اندازه‌گیری شده، صورت می‌گیرد.

معادلات و آنالیزهای استفاده شده در این پژوهش یک روش دقیق را به منظور ارزیابی کمی تاثیر منابع آلودگی عناصر سنگین بر کیفیت بیولوژیکی خاک در اختیار محققین و کاربران اراضی قرار می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک روش کاربردی و قابل اعتماد برای ارزیابی کیفیت آلودگی خاک به عناصر سنگین در استان زنجان مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

Adriano D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments. 2nd ed, Springer, New York.

Askari M.S. and Holden N.M. 2014. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. Geoderma, vol.230–231, pp.131–142.

Askari M.S. and Holden N.M. 2015. Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. Soil and Tillage Research, 150: 57-67.

Bastida F., Luis Moreno J., Teresa H. and García C. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. Soil Biology and Biochemistry, 38(12): 3463-3473.

Boisson J., Ruttens A., Mench M. and Vangronsveld J. 1999. Evaluation of hydroxyapatite as a metal immobilizing soil additive for the remediation of polluted soils. Part 1. Influence of hydroxyapatite on metal exchange ability in soil, plant growth and plant metal accumulation. Environmental Pollution, 104: 225–233.

Bredja J.J., Moorman T.B., Karlen D.L. and Dao T.H. 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plains. Soil Science Society of America Journal, 64:2115 2124.

Dexter A.R. 2004. Soil physical quality. Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120:201-214.

D'Hose T., Cougnon M., De Vliegher A., Vandecasteele B., Viaene N., Cornelis W., Van Bockstaele E. and Reheul D. 2014. The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. Applied Soil Ecology, 75: 189–198.

Ditzler C.A. and Tugel A.J. 2002. Soil quality field tools of USDANRCS soil quality institute. Agronomy , 94: 33–38.

Hansen E., Lassen C., Stuer-Lauridsen F. and Kjølholt F. 2002. Heavy Metals in Waste. European Commission DGENV. E3, Project ENV.E.3, ETU/200/0058, Final Report.

Hutton M., de Meeûs C. 2001. Analysis and conclusions from Member States' Assessment of the risk to health and the environment from cadmium in fertilisers. Final report European Commission-Enterprise DG, Environmental Resource Management.

Karlen D.L., Ditzier C.A. and Andrews S.S. 2003. Soil quality: why and how? Geoderma, 114: 145-156.

Lal R., Mokma D. and Lowery B. 1999. Relation between soil quality and erosion, In: Lal, R.,(eds.). Soil Quality and Soil Erosion, 39-56, Soil and Water Conservation Society and CRC Press, Boca Raton.

Qi Y., Jeremy L.D., Huang B., Zhao Y., Sun W. and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149:325-334.

Sharma K.L., Mandal U.K., Srinivas K., Vittal K.P.R., Mandal B. M., Grace J. K. and Ramesh V. 2005. Long-term soil management effects on crop yields and soilquality in a dryland Alfisol. Soil and Tillage Research, 83: 246–259.

Sinha S., Masto R.E., Ram L.C., Selvi V.A., Srivastava N.K., Tripathi R.C. and George J. 2009. Rhizosphere soil microbial index of tree species in a coal mining ecosystem. Soil Biology and Biochemistry , 41(9): 1824-1832.

Sposito G., Lund L.J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in aird-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260-264.

Srivastava N.K. and Majumder C.B. 2008. Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater. Journal of Hazardous Materials, 151: 1-8.

Wackernagel H. 1995. Principal component analysis. In multivariate geostatistics: Springer Berlin Heidelberg, pp. 115-122.

Wang X.J. and Gong Z.T. 1998. Assessment and analysis of soil quality changes after eleven years of reclamation in subtropical China. Geoderma, 81: 339–355.

Wang X. 2013. Characteristic and Environmental Risk Assessment of Heavy Metals in Farmland Soil of Based on Speciation Analysis. Informatics and Management Science I, Lecture Notes in Electrical Engineering 204, pp.213-220.

Yalcin M.G., Battaloglu R. and Ilhan S. 2007. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood , Kayseri, Turkey. Environmental geology , 53:399-415.

Zhang C., Xue S., Liu G. B. and Song Z. L. 2011. A comparison of soil qualities of different revegetation types in the Loess Plateau, China. Chinese plant and Soil science, 347(1-2): 163-178.

Soil quality indexing for quantitative evaluation of heavy metals contamination and soil biological quality

[*1]S. Chahardoli, [2] M. Sadegh Askari, [3]P. Alamdari
M.Sc Student and Assistant Professors respectively, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran
*Corresponding Auther, Email: a.chahardoli94@gmail.com

ABESTRACT

The objective of this study was to develop soil quality indices for quantitative evaluation of heavy metal contamination in central parts of Zanjan province. 241 samples (from 0-10 cm depth) were collected in a grid. Heavy metals including Ni, Cr, Pb, Zn, Cu, Fe, Co, Mn and Cd, were determined and Principal component analysis (PCA) was used to identify a minimum data set for assessing soil contamination. Eight soil indices were determined using linear and nonlinear equations and to validate developed indices, the study area was categorized into three soil contamination levels, "low pollution", "moderate pollution" and "high pollution", using statistical methods. In order to assess the impact of heavy metals pollution on soil biological activities, new soil sampling was performed at each contamination class. Developed indices were significantly different among contamination classes and results indicated the impact of heavy metal pollution on soil biological quality in Zanjan province.

Keywords: contamination indices, Soil quality, heavy metals