پژوهش‌های محیط‌زیست، سال 4، شماره 7، بهار و تابستان 1392، از صفحه 35 تا 44

پیش‌بینی توزیع مکانی کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در خاک سطحی استان گلستان

روح اله میرزایی*[1]، عباس اسماعیلی ساری*[2]، هادی قربانی[3]، ناصر حافظی مقدس[4]، محمودرضا همامی[5]، حمیدرضا رضایی[6]

1 دانشجوی دکتری، دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
2 استاد دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
3 استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
4 دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود
5 استادیار دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
6 استادیار دانشکده منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: 1390/11/15؛ تاریخ تصویب: 1392/3/27)

چکیده

آلودگی فلزات سنگین یک پدیده جهانی بوده و هست. وجود فلزات سنگین در خاک بر کیفیت محیط‌زیستی و غذایی مؤثر می‌باشند و ممکن است سلامت بشر را تهدید کنند. از آنجایی‌که در ارتباط با وضعیت پراکنش عناصر سنگین در خاک‌های استان گلستان اطلاعاتی وجود ندارد، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین در خاک سطحی گلستان صورت گرفت. طی مطالعه میدانی 216 نمونه خاک سطحی (0- 30 سانتیمتر) از تمام سطح استان گلستان به‌صورت تصادفی جمع‌آوری و غلظت فلزات سنگین کل توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. درون‌یابی به روش کریجینگ معمولی برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی مدل‌های درون‌یابی کریجینگ معمولی (دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی)، روش ارزیابی متقابل با برآورد خطا مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که غلظت میانگین کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در خاک استان گلستان به ترتیب 0/12، 9/1، 59/6 و 24/42 میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد که در حال حاضر برای فلزات سنگین مذکور در استان گلستان آلودگی خاک جدی نیست. نتایج تحلیل زمین آماری بیانگر آن است که مدل نمایی، دایره‌ای، نمایی و گوسی به ترتیب بهترین مدل برای تعیین تغییرپذیری مکانی کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس می‌باشد. نتایج نشان داد که به طورکلی بر طبق استانداردهای مختلف، خاک استان گلستان عاری از آلودگی است.

کلیدواژه‌ها: فلزات سنگین، خاک سطحی، کریجینگ معمولی، توزیع مکانی، استان گلستان

* نویسنده مسئول
Email: rmirzaei@kashanu.ac.ir

سرآغاز

آلودگی اکوسیستم‌های خاکی به فلزات سنگین به‌عنوان مبحث محیط‌زیستی جهانی در نظر گرفته می‌شود. فلزات سنگین هم دارای منشاء طبیعی مانند هوازدگی، فرسایش صخره‌های مادری و ذخیره‌های سنگ معدنی و هم منشاء انسانی مانند معدن‌کاری، ذوب‌کاری، انرژی، آبکاری، تولید سوخت، انتقال انرژی، کشاورزی متراکم، آبیاری با فاضلاب، انباشتن لجن و گرد و غبار می‌باشند (Sollitto et al., 2010; Zhao et al., 2010; Muhammad et al., 2011). به خوبی مشخص است که آلودگی فلزات سنگین به‌صورت مستقیم ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند، فعالیت زیستی خاک و مواد غذایی در دسترس خاک را کاهش می‌دهند و تهدیدات مهمی را نیز برای سلامتی انسان با ورود به شبکه‌های غذایی و برای سلامت محیط‌زیست با ورود به آب‌های زیرزمینی فراهم می‌کنند (Shen & Chen, 2000). بنابراین، لازم است تا وضعیت آلودگی فلزات سنگین در خاک بررسی شود و اثر محیط‌زیستی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. اغلب مطالعات مربوط به آلودگی فلزات سنگین مانند ارزیابی اثر محیط‌زیستی آلودگی فلزات سنگین با تعیین توزیع مکانی آن شروع می‌شود (Cattle et al., 2002). به طورکلی، غلظت فلزات سنگین ممکن است الگوی مکانی پیچیده‌ای را از خود نشان دهد. بنابراین، به‌دست آوردن توزیع مکانی صحیح فلزات سنگین بسیار سخت است. صحت نقشه‌های توزیع مکانی فلزات سنگین برای کنترل خطر ضروری و مهم می‌باشد (Xie et al., 2011). محدودیت‌های بسیاری در روش ارزیابی کلاسیک وجود دارد و این روش‌ها ممکن است منجر به خطا یا عدم قطعیت در ارزیابی آلودگی شود. بنابراین، لازم است تا توزیع مکانی فلزات سنگین به درستی با تعداد نمونه‌های محدود در منطقه مورد مطالعه مشخص شود. زمین آمار[1] ابزار درون‌یابی قدرتمندی در این زمینه است که عدم قطعیت و هزینه‌های بررسی را کاهش می‌دهد (Ferguson et al., 1998). زمین آمار اخیراً به طور چشمگیری در بررسی و تعیین توزیع مکانی آلودگی خاک مورد استفاده قرار گرفته است (Romic & Romic, 2003; McGraph et al., 2004).

با وجود اهمیت عناصر سنگین، در بسیاری از استان‌های کشور، تحقیقاتی که بتواند مقدار پراکنش آلودگی را به‌صورت نقشه‌های کاربردی ارایه کند، بسیار محدود انجام گرفته است. از مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعات (بقایی، 1382؛ شیرانی، 1386، موحدی‌راد، 1386؛ متکان و همکاران، 1387؛ تقی‌پور و همکاران، 1388 و صدر و همکاران، 1388)، اشاره کرد که معمولاً چنین مطالعاتی در سطح بسیار کوچک انجام شده‌اند. بنابراین، فقدان مطالعاتی که بتواند الگوی مکانی آلودگی خاک را در مقیاس وسیعی مانند استان نشان دهد، به چشم می‌خورد. در استان گلستان، هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد پراکنش مکانی فلزات سنگین در خاک در سطح کل استان وجود ندارد. بنابراین، به دلیل اهمیت این استان از نظر تمرکز فعالیت‌های کشاورزی، تعیین آلودگی خاک‌های سطحی این منطقه به فلزات سنگین بسیار حایز اهمیت است. بنابراین تحقیق حاضر به‌منظور بررسی پراکنش مکانی عناصر کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در تمام سطح استان گلستان صورت گرفت.

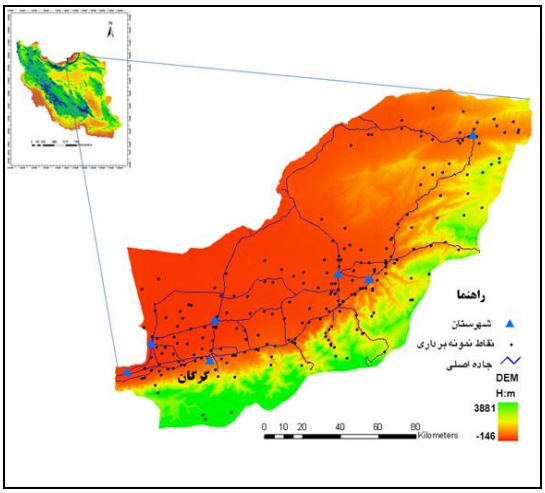
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مساحتی بالغ بر 20387 کیلومترمربع در جنوب‌شرقی دریای خزر واقع شده و در حدود 1/3 درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود (شکل 1). این استان بین 36 درجه و 25دقیقه تا 38 درجه و 8 دقیقه عرض شمالی و 53 درجه و50 دقیقه تا 56 درجه و 18 دقیقه طول شرقی واقع شده است. استان گلستان، از شمال به جمهوری ترکمنستان، از شرق به استان خراسان شمالی، از جنوب و جنوب‌شرقی به استان سمنان و از غرب به استان مازندران، خلیج گرگان و دریای خزر محدود می‌شود. این استان به سه بخش جلگه‌ای، کوهپایه‌ای و کوهستانی تقسیم شده و دارای تنوع آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، معتدل، کوهستانی است. میانگین بارندگی سالانه استان 450 میلی‌متر است که این میزان در نواحی شمالی آن، به کم‌تر از 200 میلی‌متر هم می‌رسد. میانگین تبخیر سالانه در نواحی جنوبی و ارتفاعات 800 میلی‌متر و در نواحی شمالی تا 2000 میلی‌متر نیز می‌رسد (مساعدی و همکاران، 1388 و جهانی و دلبری، 1388).

استان گلستان از نظر تقسیم‌بندی ایالات زمین‌ساختی، در پهنه زون‌های گرگان- رشت، البرز- آذربایجان و کپه‌داغ قرار دارد. بیشترین پهنه زون گرگان- رشت را جلگه گرگان پوشانیده است.

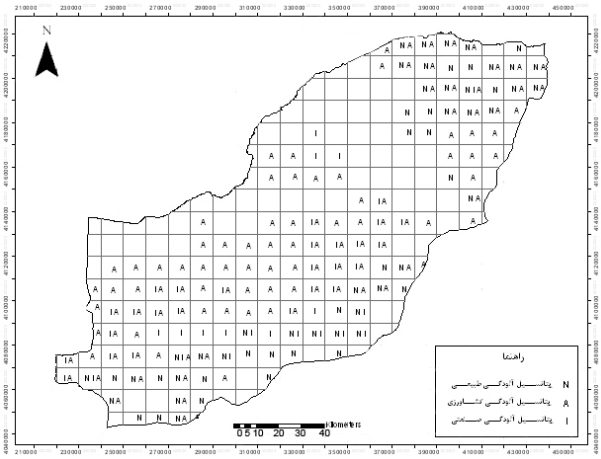
در قسمت شرق، این زون‌ها با زون‌های بینالود و هزار مسجد کپه‌داغ هم‌مرز است که مرز آن با کپه‌داغ، پوشیده از بادرفت‌های ضخیمی از جنس لس می‌باشد. وجود انواع نهشته‌ها به‌خصوص سنگ‌های رسوبی از دوره زمین‌شناسی پرکامبرین تا دوره کنونی این منطقه را از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی در ردیف مناطق استثنایی قرار داده است. قدیمی‌ترین سنگ‌های استان، شیست‌های گرگان است. از سازندهای دوران اول زمین‌شناسی می‌توان سازند لالون، سلطان میدان، پادها، خوش ییلاق، مبارک، قزل‌قلعه، درود، رونه، نسن و از سازندهای دوران دوم هم می‌توان از سازند الیکا، شمشک، لار و تیزکوه نام برد. هم‌چنین از سازندهای دوران سوم می‌توان به سازند پسته لیق، چهل کمان، خانگیران و به طبقات قرمز و رسوبات کواترنری در زون کپه داغ اشاره کرد (حافظی مقدس و همکاران، 1389).



شکل (1): منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

روش نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

جهت نمونه‌برداری از سطح استان، ابتدا محدوده مورد مطالعه به شبکه‌های منظم مربع شکل با ابعاد 10 کیلومتر مربعی و جمعاً 1700 شبکه تقسیم گردید. سپس با توجه به نقشه‌های خاک شناسی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، و نیز توزیع منابع آلاینده شامل موقعیت معادن، صنایع، شبکه جاده‌های اصلی، محل‌های دفن زباله، زمین‌های کشاورزی آبی و دیم و غیره شبکه‌های با شرایط یکسان در هم ادغام گردید و در نهایت از 230 شبکه باقی‌مانده نمونه خاک سطحی از عمق 0 تا 30 سانتی متر تهیه گردید. در شکل (2)، موقعیت و تعداد نقاط نمونه‌گیری در شبکه‌های 10 کیلومتری و براساس نوع آلودگی مورد انتظار در هر شبکه نشان داده شده است. در شکل مزبور، در شبکه‌هایی که هر سه نوع آلودگی احتمالی وجود دارد 16 نمونه، در شبکه‌های با دو نوع آلودگی احتمالی چهار نمونه، در شبکه‌های با یک نوع آلودگی یک نمونه و در شبکه‌های بدون آلودگی مهم به ازاء هر چهار شبکه یک نمونه برداشت شده است. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد (هوا خشک)، کوبیده شده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. غلظت عناصر موجود در نمونه‌های خاک با ارسال آن‌ها به آزمایشگاه لب وست (LabWest) در استرالیا و با دستگاه آی‌سی‌پی (ICP) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.



شکل (2): نقشه شبکه‌بندی پتانسیل آلودگی و راهنمای تهیه نمونه‌های خاک در منطقه مورد مطالعه

تحلیل آماری و مکانی

پارامترهای آمار توصیفی شامل میانگین، واریانس، ماکزیمم، مینیمم، کشیدگی و چولگی غلظت فلزات سنگین کل توسط نرم‌افزار SPSS v.16 به‌دست آمد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف اسمیرونوف بررسی شد. ناهمسان‌گردی[2] داده‌ها توسط نیم تغییرنمای سطحی[3] بررسی شد. برای بررسی توزیع مکانی غلظت کل فلزات مدنظر، از روش کرجینگ معمولی[4] و چهار مدل برازش کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی استفاده شد. ارزیابی متقابل[5] و متغیرهای ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)[6]، میانگین خطای انحراف (MBE)[7]، ضریب همبستگی بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده‌ای (r^2) جهت ارزیابی کارایی چهار مدل مختلف و انتخاب بهترین مدل

میان‌یابی مورد استفاده قرار گرفت. تمام این عملیات‌ها در نرم‌افزارهای GS+ و ArcGIS انجام پذیرفت.

یافته‌ها

خلاصه‌ای از آمار توصیفی مربوط به غلظت فلزات سنگین مورد نظر در جدول (1) ارایه شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، میانگین غلظت کل کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب: 0/12، 9/1، 59/6 و 24/42 میلی‌گرم در کیلوگرم است و دامنه تغییرات آن‌ها هم به ترتیب عبارت از 0/35، 13/47، 145 و 61/1 است. ضریب تغییرات غلظت کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در منطقه به ترتیب 58٪، 24/3٪، 28/18٪ و 34/6٪ است که نشان از تغییرپذیری متوسط غلظت کل فلزات مذکور در منطقه دارد. ضریب تغییرات کمتر از 10٪ نشان از تغییرپذیری کم و ضریب تغییرات بیشتر از 90٪ نشان از تغییرپذیری زیاد دارد (Zhang et al., 2007).

از آنجا که برای ایران استاندارد فلزات سنگین در خاک مشخص نشده است، حداکثر غلظت کل مجاز فلزات سنگین در خاک کشورهای استرالیا، کانادا، گلستان، ژاپن، انگلستان و آلمان در جدول (2) نشان داده است (Singh and Steinnes, 1994). براساس جدول (2)، میانگین غلظت فلزهای کادمیوم، آرسنیک و مس در استان گلستان، از مقادیر مجاز کشورهای مختلف کمتر و تنها میانگین غلظت کروم در منطقه مورد مطالعه (59/6 میلی گرم در کیلوگرم) بیشتر از حداکثر غلظت مجاز کشور انگلستان می‌باشد. همچنین غلظت کروم حدود 15/5 و 99/5 درصد خاک منطقه مورد مطالعه به ترتیب بیشتر از حداکثر غلظت مجاز کشورهای کانادا و انگلستان می‌باشد.

نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف اسمیرونوف نشان داد که توزیع مکانی کادمیوم، مس و کروم از توزیع نرمال برخوردار نیست (P-value <0/05). بدین‌ترتیب داده‌های غلظت کادمیوم با ریشه دوم و داده‌های غلظت مس و کروم با لگاریتم نرمال شدند (P-value0/05 <).

محاسبه تغییرنما در جهت‌های مختلف هیچ‌گونه ناهمسانگردی هندسی را برای هیچ کدام از فلزات نشان نداد. در نتیجه تغییر نمای همه جهته برای آنالیز مورد استفاده قرار گرفت (شکل 3).

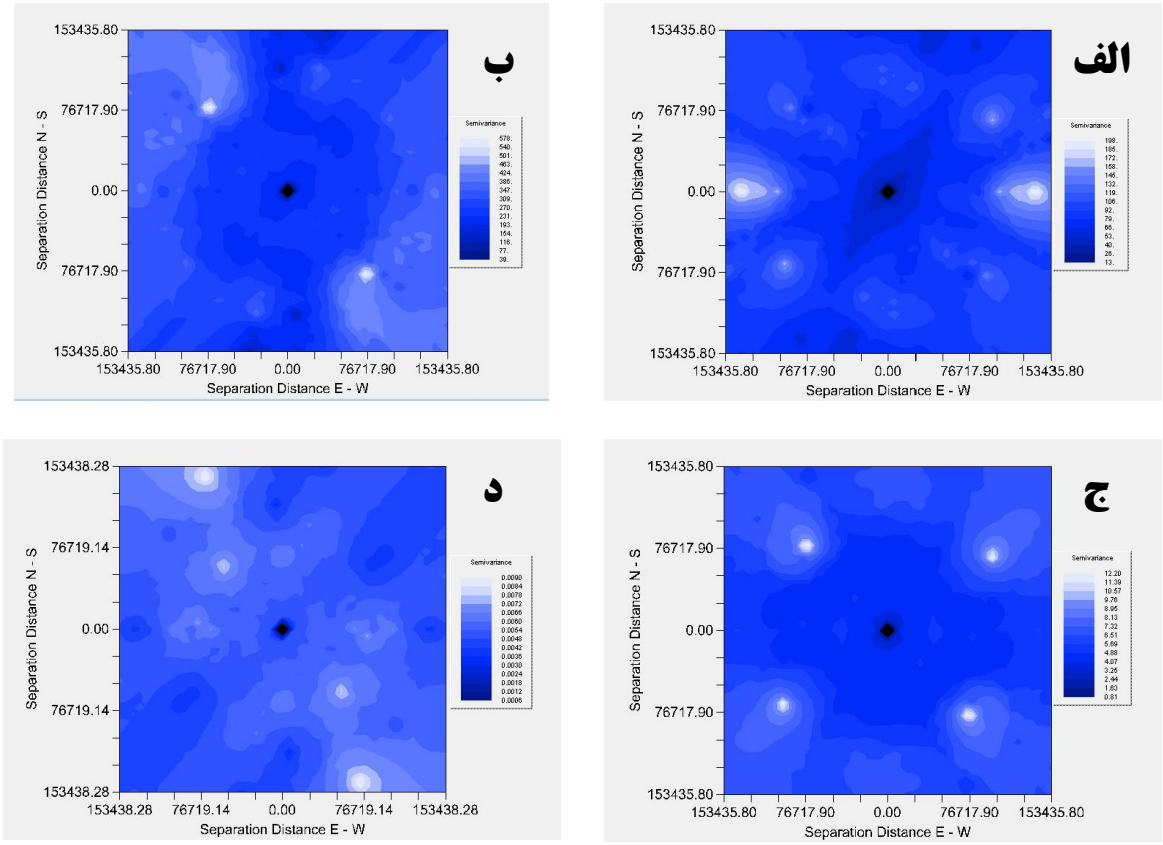
در جدول (3)، نتایج مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی و گوسی کریجینگ معمولی برازش شده به داده‌های مورد مطالعه جهت برآورد توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک سطحی استان گلستان آورده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، بهترین مدلی که قادر به توجیه توزیع مکانی کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس می‌باشد، به ترتیب مدل نمایی با r^2 حدود 76٪ و RMSE حدود 0/06، مدل دایره‌ای با r^2 حدود 97٪ و RMSE حدود 2/07، مدل نمایی با r^2 حدود 85٪ و RMSE حدود 14/79 و مدل گوسی با r^2 حدود 96٪ و RMSE حدود 6/8 است.

جدول (1): مشخصات آماری غلظت کل کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در خاک سطحی استان گلستان (غلظت برحسب میلی گرم در کیلوگرم)

فلز	تعداد نمونه	میانگین	میانه	حداکثر	حداقل	دامنه	SD	CV (%)	چولگی	کشیدگی
کادمیوم	216	0/12	0/11	0/36	0/01	0/35	0/07	58	0/62	2/54
آرسنیک	216	9/1	9/19	15/57	2/1	13/47	2/22	24/3	-0/32	3/35
کروم	216	59/6	57	152	7	145	16/8	28/18	1/39	8/29
مس	216	24/42	22/8	70/8	9/7	61/1	8/45	34/6	1/53	7/34

جدول (2): حداکثر غلظت (mg/Kg) قابل قبول فلزات سنگین در خاک برخی از کشورها

فلز	استرالیا	کانادا	لهستان	ژاپن	انگلستان	آلمان
کادمیوم	5	8	3	---	1	2
آرسنیک	50	25	30	---	20	40
کروم	100	75	100	---	20	200
مس	100	200	100	125	100	50



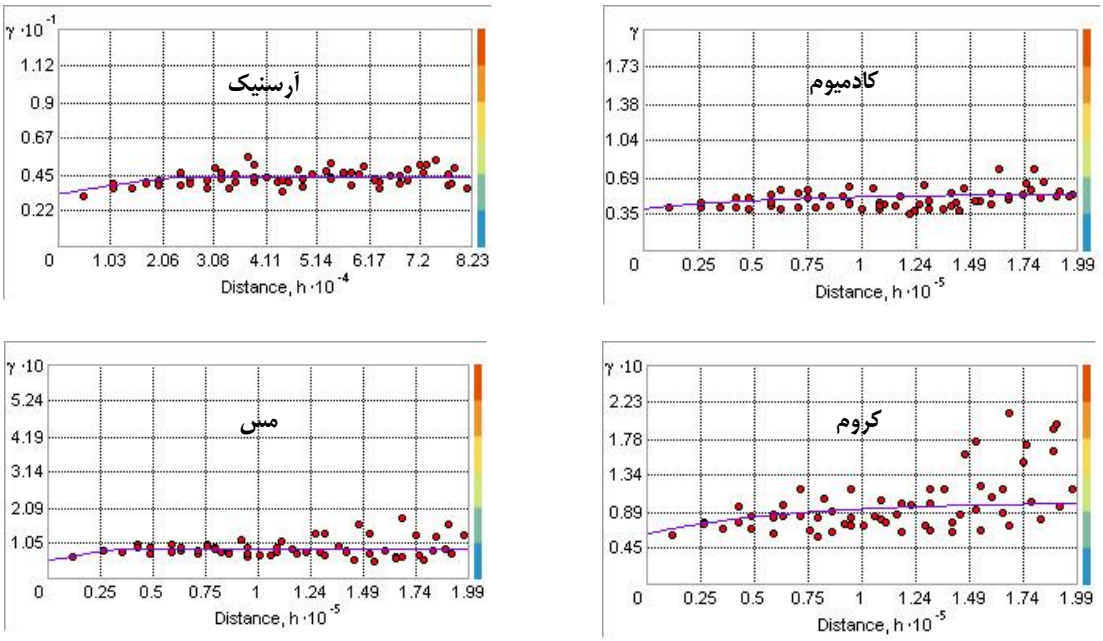
شکل (3): شکل دوبعدی ناهمسانگردی (نیم تغییرنمای سطحی):
الف- مس، ب- کروم، ج- آرسنیک و د- کادمیوم

بین پارامترهای آورده شده نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (C0/(C0+C)) می‌تواند ملاکی برای طبقه‌بندی ساختار مکانی غلظت فلزات سنگین باشد. مقدار نسبی < 25٪ ، 25- 75٪ و > 75٪ به ترتیب نشانه ساختار مکانی قوی، متوسط و ضعیف است (Cambardella et al., 1994). براساس همین طبقه‌بندی و براساس نتایج جدول (3) مشخص است، غلظت کل فلزات سنگین مورد نظر در خاک دارای ساختار مکانی متوسط می‌باشد. بر طبق بهترین مدل‌های برازش شده، نیم تغییرنماهای مربوط ترسیم (شکل 4) و مبنای، الگوی مکانی غلظت کل فلزات سنگین مورد نظر در منطقه مشخص شد (شکل 5).

همان‌طور که در شکل (5) مشخص است، غلظت کادمیوم کل به طورکلی در قسمت‌های جنوبی استان که بیشتر شامل مناطق انسان‌ساخت و تا حدودی مناطق کوهستانی است، بیشتر از قسمت شمالی می‌باشد. همچنین در دو بخش تالاب گمیشان نزدیک مرز در قسمت شمال‌غربی و قسمت شمال‌شرقی محدوده شهرستان گنبد کاووس، غلظت کادمیوم نسبت به سایر مناطق شمالی بیشتر است. به طورکلی در قسمت شمالی و جنوبی، غلظت کادمیوم از قسمت میانی استان گلستان بیشتر است. الگوی مکانی غلظت آرسنیک نیز به این صورت است که در قسمت میانی و شمال‌غربی استان بیشتر از سایر قسمت‌ها می‌باشد. این الگو برای کروم به این صورت است که قسمت جنوب‌غربی دارای بیشترین غلظت کروم نسبت به سایر قسمت‌هاست. براساس الگوی مکانی مس در استان، چهار لکه متفاوت با غلظت بیشتر مس قابل شناسایی است. این چهار لکه در قسمت شمال‌غربی، جنوب‌غربی، حد شمالی محدوده شهرستان گنبدکاووس و قسمت جنوبی در ارتفاعات قرار دارند. به طورکلی، برای هر چهار فلز، در قسمت شرقی استان گلستان غلظت فلزات کمتر از سایر بخش‌هاست.

به عنوان نمونه، غلظت کل فلزات مورد نظر در خاک برخی از مناطق جهان در جدول (4) آورده شده است. برخی از اعداد ذکر شده به صورت میانگین و برخی به‌صورت میانه می‌باشد، که به طور معمول اعداد میانگین و میانه در بیشتر مطالعه‌ها به هم

نزدیک می‌باشند. جدول مذکور صرفاً برای معرفی غلظت فلزات مذکور در برخی از سایر مناطق جهان ارایه شده است و به هیچ وجه از آن معنی‌دهی آماری استنتاج نمی‌شود. همان‌طور که در جدول مشخص است، غلظت کادمیوم در مناطق مختلف پایین است و به ندرت از 1 میلی‌گرم در کیلوگرم تجاوز می‌کند. در ایران، مطالعات مدون اندکی در این زمینه صورت گرفته است و نتایج به‌دست آمده تقریبا شبیه نتایج جهانی است. همان‌طور که



شکل (4): نیم‌تغییرنمای همه جهته و مدل برازش داده برای غلظت کل فلزات سنگین در خاک سطحی استان گلستان

در جدول نیز مشخص است، کمترین غلظت مشاهده شده مربوط به همین مطالعه است. در مورد آرسنیک تنها میانگین غلظت آن در 34 شهر اروپایی در جدول موجود است که آن هم از میانگین غلظت در سطح استان گلستان بیشتر است. میانگین غلظت کروم در منطقه مطالعه از میانگین غلظت آن در پانگکوک، ایزمیت ترکیه و الجزایر بیشتر و از میانگین غلظت آن در 21 شهر چین، مسکو و میانگین غلظت آن در جهان کمتر می‌باشد. غلظت آن نیز تقریباً شبیه 24 شهر اروپایی و فرانسه است. میانگین غلظت مس در منطقه مورد مطالعه تنها از میانگین غلظت آن در فرانسه بیشتر و از سایر قسمت‌های مذکور در جدول، حتی از شهر کرمان کمتر می‌باشد.

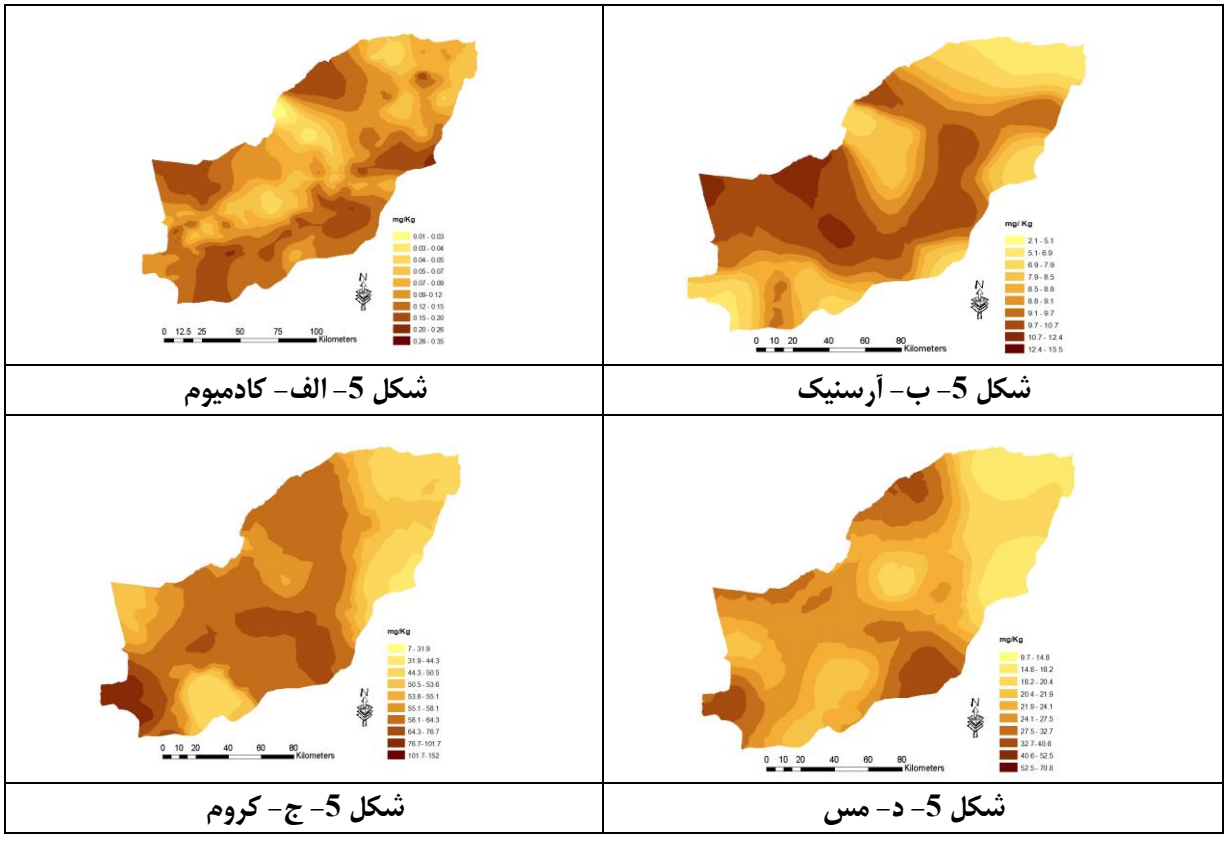
بحث و نتیجه‌گیری

یکی از ابتدایی‌ترین اطلاعات در زمینه آلودگی خاک به فلزات سنگین، الگوی مکانی آلودگی خاک در هر منطقه‌ای می‌باشد. در ایران، به طور معمول این اطلاعات در سطح کوچک و آن هم به طور موردی موجود است که فقدان آن در مقیاس‌های وسیع مانند استان به چشم می‌خورد. اطلاع از الگوی مکانی آلودگی خاک در سطح وسیعی مانند استان باعث داشتن دید کلی از وضعیت آلودگی خاک در سطح استان می‌شود و به مدیریت بهتر آن کمک می‌کند. همچنین اطلاعات پایه‌ای برای مقایسه با مطالعات آتی حتی در صورت نبود آلودگی فراهم می‌نماید. بر همین اساس، این پژوهش حاضر نیز که در سطح استان گلستان انجام شده است، باعث کسب اطلاع کلی از وضعیت توزیع مکانی کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در خاک سطحی کل استان گلستان می‌شود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده، میانگین غلظت کل کادمیوم، آرسنیک، کروم و مس در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب: 0/12، 9/1، 59/6 و 24/42 میلی‌گرم در کیلوگرم است و رتبه این عناصر براساس غلظت کل به ترتیب نزولی عبارت از:

جدول (3): نتایج مدل‌های کریجینگ معمولی برازش شده به داده‌های مورد مطالعه جهت برآورد توزیع مکانی کادمیوم در خاک سطحی استان گلستان

فلز	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	آستانه (C_0+C)	نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه ($C_0/(C_0+C)$)	R^2	MBE	RMSE	معادله خط رگرسیون
کادمیوم	دایره‌ای	0/41	0/55	0/74	0/73	0/107	0/073	Y=0.099 x + 0.107
	کروی	0/41	0/54	0/76	0/74	0/106	0/073	Y=0.099 x + 0.107
	نمایی	0/39	0/53	0/73	0/76	0/104	0/06	Y=0.088 x + 0.108
	گوسی	0/43	0/55	0/78	0/72	0/109	0/073	Y=0.091 x + 0.109
آرسنیک	دایره‌ای	3/25	4/31	75٪	97٪	1/99	2/07	Y=0.141 x + 7.98
	کروی	3/14	4/3	73٪	96٪	1/98	2/08	Y=0.147 x + 7.896
	نمایی	1/94	4/3	45٪	93٪	1/95	2/1	Y=0.171 x + 7.693
	گوسی	2/99	4/28	69٪	95٪	1/98	2/1	Y=0.168 x + 7.649
کروم	دایره‌ای	0/068	0/103	66٪	83٪	17/47	14/93	Y=0.176 x + 48.75
	کروی	0/068	0/101	67٪	83٪	17/35	14/92	Y=0.177 x + 48.64
	نمایی	0/061	0/1	61٪	85٪	16/82	14/79	Y=0.185 x + 48.14
	گوسی	0/074	0/104	71٪	82٪	17/87	15/08	Y=0.163 x + 49.83
مس	دایره‌ای	0/051	0/088	57٪	92٪	6/45	6/86	Y=0.349 x + 15.46
	کروی	0/048	0/086	55٪	91٪	6/39	6/86	Y=0.355 x + 15.30
	نمایی	0/022	0/088	25٪	87٪	5/82	7/15	Y=0.367 x + 14.87
	گوسی	0/056	0/088	63٪	96٪	6/46	6/8	Y=0.359 x + 15.23



شکل 5- الف- کادمیوم | شکل 5- ب- آرسنیک

شکل 5- ج- کروم | شکل 5- د- مس

شکل (5): توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک سطحی استان گلستان با استفاده از مدل بهینه

جدول(4): مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی برخی از مطالعات صورت گرفته در سطح ایران و جهان

مکان	تعداد نمونه	محتوا	Cd	As	Cr	Cu	کاربری اراضی	منبع
34 شهر اروپایی	9954	میانه	0/95	13	59	46	شهری	Luo et al.,2011
فرانسه	2059	میانگین	0/29	----	54/53	19/18	تمام کاربری‌ها	Saby et al.,2009
بانگکوک	30	میانگین	0/29	----	26	42	شهری	Wilcke et al., 1998
مسکو	36	میانگین	2	----	79	59	شهری	Plyaskina and Ladonin, 2009
ایزمیت ترکیه	28	میانه	0/23	----	34	37	شهری	Canbay et al., 2010
جهان	----	میانه	0/35	----	70	30		Adriano, 2001
21 شهرچین	----	میانه	0/39	----	69	40	شهری	Luo et al., 2011
سئول کره	----	میانگین	3/1	----	----	84	شهری	Chon et al., 1995
الجزایر	101	میانگین	0/44	----	30/9	39	شهری، حومه شهر و کشاورزی	Mass et al., 2010
اصفهان	40	میانگین	2/41	----	----	----	شهری	سامانی مجد و همکاران،1386
اصفهان	256	میانگین	1/072	----	----	----	کاربری‌های مختلف شهری، صنعتی، کشاورزی و مرتع	متکان و همکاران، 1387
جنوب اصفهان	100	میانگین	0/8	----	----	----	مرتعی	دیانی و همکاران، 1389
شهر کرمان	55	میانگین	0/41	----	----	67	شهری	حمزه و همکاران، 1388
این مطالعه	378	میانگین	0/12	9/1	59/6	24/42	کاربری‌های مختلف	----------

کروم>مس>آرسنیک>کادمیوم می‌باشد. با توجه به توزیع مکانی فلزات سنگین در استان و غلظت میانگین بسیار پایین فلزات در خاک سطحی استان و مقایسه آن با حداکثر مجاز پذیرفتنی این فلزات در برخی کشورها، به نظر می‌رسد: استان گلستان در سطح وسیع دارای آلودگی خاصی از این فلزات نیست. شایان ذکر است که مشخص کردن آلودگی در یک منطقه، به استانداردهای بومی و غلظت‌های پایه و معیار طبیعی بودن خاص همان منطقه نیاز دارد که متأسفانه در کشور ایران، این اطلاعات موجود نیست.

براساس الگوی مکانی غلظت کل عناصر مورد بررسی، به طورکلی دو بخش مجزا در استان گلستان قابل مشاهده است: الف- بخش شرقی که شامل محدوده شهرستان‌های مراوه تپه و کلاله می‌باشد و دارای کمترین غلظت کل عناصر مورد بررسی در خاک سطحی است؛ ب- بخش مرکزی و غربی که شامل سایر مناطق استان گلستان می‌باشد و غلظت کل عناصر در خاک سطحی آن دارای تغییرات منطقه‌ای است. الگوی مکانی مس و کرم در منطقه نشانگر وجود سه بخش با غلظت زیاد این عناصر در منطقه می‌باشد: 1- قسمت غربی منطقه که در محدوده شهرستان بندرگز قرار گرفته است و به نظر می‌رسد وجود صنایع مهم‌ترین دلیل غلظت زیاد عناصر در این منطقه می‌باشد؛ 2- قسمت جنوب مرکزی استان که شامل ارتفاعات پوشیده از جنگل می‌باشد و به احتمال زیاد دلیل غلظت زیاد عناصر در این بخش به دلیل وجود معادن زغال سنگ فراوان در این منطقه استان می‌باشد و 3- بخش شمالی استان که شامل دشت‌های مسطح و زمین‌های کشاورزی در برخی بخش‌ها می‌باشد و به نظر می‌رسد مهم‌ترین منبع غلظت زیاد عناصر در بخش‌های شمالی به جز منشا طبیعی، وجود زمین‌های کشاورزی می‌باشد. غلظت زیاد آرسنیک بیشتر در بخش مرکزی و میانی استان گلستان مشاهده شد و به نظر می‌رسد الگوی مکانی آرسنیک در منطقه، بیشتر متأثر از وجود زمین‌های کشاورزی در منطقه است. الگوی مکانی کادمیوم در منطقه نسبت به سایر عناصر پیچیده‌تر است و به نظر می‌رسد عوامل انسانی و طبیعی بر آن اثرگذار

می‌باشد. مهم‌ترین بخش استان که دارای بیشترین غلظت کادمیوم می‌باشد، امتداد غربی- شرقی در نیمه پایانی استان است که منطبق بر موقعیت قرارگیری شهرهای استان و مناطق انسان ساخت و صنایع در سطح استان می‌باشد. وجود غلظت زیاد کادمیوم در قسمت‌های جنوبی که شامل مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل می‌باشد، می‌تواند دارای منشاء طبیعی باشد. (حافظی مقدس و همکاران، 1389) طی مطالعه‌ای در جنوب استان گلستان، نقش واحدهای سنگی عمده جنوب استان را در آلودگی و غنی‌سازی خاک سطحی به فلزات سنگین را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که سنگ‌های مافیک و دگرگونی نقش زیادی در تولید آرسنیک و کروم دارند. همچنین سنگ‌های ماسه سنگی و شیلی با منشاء زغالی نیز سهم گسترده‌ای در افزودن آرسنیک، کادمیوم، کروم و به‌ویژه مس در خاک سطحی جنوب استان گلستان دارد. به نظر می‌رسد وجود لایه‌های زغالی و احتمالاً شرایط تقریباً اسیدی‌تر (رطوبت کافی در منطقه) نقش مهمی در آزادسازی بیشتر فلزات در خاک‌های با منشاء ماسه سنگی و شیلی زغال‌دار دارد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه بخشی از طرح مطالعاتی تهیه اطلس آلودگی خاک استان گلستان می‌باشد که با حمایت مالی دفتر بررسی آلودگی آب و خاک سازمان محیطزیست کشور به انجام رسیده است.

یادداشت‌ها

1. Geostatistics
2. Anisotropy
3. Surface Semivariogram
4. Ordinary Kriging
5. Cross Validation
6. Root Mean Squared Error
7. Mean Bias Error

فهرست منابع

بقایی، ا. ح. 1382. تجزیه و تحلیل زمین آماری برخی فلزات سنگین در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان. 98 ص.

تقی پور، م.؛ خادمی، ح. و ایوبی، ش. 1388. تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های سطحی و ارتباط آن با مواد مادری و نوع کاربری در بخشی از استان همدان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24(1) : ص132-144.

جهانی، س. و دلبری، م. 1388. ارزیابی و برآورد بیش‌ترین بارش 24 ساعته در استان گلستان. مجله مهندسی آب. 2(1): ص 13-22.

حافظی مقدس، ن.؛ حاجی‌زاده، ه.؛ قربانی، ه. و دهرآزما، ب. 1389. بررسی نقش واحدهای سنگی عمده جنوب استان گلستان در آلودگی و غنی‌سازی خاک سطحی به فلزات سنگین و کمیاب. چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین. دانشگاه ارومیه.

حمزه، م.؛ میرزایی، م. و مظفری، ح. 1388. بررسی تغییرات غلظت سرب، روی، مس و کادمیوم در محیطزیست شهری کرمان. مجله علوم و تکنولوژی محیطزیست. 11(3): ص 161- 173.

دیانی، م.؛ نادری، م. و محمدی، ج. 1389. پهنه‌بندی غلظت سرب، روی و کادمیوم در خاک با استفاده از داده‌های ماهواره Landsat ETM+ در جنوب شهرستان اصفهان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 24 (2): ص 286- 296.

سامانی مجد، س.؛ افیونی، م. و تائبی، ا . 1386. آلودگی خاک حاشیه خیابان‌های شهری به سرب و کادمیوم. مجله محیط‌شناسی. 33 (43): ص 1- 10.

شیرانی، م. 1386. تغییرات مکانی سرب، کادمیم، نیکل و روی در برخی خاک‌های کشاورزی، صنعتی و شهری محدوده بزرگراه مشهد- چناران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه فردوسی مشهد. 92 ص.

صدر، س.؛ افیونی، م. و فتحیان‌پور، ن. 1388. تغییرات مکانی آرسنیک در اراضی با کاربری‌های مختلف در استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع‌طبیعی، علوم آب و خاک. 13(50): ص65- 75.

متکان، ع.ا.؛ کاظمی، ا.؛ گیلی، م. ر. و عاشورلو، د. 1387. بررسی توزیع مکانی کادمیوم و تعیین پوشش گیاهی در معرض خطر در منطقه مرکزی ایران واقع در استان اصفهان با استفاده از GIS و RS. مجله علوم محیطی. 6(1) : ص 65- 76.

مساعدی، ا.؛ مرعشی، م. و کواکبی، غ. 1388. بررسی مقایسه‌ای خشکسالی در مناطق پرباران و کم باران (مطالعه موردی- استان گلستان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 16(1): ص 277-292.

موحدی‌راد، ز. 1386. بررسی تغییرات مکانی روی، سرب، نیکل و کادمیم در خاک‌های بخشی از استان قم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان. 173 ص.

Adriano, D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2nd ed. New York: Springer.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F. & Konopka, A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal. 58 : pp 1501–1511.

Canbay, M.; Aydin, A. & Kurtulus, C. 2010. Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). Journal of Applied Geophysics. 70:pp 46–57.

Cattle, J. A.; McBratney, A. B. & Minasny, B. 2002. Kriging method evaluation for assessing the spatial distribution of urban soil lead contamination. Journal of Environmental Quality. 31: pp 1576–1588.

Chon, H; Kim, K. & Kim, J. 1995. Metal contamination of soils and dusts in Seoul metropolitan city, Korea. Environmental Geochemistry and Health . 17 : pp 139–146.

Ferguson, C. C.; Darmendrail, D.; Freier, K.; Jensen, B. K.; Jensen, J.; Kasamas, H.; Urzelai, A.and Vegter, J. 1998. Better methods for risk assessment. Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe. LQM Press. Nottingham, UK. Volume 1: pp135–146.

Luo, X.; Yu, C.; Zhu,Y. & Li, X. 2011. Trace metal contamination in urban soils of China. Science of the Total Environment, in press.

Mass, S.; Scheifler, R.; Benslama, M.; Crini, N.; Lucot, E.; Brahmia, Z.; Benyacoub, S. & Giraudoux, P. 2010. Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. Environmental Pollution. 158: pp2294-2301.

McGraph, D.; Zhang, C. S. & Carton, O. 2004. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines, area Ireland. Environmental Pollution. 127: pp 239–248.

Muhammad, S.; Tahir Shah, M. & Khan, S. 2011. Heavy metal concentrations in soil and wild plants growing around Pb–Zn sulphide terrain in the Kohistan region, northern Pakistan. Microchemical Journal. in press.

Plyaskina, O. V. & Ladonin, D. V. 2009. Heavy metal pollution of urban soils. Eurasian Soil Science.42:pp 816–23.

Romic, M. & Romic, D. 2003. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. Environmental Pollution. 43: pp 795–805.

Saby, N. P. A.; Thioulouse, J.; Jolivet, C. C.; Ratie, C.; Boulonne, L.; Bipo, A. & Arrouays, D. 2009. Multivariate analysis of the spatial patterns of 8 trace elements using the French soil monitoring network data. Science of the Total Environment. 407: pp 5644–5652.

Shen, Z. & Chen, H. M. 2000. Bioremediation of heavy metal polluted soils. Rural Eco-Environment. 16 (2): pp 39–44.

Singh, B. R & Steinnes. 1994. Contamination by heavy metals , Advances in soil Science .Ed.R.Lewis Pub.London

Sollitto, D.; Romic, M.; Castrigano, A.; Romic, D. & Bakic, H. 2010. Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics.Catena. 80 : pp182–194.

Wilcke, W.; Muller, S.; Kanchanakool, N.& Zech, W. 1998. Urban soil contamination in Bangkok: heavy metal and aluminium partitioning in topsoils. Geoderma. 86: pp 211–28.

Xie, Y.; Chen, T.; Lei, M.; Yang, J.; Guo, Q.; Song, B. & Zhou, X. 2011. Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. Chemosphere. 82 : pp 468–476

Zhang, X.Y.; Sui, Y.Y.; Zhang, X.D.; Meng, & Herbert, K. S. J. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China. Pedosphere 17 (1): pp 19–29.

Zhao, K.; Liu, X.; Xu, J. & Selim, H. M. 2010. Heavy metal contaminations in a soil–rice system: Identification of spatial dependence in relation to soil properties of paddy fields. Journal of Hazardous Materials. 181: pp 778–787.