

شناسایی محدوده آنومال U-235 با روش هندسه فراکتالی بر روی شبکه تخمین یافته از روش کریجینگ در

محدوده تالاب بندر انزلی

فرشاد دارابی

دانشجوی دکتری معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

اردشیر هزارخانی

دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

محمد رضا زارع

دانشجوی دکتری فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۱۷

farshad_darabi@yahoo.com

چکیده

این مطالعه بر روی داده‌های حاصل از ۲۶ نمونه از رسوبات درون باتلاق و ۷ نمونه خاک محدوده تالاب بندر انزلی، جهت بررسی خاصیت رادیواکتیو (Ra-226, K-40, Th-232, U-235) منطقه صورت گرفته است. شناسایی روند، چگونگی تغییرات و عوامل موثر در ایجاد این ناهمگنی در منطقه متناسب با ماهیت و شرایط جغرافیایی آن مبنای کار بوده است و اهمیت آن از نظر زیست محیطی و شرایط استراتژیک تالاب انزلی چه از نظر توریستی و چه از نظر ملی مورد توجه بوده است. با اعمال تکنیک تخمین شبکه‌ای مناسب توسط روش کریجینگ به هر شبکه با ابعاد کوچکتر مقداری نسبت داده می‌شود که هزینه‌های نمونه‌برداری را کاهش و دقت را بالا می‌برد. ۲۳۸ داده معنادار بدست آمده از روش تخمین شبکه‌ای، با روش هندسه فراکتالی بررسی و جوامع آماری مختلف مشخص و محدوده آنومالی عناصر رادیواکتیو از زمینه تفکیک گردید. محدوده تغییرات اورانیوم در نمونه‌ها $1/05 \text{ Bq/Kg}$ تا $13/49 \text{ Bq/Kg}$ می‌باشد که پس از انجام هندسه فراکتالی مقادیر بالای $2/8 \text{ Bq/Kg}$ به عنوان آنومالی معرفی می‌گردد. کاربرد کودهای کشاورزی، سرازیر شدن آب رودها به تالاب که ممکن است آلودگی‌های صنعتی و شهری را در خود داشته باشند و شرایط گردشگری منطقه ممکن است عامل وجود آنومالی رادیواکتیو باشد.

کلمات کلیدی: رادیواکتیو، واریوگرام، کریجینگ، تخمین شبکه، هندسه فراکتالی، تفکیک آنومالی.

مقدمه

شروع توپوگرافی‌های موجود در موازات دریای خزر (دامنه‌های البرز) سنگ‌های با سیمان آهکی و سنگ‌ریزه‌ها و واریزه‌های خاک که اساساً با منشأ پلیستوسن هستند نیز در منطقه دیده می‌شوند (دارابی، ۱۳۹۱). محدوده تالاب انزلی شامل تالاب‌های آبکنار، سیاکشیم، شیجان و مرکزی می‌باشند که هر کدام از چندین رود تغذیه می‌کنند. تالاب آبکنار نیز در شمال ارتفاعات و جنوب دریاچه خزر واقع شده است (شکل ۲) که از رودهایی همچون چافرود و آبهای زیرزمینی منطقه و دریاچه خزر تغذیه می‌کند (Ganjidoust et al., 2009).

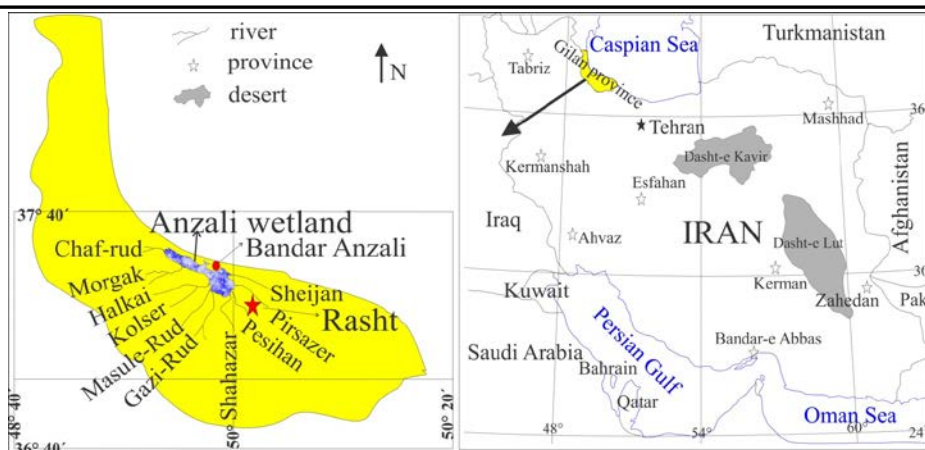
رودهای مرغک، بهمبر، خالکایی، اسفند و کلسر از رودهایی هستند که به تالاب سیاکشیم می‌ریزند. رودهای پسیخان و هندخاله به تالاب مرکزی و بیجرو، تش‌رود، خمام و فرشکی نیز به تالاب شیجان می‌ریزند. هر کدام از این رودها ممکن است مقداری از مواد رادیواکتیو را در خود داشته باشند و یا تا حدودی باعث ایجاد تغییر غلظت عنصری در پوشش سطحی منطقه گردند که منبع آن در بالادست رود باشد که این نوع آلودگی آنها اهمیت خاص خود را داشته و آن را نمی‌توان نادیده گرفت چرا که ممکن است عامل آنومالی کاذب باشد (Babaie et al., 2009)، از طرف دیگر کارخانه‌های صنعتی بسیاری نیز در قسمت جنوب، جنوب غربی و غرب تالاب وجود دارند که ممکن است پساب‌ها و آلودگی‌های خود را وارد رودهایی کنند که روانه تالاب سیاکشیم و یا انزلی می‌شوند همچنین دفع فاضلاب بسیاری از شهرهای جنوب و غرب تالاب توسط بعضی از این رودها صورت می‌گیرد (شکل ۳).

بنابراین با توجه به نوع آنومالی عنصری، آب و هوای منطقه، سنگ‌های پوشاننده منطقه، توپوگرافی و جهت جریان رودها، پساب کارخانه‌ها و افق نمونه‌برداری از عوامل مهم و تاثیرگذاری هستند که واقعی بودن و یا کاذب بودن یک آنومالی را می‌توان مشخص نمود.

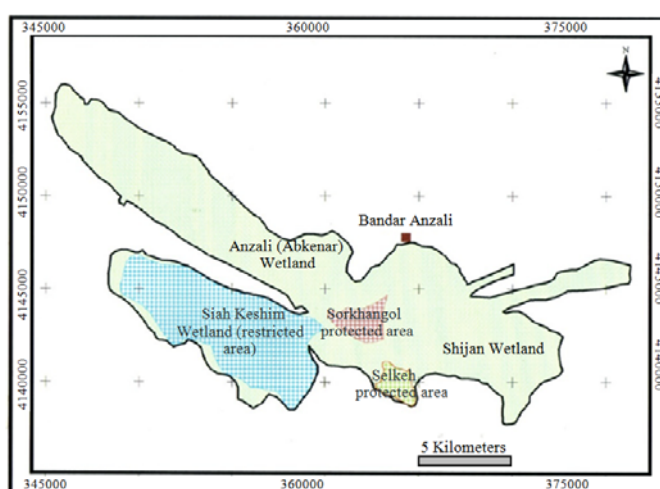
انسانها غالباً در معرض تشعشع مواد رادیواکتیو طبیعی می‌باشند که اساساً ناشی از تمرکز فعالیت رادیونوکلوئیدهای موجود در پوسته زمین همانند سری U-238 (Ra-226)، سری Th-232 و K-40 هستند، این مواد ممکن است در مواد مصنوعی و در هوا، آب و غذا و حتی در درون بدن وجود داشته باشند (UNSCEAR, 2000; Nasr et al., 2006). رادیواکتیو طبیعی بطور وسیعی در محیط زمین و در سازندهای زمین‌شناسی مختلف و در خاک، سنگ، رسوب، گیاه، آب و هوا پراکنده می‌باشند (Ajayi and Kuforiji, 2001; Matiullah et al. 2004; Xinwei 2004; Yang et al. 2005). تمرکز و پراکندگی رادیونوکلوئیدهای طبیعی Ra-226، Th-232، U-235، Cs-137 و K-40 در سنگ و خاک در سراسر جهان یکنواخت نیست و بطور گسترده در مکان‌های مختلف تغییر می‌کند. اغلب رسوباتی که در رودخانه‌ها ته نشین می‌یابند سیلت‌ها و شن‌هایی هستند که از هوازدگی و فرسایش سنگ و خاک نشأت می‌گیرند (Singh et al. 2005; Veiga et al. 2006). این امکان وجود دارد که منشأ مواد رادیواکتیو موجود در رسوبات محدوده مرداب بندر انزلی رودهای متعددی باشند که به مرداب می‌ریزند که در این راستا ممکن است منشأ نا به هنجاری را به رودهای ورودی نسبت دهند که باید این موضوع بررسی گردد.

تالاب بندر انزلی در محدوده طول جغرافیایی $37^{\circ}50' \text{ E}$ - $34^{\circ}50' \text{ E}$ و عرض جغرافیایی $41^{\circ}57' \text{ N}$ - $41^{\circ}36' \text{ N}$ واقع می‌باشد (شکل ۱).

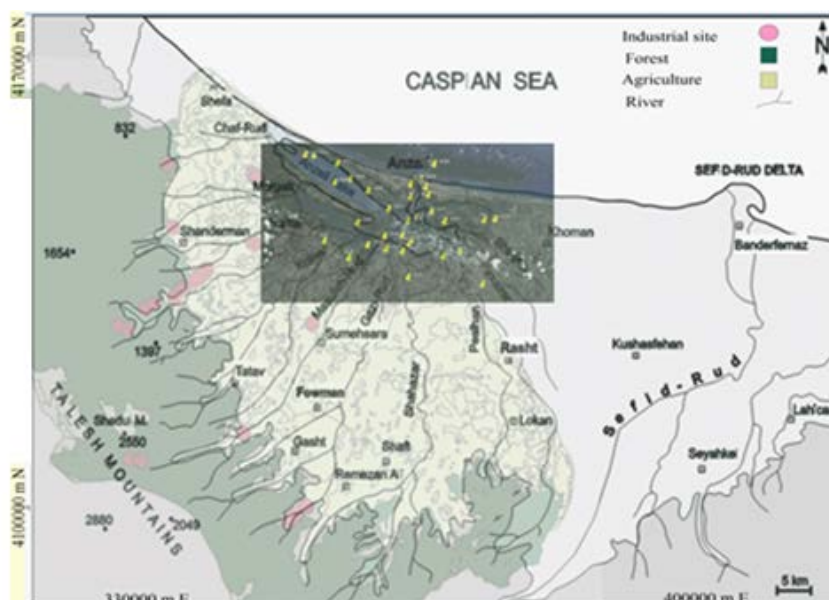
رسوبات جلگه‌های ساحلی خزر (چه در دوران اخیر و چه در دوره پلیوستوسن)، تراس‌های قدیمی و باقیمانده‌های قدیم ساحلی اکثریت منطقه را می‌پوشاند و ساحل فعال همراه با شن‌های ساحلی روان در شمال محدوده نمونه‌برداری دیده می‌شود، همچنین در فواصل دورتر و نزدیک به



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی تالاب بندر انزلی و رودهای واریز شده به تالاب



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی تالاب بندر انزلی، سیاکشیم، شیجان و مرکزی



شکل ۳. موقعیت رودهای منتهی شده به تالاب انزلی و موقعیت نمونه‌های رسوب و نمونه‌های خاک برداشت شده در منطقه مورد مطالعه

هزینه‌های نمونه‌برداری و آنالیز یکی از راهکارهای مفید و سازنده در اکتشاف عناصر می‌باشد (Webster et al., 2001). داده‌های حاصل شده از تخمین شبکه را جهت تعیین منطقه آنومال و امیدبخش مورد استفاده قرار داده و با روش هندسه فراکتالی تفکیک زمینه از آنومالی به عمل آمده است و این مرحله از مهمترین مراحل اولیه اکتشاف اورانیوم و تعیین منطقه امید بخش کانی‌زایی در مقیاس ناحیه‌ای می‌باشد (Bruce et al., 2004). نمودار جریان مراحل کار جهت جدایش و تفکیک زمینه از آنومالی بصورت (شکل ۴) ترسیم شده است.

به منظور انجام مطالعات اکتشافی مواد رادیواکتیو Ra-226, U-235, Th-232, Cs-137, K-40، نمونه‌های رسوب از کناره‌های آبهای سطحی و مرداب بندر انزلی و محل برخورد تعدادی از آبراهه‌ها و رودها نشأت گرفته است (شکل ۵). نرمال‌سازی داده‌ها در نرم‌افزار WinGslib و با روش گوسی صورت گرفته است و محاسبات ترسیم واریوگرام‌ها و تخمین آنومالی بر روی نرمال شده عناصر انجام گردیده است. در توصیف گام به گام (شبکه‌ای) و کمی‌سازی تغییرات فضایی خاک واریوگرام‌ها اهمیت بسزایی دارند. از این رو، ضروری است که برای داشتن مدلی که فرایند تغییرات فضایی را توصیف نماید از تکنیک‌های مناسب جهت تخمین پارامترها استفاده گردد (Minasny et al., 2005). واریوگرام‌ها با یک دانش ریاضیاتی صریح ترسیم می‌گردند و قادر به توصیف کمی تغییرات فضایی خاک (McBratney and Pringle, 1999)، تعیین ناهمسانگردی در یک منطقه (Bohling, 2005)، پیش‌بینی خصوصیات خاک در مقیاس محلی و یا منطقه‌ای با روش کریجینگ، و همچنین طراحی تعداد بهینه نمونه‌ها جهت برداشت می‌باشند. از این رو یک مدل خوب و تکنیک مناسب برای تخمین پارامترهای واریوگرام ضروری است (Minasny et al., 2005). معمولاً یک واریوگرام از داده‌هایی مخصوص و یا روش‌های ممانی و برازش نمودن متعاقب یک مدل تئوری بر روی یک واریوگرام اجرا شده با استفاده از روش حداقل مربعات غیر خطی بوجود می‌آید (Webster and Oliver, 2001). جهت ترسیم واریوگرام‌ها در ابتدا باید فاصله گام، تلورانس، شعاع تاثیر، حداقل و حداکثر تعداد نمونه جهت تخمین مشخص گردد و سپس با روش کریجینگ و از روی نمودار واریوگرام‌های عناصر به تعیین راستای روند بیشترین و کمترین تغییرات پرداخته شود. جهت تخمین شبکه نمونه‌برداری با دقت بالا و با هدف کاهش هزینه‌های نمونه‌برداری و آنالیز این عمل بسیار مفید واقع خواهد شد (Darabi et al., 2012).

با توجه به اینکه مبنای سنجش و میزان غلظت در نمونه‌های رسوب و نمونه‌های خاک با هم متفاوت است از این رو نمی‌توان آنالیز داده‌های نمونه‌های برداشت شده از رسوبات منطقه را با داده‌های نمونه‌های خاک مخلوط کرد بنابراین جهت نرمال‌سازی و تخمین آنومالی و همچنین اعمال روش هندسه فراکتالی تنها داده‌های غلظت نمونه‌های رسوب را به کار می‌گیریم، از طرفی جامعه آماری نمونه‌های خاک که ۷ نمونه را شامل می‌گردد تعداد نمونه‌های کافی جهت تخمین و یا بررسی جداگانه را ندارد. در بررسی نمونه‌های رسوب مشاهده شده است که کمترین غلظت U در نمونه‌ها (Bq/Kg) ۱/۰۵ و بیشترین آن (Bq/Kg) ۱۳/۴۹ است که انحراف معیار کل مقادیر غلظت ۲/۲۸ بدست آمده است. با نرمال‌سازی داده‌ها انحراف معیار داده‌ها از ۲/۲۸ به ۰/۹۵۸۲ و میانگین آنها از ۳/۷۴۶۲ به ۰/۴۹۱۶- می‌رسد که به مقادیر ایده‌آل نرمال شده یعنی انحراف معیار برابر ۱ و میانگین صفر نزدیک شده است همانگونه که ملاحظه می‌گردد با نرمال‌سازی داده‌ها به توزیع نرمال نزدیکتر می‌شوند (شکل ۶).

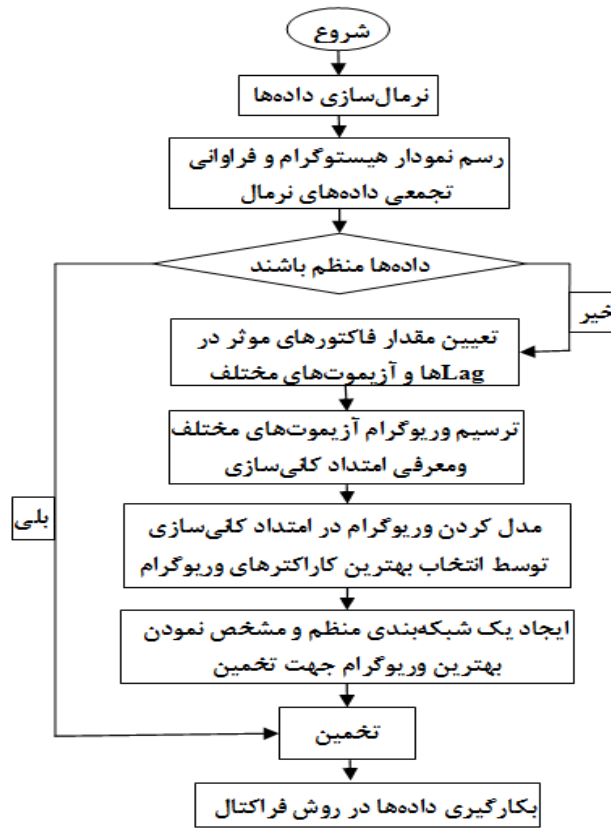
با مطالعات پیشین صورت گرفته در مناطق مختلف دنیا منشاء ناهنجاری‌های رادیواکتیو به عوامل متعددی نسبت داده شده است. کودهای تجاری استفاده شده در کشور برزیل حاوی عناصر رادیواکتیو بوده است (Yamazaki and Geraldo, 2003; Saueia et al., 2004) که میزان محتویات وابسته به سنگ منشاء بوده است (Becegado et al., 2008).

مرداب انزلی به شدت متأثر از رودهای آلوده ای می‌باشد که به آن وارد می‌شوند و اصلی‌ترین فعالیت جهت جلوگیری از افزایش آلودگی، ممانعت از ورود آبهای آلوده صنعتی و فاضلابهای شهری به آن رودها می‌باشد. با هدف سنجش میزان رادیواکتیویته در بخش‌های مختلف کشور در کارهای مشابه (Saghatchi 2010) در استان زنجان با اسپکترومتری اشعه گاما به این نتیجه رسیدند که غلظت متوسط فعالیت عناصر Ra-226 و K-40 در خاک منطقه به ترتیب برابر $88/5 \pm 22/9 \text{ Bqkg}^{-1}$ و $497/4 \pm 162/6 \text{ Bqkg}^{-1}$ بوده است که از مقدار متوسط جهانی بالاتر بوده است. کارهای مشابه دیگری در قسمت‌های مختلف دنیا صورت گرفته است که هدف و مبنای آنها نشان دادن میزان اکتیویته عناصر Ra-226، Th-232، U-235، Cs-137 و K-40 بوده است از این جمله تحقیقات می‌توان به حوضه اقیانوسی Patras-Rion در جنوب یونان (Papaefthymiou et al., 2011)، محدوده هیمال در هند (Rani et al., 2005) و محدوده دریاچه بارولوس در کشور مصر (El-Reefy et al., 2006) و بسیاری از تحقیقات دیگر بر روی نمونه‌های رسوب و خاک در کشورهای مختلف دنیا اشاره کرد.

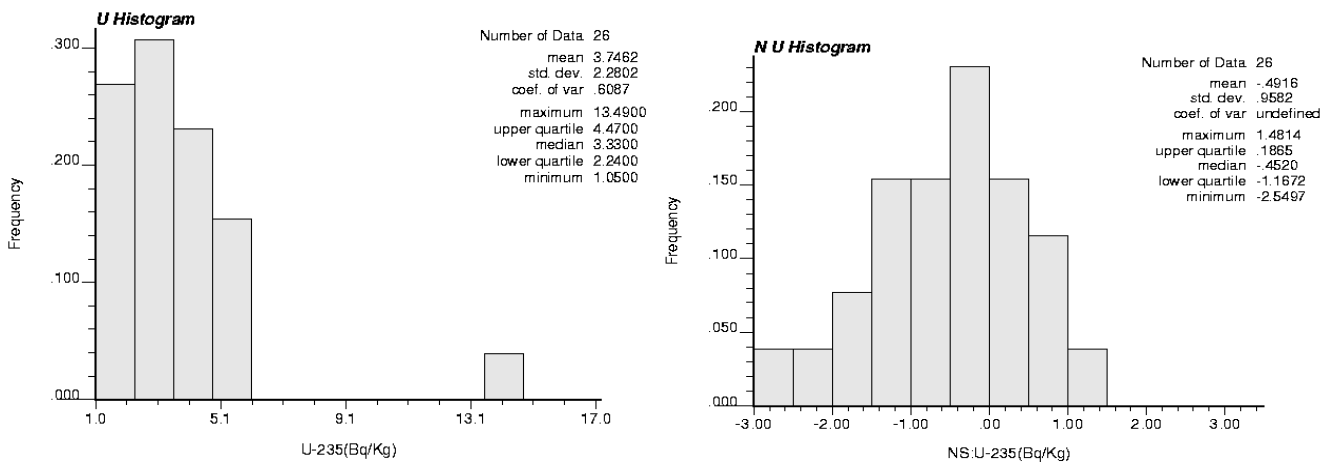
مواد و روش‌ها

به منظور تعیین میزان غلظت عناصر پرتوزای طبیعی اورانیوم (U-235)، توریوم (Th-232)، پتاسیم (K-40)، رادیوم (Ra-226) و سزیم (Cs-137) در محدوده تالاب انزلی نمونه برداری صورت پذیرفت. غلظت هر پنج عنصر نامبرده با واحد (Bq/Kg) تعیین شده است. نوع نمونه‌ها، ۲۶ نمونه رسوب و ۷ نمونه آبی با حجم بالا (۱۰۰ لیتر) بصورت پراکنده و فاقد نظم خاص (بصورت تصادفی) بوده است. آنالیز با استفاده از روش طیف نگاری گاما با آشکارسازهای با قدرت تفکیک بالا صورت گرفته و دستگاه‌های آنالیز، با استفاده از آشکارسازهای ژرمانیومی فوق خالص (HPGe) ثابت هم‌محور از نوع P، با بازدهی‌های نسبی ۳۸/۵ و ۵۵ درصد و همچنین آشکارسازهای ژرمانیومی فوق خالص (HPGe) قابل حمل هم‌محور از نوع P، با بازدهی نسبی ۴۱/۳ درصد بوده است. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری، به آزمایشگاه نمونه‌سازی خاک و رسوب منتقل شده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط قرار گرفتند تا در این مرحله آب نمونه‌ها تبخیر گردد. سپس تحت دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت ۲۴ ساعت در درون کوره قرار گرفتند. سپس با استفاده از آسیاب‌های فکی و گلوله‌ای به صورت کامل خرد و نرم شده و از مش ۵۰ عبور داده شدند. در ادامه مقدار ۹۵۰ گرم از هر نمونه در درون ظروف استاندارد مارینلی قرار گرفتند و درب ظروف آب‌بندی شدند. پس از گذشت یک ماه و سپری شدن زمان تعادل رادیواکتیو، نمونه‌ها با استفاده از آشکارسازهای مورد نظر تحت طیف نگاری گاما قرار گرفتند. قله‌های ۱۴۳، ۱۶۳ و ۱۸۵ کیلوکلوکرون ولت در طیف نمونه‌ها نمایانگر حضور U-235 در هر نمونه می‌باشد. با توجه به منحنی کالیبراسیون بازدهی آشکارسازهای بکار گرفته شده و سطح خالص زیر هر انرژی از U-235، میزان فعالیت U-235 از هر نمونه مورد نظر ارزیابی شده است.

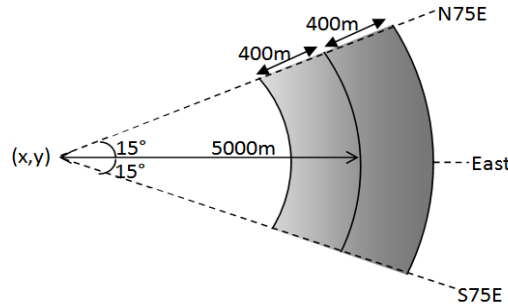
نمونه‌های رسوب با استفاده از واریوگرام‌های ترسیم شده برای آنها در آزمایشگاه‌های مختلف اقدام به تخمین شبکه در ابعاد $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ گردیده شده است. تخمین شبکه نمونه‌برداری با دقت بالا و با هدف کاهش



شکل ۴. نمودار جریان مراحل واریوگرافی، تخمین و اجرای روش فراکتالی



شکل ۵. نمودار هیستوگرام عنصر U و نرمال شده آن (NS منظور نرمالایز شده غلظت ها می باشد)



شکل ۶. تشریح تلورانس h برای مجموعه‌ای از جفت داده‌ها در فاصله پراکندگی با طول h . تلورانس با طول h ± 400 m در دامنه h و ± 15 درجه در جهت مورد نظر پوشش داده می‌شود و هر نمونه در محدوده سایه زده شده می‌تواند جفت نمونه (X, Y) باشد

واریوگرافی و تخمین شبکه

روی هم تاثیر دارند و بعد از این فاصله واریوگرام به سقف خود می‌رسد. (شکل ۸) شمای کلی قرارگیری یک قطاع را با مساحت تحت پوشش آن نشان می‌دهد که در این بررسی تلورانس برای یک لاگ به میزان کمتر از نصف آن یعنی 400 m در محاسبات وارد شده است. با توجه به شکل مشخص است که جهت تخمین نقطه (X, Y) تا فاصله 5000 m تمام ضرایب یک لاگ (m) 1000 با تلورانس ± 400 m از مرکز لاگ می‌تواند جفت نمونه مورد بررسی واقع گردد، زاویه مرکزی این قطاع همانطور که ذکر گردید 15° می‌باشد و نمونه درگیر می‌تواند تا فاصله 5000 m از خط الراس قطاع که برابر همان پهنای باند در (شکل ۷) می‌باشد قرار گیرد. مقدار زیادی از مساحت قطاع‌های مختلف با یکدیگر هم پوشانی دارند، ولی با محاسبه میزان اثر هر نمونه در محدوده قطاع نظیرش می‌توان به منطقی دست یافت که اثر این هم‌پوشانی‌ها را به طور کمی محاسبه و خنثی کند. در نهایت مقدار تخمینی سلول مورد تخمین بر اساس میانگین وزن دار n نمونه مؤثر در آن به صورت زیر محاسبه می‌شود که این محاسبه در نرم افزار WinGslib و با انتخاب روش کریجینگ معمولی و با فرض غلبه مؤلفه همبستگی مکانی و بکارگیری مستقیم مشخصات واریوگرام، ارزش مقداری (X) در یک نقطه با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$x = \sum w_i x_i \quad (\text{رابطه ۲})$$

بنابراین برای هر سلول تخمین یافته U-235، سه ضریب مربوطه محاسبه و ضریب نهایی تعیین و همچنین برای یک تخمین مناسب واریوگرام با بیشترین دامنه تاثیر انتخاب می‌گردد و در ادامه با استفاده از خصوصیات آن واریوگرام، آنومالی با روش کریجینگ تخمین زده می‌شود و مقدار مربوطه به هر سلول محاسبه می‌گردد. کل منطقه ($18000 \text{ m} \times 30000 \text{ m}$) که در آن ۲۶ نمونه از رسوبات منطقه برداشت شده است با تخمین کریجینگ به یک شبکه $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ تبدیل گشته است و تعداد ۵۴۰ سلول در قالب شبکه جدید بوجود می‌آید و به هر سلول عددی نسبت داده شده است که از این داده‌ها برای تعیین حد آستانه به روش فراکتال استفاده می‌گردد. با توجه به اینکه شعاع تاثیر انتخابی در تخمین شبکه 5000 m و حداقل ۲ نمونه باید در این فاصله وجود داشته باشد بسیاری از این سلول‌ها در این شبکه تخمین برابر صفر دارند و در کل ۲۳۸ داده معنادار باقی می‌ماند.

یک شبکه دو بعدی از مقادیر تخمین یافته که تغییرات غلظت U-235 را به صورت تدریجی برای داده‌های نرمال نشان می‌دهد ترسیم شده است (شکل ۹). مزیت روش فوق در اعمال محاسبات روش فرکتالی غلظت - مساحت در این است که هر دو متغیر غلظت و مساحت برای هر سلول به راحتی در دسترس است و با استفاده از این مقادیر و اعمال روش هندسه فراکتال جوامع آماری مختلف مشخص می‌گردد (Darabi et al., 2012).

محاسبه واریوگرام U-235 در هر نقطه، در راستای یک آزمایش مشخص بعد از در نظر گرفتن تعداد زیادی جفت داده بدست می‌آید با اندازه‌گیری‌های متناوب از پیوستگی‌های فضایی واریوگرام جفت‌های مرتبط محاسبه می‌گردد، فاصله این جفت‌ها به صورت مضربی از طول گام محاسبه می‌گردد. این سنجش‌های متناوب به خاطر غلبه بر تنگی داده‌ها، مقادیر خارج از رده، دسته بندی و اشتباهات نمونه برداری انجام می‌شود. یک واریوگرام بر اساس مجموعه‌ای از ارتباطات تعریف می‌گردد و یا به طور کلی‌تر سنجشی از تغییرات فضایی جهت مطالعات زمین‌آمار می‌باشد (Clayton and Andre, 1998). واریوگرام $\gamma(h)$ جهت بیان کردن کمیت وابستگی فضایی نمونه‌ها بیان می‌شود و با رابطه تعریف می‌گردد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن $m(h)$ تعداد جفت نمونه‌های بکار رفته در محاسبات به ازای فاصله معین h و Z مقدار عیار کمیت مورد اندازه‌گیری است (Regli et al., 2004; Lopez et al., 2005; Wang et al., 2008; Sumfleth et al., 2008). جهت تفهیم چگونگی این ارتباط و ترسیم واریوگرام آزمایش‌های مختلف، کاراکترهای واریوگرام در راستای آزمایش ۴۵ درجه برای تالاب بندر انزلی ترسیم و تفسیر گشته است و محدوده تحت پوشش هر لاگ در این راستا بخوبی مشخص می‌باشد. از مرکز شروع این راستای آزمایش، قطاعی با تلورانس 15 درجه پوشش داده می‌شود تا فاصله‌ای که از آزمایش مورد نظر به پهنای باند انتخابی یعنی 5000 m برسد. از آنجا که فاصله هر لاگ 1000 m انتخاب شده است و با توجه به اینکه تلورانس تقریباً نصف مقدار لاگ (400 m) می‌باشد مقدار $n(1000) \pm 400$ m (ن شماره لاگ می‌باشد) منطقه تحت پوشش یک لاگ می‌باشد بنابراین نمونه‌های واقع در این قطاع در محاسبات ترسیم واریوگرام آن لاگ دخیل هستند (شکل ۶). واریوگرام U-235 در راستای آزمایش‌های مختلف ترسیم گردیده و مشاهده شده است که امتداد آزمایش‌های 135 درجه با توجه به راستای بیشترین پیوستگی و حداقل تغییرات در امتداد کانسار و 45 درجه عمود بر امتداد کانسار می‌باشد چرا که در یک شعاع تاثیر یکسان با واریوگرام 135 درجه تغییرات تندتری را برای γ نشان می‌دهد. مدل برازش شده با روش گوسی تطابق بسیار بالایی با واریوگرام ترسیم شده در منطقه نشان می‌دهد (شکل ۷) و این برازش بسیار مشهودتر از روش‌های فیت کردن با مدل‌های کروی، نمایی و اثر چاله می‌باشد. بنابراین مدل توزیع اورانیوم در محدوده اطراف تالاب بندر انزلی توزیع گوسی می‌باشد. واریوگرام‌ها اثر قطعه‌ای برابر صفر و یک منطقه انیزوتروپ، با بیشترین دامنه افقی 12000 m در هر دو امتداد را نشان می‌دهند، یعنی نمونه‌ها تا این فاصله در آزمایش‌های مختلف بر

هندسه فراکتال

هدف از بکارگیری روش‌های جداسازی آنومالی‌ها تعریف حد آستانه‌ای است، به طوریکه بتوان نمونه‌ها را بر اساس مقادیر عنصر کلاسه‌بندی کرد. نمونه‌های با مقادیر بزرگتر از Z (میزان مشخصی از غلظت) به عنوان جامعه آنومالی و مقادیر کوچکتر از Z به عنوان جامعه زمینه معرفی می‌شوند. مطابق (شکل ۱۰) اگر Z_A حد پایین آنومالی و Z_B حد بالای زمینه باشد می‌توان نمونه‌های با مقادیر کمتر از Z_A را جزء زمینه و نمونه‌های بیشتر از Z_B را جزء آنومالی در نظر گرفت. اگر دو جامعه A و B هم‌پوشانی داشته باشند، در این صورت دو مقدار متفاوت Z_A و Z_B را خواهیم داشت ($Z_A < Z_B$) و نمونه‌های مابین این دو مقدار به طور یقین کلاسه‌بندی نمی‌شوند، زیرا این نمونه‌ها می‌توانند به هر دو جامعه آنومالی و زمینه متعلق باشند (Cheng et al., 1996).

کاربرد این روش در شناسایی جوامع آنومالی از جوامع زمینه می‌باشد انواع روش‌های آنالیز فراکتالی شامل روش عیار-مساحت، عیار-محیط، عیار-فاصله و روش طیف توان می‌باشد. (Cheng et al., 1996) روش فراکتالی غلظت-مساحت را ابداع و در ادامه توسط (Changjiang et al., 2003) در سال ۲۰۰۳ جهت جدایش آنومالی ژئوشیمیایی بکار گرفته شد و در این بررسی نیز استفاده شده است. این نمودارها ارتباط نسبی-نمایی بین مساحت‌های $A(\rho)$ با مقدار عیار همان‌های بیشتر از ρ و مقادیر عیار ρ را نشان می‌دهد:

$$A(\rho) \propto C\rho^{-\alpha} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن، C یک مقدار ثابت و α توانی است که ممکن است چندین مقدار برای دامنه‌های متفاوت از مقادیر عیار ژئوشیمیایی در نمودار عیار-مساحت را مشخص کند (Hassani et al., 2009; Cheng et al., 2002; Li et al., 2003). جهت بکارگیری این روش داده‌های حاصل از تخمین U-235 توسط روش کریجینگ در کلاس‌هایی دسته‌بندی می‌گردد و با انجام یک سری محاسبات آماری و لگاریتمی سازی فراوانی و طول دسته‌ها و اعمال مساحت شبکه‌ها نمودار فراکتالی اورانیوم ترسیم می‌گردد. نمودار لگاریتمی بدست آمده یک که با برازش خطوطی مستقیم بر آن که ضریب همبستگی حداقل ۹۰٪ داشته باشند جوامع آماری مختلف مشخص می‌گردد (Darabi et al., Ford et al., 2008; 2012). روش هندسه فراکتالی سه جامعه آماری را از یکدیگر تفکیک نموده و مقادیر بالای $3/7(\text{Bq/Kg})$ را به عنوان جامعه آماری آنومال معرفی کرده است.

بحث

بیشترین نمونه‌های آنومال در قسمت جنوبی تالاب مرکزی تحت تاثیر رودهای پسیخان و هندخاله هستند. ممکن است فاضلاب و یا پساب کارخانه‌ها و یا یک منطقه آنومال در بالا دست عامل این ناهنجاری باشد از طرفی این تعبیر نیز برای نمونه‌های آنومال در قسمت غربی تالاب انزلی قابل برداشت است. با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج بدست آمده باید بررسی‌های بیشتری در قسمت جنوب تالاب مرکزی انزلی و غرب تالاب آبکنار صورت گیرد و نمونه‌های بیشتری برداشت نمود تا با قطعیت بیشتر بتوان در مورد آنومالی و یا کاذب بودن آن نتیجه‌گیری نمود. اگر چه عوامل متعددی همچون استفاده از کودهای مختلف در شالیزارهای برنجکاری (کشاورزی)، موقعیت نزدیک به ساحل و شرایط توریستی، آلودگی‌های صنعتی سرازیر شده به تالاب و در بعضی موارد فاضلاب‌ها ممکن است مقادیر بالایی را در منطقه نیز داشته باشد اما در مقایسه با دیگر مناطق دنیا هر کدام از موارد نامبرده این میزان تمرکز را طبیعی تفسیر نمود.

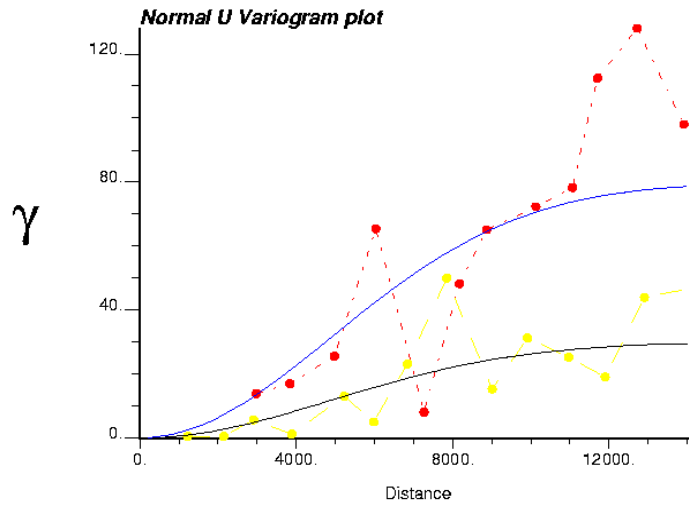
با توجه به آنومالی و غلظت‌های بالای عنصر U که در دو قسمت شمال غربی و جنوبی منطقه مقادیر بالایی را نشان می‌دهد این احتمال وجود دارد که علت این مقادیر بالا از این عناصر به خاطر جریانات ورودی رودهایی است که به محدوده وارد شده است و رسوبی بودن نمونه‌ها هم این نظر را تقویت می‌کند. ممکن است که مقادیر آنومال اورانیوم در شمال غربی منطقه و در تالاب آبکنار ناشی از ورود رود چافرود باشد که این ناهنجاری را به وجود آورده باشد. از طرف دیگر در قسمت جنوبی منطقه نیز ممکن است رودهای هندخاله و پسیخان تاثیراتی داشته‌اند.

بطور کلی در مقایسه با زون‌های ساحلی و باتلاق‌ها در سایر نقاط دنیا میزان مواد رادیواکتیو نمونه‌های برداشت شده در مرداب انزلی مقادیر قابل توجهی نشان نمی‌دهد و بیشتر غلظت‌ها متوجه آلودگی‌های ورودی به منطقه است که این امر باید با نمونه‌برداری‌های سنگ و از محیط لیتوژئوشیمیایی یعنی جایی که تغییرات سطحی و آب و هوای منطقه کمتر روی آن تاثیر داشته است تأیید گردد.

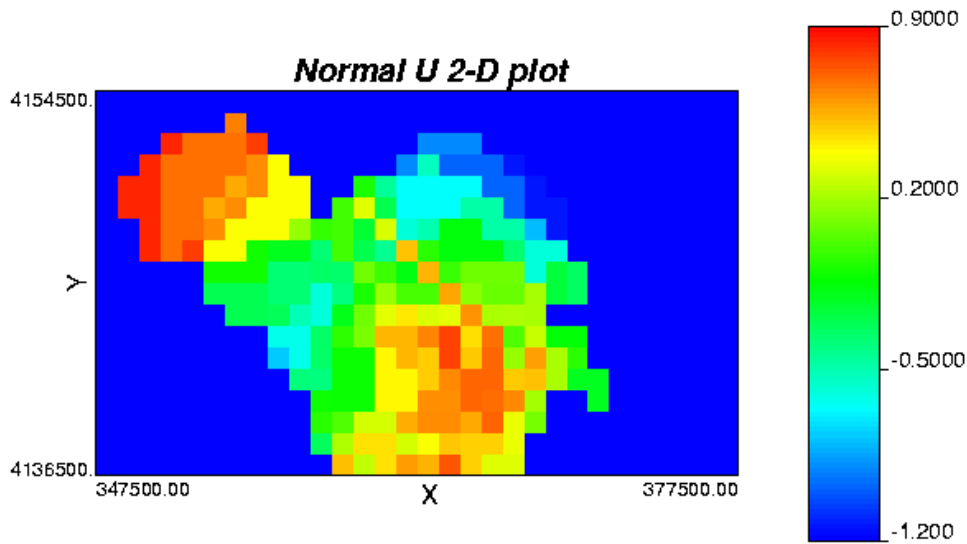
نتیجه گیری

با ترسیم واریوگرام عنصر رادیواکتیو در راستای آزمایشات مختلف کمترین پیوستگی (بیشترین تغییرات) و بیشترین پیوستگی (کمترین تغییرات) واریوگرام به ترتیب در راستای آزمایشات ۴۵ درجه و ۱۳۵ درجه مشخص شد. با توجه به تغییرات واریوگرام مدل گوسی با چگونگی تغییر این روند بیشترین برازش را نشان می‌دهد و نمونه‌ها تا شعاع 1200m بر روی هم تاثیر داشته‌اند. با نتایج حاصل از واریوگرافی، تخمین آنومالی مشخص گردید که در قسمت غربی تالاب انزلی (آبکنار) و در قسمت جنوبی تالاب مرکزی اثراتی از آنومالی U-235 وجود دارد که این غلظت‌ها به بالای $4/5 \text{ Bq/Kg}$ نیز می‌رسد. تخمین آنومالی با روش کریجینگ یک روش مناسب در تعیین موقعیت‌های آنومال و نسبت دادن یک مقدار به یک شبکه با کمک تعداد محدود نمونه‌های برداشت شده در اطراف آن نقطه می‌باشد.

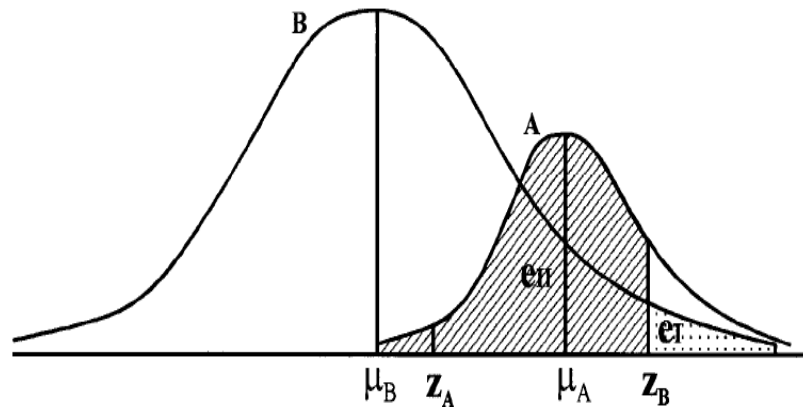
جهت تخمین نقاط نمونه‌برداری نشده به محاسبه میزان اثر هر نمونه در محدوده قطع مورد تخمین پرداخته شده است و وزن دادن با توجه به میزان اثر بخشی داده‌های مربوط به هر نمونه در محدوده قطع نظیرش صورت گرفته است. نقطه حاصل از تقاطع دو خط انتهایی در نمودار فراکتالی بعنوان حد تفکیک جوامع آنومالی از زمینه در نظر گرفته می‌شود. برای عنصر U سه جامعه آماری مختلف قابل برداشت است که نقطه شکست $0/46$ برابر با $3/1(\text{Bq/Kg})$ و حدوداً $0/57$ برابر $3/7(\text{Bq/Kg})$ نقطه جدایش جوامع می‌باشد (شکل ۱۱). با جدایش نمونه‌های موجود در هر سری، ۹۹ نمونه دارای مقادیر بیشتر از $3/7(\text{Bq/Kg})$ هستند (سری سوم) که نشان‌دهنده آنومالی منطقه هستند (شکل ۱۱). رودهای هندخاله و پسیخان و چافرود بیشترین تاثیر را در حمل آلاینده‌ها و یا فاضلاب‌های صنعتی یا شهری و یا به نوعی در این محدوده‌ها بیشترین غلظت مواد رادیواکتیو دیده می‌شود.



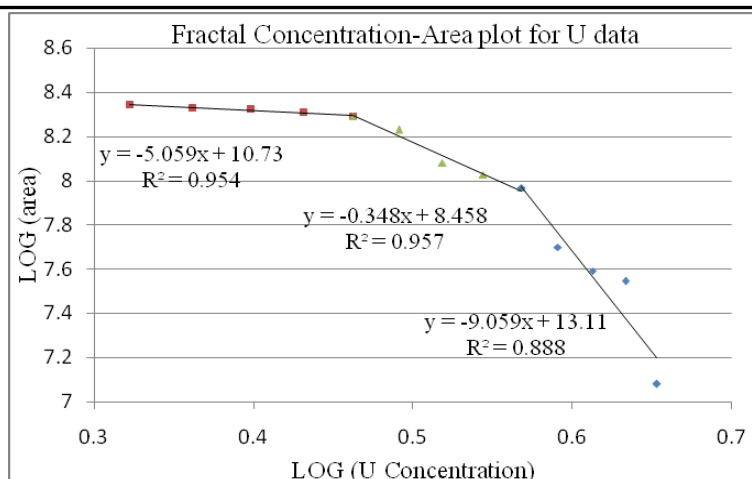
شکل ۷. واریوگرام برازش شده با مدل گوسی در جهت آزیموت‌های ۱۳۵ درجه (امتداد کانسار) و ۴۵ درجه (عمود بر امتداد کانسار) برای عنصر U



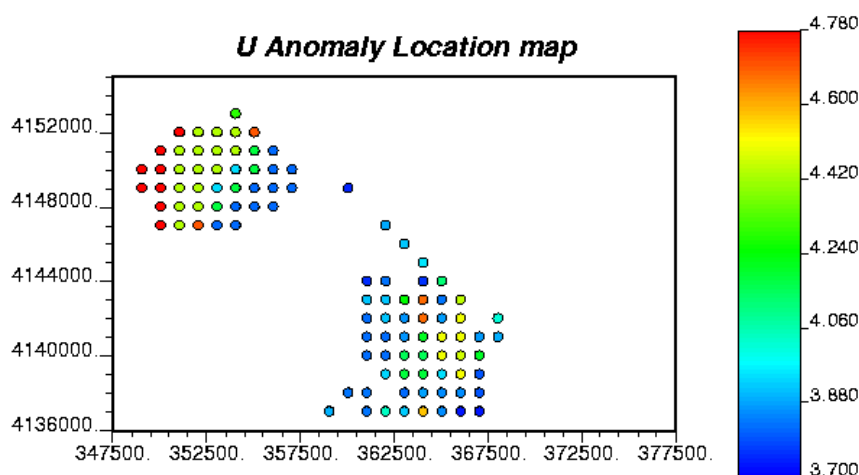
شکل ۸. شبکه تخمین دو بعدی داده‌های نرمال اورانیوم با روش کریجینگ



شکل ۹. توزیع فراوانی دو جامعه آنومالی (A) و زمینه (B) (Cheng et al, 1996).



شکل ۱۰. نمودار فرکتالی غلظت - مساحت U با تفکیک حد جدایش جوامع مختلف در محدوده تالاب انزلی



شکل ۱۱. موقعیت جغرافیایی نمونه‌های آنومال تفکیک شده U با روش هندسه فرکتالی در شبکه تخمین یافته جدید

منابع

دارابی گلستان ف.، (۱۳۹۱). تعیین ارتباط عناصر رادیواکتیو تالاب بندر انزلی با روش‌های تحلیل چند متغیره و شناسایی ناهنجاری آنها توسط هندسه فرکتال، گزارش فعالیت تحقیقاتی نخبگان وظیفه بخش دفاع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر.

- Ajayi IR, Kuforiji OO, 2001: Natural radioactivity measurements in rock samples of Ondo and Ekiti states in Nigeria. Radiat Meas 33:13-16.
- Babaei H., Khodaprast, S. H, 2009. Study on the total Petroleum Hydrocarbon (TPH) and heavy metals (Zn, Cu, Fe, Pb, Cr, Cd and Hg) concentrations in Anzali Wetland outlets, Islamic Azad University Ahvaz Branch, Ecobiology of Wetlands V 1, 33-46.
- Becegato, V. A., Ferreira F, J.F., Machado, W.C.P., 2008. Concentration of Radioactive Elements (U, Th and K) Derived from Phosphatic Fertilizers in Cultivated Soils, Brazilian archives of biology and technology, Vol. 51, n. 6 : pp.1255-1266.
- Bohling, G., 2005- Introduction to Geostatistics and variogram analysis; Kansas geological survey, 20p.
- Dickson, Bruce, L., 2004, "Recent advance in aerial gamma ray surveying" Journal of Environmental Radioactivity 76, 2004 225-236.
- Changjiang, Li., Tuhua, Ma., Junfa, Shi., 2003, "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background". Journal of Geochemical Exploration 77 , 167-175.
- Cheng, Q., Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., 1996, "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", Journal of Geochemical Exploration 56,183- 195.
- Cheng, Q., Li, Q., 2002, "A fractal concentration-area method for assigning a color palette for image representation", Computers and Geosciences 28 , 567-575.
- Clayton, V. Deutsch., Andre, G. Journel., 1998, "GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide", New York-Oxford, OXFORD UNIVERSITY PRESS.

- Darabi-Golestan, F., Ghavami-Riabi, R., Khalokakaie, R., Asadi-Haroni, H., Seydrahimi-Nyaragh, M., 2012. Interpretation of lithochemical and geophysical data to identify the buried mineralized area in Cu- Au porphyry of Dalli- Northern Hill, Arab J Geosci 5, 10.1007/s12517-012-0686-3.
- El-Reefy, H. I., Sharshar, T., Zaghloul, R., Badran, H. M., Distribution of gamma-ray emitting radionuclides in the environment of Burullus lake: I. soils and vegetations. J. Environ. Radioact. 87, 148–169 (2006).
- Ford, A., Blenkinsop, T.G. 2008, "Combining fractal analysis of mineral deposit clustering with weights of evidence to evaluate patterns of mineralization: Application to copper deposits of the Mount Isa Inlier, NW Queensland, Australia", Ore Geology Reviews 33,435–450.
- Ganjidoust, H., Ayati, B., Khara, H., Khodaparast, S. H., Akbarzadeh, A., Ahmadzadeh Layeghi, T., Nezami, S. A., Zolfi Nejad, K., 2009. Investigation of Environmental Pollution in Shiah Keshim Wetland, Environmental Sciences Vol.6, No.3, 117-132.
- Hassani, H., Daya, A.A., Alinia, F., 2009, "Application of a Fractal Method Relating Power Spectrum and Area for Separation of Geochemical Anomalies from Background" , Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4): 3307-3320.
- L'opez-Granados, F., Jurado-Exp'osito, M., Pe~na-Barrag'an, J.M., Garc'ia-Torres, L., 2005, "Using geostatistical and remote sensing approaches for mapping soil properties", Europ. J. Agronomy 23, 279–289.
- Matiullah, Ahad. A., Rehman, S., Feheem, M., 2004. Measurement of radioactivity in the soil of Bahawalpur division, Pakistan. Radiat Prot Dosim 112:443–447.
- McBratney, A.B., Pringle, M.J., 1999. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. Precision Agriculture 1, 125– 152.
- Minasny, B., McBratney, A. B., 2005. The Mate'rn function as a general model for soil variograms, Geoderma 128,192– 207.
- Nasr, S., El-Gamal, A., Hendawi, I., Naim, M., 2006. Statistical evaluation of natural radioactivity in sediments along the Egyptian Mediterranean coast, Proceedings of the 2nd Environmental Physics Conference, 18-22 Feb. 2006, Alexandria, Egypt.
- Papaefthymiou, H.V., Chourdakis, G., Vakalas, J., 2011. Natural radionuclides content and associated dose rates in fine-grained sediments from patras-rion sub-basines, Greece. Radiation Protection Dosimetry Vol. 143, No. 1, pp. 117–124.
- Rani, A., Singh, S. 2005. Natural radioactivity levels in soil samples from some areas of Himachal Pradesh, India using g-ray spectrometry. Atmos. Environ. 39, 6306–6314.
- Reglia, Ch., Rosenthaler, L., Huggenberger, P., 2004. "GEOSSAV: a simulation tool for subsurface applications", Computers and Geosciences 30, 221–238.
- Saghatchi, F., Salouti, M., Eslami, A., Sharafi, A., 2010. Natural radioactivity levels of 226Ra and 40K in soil of Zanjan province, Iran, Radiation Protection Dosimetry , pp. 1–4.
- Saueia, C. H., Mazzilli, B. P., F'avaro, D. I. T., 2004. Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers in Brazil. Journal of Radioanalytical and Chemistry, v. 264, no.2 445-448.
- Singh, S., Rani, A., Mahajan, RK., 2005. 226Ra, 232Th and 40K analysis in soil samples from some areas of Punjab and Himachal Pradesh, India using gamma ray spectrometry. Radiat Meas 39:431–439.
- Sumfleth, K., Duttman, R., 2008. "Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators", ecologic al indicators 8, 485 – 501.
- UNSCEAR (2000) Sources and effects of ionizing radiation. United Nations, New York.
- Veiga, R., Sanches, N., Anjos, RM., Macario, K., Bastos, J., Iguatemy, M., Aguiar, JG., Santos, AMA., Mosquera, B., Carvalho, C., Baptista, FM., Umisedo, NK., 2006. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. Radiat Meas 41:189–196.
- Wang, Huizan., Zhang, Ren., Liu, Kefeng., 2008. "Improved Kriging Interpolation Based on Support Vector Machine and Its Application in Oceanic Missing Data Recovery", International Conference on Computer Science and Software Engineering.
- Webster, R., Oliver, M. A., 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Chichester.
- Xinwei, L., 2004. Natural radioactivity in some building materials and by-products of Shaanxi, China. J Radional Nucl Chem 262:775– 777.
- Yang, Y. X., Wu, X. M., Jiang, Z. Y., Wang, W. X., Lu, J. G., Lin, J., Wang, L. M., Hsia, Y. F., 2005. Radioactivity concentrations in soils of the Xiazhuang granite area, China. Appl Radiat Isot 63:255–259.
- Yamazaki, I. M., Geraldo, L. P., 2003. Uranium content in phosphate fertilizers commercially produced in Brazil. Appl. Radiat. Isot. 59:133-136.