

## تعیین ناهنجاری‌های اورانیم در منطقه برندق با استفاده از داده‌های رادیومتری هوابرد

احمدرضا لکزایی<sup>۱</sup>، مجید نبی‌بیدهندی<sup>۲\*</sup>، افشار ضیاء‌ظریفی<sup>۳</sup>، فرخشاد یگانی<sup>۴</sup> و محمدکاظم حفیظی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ایران

<sup>۴</sup> کارشناس ارشد، سازمان انرژی اتمی ایران

<sup>۵</sup> دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۵/۳/۲۹، پذیرش نهایی: ۸۷/۴/۳)

### چکیده

در اولین مراحل اکتشاف اورانیم، مهم‌ترین قسمت کار اکتشافی، استفاده از داده‌های رادیومتری هوابرد در تعیین بی‌هنجاری‌ها است. در این مقاله ابتدا با روش آمار کلاسیک و با استفاده از محاسبه پارامترهای آماری روی داده‌های برداشت شده ژئوفیزیک هوایی در منطقه برندق، جدایش جوامع بی‌هنجاری صورت گرفته است. سپس جدول‌های توزیع فراوانی عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم و هیستوگرام‌های توزیع فراوانی این عناصر ترسیم شده است. پارامترهای آماری این عناصر محاسبه شده و در نهایت جدایش جوامع بی‌هنجاری براساس پراکندگی حول میانگین صورت گرفته است. در روش دوم بر اساس هندسه فراکتالی و با استفاده از نمودارهای تمام لگاریتمی عیار-مساحت به دست آمده از داده‌های رقومی و نقشه‌های هم‌شدت رادیومتری، جدایش پله‌ای محیط‌های متفاوت (زمینه، حد آستانه‌ای، بی‌هنجاری) صورت گرفته است و در آخر نقشه‌های مربوط به مناطق بی‌هنجاری و معرفی اندیس‌های معدنی قابل بررسی عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم برای ادامه کار اکتشافی با استفاده از هر دو روش آمار کلاسیک و فراکتالی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: عناصر پرتوزا، اورانیم، آمار کلاسیک، روش فراکتال

## Determination of Uranium anomalies in Barandagh region by using airborne radiometry data

Lackzaei, A. R<sup>1</sup>., Nabi-Bidhendi, M<sup>2</sup>., Zia Zarifi, A<sup>3</sup>., Yegani, F<sup>4</sup>. and Hafizi, M. K<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>Graduate Student of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>3</sup>Academic member of Islamic Azad university, Lahijan Branch, Iran

<sup>4</sup>Employee of Atomic Energy Organization of Iran

<sup>5</sup>Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 19 Jun 2006, Accepted: 23 Jun 2008)

### Abstract

Some new statistical techniques are gaining favor and momentum in the separation of background concentration values from anomalous values in determining the economics of extraction of Uranium deposits. In exploration of minerals and feasibility of exploration procedures, old conventional methods are replaced by new ones which have

roots in natural distribution patterns. One of the methods is usage of fractal geometry in the separation of various statistical populations used in these studies such as different background values, threshold limits and anomalous values.

In this paper, in the first step, separation of anomaly values has been performed by means of classical statistics. Then the tables of frequency distribution of Uranium, Thorium and Potassium have been classified, and the frequency distribution histograms have been plotted. The statistical parameters of these three elements have then been estimated. Then separation of anomaly values has been performed based on dispersion around the average. In the second step, separation of anomaly values has been performed by using fractal method based on concentration-area curves.

In this work a comparison of classical statistical method has been made with fractal techniques of separation and grouping of the various values. The data used in this study were the airborne acquired geophysical data of the area which has been based on gamma ray emission of radioactive nuclides present in natural earth's environment. At the first stage of the study the statistical parameters such as mean, mode, median dispersion of the mean, standard deviation, skewness, kurtosis of the data were plotted and the relative values were calculated. At the second stage, using fractal geometry techniques, concentration-area mathematical model of fractal curves were drawn after the interpolation of X, Y and Z digitized data had been constructed. On the basis of the concentration-area model the fractal dimensions were calculated and separation of various statistical populations was made on the basis of tangent values drawn to the fractal curves. The trends of variations in various statistical populations representing the interpreted concentration values were made using the above two procedures, and the advantages and disadvantages of the methods are described. Finally, based on both classical statistics and fractal methods, anomaly maps are plotted in which the anomaly values are separated from background values for all three radioactive elements of Uranium, Thorium and Potassium.

**Key words:** Radioactive elements, Uranium, Classical statistics, Fractal method

## ۱ مقدمه

اورانیم، روش‌های سنتی و قدیمی به تدریج جای خود را به روش‌های نوین که از طبیعت الهام گرفته‌اند، می‌دهند.

یکی از این روش‌ها استفاده از هندسه فراکتال در جدایش جوامع متفاوت زمینه، حد آستانه و بی‌هنجاری در مقایسه با روش‌های قبلی آمار کلاسیک است. هدف نهایی از اعمال روش‌های فوق در مرحله اکتشاف ناحیه‌ای اورانیم، دستیابی به ناهنجاری‌های عناصر پرتوزا و معرفی آنها برای هدایت و برداشت‌های زمینی به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم جهت ادامه مراحل بعدی اکتشاف است. (گزارش IAEA-TECDOC).

در اکثر پروژه‌های اکتشافی عنصر اورانیم، استفاده از داده‌ها و روش‌های ژئوفیزیک هوایی در کوتاه‌ترین زمان ممکن، رسیدن به محدوده‌های امیدبخش و اندیس‌های معدنی برای ادامه مراحل اکتشاف را ممکن می‌سازد، لذا لزوم استفاده از روش‌های متفاوت برای پردازش و تعبیر و تفسیر این داده‌ها به منظور دستیابی به محدوده‌های عناصر پرتوزا از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه برای دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر در شاخه‌های گوناگون علوم، روش‌های جدید و نو مورد توجه اکثر محققان قرار می‌گیرد. در مراحل اولیه اکتشاف مواد معدنی و مراحل پی‌جویی و اکتشاف مقدماتی، برای تعیین و تفکیک دقیق‌تر جامعه بی‌هنجاری از مقادیر زمینه در کانسارهای

۲ پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوابرد به روش آمار کلاسیک

۱-۲ ماهیت داده‌های اندازه‌گیری شده ژئوفیزیک هوایی (روش رادیومتری)

داده‌های به‌دست آمده براساس اندازه‌گیری پرتو گامای حاصل از پروازهای هوایی است که براساس توان طیف انرژی سه عنصر اورانیم، توریم و پتاسیم و جداسازی آنها صورت گرفته است. داده‌های خام عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم اندازه‌گیری شده منطقه برندق واقع در جنوب غرب ماسوله با نرم‌افزار Rti Cad به صورت دیجیتال در آمده و شامل سه مؤلفه طول جغرافیایی (X)، عرض جغرافیایی (Y) و غلظت (Z) (با واحدهای معادل گرم بر تن برای اورانیم و توریم و واحد درصد برای عنصر پتاسیم) اندازه‌گیری شده‌اند که برای عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم و نسبت‌های آنها مشخص شده است. برگه ۱/۵۰۰۰۰ منطقه برندق به شماره ۳-۵۷۶۴ در محدوده ۱/۲۵۰۰۰۰ بندرانزلی است و تحقیق فوق روی همه داده‌های برداشت شده در این برگه ۱/۵۰۰۰۰ صورت گرفت. داده‌ها با هواپیماهایی که در ارتفاع اسمی ۶۰ تا ۱۲۰ متری از سطح زمین پرواز می‌کنند با دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتو گاما و تفکیک آن براساس طیف انرژی شامل طیف‌سنج‌ها برداشت می‌شوند. فاصله خطوط برداشت داده‌ها یکسان و در حدود ۵۰۰ متر است. مجموعه‌ای از خطوط پرواز کنترلی عمود بر خطوط اصلی پرواز می‌شوند که فاصله آنها معمولاً حدود دو برابر فاصله خطوط پرواز اصلی است. داده‌های موجود در منطقه برندق شامل ۵۳۱۵۴ مورد است داده‌های موردنظر مرتب‌سازی شد و همچنین با اعمال فیلتر، داده‌های کاذب از بین آنها حذف گردید و آماده مراحل محاسبات آماری شد (بروس و دیکسون، ۲۰۰۴ و هوگارد و گراستی، ۱۹۹۷).

۲-۲ مرتب‌سازی و طبقه‌بندی داده‌ها

به‌منظور مرتب‌سازی داده‌های اکتشافی رادیومتری هوایی منطقه برندق که دارای دامنه وسیعی بودند، باید طبقه‌بندی داده‌ها در رده‌های مشخص صورت می‌گرفت تا توزیع فراوانی معنی‌داری حاصل شود. در این راستا دامنه کوچک‌ترین مقدار تا بزرگ‌ترین مقدار اندازه‌گیری شده برای هر دسته از اطلاعات داده‌های رادیومتری که شامل اورانیم، توریم و پتاسیم بودند، مشخص شد و به رده‌هایی با فواصل یکسان تقسیم‌بندی شدند. طول هر رده و یا دامنه هر رده براساس قاعده استورج انتخاب شد (حسینی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰)، و حتی‌الامکان سعی شد که عدد صحیحی برای دامنه رده‌ها انتخاب شود. تعداد داده‌هایی که در هر رده قرار گرفتند فراوانی مطلق رده مورد نظر را نشان می‌دهد. فراوانی نسبی هر رده نیز حاصل تقسیم فراوانی مطلق به کل فراوانی است که به صورت درصد بیان شده است. فراوانی تجمعی، از جمع داده‌های موجود در هر رده با داده‌های موجود در رده‌های قبلی حاصل شد (حسینی‌پاک، ۱۳۷۷). توزیع فراوانی داده‌های رادیومتری هوایی منطقه برندق برای سه عنصر اورانیم، توریم و پتاسیم (با واحدهای معادل گرم بر تن برای اورانیم و توریم و واحد درصد برای عنصر پتاسیم) تهیه شده است که به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

۳-۲ بررسی توزیع فراوانی داده‌های عناصر اورانیم،

توریم و پتاسیم با رسم هیستوگرام توزیع فراوانی بعد از مرتب‌سازی و طبقه‌بندی داده‌ها براساس اطلاعات موجود در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ به منظور بررسی توزیع فراوانی عناصر پرتوزا در منطقه برندق، ترسیم هیستوگرام‌های عناصر پرتوزا صورت گرفت. این منحنی‌ها نشان‌دهنده چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر در منطقه موردنظرند. هیستوگرام‌های توزیع فراوانی عناصر

جدول ۳. توزیع فراوانی عنصر پتاسیم برای منطقه برندق.

ردۀ داده‌ها	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (%)	فراوانی تجمعی
۰-۰/۵	۱۴۶	۰/۲۷	۱۴۶
۰/۵-۱	۱۷۱۸	۳/۲۳	۱۸۶۴
۱-۱/۵	۴۰۹۸	۷/۷۱	۵۹۶۲
۱/۵-۲	۱۰۳۸۷	۱۹/۵۴	۱۶۳۴۹
۲-۲/۵	۱۶۰۰۳	۳۰/۱۱	۳۲۳۵۲
۲/۵-۳	۱۳۱۶۲	۲۴/۷۶	۴۵۵۱۴
۳-۳/۵	۵۴۴۱	۱۰/۲۳	۵۰۹۵۵
۳/۵-۴	۱۴۸۲	۲/۷۹	۵۲۴۳۷
۴-۴/۵	۶۰۱	۱/۱۳	۵۳۰۳۸
۴/۵-۵	۱۱۰	۰/۲۱	۵۳۱۴۸
۵-۵/۵	۶	۰/۰۱	۵۳۱۵۴

#### ۴-۲ محاسبه پارامترهای آماری برای معرفی

##### محدوده‌های بی‌هنجاری عناصر پرتوزا

مهم‌ترین پارامترهای آماری که در تعبیر و تفسیر داده‌ها و جدایش جوامع ناهنجاری از زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارت‌اند از میانگین (Mean)، میانه (Median)، مد (Mode)، پراش (Variance)، انحراف معیار (Standard Deviation)، ضریب تغییرات (Coefficient Variation)، چاولگی (Skewness) و کشیدگی (Kurtosis)، که این پارامترها در مورد داده‌های رادیومتری هوایی منطقه برندق برای عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم محاسبه شد. (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۰) پارامترهای آماری سه عنصر اورانیم، توریم و پتاسیم منطقه برندق در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ فهرست شده‌اند.

با توجه به پارامترهای آماری محاسبه شده، تفکیک جوامع زمینه و بی‌هنجاری برای منطقه برندق صورت گرفته است. در اینجا مقدار میانگین ( $\bar{x}$ ) تقریباً مشخص‌کننده حد زمینه داده‌هاست. برای برآورد حد آستانه‌ای نیاز به پارامتر دیگری به نام انحراف معیار داریم

اورانیم، توریم و پتاسیم برای منطقه برندق با استفاده از نرم‌افزار Excel به دست آمده‌اند که به ترتیب در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده می‌شوند.

جدول ۱. توزیع فراوانی عنصر اورانیم برای منطقه برندق.

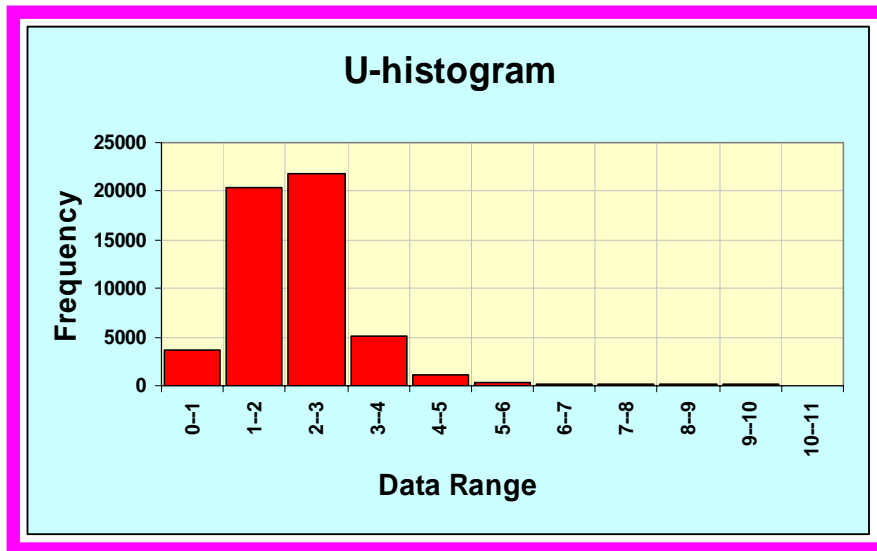
ردۀ داده‌ها	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (%)	فراوانی تجمعی
۰-۱	۳۶۱۴	۶/۷۹	۳۶۱۴
۱-۲	۲۰۴۵۵	۳۸/۴۸	۲۴۰۶۹
۲-۳	۲۱۸۸۳	۴۱/۱۷	۴۵۹۵۲
۳-۴	۵۰۶۰	۹/۵۱	۵۱۰۱۲
۴-۵	۱۱۴۵	۲/۱۵	۵۲۱۵۷
۵-۶	۳۸۰	۰/۷۱	۵۲۵۳۷
۶-۷	۲۱۱	۰/۳۹	۵۲۷۴۸
۷-۸	۱۵۸	۰/۲۹	۵۲۹۰۶
۸-۹	۱۴۳	۰/۲۶	۵۳۰۴۹
۹-۱۰	۸۰	۰/۱۵	۵۳۱۲۹
۱۰-۱۱	۲۵	۰/۰۵	۵۳۱۵۴

جدول ۲. توزیع فراوانی عنصر توریم برای منطقه برندق.

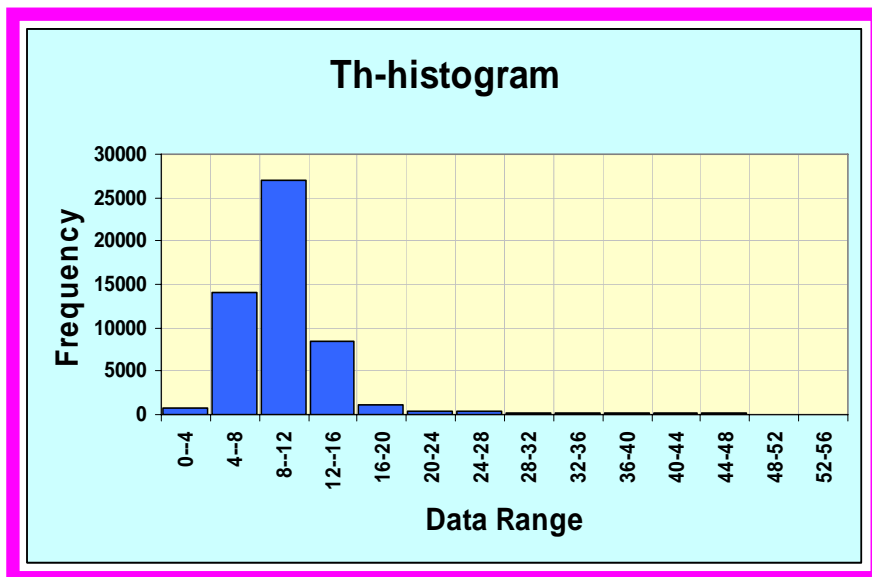
ردۀ داده‌ها	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (%)	فراوانی تجمعی
۰-۴	۷۲۹	۱/۳۷	۷۲۹
۴-۸	۱۴۱۵۵	۲۶/۶۳	۱۴۸۸۴
۸-۱۲	۲۶۹۶۵	۵۰/۷۲	۴۱۸۴۹
۱۲-۱۶	۸۵۰۹	۱۶/۰۱	۵۰۳۵۸
۱۶-۲۰	۱۱۵۷	۲/۱۷	۵۱۵۱۵
۲۰-۲۴	۴۵۴	۰/۸۵	۵۱۹۶۹
۲۴-۲۸	۳۱۵	۰/۵۹	۵۲۲۸۴
۲۸-۳۲	۲۴۵	۰/۴۶	۵۲۵۳۰
۳۲-۳۶	۱۷۹	۰/۳۳	۵۲۷۰۹
۳۶-۴۰	۱۵۱	۰/۲۸	۵۲۸۶۰
۴۰-۴۴	۱۴۷	۰/۲۷	۵۳۰۰۷
۴۴-۴۸	۹۸	۰/۱۸	۵۳۱۰۵
۴۸-۵۲	۴۰	۰/۰۷۵	۵۳۱۴۵
۵۲-۵۶	۹	۰/۰۱۶	۵۳۱۵۴

جوامع بی‌هنجاری برای داده‌های رادیومتری هوایی عناصر اورانیم، توریوم و پتاسیم برای منطقه برندق انجام شد که محاسبات آنها در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود و سپس از روی این مقادیر به دست آمده، نقشه‌های تفکیک بی‌هنجاری‌های عناصر اورانیم، توریوم و پتاسیم از مقادیر زمینه، برای هدایت زمینی، با نرم‌افزار surfer تهیه شده است که به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود.

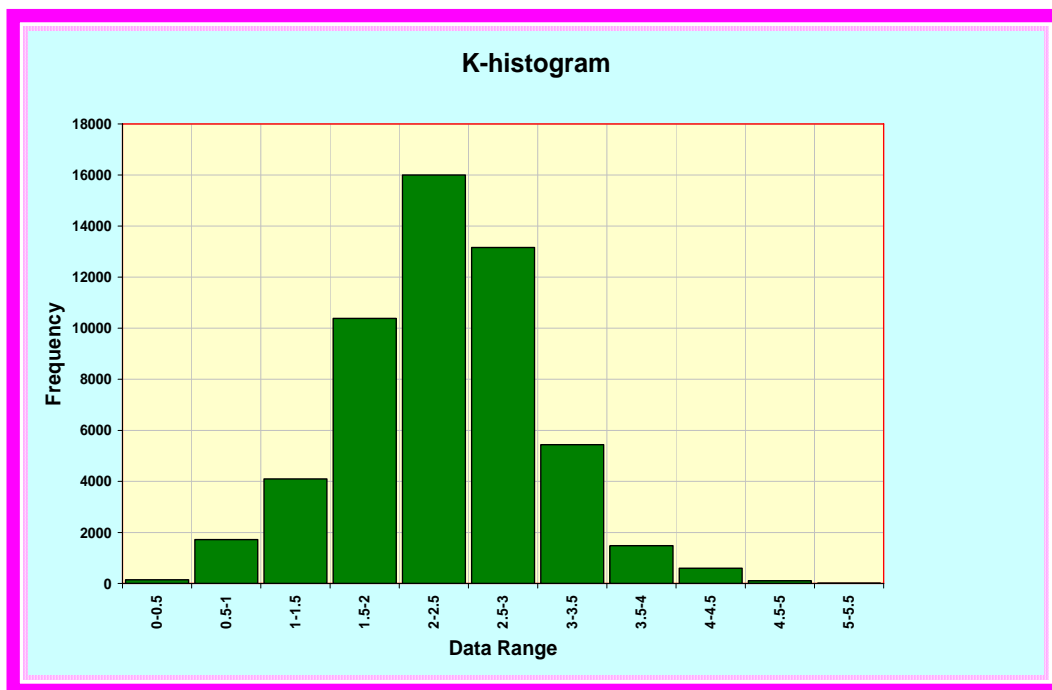
( $\sigma$ ). بر طبق تجزیه و تحلیل آماری در یک توزیع نرمال، ۶۸٫۲۶ درصد از داده‌ها بین  $\bar{x} \pm \sigma$ ، ۹۵٫۴۴ درصد داده‌ها بین  $\bar{x} \pm 2\sigma$  و ۹۹٫۷۴ درصد داده‌ها بین  $\bar{x} \pm 3\sigma$  قرار می‌گیرند. معمولاً  $\bar{x} + \sigma$  را به مثابه حد آستانه‌ای،  $\bar{x} + 2\sigma$  را در حکم بی‌هنجاری ممکن و  $\bar{x} + 3\sigma$  را در نقش بی‌هنجاری احتمالی در نظر می‌گیرند (سامی و عبد، ۲۰۰۱). با توجه به توضیحات بالا، تفکیک و جداسازی



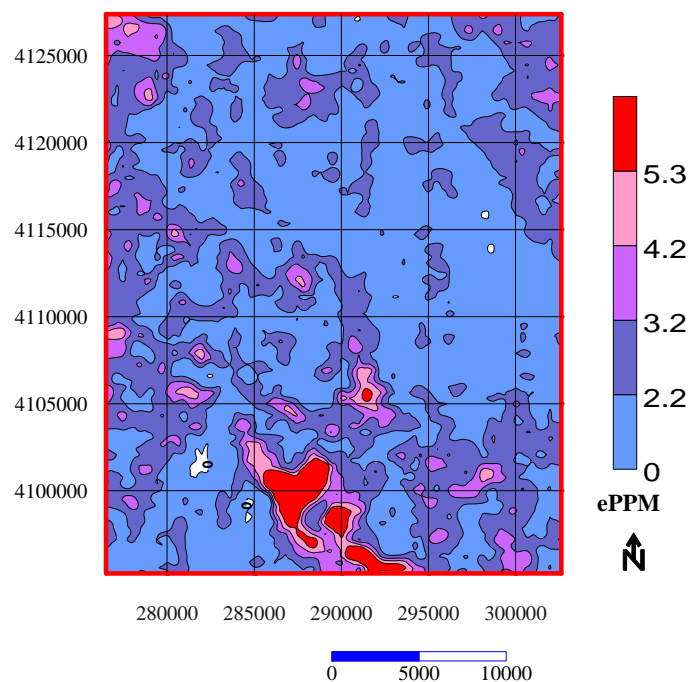
شکل ۱. هیستوگرام توزیع فراوانی عنصر اورانیم (ppm).



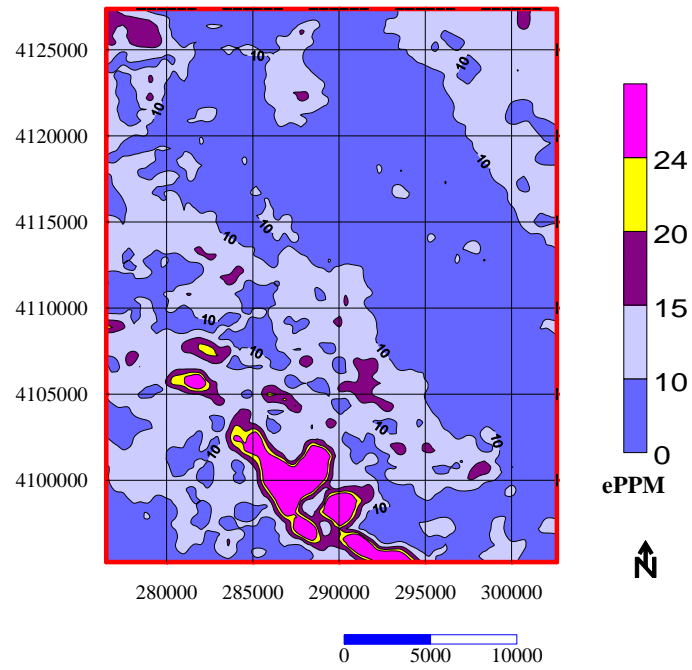
شکل ۲. هیستوگرام توزیع فراوانی عنصر توریوم (ppm).



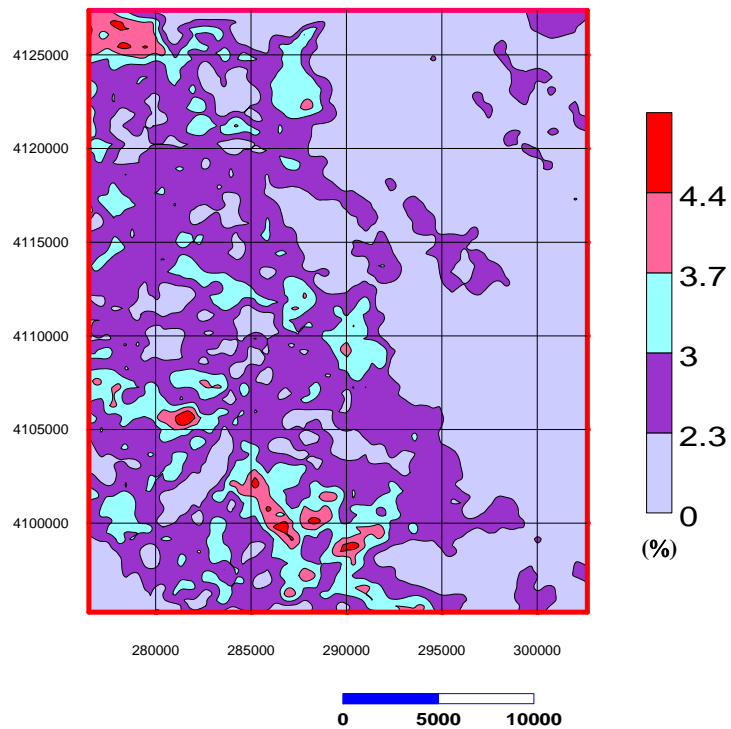
شکل ۳. نمودار هیستوگرام عنصر پتاسیم (%).



شکل ۴. نقشه معرفی بی‌هنجاری‌های عنصر اورانیم با استفاده از روش‌های آماری.



شکل ۵. نقشه معرفی بی‌هنجاری‌های عنصر توریم با استفاده از روش‌های آماری.



شکل ۶. نقشه معرفی بی‌هنجاری‌های عنصر پتاسیم با استفاده از روش‌های آماری.

جدول ۴. پارامترهای آماری و نتایج حاصل از آنها برای داده‌های عنصر اورانیم (U).

پارامتر	Mean	Variance	SD	CV	Skewness	Kurtosis	Min	Median	Mode	Max
مقدار	۲٫۲	۱٫۱	۱٫۰۳	۰٫۴۷	۲٫۲۳	۱۱٫۰۲	۰	۲٫۰۸	۲٫۰۲	۱۰٫۸۱
Low Back ground = Mean = ۲٫۲										
High Back ground = Mean + 1SD = ۳٫۲										
Possible Anomaly = Mean + 2SD = ۴٫۲										
Probable Anomaly = Mean + 3SD = ۵٫۳										

جدول ۵. پارامترهای آماری و نتایج حاصل از آنها برای داده‌های عنصر توریم (Th).

پارامتر	Mean	Variance	SD	CV	Skewness	Kurtosis	Min	Median	Mode	Max
مقدار	۱۰٫۲۸	۲۲٫۹۷	۴٫۷	۰٫۴۶	۳٫۶۳	۲۰٫۳۱	۱٫۵۵	۹٫۵۹	۸٫۵۷	۵۵
Low Back ground = Mean = ۱۰٫۲۸										
High Back ground = Mean + 1SD = ۱۵٫۰۸										
Possible Anomaly = Mean + 2SD = ۱۹٫۸۷										
Probable Anomaly = Mean + 3SD = ۲۴٫۶۶										

جدول ۶. پارامترهای آماری و نتایج حاصل از آن برای عنصر پتاسیم (K).

پارامتر	Mean	Variance	SD	CV	Skewness	Kurtosis	Min	Median	Mode	Max
مقدار	۲٫۳۱	۰٫۴۷	۰٫۶۸	۰٫۲۹	۰٫۰۷	۰٫۳۷	۰٫۲۵	۲٫۳۲	۲٫۳۷	۵٫۱۷
Low Back ground = Mean = ۲٫۳۱										
High Back ground = Mean + 1SD = ۲٫۹۹										
Possible Anomaly = Mean + 2SD = ۳٫۶۸										
Probable Anomaly = Mean + 3SD = ۴٫۳۷										

که یکی از آنها روش عیار- مساحت است. این روش تغییرات سطح محصور منحنی‌ها را نسبت به تغییرات غلظت (عیار) می‌سنجد که در نتیجه به یک تابع نمایی می‌رسیم که این تابع ساختار برخالی دارد (تورکوت، ۱۹۸۶). برای به دست آوردن منحنی عیار- مساحت داده‌های اورانیم، توریم و پتاسیم ابتدا باید نقشه کنتوری آنها را در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ به دست آوریم تا از روی این

### ۳ معرفی اندیس‌های معدنی عناصر پرتوزا به روش هندسه برخال

در روش جدیدتر هندسه برخال ساختار فضایی داده‌ها نیز مورد توجه قرار می‌گیرد، در صورتی که در روش‌های آمار کلاسیک، به ساختار فضایی داده‌ها توجه نمی‌شد. تعیین حد آستانه، بی‌هنجاری ممکن و بی‌هنجاری احتمالی در هندسه برخال به روش‌های گوناگونی صورت می‌گیرد



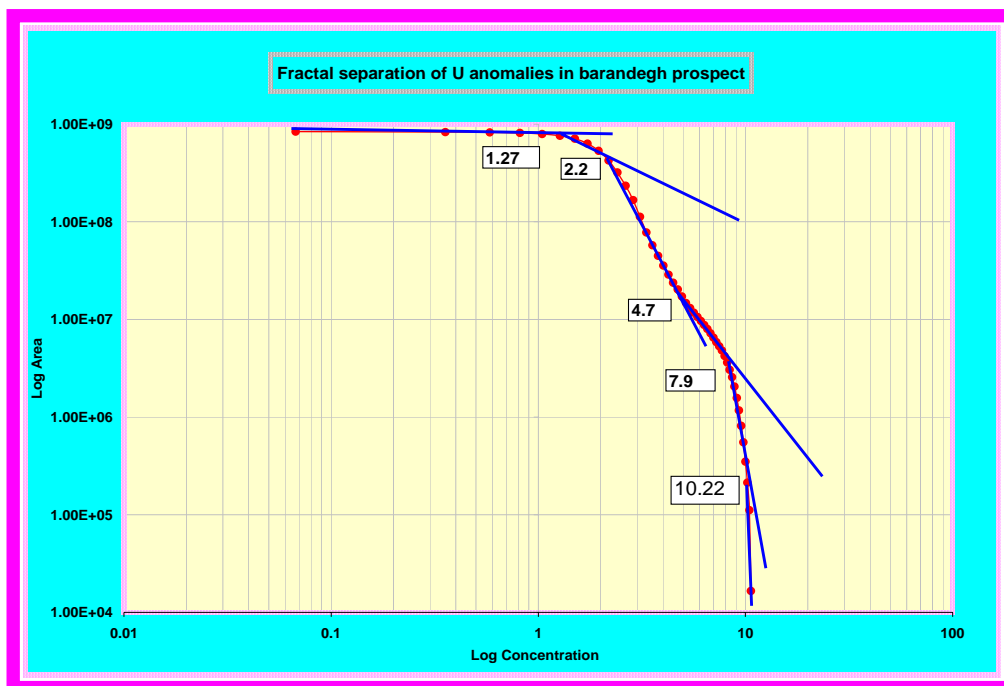
نقطه تلاقی آن با خط دوّم مشخص کننده حد آستانه‌ای است که ممکن است در دو مقیاس ناحیه‌ای و محلی، خود را نشان دهد و دو خط بر حد آستانه برازش خواهد شد. خطوط بعدی نشان‌دهنده جوامع بی‌هنجاری‌اند. نتایج محاسبات در جدول ۷ خلاصه شده است.

با توجه به مقادیر به‌دست آمده از روش برخال، نقشه معرفی بی‌هنجاری‌ها برای عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم مشخص شده است که به ترتیب در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود.

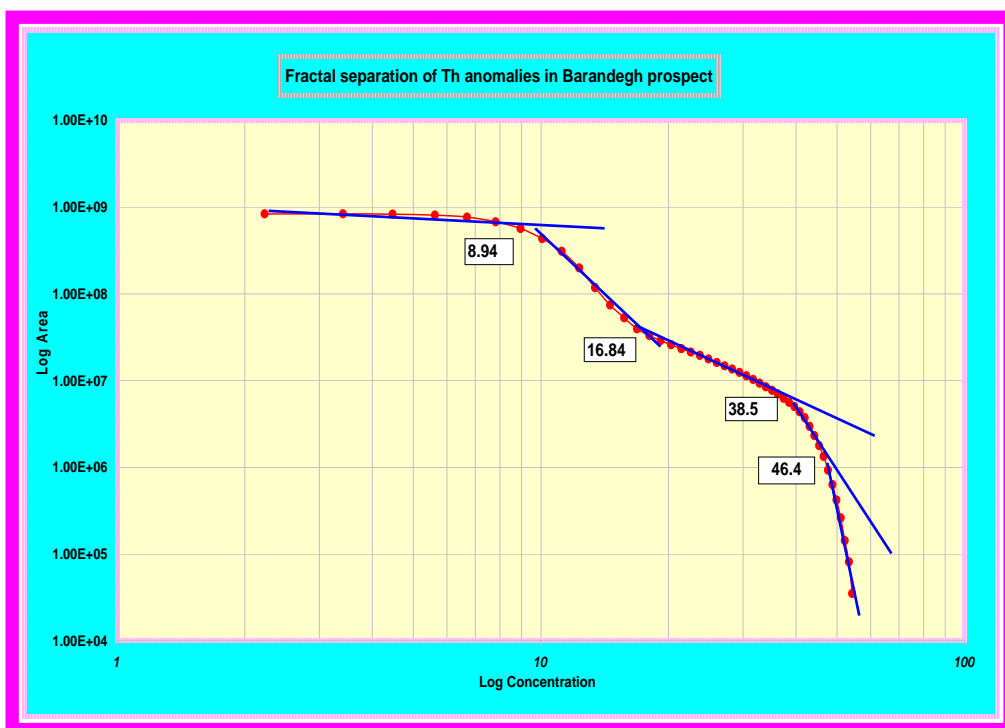
نقشه کنتوری مساحت محصور به هر عیار را به‌دست آید. این کار با نرم‌افزار Arc View صورت می‌گیرد و درون‌یابی داده‌ها و ترسیم نقشه کنتوری نیز به انجام می‌رسد. عیار هر کنتور نیز به‌دست آید. با توجه به مساحت‌های محاسبه شده برای هر عیار، منحنی عیار-مساحت را به صورت تجمعی ترسیم می‌کنیم که نتیجه آن شکل‌های ۷، ۸ و ۹ است. اکنون با توجه به شکل‌های پیش‌گفته و خط‌های برازش شده مورد نظر، اولین خط برازش شده، جامعه زمینه را برای ما مشخص می‌کند و

جدول ۷. برآورد حد آستانه، بی‌هنجاری ۱ و بی‌هنجاری ۲ برای عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم با توجه به روش برخال.

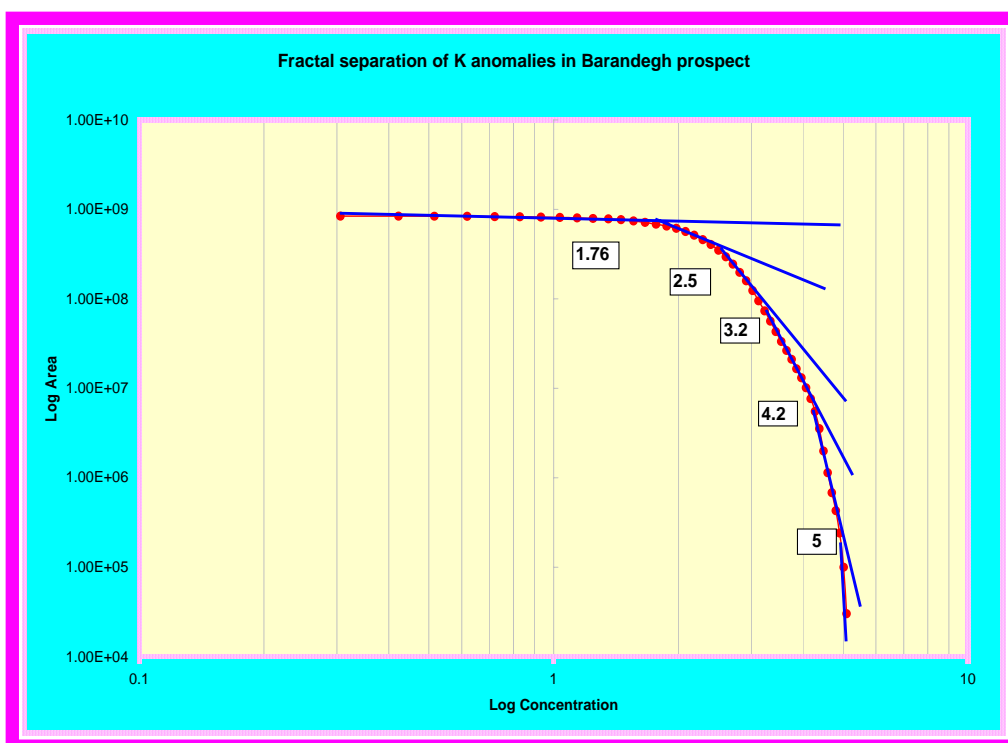
پارامتر	حد آستانه	بی‌هنجاری ممکن (بی‌هنجاری ۱)	بی‌هنجاری احتمالی (بی‌هنجاری ۲)
U(ppm)	۴۷۱	۷۹	۱۰۲۲
Th(ppm)	۱۶۸	۳۸۵	۴۶۴
K(%)	۳۲	۴۲	۵



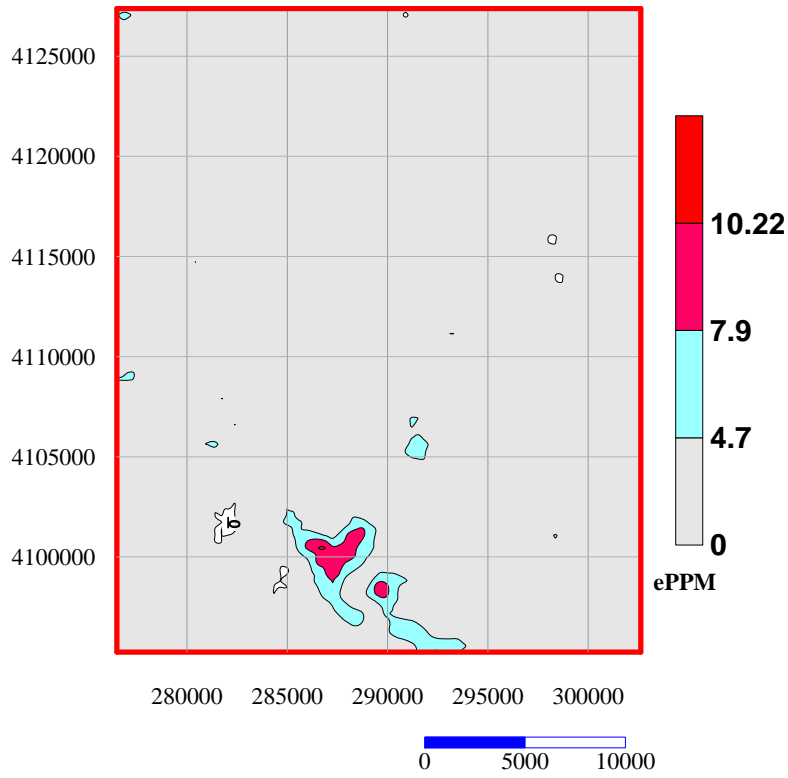
شکل ۷. نمودار عیار-مساحت داده‌های عنصر اورانیم برای منطقه برندق.



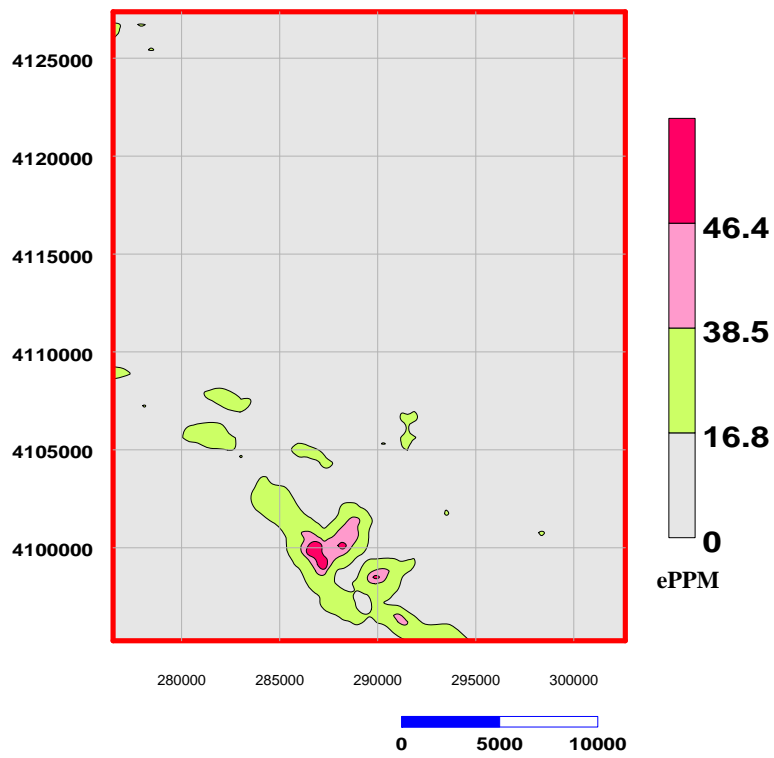
شکل ۸. نمودار عیار- مساحت داده‌های عنصر توریم برای منطقه برندق.



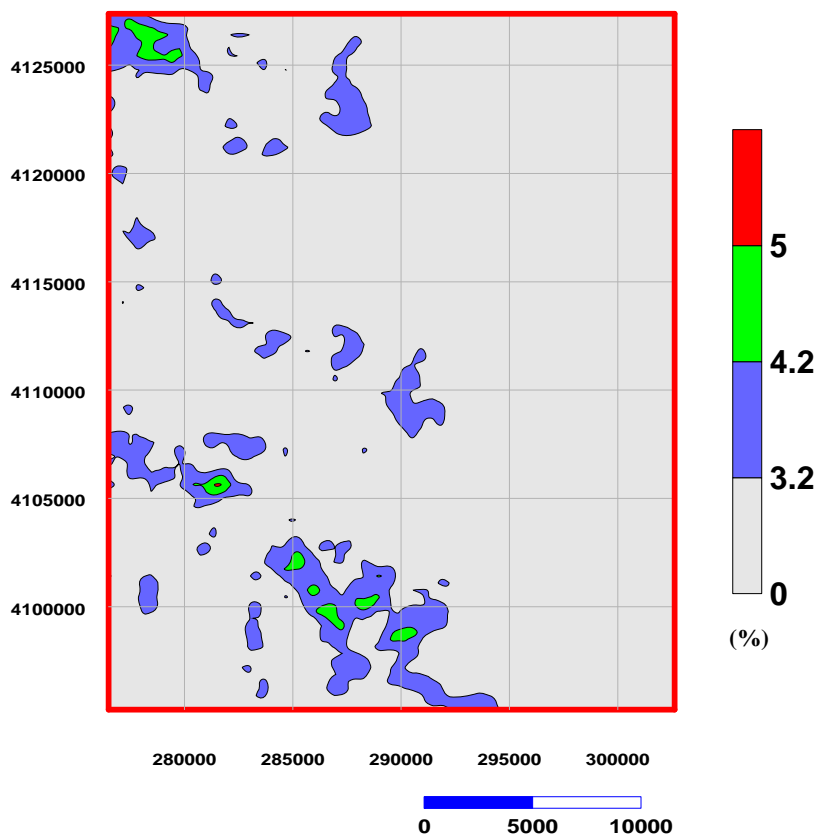
شکل ۹. نمودار عیار- مساحت داده‌های عنصر پتاسیم برای منطقه برندق.



شکل ۱۰. محدوده‌های به‌دست آمده برای عنصر اورانیم با توجه به روش برخال.



شکل ۱۱. محدوده‌های به‌دست آمده برای عنصر توریم با توجه به روش برخال.



شکل ۱۲. محدوده‌های به‌دست آمده برای عنصر پتاسیم با توجه به روش برخال.

می‌گیرد، بدین صورت که ابتدا محدوده‌های داغ (بی‌هنجاری‌ها) بزرگ‌تر که در نقشه هر دو روش جدایش (آماري و برخال) حاصل شده به مثابه اولویت اول برای معرفی هدایت زمینی انتخاب شد و بقیه محدوده‌های داغ نیز براساس فاکتورهای وسعت و هم‌پوشانی دو روش فهرست شدند. بدین ترتیب برای معرفی اولین محدوده بی‌هنجاری اورانیم با در نظر گرفتن فاکتورهای بالا، محدوده بزرگی که در جنوب غربی نقشه منطقه برندق وجود دارد درحکم اولویت اول هدایت زمینی است که در هر دو روش آماري و برخالی این محدوده بزرگ وجود دارد و بعد از این محدوده بقیه محدوده‌های داغ براساس وسعت و هم‌پوشانی دو روش مورد نظر هستند. در

۴ تجزیه و تحلیل نتایج براساس بی‌هنجاری‌های عناصر اورانیم، توریم و پتاسیم و معرفی اولویت‌بندی محدوده‌های ناهنجار برای هدایت زمینی براساس نتایج جدایش بی‌هنجاری‌ها با استفاده از دو روش آماري و برخال برای عنصر اورانیم که در شکل‌های ۴ و ۱۰ نشان داده شده است، نقشه حاصل از جدایش به روش آماري حاوی پنج محدوده داغ (محدوده سرخ رنگ نقشه) بوده در حالی که نقشه به‌دست آمده جدایش بی‌هنجاری از زمینه به روش برخال حاوی دو محدوده داغ (محدوده سرخ رنگ نقشه) است. اولویت‌بندی محدوده‌های بی‌هنجاری براساس دو فاکتور وسعت محدوده و هم‌پوشانی دو روش به‌کار گرفته صورت

رادایومتری هوایی عنصرهای پرتوزا فقط یک لایه اکتشافی محسوب می‌شود و لازم است لایه‌های اطلاعاتی دیگر شامل: زمین‌شناسی، ژئوشیمی، تحقیقات زمین‌ساختاری (تکتونیک)، نمونه‌برداری‌های زمینی، حفاری‌های اکتشافی سطحی و عمقی و برداشت‌های چاه‌نگاری با یکدیگر تلفیق شوند تا به اکتشاف و استخراج عناصر پرتوزا، به خصوص اورانیم منجر شود.

#### تشکر و قدردانی

در اینجا لازم می‌دانیم از حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران در قالب طرح تحقیقاتی شماره ۶۲۰۱۰۱۸/۱/۰۱ و همچنین از همکاری‌های بخش اکتشاف و استخراج سازمان انرژی اتمی ایران تشکر و قدردانی کنیم.

#### منابع

حسنی‌پاک، ع. ا.، ۱۳۷۷، زمین‌آمار (ژئواستاتیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

حسنی‌پاک، ع. ا.، و شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۰، تحلیل داده‌های اکتشافی (جدایش زمینه از بی‌هنجاری، آمار و احتمال مهندسی، تخمین ذخیره)، انتشارات دانشگاه تهران.

Bruce L. Dickson, 2004, Recent advance in aerial gamma ray surveying: J. Environ. Radioactiv., 76, 225-236.

Hovgaard, J., and Grasty, R. L., 1997, Reducing statistical noise in airborne gamma ray data through spectral component analysis. In Proceeding of exploration 97: Fourth Decennial Conference on Mineral Exploration edited by A. G. Gubins, 753-764.

IAEA-TECDOC, 2003, Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.

Sami, H, Abd, N., 2001, Evaluation of airborne gamma ray spectrometric data for the Missikat Uranium deposit, Eastern desert Egypt. Appl. Radiat. Isotopes., 54, 497-507.

کنار محدوده‌های داغ عنصر اورانیم، معرفی محدوده‌های داغ عناصر توریم و پتاسیم نیز به همین ترتیب برای هدایت زمینی در منطقه برندق مورد توجه قرار می‌گیرد.

#### ۵ نتیجه‌گیری

در مورد تأیید صحت روش رادایومتری ژئوفیزیک هوایی، ذکر این مطلب ضروری است که تنها معدن اورانیم کشور (معدن ساغند)، در اولین مراحل اکتشاف ناحیه‌ای، صرفاً براساس نقشه‌های بی‌هنجاری‌های رادایومتری عنصر اورانیم در منطقه ساغند حاصل شده است و بعد از معرفی بی‌هنجاری‌های آن، که نتیجه پردازش داده‌های ژئوفیزیک هوایی به روش رادایومتری بوده و بعد از مراحل بعدی اکتشاف مقدماتی و تفصیلی برای استخراج اورانیم، در حال آماده‌سازی است. لذا در مورد منطقه برندق با توجه به نتایج حاصله از دو روش آماری و برخالی برای جدایش جوامع بی‌هنجاری از زمینه، مهم‌ترین نتیجه حاصل، استفاده از چند روش متفاوت برای جدایش بی‌هنجاری از زمینه است، تا محدوده‌های معرفی شده برای ادامه مراحل اکتشافی از بیشترین احتمال وجود عناصر پرتوزا برخوردار باشند. همان‌طور که در منطقه برندق دو روش آماری و برخالی هر کدام معرف محدوده‌های متفاوتی بودند که با هم‌پوشانی این دو روش، نتایج بهتری برای معرفی بی‌هنجاری‌ها حاصل شد. در نتیجه برای پردازش داده‌های رادایومتری ژئوفیزیک هوایی در اکتشاف ناحیه‌ای عناصر پرتوزا، بویژه اورانیم پیشنهاد می‌شود که برای جدایش بی‌هنجاری‌ها از روشی واحد استفاده نشود زیرا در این صورت نتایج حاصل از کمترین سطح دقت و صحت برخوردار خواهند بود. در صورتی که با استفاده از چند روش متفاوت با پایه‌های نظری جداگانه برای پردازش و تفسیر داده‌های رادایومتری هوایی، قطعاً با هم‌پوشانی روش‌های متفاوت نتایج حاصل دارای صحت و دقت زیادی خواهد بود. البته باید در نظر گرفت که داده‌های

Turcotte, D. L., 1986, A Fractal Approach to the Relationship between ore grade and Tonnage, *Econ. Geol.*, **181**, 1528-1532.