



مدل‌سازی ناهنجاری عناصر پرتوزای سلماس به وسیله‌ی داده‌های اکتشافی در محدوده‌ی ۱:۵۰۰۰۰ (مطالعه‌ی موردی)

فرنوش حاجی‌زاده*^۱، هادی ابراهیمی سوخته‌کوهی^۱، افشار ضیاء ظریفی^۲

۱. گروه معدن، دانشگاه ارومیه، صندوق پستی: ۱۶۵، ارومیه - ایران

۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، صندوق پستی: ۱۶۱۶، لاهیجان - ایران

چکیده: با توجه به اهمیت روش‌های پرتوسنجی در اکتشاف عناصر پرتوزا به ویژه دو عنصر پرتوزای اورانیم و توریم، در این پژوهش از داده‌های ژئوفیزیک هوایی پرتوسنجی (تهیه شده توسط سازمان انرژی اتمی ایران) و روش دورسنجی، برای اکتشاف ناحیه‌ای عناصر پرتوزای منطقه استفاده شده است. ابتدا حجم بالایی از داده‌های رقومی پرتوسنجی پردازش، طبقه‌بندی و تحلیل، و با استفاده از روش‌های آماری، ناهنجاری از منطقه‌های زمینه جدا شدند. با بررسی‌های زمین‌شناسی و دورسنجی انجام شده در محدوده‌ی ناهنجاری‌های واقع در برگه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ سلماس، تازه شهر و پیمایش‌های انجام شده در این محدوده، این نتیجه حاصل شد که واحدهای پرتوزای محدوده‌ی مطالعاتی بیش‌تر شامل گرانیت‌های وابسته به یک منطقه‌ی کشتی درون صفحه‌ای و یا یک منطقه‌ی کشتی پس از برخورد و رسوبات جوان منطقه است. با در نظر گرفتن اهمیت بالای لایه‌ی اطلاعاتی ژئوفیزیک هوایی در شناسایی و پی‌جویی عناصر پرتوزا، با تلفیق این نقشه‌ها با داده‌های ماهواره‌ای و زمین‌شناسی، منطقه‌های امیدبخش برای عناصر پرتوزا معرفی شدند، سپس اقدام به ارزیابی نهایی پتانسیل عناصر پرتوزای منطقه برای کنترل زمینی شد. با توجه به مقدار بالای اورانیم توده‌ی نفوذی گرانیت قوشچی و غنی‌شدگی بالای آن نسبت به نواحی دیگر، به نظر می‌رسد که ماگمای به وجود آورنده‌ی این توده‌ها، دارای مواد پرتوزای بالایی بوده و آن‌ها را با خود به سطح حمل کرده است، ولی شرایط لازم برای تشکیل ذخیره‌ی اورانیم وجود نداشته است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، عناصر پرتوزا، اورانیم و توریم، داده‌های اکتشافی، سلماس

Modeling of Salmas Radioactive Elements Anomalous by Exploration in the Range of 1:50000 (Case Study)

F. Hajizadeh*¹, H. Ebrahimi Sokhtekohi¹, A. Zia Zarifi²

1. Department of Mining Engineering, Urmia University, P.O.Box: 165, Urmia - Iran

2. Islamic Azad University, Lahijan Branch, P.O.Box: 1616, Lahijan - Iran

Abstract: Given the importance of discovery of radiometric datings methods, especially two radioactive elements uranium and thorium, the radiometric airborne geophysical survey data (produced by the Atomic Energy Organization of Iran) and telemetry methods have been used to explore the radioactive elements. Initially, a high volume of the radiometric processing of digital data, classification and analysis were dealt with, using statistical methods, Abnormalities were separated from the background. With geological and remote sensing surveys conducted in the area, abnormalities in sheet 1:50000 Salmas, Tazeh Shahr survey delivered the result that the study area consists mostly of granite radioactive units in a weight pull into a page or a post-conflict area of newly-formed sediments. Considering the importance of identifying and tracing the radioactive airborne geophysical data layer, combining these maps with the satellite data, the geologically promising areas for radioactive elements were introduced. Then we proceeded to the final assessment of potential radioactive elements in the ground control. Due to the high amount of uranium enriched granitic intrusion in Qushchi and its highly enriched sediments compared with the other areas, to the best of our knowledge, the causative magma masses have been highly radioactive and have been transported to the earth's crust, albeit with no position for the of formation of uranium reserves.

Keywords: Modeling, Radioactive Elements, Uranium and Thorium, Exploratory Data, Salmas

*email: f.hajizadeh@mail.urmia.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۵/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۴/۲۹

۱. مقدمه

بهترین روش برای اکتشاف ناحیه‌ای اورانیم و دیگر عناصر پرتوزا در مراحل شناسایی، انجام عملیات ژئوفیزیک پرتوسنجی هوایی است. در واقع یکی از ویژگی‌های روش‌های اکتشاف عناصر پرتوزا استفاده از شیوه‌های خاص، با صحت و دقت بالا به منظور شناسایی اورانیم است و این مرحله از مهم‌ترین مرحله‌های اولیه‌ی اکتشاف اورانیم در مقیاس ناحیه‌ای است. مدل‌سازی پتانسیل پرتوسنجی در واقع یافتن مکان‌ها یا منطقه‌هایی است که یک سری معیارها و ملاک‌ها به کمک داشته‌ها، برای حضور عناصر پرتوزا در آن‌ها صدق کند. در این مرحله، منطقه‌هایی شناسایی می‌شوند که باید برای مطالعه‌های اکتشافی بیش‌تر و تفصیلی‌تر با استفاده از روش‌های اکتشافی، مورد جستجو قرار گیرند. این منطقه‌ها در واقع قسمتی یا سطحی کوچک‌تر از ناحیه‌ی انتخاب شده‌ی اولیه هستند. عملیات اکتشافی در این منطقه‌ها به منظور کشف کانی‌سازی‌های جدید، براساس مدل‌های اکتشافی ذخیره‌های مورد جستجو و داده‌های مناسب از قبیل زمین‌شناسی، داده‌های سنجش از دور، پرتوسنجی هوایی و مغناطیس‌سنجی هوایی صورت گرفته است [۱]. از آنجایی که تمام ناهنجاری‌های حاصل از هر یک از روش‌های اکتشافی، به تنهایی ممکن است همراه و یا معرف کانی‌سازی نباشند، بنابراین مدل‌سازی و تلفیق چنین ناهنجاری‌هایی که حاصل نتایج روش‌های مختلف اکتشافی است، برای تأیید منطقه‌های هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرایند تجزیه و تحلیل و استخراج الگوهای پیشگو و هم‌چنین ترکیب و تلفیق داده‌های فضایی که به منظور شناسایی منطقه‌های هدف و رتبه‌بندی این منطقه‌ها در اکتشاف کانی‌سازی‌های ناشناخته صورت می‌گیرد، مدل‌سازی پتانسیل معدنی نامیده می‌شود [۲]. خروجی مدل پتانسیل پرتوسنجی، نقشه‌ای خواهد بود که در آن حضور عناصر پرتوزا در یک یا چند محل، به طور غیرمستقیم از طریق یافتن ارتباط بین این کانی‌سازی‌ها، با الگوهای شاهد و خصوصیات قابل اندازه‌گیری متغیرهای پیشگوی اکتشافی قابل ارزیابی است.

۲. زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد مطالعه بین طول‌های $30^{\circ}44'$ تا $00^{\circ}45'$ و عرض‌های $00^{\circ}38'$ تا $15^{\circ}38'$ قرار دارد؛ این ناحیه بخشی از کمربند دگرگونی و فیولیتی منطقه‌ی سندج سیرجان دانسته شده است [۳]. بخش عمده‌ی برونزدهای منطقه را سنگ‌های دگرگونه و ترکیب‌های مختلفی از سنگ‌های دیاباز، اولترابازیک،

رادپولاریت، شیل‌های فلیش گونه، سنگ آهک‌های پلاژیک و مواد آذر آواری پدید می‌آورد.

۳. تشکیل پایگاه اطلاعاتی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

در پایگاه اطلاعاتی، لایه‌های مختلف اکتشافی عناصر پرتوزای منطقه برای سیستم، و برای هر کدام از این لایه‌ها معیار اکتشافی تعریف می‌شود. برای مطالعه‌ی این منطقه از داده‌های ژئوفیزیک هوایی تهیه شده توسط سازمان انرژی اتمی ایران استفاده شده است. مهم‌ترین لایه‌های اکتشافی شامل لایه‌ی زمین‌شناختی، ژئوفیزیک هوایی و دورسنجی است. خود این لایه‌ها شامل زیرلایه‌هایی متناسب با مدل اکتشافی هستند. ترکیب لایه‌های اطلاعاتی مختلف، تحت عنوان «جای‌گذاشت»^(۱) شناخته می‌شود. در حالت بسیار ساده، این مفهوم به امکان نمایش چند لایه‌ی اطلاعاتی بر روی هم‌دیگر اشاره می‌کند و لیکن در مفهوم وسیع‌تر، این مفهوم به ترکیب چند لایه‌ی اطلاعاتی براساس معیارهای تعریف شده توسط کاربر و تولید یک لایه‌ی اطلاعاتی جدید، اشاره دارد. به عنوان نمونه می‌توان اطلاعات مربوط به نوع خاک، نوع پوشش گیاهی، شیب زمین و... را به منظور بررسی امکان وقوع سیل در یک منطقه، با یک‌دیگر ترکیب کرده و منطقه‌های دارای پتانسیل در این خصوص را تحت یک لایه‌ی اطلاعاتی جداگانه، مشخص نمود [۴].

در مرحله‌ی سوم نقشه‌های استخراجی، فازی‌سازی شده است؛ در این مرحله از عملگرهای فازی برای تطبیق نقشه‌ها استفاده شده است. در نهایت نقشه‌ی تلفیق نهایی اکتشافی به منظور انتخاب نقاط دارای بیش‌ترین پتانسیل عناصر پرتوزا برای کنترل زمینی تهیه شده است که در این مورد با توجه به وجود ضریب‌های وزنی مختلف برای تلفیق نقشه‌ها، چندین مدل نقشه‌ی نهایی اکتشافی به دست آمده است، تا نتیجه‌ی مطمئن‌تر و قابل اعتمادتری از ترکیب تفسیر داده‌های مختلف ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی به دست آید.

۱.۳ لایه‌ی زمین‌شناختی

نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، سلماس یکی از اصلی‌ترین لایه‌های زمین‌شناختی وارده به پایگاه اطلاعاتی است. در لایه‌ی زمین‌شناسی، تمام واحدهای سنگی از هم تفکیک شده و به حالت رقومی تبدیل شده‌اند. در این لایه علاوه بر واحدهای مختلف سنگی، گسل‌ها نیز به حالت رقومی تبدیل شده‌اند. بنابراین لایه‌ی زمین‌شناختی به دو زیرلایه‌ی اصلی، شامل زیرلایه‌ی واحدهای سنگی و زیرلایه‌ی گسل‌ها تقسیم شده است.

**۲.۳ زیرلایه‌ی سنگ‌شناختی**

زیرلایه‌ی سنگ‌شناختی همان‌گونه که در بالا ذکر شد براساس اولویت واحدهای سنگی، به چند دسته تفکیک شد. جاهایی که اطلاعات وجود نداشت دسته‌ی یک وارد شد. عدد ۹ به واحدهای سنگی که دارای ارزش بیش‌تری در پرتوزایی عناصر منطقه بودند (گرانیت‌ها، شیل و متاولکانیک‌ها) داده شد و عدد ۵ به واحدهای سنگی، که کم‌ترین ارزش را در این پرتوزایی داشتند، داده شد.

۳.۳ لایه‌ی ساختارهای گسلی

برای تهیه‌ی نقشه‌ی گسل‌های منطقه از نقشه‌ی زمین‌شناسی و نتایج حاصل از پردازش‌های دورسنجی و مغناطیس‌سنجی استفاده شد. امتداد کلی گسل‌های منطقه در دو راستای شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی است. سپس منطقه‌های حایل به فاصله‌ی ۱۰۰ متری در اطراف گسل‌های شناسایی شده، ایجاد شد. برای منطقه‌های گسل، وزن ۵ و برای سایر منطقه‌ها وزن ۱ در نظر گرفته شد.

۴.۳ لایه‌ی دورسنجی

در لایه‌ی دورسنجی از تصاویر نهایی تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تصویر ترکیب نواری OIF به دست آمده برای تعیین واحدهای سنگ‌شناختی، برای تحلیل و تلفیق در مدل استفاده شد. در این لایه علاوه بر تشخیص منطقه‌های گسله، واحدهای سنگی که دارای مقدار بالایی از عناصر پرتوزا بودند، مانند توده‌های نفوذی گرانیتی شناسایی شدند. هم‌چنین منطقه‌های دارای آهن اکسید و کانی‌های رسی بر روی این تصویرها مشخص و جدا شدند.

۵.۳ لایه‌ی ژئوفیزیک هوایی

لایه‌ی ژئوفیزیک هوایی، اصلی‌ترین لایه‌ی اطلاعاتی ورودی به سیستم را شامل می‌شود [۵]، که زیرلایه‌های اورانیم، توریم، پتاسیم و نسبت‌های Th/K ، U/K ، U/Th هم‌چنین زیرلایه‌ی شدت میدان مغناطیسی کل منطقه را دربر می‌گیرد. برای جدا کردن ناهنجاری‌های اورانیم، توریم و پتاسیم، از مقدار میانگین + دو برابر انحراف معیار استفاده شده است. در ضمن از روش فرکتال (عیار- مساحت) برای تعیین این ناهنجاری‌ها استفاده شده است.

۶.۳ معیار اطلاعاتی زیرلایه‌ی اورانیم

زیرلایه‌ی اورانیم نقش قابل توجهی در یافتن محیط‌های مناسب تشکیل اورانیم ایفا می‌کند؛ بنابراین داده‌های بزرگ‌تر از $3,84 \text{ eppm}$ (میانگین + دو برابر انحراف معیار) به عنوان معیار مناسب زیرلایه‌ی اورانیم جدا شده و به عنوان معیار اطلاعاتی اورانیم در مدل به کار گرفته شد (جدول ۱).

۷.۳ معیار اطلاعاتی زیرلایه‌ی توریم

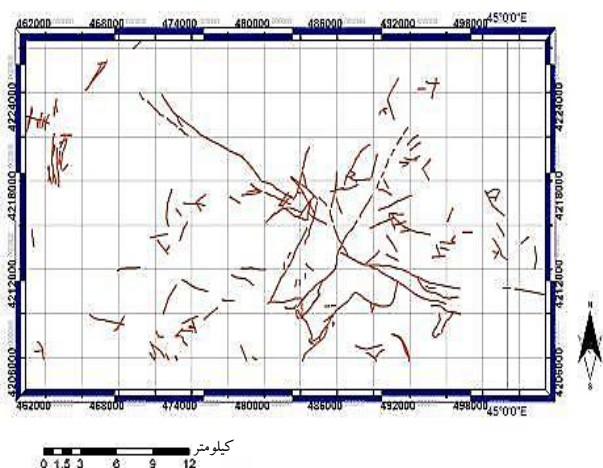
ناهنجاری‌های توریم در منطقه‌ی مورد نظر می‌تواند رهنمون محل‌های مستعد عناصر پرتوزا باشد. از این رو داده‌های بزرگ‌تر از $16,71 \text{ eppm}$ (میانگین + دو برابر انحراف معیار) به عنوان معیار زیرلایه‌ی توریم، از این زیرلایه‌ی اطلاعاتی جدا شدند.

۸.۳ معیار اطلاعاتی زیرلایه‌ی پتاسیم

ناهنجاری‌های پتاسیم در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌تواند نشان‌گر محل‌های مستعد عناصر پرتوزا باشد. از این رو داده‌های بزرگ‌تر از 3 eppm (میانگین + دو برابر انحراف معیار) به عنوان معیار زیرلایه‌ی پتاسیم، از این زیرلایه‌ی اطلاعاتی جدا شدند.

جدول ۱. فهرست دسته‌بندی شده‌ی داده‌های اورانیم منطقه‌ی سلماس

دامنه‌ی تغییرات اندازه‌گیری	فراوانی مطلق	فراوانی نسبی (%)	فراوانی تجمعی
۰-۰,۴	۳۴۵۱	۵,۳۱۷	۳۴۵۱
۰,۴-۰,۸	۸۳۶۲	۱۲,۸۸۵	۱۱۸۱۳
۰,۸-۱,۲	۱۱۸۶۱	۱۸,۲۷۶	۲۳۶۷۴
۱,۲-۱,۶	۱۰۶۷۱	۱۶,۴۴۳	۳۴۳۴۵
۱,۶-۲,۰	۷۹۳۹	۱۲,۲۳۳	۴۲۲۸۴
۲,۰-۲,۴	۶۷۸۶	۱۰,۴۵۶	۴۹۰۷۰
۲,۴-۲,۸	۶۰۳۷	۹,۳۰۲	۵۵۱۰۷
۲,۸-۳,۲	۴۰۵۰	۶,۲۴۱	۵۹۱۵۷
۳,۲-۳,۶	۲۱۷۲	۳,۳۴۶	۶۱۳۲۹
۳,۶-۴,۰	۱۳۲۷	۲,۰۴۸	۶۲۶۵۶
۴,۰-۴,۴	۹۱۹	۱,۴۱۶	۶۳۵۷۵
۴,۴-۴,۸	۵۹۱	۰,۹۱۱	۶۴۱۶۶
۴,۸-۵,۲	۳۵۱	۰,۵۴۱	۶۴۵۱۷
۵,۲-۵,۶	۱۳۵	۰,۲۰۸	۶۴۶۵۲
۵,۶-۶,۰	۸۲	۰,۱۲۶	۶۴۷۳۴
۶,۰-۶,۴	۸۰	۰,۱۲۳	۶۴۸۱۴
۶,۴-۶,۸	۴۲	۰,۰۶۵	۶۴۸۵۶
۶,۸-۷,۲	۲۱	۰,۰۳۴	۶۴۸۷۷
۷,۲-۸,۰	۲۰	۰,۰۳۱	۶۴۸۹۷



شکل ۱. نقشه‌ی گسل‌های منطقه.

۴. مدل‌سازی چند معیاری

ساختن مدل، دو مرحله‌ی کلی را شامل می‌شود. ابتدا معیارهای مورد نظر، که باید مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند، انتخاب و سپس برای هر یک از این معیارها وزن و امتیاز مربوطه اختصاص داده می‌شود. وزن هر معیار، با مقدار یا عددی مشخص می‌شود که نشان‌گر اهمیت نسبی معیار در خروجی نهایی آن است. هر چه این مقدار بزرگ‌تر باشد، آن لایه در مدل دارای تأثیرگذاری بیش‌تری است.

۱.۴ مدل ۱

در این مدل از پنج معیار، شامل منطقه‌های دارای اورانیم با مقدار بزرگ‌تر از ۳/۸۴ eppm، محدوده‌های دارای توریم با مقدار بزرگ‌تر از ۱۶/۷۱ eppm، منطقه‌های حایل گسل‌ها با فاصله‌ی ۱۰۰ متر (شکل ۱)، داده‌های مغناطیسی بزرگ‌تر از ۳۵۰۰ (nT) منطقه و محدوده‌های جدا شده از تصویرهای دورسنجی به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. پس از انتخاب معیارهای مورد نظر، ابتدا وزن هر معیار از طریق مقایسه‌ی معیارها با یک‌دیگر و تعیین ارزش هر کدام به لحاظ نقش آن در کانی‌سازی عناصر پرتوزا تعیین شد. وزن محاسبه شده‌ی این پنج معیار در جدول ۲ آورده شده است. در مرحله‌ی بعد، برای زیر دسته‌های هر یک از این معیارها امتیازهایی بر مبنای ارزش آن‌ها در نظر گرفته شد. به عنوان مثال، در لایه‌ی اورانیم، هر چه مقدار اورانیم بزرگ‌تر از ۳/۸۴ eppm باشد، ارزش و امتیاز بالاتری در لایه و در نتیجه در مدل خواهد داشت. شکل ۲، مدل ۱ را نشان می‌دهد

۹.۳ معیار شمارش کل عناصر پرتوزا

داده‌های بزرگ‌تر از ۱۶/۶ eppm (میانگین + دو برابر انحراف معیار) لایه‌ی اطلاعاتی شمارش کل، برای تلفیق در سیستم در نظر گرفته شد.

۱۰.۳ معیار U/Th

نسبت‌های بالاتر از ۸/۹ لایه‌ی اطلاعاتی U/Th به عنوان معیار مناسب جدا شدند، تا در صورت لزوم در تجزیه و تحلیل ترکیبی بتوان از این معیار کمک گرفت.

۱۱.۳ معیار U/K

مقدارهای بالای نسبت‌های U/K ممکن است بیان‌گر متاسوماتیسم سدیک باشد، بنابراین مقدارهای بزرگ‌تر از ۴، از لایه‌ی مربوطه استخراج شدند.

۱۲.۳ معیار Th/K

نسبت‌های با مقادیر بزرگ‌تر از ۷/۶ برای لایه‌ی Th/K در نظر گرفته شدند.

۱۳.۳ شدت میدان مغناطیسی هوایی

زیرلایه‌ی اطلاعاتی مهم دیگر، برای مدل‌سازی عناصر پرتوزا، مربوط به داده‌های مغناطیس هوایی منطقه است. برای لایه‌ی مغناطیس هوایی، شدت میدان مغناطیسی هوایی منطقه در نظر گرفته شد، چرا که همبندی نسبی قابل قبولی بین عناصر پرتوزا (به ویژه اورانیم) و کانی‌زایی منیتیت در منطقه وجود دارد. بنابراین با توجه به مطالعه‌های انجام شده، داده‌های مغناطیسی بزرگ‌تر از ۳۵۰۰ (nT) از لایه‌ی اطلاعاتی مغناطیس هوایی جدا شده و از آن به عنوان معیاری مهم در مدل‌سازی استفاده شد.

۱۴.۳ منطقه‌ی حایل

در این تجزیه و تحلیل، با تعریف یک منطقه‌ی حایل در اطراف عارضه‌های نقطه‌ای، خطی و سطحی، به تجزیه و تحلیل اطلاعات پرداخته شد. منطقه‌های حایل، در اطراف گسل‌های منطقه به فاصله‌ی ۱۰۰ متر تشکیل شد (شکل ۱).



(TC). از طریق مقایسه و بر مبنای اهمیت هر یک از این لایه ها، به ترتیب، وزن های، ۱۹، ۱۷، ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۰، ۶، ۵، ۱۲ برای آن ها انتخاب شد. امتیاز مربوط به هر معیار نیز با توجه به درجه ی اهمیت آن تا مقدار ۹ انتخاب شد (شکل ۳). براساس جدول ۴، محدوده های A، B، C، D به عنوان منطقه های ناهنجاری منطقه مشخص شده است. این محدوده ها در هر دو مدل ۱ و ۲ هم پوشانی بالایی داشته اند. همان طور که از جدول فوق مشخص است بیش ترین شاخص متوسط وزنی به محدوده ی A تعلق دارد که در مدل های ۱ و ۲، به ترتیب، برابر ۹،۴ و ۹،۵ به دست آمده است. قابل ذکر است که در هر دو مدل خروجی GIS، بیش ترین پرتو زایی منطقه ها با ۱۰ و کم ترین نیز با ۰ تعریف شدند (شکل های ۲، ۳).

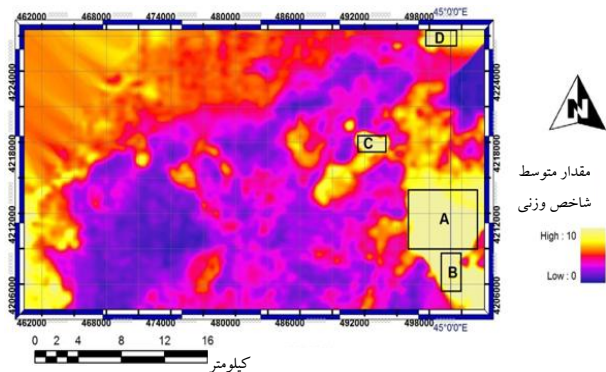
جدول ۳. ویژگی های تعریف شده برای لایه های انتخابی در مدل ۲

تعداد دسته	امتیاز	لایه های انتخابی
۹	۱۹	منطقه های اورانیم دار
۹	۱۷	محدوده های توریم دار
۳	۸	منطقه های حایل گسل ها
۵	۱۰	داده های مغناطیسی
۴	۱۳	تصویرهای دورسنجی
۵	۱۰	پتاسیم
۳	۶	نسبت U/Th
۳	۵	نسبت U/K
۵	۱۲	شمارش کل (TC)

جدول ۴. مقدار متوسط شاخص وزنی به دست آمده برای محدوده های

ناهنجاری عناصر پرتوزا در GIS

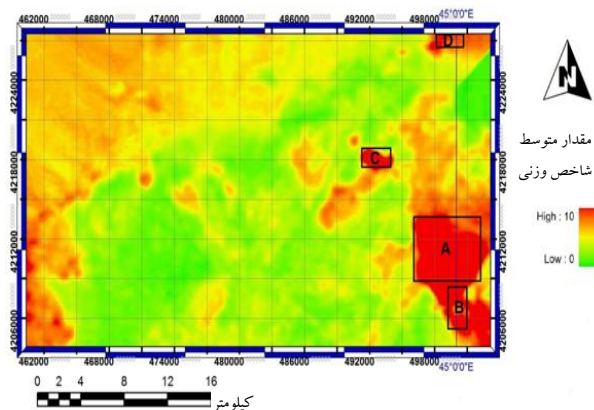
محدوده های ناهنجاری	مدل ۱		مدل ۲	
	مساحت (km ²)	مقدار متوسط شاخص وزنی به دست آمده	مساحت (km ²)	مقدار متوسط شاخص وزنی به دست آمده
A	۳۳	۹،۴	۳۶	۹،۵
B	۴،۳	۸،۹	۴،۷	۹،۲
C	۳،۳	۹،۱	۳،۴	۹،۰
D	۲،۳	۹،۰	۲،۷۷	۹،۱



شکل ۳. مدل ۲ منطقه، طراحی شده با کمک نه معیار اطلاعاتی.

جدول ۲. ویژگی های تعریف شده برای لایه های انتخابی در مدل ۱

تعداد دسته	امتیاز	معیار	لایه های انتخابی
۹	۳۰	> ۳،۸۴ eppm	منطقه های اورانیم دار
۹	۲۵	> ۱۶،۷۱ eppm	محدوده های توریم دار
۳	۱۰	منطقه های حایل	گسل ها
۵	۱۵	> ۳۵۰۰ (nT)	داده های مغناطیسی
۵	۲۰	محدوده های جدا شده ی قبلی	تصویرهای دورسنجی



جدول ۲. مدل شماره ۱ منطقه، ساخته شده با کمک پنج معیار اطلاعاتی.

که در آن از پنج معیار ذکر شده در بالا استفاده شده است. در این مدل، نواحی دارای بیش ترین شدت با مقدار ۱۰ (منطقه های دارای رنگ قرمز) و کم ترین شدت با مقدار ۰ (منطقه های دارای رنگ سبز) مشخص شده است. مدلی که با تلفیق این معیارها طراحی شده است نشانگر نواحی ای است که دارای بیش ترین مقدار اورانیم هستند.

۲.۴ مدل ۲

در این مدل از نه معیار استفاده شده است؛ در آن علاوه بر پنج معیار به کار رفته در مدل ۱، از چهار معیار پتاسیم، نسبت U/Th، نسبت U/K و شمارش کل (TC) نیز بهره گرفته شده است (جدول ۳). با توجه به نقشه های هم شدت اورانیم و پتاسیم، انطباق قابل قبولی بین آن دو وجود دارد. نه معیار استفاده شده در این مدل عبارت اند از: منطقه های دارای اورانیم با مقدار بزرگ تر از ۳،۸۴ eppm، محدوده های توریم دار با مقدار بزرگ تر از ۱۶،۷۱ eppm، منطقه های حایل گسل ها با فاصله ی ۱۰۰ متر، داده های مغناطیسی بزرگ تر از ۳۵۰۰ (nT) و نقاط جدا شده از تصویرهای دورسنجی به روش تحلیل مؤلفه های اصلی، نقاط دارای پتاسیم با مقدار بزرگ تر از ۳ eppm، نسبت های بزرگ تر از ۸،۹ لایه ی U/Th، مقادیر بزرگ تر از ۴ لایه ی U/K و داده های با مقدار بزرگ تر از ۱۶،۶ eppm لایه ی شمارش کل



۵. نتیجه‌گیری

مرجع‌ها

1. M. Lilles, W. KieferPlaph, Remote Sensing and Image Interpretation, John Willey and Sone, Inc. (1994).
2. IAEA, Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data, (2003).
3. J. Stoecklin, Structural History and Tectonics of Iran, A Review, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7) (1968) 1229-1258.
4. C. Legg, W. KieferPlaph, Remote Sensing and Geographic Information Systems, John Willey and Sons, Chichester (1994).
5. P. Milligan, P. Gunn, Enhancement and Interpretation of Airborne Geophysical Data, AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 17(2) (1994) 63-75.

پس از گردآوری داده‌ها (ی تهیه شده توسط سازمان انرژی اتمی ایران)، این داده‌ها به صورت فایل‌های رقومی قابل قبول برای سیستم تعریف شدند. سپس برای هر یک از لایه‌ها و زیرلایه‌ها، معیارهای متناسب تعریف شد. پس از انجام این مرحله‌ها برای تمام لایه‌ها، این لایه‌ها در دو سیستم مدل‌سازی شدند. مدل‌های حاصله از پنج و نه معیار اطلاعاتی انطباق خوبی در شناخت منطقه‌های ناهنجاری اورانیم در جنوب شرق منطقه‌ی مورد مطالعه نشان دادند. ناهنجاری‌های منطقه‌ی مورد مطالعه بیش‌تر به گرانیت‌های نوع A، که به گرانیت‌های غیرکوهزایی شهرت دارند، مربوط می‌شوند که به طور معمول در طی تحول‌های دوره‌های بالا آمدگی و ایجاد ریفت پدیدار می‌شوند. با توجه به مقدار بالای اورانیم توده‌ی نفوذی گرانیت قوشچی و غنی‌شدگی بالای آن نسبت به نواحی دیگر، به نظر می‌رسد که ماگمای به وجود آورنده‌ی این توده‌ها دارای مواد پرتوزای بالا بوده، لکن شرایط لازم برای تشکیل ذخیره‌ی اورانیم وجود نداشته است. از نظر عناصر سنگ‌گرا با شعاع یونی بزرگ نظیر U، Th و Rb نیز می‌توان غنی‌شدگی قابل توجهی را در گرانیت قوشچی نسبت به گرانیت منطقه شاهد بود. در بررسی‌های زمین‌شناسی محدوده‌های اکتشافی در منطقه‌ی سلماس با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده، کانی‌زایی عناصر پرتوزا بیش‌تر در سنگ‌های نفوذی و در درجه‌ی پایین‌تر در آبرفت‌ها رخ داده است. سنگ‌های نفوذی اشاره شده بیش‌تر از نوع گرانیت بوده است. بیش‌ترین محدوده‌ی ناهنجاری عناصر پرتوزا در میان گرانیت‌های شرقی و جنوب شرقی منطقه واقع شده است. برای تکمیل نمودن کار اکتشافی، منطقه‌هایی که در مدل به عنوان منطقه‌های ناهنجاری معرفی می‌شوند باید با عملیات کنترل زمینی دقیق‌تر مورد بررسی قرار گیرند.

پی‌نوشت

1. Overlay