

اکتشاف ناحیه ای اورانیوم و تورنیوم بر مبنای داده های ژئوفیزیک رادیومتری هوایی در منطقه ده بگری (استان کرمان)

افشار ضیاء ظریفی^۱، حمیدرضا جعفری^۲

۱. گروه مهندسی معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

۲. دانشگاه آزاد اسلامی واحد جیرفت

چکیده

اطلاعات حاصل از عملیات ژئوفیزیک رادیومتری هوابرد اهمیت فراوانی در اکتشاف مواد رادیواکتیو دارند. در حقیقت این داده‌ها پایه اصلی برای اکتشاف عنصر اورانیوم در مناطق مختلف هستند. در این نوشتار با تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از ژئوفیزیک هوایی در برگه ۱:۵۰۰۰۰ ده بگری به شماره II۷۵۴۸ در جنوب شرق ایران، محدوده‌های امیدبخش برای عنصر اورانیوم و تورنیوم مشخص شده‌اند. نخست با تحلیل آماری و ترسیم نقشه‌های هم‌شدت محدوده‌های امید بخش معین و اولویت بندی شده‌اند. سپس با کنترل زمینی داده‌ها در محدوده‌های امیدبخش شامل عملیات ژئوفیزیکی زمینی و برداشت نمونه‌های سطحی از تمام محدوده‌های امیدبخش و انجام آنالیز شیمیایی روی آنها، صحت داده‌های ژئوفیزیک مورد بررسی قرار گرفته‌است. همچنین داده‌های زمین‌شناسی این برگه نیز مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج حاصل از داده‌های ژئوفیزیک هوایی مقایسه شده‌است. در نهایت با تجزیه و تحلیل نقشه‌های حاصل شده، محدوده‌های امیدبخش جهت مراحل بعدی اکتشاف اورانیوم در این برگه معرفی و پیشنهاد شده‌اند.

واژه های کلیدی: اورانیوم، ده بگری، تورنیوم، ژئوفیزیک رادیومتری هواپردی.

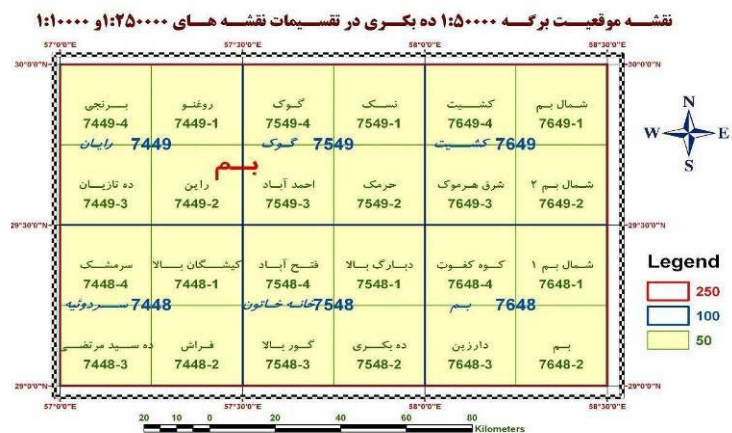
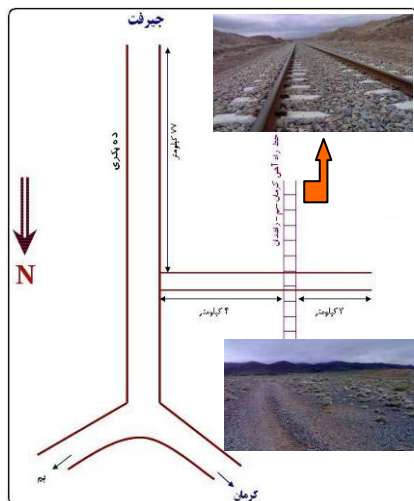
۱. مقدمه

بهترین روش جهت اکتشاف ناحیه ای اورانیوم و دیگر عناصر پرتوزا در مراحل شناسایی انجام عملیات ژئوفیزیک رادیومتری هوایی است. بدین منظور حدود ۶۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع از مساحت کشور ایران تحت پوشش اکتشاف هوایی قرار گرفته است. شرکت استیرکس (استرالیایی)، شرکت پراکلا (آلمانی) و شرکت سی جی جی (فرانسوی) سه شرکت خارجی بودند که در سالهای ۱۹۷۷ و ۱۹۷۸ پروژه پراوهای هوایی جهت اکتشاف مواد پرتوزا و مغناطیس سنجی را در ایران اجرا نمودند و بیشترین ناحیه پراوهای آنها در شرق، شمال شرقی، جنوب شرقی و محدوده کوچکی از شمالغربی کشور پهناور ما متمرکز بوده است. عناصر پرتوزای موجود در طبیعت در پروسه فروپاشی خود به عناصر دیگر، پرتوهای آلفا، بتا و گاما تشعشع می کنند که با توجه به قدرت نفوذ اشعه گاما، از اندازه گیریهای این اشعه برای اکتشاف رادیومتری هوایی عناصر رادیواکتیو بخصوص اورانیوم و توریم استفاده می شود. طیفسنجی پرتوگامای هوا برد برای سالهای زیادی برای تعیین مستقیم کانیهای معدنی و به عنوان ابزاری برای تعیین نقشه های لیتولوژیکی استفاده شده است و کاربردهای محیط زیستی آن نیز گسترش زیادی یافته اند. اطلاعات رادیومتری و مغناطیس هوایی بدست آمده شرکت های پراکلا، استیرکس و سی جی جی شامل اندازه گیری عناصر اورانیوم، توریم، پتاسیم، مگنتیک، مجموعه انرژیها و نسبت اورانیوم به توریم، اورانیوم به پتاسیم، توریم به پتاسیم، توریم به پتاسیم است. در این مقاله برگه ۱/۵۰۰۰۰ ده بکری از محدوده جنوب شرقی ایران (استان کرمان) که حاوی ناهنجاریهای اورانیوم و توریم بوده، بررسی و پس از پردازش و تحلیل داده های هوایی شرکت پراکلا و تهیه نقشه هم شدت غلظت اورانیوم، کنترل زمینی محدوده های ناهنجاری انجام شد و نتایج آن ارائه شد.

۲. بحث

۲-۱. موقعیت و راههای دسترسی منطقه مورد مطالعه

برگه ۱/۵۰۰۰۰ ده بکری (2-7548) یکی از چهار برگه ۱/۵۰۰۰۰ نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خانه خاتون (7548) بوده که در جنوب شرق ایران در استان کرمان، در بین عرضهای جغرافیایی "29° - 29°15" جنوبی و طولهای جغرافیایی "58°00 - 57°45" شرقی واقع شده است. وسعت تقریبی محدوده مورد مطالعه حدود ۶۱۴ کیلومتر مربع می باشد و در محدوده های مختلف این منطقه آب و هوای متنوعی مشاهده می شود که در فصول مختلف سال این تنوع آب و هوایی وجود دارد. در شکل (۱) نقشه موقعیت جغرافیایی برگه ۱:۵۰۰۰۰ ده بکری و هم چنین نقشه راههای دسترسی به منطقه نشان داده شده است. از مهمترین روستاهای منطقه می توان به روستاهای ده بکری، مرغک، محمود آباد، توکل آباد را نام برد.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی برگه ۱:۵۰۰۰۰ ده بکری در تقسیمات نقشه های ایران و راههای دسترسی به آن

وجود رشته کوههای جبال بارز در جنوب شرقی برگه ۱:۵۰۰۰۰ ده بکری مشهود است. دسترسی به منطقه و محدوده آنومالی عناصر پرتوزا از طریق شهر جیرفت بدین صورت است: جاده اصلی جیرفت به طرف دو راهی بم - کرمان و پس از عبور از ده بکری حدوداً در فاصله ۷۷ کیلومتری از شهر جیرفت به طرف دو راهی بم-کرمان یک جاده خاکی فرعی وجود دارد که از طریق این جاده خاکی و طی مسیری حدود ۷ کیلومتر دستیابی به محدوده آنومالی امکان پذیر می شود در وسط این جاده خاکی تقریباً در فاصله ۳ کیلومتری محدوده خط راه آهن کرمان- بم - زاهدان وجود دارد. توپوگرافی این ناحیه در اکثر جاها شدید می باشد ولی بطور محدود در قسمتهای شرق و شمال شرقی محدوده توپوگرافی ملایم تری دارند اما در حوالی رشته کوه جبال بارز ارتفاع به شدت افزایش می یابد ترازهای ارتفاعی مختلف از ۱۵۰۰ متر در جاهای کم ارتفاع تا ۳۱۶۸ متر در جاهای پر ارتفاع تغییر می کند. بر اساس شکل (۱) در فاصله ۷۷ کیلومتری جاده آسفالت جیرفت به طرف دو راهی بم - کرمان جاده خاکی وجود دارد که دسترسی به محدوده آنومالی را میسر می سازد. مختصات جغرافیایی ابتدای راه فرعی خاکی به سمت محدوده آنومالی شامل طول و عرض جغرافیایی به قرار زیر است:

$$X = 593318 \quad N = 29^\circ 12' 52''$$

$$Y = 3232127 \quad E = 57^\circ 57' 36.2''$$

۲-۲. زمین شناسی منطقه ده بکری و محدوده ناهنجاریهای عنصر اورانیوم

از نظر تقسیمات زمین شناسی ایران منطقه ده بکری در زون ایران مرکزی و زون اکتشافی جبال بارز - بزمان است که جزئی از کمربند ولکانو پلو تونیکی ارومیه - دختر محسوب می شود. در این محدوده رسوبات کواترنری وجود دارد که شامل رسوبات آبرفتی عهد حاضر، بادبزنیهای آبرفتی و گراول های قدیمی و

جوان و همچنین رسوبات نئوژن منطقه شامل ماسه سنگ با کمی سنگ شدگی است که گسل سروستان این رسوبات را در منطقه از جریان های لاوای ریولیتی و پیرو کلاست های زمان ائوسن که قسمت عمده منطقه را تشکیل می دهند، جدا می کند. در منطقه مورد مطالعه از نظر زمین شناسی تراورتن ها حائز اهمیت است که در مرز بین پیروکلاست های ائوسن و رسوبات کواترنری قرار گرفته اند که این تراورتن ها در اثر فرایند های هیدروترمال و عمل آبهای گرمابی و همچنین فعالیت چشمه های تراورتن ساز بویژه در آبراهه های اصلی منطقه تشکیل شده اند که در آبراهه های اصلی ارتفاع تراورتن ها به ۳ متر نیز می رسد و در کف آبراهه ها بصورت توده ای است و در بخش فوقانی بصورت لامینه ۳ تا ۵ سانتی متر است. اما با توجه به کنده کاری های موجود در این تراورتن ها جهت استفاده بعنوان سنگ ساختمانی، به علت وجود درزه و شکاف فراوان و همچنین وجود ناخالصی و وجود قطعاتی از سنگ های اطراف که در این تراورتن ها دیده می شود جهت استخراج مناسب به نظر نمی رسد.

منطقه از نظر زمین شناسی ساختمانی به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می شود که اندک اختلافاتی با هم دارند. در بخش شمالی سنگ های ژوراسیک سخت چین خورده شدند که دارای زاویه میل به سوی غرب هستند. گسل سروستان به عنوان مهمترین گسل در منطقه مورد مطالعه دارای مولفه چپ گرد در زمان حاضر است که در فاز حرکتی کواترنری خود قابل رویت می باشد. ساختمان بخش جنوبی بدلیل پوشش کواترنری مشخص نیست و چین های مشاهده شده دارای محور های با امتداد شمال باختر و میل بسوی شمال خاوری اند. گسل سبزواران که با روند تقریباً شمالی - جنوبی از قسمت شرقی منطقه مورد مطالعه عبور می کند در فاز کوهزایی کواترنری دیده می شود و در بعضی قسمت های منطقه رسوبات کواترنری توسط این گسل از پیروکلاست و جریان های ریولیتی منطقه جدا شده اند که عملکرد این گسل در گراول های قدیمی به صورت تغییرات ارتفاعی ایجاد شده، به خوبی مشهود است. همچنین منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر دسته گسل های کوچک و فرعی، شکستگی ها و دسته درزه های موجود در منطقه قرار گرفته به طوری که عملکرد محلول های هیدرو ترمال در امتداد درز و شکستگی منطقه موجب تراورتن زائی در این منطقه شده است (شکل ۲).

۲-۳. پردازش و تحلیل داده های ژئوفیزیک رادیومتری هوایی منطقه

بررسی های ژئوفیزیکی هوابرد در طول یک شبکه منظم در طول خطوط موازی انجام می شود. خطوط پرواز منطقه ده بکری با فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر برداشت شد. سرعت هواپیما در حدود ۵۰ تا ۶۰ متر بر ثانیه برای بررسی هایی که توسط هواپیمای بال ثابت انجام می شود است. اسپکترومتری داده های پرتوگاما معمولاً طی یک فاصله نمونه برداری یک ثانیه ای بدست می آیند. در طی این فاصله یک هواپیمای بال ثابت مسافتی حدود ۵۵ متر در طول خط را طی می کند.

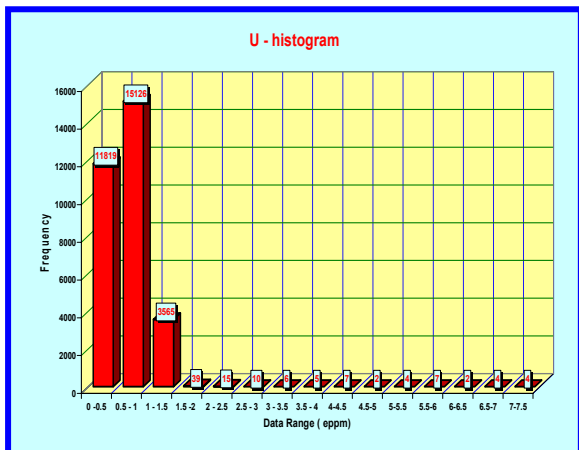


شکل ۲: قسمتی از تراورتن زائی در منطقه و دسته درزه های موازی در تراورتن ها

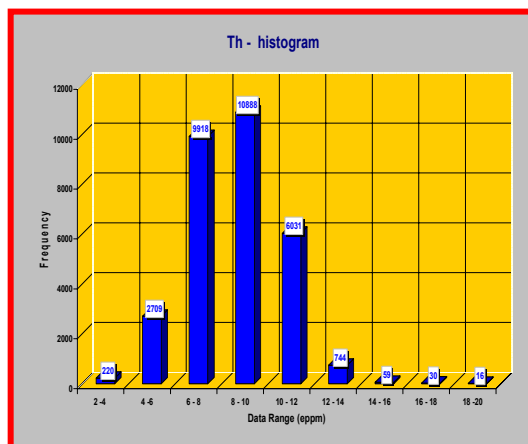
ممکن است نیاز باشد که داده پرتوگاما در طول فاصله زمانی بیشتری جمع آوری شدند که این کار برای کاهش خطاهای جزئی می باشد که در رابطه با شمارش کانالها می باشد. به هر حال، پردازش نهایی دادهها، به طور تغییر ناپذیر، با فاصله زمان نمونه برداری یک ثانیه ای انجام می شود. داده های اسپکترومتری گامای منطقه ده بکری نیز بر این اساس بدست آمده است. داده های آماده پردازش از پروازهای انجام شده در منطقه مورد نظر حاصل شد. این داده ها توسط نرم افزار RtiCad به صورت دیجیتال در آمده و شامل سه مولفه X ، Y و Z ، به ترتیب شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و غلظت (عیار) اندازه گیری شده مورد نظر است. برای بدست آوردن توزیع فراوانی عناصر اورانیوم در منطقه ده بکری، ابتدا داده ها به صورت صعودی از کمترین مقدار تا بیشترین مقدار، مرتب شدند. تحقیق فوق روی کلیه داده های برداشت شده در برگه ۱/۵۰۰۰۰ منطقه ده بکری به شماره 2-7548 انجام شد. داده های موجود در منطقه ده بکری شامل ۳۰۶۱۵ داده رقمی است که این داده ها مرتب سازی و همچنین با فیلترینگ، داده های کاذب از میان آنها حذف گردید و آماده مراحل محاسبات آماری شد [۳].

قبل از بررسی آماری داده های ژئوفیزیک هوایی در کلاسهای طبقه بندی شدند. جهت طبقه بندی، دامنه کوچکترین مقدار تا بزرگترین مقدار اندازه گیری شده برای هر دسته از اطلاعات داده ها رادیومتری که شامل اورانیوم است، مشخص شد و به کلاسهای با فواصل یکسان تقسیم بندی شدند. طول هر کلاس و یا دامنه هر کلاس بر اساس قاعده استورج انتخاب شد و حتی الامکان عدد صحیحی انتخاب شد [۱]. طبقه بندی و کلاسه بندی اطلاعات داده های منطقه در ۱۵ کلاس با دامنه 0.5 ppm انجام شد. ترسیم نمودار هیستوگرام نمونه ها (فراوانی عنصر مورد نظر یا عامل اندازه گیری) نیز انجام شد. هیستوگرام های توزیع فراوانی عناصر اورانیوم و تورنیوم برای منطقه ده بکری با استفاده از نرم افزار Excel بدست آمده اند که به ترتیب در شکل های ۳ و ۴ مشاهده می گردند. مهم ترین پارامترهای آماری که در تعبیر و تفسیر داده های مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از میانگین، میانه، مد، پراش، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی که این پارامترها برای داده های رادیومتری هوایی منطقه ده بکری برای عناصر اورانیوم و تورنیوم محاسبه

گردید [۲]. این پارامترهای آماری برای دو عنصر اورانیوم و توریم در منطقه ده بکری برای تفکیک جوامع ناهنجاری از زمینه در جداول ۱ و ۲ لیست شده است. با توجه به توزیع فراوانی عناصر اورانیوم و توریم به صورت لاگ نرمال پس از نرمال سازی داده ها با اعمال تبدیل لگاریتمی در مرحله بعد اقدام به تهیه نقشه ناهنجاریهای عناصر اورانیوم و توریم شد.



شکل ۴: نمودار هیستوگرام توزیع فراوانی داده‌های رادیومتری عنصر اورانیوم (U) منطقه ده بکری



شکل ۳: نمودار هیستوگرام توزیع فراوانی داده‌های رادیومتری عنصر توریم (Th) منطقه ده بکری

جدول ۱: پارامترهای آماری و نتایج حاصل از آن برای عنصر اورانیوم (U)

پارامتر	Mean	Variance	SD	CV	Skewness	Kurtosis	Min	Median	Mode	Max
مقدار	۰/۶۱	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۵۶	۳/۳۶	۴۸/۲۶	۰	۰/۵۸	۰/۵۴	۷/۴۸
	Low Back ground = Mean =							۰/۶۱		
	High Back ground = Mean + 1SD =							۰/۹۵		
	Possible Anomaly = Mean + 2SD =							۱/۲۹		
	Probable Anomaly = Mean + 3SD =							۱/۶۴		

جدول ۲: پارامترهای آماری و نتایج حاصل از آن برای عنصر توریم (Th)

پارامتر	Mean	Variance	SD	CV	Skewness	Kurtosis	Min	Median	Mode	Max
مقدار	۸/۴۴	۳/۶۹	۱/۹۲	۰/۱	۰/۲۱	۰/۳۷	۲/۷۳	۸/۴۲	۸/۵۷	۱۹/۴
	Low Back ground = Mean =							۸/۴۴		
	High Back ground = Mean + 1SD =							۱۰/۳۶		
	Possible Anomaly = Mean + 2SD =							۱۲/۲۸		
	Probable Anomaly = Mean + 3SD =							۱۴/۲۱		

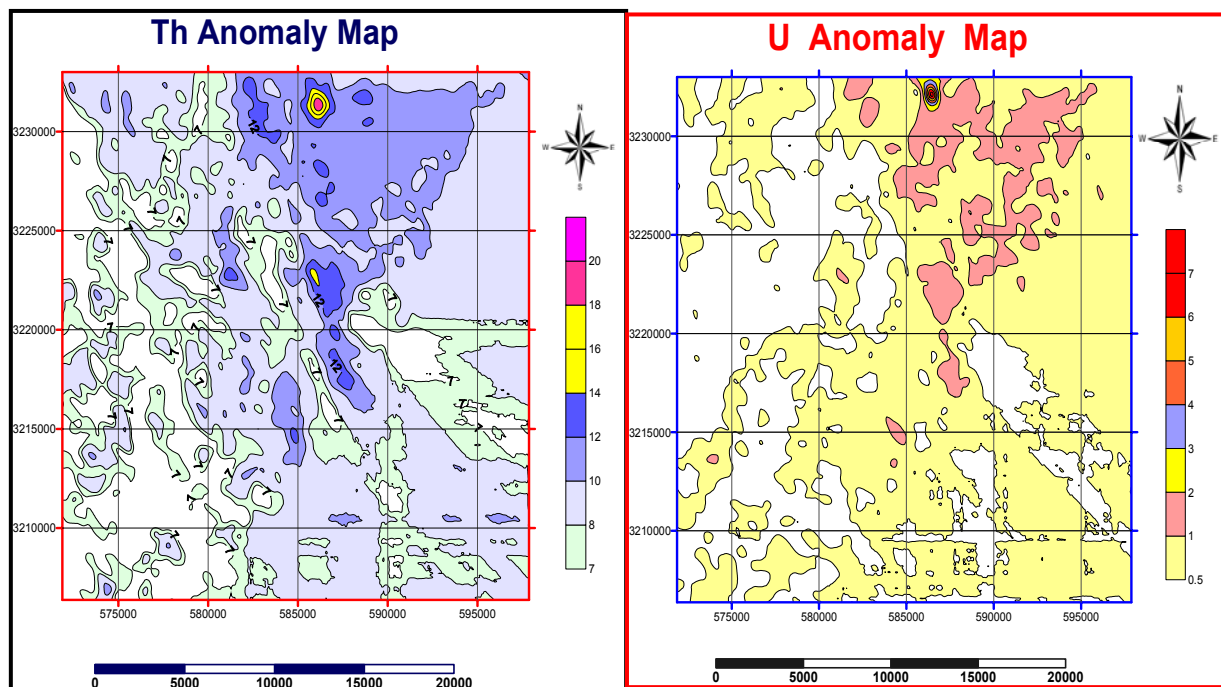
۲-۴. تهیه نقشه های ناهنجاریهای عناصر اورانیوم و تورنیوم در منطقه

با توجه به پارامترهای آماری محاسبه شده، به تفکیک جوامع زمینه و آنومالی برای منطقه ده بکری می پردازیم. در اینجا مقدار میانگین (\bar{x}) تقریباً مشخص کننده حد زمینه داده هاست. برای برآورد حد آستانه ای نیاز به پارامتر انحراف معیار داریم (σ). معمولاً $\bar{x} + \sigma$ را به عنوان حد آستانه ای، $\bar{x} + 2\sigma$ را به عنوان آنومالی ممکن و $\bar{x} + 3\sigma$ را به عنوان آنومالی احتمالی در نظر می گیرند [۳]. بر اساس مقادیر بدست آمده از محاسبه پارامترهای آماری عناصر اورانیوم و تورنیوم و بر مبنای نتایج جداول (۱) و (۲)، در آخرین مرحله باید نقشه معرفی ناهنجاریها یا آنومالیها عناصر اورانیوم و تورنیوم در منطقه تهیه شوند. برای این کار باید داده ها تحت یک شبکه شامل آرایشی از مستطیل های منظم قرار گیرند تا بتواند در روند تولید یک نقشه خطوط هم شدت یا هم تراز غلظت عنصر اورانیوم وارد شوند و سپس بر اساس مرزهای تفکیکی بدست آمده از روش محاسبات پارامترهای آماری عیارهای یا غلظتهای ناهنجار یا داغ عناصر اورانیوم و تورنیوم از غلظتها یا عیارهای بی اهمیت جدا گردد. جهت اعمال این فرآیند کاری برای داده های عناصر اورانیوم و تورنیوم منطقه از نسخه ۸ نرم افزار Surfer استفاده شد. ابتدا تعداد ۳۰۶۱۵ داده رقومی شامل سه مولفه برای هر عنصر جداگانه وارد نرم افزار Surfer 8 شد در مرحله بعدی شبکه بندی داده های رقومی منطقه برای آماده سازی داده ها انجام گرفت. در مرحله ساخت فایل شبکه هر سه مولفه داده های رقومی مربوط به یک عنصر شامل طول و عرض جغرافیایی و غلظت عناصر اورانیوم و تورنیوم اندازه گیری شده مدنظر قرار گرفت روش بکار گرفته شده جهت درون یابی مقادیر عیار غلظت اورانیوم و تورنیوم در نرم افزار Surfer 8 روش معکوس فاصله^۱ (یک روش زمین آماری جهت شبکه بندی و درون یابی داده های رقومی می باشد) انتخاب شد. روش معکوس فاصله یک روش مناسب برای داده های اکتشافی می باشد که خطوط هم شدت آن مرتباً کنار هم بسته می شوند. این روش، یک روش پیش فرض برای شبکه بندی است و در اکثر موارد توسط نرم افزار پیشنهاد می شود زیرا از داده های ورودی نقشه های مناسب به وجود می آورد. بعد از ساخت فایل شبکه با رعایت نکات بالا از قسمت ترسیم نقشه جدید توسط نرم افزار Surfer 8 اقدام به تهیه نقشه هم شدت غلظت اورانیوم شد و پس از ترسیم نقشه هم شدت مرزهای بدست آمده از روش محاسبات پارامترهای آماری جهت ناهنجاریها یا مناطق امید بخش عناصر اورانیوم و تورنیوم با رنگهای متفاوت نمایش داده شدند. در شکل ۵ نقشه های حاصل از تفکیک ناهنجاریهای عناصر اورانیوم و تورنیوم مشاهده می گردند.

۱- Inverse distance

۲-۵. برداشت های ژئوفیزیک زمینی محدوده های ناهنجاریهای عناصر پرتوزای منطقه ده بگری

برای شناسایی محدوده های « داغ » کانسارهای پرتوزا از اطلاعات رادیومتری موجود و مطالعات زمین شناسی منطقه استفاده شد و با استفاده از روش آمار کلاسیک، مناطقی را که احتمالاً می توانیم در آنها بدنال کانسارهای پرتوزا باشیم شناسایی و مشخص شد. برای مراحل فوق بیشتر مطالعات در مقیاس ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از نتایج حاصله از تحلیل دانسته های رادیومتری هوایی برای تعیین آنومالیها، مناطق کوچک با اولویت بندی از لحاظ وجود کانسارهای پرتو زا مشخص شد و مرحله بعدی کار یعنی مطالعات در مقیاس محلی و کوچک انجام شد. بعد از مشخص شدن محدوده های کانسارهای پرتوزا از دانسته های رادیومتری هوایی و نتایج روشهای تعیین آنومالیها، مرحله جدیدی از مطالعات که در واقع برداشتهای رادیومتری زمینی در محدوده های مشخص شده ناهنجاریها است شروع شد. در این مرحله، از اطلاعات بسیار گوناگون و متنوعی نظیر سنگ شناسی، فازهای تکتونیکی مختلف کانی سازی، زمین شناسی و برداشتهای ژئوفیزیکی برای تایید مناطق کوچک مشخص شده توسط روشهای تعیین آنومالی استفاده شد. روشهای اکتشافی برای یافتن کانسارهای پرتوزا و به خصوص کانسارهای اورانیوم همچون سایر پروژه های اکتشافی تابعی از هدف و وسعت منطقه مورد مطالعه است. ولی از جمله اختصاصات روشهای اکتشاف کانسارهای پرتوزا که اورانیوم در راس آنها قرار دارد، استفاده از تکنیکهای خاص به منظور شناسایی مواد رادیو اکتیو می باشد [۲].



شکل ۵: نقشه های تفکیک آنومالی عناصر اورانیوم و توریم با واحد معادل گرم بر تن (ppm) در منطقه ده بگری

از جمله این تکنیکهای خاص می توان از اندازه گیری تشعشعات رادیواکتیو ساختارها و واحدهای سنگی منطقه نام برد. با توجه به اینکه کانسارهای پرتوزا از خود تشعشع رادیو اکتیو دارند، بنابراین بهترین و راحت ترین راه شناخت این کانسارها اندازه گیری تشعشع رادیو اکتیو آنهاست. در برداشتهای رادیومتری زمینی در ابتدا، رادیو متری دستی به وسیله سنتیلومتر انجام می شود و بعد از تشخیص مناطق با تشعشع بالای رادیواکتیو در مرحله بعدی در مناطق مشخص شده توسط سنتیلومتر بدلیل اینکه در بین کانسارهای پرتوزا اورانیوم از اهمیت ویژه ای برخوردار است و در واقع هدف اکتشاف مواد رادیو اکتیو نیز به اکتشاف اورانیوم منتج می شود، چون تابش اشعه گاما می تواند از عناصر اورانیوم و ایزوتوپهای آن (U^{234} - U^{235} - U^{238})، تورنیوم (Th^{232}) و پتاسیم (K^{40}) صورت گیرد، بنابراین باید مشخص شود که تابش اشعه گامای اندازه گیری شده توسط سنتیلومتر مربوط به کدام یک از این عناصر می باشد. به لحاظ دلایلی که ذکر شد باید پس از اندازه گیری تشعشع مواد رادیواکتیو توسط سنتیلومتر، تفکیک عناصر ساطع کننده اشعه گاما صورت گیرد تا مشخص شود این تشعشع بیشتر مربوط به کدام عنصر رادیواکتیو می باشد و برای این کار از دستگاه اسپکترومتر اشعه گاما استفاده می کنند که در این دستگاه تفکیک تابش اشعه گاما از عناصر مختلف صورت می گیرد [۱]. هر چند در بعضی از موارد باید متذکر شد که گاز رادون هم بدلیل داشتن توان انرژی مشابه در محدوده پنجره های اندازه گیری اورانیوم تداخل می کند که این امر تنها با استفاده از نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های زمینی (XRF) محقق خواهد شد. دستگاه اسپکترومتر جهت اندازه گیری عناصر پرتو زا استفاده شد و اندازه گیریهای تابش اشعه گاما و تفکیک عناصر ساطع کننده این تشعشع انجام شد. ماده آشکار کننده اشعه گاما در این دستگاه بلور یدور سدیم در مجاورت تالیوم $NaI(Tl)$ می باشد. اساس کار دستگاه اسپکترومتر اشعه گاما بر متناسب بودن پالسهای الکتریکی خارج شده از فتومولتی پلایر با پالسهای نورانی وارده به آن و نیز متناسب بودن این پالسهای الکتریکی با انرژی اولیه اشعه گامای برخورد کننده با آشکار ساز می باشد [۶]. اسپکترومتر اشعه گامایی که در اندازه گیری زمینی منطقه ترک استفاده شد، مدل MGS 150 و ساخت کشور چک می باشد (شکل ۶).

واحد اندازه گیری اسپکترومتر اشعه گاما شمارش در ثانیه برای تابش گاما و برای مقادیر تفیک شده عناصر ساطع کننده تابش اشعه گاما، معادل p.p.m یا eppm می باشد. مهمترین مزیت این دستگاه جدا کردن تشعشعات تابش گاما از انواع ایزوتوپها است که این امر کمک مهمی در تشخیص و شناسایی منابع ساطع کننده تابش گاما می کند [۵].



شکل ۶: دستگاه اسپکترومتری مدل MGS 150 جهت اندازه گیری عناصر پرتوزا در کنترل زمینی

در اسپکترومتر تعیین مقدار تشعشعات ناشی از اورانیوم، پتاسیم، توریوم و نیز مجموع تشعشعات رادیواکتیو مورد نظر است. با توجه به محدوده های مشخص شده برای کنترل رادیومتری زمینی بر اساس نقشه های هم شدت عناصر پرتوزا در مرحله بعدی رادیومتری زمینی برای تفکیک عناصر منتشر کننده تابش گاما قرائتهای اسپکترومتری اشعه گاما انجام شد و مختصات جغرافیایی هر نقطه نیز شامل طول و عرض جغرافیایی آن نقطه (X, Y) توسط GPS اندازه گیری شد و برای تمام نقاطی که در آنها اسپکترومتری اشعه گاما انجام شد مشخص گردید که نتایج فوق در جدول (۳) مشاهده می شود. در جدول (۳) به ترتیب، شماره گذاری نقاط برداشت شده توسط اسپکترومتر اشعه گاما، سپس مختصات جغرافیایی نقاط قرائت اسپکترومتری شامل (X, Y) ، مقادیر عناصر بر حسب eppm برای مجموع انرژی - عنصر پتاسیم - عنصر اورانیوم و عنصر توریوم به تفکیک آورده شده است.

بر مبنای اندازه گیریهای بدست آمده مقادیر اورانیوم در اکثر قرائتها نزدیک به مقادیر زمینه عنصر اورانیوم در واحدهای سنگی می باشد و از آنجائیکه بیشتر آنومالیهای در سنگهای تراورتن قرار داشت (شکل ۶) بنابراین احتمال وجود گاز رادون در سنگها افزایش می یابد. با انجام آنالیز شیمیایی در نمونه های شماره ۴-۵-۶-۸-۱۰ همانطور که انتظار می رفت نتایج XRF نیز تاکید بر این مطلب دارند که مقدار اورانیوم محدوده های ناهنجاریهای ژئوفیزیک هوابرد بر اساس وجود مقادیری گاز رادون در سنگهای تراورتنی بوده است و مقادیر اورانیوم در کنترل زمینی در حد زمینه سنگ بوده است. در نتایج آنالیز شیمیایی فلورسانس اشعه ایکس مقادیری از عنصر اورانیوم برای نمونه ها ثبت نشد اما در اندازه گیری ژئوفیزیک زمینی اشعه گامای ساطع شده از سنگهای تراورتن ثبت شد، به همین دلیل می توان این تشعشع را به گاز رادون سنگهای تراورتن نسبت داد.

جدول ۳: قرائتهای اسپکترومتری اشعه گاما و تفکیک آن برای عناصر اورانیوم، پتاسیم و تورنیوم منطقه ده بکری استان کرمان

نام نمونه	X	Y	N	E	TC(eppm)	U(eppm)	K(%)	Th(eppm)
86-AZ-D-01	586330	3231712	29°12'40"	57°53'17"	26.6	4.3	3.9	14.0
86-AZ-D-02	586233	3231809	29°12'43"	57°53'14"	26.0	3.1	4.0	11.2
86-AZ-D-03	586177	3232174	29°12'55"	57°53'12"	25.6	3.4	4.4	7.2
86-AZ-D-04	586213	3232250	29°12'58"	57°53'13"	22.7	2.4	3.9	13.5
86-AZ-D-05	586250	3232189	29°12'55"	57°53'15"	28.6	9.1	3.8	12.2
86-AZ-D-06	586418	3231815	29°12'44"	57°53'21"	21.6	6.6	3.1	9.4
86-AZ-D-07	586508	3231681	29°12'39"	57°53'24"	21.4	4.9	3.2	9.5
86-AZ-D-08	586512	3231625	29°12'37"	57°53'24"	24.1	6.4	3.4	10.5
86-AZ-D-09	586615	3231616	29°12'37"	57°53'28"	29.4	11.4	3.2	16.1
86-AZ-D-10	586750	3231579	29°12'35"	57°53'33"	22.4	3.5	3.0	13.4

۳. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

روش رادیومتری اشعه گاما طی سالهای اخیر برای تعیین کانیهای معدنی بخصوص سه عنصر پرتوزای اورانیوم، تورنیوم و پتاسیم که خاصیت پرتوایی دارند بکار رفته است [۴]. در اکتشاف ناحیه ای منطقه ده بکری استان کرمان با استفاده از داده های ژئوفیزیک رادیومتری هوایی برداشت شده توسط شرکت پراکلای آلمان، ابتدا مرتب سازی داده انجام شد و سپس پردازش و تحلیل داده های مرتب شده بر مبنای روش آمار کلاسیک و محاسبه پارامترهای آماری مورد نیاز تفکیک جوامع زمینه و ناهنجاری در توزیع داده ها و در نهایت تهیه نقشه آنومالیهای منطقه و معرفی مناطق امیدبخش با صحت و دقت قابل قبول برای ادامه کار اکتشاف اورانیوم در منطقه مورد نظر، انجام شد. بعد از مشخص شدن محدوده های ناهنجاری عناصر پرتوزا، برداشت و اندازه گیری زمینی عناصر اورانیوم و تورنیوم در محدوده های ناهنجاری توسط دستگاه اسپکترومتر مدل MGS 150 انجام شد که در نمونه های شماره (۵) و (۹) مقادیر بزرگتری از دیگر داده ها برای عنصر اورانیوم اندازه گیری شد اما در دید کلی اندازه گیری تمام نمونه ها امید بخش نبود و مقادیری نزدیک مقادیر زمینه برای عناصر پرتوزا اندازه گیری شد. جهت بررسی بیشتر ۵ نمونه با مقادیر ثبت شده بیشتر عناصر پرتوزا جهت انجام آزمایش XRF ارسال شد که نتایج آزمایشگاه و اندازه گیریها دلالت بر عدم وجود عنصر اورانیوم در سنگهای تراورتنی محدوده آنومالی ده بکری است و ناهنجاریهای بدست آمده از اندازه گیری اشعه گاما مربوط به عنصر اورانیوم نیست بلکه بدلیل وجود گاز رادون در سنگهای تراورتن منطقه است. به همین دلیل پیشنهاد می شود ادامه کارهای اکتشافی بدلیل عدم وجود عنصر اورانیوم و وجود گاز رادون در سنگهای تراورتنی منطقه ده بکری امید بخش نخواهد بود و دستیابی به ذخایر اقتصادی اورانیوم با توجه به نتایج قرائتهای رادیومتری زمینی و نتایج آنالیز شیمیایی و پتروگرافی سنگهای محدوده ناهنجار غیر قابل توجیح اقتصادی است.

۴. منابع

۱. ضیاء ظریفی افشار، ۱۳۸۴، بررسی نقشه های رادیومتری و مغناطیس هوایی (شرکت استرالیایی استیرکس) در ناحیه شمال غربی ایران و معرفی ناهنجاریهای مواد پرتوزا مخصوصاً اورانیوم در ۲۳ نقشه ۱/۵۰۰۰۰ با طبقه بندی و اولویت آنها از دیدگاه آماری و ژئوفیزیکی، گزارش اکتشافی شماره ۶۹۰-۸۴، شرکت تولید مواد اولیه و سوخت هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران.
۲. ضیاء ظریفی افشار، ۱۳۸۶، گزارش بررسی آماری و اولویت بندی چهار عنصر رادیومتری در قطعات استاندارد ۱/۵۰۰۰۰ با استفاده از هاردکپی قطعات استاندارد ۱/۲۵۰۰۰۰ ایران مرکزی، گزارش اکتشافی شماره ۷۴۱-۸۶، شرکت تولید مواد اولیه و سوخت هسته ای سازمان انرژی اتمی ایران.
۳. حسنی پاک علی اصغر - شرف الدین محمد، ۱۳۸۰، تحلیل داده های اکتشافی (جدایش زمینه از آنومالی، آمار و احتمال مهندسی، تخمین ذخیره)، انتشارات دانشگاه تهران.
4. Bruce L. Dickson, 2004, "Recent advance in aerial gamma ray surveying" Journal of Environmental Radioactivity 76(2004) 225-236
5. IAEA-TECDOC, 2003, "Guidelines for radio element mapping using gamma ray spectrometry data".
6. Sami, H, Abd, N, 2001, " Evaluation of airborne gamma ray spectrometric data for the Missikat Uranium deposit, Eastern desert Egypt". Applied Radiation and Isotops 54(2001) 497-507.