

اللَّهُمَّ احْمِزْنِي



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه نفت و ژئوفیزیک

پردازش داده‌های هوابرد مغناطیسی و رادیومتری جهت تعیین مناطق امیدبخش معدنی
(مطالعه موردی: بخشی از استان سمنان)

گوهر دورودی

استاد راهنما:

دکتر علی نجاتی کلاته

استاد مشاور:

مهندس آرش سبطی

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۴

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم گوهر دورودی

تحت عنوان: پردازش داده‌های هوابرد مغناطیسی و رادیومتری جهت تعیین مناطق امیدبخش معدنی

(مطالعه موردی: بخشی از استان سمنان)

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : مهندس آرش سبطی		نام و نام خانوادگی : دکتر علی نجاتی کلاته
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر امین روشندل کاهو		نام و نام خانوادگی : دکتر ابوالقاسم کامکارروحانی
			نام و نام خانوادگی : دکتر علی رضا عرب امیری
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ

حیدرآبی کہ آفرید

جہن ان انسان را عقل را علم را معرفت را عشق را

کہ بی نی کہ عشق را در وجود ما مید

فخر چہ چہ اید و ما اید

تقدیر و تشکر

حمد و ستایش از آن خداوندی است که الطاف بی‌کرانش چراغ راه و روشنی‌بخش ذهنم بود. نگارش پایان‌نامه حاضر ممکن نبود مگر به لطف

پروردگار و یاری اساتید گرامی، دوستان عزیز و خانواده صبورم...

تخت لازم می‌دانم از زحمات استاد برجند و کتر علی نجاتی کلاته پاس گزاری ویژه بنامم...

هم‌چنین از مهندس آرش سبطی نیز که به صورت محسوسی ناگزیر بارها راهنمایی‌های ارزشمند خود هم قدم من شدند تشکر می‌کنم. از اساتید و

دوستان گرامی دیگری هم چون مهندس ساسان کیوانی، مهندس خیرالهی نیز که در طول انجام این تحقیق پشتیبان من بودند کمال قدر دانی را

می‌نمایم...

به علاوه لازم می‌دانم از همکاری مسئولان دانشگاه صنعتی شاهرود و دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک پاس گزاری بنامم...

کوهر دورودی بهمن ۱۳۹۴

تعهد نامه

اینجانب گوهر دورودی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پردازش داده‌های هوابرد مغناطیسی و رادیومتری جهت تعیین مناطق امیدبخش معدنی (مطالعه موردی: بخشی از استان سمنان) تحت راهنمایی دکتر علی نجاتی کلاته و مشاوره مهندس آرش سبطی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

روش مغناطیس قدیمی‌ترین شاخه از علم ژئوفیزیک است و در شناسایی توده‌های زیر سطحی با خاصیت مغناطیسی کاربرد گسترده‌ای دارد. جهت تحلیل و تفسیر داده‌های مغناطیسی، مدل‌سازی و اکتشاف صحیح مناطق امید بخش معدنی، پردازش داده‌ها امری ضروری می‌باشد.

برخی از ایزوتوپ‌های عناصر ناپایدار بوده و با انتشار تشعشعات یونی فعال، به عناصر پایدارتری تبدیل می‌شوند. این ایزوتوپ‌ها، ایزوتوپ‌های رادیواکتیو یا رادیوایزوتوپ نامیده می‌شوند. روش رادیومتری بر پایه اندازه‌گیری انرژی پرتو گامای منتشر شده در طول واپاشی ایزوتوپ‌های رادیواکتیو پتاسیم، اورانیم و توریم استوار است.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی آنومالی‌های مغناطیسی منطقه رباعی، اکتشاف آنومالی‌های ناشی از عناصر رادیواکتیو در مقیاس ناحیه‌ای و تخمین نسبی این مواد در سنگ‌های سطحی و بررسی پتانسیل‌های معدنی منطقه مورد بررسی می‌باشد.

داده‌های هوابرد مغناطیس و رادیومتری دریافت شده از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مربوط به منطقه رباعی واقع در استان سمنان می‌باشد. به‌طور کلی پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس شامل ۶ مرحله می‌باشد، که به ترتیب عبارتند از: ۱- تصحیح روزانه، ۲- تصحیح جابه‌جایی زمانی محل آنومالی، ۳- تصحیح اثر تغییرات میدان مغناطیسی وابسته به جهت برداشت داده‌های مغناطیسی، ۴- تصحیح IGRF، ۵- هم‌ترازسازی و ۶- ریزهم‌ترازسازی. جهت بررسی و تفسیر نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی فیلترهای برگردان به قطب، ادامه فراسو، مشتقات قائم و افقی، سیگنال تحلیلی و تیلت بر روی داده‌ها اعمال شده است. جهت تفسیر کمی منطقه مورد بررسی، داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mag3D مدل‌سازی شده، که برای نمونه محدوده کانسار آهن رباعی انتخاب گردید و توده آنومال از لحاظ موقعیت نسبی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

پردازش داده‌های رادیومتری طی ۶ مرحله صورت گرفته است، که به ترتیب عبارتند از: ۱- تصحیح زمان مرده، ۲- تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد، ۳- تصحیح گاز رادون، ۴- تصحیح ضرایب تداخل انرژی، ۵- تصحیح میرایی ارتفاع و ۶- اندازه‌گیری حساسیت سیستم. پس از پردازش، نقشه‌های مربوط به غلظت عناصر رادیواکتیو و نقشه سه‌گانه حاصل شده است. پس از مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش مذکور می‌توان گفت، در قسمت‌های مرکزی و غرب محدوده، به علت وجود توده نفوذی، شدت میدان مغناطیس بالا می‌باشد. پس از بررسی منطقه، مشخص گردید، در این مکان معدن سنگ آهن وجود داشته، همچنین در محدوده این کانسار، غلظت عناصر رادیواکتیو ضعیف می‌باشد. با توجه به شدت میدان پایین در مناطق شمالی و شرق محدوده و با توجه به اینکه غلظت عناصر رادیواکتیو در سنگ‌های دگرگونی بالاست، احتمال وجود سنگ‌های دگرگونی زیاد است. در قسمت‌های شمالی، شرق و جنوب شرقی محدوده که تمرکز توریم و اورانیوم بالاست احتمال حضور کانه‌های مس وجود دارد. تمرکز مطلق و نسبی عناصر رادیواکتیو به‌طور قابل توجهی با لیتولوژی تغییر می‌کند و از طرفی انواع سنگ‌های متفاوت می‌توانند علائم رادیومتری مشابهی داشته باشند.

واژگان کلیدی: پردازش داده‌های هوابرد، مغناطیس، رادیومتری، Mag3D، رباعی.

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ سابقه تحقیق
۴	۳-۱ هدف تحقیق
۴	۴-۱ ضرورت انجام تحقیق
۵	۵-۱ زمین‌شناسی منطقه
۱۴	۶-۱ برداشت‌های هوابرد
۱۴	۱-۶-۱ مغناطیس هوابرد
۱۵	۲-۶-۱ رادیومتری هوابرد

فصل دوم: مبانی پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد

۲۰	۱-۲ مقدمه
۲۰	۲-۲ طراحی بلوک و خطوط پرواز و آماده‌سازی نقشه‌های اولیه
۲۰	۱-۲-۲ پایگاه داده
۲۱	۳-۲ پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس
۲۲	۱-۳-۲ مرحله پیش‌پردازش
۲۶	۲-۳-۲ مرحله پردازش

فصل سوم: مبانی پردازش داده‌های رادیومتری هوابرد

۴۰	۱-۳ مقدمه
۴۱	۲-۳ دستگاه طیف‌سنج اشعه گاما
۴۳	۳-۳ کنترل کیفی داده‌های هوابرد رادیومتری
۴۳	۱-۳-۳ کنترل سلامت تجهیزات رادیومتری
۴۶	۲-۳-۳ بررسی شرایط محیطی جهت برداشت رادیومتری هوابرد

۴۷	..... ۴-۳ پردازش داده‌های رادیومتری
۴۷	..... ۱-۴-۳ تصحیح زمان مرده
۴۸	..... ۲-۴-۳ تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد
۵۰	..... ۳-۴-۳ تصحیح اثر گاز رادون
۵۳	..... ۴-۴-۳ محاسبه ضرایب تداخل
۵۶	..... ۵-۴-۳ تصحیح میرایی ارتفاع
۵۸	..... ۶-۴-۳ اندازه‌گیری حساسیت سیستم

فصل چهارم: پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی

۶۲	..... ۱-۴ مقدمه
۶۲	..... ۲-۴ بلوک منطقه برداشت
۶۳	..... ۳-۴ پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی
۶۳	..... ۱-۳-۴ مرحله پیش پردازش داده‌های هوابرد منطقه رباعی
۶۵	..... ۲-۳-۴ مرحله پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی
۷۹	..... ۴-۴ بررسی نتایج
۷۹	..... ۱-۴-۴ نقشه شدت کل میدان مغناطیسی
۸۱	..... ۲-۴-۴ نقشه برگردان به قطب
۸۲	..... ۳-۴-۴ نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی‌مانده
۸۴	..... ۴-۴-۴ فیلتر گسترش رو به بالا
۸۸	..... ۵-۴-۴ فیلتر مشتق قائم میدان
۹۱	..... ۶-۴-۴ مشتقات جهتی مرتبه اول
۹۳	..... ۷-۴-۴ سیگنال تحلیلی شدت کل میدان مغناطیسی
۹۴	..... ۸-۴-۴ فیلتر تخمین مرز توده‌های مغناطیسی (روش تیلت)
۹۵	..... ۵-۴ مدل‌سازی داده‌های مغناطیس هوابرد

فصل پنجم: پردازش داده‌های رادیومتری هوابرد منطقه رباعی

۱۰۰	..... ۱-۵ مقدمه
۱۰۰	..... ۲-۵ کنترل کیفی داده‌های هوابرد رادیومتری منطقه رباعی

۱۰۰	.....	کنترل سلامت تجهیزات رادیومتری	۱-۲-۵
۱۰۶	.....	بررسی شرایط محیطی جهت برداشت رادیومتری هوابرد	۲-۲-۵
۱۰۹	.....	پردازش داده‌های رادیومتری هوابرد منطقه رباعی	۳-۵
۱۰۹	.....	تصحیح زمان مرده اسپکترومتر	۱-۳-۵
۱۰۹	.....	تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد	۲-۳-۵
۱۱۲	.....	تصحیح اثر گاز رادون در محیط	۳-۳-۵
۱۱۵	.....	محاسبه ضرایب تداخل انرژی عناصر رادیواکتیو	۴-۳-۵
۱۱۷	.....	تصحیح میرایی ارتفاع عناصر رادیواکتیو	۵-۳-۵
۱۱۹	.....	اندازه‌گیری حساسیت سیستم اسپکترومتر	۶-۳-۵
۱۲۰	.....	بررسی نتایج	۴-۵

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۲۶	.....	نتیجه‌گیری	۱-۶
۱۲۹	.....	پیشنهادات	۲-۶
۱۳۰	.....	منابع	

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۷.....	شکل (۱-۱) نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه رباعی.
۸.....	شکل (۲-۱) نمونه‌ای از یک سنگ آهن
۹.....	شکل (۳-۱) نمونه‌ای از یک سنگ آهن مگنتیت
۱۰.....	شکل (۴-۱) نمونه‌هایی از سنگ آهن هماتیت
۱۱.....	شکل (۵-۱) دو نمونه از کانی پیریت
۱۱.....	شکل (۶-۱) نمونه‌ای از کانی کالکوپیریت
۱۲.....	شکل (۷-۱) نمونه‌ای از کانی لیمونیت
۱۳.....	شکل (۸-۱) نمونه‌هایی از کانی گوتیت
۲۳.....	شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک نوفه کلاسیک که با مشتق چهارم در یکی از خطوط برداشت شناسائی شده است
۲۴.....	شکل (۲-۲) نمونه‌ای شماتیک از تغییرات کوتاه مدت میدان مغناطیسی
۲۵.....	شکل (۳-۲) نمونه‌ای از برداشت هوابرد به صورت معلق
۲۶.....	شکل (۴-۲) نمونه‌ای از برداشت هوابرد مغناطیس به صورت ثابت یا با استفاده از پرنده
۲۶.....	شکل (۵-۲) نمونه‌های پرنده که در برداشت‌های هوابرد مورد استفاده قرار می‌گیرند
۲۷.....	شکل (۶-۲) منحنی تغییرات میدان بر حسب زمان. منحنی نشان‌دهنده وجود طوفان مغناطیسی می‌باشد
۲۸.....	شکل (۷-۲) نمونه‌ای از دستگاه مغناطیس‌سنج در حین برداشت داده در ایستگاه مینا
۲۹.....	شکل (۸-۲) نمونه‌ای از نحوه انجام تست Lag
۲۹.....	شکل (۹-۲) منحنی مربوط به تست Lag
۳۰.....	شکل (۱۰-۲) نقشه شدت میدان مغناطیس قبل از اعمال تصحیح Lag
۳۱.....	شکل (۱۱-۲) نمونه‌ای از جهت حرکت‌های چرخشی و نحوه پرواز بالگرد در تست اثرات ناشی از نویز مانور
۳۱.....	شکل (۱۲-۲) نقشه مسیر پرواز تست نویز مانور
۳۳.....	شکل (۱۳-۲) نمونه‌ای شماتیک از نحوه اجرای تست Heading
۳۴.....	شکل (۱۴-۲) نمونه‌ای شماتیک از مدل ریاضی در نظر گرفته شده از زمین و میدان مغناطیسی آن
۳۴.....	شکل (۱۵-۲) مقدار میدان F در سراسر جهان در یک دوره از مدل (به عنوان مثال در سال ۱۹۹۵)

- شکل (۲-۱۶) نمونه‌هایی از نقشه شدت میدان مغناطیس قبل و بعد از اعمال تصحیح هم‌ترازسازی ۳۶
- شکل (۲-۱۷) نقشه شدت میدان مغناطیسی قبل و بعد از اعمال تصحیح ریزهم‌ترازسازی ۳۷
- شکل (۳-۱) نمودار طیف انرژی عناصر مختلف ۴۰
- شکل (۳-۲) نمودار مربوط به تست تفکیک‌پذیری دستگاه ۴۵
- شکل (۳-۳) نمونه‌ای از نحوه اجرای تست اشعه کیهانی بر روی دریای خزر می‌باشد ۴۹
- شکل (۳-۴) نمودار رسم شده عناصر رادیواکتیو بر حسب اشعه کیهانی ۵۰
- شکل (۳-۵) نمونه‌ای از نحوه اجرای تست رادون در محلی بین مرز آب و خشکی ۵۱
- شکل (۳-۶) نمودار رسم شده عناصر رادیواکتیو بر حسب اورانیوم ۵۲
- شکل (۳-۷) نمونه‌ای از محل قرارگیری پدهای واقعی نسبت به یکدیگر و نحوه برداشت داده روی این پدها ۵۴
- شکل (۳-۸) نمونه‌ای از محل قرارگیری پدهای قابل حمل نسبت به یکدیگر و نحوه برداشت داده بر روی این پدها ۵۵
- شکل (۳-۹) نمونه‌ای از نحوه اجرای تست میرایی ارتفاع در منطقه بندر ترکمن ۵۶
- شکل (۳-۱۰) نمودار نمایی رسم شده عناصر رادیواکتیو بر حسب ارتفاع مؤثر ۵۷
- شکل (۳-۱۱) نمونه‌ای از نحوه برداشت زمینی جهت اندازه‌گیری حساسیت سیستم ۵۹
- شکل (۴-۱) نمایی از بلوک برداشت منطقه رباعی ۶۲
- شکل (۴-۲) پروفیل‌های رسم شده از داده مغناطیس خام (پروفیل قرمز رنگ) و مشتق مرتبه چهارم ۶۳
- شکل (۴-۳) پروفیل‌های رسم شده در بررسی تغییرات بلند مدت و کوتاه مدت میدان مغناطیسی ۶۴
- شکل (۴-۴) پروفیل رسم شده داده‌های مغناطیس ایستگاه مبنا ۶۶
- شکل (۴-۵) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح روزانه ۵۶ شکل (۴-۶) نقشه مسیر پرواز در تست Lag ۶۶
- شکل (۴-۶) نقشه مسیر پرواز در تست Lag ۶۷
- شکل (۴-۷) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح Lag زمانی ۶۸
- شکل (۴-۸) نمونه‌ای واقعی از نقطه تقاطع در نظر گرفته شده در تصحیح Heading ۷۰
- شکل (۴-۹) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح Heading ۷۱
- شکل (۴-۱۰) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح IGRF ۷۲
- شکل (۴-۱۱) نمونه‌ای از نقاط تقاطع محاسبه شده برای یک خط کنترلی و خط برازش شده بر آن‌ها ۷۴
- شکل (۴-۱۲) نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح هم‌ترازسازی ۷۵

- شکل (۴-۱۳) نقشه نهایی شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح ریزهم‌ترازسازی.....۷۶
- شکل (۳-۱۴) نقشه شدت میدان مغناطیسی که مسیر خطوط پرواز و کنترلی فرضی بر روی آن نشان داده شده است.....۷۷
- شکل (۳-۱۵) نقشه شدت میدان مغناطیس پس از اعمال تصحیح هم‌ترازسازی با استفاده از خطوط کنترلی فرضی.....۷۸
- شکل (۴-۱۶) نقشه شدت کل میدان مغناطیسی۸۰
- شکل (۴-۱۷) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب.....۸۲
- شکل (۴-۱۸) نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی‌مانده.....۸۳
- شکل (۴-۱۹) نقشه شدت میدان باقی‌مانده، که از عبور روند سطح درجه ۲ بر روی نقشه TMI حاصل شده.....۸۴
- شکل (۴-۲۰) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۲۰۰ متری.....۸۶
- شکل (۴-۲۱) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۶۰۰ متری.....۸۷
- شکل (۴-۲۲) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۱۵۰۰ متری.....۸۸
- شکل (۴-۲۳) نقشه مشتق قائم مرتبه اول.....۸۹
- شکل (۴-۲۴) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم.....۹۰
- شکل (۴-۲۵) نقشه مشتق افقی میدان مغناطیسی در راستای X.....۹۱
- شکل (۴-۲۶) نقشه مشتق افقی شدت میدان مغناطیسی در راستای Y.....۹۲
- شکل (۴-۲۷) نقشه سیگنال تحلیلی شدت کل میدان مغناطیسی.....۹۳
- شکل (۴-۲۸) نقشه تخمین مرز آنومالی به روش تیلت.....۹۴
- شکل (۴-۲۹) نمایش سه بعدی مدل به دست آمده از دو جهت دید شرق و شمال.....۹۶
- شکل (۴-۳۰) نمایش سه بعدی مدل به دست آمده در جهت دید از بالا.....۹۸
- شکل (۵-۱) پروفیل‌های رسم شده از یک قرائت در تست Source Check.....۱۰۱
- شکل (۵-۲) نمونه‌ای از منحنی طیفی عناصر در یک اندازه‌گیری.....۱۰۳
- شکل (۵-۳) نمودار مربوط به تست تفکیک‌پذیری دستگاه.....۱۰۶
- شکل (۵-۴) منحنی عناصر رادیواکتیو نسبت به اشعه کیهانی.....۱۱۱
- شکل (۵-۵) منحنی عناصر رادیواکتیو بر حسب اورانیوم پایین‌نگر.....۱۱۴
- شکل (۵-۶) نمودارهای رسم شده عناصر رادیواکتیو بر حسب ارتفاع مؤثر.....۱۱۸
- شکل (۵-۷) نقشه مسیر برداشت صحرایی داده‌های رادیومتری.....۱۱۹
- شکل (۵-۸) نقشه غلظت عناصر رادیواکتیو و سه‌گانه.....۱۲۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۳) جدول طیف انرژی برخی از عناصر رادیواکتیو	۴۲
جدول (۲-۳) ضرایب تداخل انرژی مربوط به دو اسپکترومتر سالم و معیوب	۵۳
جدول (۱-۵) جدول مربوط به تست Source Check	۱۰۲
جدول (۲-۵) جدول مربوط به تست کالیبراسیون انرژی داده‌های رادیومتری	۱۰۴
جدول (۳-۵) جدول مربوط به محاسبه تفکیک‌پذیری	۱۰۶
جدول (۴-۵) جدول مربوط به TEST LINE	۱۰۸
جدول (۵-۵) جدول مربوط به تست Cosmic	۱۱۰
جدول (۶-۵) ضرایب مربوط به اثر اشعه کیهانی و بدنه بالگرد	۱۱۲
جدول (۷-۵) جدول مربوط به تست گاز رادون	۱۱۳
جدول (۸-۵) ضرایب مربوط به اثر گاز رادون	۱۱۴
جدول (۹-۵) غلظت عناصر موجود در پدها	۱۱۶
جدول (۱۰-۵) مقدار شمارش شده عناصر موجود در پدها	۱۱۶
جدول (۱۱-۵) مقادیر ضرایب تداخل انرژی	۱۱۶
جدول (۱۲-۵) جدول مربوط به تست میرایی ارتفاع	۱۱۷
جدول (۱۳-۵) ضرایب میرایی ارتفاع	۱۱۸
جدول (۱۴-۵) جدول ضریب حساسیت سیستم در ارتفاعات مختلف	۱۲۰
جدول (۱۵-۵) کانی‌های رادیواکتیو و سنگ‌های در برگیرنده آن‌ها	۱۲۴

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

روش مغناطیس از جمله روش‌هایی است که منشأ آن طبیعی بوده و ناشی از تاثیرات میدان مغناطیسی زمین بر روی سنگ‌ها می‌باشد. ژئوفیزیک هوابرد به معنای اندازه‌گیری خواص فیزیکی زمین از طریق سنسورها و تجهیزاتی است؛ که بر روی وسیله پرنده نصب شده است. به‌طور متداول این خواص فیزیکی عبارتند از: شدت کل میدان مغناطیسی، طیف انرژی تشعشعات سطحی اشعه گاما، میزان مقاومت و یا رسانندگی زمین و میزان شتاب ثقل زمین. از جمله مزیت‌های روش ژئوفیزیک هوابرد نسبت به زمینی: امکان برداشت در مناطق وسیع و صعب‌العبور، کیفیت و دقت بالای داده‌های برداشت شده و صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌باشد.

با توجه به مطالعات صورت گرفته و نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی مشخص گردید، که در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب دامغان کانسار آهنی وجود داشته، که در حال حاضر به صورت معدن نیمه فعال می‌باشد. از جمله کانی‌های فلزی این کانسار عبارتند از: هماتیت، مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، گوتیت و... [۱]. پس از پردازش کامل داده‌های مغناطیس منطقه رباعی، جهت بررسی و تفسیر منطقه، فیلترهایی بر روی نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی اعمال گردید. علاوه بر آن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Mag3D مدل‌سازی شده، که برای نمونه محدوده کانسار آهن رباعی انتخاب گردید و توده آنومال از لحاظ شکل هندسی و موقعیت نسبی در منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

از واپاشی مواد رادیواکتیو سه نوع پرتو اصلی منتشر می‌شود که عبارتند از: اشعه آلفا، بتا و گاما. هر فوتون پرتو گاما انرژی مجزایی داشته و این انرژی، مشخصه ایزوتوپ چشمه تشعشعات می‌باشد. منابع طبیعی پرتو گاما که در بررسی‌های هوابرد اندازه‌گیری می‌شوند، پتاسیم، اورانیم و توریم می‌باشند. پس از پردازش داده‌های رادیومتری منطقه، نقشه‌های مربوط به شمارش عناصر رادیواکتیو، غلظت عناصر و نقشه سه‌گانه^۱ حاصل شده، که با توجه به آن‌ها میزان رادیواکتیو بودن عناصر این منطقه مشخص شده است.

^۱ - Ternary

نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق جهت پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس و رادیومتری، ژئوسافت (Oasis Montaj) می‌باشد.

۲-۱ سابقه تحقیق

از جمله کاربردهای مغناطیس هوابرد و رادیومتری عبارتند از تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی منطقه اکتشافی کوهشاه توسط عبدی در سال ۲۰۱۱ [۲]، تهیه نقشه‌های ساختار زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های الکترومغناطیس و مغناطیس هوابرد منطقه کلاته-رشم توسط نوروزی باغکمه و همکاران در سال ۲۰۱۵ [۳]، تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی در منطقه آلت توسط حیدری در سال ۱۳۹۱ [۴]، تفسیر رادیومتری و مغناطیس هوایی محدوده‌ای از منطقه اسفوردی جهت اکتشاف اورانیوم توسط حکمتیان و همکاران در سال ۱۳۸۴ [۵]، پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد طبق استاندارد سازمان زمین‌شناسی استرالیا (AGSO)^۱، توسط لیوندیک^۲ در سال ۱۹۹۷ [۶]، روش ریز هم‌ترازسازی برای داده‌های هوابرد مغناطیس توسط مینتی^۳ در سال ۱۹۹۱ [۷]، کاربرد مغناطیس‌سنجی و رادیومتری هوابرد در ارزیابی پتانسیل معدنی ولکانیک‌های شمال شهر بابک توسط بهادری در سال ۱۳۸۶ [۸]، تهیه نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ آنومالی عناصر رادیواکتیو در منطقه جنوب کرمان توسط جعفری و یزدی در سال ۲۰۱۴ [۹]، بررسی پتانسیل معدنی اورانیوم و توریم و تهیه نقشه‌های آنومالی عناصر رادیواکتیو در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در منطقه سرچشمه (کرمان) توسط جعفری و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۱۰]، اکتشاف ناحیه‌ای اورانیوم و توریم بر مبنای داده‌های ژئوفیزیک هوایی در برکه ۱:۵۰۰۰۰ سرچشمه (استان کرمان) توسط جعفری و همکاران در سال ۱۳۹۱ [۱۱]، بررسی ناهنجاری‌های ژئوفیزیک هوایی جهت اکتشاف اورانیوم در فاز شناسایی منطقه ده بکری (شمال شرق جیرفت) توسط ظریفی در سال ۱۳۸۷ [۱۲]، اکتساب و به‌کارگیری داده‌های

^۱- Australian Geological Survey Organization

^۲- Luyendyk

^۳- Minty

مغناطیس هوابرد و اشعه گاما توسط هورسفال^۱ در سال ۱۹۹۷ [۱۳] و اکتشاف اورانیوم به روش ژئوفیزیک رادیومتری هوایی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ چادرملو توسط شاکرمی و همکاران در سال ۱۳۸۷ [۱۴].

۳-۱ هدف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق، بررسی آنومالی‌های مغناطیسی منطقه، اکتشاف آنومالی‌های ناشی از عناصر رادیواکتیو در مقیاس ناحیه‌ای و تخمین نسبی این مواد در سنگ‌های سطحی و بررسی پتانسیل‌های معدنی منطقه می‌باشد.

۴-۱ ضرورت انجام تحقیق

بنابر دلایل مختلفی نظیر وسیع بودن منطقه مورد بررسی، دقت بالای داده‌های برداشت شده، صرفه-جویی در زمان، هزینه و با توجه به هدف تحقیق، روش هوابرد ترجیح داده شده است. با استفاده از داده‌های برداشت شده هوابرد رادیومتری، به راحتی می‌توان یک منطقه وسیع را در مدت زمان بسیار کوتاه مورد بررسی قرار داد و در نهایت به مناطق امیدبخش عناصر پرتوزا دسترسی پیدا کرد. جهت بررسی آنومالی‌های منطقه، اکتشاف صحیح مناطق امیدبخش معدنی و همچنین شناسایی مناطق با پتانسیل بالای عناصر رادیواکتیو باید پردازش داده‌های هوابرد مغناطیسی و رادیومتری صورت گیرد.

این پروژه شامل ۶ فصل می‌باشد، که به اختصار هر کدام توضیح داده شده است. فصل اول، مربوط به کلیات بوده که شامل مقدمه، زمین‌شناسی منطقه و اطلاعاتی در خصوص روش‌های مغناطیس هوابرد و رادیومتری می‌باشد.

فصل دوم، شرحی از پایگاه داده^۲، بلوک برداشت داده‌های هوابرد و مراحل مختلف پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس آورده شده است.

^۱- Horsfall

^۲- Data Base

فصل سوم شامل شرحی از دستگاه اسپکترومتر و چگونگی ثبت داده، روش‌های پردازش داده‌های رادیومتری می‌باشد.

فصل چهارم و پنجم به ترتیب مربوط به پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس منطقه رباعی، تجزیه و تحلیل، تفسیر، مدل‌سازی داده‌های مغناطیس و پردازش داده‌های هوابرد رادیومتری منطقه و بررسی نتایج حاصل از پردازش داده‌های رادیومتری می‌باشد.

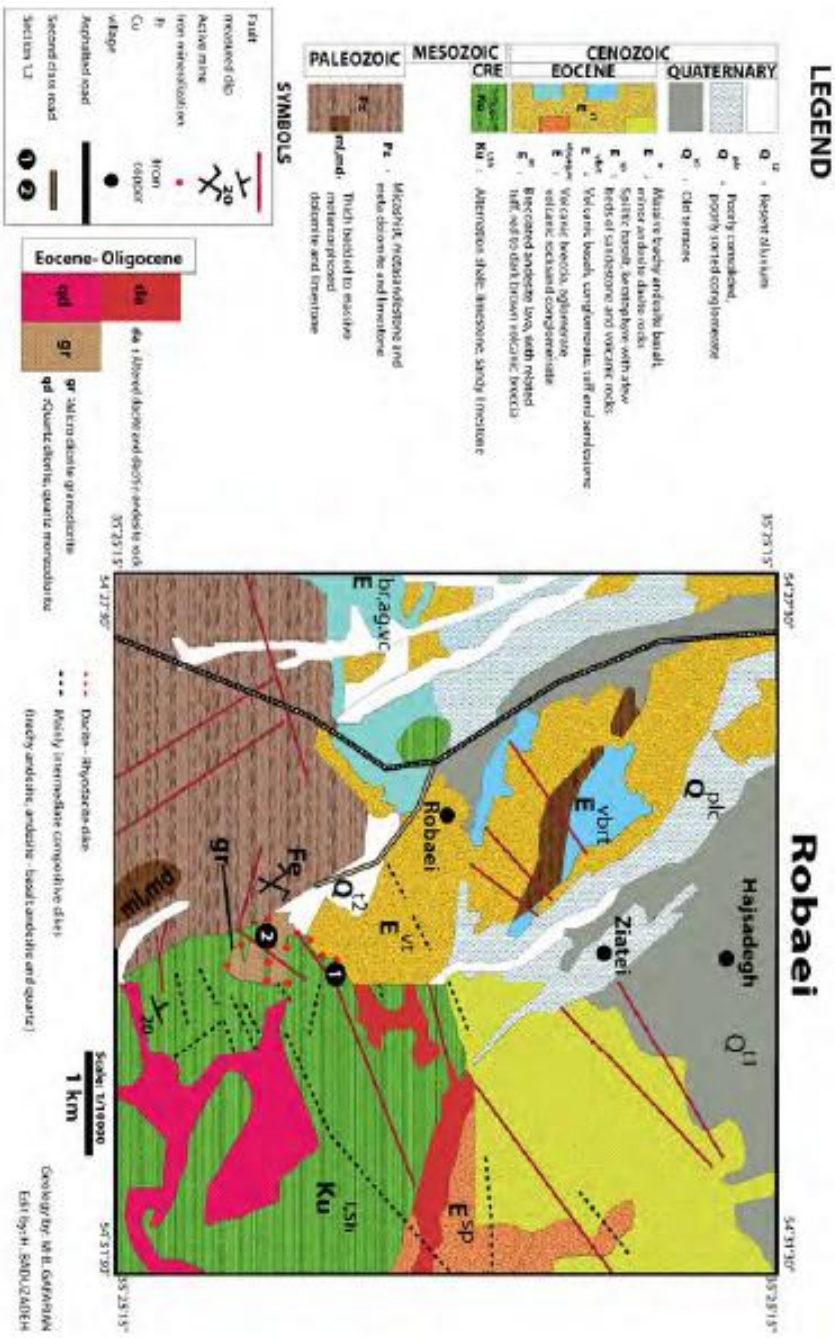
فصل ششم، شامل نتیجه‌گیری و پیشنهادات می‌باشد و در نهایت منابع و مأخذ درج شده است.

۱-۵ زمین‌شناسی منطقه

در استان سمنان، در کمربند ولکانو-پلوتونیک چاه شیرین-طرود کانسارهای متعددی از آهن از جمله شیخاب، چالو، رباعی، پنج کوه و لجنه رخنمون دارند. با توجه به مطالعات انجام شده بر روی این کانسارها هر چند از اسکارنی بودن برخی از آنها صحبت شده است، به عنوان مثال کانسار پنج کوه از نوع اسکارنی معرفی شده است و تا حدی ویژگی‌های اسکارن‌های طلا و مس را نیز نشان می‌دهد [۱۵]. در همین راستا، کانسار آهن رباعی که در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب دامغان و در ۱/۵ کیلومتری جنوب شرقی مزرعه رباعی واقع شده است، انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. این کانسار در گذشته مورد معدن‌کاری قرار گرفته و در حال حاضر به صورت نیمه فعال در آمده است.

کانسار آهن رباعی در شمال خاوری برکه منطقه کلاته - رشم، در کمربند فلززایی کویر - سبزوار واقع شده است. در محدوده کانسار آهن رباعی از قدیم به جدید گستره‌ای وسیع از سنگ‌های دگرگونی، سنگ‌های کربناته و سنگ‌های ولکانیکی ائوسن با ترکیب آندزیتی و داسیتی رخنمون دارند [۱۶]. منطقه مورد مطالعه از دیرباز مورد فعالیت‌های تکتونیکی قرار گرفته است و در اواخر ائوسن تا اوایل الیگوسن با شرایط فشارشی موجود در منطقه فعالیت‌های ماگمایی به صورت دایک و توده‌های نفوذی نیمه ژرف با ترکیب سنگ‌شناسی حد واسط تا اسیدی تشکیل شده است. تشکیل بلورهای گارنت در محل برخورد سنگ‌های نفوذی با سنگ آهک نشان‌دهنده شکل گرفتن اسکارن در این محدوده می‌باشد. گسل‌های منطقه

کانسار، دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی هستند و روند عمومی ساختمانی منطقه مورد مطالعه از گسل‌های اصلی منطقه تبعیت می‌کند. فاز تکتونیکی پس از ائوسن (فاز پیرنئن) بر روی سنگ‌ها تأثیر گذاشته و نهایتاً به چین خوردگی و گسلش انجامیده است [۱۶]. این کانسار در گذشته مورد معدن‌کاری قرار گرفته و در حال حاضر به صورت نیمه فعال درآمده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته و استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمی مشخص گردید، که کانی‌های فلزی این کانسار عبارتند از هماتیت، مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، گوتیت و... . مجموعه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی مشخص می‌سازد، که کانسار آهن رباعی تحت تأثیر نفوذ توده گرانودیوریتی در مجموعه سنگ آهک و سنگ‌های ولکانیک در منطقه و ایجاد دگرگونی مجاورتی ضعیف بر روی سنگ‌های میزبان صورت گرفته است [۱]. در شکل زیر نقشه ۱:۲۰۰۰۰ منطقه رباعی آورده شده است (شکل ۱-۱). در ادامه توضیح مختصری از کانی‌های فلزی مذکور ذکر گردیده است.



شکل (1-1) نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه رباعی [۱].

۱- آهن

کانی آهن در سیستم مکعبی متبلور می‌شود. مقدار کمی آهن آزاد در طبیعت وجود دارد، که به صورت درون‌گیر در میان سایر سنگ‌ها قرار دارد. کانی آهن چکش‌خوار بوده و دارای خاصیت مغناطیسی بسیار بالا است. این کانی میل ترکیبی شدید با اکسیژن دارد و معمولاً دارای پوشش زنگ آهن می‌باشد. مقدار آهن خالص در پوسته جامد زمین بسیار کم است و بیشترین مقدار آهن در شهاب‌سنگ‌ها یافت می‌شود. سولفیدهای آهن، اکسیدها و هیدروکسیدهای آن در طبیعت فراوان هستند [۱۷].



شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک سنگ آهن [۱۸].

الف) مگنتیت^۱

مگنتیت با فرمول شیمیایی Fe_3O_4 ، در رده هگزااکتاهدرال و دارای سیستم تبلور مکعبی است. عمدتاً به صورت بلورهای هشت وجهی و گاهی به صورت دوازده وجهی یافت می‌شود. دارای ۷۲/۴ درصد آهن و ۲۷/۶ درصد اکسیژن می‌باشد. مگنتیت را از خاصیت مغناطیسی شدید آن، رنگ سیاه، رنگ خاکه سیاه و سختی ۶ قابل تشخیص است. در اسید کلریدریک حل شده و محلول حاصل به آزمایش‌های وجود Fe^{2+} و Fe^{3+} پاسخ می‌دهد. مگنتیت کانی فراوانی است و اغلب سنگ‌های آذرین به صورت کانی فرعی پراکنده است. گاهی در هنگام تفریق ماگمایی، مگنتیت به صورت یکی از اجزای اصلی سنگ تشکیل شده و به شکل یک توده معدنی بزرگ در می‌آید. چنین توده‌هایی معمولاً دارای تیتان و آهن فراوان هستند و عموماً با سنگ‌های دگرگونی متبلور نیز همراه هستند و در این حالت به صورت لایه‌های بزرگ و یا عدسی‌هایی

^۱ - Magnetite

تشکیل می‌شوند. در سازندهای رسوبی و آهن‌دار پرکامبرین این کانی فراوان است. بعضی از توده‌های مگنتیت دارای منشاء رسوبی- شیمیایی هستند. گاهی به صورت صفحات نازک و یا به صورت شاخه‌ای در بین صفحات میکا تشکیل می‌شوند. غالباً با کربن‌دوم همراه است و سنگ سمباده را تشکیل می‌دهد. مگنتیت سنگ معدن مهم آهن است [۱۷] (شکل ۱-۳).

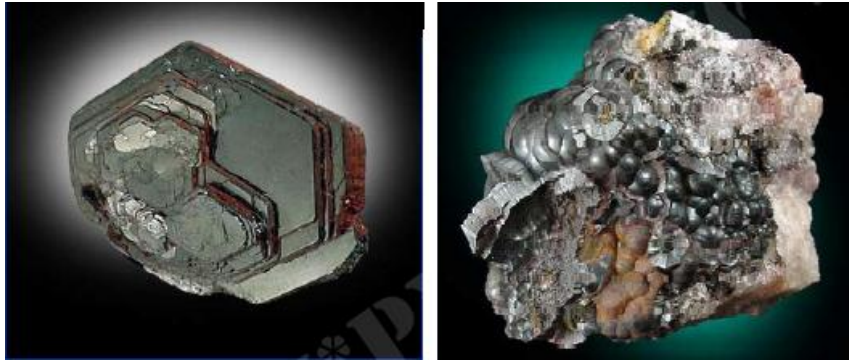


شکل (۱-۳) نمونه‌ای از یک سنگ آهن مگنتیت [۱۹].

ب) هماتیت^۱

هماتیت با فرمول شیمیایی Fe_2O_3 ، در سیستم هگزاگونال متبلور می‌شود. رنگ آن قهوه‌ای متمایل به سیاه، رنگ خاکه قهوه‌ای، نیمه شفاف- کدر، شکستگی صدفی، جلای فلزی- مات، رخ ندارد و معمولاً بلورهای آن صفحه‌ای است. رزهماتیت در اثر تجمع این لایه‌ها ایجاد می‌شود. اسپکیولار، هماتیت جهت یافته ورقه‌ای است. منشاء تشکیل آن ماگمائی- هیدروترمال است. پاراژنهای آن گوتیت، لیمونیت، ایلمنیت، مگنتیت، کرومیت، سیدریت، لیمونیت، پیریت، کوارتز و... است. به عنوان یکی از کانسارهای مهم آهن کاربرد داشته و از پودر آن در رنگ سازی و ضد رنگ استفاده می‌شود [۱۷] (شکل ۱-۴).

^۱- Hematite



شکل (۱-۴) نمونه‌هایی از سنگ آهن هماتیت [۱۷].

۲- پیریت^۱

پیریت یا طلای احمقان با فرمول شیمیایی FeS_2 ، دارای سیستم تبلور مکعبی بوده و یک ماکل تداخلی به نام صلیب آهنی دارد. این کانی از نظر شفافیت کدر بوده و به رنگ زرد، زرد طلایی است. رنگ خاکه سیاه و معمولاً با تهرنگ سبز، جلای فلزی و وزن مخصوص بالایی دارد. پیریت از نظر سختی ترد بوده و خاصیت مغناطیسی خوبی دارد. شکستگی آن به صورت صدفی و اکثراً ناهموار می‌باشد. پیریت در آب، اسید سولفوریک و اسید کلریدریک نامحلول بوده، در اسید نیتریک حل شده و در زیر شعله به رنگ آبی در می‌آید. سختی پیریت از طلا بیشتر است و رنگ آن از کالکوپیریت پریده‌تر است. این کانی در اثر دگرسانی به لیمونیت تبدیل می‌شود. گسترش پیریت زیاد است، هم در واکنش‌های دما بالا و هم در واکنش‌های دما پایین تشکیل می‌شود. در واکنش‌های تفریق ماگمایی، نهشته‌های دگرگونی و رگه‌های هیدروترمالی تشکیل می‌شود. در نهشته‌های رسوبی، هم به صورت اولیه و هم به صورت ثانویه دیده می‌شود. این کانی جهت تهیه اسید سولفوریک استفاده می‌شود و در رنگ سازی، جهت صیقلی کردن و دی اکسید سولفور در کاغذسازی به کار می‌رود. عمدتاً پیریت را به خاطر طلا یا مس همراه آن، استخراج می‌کنند [۱۷]. در زیر نمونه‌ای از کانی پیریت آورده شده است (شکل ۱-۵).

^۱- Pyrite



شکل (۱-۵) دو نمونه از کانی پیریت [۱۷].

۳- کالکوپیریت^۱

کالکوپیریت با فرمول شیمیایی $CuFeS_2$ سنگ آهن مهم مس و در سیستم تتراگونال متبلور می‌شود. از بارزترین ویژگی‌های کالکوپیریت، رنگ زرد برنجی، خاکه سیاه متمایل به سبز، وزن مخصوص ۴/۱۲ و سختی ۳/۵ الی ۴، کدر (اپاک)، دارای جلای فلزی می‌باشد. این کانی در معرض شعله، رنگ شعله مس را ایجاد می‌کند. مهم‌ترین کنسارهای کالکوپیریت، رگه‌های هیدروترمال یا نهشته‌های جایگزینی است. در نهشته‌های پورفیری مس، از کانی‌های اصلی است. در سنگ‌های آذرین دگرگونی مجاورتی نیز دیده می‌شوند. در اثر دگرسانی به کانی‌های ثانویه مس مانند مالاکیت، آزوریت، کولیت، کالکوسیت و کوپریت تبدیل می‌شود [۱۷]. در زیر نمونه‌ای از کانی کالکوپیریت نشان داده شده است (شکل ۱-۶).



شکل (۱-۶) نمونه‌ای از کانی کالکوپیریت [۲۰].

^۱ - Chalcopyrite

۴- لیمونیت^۱

لیمونیت با فرمول شیمیایی $FeOOH.nH_2O$ دارای سیستم تبلور ارتورمبیک و در رده بندی هیدروکسید است. از ویژگی های شاخص آن، در HCl به آهستگی حل می شود و با از دست دادن آب به هماتیت تبدیل می شود. به شکل بلور بسیار نادر است و اغلب به شکل سوزن ها یا چکنده ای شکل دیده می شوند، گاهی نیز به صورت توده های متراکم یا به صورت نخودی و گویچه ای مشاهده می شود. رنگ آن زرد- قهوه ای تا سیاه، کدر، اثر خطی آن قهوه ای مایل به زرد است. شکستگی صدفی- رشته ای، جلای مات - ابریشمی- خاکی، فاقد رخ، این کانی خاصیت مغناطیسی ندارد و منشأ تشکیل آن ثانویه است و آن را در بیشتر لایه های ته نشستی می توان یافت. محققینی که لیمونیت را مورد مطالعه قرار دادند، کشف نمودند، که لیمونیت ماده ای آمورف و بی شکل بوده و ترکیبی متغیر دارد. این ماده اغلب حاوی مقادیر قابل توجهی از کانی های اکسید آهن مانند گوتیت و هماتیت می باشد. لیمونیت معمولاً به شکل یک کانی ثانویه و از هوازدگی هماتیت، مگنتیت، پیریت و سایر کانی های آهن دار شکل می گیرد. لیمونیت در برابر هوازدگی بسیار مقاوم بوده و اغلب به صورت یک نهشته بازمانده تجمع می یابد [۱۷]، که در زیر نمونه ای از کانی لیمونیت آورده شده است (شکل ۷-۱).

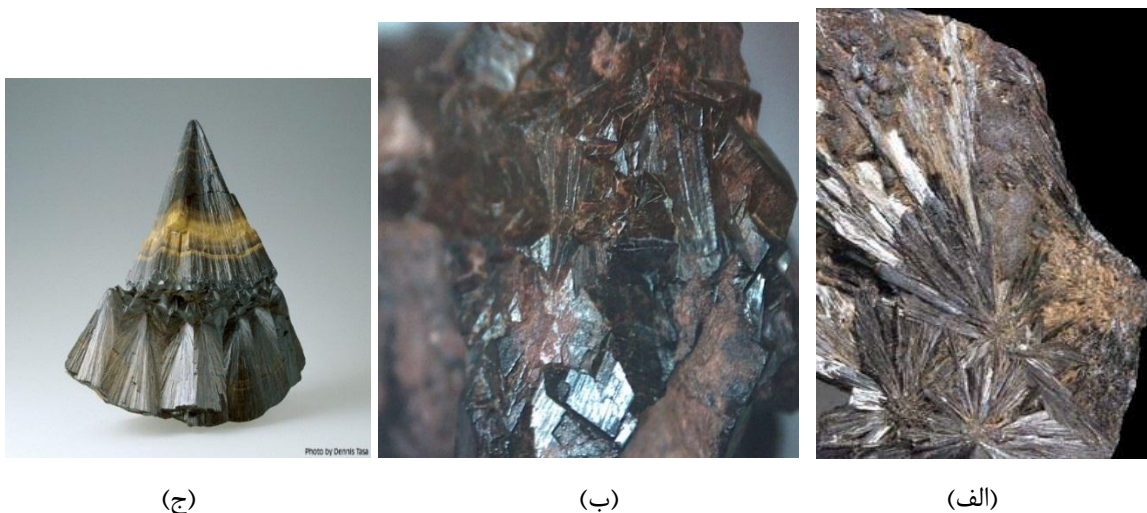


شکل (۷-۱) نمونه ای از کانی لیمونیت [۲۱].

^۱- Limonite

۵- گوتیت^۱

گوتیت با فرمول شیمیایی FeO.OH ، در سیستم ارتورمبیک و رده دو هرمی متبلور می‌شود. ندرتاً به صورت بلورهای مشخص منشوری دیده می‌شود، که در جهت قائم مخطط هستند و غالباً به صورت صفحاتی متبلور می‌شوند، یا به صورت بلورهای توده‌ای، سوزنی، کلیه‌ای و یا شعاعی دیده می‌شوند. رنگ آن قهوه‌ای-سیاه، کدر، شکستگی نامنظم-خشن (تراش‌های)، جلای الماسی-نیمه فلزی است و رخ کامل دارد. دارای حالت تورق هستند. نوعی که به نام کانی اسفنجی نامیده می‌شود، متخلخل و پوک است. در ترکیب گوتیت ۶۲/۹ درصد آهن، ۲۷ درصد اکسیژن و ۱۰/۱ درصد آب وجود دارد. کانی لیپیدوکروزیت از پلی‌مرف‌های گوتیت است و به صورت یک کانی ورقه‌ای غالباً همراه با گوتیت دیده می‌شود. برای تشخیص گوتیت از هماتیت، از رنگ خاکه هماتیت استفاده می‌شود. در شعله احیایی خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند و در آزمایش لوله بسته در اثر حرارت مقداری آب ایجاد می‌شود. این کانی خاصیت مغناطیسی پارامغناطیسی داشته و منشأ تشکیل آن ثانویه می‌باشد و به عنوان یکی از سنگ معدن‌های آهن شناخته شده است [۱۷] (شکل ۸-۱).



شکل (۸-۱) الف، ب، ج، نمونه‌هایی از کانی گوتیت [۲۲].

^۱ - Goethite

۱-۶ برداشت‌های هوابرد

برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد که توسط هواپیما یا هلی‌کوپتر انجام می‌شود، شامل اندازه‌گیری تغییرات چندین پارامتر فیزیکی زمین می‌باشند. مهم‌ترین پارامترهای قابل اندازه‌گیری عبارتند از: رسانندگی الکتریکی^۱ که با عکس مقاوت ویژه برابر است، خودپذیری مغناطیسی^۲، چگالی و تجمع عناصر رادیواکتیو شامل پتاسیم، توریم و اورانیوم. اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیک از زمین، دریا، هوا، درون حفرات، گمانه‌ها و فضا انجام می‌شوند [۲۳]. در مناطقی که وسعت زیادی دارند، غالباً از روش‌های هوابرد استفاده می‌شود، زیرا این روش‌ها بسیار سریع‌تر و با دقت بیشتری انجام می‌گیرد [۲۴].

۱-۶-۱ مغناطیس هوابرد

روش مغناطیس قدیمی‌ترین روش ژئوفیزیک است که هم جهت تعیین محل کانه‌های پنهان و هم تعیین ساختارهای مربوط به رسوبات نفت و گاز به کار می‌رود. این روش از جمله روش‌هایی است که منشأ آن طبیعی بوده و ناشی از تأثیرات میدان مغناطیسی زمین بر روی سنگ‌ها می‌باشد. میدان مغناطیسی زمین هم‌ارز یک مغناطیس ماندگار است، که در راستایی عموماً شمالی- جنوبی در نزدیکی محور چرخشی زمین قرار دارد. ۹۰ درصد میدان مغناطیسی زمین منشأ داخلی داشته، که میدان اصلی محسوب می‌شود و نسبتاً به آرامی تغییر می‌کند و ۱۰ درصد باقی‌مانده منشأ خارجی دارد و نسبتاً سریع تغییر می‌کند [۲۴]. تغییرات میدان خارجی معمولاً خیلی کوچک‌تر از میدان اصلی بوده و در اثر بی‌هنجاری‌های مغناطیس محلی، که ناشی از تغییرات در محتوای کانی مغناطیسی سنگ‌هاست، در نزدیکی سطح پوسته زمین به وجود می‌آیند. بررسی این تغییرات هدف‌های ژئوفیزیک اکتشافی را تشکیل می‌دهد. البته یکی از منابع اطلاعاتی بسیار مهم در این زمینه سنگ‌هایی هستند که احتمال دارد در زمان شکل‌گیری خود به طور دائمی مغناطیده شده باشند. از جمله کاربردهای روش مغناطیس هوابرد عبارتند از:

^۱- Electrical conductivity

^۲- Magnetic susceptibility

۱- پی جویی سنگ معدن یا سنگ میزبان مغناطیسی؛ که شامل ذخایر آهن، سنگ‌های اولترامافیک حاوی کروم، برخی از توده‌های مسیوسولفاید (معمولاً نیکل)، کیمبرلیت‌های حاوی الماس و قلع- تنگستن یا خاک‌های نادر که در گرانیتهای همراه می‌باشند.

۲- تهیه نقشه‌های زمین شناسی؛ که شامل لیتولوژی و ساختاری در نواحی هوازده یا پوشیده حوضچه‌های رسوبی و نیز مطالعات ناحیه‌ای برای اهداف تکتونیکی (به عنوان مثال، مطالعات پوسته‌ای) و اکتشاف محیط- های مساعد کانه‌زایی می‌باشد.

۳- تعیین عمق بستر؛ جهت اکتشاف هیدروکربنها و کانی‌های غیرفلزی و نیز اکتشاف کانی‌هایی با بستر مدفون شده همراه می‌باشند.

۴- در صورتی که این روش با روش‌های الکترومغناطیسی و پلاریزاسیون القایی (IP) همراه گردد، می‌تواند در تشخیص رسانه‌های فلزی و غیر فلزی، تفسیر هندسی توده‌های رسانا یا پلاریزه مورد استفاده قرار گیرد.

۵- مطالعات مهندسی، آب‌های زیرزمینی، باستان شناسی و پهنه بندی خطر؛ شامل تهیه نقشه گسل‌ها و درزه‌های مدفون، تعیین عمق ایزوترم نقطه کوری و جستجوی اشیاء فلزی می‌باشد [۲۴].

۱-۶-۲ رادیومتری هوابرد

عناصر پرتوزای موجود در طبیعت در پروسه واپاشی و تبدیل به عناصر دیگر، پرتوهای آلفا، بتا و گاما تشعشع می‌کنند، که با توجه به قدرت نفوذ پرتوی گاما، از اندازه‌گیری‌های این پرتو جهت اکتشاف عناصر رادیواکتیو به خصوص اورانیوم استفاده می‌شود. پرتوی آلفا شامل دو پروتون و دو نوترون بوده و از آنجایی که دارای بار و جرم می‌باشد به آسانی توسط چند سانتی‌متر از هوا جذب می‌شوند. ذرات بتا یک بار منفی منفرد را حمل می‌کنند و می‌توانند تا یک متر در هوا سیر کنند. نابودی یک پرتوی آلفا یا بتا معمولاً هسته جدیدی را در یک حالت برانگیخته باقی می‌گذارد و انرژی اضافی به صورت پرتوهای گاما تشعشع می‌یابد. این پرتوها دارای بار و جرم نبوده و از این‌رو بسیار نافذ می‌باشند، به طوری که می‌توانند تا ۳۰ سانتی‌متر در سنگ و چند صد متر در هوا نفوذ کنند. هر فوتون پرتو گاما انرژی مجزایی داشته و این انرژی، مشخصه

ایزوتوپ چشمه تشعشعات می‌باشند. این روش، اساس اسپکترومترهای پرتو گاما را تشکیل می‌دهد [۲۵]. منابع طبیعی پرتو گاما که در بررسی‌های هوایی اندازه‌گیری می‌شوند، پتاسیم، اورانیوم و توریم می‌باشند. بنابراین روش رادیومتری بر اساس اندازه‌گیری جریان و انرژی پرتو گامای منتشر شده در طول واپاشی ایزوتوپ‌های رادیواکتیو پتاسیم، اورانیوم، توریم و تخمین نسبی این مواد در سنگ‌های سطحی می‌باشند. اطلاعات رادیومتری خام که در یک طیف ۲۵۶ کاناله ثبت می‌گردد. این مطلب در فصل ۳ به‌طور کامل توضیح داده شده است. تمرکز مطلق و نسبی عناصر رادیواکتیو به‌طور قابل توجهی با لیتولوژی تغییر می‌کند. از طرفی انواع سنگ‌های بسیار متفاوت می‌توانند علائم رادیومتری مشابهی داشته باشند. به‌طور کلی رس‌ها، فسفات‌ها، سنگ‌های پتاسیم و رسوبات بیتومین‌دار (آغشته به مواد نفتی) خاصیت رادیواکتیو بالاتری داشته و سنگ آهک، سنگ نمک، دولومیت و کوارتز کمترین خاصیت رادیواکتیو را دارا می‌باشند. رادیواکتیویته سنگ‌های متامورفیک اساساً مربوط به خاصیت رادیواکتیو سنگ‌های اصلی آن می‌باشد. نتایج بررسی‌های رادیومتری می‌تواند توسط عوامل مختلفی نظیر عوامل زیر تحت تأثیر قرار می‌گیرد:

الف) گسترش خاک‌های سطحی و سایر فرایندهای سطحی؛ تشعشع سنگ بستر ممکن است توسط موادی که بین سنگ و آشکارساز قرار گرفته‌اند، کاهش یابد. زیرا بررسی‌های رادیومتری قادرند اطلاعات را تا عمق ۳۵ سانتی‌متری سطح زمین ثبت کند. افزایش در رطوبت خاک نیز تشعشعات را کاهش می‌دهد.

ب) تغییر در پارامترهای برداشت نظیر ارتفاع پرواز، باعث تغییر در میزان اندازه‌گیری می‌شود [۲۴].

کاربردهای مهم رادیومتری هوابرد عبارتند از:

۱- پی‌جویی سنگ معدن یا سنگ میزبان رادیواکتیو که عبارتند از: ذخایر اورانیوم، سنگ‌های حامل توریم یا اورانیوم که شامل خاک‌های نادر، قلع، تنگستن یا سایر کانی‌ها، سنگ‌های غنی از پتاسیم شامل کانی‌های اقتصادی (نظیر کیمبرلیت)، زون‌های آلت‌ره شده پتاسیم که احتمالاً با مس یا طلا پی‌ورفیری همراه می‌باشند و غنی‌شدگی اورانیوم که نشان‌گر برخی از ذخایر طلا یا مس می‌باشد.

۲- تهیه نقشه‌های زمین شناسی؛ که شامل نقشه‌های لیتولوژی در مناطقی از خاک‌های رسوبی، اکتشاف برای محیط‌های مساعد کانه‌زایی و ردیابی منابع آبرفتی جهت انطباق با ژئوشیمی.

۳- اکتشاف هیدروکربن‌ها؛ که شامل اکتشاف هاله‌های رادیواکتیو بالای ذخایر هیدروکربن‌دار می‌باشد [۱۷].
در ادامه مختصر توضیحی در خصوص سه عنصر رادیواکتیو مد نظر جهت تحقیق، آورده شده است:

الف) عنصر پتاسیم

پتاسیم یکی از ترکیبات بزرگ پوسته زمین می‌باشد، این عنصر آلکالی بوده و میزبان‌های بزرگ آن فلدسپارهای پتاسیک (به خصوص اورتوکلاز و میکروکلاین با تقریباً ۱۳ درصد پتاسیم) و میکا (بیوتیت و موسکویت با ۸ درصد پتاسیم) می‌باشند. پتاسیم در سنگ‌های فلسیک (گرانیت) درصد نسبتاً بالایی، در بازالت‌های مافیک درصد پایین و در دونیت‌ها و پریدوتیت‌ها درصد خیلی پایینی دارد. طی هوازگی جایگاه پتاسیم در بیوتیت، فلدسپار پتاسیک و موسکویت از بین می‌رود. پتاسیم رها شده در هوازگی می‌تواند توسط کانی‌های حاوی پتاسیم نظیر ایلیت یا سایر کانی‌های رسی مثل مونت مورینیت در شرایط مناسبی جذب شود. در بررسی اشعه گاما، پتاسیم با اندازه‌گیری $1/46$ مگا الکترون ولت اشعه گاما که از واپاشی ^{40}K نتیجه شده، آشکار می‌شود. این ایزوتوپ ^{40}K از پتاسیم طبیعی را تشکیل داده و یک اندازه‌گیری صحیح از پتاسیم موجود در زمین می‌باشد [۲۶]. الگوهای آلتراسیون می‌توانند با تغییرات علائم رادیومتری غالباً با افزایش در پتاسیم مشخص گردند. بعضی از کنسارهای مس و طلای پورفیری آلکالی و کالکوالکالی با آلتراسیون هیدروترمال پتاسیک همراهند. [۱۷].

ب) عنصر اورانیوم

اورانیوم ترکیب کوچکی از پوسته زمین (3ppm^1) می‌باشد، که می‌تواند به صورت کانی‌های اکسید و کانی‌های سیلیکات اورانیات و اورانوتورایت در سنگ‌ها دیده شوند. موناژیک، گزنوتایم و زیرکن کانی‌های

¹ - Part Per Million

حاوی اورانیوم می‌باشند، که فقط زیرکن و موناژیت در طی هوازدگی ممکن است در اکسیدهای آهن اوتیژن و کانی‌های رسی باقی‌مانده و ذخایر اورانیوم در شرایط مساعدی شکل گیرد. اورانیوم مادر، سری‌های واپاشیده‌ای است که به حالت پایدار $Pb-206$ منتهی می‌شود. اورانیوم در طول مدت واپاشی خود پرتو گاما منتشر نمی‌کند و بیشترین پرتو گاما توسط ایزوتوپ‌های پایدار آن منتشر می‌شود. در برداشت‌های رادیومتری آشکار کردن سنگ معدن اورانیوم نزدیک به سطح اهمیت دارد [۱۷].

ج) عنصر توریم

توریم ترکیب کوچکی از پوسته زمین (12ppm) می‌باشد. قابلیت انحلال ترکیبات توریم بجز در محلول‌های اسیدی معمولاً پایین می‌باشد. اما ترکیبات آلی ممکن است قابلیت انحلال توریم را در شرایط PH خنثی افزایش دهد. توریم ممکن است در آلانایت، موناژیت، گزنونیم و زیرکن در سطوح بیش از 1000ppm دیده شود. کانی‌های اصلی حاوی توریم (موناژیت و زیرکن)، در طول مدت هوازدگی پایدار می‌باشند. توریم آزاد شده در اثر تخریب کانی‌ها در مدت هوازدگی ممکن است در اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن یا تیتانیوم همراه با خاک‌های رسی باقی بماند. توریم نیز مانند اورانیوم در مدت واپاشی، پرتوی گاما منتشر نمی‌کند و توریم مادر، سری‌های واپاشیده‌ای است که به $Pb-208$ پایدار منتهی می‌شود. بیشترین تشعشعات فعال گاما توسط ایزوتوپ‌های پایدار حاصل از $Tl-208$ منتشر می‌شوند [۲۶]. از آنجایی که طی فرآیند آلتراسیون عموماً توریم غنی نمی‌شود، نسبت K/Th نشانه خوبی برای آلتراسیون پتاسیک می‌باشد. در نواحی گرمسیر توزیع عناصر رادیواکتیو سنگ بستر به طور قابل توجهی با هوازدگی شدید تغییر می‌کند، به طوری که افزایش در تجمع توریم و کاهش متقابل در پتاسیم در ناحیه هوازده مشاهده می‌شود [۱۷].

فصل دوم

مبانی پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد

در این فصل، مختصر توضیحی از بلوک برداشت داده، پایگاه داده‌های مغناطیس هوابرد ذکر شده، همچنین مراحل مختلف پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس شرح داده شده است.

۲-۲ طراحی بلوک و خطوط پرواز و آماده‌سازی نقشه‌های اولیه

قبل از شروع پروژه، با توجه به محدوده تعیین شده برای پرواز، بلوکی با جهت خطوط پرواز مناسب برای خطوط اصلی^۱، خطوط کنترلی^۲ و همچنین خطی برای برداشت روزانه طراحی و محل‌های مناسب برای انتخاب کمپ و ایستگاه مبنا پیشنهاد می‌گردد. لازم به ذکر است که فاصله خطوط پرواز اصلی و کنترلی، ارتفاع پرواز از سطح زمین و همچنین نرخ ثبت داده^۳ طبق قرارداد منعقد شده برای اجرای پروژه ژئوفیزیک هوایی از سوی کارفرما تعیین می‌شود.

۱-۲-۲ پایگاه داده

هر نوع داده ژئوفیزیکی پس از برداشت و استخراج از دستگاه‌های ژئوفیزیکی مربوطه، در فایل‌هایی ذخیره می‌گردند. در نرم‌افزار ژئوسافت، داده‌ها پس از فراخوان شدن، در محیطی به نام پایگاه داده قرار می‌گیرند. پایگاه داده‌های هوابرد مغناطیس شامل کانال‌های Date, Fiducial, Time_utc, Latitude, Longitude, rad_alt, GPS_H, baro_alt, Diurnal, magraw می‌باشد، که به اختصار هر کدام شرح داده شده است:

Date: کانال تاریخ برداشت داده است.

Fid: ستون زمانی بر حسب ثانیه است، که هر روز تکرار می‌شود.

Time_utc: کانال زمانی ساعت و ثانیه گرینویچی است که بر حسب ثانیه می‌باشد.

^۱ - Line

^۲ - Tie- Line

^۳ - Sample rate

Longitude و Latitude: طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی.

Rad_alt: این کانال مربوط به ارتفاع راداری پرواز است.

GPS_H: ارتفاع GPS از سطح بیضوی نرمال یا سطح آب‌های آزاد می‌باشد.

Baro_alt: ارتفاع بارومتری است که با فشارسنج اندازه گیری شده و با استفاده از روابط ساده ریاضی قابل

تغییر به ارتفاع بر حسب متر است.

Diurnal: داده‌های ایستگاه مینا^۱ است. این داده‌ها هوابرد نبوده و از یک نقطه ثابت بر روی زمین برداشت

و توسط فرآیندی به پایگاه داده پرواز منتقل می‌شود.

Mag raw: داده‌های خام مغناطیس می‌باشد.

۲-۳ پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس

به طور کلی پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد شامل دو مرحله می‌باشد،

الف) مرحله اول: مرحله پیش پردازش

✓ کنترل کیفی^۲، بازبینی و تصحیح داده‌های خام

✓ مشخص کردن مکان دقیق داده‌ها بر حسب x و y^۳

ب) مرحله دوم: مرحله پردازش

این مرحله شامل تصحیحات مختلفی است که به ترتیب عبارتند از:

۱. تصحیح روزانه^۴

^۱- Base Station

^۲- Quality Control

^۳- Parallax

^۴- Diurnal Correction

۲. تصحیح جابه‌جایی زمانی^۱

۳. تصحیح ارزیابی برآیند سطح نویز مانور در چهار جهت

۴. تصحیح اثر تغییرات میدان مغناطیسی وابسته به جهت برداشت داده‌های مغناطیسی^۲

۵. تصحیح^۳ IGRF

۶. تصحیح هم‌ترازسازی مقادیر میدان مغناطیسی در محل تقاطع خطوط شبکه^۴

۷. تصحیح ریز هم‌تراز سازی^۵

۲-۳-۱ مرحله پیش‌پردازش

الف) کنترل کیفی، بازبینی و تصحیح داده‌های خام

پس از اتمام برداشت و دریافت داده‌های پرواز، اولین قدم در تصحیح داده‌های مغناطیس هوابرد، شناسایی و حذف نویز است. کنترل کیفی داده‌های ایستگاه مبنای^۱ از طریق بررسی تغییرات بلند مدت و کوتاه مدت میدان مغناطیسی صورت می‌گیرد. برای کنترل کیفی داده‌های پرواز، بحث نوفه مطرح است که با استفاده از مشتق چهارم نرمالایز شده بررسی می‌شود.

۱. شناسایی و حذف نوفه از روی داده‌های پرواز

جهت شناسایی و تشخیص نوفه آنومالی‌های مغناطیسی در یک پروفیل، از مشتق چهارم استفاده می‌شود. با اعمال مشتق مرتبه چهارم نرمالایز شده بر روی داده‌های پرواز می‌توان محل نوفه را در پروفیل‌های

^۱- Lagging Correction

^۲- Heading Correction

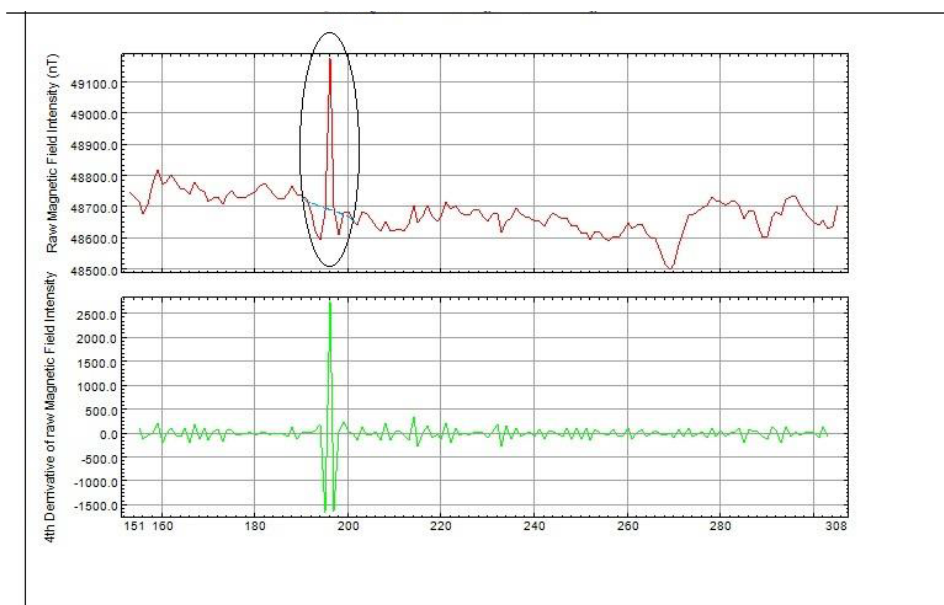
^۳- International Geomagnetic Reference Field

^۴- Levelling

^۵- Micro Levelling

مغناطیس هواپرد شناسایی کرد، که پس از شناسایی محل نوفه، در صورت کم بودن نوفه‌های شناسایی شده داده مغناطیس مربوطه به صورت دستی قابل حذف می‌باشد.

بر طبق استاندارد AGSO، اگر دامنه تغییرات مشتق چهارم به طور پیوسته در طول ۱ کیلومتر از ۱/۶ نانو تسلا تجاوز نماید، داده‌های برداشت شده نویزی می‌باشند، مگر آنکه پدیده‌های زمین‌شناسی این نوفه را توجیه کنند (شکل ۱-۲).



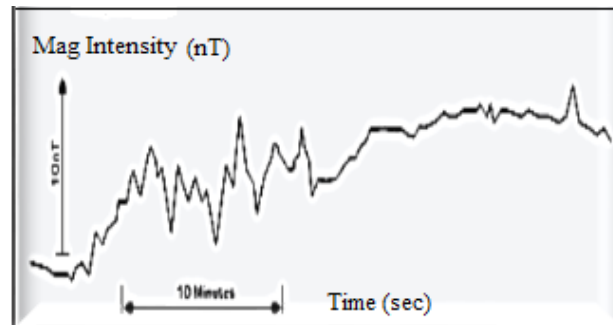
شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک نوفه کلاسیک که با مشتق چهارم در یکی از خطوط برداشت شناسایی شده است [۲۷].

۲. بررسی تغییرات بلند مدت و کوتاه مدت داده‌های ایستگاه مبنا

✓ تغییرات کوتاه مدت

طبق قرارداد AGSO، اگر پروفیل تغییرات میدان در مدت ۵ دقیقه از ۱۰ نانو تسلا بیشتر باشد، تغییرات کوتاه مدت وجود داشته و باید داده‌ها اصلاح گردند. تغییرات کوتاه مدت عمدتاً به علت مکان نامناسب ایستگاه مبنا می‌باشد. حضور نویز در داده‌ها می‌تواند ناشی از دلایل متعددی باشد، نظیر: حمل و نقل وسایل نقلیه، حرکات پرندگان در اطراف و روی ایستگاه مبنا، ایستگاه‌های رادیو تلویزیونی اطراف منطقه، محل‌های پر تردد و

از لحاظ تئوری، جهت بررسی تغییرات کوتاه مدت میدان مغناطیسی، بازه‌ای به پهنای ۵ دقیقه در نظر گرفته می‌شود، که با حرکت در امتداد پروفیل، تغییرات بررسی می‌گردد. با توجه به شکل، دامنه تغییرات کوتاه مدت میدان مغناطیسی در هر ۵ دقیقه از ۱۰ نانو تسلا کمتر است [۲۷] (شکل ۲-۲).



شکل (۲-۲) نمونه‌ای شماتیک از تغییرات کوتاه مدت میدان مغناطیسی [۲۸].

✓ تغییرات بلند مدت

اگر تغییرات میدان مغناطیسی زمین در مدت ۳ ساعت از ۷۰ نانو تسلا بیشتر باشد، نشان‌گر طوفان مغناطیسی می‌باشد. طوفان‌های مغناطیسی به دو نوع طوفان خفیف^۱ و طوفان شدید^۲ تقسیم می‌شوند. اگر تغییرات میدان ۱۲۰ نانو تسلا یا بیشتر باشد، طوفان از نوع شدید بوده، که در این حالت داده‌های ایستگاه مبنا مخدوش و فاقد ارزش می‌باشند و باید مجدد برداشت شوند.

جهت بررسی تغییرات بلند مدت میدان، بازه‌ای به پهنای ۳ ساعت در نظر گرفته شده، که با حرکت در امتداد پروفیل، تغییرات بررسی می‌شوند. طبق قرارداد AGSO، تغییرات بلند مدت میدان مغناطیسی در طول ۳ ساعت باید کمتر از ۷۰ نانو تسلا باشد [۲۷].

۲. مشخص کردن مکان دقیق داده‌ها بر حسب X و Y

محل آنومالی‌های مغناطیسی در نقشه‌های اولیه نسبت به مکان واقعی خود بر روی زمین، دارای اختلاف می‌باشد. این اختلاف دارای دو منشاء زمانی و مکانی بوده، که Lag نامیده می‌شود. اثر این خطا در داده‌های

^۱- Minor storm

^۲- Major storm

برداشت شده باعث می‌شود که آنومالی‌های خطی در حین برداشت رفت و برگشت به صورت زیگزآگی و خمیده مشاهده شوند.

در زمان برداشت داده، مقدار شدت مغناطیس توسط گیرنده مغناطیس و مختصات x ، y و z نقاط، توسط دستگاه GPS - که در انتهای بالگرد تعبیه شده است - اندازه‌گیری می‌شود. به‌طور کلی دو نوع سیستم برداشت داده هوابرد وجود دارد: ۱- حالتی که گیرنده مغناطیس متصل به بالگرد باشد^۱ (شکل ۲-۳)، ۲- حالتی که گیرنده مغناطیس توسط کابلی به طول ۳۰ متر به صورت آویزان باشد^۲ (شکل ۲-۴ و ۲-۵). اگر سیستم برداشت داده به صورت ثابت باشد، فاصله مکانی بین گیرنده مغناطیس و دستگاه GPS وجود داشته که فاصله افقی حدوداً ۱۳/۵ - ۱۳ متر و اختلاف ارتفاع (حدود ۲/۵ متر) می‌باشد، که باعث به وجود آمدن خطا می‌شود. جهت رفع خطا بایستی مختصات واقعی نقاط قرائت شده محاسبه گردد. اگر سیستم برداشت به صورت معلق بود، به دلیل فاصله مکانی اندک نیاز به تغییر مختصات x و y نبوده و داده‌ها از نظر ارتفاعی تصحیح می‌گردند.



شکل (۳-۲) نمونه‌ای از برداشت هوابرد به صورت ثابت [۲۸].

^۱- Stinger

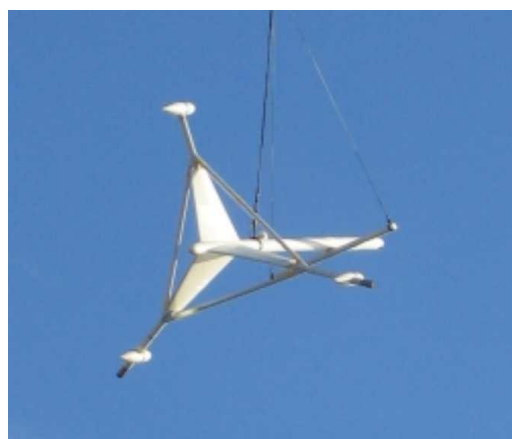
^۲- Sling



شکل (۲-۴) نمونه‌ای از برداشت هوابرد مغناطیس به صورت معلق [۲۸].



(ب)



(الف)

شکل (۲-۵) (الف) و (ب) نمونه‌های پرنده که در برداشت‌های هوابرد مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۸].

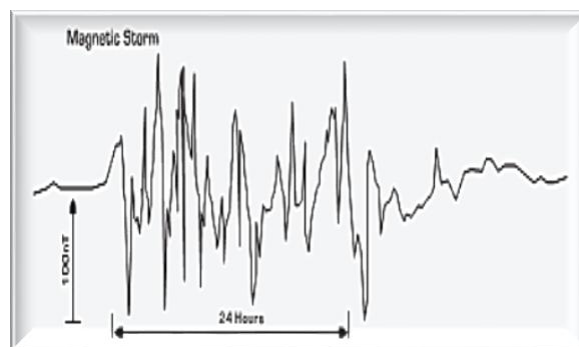
۲-۳-۲ مرحله پردازش

مقصود از پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد، اجرای سلسله فرآیندهای محاسباتی است، که اثرات غیر مرتبط با مقدار شدت میدان مغناطیس واقعی آنومالی‌ها را حذف و منجر به تولید نقشه‌های بی‌هنجاری مغناطیسی با کیفیت بالا و عاری از نوفه و اثرات متفرقه مغناطیسی گردد. جهت پردازش داده‌های مغناطیسی برداشت شده، به ترتیب تصحیحاتی انجام می‌گیرد که مختصراً به آن‌ها اشاره شده است.

۱. تصحیح روزانه

اولین گام در مرحله پردازش، تصحیح روزانه است. میدان مغناطیسی زمین در یک نقطه ثابت با گذشت زمان تغییر می‌کند، لذا این تغییرات در داده‌های برداشت شده در حین پرواز نیز نهفته است. جهت حذف این تغییرات، تصحیح روزانه صورت می‌گیرد.

تغییرات میدان مغناطیسی با زمان می‌تواند به صورت تصادفی و یا دوره‌ای باشد که از دوره‌های ۱۱ ساله تغییرات خورشیدی تا دوره ارتعاشی از مرتبه ثانیه، متغیر است. بعضی از این تغییرات وابسته به زمان محلی می‌باشند، مانند تغییرات روزانه و برخی مربوط به زمان مرجع بوده، مانند طوفان‌های خورشیدی. از جمله تغییرات میدان بر حسب زمان می‌توان به اثرات پالسی، طوفان‌های مغناطیسی، اثرات روزانه، اثرات قمری، اثرات خورشیدی و کیهانی اشاره کرد (شکل ۲-۶).



شکل (۲-۶) منحنی تغییرات میدان بر حسب زمان. منحنی نشان‌دهنده وجود طوفان مغناطیسی می‌باشد [۲۸].

معمولاً در تصحیح روزانه، ایستگاه مبنایی، جهت ثبت تغییرات میدان در نظر گرفته می‌شود با دو هدف زیر:

✓ به منظور مشاهده تغییرات کوتاه مدت در ایستگاه مبنا و ثبت تغییرات، به صورت مرجعی برای اصلاح داده‌های برداشت شده.

✓ به دلیل اینکه داده‌های هوابرد با زمان ثبت می‌شوند، با علم بر تغییرات میدان مغناطیسی زمین میدان مغناطیسی محلی منطقه بهتر شناسایی می‌گردد [۲۷] (شکل ۲-۷).

به‌طور کلی در تصحیح روزانه داده‌های خام پرواز نسبت به اختلاف داده‌های ایستگاه مبنا با مقدار میانگین آن سنجیده می‌شوند و تصحیح صورت می‌گیرد.



شکل (۲-۷) نمونه‌ای از دستگاه مغناطیس‌سنج در حین برداشت داده در ایستگاه مبنا [۲۸].

۲. حذف اثر جابه‌جایی محل آنومالی‌های مغناطیسی

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، محل آنومالی‌های مغناطیسی در نقشه‌های اولیه نسبت به مکان واقعی خود بر روی زمین دارای اختلاف می‌باشد، که این اختلاف ناشی از دو منشاء زمانی و مکانی است. این جابه‌جایی در Lag زمانی، به دلیل تاخیر زمانی در ثبت داده رخ می‌دهد. جهت اندازه‌گیری مقدار Lag زمانی، دو روش وجود دارد:

✓ با استفاده از تست Lag

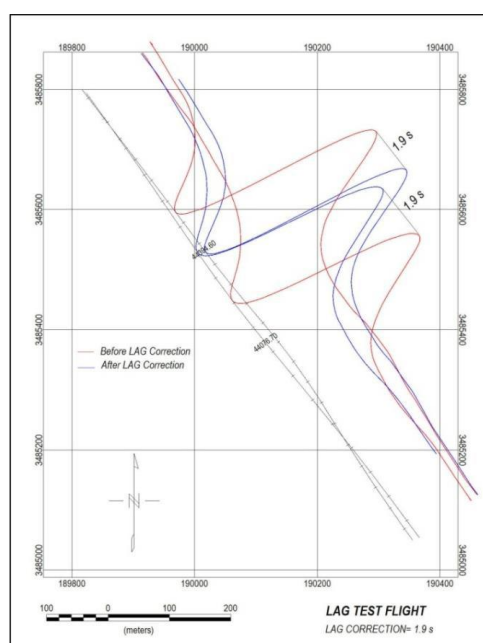
✓ با استفاده از داده‌های پرواز

در روش اول، پرواز به صورت رفت و برگشت عمود بر امتداد یک سازه طولی مغناطیسی و در ارتفاع پرواز انجام می‌شود. به عنوان مثال، وجود سوله‌های فلزی با اطراف باز و یا ریل راه آهن و... انتخاب مناسبی جهت انجام این تست می‌باشند [۶] و [۲۸] (شکل ۲-۸).



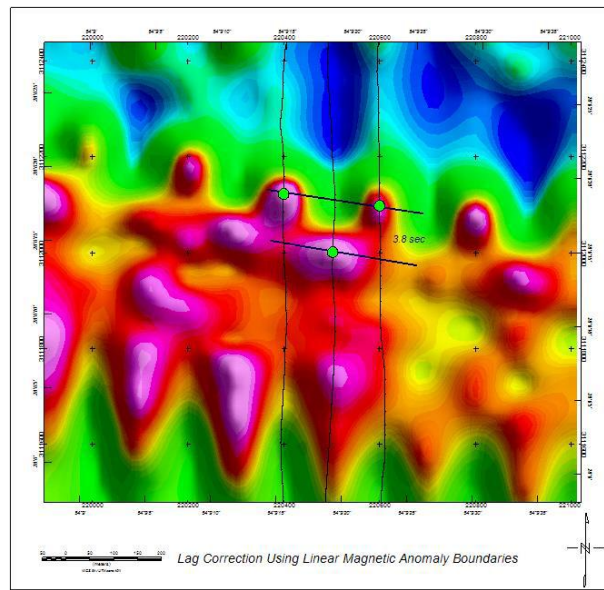
شکل (۸-۲) نمونه‌ای از نحوه انجام تست Lag [۲۷].

با استفاده از پروفیل‌های مغناطیسی در مسیر رفت و برگشت، اختلاف مکانی محل پیک آنومالی‌ها قابل محاسبه می‌باشد، در نتیجه مقدار Lag تعیین می‌گردد. با توجه به شکل (۹-۲) منحنی‌های قرمز معرف محل آنومالی مغناطیسی قبل از اعمال تصحیح و منحنی‌های آبی نشان دهنده محل آنومالی مغناطیسی پس از اعمال تصحیح می‌باشد.



شکل (۹-۲) منحنی مربوط به تست Lag. منحنی قرمز مربوط به قبل از اعمال تصحیح و منحنی آبی مربوط به بعد اعمال تصحیح می‌باشد [۲۷].

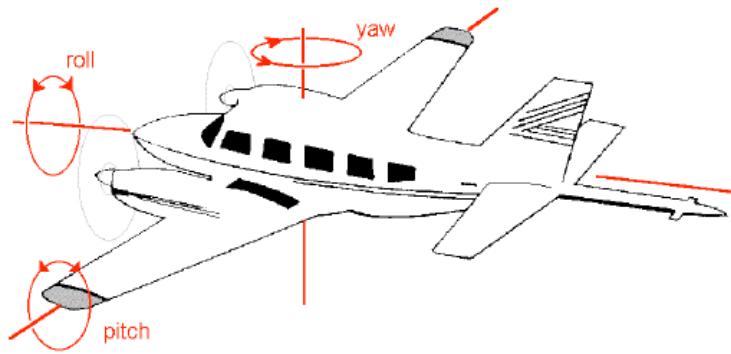
روش دوم، تعیین مقدار Lag با استفاده از میزان دامنه آنومالی‌های مستقیمی است که در مسیر رفت و برگشت به صورت زیگزاگی در آمده است. در این روش، وجود یک آنومالی خطی عمود بر خطوط پرواز در نقشه شدت میدان ضروری است. این آنومالی خطی به صورت زیگزاگ نمایان می‌شود [۲۹]. با انجام این تصحیح، اثرات زیگزاگی موجود در امتداد آنومالی‌های خطی حذف شده و محل آنومالی‌ها در خطوط رفت و برگشت بر هم منطبق می‌گردند (شکل ۲-۱۰).



شکل (۲-۱۰) نقشه شدت میدان مغناطیس قبل از اعمال تصحیح Lag. [۲۷].

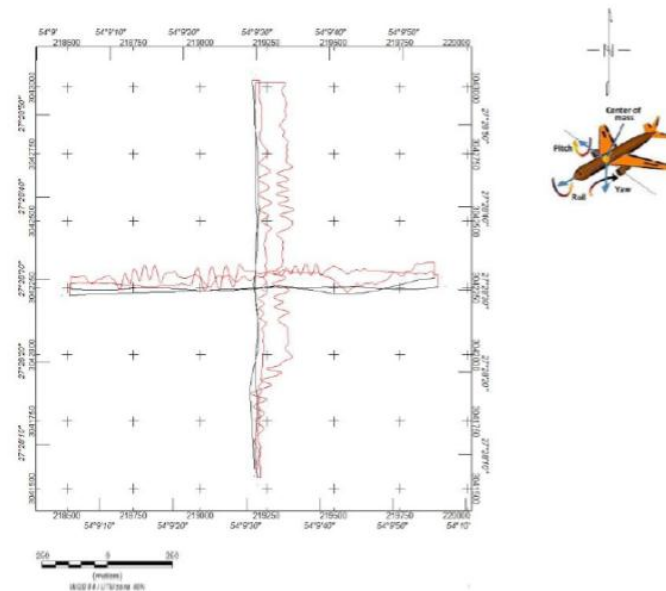
۳. حذف اثرات مربوط به حرکات مانور وسیله پرنده از داده‌های مغناطیس هوابرد

تغییرات جهت سنسور مغناطیس سنج در میدان مغناطیسی، تغییرات میدان القایی بدنه بالگرد در حین پرواز، کلیه جریان‌های الکتریکی موجود در کابل‌های سیستم و بدنه بالگرد و... می‌تواند سبب ایجاد بی-هنجاری در میدان مغناطیسی ثبت شده گردد. این بی‌هنجاری‌ها که به اختصار نویز مانور نامیده می‌شوند، توسط این تست قابل شناسایی و حذف می‌باشند. جهت انجام تست، در محلی که میدان مغناطیسی نسبتاً آرام است در ارتفاع حداقل ۸۰۰۰ فوت بالای سطح زمین، در چهار جهت موازی خطوط اصلی و کنترلی پرواز انجام می‌شود. در هر یک از چهار جهت حرکات چرخشی با تغییرات بسیار آرام در حد نوسانات پرواز انجام می‌گیرد (شکل ۲-۱۱).



شکل (۲-۱۱) نمونه‌ای از جهت حرکت‌های چرخشی و نحوه پرواز بالگرد در تست اثرات ناشی از نویز مانور [۳۰].

نتایج حاصل از این حرکات چرخشی و اثرات آنها در سه مولفه مگنتومتر فلاکس‌گیت^۱ با استفاده از روابط پیچیده ریاضی به اثرات ایجاد شده در مگنتومتر بخار سزیم مرتبط می‌شوند و بدین ترتیب امکان حذف این اثرات از داده‌های مغناطیس میسر خواهد بود. کلیه مراحل این فرآیند به صورت نرم‌افزاری انجام می‌شود. نتیجه این تست بر روی داده‌های برداشت شده قابل اعمال بوده و امکان ارزیابی صحت و کیفیت تست نویز مانور وجود خواهد داشت [۲۷] (شکل ۲-۱۲).



شکل (۲-۱۲) نقشه مسیر پرواز تست اثرات نویز مانور [۲۰].

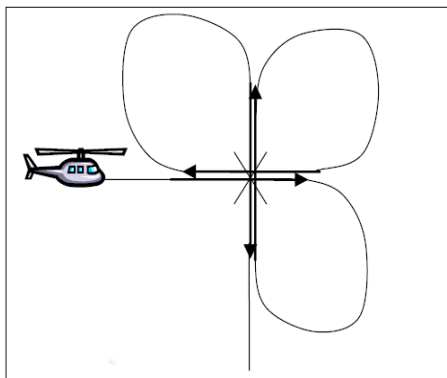
^۱- Fluxgate

۴. تصحیح اثر تغییرات میدان مغناطیسی وابسته به جهت برداشت داده‌های مغناطیسی

به دلیل اثر القایی میدان مغناطیسی بر بدنه بالگرد میدان ثانویه‌ای حاصل می‌شود که در میدان ثبت شده نهفته خواهد ماند. با تغییر جهت بالگرد مقدار این میدان نهفته، تغییر یافته و سبب بروز اثرات خطی در داده‌ها می‌گردد. نمودار منحنی میدان مغناطیسی ثبت شده بر روی یک خط برداشت داده، می‌تواند وابسته به جهت حرکت روی پروفیل باشد. دلیل این امر در دو بخش نهفته است؛ ۱- جهت سنسور مغناطیس‌سنج در حالت رفت و برگشت تغییر می‌نماید، ۲- هر شیء دارای خاصیت مغناطیسی ولو ضعیف، حین حرکت در میدان مغناطیسی می‌تواند میدان مغناطیسی القایی ثانویه‌ای تولید کند، که اثر آن با میدان مغناطیسی زمین مقابله می‌نماید. این پدیده به‌خصوص در برداشت مغناطیس هوابرد به دلیل موقعیت متفاوت وسیله پرنده اعم از هواپیما یا بالگرد، در میدان مغناطیسی زمین بسیار مشهود بوده و در نقشه‌ها به وضوح اثر تفاوت میدان در خطوط رفت و برگشت نمایان است. هدف از انجام این تصحیح، حذف اثر تغییرات میدان مغناطیسی وابسته به جهت برداشت داده در خطوط اصلی می‌باشد. این تصحیح نیز نظیر تصحیح Lag، به دو طریق انجام تست و استفاده از داده‌های پرواز، قابل اعمال است [۲۸].

الف) تست تغییرات میدان، وابسته به جهت برداشت داده

جهت محاسبه مقدار و نحوه حذف این اثر توسط تست، کافی است همانند تست اثرات نویز مانور در منطقه‌ای با میدان آرام، پروازهایی در امتداد خطوط اصلی و کنترلی صورت گیرد شکل (۲-۱۳). میانگین اعداد قرائت شده در محل تقاطع خطوط پرواز در چهار جهت مختلف، بیانگر میدان واقعی می‌باشد و اختلاف مقادیر هر خط از مقدار محاسبه شده، میزان خطای Heading می‌باشد [۳۰].



شکل (۲-۱۳) نمونه‌ای شماتیک از نحوه اجرای تست Heading [۲۸].

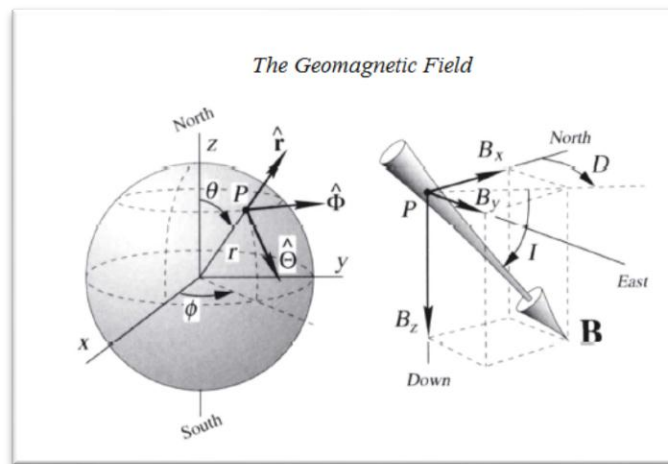
با اعمال تصحیح تغییرات میدان، وابسته به جهت برداشت داده، میزان تغییرات میدان در چهار جهت پرواز به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

ب) تصحیح با استفاده از داده‌های پرواز

در این روش جهت تصحیح، با استفاده از آزمون‌های خطوط پرواز، میانگین مقادیر شدت میدان محاسبه و میزان خطای تغییرات میدان، وابسته به جهت برداشت داده تعیین می‌گردد. با اعمال این مقادیر بر داده‌های پرواز تصحیح صورت می‌گیرد و تغییرات میدان در راستای خطوط پرواز کاهش می‌یابد.

۵. تصحیح IGRF

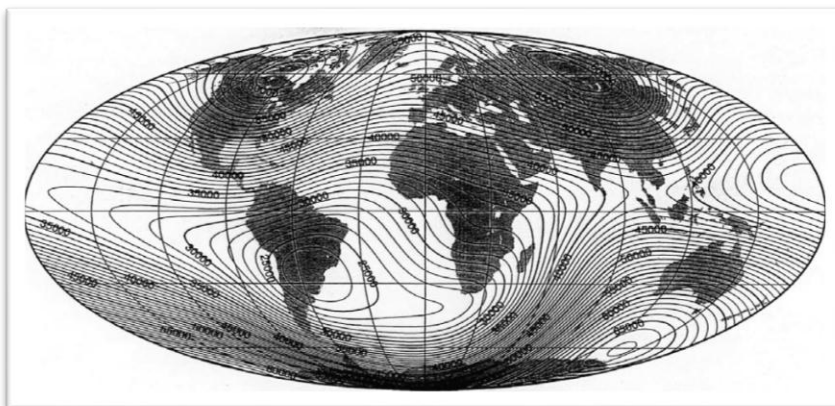
میدان مغناطیسی زمین، برآیندی از میدان ناشی از بی‌هنجاری‌های مغناطیسی سطحی و میدان حاصل از زمین بیضوی می‌باشد. توده‌ای با شکل و اندازه زمین و با اجزایی چون پوسته، گوشته، هسته و سایر مشخصاتی که به صورت ریاضی با اعداد و ارقام قابل محاسبه است، می‌تواند مولد یک میدان استاندارد و یکنواخت باشد که مدل IGRF نامیده می‌شود. این مدل توسط مجموعه‌ای از ضرایب هارمونیک کروی به درجه و مرتبه ۱۳ تعریف شده است [۲۸] (شکل ۲-۱۴).



شکل (۲-۱۴) نمونه‌ای شماتیک از مدل ریاضی در نظر گرفته شده از زمین و میدان مغناطیسی آن [۳۱].

این مدل ریاضی بهترین تطابق با داده‌های مشاهده‌ای واقعی را داشته و با توجه به اطلاعات رصدخانه‌های ژئومغناطیسی، ماهواره‌ها و سایر منابع تایید شده برای یک دوره معین ساخته می‌شود. در واقع هر نقطه از این مدل ریاضی که برای زمین تعریف می‌شود، با معلوم بودن مکان دقیق و وضعیت زمین نسبت به خورشید، می‌تواند دارای میدان مغناطیسی مشخصی باشد که به آن میدان IGRF گفته می‌شود.

IGRF توسط گروهی از انجمن بین‌المللی نیروی جاذبه زمین (IAGA)، بر اساس یک دوره ۵ ساله منتشر شده است. در صورت وجود تمام مشاهدات واقعی مربوطه، امکان تجدید نظر در مدل پیش‌بینی شده وجود داشته و یک میدان مرجع قطعی اعلام می‌گردد [۲۸] (شکل ۲-۱۵).

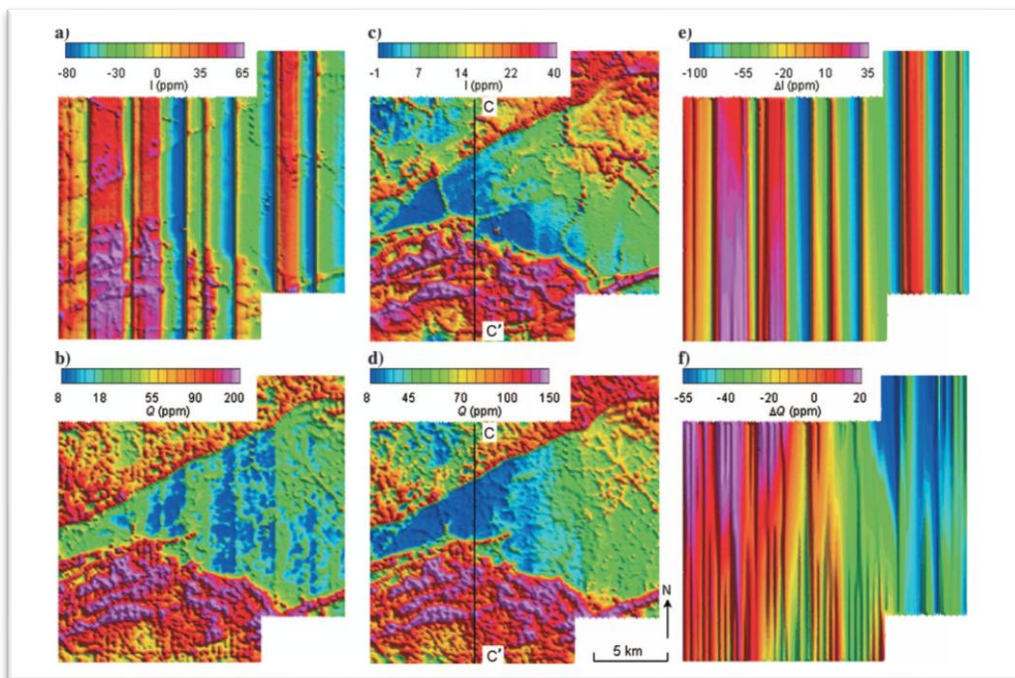


شکل (۲-۱۵) مقدار میدان F در سراسر جهان در یک دوره از مدل (به عنوان مثال در سال ۱۹۹۵) [۳۲].

کمبود رصدخانه‌ها و مشاهدات در بخش‌هایی از نقاط جهان ممکن است صحت تطابق IGRF با تغییرات گسترده میدان مغناطیسی مشاهده شده در یک منطقه برداشت معین را محدود کند [۲۸]. این تصحیح به سادگی توسط نرم‌افزار قابل اعمال بر روی داده‌ها می‌باشد. با انجام تصحیح، اثرات ناحیه‌ای میدان مغناطیسی از داده‌ها کسر می‌گردد و اثرات محلی باقی می‌ماند.

۶. هم‌ترازسازی مقادیر میدان مغناطیسی در محل تقاطع خطوط شبکه

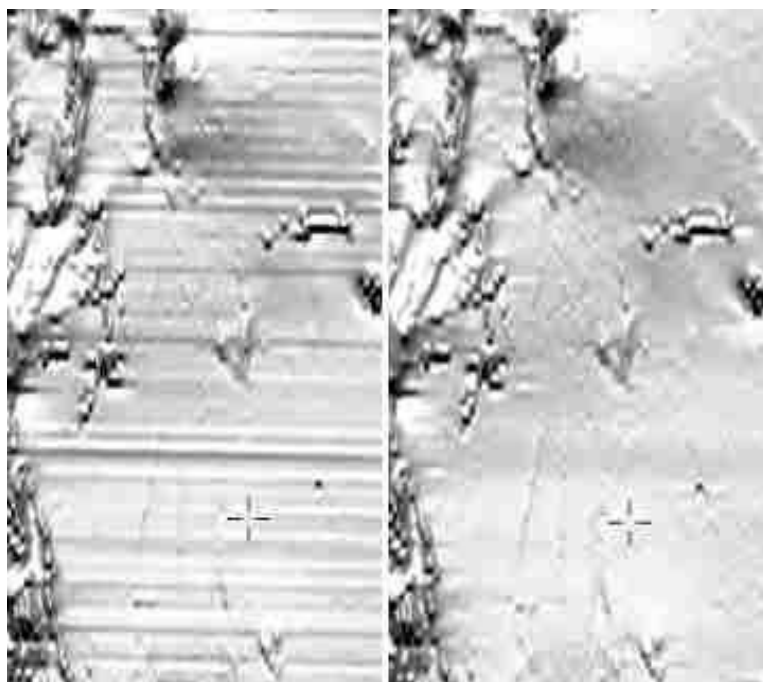
در یک پروژه هوابرد، به دلیل وسعت بالای منطقه و زمان برداشت طولانی، اثر تغییرات بلند مدت میدان در داده‌ها قابل مشاهده خواهد بود. بدین منظور پس از اتمام برداشت، تعدادی خط برداشت عمود با خطوط اصلی، در مدت زمانی کوتاه‌تر برداشت می‌شود. به این خطوط متقاطع خطوط کنترلی گویند، که فاصله آن‌ها معمولاً ۱۰ برابر فاصله خطوط اصلی می‌باشد. بنا بر دلایل مختلفی در محل تقاطع خطوط، مقادیر میدان مغناطیسی برابر نمی‌باشند. بخش کوچکی از این اختلاف مربوط به یکسان نبودن ارتفاع محل تقاطع خطوط بوده که دلیل آن گرادیان ناچیز میدان مغناطیسی در راستای قائم و بخش اصلی این اختلاف، ناشی از تغییرات بلند مدت میدان با منشاءهای مختلف می‌باشد. در پروژه‌های هوابرد هدف از هم‌ترازسازی، حذف اثرات خطی در داده‌های مغناطیسی تا حد امکان بوده و عمده اثرات خطی کوچک باقی‌مانده در این مرحله با تصحیح ریزهم‌ترازسازی قابل حذف خواهند بود [۲۷] و [۳۴] (شکل ۲-۱۶).



شکل (۲-۱۶) نمونه‌هایی از نقشه شدت میدان مغناطیس قبل و بعد از اعمال تصحیح هم‌ترازسازی، شکل‌های a، c و e مربوط به قبل از اعمال تصحیح و شکل‌های b، d و f مربوط به بعد از اعمال تصحیح می‌باشد [۳۴].

۷. ریزهم‌ترازسازی

آخرین گام در پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد، ریزهم‌ترازسازی می‌باشد. در صورتی که پس از تصحیح هم‌ترازسازی اثرات خطی ریز در نقشه شدت مغناطیس باقی بماند، جزو مرحله ریزهم‌ترازسازی بوده و تا حد زیادی قابل حذف و تصحیح می‌باشد. قدرت ریزهم‌ترازسازی در حد حذف اثرات خطی کوچک است و همانند هم‌ترازسازی توانایی حذف اثرات خطی بزرگ را ندارد. این عمل طی یک فرآیند دقیق پردازشی و با اعمال فیلترهای بسیار ضعیف و مناسب نظیر فیلتر بالاگذر در راستای عمود بر خطوط پرواز صورت می‌گیرد. ریزهم‌ترازسازی روش‌های متعددی داشته و هر شرکت یا گروه ژئوفیزیکی از روش خاصی جهت اعمال این تصحیح بر روی داده‌ها استفاده می‌کند (شکل ۲-۱۷).



شکل (۱۷-۲) نقشه شدت میدان مغناطیسی قبل و بعد از اعمال تصحیح ریزهم‌ترازسازی [۷].

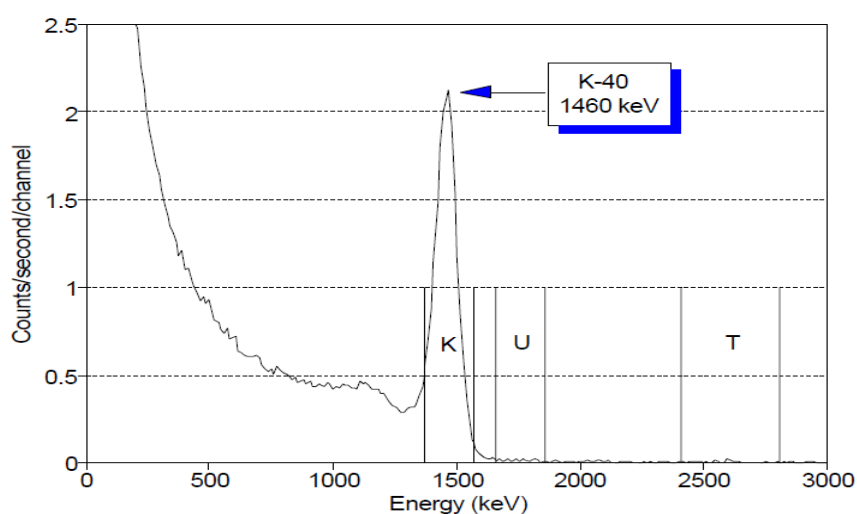
فصل سوم

مبانی پردازش داده‌های رادیومتری هوابرد

۱-۳ مقدمه

در این فصل، شرحی از دستگاه اسپکترومتر و نحوه ثبت داده، تئوری روش‌های بررسی کنترل کیفی و مراحل مختلف پردازش داده‌های هوابرد رادیومتری آورده شده است.

همه عناصر در طبیعت از خود اشعه گاما ساطع می‌کنند و مختص عناصر پرتوزا نیست. اشعه‌های ساطع شده دارای طول موج و انرژی‌های یکسانی نبوده و مقادیر انرژی اشعه گاما از ۰ تا حدود ۵۰۰۰ کیلو الکترون ولت می‌باشد. داده‌های رادیومتری توسط دستگاهی به نام طیف‌سنج اشعه گاما^۱ اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. هر عنصر، طیف انرژی مخصوص به خود را دارد، که این بازه انرژی، تنها مخصوص به همان عنصر بوده و سایر عناصر دارای طیف انرژی‌های متفاوت می‌باشند. به عنوان مثال، عنصر پرتوزای پتاسیم (K)، که چهلمین عنصر جدول تناوبی می‌باشد، دارای طیف انرژی ۱۵۷۰-۱۳۷۰ کیلو الکترون ولت می‌باشد (شکل ۱-۳).



شکل (۱-۳) نمودار طیف انرژی عناصر مختلف [۳۴].

^۱- Gamma Ray Spectrometer

۳-۲ دستگاه طیف‌سنج اشعه گاما

اسپکترومتر جعبه‌ای با بیش از ۱۰۰ کیلوگرم وزن می‌باشد، که درون آن تعداد ۵ کریستال موجود است، ۴ کریستال در پایین و ۱ کریستال در بالا قرار می‌گیرد. بر روی این کریستال‌ها، منعکس‌کننده‌هایی روشن از جنس منیزیم اکسید پوشیده شده است. به کریستال‌های پایین، پایینگر^۱ و به کریستال بالا، بالانگر^۲ گفته می‌شود. هر کریستال دارای وزن ۲۵ کیلوگرم و حجم تقریباً ۴.۲ لیتری است. مشخصه هر اسپکترومتر، با توجه به کریستال‌های پایینگر آن بوده و بر همین اساس حجم اسپکترومترها حدوداً ۱۶ لیتری، ۳۳ لیتری و ۵۱ لیتری می‌باشد. به‌طور کلی در نواحی نیمکره شمالی نمی‌توان از اسپکترومترهای بدون کریستال بالانگر استفاده نمود، زیرا جهت حذف اثر گاز رادون خطای زیادی به وجود خواهد آمد. برداشت با اسپکترومترهای ۱۶ و ۳۳ لیتری توسط هلیکوپتر و ۵۱ لیتری توسط هواپیما صورت می‌گیرد. هر چه حجم اسپکترومتر بیشتر باشد، قدرت تفکیک دستگاه و میزان شمارش ذرات افزایش یافته و در نتیجه کیفیت داده بهتر خواهد بود. اگر ارتفاع پرواز بیش از حد مجاز کریستال‌ها باشد، دستگاه نمی‌تواند اشعه گاما را آشکار کند. بنابراین در مناطق با توپوگرافی شدید از دستگاه‌های با حجم بیشتر استفاده می‌شود که بتوان ارتفاع برداشت را افزایش داد.

این دستگاه ۲۵۶ کانال دارد، که هر کانال دارای انرژی حدوداً $11/7$ کیلو الکترون ولت می‌باشد. ثابت شده است، از انرژی ۰ تا ۳۰۰۰ کیلو الکترون ولت منشاء زمینی داشته و انرژی بیش از ۳۰۰۰ کیلو الکترون ولت منشاء کیهانی دارد.

اشعه گامای ساطع شده، ذرات انرژی از جنس فوتون هستند و هر ذره دارای انرژی مخصوصی است. در واقع اشعه گاما دارای طیف انرژی بوده و واحد آن بر حسب الکترون ولت می‌باشد. مکانیسم کار دستگاه بدین صورت است که در هر ثانیه یک بار قرائت صورت گرفته و یک طیف انرژی در هر ثانیه دریافت می‌شود.

^۱- Down Ward Looking

^۲- Upward Looking

هنگامی که اسپکترومتر ذرات را دریافت می‌کند، انرژی را به بازه‌های مختلفی تفکیک کرده و هر ذره بر حسب انرژی مخصوص به خود در کانال مربوطه قرار می‌گیرد. در نهایت تمامی پنجره‌ها دارای انرژی شده و هر کانال تعدادی ذره با انرژی یکسان را دریافت می‌کند. پس از شمارش ذرات، خروجی دستگاه برای هر کانال به صورت شمارش در واحد ثانیه^۱ می‌باشد.

از بین اطلاعات به دست آمده از دستگاه، سه عنصر پتاسیم^۲ (K)، اورانیوم^۳ (U) و توریم^۴ (Th) جهت اکتشاف حائز اهمیت می‌باشند. با توجه به تفاوت فراوانی عناصر در طبیعت، فراوانی عنصر پتاسیم از اورانیوم و اورانیوم از توریم بیشتر بوده و هر کدام دارای طیف انرژی متفاوتی می‌باشند [۳۴] و [۳۵] (جدول ۱-۳).

جدول (۱-۳) جدول طیف انرژی برخی از عناصر رادیواکتیو [۳۴].

Window name	Isotope used	Gamma-ray energy (keV)	Energy window (keV)
Potassium	⁴⁰ K	1460	1370 – 1570
Uranium	²¹⁴ Bi	1760	1660 – 1860
Thorium	²⁰⁸ Tl	2615	2410 – 2810
Total count	–	–	410 – 2810
Cosmic	–	–	3000 – ∞

در نهایت اطلاعات به دست آمده از اسپکترومتر در فایل پایگاه داده ذخیره می‌گردد، که این اطلاعات شامل: زمان و تاریخ برداشت داده، مختصات نقاط اندازه‌گیری، ارتفاع راداری، ارتفاع بارومتری، کانال‌های شمارش عناصر پتاسیم، اورانیوم، توریم، شمارش کل، اشعه کیهانی، اورانیوم ثبت شده در کریستال بالانگر و کانال زمان زنده می‌باشد.

^۱- Count per second

^۲- Potassium

^۳- Uranium

^۴- Thorium

۳-۳ کنترل کیفی داده‌های هوابرد رادیومتری

کنترل کیفی داده‌های رادیومتری از دو بخش تشکیل می‌شود:

۱- کنترل سلامت تجهیزات رادیومتری؛ این بخش شامل ۳ مرحله می‌باشد:

الف) بررسی Source Check، ب) بررسی محل فوتوپیک‌های انرژی (کالیبراسیون انرژی) و ج) محاسبه تفکیک‌پذیری دستگاه.

۲- کنترل مناسب بودن شرایط محیط، برای برداشت داده‌های رادیومتری.

دستگاه اسپکترومتر نیز نظیر گراویمتر بسیار حساس بوده و از نظر شرایط استاندارد فشار و دما ایزوله می‌باشد. گاهی اوقات دمای هوای پرواز ممکن است بالا باشد در نتیجه دمای تجهیزات داخلی سیستم نیز افزایش می‌یابد و احتمال خرابی تجهیزات وجود دارد. بنابراین این تجهیزات بایستی روزانه چک شوند.

روش‌های کنترل کیفی داده‌های رادیومتری نیز مانند داده‌های مغناطیس، از طریق مقایسه داده‌ها نسبت به یکدیگر صورت می‌گیرد. در روش رادیومتری از طریق مقایسه یکسری اطلاعات، در روزهای مختلف به صحت کارکرد دستگاه نسبت به روزهای قبل پی برده می‌شود. این تست‌ها به صورت دو بار در روز، یکبار قبل از شروع پرواز و یکبار پس از پایان پرواز صورت می‌گیرد.

۳-۳-۱ کنترل سلامت تجهیزات رادیومتری

الف) بررسی Source Check

در این تست، ۳ منبع رادیواکتیو وجود دارد، که این منابع مربوط به ۳ عنصر سزیم (Cs-57)، اورانیوم (U-238) و توریم (Th-232) می‌باشد. طبق طیف انرژی عناصر، انرژی سزیم از پتاسیم نیز کمتر می‌باشد. در این تست رعایت کردن چند نکته ضروری است: ۱- محل فرود و برخاست هلیکوپتر تا پایان پرواز بایستی ثابت باشد و ۲- محل قرار گرفتن منابع بایستی ثابت باشد.

جهت انجام تست، هر روز ۲ بار این منابع به ترتیب از انرژی پایین به بالا به‌طور جداگانه در زیر هلیکوپتر ساکن قرار می‌گیرند و دستگاه به مدت ۶۰ ثانیه قرائت می‌کند. پس از آن به مدت ۶۰ ثانیه زمینه برداشت شده و این عمل برای هر عنصر به‌طور جداگانه انجام می‌شود. در نهایت داده‌های به دست آمده در قالب یک پایگاه داده ذخیره می‌شوند. پس از آن جدولی تهیه شده و اطلاعات مربوط به هر اندازه‌گیری در آن درج می‌گردد. این جدول شامل اطلاعاتی نظیر تاریخ برداشت، میانگین شمارش منابع سزیم، اورانیوم و توریم، میانگین شمارش زمینه مربوط به هر عنصر می‌باشد. در نهایت درصد انحراف معیار هر اندازه‌گیری نسبت به روزهای قبل محاسبه می‌شود.

طبق گزارش آژانس، انحراف بالای ۵٪ در Source Check دارای خطا بوده و باید ریشه یابی گردد. این خطا همواره به دلیل خرابی دستگاه نیست، گاهی اوقات به دلیل بد قرار گرفتن مکان منبع، دور نگه نداشتن دو منبع دیگر هنگام قرائت، به دلیل تردد زیاد اطراف هلیکوپتر، خیس کردن زمین اطراف آن و خراب شدن زمینه می‌تواند باشد [۳۵].

ب) بررسی محل فوتوپیک‌های انرژی (کالیبراسیون انرژی)

همان‌طور که ذکر شد، عناصر رادیواکتیو دارای انرژی‌های متفاوتی هستند و هر عنصر بازه انرژی مخصوص به خود را دارد. به قسمت مرکزی هر بازه انرژی پیک انرژی^۱ گفته می‌شود، که مربوط به یک کانال از اسپکترومتر است. محل پیک انرژی در یک طیف سنج سالم برای هر عنصر ثابت بوده و نباید تغییر کند. هدف از این تست، بررسی تغییر در محل فوتوپیک‌های انرژی در طول پروژه می‌باشد. اسپکترومترهای جدید به‌طور اتوماتیک این تست را انجام می‌دهند و در صورت تغییر، آن‌ها را اصلاح و کالیبره می‌کند. طبق دستورالعمل آژانس، جابه‌جایی ± 2 کانال در محل فوتوپیک‌های انرژی Th، U و K مجاز بوده و تغییرات بیشتر از مقدار مذکور بایستی ریشه‌یابی و برطرف گردد.

^۱ - Major Peak

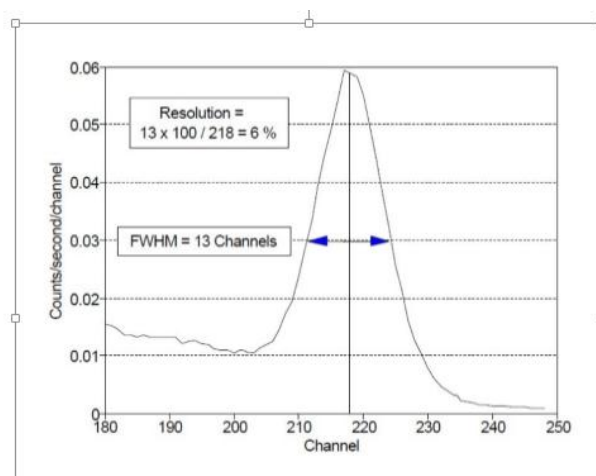
در این مرحله با استفاده از داده‌های به دست آمده از مرحله Source Check، منحنی طیفی عناصر مورد نظر رسم و محل فوتوپیک‌های انرژی به همراه مقدار انرژی آن‌ها تعیین می‌گردد. با مقایسه مقادیر تئوری و محاسبه شده، در صورت وجود جابه‌جایی بیش از ± 2 کانال، به منزله خطا بوده و علت بایستی ریشه‌یابی شود [۳۴].

ج) محاسبه تفکیک‌پذیری دستگاه

این تست جهت بررسی تفکیک‌پذیری و میزان تفکیک‌پذیری دستگاه انجام می‌شود. در این مرحله نیز از نمودار طیفی رسم شده در مرحله کالیبراسیون استفاده شده و یکی از دو عنصر سزیم یا توریم بررسی می‌گردد. با تعیین شماره کانال پیک انرژی و محاسبه پهنای پنجره نصف مقدار ماکزیمم پیک یکی از دو عنصر مذکور و با جایگذاری در رابطه زیر، میزان تفکیک‌پذیری محاسبه می‌گردد.

$$\text{Resolution}(\%) = \frac{FWHM}{CHANNEL\ MAX} * 100 \quad (1-3)$$

که در آن: FWHM، پهنای پنجره در نصف ماکزیمم، Channel Max شماره کانال مربوط به پیک عنصر می‌باشد. طبق دستورالعمل آژانس، R(%) مربوط به عنصر سزیم باید در حالت نرمال بین ۱۰-۸ و حتماً کوچک‌تر از ۱۲ درصد باشد. برای عنصر توریم در حالت نرمال بین ۶-۴ درصد و حتماً کوچک‌تر از ۷ باشد [۳۴] (شکل ۳-۲).



شکل (۳-۲) نمودار مربوط به تست تفکیک‌پذیری دستگاه [۳۴].

۳-۳-۲ بررسی شرایط محیطی جهت برداشت رادیومتری هوابرد

در برداشت‌های رادیومتری، از جمله عوامل محیطی که موجب خرابی داده‌ها شده و قابل پیش‌گیری می‌باشد، عبارتند از: بارندگی، رطوبت، باد شدید، بارش برف و داده‌های برداشت شده در شرایط جوی نامساعد فاقد ارزش و اعتبار می‌باشند. داده‌های رادیومتری مربوط به چند سانتی‌متری سطح خاک می‌باشند و توسط رطوبت، آب و ارتفاع به شدت تضعیف می‌گردند. بنابراین جهت برداشت داده‌های رادیومتری بایستی فصل مناسب انتخاب شود، که کمترین بارندگی و مشکلات محیطی وجود داشته باشد.

علاوه بر این عوامل، عامل دیگری که روی داده‌های رادیومتری تأثیر گذاشته و از تمامی عوامل قبل مهم‌تر می‌باشد، وجود گاز رادون در محیط است. گاز رادون از مشتقات اورانیوم بوده و مستقیماً روی کانال اورانیوم تأثیر می‌گذارد. گاز رادون از میان درز و شکاف سنگ‌ها به سمت فضا منتشر شده و با جریان باد جابه‌جا می‌گردد. شرایط و تغییرات گاز رادون با استفاده از داده‌های خطوط تست^۱ بررسی می‌شود. خط تست، خطی مابین محل نشست و برخاست هلی‌کوپتر و بلوک برداشت می‌باشد. مسیر انتخاب شده باید اولاً مسطح و هموار، ثانیاً همگن، مشخص و فاقد پیخ و خم باشد. این خطوط معمولاً طولی معادل ۱۰-۷ کیلومتر یا ۱۰۰ ثانیه پرواز دارند. این تست نیز روزی ۲ مرتبه و با دقت بسیار زیادی صورت می‌گیرد. اطلاعات جمع‌آوری شده پس از انجام هر بار تست عبارتند از: میانگین مقادیر شمارش شده عناصر توریم، اورانیوم کرسیتال‌های پایین نگر، پتاسیم، سزیم، اورانیوم کریستال بالانگر، شمارش کل (TC)، اشعه کیهانی، به همراه کانال‌های دما، فشار (بر حسب میلی بار)، ارتفاع پرواز، رطوبت و

پس از هر بار اندازه‌گیری، درصد انحراف میانگین مقادیر شمارش عناصر نسبت به روزهای قبل محاسبه می‌گردد و انحراف بالای ۱۵-۱۰ درصد باید ریشه‌یابی شود [۲۷] و [۳۴].

^۱- Test Line

۳-۴ پردازش داده‌های رادیومتری

به‌طور کلی پردازش داده‌های رادیومتری شامل ۶ مرحله می‌باشد:

۱. تصحیح زمان مرده^۱
۲. تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد^۲
۳. تصحیح گاز رادون^۳
۴. محاسبه ضرایب تداخل^۴
۵. تست میرایی ارتفاع^۵
۶. اندازه‌گیری حساسیت سیستم^۶

۳-۴-۱ تصحیح زمان مرده

هنگام برداشت داده، دستگاه به ازای هر بار قرائت، مدت زمان کوتاهی غیر فعال شده که در این مدت، ذرات ورودی شمارش نمی‌شوند. به مدت زمانی که صرف ورود ذرات می‌شود، زمان زنده^۷ و مدت زمانی که صرف شمردن ذرات می‌شود، زمان مرده^۸ نامیده می‌شود. این تصحیح برای آن دسته از داده‌هایی است که شمارش نشده‌اند. زمان مرده هر دستگاه، در کاتالوگ آن ذکر شده است و معمولاً در حد ۲-۱ میلی ثانیه می‌باشد.

^۱- Dead time correction

^۲- Cosmic & Aircraft Background correction

^۳- Radon correction

^۴- Stripping Ratio

^۵- Altitude Attenuation

^۶- Determination of system sensitivities

^۷- Live Time

^۸- Dead Time

در سیستم‌های قدیمی‌تر، کانال زمان زنده ثبت می‌شد، اما در سیستم‌های جدید، زمان مرده ثبت می‌شود و بر حسب (mili sec/pulse) یا ($\mu sec/pulse$) می‌باشد.

$$\text{Live Time} + \text{Dead Time} = 1 \text{ Sec} \quad (2-3)$$

نحوه محاسبه این تصحیح در سیستم‌های قدیمی با استفاده از فرمول زیر می‌باشد:

$$x(cps) = \frac{1000(ms) * n(cps)}{\text{Live Time}} \quad (3-3)$$

که در آن x مقدار تصحیح شده شمارش ذرات، n میزان ذرات شمرده شده در زمان زنده می‌باشد. اگر سیستم از نوع جدید بود:

$$x(cps) = \frac{n(cps) * p(\mu sec)}{1 - (TC * p)} \quad (4-3)$$

که در آن، $1 - (TC * p)$ زمان زنده و p مدت زمانی که به ازای شمارش هر ذره صرف می‌شود [۳۴] و [۳۴].

۲-۴-۳ تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد

هدف از اجرای این تست، محاسبه اثرات اشعه گاما ساطع شده از بدنه بالگرد و نیز تعیین میزان اشعه گامای ناشی از اشعه کیهانی می‌باشد. اشعه کیهانی به دلیل انرژی بالایی که دارد، روی سایر کانال‌ها اثر گذاشته و در کلیه کانال‌های می‌باشند، که باید شناسایی و حذف گردد. اثر تابش‌های بدنه بالگرد نیز همراه تست Cosmic حذف می‌گردد. بدین منظور جهت اجرای تست، در منطقه‌ای روی سطح آب و در ارتفاعات بالا که اثری از تشعشعات زمینی و گاز رادون نباشد، از ارتفاع حداقل ۱۵۰۰ متری خطوطی به طول ۱۰ کیلومتر و به فاصله ۳۰۰ متری از یکدیگر برداشت می‌گردد و این عمل تا ارتفاع ۳۰۰۰ یا ۳۵۰۰ متری ادامه می‌یابد (شکل ۳-۳).

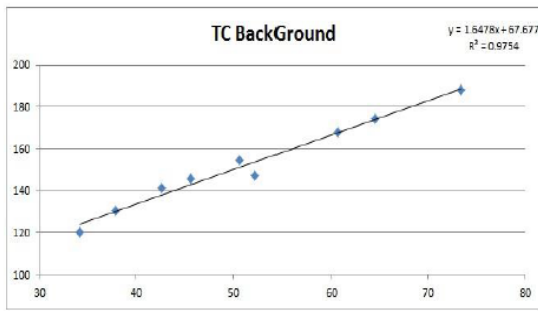


شکل (۳-۳) نمونه‌ای از نحوه اجرای تست اشعه کیهانی بر روی دریای خزر می‌باشد [۲۷].

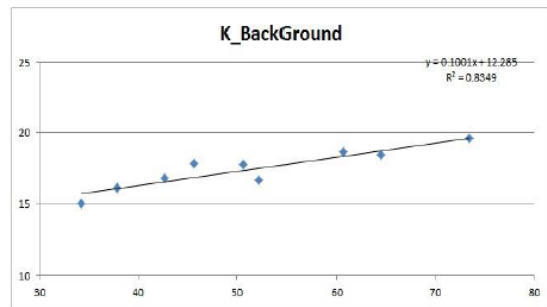
در این تست اطلاعاتی نظیر میانگین مقادیر شمارش شده عناصر رادیواکتیو و اشعه کیهانی در ارتفاعات مختلف ثبت می‌گردد. با رسم منحنی‌های عناصر پتاسیم، اورانیوم، توریم، شمارش کل و اورانیوم کریستال بالانگر بر حسب اشعه کیهانی و بدنه بالگرد و محاسبه رگرسیون خطی، به ازای هر عنصر رابطه‌ای به دست می‌آید. (شکل ۳-۴)

$$N = a_i * Cosmic + b_i \quad (۵-۳)$$

که در آن، ضرایب a_i و b_i به ترتیب شیب و عرض از مبدأ منحنی‌های رسم شده می‌باشد. شیب خط رسم شده مربوط به اثر اشعه کیهانی و عرض از مبدأ آن مربوط به اثر بدنه بالگرد می‌باشد. با اعمال مقادیر حاصل شده از رابطه قبل بر روی مقادیر شمارش شده عناصر در پایگاه داده پرواز، اثرات بدنه بالگرد و اشعه کیهانی بر روی داده‌های پرواز حذف می‌گردند [۳۲] و [۳۴].



(ب)



(الف)

شکل (۳-۴) الف) نمودار رسم شده پتاسیم بر حسب اشعه کیهانی و ب) نمودار رسم شده شمارش کل بر حسب اشعه کیهانی در مرحله تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد. در این نمودار، محور عمودی، میزان عنصر شمارش شده و محور افقی، میزان شمارش شده اشعه کیهانی می باشد [۲۷].

۳-۴-۳ تصحیح اثر گاز رادون

یکی از محصولات حاصل از واپاشی سری اورانیوم گاز رادیواکتیو، رادون (Rn^{222}) می باشد و یکی از دخترهای حاصل از واپاشی رادون (Bi^{214}) است که در پنجره اورانیوم ثبت می گردد. بنابراین شناسایی و حذف اثر این گاز بر روی داده های پرواز از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. هدف از اجرای این تست مشخص نمودن سهم گاز رادون در پنجره های اورانیوم، توریم، پتاسیم و شمارش کل می باشد.

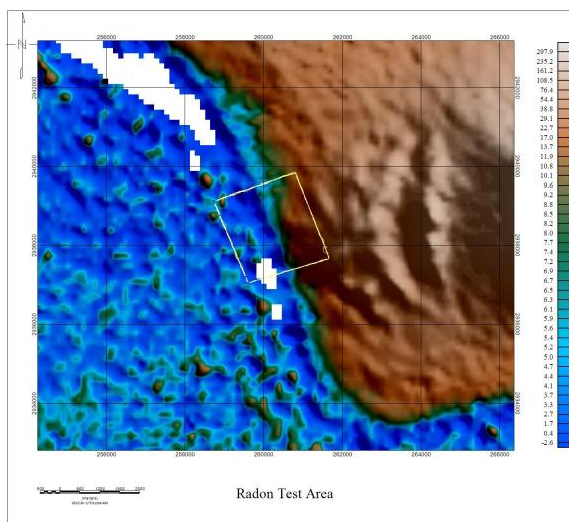
به منظور مشخص کردن اثر گاز رادون روی داده ها، در هنگام پردازش از داده های کریستال بالانگر استفاده می شود. سهمی از اورانیوم با منشاء زمینی در کریستال بالانگر ثبت می شود، که رابطه خطی آن به صورت زیر می باشد:

$$Ur_{g-up} = a_1 U_{g-Down} + a_2 Th \quad (۳-۶)$$

که در آن، Ur_{g-up} اورانیوم با منشاء زمینی ثبت شده در کریستال بالانگر، U_{g-Down} اورانیوم با منشاء زمینی ثبت شده در کریستال پایین نگر و Th میزان شمارش شده توریم می باشد.

این رابطه، یک رابطه اثبات شده و مورد تأیید آژانس بین المللی انرژی اتمی می باشد [۳۴]. جهت محاسبه ضرایب a_1 و a_2 از روش حداقل مربعات خطا استفاده می شود.

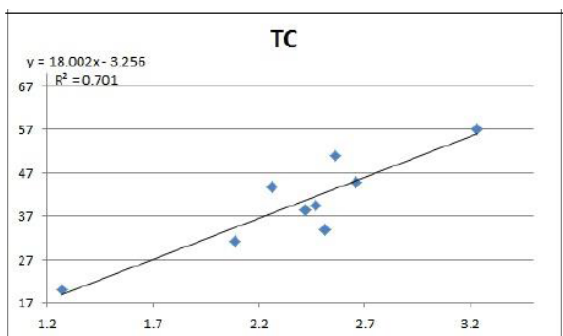
جهت انجام این تصحیح، ابتدا در منطقه‌ای بین مرز آب و خشکی در فاصله یک کیلومتری ساحل، خطی به طول ۲ کیلومتر در ارتفاعات مختلف و به فاصله ۳۰ متری خطوط از یکدیگر برداشت صورت می‌گیرد. لازم به ذکر است که پرواز به شکل جعبه مربع انجام می‌شود (شکل ۳-۵).



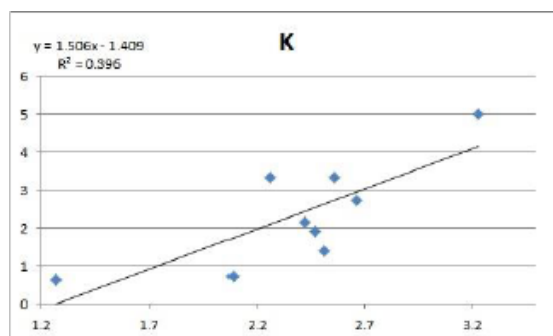
شکل (۳-۵) نمونه‌ای از نحوه اجرای تست رادون در محلی بین مرز آب و خشکی [۲۷].

داده‌هایی که روی آب برداشت می‌شوند، فاقد تشعشعات زمینی بوده و با حذف اثر اشعه کیهانی و بدنه بالگرد، تنها اثر گاز رادون باقی می‌ماند. به دلیل اثر تداخل پنجره، گاز رادون روی سایر پنجره‌ها اثر گذاشته و مقادیر کاذب مؤلفه‌های رادون در هر پنجره ثبت می‌شود. جهت حذف این مقادیر، نمودار عناصر پتاسیم، توریم، اورانیوم کریستال بالانگر و شمارش کل بر حسب اورانیوم کریستال پایین‌نگر رسم شده و ضرایب کالیبراسیون رادون محاسبه می‌گردد. در زیر نمودار دو عنصر مربوط به این تست آورده شده است [۲۷].

(شکل ۳-۶)



(ب)



(الف)

شکل (۳-۶) الف) نمودار رسم شده پتاسیم بر حسب اورانیوم و ب) نمودار رسم شده TC بر حسب اورانیوم در مرحله تصحیح گاز رادون. محور عمودی نمودار، میزان شمارش پتاسیم و محور افقی، میزان اورانیوم ثبت شده در کریستال پایین‌نگر می‌باشد [۲۷].

با استفاده از نتایج به دست آمده و با توجه به رابطه (۳-۶)، ضرایب a_1 و a_2 محاسبه می‌شوند. در نهایت، مقدار اورانیوم ناشی از گاز رادون که در کریستال‌های پایین‌نگر ثبت می‌شود از طریق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$U_r = \frac{u_{up} - a_1 U_{rDown} - a_2 Th + a_2 b_{th} - b_u}{a_u - a_1 - a_2 a_{th}} \quad (۷-۳)$$

که در آن،

- U_r مؤلفه رادون اندازه‌گیری شده در پنجره اورانیوم پایین‌نگر
- u_{up} میزان شمارش در پنجره اورانیوم کریستال بالانگر
- U_{rDown} میزان شمارش در پنجره اورانیوم
- Th میزان شمارش در پنجره توریم

a_{th} و a_u ضرایب کالیبراسیون رادون و b_u عرض از مبدأ مربوط به کالیبراسیون رادون می‌باشد.

پس از محاسبه U_r ، مقادیر کاذب مؤلفه‌های رادون در هر پنجره محاسبه شده و در نهایت با اعمال مقادیر محاسبه شده بر روی داده‌های پرواز، اثر گاز رادون حذف می‌گردد [۳۴].

۳-۴-۴ محاسبه ضرایب تداخل انرژی

این تست یکی از تست‌های بسیار مهم برای داده‌های رادیومتری است و معیاری برای سنجش کیفیت دستگاه اسپکترومتر نیز می‌باشد. به عبارتی دستگاهی که دارای ضرایب تداخل کمتر باشد، از کیفیت بهتری برخوردار می‌باشد. ضرایب تداخل شامل ۶ ضریب می‌باشد، که ۳ ضریب بیانگر تداخل انرژی پنجره‌های با انرژی بالا در پنجره‌های با انرژی پایین و ۳ ضریب دیگر بیانگر تداخل انرژی پنجره‌های با انرژی پایین در پنجره‌های با انرژی بالا می‌باشد. این ضرایب را با نام‌های α ، β ، γ ، a ، b و g نمایش داده می‌شوند، که هر ضریب، مخصوص اثر تداخل انرژی یک عنصر بر روی عنصر دیگر است.

جدول زیر ضرایب مربوط به دو دستگاه اسپکترومتر را نشان می‌دهد، طبق جدول، اگر ضرایب تداخل دستگاهی در حدود و نزدیک به مقادیر ضرایب دستگاه اول باشد به معنی سالم بودن و کیفیت بالای دستگاه می‌باشد [۳۴].

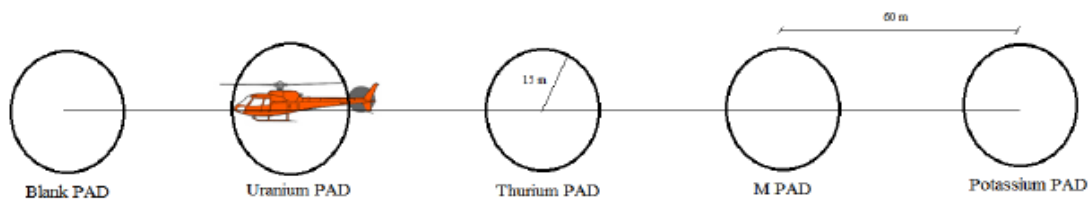
جدول (۲-۳) ضرایب تداخل انرژی مربوط به دو اسپکترومتر سالم و معیوب [۳۴].

	Good System	Poor System
α	0.25	0.38
β	0.4	0.43
γ	0.81	0.92
a	0.06	0.09
b	0	0.01
g	0.003	0.06

جهت محاسبه این ضرایب، از پدهای ساخته شده از عناصر رادیواکتیو استفاده می‌شود. این پدها دارای دو نوع هستند: ۱- پدهای ثابت و Fix و ۲- پدهای قابل حمل و نقل^۱.

پدهای واقعی و ثابت

یکی از پدهای بزرگ و واقعی با استاندارد جهانی برای کالیبراسیون دستگاه‌های اسپکترومتر، در بوستان ولایت تهران واقع شده است. شعاع دایره هر یک از پدها، حدود ۱۵ متر و فاصله دو مرکز پدهای مجاور حدود ۶۰ متر می‌باشد. با فرود بالگرد بر مرکز هر پد و قرائت به مدت ۱۰ دقیقه می‌توان ضرایب تداخل انرژی را محاسبه نمود. امروزه از پدهای ثابت استفاده نمی‌شود، زیرا نگهداری آن‌ها بسیار سخت بوده و اگر در اثر شرایط محیطی کمی تغییر کنند در اندازه‌گیری جواب‌ها نادرست و با خطا همراه بود [۲۷].



شکل (۷-۳) نمونه‌ای شماتیک از محل قرارگیری پدهای واقعی نسبت به یکدیگر و نحوه برداشت داده روی این پدها [۲۷].

برداشت داده بر روی پدهای قابل حمل

هدف از اجرای این تست، برآورد میزان تداخل طیف انرژی کانال‌های مختلف در یکدیگر می‌باشد. بدین منظور از ۴ پد بتنی به نام‌های پد پتاسیم، اورانیوم، توریم و پد مرکب استفاده می‌شود. در پد مرکب غلظت همه عناصر یکسان بوده و در بقیه غلظت یک عنصر از بقیه بیشتر می‌باشد. بالگرد با استفاده از جک‌های چرخ‌دار هیدرولیکی کوچک که بر روی آن‌ها نصب شده به روی پدها منتقل می‌شود، به طوری که دستگاه اسپکترومتر حتی‌الامکان در وسط پدها قرار گیرد. در این شرایط به مدت حداقل ۱۰ دقیقه قرائت بر روی پدها انجام می‌شود [۲۷].

^۱ - Portable



شکل (۸-۳) نمونه‌ای از محل قرارگیری پدهای قابل حمل نسبت به یکدیگر و نحوه برداشت داده بر روی این پدها [۲۷].

• محاسبه ضرایب تداخل

هر پد بتنی دارای مشخصاتی از قبیل: ابعاد پد و غلظت عناصر موجود در هر پد می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از قرائت پدها و رابطه ماتریسی زیر، ضرایب تداخل قابل محاسبه می‌باشد.

$$N = S * C \quad (۸-۳)$$

که در آن، N ماتریس میزان شمارش عناصر در ۱۰ دقیقه، S ماتریس مجهول که بر حسب شمارش عناصر بوده و C ماتریس غلظت عناصر رادیواکتیو می‌باشد.

رابطه قبل یک ماتریس $۳ * ۳$ می‌باشد که از ستون اول به ترتیب مربوط به منبع پتاسیم، اورانیوم و توریم می‌باشد. مقادیر مربوط به پد مرکب بایستی از مقادیر متناظر آن برای هر عنصر کسر شود. پس از حل ماتریس، طبق روابط زیر ضرایب تداخل محاسبه می‌شوند:

$$\alpha = \frac{S_{ur.th}}{S_{th.th}}, \beta = \frac{S_{k.th}}{S_{th.th}}, \gamma = \frac{S_{k.ur}}{S_{ur.ur}}, a = \frac{S_{th.ur}}{S_{ur.ur}}, b = \frac{S_{th.k}}{S_{k.k}}, g = \frac{S_{ur.k}}{S_{k.k}} \quad (۹-۳)$$

در نهایت با استفاده از روابط صفحه بعد، تداخل انرژی عناصر پتاسیم، اورانیوم و توریم محاسبه می‌گردد [۳۴].

$$n_{k.k} = \frac{n_{Th}(\alpha\gamma - \beta) + n_{ur}(a\beta - \gamma) + n_k(1 - a\alpha)}{A} \quad (10-3)$$

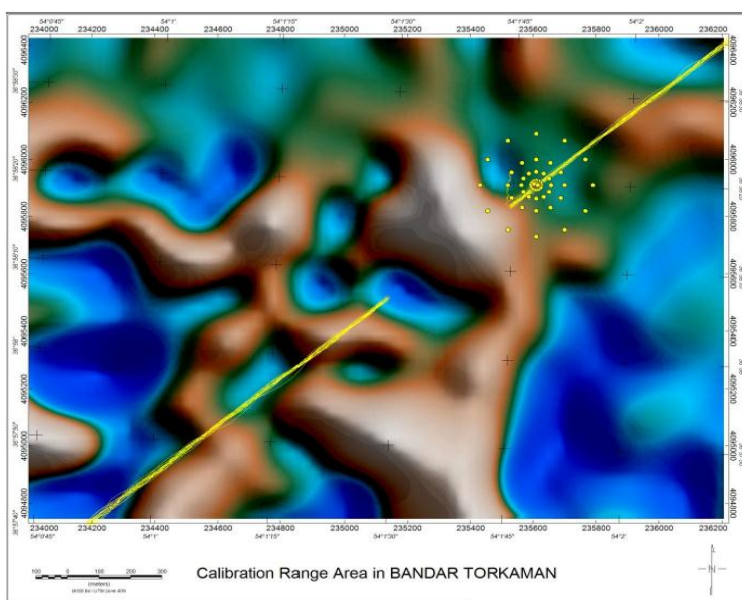
$$n_{u.u} = \frac{n_{Th}(g\beta - \alpha) + n_{ur}(1 - b\beta) + n_k(b\alpha - g)}{A} \quad (11-3)$$

$$n_{Th.Th} = \frac{n_{Th}(1 - g\gamma) + n_{ur}(b\gamma - a) + n_k(ag - b)}{A} \quad (12-3)$$

$$A = 1 - g\gamma - a(\alpha - g\beta) - b(\beta - \alpha\gamma) \quad (13-3)$$

۳-۴-۵ تصحیح میرایی ارتفاع

با افزایش ارتفاع برداشت، میزان شمارش هر عنصر به صورت نمایی کاهش می‌یابد. جهت تبدیل میزان شمارش عناصر به میزان شمارش در ارتفاع اسمی پرواز، از این تصحیح استفاده می‌شود. محل انجام تست، منطقه‌ای مسطح و همگن، بین مرز آب و خشکی و عمود بر خط ساحلی می‌باشد. طول خط برداشت در این تست ۶ کیلومتر است که ۳ کیلومتر پرواز بر روی آب و ۳ کیلومتر پرواز روی خشکی انجام می‌شود [۲۷].



شکل (۳-۹) نمونه‌ای از نحوه اجرای تست میرایی ارتفاع در منطقه بندر ترکمن [۲۷].

محاسبه ارتفاع مؤثر

داده‌های رادیومتری علاوه بر حساس بودن به ارتفاع، به دما و فشار نیز وابسته هستند، بنابراین محاسبات باید در شرایط استاندارد فشار و دما صورت گیرد. بدین منظور به جای استفاده از ارتفاع راداری از ارتفاع STP یا ارتفاع مؤثر در فشار و دمای استاندارد استفاده می‌گردد، که بر اساس رابطه زیر، ارتفاع راداری به ارتفاع مؤثر تبدیل می‌شود:

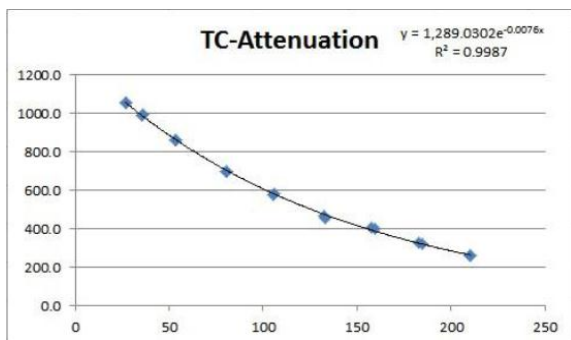
$$STP = Rad * \frac{Baro}{1013.25} * \frac{273.15}{T+273.15} \quad (14-3)$$

که در آن، Rad ارتفاع راداری یا همان Rad_alt و Baro فشار بارومتری بر حسب میلی بار و T دما بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد [۲۷].

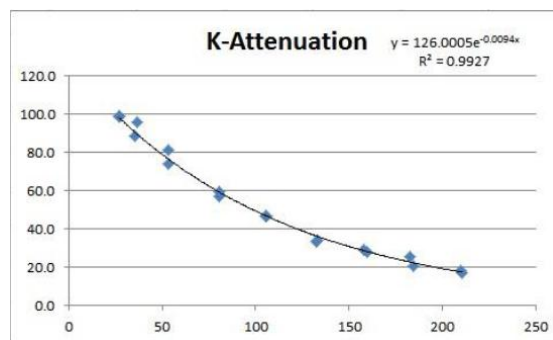
با جمع‌آوری اطلاعات ثبت شده، نمودارهای عناصر بر حسب ارتفاع مؤثر رسم و منحنی نپری بر روی هر نمودار برازش داده می‌شود. بدین ترتیب ضرایب میرایی ارتفاع برای هر عنصر به دست می‌آید (شکل ۳-۱۰). در نهایت با قرار دادن ضرایب در فرمول زیر مقدار تصحیح شده عناصر حاصل می‌شود:

$$N_s = N_m \exp[\mu(h_0 - h)] \quad (15-3)$$

که در آن، h ارتفاع واقعی پرواز، h₀ ارتفاع اسمی یا STP پرواز، N_m مقادیر قرائت‌ها پس از کلیه تصحیحات قبلی، μ ضریب میرایی محاسبه شده و N_s مقادیر قرائت شده عناصر پس از تصحیح میرایی ارتفاع می‌باشد [۳۴].



(ب)



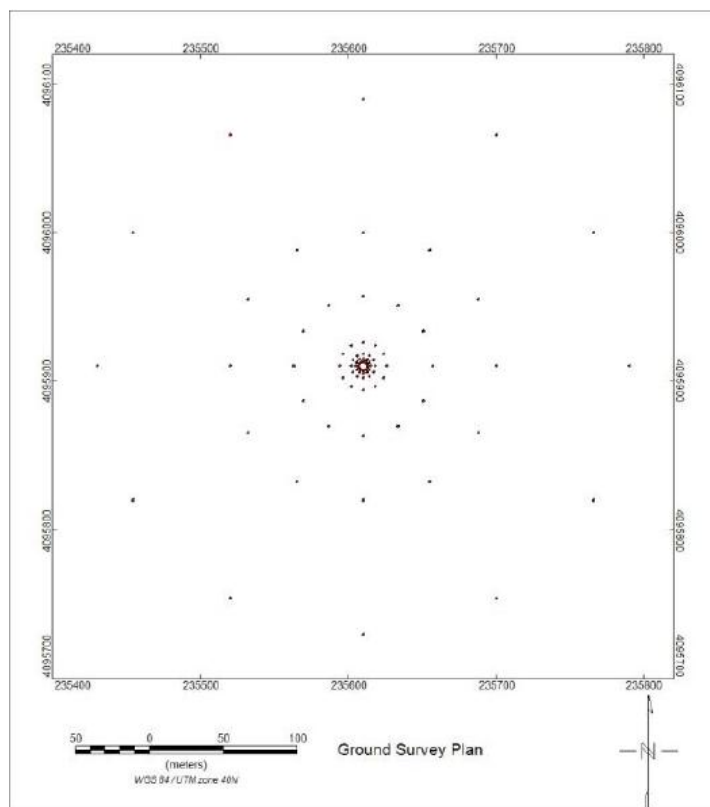
(الف)

شکل (۳-۱۰) الف) نمودار نمایی رسم شده پتاسیم بر حسب ارتفاع مؤثر و ب) نمودار نمایی رسم شده TC بر حسب ارتفاع مؤثر در مرحله تصحیح میرایی ارتفاع. محور عمودی نمودار، میزان پتاسیم شمارش شده و محور افقی، ارتفاع مؤثر یا STP می باشد [۲۷].

۳-۴-۶ اندازه گیری حساسیت سیستم

اگر منطقه ای توسط دو دستگاه اسپکترومتر یا دو بالگرد مختلف برداشت شود و در صورت اعمال تمامی تصحیحات، در نهایت جوابها متفاوت خواهند بود. این تفاوت در نقشه های رسم شده از هر سری داده به وضوح مشخص می باشد. تفاوت نقشه ها در تغییر شکل آنومالی ها نیست بلکه نسبت به هم دارای جابه جایی می باشند. تنها راه جهت رفع این اختلافات، تبدیل داده ها از قالب شمارش عناصر به غلظت می باشد. بنابراین هدف، تبدیل عنصر پتاسیم از نوع (cps) به درصد و دو عنصر اورانیوم و توریم به ppm می باشد.

جهت برداشت داده، محدوده ای دایره ای شکل با شعاع ۱۸۰ متر انتخاب می شود، که نقاط بر روی دایره های هم مرکز با شعاع های مختلف از ۳ متر تا ۱۸۰ متر گسترش می یابد. برداشت زمینی توسط اسپکترومترهای دستی صورت می گیرد، که مستقیماً غلظت عناصر را اندازه گیری می کند. در حین برداشت زمینی در همان روز، برداشت هوایی نیز انجام می گیرد. قرائت زمینی در هر نقطه ۹۰ ثانیه می باشد. در شکل زیر توزیع نقاط برداشت زمینی نمایش داده شده است (شکل ۳-۱۱).



شکل (۳-۱۱) نمونه‌ای از نحوه برداشت زمینی جهت اندازه‌گیری حساسیت سیستم [۲۷].

در مرکز محدوده برداشت زمینی با مختصات مشخص، به صورت ایستا در ارتفاعات مختلف ۴۰-۴۰۰ متر و در هر ارتفاع به مدت تقریبی ۵ تا ۱۰ دقیقه داده قرائت می‌شود.

پس از جمع‌آوری داده‌های هوابرد و زمینی، میانگین میزان شمارش هر عنصر محاسبه می‌گردد. با استفاده از داده‌های برداشت زمینی، میانگین غلظت عناصر نیز محاسبه شده و سپس با جایگذاری در رابطه زیر ضریب حساسیت مربوط به هر عنصر به دست می‌آید.

$$S = \frac{N(cps)}{C(\text{concentration})} \quad (۳-۱۶)$$

که در آن N میزان شمارش عناصر در داده‌های هوابرد و C غلظت هر عنصر در داده‌های صحرائی می‌باشد.

معادل غلظتی شمارش کل (TC) با E^1 نشان داده می‌شود، که برحسب $(\mu R/h)$ می‌باشد و با استفاده از

روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$1\% K = 1.505 \mu R/h \quad (17-3)$$

$$1 \text{ ppm eU} = 0.653 \mu R/h \quad (18-3)$$

$$1 \text{ ppm eTh} = 0.287 \mu R/h \quad (19-3)$$

بنابراین Exposure Rate برابر است با:

$$E = 1.505 K + 0.653 eU + 0.287 eTh \quad (20-3)$$

که در آن، K ، eU و eTh معادل غلظتی پتاسیم، اورانیوم و توریم در داده‌های صحرائی می‌باشند [۳۵].

^۱ - Exposure Rate

فصل چهارم

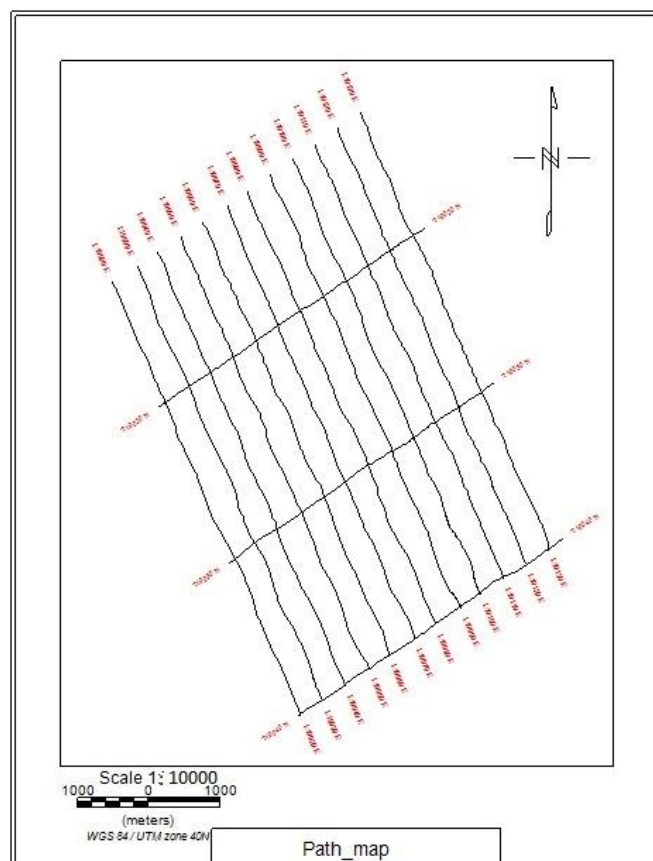
پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی

۱-۴ مقدمه

در این فصل، داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی مورد پردازش قرار گرفته است، که شامل بررسی کنترل کیفی داده‌های مغناطیس پرواز و ایستگاه مبنا، پردازش داده‌های اصلی و در نهایت رسم نقشه شدت کل میدان مغناطیسی می‌باشد.

۲-۴ بلوک منطقه برداشت

منطقه مورد بررسی در این تحقیق، بلوکی به وسعت تقریباً ۳۲ کیلومتر مربع بوده، که دارای ۱۲ خط پرواز اصلی به فاصله ۴۰۰ متر از یکدیگر و ۳ خط کنترلی با فاصله تقریباً ۷ کیلومتر می‌باشد. ارتفاع پرواز یا به عبارتی ارتفاع مغناطیس‌سنج از سطح زمین ۴۰ متر و نرخ ثبت داده ۰/۱ ثانیه است (شکل ۱-۴).



شکل (۱-۴) نمایی از بلوک برداشت منطقه رباعی.

۳-۴ پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی

پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد شامل دو مرحله است:

✓ مرحله اول؛ پیش پردازش

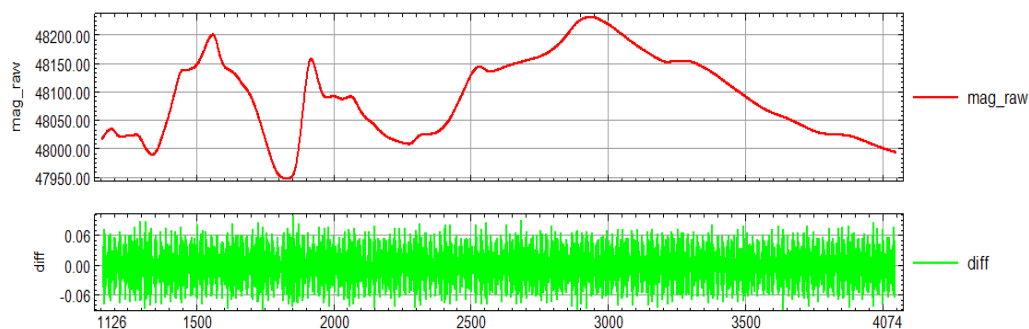
✓ مرحله دوم؛ پردازش اصلی

۱-۳-۴ مرحله پیش پردازش منطقه رباعی

با توجه مطالب ذکر شده در فصل ۲، این مرحله شامل دو بخش می‌باشد. بخش اول مربوط به بحث کنترل کیفی، بازبینی و تصحیح داده‌های خام پرواز و ایستگاه مبنا بوده و بخش دوم مربوط به مشخص کردن مکان دقیق داده‌ها بر حسب x و y یا به عبارت دیگر Lag مکانی می‌باشد.

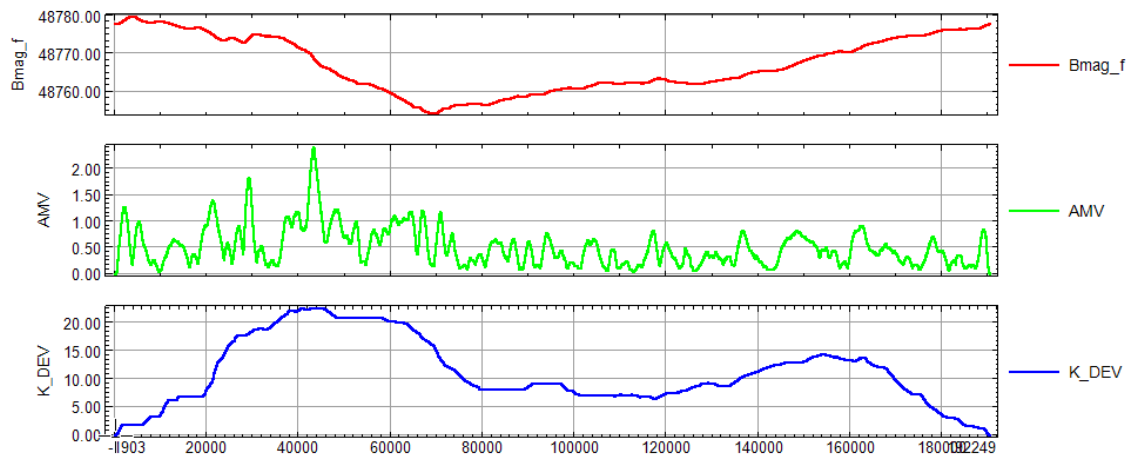
الف) کنترل کیفی، بازبینی و تصحیح داده‌های خام

در این مرحله ابتدا داده‌های پرواز بررسی می‌گردد، تا از صحت و سلامت داده‌ها اطمینان حاصل شود. اولین قدم در تصحیح داده‌های پرواز شناسایی و حذف نویز می‌باشد. بدین صورت، ابتدا پروفیل داده رسم شده و از آن مشتق چهارم گرفته می‌شود، که با انجام این کار کانال جدیدی به نام $diff$ به معنای تفاضل یا همان مشتق در پایگاه داده تشکیل می‌شود. پس از رسم پروفیل کانال $diff$ ، دامنه تغییرات مورد بررسی قرار گرفت. شکل زیر پروفیل‌های رسم شده از داده‌های خام مغناطیس و مشتق مرتبه چهارم داده‌ها می‌باشد (شکل ۲-۴).



شکل (۲-۴) پروفیل‌های رسم شده از داده مغناطیس خام (پروفیل قرمز رنگ) و مشتق مرتبه چهارم (پروفیل سبز رنگ).

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، دامنه تغییرات مشتق چهارم به طور پیوسته در طول ۱ کیلومتر از ۱/۶ نانو تسلا کمتر است، بنابراین نتیجه می‌شود که داده‌های پرواز سالم و جهت استفاده معتبر می‌باشند. پس از بررسی داده‌های پرواز بایستی داده‌های ایستگاه مبنا بررسی شوند. از طریق بررسی تغییرات بلند مدت و کوتاه مدت میدان مغناطیسی می‌توان سالم بودن یا معیوب بودن داده‌ها را تشخیص داد. با توجه به آنچه در فصل ۲ ذکر شد، چنانچه تغییرات میدان مغناطیسی زمین در مدت ۳ ساعت از ۷۰ نانو تسلا بیشتر باشد طوفان مغناطیسی خواهیم داشت. جهت بررسی تغییرات کوتاه مدت و بلند مدت، ابتدا فایل متنی مربوط به داده‌های ایستگاه مبنا در نرم افزار فراخوان شده و در یک data base جداگانه ذخیره می‌گردد. از اطلاعات ثبت شده، تاریخ، زمان برداشت داده و شدت مغناطیس مورد نیاز می‌باشد. دو کانال AMV و K_DEV ساخته شده که AMV بیان‌گر تغییرات کوتاه مدت و K_DEV بیان‌گر تغییرات بلند مدت میدان می‌باشد. پس از محاسبه و ساخته شدن دو کانال AMV و K_DEV، پروفیل آن‌ها رسم شده و دامنه تغییرات بررسی می‌گردد (شکل ۴-۳)



شکل (۳-۴) پروفیل‌های رسم شده در بررسی تغییرات بلند مدت و کوتاه مدت میدان مغناطیسی. منحنی قرمز رنگ، پروفیل میدان مغناطیسی، منحنی سبز رنگ، پروفیل تغییرات کوتاه مدت میدان و منحنی آبی رنگ مربوط به تغییرات بلند مدت میدان می‌باشد.

با توجه به شکل، ماکزیمم مقدار دامنه تغییرات کوتاه مدت میدان، ۲/۴۱ نانو تسلا و ماکزیمم مقدار دامنه تغییرات بلند مدت میدان برابر ۲۲/۵۵ نانو تسلا است. بنابراین داده‌ها فاقد اثرات تغییرات کوتاه مدت

و بلند مدت میدان می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، داده‌های پرواز و ایستگاه مبنا سالم و معتبر بوده و قابل استفاده جهت پردازش می‌باشد.

ب) مشخص کردن مکان دقیق داده‌ها بر حسب x و y

همان‌طور که گفته شد، به طور کلی دو نوع سیستم برداشت داده هوابرد وجود دارد: ۱- حالتی که گیرنده مغناطیس متصل به بالگرد باشد و ۲- حالتی که گیرنده مغناطیس توسط کابلی به طول ۳۰ متر به صورت آویزان باشد. داده‌های برداشت شده در این پروژه به روش دوم برداشت شده‌اند. در این حالت، به علت فاصله مکانی اندک بین سنسور مغناطیس و دستگاه GPS، نیاز به تغییر مختصات x و y نبوده و داده‌ها از لحاظ ارتفاعی تصحیح می‌شوند.

۴-۳-۲ پردازش داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه رباعی

پس از اطمینان یافتن از سلامت داده‌ها و تصحیح Lag مکانی، پردازش داده‌ها آغاز می‌شود. پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس، شامل ۷ مرحله می‌باشد که به ترتیب هر کدام شرح داده شده است:

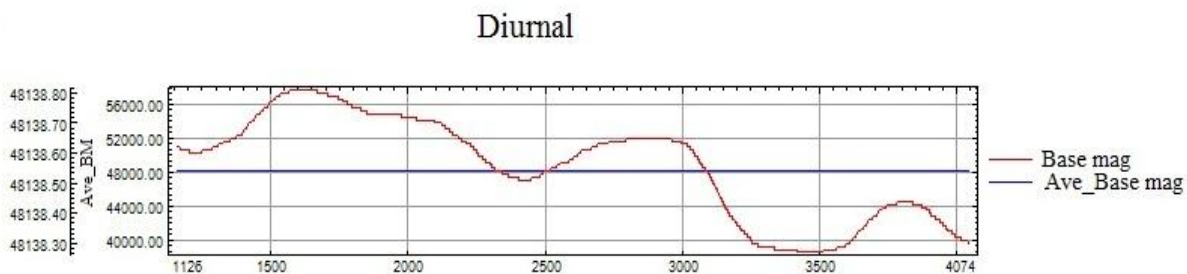
۱. تصحیح روزانه

پس از هم‌زمان کردن داده‌های ایستگاه مبنا با داده‌های پرواز، کانالی به نام B_Mag در data base پرواز ساخته می‌شود، که بیان‌گر میزان شدت مغناطیس ایستگاه مبنا در زمان‌های مختلف می‌باشد. از این کانال جهت تصحیح روزانه استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا میانگین کل کانال B_Mag برای تمام روزهای برداشت محاسبه شده و سپس در رابطه زیر قرار داده می‌شود:

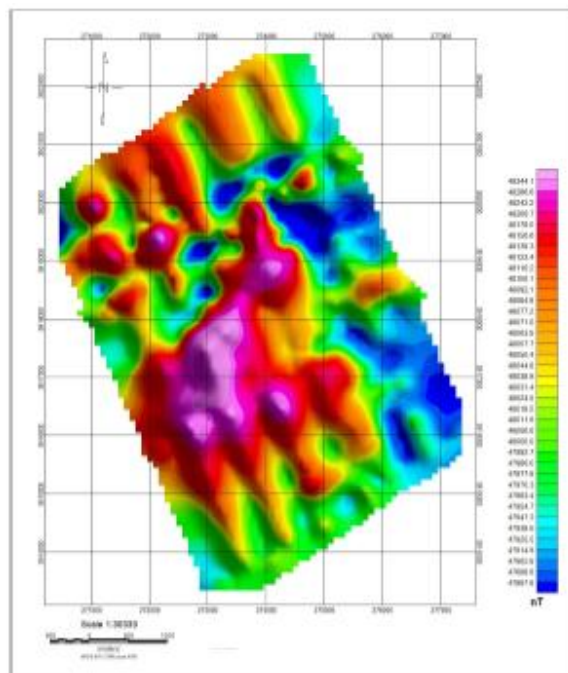
$$\text{Mag}_d = \text{Mag}_{\text{raw}} - (\text{B_Mag} - \text{Ave_BM}) \quad (1-4)$$

که در آن، Mag_d داده‌های مغناطیس تصحیح شده، Mag_{raw} شدت مغناطیس خام، B_Mag مغناطیس ایستگاه مبنا و Ave_BM میانگین مغناطیس ایستگاه مبنا می‌باشد [۳۶] (شکل ۴-۴).

در داده‌های خام، اثرات خطی ناشی از تغییرات روزانه به صورت باندهایی مجاور یکدیگر در نقشه نمایان است، که اثرات خطی هر باند نسبت به باند مجاور خود متفاوت بوده و نسبت به هم بالا و پایین می‌باشند. پهنای هر باند مربوط به یک روز کاری می‌باشد، که پس از تصحیح روزانه این باندها از بین رفته و اثرات بالا و پایینی آن‌ها حذف می‌گردد. از آنجا که داده‌های مورد استفاده در این پروژه مربوط به یک روز کاری می‌باشد، بنابراین اثرات خطی مذکور در نقشه شدت میدان دیده نمی‌شود. پس از اعمال تصحیح روزانه، کانال جدیدی به نام Mag_d ساخته شده که در آن اثرات خطی مربوط به تغییرات روزانه میدان، از داده‌ها حذف شده است (شکل ۴-۵).



شکل (۴-۴) پروفیل رسم شده داده‌های مغناطیس ایستگاه مبنا. منحنی قرمز پروفیل B_Mag و منحنی آبی پروفیل مربوط به Ave_BM می‌باشد.

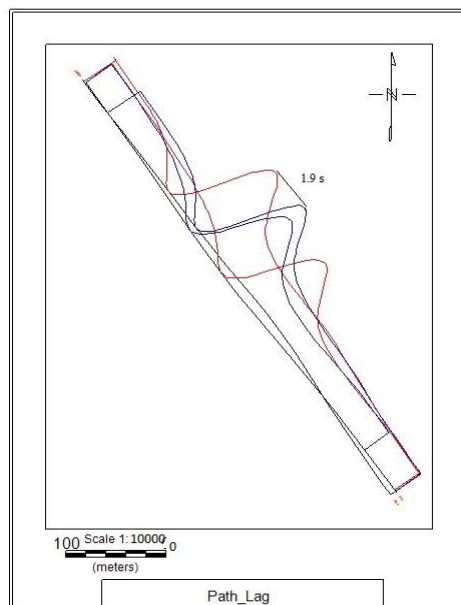


شکل (۵-۴) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح روزانه.

۲. تصحیح جابه‌جایی محل آنومالی

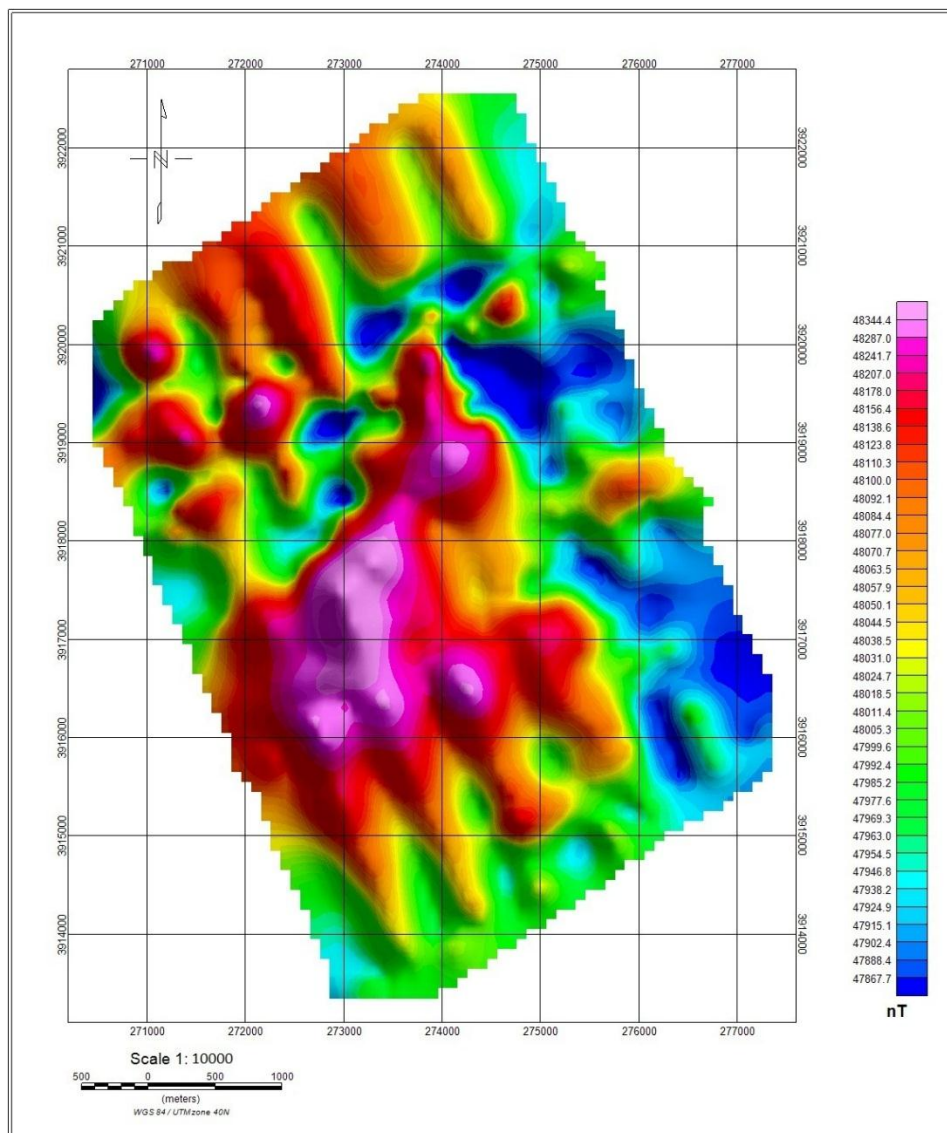
پس از اعمال تصحیح روزانه، هدف حذف اثر جابجایی محل آنومالی‌های مغناطیسی می‌باشد. به دلیل اینکه داده‌های مورد استفاده در این پروژه، کل داده‌های برداشت شده منطقه سمنان نمی‌باشد، جهت اعمال این تصحیح باید از روش تست Lag استفاده شود و نمی‌توان با استفاده از نقشه آنومالی‌های مغناطیسی، تصحیح را مستقیماً انجام داد. جهت این کار، پس از فراخوان شدن داده‌های حاصل از تست در نرم‌افزار، پروفیل مغناطیس مربوط به خطوط رفت و برگشت رسم شده و فاصله زمانی بین دو ماکزیمم یا دو مینیمم متوالی محاسبه گردید.

در این تست، میزان Lag محاسبه شده برابر $1/9$ ثانیه می‌باشد. در شکل زیر منحنی قرمز مربوط به محل آنومالی‌های مغناطیسی قبل از اعمال تصحیح و منحنی آبی مربوط به محل آنومالی‌های مغناطیسی پس از اعمال تصحیح می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پس از اعمال تصحیح، منحنی‌ها بر یکدیگر منطبق شده‌اند و علت تفاوت دامنه آنومالی‌ها مربوط به اثر تغییرات میدان مغناطیسی وابسته به جهت برداشت داده‌های مغناطیسی می‌باشد که در مراحل بعد اصلاح می‌گردد (شکل ۴-۶).



شکل (۶-۴) نقشه مسیر پرواز در تست Lag، پروفیل آبی رنگ مربوط به محل آنومالی‌های مغناطیسی پس از اعمال تصحیح.

پس از محاسبه مقدار Lag و اعمال آن بر روی داده‌های پرواز، تمامی داده‌ها به اندازه ۱/۹ ثانیه به عقب انتقال داده شده و آنومالی‌ها در محل واقعی خود قرار می‌گیرند. همان‌طور که گفته شد، به دلیل کوچک بودن منطقه مورد بررسی در این پروژه، این تصحیح به وضوح مشخص نبوده، اما در نقشه‌های بزرگ مقیاس به خوبی مشخص می‌شوند و با اعمال تصحیح، تغییر قابل ملاحظه‌ای در نقشه شدت میدان مغناطیسی به وجود می‌آید (شکل ۴-۷).



شکل (۴-۷) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح جابجایی زمانی محل آنومالی‌ها.

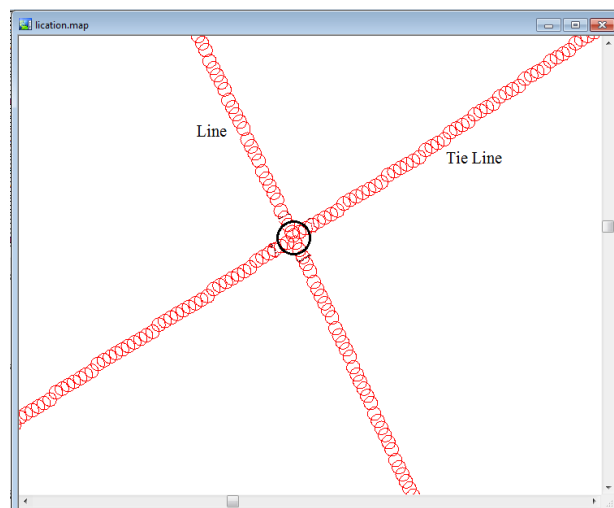
۳. تصحیح ارزیابی برآیند سطح نویز مانور در چهار جهت

همان طور که می‌دانیم تغییرات میدان مغناطیسی می‌تواند ناشی از تغییرات جهت سنسور مغناطیس - سنج، تغییرات میدان القایی بدنه بالگرد در حین پرواز، کلیه جریان‌های الکتریکی موجود در کابل‌های سیستم و... باشد. هدف از انجام این تست حذف کلیه اثرات محیطی در داده‌های مغناطیس می‌باشد، اما با توجه به اینکه داده‌های منطقه مورد مطالعه به صورت آویزان برداشت شده است، نیازی به اعمال این تصحیح بر روی داده‌ها نمی‌باشد، زیرا این تست تنها در صورتی ضروری است که سیستم برداشت از نوع ثابت باشد و تمامی تغییرات مغناطیس روی سنسور اثر بگذارد.

۴. تصحیح اثر تغییرات میدان مغناطیسی وابسته به جهت برداشت داده‌های مغناطیسی

همان طور که در فصل ۲ ذکر شد، انتظار می‌رود در یک منطقه برداشت، نقشه شدت میدان مغناطیسی خطوط رفت با نقشه شدت میدان خطوط برگشت یکسان باشد، اما برخلاف انتظار، اختلاف معناداری مشاهده می‌شود. به طوری که شدت مغناطیس خطوط رفت و برگشت به صورت پلکانی افزایش و کاهش نشان می‌دهند.

به دلیل عدم دسترسی به داده‌های تست، تصحیح با استفاده از داده‌های پرواز صورت گرفته است. لذا جهت تصحیح، ابتدا آزیموت‌های خطوط پرواز تعیین شده که عبارتند از: ۷۰، ۱۶۰، ۲۵۰ و ۳۴۰ درجه. با اندازه‌گیری میانگین شدت میدان در چهار جهت آزیموت پرواز و محاسبه اختلاف این شدت‌ها در هر نقطه از مقادیر شدت میدان نقاط تقاطع، خطای Heading را سبب می‌شود. نکته مورد توجه اینجاست که در واقعیت نقطه تقاطع وجود ندارد، بنابراین تئوری نرم افزار یک محیط دایره‌ای شکل را در نظر گرفته و محاسبات را برای این محیط انجام می‌دهد. هر چه محیط در نظر گرفته بزرگ‌تر باشد در نتیجه تعداد نقاط موجود در محیط نیز بیشتر شده و به تبع آن خطا نیز بیشتر خواهد بود [۳۶] (شکل ۴-۸).

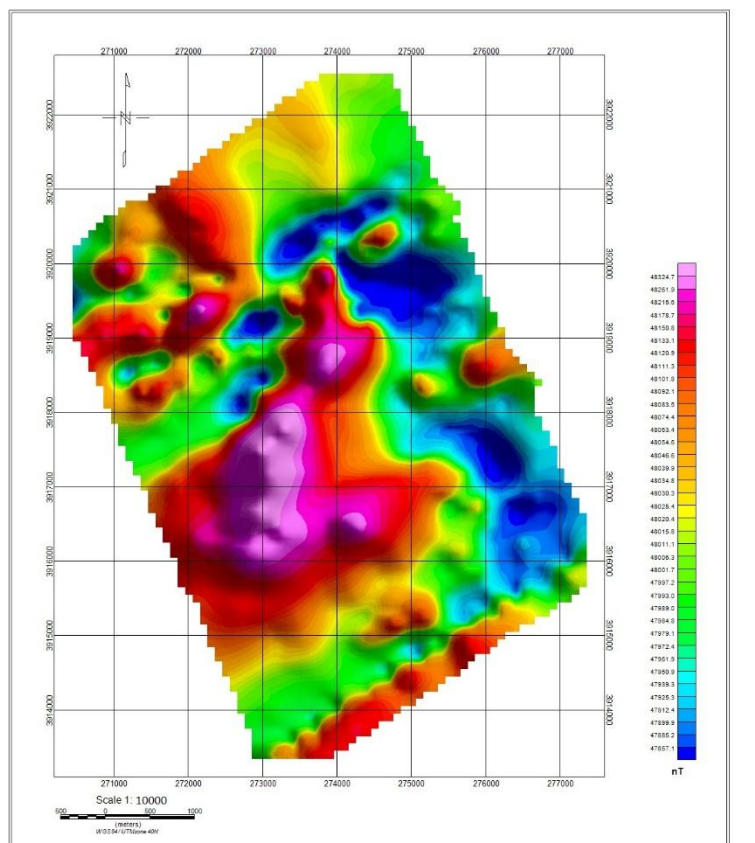


شکل (۴-۸) نمونه‌ای واقعی از نقطه تقاطع در نظر گرفته شده در تصحیح Heading

با توجه به شکل (۵-۹)، نقاط توخالی قرمز، محل نقاط اندازه‌گیری و محیط دایره‌ای شکل همان نقطه تقاطع فرضی می‌باشد. همان‌طور که واضح است خطوط برداشت.

پس از ساخت فایل Table، با استفاده از منوی تعبیه شده در نرم افزار، تصحیح Heading، بر روی داده‌های پرواز اعمال می‌گردد. شکل زیر نقشه شدت میدان مغناطیسی منطقه برداشت پس از اعمال تصحیح Heading می‌باشد (شکل ۴-۱۰).

همان‌طور که مشاهده می‌شود با حذف اثر Heading، میزان تغییرات میدان به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و نقشه هموارتر شده است.



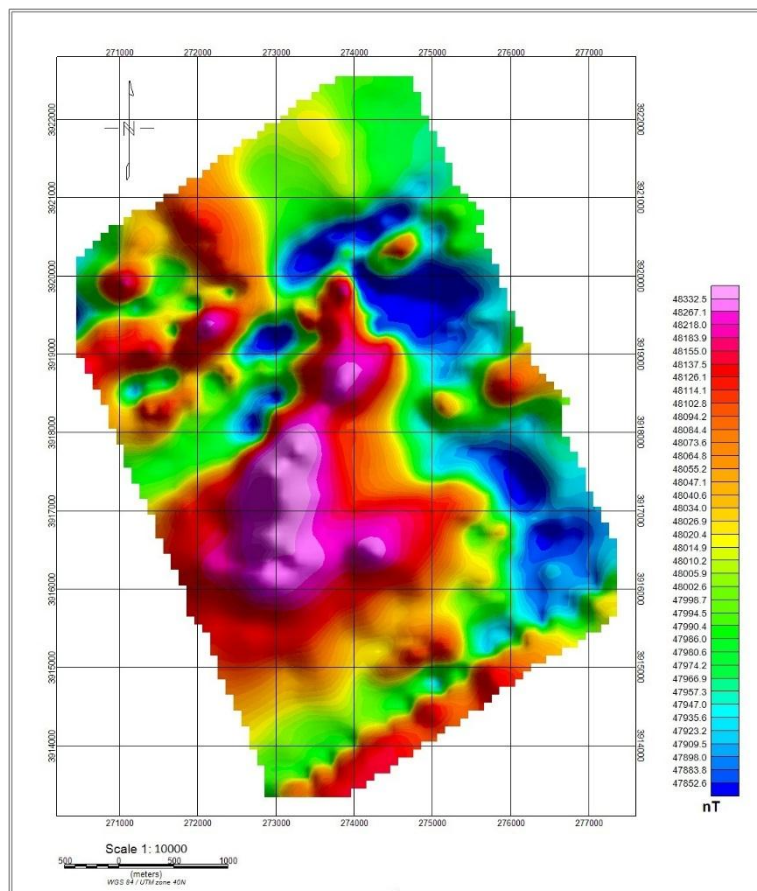
شکل (۴-۹) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح Heading.

۵. تصحیح IGRF

مدل IGRF تابعی از ۴ پارامتر بوده، که سه پارامتر آن مکانی (x, y و z) و یک پارامتر آن زمانی (تاریخ برداشت داده) می باشد. جهت مختصات مکانی از طول و عرض جغرافیایی نقاط استفاده می شود. از آنجا که به ازای هر طول و عرض جغرافیایی تنها یک نقطه بر روی کره زمین وجود دارد، لذا جهت محاسبه IGRF نقاط، به جای استفاده از مختصات متریک (UTM)، از مختصات جغرافیایی استفاده می شود.

در برداشت های هوابرد، گاهی اختلاف شدت مغناطیس بین نقاط ماکزیمم و مینیمم کانال IGRF، به ۳۰ نانو تسلا نیز می رسد و این به دلیل اختلاف ارتفاع در حین برداشت داده می باشد. بالگرد در حین برداشت به دلایل مختلفی نظیر توپوگرافی شدید منطقه، ممکن است قادر به پرواز در ارتفاع اسمی نباشد. بنابراین مقدار مغناطیس ثبت شده کاهش یا افزایش می یابد و از آنجا که ارتفاع، یکی از پارامترهای مورد

نیاز جهت تصحیح IGRF بوده، این اختلاف در IGRF به خوبی مشخص می‌شود. بنابراین هم‌زمان با تصحیح IGRF، به نوعی تصحیح ارتفاعی نیز صورت می‌گیرد. با در اختیار داشتن ۴ پارامتر مذکور، به راحتی IGRF مربوط به هر نقطه در نرم افزار قابل محاسبه می‌باشد. هم‌زمان با محاسبه IGRF اطلاعات میل مغناطیسی^۱ و انحراف از شمال مغناطیسی^۲ به دست می‌آید. پس از محاسبه IGRF و اعمال آن بر روی داده‌های پرواز، نقشه شدت میدان مغناطیسی حاصل می‌شود (شکل ۴-۱۰).



شکل (۴-۱۰) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح IGRF.

۶. تصحیح هم‌ترازسازی

اثرات خطی ناشی از هم‌ترازسازی، در اصل به دلیل اختلاف شدت مغناطیس در نقاط تقاطع خطوط اصلی و کنترلی به وجود می‌آید، که این اختلاف دارای دو منشأ می‌باشد:

^۱ - Inclination
^۲ - Declination

۱- تغییرات بلند مدت میدان که بخشی از آن مربوط به موقعیت خورشید و لکه‌های خورشیدی است و بخشی از آن شامل عوامل ناشناخته‌ای است که از اثرات کیهانی گرفته شده است.

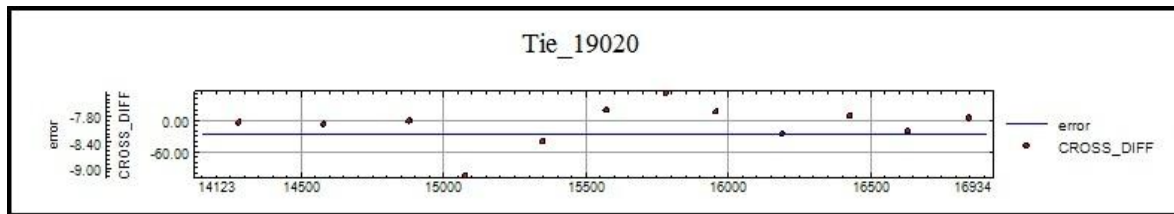
۲- تغییرات ارتفاعی ناشی از عدم رعایت ارتفاع اسمی در حین برداشت.

بنابراین هدف از این تصحیح، حذف اثرات خطی و به صفر رساندن اختلاف شدت مغناطیس در نقاط تقاطع می‌باشد. تغییرات زمانی به دو بخش تغییرات کوتاه مدت و بلند مدت تقسیم می‌گردد، که تغییرات کوتاه مدت در تصحیح روزانه حذف می‌شود. بخشی از تغییرات بلند مدت میدان، وابسته به زمان برداشت داده بوده و با گذشت زمان تغییر می‌کند، توسط تصحیح IGRF حذف می‌گردد. بخش دیگر آن شامل عوامل ناشناخته نظیر اثرات کیهانی می‌باشد، که با وجود اعمال تمام تصحیحات قبلی، در داده‌ها باقی مانده و در نقشه‌های شدت میدان به صورت اثرات خطی نمایان می‌شود. این اثرات خطی که در امتداد خطوط اصلی می‌باشند، باعث بروز خطا در تفسیر نقشه‌های شدت مغناطیس شده، بنابراین حذف آن‌ها الزامی است. جهت این کار، خطوطی عمود بر خطوط اصلی پرواز و با پیروی بسیار کمتر از زمان برداشت خطوط اصلی برداشت می‌گردد.

از آنجا که خطوط کنترلی در مدت زمان کوتاهی در حد ۱۰ روز برداشت می‌شود، تغییرات بلند مدت میدان مغناطیسی روی آن کمتر تأثیر داشته، به همین علت خطوط کنترلی می‌توانند به عنوان مرجعی در نظر گرفته شوند. با اینکه زمان برداشت خطوط کنترلی کوتاه است، اما تاریخ برداشت در مقادیر قرائت شده تأثیر می‌گذارد. به منظور رفع این مشکل، خطوط کنترلی بایستی مستقل از زمان باشند.

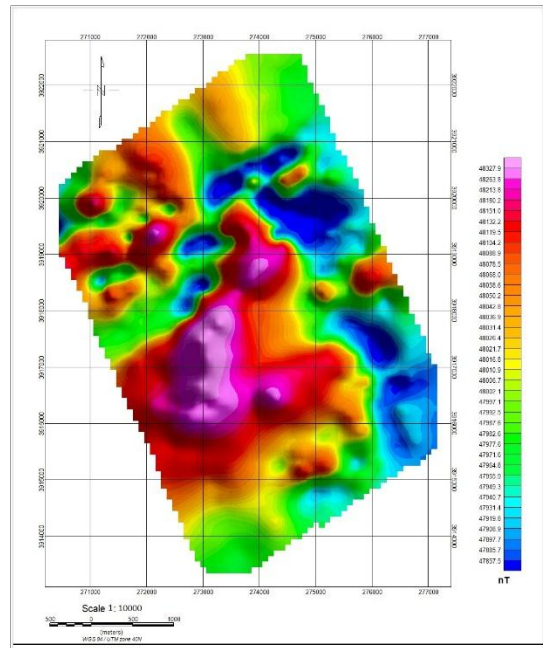
با محاسبه نقاط تقاطع، کانال‌هایی به پایگاه داده پرواز، افزوده می‌گردد، که شامل اختلاف شدت میدان مغناطیسی در نقاط تقاطع بین خطوط اصلی و کنترلی (Cross_Diff)، گرادیان مغناطیسی (Cross_Grad) و مقدار مغناطیس خطوط اصلی در نقطه تقاطع (Cross_Level) می‌باشند. کانال گرادیان مغناطیسی از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد و چنانچه مقادیر آن از ۲۰ نانو تسلا تجاوز کند، موجب بروز خطای بسیار بزرگی می‌شود. هدف از جابه‌جایی خطوط کنترلی، صفر شدن میانگین کانال Cross_Diff برای هر خط کنترلی به طور جداگانه می‌باشد. بدین منظور خطی بر روی داده‌های گرادیان مغناطیسی برازش داده شده،

که مجموع هندسی داده‌های بالا و پایین خط صفر شود. با این عمل داده‌های خطوط کنترلی مستقل از زمان می‌شوند (شکل ۴-۱۱).

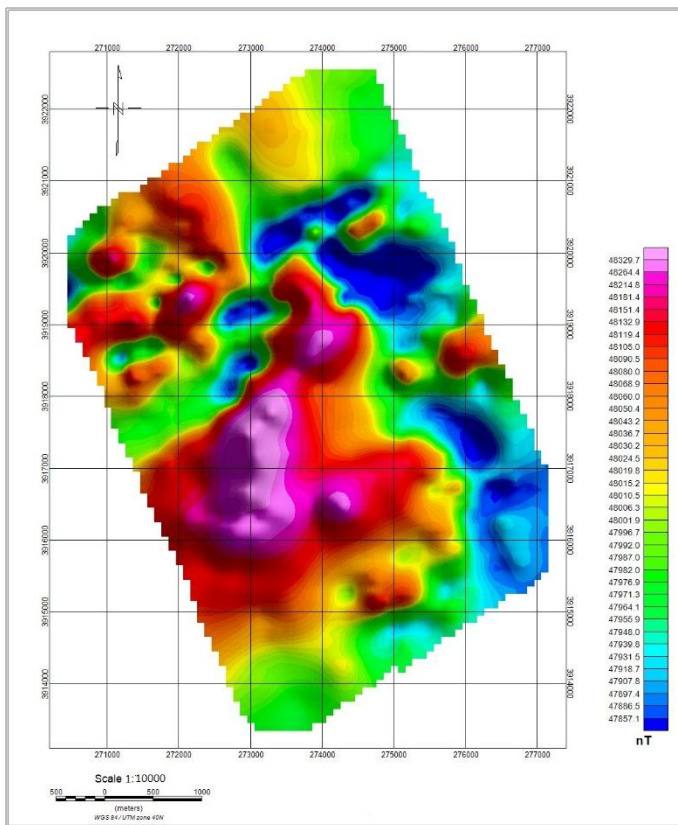


شکل (۴-۱۱) نمونه‌ای از نقاط تقاطع محاسبه شده برای یک خط کنترلی و خط برازش شده بر آن‌ها.

جهت اعمال تصحیح هم‌ترازسازی بر روی داده‌های خطوط اصلی، نظیر قبل نقاط تقاطع محاسبه می‌گردد. مشابه قبل سه کانال Cross_Diff، Cross_Grad، و Cross_Level ساخته شده که مربوط به داده‌های خطوط اصلی است. جهت انتقال خطوط اصلی می‌توان به غیر از برازش خط افقی، منحنی با درجات مختلف نیز برازش داده و مقادیر این کانال بر روی داده‌های پرواز اعمال می‌شود. در این پروژه تا ۳ مرحله تصحیح هم‌ترازسازی تکرار شده است و پس از آن تغییر محسوسی در نقشه‌ها مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفته که اثرات خطی ریز باقی‌مانده مربوط به اثر ریزهم‌ترازسازی می‌باشد. در زیر نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی مربوط به این چند مرحله تصحیح آورده شده است [۳۶] (شکل ۴-۱۲).



(الف)

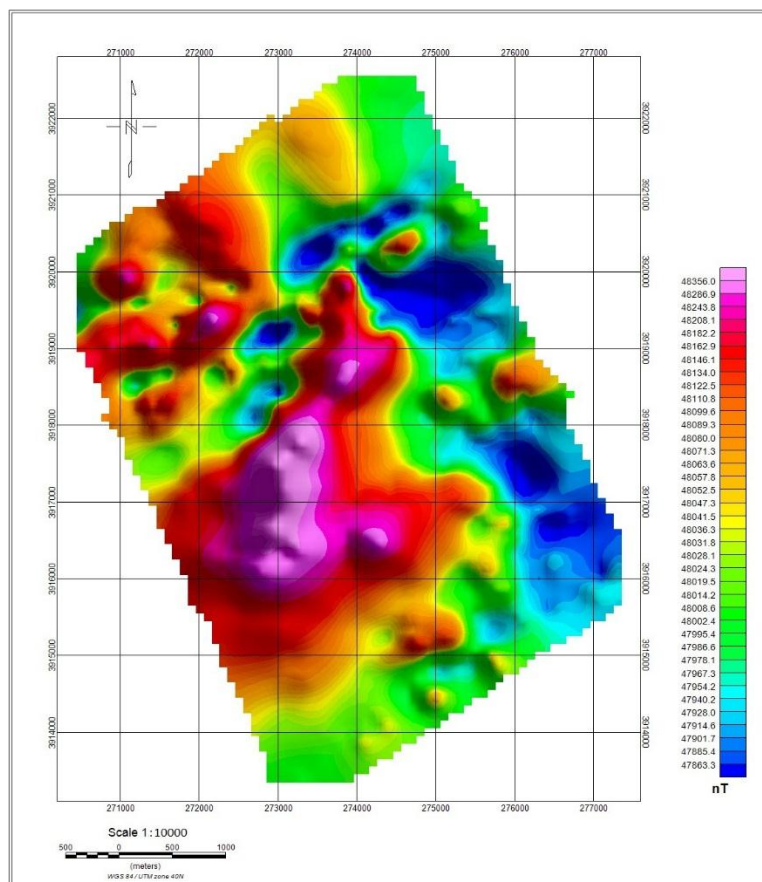


(ب)

شکل (۴-۱۲) (الف) و (ب) نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح هم‌ترازسازی.

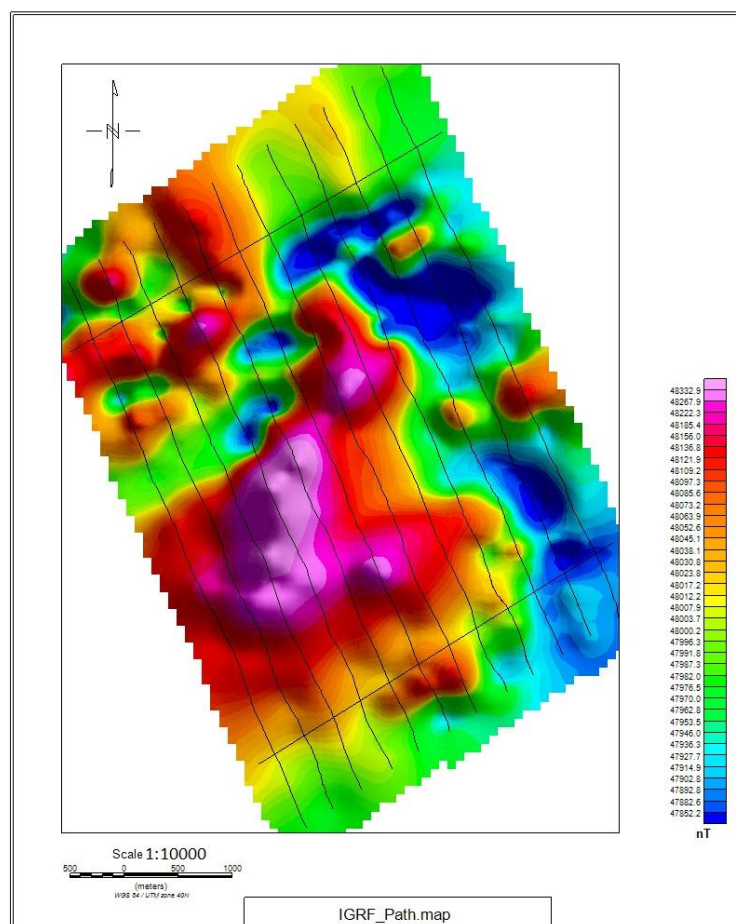
۷. تصحیح ریزهم‌ترازسازی

پس از اعمال تمامی تصحیحات قبل، چنانچه اثرات خطی ریز در نقشه‌ها مشاهده شود مربوط به اثر ریزهم‌ترازسازی می‌باشد. در این پروژه با دو روش این تصحیح صورت گرفته است و پس از مقایسه نتایج به دست آمده، بهترین روش انتخاب شده است. روش اول به صورت سعی و خطا و با دستکاری اعداد کانال Cross_Diff مربوط به خطوط اصلی انجام شده است. با بازی کردن با اعداد این کانال سعی می‌شود اثرات خطی ریز موجود در نقشه شناسایی و حذف گردد. در این روش اعداد غیر معقول و خارج از محدوده حذف می‌شوند. پس از هر بار حذف اعداد، بایستی مجدداً کارهای مرحله هم‌ترازسازی از قبیل محاسبه نقاط تقاطع، اعمال آن بر روی داده‌های خطوط اصلی و برازش خط یا منحنی انجام شود. در نهایت پس از حذف اثرات خطی بهترین نقشه به دست آمده به عنوان نقشه نهایی انتخاب می‌شود، که در زیر نقشه نهایی شدت میدان مغناطیسی آورده شده است [۳۶] (شکل ۴-۱۳).



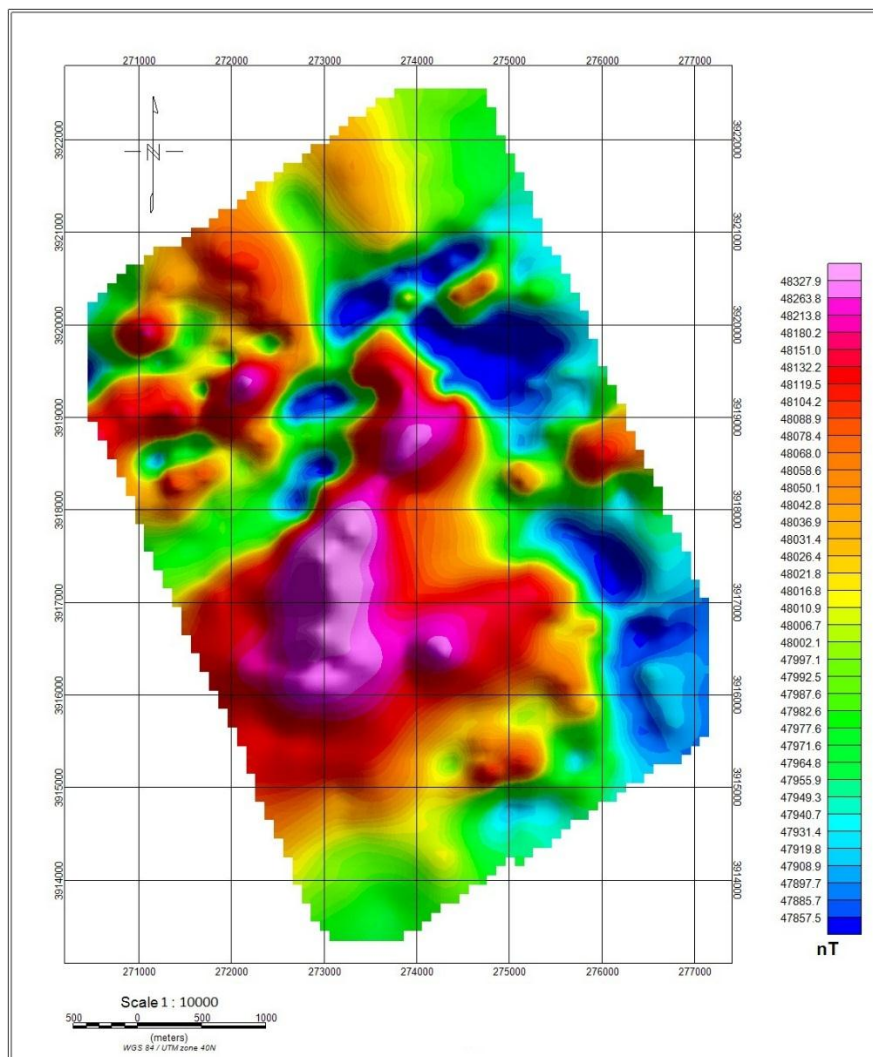
شکل (۴-۱۳) نقشه نهایی شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال تصحیح ریزهم‌ترازسازی.

روش دوم؛ هم‌ترازسازی بدون استفاده از خطوط اصلی می‌باشد. در این روش خطوط کنترلی برداشت شده را در نظر نگرفته و به صورت دستی، دو یا سه خط کنترلی عمود بر خطوط اصلی و بر روی اثرات خطی مربوط به هم‌ترازسازی در نقشه شدت میدان مغناطیسی رسم می‌شود. البته توجه به این نکته ضروری است که خطوط کنترلی نباید بر روی آنومالی مغناطیسی رسم گردند، زیرا به دلیل بحث گرادیان مغناطیسی باعث بروز خطا می‌گردد. پس از رسم خطوط، در پایگاه داده پرواز خطوطی اضافه می‌گردد، که مقادیر آن از داده‌های خطوط اصلی گرفته شده است. با رسم پروفیل این خطوط مشاهده می‌شود که ناهمواری‌های زیادی دارد اما این پستی و بلندی‌ها آنومالی مغناطیسی نمی‌باشد. با اعمال فیلتری قوی بر روی داده‌های خطوط کنترلی روند پروفیل مغناطیسی هموارتر می‌گردد، همچنین نقاط تقاطع محاسبه شده اعداد بسیار کوچکی نمی‌شود (شکل ۴-۱۴).



شکل (۴-۱۴) نقشه شدت میدان مغناطیسی که مسیر خطوط پرواز و خطوط کنترلی فرضی بر روی آن نشان داده شده است.

پس از هموار شدن خطوط کنترلی می‌توان آن‌ها را به عنوان مرجعی مناسب جهت تصحیح هم-ترازسازی در نظر گرفت. در اینجا چون داده‌های خطوط کنترلی همان داده‌های خطوط اصلی می‌باشد، بنابراین نیازی به جابه‌جایی خطوط کنترلی نیست و تصحیح هم‌ترازسازی از مرحله تراز کردن خطوط اصلی صورت می‌گیرد. پس از اتمام کار، جهت رسیدن به نقشه خوب و هموار می‌توان از روش سعی و خطا و بازی با اعداد کمک گرفت. البته عیب این روش این است که، چون خطوط کنترلی حتماً بایستی از روی اثرات خطی مربوط به هم‌ترازسازی عبور داده شود و در صورتی که از روی آنومالی بگذرد، مشکلات و خطای بسیاری به وجود می‌آید. در زیر نقشه به دست آمده از این روش آورده شده است [۳۶] (شکل ۴-۱۵).



شکل (۴-۱۵) نقشه شدت میدان مغناطیس پس از اعمال تصحیح هم‌ترازسازی با استفاده از خطوط کنترلی فرضی.

۴-۴ بررسی نتایج

پس از انجام پردازش‌های لازم بر روی داده‌های مغناطیس هوابرد، جهت بررسی نقشه شدت میدان از فیلترهای مختلفی بهره گرفته شد، که در ادامه به طور مختصر هر کدام شرح داده شده است. از جمله نقشه‌های مورد استفاده جهت بررسی، در این پروژه عبارتند از:

- نقشه شدت کل میدان مغناطیسی (TMI)^۱
- نقشه برگردان به قطب (RTP)^۲
- نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی‌مانده^۳
- نقشه گسترش رو به بالا برگردان به قطب (ادامه فراسو)^۴
- نقشه مشتق قائم مرتبه اول برگردان به قطب^۵
- نقشه مشتق قائم مرتبه دوم برگردان به قطب
- نقشه مشتقات افقی مرتبه اول برگردان به قطب^۶
- نقشه سیگنال تحلیلی شدت کل میدان مغناطیسی (AS)^۷
- نقشه تخمین مرز توده‌های مغناطیسی (روش تیلت)^۸

۴-۴-۱ نقشه شدت کل میدان مغناطیسی

پس از پردازش داده‌های هوابرد مغناطیس، نقشه حاصل شده فاقد هر گونه اثرات کاذب میدان مغناطیسی می‌باشد. این نقشه، نقشه پایه داده‌های مغناطیسی است که مقدار شدت میدان مغناطیسی کل زمین را در نقاط اندازه‌گیری نشان می‌دهد. بررسی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی به مفسر یاری می‌دهد

^۱- Total Magnetic Intensity

^۲- Reduction To magnetic Pole

^۳- Residual Magnetic Field

^۴- Up Ward Continuation

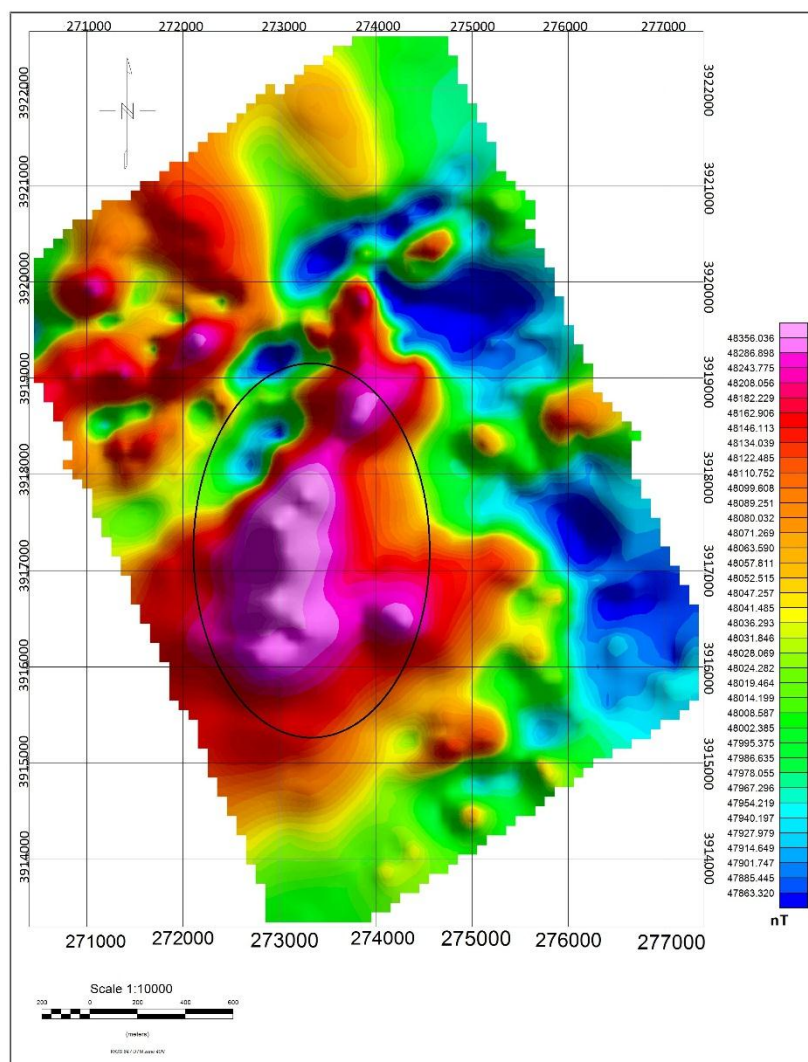
^۵- Derivative in Z-direction

^۶- Derivative in X or Y-direction

^۷- Analytic Signal

^۸- Tilt Derivative

تا مناطق با شدت مغناطیس بالا و پایین را در نقشه مشاهده کرده و با طراحی و اعمال فیلترهای بعدی، مناطق مورد اهمیت از نظر میدان (چه بالا و پایین) را معین کند. آنومالی‌های موجود در این نقشه، آنومالی‌های محلی و منطقه‌ای بوده و جهت بررسی استفاده می‌شود. حداکثر شدت میدان مغناطیس در این منطقه ۴۸۶۹۳ نانو تسلا، پایین‌ترین شدت میدان ۴۷۷۲۰ نانو تسلا و میانگین شدت میدان ۴۸۰۵۸ نانو تسلا می‌باشد. در زیر نقشه شدت کل میدان مغناطیسی آورده شده است (شکل ۴-۱۶).



شکل (۴-۱۶) نقشه شدت کل میدان مغناطیسی.

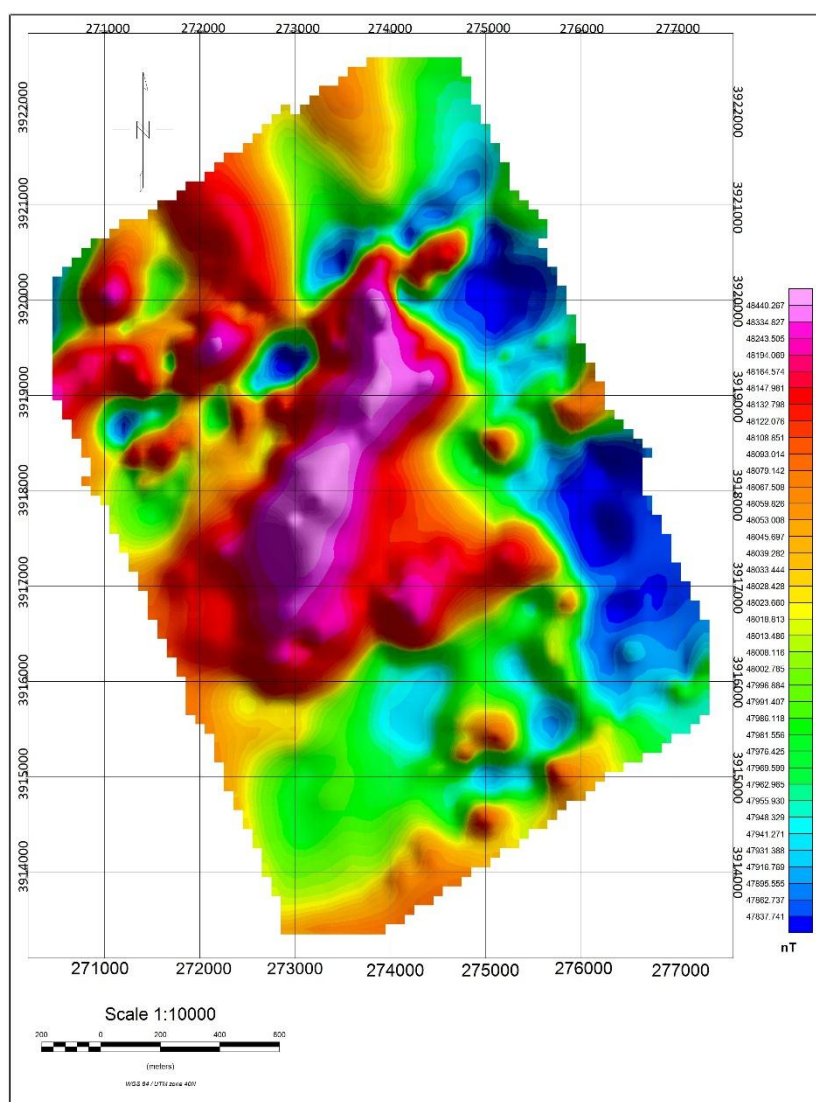
با توجه به شکل، محدوده توده آنومال در این منطقه حدوداً از $x=272000$ تا $x=274500$ و $y=3915500$ تا $y=3919500$ می‌باشد. در این نقشه، اثرات مغناطیس محلی و ناحیه‌ای موجود می‌باشد.

هدف از این پروژه شناسایی آنومالی‌های محلی و سطحی است. شدت میدان مغناطیسی کل در هر نقطه از مواد و ساختارهای مغناطیسی موجود در آن نقطه می‌باشد.

۴-۴-۲ نقشه برگردان به قطب

شکل بی‌هنجاری‌های گرانی به طور طبیعی به پخش جرم بستگی دارد، یا به عبارتی آنومالی‌های گرانی روی مرکز جرم تمرکز دارند، اما این موضوع در مورد داده‌های مغناطیسی صحت ندارد. بی‌هنجاری‌های مغناطیسی دارای پیچیدگی‌های اضافی می‌باشند، زیرا علاوه بر پخش مکانی مغناطیدگی، به جهت میدان دربرگیرنده یا زمینه^۱ نیز بستگی دارند. یک توده مغناطیسی مشخص با توجه به موقعیت‌های مختلف زمین، آنومالی‌های مختلفی از خود نشان می‌دهد. به دلیل تفاوت در Inc و Dec نقاط مختلف، مؤلفه‌های میدان مغناطیسی زمین در نقاط مختلف متغیر است. جهت بررسی صحیح آنومالی‌ها بایستی بردارهای مؤلفه میدان مغناطیسی زمین با مؤلفه‌های توده مغناطیسی هم جهت شوند. فیلتر RTP دارای دو قابلیت مهم می‌باشد: ۱- بی‌هنجاری‌های افقی را روی مرکز مغناطیدگی جابه‌جا می‌کند. ۲- آنومالی‌های نامتقارن را متقارن می‌کند. پس از اعمال فیلتر، مؤلفه‌های میدان مغناطیسی زمین با مؤلفه‌های توده آنومال موازی و در جهت مرکز مغناطیدگی زمین قرار می‌گیرند. با این کار پیک آنومالی مغناطیسی بر روی توده مغناطیسی قرار می‌گیرد [۳۷]. در زیر نقشه شدت میدان حاصل از اعمال فیلتر RTP آورده شده است (شکل ۴-۱۷).

^۱- Ambient field

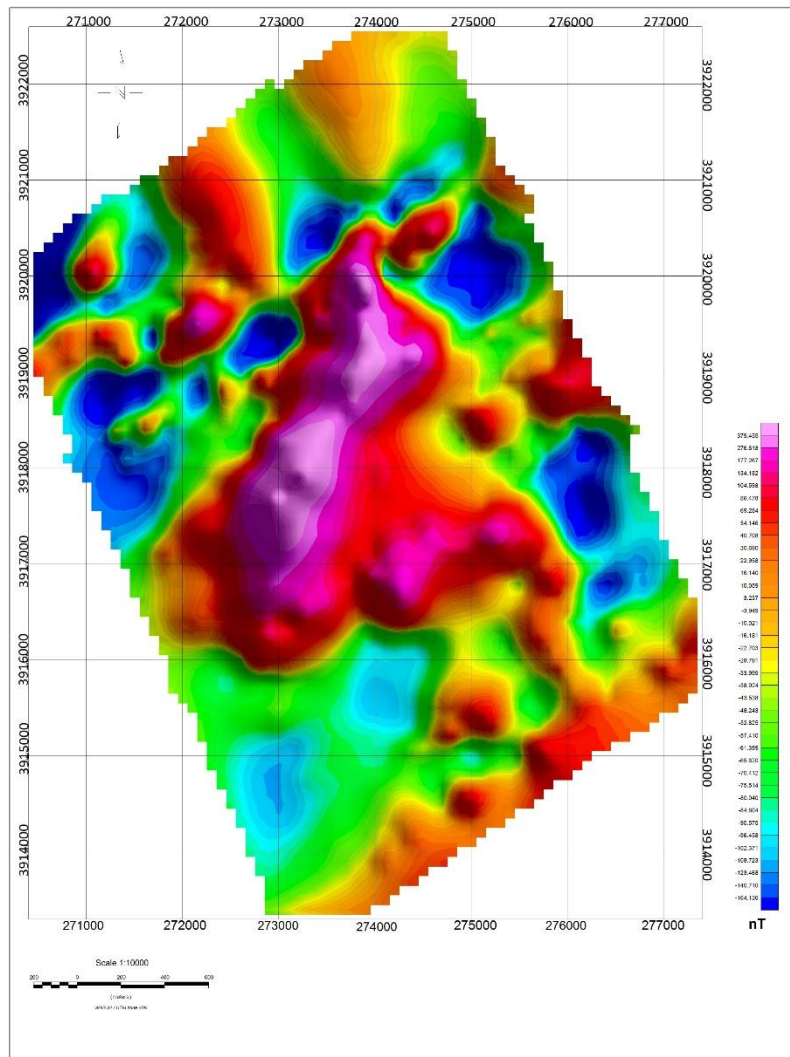


شکل (۴-۱۷) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب.

۴-۳-۴ نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی مانده

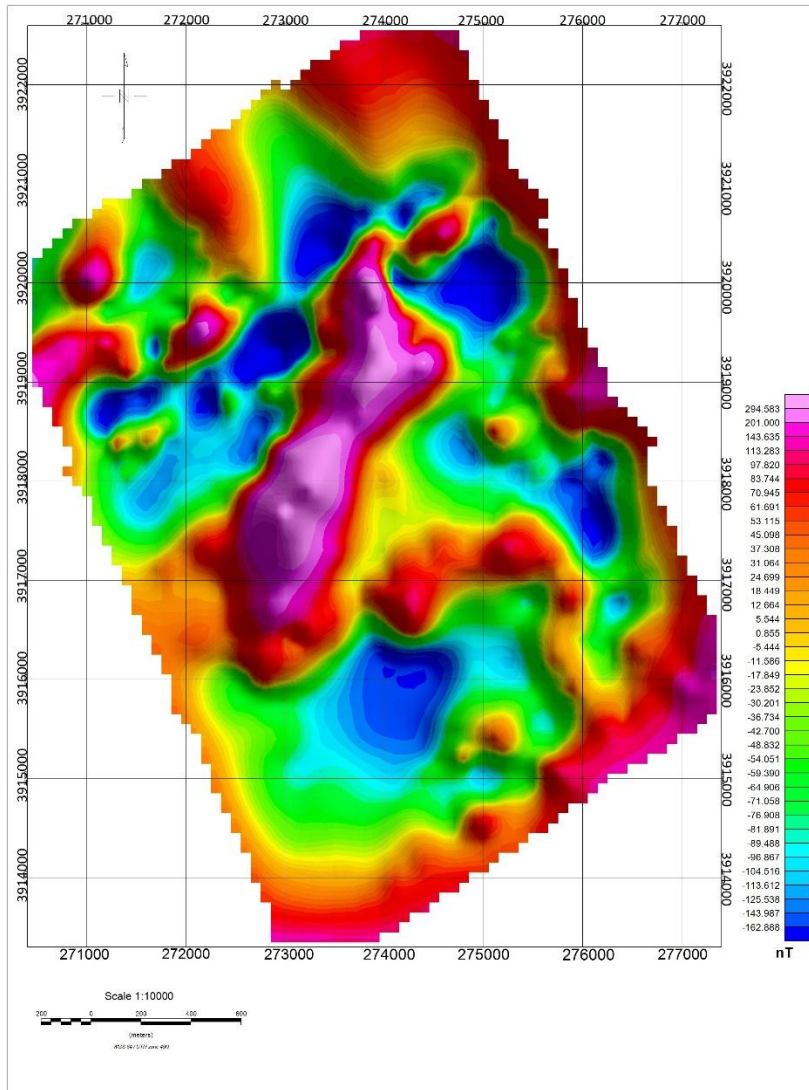
اگر اثرات میدان مغناطیسی ناشی از گوشته و هسته یا به عبارتی آنومالی‌های ناحیه‌ای از نقشه شدت کل میدان مغناطیسی حذف گردد، اثرات باقی مانده، ناشی از آنومالی‌های محلی و اجسام نزدیک به سطح زمین می‌باشد. یکی از روش‌های به دست آوردن نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی مانده، عبور سطوحی با درجات مختلف بر روی نقشه TMI می‌باشد. به عنوان مثال، شکل (۴-۱۹) نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی مانده، حاصل از عبور روند سطحی مرتبه اول بر روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در برخی از مناطق نقشه، آنومالی‌ها نسبت به نقشه برگردان به قطب، شارپ‌تر

یا ضعیف تر شده‌اند. این تغییرات به دلیل حذف اثرات آنومالی ناحیه‌ای می‌باشد. شدت میدان مغناطیسی در قسمت مرکزی نقشه، بالا مشاهده شده، که احتمالاً به علت وجود یک یا چند توده با خاصیت مغناطیسی شدید می‌باشد (شکل ۴-۱۸).



شکل (۴-۱۸) نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی مانده.

بر روی نقشه شدت کل میدان، روند سطحی درجه ۲ نیز عبور داده شده، که در شکل (۴-۱۹) نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۹) نقشه شدت میدان مغناطیسی باقی مانده، که از عبور روند سطح درجه ۲ بر روی نقشه شدت کل میدان حاصل شده است.

از آنجا که در نقشه برگردان به قطب منطقه مورد بررسی، یک دو قطب مغناطیسی دیده می شود و پیچیدگی زیادی وجود ندارد، روند سطحی درجه ۱ ترجیح داده می شود.

۴-۴-۴ فیلتر گسترش رو به بالا (ادامه فراسو)

اساس این روش بر مبنای تبدیل فوریه می‌باشد و داده‌ها در این روش، به یک سطح بالاتر از سطح اندازه‌گیری شبیه‌سازی می‌شوند. با این کار، تمامی طول موج‌ها تضعیف شده، اما میزان میرایی طول موج‌های کوتاه‌تر نسبت به طول موج‌های بلندتر، بیشتر است. به همین دلیل با انتقال سطح اندازه‌گیری داده به سطوح بالاتر اثر آنومالی ناحیه‌ای بارزتر می‌گردد. این فیلتر آنومالی‌های محلی را به عنوان نویز شناخته و با افزایش مرتبه فیلتر آن‌ها را حذف می‌نماید تا جایی که تنها اثرات مربوط به آنومالی‌های ناحیه‌ای قابل رؤیت باشند. با افزایش مرتبه فیلتر، تنها دامنه آنومالی‌ها تغییر کرده و روند آن‌ها ثابت می‌ماند. از جمله کاربردهای این فیلتر عبارتند از:

✓ هم‌سنگ سازی پایگاه‌های داده که برای مغناطیس هوابرد و داده‌های ناهمگون ارتفاعی مفید است.

✓ برجسته سازی اثرات آنومالی‌های با منشأ عمیق نسبت به آنومالی‌های سطحی و امکان مطالعات

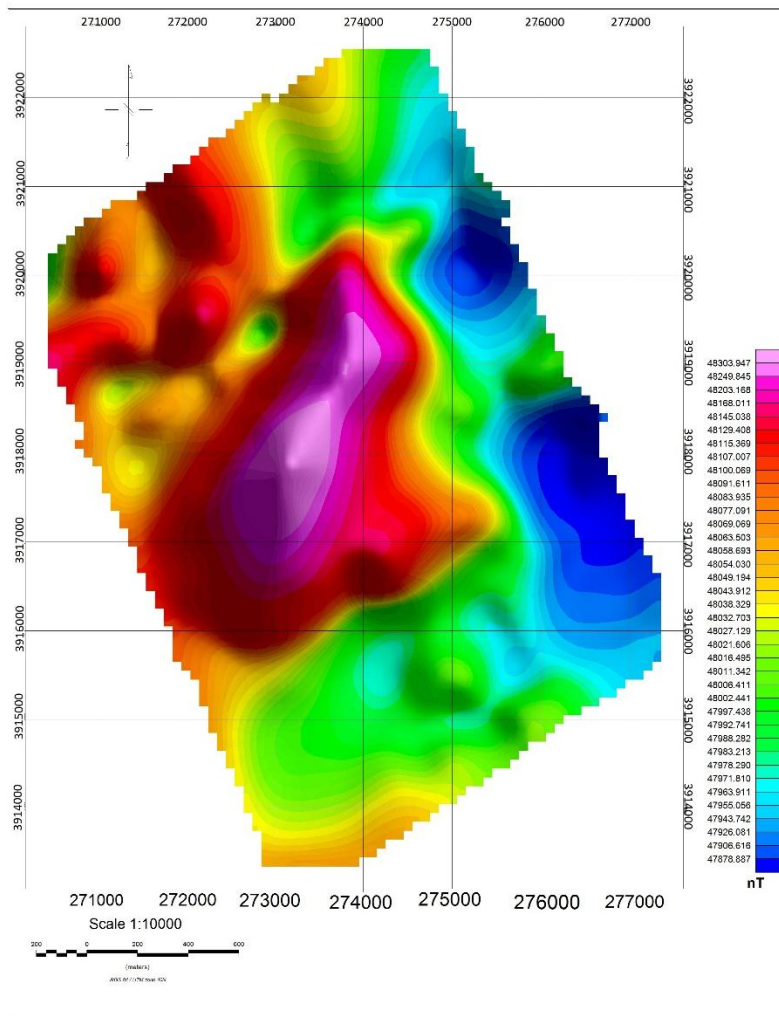
ناحیه‌ای، جداسازی و تفکیک آنومالی‌های مغناطیسی.

فیلتر ادامه فراسو جهت تخمین عمق کاربرد نداشته بلکه با استفاده از آن، عمق آنومالی‌ها نسبت به

یکدیگر قابل مقایسه می‌باشند. از مزیت‌های این روش، تشخیص وجود یک یا چند توده آنومال در نقشه‌های

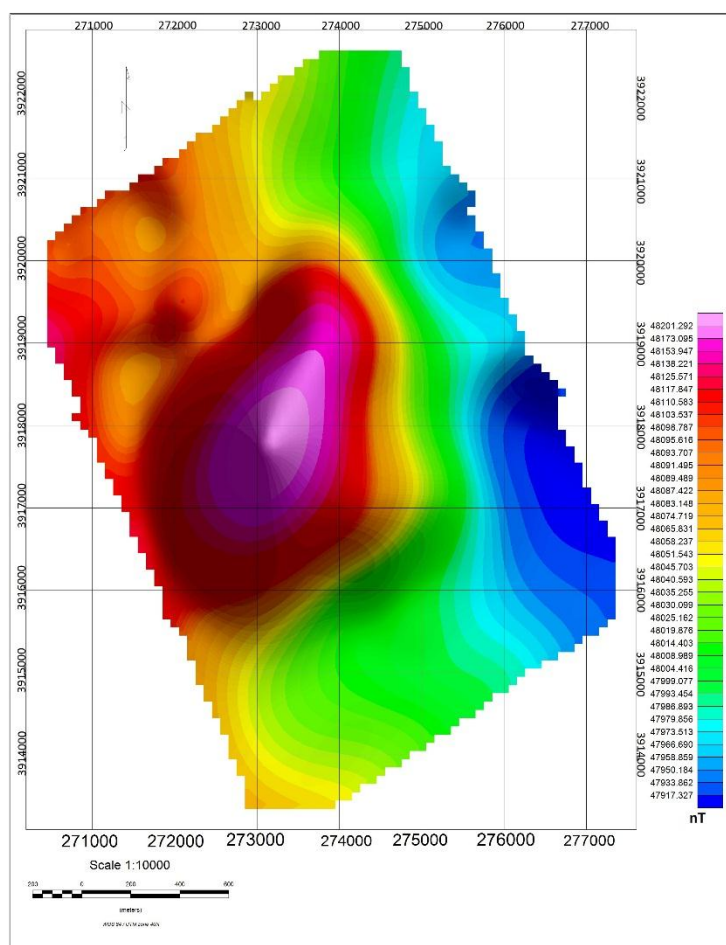
شدت میدان می‌باشد [۳۷]. در این پروژه، فیلتر ادامه فراسو در چندین ارتفاع مختلف بر روی داده‌ها اعمال

شده است، که ۳ نمونه از نقشه‌های به دست آمده در ادامه آورده شده است (شکل ۴-۲۰).



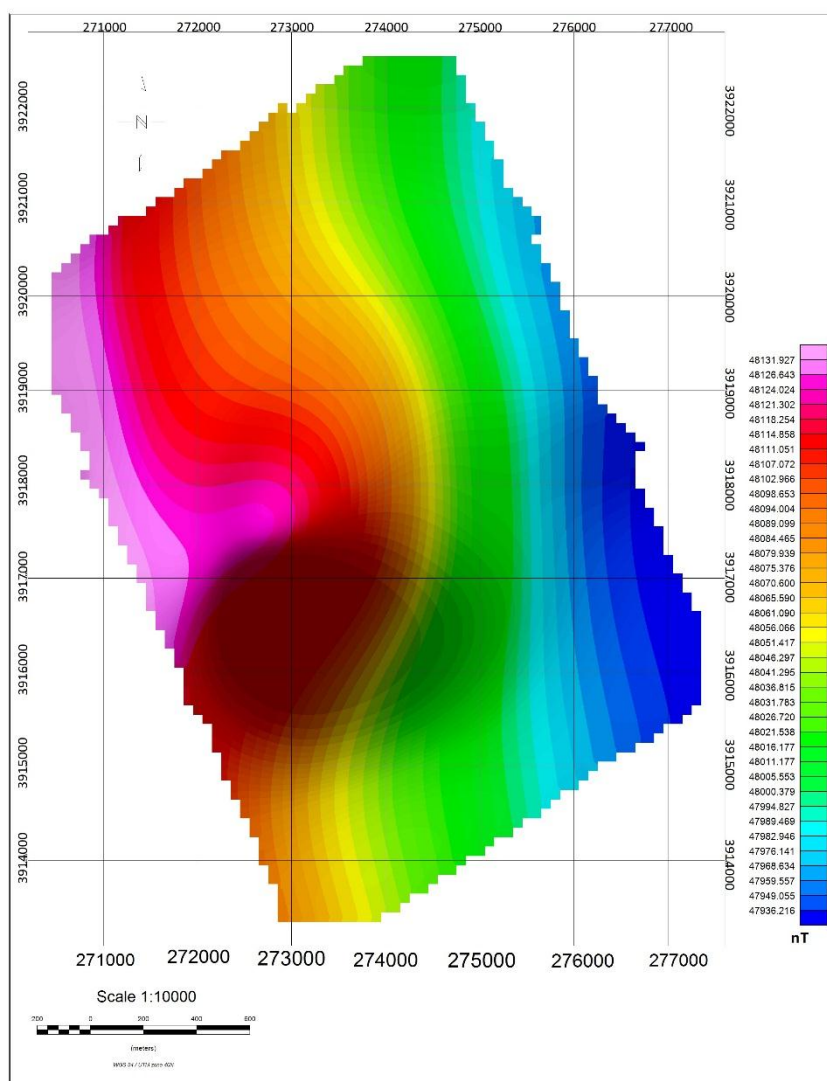
شکل (۴-۲۰) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۲۰۰ متری.

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، روند آنومالی مغناطیسی تغییر نکرده و تنها محدوده آنومالی کوچک‌تر از قبل شده است. بنابراین در این سطح، آثار آنومالی محلی همچنان قابل رؤیت می‌باشد. حذف برخی از آنومالی‌های موجود در نقشه نشان‌دهنده سطحی بودن منشأ آنومالی می‌باشد. پس از آن، سطح اندازه‌گیری داده به ارتفاعات ۳۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ متر انتقال داده شد، که در زیر نقشه شدت میدان حاصل از فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۶۰۰ متر آورده شده است (شکل ۴-۲۱).



شکل (۴-۲۱) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۶۰۰ متری.

با توجه به شکل، در این سطح محدوده آنومالی نسبت به ارتفاع ۲۰۰ متر کوچکتر شده است. آنومالی مغناطیسی موجود در قسمت مرکزی نقشه، گسترش نسبتاً خوبی در عمق داشته و در نواحی شرق نقشه روند آنومالی ناحیه‌ای بارز می‌باشد. این فیلتر در ارتفاعات ۷۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر نیز بر داده‌های شدت میدان اعمال گردیده است، در ارتفاعات بالاتر از ۱۰۰۰ متر تنها اثرات آنومالی منطقه‌ای قابل رؤیت می‌باشد. بنابراین با اعمال این فیلتر، در نقشه‌های تهیه شده الگوی ساختارهای عمیق و ناحیه‌ای بارزتر می‌گردند. شکل (۴-۲۲)، نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۱۵۰۰ متری می‌باشد.



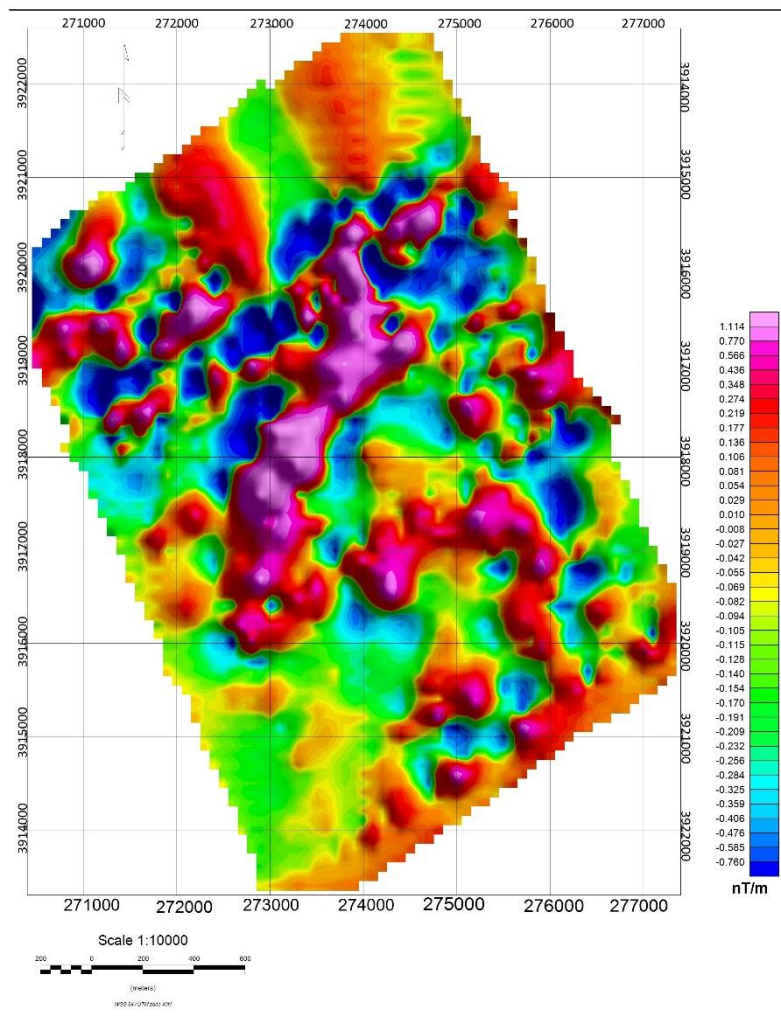
شکل (۴-۲۲) نقشه شدت میدان مغناطیسی پس از اعمال فیلتر ادامه فراسو در ارتفاع ۱۵۰۰ متری.

با توجه به شکل بالا در این سطح، اثری از آنومالی‌های محلی دیده نمی‌شود و مناطق با شدت میدان مغناطیس شدید مربوط به آنومالی‌های ناحیه‌ای یا به عبارتی ناشی از آنومالی‌های گوشته و هسته می‌باشد.

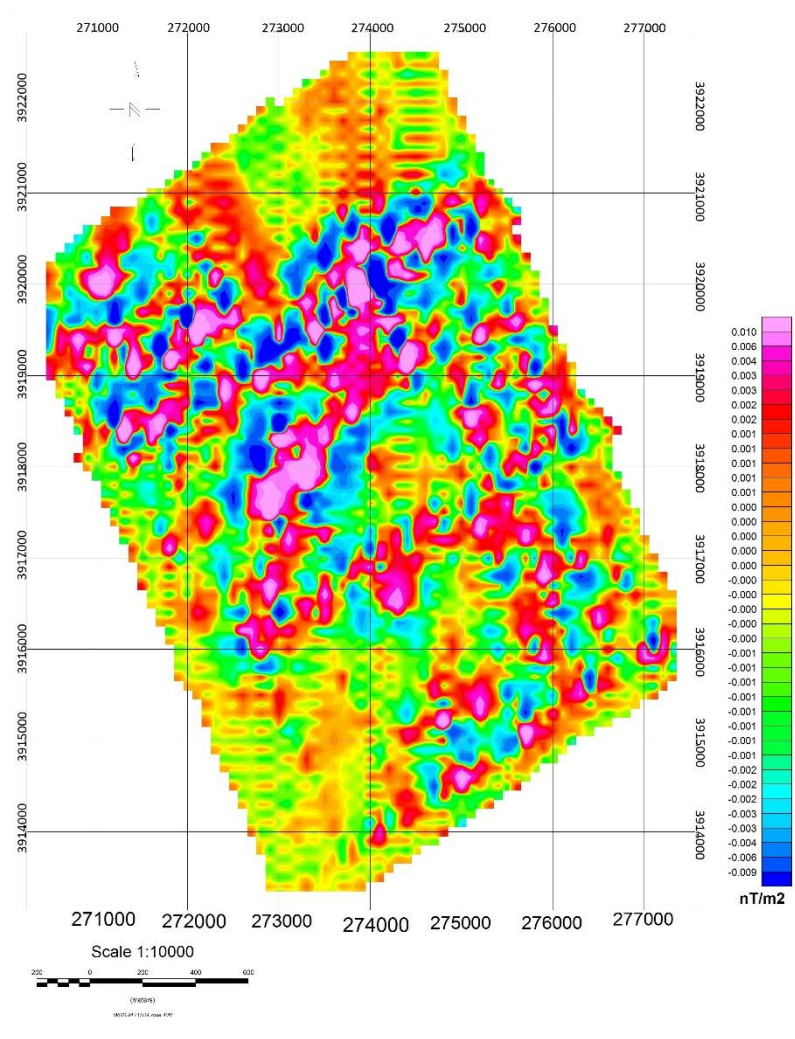
۴-۵- فیلتر مشتق قائم میدان (گرادیان قائم)

آهنگ تغییرات در عمق توسط فیلتر گرادیان قائم بررسی می‌گردد. به ازای هر بار اعمال مشتق بر روی داده‌های پتانسیل، آنومالی‌ها نسبت به حالت قبل قوی‌تر و بارزتر می‌گردند. از آنجا که اثر آنومالی‌های عمیق در گرادیان‌ها سریع از بین می‌رود، جهت بررسی آنومالی‌های با منشأ سطحی ترجیح داده می‌شوند. با اعمال فیلتر گرادیان، هر چه منشأ آنومالی عمیق‌تر، اثرات آن پهن‌تر و کمتر می‌باشد، برعکس هر چه

اجسام نزدیک به سطح باشند، آنومالی‌ها شارپ‌تر و محدوده مربوط به آن‌ها واضح‌تر می‌گردند. از بین مشتقات قائم، مشتق مرتبه اول جهت بررسی اجسام نزدیک به سطح مناسب‌تر می‌باشد، زیرا تفکیک آنومالی توسط مشتق مرتبه اول راحت‌تر و حداکثر محدوده مربوط به آنومالی‌ها تعیین می‌گردد. در کل، روش مشتق قائم سعی در شناساندن ساختارهای کم عمق نسبت به ساختارهای عمیق دارد؛ نظیر: تاقدیس، ناودیس و گسل. در زیر نقشه‌های مشتق قائم مرتبه اول و دوم بر روی داده‌ها اعمال شده، که در زیر آورده شده است [۳۷] (شکل ۴-۲۳ و ۴-۲۴).



شکل (۴-۲۳) نقشه مشتق قائم مرتبه اول.

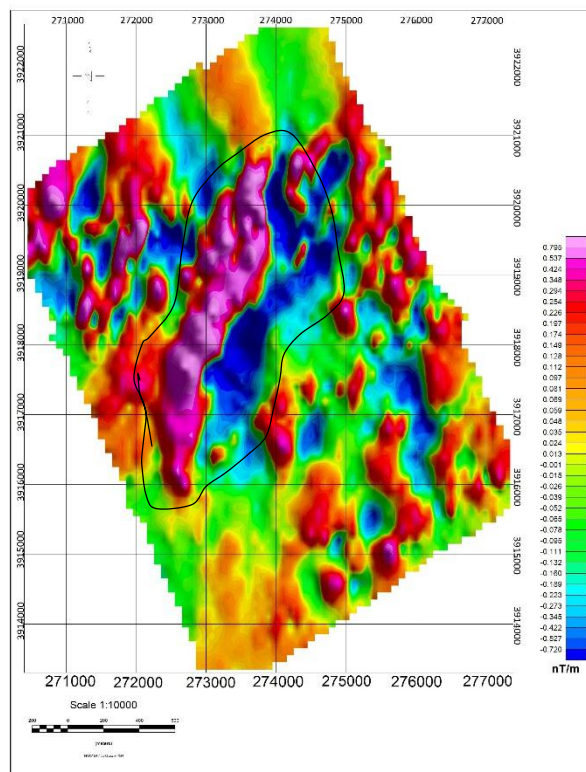


شکل (۴-۲۴) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم.

همان طور که در شکل (۴-۲۳) ملاحظه می شود، در قسمت مرکزی نقشه محدوده آنومالی مغناطیسی محدودتر و بارزتر شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که این آنومالی ناشی از منابع نزدیک به سطح زمین می باشد و میزان نویز به وجود آمده اندک می باشد. در شکل (۴-۲۴) نقشه دارای نویز و خطای فراوان شده، به طوری که شکل و محدوده آنومالی مشخص نمی باشد. در مناطقی که به هم ریختگی آنومالی زیاد باشد، مشتق مرتبه دوم مناسب نبوده و لبه آنومالی ها را به خوبی مشخص نمی شوند. در واقع مشتقات قائم حساس به نویز بوده و هر چه مرتبه مشتق بالاتر، میزان نویز تولید شده هم افزایش می یابد. در نتیجه خروجی های حاصل شده با خطای بیشتری همراه است.

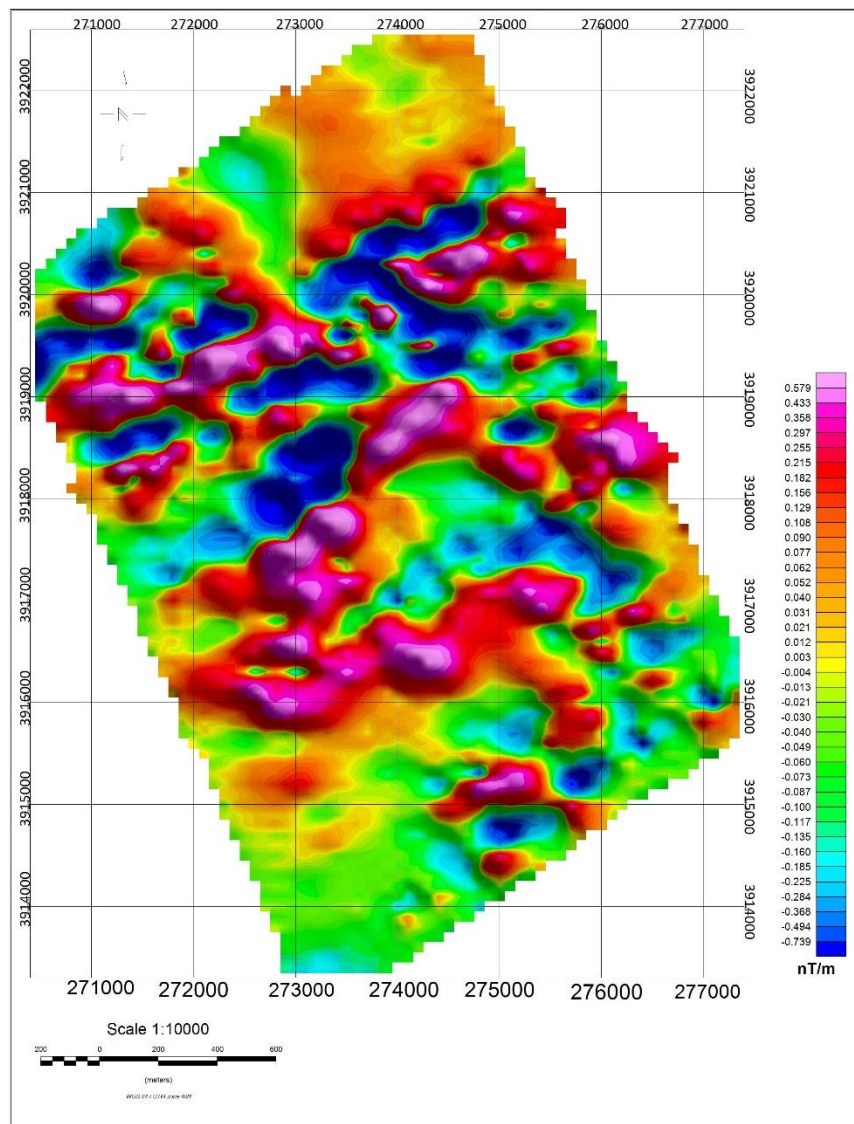
۴-۴-۶ مشتقات جهتی مرتبه اول

در صورتی که توده آنومال گسترش جانبی و قائم داشته باشد، جهت بررسی و آشکارسازی آن، علاوه بر مشتق قائم، از مشتقات جهتی نیز بهره گرفته می‌شود. مشتقات جهتی باعث بارزتر شدن لبه‌های آنومالی می‌گردد. منظور از لبه آنومالی مرز بین اختلاف شدت مغناطیسی بین زمینه و توده آنومال می‌باشد. گسترش جسم در هر جهتی بیشتر باشد، گرادیان افقی در همان راستا بیشترین اثر آنومالی را نشان می‌دهد. در این فیلتر، مناطقی از نقشه که آنومالی تغییر جهت می‌دهد، نشان‌دهنده مرز جسم نیست بلکه مرکز آنومالی را نشان می‌دهد، این تغییر جهت در نقشه‌های شدت میدان مغناطیس به صورت تغییر رنگ از ماکزیمم مقدار به مینیمم مقدار مشخص می‌شود. نقشه مشتق افقی میدان مغناطیسی در راستای X در شکل (۴-۲۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، تقریباً در قسمت مرکزی نقشه، آنومالی مغناطیسی وجود داشته و مرز بین بیشینه آنومالی (قسمت بنفش رنگ) و مینیمم آنومالی (قسمت آبی رنگ)، مرکز آنومالی می‌باشد.



شکل (۴-۲۵) نقشه مشتق افقی میدان مغناطیسی در راستای X.

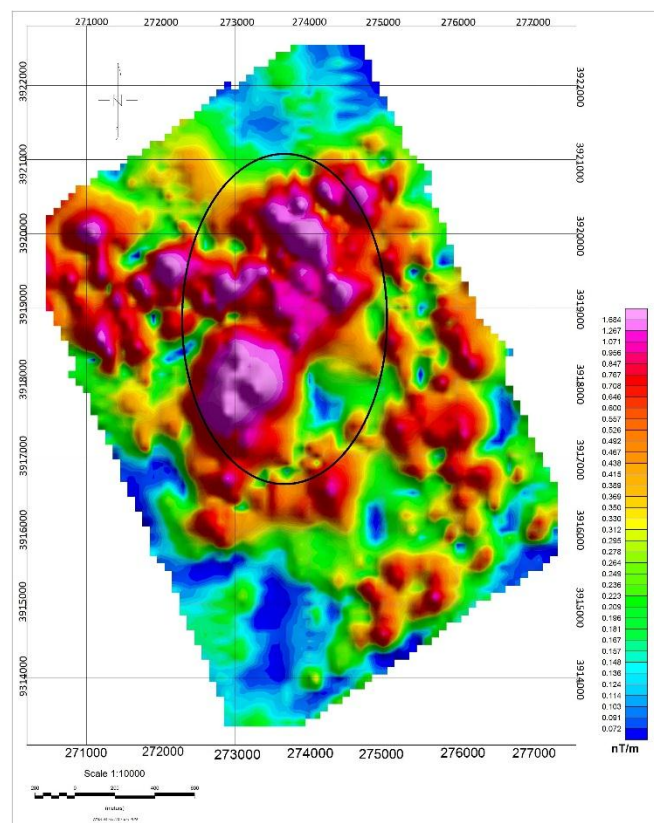
شکل (۴-۲۶) مشتق افقی در راستای Y می‌باشد، که بر روی داده‌های شدت میدان اعمال شده است. در این شکل نیز تقریباً در قسمت مرکزی نقشه، آنومالی مغناطیسی وجود دارد. از آنجا که گرادیان افقی در راستای X بیشترین اثر آنومالی را دارد، بنابراین گسترش آنومالی در راستای X نسبت به راستای Y بیشتر می‌باشد. با مقایسه نقشه‌های حاصل از مشتقات افقی و قائم میدان مغناطیس، می‌توان دریافت که گسترش عمقی توده آنومال نسبت به گسترش افقی بیشتر می‌باشد و از بین دو جهت طولی و عرضی، گسترش طولی بیشتر است.



شکل (۴-۲۶) نقشه مشتق افقی شدت میدان مغناطیسی در راستای Y.

۷-۴-۴ سیگنال تحلیلی شدت کل میدان مغناطیسی (AS)

این فیلتر یکی از بهترین و قدیمی‌ترین آشکارسازهای لبه آنومالی می‌باشد. فیلتر سیگنال تحلیلی ترکیب مشتقات افقی و قائم است، بنابراین جهت آشکارسازی مرز آنومالی‌های سطحی مناسب‌تر می‌باشد. این فیلتر محل شکستگی‌ها، ناپیوستگی‌ها و مرز کنتاکت‌ها را مشخص می‌کند، به طوری که مرز لبه‌ها به خوبی شارپ و واضح می‌شوند. نقص فیلتر سیگنال تحلیلی، محدودیت آن نسبت به عمق می‌باشد. در مغناطیس به علت استفاده از فیلتر RTP، پیک آنومالی نشان‌دهنده مرز و لبه آنومالی نبوده، بلکه روی مرکز آنومالی قرار می‌گیرد و مرکز آنومالی شارپ‌تر می‌گردد. در زیر نقشه سیگنال تحلیلی شدت کل میدان مغناطیسی آورده شده است [۳۷] (شکل ۴-۲۷).

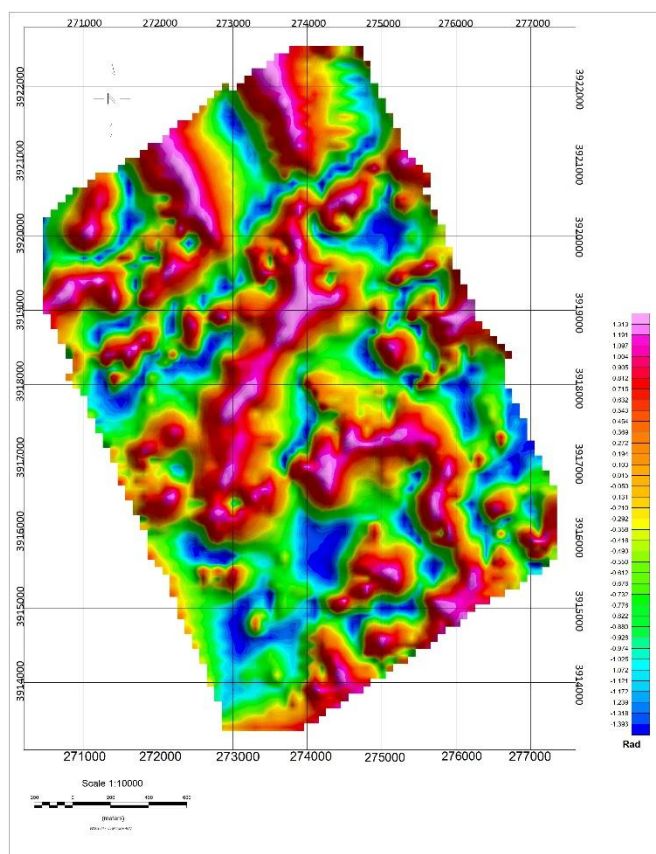


شکل (۴-۲۷) نقشه سیگنال تحلیلی شدت کل میدان مغناطیسی.

با توجه به شکل، محدوده آنومالی مغناطیسی در مرکز نقشه با رنگ‌های نارنجی، قرمز و بنفش مشخص بوده و نقاط با بیشینه مقدار (رنگ بنفش) مربوط به مرکز آنومالی می‌باشد.

۴-۴-۸ فیلتر تخمین مرز توده‌های مغناطیسی (روش تیلت)

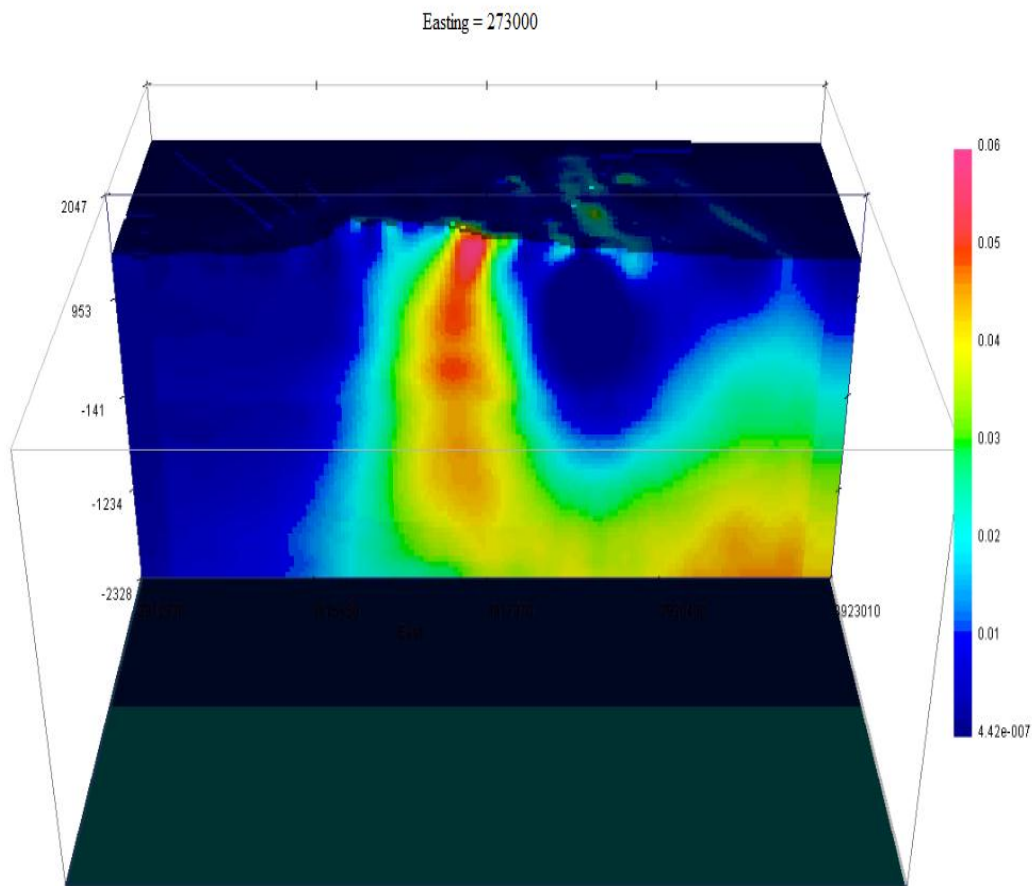
فیلتر تیلت شبیه فیلتر سیگنال تحلیلی است که لبه آنومالی‌ها را بارزتر می‌کند ولی در مقایسه با سیگنال تحلیلی نسبت به عمق محدودیت کمتری دارد. جهت نمایش مرز آنومالی‌های عمیق، از زاویه انحراف یا تیلت استفاده می‌شود. فیلتر زاویه تمایل، بر روی آنومالی مقادیری مثبت نشان داده، روی مرز آنومالی صفر و در سایر محل‌ها منفی می‌باشد. این مقادیر منفی به منزله خارج از بودن از محدوده جسم می‌باشد. اگر هدف اکتشاف توده‌های آنومالی باشد، روش سیگنال تحلیلی گزینه مناسبی است و اگر ساختارها از نوع گسل، لایه‌ای و رگه‌ای باشد، فیلتر تیلت و مشتقات آن مناسب می‌باشد. در زیر نقشه فیلتر تیلت آورده شده است (شکل ۴-۲۸). با توجه به شکل، مرز آنومالی‌ها با رنگ زرد مشخص شده است که مقادیر صفر را نشان می‌دهد و در مرکز نقشه مناطق به رنگ قرمز و بنفش. نمایان‌گر مرکز آنومالی می‌باشد.



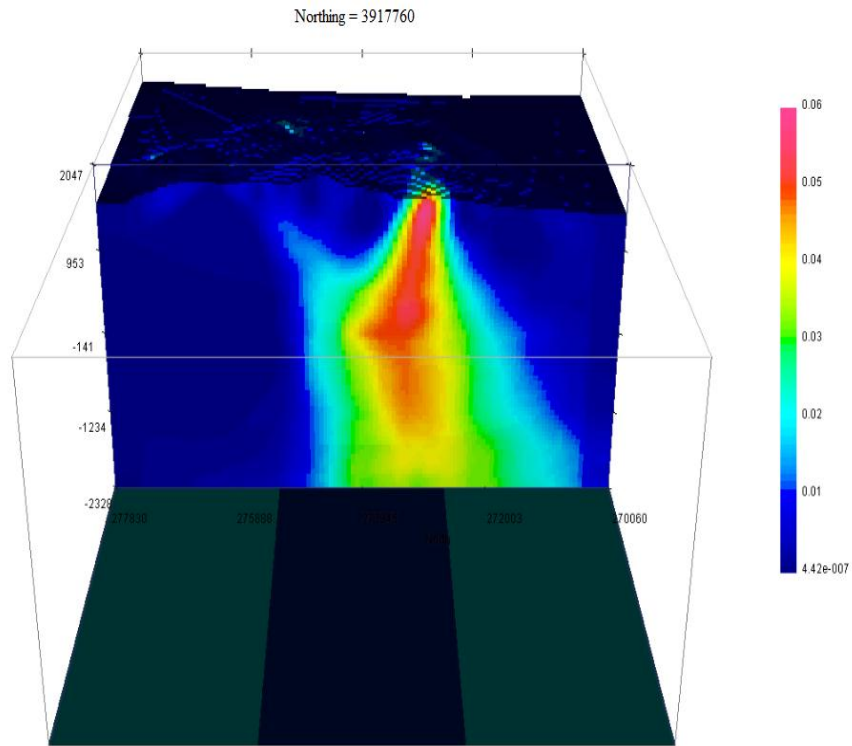
شکل (۴-۲۸) نقشه تخمین مرز آنومالی به روش تیلت.

۴-۵ مدل سازی داده های مغناطیس هوابرد

علاوه بر فیلترهای مذکور در بخش قبل، جهت بررسی شکل و هندسه توده های آنومال محدوده مورد مطالعه می توان از روش های مدل سازی کمک گرفت. در این پروژه، داده های مغناطیس با استفاده از نرم افزار Mag3D مدل سازی شده است. یکی از پارامترهای مهم مدل، خودپذیری مغناطیسی می باشد، که محدوده تغییرات آن برای مدل به دست آمده از $4.42e^{-0.07}$ تا 0.06 می باشد. در زیر مدل حاصل شده با زوایای دید متفاوت آورده شده است (شکل ۴-۲۹ و ۴-۳۰).

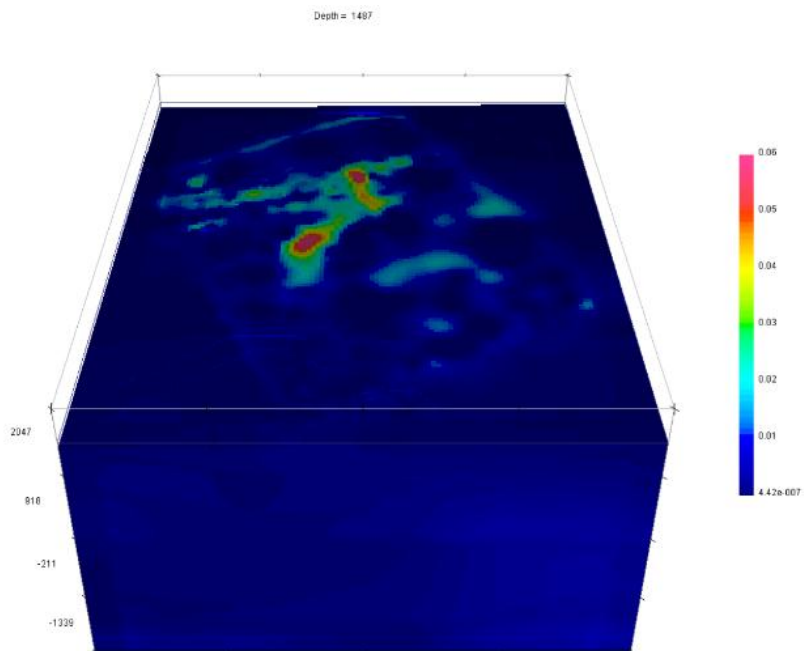


(الف)



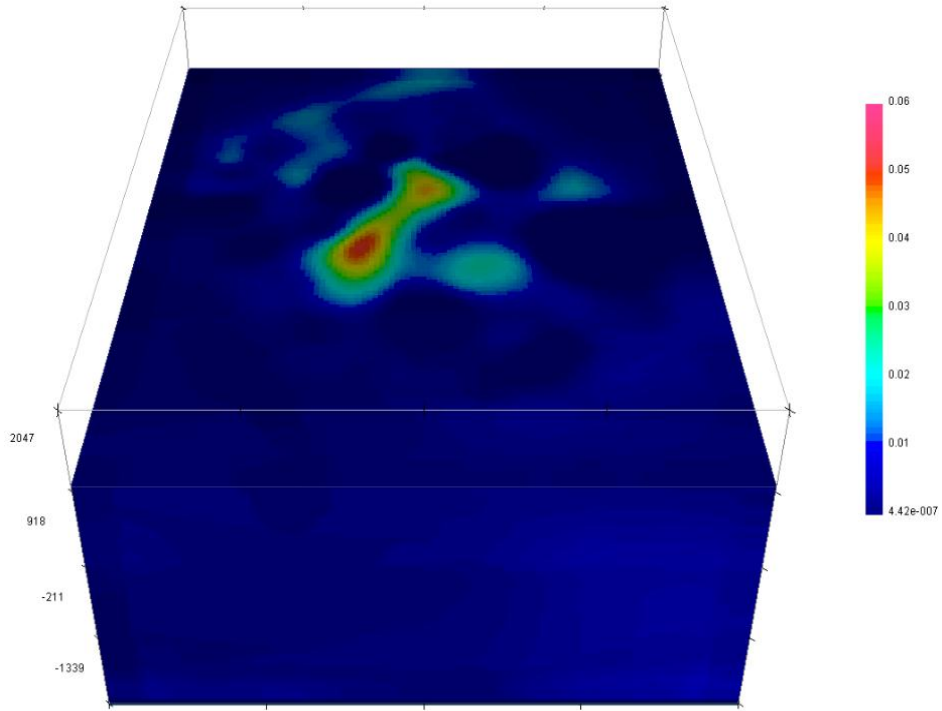
(ب)

شکل (۴-۲۹) نمایش سه بعدی مدل به دست آمده از دو جهت دید شرق و شمال.

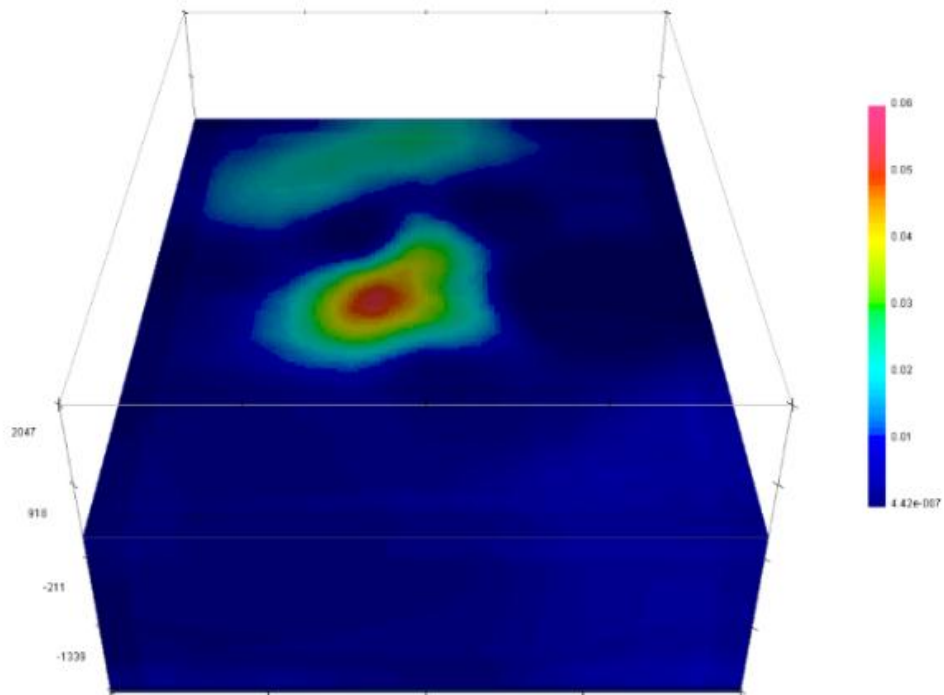


(الف)

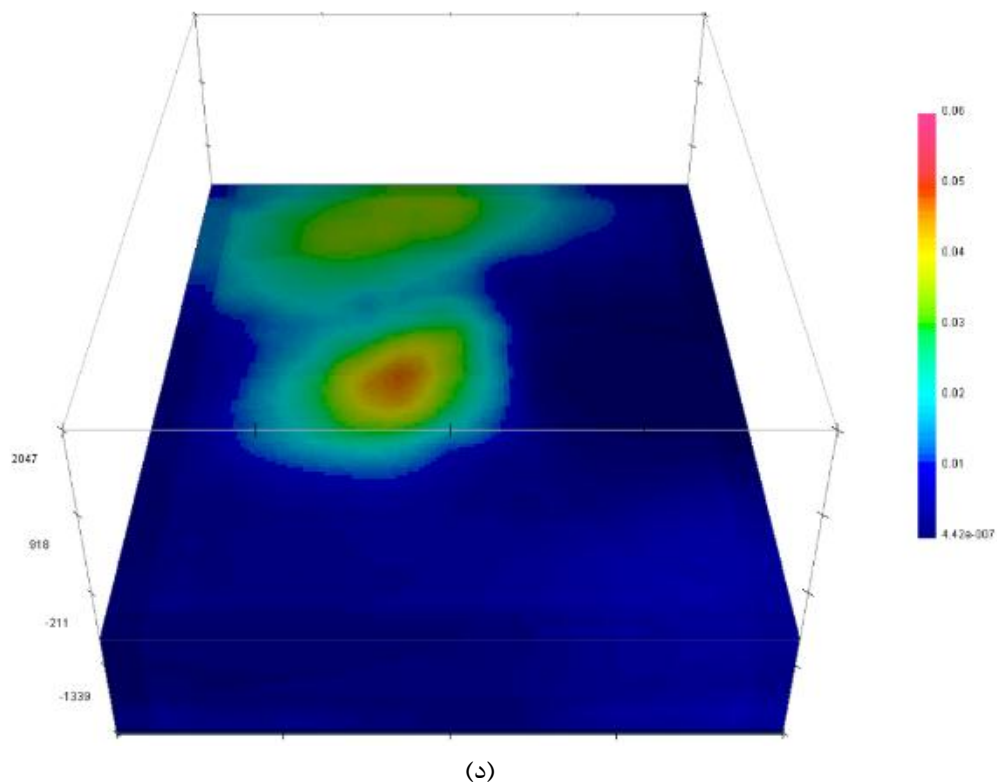
Depth = 997



(a)



(b)



شکل (۴-۳۰) نمایش سه بعدی مدل به دست آمده در جهت دید از بالا.

با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی، مشاهده می گردد توده آنومال گسترش عمقی و قائم بیشتری نسبت به دو جهت طولی و عرضی دارد و گسترش آن در راستای X بیشتر از راستای Y می باشد. این مطلب در نتایج حاصل از فیلترهای مشتق قائم و جهتی به وضوح مشخص بود. با افزایش عمق، اثر آنومالی مغناطیسی دیگری نمایان می گردد، که دارای شدت میدان مغناطیسی ضعیفتری نیز می باشد.

فصل پنجم

پردازش داده‌های رادیومتری هوابرد منطقه رباعی

۱-۵ مقدمه

در این فصل، داده‌های رادیومتری منطقه رباعی مورد پردازش قرار گرفته است، که شامل بررسی کنترل کیفی و پردازش داده‌های رادیومتری می‌باشد، که در ادامه هرکدام به ترتیب شرح داده شده است. و در نهایت نتایج به دست آمده مورد بررسی و تفسیر قرار گرفته است.

۲-۵ کنترل کیفی داده‌های هوابرد رادیومتری منطقه رباعی

قبل از پردازش داده، بایستی از سلامت دستگاه اسپکترومتر یا مساعد بودن شرایط محیطی هنگام برداشت اطمینان حاصل شود، که کنترل کیفی داده‌های رادیومتری گفته می‌شود و از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

کنترل کیفی داده‌های رادیومتری شامل دو بخش می‌باشد، که عبارتند از:

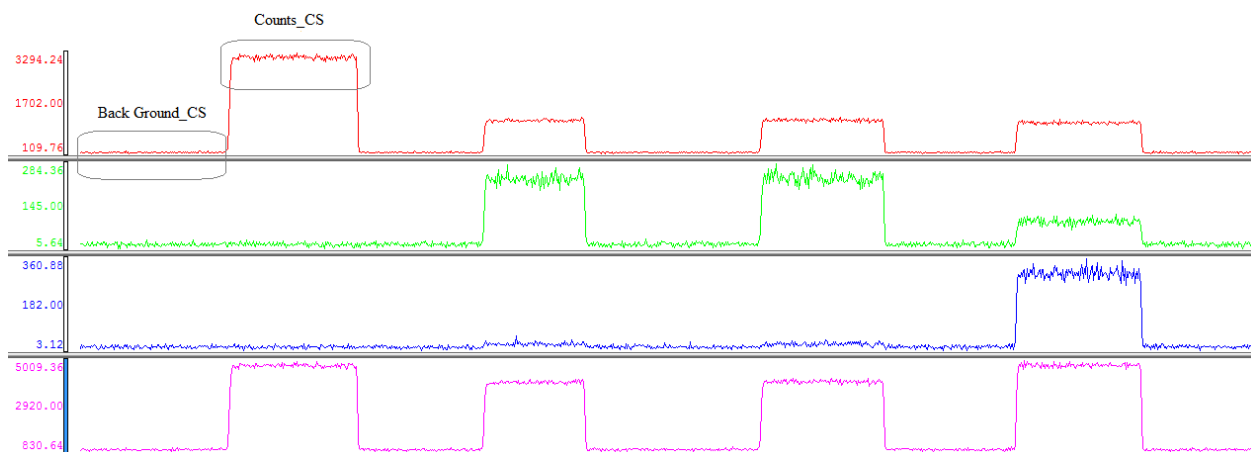
۱- کنترل سلامت تجهیزات رادیومتری

۲- کنترل مناسب بودن شرایط محیطی جهت برداشت داده‌های رادیومتری.

۱-۲-۵ کنترل سلامت تجهیزات رادیومتری

الف) بررسی Source Check

همان‌طور که در فصل ۳ ذکر شد، در این تست، ۳ منبع رادیواکتیو عنصر سزیم (^{137}Cs)، اورانیوم (^{238}U) و توریم (^{232}Th) وجود داشته، که پس از انجام هر بار اندازه‌گیری، داده‌های به دست آمده در قالب یک data base ذخیره می‌شوند. شکل زیر مربوط به پروفیل‌های رسم شده از یکبار قرائت سه منبع می‌باشد (شکل ۱-۵).



شکل (۵-۱) پروفیل‌های رسم شده از یک قرائت در تست Source Check.

در شکل (۵-۱) پروفیل‌ها از بالا به پایین به ترتیب مربوط به عناصر سزیم، اورانیوم، توریم و شمارش کل می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، عنصر با انرژی بیشتر، سهمی در شمارش عناصر با انرژی کمتر نیز دارد. به عنوان مثال، توریم که دارای انرژی بیشتری نسبت به دو عنصر دیگر است، هنگام قرائت سزیم و اورانیوم، سهمی را به خود اختصاص داده و روی آن‌ها تأثیر گذاشته است. علت این امر، مربوط به خطای تداخل پنجره می‌باشد.

پس از رسم پروفیل، جدولی تهیه شده و اطلاعات مربوط به هر اندازه‌گیری در آن درج می‌گردد، که شامل اطلاعاتی نظیر تاریخ برداشت، میانگین شمارش سه منبع مذکور و میانگین شمارش زمینه مربوط به هر عنصر می‌باشد. جدول (۵-۱) بخشی از داده‌های تست Source Check را نشان می‌دهد. در این جدول، از تفاضل مقدار اندازه‌گیری هر عنصر از مقدار زمینه مربوط به آن، مقدار اصلاح شده عنصر به دست می‌آید، Average میانگین شمارش هر عنصر نسبت به روزهای قبل و % Deviation، درصد انحراف معیار در هر اندازه‌گیری می‌باشد.

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، انحراف بالای ۰.۵٪ در Source Check دارای خطا بوده و باید ریشه یابی گردد.

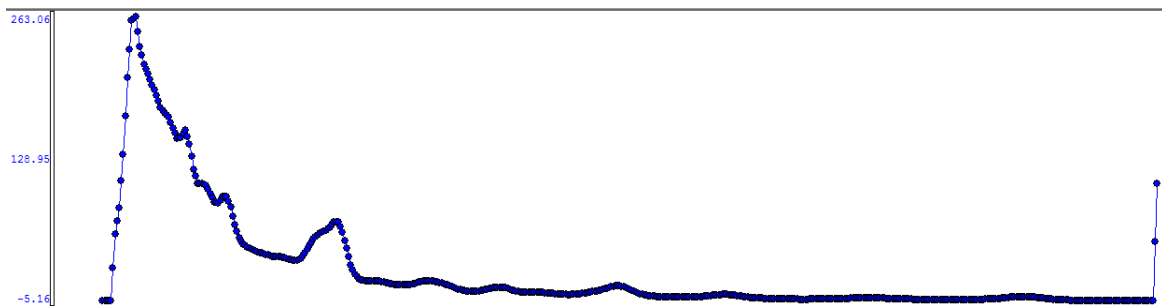
با توجه به نتایج به دست آمده، تمامی درصد‌های انحراف کمتر از ۰.۵٪ می‌باشد و اندازه‌گیری‌ها قابل قبول می‌باشد.

جدول (-D) جدول جرعة ٤ أسابيع

Sample Check	Background (TC CPS)	Cesium (CS CPS)				Uranium (U CPS)				Thorium (TH CPS)									
		Counts	Average	%Dev	Backg	Counts	Cs_samp	Average	%Dev	Backg	Counts	U_samp	Average	%Dev	Backg	Counts	TH_samp	Average	%Dev
20140321	Pre	959.65	959.65	0.00	206.70	3091.14	2884.44	2884.44	0.00	24.73	234.25	209.52	209.52	0.00	23.26	286.86	263.60	263.60	0.00
20140321	Post	998.11	978.88	1.96	213.17	3115.86	2902.69	2893.57	0.32	26.97	229.46	202.50	206.01	-1.71	25.17	295.03	269.86	266.73	1.17
20140323	Pre	988.11	981.95	0.63	210.50	3098.39	2887.90	2891.68	-0.13	25.87	218.79	192.92	201.65	-4.33	24.89	292.02	267.13	266.86	0.10
20140323	Post	996.37	985.56	1.10	209.94	3086.71	2876.76	2887.95	-0.39	25.52	229.92	204.40	202.34	1.02	24.92	293.77	268.85	267.36	0.56
20140324	Pre	986.39	985.72	0.07	211.43	3046.01	2834.59	2877.28	-1.48	25.01	228.18	203.17	202.50	0.33	23.17	293.12	269.95	267.88	0.77
20140324	Post	1008.15	989.46	1.89	213.04	3113.07	2900.03	2881.07	0.66	26.26	232.41	206.15	203.11	1.50	23.90	291.80	267.90	267.88	0.01
20140325	Pre	985.38	988.88	-0.35	206.97	3145.16	2938.19	2889.23	1.69	24.82	233.22	208.40	203.87	2.22	23.89	287.34	263.44	267.25	-1.42
20140325	Post	1010.38	991.57	1.90	212.58	3086.04	2873.46	2887.26	-0.48	26.86	234.49	207.63	204.34	1.61	24.73	301.47	276.74	268.43	3.09
20140326	Pre	985.95	990.94	-0.50	207.88	3117.27	2909.39	2889.72	0.68	24.48	230.84	206.36	204.56	0.88	23.98	294.66	270.68	268.68	0.74
20140326	Post	1041.63	996.01	4.58	223.02	3115.79	2892.77	2890.02	0.10	27.94	233.37	205.44	204.65	0.38	24.68	299.91	275.23	269.34	2.19
20140408	Pre	1004.91	996.82	0.81	212.20	3120.14	2907.94	2891.65	0.56	24.54	232.24	207.70	204.93	1.35	24.56	296.28	271.72	269.55	0.80
20140408	Post	1006.59	997.64	0.90	215.84	3092.70	2876.86	2890.42	-0.47	26.79	233.53	206.75	205.08	0.81	24.42	300.52	276.10	270.10	2.22
20140409	Pre	997.86	997.65	0.02	210.59	3148.31	2937.71	2894.06	1.51	25.58	235.27	209.69	205.43	2.07	23.91	295.85	271.94	270.24	0.63
20140409	Post	1020.03	999.25	2.08	214.99	3103.74	2888.75	2893.68	-0.17	25.92	233.97	208.06	205.62	1.18	24.54	298.05	273.51	270.47	1.12
20140410	Pre	997.50	999.13	-0.16	210.20	2970.28	2760.08	2884.77	-4.32	25.68	236.77	211.09	205.98	2.48	24.65	290.18	265.54	270.15	-1.71
20140410	Post	1012.86	999.99	1.29	216.55	3135.22	2918.66	2886.89	1.10	26.16	237.08	210.92	206.29	2.24	25.39	300.70	275.31	270.47	1.79
20140411	Pre	1004.67	1000.27	0.44	215.44	3096.40	2880.96	2886.54	-0.19	25.73	232.82	207.09	206.34	0.37	24.87	297.73	272.86	270.61	0.83
20140411	Post	1020.78	1001.41	1.93	216.45	3139.14	2922.69	2888.55	1.18	26.28	232.68	206.41	206.34	0.03	24.26	293.88	269.62	270.55	-0.34
20140413	Pre	996.57	1001.15	-0.46	211.88	3084.23	2872.35	2887.70	-0.53	25.17	233.53	208.36	206.45	0.93	24.81	294.71	269.89	270.52	-0.23
20140413	Post	986.69	1000.43	-1.37	207.44	3126.22	2918.78	2889.25	1.02	25.88	235.98	210.09	206.63	1.67	23.69	297.40	273.71	270.68	1.12
20140414	Pre	985.16	999.70	-1.45	206.77	3080.24	2873.47	2888.50	-0.52	26.25	234.76	208.51	206.72	0.87	24.20	296.75	272.55	270.77	0.66
20140414	Post	999.02	999.67	-0.07	212.10	3102.04	2889.94	2888.56	0.05	26.31	232.57	206.26	206.70	-0.21	24.35	296.43	272.08	270.83	0.46
20140415	Pre	993.54	999.40	-0.59	212.05	3110.86	2898.81	2889.01	0.34	25.49	230.94	205.45	206.65	-0.58	24.45	296.06	271.61	270.86	0.28
20140415	Post	1011.33	999.90	1.14	216.20	3109.54	2893.34	2889.19	0.14	26.06	232.17	206.10	206.62	-0.25	24.51	296.26	271.75	270.90	0.31
20140416	Pre	997.34	999.80	-0.25	208.83	3112.59	2903.76	2889.77	0.48	24.14	232.07	207.93	206.68	0.61	24.24	299.52	275.29	271.07	1.55
20140416	Post	993.70	999.56	-0.59	212.31	3094.24	2881.93	2889.47	-0.26	25.32	234.54	209.22	206.77	1.18	24.70	298.88	274.18	271.19	1.10
20140418	Pre	989.01	999.17	-1.02	210.82	3095.10	2884.27	2889.28	-0.17	25.05	230.79	205.74	206.73	-0.48	24.25	295.31	271.06	271.19	-0.05

ب) بررسی محل فوتوپیک‌های انرژی (کالیبراسیون انرژی)

با توجه به مطالب فصل ۳، به بیشینه مقدار طیف انرژی هر عنصر، Major Peak گفته می‌شود، که مربوط به یک کانال طیفی از اسپکترومتر می‌باشد. محل Major Peak در یک طیف‌سنج سالم برای هر عنصر ثابت بوده و تغییر آن به منزله خرابی دستگاه است. هدف این تست، بررسی تغییر در محل فوتوپیک‌های انرژی در طول پروژه می‌باشد. این کار با استفاده از داده‌های برداشت شده از مرحله Source Check انجام می‌شود، به طوری که منحنی طیفی عناصر برای هر اندازه‌گیری رسم می‌گردد (شکل ۲-۵).



شکل (۲-۵) نمونه‌ای از منحنی طیفی عناصر در یک اندازه‌گیری.

با استفاده از این منحنی محل فوتوپیک انرژی عناصر پتاسیم، اورانیوم، توریم و میزان انرژی آن کانال تعیین و در جدولی درج می‌گردد جدول (۲-۵). جهت یافتن انرژی مربوط به هر کانال از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\frac{x}{\alpha} = \frac{255}{3000} \quad (۱-۵)$$

که در آن، x شماره کانال و α انرژی مربوط به کانال می‌باشد.

جدول (٥-٧) جدول مربوط به تست کالکریستالون انرژی کاشعای رادیومتری.

		K (1460.8)						Ur (1764.7)						Th (2614.7)					
Date	PRE/POST	Theo E	Theo C	Peak E	Peak C	E diff	C diff	Theo E	Theo C	Peak E	PEAK C	E diff	C diff	Theo E	Theo C	Peak E	Peak C	E diff	C diff
20140321	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140321	Post	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140323	Pre	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140323	Post	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140324	Pre	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140324	Post	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140325	Pre	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140325	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140326	Pre	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140326	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140408	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1752.941	149	-11.765	-1	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140408	Post	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140409	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140409	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140410	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140410	Post	1458.8	124	1458.824	124	0.000	0	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140411	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140411	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1752.941	149	-11.765	-1	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140413	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140413	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140414	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0
20140414	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140415	Pre	1458.8	124	1470.588	125	11.788	1	1764.7	150	1776.471	151	11.765	1	2611.8	222	2623.529	223	11.7647	1
20140415	Post	1458.8	124	1470.588	125	11.765	1	1764.7	150	1764.706	150	0.000	0	2611.8	222	2611.765	222	0.0000	0

در این جدول، ستون‌های Theo E و Theo C به ترتیب انرژی عنصر در Major Peak و شماره کانال مربوط به آن در اسپکترومتر از لحاظ تئوری بوده، که این مقادیر در کاتالوگ دستگاه ذکر شده است. ستون‌های Peak E و Peak C مربوط به انرژی و شماره کانال Major Peak تعیین شده از روی منحنی طیفی می‌باشد. طبق دستور العمل آژانس، جابه‌جایی بیش از ± 2 کانال در محل فوتوپیک‌های انرژی با خطا همراه بوده و علت بایستی ریشه‌یابی گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده از این تست، تمامی جابه‌جایی‌ها کمتر از ۲ کانال بوده است. بنابراین دستگاه از این نظر کالیبره می‌باشد و خطایی وجود ندارد.

ج) محاسبه تفکیک‌پذیری دستگاه

همان‌طور که بیان شد، این تست جهت بررسی میزان تفکیک‌پذیری دستگاه طیف‌سنج صورت می‌گیرد. در این مرحله نیز از نمودار طیفی عناصر، شکل (۵-۲) کمک گرفته می‌شود. در این تحقیق از عنصر توریم جهت بررسی درصد تفکیک‌پذیری استفاده شده است. مقادیر FWHM و Channel Max در نرم‌افزار به راحتی قابل تعیین است. شکل (۵-۳) قسمتی از منحنی طیفی عناصر بوده، که مربوط به عنصر توریم می‌باشد. طبق رابطه (۳-۱)، درصد تفکیک‌پذیری برای تمامی اندازه‌گیری‌ها محاسبه شده و در جدولی درج می‌گردد (جدول ۵-۳).

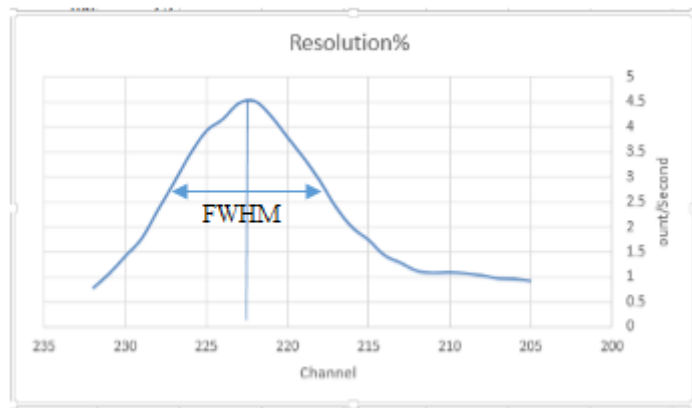
طبق دستورالعمل آژانس، $R(\%)$ مربوط به عنصر توریم در حالت نرمال بین ۶-۴ درصد و حتماً کوچکتر از ۷ باشد.

با توجه به جدول (۵-۳)، تمامی تفکیک‌پذیری‌های محاسبه شده در محدوده، نرمال بوده و اندازه‌گیری‌ها فاقد خطا می‌باشند. بنابراین دستگاه قابلیت تفکیک‌پذیری خوبی دارد.

جدول (۳-۵) جدول مربوط به محاسبه Resolution

Date	Pre-Post	Th Resolution%
20140321	Pre	5.8
20140321	Post	5.8
20140323	Pre	5.8
20140323	Post	5.8
20140324	Pre	6.3
20140324	Post	5.4
20140325	Pre	5.8
20140325	Post	5.4
20140326	Pre	5.8
20140326	Post	5.8
20140408	Pre	5.4
20140408	Post	5.9
20140409	Pre	5.4
20140409	Post	5.4
20140410	Pre	5.4
20140410	Post	5.4
20140411	Pre	6.8
20140411	Post	5.4
20140413	Pre	5.4
20140413	Post	5.4
20140414	Pre	5.8
20140414	Post	5.4
20140415	Pre	5.4
20140415	Post	5.0
20140416	Pre	6.3
20140416	Post	5.4
20140418	Pre	5.4
20140418	Post	5.4
20140419	Pre	5.4
20140420	Pre	5.4
20140420	Post	5.4
20140421	Pre	5.4
20140421	Post	5.4
20140422	Pre	5.8
20140422	Post	5.8
20140423	Pre	5.4
20140423	Post	5.4
20140424	Pre	5.4

$$\text{Resolution}(\%) = \frac{FWHM}{CHANNEL\ MAX} * 100$$



شکل (۳-۵) نمودار مربوط به تست Resolution

۲-۲-۵ بررسی شرایط محیطی جهت برداشت داده‌های رادیومتری

همان‌طور که می‌دانیم، داده‌های رادیومتری مربوط به چند سانتی‌متر سطح خاک می‌باشند و به شدت تحت تأثیر شرایط آب و هوا قرار می‌گیرند. شرایط آب و هوایی و تغییرات گاز رادون در محیط برداشت با استفاده از داده‌های Test Line بررسی می‌شود. میانگین مقادیر برداشت شده عناصر توریم، اورانیوم کریستال‌های پایین‌نگر، پتاسیم، سزیم، اورانیوم کریستال بالانگر، شمارش کل (TC)، اشعه کیهانی، دما، فشار (بر حسب میلی بار)، ارتفاع پرواز و رطوبت مربوط به هر اندازه‌گیری به طور جداگانه محاسبه و در

جدولی درج می‌گردد. در نهایت درصد انحراف معیار موارد مذکور نسبت به روزهای قبل محاسبه می‌گردد (جدول ۴-۵). طبق استاندارد آژانس، درصد بالای ۱۵-۱۰ بایستی ریشه‌یابی گردد.

داده‌های ارتفاع بارومتری با استفاده از فرمول زیر به فشار بر حسب میلی بار (mbar) تبدیل می‌شود.

$$P = P_0 e^{\frac{Mg}{RT}(h-h_0)} \quad (۲-۵)$$

که در آن، P فشار بر حسب میلی بار، P_0 فشار هوا در شرایط استاندارد، M جرم مولکولی، g ثابت گرانش، R ثابت جهانی گازها، T دمای محیط بر حسب کلوین، h ارتفاع بارومتری و h_0 ارتفاع در سطح آب می‌باشد. با توجه به نتایج جدول (۴-۵)، در زمان برداشت شرایط آب و هوایی مساعد بوده و خطایی در اندازه‌گیری‌ها به وجود نیامده است. بنابراین داده‌ها سالم می‌باشند و می‌توانند جهت پردازش مورد استفاده قرار گیرند.

جدول (۴-۵) جدول مربوط به TEST LINE

Date	Pre/Post	Alt_G	Co	Ave	Dev%	Alt_R	f	Ave	Dev%	Baro_1	f	Ave	Dev%	Temp	f	Ave	Dev%	Humid	f	Ave	Dev%	Cs	cps	Ave	Dev%	K	cps	Ave	Dev%
20140321	Pre	1409.6		1409.6	0.0	40.2	40.2	0.0	860.9	860.9	0.0	20.0	20.0	0.0	81.1	81.1	0.0	221.7	221.7	0.0	122.1	122.1	0.0						
20140321	Post	1417.2		1413.4	0.3	41.1	40.6	1.1	859.4	860.1	-0.1	24.4	22.2	9.8	79.8	80.4	-0.8	224.0	222.8	0.5	122.7	122.4	0.3						
20140323	Pre	1415.5		1414.1	0.1	41.7	41.0	1.7	864.0	861.4	0.3	8.9	17.8	-49.7	80.7	80.5	0.2	219.7	221.8	-0.9	120.1	121.6	-1.3						
20140323	Post	1420.6		1415.7	0.3	40.8	40.9	-0.4	863.1	861.8	0.1	22.0	18.8	16.8	79.9	80.4	-0.6	227.5	223.2	1.9	125.2	122.5	2.2						
20140324	Pre	1413.9		1415.4	-0.1	41.1	41.0	0.3	864.2	862.3	0.2	12.2	17.5	-30.3	78.8	80.1	-1.6	221.7	222.9	-0.6	120.9	122.2	-1.0						
20140324	Post	1426.9		1417.3	0.7	38.9	40.6	-4.2	863.4	862.5	0.1	23.9	18.6	28.6	77.8	79.7	-2.3	230.9	224.2	3.0	126.8	123.0	3.1						
20140325	Pre	1413.8		1416.8	-0.2	39.0	40.4	-3.4	863.4	862.6	0.1	20.6	18.9	9.3	78.9	79.6	-0.9	224.6	224.3	0.1	124.8	123.2	1.3						
20140325	Post	1416.2		1416.7	0.0	40.4	40.4	0.0	862.0	862.6	-0.1	27.6	19.9	38.3	77.6	79.3	-2.2	230.6	225.1	2.5	128.2	123.9	3.5						
20140326	Pre	1414.1		1416.4	-0.2	40.7	40.4	0.6	861.4	862.4	0.1	29.8	21.0	41.8	79.0	79.3	-0.4	227.3	225.3	0.9	125.2	124.0	1.0						
20140326	Post	1413.2		1416.1	-0.2	42.5	40.6	4.7	861.7	862.4	-0.1	27.5	21.7	26.8	77.8	79.1	-1.7	235.0	226.3	3.8	124.2	124.0	0.1						
20140408	Pre	1413.3		1415.8	-0.2	40.7	40.6	0.3	866.2	862.7	0.4	42.5	23.6	80.3	82.0	79.4	3.3	226.9	226.3	0.3	124.5	124.1	0.4						
20140408	Post	1411.2		1415.5	-0.3	38.7	40.5	-4.3	866.5	863.0	0.4	34.6	24.5	41.3	80.8	79.5	1.7	240.1	227.5	5.6	130.9	124.6	5.0						
20140409	Pre	1411.2		1415.1	-0.3	38.7	40.3	-4.0	866.5	863.3	0.4	34.6	25.3	36.9	80.8	79.6	1.5	240.1	228.5	5.1	130.9	125.1	4.6						
20140409	Post	1416.4		1415.2	0.1	42.4	40.5	4.6	860.6	863.1	-0.3	31.7	25.7	23.3	81.0	79.7	1.7	228.2	228.4	-0.1	127.4	125.3	1.7						
20140410	Pre	1419.2		1415.5	0.3	41.3	40.5	1.8	862.0	863.0	-0.1	25.4	25.7	-1.2	80.6	79.8	1.1	225.2	228.2	-1.3	126.1	125.3	0.6						
20140410	Post	1418.3		1415.7	0.2	39.4	40.5	-2.6	862.4	863.0	-0.1	42.1	26.7	57.6	79.5	79.8	-0.4	235.1	228.7	2.8	130.0	125.6	3.5						
20140411	Pre	1417.2		1415.7	0.1	40.7	40.5	0.6	863.1	863.0	0.0	34.8	27.2	27.8	80.5	79.8	0.9	232.5	228.9	1.6	126.7	125.7	0.8						
20140411	Post	1416.4		1415.8	0.0	40.0	40.5	-1.2	862.0	862.9	-0.1	35.2	27.7	27.4	79.4	79.8	-0.5	234.9	229.2	2.5	128.9	125.9	2.4						
20140413	Pre	1416.1		1415.8	0.0	40.6	40.5	0.4	863.5	863.0	0.1	30.3	27.8	8.9	80.4	79.8	0.7	228.1	229.2	-0.5	128.7	126.0	2.1						
20140413	Post	1423.8		1416.2	0.5	38.7	40.4	-4.3	863.5	863.0	0.1	43.4	28.6	51.9	79.5	79.8	-0.4	233.0	229.3	1.6	131.1	126.3	3.9						
20140414	Pre	1411.8		1416.0	-0.3	41.5	40.4	2.6	862.0	862.9	-0.1	25.3	28.4	-10.8	80.0	79.8	0.2	231.7	229.5	1.0	127.5	126.3	1.0						
20140414	Post	1427.2		1416.5	0.8	39.7	40.4	-1.7	862.3	862.9	-0.1	47.7	29.3	62.8	79.4	79.8	-0.4	239.8	229.9	4.3	133.1	126.6	5.1						
20140415	Pre	1414.5		1416.4	-0.1	42.0	40.5	3.7	863.2	862.9	0.0	29.7	29.3	1.3	80.8	79.8	1.2	228.1	229.8	-0.8	125.7	126.6	-0.7						
20140415	Post	1408.5		1416.1	-0.5	38.8	40.4	-3.9	861.7	862.9	-0.1	34.8	29.6	17.8	78.4	79.8	-1.8	236.9	230.1	3.0	133.7	126.9	5.3						
20140416	Pre	1414.4		1416.0	-0.1	39.9	40.4	-1.2	863.8	862.9	0.1	19.7	29.2	-32.6	79.6	79.8	-0.2	225.9	230.0	-1.8	128.5	127.0	1.2						
20140416	Post	1418.6		1416.1	0.2	39.2	40.3	-2.7	863.7	862.9	0.1	31.0	29.2	5.9	78.1	79.7	-2.0	238.1	230.3	3.4	133.8	127.2	5.1						
20140418	Pre	1411.8		1416.0	-0.3	40.2	40.3	-0.3	863.8	863.0	0.1	18.7	28.8	-35.1	76.4	79.6	-4.0	229.8	230.3	-0.2	127.2	127.2	0.0						
20140418	Post	1413.5		1415.9	-0.2	39.6	40.3	-1.7	864.5	863.0	0.2	30.7	28.9	6.3	74.5	79.4	-6.2	239.2	230.6	3.7	132.2	127.4	3.8						

Ur_cps	Ave	Dev%	Th_cps	Ave	Dev%	TC_cps	Ave	Dev%	Uru_cps	Ave	Dev%	Cosmic_cp	Ave	Dev%
25.2	25.2	0.0	25.0	25.0	0.0	1039.7	1039.7	0.0	4.0	4.0	0.0	104.1	104.1	0.0
25.9	25.5	1.5	24.7	24.9	-0.5	1052.7	1046.2	0.6	4.0	4.0	0.7	105.8	105.0	0.8
25.1	25.4	-1.2	24.4	24.7	-1.3	1028.9	1040.4	-1.1	4.1	4.0	1.5	101.5	103.8	-2.2
26.6	25.7	3.6	25.4	24.9	2.2	1066.5	1046.9	1.9	4.7	4.3	8.3	103.4	103.7	-0.3
24.7	25.5	-3.2	24.1	24.7	-2.6	1035.1	1044.6	-0.9	4.3	4.1	3.8	101.1	103.2	-2.0
26.4	25.6	3.1	25.4	24.8	2.3	1082.2	1050.8	3.0	4.1	4.0	1.6	101.3	102.9	-1.5
24.7	25.5	-3.1	25.1	24.9	0.7	1055.7	1051.5	0.4	3.9	3.9	-0.8	102.5	102.8	-0.3
25.9	25.6	1.2	25.6	25.0	2.4	1080.2	1055.1	2.4	4.5	4.2	6.7	103.0	102.8	0.2
25.9	25.6	1.1	25.6	25.0	2.1	1066.2	1056.4	0.9	4.3	4.1	4.6	103.6	102.9	0.7
27.9	25.8	7.9	25.6	25.1	2.0	1090.2	1059.7	2.9	4.6	4.3	7.4	102.5	102.9	-0.4
26.1	25.8	0.8	25.0	25.1	-0.4	1063.5	1060.1	0.3	4.2	4.1	2.4	100.8	102.7	-1.9
26.7	25.9	2.9	25.7	25.1	2.4	1107.6	1064.0	4.1	4.5	4.2	6.6	101.5	102.6	-1.1
26.7	26.0	2.6	25.7	25.2	2.2	1107.6	1067.4	3.8	4.5	4.2	6.6	101.5	102.5	-1.0
26.4	26.0	1.6	25.0	25.2	-0.7	1071.9	1067.7	0.4	4.4	4.2	5.0	103.8	102.6	1.2
26.3	26.0	1.1	25.5	25.2	1.4	1065.4	1067.6	-0.2	4.3	4.1	4.3	101.8	102.5	-0.7
27.0	26.1	3.7	26.8	25.3	5.8	1101.1	1069.7	2.9	4.3	4.1	4.5	102.9	102.6	0.3
26.2	26.1	0.3	26.0	25.3	2.6	1080.7	1070.3	1.0	4.5	4.2	6.8	101.9	102.5	-0.6
27.4	26.2	4.9	26.4	25.4	3.9	1099.2	1071.9	2.5	4.6	4.3	7.6	103.6	102.6	1.0
25.3	26.1	-3.1	25.2	25.4	-0.7	1072.4	1071.9	0.0	4.0	4.0	0.7	100.6	102.5	-1.8
26.6	26.1	1.7	26.3	25.4	3.5	1095.5	1073.1	2.1	4.5	4.2	6.2	104.1	102.6	1.5
26.2	26.1	0.3	26.3	25.5	3.2	1079.5	1073.4	0.6	4.3	4.1	4.7	103.9	102.6	1.3
28.2	26.2	7.3	26.5	25.5	3.7	1120.3	1075.6	4.2	4.5	4.2	6.7	103.9	102.7	1.2
25.9	26.2	-1.2	25.4	25.5	-0.6	1067.6	1075.2	-0.7	4.3	4.1	4.2	104.6	102.8	1.8
27.7	26.3	5.3	26.8	25.6	4.7	1109.3	1076.6	3.0	4.5	4.2	6.3	105.0	102.9	2.1
25.5	26.3	-2.9	25.5	25.6	-0.1	1068.0	1076.3	-0.8	4.1	4.1	2.4	102.5	102.9	-0.3
26.5	26.3	0.8	26.8	25.6	4.5	1112.2	1077.7	3.2	4.2	4.1	3.5	103.6	102.9	0.7
25.4	26.2	-3.2	25.2	25.6	-1.6	1072.5	1077.5	-0.5	4.2	4.1	3.5	102.4	102.9	-0.4
27.4	26.3	4.4	26.5	25.6	3.3	1114.0	1078.8	3.3	4.5	4.2	6.4	104.1	102.9	1.2

۳-۵ پردازش داده‌های رادیومتری هوابرد منطقه رباعی

اطلاعات موجود در data base رادیومتری شامل: زمان و تاریخ برداشت داده، مختصات نقاط اندازه‌گیری، ارتفاع راداری، ارتفاع بارومتری، کانال‌های شمارش عناصر پتاسیم، اورانیوم، توریم، شمارش کل، اشعه کیهانی، اورانیوم کریستال بالانگر و کانال زمان زنده می‌باشد. در ادامه مراحل مختلف پردازش به ترتیب شرح داده شده است:

۱-۳-۵ تصحیح زمان مرده اسپکترمتر

اسپکترومتر در هر ثانیه یک قرائت انجام می‌دهد، که این زمان به ۲ بخش تقسیم می‌گردد. بخش اول مربوط به زمان ورود ذرات یا زمان زنده و بخش دیگر مربوط به زمان شمارش ذرات وارد شده یا زمان مرده می‌باشد. در زمان مرده ذرات وارد شده در نظر گرفته نمی‌شوند. به عبارتی، میزان شمارش عناصر حین برداشت واقعی نبوده و بایستی مقادیر شمارش نشده نیز محاسبه گردد. در پایگاه داده موجود کانال زمان زنده ثبت شده است، بنابراین با استفاده از رابطه (۳-۳) مقادیر کل ذرات وارد شده در ۱ ثانیه محاسبه گردید و در نتیجه مقادیر شمارش شده عناصر افزایش یافت.

دستگاه اسپکترومتر هنگام برداشت، تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که این عوامل عبارتند از: اشعه کیهانی، بدنه بالگرد و تجهیزات موجود درون بالگرد، گاز رادون و تشعشعات زمینی. تمامی این عوامل از خود، اشعه گاما ساطع کرده و باعث افزایش مقادیر ثبت شده برای عناصر رادیواکتیو می‌شوند. تنها عاملی که جهت اکتشاف حائز اهمیت بوده و به عنوان آنومالی در نظر گرفته می‌شود، تشعشعات زمینی است. سایر عوامل کاذب هستند و بایستی حذف شوند.

۲-۳-۵ تصحیح اشعه کیهانی و بدنه بالگرد

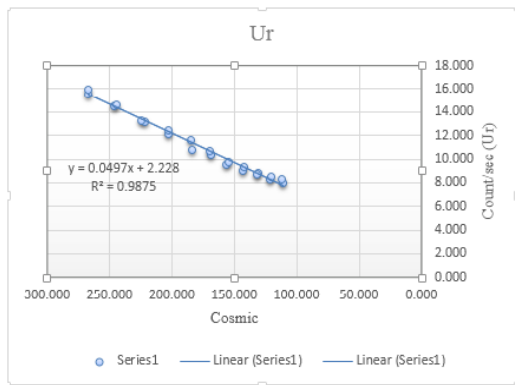
هدف از اجرای این تست، محاسبه اثرات اشعه گاما ساطع شده از بدنه بالگرد و نیز تعیین میزان اشعه گامای ناشی از تابش‌های کیهانی می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم، به دلیل انرژی بالای اشعه کیهانی اثر تداخل پنجره اتفاق می‌افتد و در کلیه کانال‌های طیفی ثبت می‌گردد. این مقادیر ثبت شده در کانال‌های

مربوط به عناصر رادیواکتیو مقادیری کاذب و دروغین است که بایستی شناسایی و حذف گردد. مقادیر مربوط به اثر تابش‌های بدنه بالگرد و اثرات کیهانی توسط تست اشعه کیهانی به دست می‌آید. جهت این کار، میانگین مقادیر ثبت شده در هر بار اندازه‌گیری محاسبه و در جدولی درج می‌گردد (جدول ۵-۵)

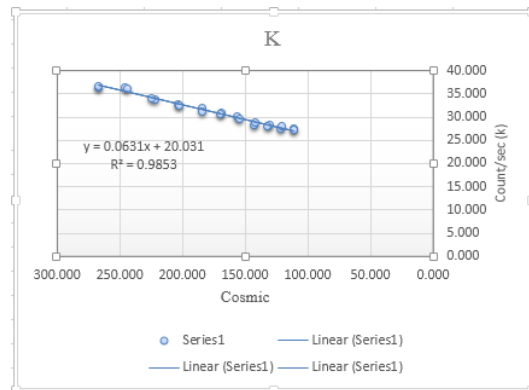
جدول (۵-۵) جدول مربوط به تست اشعه کیهانی.

Height	Cosmic	K	Ur	Th	TC	Uur
1500_1	111.347	27.407	7.961	7.728	226.682	2.113
1500_2	111.704	27.177	8.311	8.051	230.120	2.202
1700_1	121.556	27.637	8.320	8.886	235.123	2.346
1700_2	120.551	28.111	8.547	8.281	233.863	2.273
1900_1	130.614	28.254	8.859	9.288	243.368	2.310
1900_2	132.079	28.169	8.756	9.044	244.027	2.394
2100_1	142.990	28.372	9.058	10.007	254.195	2.481
2100_2	142.074	28.786	9.321	9.662	251.592	2.334
2300_1	156.309	30.230	9.505	10.555	267.099	2.608
2300_2	154.693	29.611	9.739	11.102	267.690	2.709
2500_1	168.842	30.959	10.357	11.723	286.380	2.609
2500_2	170.218	30.656	10.698	11.663	284.338	3.035
2700_1	184.494	31.916	11.600	12.404	303.224	3.301
2700_2	184.417	31.251	10.784	12.624	299.076	3.202
2900_1	203.207	32.830	12.154	13.490	320.155	3.297
2900_2	203.096	32.474	12.402	13.378	320.626	3.285
3100_1	222.132	33.899	13.184	15.249	344.281	3.758
3100_2	224.990	34.077	13.220	15.345	347.765	3.434
3300_1	246.234	36.490	14.495	16.441	367.881	3.501
3300_2	244.315	36.126	14.651	16.169	368.501	3.806
3500_1	267.476	36.360	15.579	17.550	394.641	4.110
3500_2	266.829	36.682	15.974	17.465	397.097	4.043

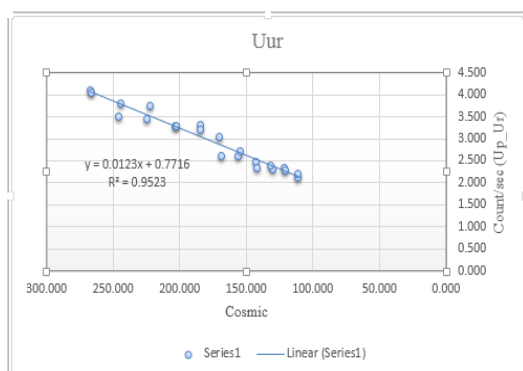
اطلاعات موجود در جدول فوق مربوط به میانگین مقادیر شمارش شده عناصر رادیواکتیو و اشعه کیهانی در ارتفاعات مختلف می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود جهت بالا بردن دقت کار، در هر ارتفاع، ۲ مرتبه به صورت رفت و برگشت داده برداشت شده است. پس از تکمیل جدول، نمودار عناصر رادیواکتیو نسبت به اشعه کیهانی رسم شده و پس از آن خطی بر روی نقاط موجود در نمودار برازش داده می‌شود. با رگرسیون‌گیری از نمودارهای ترسیم شده، ضرایب مربوط به اشعه کیهانی و بدنه بالگرد به دست می‌آید (شکل ۴-۵).



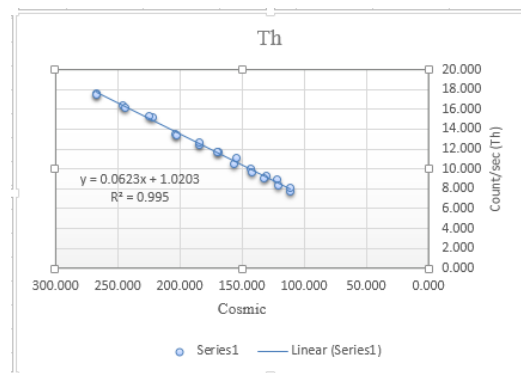
(ب)



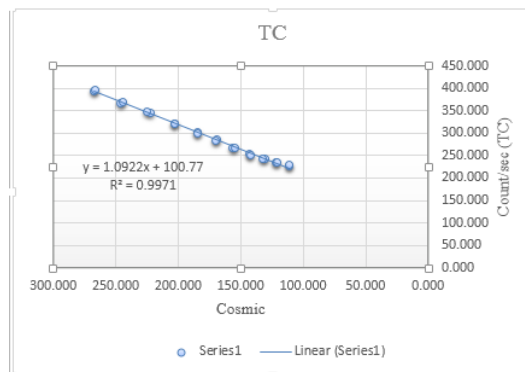
(الف)



(د)



(ج)



(ه)

شکل (۴-۵) (الف) منحنی عنصر پتاسیم نسبت به اشعه کیهانی. (ب) منحنی عنصر اورانیوم پایین نگر نسبت به اشعه کیهانی. (ج) منحنی عنصر توریم نسبت به اشعه کیهانی. (د) منحنی عنصر اورانیوم بالانگر نسبت به اشعه کیهانی و (ه) منحنی شمارش کل نسبت به اشعه کیهانی.

در روابط به دست آمده از نمودارهای شکل (۴-۵)، شیب خط برازش داده شده مربوط به اثرات اشعه کیهانی و عرض از مبدأ آن مربوط به اثر بدنه بالگرد می باشد، که در جدول (۶-۵) ضرایب مذکور آورده شده است.

جدول (۵-۶) ضرایب مربوط به اثر اشعه کیهانی و بدنه بالگرد.

	K	Ur	Th	TC	U _{ur}
a	0.0631	0.0497	0.0623	1.0922	0.0123
b	20.031	2.228	1.0203	100.77	0.7716

در جدول فوق a شیب خط برازش داده شده و b عرض از مبدأ آن می‌باشد.

پس از قرار دادن ضرایب به دست آمده در رابطه (۳-۵)، مقادیر کاذب ثبت شده در کانال‌های طیفی به دست می‌آید. در نهایت با اعمال مقادیر کاذب عناصر از داده‌های پرواز، مقادیر شمارش عناصر بدون اثرات اشعه کیهانی و بدنه بالگرد حاصل می‌گردد.

۵-۳-۳ تصحیح اثر گاز رادون موجود در محیط

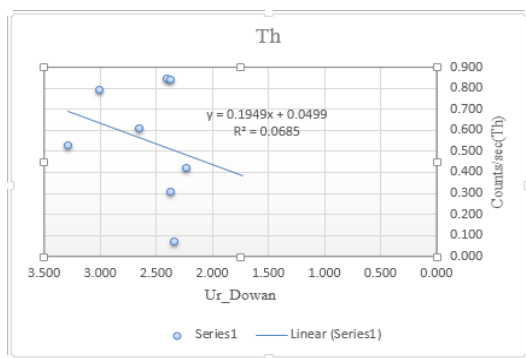
به دلیل حضور گاز رادون در محیط و داشتن انرژی بالا، هنگام برداشت مقادیری کاذب برای عناصر پتاسیم، اورانیوم و توریم ثبت می‌گردد. هدف از انجام این تصحیح، حذف نمودن سهم گاز رادون در پنجره-های اورانیوم، توریم، پتاسیم و شمارش کل می‌باشد. به منظور مشخص کردن اثر گاز رادون روی داده‌ها، هنگام پردازش از داده‌های کریستال بالانگر استفاده می‌شود.

جهت شناسایی و حذف این اثر، ابتدا رابطه بین اثر گاز رادون در آشکارسازهای پایین‌نگر و بالانگر تعیین می‌شود (رابطه ۳-۶). جهت مشخص نمودن اثر گاز رادون، از داده‌های برداشت شده روی سطح آب استفاده می‌شود، زیرا داده‌های برداشت شده روی آب فاقد تشعشعات زمینی بوده و تنها اثرات گاز رادون و اشعه کیهانی وجود دارد. بنابراین ابتدا داده‌های آب از خشکی تفکیک می‌شود. پس از آن میانگین مقادیر شمارش شده عناصر موجود در تست رادون برای هر ارتفاع پرواز محاسبه شده و در جدولی درج می‌گردد (جدول ۵-۷).

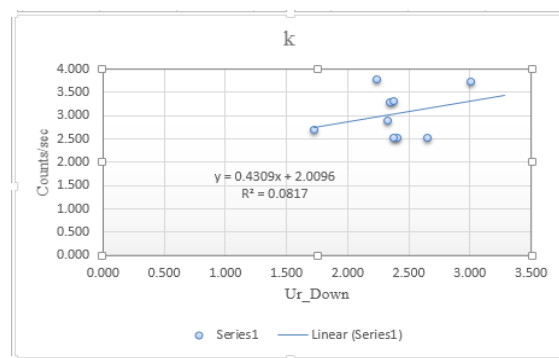
جدول (۷-۵) جدول مربوط به تست گاز رادون.

Heigth	Ur_w_cos	K_w_cos	Th_w_cos	Tc_w_cos	Uur_w_cos
30_17	2.655	2.529	0.611	40.430	0.500
30_19	1.724	2.701	0.500	37.580	0.686
50_13	2.408	2.535	0.847	41.753	0.537
50/15	2.371	2.533	0.310	36.665	0.580
70_8	2.238	3.788	0.423	42.555	0.313
70_11	2.341	3.285	0.071	42.980	0.244
100_4	2.370	3.318	0.842	42.886	0.570
100_6	3.004	3.738	0.794	45.586	0.921
140_0	3.285	2.493	0.531	48.200	0.762
140_2	2.328	2.898	0.514	37.900	0.244

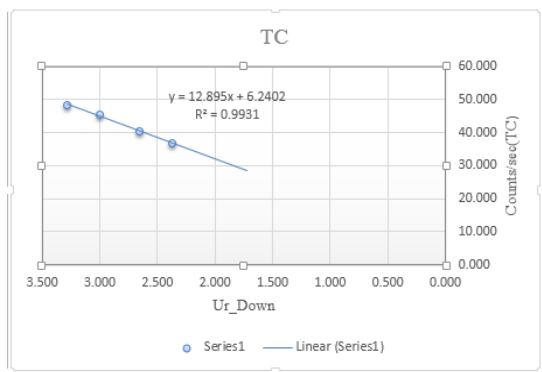
در این جدول، میانگین داده‌های اورانیوم پایین‌نگر، پتاسیم، توریم، شمارش کل و اورانیوم بالانگر می‌باشند که بر روی آب برداشت شده است. با استفاده از اطلاعات جدول (۷-۵)، منحنی عناصر رادیواکتیو نسبت به اورانیوم پایین‌نگر رسم می‌گردد. با برازش خط بر روی هر یک از نمودارهای رسم شده و رگرسیون‌گیری از آنها، ضرایب ناشی از اثر گاز رادون به دست می‌آید (شکل ۵-۵).



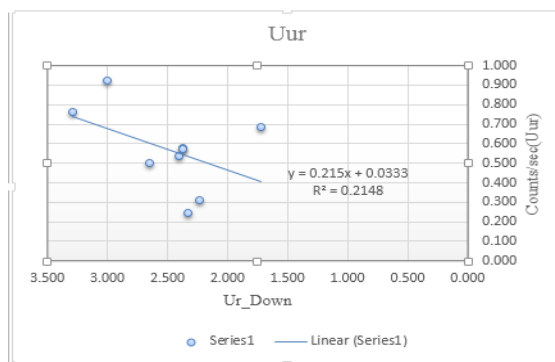
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۵-۵) (الف) منحنی عنصر پتاسیم بر حسب اورانیوم پایین‌نگر. (ب) منحنی عنصر توریم بر حسب اورانیوم پایین‌نگر. (ج) منحنی عنصر اورانیوم بالانگر بر حسب اورانیوم پایین‌نگر و (د) منحنی شمارش کل بر حسب اورانیوم پایین‌نگر. در جدول (۸-۵) ضرایب مربوط به اثر گاز رادون آورده شده است. با توجه به اینکه در مرحله قبل اثرات اشعه کیهانی از روی داده‌ها حذف شده، بنابراین می‌توان انتظار داشت که عرض از مبدأ، مقادیری کوچک خواهند بود.

جدول (۸-۵) ضرایب مربوط به اثر گاز رادون

	K	Th	TC	Uur
a	0.430	0.19	12.9	0.215
b	2	0.05	6.24	0.033

با توجه به رابطه $(U_{r_{g-up}} = a_1 U_{g-Down} + a_2 Th)$ سهمی از اورانیوم با منشأ زمینی در کریستال بالانگر ثبت می‌شود. پس از به دست آمدن ضرایب مربوط به اثر گاز رادون، با توجه به رابطه (۳-۶) ضرایب a_1 و a_2 از روش Least square محاسبه می‌گردند، مقادیر محاسبه شده آن‌ها برابر است با:

$$\begin{cases} a_1 = 0.033 \\ a_2 = 0.016 \end{cases}$$

پس از محاسبه ضرایب a_1 و a_2 ، با استفاده از رابطه (۳-۷)، مقدار اورانیوم ناشی از اثر گاز رادون که در کریستال‌های پایین‌نگر ثبت می‌شود به دست می‌آید:

$$U_r = \frac{u_{up} - a_1 U_{r_{Down}} - a_2 Th + a_2 b_{th} - b_u}{a_u - a_1 - a_2 a_{th}}$$

با محاسبه U_r ، مقادیر کاذب مؤلفه‌های رادون در هر پنجره محاسبه شده و با اعمال این مقادیر بر روی داده‌های پرواز، اثر گاز رادون حذف می‌گردد.

۵-۳-۴ محاسبه ضرایب تداخل انرژی عناصر رادیواکتیو

همان‌طور که می‌دانیم ذرات دارای انرژی بالاتر روی ذرات دارای انرژی پایین‌تر اثر می‌گذارند و سهمی از انرژی و شمارش ذرات دارای انرژی کمتر را به خود اختصاص می‌دهند، که این مقادیر برای ذرات با انرژی کمتر کاذب می‌باشد و باید حذف گردد. عکس آن هم صادق است اما تأثیر ذرات با انرژی پایین‌تر به مراتب کمتر از تأثیر ذرات با انرژی بالاتر است. تا این مرحله، تأثیر تداخل انرژی اشعه کیهانی و گاز رادون از روی مقدار شمارش عناصر رادیواکتیو حذف شده است. همان‌طور که می‌دانیم، به دو دلیل این تصحیح حائز اهمیت می‌باشد:

۱- بررسی کیفیت دستگاه اسپکترومتر جهت برداشت داده.

۲- حذف اثر تداخل انرژی عناصر رادیواکتیو بر روی یکدیگر.

جهت بررسی کیفیت دستگاه باید ضرایب تداخل انرژی محاسبه شوند و طبق جدول (۳-۲) اگر نتایج نزدیک به دستگاه با کیفیت بود، دستگاه جهت برداشت داده مناسب می‌باشد.

به منظور محاسبه ضرایب، از داده‌های به دست آمده از قرائت بر روی پدهای بتنی استفاده می‌شود. این اطلاعات شامل میزان شمارش عناصر پتاسیم، اورانیوم، توریم و شمارش کل می‌باشد (جدول ۵-۹). از جمله اطلاعات معلوم که در مشخصات هر پد ذکر شده است غلظت عناصر می‌باشد (جدول ۵-۱۰). با استفاده از غلظت عناصر و مقادیر قرائت شده آن‌ها، ماتریس $(N = S * C)$ محاسبه می‌گردد. N ماتریس میزان شمارش عناصر، S ماتریس مجهول و C ماتریس غلظت عناصر رادیواکتیو می‌باشد.

جدول (۹-۵) غلظت عناصر موجود در پدها

$C_{k.B}$	1.34
$C_{u.B}$	0.98
$C_{Th.B}$	2.28
$C_{k.k}$	7.98
$C_{ur.k}$	0.46
$C_{Th.k}$	1.82
$C_{k.ur}$	1.25
$C_{ur.ur}$	53.33
$C_{Th.ur}$	3.2
$C_{k.Th}$	1.34
$C_{ur.Th}$	2.31
$C_{Th.Th}$	110

جدول (۱۰-۵) مقدار شمارش شده عناصر موجود در پدها

$n_{k.B}$	158200
$n_{u.B}$	21719
$n_{Th.B}$	23463
$n_{k.k}$	283214
$n_{ur.k}$	20941
$n_{Th.k}$	23379
$n_{k.ur}$	234396
$n_{ur.ur}$	113807
$n_{Th.ur}$	29016
$n_{k.Th}$	206771
$n_{ur.Th}$	57193
$n_{Th.Th}$	127187

بنابراین ماتریس‌های مذکور به صورت زیر می‌باشد:

$$C = \begin{bmatrix} 6.64 & -0.09 & 0 \\ -0.52 & 52.35 & 1.33 \\ -0.46 & 0.92 & 107.72 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad N = \begin{bmatrix} 125014 & 76196 & 48571 \\ -778 & 92088 & 35474 \\ -84 & 5553 & 103724 \end{bmatrix}$$

پس از حل ماتریس، طبق روابط (۹-۳) ضرایب تداخل انرژی محاسبه شده، که مقادیر محاسبه شده در جدول (۱۱-۵) آورده شده است.

جدول (۱۱-۵) مقادیر ضرایب تداخل انرژی

α	0.32
β	0.45
γ	0.84
a	0.51
b	0.003
g	0.002

با توجه به جدول (۱۱-۵)، می‌توان دریافت که دستگاه اسپکترومتر سالم و جهت برداشت داده مناسب می‌باشد.

پس از محاسبه ضرایب تداخل، با استفاده از روابط (۳-۱۰) تا (۳-۱۳) میزان تداخل انرژی تداخل عناصر بر روی یکدیگر محاسبه می‌گردد و اثر تداخل انرژی از روی داده‌های پرواز حذف می‌گردد.

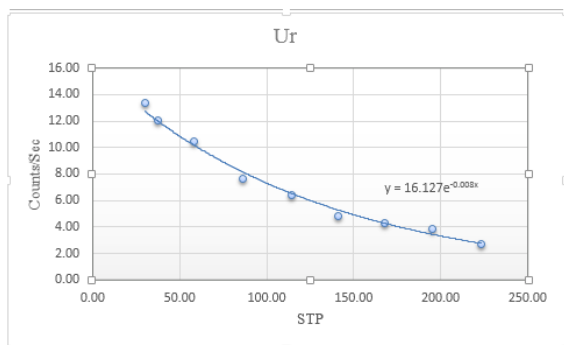
۵-۳-۵ تصحیح میرایی ارتفاع عناصر رادیواکتیو

همان‌طور که می‌دانیم با افزایش ارتفاع پرواز، مقدار شمارش عناصر به صورت نمایی کاهش می‌یابد. هنگام برداشت داده به دلیل اینکه بالگرد دقیقاً در همان ارتفاع تعریف شده پرواز نمی‌کند، داده‌ها کمی خطا داشته و در بعضی نقاط مقادیر ثبت شده بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی خود می‌باشد. جهت تبدیل مقدار شمارش عناصر در ارتفاع اسمی پرواز، از تصحیح میرایی ارتفاع استفاده می‌شود. پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از تست میرایی ارتفاع، تمامی تصحیحات ذکر شده تا این مرحله بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. همچنین ارتفاع پرواز با توجه به رابطه (۳-۱۴) به ارتفاع مؤثر تبدیل شده و تمامی اطلاعات در جدولی درج می‌گردد (جدول ۵-۱۲).

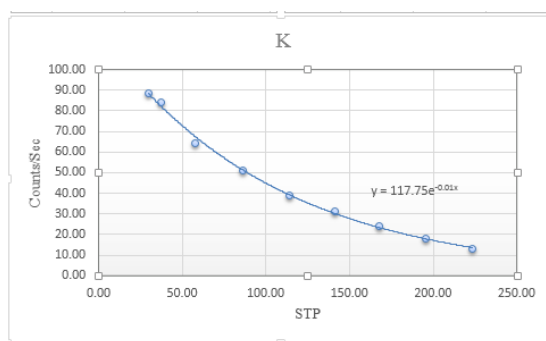
جدول (۵-۱۲) جدول مربوط به تست میرایی ارتفاع.

Heighth	STP	K_s	UR_s	Th_s	TC_s
33	29.91	90.09	13.77	24.52	968.7
41	37.61	83.95	12.05	22.9	913.95
64	57.87	64.68	10.67	19.45	772.86
95	86.34	51.11	7.68	16.14	629.06
126	114.25	38.7	6.43	12.78	502.92
157	140.93	31.64	4.68	10.89	417.14
187	167.82	23.73	4.19	8.34	340.19
218	195.36	17.98	3.92	7.24	278.48
250	223.17	13.34	2.67	6.33	225.43

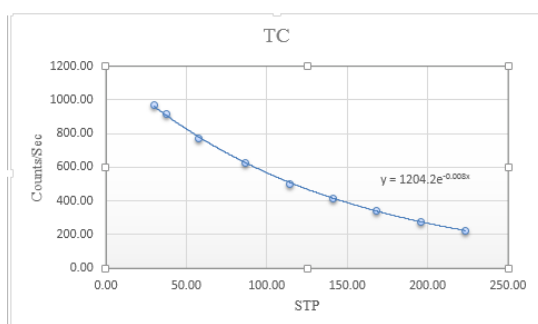
با رسم نمودارهای عناصر تصحیح شده بر حسب ارتفاع مؤثر و برازش منحنی نپری بر روی هر نمودار، ضرایب میرایی ارتفاع برای هر عنصر حاصل می‌گردد. نمودارهای ترسیم شده از تست میرایی ارتفاع در صفحه بعد آورده شده است (شکل ۵-۶).



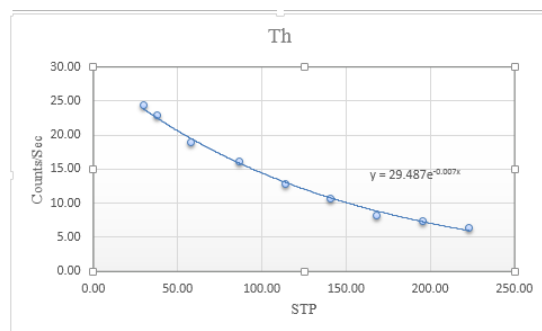
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۵-۶) نمودارهای رسم شده عناصر رادیواکتیو بر حسب ارتفاع مؤثر در مرحله تصحیح میرایی ارتفاع. (الف) منحنی پتاسیم بر حسب ارتفاع اسمی، (ب) منحنی اورانیوم بر حسب ارتفاع اسمی، (ج) منحنی توریم بر حسب ارتفاع اسمی و (د) منحنی شمارش کل بر حسب ارتفاع اسمی..

ضرایب میرایی ارتفاع حاصل شده برای هر عنصر در جدول (۵-۱۳) آورده شده است.

جدول (۵-۱۳) ضرایب میرایی ارتفاع

α_k	0.01
α_{Ur}	0.008
α_{Th}	0.007
α_{TC}	0.008

در نهایت با قرار دادن ضرایب به دست آمده در رابطه (۳-۱۵)، مقادیر تصحیح شده عناصر حاصل می‌شود:

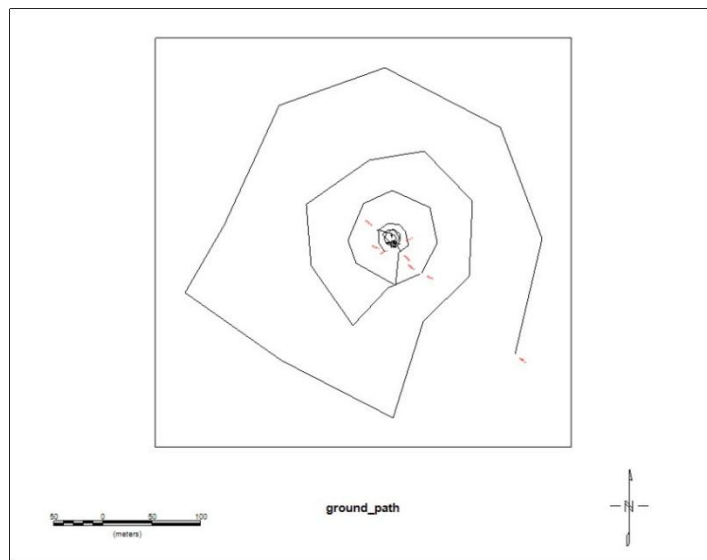
$$N_s = N_m \exp[\mu(h_0 - h)]$$

که در آن، h ارتفاع واقعی پرواز، h_0 ارتفاع اسمی یا STP پرواز، N_m مقادیر قرائت‌ها پس از کلیه تصحیحات

قبلی، μ ضریب میرایی محاسبه شده و N_s مقادیر قرائت شده عناصر پس از تصحیح میرایی ارتفاع می‌باشد.

۵-۳-۶ اندازه‌گیری حساسیت طیف‌سنج

همان‌طور که در فصل ۳ بیان شد، جهت رسیدن به نقشه‌های یکسان از داده‌های برداشت شده در یک منطقه توسط اسپکترومترها و بالگردهای مختلف، بایستی عناصر از قالب شمارش به غلظت تبدیل گردند. بنابراین عنصر پتاسیم از نوع (cps) به درصد و دو عنصر اورانیوم و توریم به ppm تبدیل می‌شوند. منطقه برداشت صحرائی، مسطح و همگن انتخاب می‌شود و هم‌زمان با تست میرایی ارتفاع، برداشت زمینی هم صورت می‌گیرد. در زیر نقشه مسیر برداشت زمینی داده‌های رادیومتری منطقه مورد مطالعه آورده شده است (شکل ۷-۵).



شکل (۷-۵) نقشه مسیر برداشت صحرائی داده‌های رادیومتری.

پس از جمع‌آوری داده‌های هوابرد و زمینی، کلیه تصحیحات تا تصحیح میرایی ارتفاع بر روی داده‌های هوابرد اعمال شده و سپس میانگین میزان شمارش هر عنصر در ارتفاعات مختلف محاسبه می‌گردد. با استفاده از داده‌های صحرائی میانگین غلظت عناصر محاسبه شده و با جایگذاری در رابطه (۳-۱۶)، ضریب حساسیت مربوط به هر عنصر به دست می‌آید.

$$S = \frac{N(cps)}{C(concentration)}$$

مقادیر محاسبه شده در جدولی درج شده که در آن ستون‌های $S_K(\%)$ ، $S_{Ur}(\text{ppm})$ و $S_{Th}(\text{ppm})$

مقادیر ضرایب حساسیت غلظتی عناصر رادیواکتیو می‌باشند (جدول ۵-۱۴).

جدول (۵-۱۴) جدول ضریب حساسیت سیستم در ارتفاعات مختلف.

Heighth	K_cps	Ur_cps	Th_cps	S_k (%)	S_ur (ppm)	S_Th (ppm)
30	106.568	11.931	27.786	70.095	3.941	3.418
40	101.347	11.419	26.862	66.661	3.772	3.304
60	101.722	14.938	26.364	67.081	4.914	22.381
100	98.683	15.100	25.173	65.077	4.967	21.371
120	100.765	10.286	24.473	66.450	3.384	20.777

با محاسبه ضرایب حساسیت سیستم و اعمال آن‌ها بر روی داده‌های پرواز، میزان شمارش عناصر به غلظت تبدیل می‌گردند. همچنین جهت محاسبه غلظت شمارش کل (Exposure Rate) از رابطه (۳-۲۰) استفاده می‌شود.

$$E = 1.505 K + 0.653 eU + 0.287 eTh$$

۴-۵ بررسی نتایج

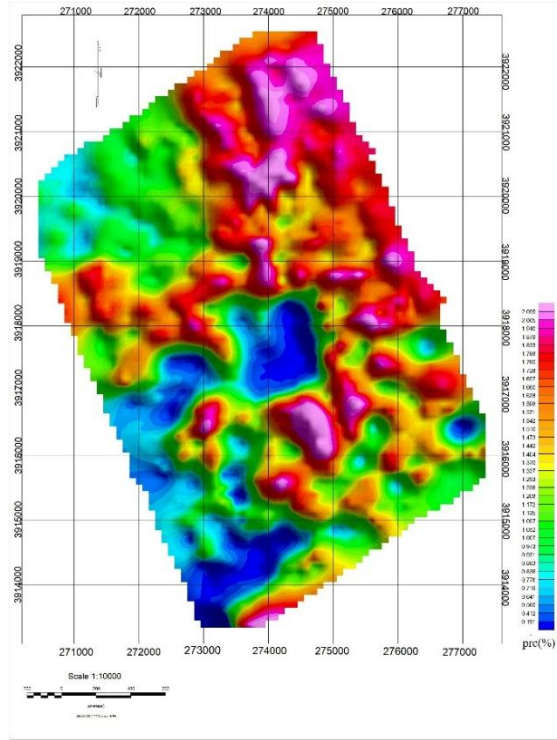
پس از پردازش داده‌های رادیومتری، عناصر رادیواکتیو به صورت نقشه‌های غلظت Th ، K ، Ur و یا به صورت نقشه‌های ترکیبی^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به این نقشه‌ها می‌توان منشأ اورانیوم و سایر عناصر رادیواکتیو را تشخیص داد. نقشه سه‌گانه داده‌های رادیومتری از ترکیب داده‌های سه‌گانه عناصر رادیومتری به دست می‌آید، که این نقشه بر اساس سه رنگ اصلی فیروزه‌ای^۲، ارغوانی^۳ و زرد در سیستم CMY یا قرمز، سبز و آبی در سیستم RGB می‌باشد. از کاربردهای این نقشه تعیین واحدهایی است که تهی شدگی یا غنی شدگی عناصر سه‌گانه در آن رخ داده است. همچنین بر حسب وجود درصدهای مختلفی

^۱ - Ternary

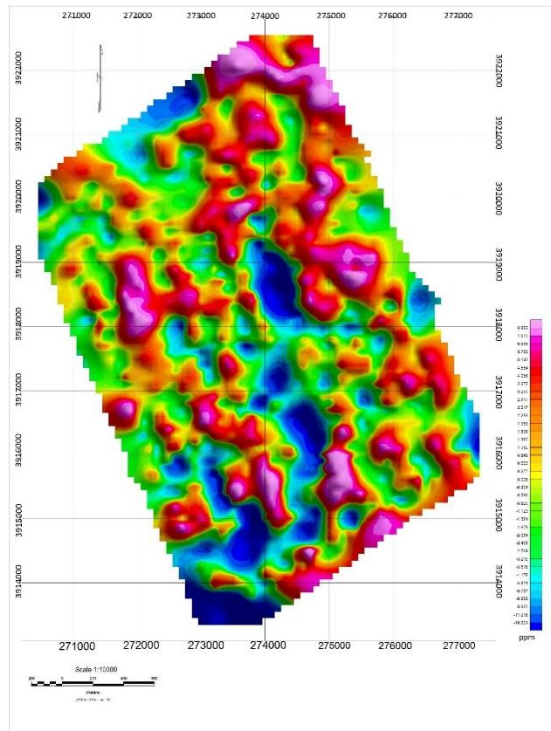
^۲ - Cyan

^۳ - Magenta

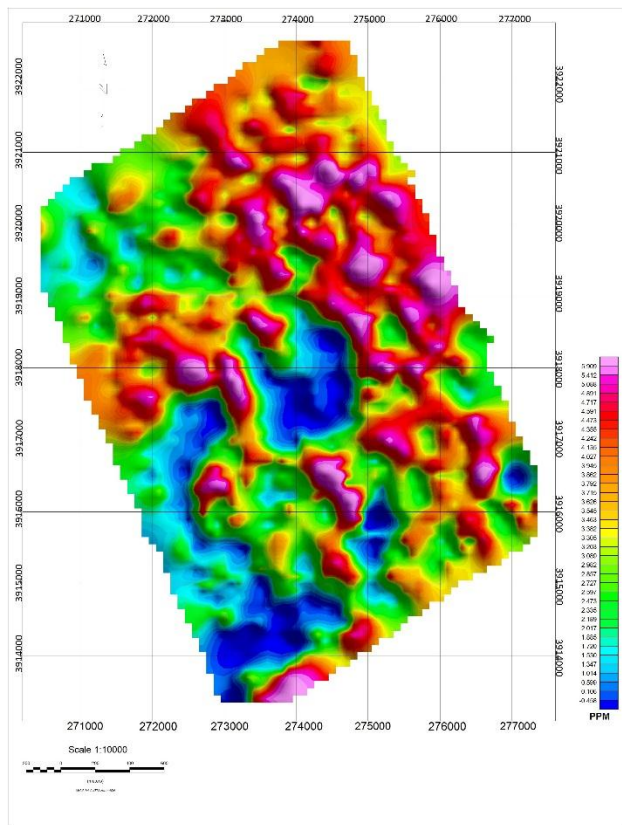
از عناصر پتاسیم، توریم و اورانیوم می‌توان طیف رنگی مشخصی از این سه عنصر را بر حسب رنگ‌های اصلی مشاهده کرد. در زیر نقشه‌های شمارش عناصر رادیواکتیو آورده شده است (شکل ۵-۸).



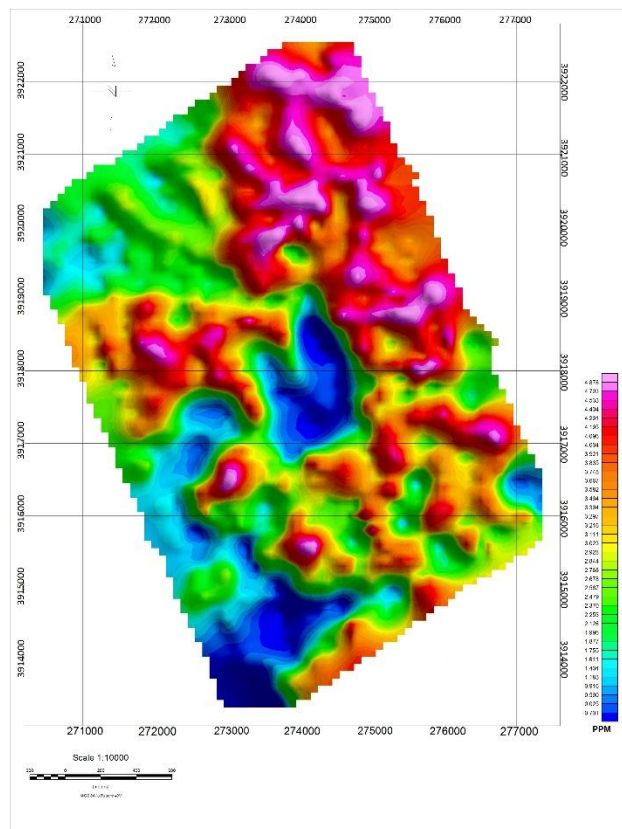
(الف)



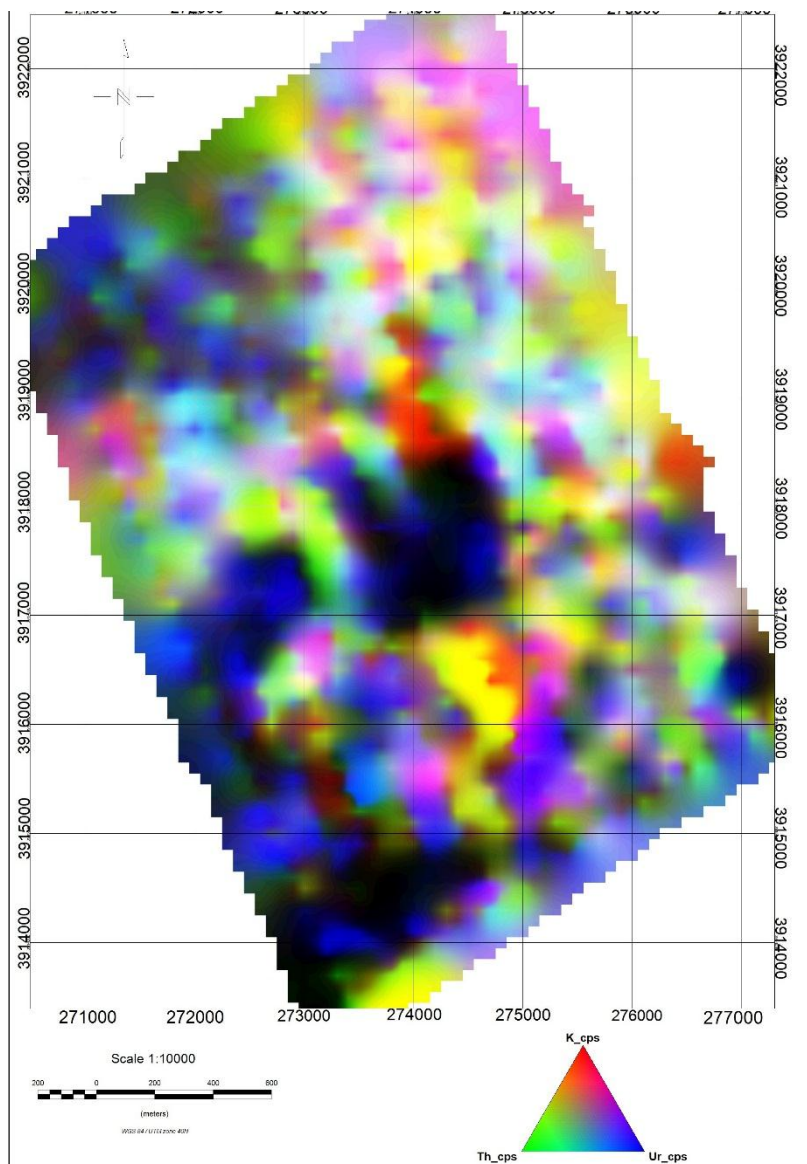
(ب)



(a)



(b)



(ه)

شکل (۸-۵) (الف) نقشه غلظت پتاسیم (K_{cps})، (ب) نقشه غلظت اورانیوم (eU_{CPS})، (ج) نقشه شمارش توریم (eTh_{CPS})، (د) نقشه غلظت شمارش کل ($E_{\mu R/h}$) و (ه) نقشه سه‌گانه.

با توجه به شکل (۸-۵) در مناطق شمالی، شرق و تا حدودی غرب نقشه، غلظت عناصر رادیواکتیو بالا می‌باشد. در نقشه سه‌گانه نیز مشاهده می‌شود، قسمت‌هایی از نقشه که تقریباً سفید رنگ است، نشان‌دهنده غنی‌شدگی سه عنصر پتاسیم، اورانیوم و توریم می‌باشد. مناطقی که به رنگ سیاه و تیره مشخص شده نشان‌گر تهی‌شدگی عناصر رادیواکتیو یا به عبارتی از لحاظ عناصر رادیواکتیو دارای پتانسیل پایین می‌باشند. در این نقشه قسمت‌هایی که رنگ قرمز آن بیشتر است، نشان‌دهنده غلظت بیشتر عنصر پتاسیم نسبت به

دو عنصر دیگر، همچنین مناطق آبی رنگ و سبز رنگ به ترتیب نشان‌گر بیشتر بودن غلظت عنصر اورانیوم و توریم نسبت به دو عنصر دیگر می‌باشد. به علت یکسان بودن نقشه‌های حاصل شده از شمارش عناصر رادیواکتیو و شمارش کل مشابه با نقشه‌های غلظت عناصر، در متن پایان‌نامه آورده نشده است.

در حقیقت غلظت زمینه K، Ur و Th شدیداً با سنگ شناسی ارتباط دارد (جدول ۵-۱۵). با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده در صورت وجود ولکانیک‌ها در منطقه به خصوص آندزیت-بازالت‌ها، شمارش پتاسیم بسیار بالا است و در واقع در جاهایی از نقشه که شدت مغناطیس پایین مشاهده می‌شد، شمارش پتاسیم در این مکان‌ها بالا می‌باشد، که این خود دلیل محکمی بر دگرسانی گرمایی شدید منطقه و حضور هاله‌های دگرسانی پتاسیک می‌باشد [۸].

جدول (۵-۱۵) کانی‌های رادیواکتیو و سنگ‌های در برگیرنده آن‌ها [۸].

پتاسیم	فلدسپارهای ارتوکلاز، میکروکلین و مسکویت در سنگ‌های آذرین اسیدی و پگماتیت‌ها. آلونیت در دگرسانی‌های موجود در سنگ‌های آتشفشانی اسیدی، سیلویت و کارنالیت در نهشته‌های نمک‌دار در رسوبی‌ها
توریوم	مونازیت در گرانیت‌ها، پگماتیت‌ها و گنایس توریانیت، توریت و اورانو توریت در گرانیت‌ها، پگماتیت‌ها و پلاسرها
اورانیوم	اورانیت در گرانیت‌ها، پگماتیت‌ها و نهشته‌های رگه‌ای از Ag, Pb, Cu و غیره کارنوتیت در ماسه سنگ‌ها

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۶ نتیجه‌گیری

- با توجه به مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش تصحیح ریزهم‌ترازسازی مشاهده می‌شود، که در روش ریزهم‌ترازسازی با استفاده از خطوط کنترلی، نقشه‌ای هموارتر و بهتر حاصل گردید و اثرات خطی در آن بسیار کمتر دیده می‌شود. بنابراین نتیجه می‌شود که پردازش با استفاده از خطوط کنترلی برداشت شده بسیار دقیق‌تر و بهتر می‌باشد.
- با توجه به نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، محدوده آنومالی موجود در منطقه حدوداً از $X=272000$ تا $X=274500$ و $Y=3915500$ تا $Y=3919500$ می‌باشد، که تقریباً در مرکز محدوده مورد بررسی واقع شده است.
- با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های مغناطیسی، به طور کلی دو توده با خاصیت مغناطیسی در منطقه موجود می‌باشد، که یکی سطحی‌تر و دارای خاصیت مغناطیسی بالاتری می‌باشد. با افزایش عمق، اثر آنومالی مغناطیسی دیگری نمایان می‌گردد، که دارای شدت میدان مغناطیسی ضعیف‌تری بوده اما گسترش عمقی بیشتری دارد.
- در قسمت‌های مرکزی و غرب محدوده، مناطقی مشاهده می‌شوند که دارای شدت میدان بالا می‌باشند. با توجه به نقشه شدت کل میدان و نتایج حاصل از فیلترهای مختلف اعمال شده بر روی داده‌ها، شدت میدان مغناطیسی بالا می‌تواند به دلیل وجود یک یا چند توده با خاصیت مغناطیسی می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، در این مکان کانسار آهن رباعی موجود بوده که در حال حاضر به صورت معدن نیمه فعال بوده و عمده کانی‌های فلزی آن هماتیت، مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت، لیمونیت، گوتیت می‌باشد.
- با بررسی تمام نقشه‌های مغناطیسی نتیجه می‌شود، که روند عمومی توده‌های نفوذی، تقریباً در جهت شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد.

- قسمت‌های شمالی و شرق محدوده مورد بررسی در بیشتر وسعت خود شدت میدان پایین را از خود نشان می‌دهند. از آنجا که سنگ‌های دگرگونی نظیر اسلیت، فیلیت و شیست و... در غالب موارد شدت میدان پایین را از خود نشان می‌دهند، می‌توان گفت در مناطقی که شدت میدان مغناطیس پایین می‌باشد احتمال وجود سنگ‌های دگرگونی وجود دارد.
- بر اساس نقشه‌های رادیومتری محدوده‌های پوشیده شده توسط سنگ‌های دگرگونی به ویژه فلسیک‌ها و سنگ‌های آذرین اسیدی، مقادیر بالای ناشی از هر سه عنصر رادیواکتیو را از خود نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از نقشه سه‌گانه و مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت در مناطق شمالی و شرقی محدوده مورد بررسی که غنی شدگی عناصر رادیواکتیو وجود دارد احتمال حضور سنگ‌های دگرگونی و آذرین اسیدی زیاد می‌باشد.
- یکی از اهداف عمده برداشت‌های رادیومتری، اکتشاف کانه‌های اورانیوم و توریومی است که معمولاً رادیواکتیویته بالا را نشان می‌دهند. بنابراین با توجه به نقشه‌های حاصل شده از پردازش رادیومتری مناطقی که دارای شمارش عناصر یا غلظت بیشتر اورانیوم و توریوم می‌باشد، جهت اکتشاف و بهره‌برداری مناسب می‌باشد، که در منطقه مورد بررسی قسمت‌های شمالی و شرقی نقشه از غلظت بالای عناصر رادیواکتیو برخوردار است.
- از آنجا که سنگ‌های رسوبی به ویژه آهک و دولومیت، اثر زمینه بالایی از اورانیوم دارند، که می‌تواند به علت شسته شدن و حرکت اورانیوم از درون توده نفوذی به درون این سنگ‌ها باشد. بنابراین در نقشه‌های رادیومتری اورانیوم و سه‌گانه در مناطقی که اورانیوم غلظت بالایی داشته می‌توان گفت احتمالاً ناشی از وجود سنگ‌های رسوبی به ویژه آهک و دولومیت می‌باشد.
- با توجه به مطالعات صورت گرفته مبنی بر اینکه، هوازگی سطحی کانه‌های سولفیدی باعث تمرکز و ته‌نشینی توریوم می‌گردد. همچنین در طی هوازگی معمولاً توریوم نسبت به پتاسیم

غنی‌شدگی کمتری نشان می‌دهد. بنابراین در بخش‌هایی از نقشه که شمارش عنصر توریم زیاد می‌باشد، احتمال حضور کانسارهای معدنی به خصوص مس بالاست.

- در بررسی‌های رادیومتری، زمین‌شناسان متوجه ارتباط متالورژیکی اورانیوم و مس در مقیاس وسیعی از ایران شدند، که این دو عنصر از لحاظ ژئوشیمی با هم تشکیل می‌شوند. لذا با استناد به مطلب ذکر شده می‌توان گفت که در مناطقی از محدوده مورد بررسی که شمارش اورانیوم بالاست، احتمال حضور کانسارهای مس نیز می‌باشد، که با توجه به نقشه شمارش عنصر اورانیوم، در قسمت‌های شمال و جنوب نقشه و همچنین در قسمت‌های شرق و غرب کانسار آهن رباعی میزان شمارش اورانیوم بالاست.

- بر اساس مطالعات انجام شده، در مناطقی از نقشه که شدت میدان مغناطیس پایین بوده، شمارش پتاسیم در این مکان‌ها بالا است، که نشان‌گر دگرسانی گرمابی و حضور هاله‌های دگرسانی پتاسیک می‌باشد.

۶-۲ پیشنهادات

- در نواحی مرکزی منطقه که آنومالی‌های با شدت میدان مغناطیسی بالا مشاهده می‌شود، می‌تواند جهت پی‌جویی و اکتشاف مناطق امیدبخش معدنی، از جمله کانسارهای فلزی با خاصیت مغناطیسی شدید مورد بررسی قرار گیرند.
- با توجه به نتایج به دست آمده از نقشه‌های رادیومتری نواحی شمالی، شرق و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بالای عناصر رادیواکتیو برخوردار بوده، که جهت اکتشافات رادیومتری مناسب می‌باشد.

منابع

- [1] بادوزاده کانرش ح. حسن نژاد ع. ا، (۱۳۹۰) "بررسی ژنز کانسار آهن رباعی بر اساس ژئوشیمی توده‌های نفوذی، کانی‌شناسی و مطالعات شاره‌های درگیر"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. ۲۳-۲۴ آذر ماه.
- [2] عبدی م. کریم پور م. و حیدریان شهری م، (۲۰۱۱) "تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی منطقه اکتشافی کوهشاه بر مبنای داده‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانه زایی"، دومین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران. ۱۵-۱۶ تیرماه.
- [3] Nourouzi Baghkemeh Gh.H. and GHolam A. (2015) "Geological structure imaging from airborne electromagnetic and magnetic data, A case study in Kalat-e-Rashm area, Iran" *Arabian journal of geosciences*, Vol. 8, pp. 425-435.
- [4] حیدری س. ر، (۱۳۹۱) "تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی در منطقه آلت"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند، ۹-۱۰ شهریور ماه.
- [5] حکمتیان م. ا. فرزین م. و زاهدی ه، (۱۳۸۴) "تفسیر رادیومتری و مغناطیسی هوایی محدوده‌ای از منطقه اسفوردی برای اکتشاف اورانیوم"، دوازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک.
- [6] Luyendyk A. P. J. (1997). "Processing of airborne magnetic data", *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, Vol. 17, No. 2. pp. 31-38.
- [7] Minty B.R.S. (1991) "Simple micro-leveling for aeromagnetic data", *Exploration Geophysics*, Vol. 22, pp. 591-592.
- [8] بهادری س. ر، (۱۳۸۹) "کاربرد مغناطیس‌سنجی و رادیومتری هوابرد در ارزیابی پتانسیل معدنی ولکانیک‌های شمال شهر بابک"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۲۳-۲۱ اردیبهشت.
- [9] Jafari H. R. and Yazdi A. (2014). "Radioactive anomalies in 1:50000 Dehbakri sheet, south of Kerman province, Iran", *Open Journal of Geology*, Vol. 4, pp. 399-405.
- [10] Jafari H. R., ZiaZarifi A. and Yazdi A. (2014). "Investigation of Uranium and Thorium mining potential and preparation of radioactive elements anomaly maps in 1:50000 sheet of SarCheshmeh (Kerman province)", *Afinidad LXXI*, enero-febrero, pp 563.
- [11] جعفری ح. ر، لطفی م. و ظریفی ا، (۱۳۹۱) "اکتشاف ناحیه‌ای اورانیوم و توریم بر مبنای داده‌های ژئوفیزیک رادیومتری هوایی در برگه ۱:۵۰۰۰۰ سرچشمه (استان کرمان)"، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۱۶-۱۴ شهریور ماه.
- [12] ظریفی ا. ص. جعفری ح. ر. و علوی گیوی س. ر، (۱۳۸۷) "بررسی ناهنجاری‌های ژئوفیزیک هوایی جهت اکتشاف اورانیوم در فاز شناسایی منطقه ده بکری (شمال شرق جیرفت)"، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، ۷-۹ آبان ماه.
- [13] Horsfall K. R. (1997). "Airborne magnetic and gamma-ray data acquisition", *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, Vol. 17, No. 2. pp. 23-30.
- [14] شاکرمی م. رحیمی پور غ. ر. معمار ا. رنجبر ح. ا. و قنبری ی، (۱۳۸۷) "اکتشاف اورانیوم به روش ژئوفیزیک رادیومتری هوایی در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ چادرملو"، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران، ۷-۹ آبان ماه.
- [15] اسماعیلی د. شیبی م. و کنعانیان ع، (۱۳۸۵) "سنگ‌زایی و روند تکاملی اسکارن آهن پنج کوه (خاور ایران)"، مجله علوم.
- [16] اشراقی ص. و جعفریان م. (۱۳۷۴) "بررسی ذخایر معدنی استان سمنان (طرح ناحیه پشک)"، گزارش ۱، ص ۲.

[۱۷] محمدی م، "کانی‌شناسی (غیر سیلیکات‌ها)"، www.PNUEB.com

[18] www.Mindat.org/mineral

[19] <https://fa.wikipedia.org/wiki/Magnetite>

[20] <https://fa.wikipedia.org/wiki/Chalcopyrite>

[21] <https://fa.wikipedia.org/wiki/Limonite>

[22] <https://fa.wikipedia.org/wiki/Goethite>

[23] Magaia L. A (2009). "Processing techniques of aeromagnetic data. Case studies from the Precambrian of Mozambique", p. 1.

[۲۴] پایگاه ملی داده‌های علوم زمین: اطلاعات علوم زمین <http://www.ngdir.ir/GeoportalInfo>

[25] Minty B. R. S. (1997). "Fundamental of airborne gamma-ray spectrometry", AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, Vol. 17, No. 2, pp. 39-50.

[26] Dickson B. L. and Scott K. M., 1997. "Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors". AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, Vol. 17, No. 2, pp. 187-200.

[۲۷] سبطی ا، "گزارش مراحل اجرای پروژه ژئوفیزیک هوایی، مغناطیس و رادیومتری هوابرد"، (۱۳۹۲) کارگاه آموزشی سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[28] Reeves C. V. (2005), "The Aeromagnetic surveys, Principles, Practice & Interpretation".

[29] Neawsuprap K., Charusiri P. and Meyers J. (2005). "New processing of airborne Magnetic and Electromagnetic data and Interpretation for Subsurface structures in the Loei area Northeastern Thailand", Vol. 31, pp. 283-298.

[30] Reeves C. V. and Bullock S. J. (2006), "Airborne exploration, Fugro Airborne Surveys Limited (in press)", *Geology & Geophysics*, Vol. 17, No. 2, pp. 145-158.

[31] Blakely R. J. (1996), "Potential theory in gravity and magnetic application", Cambridge university press, pp. 158.

[32] Whitehead N. and Musselman C. (2010) "Processing and Enhancing Geophysical Data Extension", TUTORIAL and USER GUIDE, pp. 37-41.

[33] Huang H. (2008), "Airborne geophysical data leveling based on line-to-line correlations", *Geophysics*, Vol. 73, No. 3, pp. 83-89.

[34] Grasty R. L. and Minty B. R. S. (1995), "A guide to the technical specifications for airborne gamma-ray survey", Australian Geological Survey Organization.

[35] "Airborne gamma-ray spectrometer surveying", International Atomic energy agency, Vienna, (1991), Technical reports series, No. 323.

[36] Whitehead N. and Musselman C. (2010) "Processing and Enhancing Geophysical Data Extension", Tutorial and user guide.

[37] Blakely R. J. (1996), "Potential theory in gravity and magnetic application", Cambridge university press, pp. 330.

