

بررسی خطواره‌های زمین‌ساختی در ناحیه پشت‌بادام با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی

مسلم جهان‌تیغ^{۱*}، غلامرضا نوروزی^۱ و فرشاد ژولیده‌سر^۲

^۱دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
^۲دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۲۷)

چکیده

به منظور پی‌جویی خطواره‌های زمین‌ساختی در منطقه پشت‌بادام و نقش آن در کانی‌زایی این محدوده داده‌های مغناطیسی در این گستره مورد پردازش و تفسیر قرار گرفته است. به این منظور پس از مشاهدات صحرایی، شبکه برداشت ۱۰×۲۰ در ۶۰ نیم‌رُخ و در ۲۴۰۰ ایستگاه طراحی شد. در همین راستا با استفاده از فیلترهای مشتق قائم مرتبه اول، مشتق قائم مرتبه دوم، سیگنال تحلیلی و زاویه کجی امتداد گسل‌ها به طور دقیق مشخص و همچنین با استفاده از روش اویلر عمق گسل‌های محدوده مورد بررسی برآورد شد. در این محدوده سه گسل با راستاهای، گسل ۱، شمال غرب-جنوب شرق، گسل ۲، شرقی-غربی و گسل ۳، شمال شرق-جنوب غرب مشاهده می‌شود. در واقع به نوعی می‌توان عامل اصلی کانی‌سازی را زون خرد شده ایجاد شده از گسل‌های نامبرده معرفی کرد. پس از پردازش‌های لازم روی داده‌ها، روش اویلر برای برآورد عمق، مورد استفاده قرار گرفت. اندیس ساختاری و اندازه پنجره با بررسی‌های زمین‌شناسی ۰/۹ و ۱۰×۱۰ تعیین شد که در نهایت عمق سطح فوقانی گسل‌ها ۵ تا ۱۵ متر برآورد شد که با نتایج حاصل از تفسیر کیفی تطابق خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: خطواره‌های زمین‌ساختی، پشت‌بادام، مغناطیس‌سنجی، یزد، گسل، فیلترهای مغناطیس‌سنجی

Investigation of tectonic lineaments by using magnetic data in Poshtbadam area, Yazd province

Moslem Jahantigh^{1*}, Gholamreza Nowrouzi¹ and Farshad Joulidehsar²

¹University of Birjand, Birjand, Iran
²University of tehran, Iran

(Received: 22 May 2012, accepted: 17 May 2014)

Summary

Magnetic method is an important passive surface geophysical method which uses the Earth's natural magnetic fields to investigate the susceptibility structure of the subsurface material. The geomagnetic field measurements can be used to determine the structure of the earth, because the rocks often contain magnetic minerals. The interpretation of data of this nature, in some cases, will determine geological characteristics that would help contribute to the success of mining or oil exploration. In this study, for the review of more details and achieving an idea about accurate location, dip, depth and mineralization spread, geomagnetic surveys were applied and then data processing method were used.

*Corresponding author:

moslemmine@yahoo.com

*نگارنده رابط:

Preparing a suitable map which contains the informative data without interference from noise is the main purpose of the data processing. To reach this aim, the acquired data should be corrected for different non-geological effects.

These are: 1. Diurnal correction to remove time varying parts of the magnetic field. 2. IGRF correction to remove the field of earth core and upper mantle response.

Many interpreting methods, that estimate the depth, location and the shape of a potential source, are based on using the gradients of potential fields. Derivatives are high pass filters. They intrinsically amplify any noise and shallow anomalies present in the data. Therefore, using high order derivatives would be less common. Tilt angle has many interesting properties. For example, due to the nature of arctan trigonometric function, all tilt amplitude are restricted to values between -90° and $+90^\circ$ (Salem et al. 2007). Another property of tilt angle is that the value of tilt angle above the edges of the contacts is 0° , and it is equal to 45° when $h = zc$ and -45° when $h = -zc$. This suggests that contours of magnetic tilt angle can identify the locations of contact-like structures.

The studied area is located in Yazd province and it is part of micro continent Iran central. The intrusive rock in this area is gneiss and the sedimentary rock is schist and the host rock of studied area is limestone. Igneous units of the trust are located on limestone. Also outcrop of hematite has been observed in this area. Designing the field operation grid were carried out based on geology and primary studies of region and therefore 2400 points were along 60 profiles. After diurnal correction, total magnetic intensity has been corrected by using IGRF 2000 so that components of Earth's magnetic fields have been eliminated. Also reduction to pole operation was done. In this paper, first derivative, second derivative, analytical signal tilt angle and Euler deconvolution methods were used to study fractured structures. The edges of these faults were detected by using analytical signal, first derivatives, second derivatives and the tilt angle method.

Then, we use the standard Euler deconvolution method. Reid et al (1990) used this method as Grade analysis. Simple geometric models for magnetic field source (Balkely, 1995) and determination of structural index with earlier data are disadvantages of the Euler method. However, Thompson (1982) and Reid et al (1990) determined the optimum structural index for different structures; nevertheless the Euler method estimated quite well the location and depth of magnetic sources (Aboud et al., 2005)

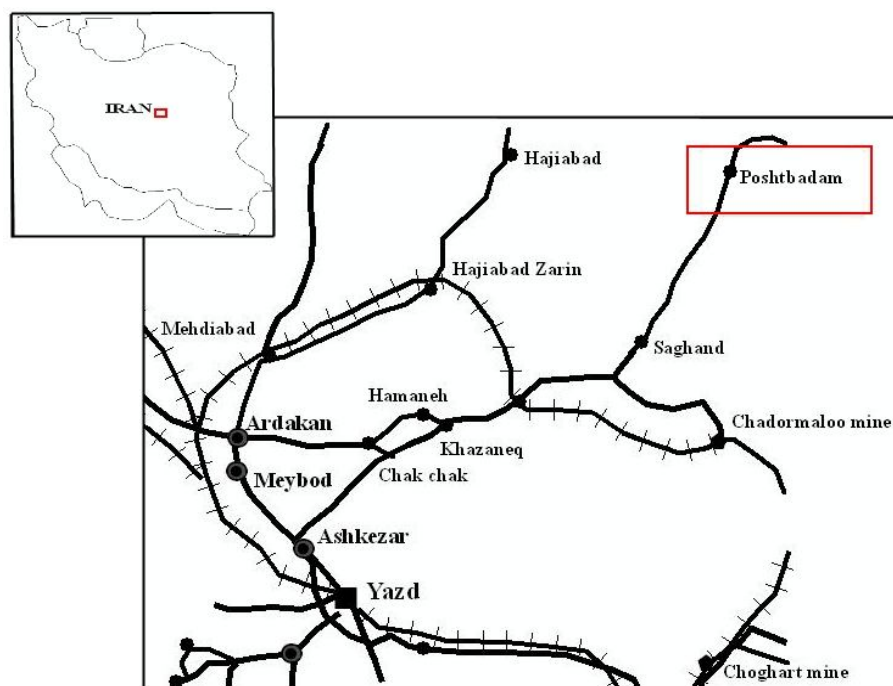
The results of the first vertical derivative showed three major faults in this area strikes of which were east-west in north, northeastern-southwestern in middle and northwestern-southeastern in south of the area and the other interpretation methods have an acceptable degree of reliability. The faults specified by using these methods that are offsprings of mineralization have good compatibility with geological information. Also, the depths of the faults in the area were estimated by the Euler method. The estimated depths of the top of major faults in the area were similar at 5 m and 15 m.

Key words: Tectonic lineaments, Poshtbadam, magnetometer, Yazd, fault, magnetic filters.

۱ مقدمه

در جنوب غربی معدن فعال رباط قرار گرفته است و دسترسی به آن از راه جاده خاکی امکان‌پذیر است. محدوده مورد بررسی از لحاظ زمین‌شناسی میان گسل پوشیده ناین- کوهبنان در شرق و گسل پشت‌بادام در غرب قرار دارد. نکته اساسی این بلوک رخنمون‌های

در این مقاله از روش مغناطیس‌سنجی برای بررسی زون خرد شده استفاده شده است. محدوده مورد بررسی در روستای پشت‌بادام از توابع استان یزد قرار دارد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد. این ناحیه



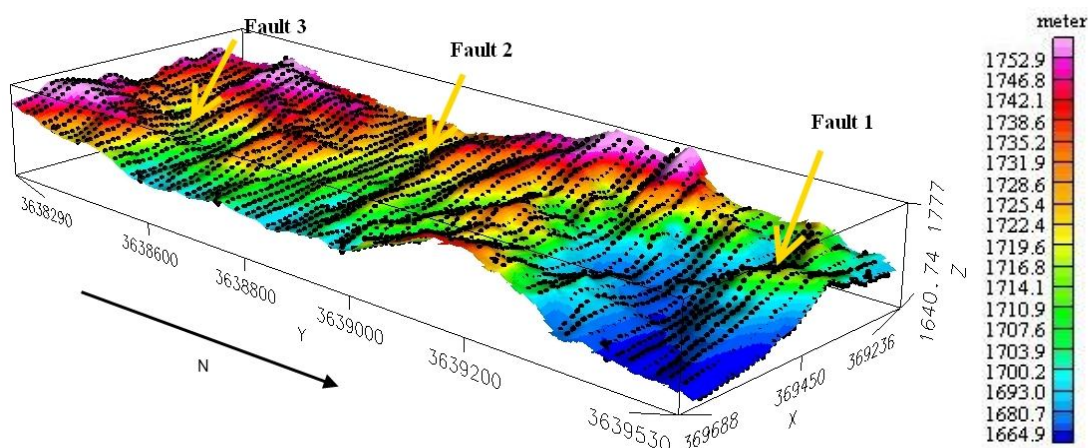
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه.

کانی‌زایی در این محدوده گسل‌های موجود در منطقه مورد بررسی است.

با توجه به اینکه بررسی گسل به روش مغناطیسی به تباین مغناطیسی سنگ‌های اطراف گسل بستگی دارد (اویسی موخر و همکاران، ۱۳۸۷)، استفاده از روش مغناطیسی به منظور بررسی گسل‌ها در نقاط گوناگون دنیا در حکم روشی موثر مورد استفاده است. این روش هم در مناطقی که با رسوبات پوشیده شده‌اند و در آنها امکان مشاهده گسل به صورت مستقیم وجود ندارد، و هم در بررسی گسل در بین واحدهای آذرین به کار می‌رود. قریب (۱۹۸۵) در مطالعات ژئوفیزیک در حوزه قرادیک مصر که دارای پوشش ضخیم رسوبی و پتانسیل هیدروکربوری زیادی است، از روش مغناطیس‌سنجی استفاده کرد و گسترش شکستگی‌های مهم منطقه را به دست آورد.

راس و مور (۱۹۸۵) برای یافتن منابع زمین‌گرمایی در ایالت یوتای آمریکا به جست‌وجوی ساختارهای پایین‌افتاده

دگرگونی منسوب به پرکامبرین است که بیشتر از نوع سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی-آواری و آذر آواری به همراه مرمراه‌های آهکی و دولومیتی است. سنگ‌های ماگمایی این بلوک محدود به پرکامبرین نیستند، ردیف‌های پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین آن همراهانی از گدازه‌های قلیایی و خاستگاه کافتی دارند و به نظر می‌رسد که پدیده کافتی شدن از ویژگی‌های این بلوک باشد (آقناباتی، ۱۳۸۵). از نظر سنگ‌شناسی منطقه برداشت از واحدهای آذرین از نوع گنایس و واحدهای رسوبی از نوع شیست پوشیده شده است. اغلب واحدهای آذرین به صورت تراستی روی آهک‌های بلوری شده رانده شده‌اند. رخنمون‌های کانسار آهن از نوع هماتیت نیز در همین روند در همبری دو زون اطراف گسل، در سطح ظاهر شده‌اند. در واقع خرد شدن سنگ‌ها باعث کاهش فشار در مسیر گسل شده و شرایط برای به سطح رسیدن توده نفوذی کانی‌زا، فراهم و فرایند کانی‌سازی در این زون خرد شده صورت گرفته است. یکی از عوامل اصلی



شکل ۲. توپوگرافی محدوده مورد بررسی به همراه نقاط برداشت و موقعیت گسل‌های احتمالی مورد بررسی. (محورهای افقی مختصات نقاط و محور قائم ارتفاع نقاط برداشت محدوده برحسب متر است).

مکان‌یابی دو بُعدی عرضه کرد (نیقیان، ۱۹۷۲) و پس از آن، روست روش سیگنال تحلیلی را برای مکان‌یابی منابع سه بُعدی تعمیم داد (روست و پیکینگتون، ۱۹۹۲). عمده تفاوتی که روش گرانی و مغناطیسی دارند این است که برخلاف روش گرانی که در آن بی‌هنجاری‌ها در بالای توده بی‌هنجار جای می‌گیرند، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در عرض‌های جغرافیایی متفاوت، قطبیدگی متفاوتی را آشکار می‌کنند که تفسیر آنها را مشکل می‌سازد. چنین شکل‌های بی‌هنجاری مغناطیسی با شیب بردار میدان مغناطیسی القایی یا بردار مغناطیدگی ایجاد می‌شوند. برای پاسخ به این کج‌شدگی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، از تبدیلی به نام برگردان به قطب استفاده می‌شود. این تبدیل باعث تمرکز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در بالای چشمه مغناطیسی می‌شود (بارانوف و ناودی، ۱۹۶۴). این روش نیز مثل بیشتر روش‌های تحلیلی، نیازمند دانستن زوایای شیب و انحراف بردار میدان مغناطیسی القایی و بردار مغناطش است. در هر حال یکی از ویژگی‌های مهم روش سیگنال تحلیلی این است که برای یک جسم دو بُعدی باریک (مانند دایک) دامنه سیگنال تحلیلی، مستقل از جهت بردار میدان مغناطیسی القایی است که منحنی مقارنی به شکل زنگوله دارد و درست در بالای چشمه

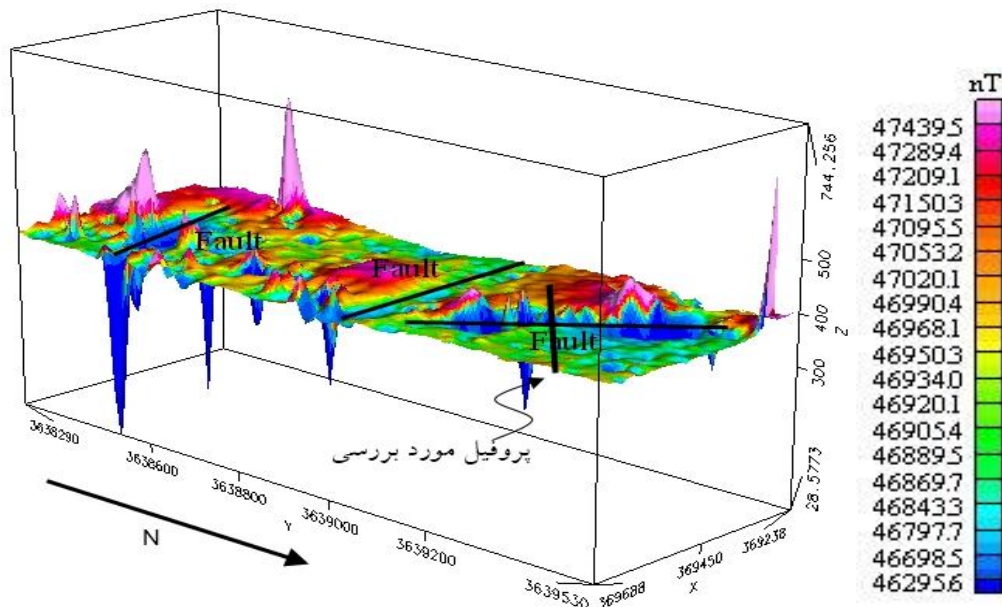
(گران) با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی پرداخته است. روش واهمامیخت اوپلر در مغناطیس در موارد زیادی از جمله: شناسایی گسل‌های زیر سطح دریا (رید و همکاران، ۱۹۹۰)، بررسی ساختارهای زیر سطحی محل احداث سد (آدبایو و همکاران، ۱۹۹۶)، بررسی حوزه سیریت بیسین (ساحیل و همکاران، ۲۰۱۰)، بررسی ساختارهای فعال زمین‌ساختی فایوکیرو (بریمیچ و همکاران، ۲۰۱۱) و بررسی ساختارهای فلات مالزی (راجندراشارما و همکاران، ۲۰۱۲) با موفقیت به کار رفته و نتایج مفید و رضایت‌بخشی حاصل کرده است. در این مقاله ابتدا روش‌های پردازش داده‌های مغناطیسی و روش واهمامیخت اوپلر مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس نتایج حاصل از پردازش و تفسیر داده‌های محدوده پشت‌بادام با این روش بیان می‌شود.

۲ روش تحقیق

در این بخش ابتدا توضیحی از روش‌های بکار رفته در مقاله و سپس نتایج به دست آمده از آنها آورده شده است.

۱-۲ استفاده از روش سیگنال تحلیلی

اولین بار نیقیان به طور گسترده روش سیگنال تحلیلی را در



شکل ۳. نمای سه‌بعدی از میدان مغناطیسی کل محدوده مورد بررسی و مکان گسل‌های مورد بررسی. (محورهای افقی مختصات نقاط برحسب متر و محور قائم میدان مغناطیسی کل برحسب nT در نقاط برداشت محدوده است.)

مغناطیسی واقع شده است.

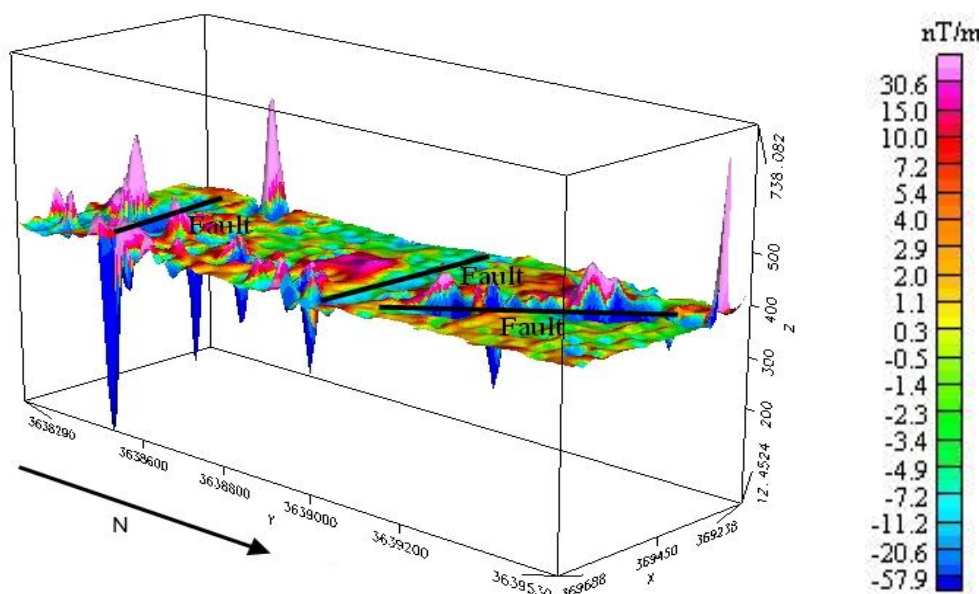
مشکل سیگنال تحلیلی این است که برای یک جسم ضخیم موقعی که ابعاد افقی جسم از عمق بالایی توده بیشتر می‌شود، طرح کلی تعیین کرانه‌های چشمه مغناطیسی از بیشینه دامنه سیگنال تحلیلی به علت اثرهای تداخلی به‌طور کافی دقیق نیست (روست و پیکینگتون، ۱۹۹۲). برای حل این مشکل هسو و همکاران (۱۹۹۶) سیگنال تحلیلی تقویت شده را که به مشتق قائم مرتبه دوم بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل اعمال می‌شود عرضه کردند. این روش تجسم بهتری از نمای کلی بدنه‌های چشمه مغناطیسی کم‌عمق را نشان می‌دهد. با این حال مشکل اصلی کاربرد مشتق مرتبه دوم این است که نوفه‌های بسامد زیاد را تقویت می‌کند.

۲-۲ مشتق قائم مرتبه اول

یکی از مشکلات اصلی در کارهای اکتشافی، حذف بی‌هنجاری‌های عمیق از نقشه‌های بی‌هنجاری میدان کل به‌منظور آشکارسازی بی‌هنجاری‌های سطحی است. تبدیل

گرادیان قائم باعث می‌شود تا این طول موج‌های کوچک در مقابل طول موج‌های بلند تقویت و برجسته شوند. بنابراین در نقشه‌های گرادیان قائم بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای و منابع عمیق به علت خطی بودن خیلی ضعیف هستند و یا از بین می‌روند و در مقابل بی‌هنجاری‌های مربوط به منابع سطحی برجسته‌تر می‌شوند. این امر بسامد زیاد و خطای شبکه‌بندی را افزایش می‌دهد و بنابراین بی‌هنجاری‌های کاذب بدون ارتباط با منابع زمین‌شناسی را نشان خواهد داد. از طرفی گرادیان قائم باعث افزایش گرادیان‌ها در لبه‌های منبع مغناطیسی کم‌عمق می‌شود، لذا اغلب برای مکان‌یابی کانسارهای مغناطیسی و آشکارسازی منابع کم‌عمق مورد استفاده قرار می‌گیرد (لویندیک، ۱۹۹۷).

گرادیان قائم یکی از مهم‌ترین ابزارها در تعیین لبه‌های بی‌هنجاری و مرز زون‌های زمین‌شناسی است زیرا در مرز بی‌هنجاری‌ها، تغییرات دامنه بی‌هنجاری مغناطیسی خیلی زیاد است (گان، ۱۹۷۲) و از این‌رو در همه مراحل تفسیر کیفی به‌خصوص تعیین بافت بی‌هنجاری‌ها و تعیین مرز



شکل ۴. نمای سه‌بعدی از مشتق قائم مرتبه اول محدوده مورد بررسی و مکان گسل‌های مورد بررسی. (محورهای افقی مختصات نقاط برحسب متر و محور قائم مقدار مشتق قائم برحسب nT/m در نقاط برداشت محدوده است.)

$$\frac{\partial M}{\partial h} = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}, \quad (2)$$

که M میدان مغناطیسی کلی، $\frac{\partial M}{\partial z}$ مشتق قائم میدان و $\frac{\partial M}{\partial x}$ ، $\frac{\partial M}{\partial y}$ به ترتیب مشتقات افقی در جهت x و y هستند. به سبب ماهیت تابع تانژانت وارون، همه دامنه‌های آن بین (-90°) و (90°) است. یکی دیگر از ویژگی‌های زاویه کجی این است که مقدار آن روی بی‌هنجاری مثبت، روی مرزها صفر و در بیرون از محدوده بی‌هنجاری منفی است. در اینجا مقدار صفر نشان‌دهنده مرز بی‌هنجاری است. از همین خصوصیت می‌توان برای تشخیص مرز بی‌هنجاری استفاده کرد.

نیقیان (۱۹۷۲) روابط زیر را برای مشتقات افقی و قائم میدان مغناطیسی روی یک همبری مغناطیسی برای موقعیت افقی $h=0$ و عمق Z_c بیان کرد. این روابط را وردوزو و همکاران (۲۰۰۴) توسعه دادند و به صورت زیر عرضه کردند:

زون‌های زمین‌شناسی، نقشه گرادیان قائم می‌تواند بسیار مفید باشد.

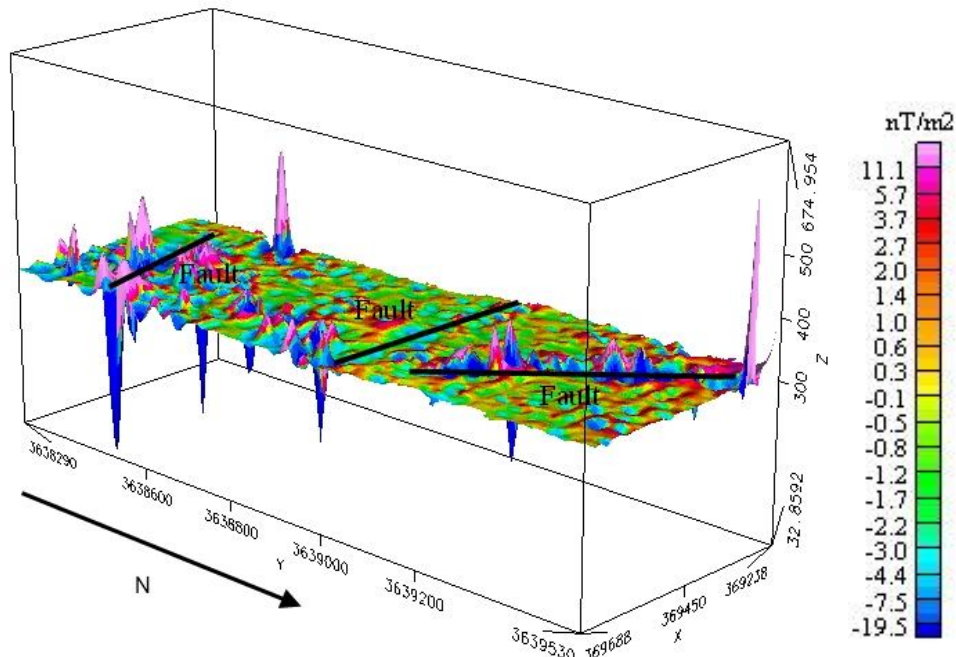
۲-۳ مشتق قائم مرتبه دوم

مشتق قائم دوم یک گرادیان قائم از مشتق قائم اول است و مانند آن عمل می‌کند. روابط ریاضی نشان می‌دهد که این پردازش، توان تفکیک بسامدهای زیاد را نسبت به بسامدهای کم افزایش می‌دهد و این خصوصیت، اساس کاربرد پردازش مشتق است که باعث حذف تاثیرات ناحیه طول موج‌های بلند و حذف تاثیرات بی‌هنجاری‌های مجاور می‌شود.

۲-۴ زاویه کجی

زاویه کجی (تیلت) به صورت زیر تعریف می‌شود (وردوزو و همکاران، ۲۰۰۴):

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\partial M}{\partial z}}{\frac{\partial M}{\partial h}} \right], \quad (1)$$



شکل ۵. نمای سه‌بُعدی از مشتق قائم مرتبه دوم محدوده مورد بررسی و مکان گسل‌های مورد بررسی. (محورهای افقی مختصات نقاط برحسب متر و محور قائم مقدار مشتق دوم برحسب nT/m^2 در نقاط برداشت محدوده است.)

(وردوزو و همکاران، ۲۰۰۴): (۳)

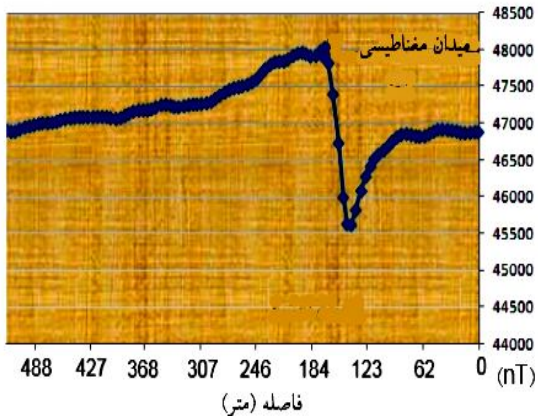
$$\frac{\partial M}{\partial h} = 2kfc \frac{z_c}{z_c^2 + h^2}, \quad (۵)$$

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2kfc \frac{z_c}{z_c^2 + h^2}, \quad (۶)$$

که با جای‌گذاری معادله‌های (۵) و (۶) در معادله (۱)، رابطه زیر به دست می‌آید (وردوزو و همکاران، ۲۰۰۴):

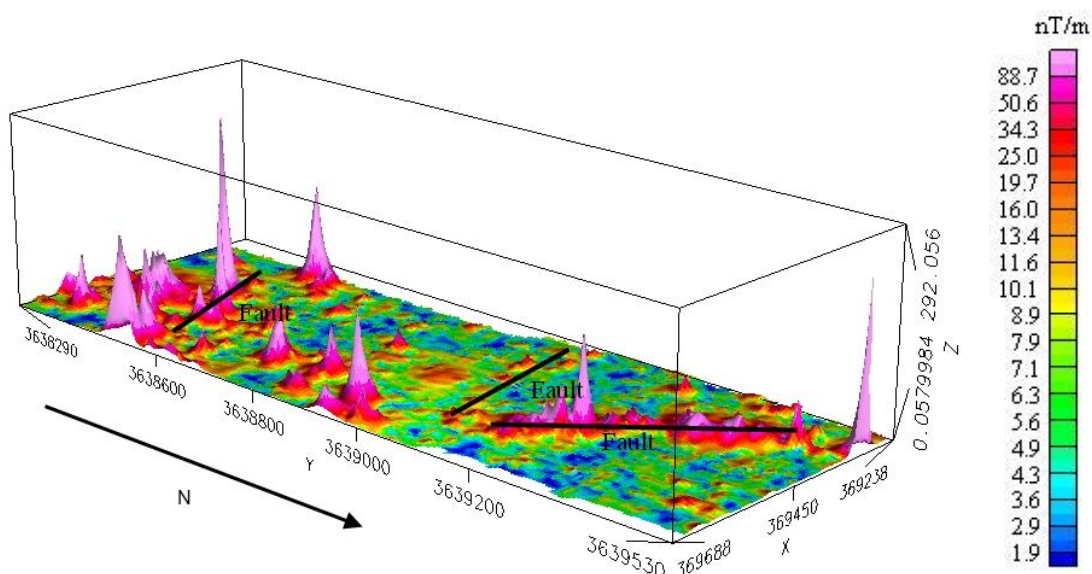
$$\frac{\partial M}{\partial h} = \frac{2kfc \sin d \frac{z_c \cos(2I - d - 90) + h \sin(2I - d - 90)}{z_c^2 + h^2}}, \quad (۴)$$

$$\frac{\partial M}{\partial z} = \frac{2kfc \sin d \frac{h \cos(2I - d - 90) + z_c \sin(2I - d - 90)}{z_c^2 + h^2}},$$

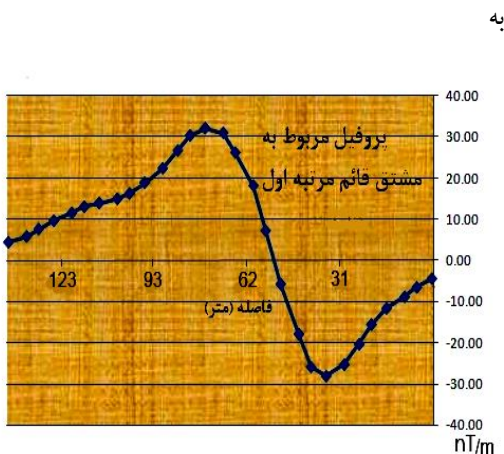


شکل ۶. نیم‌رخ مربوط به میدان مغناطیسی کل روی گسل شماره ۱. (محور افقی موقعیت روی نیم‌رخ برحسب متر و محور قائم بی‌هنجاری مغناطیسی کل برحسب nT است.)

که K خودپذیری همبری مغناطیسی، F شدت میدان مغناطیسی، $c = 1 - (\cos i)^2 = (\sin A)^2$ که A زاویه بین جهت مثبت h و شمال مغناطیسی است، I زاویه میل مغناطیسی است که $\tan I = \frac{\tan i}{\cos A}$ و d شیب است که در جهت مثبت h اندازه‌گیری می‌شود. مقادیر تابع‌های مثلثاتی برحسب درجه هستند. با فرض اینکه همبری عمودی است و میدان مغناطیسی زمین نیز عمود است یا عملیات کاهش به قطب روی آن صورت گرفته است، معادله‌های (۳) و (۴) به صورت زیر نوشته می‌شود



شکل ۷. نمای سه‌بعدی از سیگنال تحلیلی محدوده مورد بررسی و مکان گسل‌های مورد بررسی. (محورهای افقی مختصات نقاط برحسب متر و محور قائم مقدار فیلتر سیگنال تحلیلی برحسب nT/m در نقاط برداشت محدوده است.)



شکل ۸. نیم‌رخ مربوط به میدان مشتق قائم مرتبه اول روی گسل شماره ۱. (محور افقی موقعیت روی نیم‌رخ برحسب متر و محور قائم مشتق اول برحسب nT/m است.)

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{h}{z_c} \right], \quad (V)$$

رابطه (V) نشان می‌دهد که مقدار زاویه کجی در بالای لبه همبندی برابر صفر (h = 0) و زمانی که $h = z_c$ باشد θ برابر ۴۵ درجه است و در صورتی که $h = -z_c$ باشد θ برابر -۴۵ درجه است. بنابراین خم‌های $\theta = 0$ لبه‌های بی‌هنجاری و نصف فاصله بین پهندهای ± 45 عمق بی‌هنجاری را نشان می‌دهد (سالم و همکاران، ۲۰۰۷ و سالم و همکاران، ۲۰۰۸).

۲-۵ نتایج تفسیرهای کیفی

با توجه به شناسایی و برداشت اولیه از تعداد ۱۱ رخنمون کانسار آهن مشخص شده، حدود ۶۰ لاین در جهت عمود بر رخنمون ماده معدنی طراحی و پیاده شد. روند اصلی شبکه برداشت با در نظر گرفتن دو بی‌هنجاری شمالی و جنوبی واقع در دره مواسلاتی که وسعت زیادی داشت طراحی شده است.

برای پوشش همه رخنمون‌ها، ۶۰ لاین با فاصله ۲۰ متر

تعداد ۲۴۰۰ ایستگاه با فاصله ۱۰ متر در دوره‌های متفاوت به صورت شبکه منظم با دستگاه جدید مغناطیس‌سنجی و تعیین موقعیت ماهواره‌ای صورت گرفت. شکل ۲ موقعیت برداشت نقاط به همراه توپوگرافی محدوده مورد بررسی و گسل‌های احتمالی آن محدوده را نشان می‌دهد. داده‌های شدت میدان مغناطیسی کل با استفاده از IGRF 2000

برای توضیحات بیشتر از یک نیم‌رخ روی گسل شماره ۱ (شکل ۳) استفاده شده است شکل‌های ۶، ۸ و ۹ بی‌هنجاری میدان کل، مشتق اول و دوم را روی این نیم‌رخ نمایش می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها انطباق بی‌هنجاری به وضوح دیده می‌شود.

در نهایت روش دیگری به نام زاویه کجی برای لبه‌یابی بی‌هنجاری مورد استفاده قرار گرفته است که یکی از روش‌های نوین و ساده برای برآورد عمق و لبه‌یابی است و براساس خواص زاویه تانژانت عمل می‌کند، به طوری که مقدار این زاویه در لبه‌های کانسار صفر است.

شکل ۱۰ نقشه دُبعدی حاصل از اعمال فیلتر زاویه کجی روی داده‌های محدوده را نشان می‌دهد. با بررسی شکل و مشخص کردن محدوده‌ای که مقدار زاویه تیلت صفر است باز همان نتایج قبل حاصل شد. اکنون با اطمینان می‌توان گفت که سه گسل عمده در محدوده وجود دارد که گسل ۱ دارای راستای شمال غربی - جنوب شرقی، گسل ۲، شرقی - غربی و گسل ۳، شمال شرقی - جنوب غربی است. پس از مشخص کردن راستای گسل‌ها، عمق قرارگیری سطح فوقانی گسل‌ها با روش واهمامیخت اوپلر مورد بررسی قرار گرفت.

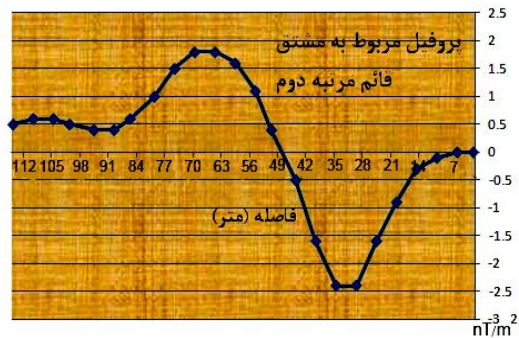
۲-۶ روش واهمامیخت اوپلر

روش واهمامیخت اوپلر را اولین بار هود (۱۹۶۵) مطرح کرد. پس از آن تامپسون (۱۹۸۲) این روش را روی داده‌های مصنوعی و واقعی به کار برد. رید (۱۹۹۰) این روش را به صورت تحلیل شبکه (آنالیز گرید) به کار برد. معادله همگن اوپلر به صورت زیر است:

$$(x - x_0) \frac{\partial \Delta F}{\partial y} + (y - y_0) \frac{\partial \Delta F}{\partial z} - (z - z_0) \frac{\partial \Delta F}{\partial z} = -N \Delta F(x, y), \quad (8)$$

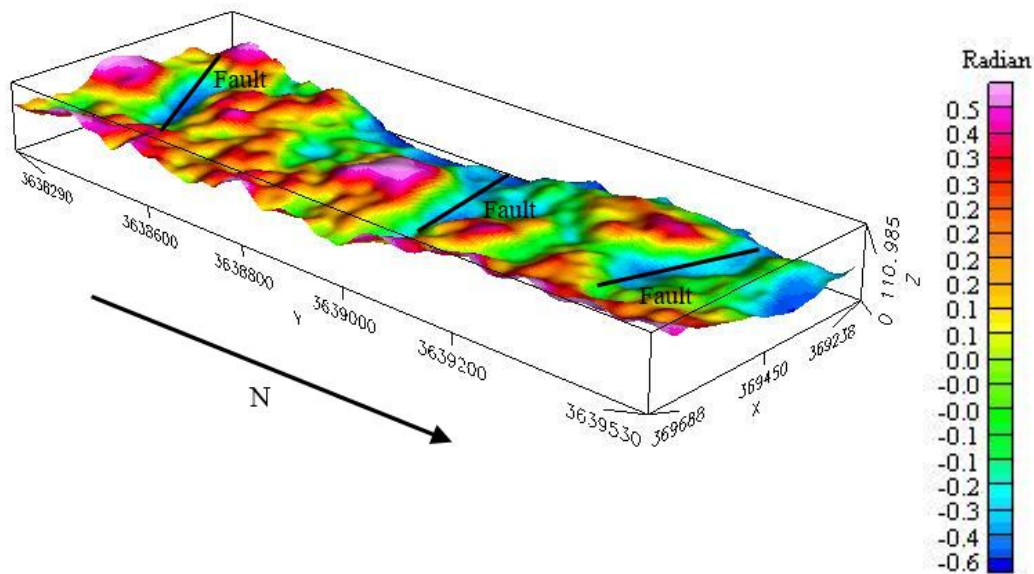
که N اندیس ساختاری است و به صورت آهنگ انحراف

تصحیح شده است تا اثر مولفه میدان مغناطیسی زمین حذف شود. سه گسل موجود در نقشه میدان مغناطیسی کل با گسل‌های موجود در نقشه گرادیان قائم مرتبه اول کاملاً همخوانی دارد. در شکل ۳ نقشه سه‌بُعدی میدان مغناطیسی کل و در شکل ۴ نقشه گرادیان قائم مرتبه اول محدوده مورد بررسی به همراه گسل‌های احتمالی محدوده نشان داده شده است.



شکل ۹. نیم‌رخ مربوط به میدان مشتق قائم مرتبه دوم روی گسل شماره ۱. (محور افقی موقعیت روی نیم‌رخ برحسب متر و محور قائم مشتق دوم برحسب nT/m^2 است.)

چون روش مشتق اول بی‌هنجاری‌های عمقی که خطوط مغناطیسی هموار ایجاد می‌کنند را حذف می‌کند، نتایج خروجی این پردازش نشان‌دهنده بی‌هنجاری‌های سطحی خواهد بود با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ دیده می‌شود که دو شکل انطباق زیادی با هم دارند یعنی هر دو نقشه بی‌هنجاری کل و گرادیان اول، یک نوع بی‌هنجاری را نشان می‌دهد؛ پس می‌توان به این نتیجه رسید که منبع بی‌هنجاری در نزدیکی سطح واقع است. برای تأیید موقعیت قرارگیری بی‌هنجاری روش مشتق دوم و روش سیگنال تحلیلی به کار گرفته شد. شکل‌های ۵ و ۷ نقشه‌های به ترتیب مشتق دوم و سیگنال تحلیلی را نمایش می‌دهند. با توجه به اینکه سیگنال تحلیلی یک افزایش گرادیان را در لبه‌های بی‌هنجاری به نمایش می‌گذارد، مشاهده می‌شود که راستای گسل‌ها با این روش هم با دقت زیادی بر راستای منتجه از روش‌های پردازشی قبل منطبق است.



شکل ۱۰. نقشه سه‌بعدی زاویه کجی به همراه گسل‌های محدوده مورد بررسی. (محورهای افقی مختصات نقاط به متر و محور قائم مقدار زاویه تیلت به رادیان در نقاط برداشت محدوده است).

۲-۷ نتایج تفسیر داده‌ها به روش واهمامیخت اوایلر با توجه به اینکه اندیس ساختاری به زمین‌شناسی و شکل بی‌هنجاری بستگی دارد و همچنین با توجه به زمین‌شناسی محدوده اندیس ساختاری ۰.۹ و اندازه پنجره 10×10 برای محدوده مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱۱ نتایج حاصل از اعمال روش اوایلر را روی داده‌های مغناطیسی محدوده مورد بررسی نشان می‌دهد. با توجه به شکل عمق گسل‌ها به‌طور متوسط ۵ تا ۱۵ متر است که تأییدی بر نتایج عرضه شده در تفسیرهای کیفی است.

۳ نتیجه‌گیری

محدوده مورد بررسی از لحاظ زمین‌شناسی میان گسل پوشیده ناین - کوهبنان در شرق و گسل پشت‌بادام در غرب قرار دارد. با توجه به برداشت‌های زمین‌شناسی و بازدیدهای صحرائی محدوده مورد بررسی از واحدهای آذرین از نوع گنایس و واحدهای رسوبی از نوع شیست پوشیده شده است.

میدان برحسب فاصله از منبع تعریف و براساس اطلاعات قبلی از هندسه منبع انتخاب می‌شود ($N=1$ برای دایک، $N=2$ برای استوانه افقی و قائم و $N=3$ برای کره مغناطیسی).
 F میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شده در (x, y, z) بر اثر منبع نقطه‌ای یا خطی قرار گرفته در (x_0, y_0, z_0) تولید شده است. معادله اوایلر با در نظر گرفتن چهار نقطه اندازه‌گیری شده حل می‌شود. سپس با حرکت پنجره از یک نقطه به نقطه دیگر، معادله اوایلر برای همه بی‌هنجاری میدان کل حل می‌شود. یکی از معایب روش اوایلر این است که مدل‌های ساده هندسی را برای چشمه میدان مغناطیسی در نظر می‌گیرد. یکی دیگر از معایب روش اوایلر این است که اندیس ساختاری با توجه به اطلاعات قبلی تعیین می‌شود. با این حال تامپسون (۱۹۸۲) و رید و همکاران (۱۹۹۰) اندیس‌های ساختاری بهینه را برای ساختارهای گوناگون تعیین کردند. با وجود این روش اوایلر موقعیت و عمق منابع مغناطیسی را به‌طور رضایت‌بخشی برآورد می‌کند (ابود و همکاران، ۲۰۰۵).

بی‌هنجاری کل و مشتق اول نشان‌دهنده عمق کم منبع بی‌هنجاری است. نقشه سیگنال تحلیلی یک افزایش گرادیان را در لبه‌های بی‌هنجاری نشان می‌دهد که با توجه به این تفسیر راستای سه گسل عمده محدوده، گسل ۱ با راستای شمال غرب-جنوب شرق در قسمت شمالی محدوده، گسل ۲ با راستای شرقی-غربی در قسمت میانی و گسل ۳ با راستای شمال شرق-جنوب غرب در قسمت جنوب محدوده است.

در نهایت به منظور تعیین عمق دقیق سطح فوقانی گسل از روش اویلر استفاده شد. با توجه به اینکه اندیس ساختاری و اندازه پنجره مورد استفاده در این روش به زمین‌شناسی و شکل بی‌هنجاری بستگی دارد، اندیس ساختاری ۰/۹ و اندازه پنجره ۱۰×۱۰ برای محدوده مورد استفاده قرار گرفت. عمق متوسط ۵ تا ۱۵ متر نتیجه حاصل از اعمال این روش روی داده‌های این محدوده است که تأییدی بر کم‌عمق بودن گسل‌ها است. این نتیجه در تفسیرهای کیفی نیز حاصل شده بود.

منابع

آقانباتی، س، ع، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، ناشر زمین‌شناسی کشور.

اویسی موخر، م، ۱۳۸۷، تشخیص گسل نهان صحنه در منطقه کرکسار با استفاده از روش مغناطیسی و VLF:

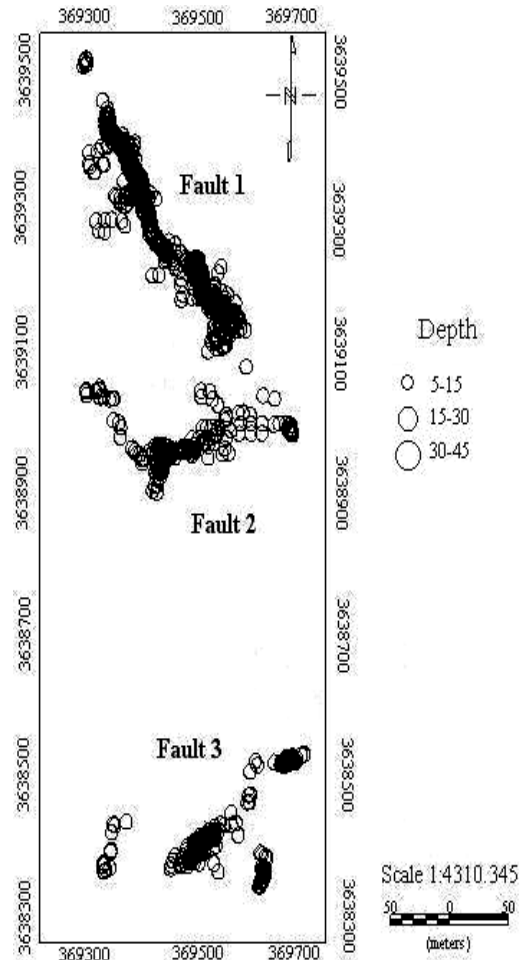
مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۴(۲)، ۶۵-۸۱

Aboud, E., Salem, A., and Ushijima, K., 2005, Subsurface structural mapping of Gebel El-Zeit area, Gulf of Suez, Egypt using aeromagnetic data: *Earth planet space*, **57**, 755-760.

Adebayo, A., Olorunfemi, M. O., and Ojo, J. S., 1996, An integration of aeromagnetic and electrical resistivity methods in dam site investigation: *Geophysics*, **61**, 349-356.

Baranov, V., and Naudy, H., 1964, Numerical calculation of the ferr of reduction to magnetic

بازدیدهای صحرایی رخنمون‌های کانسار آهن از نوع هماتیت را در همبندی دو زون اطراف گسل، مشخص ساخته است.



شکل ۱۱. نتایج حاصل از برآورد عمق روش اویلر روی داده‌های مغناطیسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت گسل‌های محدوده. (محورها مختصات نقاط به متر هستند.)

بررسی گسل به روش مغناطیسی به تباین مغناطیسی سنگ‌های اطراف گسل بستگی دارد و با توجه به اینکه موادی که سطح گسل را پر کرده‌اند متشکل از کانسارهای آهن از نوع هماتیت هستند، برای شناسایی و برداشت اولیه از تعداد ۱۱ رخنمون کانسار آهن مشخص شده، حدوداً ۶۰ لاین در جهت عمود بر رخنمون ماده معدنی طراحی و پیاده شد. انطباق زیاد نقشه‌های

- Ross, H. P., and Moore, N. M., 1985, Geophysical investigations of the Cove fort-Sulphurdale geothermal system, Utah: *Geophysics*, **50**, 1732-1745.
- Saheel, A. S., Samsudin, A. B. S., and Hamzah, U. B., 2010, Regional geological and tectonic structures of the Sirt basin from potential field data: *American Journal of Scientific Industrial Research*, **47**, 314- 329.
- Salem, A. ., Williams, S., Fairhead, J. D., Ravat, D., Smith, R., 2007, Tilt-depth method: A simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives: *The Leading Edge*, **28**, 215-223.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, J. D., Ravat, D., Smith, R., 2008, Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives: *J .Appl. Geophys*, **73**, 81- 92.
- Sharma, R., Gouda, H. C., Singh, R. k., Nagaraju, B. V., 2012, Structural study of Meghalaya through aeromagnetic data: *Journal Geological Society of India*, **79**, 11-29.
- Thompson, D. T., 1982, EULDPH: A new technique for making computer- assisted depth estimates from magnetic data: *Geophysics*, **47**, 31-37.
- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M., and MacKenzie, C., 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping: *The Leading Edge*, **23**, 116–119.
- pole: *Geophysics*, **29**, 69- 79 .
- Brimich, L., Khalil, A., Kordik, P., Mekkawi, M., El- Bohoty, M., Refai, M. Kh., and Kader, A. K. A., 2011, Active subsurface structures at Fayoum Cairo district, Northern Western Desert, Egypt, as deduced from magnetic data: *Contributions to Geophysics and Geodesy*, **41**(4), 329- 351.
- Ghareeb, M. A., 1985, A geophysical study on theabu Gharadig basin, Egypt: *Geophysics*, **50**, 5-15.
- Gunn, P. J., 1972, Application of Wiener filters to transformations of gravity and magnetic fields: *Geophysical Prospecting*, **20**, 860- 871.
- Hsu, S. K., Sibuet, J. C., and Shyu, C. T., 1996, High-resolution detection of geologic boundaries from potential anomalies: An enhanced analytic signal technique: *Geophysics*, **61**, 373-386.
- Luyendyk, A. P. J., 1997, Processing of airborne magnetic data: *Geophysics, AGSO*, **17**(2), 31- 38 .
- Nabighian, M. N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation: *Geophysics*, **37**, 507-517.
- Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millett, A. J., and Somerton, I. W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, **55**, 80-91.
- Roest, W. R. J., and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretations using 3-D analytical signal: *Gephysics*, **57**, 116-125.