



تحلیل داده های مغناطیسی روی بازالت های منطقه پلور

بهروز اسکویی^{۱*}، سید محمد جواد روحانی^۲، صفیه امیدیان^۳ و میثم عابدی^۴

۱- دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۳- پژوهشگر، گروه آتش فشان شناسی، دانشگاه افسلا، سوئد

۴- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۷؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۰۱

* نویسنده مسئول مکاتبات: boskooi@ut.ac.ir

چکیده

واژگان کلیدی

دو توده کمائی شکل پلور با جنس بازالت و تراکیت بازالت در ۷۵ کیلومتری شمال شرق تهران و جنوب آتش فشان دماوند واقع شده اند. محل خروج آن ها هنوز مشخص نیست و از نظر زایش، نحوه قرارگیری و پراکندگی جزء مباحث حل نشده زمین شناسی می باشند و نمونه های مشابه آن ها در شرق آتش فشان دماوند نیز وجود دارد. این دو توده از نظر جنس، سن و منبع تغذیه کننده با گدازه های دماوند اختلاف دارند. با برداشت داده های مغناطیسی، جهت تجزیه و تحلیل ساختارهای زمین شناسی مورد نظر با اعمال روش های ترکیبی سیگنال تحلیلی- اوپلر، واهمامیخت اوپلر و تحلیل طیف توان، شاخص ساختاری و عمق گدازه های مولد بی هنجاری مغناطیسی برآورد شد. حداکثر عمق چشمه در هر دو کمان تقریباً کمتر از ۹۵ متر از سطح زمین است. با توجه به محل چشمه ها در هر دو کمان، به نظر می رسد مجرای خروج بازالت ها حدوداً در این عمق، زیر سطح کنونی آن ها واقع شده است. با انجام مدل سازی سه بعدی، نتایج حاکی از ریشه دار بودن ساختارهای مورد تجسس دارد. هر چند در کمان چپ، ارتباط آنومالی سه بعدی با توده قابل نمایش نبوده و احتمالاً توده از وسعت بیشتری برخوردار بوده و فرسایش رودخانه ای در این مسیر بخشی از توده را در سطح از بین برده است. به دلیل طول کوتاه پروفیل ها و عمق کم توده های شناسایی شده، در مورد روند صعود ماگما و محل احتمالی مخزن نمی توان اظهار نظر کرد که متعاقباً با توسعه شبکه برداشت و همچنین به کارگیری اطلاعات تکمیلی حاصل از سایر روش های ژئوفیزیکی می توان اطلاعات دقیق تری ارائه کرد. وضعیت آنومالی های زیر سطحی و عمق آن ها نشان می دهد که بازالت ها ریشه عمقی برجها دارند و از محل دیگری به این ناحیه روان نشده اند.

بازالت های پلور
شاخص ساختاری
روش طیف توان
سیگنال تحلیلی
مدل سازی سه بعدی
واهمامیخت اوپلر

۱- مقدمه

و همچنین تحلیل تنش دیرین انجام شده توسط امیدیان (۱۳۸۶)، به نظر می‌رسد که شکل و نحوه قرارگیری بازالت‌های پلور تغییر رژیم تنشی البرز مرکزی و تقابل روند ساختاری مهم البرز را نشان می‌دهد. در حقیقت دماوند و با اهمیت بیشتر پلور، در محل کمان البرز مرکزی واقع شده‌اند؛ محلی که البرز غربی با روند غرب-شمال غرب به البرز شرقی با روند ساختاری شرق-شمال شرق می‌رسد و موقعیت تکتونیکی پیچیده‌ای را سبب می‌شود. به نظر می‌رسد آرایش ویژه بازالت‌های پلور ناشی از پاسخ کنترل‌های تکتونیکی زیرسطحی ناشی از این تقابل است.

تاکنون با استفاده از روش توانمند ژئومغناطیس نتایج ارزشمندی در حوزه پاسخ به سؤالات زمین‌شناسی یا دستیابی به منابع انرژی زمین‌گرمایی و مطالعات پی‌سنگ ساختمان‌های زمین‌شناسی به دست آمده است (اسکویی و عابدی، ۲۰۱۵؛ عابدی و اسکویی ۲۰۱۵). در این مطالعه با استفاده از روش ژئومغناطیس زمینی و با بهره‌مندی از روش‌های سیگنال تحلیل -اوایلر (AN-EUL)، واهمامیخت اوایلر و تحلیل طیف توان جهت تفسیر داده‌های مغناطیسی برداشت شده در منطقه پلور، پاسخ به سؤالات زمین‌شناسی در محدوده بازالت‌های پلور مورد نظر است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- نظریه روش AN-EUL

اساس روش AN-EUL جایگذاری مشتقات معادله اوایلر در معادله سیگنال تحلیلی است، بنابراین نظریه هرکدام از این روش‌ها به طور مختصر توضیح داده می‌شوند.

۲-۱-۱- روش واهمامیخت اوایلر

روش واهمامیخت اوایلر یک روش نیمه خودکار جهت تخمین عمق، شکل و مکان چشمه‌های مغناطیسی است. در روش مذکور از معادله دیفرانسیل همگن اوایلر استفاده می‌شود. روش واهمامیخت اوایلر بر روی داده‌های پروفیلی (دوبعدی) و همچنین داده‌های شبکه‌ای (سه‌بعدی) اعمال می‌شود. تابع $f(x,y,z)$ در صورتی که رابطه زیر برای هر ضریب حقیقی دلخواه t برقرار باشد، همگن از مرتبه n خواهد بود (بلیکلی، ۱۹۹۵):

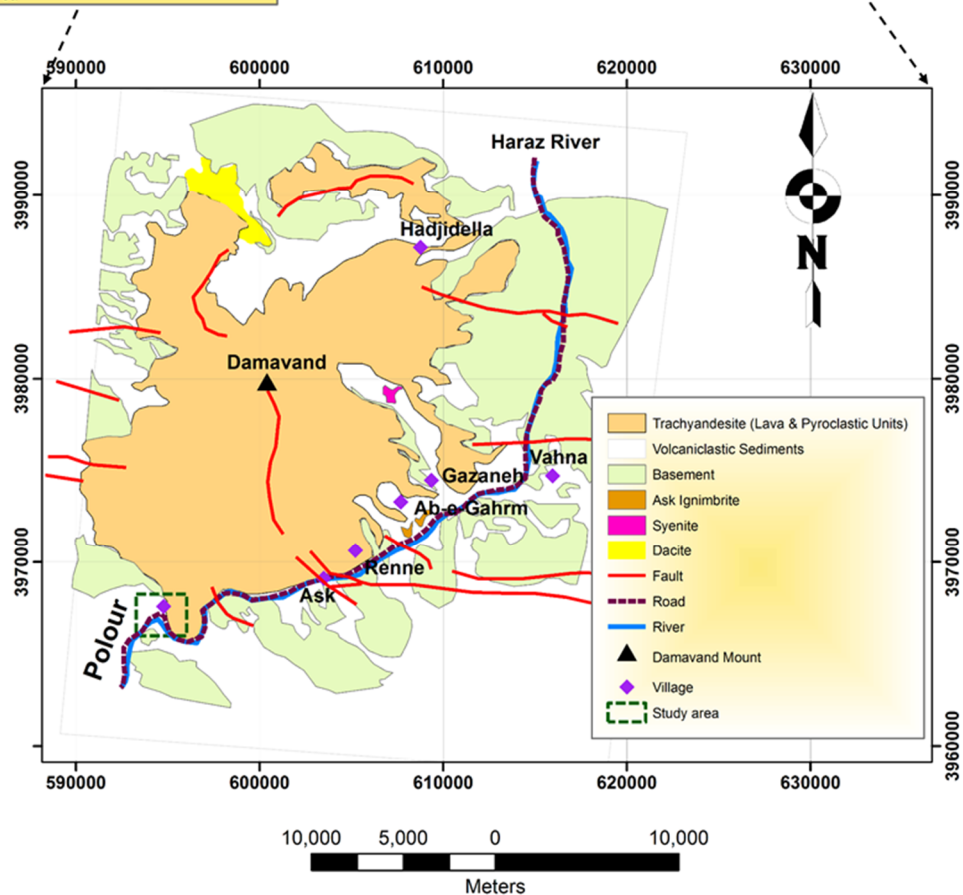
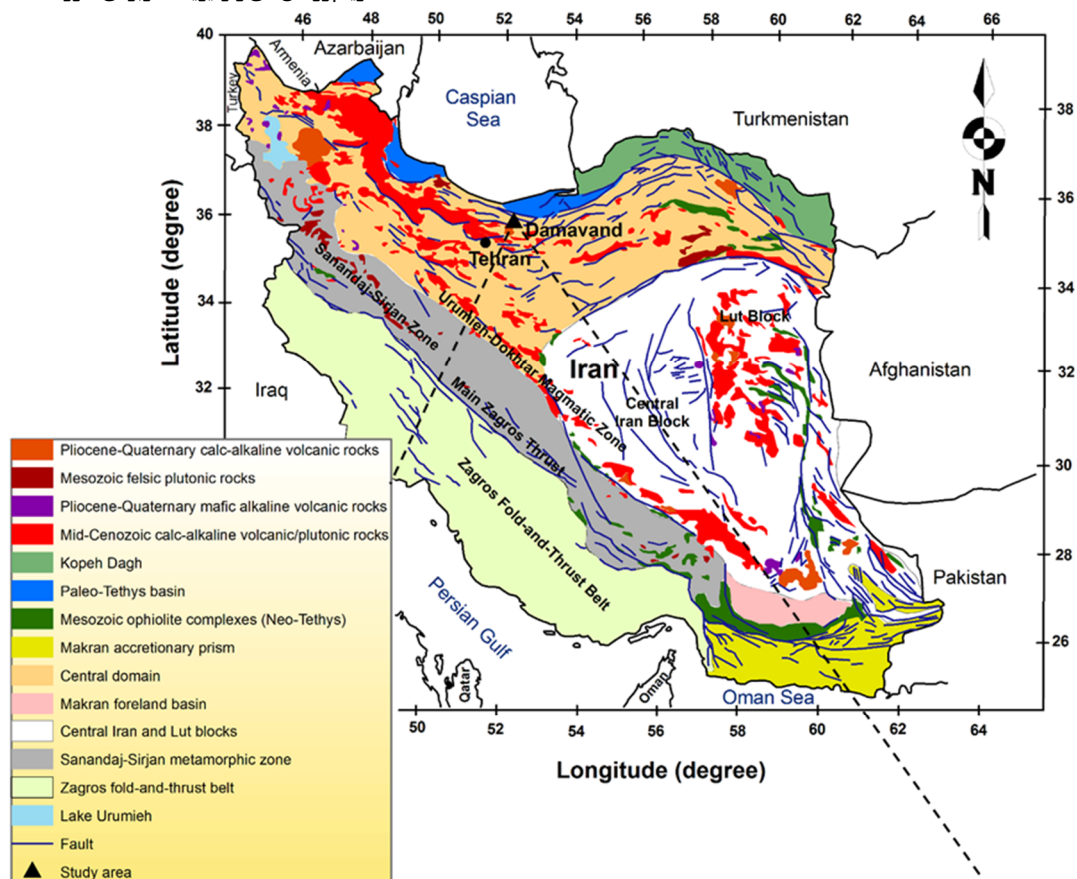
$$f(tx, ty, tz) = t^n f(x, y, z) \quad (1)$$

در این صورت تابع f در معادله دیفرانسیل زیر صدق می‌کند:

$$x \frac{\partial f}{\partial x} + y \frac{\partial f}{\partial y} + z \frac{\partial f}{\partial z} = n f(x, y, z) \quad (2)$$

منطقه پلور در ۷۵ کیلومتری شمال شرق تهران و در مسیر جاده هراز به مختصات شمالی (عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 50' 16''$ تا $35^{\circ} 52' 52''$ و شرقی (طول‌های جغرافیایی $52^{\circ} 31' 32''$ تا $52^{\circ} 31' 32''$) قرار گرفته و از نظر تقسیمات استانی بین استان‌های تهران و مازندران واقع شده است. این منطقه از نظر جغرافیایی در محدوده جنوب تا جنوب غربی آتشفشان دماوند قرار گرفته است (شکل ۱). راه اصلی دسترسی به حوزه آتشفشان دماوند جاده هراز است. در نهایت جاده هراز، بعد از پلور، نیمه شرقی آتشفشان را موازی با دره و رودخانه هراز در مسیری رو به شمال طی نموده و به جلگه خزر می‌رسد (امیدیان، ۱۳۸۶). مظاهر گدازه‌های سرد شده در منطقه دماوند و اطراف، حاصل دو نوع ماگمای بازالتی-بازانیتی و تراکی آندریتی-تراکیتی است. آتشفشان کنونی دماوند دارای جنس تراکی آندریتی-تراکیتی است که بیشترین حجم و گسترش را دارد. از سوی دیگر مظاهر بازالتی-بازانیتی گسترش بسیار محدودی دارند و تنها در حوالی پلور و ارتفاعات شرق دره هراز قابل مشاهده هستند. روند قرارگیری این گدازه‌ها در شرق دماوند، در یک مسیر NW-SE قابل توجه است. هیچ دهانه منفردی برای خروج محصولات بازیک این محدوده شناسایی نشده است و مطابق آخرین بررسی‌های انجام شده احتمالاً این گدازه‌ها از یک شکاف خطی و به واسطه فعالیت یک گسل امتدادلغز با روند NW-SE در روی ارتفاعات نواحی روستایی نوا، گیلان، ایرا و نیاک فوران نموده‌اند (امیدیان، ۱۳۸۶). ولی گدازه‌های بازالتی پلور هم از نظر مختصات قرارگیری و هم از نظر آرایش فورانی با هم گروه‌های خود در شرق آتشفشان دماوند اختلاف دارند. مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که دو گروه بازالتی واقع در پلور و شرق آتشفشان دماوند و گروه آندزیتی پیکره اصلی دماوند، با یکدیگر قرابت ژنتیکی ندارند و از دو مخزن جداگانه در ترازهای عمقی متفاوت سرچشمه گرفته‌اند و همچنین با استفاده از داده‌های سن مطلق و بررسی‌های سن نسبی، وقوع فعالیت‌هایی با ترکیب تراکی آندزیتی قبل از فوران بازالتی نشان داده شد (پندآموز، ۱۳۷۷؛ حسن زاده و همکاران، ۱۳۸۰؛ امیدیان، ۱۳۸۶؛ دیویدسون و همکاران، ۲۰۰۴).

در این مطالعه، بررسی ریشه عمقی بازالت‌های پلور مدنظر بوده است و البته ذکر این نکته ضروری است که هنوز محل خروج آن‌ها مشخص نشده است. از آنجا که بازالت‌ها خودپذیری مغناطیسی قابل ملاحظه‌ای دارند روش‌های مغناطیسی می‌توانند به خوبی آن‌ها را آشکار کنند؛ لذا در این بررسی، با تفسیر داده‌های مغناطیسی، رسیدن به مکان قرارگیری سطحی و زیرسطحی، ریشه و محل خروج بازالت‌های پلور در سطح و زیر سطح امکان‌پذیر خواهد بود. بر اساس نحوه پراکندگی دو توده بازالتی در پلور، پیشینه زمین‌شناسی منطقه



شکل ۱: محل قرارگیری آتشفشان دماوند بر روی نقشه زمین‌شناسی ساختمانی ایران (دوباره تهیه شده از ریچاردز و همکاران، ۲۰۰۶) به همراه زمین‌شناسی منطقه پلور.

معادله دیفرانسیل ۲ معادله دیفرانسیل همگن اوایلر نامیده می‌شود. بی‌هنجاری میدان مغناطیسی ناشی از بسیاری از منبع‌های ساده مغناطیسی به شکل رابطه زیر است:

$$\Delta T(x, y, z) = \frac{a}{r^n} \quad (۳)$$

که a یک مقدار ثابت و r فاصله منبع تا نقطه اندازه‌گیری است:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (۴)$$

با توجه به روابط (۱) و (۳)، ΔT یک تابع همگن از مرتبه $-n$ است و در معادله اوایلر صدق می‌کند:

$$(x - x_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial \Delta T}{\partial z} = -n \Delta T \quad (۵)$$

در رابطه ۵ نقطه (x_0, y_0, z_0) مختصات محل منبع و x و y و z مختصات نقاط اندازه‌گیری و تابع همگن ΔT بی‌هنجاری میدان است. ضریب n شاخص ساختاری نامیده می‌شود که نشان‌دهنده نرخ تغییرات میدان با فاصله از چشمه است. با معلوم بودن n می‌توان شکل کلی چشمه را برآورد کرد. از دیدگاه تئوری مقدار عددی شاخص ساختاری همواره بزرگ‌تر از صفر بوده و شاخص ساختاری منفی به دلیل محاسبات نادرست یا کیفیت پایین داده‌ها است، بنابراین در برخی موارد به دلیل وجود نوفه یا خطای ناشی از محاسبات عددی ممکن است برای شاخص ساختاری یک عدد منفی بسیار کوچک به دست آید. در جدول ۱ شاخص ساختاری برخی از ساختارهای ساده مغناطیسی آمده است.

جدول ۱: رابطه بین شاخص ساختاری، نوع مدل و موقعیت عمق محاسبه شده (هسیو، ۲۰۰۲).

نقطه‌ای که عمق آن تعیین می‌شود	نوع ساختار مغناطیسی	شاخص ساختاری (n)
عمق تا سطح، برای لبه	گسل و سطح تماسی که نسبت عمق به ضخامت آن کوچک است	۰
عمق تا مرکز	لایه افقی ضخیم و کوتاه	۰/۵
عمق تا سطح، عمق تا مرکز	دایک نازک و سطح تماسی که نسبت عمق به ضخامت آن بزرگ است	۱
عمق تا مرکز، عمق تا بالا	استوانه افقی، استوانه عمودی	۲
عمق تا مرکز	کره مغناطیسی یا دوقطبی مغناطیسی	۳

۲-۱-۲- روش سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی یک تابع موهومی است که قسمت موهومی آن تبدیل هیلبرت قسمت حقیقی آن است؛ به عبارتی دیگر مشتق قائم میدان مغناطیسی از تبدیل هیلبرت مشتق افقی آن به دست می‌آید؛ بنابراین سیگنال تحلیلی و دامنه سیگنال تحلیلی میدان اندازه‌گیری شده در حالت دوبعدی به ترتیب با روابط زیر تعریف می‌شوند (نبیقیان، ۱۹۷۲):

$$AAS(x) = \frac{\partial T}{\partial x} + i \frac{\partial T}{\partial z} \quad (۸)$$

در حالت کلی میدان اندازه‌گیری شده کل در هر نقطه (x, y, z) را می‌توان مجموع میدان ناشی از منبع، $\Delta \vec{T}$ و میدان زمینه $\vec{B}$ دانست که $\vec{B}$ مقدار ثابتی دارد:

$$\vec{T} = \Delta \vec{T} + \vec{B} \quad (۶)$$

با جایگذاری رابطه ۶ در معادله ۵ رابطه زیر به دست می‌آید:

$$x_0 \frac{\partial T}{\partial x} + y_0 \frac{\partial T}{\partial y} + z_0 \frac{\partial T}{\partial z} + nB = x \frac{\partial T}{\partial x} + y \frac{\partial T}{\partial y} + z \frac{\partial T}{\partial z} + nT \quad (۷)$$

این معادله باید برای همه نقاط شبکه یا نیم‌رخ حل شود. پارامترهای n, B, z_0, y_0, x_0 مجهولات این معادلات هستند. چون تعداد معادلات از تعداد مجهولات بیشتر است، از روش کمترین مربعات برای حل معادلات استفاده می‌شود (هسیو، ۲۰۰۲).

در روش اوایلر، مکان افقی به دست آمده برای چشمه تقریباً مستقل از شاخص ساختاری انتخاب شده است؛ بنابراین تنها با انتخاب یک پنجره با اندازه مناسب و بدون توجه به مقدار n می‌توان موقعیت افقی چشمه را با دقت خوبی به دست آورد؛ اما انتخاب نادرست شاخص ساختاری منجر به خطای زیادی در تخمین عمق چشمه می‌شود. لازم به ذکر است که پهنای پنجره تأثیر زیادی در میزان دقت تخمین عمق چشمه دارد. نقطه ضعف روش اوایلر، انتخاب شاخص ساختاری قبل از اعمال روش بر روی داده‌ها است (راوات، ۱۹۹۶).

$$|AAS(x)| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (۹)$$

که $\frac{\partial T}{\partial x}$ مشتق افقی و $\frac{\partial T}{\partial z}$ مشتق قائم میدان است. سیگنال تحلیلی میدان و دامنه آن برای حالت سه‌بعدی با روابط زیر تعریف می‌شود:

$$AAS(x, y) = \frac{\partial T}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial T}{\partial y} \hat{j} + i \frac{\partial T}{\partial z} \hat{k} \quad (۱۰)$$

روی صفحه $z=0$ یعنی در نقطه $(x_0, y_0, 0)$ که دقیقاً در بالای جسم قرار دارد محاسبه می‌شوند. در نهایت با استفاده از تعریف دامنه سیگنال تحلیلی و دامنه سیگنال تحلیلی ارتقا یافته روابط کلی زیر برای محاسبه شاخص ساختاری و عمق منبع به دست می‌آید (سالم و راوات، ۲۰۰۳):

$$n = \left[\frac{2|AAS1|^2 - |AAS2||AAS0|}{|AAS2||AAS0| - |AAS1|^2} \right]_{x=x_0, y=y_0} \quad (14)$$

$$z_0 = \left[\frac{|AAS1||AAS0|}{|AAS2||AAS0| - |AAS1|^2} \right]_{x=x_0, y=y_0} \quad (15)$$

که $AAS1$ و $AAS2$ دامنه‌های سیگنال تحلیلی مرتبه اول و دوم هستند و $AAS0$ دامنه سیگنال تحلیلی میدان است. کلیه مشتقات میدان را می‌توان به آسانی در حوزه فوری محاسبه کرد. هیچ کدام از معادلات بالا وابستگی صریح به مغناطیس‌شوندگی ندارند، لذا نیازی به تعیین مغناطیس باقی‌مانده نخواهد بود. در مورد ساختارهای خطی (دوبعدی) مقدار بیشینه دامنه سیگنال تحلیلی دقیقاً روی منبع قرار می‌گیرد، بنابراین با استفاده از این ویژگی می‌توان محل منبع یعنی نقطه x_0 را تعیین و سپس با استفاده از روابط ۱۴ و ۱۵ شاخص ساختاری و عمق را محاسبه کرد.

همانند سایر روش‌هایی که از مشتقات میدان استفاده می‌کنند، دقت این روش تا حد بسیار زیادی به کیفیت داده‌های اندازه‌گیری شده و نوفه‌ها بستگی دارد. برای کاهش اثر نوفه‌ها و بی‌هنجاری‌های سطحی می‌توان از فیلتر پایین‌گذر و ادامه فراسو استفاده کرد. با استفاده از فیلتر ادامه فراسو، داده‌ها به یک سطح بالاتر منتقل می‌شوند و اثر نوفه‌ها و بی‌هنجاری‌های سطحی تضعیف می‌شود (سالم و راوات، ۲۰۰۳).

۲-۲- روش تحلیل طیف توان

روش تخمین عمق با استفاده از تحلیل طیف توان یکی از روش‌های نیمه خودکار است که با در نظر گرفتن یک توزیع آماری برای منشأهای ایجاد آنومالی به تخمین عمق می‌پردازد؛ به طوری که منبع ایجادکننده آنومالی در محدوده مورد مطالعه به صورت میانگینی از همه چشمه‌های تولیدکننده مغناطیسی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین ویژگی‌های طیفی به دست آمده برای همه چشمه‌ها (از جمله عمق آن) برابر میانگین ویژگی‌های هر چشمه خواهد بود. در روش مذکور، طیف توان مربوط به میدان مغناطیسی و طیف توان مربوط به خودپذیری مغناطیسی دارای رابطه‌ای به شکل زیر هستند (هینز و همکاران، ۲۰۱۳):

$$PS(k) = CP_0(k)e^{-2zk} \quad (16)$$

که $PS(k)$ طیف توان میدان مغناطیسی، C یک مقدار ثابت، $P_0(k)$ طیف توان خودپذیری مغناطیسی، k عدد موج و z مقدار عمق تا سطوح تباین مغناطیسی است. در رابطه بالا طیف توان مربوط به

$$|AAS(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (11)$$

که $\frac{\partial T}{\partial y}$ مشتق افقی میدان در جهت y و $\hat{i}$ ، $\hat{j}$ و $\hat{k}$ بردارهای یکه در جهت محورهای مختصات هستند.

سیگنال تحلیلی در تعیین محل و عمق چشمه‌های مغناطیسی کاربرد دارد. دامنه سیگنال تحلیلی بسته به شکل منبع، روی منبع یا روی مرزهای آن به مقدار بیشینه خود می‌رسد. برای منبع‌های دوبعدی (دایک، استوانه افقی، سطح تماس) شکل منحنی دامنه سیگنال تحلیلی کاملاً مستقل از کمیت‌های جهتی مانند جهت مغناطیس‌شوندگی، زاویه شیب، زوایای میل و انحراف مغناطیسی و امتداد بوده و همواره یک تابع زوج و متقارن است، بنابراین مغناطیس باقی‌مانده عامل مزاحمی نخواهد بود و نیازی به دانستن آن نیست. این کمیت‌ها فقط روی اندازه دامنه سیگنال تحلیلی تأثیر دارند. تأثیر نداشتن کمیت‌های جهتی بر شکل منحنی دامنه، یک ویژگی مهم سیگنال تحلیلی در حالت دوبعدی است. این اثر، به خصوص در مناطقی که مقدار و جهت مغناطیس باقی‌مانده معلوم نیست، قابل توجه است (نبیقین، ۱۹۷۲؛ آتچپوتا و همکاران، ۱۹۸۱؛ روئست و همکاران، ۱۹۹۲؛ هسیو و همکاران، ۱۹۹۸).

در مورد منبع‌های کروی (سه‌بعدی) شکل دامنه سیگنال تحلیلی به جهت مغناطیس‌شوندگی بستگی دارد و مقدار بیشینه دامنه سیگنال تحلیلی دقیقاً روی منبع قرار نمی‌گیرد؛ اما با این حال، در بسیاری از موارد خطای تعیین موقعیت افقی منبع با استفاده از مقدار بیشینه دامنه سیگنال تحلیلی زیاد نیست و درصد خطا قابل قبول است (سالم و همکاران، ۲۰۰۲). سیگنال تحلیلی ارتقا یافته مرتبه n عبارت است از سیگنال تحلیلی مشتق قائم مرتبه n (هسیو و همکاران، ۱۹۹۶):

$$AAS_n(x, y) = \frac{\partial T_n^z}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial T_n^z}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial T_n^z}{\partial z} \hat{k} \quad (12)$$

$$|AAS_n(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial T_n^z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_n^z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_n^z}{\partial z}\right)^2} \quad (13)$$

که $T_n^z = \frac{\partial^n T}{\partial z^n}$ مشتق قائم مرتبه n میدان است.

۲-۱-۳- معادلات روش AN-EUL

روش AN-EUL یک روش خودکار برای تفسیر داده‌های مغناطیسی است. با استفاده از این روش می‌توان عمق، شاخص ساختاری و مکان چشمه‌های مغناطیسی را به طور همزمان به دست آورد. یکی از ویژگی‌های مهم این روش محدود نبودن آن به مدل‌های ایده آل (مدل‌های دارای شاخص ساختاری عدد صحیح) است و شاخص ساختاری می‌تواند یک عدد کسری باشد که توصیف‌کننده اجسام با شکل دلخواه است. برای به دست آوردن معادلات روش AN-EUL مشتقات معادله ۷ در جهت‌های متفاوت x, y, z در نقطه (x_0, y_0) واقع

منطقه پلور نشان می‌دهد؛ و نقشه بی‌هنجاری‌های مغناطیسی حاکی از وجود دو کمان گدازه بازالتی در شرق و غرب منطقه است (شکل ۳، چپ). لازم به ذکر است به دلیل توپوگرافی شدید در منطقه مورد مطالعه، امکان پوشش مغناطیس‌سنجی کل محدوده میسر نبوده است.

۴- به کارگیری روش‌های AN-EUL، واهمامیخت

اویلر و تحلیل طیف توان بر روی داده‌های پلور

قبل از محاسبه سیگنال تحلیلی و اعمال روش AN-EUL، به منظور حذف میدان‌های منطقه‌ای و میدان IGRF یک روند خطی از روی داده‌های شدت میدان مغناطیسی کل برداشته، سپس فیلتر برگردان به قطب، به منظور حذف اثر جهت‌ی شدت میدان مغناطیسی برداشت شده روی داده‌ها اعمال می‌شود. همچنین به منظور کاهش اثر توده‌های سطحی و نوفه‌ها، با استفاده از فیلتر ادامه فراسو، داده‌ها به سطح بالاتر منتقل می‌شوند. شکل ۴ بی‌هنجاری میدان مغناطیسی و دامنه سیگنال‌های تحلیلی میدان را پس از ادامه فراسوی داده‌ها به ارتفاع ۱۲۰ متری از سطح برداشت نشان می‌دهد. دامنه سیگنال تحلیلی (شکل ۴-ب) دارای سه بیشینه قابل قبول است که با استفاده از مختصات آن‌ها موقعیت تقریبی چشمه‌های مغناطیسی برآورد می‌شود. محل بیشینه‌های دامنه سیگنال تحلیلی و در واقع محل تقریبی چشمه‌ها در شکل ۴-ب مشخص شده است.

شکل‌های ۵ و ۶ و ۷ نیز نمودار تغییرات عمق و شاخص ساختاری را با افزایش ارتفاع سطح ادامه فراسو به ترتیب برای چشمه‌های یک و دو و سه نشان می‌دهند. ارتفاع مناسب برای ادامه فراسوی داده‌ها ۱۲۰ متر است، زیرا به ازای ارتفاع‌های بیشتر از آن، میزان تغییرات عمق و شاخص ساختاری به دست آمده جزئی است. پس از محاسبه روابط روش AN-EUL در این نقاط، نتایج مورد نظر از اعمال روش مذکور به دست می‌آیند.

منشأ آنومالی $P_0(k)$ ثابت فرض شده، یعنی توزیع منشأ آنومالی به صورت ناهمبسته در نظر گرفته شده است، بنابراین تساوی بالا به شکل رابطه شماره (۱۷) تغییر می‌کند:

$$PS(k) = C'e^{-2zk} \quad (17)$$

با فرض مذکور اگر از طرفین تساوی ۱۷ لگاریتم طبیعی بگیریم، داریم:

$$\ln PS(k) = -2zk + \ln[C'] \quad (18)$$

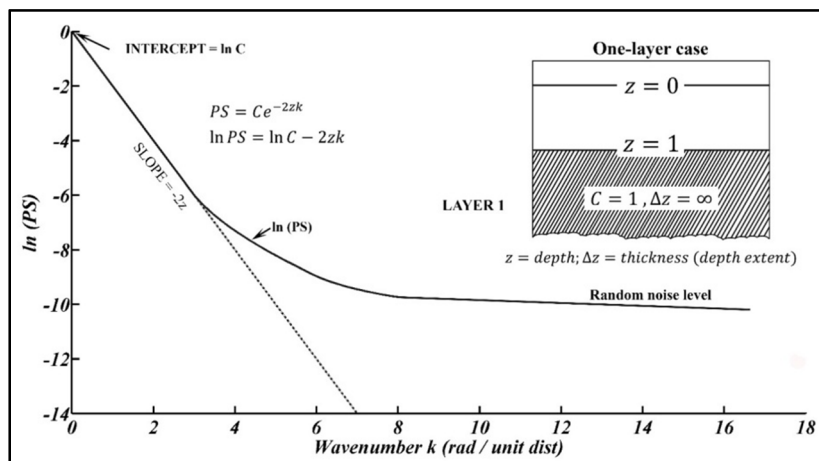
همان‌طور که از رابطه ۱۸ استنباط می‌شود، در این روش با استفاده از رسم نمودار لگاریتم طیف توان برحسب عدد موج (شکل ۲) می‌توان مقدار شیب نمودار را به دست آورده و با استفاده از تساوی ۱۹ به عمق چشمه تا سطوح تباین مغناطیسی دست یافت:

$$Z = \frac{|\text{slope}|}{2} \quad (19)$$

۳- عملیات مغناطیس‌سنجی زمینی و شبکه‌بندی داده‌ها

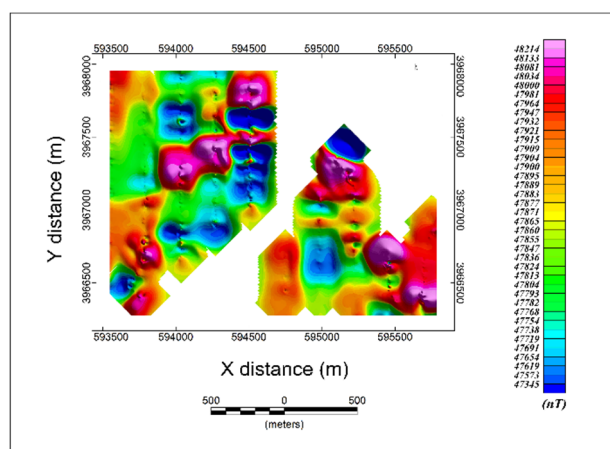
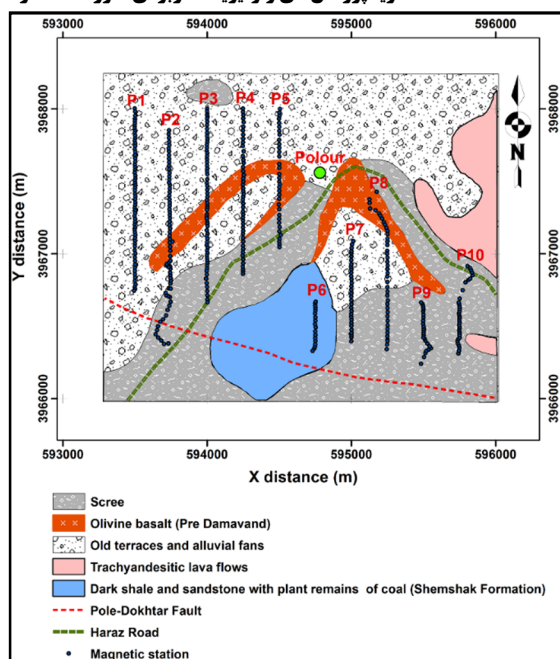
عملیات مغناطیس‌سنجی در منطقه پلور با ابعاد حدوداً 2×2 کیلومتر مربع، به صورت زمینی در طول ده پروفیل انجام شد که موقعیت پروفیل‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. جهت خطوط برداشت، شمالی-جنوبی و فاصله بین خطوط حدود ۲۵۰ متر و فاصله نقاط اندازه‌گیری در امتداد هر خط حدود ۳۰ متر است. زوایای میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین در منطقه مذکور به ترتیب $4/557$ و $54/61$ درجه است.

برای دیدن یک نمای دوبعدی از داده‌های برداشت شده، لازم است که داده‌ها شبکه‌بندی شوند. شبکه‌بندی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت، با فاصله شبکه‌ای دو متر انجام شده است. شکل ۳ (راست) شدت میدان مغناطیسی کل را پس از شبکه‌بندی داده‌ها در

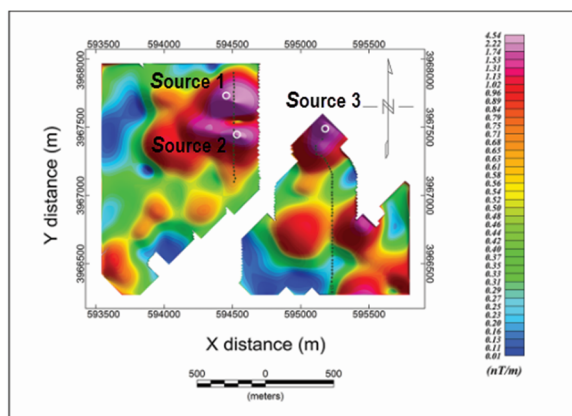


شکل ۲: تئوری روش تحلیل طیف توان برای چشمه‌های مجاور با عمق میانگین Z (هینز و همکاران، ۲۰۱۳).

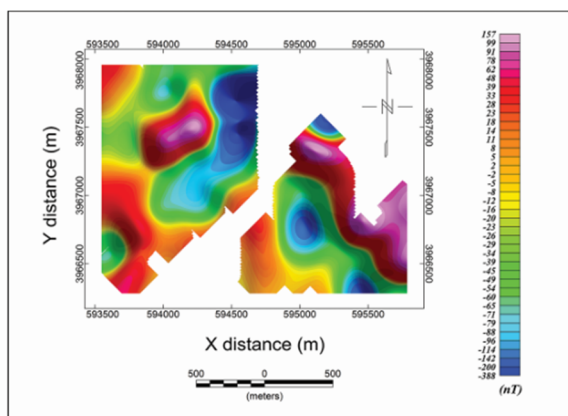
نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۴، شماره ۲، ۱۳۹۷.



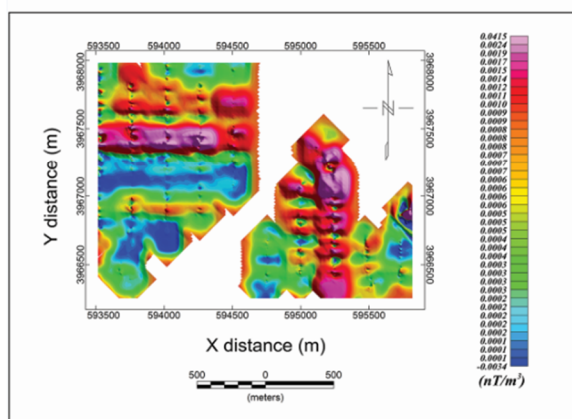
شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه پلور به همراه پروفیل‌های برداشت داده‌های مغناطیس سنجی زمینی (چپ) و نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در منطقه پلور (راست).



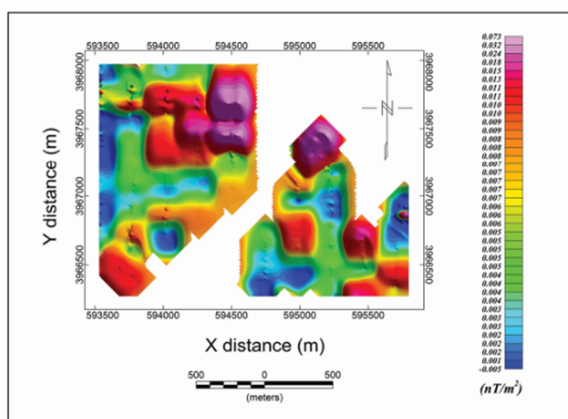
(ب)



(الف)

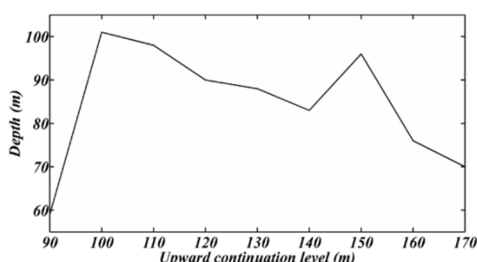


(د)

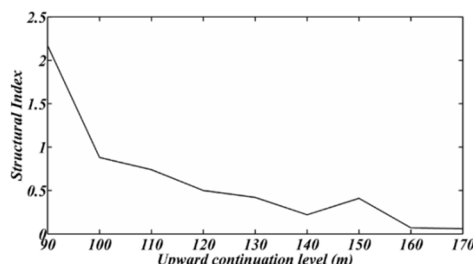


(ج)

شکل ۴: (الف) بی‌هنجاری میدان مغناطیسی کل پس از ادامه فراسو، (ب) دامنه سیگنال تحلیلی بی‌هنجاری میدان مغناطیسی، محل منبع‌ها با دایره سفید رنگ مشخص شده است، (ج) دامنه سیگنال تحلیلی مرتبه اول، (د) دامنه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم.

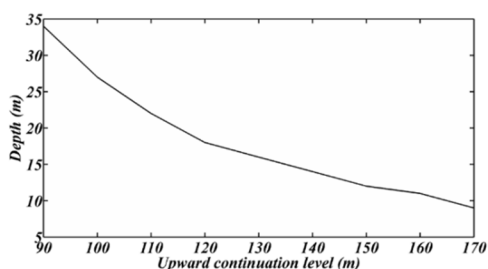


(ب)

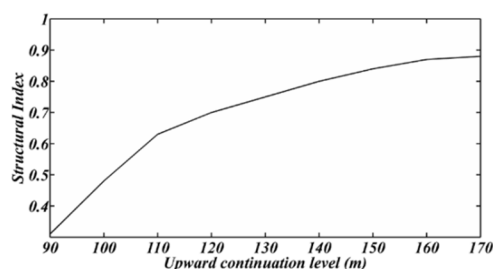


(الف)

شکل ۵: تغییرات خصوصیات هندسی شامل الف) شاخص ساختاری و ب) عمق، برای ارتفاعات گسترش متفاوت برای چشمه شماره یک.

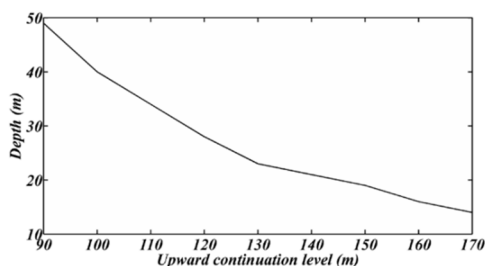


(ب)

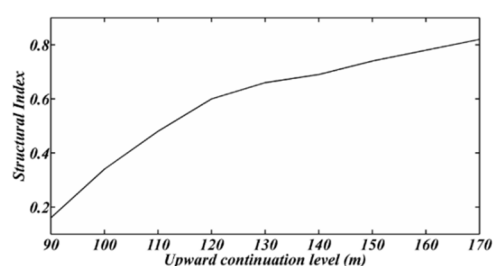


(الف)

شکل ۶: تغییرات خصوصیات هندسی شامل الف) شاخص ساختاری و ب) عمق، برای ارتفاعات گسترش متفاوت برای چشمه شماره دو.



(ب)



(الف)

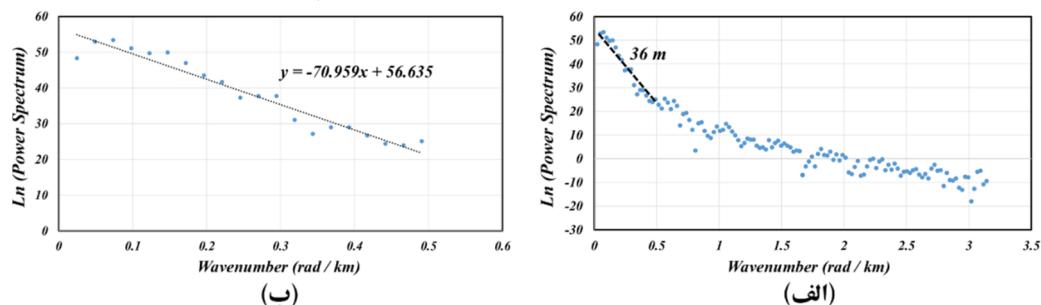
شکل ۷: تغییرات خصوصیات هندسی شامل الف) شاخص ساختاری و ب) عمق، برای ارتفاعات گسترش متفاوت برای چشمه شماره سه.

چشمه‌های مولد آنومالی آشکار می‌شود؛ بنابراین از بین پروفیل‌های زده شده دو پروفیل P5 و P8 جهت اعمال روش طیف توان انتخاب شدند و از آنجائی که روی پروفیل شماره پنج، دو چشمه وجود داشت، پروفیل مذکور را به دو پروفیل جدا از هم تقسیم کرده و متعاقباً روش طیف توان روی سه پروفیل که در شکل ۴-ب نشان داده شده است، به طور جداگانه اعمال شد. سپس مطابق شکل‌های ۸ و ۹ و ۱۰، نمودار لگاریتم طیف توان میدان مغناطیسی برحسب عدد موج برای هر چشمه جداگانه رسم و مقدار عمق هر چشمه محاسبه شد.

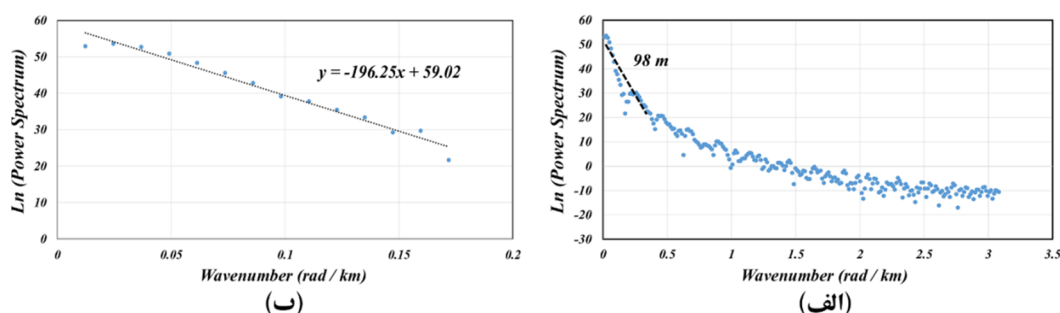
پس از اعمال روش‌های AN-EUL، واهمامیخت اوپلر و تحلیل طیف توان بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه پلور، نتایج مورد نظر مطابق جدول ۲ به دست می‌آیند.

تخمین عمق اوپلر نیز به صورت استاندارد با انتخاب پنجره تخمین به ابعاد هشت برابر فاصله گزید برای بی‌هنجاری شماره یک و پنجره تخمین به ابعاد ۲۰ برابر برای شماره دو و سه و شاخص ساختاری ۰/۴۷ برای چشمه شماره یک و ۰/۶۵ برای چشمه‌های شماره دو و سه بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه پلور اعمال شد. پس از حذف عمق‌های کاذب با مشاهده هم‌پوشانی قابل قبول دواپر تخمین عمق اوپلر، مشاهده شد که موقعیت و عمق به دست آمده برای هر یک از چشمه‌های مغناطیسی دارای دقت تخمین مناسبی است؛ زیرا با مقادیر به دست آمده از روش AN-EUL مطابقت دارد. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شد، برداشت داده‌های مغناطیسی در طول ده پروفیل انجام شده است. پس از شبکه‌بندی داده‌ها و اعمال فیلترهای مناسب، دامنه سیگنال تحلیلی بی‌هنجاری میدان مغناطیسی محاسبه شد که به وسیله آن محل تقریبی

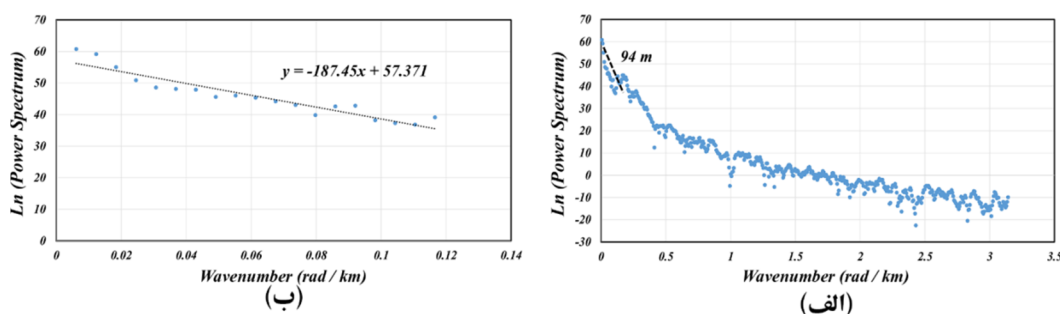
نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۴، شماره ۲، ۱۳۹۷.



شکل ۸: نمودار لگاریتم طیف توان در مقابل مقادیر عدد موج - الف) برای کل و ب) برای بخش ابتدایی داده‌های خروجی - به همراه مقدار عمق تخمینی برای چشمه شماره یک.



شکل ۹: نمودار لگاریتم طیف توان در مقابل مقادیر عدد موج - الف) برای کل و ب) برای بخش ابتدایی داده‌های خروجی - به همراه مقدار عمق تخمینی برای چشمه شماره دو.



شکل ۱۰: نمودار لگاریتم طیف توان در مقابل مقادیر عدد موج - الف) برای کل و ب) برای بخش ابتدایی داده‌های خروجی - به همراه مقدار عمق تخمینی برای چشمه شماره سه.

جدول ۲: نتایج به دست آمده از اعمال سه روش ذیل روی داده‌های مغناطیسی منطقه پلور.

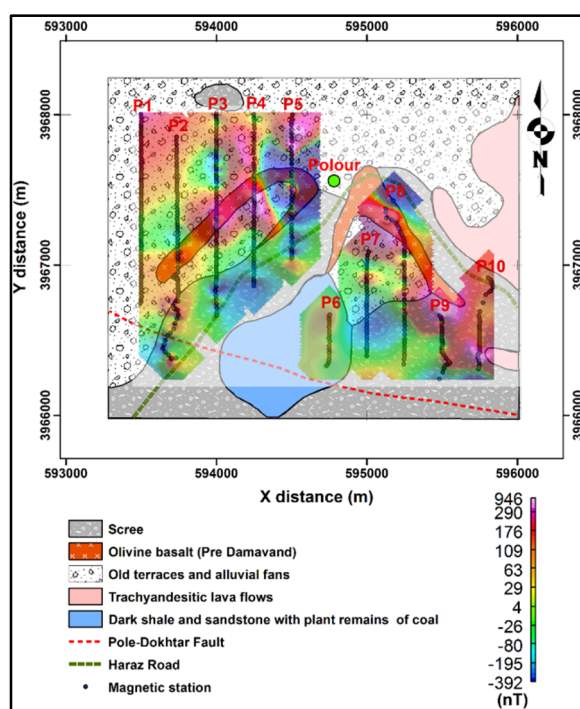
منبع ۳	منبع ۲	منبع ۱	کمیت‌های محاسبه شده
$x = 595175$	$x = 594500$	$x = 594500$	مختصات مقدار بیشینه AAS0 ، نقطه (x_0, y_0) (مختصات محل تقریبی منبع)
$y = 3967427$	$y = 3967459$	$y = 3967702$	
۲/۱۰۳۶	۲/۲۸۹۱	۴/۲۶۱۱	مقدار $ AAS0 _{(x_0, y_0)}$
۰/۰۳۲۷	۰/۰۳۷۷	۰/۰۷۱۸	مقدار $ AAS1 _{(x_0, y_0)}$
۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲	مقدار $ AAS2 _{(x_0, y_0)}$
۹۲	۱۰۲	۳۰	عمق به دست آمده از روش AN-EUL (متر)
۰/۶	۰/۷	۰/۵	شاخص ساختاری (n)
$x = 595175$	$x = 594500$	$x = 594578$	موقعیت به دست آمده از روش واهمامیخت اوپلر
$y = 3967424$	$y = 3967457$	$y = 3967701$	
۹۵	۹۶	۳۴	عمق به دست آمده از روش واهمامیخت اوپلر (متر)
۹۴	۹۸	۳۶	عمق به دست آمده از روش تحلیل طیف توان (متر)

۵- تفسیر داده‌ها

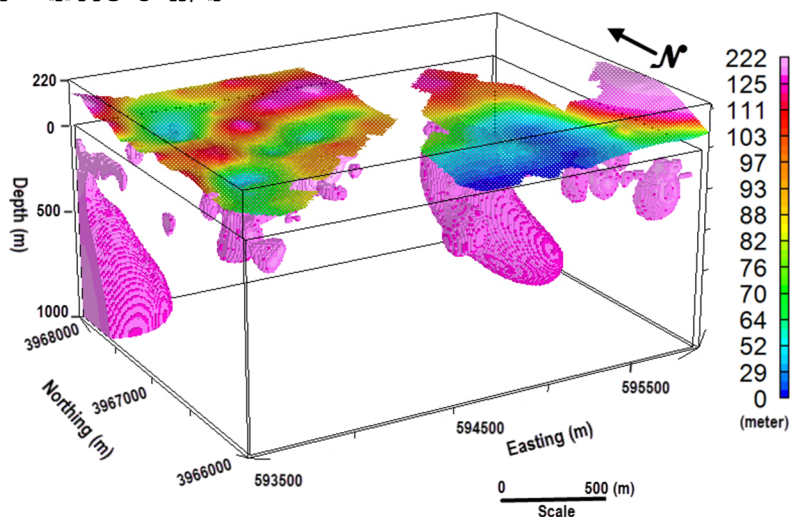
با توجه به نمودارهای ارائه شده و نتایج جدول ۲، شاخص ساختاری چشمه‌های یک و دو و سه به ترتیب (0.1 ± 0.5) و (0.1 ± 0.7) و (0.1 ± 0.6) و عمق آن‌ها (3 ± 33) و (3 ± 99) و (5 ± 93) متر برآورد می‌شود که نتایج فوق با اطلاعات زمین‌شناسی به دست آمده مطابقت دارند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی، سازند اولیوین-بازالت به صورت دو توده کماتی شکل در منطقه وجود دارد که بخش مرکزی توده‌های کماتی شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی است که چون خودپذیری مغناطیسی بازالت از آبرفت بیشتر است (بازالت SI حدود 0.04 و آبرفت 0.1 SI)، لذا بی‌هنجاری‌های آشکار شده در این منطقه به دلیل وجود توده‌های اولیوین-بازالت است. مقادیر به دست آمده از روش AN-EUL برای شاخص ساختاری نشان می‌دهد که چشمه شماره یک می‌تواند به عنوان یک لایه افقی کوتاه و نسبتاً ضخیم و با توجه به عمق و موقعیت آن به عنوان بخش فوقانی توده بازالتی سمت چپ در شکل ۳ تفسیر شود. چشمه‌های شماره دو و سه نیز به عنوان توده‌های آذرین قائم و در واقع به عنوان یک یال توده کماتی شکل تفسیر می‌شوند که منبع دو، یال سمت راست توده بازالتی سمت چپ و منبع سه نیز یال سمت راست توده بازالتی سمت راست در نظر گرفته می‌شوند. برای نمایش بهتر میدان مغناطیسی حاصل از گدازه‌های بازالتی، نقشه زمین‌شناسی و بی‌هنجاری‌های موجود در شکل ۱۱ بر روی هم قرار داده شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی معکوس با مرزهای برجسته داده‌های مغناطیسی (عابدی و همکاران ۲۰۱۴) نیز در شکل ۱۲ آورده شده است که به خوبی محل گدازه‌های بازالتی پلور را

نمایش می‌دهد. برای تخمین مدل سه‌بعدی توزیع خودپذیری مغناطیسی در منطقه، شبکه‌ای متراکم در سه راستا با ابعاد سلول ۵۰ متر در نظر گرفته شد. مدل‌سازی انجام شده بی‌هنجاری مشاهده شده اولیه را به خوبی تخمین زده (شکل ۱۳) که حاکی از دقت بالای مدل‌سازی در منطقه است. بدین منظور برای بررسی بهتر دقت مدل‌سازی انجام شده، در شکل ۱۴ بی‌هنجاری مغناطیسی حاصل از مدل‌سازی به همراه داده‌های مشاهده‌ای مورد استفاده جهت پیاده‌سازی مدل‌سازی معکوس نمایش داده شده است. مدل‌های خودپذیری مغناطیسی گسترش عمقی اولیوین بازالت‌های پلور را تأیید می‌کند اما به دلیل اعمال نکردن قید خودپذیری مغناطیسی (نیاز به آنالیز نمونه‌های سنگی)، مدل ارائه شده از عدم قطعیت بالایی برخوردار است. در شکل ۱۵ مدل خودپذیری مغناطیسی حاصل از مدل‌سازی در امتدادی که دو منبع غربی ۱ و ۲ را قطع می‌کند برای نمونه آورده شده است. همان‌طور که از مقطع ژئوفیزیکی مشخص است، عمق‌های هر کدام از منابع ۱ (۳۳ متر) و ۲ (۹۹ متر) منطبق بر مقادیر تخمینی حاصل از به کارگیری روش‌های متنوع تخمین عمق دارد.

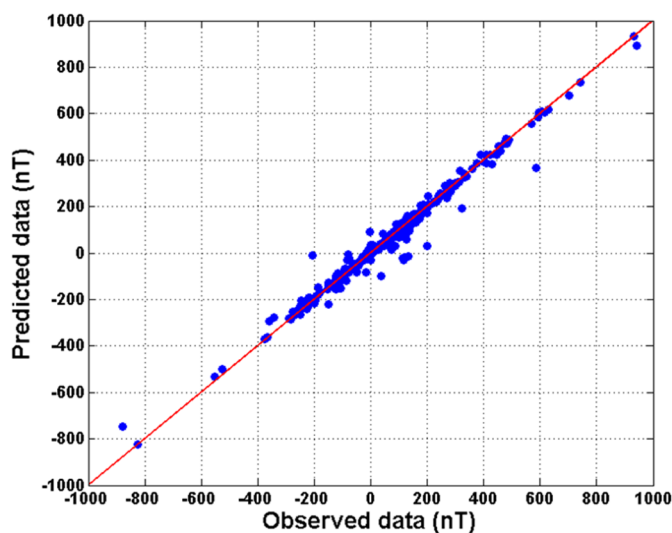
همچنین با اعمال قیدهای زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی حاصل از سایر روش‌های اکتشافی (مانند اطلاعات مدل مقاومت‌ویژه الکتریکی منتج از روش مگنتوتلوریک در منطقه دماوند که در حال تکمیل است) مدلی منطبق بر واقعیت می‌توان ارائه نمود. نهایتاً نتایج حاصل از روش‌های تخمین عمق داده‌های ژئومغناطیسی با اطمینان بالا قابلیت استفاده بر روی داده‌های جدید در سایر نواحی مورد تجسس در منطقه دماوند را داراست.



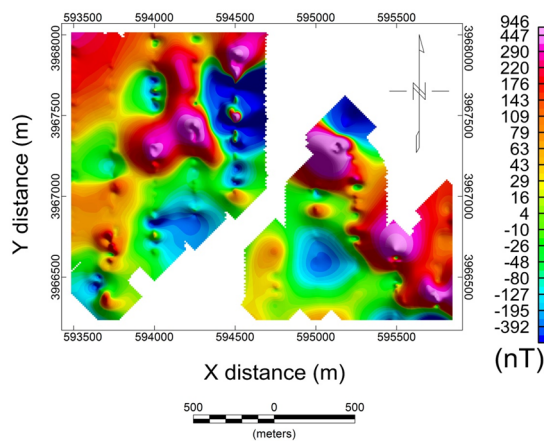
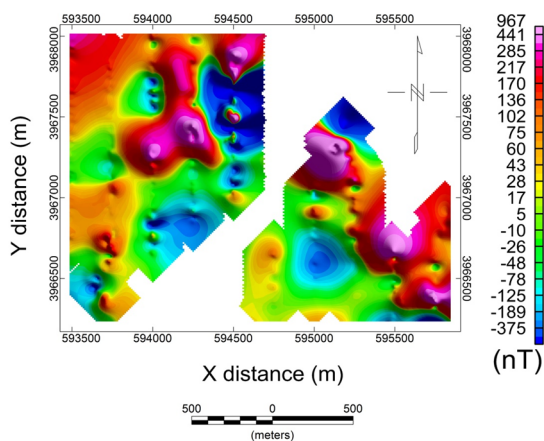
شکل ۱۱: نمایش همزمان زمین‌شناسی و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در منطقه پلور دماوند.



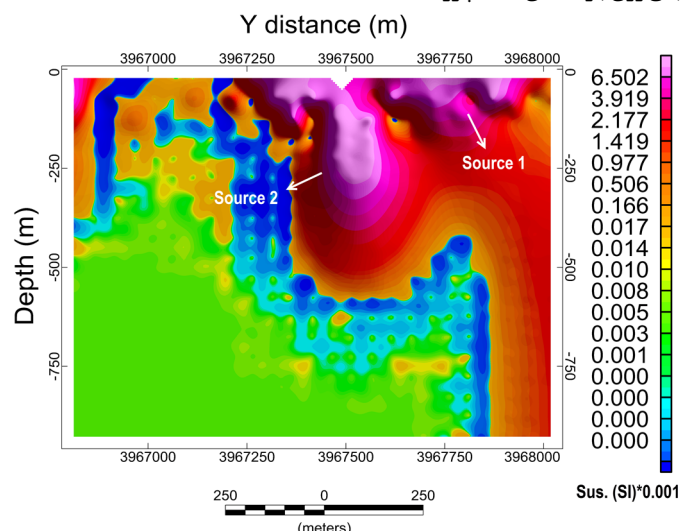
شکل ۱۲: نمایش سه بعدی خوپذیری مغناطیسی گدازه‌های بازالتی منطقه پلور. حد آستانه برای نمایش مدل، 0.004 در واحد SI است. نقشه توپوگرافی بر روی مدل قرار داده شده است.



شکل ۱۳: نمودار بی‌هنجاری مغناطیسی تخمینی حاصل از مدل‌سازی سه بعدی نسبت به میدان مغناطیسی باقیمانده منطقه بعد از حذف اثر روند زمینه. هر چه داده‌ها به خط قرمز نزدیک‌تر شود خطای مدل‌سازی کمتر است.



شکل ۱۴: نتایج حاصل از مدل‌سازی بدون قید داده‌های مغناطیسی اولیون - بازالت‌های منطقه پلور، داده‌های مشاهده‌ای (سمت راست) و داده‌های حاصل از مدل‌سازی (سمت چپ).



شکل ۱۵: مدل خودپذیری مغناطیسی در امتداد دو منبع ۱ و ۲ که حاکی از عمق کم منبع ۱ (حدود ۳۳ متر) و عمیق بودن منبع ۲ (حدود ۹۹ متر) دارد. خروجی‌ها منطبق بر مقادیر تخمین عمق حاصل از روش‌های متنوع بکار گرفته است.

۶- نتیجه‌گیری

منطقه پلور از نظر زمین‌شناسی از جریان‌های گدازه تراکی آندزیت، پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، واریزه، شیل، ماسه‌سنگ تیره رنگ همراه با آثار گیاهی و زغال‌سنگ سازند شمشک و واحدهای اولیوین-بازالت تشکیل شده است. سازند اولیوین-بازالت به صورت دو توده کمّانی شکل در منطقه وجود دارد که بخش مرکزی توده‌های کمّانی شامل پادگانه‌های آبرفتی قدیمی است که چون خودپذیری مغناطیسی بازالت از آبرفت بیشتر است، لذا بی‌هنجاری‌های آشکار شده در این منطقه به دلیل وجود توده‌های اولیوین-بازالت است. در نهایت اعمال روش‌های AN-EUL، واهمامیخت اولیر و تحلیل طیف توان روی داده‌های مغناطیسی زمینی برداشت شده در منطقه پلور، وجود سه بی‌هنجاری با شاخص‌های ساختاری $(\pm 0.1/0.5)$ و $(\pm 0.1/0.7)$ و $(\pm 0.3/0.6)$ و عمق‌های $(\pm 3/33)$ و $(\pm 3/99)$ و $(\pm 5/93)$ متر از سطح زمین را نشان می‌دهد که این نتایج با اطلاعات زمین‌شناسی به دست آمده مطابقت دارد. نحوه پراکندگی چشمه‌ها از شکل بیرونی توده تبعیت می‌کند و نزدیکی و تمرکز آن‌ها در محل قوس کمان‌ها در هر دو عارضه نشان می‌دهد که محل برونزد آن‌ها نیز در همین محل مستقر بوده است و به دلیل عمق تقریباً یکسان چشمه‌های عمیق در هر دو کمان و فاصله مکانی آن‌ها، احتمالاً می‌توان انتظار داشت که هر دو توده بازالت از یک مخزن فورانی نشأت گرفته‌اند و در عمق مشخصی به دلیل عوارض کنترل‌کننده زیرسطحی تکتونیکی، از دو مجرای متفاوت حرکت خود را در زیرسطح تا سطح ادامه داده‌اند. مطابق این تحقیق شواهد این دو مجرای شدن مسیر حداقل از عمق ۹۵ متری سطح زمین قابل تشخیص است.

۷- سپاس‌گزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۶۲۰۱۰۰۱/۱/۲۰ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است. نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه ژئوفیزیک برای حمایت مالی و لجستیکی قدردانی می‌نمایند.

۸- منابع

امیدیان، ص.، ۱۳۸۶، تعیین جایگاه زمین ساختی آتشفشان دماوند بر اساس شواهد ساختاری و ژئوشیمیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم دانشگاه تهران.

Abedi, M. and Oskooi, B., 2015, A combined magnetometry and gravity study across Zagros orogeny in Iran, *Tectonophysics*, 664, 164-175.

Abedi, M., Gholami, A. and Norouzi, G.H., 2014, 3D inversion of magnetic data seeking sharp boundaries: a case study for a porphyry copper deposit from Now Chun in central Iran, *Near Surface Geophysics*, 4 (12), 657-666.

Assereto, R., 1966, Geological map of upper Djajrud and Lar valleys (central Elburz, Iran). *Inst. Geo. Univ. Milano, Serieg, Puble*.

Atchuta Rao, D., Ram Babu, H.V. and Sanker Narayan, P.V., 1981, Interpretation of magnetic anomalies due to dikes: the complex gradient method, *Geophysics*, 46, 1572-1578.

Axen, J., Lam, P.S., Grove, M., Stocklin, D.F. and Hassanzadeh, J., 2001, Exhumation of the west-central Alborz Mountains, Iran, Caspian subsidence, and collision-related tectonic,

- section: its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, 37, 507-517.
- Oskooi, B. and Abedi, M., 2015, An airborne magnetometry study across Zagros collision zone along Ahvaz–Isfahan route in Iran, *Applied Geophysics*, 123, 112-122.
- Ravat, D., 1996, Analysis of the Euler method and its applicability in environmental magnetic investigations, *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 1, 229-238.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millet, A.J. and Somerton, I.W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, 55, 80-91.
- Richards, J., Wilkinson, D. and Ullrich, T., 2006, Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, Northwest Iran, *Econ. Geol.*, 101, 1455-1496.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using 3-D analytic signal, *Geophysics*, 57, 116-125.
- Salem, A. and Ravat, D., 2003, A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data, *Geophysics*, 68, 1952-1961.
- Salem, A., Ravat, D., Gamey, T.J. and Ushijima, K., 2002, Analytic Signal approach and its applicability in environmental magnetic investigations, *J. Appl. Geophys.*, 49, 231- 244.
- Thompson, D.T., 1982, EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, 47 (1), 31-37.
- Geophysics*, 29, 559-562.
- Bin Doo, W., Hsu, S.K. and Yeg, Y., 2007, A derivative-based interpretation approach to estimating source parameters of simple 2D magnetic sources from Euler deconvolution, the analytic-signal method and analytical expressions of the anomalies, *Geophysical Prospecting*, 55, 255-264.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge University Press.
- Cooper, G., 2008, Euler deconvolution with improved accuracy and multiple different structural indices, *Journal of China University of Geosciences*, 19 (1), 72-76.
- Hinze, W., Von Frese, R. and Saad, A., 2013, *Gravity and Magnetic Exploration*, Cambridge University Press.
- Hsu, S.K., 2002, Imaging magnetic sources using Euler's equation, *Geophysical Prospecting*, 50, 15-25.
- Hsu, S.K., Coppens, D. and Shyu, C.T., 1998, Depth to magnetic source using the generalized analytic signal, *Geophysics*, 63, 1947-1957.
- 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.
- Keating, P. and Pilkington, M., 2004, Eulerdeconvolution of the analytic signal and its application to magnetic interpretation, *Geophysical Prospecting*, 52, 165-182.
- Nabighian, M.N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-



Shahrood University of Technology



Analysis of the magnetic data on the basalts in Polour area

Behrooz Oskooi^{1*}, Seyed Mohammad Javad Rouhani², Safieh Omidian³ and Maysam Abedi⁴

1- Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2- M.Sc. Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Researcher, Department of Earth Sciences, Mineralogy Petrology and Tectonics Department, Uppsala University, Uppsala, Sweden

4- Assistant Professor, Department of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 29 October 2017; Accepted: 22 June 2018

* Corresponding author: boskooi@ut.ac.ir

Keywords

Basalts of Polour

Structural Index

Power Spectrum Method

Analytic Signal

3D Modeling

Euler Deconvolution

Extended Abstract

Summary

Polour basalts are located 75 km away from Tehran. It is situated in northeast of Tehran and south of Damavand volcano. The basalt emission point has not been distinguished yet, whereas its occurrence is a debatable topic among geologists. The procedure of formation, geological setting and the way of ascending have been always as controversial issues. Petrologically, Polour basalts are basalt-basalt trachyte rocks. Similar units are found at the east of Damavand volcano and as expected, the composition, age and feeder source

are different from Damavand volcano. Polour basalts occurred as arc-shaped bodies at shallow depth in central part of study region, where they mostly consist of old terraces and alluvial fans. Because of having considerable amount of magnetic susceptibility, magnetometric survey might delineate the location of such geological units. Various depth estimation techniques have been employed to determine the depth of causative sources associated with the basaltic units in the region of interest.

Introduction

Several well-known techniques have been developed to estimate the depth of causative sources in potential field studies. Among them, AN-EUL, Euler deconvolution and analysis of power spectrum methods are the most efficient ones, which provide valuable pieces of information about the geometry of the prospect geological sources.

Methodology and Approaches

AN-EUL technique, as a combination of the analytic signal and the Euler deconvolution methods, is an automatic algorithm for simultaneous estimation of depth, location and geometry of the subsurface sources in the potential field studies. The derivation of the main equations of this technique is based on the substitution of the derivatives of the Euler homogeneous equation into the analytic signal of the potential field data. Location of sources can be approximately estimated from the position of the maximum value of the analytic signal amplitude, and subsequently, the formulae of depth and structural index (SI) estimation are calculated at this point. An important advantage of the AN-EUL method is that it is not restricted only to idealized sources (i.e. having integer structural index). Its wider applicability means that the SI can be a fractional number that indeed describes sources with various arbitrary shapes. Analysis of power spectrum is also one of the methods used widely to estimate the depth of geological structures. The sources of magnetic anomalies within a region are assumed to average out so that spectral properties of an ensemble of sources are equal to the average of all causative sources responsible for potential field anomalies. This approach is advantageous since it is (1) statistically oriented, (2) averaging source depths over a region containing complex patterns of anomalies, (3) less affected by interference effects due to overlapping anomalies and high-wavenumber noise than other methods because it is based entirely on analyzing the wavelengths of the anomalies, (4) independent of the directional attributes of the magnetization of the sources and the geomagnetic field, and finally (5) it can be used to study a wide range of depths by varying the window involved in the data analysis.

Results and Conclusions

Employing the above-mentioned methods for estimation of the depth and geometry of subsurface anomaly to the collected ground-based magnetometric data leads to obtain valuable information about the subsurface anomaly. Thus,

in this study, the depths and structural indices of the subsurface anomalies have accurately been estimated that have been strongly in good agreement with the geological information of the study area. The maximum depth on both arcs is about 95 m below the surface topography. In addition, the 3D model from the area reveals the basalt root in both bodies amazingly is from separated sources. Due to the short length of profiles, that causes to have only shallow depths of identified bodies, the trend of creeping magma from the chamber is unknown. Subsurface anomalies and their depths indicate that the Polour basalts have deep roots and have not flown on the ground surface. By proving the existence of the anomalies as signatures of basalts, the depths and structural indices of the anomalies have accurately been estimated.
