



## برآورد ارتفاع بهینه در ادامه فراسوی داده‌های میدان پتانسیل: مطالعه موردی داده‌های مغناطیسی در ناحیه کلشانه منطقه طبس

میلاذ داودی<sup>۱</sup> و محسن اویسی موخر<sup>۲\*</sup>

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه

۲-استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳

\* نویسنده مسئول مکاتبات: [moveisy9@gmail.com](mailto:moveisy9@gmail.com)

### واژگان کلیدی

ارتفاع بهینه  
ادامه فراسو  
همبستگی  
مغناطیس  
طبس

### چکیده

در این مطالعه جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای با فیلتر ادامه فراسو بررسی شده است. در برخی مواقع به منظور تفسیر داده‌ها، آنها را به یک سطح دیگر انتقال می‌دهند. در این مقاله از همبستگی داده‌ها در دو ارتفاع متوالی به منظور محاسبه ارتفاع بهینه برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای استفاده شده است. در این تحقیق، بی‌هنجاری محلی به عنوان توده سطحی و بی‌هنجاری ناحیه‌ای به عنوان توده عمیق در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن بهینه ارتفاع فراسو از دو روش استفاده می‌شود. در روش اول، از ضریب همبستگی عرضی بین بی‌هنجاری ناحیه‌ای و ادامه فراسوی بی‌هنجاری میدان کل در ارتفاع‌های متفاوت استفاده می‌شود. در روش دوم از بیشینه انحراف از خط واصل ابتدا و انتهای منحنی همبستگی بین دو ادامه فراسوی متوالی در بی‌هنجاری‌های میدان کل استفاده می‌شود. در این تحقیق ابتدا روش‌های مذکور بر روی پاسخ گرانشی حاصل از مدل‌های مصنوعی اعمال شده و سپس روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های مغناطیسی واقعی بررسی شده است. در مدل‌سازی مصنوعی، مدل‌های سطحی در عمق ۴۰۰ متر و مدل‌های عمقی در عمق ۱۵۰۰ متر قرار گرفته‌اند. با استفاده از هر دو روش تعیین ارتفاع بهینه در مدل‌های مصنوعی، ارتفاع بهینه ۵۰۰ متر بدست آمده است. همچنین این روش‌ها بر روی مدل‌هایی که در یک عمق ثابت قرار ندارند؛ نیز اعمال شده است. بررسی‌ها نشانگر آن است که در حالت عمق متغیر، کاهندگی میدان منطقه‌ای بر حسب ارتفاع فراسو پس از حذف میدان محلی با آهنگ کمتری نسبت به عمق مساوی می‌باشد. این کاهش احتمالاً به علت عمق متغیر مدل‌هاست. با اعمال روش‌های مورد نظر بر روی داده‌های مغناطیسی ناحیه کلشانه در منطقه طبس، ارتفاع بهینه ۶۰ متر بدست آمد. نتایج حاکی از آن است که اعمال فیلتر ادامه فراسو در این ارتفاع قادر به حذف بی‌هنجاری‌های کم عمق محل کاوش بوده است.

۱- مقدمه

غالباً در پردازش داده‌های میدان‌های پتانسیل لازم است که داده‌ها از یک سطح به سطح بالاتر یا پائین‌تری انتقال داده شوند (Pelkington and Boulanger, 2017). به این فرآیند به ترتیب ادامه فراسو و ادامه فروسو گفته می‌شود (Jacobsen, 1987). یکی از مراحل مهم و اساسی در پردازش و تفسیر داده‌های میدان پتانسیل، جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای است (Nabighian et al., 2005). فیلتر ادامه فراسو از طریق یک رابطه ریاضی با اعمال بر روی داده‌ها، سبب تضعیف بی‌هنجاری‌های کم عمق یا طول موج کوتاه می‌گردد (Blakely, 1996). بنابراین می‌توان از فیلتر ادامه فراسو برای جداسازی بی‌هنجاری‌های سطحی با طول موج کوتاه از بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای با طول موج بلند استفاده نمود. ادامه فراسو داده‌های میدان پتانسیل به علت سهولت و افزایش سرعت محاسبات معمولاً در حوزه فوریه صورت می‌گیرد. ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده به حوزه فوریه انتقال یافته و سپس آنها در یک رابطه نمایی کاهنده ضرب می‌شوند.

$$F[U_u] = F[U] e^{-\Delta Z|K|} \quad (1)$$

که  $\Delta Z$  مقدار افزایش ارتفاع و  $|K|$  عبارتست از  $|K| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$ .  $k_x$  و  $k_y$  عدد های موج در جهت  $x$  و  $y$  می‌باشند. در رابطه ۱، برای مقادیر بزرگ  $|K|$  یعنی مقادیر کوچک طول موج که همان بی‌هنجاری‌های سطحی می‌باشند، ضریب کاهنده بشدت مقادیر داده‌های مرتبط را تضعیف می‌نمایند. در روش ادامه فراسو انتخاب ارتفاع بهینه از اهمیت ویژه برخوردار است. زیرا در ارتفاعی کمتر از مقدار بهینه، اثر بی‌هنجاری‌های محلی در داده‌ها باقی‌مانده و در ارتفاعی بیش از آن بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای تضعیف می‌شوند. مدل‌سازی‌های پیشرو و وارون در صورت جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی و منطقه‌ای آسانتر صورت می‌گیرد و مجهولات کمتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از همبستگی عرضی داده‌های ادامه فراسو یافته در پردازش داده‌های گرانی و مغناطیس‌سنجی توسط پژوهشگران متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (Zeng, et al., 1993؛ آزاد، ۱۳۹۴ و Zeng, et al., 2007). از آنجا که برای جداسازی بی‌هنجاری‌های کم عمق و عمیق از ضریب همبستگی بین داده‌ها در ارتفاع‌های مختلف استفاده می‌شود؛ نخست معرفی آن داد ادامه آمده است. در این تحقیق روش پیشنهادی بر روی داده‌های گرانشی حاصل از مدل‌های مصنوعی اعمال شده است. از آنجا که میدان‌های گرانشی و مغناطیسی از معادله لاپلاس پیروی می‌نمایند و میدان‌های پتانسیل محسوب می‌شوند؛ در صورتی که داده‌ها به قطب انتقال داده شوند، استفاده از نتایج حاصله در داده‌های مغناطیسی هم امکان پذیر است. زیرا داده‌های مغناطیسی انتقال داده شده به قطب به مانند داده‌های گرانی‌سنجی رفتار می‌نمایند (Telford, et al., 1990 و Blakely, 1996).

۲- ضریب همبستگی

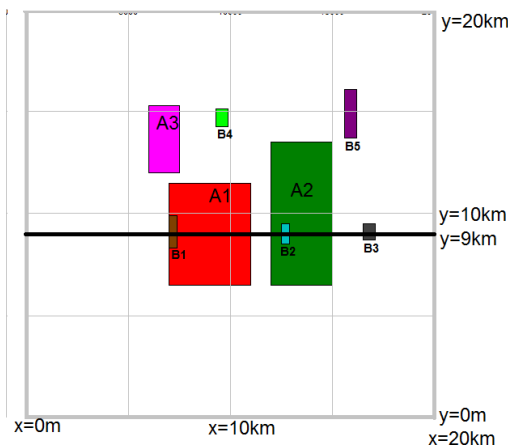
ضریب همبستگی بین بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای ( $\Delta g_r$ ) و ادامه فراسو میدان کل گرانشی در ارتفاع مشخص ( $\Delta g_u$ ) با رابطه (۲) بیان می‌شود (Abdelrahman, et al., 1989).

$$r_{\Delta g_r, \Delta g_u} = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \Delta g_r(X_i, Y_j) \Delta g_u(X_i, Y_j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \Delta g_r^2(X_i, Y_j) \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \Delta g_u^2(X_i, Y_j)}} \quad (2)$$

که در آن،  $M$  و  $N$  به ترتیب تعداد نمونه‌ها در دو راستای  $x$  و  $y$  است. به منظور دستیابی به ارتفاع بهینه باید همبستگی بی‌هنجاری ناحیه‌ای ( $\Delta g_r$ ) و ادامه فراسو میدان کل را برای ارتفاع‌های گوناگون ( $\Delta g_u$ ) بر حسب ارتفاع هر مرحله ادامه فراسو بدست آورد. مقدار بیشینه همبستگی مربوط به ارتفاعی است که در آن اثر بی‌هنجاری محلی حذف می‌شود. این ارتفاع به عنوان ارتفاع بهینه در ادامه فراسو در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که بی‌هنجاری ناحیه‌ای در عمل معلوم نیستند؛ لذا در تحلیل داده‌های واقعی، همبستگی بین دو ادامه فراسوی میدان کل بر حسب ارتفاع محاسبه می‌گردد (Zeng, et al., 2007). هنگامی که مقادیر همبستگی بر حسب ارتفاع ترسیم می‌شود؛ مقادیر آن با افزایش ارتفاع به یک مقدار حدی میل می‌نماید. بیشترین انحراف از خط واصل بین نقطه ابتدا و انتهای منحنی ترسیم شده در ارتفاع‌های مختلف، بیانگر ارتفاع بهینه ادامه فراسو می‌باشد.

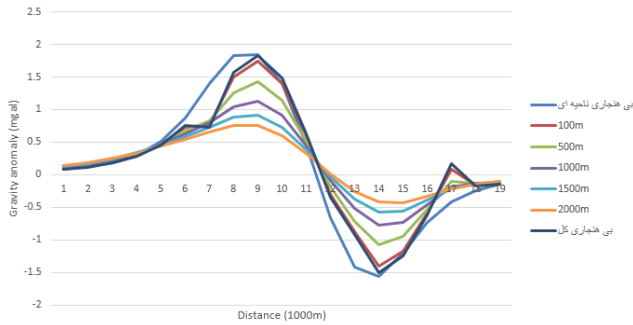
۳- مدل‌سازی

موقعیت هندسی مدل‌های مصنوعی در شکل (۱) و پارامترهای هندسی و فیزیکی آنها در جدول (۱) آمده است.

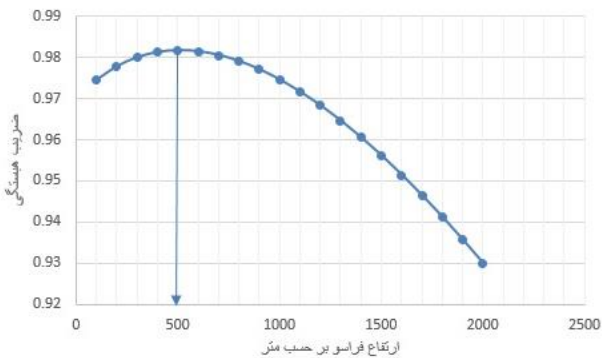


شکل ۱: موقعیت مدل‌های مصنوعی

همان گونه که جدول (۱) نشان داده شده، بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای در عمق‌های یکسانی قرار دارند. پاسخ میدان گرانشی کل این مدل‌ها نیز در شکل (۲) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل ۱



شکل ۳: میدان گرانشی کل، ناحیه ای و ادامه فراسوهای مختلف بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ متر



شکل ۴: همبستگی بین میدان بی‌هنجاری ناحیه‌ای با ادامه فراسوهای میدان کل

بیشینه ضریب همبستگی در شکل ۴، در ارتفاع ۵۰۰ متر می‌باشد؛ که همان ارتفاع بهینه‌ای است که در آن ارتفاع بی‌هنجاری محلی از داده‌های میدان کل گرانشی حذف شده‌اند و بعد از این ارتفاع بی‌هنجاری ناحیه‌ای کاهش می‌یابد. از آنجا که در داده‌های واقعی، پاسخ گرانش بی‌هنجاری ناحیه‌ای مشخص نیست؛ ضریب همبستگی ادامه فراسوهای مختلف میدان کل را بر حسب ارتفاع بدست آورده و بر حسب ارتفاع ترسیم می‌نمایند. ارتفاعی که در آن بیشترین انحراف از خط واصل ابتدا و انتهای منحنی بدست آمده وجود دارد (C)، به عنوان ارتفاع بهینه برای ادامه فراسو تعیین می‌گردد (شکل ۵). با استفاده از شکل ۵، تغییرات میزان انحراف ضریب همبستگی عرضی در هر ارتفاع فراسو از خط واصل ابتدا و انتهای تغییرات (C) بر حسب هر ارتفاع فراسو تعیین می‌شود (شکل ۶). بیشینه انحراف (علامت قرمز) در ارتفاع ۵۰۰ متر می‌باشد؛ که با نتایج قبلی (شکل ۴) تطابق دارد.

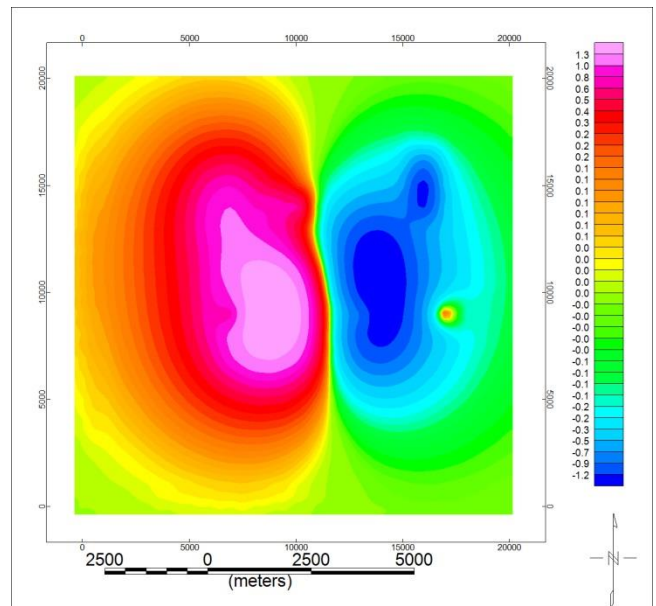
مشاهده می‌شود، تفکیک بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای غیر ممکن است. زیرا این بی‌هنجاری‌ها به صورت تداخلی در پاسخ کل مشاهده می‌شوند.

جدول ۱: مشخصات عمق لبه بالایی ( $Z_1$ )، لبه پائینی ( $Z_2$ ) و چگالی

مدل‌های مصنوعی

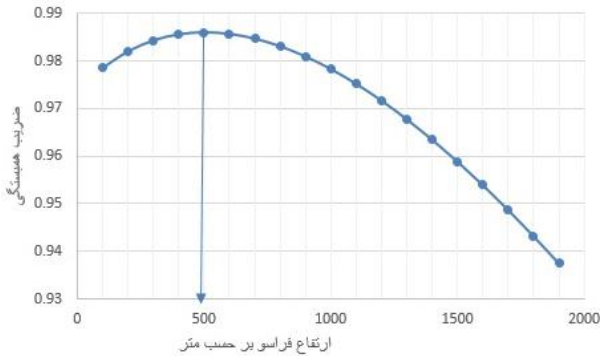
نوع	جسم	$Z_1$ (متر)	$Z_2$ (متر)	چگالی $\rho(g/cm^3)$
محلی	B <sub>1</sub>	۴۰۰	۸۰۰	-۰٫۲۵
محلی	B <sub>2</sub>	۴۰۰	۸۰۰	۰٫۲۵
محلی	B <sub>3</sub>	۴۰۰	۸۰۰	۰٫۲۵
محلی	B <sub>4</sub>	۴۰۰	۸۰۰	۰٫۲۵
محلی	B <sub>5</sub>	۴۰۰	۸۰۰	-۰٫۲۵
ناحیه‌ای	A <sub>1</sub>	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۰٫۱
ناحیه‌ای	A <sub>2</sub>	۱۵۰۰	۳۰۰۰	-۰٫۱
ناحیه‌ای	A <sub>3</sub>	۱۵۰۰	۳۰۰۰	۰٫۱

تغییرات میدان گرانشی کل به ازای ادامه فراسوهای بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ متر به همراه میدان بی‌هنجاری ناحیه‌ای برای پروفیل  $y=10km$  در شکل ۳ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در این شکل با افزایش ارتفاع فراسو، اثر بی‌هنجاری‌های کم عمق کم شده است. به طوری که در ارتفاع ۲۰۰۰ متر اثری از آن مشاهده نمی‌شود. ضریب همبستگی بین بی‌هنجاری ناحیه‌ای و ادامه فراسوهای میدان کل نیز در شکل ۴ آمده است.



شکل ۲: پاسخ میدان گرانشی کل ناشی از بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای

که در عرض جغرافیایی ۳۷۷۳۴۸۱ شمالی و طول جغرافیایی ۴۸۱۱۱۸ شرقی در سیستم UTM WGS1984 قرار گرفته، اعمال شده است.



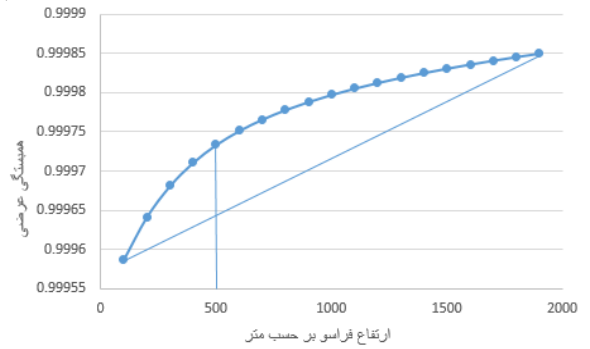
شکل ۷: همبستگی بین بی‌هنجاری ناحیه‌ای و ادامه فراسو در عمق‌های متفاوت بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای

#### ۴-۱ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تشکیلات زمین‌شناسی منطبق بر سازند کلشانه واقع شده است؛ که دارای سن کامبرین میانی است. این سازند از مخلوطی از دولومیت و آهک‌های متبلور به همراه شیل‌های دولومیتی، ژپس و نفوذی‌های آذرین تشکیل شده است. این سازند به وسیله سازند درنجال قطع شده است. سازند درنجال از سنگ آهک‌هایی تشکیل شده که دارای میان لایه‌های ماسه‌ای و ماری است. در شرق محل کاوش گسلی با راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی سازندها را قطع نموده است. در جنوب محل کاوش نیز سازند لالون قرار دارد؛ که دارای سن کامبرین زیرین بوده و از ماسه سنگ که در بخش‌هایی کوارتزیتی شده‌اند، تشکیل شده است. به احتمال زیاد وجود توده‌های آذرین در این منطقه مرتبط با اثر گسل‌های آشکار و پنهانی است که تعدادی از آنها در نقشه زمین‌شناسی مشخص شده‌اند (شکل ۸). همان گونه که در نقشه زمین‌شناسی هم نشان داده شده، در منطقه برون‌زدهای دیاباز وجود دارند. به علت فرسایش فیزیکی و عمدتاً به علت اختلاف دمای زیاد روز و شب در منطقه کویری، برون‌زدهای آذرین به صورت خرد شده منطقه مورد مطالعه را پوشانده‌اند.

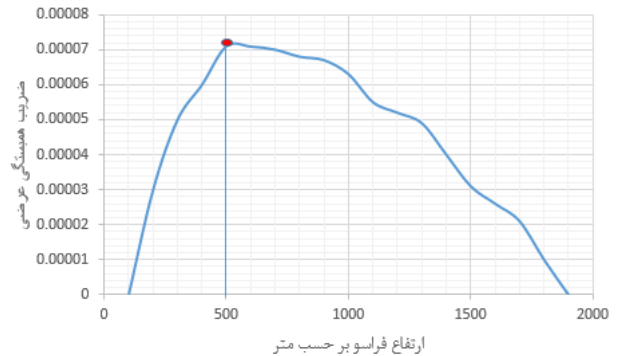
#### ۴-۲- عملیات مغناطیس‌سنجی

داده برداری بر روی ۵ پروفیل با طول حداکثر ۱۲۵۰ متر و فاصله نقاط برداشت ۱۰ متر با یک دستگاه مغناطیس‌سنج GSM19 Overhauser Proton Magnetometer با دقت 0.01nT انجام شده است. نقشه شدت میدان کل مغناطیسی محل برداشت داده‌ها در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۵: همبستگی داده‌های میدان کل گرانشی بر حسب ارتفاع‌های

#### متوالی فراسو



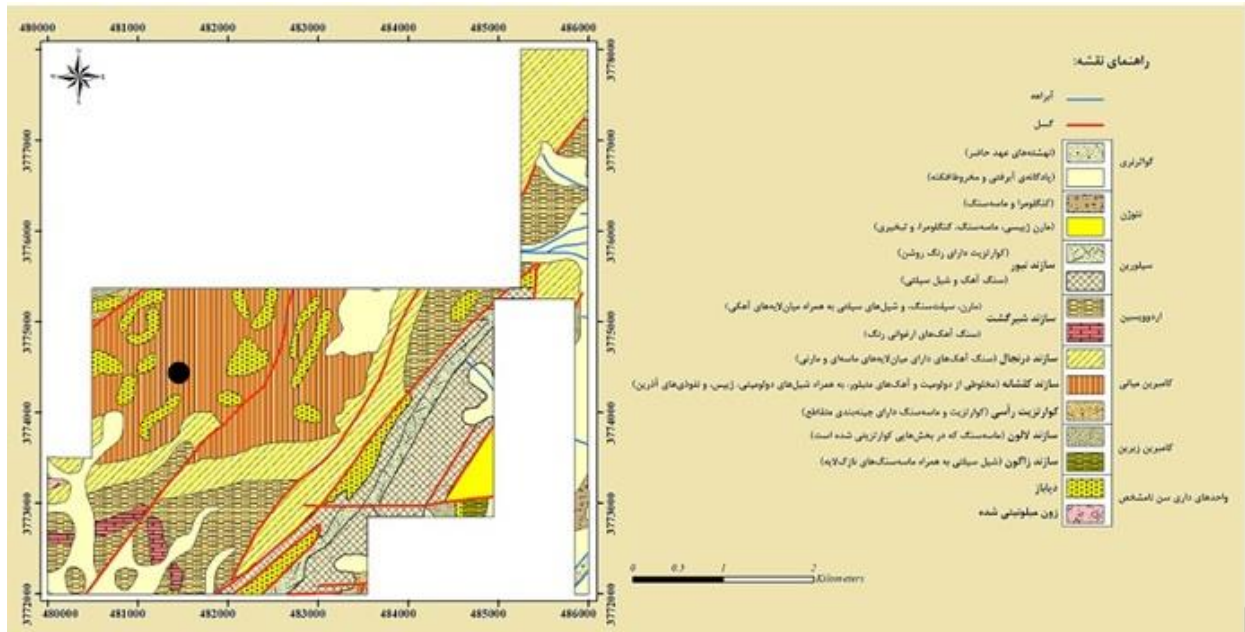
شکل ۶: میزان انحراف همبستگی عرضی هر ارتفاع فراسو از خط واصل بین ابتدا و انتهای مقادیر همبستگی بر حسب ارتفاع فراسوی آن نقطه (C).

هنگامی که بی‌هنجاری‌های سطحی و عمقی در عمق‌های مختلفی قرار دارند، فرم منحنی‌های تغییرات ضریب همبستگی با ارتفاع فراسو بدست آمده نسبت به حالتی که مدل‌ها در عمق یکسانی قرار دارند؛ مشابه است. با این تفاوت که در حالت عمق متفاوت پس از حذف بی‌هنجاری محلی، آهنگ کاهش مقدار ضریب همبستگی با شیب کمتر است؛ که احتمالاً به علت عمق کمتر بی‌هنجاری ناحیه‌ای می‌باشد (شکل ۷). نکته دیگر این که ضریب همبستگی در حالت عمق متفاوت بیشتر از حالت عمق مساوی در ارتفاع بهینه یکسان یعنی ۵۰۰ متر است.

سطح نوفه در داده‌ها در تعیین بهینه ارتفاع فراسو هم مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که سطح نوفه تاثیری در نتیجه نهایی ندارد (روشندل کاهو و نجاتی، ۱۳۹۳).

#### ۴- اعمال روش مورد بحث بر روی داده‌های واقعی

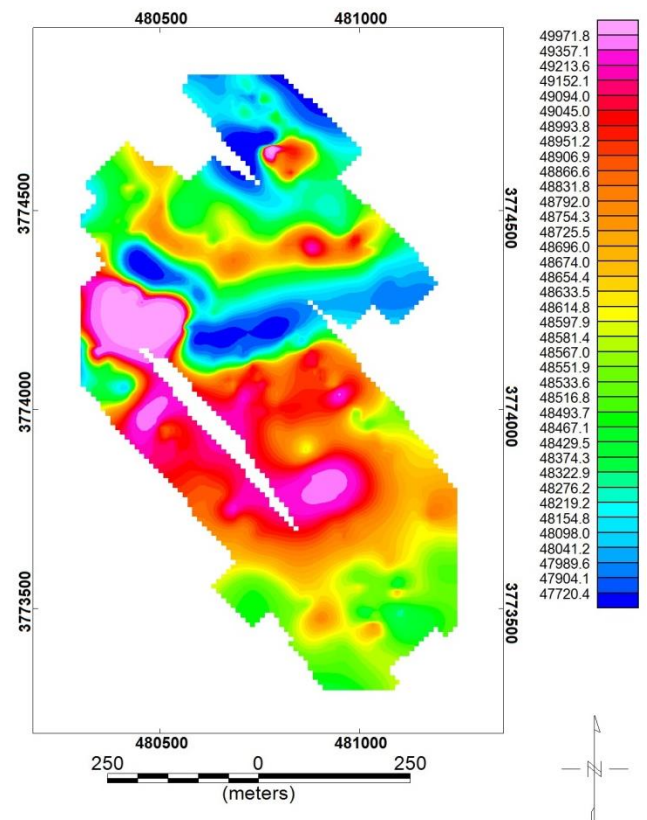
به منظور بررسی کارایی روش معرفی شده، روش فوق بر داده‌های مغناطیسی برداشت شده در منطقه‌ای در ۶۰ کیلومتری شمال‌غرب طبس



شکل ۸: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دایره سیاه رنگ محل کاوش را نشان می‌دهد

رفع موارد فوق، از فیلتر انتقال به قطب استفاده می‌شود. پس احتمالاً آنچه در شکل ۹ مشاهده می‌شود، وضعیت واقعی بی‌هنجاری‌ها نیست. نقشه انتقال به قطب میدان کل با زاویه میل ۵۳ درجه و زاویه انحراف ۳٫۵ درجه در زمان برداشت در شکل ۱۰ آمده است. عمده بی‌هنجاری موجود در نقشه انتقال به قطب تقریباً در غرب محل کاوش و با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق است.

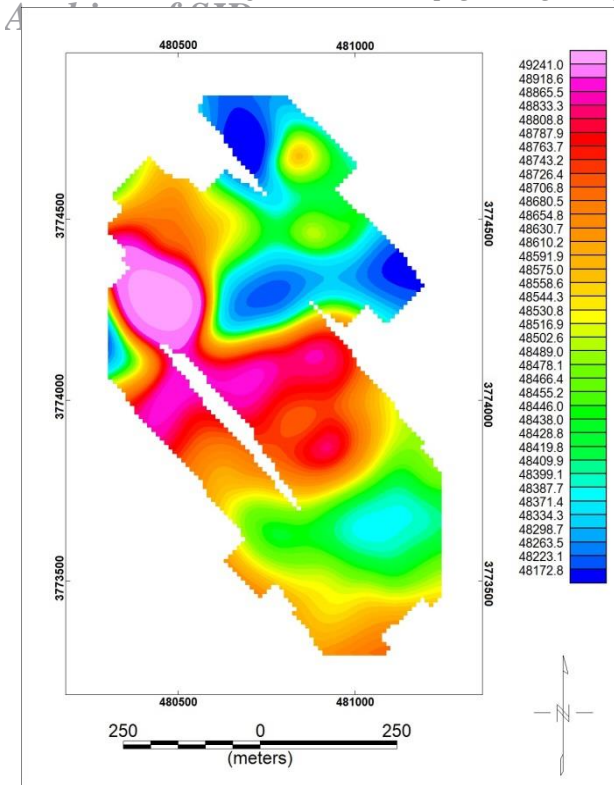
بی‌هنجاری واقع در منتهی‌الیه شمال غرب در محل مشاهده می‌شود. در شمال شرق ناحیه کاوش هم دو بی‌هنجاری به صورت برونزدهای کوچک در حاشیه تشکیلات دولومیتی وجود دارند. داده‌های مغناطیسی پروفیل AB برای اعمال روش انتخاب شده است (شکل ۱۰). با توجه به عدم وجود پاسخ بی‌هنجاری ناحیه‌ای، از همبستگی ادامه فراسوهای متوالی بر حسب ارتفاع، برای یافتن ارتفاع بهینه استفاده می‌گردد (شکل ۱۱-الف). مقدار انحراف خط واصل بین ابتدا و انتهای منحنی در هر ارتفاع (C) در شکل ۱۱-ب ترسیم گردیده است. بیشینه انحراف (که همان بهینه ارتفاع فراسو است (دایره قرمز در شکل ۱۱-ب)) ۶۰ متر می‌باشد؛ که ارتفاعی است که در آن ارتفاع بیشترین ضریب همبستگی وجود دارد. نقشه ادامه فراسو با ارتفاع بهینه ۶۰ متر (شکل ۱۲) نشانگر آن است که بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای جدا گردیده‌اند. ادامه فراسو به مقدار ۶۰ متر سبب شده است که بی‌هنجاری‌های کم عمق که عمدتاً در شمال شرق نقشه مشاهده می‌شوند؛ از نقشه حذف گردند (شکل‌های ۱۰ و ۱۲). به نظر می‌رسد که بی‌هنجاری با امتداد شمال‌غرب-جنوب‌شرق، بی‌هنجاری عمقی محل کاوش است؛ که می‌توان با روش‌های دیگر به پارامترهای فیزیکی و هندسی آن دست یافت.



شکل ۹: نقشه شدت میدان کل مغناطیسی منطقه مورد مطالعه

میدان مغناطیسی زمین دارای طبیعت دو قطبی است که سبب می‌شود بی‌هنجاری‌ها از شدت کمتر برخوردار بوده و یک جابجایی در بیشینه بی‌هنجاری‌ها اتفاق بیفتد. البته سر منفی پاسخ‌ها هم ناشی از این ویژگی میدان مغناطیسی است (Telford et al., 1990). بنابراین برای

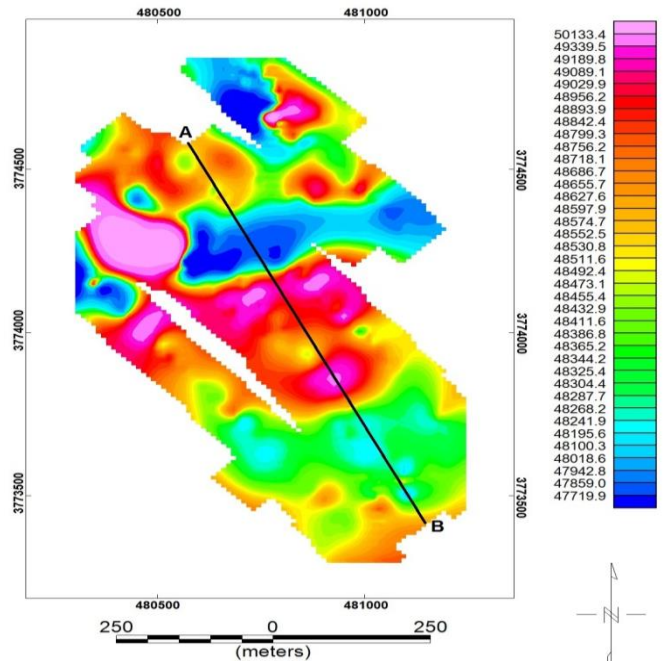




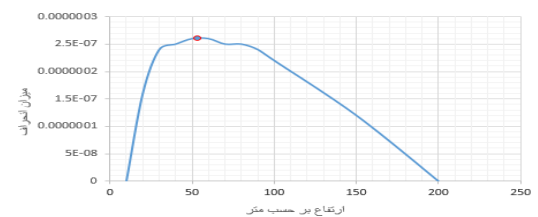
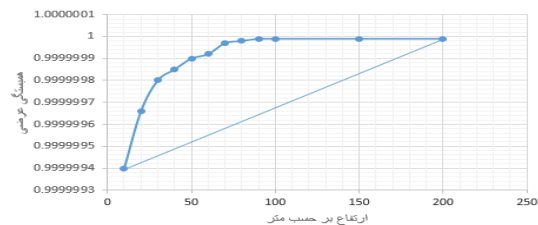
شکل ۱۲: نقشه ادامه فراسو به مقدار ۶۰ متر شدت میدان کل مغناطیسی انتقال به قطب یافته.

لازم به ذکر است که تشکیلات زمین‌شناسی آهن دار در ناحیه کاوش به علت فرسایش فیزیکی بصورت خرد و شکسته شده در سطح زمین محل برداشت داده ها وجود دارند و بر روی اندازه گیری ها بصورت نوفه اثر می نمایند. لذا برای اعمال روش معرفی شده، ابتدا داده ها جهت حذف اثر این نوفه ها به مقدار ۱۰ متر ادامه فراسو داده شده اند و سپس از روش ادامه فراسو های متوالی برای تعیین ارتفاع بهینه اقدام گردید. در صورتی که ادامه فراسوی اولیه اعمال نگردد، روش ادامه فراسو های متوالی به جواب مناسبی منتهی نمی گردد.

روش اول از نظر عملی برتری دارد زیرا ادامه فراسوی میدان کل براحتی قابل محاسبه است. روش‌های مورد بحث در این مقاله همچنین بر روی مدل‌هایی که در عمق یکسانی واقع نیستند؛ اعمال گردید. در این حالت ضریب همبستگی عرضی در مقدار بیشینه از مقدار بیشتری نسبت به حالت اول برخوردار بوده و کاهندگی میدان ناحیه‌ای با شیب کمتری صورت می‌گیرد. روش معرفی شده بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه کلشانه واقع در شمال شهر طبس اعمال شد و بهینه ارتفاع فراسو ۶۰ متر تعیین گردید. پس از اعمال مقدار بهینه فراسو بر نقشه میدان کل، مشاهده می‌شود که بی‌هنجاری‌های محلی حذف شده و تنها بی-هنجاری‌های ناحیه‌ای مشاهده می‌شوند. در مورد داده‌های مغناطیسی برای اعمال روش مورد مطالعه نخست باید با یک ادامه فراسو در ارتفاع پائین نسبت به حذف نوفه سطحی اقدام کرده سپس روش مورد نظر بر روی داده‌های حاصل اعمال گردد.



شکل ۱۰: نقشه انتقال به قطب یافته شدت میدان کل مغناطیسی



شکل ۱۱: الف- همبستگی بین ادامه فراسو های متوالی بر حسب ارتفاع. ب- میزان انحراف ضریب همبستگی از خط واصل بر حسب ارتفاع. محور افقی ارتفاع (متر) و محور عمودی همبستگی بین ادامه فراسوهاست.

## ۵- نتیجه گیری

تعیین ارتفاع بهینه جهت حذف بی‌هنجاری‌های محلی از اهمیت ویژه‌ای در اکتشافات میدان پتانسیل بر خوردار میباشد. در این پژوهش مدل‌های مصنوعی با چگالی مشخص به عنوان بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه ای در اعماق مساوی در یک محیط فرا گرفته اند. ابتدا پاسخ گرانشی این بی‌هنجاری‌ها تعیین گردید. سپس دو روش برای تعیین ارتفاع بهینه فراسو معرفی گردید. اساس هر دو روش بر مبنای تعیین ضریب همبستگی بین ادامه فراسو در ارتفاع‌های گوناگون می‌باشد. در روش اول بیشینه ضریب همبستگی بین ادامه فراسوهای مختلف و ادامه فراسوی بی‌هنجاری ناحیه‌ای و در روش دوم بیشینه ضریب همبستگی بین ادامه فراسوهای متوالی میدان کل تعیین می‌شود. ارتفاعی که این بیشینه‌ها اتفاق می‌افتد، همان ارتفاع بهینه فراسوست. روش دوم بر

Jacobsen, B. H., 1987, A case for upward continuation as a standard separation filter for potential field maps, *Geophysics*, 52, 1138-1148.

Pelkington, M. and Boulanger, O., 2017, Potential field continuation between arbitrary surfaces – comparing methods, 82, J9-J25.

Nabighian, M. N., Ander, M. E., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O., LaFehr, T. R., Li, Y., Pearson, W. C., Peirce, J. W., Phillips, J. D., and Ruder, M. E., 2005, Historical development of gravity method in exploration, *Geophysics*, 70, 63ND-89ND.

Telford, W. M.T, Geldart, L. P., and Sheriff, R. E., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.

Zeng, H., Deshu, X., and Handong, T., 2007, A model study for estimating optimum upward continuation height for gravity separation with application to a Bouguer anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China, *Geophysics*, 72, No.4, 145-150.

## ۶- منابع

روشندل کاهو، ا. و نجاتی، ع.، برآورد ارتفاع بهینه در ارتفاع فراسو داده-های گرانی به منظور اکتشاف کرومیت در استان هرمزگان، ۱۳۹۳، مجله ژئوفیزیک ایران، ۸ (۲)، ۹-۱.

آزاد، م. ر.، کاربرد فیلتر گسترش رو به بالا در تفسیر داده‌های میدان مغناطیس به همراه ارتفاع بهینه در منطقه منصور آباد یزد، ایران، ۱۳۹۴، ۴۱ (۲)، ۲۲۹-۲۳۸.

Abdelrahman, E.M., Bayoumi, A.I., Abdelhady, Y.E., Gobashy, M.M., and El-Araby, H.M., 1989, Gravity interpretation using correlation factors between successive least squares residuals anomalies, *Geophysics*, 54, 1614-1621.



## Optimum height estimation in upward continuation of potential field data; A case study: magnetic data at Kalshaneh area in Tabas region

Milad Davodi<sup>1</sup>; Mohsen Oveisy Moakhar<sup>2\*</sup>

1.M.SC Student, Department of physics, Geophysics group, Razi University, Kermanshah, Iran.

2.Assistant Professor, Department of physics, Geophysics group, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: 4 March 2019; Accepted: 25 September 2019

Corresponding author: moveisy9@gmail.com

### Keywords

Optimum height  
Upward continuation  
Cross correlation  
Magnetic data  
Tabas  
Optimum height  
Upward continuation

### Extended Abstract

#### Summary

In this paper, we investigated optimum height in upward continuation of potential field data to separate local anomalies from regional ones. Cross correlation of the data at different heights was used to achieve this goal. In order to obtain optimum height of upward continuation, two methods were introduced. In the first one, cross correlation of the known regional anomalies and upward continuation of the total magnetic field at different heights was used. In this

method, the height at which maximum of correlation coefficient happens is the optimum height of upward continuation. The second method is based on cross correlation of upward continued of two consecutive heights of total magnetic field. The height at which the maximum deviation of the first point and the second point from the curve of cross correlation versus height occurs is the optimum of height. The second method is preferable as we always have total magnetic field data at different heights. We applied the second method on the magnetic data from Kalshaneh area in Tabas region. In this area, the optimum height for upward continuation is 60 m in which we can separate local anomalies from deep ones .

### Introduction

For processing and interpretation of potential field data, it is necessary to remove shallow anomalies from deep ones. For doing this, different methods were used. One of the methods for separating local and regional anomalies is upward continuation, which decreases the effect of local anomalies. In terms of wavelength, upward continuation separates and suppresses short wavelengths while the long wavelengths remain in the data. The optimum height of upward continuation of data is important as if it is not proper, a part of local anomalies effects are still in the rest of data that causes false interpretation. In this paper, we used cross correlation of magnetic data at different levels to find optimum height for upward continuation. The method applied on the real data from Tabas Region. The optimum height in upward continuation for this region is 60 m that enables us to remove the local anomalies .

### Theoretical basis

Cross correlation between regional anomalies and upward continued of total field at a specified level is defined as follows :

$$r_{\Delta g_r, \Delta g_u} = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \Delta g_r(X_i, Y_j) \Delta g_u(X_i, Y_j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \Delta g_r^2(X_i, Y_j) \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^M \Delta g_u^2(X_i, Y_j)}}$$

In this relation, M and N are, respectively, numbers of data in x and y directions. If cross correlation of two functions, total field and regional field, are plotted versus height of upward continuation, the height at which cross correlation peaks, is the optimum height of upward continuation. As in real data, we do not know about regional anomalies, thus, cross correlation of potential data at consecutive heights is used for optimum height determination. For the latter method, the height at which maximum deviation of the line between first and end points from the curve of cross



correlation versus height is the optimum height of upward continuation. We applied the methods on artificial and real data. For the artificial data, we used gravity data while for the real data, magnetic data were applied. The considered artificial models comprised of local anomalies at the depth of 400 m for and regional ones at the depth of 1500 m. The optimum height of upward continuation for the models was 500 m using both methods. As a result of applying the second method on the real data from Tabas region, the optimum depth of 60 m was obtained in which shallow anomalies were suppressed well.

**Conclusion**

To obtain the optimum height of upward continuation, we used cross correlation of potential field data. In this manner, we used two different methods for cross correlation of potential field data. In the first method, cross correlation of regional field and total field at various heights were used while in the second one we used cross correlation of upward continued field at consecutive heights. The optimum height in both methods was the same. We applied the second method on the real magnetic data from Tabas region in which the optimum height of upward continuation was obtained 60 m in which seemed to suppress the local anomalies greatly.

---