تعیین موقعیت اجسام آنومال با روش گرادیان کل نرمال بهبودیافته

عالیه یوسفی طبس[۱]، حمید آقاجانی[۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، Aliyeh.yoosefi@yahoo.com
[۲]دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، Aghajani_hamid@yahoo.com

چکیده

روش گرادیان کل نرمال بهبودیافته به‌منظور بررسی و تفسیر داده‌های میدان پتانسیل و تعیین عمق آنومالی‌های ژئوفیزیکی به‌ویژه مغناطیس و گرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین عمق توده در روش گرادیان کل نرمال انتخاب تعداد جملات هارمونیک است. در روش گرادیان کل نرمال بهبود یافته به روش تحلیلی و ترسیمی سعی شده است که عدد بهینه تعداد جملات هارمونیک و برآورد عمق آنومالی محاسبه شود. در این مقاله، این روش ابتدا بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی استوانه افقی اعمال و سپس روی اثر مغناطیس پروفیل‌های مختلف از داده‌های واقعی مربوط به محدوده معدنی سنگ آهن اُجت‌آباد اعمال شد. نتیجه این بررسی نشان می‌دهد که به این طریق می‌توان محدوده تعداد جملات هارمونیک و گسترش سطحی و عمقی جسم آنومال را از روی آنومالی‌های میدان پتانسیل تعیین نمود.

واژه‌های کلیدی: گرادیان کل نرمال بهبودیافته، سنگ آهن، اُجت‌آباد، تعداد جملات هارمونیک، آنومالی‌های میدان پتانسیل، گسترش افقی و عمقی

Determine the position of anomalous bodies with Enhanced Normalized Full Gradient method

Aliyeh Yoosefi Tabas[1], Hamid Aghajani[2]

[1]*M.Sc. student of Geophysics, Shahrood university of technology*
[2]*Associate Professor of Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood university of technology*

Abstract

The enhanced normalized full gradient method is used to investigate and interpret potential field data and to determine the depth of geophysical anomalies, especially magnetic and gravity. One of the most important parameters in determining the depth of body in the normalized full gradient method is choosing the number of harmonic terms. In the enhanced normalized full gradient method, an analytical and graphical method has been used to calculate the optimal number of harmonic terms and estimation the depth of anomaly. In this paper, this method was first applied to the gravity effect of the synthetic model of horizontal cylinder, and then on the magnetic effect of the different profiles from the real data related to Ojatabad ore body iron. The result of this study shows that by using this way, we can determine the range of the number of harmonic terms, surface and deep extension of the anomalous body from potential field anomalies.

Keywords: Enhanced Normalized Full Gradient, Iron rock, Ojatabad, The number of harmonic terms, Potential field anomalies, Horizontal and deep extension

۱ مقدمه

روش گرادیان کل نرمال یکی از روش‌های تفسیر نیمه‌خودکار آنومالی‌های میدان پتانسیل است که پارامترهای اساسی توده‌های زمین‌شناسی از قبیل موقعیت افقی و عمق مرکزی را به‌طور موثری به‌دست می‌آورد. فیلترهای ادامه فروسو و مشتق که در روش گرادیان کل نرمال مورد استفاده قرار می‌گیرند، با افزایش ناپایداری و حساسیت به نوفه منجر به نتایج نادرست می‌شوند؛ اما با اجرای روش گرادیان کل نرمال به‌وسیله روش سری فوریه می‌توان با انتخاب مناسب تعداد جملات سری سبب پایداری پارامترهای یک فیلتر پایین‌گذر شد. در نتیجه روش گرادیان کل نرمال تا حد زیادی به تعداد جملات مورد استفاده در محاسبه سری فوریه بستگی دارد (زنگ و همکاران، ۲۰۰۲). ژانگ و همکاران (۲۰۱۳) برای بهبود روش گرادیان کل نرمال با معرفی کمیت E_r و بررسی ارتباط بین تعداد جملات بهینه هارمونیک و نرخ نوفه‌ی آنومالی‌های گرانی روشی تطبیق‌پذیر برای انتخاب تعداد جملات بهینه هارمونیک ارائه کردند. آن‌ها با محاسبه E_r برای تعداد جملات مختلف هارمونیک نشان

دادند تعداد جملات هارمونیک زمانی بهینه است که E_r با نرخ سیگنال به نوفه برابر باشد، همچنین نشان دادند وابستگی تعداد جملات بهینه هارمونیک به نرخ نوفه‌ی آنومالی‌های گرانی بیشتر از عمق منبع است. ژانگ و منگ (۲۰۱۵) با استفاده از آنالیز منحنی‌های E_r و عمق مقادیر بیشینه‌ی گرادیان کل نرمال که برحسب تعداد جملات مختلف هارمونیک رسم کردند روشی برای انتخاب تعداد جملات بهینه هارمونیک ارائه کردند که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲ روش تحقیق

برزکین و همکاران (۱۹۶۵) اولین بار روش گرادیان کل نرمال را بر روی داده‌های بی‌هنجاری گرانی به شرح زیر اعمال کردند. با توجه به اینکه میدان‌های گرانی و مغناطیسی میدان پتانسیل می‌باشند از این فرمول برای تعیین گرادیان کل نرمال داده‌های مغناطیسی که برگردان به قطب شده باشند نیز می‌توان استفاده نمود.

$$G_H(x,z)=\frac{G(x,z)}{G_{cp}(z)}=\frac{\sqrt{\left[\Delta F_x^2(x,z)+\Delta F_z^2(x,z)\right]^{\nu}}}{\frac{1}{M}\sum_{0}^{M}\sqrt{\left[\Delta F_x^2(x,z)+\Delta F_z^2(x,z)\right]^{\nu}}} \qquad (۱)$$

که در آن G_H گرادیان کل نرمال در دو بعد در نقطه (x,z) و ΔF_x و ΔF_z مشتق افقی و قائم مرتبه اول داده‌ها هستند. $G(x,z)$ گرادیان کل داده‌ها، $G_{cp}(z)$ میانگین گرادیان کل در عمق z و M تعداد نقاط است. ν درجه عملگری گرادیان کل است که معمولاً ۱ منظور می‌شود. مقدار گرادیان کل نرمال یک مقدار بدون بعد است. برزکین (۱۹۷۳) آنومالی گرانی و در پی آن آنومالی مغناطیسی را به‌صورت سری فوریه سینوسی در دامنه $(-L,L)$ چنین بیان کرد:

$$\Delta g(x,z)=\sum_{n=1}^{N}B_n\sin\frac{\pi nx}{L}e^{\frac{\pi nz}{L}}\left(\frac{\sin\frac{\pi n}{N}}{\frac{\pi n}{N}}\right)^{\mu} \qquad (۲)$$

که در آن B_n ضرایب هارمونیک‌های سینوسی، L طول نیم‌رخ برداشت ، N تعداد جمله‌ها و $\mu=2$ است (آقاجانی و مرادزاده، ۱۳۸۵). ژانگ و منگ (۲۰۱۵) با معرفی کمیت E_r که نرخ انرژی آنومالی‌های بازسازی شده به انرژی آنومالی‌های اصلی است روش جدیدی را برای محاسبه‌ی تعداد جملات بهینه هارمونیک معرفی کردند.

$$E_r(N)=\frac{E_{rec}(N)}{E_{ori}}=\frac{\sum\Delta g_{rec}^2(N)}{\sum\Delta g_{ori}^2} \quad \text{و} \quad \Delta g_{rec}(N)=\sum_{n=1}^{N}B_n\sin\left(\frac{\pi nx}{L}\right) \qquad (۳)$$

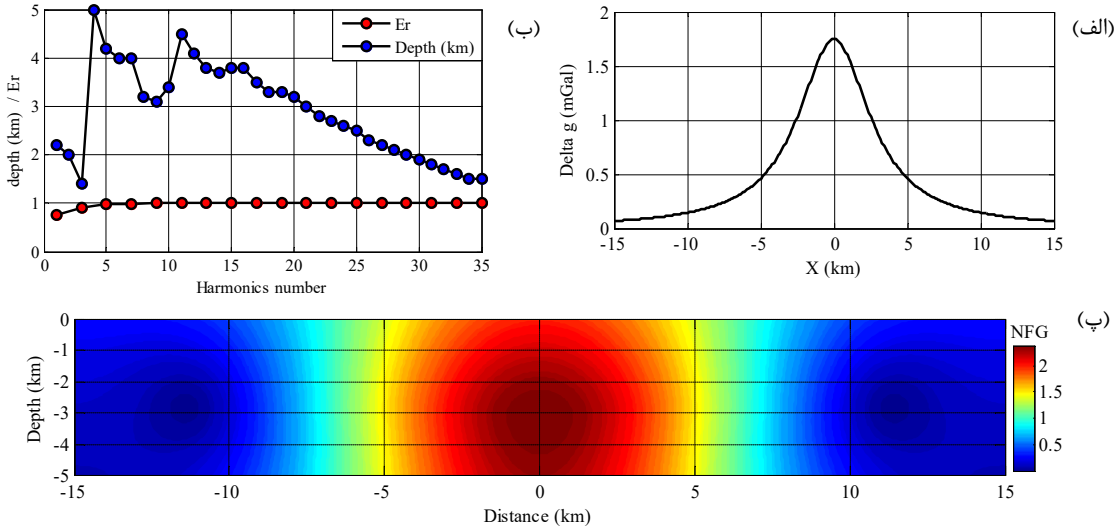
که E_{rec} انرژی آنومالی‌های بازسازی شده با اولین ضرایب N، E_{ori} انرژی آنومالی‌های اصلی Δg_{ori} و $\Delta g_{rec}(N)$ آنومالی‌های بازسازی شده در سطح اندازه‌گیری با اولین ضرایب فوریه N است. منحنی E_r دارای سه مرحله است: مرحله‌ی صعود که سیگنال آنومالی به‌طور کامل بازسازی نمی‌شود؛ مرحله‌ی گذار که سیگنال بازسازی شده شامل بیشینه بازسازی سیگنال مطلوب با کمترین نوفه است و مرحله‌ی ثابت (تقریباً افقی) که سیگنال بازسازی شده شامل مقادیر زیادی نوفه فرکانس بالا است. تعداد جملات هارمونیک بهینه از مرحله‌ی گذار به‌وسیله‌ی تعادل بین سیگنال و نوفه انتخاب می‌شود. برای تعیین نقطه‌ی انحنای منحنی E_r، منحنی عمق نقاط بیشینه گرادیان کل نرمال محاسبه شده با تعداد جملات مختلف هارمونیک رسم می‌شود، قسمتی از منحنی عمق که منطبق بر مرحله‌ی گذار است به شکل Vبا یک دنباله‌ی بلند است؛ مقدار گوشه‌ی بالای سمت چپ Vماکزیمم عمق ادامه‌ی فروسو و مقدار Nدر پایین‌ترین نقطه‌ی Vبه‌عنوان تعداد جملات بهینه هارمونیک در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱ مدل مصنوعی استوانه افقی گرانی

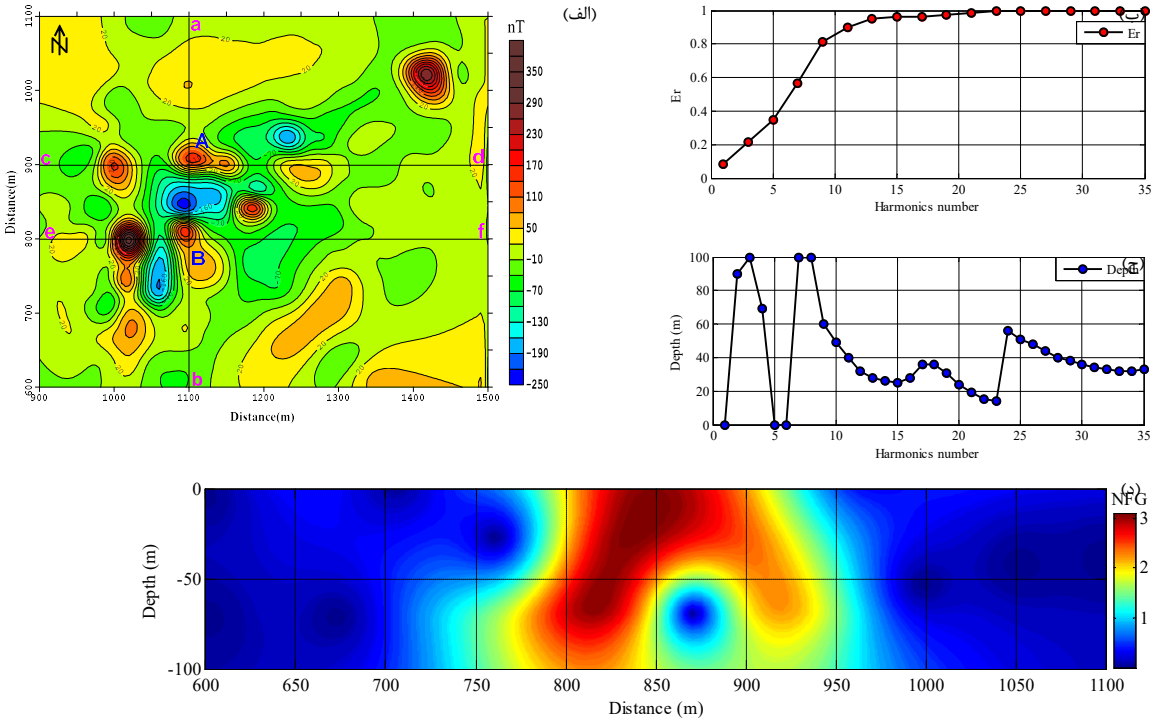
مدل مصنوعی استوانه افقی با شعاع ۰/۵ کیلومتر و تباین چگالی ۰/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب طراحی شده است که این استوانه در عمق ۳ کیلومتری از سطح زمین قرار گرفته است. پروفیل برداشت شده به طول ۳۰ کیلومتر و فاصله‌ی

نمونه‌برداری ۰/۱ کیلومتر است. اثر آنومالی گرانی حاصل از این استوانه در شکل (۱- الف) نشان داده شده است. مقادیر گرادیان کل نرمال بهبودیافته از سطح زمین تا عمق ۵ کیلومتر در ۵۱ لایه با فواصل یکسان محاسبه شده است.

منحنی‌های E_r و عمق بیشینه گرادیان کل نرمال محاسبه شده برای مقادیر مختلف N در شکل (۱- ب) نشان داده شده است. به‌وسیله‌ی تحلیل و بررسی ترکیبی این دو منحنی $N=9$ به‌عنوان تعداد جملات بهینه هارمونیک برای این مدل تعیین گردید. مقطع دو بعدی گرادیان کل نرمال بهبودیافته‌ی آنومالی در راستای پروفیل به ازای تعداد جملات بهینه هارمونیک در شکل (۱- پ) آورده شده است، مقدار بیشینه در این مقطع با مرکز استوانه مطابقت دارد و عمق منبع ۳/۱ کیلومتر برآورد گردید.



شکل ۱. (الف) اثر آنومالی گرانی ناشی از مدل مصنوعی استوانه‌ی افقی گرانی؛ (ب) E_r و عمق تخمینی بیشینه گرادیان کل نرمال بر اساس تعداد جملات مختلف هارمونیک، برای آنومالی نشان داده شده در قسمت (الف)؛ (ج) مقطع دو بعدی گرادیان کل نرمال بهبودیافته آنومالی گرانی استوانه افقی، تعداد جملات هارمونیک مورد استفاده ۹ می‌باشد.



شکل۲. (الف) نقشه آنومالی‌های مغناطیسی باقی‌مانده؛ (ب) و (ج) E_r و عمق تخمینی بیشینه گرادیان کل نرمال بر اساس تعداد جملات مختلف هارمونیک برای پرفیل ab؛ (د) مقطع دو بعدی گرادیان کل نرمال بهبودیافته پروفیل ab، تعداد جملات هارمونیک مورد استفاده ۲۳ می‌باشد.

۲-۲ داده‌های مغناطیسی کانسار آهن اُجت‌آباد

نقشه آنومالی‌های مغناطیسی حاصل از توده‌های آهن‌دار پس از حذف اثرات ناحیه‌ای در شکل (۲- الف) نشان داده شده است. چندین آنومالی مثبت با منحنی‌های تراز بسته روی نقشه به وضوح قابل رویت هستند (آقاجانی و مرادزاده، ۱۳۸۹). پروفیل‌های زیادی در این منطقه تهیه شد که از همه آنومالی‌ها عبور می‌کرد؛ در این مقاله به‌عنوان نمونه یکی از این پروفیل‌ها (پروفیل ab که از آنومالی‌های A و B می‌گذرد) که با استفاده از روش گرادیان کل نرمال بهبودیافته بررسی شده، ارائه شده است. منحنی‌های E_r و عمق بیشینه گرادیان کل نرمال محاسبه شده برای مقادیر مختلف N در شکل‌های (۲- ب و ۲- ج) نشان داده شده است و با استفاده از این منحنی‌ها تعداد جملات بهینه هارمونیک $N = 23$ انتخاب گردید. مقطع گرادیان کل نرمال بهبودیافته روی این پروفیل در شکل (۲- د) آورده شده است. مطابق شکل قسمت‌هایی که مقادیر گرادیان کل نرمال بهبودیافته بالا است نشان دهنده آنومالی‌های A و B هستند که با توجه به ظاهر امر این دو آنومالی در بخش بالایی باهم مرتبط بوده‌اند و در اثر فرسایش شاید بخش رویی از بین رفته است. گسترش عمقی این دو آنومالی حدوداً از سطح زمین تا ۷۰ متری است.

۳ نتیجه‌گیری

روش گرادیان کل نرمال ابزار موثری برای تخمین عمق اجسام آنومال با استفاده از داده‌های میدان پتانسیل است. در اجرای روش گرادیان کل نرمال تعداد جملات سری فوریه مورد استفاده پارامتر مهمی است که در صورت انتخاب نادرست سبب ایجاد ابهام در نتایج یا حتی تخمین عمق نادرست می‌شود. در روش گرادیان کل نرمال بهبودیافته برای تخمین تعداد جملات بهینه هارمونیک مورد استفاده در محاسبه گرادیان کل نرمال از ترکیب آنالیز منحنی نرخ انرژی آنومالی‌های بازسازی شده و منحنی عمق برحسب تغییر تعداد جملات هارمونیک استفاده می‌شود. با استفاده از این روش عمق مدل مصنوعی با دقت بالایی به‌دست آمده است. نتایج حاصل از این روش بر روی داده‌های منطقه اُجت‌آباد نشان می‌دهد که تشکیل کانسار در نزدیکی سطح زمین می‌باشد و گسترش عمقی این دو آنومالی حدوداً از سطح زمین تا ۷۰ متری است که براساس نتایج حاصل از دو پروفیل cd و ef هم این آنومالی‌ها تایید می‌شوند.

منابع

آقاجانی، ح. و مرادزاده، ع.، (۱۳۸۵)، "تشخیص گنبدهای نمکی به روش گرادیان کل نرمال آنومالی‌های گرانی"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

آقاجانی، ح. و مرادزاده، ع.، (۱۳۸۹)، "بررسی آنومالی‌های مغناطیسی کانسار آهن اُجت‌آباد سمنان با استفاده از گرادیان کل نرمال"، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

Berezkin, V. M. and A. P. Buketov, 1965. Application of the harmonical analysis for the interpretation of gravity data (In Russian). *Applied Geophysics*, 46: 161-166.

Zeng H., Meng X., Yao CH., Li X., Lou H., Guang Z., Li Z., (2002), "Detection of reservoirs from normalized full gradient of gravity anomalies and its application to Shengli oil field east China", *Geophysics*, No. 67, 4, 1138-1147.

Zhang, S., Meng, X., (2015), "Improved normalized full-gradient method and its application to the location of source body", *Journal of Applied Geophysics*, No. 113, 86–91.

Zhang, S., Meng, X., Chen, Z., Wang, J., Ren, L., (2013), "The improvement of normalized full gradient method and its application to locate mineral resources", First Near Surface Geophysics Asia Pacific Conference, Beijing, China.