



توانایی گرادیان کامل نرمال در بازیابی توده بی هنجار داده گرانی سنجی

اکو علیپور^۱، خلیلی متقی^۲، زهرا موسوی^۲ د*انشجوی دکتری، تحصیلات تکمیلی زنجان، akoalipour@iasbs.ac.ir* ^۲دانشیار، تحصیلات تکمیلی زنجان، z.mousavi@iasbs.ac.ir ۲دانشیار، تحصیلات تکمیلی زنجان، z.mousavi

چکیدہ

در این پژوهش توانایی روش گرادیان کامل نرمال در بازیابی مدل زیر سطحی داده گرانی مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور با استفاده از داده مدل مصنوعی، بازیابی مدل زیرسطحی با استفاده از این روش تحقیق شده است و نهایتاً با نتایج روشهای به روز وارونسازی مقایسه شده است. روش گرادیان کامل نرمال دارای ضعفهایی مانند محدودیت استفاده در سهبعد و عدم تمایز آنومالی مثبت و منفی است. با در نظر گرفتن این محدودیتها، نتایج نشان میدهد که استفاده از روش گرادیان کامل نرمال بدون تعریف هیچ شرط اولیهای و بدون نیاز به استفاده از روش و الگوریتمهای پیچیده، نتایجی بسیار مشابه با نتایج الگوریتمهای وارون دارد.

واژههای کلیدی: داده مدل مصنوعی، داده میدان پتانسیل، داده گرانیسنجی، گرادیان کامل نرمال، وارونسازی، مدلسازی دوب**ع**دی.

Normalized Full Gradient ability to find the gravity anomaly model

Ako Alipour¹, Khalil Motaghi², Zahra Mousavi²

Ph.D. student, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, akoalipour@iasbs.ac.ir¹ associate professor, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, kmotaghi@iasbs.ac.ir² associate professor, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, z.mousavi@iasbs.ac.ir²

Abstract

The Normalized Full Gradient (NFG) was developed to determine anomalous bodies. In this research, NFG's ability to find the gravity anomaly model was studied. For this aim, we used synthetic data and studied the NFG recovered model. The recovered model compares with up-to-date inversion results. The weakness of the NFG is the 3D modeling limitation, only we can calculate the 2D response in practice. On the other hand, we have normalized responses that could not be able to describe the negative and positive parts of the anomaly. Despite the limitation, the results have shown the NFG has similar responses to the inversion results. But a unique advantage of NFG is, that it does not need the primary information for gravity data modeling.

Keywords: synthetic model data, potential field data, gravity data, Normalized Full Gradient, inversion, 2D modeling.

۱ مقدمه

دادههای میدان پتانسیل دادههایی اقتصادی اما سخت تفسیر هستند. پژوهشهای زیادی روشهایی برای مدلسازی این دادهها ارائه کردهاند. این مطالعات بیشتر بر پایه مدلسازی وارون و پیشرو دادههای میدان پتانسیل انجام شدهاند. مشکل اصلی روشهای ارائه شده، نیاز به استفاده از قیدها و اطلاعات اولیه زیاد برای تعیین مدلی نزدیک و توجیه کننده پیچیدگیهای زمین مورد مطالعه است (ویلیامز⁷، ۲۰۰۸). گاهاً حجم اطلاعات اولیه مورد نیاز در حدی است که تنها استفاده دادههای میدان پتانسیل مانند گرانیسنجی، ارائه اطلاعات تکمیلی برای سایر روشهای ژئوفیزیکی چون روشهای لرزهای است. دادههای مانند دادههای لرزهای بدون توجیه اقتصادی مناسب معمولاً خارج از دسترس هستند. اما علاوه بر پوشش و دقت مناسب دادههای گرانیسنجی

⁶Williams





ماهوارهای در دهههای اخیر، دادههای زمینی گرانیسنجی در ایران با تلاش ادامدار سازمان زمینشناسی کشوری با دقت و پوشش مناسبی برای مقاصد ثانویه مانند تفاسیر زمینشناسی در دسترس هستند. از این رو استفاده از روشهایی که از کمترین اطلاعات اولیه در مدلسازی دادههای گرانیسنجی استفاده می کنند، ارائه تفسیری مستقل از لیتوسفر زمین را امکان پذیر خواهند کرد. در این مطالعه با نشان دادن قابلیت یکی از روشهای سریع که راه کاری متفاوت از حل مساله وارون برای تعیین مدل زیرسطحی دارد، اهمیت گسترش این روشها توضیح داده می شود. روش گرادیان کامل نرمال یکی از روشهای تفسیر نقاط ویژه^۷ در منحنی میدان پتانسیل است (السیوا و پاستیکا^۸، ۲۰۱۹). نقاط ویژه در روشهایی چون ادامه فروسو^۹ که اطلاعات منحنی میدان پتانسیل را با استفاده از توابع و تبدیلات مختلف در طول موجهای مختلف از بی هنجاری بازسازی می کنند، اطلاعات ویژه منحنی میدان پتانسیل را با استفاده از توابع و تبدیلات مختلف در طول موجهای مختلف از بی هنجاری بازسازی می کنند، اطلاعات ویژه منحنی میدان پتانسیل را با استفاده از توابع و تبدیلات مختلف در طول موجهای مختلف از بی هنجاری بازسازی می کنند، اطلاعات ویژه منحنی میدان پتانسیل را با استفاده از توابع و تبدیلات مختلف در طول موجهای مختلف از بی هنجاری بازسازی می کنند، اطلاعات ویژه منحنی میدان پتانسیل را با استفاده از توابع و تردیلات مختلف در طول موجهای مختلف از بی هنجاری بازسازی می کنند، اطلاعات ویژه منحنی میدان پتانسیل روش گرادیان کامل نرمال است. معرفی و توسعه این روش بین سالهای 1960 تا ۱۹۸۸ توسط ویژه منحنی و همکاران در پژوهشهایی به زبان روسی، به منظور سرعت بخشیدن به اکتشاف میدانهای نفتی انجام شده است سیندرجی^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۸)، آقاجانی و همکاران (۲۰۰۹الف وب)، ژانگ و ونگ^{۲۱} (۲۰۱۵) و السیوا و پاستیکا (۲۰۱۹) قرار سیندرجی^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۸)، آقاجانی و همکاران (۲۰۰۹الف وب)، ژانگ و ونگ^{۲۱} (۲۰۱۵) و السیوا و پاستیکا (۲۰۱۹) قرار

۲ روش تحقیق

(1)

روش گرادیان کامل نرمال در دو بعد با اپراتور بدون بعد $G_N(x_i, z_j)$ برای هر تابع میدان پتانسیل $G(x_i, z_j)$ برای خط برداشت داده x_i برای i داده برداشت شده و z_j عمق چشمداشتی قابل محاسبه خواهد بود (برزکین، ۱۹۷۳):

$$\mathbf{G}_{N}\left(x_{i}, z_{j}\right) = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial G\left(x_{i}, z_{j}\right)}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{\partial G\left(x_{i}, z_{j}\right)}{\partial z}\right)^{2}\right)^{\nu}} - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{M} \sqrt{\left(\left(\frac{\partial G\left(x_{i}, z_{j}\right)}{\partial x}\right)^{2} + \left(\frac{\partial G\left(x_{i}, z_{j}\right)}{\partial z}\right)^{2}\right)^{\nu}}$$

مقدار M تعداد دادههای مشاهدهای و v درجه اپراتور گرادیان کامل نرمال است که تقویت قله سیگنال بیهنجاری نسبت به عرض آن را کنترل میکند. مقدار I = v مناسب دادههای گرانیسنجی میباشد (آیدین، ۱۹۹۷الف). درجات بالاتر، جایی که سیگنال ثبت شده عرض ناز کی نسبت به قله دارد استفاده میشود (کارسلیⁱ، ۲۰۰۱). محاسبات گرادیان کامل نرمال با سری فوریه توسعه یافته است. داده گرانیسنجی $\Delta g(x)$ در محدوده متناهی (D, L)، با بسط قسمت سینوسی سری فوریه بر اساس مولفه x در خط برداشت L برای هر عمق چشم داشتی z تا درجه هارمونیکی N قابل محاسبه میباشد (برزکین، ۱۹۷۳). رابطه (۲) تعریف ادامه فروسو با استفاده از بسط فوریه است (بلیکلی^{\circ}، ۱۹۹۵). در این رابطه مقدار B_n از قاعده سیمپسون، ذوزنقهای و فیلون^T قابل محاسبه میباشد.

$$\Delta g(x,z) = \sum_{n=1}^{N} B_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \exp\left(\frac{n\pi z}{L}\right) \quad and \quad B_n = \frac{2}{L} \int_0^L \Delta g(x,0) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \tag{(Y)}$$

برای محو اثرات فرکانس بالا و افزایش پایداری بسط سینوسی از ضریب هموارساز Q در محاسبه رابطه (۲) میتوان استفاده کرد (برزکین، ۱۹۶۷). مقدار p برای محاسبه این فاکتور در مقالات مختلف ۱ تا ۲ برای دادههای گرانی و مغناطیس پیشنهاد شده است. اوروچ^{۷۷}در سال ۲۰۱۱ روشی ساده و کاربردی برای محاسبه مقدار p پیشنهاد کرد.

⁷ singular points

- ¹⁰ Berezkin ¹¹ Avdin
- ¹² Sindirgi
- ¹³ Zhang and Meng
- ¹⁴ Karsli
- ¹⁵ Blakely
- ¹⁶ Simpson, trapezoidal and Filon
- ¹⁷ Oruç

⁸ Elysseieva & Pasteka

⁹ downward continuation



مجموعه مقالات گروه **پتانسیل** بیستمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران



(۳)

یکی از مهم ترین ضعفهای ادامه فروسو ناپایداری با افزایش عمق در رابطه (۲) است، که یکی محدودیتهای جدی این روش خصوصاً در حالت سهبعدی میباشد (بلیکلی، ۱۹۹۵). برای حالت دو بعدی روش گرادیان کامل نرمال پیشنهاد میدهد، با استفاده از مشتقهای افقی و قائم $\Delta g(x,z)$ ، برآیند تبدیل هیلبرت $\Delta g(x,z)$ محاسبه شود و از پاسخ تقویت شده جفت هیلبرت به جای پاسخ اصلی ادامه فروسو استفاده شود، که صورت کسر رابطه (۱) است (برزکین، ۱۹۷۳) و همان مفهوم سیگنال تحلیلی دو بعدی است (نبیقیان، ۱۹۷۴). اگر این رابطه در هر سطح z با میانگین حسابی آن سطح نرمال شود، مخرج کسر رابطه (۱)، نهایتاً مفهوم گرادیان کامل نرمال به دست خواهد آمد.

یکی از مهم ترین پارامترها در رابطه (۲) تعیین مقدار *N* است. دقت پاسخ نهایی به شدت به تعیین دقیق این مقدار وابسته است. محققانی چون برزکین (۱۹۸۸)، آیدین (۱۹۹۷الف)، سیندرجی و همکارن (۲۰۰۸)، آقاجانی و همکاران (۲۰۰۹لف وب)، اوروچ ۲۰۱۱ و ژانگ و ونگ (۲۰۱۵) روشهایی را به این منظور پیشنهاد دادهاند. هدف این پژوهش مطالعه دقت بازیابی ساختار زیر سطحی با روش گرادیان کامل نرمال و وابستگی آن به مقدار *N* است. به این منظور از مدل مصنوعی استاندارد پیشنهاد شده در مطالعه فرگوسو^{۸۱} و همکاران (۲۰۱۹) استفاده شده است. این مدل مصنوعی سه بعدی توصیف کننده یک دایک شیبدار زیرسطحی است که در عمق ۵۰ کیلومتری با زاویه حدود ۴۵ درجه دفن شده است. این ساختار همچنین دارای چگالی ۱ زیرسطحی است که در عمق ۵۰ کیلومتری با زاویه حدود ۴۵ درجه دفن شده است. این ساختار همچنین دارای چگالی ۱ گرادیان کامل نرمال در 28=*N*و متناظر با آن شکل (۱ث) پاسخ وارونسازی ساده دادههای مدل مصنوعی نتیجه شده از پژوهش فرگوسو و همکاران (۲۰۱۹) است. شکل (۱ث) پاسخ وارونسازی ساده دادههای مدل مصنوعی نتیجه شده از پژوهش ورون سازی کامل نرمال در 1988 می این شکل (۱ث) پاسخ وارونسازی ساده دادههای مدل مصنوعی نتیجه شده از پژوهش ورگوسو و همکاران (۲۰۱۹) است. شکل (۱ث) پاسخ وارونسازی ساده دادههای مدل مصنوعی نتیجه شده از پژوهش



شکل ۱. الف: آنومالی مدل مصنوعی مدل مصنوعی شکل (۱.ب). (ب) مدل مصنوعی دایک شیبدار با چگالی ۱ (gr/cm³) با زمینه. (پ) پاسخ روش

18 Fregoso





گرادیان کامل نرمال در 28=N. (ث) پاسخ وارونسازی ساده دادههای مدل مصنوعی نتیجه شده از پژوهش فرگوسو و همکاران (۲۰۱۹). (ج) پاسخ روش گرادیان کامل نرمال در N=12 (چ) پاسخ وارونسازی توام دادههای مدل مصنوعیهای گرانیسنجی و مغناطیس سنجی نتیجه شده از فرگوسو و همکاران (۲۰۱۹). راهنمای رنگی روش گرادیان کامل نرمال در زیر ستون سمت راست، بدون بعد و راهنمای رنگی مدلهای نتیجه شده از وارونسازی فرگوسو و همکاران (۲۰۱۹). نشان داده شده است.

۳ نتیجهگیری

با توجه به نتایج شکل (۱) از تست روش گرادیان کامل نرمال در بازیابی مدل مصنوعی، پاسخ این روش شدیداً به تعیین مقدار دقیق *N* در رابطه (۲) وابسته است. این پارامتر تعیین می کند که سری فوریه در رابطه (۲) با چه درجه هارمونیکی بازیابی شود. *N* های کوچکتر برای بازیابی اطلاعات در دامنههای پهن آنومالی مناسبترند و *N* های بزرگتر اطلاعات قلههای آنومالی را بهتر بازیابی می کنند. با مقایسه نتایج شکل (۱پ) و (۱ث)، پاسخ مدل نتیجه شده از وارونسازی ساده دادهها از پژوهش فرگوسو و همکاران (۲۰۱۹) در شکل (۱ث)، تنها همگرایی به قله آنومالی را مشابه مدل بازیابی شده از هارمونیک 28=*N* در شکل (۱پ) نتیجه داده است. با هدایت پاسخ گرادیان کامل نرمال به دامنه آنومالی در هارمونیکهای پایین تر در هارمونیک 28=*N* در شکل (۱پ) (۱ج) پاسخ دقیقی مشابه پاسخی که فرگوسو و همکاران (۲۰۱۹) در شکل (۱چ) برای الگوریتم پیشرفته وارون دادههای توام گرانی و مغناطیس به دست آوردهاند، به دست آمده است. بر این اساس مقاطع عمقی گرادیان کامل نرمال بدون پیچیدگیهای روشهای وارون و بدون هیچ اطلاعات اولیهای با سرعت و کیفیت بالا، برای مدل مصنوعی تکساختار بازیابی شده است. در نتیجه گسترش استفاده و توسعه این روش و روشهای مشابه به نظر امری ضروری میباشد.

منابع

Aghajani, H., Moradzadeh, A., and Zeng, H.L., 2009a, Estimation of depth to salt domes from normalized full gradient of gravity anomaly and examples from the USA and Denmark: Journal of Earth Science, 20, 1012–1016. https://doi.org/10.1007/s12583-009-0088-y

Aghajani, H., Moradzadeh, A., and Zeng, H.L, 2009b, Normalized full gradient of gravity anomaly method and its application to the Mobrun Sulfide body. Canada: World Applied Sciences Journal, 6 (3), 393 400.

- Aydın, A., 1997a, Evaluation of Gravity Data in Terms of Hydrocarbon by Normalized Full Gradient, Variation and Statistic Methods, Model Studies and Application in Hasankale-Horasan Basin (Erzurum): Ph.D. Thesis, Karadeniz Technical Univ., Natural and Applied Sciences Institute, Trabzon, Turkey.
- Berezkin, V.M., 1967, Application of the total vertical gradient of gravity for determination of the depth to the sources of gravity anomalies: Razvedochnaya Geofizika (Exploration Geophysics), 18, 69–79.

Berezkin, V.M., 1973, Application of gravity exploration to reconnaissance of oil and gas reservoirs (in Russian): Nedra Publishing House. Berezkin, V.M., 1988, Method of the Total Gradient in Geophysical Prospecting. Moscow: Nedra. (in Russian).

Blakelv, R., 1995, Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications: Cambridge University Press, 136.

Elysseieva, I.S., and Pasteka, R., 2019, Review Paper: Historical development of the total normalized gradient method in profile gravity field interpretation: Geophysical Prospecting, 67, 188–209. https://doi.org/10.1111/1365-2478.12704

Fregoso, E., Palafox, A., and Moreles, M.A., 2019, Initializing Cross-Gradients Joint Inversion of Gravity and Magnetic Data with a Bayesian Surrogate Gravity Model: Pure and Applied Geophysics. https://doi.org/10.1007/s00024-019-02334-w

Karsli, H., 2001, The Usage of Normalized Full Gradient Method in Seismic Data Analysis and a Comparison to Complex Envelope Curves: Ph.D. Thesis, Karadeniz Technical Univ., Natural and Applied Sciences Institute, Trabzon, Turkey.

Nabighian, M.N., 1974, Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Geophysics 39, 85–92.

Oruç, B., 2011, Source Location and Depth Estimation Using Normalized Full Gradient of Magnetic Anomalies: Yerbilimleri, 33 (2), 177-192.

Sindirgi, P., Pamukçu, O., and Özyalin, S., 2008, Application of normalized full gradient methodto self potential (SP) data: Pure and Applied Geophysics, 165, 409–427. https://doi.org/10.1007/S00024-008 0308-X10.1190/int-2018-0009.1.

Williams, N.C., 2008, Geologically-constrained UBC-GIF gravity and magnetic inversions with examples from the Agnew-Wiluna greenstone belt, Western Australia: University of British Columbia.

Zhang, Y., and Wong, Y.S., 2015, BTTB-based numerical schemes for three-dimensional gravity field inversion: Geophysical Journal International, 203 (1), 243–256. https://doi.org/10.1093/gji/ggv301