

وارونسازی سه بعدی داده های مغناطیس سنجی در حضور مغناطیس بازماند

محمد حسین قلعه نوی^۱، عبد الحمید انصاری^۲ و احمد قربانی^۳ ...

^۱دانشجوی دکتری، دانشگاه یزد، دانشکده معدن و متالورژی، mhghalehnoee@gmail.com

^۲دانشیار، دانشگاه یزد، دانشکده معدن و متالورژی، h.ansari@yazd.ac.ir

^۳دانشیار، دانشگاه یزد، دانشکده معدن و متالورژی، aghorbani@yazd.ac.ir

چکیده

مغناطیس بازماند، وارونسازی داده های مغناطیسی را با مشکل مواجه می کند، به این علت که باعث تغییر در جهت و شدت بردار مغناطیدگی می شود. در بسیاری از کاربردهای مغناطیس سنجی، مغناطیس بازماند شدید و غیرقابل چشم پوشی است. اگر وارونسازی بدون در نظر گرفتن مغناطیس بازماند انجام شود، نتایج غیر قابل اعتماد و گمراه کننده ای خواهد داشت. برای کاستن از اثر مغناطیس بازماند، داده های میدان مغناطیسی کل TFA تبدیل به داده های اندازه میدان کل TMA شده اند. روش وارونسازی مورد استفاده بر مبنای بهبود روش فشرده می باشد و بصورت سه بعدی است. این روش داده های مصنوعی آزمایش شده است. داده های مصنوعی حاصل از یک توده شیدار با خودپذیری مغناطیسی SI ۰/۰۵ و مغناطیس بازماند شدید مورد بررسی قرار گرفته است. در این داده ها میدان القایی دارای زاویه های میل و انحراف مغناطیسی بترتیب ۶۵ و ۲۵ درجه و زوایای مغناطیس بازماند هم بصورت ۴۵ و ۷۵ درجه می باشد. وارونسازی داده های مصنوعی از نظر زمین شناسی و یا در مقایسه با آنومالی حقیقی، مدل قابل قبولی را ارایه می دهد.

واژه های کلیدی: مغناطیس بازماند، مغناطیدگی، اندازه میدان کل، ضریب فشردگی، تابع عمق، وارونسازی فشرده.

Magnetic data inversion in the presence of remanent magnetization

Mohammad Hossein Ghalehnoee, Abdolhamid Ansari, Ahmad Ghorbani¹

¹ Department of Mining and Metallurgical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Remanent magnetization complicates the inversion of magnetic data, because it alters the direction and intensity of the magnetization vector. Remanent magnetization is impossible to ignore in many applications of magnetic method including mineral exploration particularly iron ore, geomagnetism, regional investigation, and archaeological measurements. If inversion do regardless remanence, the results will be unreliable and misleading. To reduce the effect of remanence, total field anomaly (TFA) has been transformed to total magnitude anomaly (TMA). The inversion algorithm is based on improving compact inversion method in three-dimensional. The method has been tested using synthetic and real data. The synthetic example consisting of a dipping dike buried in a nonmagnetic background. The effective susceptibility is set to 0.05 SI, and the inducing-field direction for this model has an inclination of 65°, a declination of 25°. The total magnetization with remanence has an inclination of 45° and a declination of 75°. Synthetic data inversion are consistent with the known geologic attributes of the magnetic sources.

Keywords: Remanent magnetization, Magnetization, Total magnetic anomaly, Compactness factor, Depth function, Compact inversion.

۱ مقدمه

در برخی از برداشت های مغناطیس سنجی می توان فرض کرد که هیچ مغناطیدگی وجود ندارد یا قابل چشم پوشی است. در این موارد جهت مغناطیدگی موازی با جهت مغناطیس القایی کره زمین فرض می شود و با این فرضیه برخی از مدلسازی ها قابل انجام است. اما اغلب موارد مغناطیس بازماند وجود دارد که اگر شدید باشد در تفسیر کمی داده های مغناطیس سنجی خطای زیادی رخ می دهد. در بسیاری از کاربردهای مغناطیس سنجی از جمله اکتشافاتمعدنی، اکتشافات ناحیه ای پوسه زمین و باستان شناسی مغناطیس بازماند شدید و غیرقابل چشم پوشی است. وارونسازی بدون در نظر گرفتن جهت مغناطیس بازماند نتایج غیرقابل اعتمادی بوجود می آورد. تاکنون سه روش برای وارون سازی داده های مغناطیس سنجی با در نظر

گرفتن مغناطیسی بازماند وجود دارد: ۱) روش وارونسازی با تخمین جهت مغناطیسی بازماند، ۲) وارونسازی با تبدیل داده های مغناطیسی سنجی به نوع دیگر داده ها و ۳) روش وارونسازی بردار مغناطیسی.

اگر بتوان مولفه های میدان مغناطیسی را در سه جهت کارتزین به گونه ای تخمین زد یا اینکه سه مولفه میدان مغناطیسی را برداشت کرد (در برخی داده های هوایی هر سه مولفه میدان مغناطیسی برداشت می شود) می توان از طریق آن اندازه میدان مغناطیسی کل TMA را محاسبه کرد. در این تحقیق روشهای ارایه می شود که آنومالی مغناطیسی با مغناطیسی بازماند را می توان بر پایه روش فشرده اصلاح شده با آن مدل کرد. داده های استفاده شده در این روش تبدیل داده های میدان مغناطیسی کل به اندازه میدان مغناطیسی کل TMA است. در این روش ترکیبی از توابع وزنی تعریف می شود که به ماتریس کرنل (یا تابع مقیاس) و تابع فشرده‌گی وابسته است. این روش می تواند با و بدون اطلاعات از قبل موجود بکار گرفته شود به استثنای اینکه مدل هموار یا با لبه های تیز انتخاب می شود. این روش اولین بار توسط قلعه نویی و همکاران (۲۰۱۷) بصورت دو بعدی برای داده های گرانی سنجی معرفی شد.

۲ روش تحقیق

اندازه بردار مغناطیسی کل (TMA) بصورت زیر تعریف می شود

$$(1) \quad B$$

که B اندازه مغناطیسی کل یا آنومالی مغناطیسی کل بوده و x , y و z جهات میدان مغناطیسی برداشت شده (یا محاسبه شده) می باشد.

اگر زیر سطح زمین تقسیم به سلولهای دو یا سه بعدی شود برای این پاسخ اندازه بردار مغناطیسی کل در i امین داده بصورت

$$(2) \quad E$$

$$i = 1, 2, \dots, N;$$

نوشته می شود که m_j شدت مغناطیدگی (بر حسب A/m) j امین بلوک، e_i نویز در هر داده و A_{ij} ماتریس کرنل است. معادله را می توان با فرم ماتریسی نیز نوشت

$$(3) \quad B$$

مدل وارون سازی در این تحقیق کاملا خطی است: داشتن داده های اندازه بردار مغناطیسی کل (B), یافتن توزیع شدت مغناطیدگی m که به داده ها برازش شود. حل مسئله وارون در این تحقیق بصورت تکرار و با روش حداقل مربعات است و بنابراین بصورت ماتریسی می توان نوشت (منکه، ۱۹۸۹)

$$(4)$$

$$(5) \quad n$$

که W_m ماتریس وزن مدل، W_e ماتریس وزنی نویز در تکرار k ام می باشد و (μ) فاکتور مهار یا پارامتر تنظیم است و جهت خلاصی از دام وارون پذیر نبودن ماتریس بکار می رود، این پارامتر مثبت بوده و مقدار آن به سطح نویز داده ها وابسته است. هرچقدر نویز کمتر باشد مقدار فاکتور مهار عددی کمتر خواهد شد. ماتریس وزنی جدیدی معرفی می شود که خود از حاصلضرب دو ماتریس وزنی دیگر شامل ماتریس وزنی فشرده‌گی، و ماتریس وزنی "مقیاس" در تکرار k ام تشکیل شده است:

$$(6) \quad V$$

تابع وزنی نویز هم مانند آنچه توسط لاست و کوبیک (۱۹۸۳) ارایه شده، به سادگی محاسبه می شود

$$(7) \quad V$$

تابع فشرده‌گی بصورت زیر تعریف می شود:

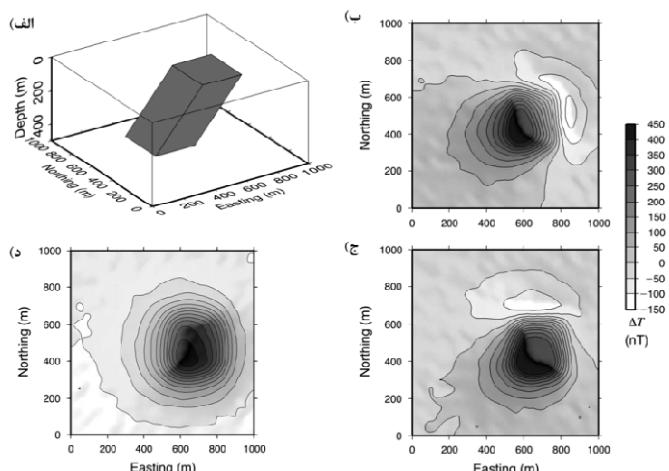
$$\alpha = \text{facteur_fond} \cdot \text{facteur_magnétisme} \cdot \text{facteur_topographie} \quad (8)$$

$$W_s = \text{diag}(\sqrt{\sum_{i=1}^N A_{ij}^2}) \quad (9)$$

که α فاکتور فشردگی و مقدار ϵ عددی کوچک است از مرتبه 10^{-7} که برای جلوگیری از بی نهایت شدن معادله (8) انتخاب می شود. همچنین ماتریس وزنی مقیاس W_s توسط پورتینگوین و ژانوف (۲۰۰۲) بصورت معرفی شد که در این تحقیق عیناً استفاده شده است.

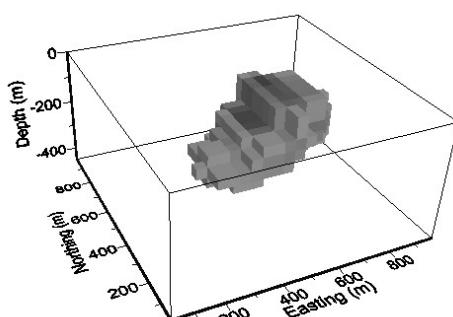
۳ وارونسازی داده های مصنوعی

برای نشان دادن قابلیت روش مورد مطالعه، الگوریتم فوق با یک داده مصنوعی سه بعدی آزمایش می شود. برای مثال، داده های مصنوعی که حاصل از یک توده شیبدار با خودپذیری مغناطیسی موثر SI 0.05 و مغناطیس بازماند شدید مورد بررسی قرار می گیرد. در این داده ها میدان القایی دارای زاویه های میل و انحراف مغناطیسی به ترتیب 65° و -25° درجه و زوایای مغناطیس بازماند هم بصورت 45° و 75° درجه می باشد (شکل ۱). همانطور که در شکل دیده می شود تفاوت بسیار زیادی بین داده های با مغناطیس بازماند و داده های بدون مغناطیس بازماند (فقط القایی) وجود دارد. شکل ۱ (د)، داده های TMA بدست آمده از داده های شکل ۱(ب)، را نشان می دهد که برای وارونسازی مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۱. یک مثال از داده های مصنوعی با مغناطیس بازماند شدید. (الف) یک توده شیبدار با خودپذیری موثر SI 0.05 . (ب) داده های مغناطیس کل با و (ج) بدون مغناطیس بازماند؛ $(I, D) = (65, -25)$ و $(Im, Dm) = (45, 75)$ از شکل ۱ (ب) داده های با مغناطیس بازماند شدید (لی و همکاران، ۲۰۱۰).

وارونسازی با بلوک های به ابعاد $40 \times 40 \times 20$ متر مکعبی و با مقدار ضریب فشردگی 1 و با مقدار فاکتور انجام شده است (شکل ۲). مدل سه بعدی از داده های TMA را با ضریب فشردگی 1 و مقادیر بیشتر از 0.01 در واحد SI را نشان می دهد که در مقایسه با مدل واقعی، نتیجه قابل قبولی ارائه داده است.



شکل ۲. مدل نهایی سه بعدی داده های شکل ۳ با ضریب فشردگی 1 و مقادیر بیشتر از 0.01 در واحد SI. مدل بدست آمده در این شکل نسبتاً به مدل واقعی (شکل ۱) شبیه است.

۴ نتیجه‌گیری

با توجه به موارد فوق، الگوریتم مورد استفاده، بهبود روش فشرده با استفاده از ماتریس وزن کرنل برای بدست آوردن توزیع خودپذیری و یا توزیع شدت مغناطیدگی آنومالی های مغناطیسی می باشد. در این روش مانند بسیاری از روش های دیگر از مغناطیس بازماند صرفنظر نمی شود و برای کاستن از اثر مغناطیس بازماند، داده های TFA تبدیل به داده های TMA می شود که تقریباً مستقل از جهت مغناطیدگی توده مغناطیسی و جهت مغناطیس زمین است. این روش با داده های مصنوعی که مغناطیس بازماندی شدیدی دارند مورد راستی آزمایی قرار گرفت و نتایج قابل قبولی بدست آمد. این روش به درستی می تواند برای داده های واقعی هم مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- Ghalehnoee. M. H., Ansari. A., & Ghorbani. A., 2017, Improving compact gravity inversion using new weighting functions. *Geophys J Int*; 208 (1): 546-560.
- Last, B. J., and K. Kubik, 1983, Compact gravity inversion: *Geophysics*, 48, 713–721.
- Li, Y., Shearer, S., Haney, M., and Dannemiller, N. (2010), Comprehensive approaches to 3D inversion of magnetic data affected by remanent magnetization, *GEOPHYSICS*, 75(1), L1 –L11.
- Menke, W., Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory, 1989, Revised Edition, Academic Press, New York.
- Portniaguine, O., and M. S. Zhdanov, 2002, 3-D magnetic inversion with data compression and image focusing, *Geophysics*, **67**, 1532–1541.