

## تخمین عمق و موقعیت منابع میدان پتانسیل با تبدیل موجک

احسان رحیمی<sup>۱</sup>، عبدالحمید انصاری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه یزد، [ehsanrahimi225@gmail.com](mailto:ehsanrahimi225@gmail.com)

<sup>۲</sup>دانشیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، [h.ansari@yazd.ac.ir](mailto:h.ansari@yazd.ac.ir)

### چکیده

روش‌های میدان پتانسیل از جمله روش‌های ژئوفیزیکی مهمی می‌باشد که در بررسی مسائل زیر سطحی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور آزمون راهکارهای متعدد در تفسیر و تحلیل داده‌های صحرایی میدان پتانسیل، ابتدا از داده‌های مصنوعی حاصل شده از مدل‌های مصنوعی استفاده می‌گردد و در صورت مطلوب بودن نتایج می‌توان از راهکارهای مورد نظر برای داده‌های واقعی استفاده کرد. با تفسیر داده‌های میدان پتانسیل، مشخصه‌های منبع ایجاد کننده میدان همانند عمق و موقعیت مشخص می‌گردد. اغلب روش‌های تفسیر داده‌های میدان پتانسیل در فضای فوریه انجام می‌شود. استفاده از تبدیل موجک راهکاری جدیدتر و دقیق‌تر برای تخمین پارامترهای منبع ایجاد کننده بی‌هنجاری می‌باشد. در این مقاله به بررسی تخمین عمق و موقعیت منابع میدان پتانسیل با تبدیل موجک پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبدیل موجک، آنالیز چند مقیاسی، تخمین عمق، تخمین موقعیت، میدان پتانسیل، مدل مصنوعی.

## Depth and location estimation of potential field source by wavelet transform

Ehsan Rahimi<sup>1</sup>, Abdul Hamid Ansari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc Student, Yazd University, [ehsanrahimi225@gmail.com](mailto:ehsanrahimi225@gmail.com)

<sup>2</sup>Associate Professor, Yazd University, [h.ansari@yazd.ac.ir](mailto:h.ansari@yazd.ac.ir)

### Abstract

Potential field methods are important geophysical methods used to study subsurface issues. In order to test various strategies for interpreting and analyzing field data of field potential, firstly artificial data obtained from artificial models is used. If the results are desirable, this solution will be used for the real data. By interpreting the potential field data, the characteristics of the source of the field, as well as depth and location, are determined. Most methods for interpretation of potential field data are performed in Fourier domain. The use of wavelet transform is a newer and more accurate solution for estimating of source parameters. This research examines the estimation of the depth and position of potential field sources by wavelet transform.

**Keywords:** Wavelet transform, multi-scale analysis, depth estimation, location estimation, potential field, artificial model.

### ۱ مقدمه

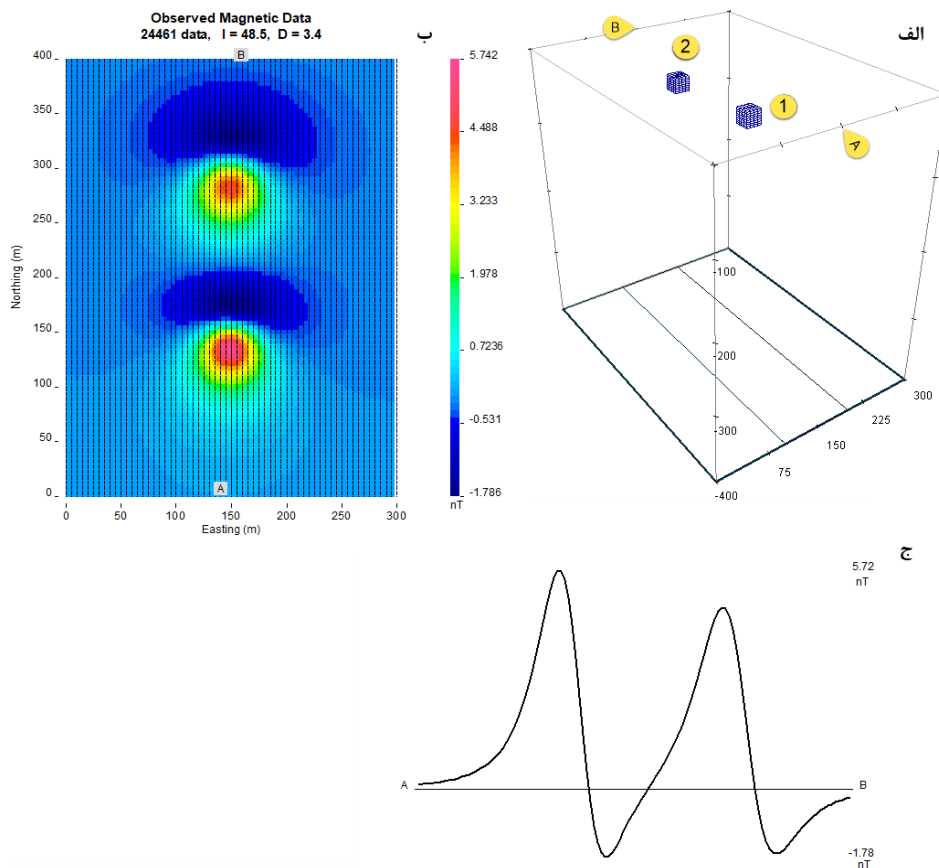
بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل شامل داده‌های گرانی و مغناطیسی می‌باشد که حاوی طول موج‌های گوناگونی است. راهکارهای متعددی به منظور تعیین عمق و موقعیت منابع میدان پتانسیل وجود دارند و اغلب در دو گروه روش‌های وارون و

پیشرو دسته‌بندی می‌شوند. در روش وارون، هدف برگرداندن خصیصه‌های منابع میدان پتانسیل بوده و مدل‌سازی با این روش بسیار پیچیده و نیازمند زمان زیادی است (نبیقیان و همکاران، ۲۰۰۵). در روش‌های پیشرو داده‌ها به فضای دیگری همانند فضای فوریه یا فضای موجک نگاشته می‌شوند. با استفاده از تبدیل‌ها، نمایش داده‌های میدان پتانسیل با توابع جدیدی امکان پذیر می‌شود (باودویوری‌دیس و زستا، ۲۰۰۷). اغلب روش‌های تخمین عمق و موقعیت منبع همانند سیگنال تحلیلی، تیلت-عمق و ... بر اساس مشتق‌ها می‌باشند و با افزایش مرتبه مشتق‌ها، این روش‌ها کارایی خود را از دست می‌دهند (سالام و همکاران، ۲۰۰۷). روش تبدیل موجک و تحلیل چند مقیاسی، پایداری زیادی نسبت به نوفه داشته و استفاده از مشتق‌های مراتب بالا را امکان پذیر می‌کند. آنالیز موجک از معروف‌ترین تکنیک‌ها در علوم، برای استخراج اطلاعات اصلی از سیگنال اندازه‌گیری شده است (کوپر، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸). با توجه به تئوری توسعه یافته بر اساس مطالعات انجام شده بر خانواده هسته پواسون، در اینجا از کد نوشته شده در محیط نرم‌افزار متلب برای تخمین عمق معقول منبع‌های میدان پتانسیل استفاده شده است. این کد بر اساس برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب بوده و نیازی به جعبه ابزار موجک ندارد. معادلات عمومی ارائه شده برای مشتقات افقی و قائم موجک به کاربر اجازه می‌دهد، تا موجک‌های جدیدتری را اضافه کند (مایوری و همکاران، ۲۰۱۱). اغلب روش‌های تخمین عمق و موقعیت منابع میدان پتانسیل در فضای فوریه انجام می‌شود. هسته تبدیل فوریه به صورت نمایی بوده و دارای گسترش نامحدودی است. اثر بی‌هنجاری‌های مجاور در بررسی یک بی‌هنجاری غیر قابل انکار است و با اعمال تبدیل فوریه اثرات بی‌هنجاری‌های مجاور در این امر دخیل خواهد بود و منجر به عدم تفکیک بی‌هنجاری‌های مجاور از یک دیگر می‌شود. استفاده از موجک‌ها با توجه به بررسی موضعی راهکاری مناسب برای حل این مشکل می‌باشد و برای تفسیر داده‌های میدان پتانسیل دارای دقت خوبی است (روشندل کاهو، ۱۳۹۳).

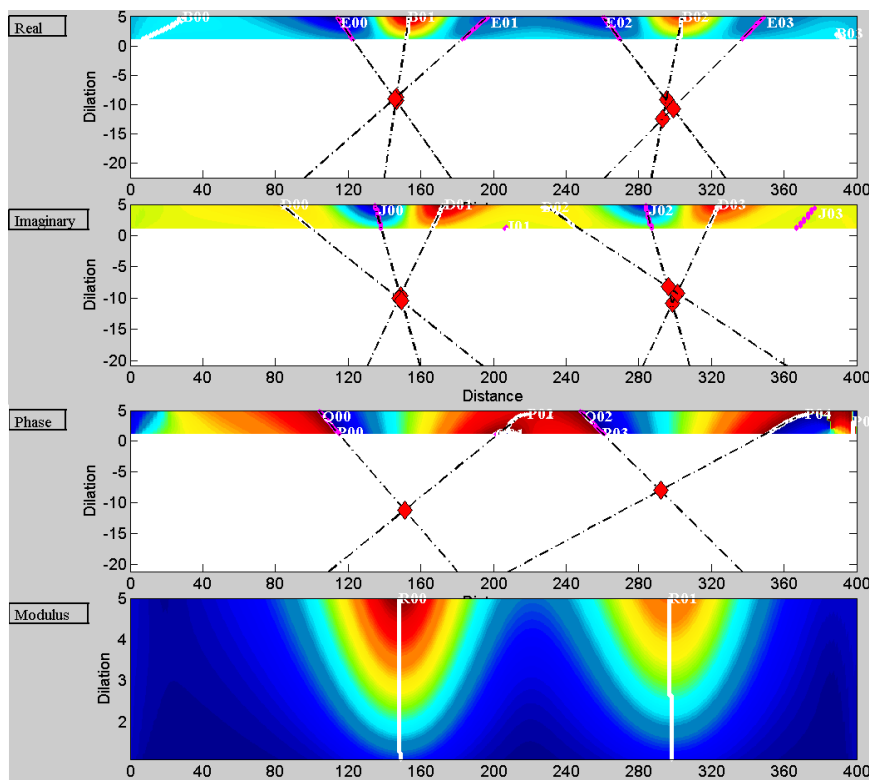
## ۲ روش تحقیق

ابتدا برای بررسی قابلیت کد متلب مورد استفاده جهت تخمین موقعیت و عمق منابع میدان پتانسیل، با استفاده از نرم‌افزار MAG3D یک مدل مغناطیسی مصنوعی ساخته می‌شود. دو مکعب با ابعاد ۲۰ متر بوده و ابعاد سلول‌های تشکیل دهنده مکعب با یکدیگر برابر و مقدار آن ۵ متر می‌باشد. سیستم شبکه‌بندی برای ساخت مدل سه بعدی دارای ابعاد  $400 \times 300 \times 400$  متر می‌باشد. شکل ۱ نشان دهنده مدل ساخته شده با استفاده از نرم‌افزار Mag3D می‌باشد. مرکز مکعب اول و دوم به ترتیب به مختصات  $(-40, 150, 150)$  و  $(-45, 300, 150)$  است. برای مدل مغناطیسی شدت میدان مغناطیسی  $46599/7$  نانو تسلا بوده، زاویه میل و زاویه انحراف از شمال مغناطیسی به ترتیب  $48/5$  درجه و  $3/4$  درجه می‌باشد. از لحاظ توپوگرافی، مدل دارای توپوگرافی مسطح با ارتفاع یک متر می‌باشد. مغناطیس پذیری صرفاً القایی بوده و خودپذیری مغناطیسی برای مکعب اول و دوم به ترتیب  $0/01$  و  $0/012$  در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل ۱-الف دیده می‌شود مدل ساخته شده به صورت سه بعدی می‌باشد و برای دسترسی به داده‌های مصنوعی، از روی نقشه بی‌هنجاری ۱-ب داده‌های مربوط به خط AB در  $x=150$  انتخاب شده است. تعداد نقاط اندازه‌گیری شده بر روی این مقطع ۴۰۰ نقطه و فاصله بین آن‌ها یک متر است. در شکل ۱-ج شکل بی‌هنجاری حاصل شده برای مقطع AB نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقطع AB در جدول ۱ نشان داده شده است.

در شکل ۲ به صورت تصویری تقاطع اکستریم‌ها برای تعیین موقعیت منبع نشان داده شده که از قسمت‌های حقیقی و موهومی استفاده شده است. مرکز لوزی‌های قرمز بیان‌گر نقطه برخورد اکستریم‌ها می‌باشد که نمایانگر موقعیت منبع است. برای قسمت حقیقی B بیان‌گر اکستریم حقیقی مثبت و E نشان دهنده اکستریم حقیقی منفی است و شماره‌های موجود معرف چندمین اکستریم از آن نوع است. در قسمت موهومی D بیان‌گر اکستریم موهومی مثبت و J نشان دهنده اکستریم موهومی منفی است و شماره‌های موجود معرف چندمین اکستریم از آن نوع است. به طور مشابه در قسمت فاز P نشان دهنده اکستریم فاز مثبت و Q نشان دهنده اکستریم فاز منفی است و شماره‌های موجود معرف چندمین اکستریم از آن نوع است. در قسمت مدول تنها یک اکستریم وجود دارد و از آن می‌توان برای تعیین موقعیت افقی استفاده کرد. در جدول ۱ نتایج تخمین عمق برای مدل مصنوعی مغناطیسی با استفاده از کد مورد نظر آورده شده است. همان‌طور که مشخص است به طور آماری تخمین عمق با خطایی کمتر از ۱۰ درصد انجام شده است.



شکل ۱. نمایش مدل ساخته شده با ابعاد ۲۰ متر و شکل بی‌هنجاری مغناطیسی داده‌های مصنوعی مقطع AB.



شکل ۲. نمایش تقاطع اکستریم‌ها برای برآورد عمق و موقعیت منبع مغناطیسی با استفاده از داده‌های مقطع AB.

جدول ۲. نتایج حاصل از تخمین عمق داده‌های مصنوعی با استفاده از تبدیل موجک.

عمق تخمینی	توپوگرافی	عمق محاسبه شده	موقعیت افقی	اکستریم دوم	اکستریم اول	مدل مکعبی
-۳۷/۳۷	۱	-۳۸/۳۷	۱۴۶/۵	E00	B01	۱
-۳۵/۸۹	۱	-۳۶/۸۹	۱۴۶/۸	E01	B01	۱
-۳۶	۱	-۳۷	۱۴۵/۷	E01	E00	۱
-۳۷/۸	۱	-۳۸/۸	۱۴۸/۸	J00	D01	۱
-۳۸/۳	۱	-۳۹/۳	۱۴۸	D01	D00	۱
-۳۹/۷	۱	-۴۰/۷	۱۴۹/۶	J00	D00	۱
-۴۳/۸	۱	-۴۴/۸	۱۵۱/۳	Q00	P01	۱
-	۱	-	۱۴۸	-	R00	۱
-۳۷/۹۸	۱	-۳۸/۹۸	۲۹۵/۲	E02	B02	۲
-۴۹/۳	۱	-۵۰/۳	۲۹۳/۲	E03	B02	۲
۴۳	۱	-۴۴	۲۹۸/۹	E03	E02	۲
-۴۳	۱	-۴۴	۲۹۸/۶	J02	D03	۲
-۳۶/۶	۱	-۳۷/۶	۳۰۱/۲	D03	D02	۲
-۳۵	۱	-۳۶	۲۹۶/۱	J02	D02	۲
-۴۳/۸	۱	-۴۴/۸	۲۹۲	Q02	P04	۲
-	۱	-	۲۹۷/۴	-	R01	۲

### ۳ نتیجه‌گیری

هدف تفسیر داده‌های میدان پتانسیل، استحصال پارامترهای منبع می‌باشد. در میان سایر پارامترهای منبع، تخمین عمق منبع و موقعیت منبع میدان پتانسیل اهمیت بیشتری دارد. اغلب راهکارهای ارائه شده برای تخمین عمق مستقل از خاصیت فیزیکی منبع می‌باشند. به همین منظور برای اعمال راهکارهای مناسب برای تخمین عمق ابتدا نیاز به ساخت یک مدل مناسب می‌باشد. تبدیل‌ها نقش مهمی در حل مسائل ژئوفیزیکی دارند. تبدیل موجک با توجه به خاصیت موجی و بررسی موضعی و محلی آنالیز سیگنال، امکان تحلیل و تفسیر بی‌هنجاری‌های مجاور را بدون دخالت دادن اثرات بی‌هنجاری مجاور فراهم می‌کند. تبدیل موجک به نوبت حساس نمی‌باشد و می‌توان از مشتقات مرتبه بالاتر برای بررسی منابع میدان پتانسیل استفاده کرد.

### منابع

- روشندل کاهو، ا.، نجاتی کلاته، ع.، مرادزاده، ع.، دولتی ارده‌جانی، ف.، ۱۳۹۳، کاربرد تحلیل مکان-عدد موج در اکتشافات مغناطیس‌سنجی: مجله ژئوفیزیک ایران، ۸، (۲)، ۸۱-۹۱.
- Nabighian, M. N., Ander, M. E., Grauch, V. J. S. Hansen, R.O., LaFehr, T.R., Li, Y., Peirce, J.W., Phillips, J.D., Ruder, M. E., 2005b, Historical development of the magnetic method in exploration, *Geophysics*, **70**, 33-61
- Cooper, G.R.J., 2006, Interpreting potential field data using continuous wavelet transforms of their horizontal derivatives: *Computers & Geosciences*, **32**, 984-992.
- Boudouridis, A., Zesta, E., 2007, Comparison of Fourier and wavelet techniques in the determination of geomagnetic field line resonances: *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, **112**, A08205.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, J.D., Ravat, D., 2007, Tilt-depth method: a simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives: *The Leading Edge*, 1502-1505
- Cooper, G.R.J., Cowan, D.R., 2008, Comparing time series using wavelet-based semblance analysis: *Computers & Geosciences*, **34**, 95-102.
- Mauri, G., Williams-Jones, G., Saracco, G., 2011, MWTmat—application of multiscale wavelet tomography on potential fields: *Computers & Geosciences*, **37**, 1825-1835.