علوم زمین
بهار ۸۹، سال نوزدهم، شماره ۷۵، صفحه ۱۶۵ تا ۱۷۲

مدل‌سازی وارون داده‌های مغناطیسی با استفاده از روش زیر فضا (Subspace Method)

علی نجاتی کلاته[۱]*، دکتر محمود میرزایی[۲]، دکتر ناصر گویا[۱] و ابراهیم شاهین[۳]
[۱]دانشکده مهندسی، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۲]دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران
[۳] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۱/۱۲

چکیده

در این مقاله، به منظور مدل‌سازی وارون داده‌های مغناطیسی، از بسط توابع متعامد و ضرایب دامنه این بسط استفاده شده است. بردارهای پایه بسط ویژه بردارهای بهنجار شده مشتق دوم (Hessian Matrix) تابع هدف (Objective Function) است که از یک مدل مرجع استخراج می‌شوند. تعداد محدودی از ویژه بردارهایی که به این ترتیب به دست می‌آیند، زیرفضای جدیدی از متغیرهای مدل را تعریف می‌کنند که در این زیرفضا تعریفی جدید از تابع هدف بر مبنای متغیرهای به روز شده به دست خواهد آمد. روند کمینه‌سازی تابع هدف در این زیر فضای جدید بر مبنای این ویژه بردارها انجام خواهد شد. همان طور که در وارون‌سازی مسایل ژئوفیزیکی معمول است، در روند وارون‌سازی به معکوس کردن ماتریس‌هایی که تابع داده‌ها، متغیرهای مدل و شرایط هندسی مسئله هستند، نیاز است. ماتریس‌های بیان شده در این زیر فضای جدید دارای ابعاد کمتر و شرایط بهتر برای وارون‌سازی خواهند بود. انتخاب ویژه بردارهایی که نقش اساسی در وارون‌سازی دارند با ویژه مقادیر بزرگ در تجزیه ماتریس‌ها به مقادیر منفرد (SVD) معادل است. سایر ویژه بردارها دارای اثر کم در روند وارون‌سازی هستند و به طور معمول وارون‌سازی را به سوی کمینه‌های موضعی سوق می‌دهند. با استفاده از وارون‌سازی در زیر فضاهای محدود از متغیرهای مدل با شرایط بالا، وارون‌سازی با سرعت بالاتر و مقاوم‌تر در برابر نوفه انجام می‌شود. تأثیر روش روی داده‌های مصنوعی و واقعی میدان کلی میدان مغناطیسی آزمایش شده است. نتایج حاکی از همگرایی(Convergence) بالا و مقاومت در برابر نوفه در مسایل مطرح شده است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی وارون، روش زیر فضا، همگرایی، تصویرسازی ماتریسی، توابع متعامد

***نویسنده مسئول:** علی نجاتی کلاته

۱– مقدمه

در بیشتر مسائل وارون ژئوفیزیکی رابطه غیر خطی میان مقادیر مشاهده‌ای و متغیرهایی که مدل را توصیف می‌کنند، وجود دارد. راه عمومی به منظور حل مسایل وارون غیر خطی در ژئوفیزیک استفاده از یک بسط خطی در همسایگی یک مدل مرجع است، در این صورت یک سامانه معادلات خطی برای تغییرات متغیرهای مدل خواهیم داشت که با روش‌های خاص عددی قابل حل است (برخلاف مسایل وارون خطی که سامانه معادلات برای برآورد خود متغیرهای مدل حل می‌شود). در هر تکرار از مدل به روز شده پس از اعمال تغییراتی که از تکرار پیش به‌دست آمده است، به عنوان مدل مرجع استفاده می‌شود این روند را تا زمانی که به همگرایی مطلوب برسیم ادامه می‌دهیم برای مثال، تغییرات متغیرهای مدل در دو تکرار زیر یک مقدار آستانه باشد.

روش کلی یاد شده در وارون‌سازی غیر خطی داده‌های گرانی و مغناطیس به منظور به دست آوردن متغیرهای هندسی توسط Corbato (1965) ,Kunaratnam (1972) Pedersen (1977) ,Menichetti (1983), Mickus (1992) و دیگران به کار گرفته شده است. حل همزمان سامانه‌های معادلات خطی هنگامی که داده‌ها و متغیرهایی که در مدل‌سازی به‌کار می‌رود افزایش می‌یابد، از پیچیدگی‌های زیاد محاسباتی برخوردار است. از این رو، روش‌های خطی‌سازی دقیق که بر مبنای مشتق دوم (Hessian Matrix) استوارند، با مشکلات زیاد محاسباتی روبرو خواهد بود.

در این صورت روش‌های خاص که بتواند بدون وارون‌سازی ماتریس‌های حجیم و خطای محاسباتی بالا به همگرایی مطلوب دست یابد، برای حل مسایل یاد شده مناسب است. برای چیرگی بر این مشکل و حل مسئله از روش زیر فضا استفاده می‌شود. روش زیر فضا از کمینه‌سازی محلی (Local Minimization) تابع هدف در زیر فضای افراز (Spanned) شده توسط تعداد محدودی از بردارها در فضای متغیرهای مدل استفاده می‌کند. بردارهایی که برای افراز زیر فضای یادشده مورد استفاده قرار می‌گیرد، بردارهای پایه (Basis Vectors) نامیده می‌شود. میزان تأثیر و موفقیت روش زیر فضا بستگی به تعداد و نحوهٔ انتخاب این بردارهای پایه دارد. روش زیر فضا و کاربردهای آن در حل مسایل بزرگ مقیاس به خوبی در Oldenburg et al. (1993)، Kennett & Williamson (1988) و Sambridge (1990) مورد بحث قرار گرفته است.

در این مقاله، بردارهای پایه بر خلاف دیگر روش‌های بیان شده، ویژه بردارهای (Eigenvectors) ماتریس Hessian است. از آنجا که واریانس حل مسئله بستگی به انحنا (Curvature) تابع هدف و انحنا تابع هدف به ماتریس Hessian (ماتریس مشتقات مرتبه دوم متغیرهای مدل) بستگی دارد، بنابراین واریانس حل مسئله توسط بردارهای ویژه ماتریس Hessian کنترل می‌شود. همه نتیجه‌گیری‌ها و روند برنامه‌نویسی و الگوریتم‌های روش زیر فضا در این مقاله بر مبنای برنامه نویسی انجام شده، در فضای MATLAB صورت گرفته است.

۲– تئوری روش زیر فضا

حل بیشتر مسایل غیر خطی به کمینه کردن یک تابع مناسب از داده‌ها، متغیرهای هندسی مدل و متغیرهای مدل منجر می‌شود. انتخاب تابع هدف بستگی به طبیعت مسئله و پراکندگی خطا در داده‌های مشاهده‌ای دارد. در صورتی که همانند بسیاری از مسایل ژئوفیزیکی توزیع خطا در داده‌ها از آمار گوسی (Gaussian Statistic) پیروی کند، تابع هدف را به صورت مجموع مربعات اختلاف میان داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآورده شده تئوری و به صورت زیرمی‌توان در نظر گرفت:

$$F(x)=\frac{1}{2}(d_0-d(x))^T C_d^{-1}(d_0-d(x)) \qquad (۱)$$

که در آن x, $d(x)$, d_0 به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای، داده‌های پیش‌بینی شده تئوری و متغیرهای مدل هستند. C_d ماتریس کواریانس داده‌ها بوده که معیاری از پراکندگی خطا در داده‌ها است. هر حلی از مسئله را می‌توان به صورت بسط زیر نمایش داد:

$$x_i = x_i^{ref} + \sum_{j=1}^{P} V_{ij}\,\alpha_j \qquad i=1,2,\dots,M \qquad (۲)$$

که در آن x_i^{ref}, M به ترتیب تعداد و متغیرهای مدل مرجع است. V_{ij} تعداد P بردار پایه متعامد است و α_j ها ضرایب بسط هستند که باید برآورد شوند و هر مجموعه از ضرایب بسط نشانگر یک نقطه از فضای P بعدی متغیرهای مدل است. رابطه (۲) را به صورت ماتریس- برداری به شکل زیر می‌توان نوشت:

$$X = X^{ref} + V\alpha \qquad (۳)$$

از آنجا که بردارهای پایه در طول روند وارون‌سازی ثابت هستند، تنها ضرایب بسط α باید برآورد شوند. در هر تکرار تغییرات متغیرهای مدل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\delta x = V\delta\alpha \qquad (۴)$$

اگر $F(x)$ یک تابع هموار از x باشد، با استفاده از تقریب درجه دوم از تابع هدف با استفاده از بسط سری تیلور داریم:

$$F(x+\delta\alpha)=F(x)+\gamma^T\delta x+\frac{1}{2}\delta x^T H\delta x \qquad (۵)$$

که γ بردار گرادیان و H ماتریس Hessian است، که از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\gamma = -G^T C_d^{-1}(d_0 - d(x)) \qquad (۶)$$

$$H = G^T C_d^{-1} G - \nabla_x G^T C_d^{-1}(d_0 - d(x)) \qquad (۷)$$

که $G_{ij}=\frac{\partial d_i(x)}{\partial x_j}$ ماتریس Jacobian متغیرهای مدل است که بیشتر با روش‌های عددی قابل محاسبه است. در معادله (۷) عبارت $\nabla_x G = \nabla_x \nabla_x d(x)$ وابستگی غیر خطی داده‌ها و متغیرهای مدل را بیان می‌کند و در مقایسه با عبارت اول رابطه (۷) ناچیز و در محاسبه ماتریس Hessian قابل صرفنظر کردن است. با ترکیب دو رابطه (۴) و (۵) تابع هدف جدید بر حسب $\delta\alpha$ به‌دست می‌آید. حال با کمینه کردن $F(\delta\alpha)$ بر حسب تغییرات جدید متغیرهای مدل در زیر فضای افراز شده در فضای متغیرهای مدل داریم:

$$\delta\alpha = -(V^T H V)^{-1} V^T \gamma \qquad (۸)$$

$$\frac{\partial F(\delta\alpha)}{\partial(\delta\alpha)} = 0 \qquad j=1,2,\ldots,P$$

در نهایت، تغییرات متغیرهای مدل در هر تکرار با تصویر سازی وارون (Back Projection) عبارت (۸) با استفاده از رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

$$\delta x = -V(V^T H V)^{-1} V^T \gamma \qquad (۹)$$

در صورتی که تعداد بردارهای پایه انتخاب شده $P(P<M)$ کوچک‌تر از تعداد کل متغیرهای مدل باشد، وارون‌سازی ماتریس Hessian تصویرسازی شده در زیر فضایی کوچک‌تر از متغیرهای مدل انجام خواهد شد. ماتریس $P \times P$ مشتقات دوم تصویرسازی شده $(V^T H V)$ بر مبنای انتخاب صحیح بردارهای پایه V دارای شرایط بهتری نسبت به ماتریس Hessian تصویرسازی نشده دارد. معادله بالا رابطه عمومی وارون‌سازی غیر خطی با استفاده از روش زیر فضاست. برای ایجاد ساختار ماتریس Hessian تصویرسازی شده نیاز به محاسبه عبارات زیر داریم:

$$H_P^{(ij)} = v^{(i)T}[G^T C_d^{-1} G]\, v^{(j)} \qquad i,j=1,2,\ldots,P \qquad (۱۰)$$

برای ساختن H_P نیاز به ایجاد ساختار $G^T C_d^{-1} G$ نیست زیرا با بازسازی (۱۰) به صورت زیر برای H_P داریم:

$$H_P^{(ij)} = b^{(i)T} C_d^{-1} b^{(j)} \qquad (۱۱)$$

با در نظر گرفتن $b^{(i)} = G v^{(i)}$ تنها کافی است که یک ضرب برداری برای هر کدام از مؤلفه‌های ماتریس Hessian تصویرسازی شده، انجام شود.

۲-۱. انتخاب بردارهای پایه

همان‌گونه که اشاره شد، با استفاده از یک مجموعه از بردارهای پایه، روابط اساسی روش زیر فضا فرمول‌بندی شده است. در صورتی که تابع هدف دارای یک کمینه تیز (Sharp minimum) در همسایگی مدل برآوردی باشد، انتظار می‌رود به دلیل وجود واریانس کوچک، پاسخ به خوبی تعیین شده باشد. در مقابل، در صورتی که تابع هدف دارای یک کمینه پهن (Broad minimum) در همسایگی مدل برآوردی باشد، پاسخ دارای یک واریانس بزرگ خواهد بود و به همان میزان دقت در برآورد پاسخ دقیق، پایین خواهد آمد.

با توجه به این‌که انحنای یک منحنی، معیاری از تیز بودن کمینه آن است، انتظار داریم واریانس پاسخ، در ارتباط مستقیم با انحنا تابع هدف باشد. اما انحنا با استفاده از مشتق دوم یک تابع محاسبه می‌شود (Menke, 1989)، بنابراین در صورتی که مشتق دوم تابع هدف را محاسبه و آن را به ویژه بردارها و ویژه مقادیر منفرد (SVD) تجزیه کنیم، ویژه بردارهایی که معادل ویژه مقادیر بزرگ هستند، می‌توانند بهترین جهت را در به دست آوردن پاسخی با کمترین واریانس در روند وارون‌سازی تعیین کنند. با استدلال مطرح شده، از بردارهای بهنجار شده ماتریس Hessian به عنوان بردارهای پایه در وارون‌سازی استفاده شده است. رفتار بردارهای پایه، شباهت بسیار زیادی به هارمونیک‌های کروی (Spherical Harmonics) با درجات مختلف دارد و هر بردار پایه دارای یک بسامد فضایی خاص است. نکته مهم در مورد متغیرهای مدل این است که در هر مسئله بیش تعیین شده (Over Determined) هر α_j با استفاده از تعداد زیادی از متغیرهای مدل مقید شده است، اما در مورد مسایل کم تعیین شده (Under determined) هر متغیر مدل با استفاده از تعداد زیادی از داده‌ها مقید نشده است، از این‌رو در بیشتر مسائل کم تعیین شده با نوسانات زیاد و غیر واقعی در متغیرهای مدل پس از وارون‌سازی مواجه خواهیم شد. حال با توجه به این مطلب اگر در وارون‌سازی از بردارهای ویژه که معادل ویژه مقادیر کوچک هستند استفاده شود، نوسانات بزرگ و غیر واقعی در مدل بدون تأثیر قابل توجه بر داده‌های پیش‌بینی شده خواهیم داشت. از این‌رو برای دستیابی به جهت حرکت مناسب و مؤثر در دستیابی به کمینه منطبق بر واقعیات زمین‌شناسی از این ویژه بردارها در وارون‌سازی صرفنظر می‌کنیم، در این صورت وارون‌سازی پایدار و سریع خواهد بود. با یک رویکرد تکراری به منظور حل مسئله وارون پس از به‌دست آوردن α با یک تبدیل به فضای متغیرهای مدل به مقادیر متغیرهای مدل x خواهیم رسید.

۲-۲. عدم قطعیت (Uncertainty) و قدرت تفکیک (Resolution) در وارون‌سازی

عدم قطعیت در مدل‌سازی با افزایش خطا در داده‌های مشاهده‌ای افزایش می‌یابد. در موارد عملی داده‌های مشاهده‌ای به صورت اجتناب ناپذیری با نوفه همراه هستند.

عدم قطعیت و خطا در مدل برآوردی به واسطه توزیع خطا در داده‌ها به خوبی در Wiggins (1972), Jackson (1972) مورد بحث قرار گرفته است. در صورتی که تابع هدف به صورت یک تابع هموار از متغیرهای مدل باشد، رابطه میان تجزیه خطا، در داده‌ها و قدرت تفکیک در وارون‌سازی‌های غیر خطی را می‌توان توسط روابط زیر محاسبه کرد. در صورتی که C ماتریس کواریانس متغیرهای مدل باشد، داریم:

$$C = H_{sb}^{+} = V(V^T H V)^{-1} V^T \qquad (۱۲)$$

که H_{sb}^{+} وارون عمومی (Generalized inverse) روش زیر فضا است. ریشه توان دوم مؤلفه‌های قطری ماتریس C عدم قطعیت هر یک از متغیرهای مدل را به دلیل پراکندگی خطای داده‌ها، در برآورد متغیرهای مدل نشان می‌دهد.

در صورتی که تغییرات واقعی متغیرهای مدل را در هر تکرار با $\delta\alpha^{true}$ نشان دهیم، این تغییرات از حل سامانه معادله‌های زیر به‌دست می‌آید:

$$H\delta x^{true} = -\gamma \qquad (۱۳)$$

با ضرب H_{sb}^{+} در طرفین رابطه بالا و با در نظر گرفتن $\delta x = -H_{sb}^{+}\gamma$ داریم:

$$\delta x = H_{sb}^{+} H\, \delta\alpha^{true} \qquad (۱۴)$$

با توجه به رابطه یادشده ماتریس قدرت تفکیک متغیرهای مدل به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R = H_{sb}^{+} H \qquad (۱۵)$$

در صورتی که R یک ماتریس، همانی باشد، بدان معناست که تمامی متغیرهای مدل به صورت ایده‌آل مدل‌سازی شده است. با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۵) برای R داریم:

$$R=V(V^THV)^{-1}V^TH. \quad (۱۶)$$

با استفاده از ویژه بردارهای بیشتر در وارون‌سازی، قدرت تفکیک افزایش می‌یابد اما در مقابل، با افزایش ویژه بردارها خطای توزیع شده ناشی از داده‌ها، در برآورد متغیرهای مدل نیز افزایش می‌یابد. بنابراین همواره یک رابطه معکوس (رابطه جایگزینی سبک و سنگین) میان افزایش قدرت تفکیک و پراکندگی خطا در برآورد متغیرهای مدل وجود دارد.

۲-۳. حل مسئله مستقیم برای داده‌های دو بعدی مغناطیسی

به منظور مدل‌سازی دو بعدی داده‌های میدان مغناطیسی، ابتدا باید به حل مسئله مستقیم موضوع پرداخت. همچنان‌که در مدل‌سازی‌های دو بعدی در مسایل میدان پتانسیل معمول است، از یک مجموعه بلوک‌های قائم با ژرفاهای متفاوت که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند، برای وارون‌سازی داده‌های میدان کلی مغناطیسی برای مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها استفاده می‌شود. تباین مغناطیدگی و جهت آن در هر بلوک به دلخواه تفسیرگر می‌تواند تغییر کند. ابتدا به محاسبه اثر یک بلوک به صورت مجزا پرداخته می‌شود به این منظور مطابق شکل، محورهای مختصات را به صورت متعامد (Cartesian) در جهت (x,z)که جهت مثبت z به سمت پایین در نظر می گیریم.

اگر میدان مغناطیسی کلی ناشی از یک دایک با ژرفای نامحدود همانند آن چه در شکل ۱ آمده است را با M (x,z) نشان دهیم، داریم:

$$M(x,z) = 2kT\sin\delta(1-\cos^2\alpha\cos^2 i)\times\left[\left(\tan^{-1}\frac{(x-x_0)+b}{h}-\tan^{-1}\frac{x-b}{h}\right)\cos\theta + \frac{1}{2}\ln\frac{(x-x_0)-b)^2+h^2}{(x+b)^2+h^2}\sin\theta\right] \quad (۱۷)$$

در رابطه بالا x,z به ترتیب مختصات قائم و افقی، x_0 مختصات افقی مرکز دایک، h ژرفای بالایی دایک، T,k به ترتیب مغناطیس‌پذیری و شدت میدان مغناطیسی محیط (Ambient magnetic strength)، δ,i به ترتیب زاویه میل میدان (Inclination) مغناطیسی و زاویه شیب دایک، $\theta=2I-\delta-90$، $I=tan^{-1}(\frac{\tan i}{\sin\alpha})$ و α راستای (Strike) دایک است. به منظور محاسبه اثر یک دایک قائم با ژرفای محدود می‌توان میدان کلی به‌دست آمده از دو دایک با اختلاف ژرفی مورد نظر با یک میزان مغناطیس‌پذیری اما با علامت مخالف را جمع جبری کرد. محاسبات مستقیم از این‌روکه همه روش‌های بعدی و محاسبات وارون‌سازی بر مبنای آنها انجام می‌شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲-۴. کارایی (Efficiency) روش زیر فضا در وارون‌سازی

به منظور نشان دادن کارایی روش ارائه شده، از روش یادشده برای مدل‌سازی داده‌های مصنوعی و واقعی استفاده شده است. در مثال‌هایی که ارائه خواهد شد تباین مغناطیس‌پذیری لایه‌ها (همان‌طور که در مدل‌سازی‌هایی که هدف آنها تعیین متغیرهای هندسی است) با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی یا دیگر اطلاعات ژئوفیزیکی به مدل به عنوان اطلاعات اولیه داده می‌شود.

– وارون‌سازی داده‌های مصنوعی: به منظور درک بهتر چگونگی کارایی روش و جزئیات مربوط به آن از وارون‌سازی داده‌های مصنوعی در طول یک نیمرخ استفاده شده است. با این رویکرد از یک نیمرخ با طول ۲۳/۵ کیلومتر و فاصله نمونه‌برداری ۰/۵ کیلومتر برای داده‌های مؤلفه میدان کلی مغناطیسی استفاده شده است. سنگ کف یا ناپیوستگی مغناطیسی با استفاده از یک مجموعه از بلوک‌های قائم همچنان‌که در بیشتر مدل‌سازی‌های دوبعدی مرسوم است، شبیه‌سازی می‌شود. برای این مجموعه از بلوک‌های قائم، بلندی بلوک‌ها به عنوان متغیرهای ناشناخته وارون‌سازی و خودپذیری با استفاده از اطلاعات اولیه یا مشاهده مستقیم زمین‌شناسی به عنوان متغیر معلوم در نظر گرفته می‌شود. میدان کلی مغناطیسی زمینه با بزرگی $48000\eta T$ و زاویه انحراف ۴۵ درجه ، زاویه میل صفر درجه که زاویه انحراف برای بردار مغناطیدگی در هر بلوک به پیروی از میدان زمینه دارای زاویه انحراف ۴۵ درجه است. راستای نیمرخ نیز به گونه‌ای انتخاب شده است که عمود بر جهت شمال مغناطیسی است. خودپذیری مغناطیسی نیز در هر بلوک $0.002SI$ در نظر گرفته شده است (در مورد داده‌های واقعی زوایای میل و انحراف میدان زمینه و مغناطیدگی جسم به عنوان متغیرهای معلوم، با استفاده از International Geomagnetic Reference Field) IGRF) یا به صورت مستقیم اندازه‌گیری می‌شود). هندسه ساختار مصنوعی در نظر گرفته شده و داده‌های میدان کلی مغناطیسی ناشی با اضافه کردن ۵ درصد نوفه (نسبت نوفه به سیگنال ۵ درصد در نظر گرفته شده است) در شکل ۲- الف و ب آمده است.

بیشینه میزان نوفه اضافه شده به داده‌ها $8.33\eta T$ است و میانگین مجذور نوفه برای کل داده‌ها برابر با $3.128\eta T$ است. از داده‌های مصنوعی که بدین ترتیب تولید شده‌اند به عنوان داده‌های ورودی به روند وارون‌سازی با روش زیر فضا استفاده می‌کنیم. با تجزیه ماتریس Hessian مقادیر منفرد ویژه بردارها و ویژه مقادیر برای مدل اولیه با ژرفای یکنواخت ۰/۸ کیلومتر به‌دست می‌آید. در شکل ۳ نسبت بزرگی ویژه مقادیر ماتریس Hessian نسبت به بزرگی ویژه مقدار اول رسم شده‌اند. در شکل ۴ بردارهای پایه ماتریس Hessian نسبت به شماره بردار در یک نمایه سه بعدی (که برای درک بهتر از روند تغییرات و نوسانات بردارهای پایه میان‌یابی شده است) ارائه شده است.

دامنه بردارهای پایه با افزایش شماره بردار پایه کاهش محسوس و نوسانات آنها با افزایش شماره بردارهای پایه افزایش می‌یابد. ابتدا با استفاده از ۲۰ بردار به وارون‌سازی داده‌ها پرداخته می‌شود. وارون‌سازی برای ۴۰ تکرار پی‌درپی انجام شده است که خطای میانگین مجذور پس از شش تکرار کم و بیش ثابت و در حدود $32\eta T$ باقی می‌ماند (شکل ۷). این مقدار در مقایسه با میانگین مجذور نوفه برای کل داده‌ها ($3.128\eta T$) عدد بسیار بزرگی است و نشان دهنده این است که وارون‌سازی با استفاده از ۲۰ بردار پایه با دقت مناسب انجام نخواهد شد. نتایج وارون‌سازی نیز پس از ۴۰ تکرار پی‌درپی در شکل‌های ۶ و ۵ آمده است.

با توجه به شکل ۳ می‌توان دید دامنه ویژه بردارها، پس از ویژه بردار شماره ۳۳ دارای یک افت آشکار است به طوری که دامنه ویژه بردارهای پس از این شماره نسبت به دامنه بیشینه حدود هزار برابر کاهش یافته است. با توجه به این مطلب و با توجه به روند نوسانات شدید بردارهای پایه، که در شکل ۴ آمده است، از ۳۳ ویژه بردار در وارون‌سازی استفاده می‌کنیم (انتخاب کمینه بردارهای پایه مورد نیاز برای روند وارون‌سازی به طور معمول با روش‌های تجربی مانند آزمون و خطا انجام می‌شود. این مطلب بیشتر به منظور کمتر شدن حجم محاسبات عددی و مقاومت وارون‌سازی در برابر نوفه انجام می‌شود). در این مورد نیز، چون مدل اولیه مانند مثال پیش در نظر گرفته شده است، ویژه مقادیر و بردارهای پایه مانند آن چه در شکل‌های ۳ و ۴ آمده است، وجود دارد. وارون‌سازی برای ۲۵ تکرار پی‌درپی انجام شده است، که دارای خطای میانگین مجذوری برابر با $3.12\eta T$ است. این مقدار کمتر از میانگین مجذور نوفه برای کل داده‌ها ($3.128\eta T$) است (با در نظر گرفتن نسبت نوفه به سیگنال ۵ درصد) این امر نشان می‌دهد وارون‌سازی با دقت بالا انجام شده است و نوفه نیز در روند وارون‌سازی کمینه نشده است. نتایج وارون‌سازی در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. در نمایه‌های ۸ و ۹ به روشنی برازش میان داده‌های مصنوعی و داده‌های برآورد شده و همچنین پوشش مناسب مدل مصنوعی دیده می‌شود. در شکل ۱۰ نیز ماتریس قدرت تفکیک برای متغیرهای مدل رسم شده است. قطری بودن این ماتریس نشان می‌دهد وارون‌سازی با دقت مطلوب انجام شده است.

برای نشان دادن پایداری روش وارون‌سازی زیر فضا در برابر نوفه با شرایط مثال بالا نسبت نوفه به سیگنال را به ۱۵ درصد افزایش می‌دهیم. در این صورت خطای میانگین مجذور بعد از ۹ تکرار $7.69\eta T$ است در صورتی‌که میانگین مجذور نوفه اضافه شده به کل داده‌ها $8.28\eta T$ است. یعنی پس از ۹ تکرار خطای میانگین مجذور در حد سطح نوفه اضافه شده به داده‌ها است.

گفتنی است که بیشینه مقدار نوفه اضافه شده به داده‌ها $21.16\eta T$ که در مقایسه با بیشینه مقدار بی‌هنجاری $115.97\eta T$ عدد بزرگی است. نتایج وارون‌سازی برای این سطح نوفه در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴آمده است. بنابراین با افزایش این سطح نوفه نیز به داده‌ها برازش داده‌ها و مدل بازیافت شده قابل قبول هستند. همان‌طور که بیان شد، افزودن این مقدار از نوفه به داده‌ها به طور معمول در روش‌های مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی معمول نیست و تنها به دلیل نشان دادن پایداری روش در برابر نوفه مطرح شده است.

– وارون‌سازی داده‌های واقعی– مطالعه موردی: در منطقه دشت مغان به علت رخنمون سنگ‌های ترشیری و جوان‌تر، از سنگ‌های دوران دوم و قدیمی‌تر، اطلاعات چندان زیادی در دست نیست. در اواخر کرتاسه، اوائل پالئوسن، چین‌خوردگی در مقیاس وسیعی در شمال ایران روی داده که به نظر می‌رسد منطقه دشت مغان نیز در تأثیر این چین‌خوردگی واقع شده است و سنگ‌های ترشیری به صورت دگرشیب بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. این دگرشیبی در باختر دشت مغان توسط مقاطع لرزه‌نگاری تأیید شده است.

نیمرخ داده‌های میدان کلی مغناطیسی ناحیه مغان که توسط IGRF تصحیح شده، در شکل ۱۵ نشان داده شده است. نیمرخ یادشده به گونه‌ای انتخاب شده که با نیمرخ‌های لرزه‌ای موجود در ناحیه از نظر موقعیت جغرافیایی نزدیک باشد تا امکان مقایسه نتایج با داده‌های لرزه‌ای وجود داشته باشد. نیمرخ یادشده به طول ۳۰/۵ کیلومتر دارای ۶۱ نقطه برداشت داده با فاصله ۰/۵ کیلومتر است.

به منظور وارون‌سازی داده‌های مغناطیسی از یک مدل اولیه با ژرفای یکسان ۲ کیلومتر استفاده شده است. خودپذیری مدل اولیه نیز برمبنای اختلاف میان خودپذیری رسوبات منطقه و ناپیوستگی (بالا آمدگی) بازالتی با استفاده از اطلاعات موجود زمین‌شناسی برابر با $0.0009SI$ در نظر گرفته شده است. هدف در اینجا، مدل‌سازی مرز میان رسوبات و این ناپیوستگی بازالتی است. همان طور که در تئوری روش نیز بدان اشاره شد، بردارهای پایه برای تصویرسازی و محاسبه ماتریس مشتقات دوم از این مدل اولیه استخراج شده‌اند. در شکل ۱۶ نسبت بزرگی مقادیر ویژه نسبت به بزرگی ویژه مقدار اول آمده است. در این شکل میزان افت دامنه ویژه مقادیر نسبت به بزرگی ویژه مقدار اول قابل توجه است. بردارهای ویژه متناظر با ویژه مقادیر یاد شده، در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

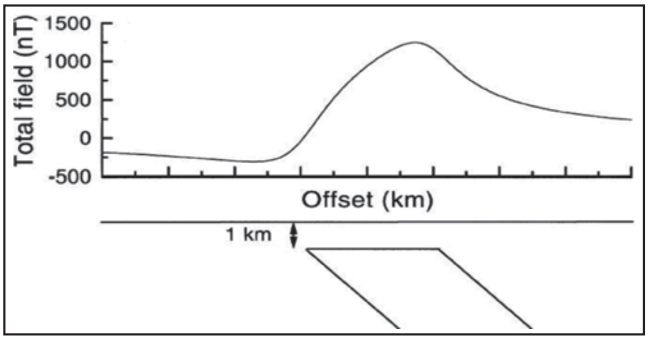
کاهش دامنه و افزایش نوسانات با افزایش شماره بردار، مانند مثالی که در مدل‌سازی داده‌های مصنوعی بدان اشاره شد، در اینجا نیز آشکار است. داده‌های ناشی از مدل اولیه در شکل ۱۸ نشان داده شده است. با توجه به افت شدید در دامنه مقادیر ویژه پس از ویژه مقدار سی‌ام (دامنه ویژه مقدار سی‌ام در حدود ۱/۱۰۰۰ ویژه مقدار اولیه است) و تغییر محسوس در شکل نوسانات ویژه بردارها پس از ویژه بردار شماره سی، از۳۰ بردار پایه برای وارون‌سازی استفاده شده است. این امر موجب کاهش حجم عملیات به میزان قابل توجهی است زیرا با افزایش ابعاد ماتریس‌هایی که باید در روند وارون‌سازی معکوس شوند، عملیات عددی و محاسباتی به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد.

خطای میانگین مجذور برای ۳۰ تکرار پی‌درپی و استفاده از ۳۰ بردار پایه برابر با $5.26\eta T$ است که پس از ۱۵ تکرار پی‌درپی به صورت پایدار و ثابت باقی می‌ماند. در شکل ۲۰ نتایج نهایی مدل‌سازی پس از ۲۰ تکرار پی‌درپی و ناپیوستگی مدل‌سازی شده نشان داده شده است. ماتریس قدرت تفکیک متغیرهای مدل نیز در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

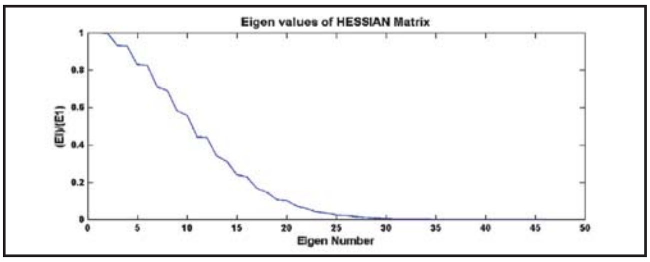
با استفاده از نتایج تفسیر و پردازش لرزه‌ای ژرفای بالا آمدگی ناپیوستگی بازالتی در بخش خاوری نیمرخ حدود ۸۵۰ متر که در شکل ۱۵ با نقطه A نشان داده شده است و در ژرف‌ترین افق که در شکل ۱۵ با نقطه B نشان داده شده است، ۳۷۵۰ متر است. با توجه به شکل ۲۰ نتایج مدل‌سازی داده‌های میدان مغناطیسی کلی همخوانی قابل قبولی با نتایج به دست آمده ناشی از تفسیر نتایج لرزه‌نگاری در ناحیه یادشده دارد.

۳– نتیجه‌گیری

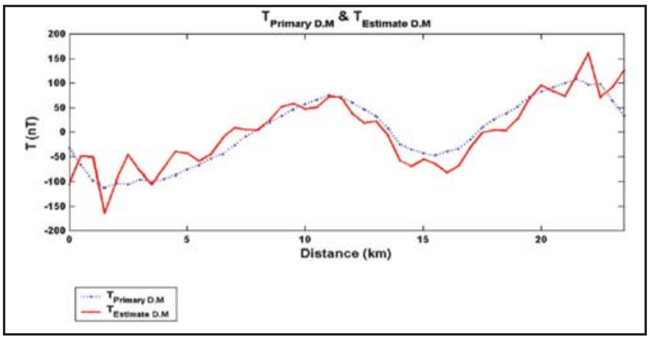
با توجه به وجود نوفه بالای همراه با داده‌های مغناطیسی (که این سطح بالای نوفه می‌تواند در اثر لایه‌های مغناطیده سطحی یا در اثر شرایط برداشت داده‌های مغناطیسی و اثرپذیری بالای داده‌های مغناصیسی از عوامل محیطی باشد) مدل‌سازی این داده‌ها در ژئوفیزیک، بیشتر با ناپایداری و دشواری‌های محاسبات عددی همراه است. ماهیت دوقطبی و برداری میدان مغناطیسی و وابستگی داده‌های مغناطیسی به بزرگی و جهت بردارهای مغناطیسی زمین و بردار مغناطیدگی سنگ‌ها، تعداد متغیرهای مؤثر در بزرگی میدان کلی مغناطیسی را در هر نقطه تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این‌رو، این مقاله با به‌کارگیری یک روش کارآمد برای حل مسئله مستقیم مغناطیسی با در نظر گرفتن تمامی متغیرهای بیان شده و معرفی یک روش وارون‌سازی مؤثر و پایدار، سعی در چیرگی بر مشکلات و دشواری‌های عددی موجود در مدل‌سازی داده‌های مغناطیسی نموده است. روش زیر فضا، با استفاده از بسط با تقریب مربعی (بر خلاف بیشتر روش‌های خطی‌سازی کلاسیک که از تقریب خطی استفاده می‌کنند) دقت در وارون‌سازی را افزایش می‌دهد. همچنین با انتخاب بردارهای پایه مؤثر در وارون‌سازی از حجم محاسبات عددی و وارون‌سازی ماتریس‌های حجیم کاسته و زمان اجرای الگوریتم رایانه‌ای را کاهش می‌دهد. همچنین با حذف ویژه بردارهایی که اثر کمی در روند وارون‌سازی دارند، موجب پایداری در وارون‌سازی داده‌ها می‌شود. نتایج ناشی از مدل‌سازی با دادهای مصنوعی تولید شده همراه با نوفه، قابلیت روش وارون‌سازی زیر فضا را حل مسائل وارون مغناطیسی نشان می‌دهد. همچنین وارون‌سازی داده‌های مغناطیسی واقعی برداشت شده در دشت مغان، به روشنی بالا آمدگی ناپیوستگی بازالتی را در مقطع مدل‌سازی شده در شکل ۲۰ نشان می‌دهد. ژرفای این بالاآمدگی و بیشترین ژرفای ناپیوستگی بازالتی با ژرفایی که از لرزه‌نگاری دو بعدی در این منطقه انجام شده است، همخوانی بسیار خوبی دارد. روش زیر فضا، افزون بر مزایای بیان شده در وارون‌سازی سامانه‌های بزرگ مقیاس که در آنها خطای محاسبات عددی نقش تعیین کننده‌ای در دقت و زمان وارون‌سازی دارد، می‌تواند به عنوان یک ابزار قوی در وارون‌سازی داده‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده قرار گیرد.



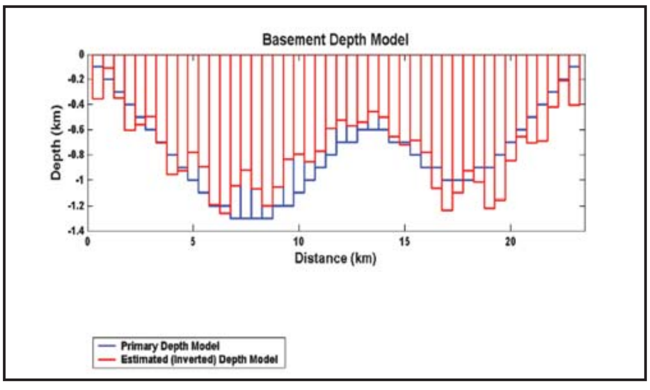
شکل ۱- میدان مغناطیسی کلی ناشی از یک دایک در ژرفای ۱ کیلومتر و شیب ۴۵ درجه. زاویه میل مغناطیسی (Inclination) ۴۵ درجه در نظر گرفته شده است (Thurston et al., 2002)



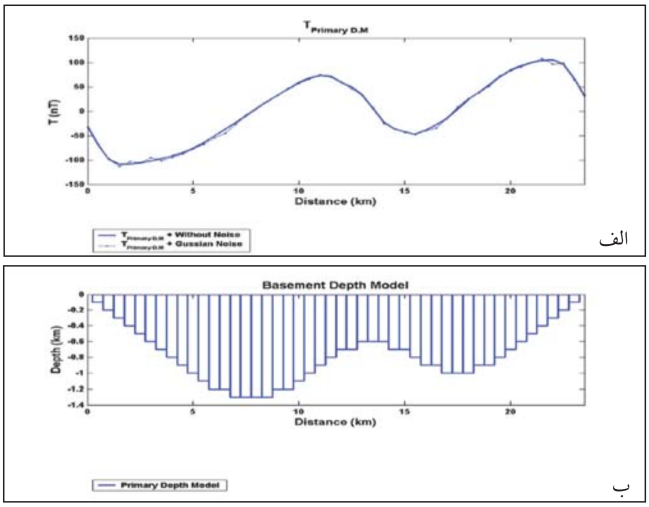
شکل ۳- نمایش نسبت بزرگی ویژه مقادیر ماتریس Hessian نسبت به بزرگی ویژه مقدار اول



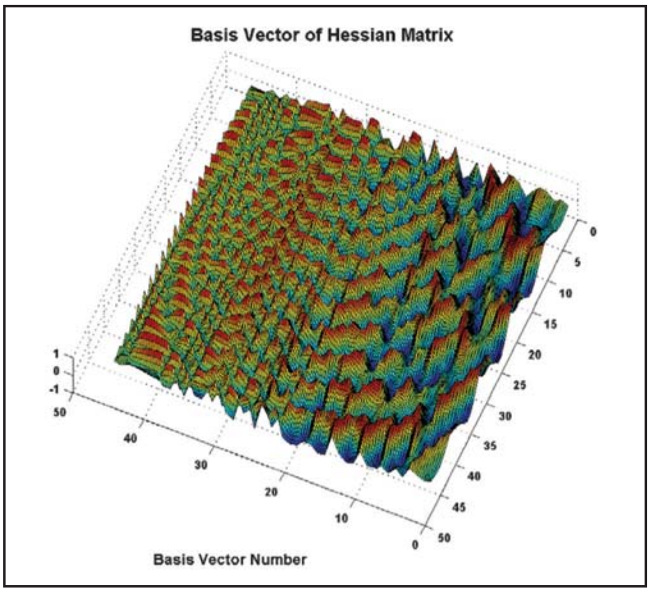
شکل ۵- منحنی آبی (خط چین) داده‌های ناشی از مدل مصنوعی و منحنی سرخ (توپر) داده‌های برآوردی ناشی از وارون‌سازی



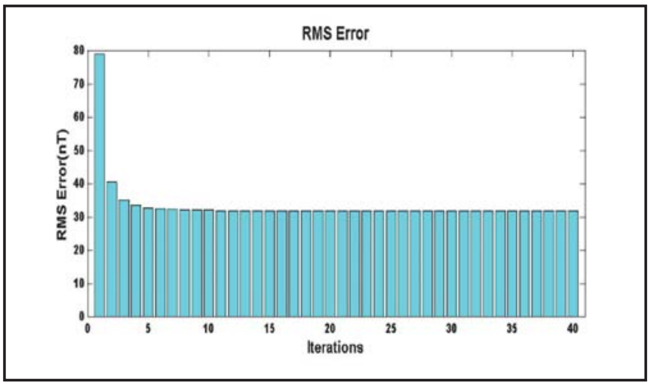
شکل ۶- منحنی آبی مدل مصنوعی و منحنی سرخ مدل برآورد شده با استفاده از وارون‌سازی پس از ۴۰ تکرار



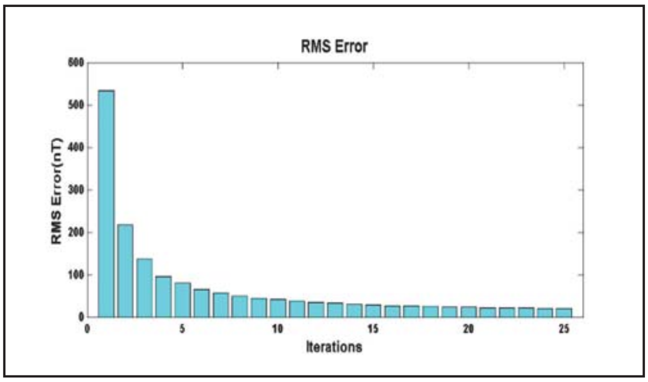
شکل ۲- الف) ناهنجاری میدان کلی مغناطیسی ناشی از مدل مصنوعی. منحنی توپر ناهنجاری بدون نوفه و منحنی خط چین ناهنجاری با نوفه ۵ درصد است. ب) مدل مصنوعی با طول۲۳/۵ کیلومتر و خودپذیری 0.002SI



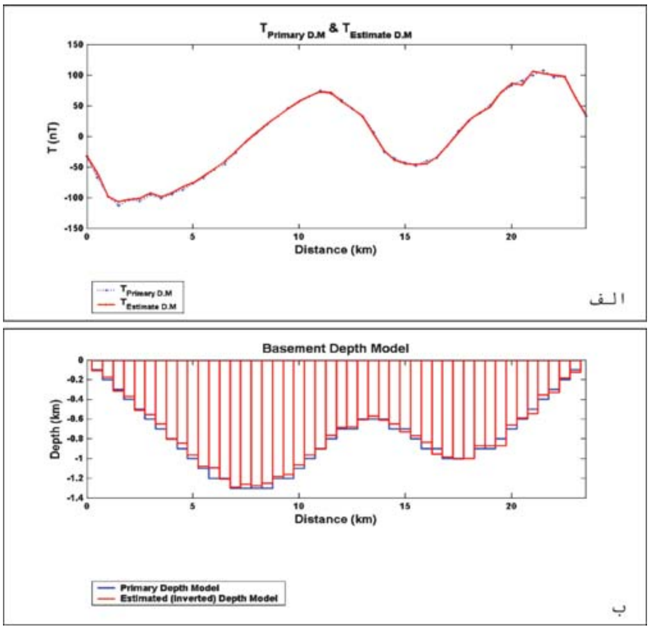
شکل ۴- بردارهای پایه ماتریس Hessian نسبت به شماره بردار در یک نمایه سه بعدی



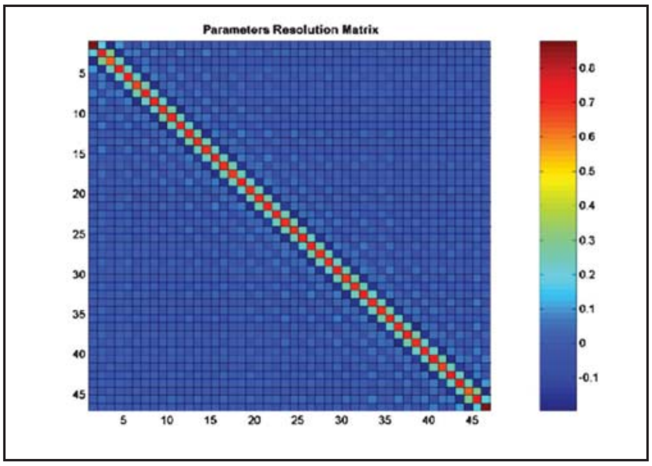
شکل ۷ - خطای میانگین مجذور برای ۴۰ تکرار پی در پی



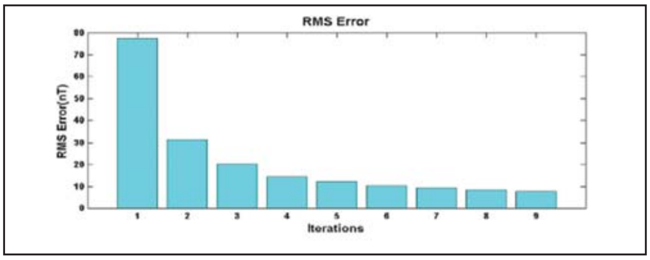
شکل ۸ - خطای میانگین مجذور برای ۲۵ تکرار پی در پی و استفاده از ۳۳ بردار پایه



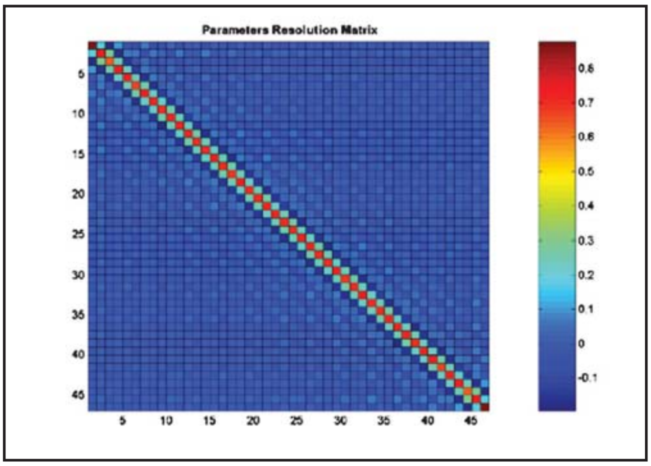
شکل ۹- الف) منحنی آبی (خط چین) داده‌های ناشی از مدل مصنوعی و منحنی سرخ (توپر) داده‌های برآوردی ناشی از وارون‌سازی ب) منحنی آبی مدل مصنوعی و منحنی سرخ مدل برآورد شده با استفاده از وارون‌سازی بعد از ۲۵ تکرار و استفاده از ۳۳ بردار پایه



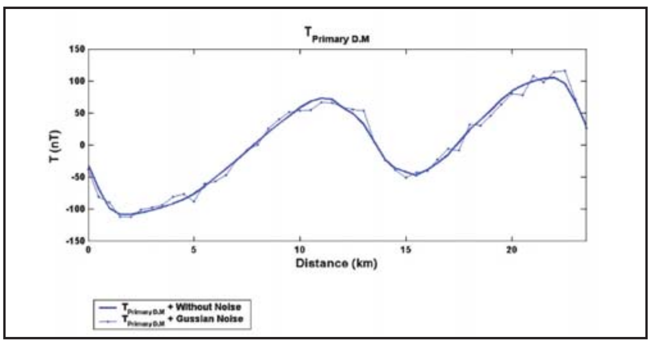
شکل ۱۰- ماتریس قدرت تفکیک متغیرهای مدل بعد از ۲۵ تکرار و استفاده از ۳۳ بردار پایه



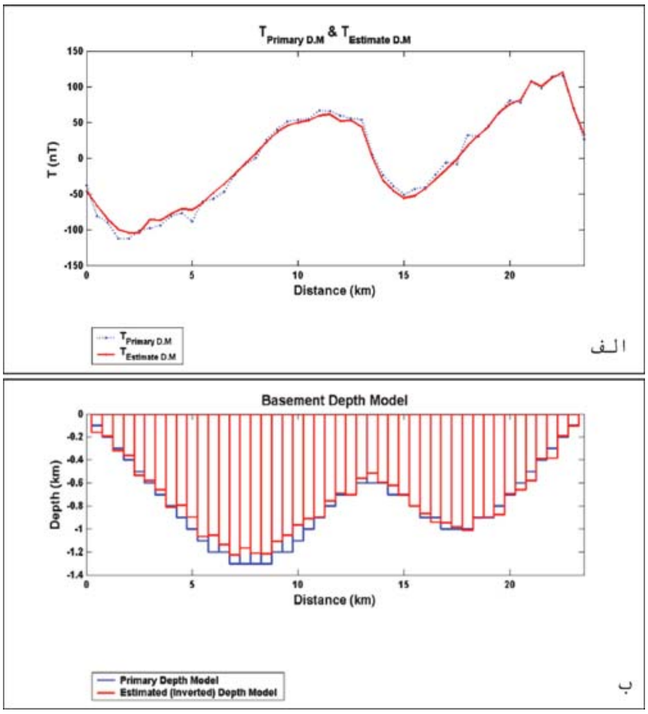
شکل ۱۱- خطای میانگین مجذور برای ۹ تکرار پی‌درپی و استفاده از ۳۳ بردار پایه و نسبت نوفه به سیگنال ۱۵ درصد



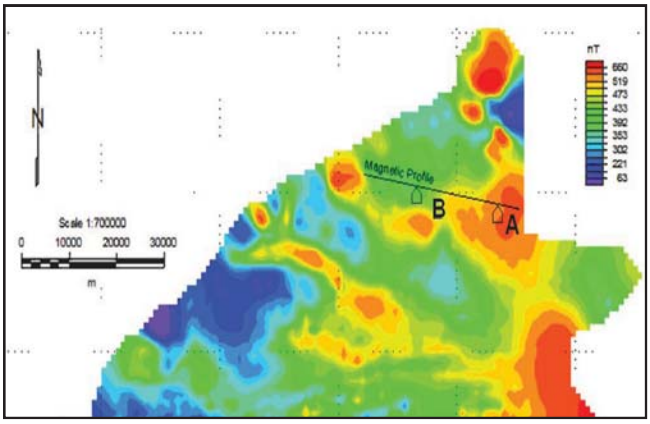
شکل ۱۲- ماتریس قدرت تفکیک متغیرهای مدل برای ۹ تکرار پی در پی و استفاده از ۳۳ بردار پایه و نسبت نوفه به سیگنال ۱۵ درصد



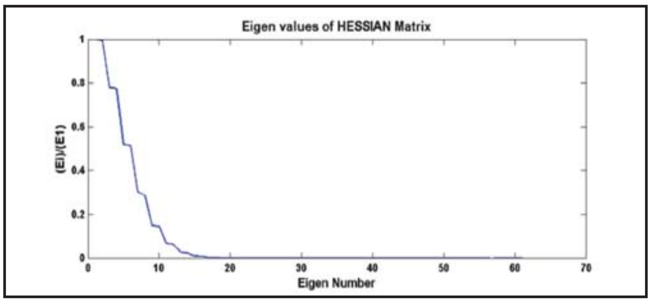
شکل ۱۳- مقایسه میزان و سطح نوفه ۱۵ درصد که به داده‌های ناشی از مدل مصنوعی اضافه شده است. منحنی توپر داده‌های ناشی از مدل اولیه و منحنی خط چین داده‌ها به همراه نوفه



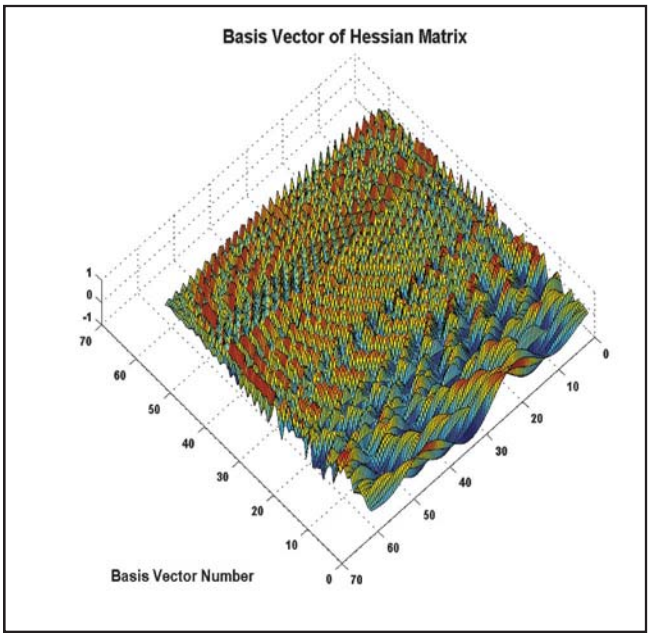
شکل ۱۴- الف) منحنی آبی (خط چین) داده‌های ناشی از مدل مصنوعی و منحنی سرخ (توپر) داده‌های برآوردی ناشی از وارون‌سازی ب) منحنی آبی مدل مصنوعی و منحنی سرخ مدل برآورد شده با استفاده از وارون‌سازی پس از ۹ تکرار و استفاده از ۳۳ بردار پایه و نسبت نوفه به سیگنال ۱۵ درصد



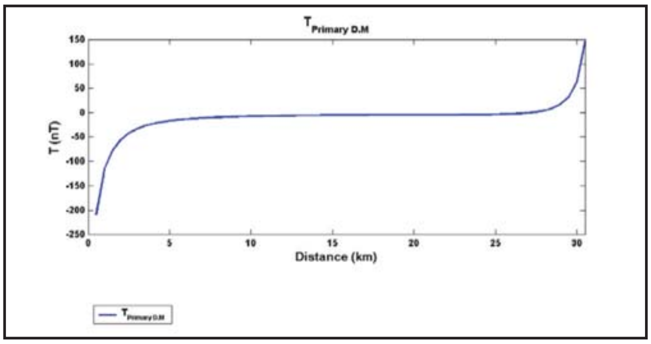
شکل ۱۵- نیمرخ انتخاب شده از داده‌های میدان کلی مغناطیسی که توسط IGRF تصحیح شده است



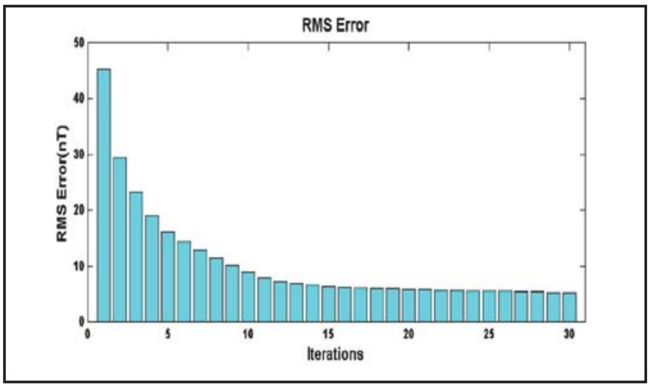
شکل ۱۶- نمایش نسبت بزرگی ویژه مقادیر ماتریس Hessian نسبت به بزرگی ویژه مقدار اول برای مدل اولیه مفروض



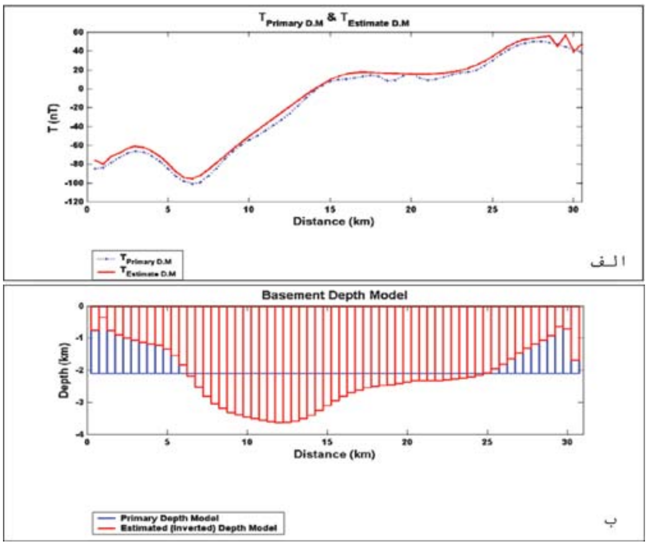
شکل ۱۷- بردارهای پایه ماتریس Hessian نسبت به شماره بردار در یک نمایه سه بعدی برای مدل اولیه مفروض



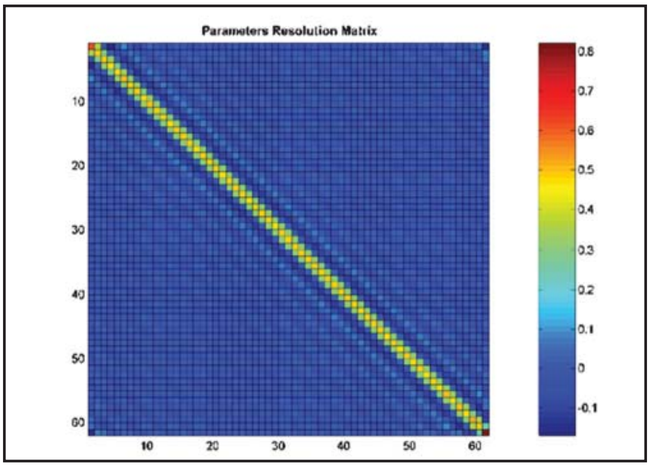
شکل ۱۸- ناهنجاری میدان کلی مغناطیسی ناشی از مدل اولیه با ژرفای دو کیلومتر



شکل ۱۹- خطای میانگین مجذور برای ۳۰ تکرار پی در پی و استفاده از ۳۰ بردار پایه



شکل ۲۰- الف) منحنی آبی (خط چین) داده‌های واقعی و منحنی سرخ (توپر) داده‌های برآوردی ناشی از وارون‌سازی ب) منحنی آبی مدل اولیه و منحنی سرخ مدل برآورد شده با استفاده از وارون‌سازی پس از ۲۰ تکرار و استفاده از ۳۰ بردار پایه



شکل ۲۱- ماتریس قدرت تفکیک متغیرهای مدل برای وارون‌سازی داده‌های واقعی

References

Corbato, C. E., 1965- A least-square procedure for gravity interpretation. Geophysics 30,228-233

Jackson, D. D., 1972- Interpretation of inaccurate and inconsistent data, Geophys J.R.Astr.Soc. 28, 97-109

Kennett, B. L. N. & Sambridge, M. S., 1998- Inversion for multiple parameter classes. Geophys.J.int. 135, 304-306

Kennett, B. L. N. & Williamson, P. R., 1988- Subspace methods for large-scale nonlinear inversion, Mathematical Geophysics: a survey of recent development in seismology and geodynamics, Dordrecht. Pp. 139-154.

Kunaratnam, K., 1972- An interactive method for solution of a non linear inverse problem in magnetic interpretation. Geophysical Prospecting 20, 439-447

Menke, W., 1989- Geophysical data analysis: discrete inverse theory. Academic press Inc.

Mickus, K. L., 1992- Inversion of gravity and magnetic data for lower surface of a 2.5 dimensional sedimentary basin. Geophysical Prospecting 40, 171-191

Minichetti, V., 1983- Simultaneous interactive magnetic and gravity inversion. Geophysical Prospecting 31, 929-944

Mirzaei, M. & Bredewout, J. W., 1996- 3-D Microgravity data inversion for detecting cavities, European journal of environmental and engineering geophysics, 1, 249-270

Oldenburg, D. W., McGillivary, P. R. & Ellis, R. G., 1993- Generalized subspace method for large-scale inverse problems. Geophys.J.int. 114, 12-20

Oldenburg, D. W., Unsworth, M., 1995- Subspace inversion of electromagnetic data: application to mid-ocean-ridge exploration. Geophys.J.int. 123, 161-168

Pederson, L. B., 1977- Interpretation of potential field data A generalized inverse approach. Geophysical Prospecting 25, 199-230

Sambridge, M. S., 1990- Non-linear arrival time inversion: constraining velocity anomalies by seeking smooth models in 3-D. Geophys.J.int. 102, 635-677

Thurston, J. B., Smith, R. S., Guillon, J., 2002- A multimodel method for depth estimation from magnetic data. Geophysics. 67, 555-561

Wiggins, R. A., 1972- The general linear inverse problem: Implication of surface waves and free oscillation of earth structure. Rev Geophysics and space physics 10, 251-258

* Corresponding author: A. Nejati Kalateh; E_mail: nejati_ali@yahoo.com

Hydrocarbon Potential Evaluation and Depositional Environment of Sargelu Formation in Masjid-i-Soleiman Oilfield

B. Alizadeh[1*] & S. H. Hosseini[1]

[1]Department of Geology, Earth Science Faculty, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

Received: 2008 July 21 Accepted: 2009 February 02

Abstract

Sargelu Formation is deeply buried and has limited distribution in Dezful Embayment (limited to the northern part), hence, investigation of petroleum potential of this formation has attracted many petroleum geologists. In this study, hydrocarbon potential of Sargelu Formation in Northern Dezful Embayment is evaluated geochemically. For this purpose 34 drill cuttings from well numbers, 309, 310, 312 and 316 in Masjid-i-Soleiman (MIS) oilfield were selected, and geochemical analyses such as Rock-Eval VI pyrolysis and PY-GC were performed. The results reveal that the formation has "Very Good" hydrocarbon potential because of its high amounts of Total Organic Carbon (TOC). Results were plotted on Van-Krevelen as well as on HI vs. T_{max} diagrams, and demonstrated mixed Kerogen Type III and IV due to low HI caused by higher thermal maturity, in well numbers 309, 310 and 312. However, the prominent Kerogen type was determined to be of mixed Kerogen type II and III. In all, the organic matter in well No. 316 has a better Kerogen type (mixed type II and III). All the Samples plotted on Smith Diagram have more than 0.1 S_1/TOC ratios and capable of generating hydrocarbon. The Pr/nC_{17} vs. Ph/nC_{18} ratio demonstrates marine environment for Sargelu Formation. Pyro and thermograms reveal that normal alkanes are dominated in C_{15} – C_{20} range, while heavy normal alkanes are missing due to its high thermal maturity. In all it can be concluded that Sargelu Formation in MIS oilfield, due to its paleoenvironment as well as burial depth exclusively has a good quality of organic matter with adequate maturity at the end of oil window and hence is gas-prone.

KeyWords: Dezful Embayment, Masjid-i-Soleiman Oilfield, Sargelu Formation, Genetic Potential, Depositional Environment, Rock-Eval, Pyrolysis–Gas Chromatography
For Persian Version see pages 173 to 178
*Corresponding author: B. Alizadeh; E-mail: Alizadeh@scu.ac.ir

Determination of Drilling Point using Fuzzy Logic in GIS Case Study: Now Chun Copper Prospect

G. R. Elyasi[1*], M. Karimi[2], A. Bahroudi[1] & A. Adeli Sarcheshme[1]

[1] Exploration of Mining Engineering Dep., Mining Faculty, Tehran University, Tehran, Iran

[2] GIS Department, Survey Faculty, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Recceived: 2008 October 12 Accepted: 2009 April 20

Abstract

Piles of maps from different sources with varying scales and formats and different styles and absence of a proper solution for integrating vast amount of information has resulted in a complexity for preparing mineral potential map. Using GIS not only organizes the information related to mineral exploration but also has the ability to produce and integrate information layers in different models with more precision and speed and supports spatial decision makings. In this article mineral potential map of Now Chun copper prospect has been produced for determination of drilling points. Used layers in this study include rock type, structure, alteration, mineralization indicators, anomaly zone of chargeability and apparent resistivity and metal factor, anomaly of copper and molybdenum and Cu-Mo additive indexes. After information preparation, Factor maps were weighted and integrated in the inference network. Integration use of Fuzzy logic and index overlay operators in inference network can eliminate defects in other models and provide more flexible integration of factor maps. Regarding to produce mineral potential map, mineral potential zones of porphyry copper were located in north-east parts of studied area. Eventually, the degree of correlation between mineral potential map and those operated exploration boreholes have been estimated for two different classes, 63.16 % and 64.52 %. Comparison between the high potential points indicated by our mineral potential maps with those previous drilled boreholes reveals about 26% discorrelation. It means that if such present study had been done before any drilling operation, it could have saved 200,000$ just for drilling expenditure.

Keywords: GIS, Mineral Potential Map, Fuzzy Logic, Now Chun
For Persian Version see pages 179 to 188
* Corresponding author: G. R. Elyasi; E_mail: ghrelyasi@yahoo.com

contamination processes. In terms of geochemistry, the variations of Rb, Sr, Pb and Hf confirm this phenomenon as well. Based on low topography of volcanic rocks, suture zone, strike-slip faults, and petrologic evidence, low degrees of partial melting in source and crustal contamination in the region, the magmatism occurred in a tensional tectonomagmatic environment. Local tension and opening along the strike-slip fault zone provided a way for ascending of magma to the earth surface.

Keywords: Bijar, Alkaline Series, Sanandaj-Sirjan, Contamination
For Persian Version see pages 151 to 156
* Corresponding author: M. H. Razavi; E_mail: razavi@saba.tum.ac.ir

Geochemical and Mass Changes at the Sar-Faryab Bauxite Deposit,Kohgeloye and Bovair-Ahmad Province: Using Al, Ti, Zr and Y Geochemical Characteristics

A. Zarasvandi[1*], H. Zamanian[2], E. Hejazi[3] & A.H. Mansour[1]

[1] Department of Geology, Faculty of Earth Sciencees, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

[2] Department of Geology, Faculty of Sciencees, Lorestan University, Khoramabad, Iran

[3] Department of Geology, Islamic Azad University, Khoramabad, Iran

Received:2008 September 15 Accepted: 2008 January 26

Abstract

The Sar-Faryab bauxite deposit is located in 250 km east of Ahvaz city in Kohgeloye and Bovair-Ahmad Province, Iran. Structurally the deposit is located in the Zagros Simply Fold Mountain Belt and was formed between the Ilam and Sarvak Formations. The bauxite horizon in this deposit consists of marly limestone, argillite, oolitic-Pisolitic, yellow, red and white bauxite. This study uses the geochemistry of immobile elements (Al, Ti, Zr and Y) to trace the precursor rock of the bauxite deposit and to calculate the mass changes that took place during weathering and bauxitization. The result indicates that Si,Ca,Mg,K,Na elements are depleted and Al,Fe,Ti elements are enriched during the weathering and bauxitization. Geochemical data show that argillaceous debris in the Sarvak limestone can be the source of the Sar-Faryab bauxite deposit.

Keywords: Geochemical Variations, Bauxite, Sar-Faryab, Mass Changes
For Persian Version see pages 157 to 164
*Corresponding author: A. Zarasvandi; E-mail: zarasvandi@yahoo.com

Inverse Modeling of Magnetic Data Using Subspace Method

A. Nejati Kalateh[1*], M. Mirzaei[2], N. Gouya[1] & E. Shahin[3]

[1] Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

[2] Science Faculty, Arak University, Arak, Iran

[3] Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Abstract

In this paper we used orthogonal basis functions and expansion coefficients for inverse modeling of magnetic data. The basis functions chosen are normalized eigenvectors of second derivation of the objective function (Hessian matrix) calculate for an initial model. Limited number of basis vectors obtained in this way defines a new subspace in model parameters space. A new objective function is defined in term of these new parameters and minimized in subspace of original space. As in geophysical inverse problems we need to inverse matrixes that are functions data and geometry of data and model parameters. The matrix inversion in new subspace of the original space will be better conditions due to less dimensionality in the inversion. Since the most significant eigenvectors corresponding the largest eigen values in Singular Value Decomposition (SVD) of matrixes. Others eigenvectors have less influence in fitting data or lead inversion procedures to local minima. With apply subspace method inversion will be fast and stable against the noise. The efficiency of the method is tested with synthetic and real magnetic data (acquired from Moghan area, north-west of Iran). The results proved fast convergence and stability of inversion against the noise.

Keywords: Inverse modeling, Subspace method, Convergence, Matrix Projection, Orthogonal Functions
For Persian Version see pages 165 to 172