

برآورد موقعیت افقی و ژرفای بی‌هنجاری‌های گرانی به کمک گرادیان کل بهنجار شده

حمید آقاجانی^{۱*}، علی مرادزاده^۱ و هوالین زنگ^۲

^۱ دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، شاهرود، ایران
^۲ دانشگاه علوم‌زمین چین (پکن)، دانشکده ژئوفیزیک و فناوری اطلاعات، پکن، چین

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۹/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۳/۰۴

چکیده

برآورد موقعیت افقی و ژرفای اجسام بی‌هنجار نقش مهمی در انتخاب بهینه محل حفر گمانه‌های اکتشافی دارد. روش‌های زیادی برای برآورد ژرفا وجود دارد و بیشتر آنها از فیلترهای بالاگذر بهره می‌برند. روش گرادیان کل بهنجار شده از جمله این روش‌ها است که با به کارگیری سری فوریه معایب فیلتر گسترش به سمت پایین را در عبور از مرکز جسم بی‌هنجار بر طرف می‌نماید. در این مقاله هدف اصلی محاسبه مقدار گرادیان کل بهنجار شده و ارائه روشی برای تعیین تعداد بهینه جملات سری فوریه همراه با استفاده آنها برای یک سری داده‌های مدل مصنوعی و داده‌های صحرایی دو و سه بعدی است. نتایج به کارگیری روش یاد شده روی داده‌های مدل مصنوعی موقعیت و ژرفای مدل را با خطای کمتر از ۲/۵ درصد ارائه می‌دهد. همچنین از روش یاد شده برای برآورد ژرفا و موقعیت افقی دو مورد از داده‌های صحرایی گرانی ناشی از گنبد نمکی هومیل (امریکا) و توده معدنی مسیوسولفاید موبرون (کانادا) استفاده و ژرفای گنبد نمکی ۴/۸ کیلومتر و ژرفای سطح بالایی توده معدنی ۱۷ متر برآورد شد و تداوم گسترش توده معدنی تا ژرفای بیش از ۷۰ متر نیز تأیید شد که نتایج حاصل در مقایسه با دیگر داده‌های مستقل موجود مانند اطلاعات حفاری و نتایج ژئوفیزیکی همخوانی خوبی نشان می‌دهند. افزون بر این، با انتخاب تعداد جملات متفاوت سری فوریه ژرفای میانی کانسار (حدود ۹۵ متری) و ژرفای زیرین آن (در حدود ۱۷۵ متری) تعیین شد. موارد یاد شده گویای کارایی بسیار خوب روش گرادیان کل بهنجار شده در تعیین موقعیت و برآورد ژرفای اجسام بی‌هنجار است.

کلیدواژه‌ها: بی‌هنجاری گرانی، مدل مصنوعی، گنبد نمکی، برآورد ژرفا، گرادیان کل بهنجار شده، تعداد جملات بهینه سری فوریه

E_mail: aghajani_hamid@yahoo.com

* نویسنده مسئول: حمید آقاجانی

۱- مقدمه

روش وارون داده‌های گرانی سنجی با استفاده از بهینه‌سازی و مدل‌سازی ایجاد شده است. با توجه به این که آثار گرانی ناشی از اجسام بی‌هنجار کوچک‌تر از آثار ناشی از ساختارهای دربرگیرنده آنها هستند، بنابراین ارزیابی آنها به روش وارون گرانی سنجی مشکل است. از این رو در این روش ابتدا باید مقدار بی‌هنجاری‌های محلی ناشی از منابع بی‌هنجار از بی‌هنجاری مشاهده‌ای تفکیک شوند. این موضوع مشکل بزرگی در تفسیر بی‌هنجاری گرانی سنجی است. هدف اصلی در تفسیر داده‌های گرانی، آشکارسازی منابع بی‌هنجار یعنی مشخص نمودن موقعیت افقی مرکز جرمی منابع و ژرفای قرارگیری آن در شرایط مطلوب است. برای اکتشاف منابع زیرزمینی مانند مواد معدنی یا هیدروکربنی، بی‌هنجاری‌های گرانی را می‌توان به مؤلفه‌های دیگر میدان گرانی تبدیل کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شناسایی نقاط تکین (singular) منابع بی‌هنجار با تبدیل میدان گرانی سبب آشکارسازی نقاط مشخصه اجسام بی‌هنجار مانند گوشه‌ها و مرکز ثقل آنها می‌شود (Zeng et al, 2002).

با توجه به این که در گرانی سنجی هدف آشکارسازی ذخایر کوچک موجود در ساختارهای بزرگ زیرسطحی است، پس باید از فیلترهای مشتق میدان گرانی برای آشکارسازی آثار گرانی ناشی از اجسام کوچک و روش گسترش به سمت پایین برای آشکارسازی آثار گرانی ناشی از اجسام موجود در ژرفا استفاده نمود. دو فیلتر بالاگذر یاد شده به منظور حذف یا کاهش مقدار نوفه‌های بسامد بالا به کار می‌روند. روش گرادیان کل بهنجار شده (Normalized full gradient, NFG) بی‌هنجاری‌های گرانی با استفاده از عمل گسترش به سمت پایین و در نظر گرفتن مشتق داده‌های گرانی سبب کاهش نوفه‌های ناشی از روش گسترش به پایین می‌شود. این روش اولین بار توسط Berezkin (1960) ارائه و در اکتشاف منابع هیدروکربنی استفاده شد (Berezkin, 1973, 1988). پژوهش و بررسی‌ها (Tran, 2004; Zeng et al, 2002; Berezkin, 1988; Aydin, 2005; Aghajani & Moradzadeh, 2008) نشان داده که مقدار گرادیان کل بهنجار شده به شدت به انتخاب تعداد جملات سری فوریه برای محاسبه آن وابسته است و تغییر کوچک در مقدار آن سبب تغییرات بزرگی در مقدار

NFG خواهد شد. بنابراین تعیین یک معیار مناسب برای برآورد مقدار بهینه تعداد جملات سری هارمونیک (N) مهم‌ترین مسئله در این روش است. در این مقاله سعی شده است که روشی ارائه شود که بتوان بدون استفاده داده‌های اولیه (مانند نتایج عملیات حفاری) تعداد جملات سری فوریه را با دقت قابل قبول برآورد کرد. سپس با توجه به N بهینه مقدار گرادیان کل بهنجار شده محاسبه و ژرفای قرارگیری جسم بی‌هنجار مشخص می‌شود.

۲- اصول روش

برخی از نقاط مشخص در اجسام و توده‌های گرانشی مثل مرکز جرم و گوشه‌های مرتبط با نقاط تکین در میدان گرانی وجود دارند که برای بارسازی موقعیت منبع آن می‌توان از آنها در میدان گرانی استفاده کرد (Berezkin, 1973). یک تابع تحلیلی $f(z)$ را می‌توان به وسیله سری‌های تیلور در همسایگی نقطه مشاهده‌ای z_0 به صورت زیر نوشت:

$$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n!} \cdot \frac{d^n f(z)}{dz^n} (z - z_0)^n \quad (1)$$

با توجه به این که بی‌هنجاری‌های مشاهده‌ای شامل مؤلفه‌های تحلیلی (سیگنال‌ها) و نوفه‌های تصادفی هستند و همچنین داده‌های گرانی روی نیمرخ‌های مشاهده‌ای گسسته و در تعدادی محدود نقطه اندازه‌گیری می‌شوند، پس مشکلاتی در تعیین نقاط تکین وجود دارد. بیان بی‌هنجاری‌های گرانی با سری‌های تیلور برای تعیین نقاط تکین مناسب نیست زیرا نقاط تکین در بی‌نهایت وجود دارند. برای بیان نقطه تکین و شیوه تعیین آن به روش گرادیان کل بهنجار شده، استوانه افقی مدفون به شعاع R کیلومتری را به عنوان مدل در نظر می‌گیریم (شکل ۱). مقدار گرانی ناشی از آن با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود.

$$\Delta g(x, z) = 2G\gamma \cdot \frac{z}{z^2 + x^2} \quad (2)$$

که در آن G : ثابت جهانی شتاب جاذبه زمین و $\gamma = \pi \cdot \Delta \rho \cdot R^2$: اختلاف چگالی سطحی

که در آن $\partial \Delta g(x,z)/\partial x$ و $\partial \Delta g(x,z)/\partial z$ به ترتیب مشتق‌های اول افقی و قائم بی‌هنجاری گرانی Δg در نقطه (x,z) می‌باشد و M تعداد نقاط مشاهده‌ای روی نیمرخ اندازه‌گیری داده‌های گرانی، $G(x,z)$ مقدار گرادیان کل بی‌هنجاری گرانی در هر نقطه مشاهده‌ای، $G_m(z)$ متوسط گرادیان کل بی‌هنجاری‌های گرانی در افق ثابت z و $G_N(x,z)$ مقدار گرادیان کل بهنجار شده در نقاط (x,z) در یک مقطع $x-z$ است.

مقدار گرادیان کل بهنجار مدل استوانه‌ای بیان شده (شکل ۱)، به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$G(x,z) = 2G\lambda \frac{1}{x^2 + z^2} \quad (9)$$

با فرض این که استوانه در ژرفای ۲ کیلومتری واقع است، مقادیر تغییرات گرادیان کل و گرادیان کل بهنجار شده بی‌هنجاری گرانی ناشی از وجود استوانه در نقطه $x=0$ محاسبه و نمودار تغییرات آنها در برابر ژرفا در شکل ۲ نشان داده شده است.

بر اساس شکل ۲ مقادیر بیشینه گرادیان کل، $G_{\max}(0,z)$ ، با افزایش ژرفا به آرامی و به تدریج افزایش می‌یابند و مرکز استوانه به عنوان نقطه تکین در آن آشکار نبوده و بازتاب‌کننده ژرفای آن نیست. اما گرادیان کل بهنجار شده، $G_N(0,z)$ ، دارای یک مقدار بیشینه در مرکز یا نقطه تکین است که موقعیت مرکز استوانه است. از این ویژگی روش می‌توان در برآورد تعداد بهینه جملات سری فوریه که نقش اساسی در نشان دادن وضعیت توده بی‌هنجار در ژرفا دارد استفاده نمود.

۳- مدل‌سازی و برآورد مقدار بهینه تعداد جملات هارمونیک

به منظور بررسی ویژگی گرادیان کل بهنجار شده و نیز تعیین تعداد بهینه جملات هارمونیک (N) ، مقدار بی‌هنجاری گرانی ناشی از وجود استوانه افقی با شعاع R ، ژرفا z ، و اختلاف چگالی $\Delta\rho$ ، بر روی نیمرخ به طول ۲۰ کیلومتر و به فواصل ۵۰۰ متری محاسبه شد (جدول ۱).

بدیهی است که مقدار گرادیان کل بهنجار شده به شدت به تعداد جملات سری فوریه وابسته است و تغییر کوچک در مقدار آن سبب تغییرات بزرگی در مقدار NFG خواهد شد (Berezkin & Buketov, 1965; Zeng et al., 2002; Aghajani & Moradzadeh, 2008). بنابراین تعیین یک معیار مناسب برای برآورد مقدار بهینه تعداد جملات سری هارمونیک مهم‌ترین مسئله در این روش است. در این مقاله سعی شده است روشی ارائه شود که بتوان بدون داده‌های اولیه صحرایی تعداد جملات سری فوریه را با دقت قابل قبول برآورد کرد. بر اساس شکل ۲ برای یک مدل استوانه افقی مقدار گرادیان کل بهنجار شده در مرکز آن مقدار بیشینه دارد، بنابراین می‌توان با محاسبه مقادیر آن بر اساس تغییرات تعداد جملات سری فوریه، مقدار بهینه آن را انتخاب نمود. به این منظور با تعداد جملات فوریه ۱۵، ۱۹، ۲۱، ۲۴، ۲۵ و ۲۶ مقادیر گرادیان کل بهنجار شده داده‌های گرانی حاصل از این جسم روی محور ژرفا (z) محاسبه شد و سپس نمودار تغییرات آنها رسم شد (شکل ۳).

از شکل ۳ آشکارا دیده می‌شود که مقدار گرادیان کل بهنجار شده و موقعیت بیشینه آن به شدت وابسته به N است. زمانی که تعداد جملات هارمونیک عدد ۱۵ منظور می‌شود، مقدار گرادیان کل بهنجار به بیشینه ۳/۶۵۵۲ در ژرفای ۲/۵ کیلومتری سطح زمین، زیر استوانه ظاهر می‌شود. در حالتی که تعداد جملات عدد ۱۹ منظور شود مقدار بیشینه گرادیان کل بهنجار شده ۴/۱۹۱ است که همانند عدد ۱۵ در زیر مرکز استوانه قرار دارد. ولی زمانی که مقدار N برابر ۲۱ است، مقدار بیشینه گرادیان کل بهنجار انطباق مناسبی با مرکز استوانه داشته و مقدار آن برابر ۴/۳۹۱۱ است. وقتی که N برابر ۲۴ باشد، مقدار بیشینه بیشتر و بالاتر از محل قرارگیری استوانه بوده و مقدار آن ۴/۵۰۴۴ است. بنابراین برای یک مدل با پارامترهای بیان شده، مقدار بهینه

و ژرفای مرکز استوانه افقی یا فاصله قائم بین نقطه اندازه‌گیری اثر گرانشی استوانه تا مرکز آن است. مقدار بی‌هنجاری گرانی $\Delta g(x,z)$ به سمت مرکز استوانه یعنی $z=0$ افزایش یافته و وقتی که مقدار $x=0$ گردد، بی‌هنجاری $\Delta g(0,0)$ به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. این موضوع بیانگر این مطلب است که مرکز یک استوانه افقی یک نقطه تکین است. با توجه به معادله (۲) بی‌هنجاری گرانی ناشی از این استوانه در راستای محور z زمانی که $x=0$ باشد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta g(x,z) = 2G\lambda \frac{1}{z} \quad (3)$$

بی‌هنجاری در نقطه $(0, h)$ روی محور Z را می‌توان با استفاده از سری محدود تیلور به صورت زیر نوشت (Berezkin, 1988):

$$\Delta g(h) = 2G\lambda \sum_{k=0}^N \frac{\partial^k \Delta g}{\partial z^k} h^k \quad (4)$$

با فرض $\psi = \frac{h}{z}$ ، می‌توان نوشت:

$$\Delta g(\psi) = \frac{2G\lambda}{z} \sum_{k=0}^N \psi^k \quad (5)$$

اگر فرض کنیم: $S = \sum_{k=0}^N \psi^k$ ، بدیهی است که از معادله (۵) می‌توان دریافت که اگر $\psi \geq 1$ باشد، سری S محدود خواهد شد. به این ترتیب بی‌هنجاری گرانی به سمت پایین گسترش می‌یابد. با استفاده از معادله (۵) زمانی که نقطه اندازه‌گیری در زیر مرکز استوانه ($\psi > 1$) قرار گیرد، سری S به طور یکنواخت صعودی بوده و هیچ پاسخ مناسبی از منبع بی‌هنجار ارائه نمی‌دهد و یک نقطه تکین در بی‌نهایت قرار دارد. حال اگر مقادیر بی‌هنجاری گرانی بهنجار شوند، یعنی این که مقدار بی‌هنجاری مشاهده‌ای در یک نقطه به مقدار متوسط آن روی یک نیمرخ یا یک صفحه تقسیم شود، سری محدود در معادله را می‌توان برای تعیین نقاط تکین میدان گرانی استفاده نمود. به این ترتیب مقدار بی‌هنجاری گرانی در یک سری نامحدود تیلور را می‌توان به صورت زیر باز نویسی نمود:

$$\Delta g(\psi) = \frac{2G\lambda}{z} \sum_{k=0}^{\infty} \psi^k = \frac{2G\lambda}{z} \left[\sum_{k=0}^N \psi^k + \sum_{k=N+1}^{\infty} \psi^k \right] = \Delta g_N(\psi) + r_N(\psi) \quad (6)$$

که در آن $\Delta g_N(\psi)$ همان معادله (۵) و $r_N(\psi)$ مقدار باقی‌مانده سری است.

با استفاده از تئوری سری‌ها می‌توان ثابت نمود که با انتخاب مناسب N ، وقتی که $\psi < 1$ ، یعنی نقطه مشاهده‌ای بالای مرکز استوانه قرار گیرد، مقدار باقی‌مانده $r_N(\psi)$ کوچک‌تر از مقدار $\Delta g_N(\psi)$ خواهد بود. زمانی که $\psi > 1$ باشد، یعنی نقطه محاسبه بی‌هنجاری زیر مرکز ثقل استوانه بوده و در این صورت مقدار باقی‌مانده $r_N(\psi)$ بزرگ‌تر از مقدار $\Delta g_N(\psi)$ خواهد شد. بنابراین، می‌توان یک تابع بهنجار شده به صورت زیر تعریف کرد (Berezkin, 1988):

$$\Delta g_{nor}(\psi) = \frac{\Delta g_N(\psi) + r_N(\psi)}{r_N(\psi)} = \frac{\Delta g_N(\psi)}{r_N(\psi)} + 1 \quad (7)$$

معادله (۷) نشان می‌دهد در شرایطی که $\psi < 1$ باشد، وقتی که نقطه مشاهده‌ای به مرکز جرم جسم نزدیک شود، تابع بهنجار شده $\Delta g_{nor}(\psi)$ افزایش می‌یابد. حال در شرایطی که $\psi > 1$ باشد، یعنی نقطه اندازه‌گیری در زیر مرکز جرم جسم قرار گرفته باشد، تابع بهنجار شده $\Delta g_{nor}(\psi)$ به دلیل این که مقدار $r_N(\psi)$ از مقدار $\Delta g_N(\psi)$ بزرگ‌تر است، کم می‌شود. در نتیجه تابع بهنجار شده دارای یک مقدار بیشینه در مرکز استوانه ($h=z$) خواهد بود، بدین ترتیب موقعیت مرکز استوانه معلوم می‌شود. روش گرادیان کل بهنجار شده بی‌هنجاری‌های گرانی توسط Berezkin (1988) به صورت زیر تعریف شد.

$$G_N(x,z) = \frac{G(x,z)}{G_m(z)} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g(x,z)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g(x,z)}{\partial z}\right)^2}}{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g(x,z)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g(x,z)}{\partial z}\right)^2}} \quad (8)$$

N باید برابر ۲۱ در نظر گرفته شود.

برای تعیین تعداد جملات بهینه مورد استفاده به منظور برآورد ژرفای اجسام بی‌هنجار، مقادیر بیشینه گرادیان کل بهنجار شده برای تعداد زیادی از جملات سری فوریه محاسبه و نمودار تغییرات آنها رسم شد (شکل ۴). بر اساس شکل ۴ تغییرات نمودار یادشده از نظر شیب و مقادیر بیشینه و کمینه محدوده‌هایی را روی نمودار به نمایش می‌گذارد. محدوده اولی کم و بیش با شیب یکسان و به صورت خطی تغییر می‌کند. محدوده دومی از انتهای محدوده خطی تا اولین کمینه نسبی را در بر می‌گیرد و به همین ترتیب ادامه می‌یابد.

بر اساس بررسی‌های انجام شده روی مدل ساخته شده، تعداد جملات ۲۱ مرز بین محدوده خطی و اولین محدوده منحنی شکل است. پس مقادیر عددی کمتر از ۲۱ ژرفاهای پایین‌تر از ژرفای قرارگیری جسم بی‌هنجار را نشان می‌دهد و مقدار باقیمانده $r_N(\psi)$ بزرگ‌تر از مقدار اصلی $\Delta g_N(\psi)$ در معادله (۷) خواهد شد. اما تعیین دقیق محل تغییر محدوده منحنی و خطی روی نمودار تغییرات گرادیان کل بهنجار شده مشکل است. بنابراین اولین بیشینه نسبی موجود در محدوده دوم تغییرات که عدد ۲۴ است ژرفای مناسبی را ارائه می‌دهد.

بر اساس شکل‌های ۳ و ۴ می‌توان عنوان نمود که تعداد جملات متناظر با اولین بیشینه نسبی موجود در محدوده دوم نمودار تغییرات گرادیان کل بهنجار شده با تعداد جملات سری فوریه، عدد بهینه‌ای برای محاسبه مقدار گرادیان کل بهنجار شده است. همان طوری که در جدول ۲ دیده می‌شود با منظور نمودن عدد ۲۴ مقدار ژرفای برآوردی ۱/۹۵ کیلومتری سطح زمین خواهد شد که نسبت به مقدار واقعی کمتر از ۲/۵ درصد خطا دارد.

بر این اساس می‌توان گفت که تعداد بهینه هارمونیک‌ها عددی است مساوی یا کوچک‌تر از عددی که اولین بیشینه نسبی را پس از محدوده خطی نمودار تولید می‌نماید. به این ترتیب با منظور نمودن عدد ۲۴ به عنوان تعداد جملات هارمونیک بهینه، مقادیر گرادیان کل بهنجار شده برای مدل استوانه افقی محاسبه شد (شکل ۵).

۴- روش برآورد گرادیان کل بهنجار شده بی‌هنجاری‌های گرانی

در عمل به علت این که داده‌های گرانی بر روی یک سری نقاط گسسته در نیمرخ‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، بنابراین برای برآورد مقدار گرادیان کل بهنجار شده نمی‌توان از معادلاتی شبیه معادله استوانه یا کره استفاده نمود. در این موارد مقادیر گسسته بی‌هنجاری‌های گرانی $\Delta g(x,z)$ در طول نیمرخ و در محدوده $(-L, L)$ را می‌توان به وسیله سری‌های سینوسی فوریه به صورت زیر بیان نمود (Berezkin & Buketov, 1965; Kreyszig, 1979):

$$\Delta g(x,z) = \sum_{n=1}^N B_n \sin\left(\frac{\pi n}{L}x\right) \exp\left(\frac{\pi n}{L}z\right) \quad (10)$$

که در آن N تعداد جملات سری فوریه، L فاصله انتگرال‌گیری یا طول نیمرخ اندازه‌گیری داده‌های گرانی است. پارامتر B_n ضرایب هارمونیک سری‌های فوریه بوده و با استفاده از روش‌های عددی گوناگونی می‌توان مقادیر آن را حساب نمود، که در این مقاله از روش قاعده دوزنقه استفاده شده است. لازم به یادآوری است که در همگرایی سری فوریه بایستی تابع در فاصله $(-L, L)$ تعریف شده و متناوب باشد. همچنین مقدار تابع معلوم و به همراه مشتق آن به صورت قطعه‌ای پیوسته بوده و دارای تعداد محدودی نقاط کمینه و بیشینه باشد (Gerken, 1989).

به هنگام محاسبه مقدار بی‌هنجاری میدان پتانسیل و نیز گرادیان آن در راستای طول و ژرفا در روش گسترش به سمت پایین، نوسانات و نوفه‌هایی در میدان گرانی ظاهر می‌شود. برای حذف این موارد، بسط تابع سینوسی در تابع هموارکننده‌ای به

نام Q_n که اثر پایدارکننده روی عملگر گرادیان کل بهنجار شده دارد، در معادله (۱۰) ضرب می‌شود (Berezkin & Buketov, 1965):

$$Q_n = \left[\sin\left(\frac{\pi n}{N}\right) / \left(\frac{\pi n}{N}\right) \right]^\mu \quad (11)$$

که در آن μ عدد صحیحی است که نمایانگر درجه هموارکنندگی است و میزان انحنای تابع Q_n را کنترل می‌کند. اگر چه می‌توان برای μ هر عدد صحیح انتخاب نمود ولی در روش گسترش به پایین مقدار عددی ۲ برای آن جواب مناسب‌تری ارائه می‌دهد (Berezkin, 1988; Dondurur, 2005; Aghajani, & Moradzadeh, 2008). تابع Q_n معروف به جمله هموارکننده لانکوزس (Lanczos) است که نخستین بار توسط Berezkin (1967) برای حذف اثر گیبس (Gibbs)، استفاده شد. بهنجار کردن گرادیان کل بی‌هنجاری گرانی در به کمینه رساندن مسائل مرتبط با روش گسترش به سمت پایین بی‌هنجاری‌ها مثل نوسانات بسامد بالا کمک می‌کند. به علت پایداری روش گرادیان کل عادی‌شده بی‌هنجاری گرانی، با استفاده از این روش می‌توان موقعیت منابع بی‌هنجار را تعیین نمود. در حقیقت این روش به طور شاخص برای آشکارسازی ویژگی‌های نقاط توده‌های گرانشی مثل مراکز و گوشه‌ها از نقاط تکین در یک میدان گرانی مفید است.

۵- کاربرد روش گرادیان کل بهنجار شده در داده‌های واقعی گرانی

در این مقاله به منظور بررسی توانایی روش برای برآورد ژرفای اجسام بی‌هنجار، از داده‌های گرانی گنبد‌های نمکی هومبل (Humble) در ایالت تگزاس آمریکا و کانسار مسیو سولفاید موبرون (Mobrun) کانادا که از لحاظ ژرفا مشخص بودند، استفاده شد. برای هر دو مورد، براساس روش معرفی شده مقدار گرادیان کل بهنجار شده برای تعداد زیادی از مقادیر هارمونیک برآورد شد. سپس مقدار N بهینه تعیین و برای محاسبه مقادیر گرادیان کل عادی‌شده بی‌هنجاری‌های مورد نظر استفاده شد.

۵-۱. گنبد نمکی هومبل

میدان نفتی گنبد نمکی هومبل (Humble) یک میدان تولید نفت در آمریکا است که در دو کیلومتری شهر هومبل در ساحل شمالی خلیج تگزاس در منطقه کانتراس آمریکا واقع شده است. سنگ مخزن این میدان نفتی که مقدار ناچیزی گاز دارد، سنگ‌های انیدریتی و آهکی سازندهای مربوط به دوره‌های اتوسن، میوسن، الیگوسن و پلیوسن است. تله‌های نفتی گنبد نمکی هومبل هم در بخش سنگ پوشش و هم در بخش دامنه آن دیده می‌شود. هومبل دارای ذخیره قابل توجهی بوده که نزدیک به یک قرن از مخازن آن نفت استخراج می‌شود.

به منظور تعیین ژرفای قرارگیری این گنبد، پس از رقومی کردن نقشه بی‌هنجاری گرانی (Nettleton, 1976) و حذف اثر ناحیه‌ای، نیمرخ‌ی در راستای خاوری-باختری تهیه شد و مقادیر عددی آن به عنوان فایل ورودی در برنامه نوشته شده در محیط Matlab نسخه ۷/۵۰ مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶-الف). با استفاده از روش ارائه شده در مقاله حاضر، به منظور تعیین تعداد جملات بهینه مقادیر بیشینه گرادیان کل بهنجار شده نسبت به تعداد جملات متفاوتی در راستای نیمرخ برآورد شد و بدین ترتیب عدد ۱۷ به عنوان عدد بهینه انتخاب شد. مقادیر گرادیان کل بهنجار شده دو بعدی داده‌های حاصل در صفحه X-Z و به فواصل ۰/۷۶ کیلومتری با تعداد جملات هارمونیک ۱۷ محاسبه شد (شکل ۶-ب). بر اساس شکل یادشده، مقدار بیشینه گرادیان کل بهنجار شده در نقطه‌ای به مختصات $(4/8, 0)$ قرار گرفته است بنابراین ژرفای این گنبد حدود ۴/۸ کیلومتر برآورد می‌شود.

نتایج حاصل از این روش هماهنگی خوبی با شکل گنبد نمکی برآوردی توسط Nettleton (1976) براساس داده‌های حفاری و لرزه‌ای دارد. این بی‌هنجاری با فرض

ژرفای میانی کانسار (حدود ۹۵ متری) و ژرفای زیرین آن (در حدود ۱۷۵ متری) تعیین شد.

بررسی‌ها نشان داده که اگر طول نیمرخ اندازه‌گیری دست‌کم ۱۰ برابر ژرفای توده بی‌هنجار باشد دقت نتایج حاصل از روش NFG بالاتر است (Berezkin, 1967). بنابراین در این محدوده، ژرفای جستجو برای ماده معدنی با توجه به ابعاد شبکه اندازه‌گیری داده‌ها ۷۰ متر در نظر گرفته شد. با تعمیم معادله ۸، مقادیر گرادیان کل عادی شده سه‌بعدی بی‌هنجاری گرانی حاصل از توده معدنی مسیوسولفاید موبرون با لحاظ $N=44$ و استفاده از سری فوریه دوگانه با یک برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزار مطلب محاسبه شد. برای بررسی گسترش ژرفی توده معدنی مقادیر NFG برای ژرفای مختلف محاسبه شد که در شکل ۱۰ این مقادیر برای ژرفای ۱۵ تا ۸۵ متری ارائه شده است. نتایج به دست آمده وجود یک توده بی‌هنجار سه‌بعدی را بر اساس با توده معدنی سولفیدی نشان می‌دهد.

شکل ۱۰ توزیع مقدار بیشینه NFG داده‌های گرانی وابسته به ژرفای مورد بررسی را که نشان دهنده تغییرات چگالی سنگی در سازندهای زمین‌شناسی زیرسطحی است نشان می‌دهد. در شکل یادشده در ژرفای بیش از ۵۵ متر منحنی‌های بیشینه NFG به طور کامل آشکار نیستند ولی تا ژرفای تقریبی ۸۵ متری می‌توان ماده معدنی را پی‌گیری نمود. به علت این که ابعاد اندازه‌گیری داده‌ها کافی نیست پس از عبور از ۷۰ متری مقادیری نوفه زیاد شده و اثر ناشی از وجود توده معدنی روی منحنی‌های NFG محو می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

روش گرادیان کل بهنجار شده با استفاده از داده‌های میدان پتانسیل یک ابزار مؤثر برای برآورد موقعیت افقی و ژرفای اجسام بی‌هنجار است. امتیاز اصلی روش NFG این است که در زمان گسترش میدان به سمت پایین نوسانات جانبی که در اثر عبور از نقطه تکین (سینگولار) یا ژرفای اجسام بی‌هنجار ایجاد می‌شود را حذف می‌کند. چون در محاسبه مقادیر گرادیان کل بهنجار شده در این روش به جای استفاده از خودبی‌هنجاری از مشتق آنها در جهت محورها استفاده می‌شود، بنابراین ادامه گسترش میدان به سمت پایین تا زیر اجسام بی‌هنجار امکان‌پذیر است. با بررسی روی مدل استوانه‌ای و ارائه روش تعیین بهینه جملات سری فوریه، برآورد ژرفای اجسام تا حد قابل قبولی امکان‌پذیر شده است.

در این روش تعداد جملات بهینه سری فوریه با اولین مقدار بیشینه نسبی گرادیان کل بهنجار شده در نیمرخ به دست می‌آید که می‌توان با این روش ژرفای جسم بی‌هنجار را با دقت خوبی برآورد کرد. مقایسه نتایج به دست آمده از به‌کارگیری روش یادشده روی داده‌های گرانی گنبد نمکی هومبل با نتایج داده‌های حفاری و لرزه‌ای نشان می‌دهد که این روش در برآورد ژرفای اجسام از دقت مناسب برخوردار است. همچنین مقایسه نتایج به‌کارگیری روش یادشده روی داده‌های گرانی حاصل از وجود یک توده مسیوسولفاید با داده‌های حفاری نشان می‌دهد که از این روش می‌توان در برآورد ژرفای کانسارهای معدنی استفاده نمود، منوط به این که ابعاد محدوده اندازه‌گیری داده‌ها براساس ژرفای احتمالی جسم بی‌هنجار طراحی شود.

اگر چه پژوهش حاضر روشی را برای تعیین مقدار بهینه تعداد جملات هارمونیک (سری فوریه) ارائه نموده و درستی استفاده آن را در تفسیر داده‌های مصنوعی و واقعی به اثبات رسانیده است، با این حال به دلیل اهمیت این پارامتر در تعیین مقدار بیشینه نسبی گرادیان کل بهنجار، بررسی بیشتر در به دست آوردن رابطه‌ای بین NFG و N پیشنهاد می‌شود.

کروی بودن منبع آن برای تعیین ژرفای مرکز گنبد نمکی توسط پژوهشگران زیادی (Nettleton, 1976; Mohan et al., 1986; Abdelrahman and El-Araby, 1993) تفسیر شده است. نتایج به دست آمده از روش‌های مورد استفاده این پژوهشگران به همراه نتیجه حاصل از روش گرادیان کل بهنجار شده با منظور نمودن مدل کروی در جدول ۳ آورده شده است.

۵-۲. کانسار مسیوسولفاید موبرون (Mobrun)

توده مسیوسولفاید موبرون (Mobrun) در نزدیکی شهر نوراندا (Noranda) در ایالت کبک کانادا با مختصات جغرافیایی $48^{\circ}23'$ شمالی و $78^{\circ}54'$ باختری واقع شده است. سنگ میزبان این توده معدنی سنگ‌های آتشفشانی پرکامبرین میانی است. کانی‌سازی درون هاله سولفیدی متشکل از کانی پیریت به صورت توده‌ای و پراکنده به همراه مواد معدنی سولفیدی فلزات پایه با مقادیر کمی طلا و نقره است. در این ناحیه اندازه‌گیری مقدار گرانی روی نقاط ایستگاهی به فاصله ۳۰ متری بر روی نیمرخ‌هایی به فواصل ۶۰ متری انجام شده است. با اخذ داده‌ها، نقشه بی‌هنجاری گرانی‌سنجی محدوده با فاصله شبکه‌بندی 5×5 متر تنظیم و منحنی‌ها به فاصله 0.5 میلی‌گال رسم و به منظور برآورد مقادیر گرادیان کل بهنجار شده مورد استفاده قرار گرفت. دامنه تغییرات مقدار گرانی در نقشه ارائه شده در شکل ۷ از ۱- تا $1/7$ میلی‌گال است. بر اساس شکل ۷، گسترش منحنی‌های کنتوری روی نقشه گرانی نشانگر ساختار $2/5$ بعدی آن است، بنابراین در تفسیر آن می‌توان آن را به صورت دو یا سه بعدی بررسی نمود (Roy et al., 1999).

افزون بر این، داده‌های حاصل از حفر چندین حلقه گمانه اکتشافی به منظور شناسایی وضعیت ماده معدنی در ژرفا در شکل ۸ نشان داده شده است (Grant and West, 1965). بر اساس شکل یادشده چگالی متوسط ماده معدنی در نمونه‌های حاصل از مغزه‌های حفاری حدود $4/6$ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده که درون سنگ‌های آتشفشانی به چگالی $2/7$ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار گرفته است. نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی و داده‌های حفاری همدیگر را به خوبی تأیید می‌کنند که بر این اساس، شیب، ژرفا، گسترش ماده معدنی و ستبرای روباره برآورد شده است. ستبرای میانگین ماده معدنی کم و بیش دو برابر ژرفای روباره است (شکل ۸). به طور کلی می‌توان گفت که طول توده معدنی در حدود ۳۰۰ متر، عرض آن ۳۰ متر و بیشترین گسترش ژرفی آن ۱۸۰ متر است (Grant and West, 1965). بر اساس نتایج به دست آمده از داده‌های حفاری و نقشه بی‌هنجاری گرانی ویژگی‌های توده معدنی به صورت $N64^{\circ}W / 81^{\circ}NE$ است.

این توده معدنی به وسیله پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته و تفسیر شده است (Seigel, 1957; Grant and West, 1965; Roy et al., 1999; Abdelrahman and Abo-Ezz, 2008). در این مقاله نویسندگان از روش گرادیان کل بهنجار شده برای تفسیر بی‌هنجاری ناشی از توده سولفیدی استفاده نموده‌اند. به منظور محاسبه مقادیر گرادیان کل عادی شده بی‌هنجاری‌های گرانی حاصل از توده معدنی نیمرخ عمود بر گسترش ماده معدنی از جنوب باختر به شمال خاور تهیه و مقادیر گرانی روی این نیمرخ به فاصله $5/28$ متری به دست آمد.

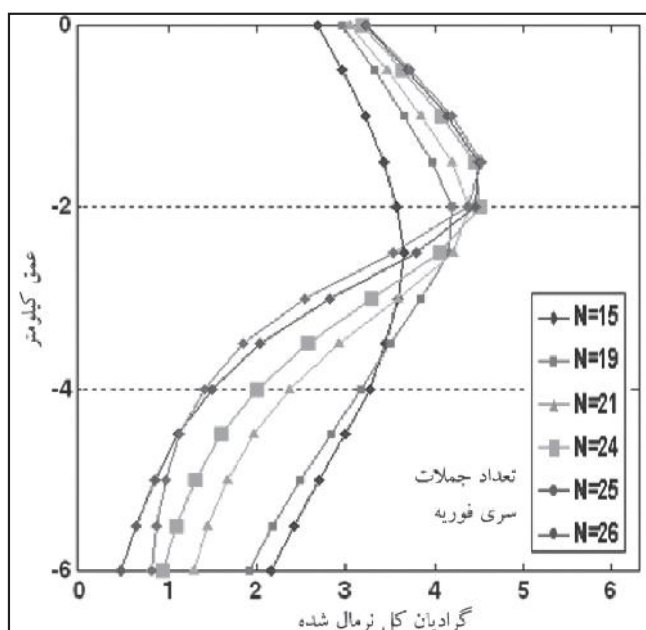
تعیین N بهینه و محاسبه مقادیر گرادیان کل بهنجار شده سه بعدی: برای انتخاب تعداد جملات بهینه سری فوریه برای محاسبه مقادیر گرادیان کل بهنجار شده، مقدار NFG با تعداد زیادی از N در راستای نیمرخ عمود بر امتداد گسترش کانی‌زایی یعنی در راستای جنوب باختر به شمال خاور محاسبه شد و در نهایت مقدار ۴۴ به عنوان N بهینه انتخاب شد. با انتخاب $N=44$ ، مقدار بیشینه NFG داده‌های گرانی بر اساس شکل ۹، ژرفای سطح بالایی ماده معدنی را ۱۷ متر نشان می‌دهد که همخوانی خوبی با اطلاعات حفاری دارد. افزون بر این، با انتخاب تعداد جملات متفاوت سری فوریه

جدول ۱- مقدار عددی پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه مقدار گرانی مدل ارائه شده در شکل ۱

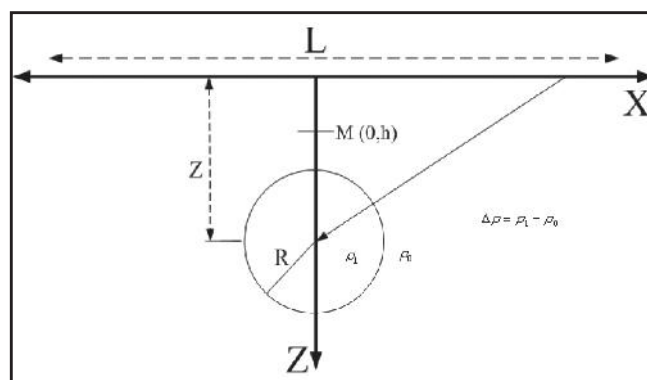
R(km)	Z(km)	$\Delta\rho$ (g/cm ³)	dx (km)	L (km)
۰/۵	۲	۰/۱	۰/۵	۲۰

جدول ۳- مقایسه نتایج حاصل از روش‌ها برای تفسیر گنبد نمکی هومبل

روش	نویسنده مقاله	مدل	ژرفای مرکز کوه (کیلومتر)
منحنی‌های شاخص	نلتون (۱۹۷۶)	کره	۴/۹۷
تبدیل ملین	موهان و همکاران (۱۹۸۶)	کره	۴/۹۶
تبدیل والش	شاو و آگراوا (۱۹۹۰)	کره	۴/۹۸
کمترین مربعات	عبدالرحمان و ت. م. العربی (۱۹۹۳)	کره	۴/۹۲
میانگین متحرک	عبدالرحمان و ت. م. العربی (۱۹۹۶)	کره	۴/۶۰
روش عددی برآورد ژرفا	عبدالرحمان و همکاران (۱۹۹۹)	کره	۳/۰۵
کمینه سازی کمترین مربعات سوم	عبدالرحمان و همکاران (۲۰۰۱-الف)	کره	۴/۹۶
روش برآورد ژرفا و شکل	عبدالرحمان و همکاران (۲۰۰۱-ب)	کره	۴/۹۵
فرمول ساده	احمد سالم (۲۰۰۳)	کره	۵/۱۵
میانگین ژرفا	براساس روش‌های فوق	کره	۴/۷۳
روش گرادین کل بهنجار شده	این مقاله	کره	۴/۸۰



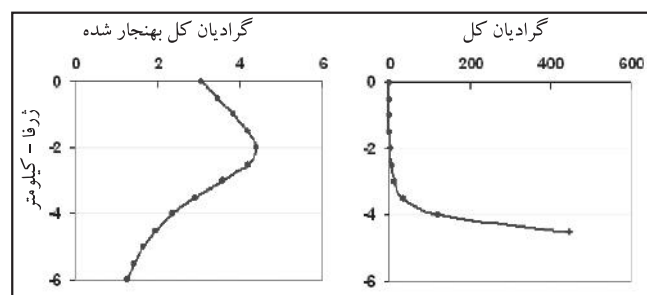
شکل ۳- مقدار گرادین کل بهنجار شده به ازای تعداد جملات متفاوت سری فوریه



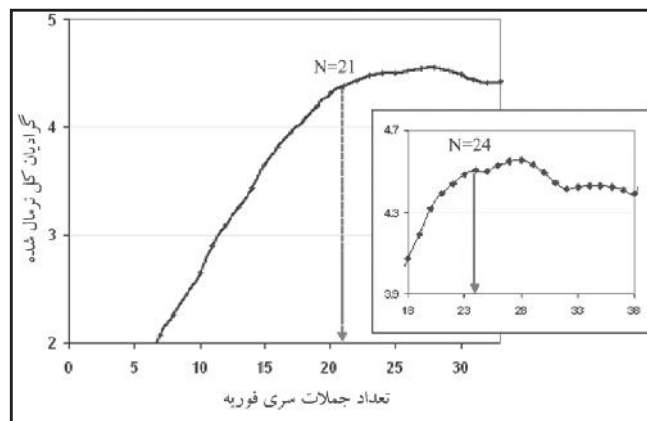
شکل ۱- یک استوانه افقی مدفون

جدول ۲- مقادیر تغییرات گرادین کل بهنجار شده به ازای تعداد جملات هارمونیک در طول محور Z

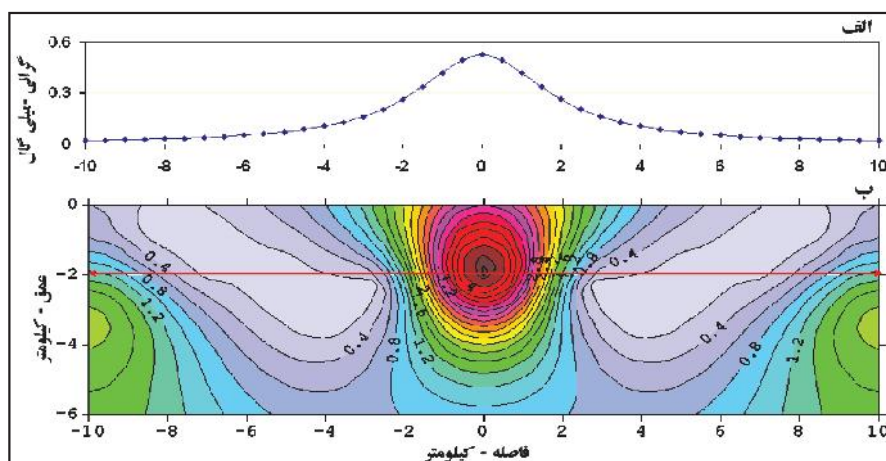
تعداد جملات هارمونیک	۲۶	۲۵	۲۴	۲۱	۱۹	۱۵
مقدار بیشینه گرادین کل بهنجار شده	۴/۵۲۸۴	۴/۵۰۰۱	۴/۵۰۴۴	۴/۳۹۱۱	۴/۱۹۱	۳/۶۵۵۲
ژرفای برآوردی (کیلومتر)	۱/۵۵	۱/۵	۱/۹۵	۲/۰۰	۲/۰۵	۲/۵
درصد خطای برآورد	۲۲/۵	۲۵	۲/۵	۰	۲/۵	۲۵



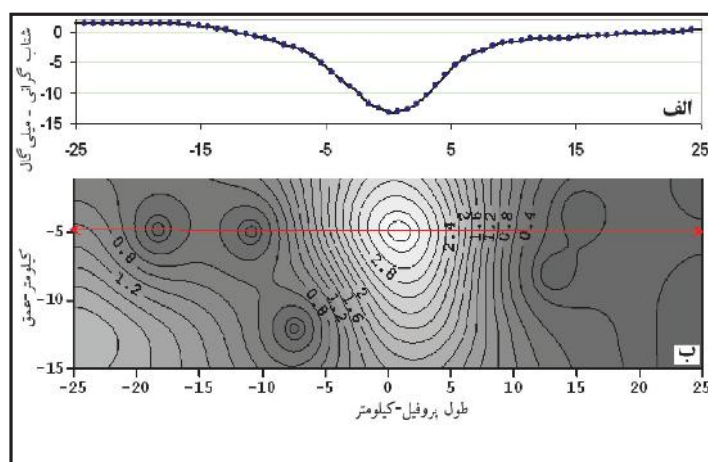
شکل ۲- نمایش تغییرات گرادین کل و گرادین کل بهنجار شده ناشی از داده‌های گرانی یک استوانه افقی در برابر ژرفا



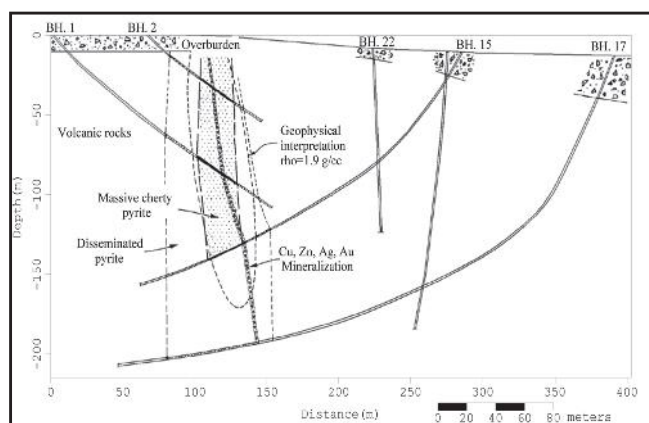
شکل ۴- نمودار تغییرات گرادین کل بهنجار شده و تعداد جملات سری فوریه



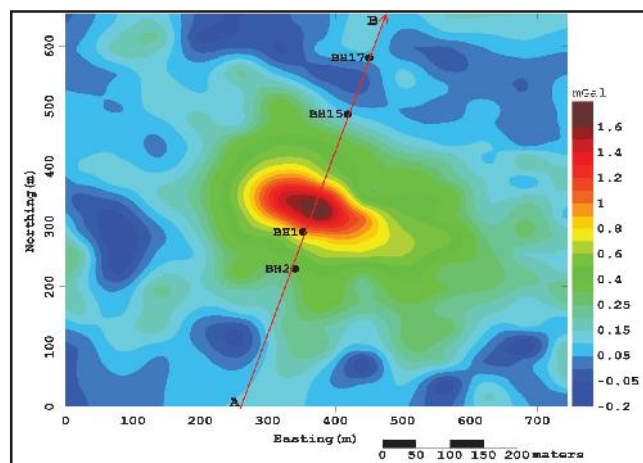
شکل ۵- الف) مقدار اثر گرانی ناشی از وجود یک استوانه مدفون در ژرفای ۲ کیلومتری (طول نیمرخ ۲۰ کیلومتر، فاصله نقاط اندازه‌گیری ۰/۵ کیلومتر) ب) مقطع گرادیان کل بهنجار شده بی‌هنجاری گرانی



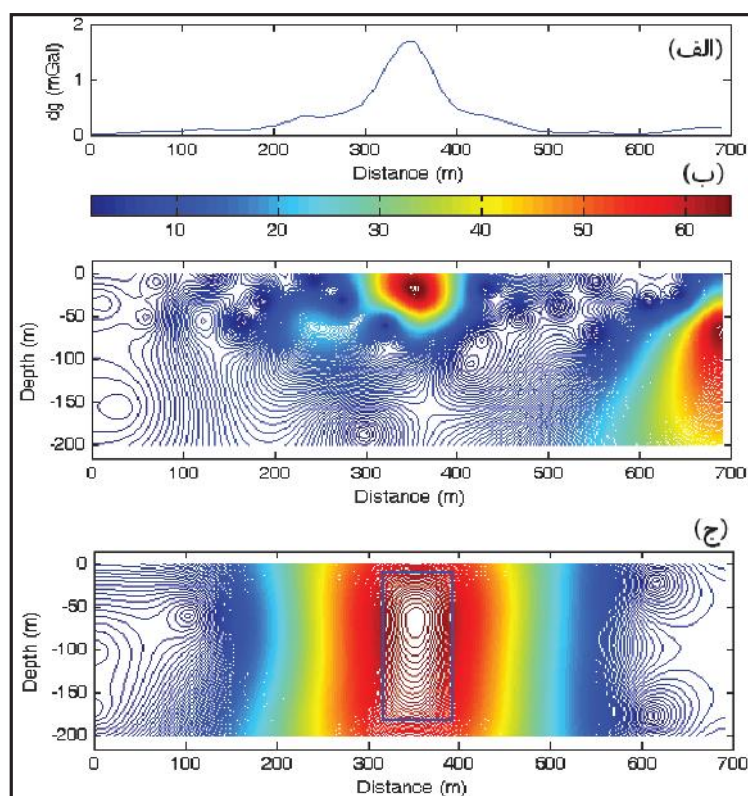
شکل ۶- الف) مقدار اثر گرانی ناشی از وجود گنبد نمکی هومبل (Nettleton & Salem, 2005).
ب) برش مقدار گرادیان کل بهنجار شده (ژرفای برآوردی با تعداد جملات هارمونیک ۱۷، ۴/۸ کیلومتر است).



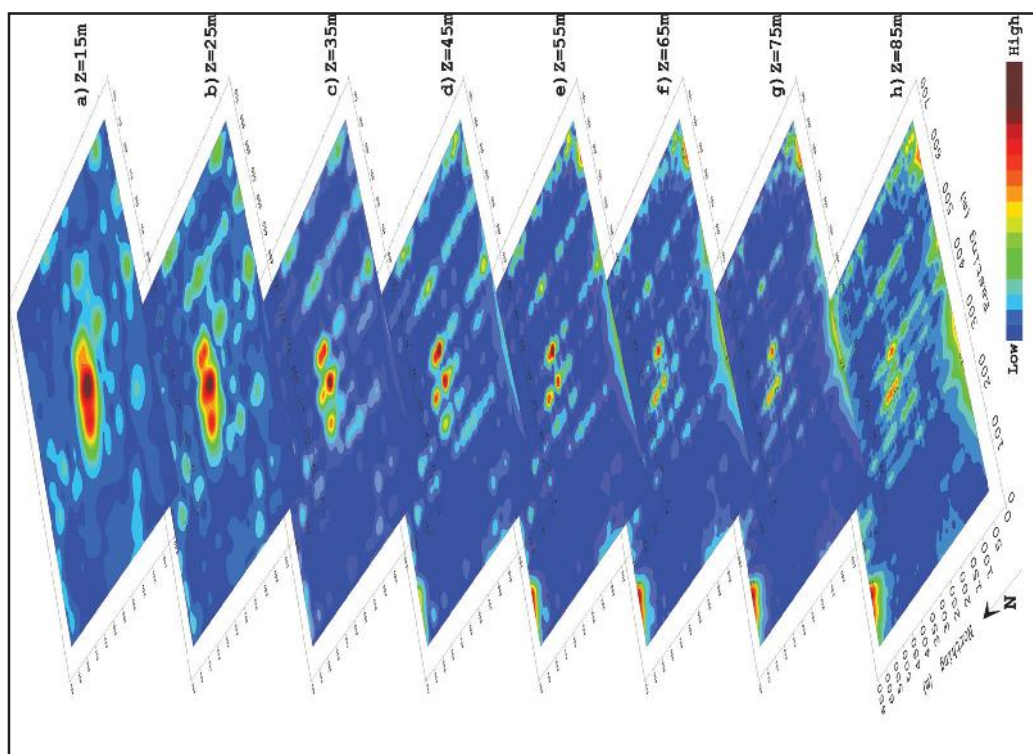
شکل ۸- برش عرضی حاصل از گمانه‌های اکتشافی و داده‌های ژئوفیزیکی روی کانسار مسیو سولفاید موبرون (Grant and West, 1965)



شکل ۷- نقشه بی‌هنجاری گرانی ناشی از وجود توده معدنی موبرون و محل حفر گمانه‌های اکتشافی (فاصله منحنی‌ها ۰/۰۵ میلی‌گال)



شکل ۹- الف) بی‌هنجاری گرانی در راستای نیمرخ A-B، در شکل ۷، ب) برش گرادبان کل بهنجارشده با تعداد جملات هارمونیک $N=44$ (ژرفای سطح بالایی توده معدنی ۱۷ متر و ج) مقطع گرادبان کل بهنجار شده با تعداد جملات هارمونیک $N=10$ (ژرفای بخش زیرین آن ۱۷۵ متر)



شکل ۱۰- نقشه مقادیر گرادبان کل بهنجارشده سه بعدی بی‌هنجاری گرانی موبرون در ژرفای ۱۵ تا ۸۵ متری (a-h)

References

- Abdelrahman, E. M. and El-Araby, T. M., 1996- Shape and depth solutions from moving average residual gravity anomalies, *Journal of Applied Geophysics*, 36: 89-95.
- Abdelrahman, E. M., Abo-Ezz, E. R. and Radwan, A. H. A., 1999- A Numerical Approach to Depth Determination from Residual Gravity Anomaly Due to Two Structures, *Pure and applied geophysics*, 154: 329-341.
- Abdelrahman, E. M. and Abo-Ezz, E. R., 2008- A Least-Squares Standard Deviation Method to Interpret Gravity Data due to Finite Vertical Cylinders and Sheets, *Pure and Applied Geophysics*, 165: 947-965.
- Abdelrahman, E. M. and El-Araby, T. M., 1993- A least-squares minimization approach to depth determination from moving average residual gravity anomalies, *Geophysics*, 59: 1779-1784.
- Abdelrahman, E. M., El-Araby, H. M., El-Araby, T. M. and Abo-Ezz, E. R., 2001(a)- Three least-squares minimization approaches to depth, shape, and amplitude coefficient determination from gravity data, *Geophysics*, 66(4): 1105-1109.
- Abdelrahman, E. M., El-Araby, T. M., El-Araby, H. M. and Abo-Ezz, E. R., 2001(b)- A new method for shape and depth determinations from gravity data, *Geophysics*, 66(6): 1774-1780.
- Aghajani, H. & Moradzadeh, A., 2008- Salt domes' depth estimation using normalized full gradient of gravity data. 21st World Mining Congress & Expo, Poland.
- Aydin, A., 2005- Evaluation of gravity anomalies by direct interpretation techniques: An application from Hasankale-Horasan region. *Journal of Engineering Sciences*, 11(1): 95-102.
- Berezkin, V. M., 1973- Application of gravity exploration to reconnaissance of oil and gas reservoirs, Nerdra Publishing House, (in Russian).
- Berezkin, V. M. and Buketov, A. P., 1965- Application of the harmonical analysis for the interpretation of gravity data (in Russian), *Applied Geophysics*, 46: 161-166.
- Berezkin, V. M., 1988- Full gradient method in geophysical prospecting, Nerdra Publishing House, (in Russian).
- Dondurur, D., 2005- Depth Estimates for Slingram Electromagnetic Anomalies from Dipping Sheet-like Bodies by the Normalized Full Gradient Method, *Pure applied Geophysics*, 162 (11): 2179-2195.
- Gerkens, J. C., 1989- Foundation of exploration geophysics, Elsevier science publishers, 667P.
- Grant, F. S. & West, G. F., 1965- Interpretation Theory in Applied Geophysics, McGraw-Hill Book Company.
- Kreyszig, E., 1979- Advanced engineering mathematics, John Wiley & Sons, 940p
- Mohan, N. L., Anandababu, L. and Seshagiri, Roa, 1986- Gravity interpretation using the Melin transform, *Geophysics*, 51(1): 114-122.
- Nettelton, L. L., 1976- Gravity and Magnetism in Oil Prospecting, New York: McGraw-Hill. 462p
- Roy, L., Agarwal, B. N. P. and Shaw, R. K., 1999- Estimation of shape factor and depth from gravity anomalies due to some simple sources, *Geophysical Prospecting*, 47: 41-58.
- Salem, A., Elawadi, E., Ushijima, K., 2003- Depth determination from residual gravity anomaly data using a simple formula, *Computers & Geosciences*, 29: 801-804.
- Seigel, I. H. O., 1957-Discovery of Moberly Copper Ltd. Sulfide Deposit, Noranda Mining District, Quebec, pp. 237-245, in *Methods and Case Histories in Mining Geophysics*, 6th Common wealth Mining and Metal Congress Proceeding, Mercury, Montreal.
- Shaw, R. K. and Agarwal, N. P., 1990- The application of Walsh transforms to interpret gravity anomalies due to some simple geometrically shaped causative sources: A feasibility study, *Geophysics*, 55: 843-850.
- Tran, T. D., 2004- Two dimensional normalized total gradient of gravity anomalies and its application for detecting the oil-gas potential areas in the southeast sedimentary basins of the East Vietnam Sea. In the Proceeding of 7th SEGJ International Symposium - Imaging Technology-Sendai, Japan. 6p.
- Zeng, H., Meng, X., Yao, C., Li, X., Lou, H., Guang, Z. and Li, Z., 2002- Detection of reservoirs from normalized full gradient of gravity anomalies and its application to Shengli oil field, East China. *Geophysics*, 67: 1138 -1147.

Jurassic and Cretaceous Magmatism in Marri – Asbkeshan Area, North –Northwest Doruneh – Kashmar Subzone (Khartouran)

R. Kohansal^{1*}, S. Zolfaghari¹ & M. Ghahraie - Pour¹

¹Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Received: 2008 July 21

Accepted: 2009 July 21

Abstract

The study area is a small part of the Sabzevar structural zone and confined between Semnan and Khorasan provinces. The oldest sedimentary rocks of this region are Middle Jurassic in age with horizons of calc-alkaline rhyolitic- rhyodacitic lavas in between. First appearance of alkaline basaltic lavas, intruded by diabasic dikes in this region appeared along with Early Cretaceous limestone. Late Cretaceous rocks include voluminous calc-alkaline rhyodacitic- rhyolitic and trachyandesitic composition as lavas and dikes, and basaltic dikes with abundant pinkish-cream plagic limestone. This has been overlaid by Paleocene rocks. Harker element variation diagrams indicate contamination and differentiation of basic magma, from a depleted mantel, which is also confirmed with spider diagrams. Tectonomagmatic signatures of Middle Jurassic and Upper Cretaceous volcanic rocks are similar to volcanic arc and syn-collisional magmas which have formed by tectonic movements of Middle Cimmerian and Laramid. Furthermore Austrian orogeny has led to development of Lower Cretaceous basic volcanic rocks within continental plate that are demonstrated in binary and ternary trace element diagrams. The Late Cretaceous-Early Tertiary Laramid orogeny leads to closure of the Neo-Tethys basin by folding and uplifting of the study area. Just in the Marri area lack of intrusive rocks pertaining to mature ophiolitic assemblage, presence of volcano-sedimentary rocks in the upper part of this succession from one side, and abundance of pressure and strike-slip faults with similar mechanism of Doruneh fault from other side, suggest an old suture zone and fast closure of this part of Doruneh- Kashmar trough, and development of colored melange in this area.

Key words: Sabzevar, Doruneh-Kashmar trough, Contamination of magma, Middle Cimerian, Austrian, Laramid, Coloured melange

For Persian Version see pages 159 to 168

* Corresponding author: R. Kohansal; E- mail: Kohansal_reza@yahoo.com

Estimation of Horizontal Location and Depth of Gravity Anomalies using Normalized Full Gradient (NFG)

H. Aghajani^{1*}, A. Moradzadeh¹ & H. Zeng²

¹ Faculty of Mining Eng., Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Schools of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences (Beijing), China

Received: 2008 November 24

Accepted: 2009 May 25

Abstract

Estimation of depth and horizontal location of anomalous bodies plays an important role for selecting exploration wells location. There are many methods for depth estimating, and most of them use high-pass filters. The Normalized Full Gradient (NFG) method is one of these methods that use Fourier series to remove deficiencies and eliminate the oscillations which appear on the downward continuation when passing through center of an anomalous body. In this paper, the main goals is calculation of NFG and present a new method for determining optimum number of Fourier terms and use them for synthetic and real two and three dimensional field data. The obtained results on synthetic data indicate that the estimated location and depth of the model is in 10 percent error with the real. The NFG method has also applied on two sets of real field gravity data to determine the location and estimate depth of Humble salt dome (USA) and massive sulfide mineralization of Moberly (Canada). For the first field data set the NFG has provided a depth to the centre equal to 4.8 km and for the second case the depth to the top section of mineralized body has been estimated 17 meters and its continuation to a depth more than 70 meters has also been confirmed. The obtained results of the NFG method on real field data in each case are in good agreement to those provided by other independent information arises from drilling and other geophysical methods. The above matter clearly illustrates that the NFG method is able enough to locate anomalous bodies and estimate their burial depth precisely.

Keywords: Gravity anomaly, Synthetic model, Salt dome, Depth's estimation, NFG, Number of Fourier series terms.

For Persian Version see pages 169 to 176

* Corresponding author: H. Aghajani ; E_mail: aghajani_hamid@yahoo.com

The Role of Clay as a Natural Geological Barrier in Oil Pollution Control of Abadan Refinery

S. R. Shadizadeh¹ & M. Zoveidavianpoor^{1*}

¹Abadan College of Petroleum Engineering, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran.

Received: 2008 October 20

Accepted: 2009 May 25

Abstract

Abadan Refinery is located between Arvandrud and Bahmanshir rivers. These rivers supply urban, industrial and agricultural water of Abadan city. During the war between Iran and Iraq, leakage of large amounts of oil and its refined products from storage tanks, pipe lines, and refinery units of Abadan refinery to surrounding environment occurred. Also, leakage of petroleum and its products during the operation of Abadan refinery to surrounding environment led to conduct a research for determination of oil pollution extension of underground layers in Abadan refinery. Utilization of clays as natural geological barriers in environmental application and pollution control has been widely recognized. Abadan city was formed by recent Estuarine; these alluviums had a diverse variety in grain size and material. In the case of dominant presence of clay in underground layers, petroleum pollution control hypothesis of Abadan refinery is confirmed. In order to prove the above hypothesis the following items were conducted: 1) determination of material type of underground layers, 2) determination of petroleum pollution in underground layers and defining the oil saturation of the cores, and 3) determination of petroleum pollution in underground waters by one year sampling of underground waters along with measurement of piezometric head of groundwater monitoring wells. Location of twenty groundwater monitoring wells was investigated by considering petroleum leakage to surrounding area during and after war. Geological underground layers of Abadan refinery was determined from coring during drilling of the groundwater monitoring wells. The results of this investigation has shown that the material type of underground layers of Abadan refinery had a significant role to encapsulate petroleum leakage, in such a manner that leaked petroleum was observed in all of the drilled boreholes. On the other hand floated leaked petroleum on groundwater was observed just in two groundwater monitoring wells. These two polluted groundwater monitoring wells were shown to be from leakage of recent activities of Abadan refinery. Finally the results show that the majority of existing petroleum in underground layers of Abadan refinery was absorbed by clay.

Key Words: Clay, Natural Barriers, Environment, Petroleum Pollution, Underground Waters, Underground Layers, Abadan Refinery.

For Persian Version see pages 177 to 186

* Corresponding author: M. Zoveidavianpoor ; E- mail: Mzoveidavian@Put.ac.ir