

شناسایی ساختار زیر سطحی و شکستگی‌های دشت امان آباد در جنوب خاوری اراک با برگردان‌سازی داده‌های گرانی

محمود میرزایی^۱، لایلا سهیلی^۲، وحید ابراهیم‌زاده اردستانی^۳ و اصغر تیموریان مطلق^۴

^۱ دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، اراک، ایران

^۲ کارشناسی ارشد، گروه ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران

^۳ استاد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۲۰

چکیده

هدف اصلی تفسیر داده‌های گرانی برداشت شده در روی سطح زمین، تعیین تباین جرم حجمی و یا شکل و ابعاد بی‌هنجاری‌های جرمی است. تفسیر داده‌های گرانی می‌تواند از راه یک مسئله وارون‌سازی صورت گیرد. در این پژوهش یک مدل بلوکی برای توده بی‌هنجار زیرسطحی در نظر گرفته شده است. با در نظر گرفتن جرم حجمی زمینه یا اولیه یکسان (حدود ۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) برای همه بلوک‌ها و با به کار بردن روش وارون‌سازی، توزیع جرم حجمی توده بی‌هنجار برآورد و تفسیر شده است. در این پژوهش برای وارون‌سازی ۲۴۶ داده گرانی، برداشت شده در سال ۱۳۸۶ در این ناحیه، از روش اکام استفاده شده است. نتایج حاصل از برگردان‌سازی داده‌های گرانی نشان می‌دهد که پاسخ گرانی حاصل از مدل برگردان شده، تطبیق مناسبی را با داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. با به کار بردن این روش وارون‌سازی، توزیع جرم حجمی لایه‌های زیرسطحی که مربوط به رسوبات و سنگ بستر در این ناحیه هستند، برآورد شده است. از آنجایی که میان سنگ بستر و لایه‌های رسوبی مختلف همواره یک تباین جرم حجمی وجود دارد، با بررسی توزیع جرم حجمی به دست آمده، جنس تشکیلات و همچنین ناپوستگی‌ها شناسایی شده است. توزیع جرم حجمی‌های تقریباً کمتر از ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در مقاطع افقی و قائم به دست آمده حاصل از وارون‌سازی به رسوبات آبرفتی نسبت داده شده است. ژرفای رسوبات که مرکب از ترکیبات شن، ماسه و رس با درصد‌های مختلف است حدوداً کمتر از ۲۰۰ متر برآورد شده است. توزیع نابرابر جرم حجمی در امتداد لایه‌ها به شکستگی‌ها نسبت داده شده است. این شکستگی‌ها در حقیقت مرتبط با بخشی از گسل تبرته در این ناحیه بوده که خود سبب ایجاد زمین‌لرزه‌هایی از جمله زمین‌لرزه‌های در محدوده شهر اراک و داوودآباد در سال‌های گذشته شده که شمار آنها زیاد ولی شدت آنها کمتر از ۵ ریشتر بوده است.

کلیدواژه‌ها: داده‌های گرانی، توزیع جرم حجمی، وارون‌سازی، روش اکام، گسل.

*نویسنده مسئول: محمود میرزایی

E-mail: m-mirzaei@araku.ac.ir

۱- پیش‌نویس

کار برده شده ابتدا مدل فرض شده دو بعدی به سلول‌های مربعی با جرم حجمی ثابت برای هر سلول تقسیم شده است؛ به طوری که جرم حجمی فرض شده اولیه در روند تکراری وارون‌سازی بهینه می‌شود. جرم حجمی با کمینه‌سازی یک تابع با هدف برازش داده‌ها بهینه می‌شود. روش به کار برده شده در عمل وارون‌سازی در این پژوهش روش اکام (Occam) است (Russell, 1946).

این روش وارون‌سازی اولین بار توسط Constable et al. (1987) برای برگردان داده‌های حاصل از سونداژ الکترومغناطیس برای یک مدل یک بعدی نوشته و توضیح داده شده است. این روش را با وارون‌سازی داده‌های مگنتوتلوریک و سونداژهای مقاومت ویژه ظاهری الکتریکی که با روش شلومبرگر برداشت شده است در یک عملیات مشترک مگنتوتلوریک-مقاومت ویژه مقایسه کردند و نشان دادند که این روش کاربرد عملی مناسبی دارد. روش وارون‌سازی اکام همچنین برای برگردان داده‌های مگنتوتلوریک برای مدل‌های دوبعدی از روی الگوریتم یک‌بعدی گسترش داده شده است (Degroot-Hedlin & Constable, 1990 & 1993). در روش به کار برده شده مدل دوبعدی زمین به وسیله شبکه‌ای مرکب از منشورهای مستطیلی شکل متغیرسازی شده که هر یک دارند یک رسانندگی یکسانند. سپس این رسانندگی‌ها طی یک فرایند برگردان‌سازی بهینه شدند.

دو روش برای وارون‌سازی داده گرانی سطحی بر پایه توزیع سه‌بعدی از تباین چگالی توسط Li & Oldenburg (1998) تعمیم داده شده است. در روش اول داده مغناطیس با استفاده از رابطه پواسون با استفاده از داده‌های گرانی به دست آمد و سپس داده‌های یادشده با استفاده از روش اول وارون‌سازی شده‌اند که نتایج معقول بوده

برداشت‌های داده‌های گرانی در مقیاس گسترده‌ای برای مطالعات زمین‌ساختی، کاوش کانی‌ها (Paterson & Reeves, 1985)، کارهای مهندسی و مسایل زیست‌محیطی (Hinze, 1990; Ward, 1990) به کار گرفته شده است. وارون‌سازی داده‌های گرانی نقش مهمی در تفسیر کمی دارد زیرا ایجاد تباین جرم حجمی مدل‌ها مقدار اطلاعاتی را که می‌تواند از داده‌های گرانی استخراج شود افزایش می‌دهد. اما مشکل بنیادین در وارون‌سازی داده‌های گرانی عدم یکنایی ذاتی است که در بیشتر روش‌های ژئوفیزیک وجود دارد. برای چیرگی بر این مشکل، روش‌های زیادی از جمله معرفی اطلاعات اولیه در روش‌های وارون‌سازی پیشنهاد شده است تا راه حل یکتا برای مسئله وارون‌سازی فراهم شود. معمولاً برای رسیدن به این هدف دو روش کلی پیشنهاد شده است؛ در یک روش متغیرهای فیزیکی مثلاً جرم حجمی یک مدل ثابت فرض و داده‌ها برای تعیین متغیرهای هندسی برگردان می‌شوند (Oldenburg, 1974; Pedersen, 1977; Chai & Hinze, 1988; Reamer & Ferguson, 1989; Guspi, 1992) و در روش دیگر متغیرهای هندسی ثابت فرض و داده‌ها برای تعیین متغیرهای فیزیکی مثلاً جرم حجمی برگردان می‌شوند (Last & Kubik, 1983; Guillen & Menichetti, 1984). برای مطالعات پیچیده‌تر، روش وارون‌سازی باید بتواند انواع مختلفی از جرم حجمی‌های اولیه و قیدهای مختلف را در روند وارون‌سازی مشارکت دهد تا مدل‌های جرم حجمی منطقی بتواند برآورد شود. به طوری که نه تنها پاسخ آنها داده‌ها را برازش دهد بلکه همچنین توافق قابل قبولی با قیدهای قابل دسترس در مدل زمین داشته باشد.

در روش دوم که همچنین برای برگردان‌سازی داده‌های گرانی در این مقاله به

مشروط بر اینکه

$$\Phi_d = \|W_d (d^{obs} - G(m))\|^2 = \Phi_d^* \quad (2)$$

که در آن m بردار متغیرهای مجهول مسئله، W_m ماتریس وزنی متغیرهای مدل، W_d ماتریس وزنی داده‌ها که یک ماتریس قطری معمولاً شامل عکس انحراف معیار هر داده است، d^{obs} بردار داده‌های برداشت شده و Φ_d^* مقدار عدم برازش مطلوب است. بنابراین می‌توان گفت که با یک مسئله بهینه‌سازی روبرو هستیم که می‌توان برای آن یک تابع هدف کلی به صورت زیر نوشت:

$$\Phi = \|W_d (d^{obs} - G(m))\|^2 + \beta^2 \|W_m m\|^2 \quad (3)$$

که در آن β متغیر تعادل (trade-off parameter) است که تعیین می‌کند هر یک از این جملات به چه اندازه باید کمینه شوند.

برای به دست آوردن مدل، باید تابع هدف کلی کمینه شود که این کار با گرفتن مشتق Φ نسبت به m و برابر قرار دادن آن با صفر به دست می‌آید ($\frac{\partial \Phi}{\partial m} = 0$). از سویی مدل پیشرو G کاملاً غیرخطی است. بنابراین حل رابطه $\frac{\partial \Phi}{\partial m} = 0$ بسیار پیچیده می‌شود. برای اینکه بتوان $\frac{\partial \Phi}{\partial m} = 0$ را حل کرد باید مدل پیشرو را به صورت محلی خطی کرد. این کار با بسط تیلور G حول یک مدل شناخته شده انجام می‌گیرد و مشتقات مرتبه‌های بالا حذف می‌شوند. فرض کنید مدل m^k در m^k تکرار k ام معلوم باشد.

برای مدل m^{k+1} می‌توان نوشت:

$$G(m^{k+1}) = G(m^k + \Delta m) = G(m^k) + \frac{\partial G}{\partial m} \Big|_{m^k} \Delta m \quad (4)$$

بنابراین تابع هدف کل برای m^{k+1} به صورت زیر است:

$$\Phi_{k+1} = \|W_d (d^{obs} - G(m^{k+1}))\|^2 + \beta^2 \|W_m m^{k+1}\|^2 \quad (5)$$

با جایگزینی رابطه ۴ در رابطه ۵ رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Phi_{k+1} = \|W_d (\hat{d}(m^k) - J(m^k)m^{k+1})\|^2 + \beta^2 \|W_m m^{k+1}\|^2 \quad (6)$$

که $J(m^k) = \frac{\partial G}{\partial m} \Big|_{m^k}$ و $\hat{d}(m^k) = d^{obs} - G(m^k) + J(m^k)m^k$ مشتقات مرتبه اول یا ماتریس ژاکوبین (Jacobian matrix) هستند که اثر تغییرات در داده‌ها را به تغییرات در متغیرهای مدل مرتبط می‌کنند. حال با کمینه کردن Φ_{k+1} نسبت به متغیرهای مدل در هر تکرار، m^{k+1} داریم:

$$m^{k+1} = [J(m^k)^T W_d^T W_d J(m^k) + \beta^2 W_m^T W_m]^{-1} J(m^k)^T W_d^T W_d \hat{d}(m^k) \quad (7)$$

رابطه ۷ رابطه پایانی روش وارون‌سازی k ام است. فرایند تکرار با استفاده از یک مدل آغازگر (starting model) شروع شده و مدل به دست آمده در هر تکرار به مدل اصلی نزدیک‌تر می‌شود تا جایی که به بهترین مدل مطلوب می‌رسد.

آنچه که در روش وارون‌سازی k ام مهم است آن است که استفاده کردن از اطلاعات اولیه و نیز وزن دهی داده‌ها و متغیرهای مدل سبب می‌شود تا عدم یکتایی کاهش یابد در نتیجه مدل پایدارتری به دست آید که می‌تواند در برابر داده‌های با نوفه بالا مقاوم‌تر باشد. در پایان، مدلی که به دست می‌آید از دید زمین‌شناسی معقولانه‌تر است و می‌توان از آن برای تفسیر تغییرات چگالی لایه زیرین استفاده کرد.

۳- وارون‌سازی داده‌های مصنوعی

آن طور که معمول است برای آنکه نقاط ضعف و قوت این روش بهتر مشخص شود، برنامه نوشته شده بر پایه روش یادشده برای برگردان‌سازی داده‌های بی‌هنجاری گرانی تولید شده حاصل از یک مدل مصنوعی به کار گرفته شده است.

روش بهینه‌سازی به کار برده شده در برنامه، بر مبنای وارون‌سازی خطی استوار است زیرا که رابطه گرانی با جرم حجمی، در کل یک رابطه فیزیکی خطی است. برنامه‌نویسی به روشی صورت گرفته است که هم می‌توان روش وارون‌سازی طراحی شده بر پایه روش SVD با میرایی انطباقی و هم روش وارون‌سازی بر پایه روش اکام را به کار برد؛ به طوری که در این روش ناهمواری مدل به اضافه عدم برازش داده با تعریف ضرایب وزنی معین به طور همزمان کمینه‌سازی می‌شود؛ بدین روش

است. در شیوه دوم داده گرانی مستقیماً با استفاده از کمینه‌سازی یک تابع هدف از مدل چگالی، برگردان شده است که در آن تابع هدف توانایی وارد کردن اطلاعات اولیه را دارد. در روش به کار برده شده یک متغیر وزنی ژرفایی استفاده شده که وابسته به ناپوستگی مدل است و همچنین در این روش سطح مدل، شبکه‌بندی شده و به صورت ژرفایی نیز با افزایش ژرفا، ستبرای هر سلول افزایش می‌یابد. مدلی که از این روش به دست آمده سازگار با ساختار زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه بوده است. برنامه‌های توسط Camacho et al. (2002) نوشته شده است که وارون‌سازی سه‌بعدی را برای داده گرانی بر طبق امکانات مختلفی (مقیاس عملیات، تباین‌های جرم حجمی‌های ثابت شده و متغیر، هموارسازی اختیاری، اطلاعات اولیه انتخابی، وزن‌دهی و ...) ارائه می‌دهد که هندسه بی‌هنجاری را با استفاده از تباین‌های مثبت و منفی معین می‌کند. روشی همانند روش وارون‌سازی اکام (روش کمترین مربعات تکرار کننده به همراه وزن‌دهی وابسته به چگالی) توسط Ekinci (2008) برای برگردان داده‌های گرانی استفاده شده و برنامه متلبی را بر پایه آن تعمیم داده است. یک برنامه نرم‌افزاری (GRABLOX) برای وارون‌سازی سه‌بعدی داده‌های گرانی توسط (Pirttijarvi 2008) نوشته شده است. در این نرم‌افزار، داده گرانی بر پایه تجزیه یک ماتریس به مقدار تکین یا روش SVD (Singular Value Decomposition) و اکام برای بهینه‌سازی جرم حجمی متناسب به بلوک‌های منشوری برگردان می‌شوند. این نرم‌افزار مدل را به صورت سه‌بعدی شبکه‌بندی می‌کند؛ به طوری که ستبرای منشورها با ژرفا افزایش می‌یابد. این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۹ تعمیم داده و با نام GRABLOX2 ارائه شد که در آن افزون بر داده‌های گرانی، گرادیان‌های گرانی نیز به صورت داده‌های ورودی قابل برگردان‌سازی هستند (Pirttijarvi, 2014). روش وارون‌سازی بر مبنای یک شیوه آماری توسط Shamsipour et al. (2010) برای وارون‌سازی سه‌بعدی از داده چاه آزمایشی و داده سطحی ارائه شده است. با ارائه دو مثال مصنوعی نشان داده شده است که این روش می‌تواند تفکیک ژرفا را بهبود بخشد. برای رهیافت به این هدف در مدل‌سازی سه‌بعدی، محیط مورد مطالعه به منشورهای مکعبی تقسیم‌بندی شده است (Shamsipour et al., 2010).

داده‌های برداشت شده در ناحیه مورد مطالعه (حوزه رسوبی دشت امان‌آباد اراک) در این پژوهش به وسیله دستگاه گرانی‌سنج دیجیتال CG3 (SCINTREX)، در امتداد نیمرخ‌هایی با راستای تقریبی باختری- خاوری و با همکاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۶ برداشت شده است. تصحیحات مختلف روی داده‌های برداشت شده با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت (Geosoft) صورت گرفته است تا داده‌های برداشت شده به بی‌هنجاری‌های گرانی بوگه تبدیل شوند. برای تفسیر داده‌های یادشده روش وارون‌سازی اکام به کار گرفته شده است که هدف از به کارگیری این روش تعیین شکستگی‌ها، جنس رسوبات و نیز ژرفای تقریبی سنگ بستر در طول نیمرخ‌های یادشده بوده است.

۲- روش وارون‌سازی

در این پژوهش، روش اکام برای برگردان داده‌های اندازه‌گیری شده گرانی ناشی از بی‌هنجاری به کار گرفته شده است که می‌توان این روش را به شرح زیر به طور خلاصه بیان کرد:

رابطه میان داده‌ها و متغیرهای مدل در یک روش وارون‌سازی می‌تواند به صورت رابطه $d = Gm$ نوشته شود، که در آن d بردار داده‌ها با طول N ، G مدل پیشرو غیرخطی و m متغیرهای مدل هستند.

همچنان که اشاره شد روش وارون‌سازی اکام (Occam) توسط Constable et al. (1987) ابداع شده است. در این روش یک تابع هدف (Φ_m) طوری کمینه می‌شود که داده‌ها با روش کمترین مربعات برازش شوند. به بیان ریاضی می‌توان نوشت:

$$\min \Phi_m = \|W_m m\|^2 \quad (1)$$

۴- برگردان داده‌های گرانی برداشت شده در بخشی از حوزه رسوبی امان‌آباد

۴-۱. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

حوضه آبریز امان‌آباد که در جنوب حوضه آبریز کویر میقان جای گرفته است میان طول‌های جغرافیایی ۴۷° ۴۹' تا ۵۹° ۴۹' و عرض‌های جغرافیایی ۳۳° ۵۰' تا ۳۴° ۴۰' شمالی قرار دارد. موقعیت ناحیه مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است. در حوضه آبریز امان‌آباد بیشترین ارتفاع مربوط به هفتادقله با ارتفاع ۲۷۲۰ متر و کم‌ارتفاع‌ترین نقطه آن نیز محل اتصال آبراه‌ها به دریاچه کویر میقان با ارتفاع ۱۶۶۰ متر است.

از دید زمین‌شناسی و تقسیم‌بندی ایران، بیشتر منطقه امان‌آباد در پهنه سندج-سیرجان و بخش کوچکی در شمال خاوری انجدان در زیرپهنه هفتادقله جای می‌گیرد. در نقشه زمین‌شناسی حد جدا کننده پهنه سندج-سیرجان و پهنه هفتادقله، گسل تبرته در نظر گرفته شده که با راستای $N45^{\circ}W$ از میان کویر میقان در دشت اراک می‌گذرد (شکل ۹).

رسوبات این منطقه بیشتر شامل اسلیت‌های آهکی مربوط به کرتاسه است. برخی توده‌های نفوذی با جنس گرانودیوریت نیز در این آهک‌ها نفوذ کرده است. جنبش‌های فاز لا‌رامید سبب چین خوردگی، بالا آمدگی و دگرگونی و نیز نفوذ توده‌های ماگمایی شده است. در اثر همین جنبش‌ها آهک‌های کرتاسه حالتی اسلیتی پیدا کرده‌اند.

روند عمومی گسل‌های بزرگ در منطقه امان‌آباد شمال باختر- جنوب خاور یعنی روند موازی با گسل بزرگ تبرته و تلخاب و همسان با روند اصلی زاگرس است. لازم به یادآوری است روند چین خوردگی‌ها نیز تقریباً موازی با روند گسلش است (میرزایی و یوسفی‌راد، ۱۳۸۵).

۴-۲. برداشت داده‌ها و تفسیر آن

تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده در منطقه امان‌آباد ۲۴۶ داده است که در امتداد ۶ نیمرخ در راستای باختری- خاوری توسط دستگاه گرانی‌سنج دیجیتال CG3 با دقت ۰/۱۰۵ میلی‌گال اندازه‌گیری شده‌اند. داده‌های گرانی برداشت شده پس از انجام تصحیحات مختلف انجام شده توسط نرم‌افزار ژئوسافت و حذف اثر روند منطقه‌ای برای برآورد توزیع جرم حجمی زیرسطحی در امتداد نیمرخ‌های برداشت شده برگردان‌سازی شده است. سپس توزیع‌های جرم حجمی‌های به دست آمده برای تعیین جنس رسوبات، ژرفای سنگ بستر و شکستگی‌های احتمالی در امتداد نیمرخ‌ها تفسیر شده‌اند.

مدل در نظر گرفته شده در زیر نیمرخ‌های برداشت شده توسط بلوک‌های منشوری سه‌بعدی تقریب شده است که تعداد بلوک‌ها در هر لایه در امتداد محورهای مختصات 4×6 و تعداد لایه‌های بلوکی ۱۰ در نظر گرفته شده است. به طوری که تعداد بلوک‌ها در کل ۲۴۶۰ بوده است. برای وارون‌سازی، جرم حجمی زمینه مدل اولیه معادل $2/6$ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است. همان‌طور که گفته شد به هر بلوک جرم حجمی نسبت داده می‌شود که باید در طی دوره‌های تکرار وارون‌سازی داده‌های بی‌هنجاری گرانی بهینه شوند. برای برآورد اثر منطقه‌ای و حذف آن از داده‌های بی‌هنجاری گرانی، از چندجمله‌ای‌های متعامد تا مرتبه سوم استفاده شده است که این مجموعه چندجمله‌ای متعامد یک روند سطحی دوبعدی را تقریب می‌کند. در شکل ۱۰ داده‌های بی‌هنجاری گرانی پس از انجام تصحیحات و حذف روند منطقه‌ای به صورت خطوط پربندی نمایش داده شده است که در آن مرکز بی‌هنجاری در مختصات (۳۷۶۷۰۰۰ و ۳۹۶۵۰۰) با بی‌هنجاری ۳/۰۲ میلی‌گال دیده می‌شود.

پاسخ گرانی ناشی از مدل برگردان شده با روش اکام با بی‌هنجاری ۳/۰۴ میلی‌گال در شکل ۱۱ و اختلاف این دو در شکل ۱۲ به تصویر کشیده شده‌اند. همان‌گونه که

جرم حجمی مربوط به سلول‌ها یا بلوک‌هایی که مدل را تقریب می‌کنند، در روند دوره‌های تکرار برگردان‌سازی، بهینه می‌شوند.

مدل مصنوعی در نظر گرفته شده یک منشور شیب‌دار سه‌بعدی است که داده‌های بی‌هنجاری گرانی حاصل از آن با اختصاص جرم حجمی معین برای آن و با استفاده از مدل پیشرو به دست می‌آید. تعداد نقاط اندازه‌گیری شده ۴۴۱ نقطه در نظر گرفته شده است که بر پایه مدل در نظر گرفته شده مقدار گرانی برای این نقاط به دست آمده‌اند. در شکل ۱ پاسخ بی‌هنجاری گرانی ناشی از مدل مصنوعی منشوری به تصویر کشیده شده است.

داده‌های محاسبه شده ناشی از مدل مصنوعی یادشده با تقریب یک مدل زیرسطحی با تعداد ۱۸۴۸ بلوک منشوری که شامل ۸ لایه منشوری است برای وارون‌سازی به کار برده شده‌اند. برای وارون‌سازی چگالی، زمینه مدل اولیه معادل ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است (جرم حجمی جسم بی‌هنجار منشوری شکل ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده) که در طی دوره‌های تکرار وارون‌سازی برای بلوک‌های منشوری این جرم حجمی در نظر گرفته شده بهینه‌سازی خواهد شد.

در شکل ۲ با استفاده از مدل پیشرو، پاسخ گرانی بلوک‌های منشوری که شامل جرم حجمی زمینه یا اولیه هستند محاسبه شده است که در آن مرکز بی‌هنجاری در مختصات (۰ و ۰) است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با مقایسه این شکل با شکل ۱ که پاسخ گرانی مدل مصنوعی واقعی است دیده می‌شود که اختلاف به نسبت آشکار است. با بهینه‌سازی جرم حجمی بلوک‌های منشوری می‌توان این اختلاف را به کمترین مقدار ممکن رساند.

با انجام روند بهینه‌سازی با استفاده از روش اکام که یک روش قیدی است، چگالی‌ها در روند تکرار بهینه‌سازی شده‌اند. در شکل ۳ پاسخ گرانی حاصل از مدل برگردان شده با روش اکام نمایش داده شده است که این پاسخ ناشی از بهینه‌سازی جرم حجمی بلوک‌هاست، که در آن مرکز بی‌هنجاری در مختصات (۰ و ۰) است. جذر مربع میانگین خطاها یا RMS (Root Mean Square) مدل در این روش مقدار ۰/۱ میلی‌گال برآورد شده است.

شکل ۴ تفاوت گرانی حاصل از مدل مصنوعی واقعی و وارون را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نشان داده شده درصد این اختلاف زیاد است، که با بررسی یک نیمرخ می‌توان علت را بیان کرد.

در شکل ۵ یک نیمرخ انتخابی که موازی محور لاهاست و موقعیت X آن نیز در روی شکل یادشده نوشته شده به تصویر کشیده شده است. در این شکل، داده‌های گرانی واقعی (نقاط دایره‌ای شکل)، پاسخ گرانی حاصل از مدل (خط پر) و اثر منطقه‌ای (خطوط نقطه‌چین) در امتداد نیمرخ یادشده نشان داده شده است. اگر چه رفتار این دو منحنی گرانی همانند هم است ولی بر هم انطباق ندارند و منحنی گرانی حاصل از پاسخ مدل، در امتداد قائم جابه‌جا شده است. دلیل عدم تطابق آن است که میدان منطقه‌ای از محلی جدا نشده است. گفتنی است که برای کارایی روش، اثر منطقه‌ای به داده‌های گرانی مصنوعی افزوده شده بود، که این اثر منطقه‌ای در شکل ۵ و در امتداد نیمرخ یادشده به صورت خط‌چین دیده می‌شود.

در شکل ۶ مقطعی از توزیع جرم حجمی زیرسطحی، حاصل از وارون‌سازی داده‌ها (بدون اثر منطقه‌ای) که در امتداد همان نیمرخ است نشان داده شده است. در این شکل اثر بی‌هنجاری به صورت بلوک‌هایی با جرم حجمی معین دیده می‌شود. همان‌گونه که در شکل مشخص است آثار جسم بی‌هنجار (منشور) به صورت بلوک‌هایی با جرم حجمی تقریباً ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب برجسته است.

شکل ۷ سطح افقی مدل وارون را نشان می‌دهد (برش افقی). آثار بی‌هنجاری جرمی در این شکل به صورت توزیع جرم حجمی، در ژرفای تقریبی ۸۳ متری از سطح با مختصات مرکزی (۰ و ۰) دیده می‌شود. اثر این بی‌هنجاری چیره مربوط به مدل منشوری در مرکز است.

حجمی کاهش می‌یابد همان‌گونه که گفته شد می‌تواند احتمالاً ناشی از هوازگی، خوردشدگی یا تغییر ترکیب در این تشکیلات سنگی باشد.

شکل ۱۸ مقطعی از مدل وارون را نشان می‌دهد که مربوط به ژرفای ۴۲۰ متری است (لایه هفتم). با توجه به مقادیر جرم حجمی‌های به دست آمده در این ژرفا می‌توان این تشکیلات را به سنگ بستر آهکی متراکم یا اثر توده‌های نفوذی نسبت داد.

شکل ۱۹ لایه نهم از مدل وارون را نشان می‌دهد که مربوط به ژرفای ۵۶۰ متری است. در این مقطع در بیشتر بخش‌ها، مقادیر جرم حجمی برآورده شده به نسبت بالاست؛ به طوری که تا حدود ۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز می‌رسند که می‌تواند ناشی از وجود تشکیلات آهکی و توده‌های نفوذی در این ژرفا باشد.

پس از بحث و بررسی که درباره توزیع مقادیر مختلف جرم حجمی روی مقاطع افقی صورت گرفت، حال به بحث و بررسی توزیع مقادیر مختلف جرم حجمی روی مقاطع قائم (موازی صفحه $Z - Y$ در موقعیت‌ها مختلف X) انتخابی پرداخته می‌شود.

شکل ۲۰ مقطعی از نیمرخ جنوبی-شمالی را که در موقعیت $X = 394488$ متر قرار دارد نشان می‌دهد؛ بخشی از این نیمرخ از بی‌هنجاری مثبت عبور می‌کند، که در آن جرم حجمی حدود ۲/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است و ۱۰۰ متر اول را تشکیل می‌دهد. بخش سطحی آن می‌تواند مربوط به اثرات رسوبات آبرفتی از جنس شن، ماسه و خاک رس و بخش ژرفایی‌تر آن می‌تواند مربوط به اثرات سنگ بستر باشد. جرم حجمی دیده شده حدود ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که در ژرفای تقریبی ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری از سطح زمین قرار دارد و مربوط به تشکیلات سنگ بستر آهکی است. تقریباً از ژرفای ۳۰۰ متری به پایین جرم حجمی تا حدود ۲/۹۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش می‌یابد که مربوط به تشکیلات سنگی آهکی است و علت افزایش جرم حجمی‌ها می‌تواند ناشی از متراکم‌تر شدن این تشکیلات باشد. در بخش شمالی نیمرخ در ژرفاهای ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر تشکیلاتی با جرم حجمی به نسبت غیر متعارف میان ۱/۵ تا ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب دیده می‌شود که ممکن است ناشی از خوردشدگی تشکیلات آهکی و هوازگی در آنها یا اثر جانبی در پدیده وارون‌سازی باشد. لازم به یادآوری است که جرم حجمی تشکیلات سنگی از سوی جنوب به شمال در امتداد لایه‌ها نیز تغییر می‌کند. تغییر جرم حجمی دیده شده در امتداد افق، از جنوب به سوی شمال در لایه‌های مختلف، می‌تواند نشان‌دهنده جابه‌جایی لایه‌های تقریباً هم‌جنس در امتداد قائم باشد. این جابه‌جایی لایه‌ای را می‌توان به شکستگی‌ها در محدوده سنگ بستر در امتداد این نیمرخ نسبت داد.

شکل ۲۱ مقطعی از نیمرخ جنوبی-شمالی را که در موقعیت $X = 395073$ متر قرار دارد نشان می‌دهد که در آن تا ژرفای ۲۰۰ متری جرم حجمی ۲/۲۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب وجود دارد که نشان‌دهنده رسوبات با محتویات شن، ماسه و رس با درصد‌های مختلف است. در ژرفای ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری جرم حجمی‌های برآورد شده مربوط به سنگ‌های تشکیلات آهکی است.

شکل ۲۲ مقطعی از نیمرخ شمالی-جنوبی $X = 396536$ متر را نشان می‌دهد که این نیمرخ از محلی که بی‌هنجاری منفی وجود دارد عبور می‌کند و تا ژرفای ۲۰۰ متری جرم حجمی ۲/۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب دیده می‌شود که مربوط به رسوباتی است که حاوی ترکیبی از شن، ماسه و رس هستند. از ژرفای ۲۰۰ تا ۳۵۰ متری در ناحیه‌ای که بی‌هنجاری منفی وجود دارد سنگ رسوبی آهکی و از این ژرفا به پایین ای بستر آهکی با تراکم و ترکیبات مختلف دیده می‌شود.

آنچه در هر سه نیمرخ دیده می‌شود این است که مقادیر جرم حجمی از سوی جنوب به سوی شمال در محدوده تشکیلات سنگی تقریباً روند کاهشی نشان می‌دهد. همچنین وجود تباين جرم حجمی‌های دیده شده در امتداد افق می‌تواند نشان از جابه‌جایی تشکیلات سنگی در امتداد قائم باشد که می‌توان آن را به شکستگی در تشکیلات سنگ بستر آهکی نسبت داد.

در شکل نشان داده شده درصد این اختلاف در ناحیه‌ای که بی‌هنجاری وجود دارد به نسبت ناچیز است، که نشان‌دهنده موفقیت آمیز بودن عمل برگردان‌سازی داده‌ها در این ناحیه با این روش است. خطای انحراف معیار (RMS) حاصل از وارون‌سازی ناچیز و تقریباً ۰/۱۵ میلی‌گال است.

در شکل ۱۳ سه نیمرخ مختلف انتخابی نشان داده شده است. همان‌گونه که در نیمرخ‌ها نشان داده شده است تقریباً نقاط دیده شده و محاسبه‌ای گرانی با هم تطابق دارند و در ۳۷۶۷۰۰۰ - ۳۹۶۵۵۲۰ نقطه‌ای است که بی‌هنجاری منفی دیده شده است و انتظار رسوبات ژرف می‌رود. در ۳۷۶۷۰۰۰ - ۳۹۴۴۹۰۰ نقطه‌ای است که بی‌هنجاری مثبت دیده شده است و انتظار بیرونزدگی تشکیلات سنگی اسلیت‌های آهکی می‌رود.

همچنان که پیش‌تر گفته شد برگردان داده‌های بی‌هنجاری گرانی برای برآورد توزیع جرم حجمی ساختارهای زیرسطحی با انتخاب یک مدل سه‌بعدی که با مجموعه‌ای از بلوک‌های منشوری تقریب شده باشد صورت می‌گیرد. برای نمایش کمی توزیع جرم حجمی‌های به دست آمده حاصل از وارون‌سازی، مقاطع افقی موازی صفحه $X - Y$ و در ژرفاهای مختلف، مقاطع قائم موازی محور Y ها انتخاب شده‌اند که توزیع جرم حجمی‌های به دست آمده در روی این مقاطع انتخابی در ادامه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

ابتدا به بررسی چند مقطع افقی که در ژرفاهای مختلف انتخاب شده‌اند پرداخته می‌شود. اولین مقطع افقی انتخاب شده مربوط به ژرفای ۷۰ متری است که این مقطع افقی در شکل ۱۴ نشان داده شده است (درروی شکل، این مقطع در حقیقت یک لایه نامیده می‌شود که مقطع یادشده در این ژرفا لایه دوم به شمار می‌رود). توزیع چیره جرم حجمی که در این شکل دیده می‌شود حدود ۲/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که می‌تواند مربوط به رسوبات آبرفتی باشد که بیشتر از شن، ماسه و رس مرطوب شکل گرفته‌اند.

در شکل ۱۵ دومین مقطع افقی مربوط به ژرفای ۱۴۰ متری نمایش داده شده است (لایه سوم). در مقطع یادشده مقادیر توزیع جرم حجمی‌های برآورد شده با مقطع پیشین خیلی تفاوت ندارد و جرم حجمی‌های چیره در محدوده ۲/۱ تا ۲/۲۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب است که بیشتر ناشی از بی‌هنجاری‌های منفی گرانی در بازه ۳ میلی‌گال هستند که در نقشه بی‌هنجاری‌های گرانی دیده می‌شود. با توجه به محدوده جرم حجمی‌های برآورده شده، این اثر می‌تواند بخشی متأثر از اثر رسوبات آبرفتی و بخش دیگر ناشی از اثر سنگ بستر اسلیت آهکی در این ناحیه باشد. در بخش شمال باختری، مقادیر جرم حجمی افزایش می‌یابد که می‌تواند ناشی از حضور تشکیلات آهکی باشد.

در شکل ۱۶ یکی دیگر از مقاطع افقی توزیع جرم حجمی که مربوط به ژرفای ۲۱۰ متری است دیده می‌شود (لایه چهارم). در این مقطع توزیع جرم حجمی‌ها با مقادیر بالاتر در بخش شمالی و باختری دیده می‌شود که مقادیر آنها تا حدود ۲/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب نیز می‌رسد که می‌تواند مربوط به اثر تشکیلات سنگ‌های آهکی متراکم‌تر در این بخش و در این ژرفا باشد. در بخش‌های مرکزی مقادیر جرم حجمی به حدود ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌رسد که به سوی جنوب کمی کاهش می‌یابد که این کاهش می‌تواند احتمالاً ناشی از تغییر ترکیبات در تشکیلات آهکی باشد. به عبارت دیگر در بخش مرکزی و به سوی جنوب این ناحیه، تشکیلات سنگی آهکی می‌تواند دچار تغییر در ترکیب، هوازگی یا خوردشدگی در تشکیلات شده باشند که اینها سبب کاهش مقادیر توزیع جرم حجمی در این بخش شده است.

در شکل ۱۷ تصویر مقطع افقی دیگری از توزیع‌های جرم حجمی ناشی از مدل وارون که در ژرفای ۲۸۰ متری قرار دارد دیده می‌شود (لایه پنجم). مرتبه بزرگی مقادیر جرم حجمی‌های به دست آمده در محدوده‌ای قرار دارند که می‌تواند مرتبط به وجود سنگ بستر آهکی در این ناحیه باشد. در بخش‌هایی که مقادیر جرم

حجمی برای رسوبات آبرفتی، بیشترین ستبرای آبرفت، در بخش مرکزی برداشت داده‌ها، که بیشترین بی‌هنجاری منفی را نیز نشان می‌داد، با ژرفای تقریبی کمتر از ۲۰۰ متر شناسایی شد. همچنین مشخص شد که ستبرای لایه آبرفتی از سوی باختر به خاور و به سوی مرکز ناحیه برداشت داده‌ها افزایش می‌یابد. محل‌های شناسایی شده با بیشترین ستبرای لایه آبرفتی، از این رو دارای اهمیت هستند که می‌توانند برای پتانسیل‌های آبی در این ناحیه مناسب باشد.

بی‌هنجاری‌های مثبت گرانی که بیشتر در بخش باختری و جنوبی دیده شده بودند، پس از برگردان‌سازی، اثر خود را در روی مقاطع، با توزیع‌های جرم حجمی‌های تقریباً بزرگ‌تر از ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب نشان دادند که این توزیع جرم حجمی‌ها به تشکیلات آهکی نسبت داده شد.

در بیشتر مقاطع مختلف افقی و قائم، افزایش جرم حجمی در تشکیلات سنگی از سطح به ژرفا آشکار بود که این افزایش به تغییر ساختار سنگ بستر از دید جنس و تراکم نسبت داده شد. در نواحی که کاهش دور از انتظاری را در جرم حجمی نشان می‌دادند، این اثر به پدیده خوردشدگی و هوازدگی احتمالی سنگ بستر که از دید فیزیکی به کاهش جرم حجمی می‌انجامد، نسبت داده شد.

تغییرات ناگهانی جرم حجمی در امتداد افق، که به صورت جابه‌جایی لایه‌ها در مقاطع مختلف قائم دیده می‌شود به شکستگی‌ها نسبت داده شد که می‌تواند مربوط به بخش کوچکی از اثر عبور گسل تبرته، در این ناحیه باشد. لازم به یادآوری است که این گسل در سال‌های اخیر سبب رخداد زمین‌لرزه‌هایی در شهرستان اراک و حومه آن (داوودآباد) شده است که زمین‌لرزه‌های بسیار با درجه‌های کمتر از ۵ ریشتر را ایجاد کرده است (برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد زمان رخداد و شدت این زمین‌لرزه‌ها می‌توان به وب سایت پژوهشگاه بین‌المللی زمین‌لرزه مراجعه کرد). بدیهی است که برای شناسایی بهتر گسل تبرته و شاخه‌های آن باید نیمرخ‌های بیشتری با طول‌های بزرگ‌تر در این ناحیه برداشت و تفسیر و همچنین روش‌های مختلف دیگر ژئوفیزیکی به خدمت گرفته شود.

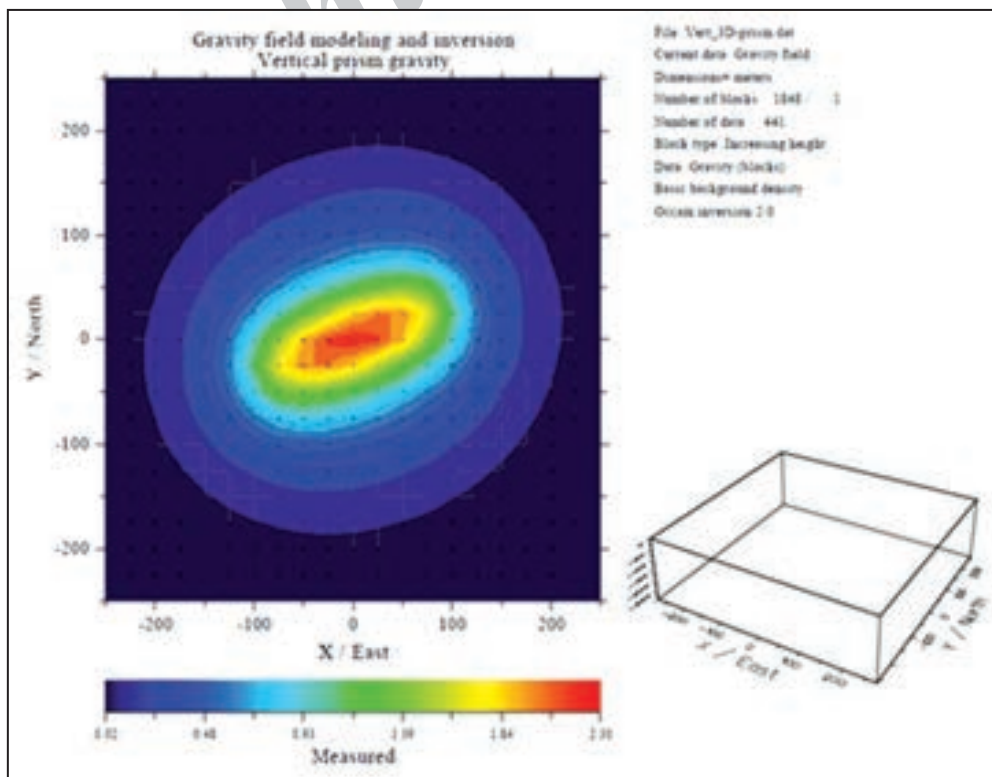
کاهش اثر جرم حجمی در لایه‌های آخر دیده شده در روی مقطع می‌تواند ناشی از اثر ذاتی کاهش آثار گرانی با ژرفا و در نتیجه تأثیر منفی آن در روند وارون‌سازی داده باشد. بنابراین ممکن است نتوان آن را به اثر تغییر جنس تشکیلات زمین‌شناسی در این ژرفا نسبت داد. اثر ذاتی کاهش گرانی با ژرفا ممکن است در نتایج حاصل از وارون‌سازی به صورت توزیع جرم حجمی نامتعارف ظاهر شود؛ همچنان که این اثر در توزیع جرم حجمی‌های بلوک‌های آخر مقطع ظاهر شده است.

۵- نتیجه‌گیری

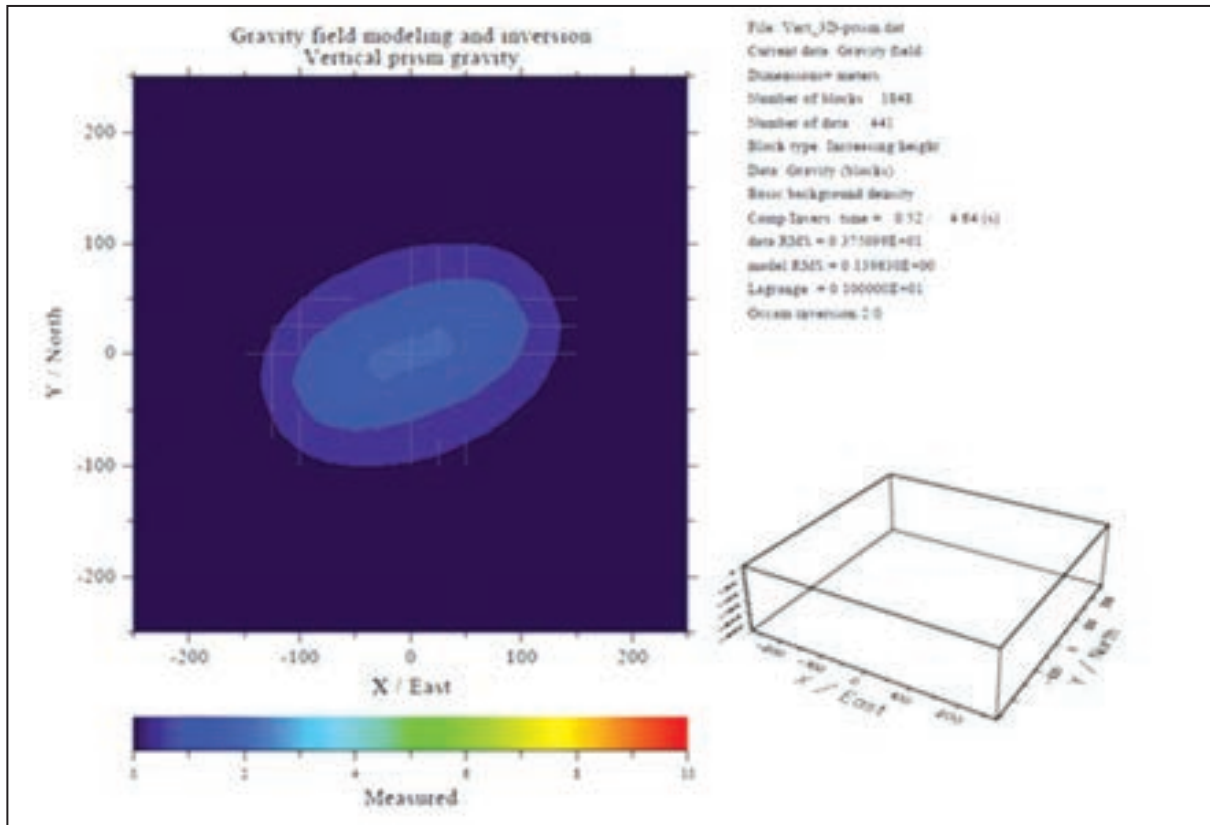
روش وارون‌سازی داده‌های گرانی به روش اکام، که روشی مقاوم در برابر نوفه است، برای تفسیر داده‌های گرانی برداشت شده در امتداد نیمرخ‌های ۶ گانه در حوزه رسوبی امان‌آباد به کار گرفته شد. یک مدل زیرسطحی انتخاب و با شماری بلوک سه‌بعدی منشوری تقریب شد. با نسبت دادن یک جرم حجمی یکسان اولیه برای همه بلوک‌ها، طی تکرار وارون‌سازی و با تعریف یک تابع هدف و کمینه‌سازی آن، این جرم حجمی‌ها بهینه شدند. تابع هدف ترکیبی وزن داده شده از عدم برازش داده‌های دیده شده و به دست آمده و عدم تطابق متغیرهای مدل یعنی جرم حجمی بود. همان‌گونه که نتایج حاصل از برگردان‌سازی داده‌های گرانی نشان داد، پاسخ گرانی حاصل از مدل برگردان شده تطبیق مناسبی را با داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده نشان داد.

توزیع جرم حجمی‌های برآورد شده ناشی از برگردان داده‌های بی‌هنجاری گرانی به نتایجی انجامید که مشروح کامل آنها در بخش تفسیر مقطع‌های جرم حجمی به دست آمده افقی در ژرفاهای مختلف و قائم در موقعیت‌های مختلف ارائه شد. نکات برجسته آنها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

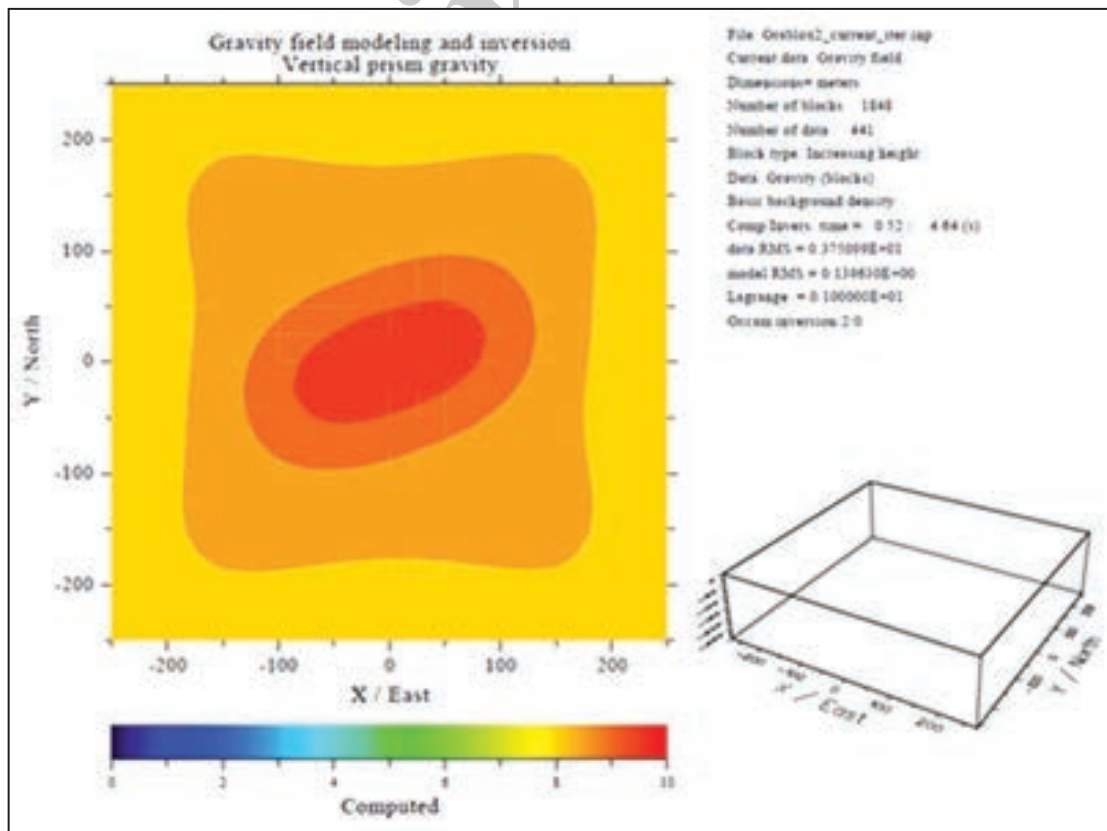
در مقاطع قائم و افقی مختلف به دست آمده از برگردان‌سازی داده‌های بی‌هنجاری گرانی، توزیع جرم حجمی‌های به دست آمده در محدوده‌های حدود ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب به رسوبات آبرفتی نسبت داده شد که بیشتر از شن، ماسه و رس با درصد‌های مختلف شکل گرفته بودند. با توجه به در نظر گرفتن این محدوده جرم



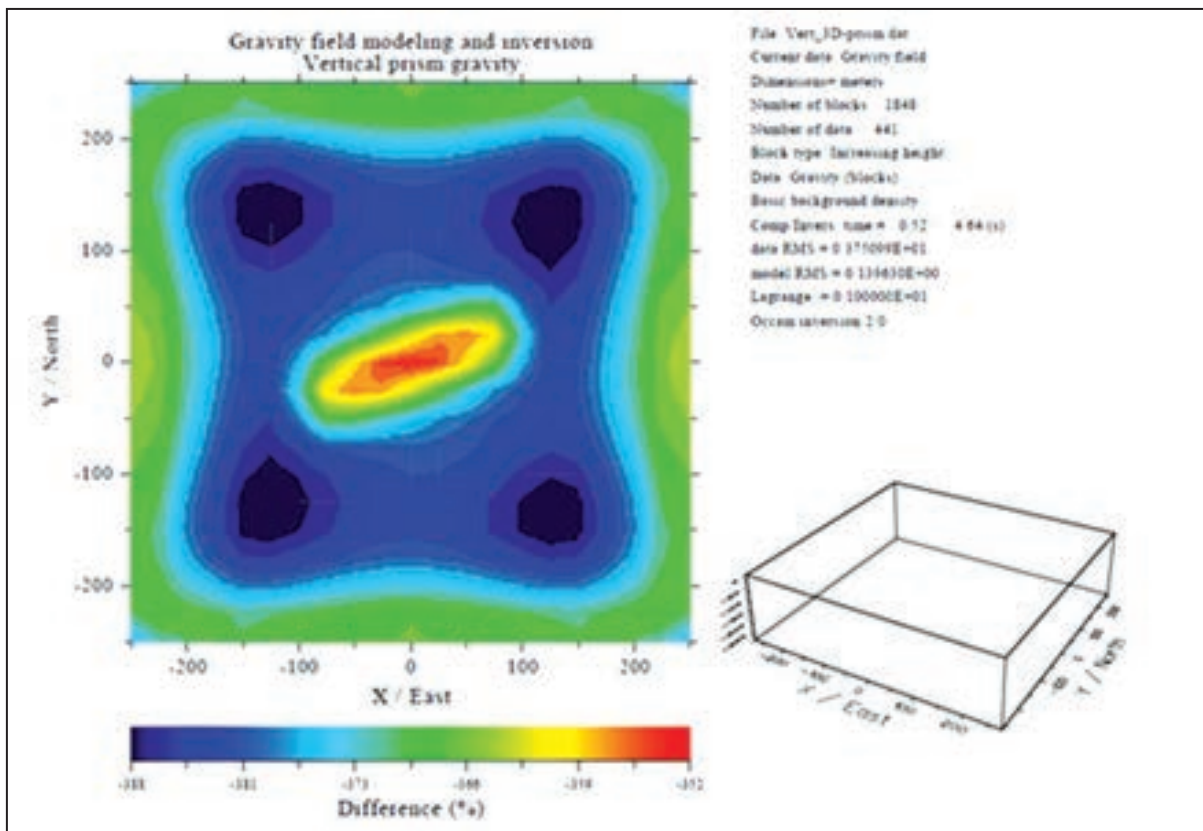
شکل ۱- بی‌هنجاری گرانی ناشی از بلوک منشوری که به صورت خطوط پرنبدی نمایش داده شده است.



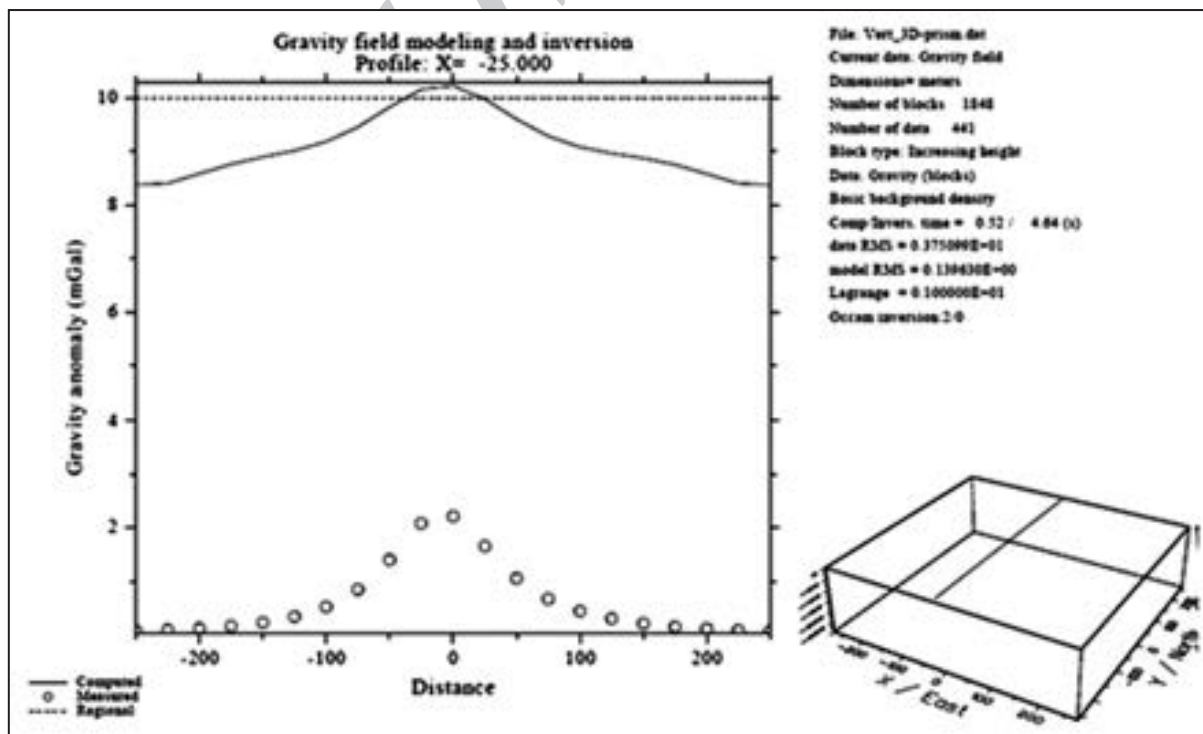
شکل ۲- پاسخ گرانی بلوک‌های منشوری که شامل جرم حجمی زمینه یا اولیه هستند.



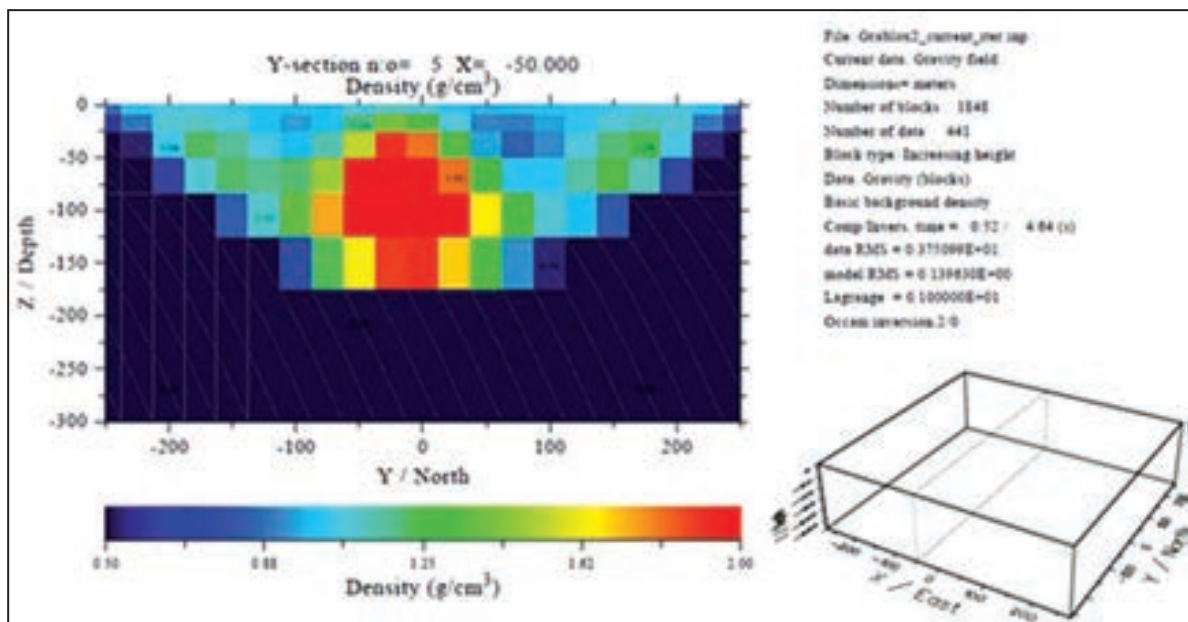
شکل ۳- پاسخ گرانی حاصل از مدل برگردان شده با روش اکام.



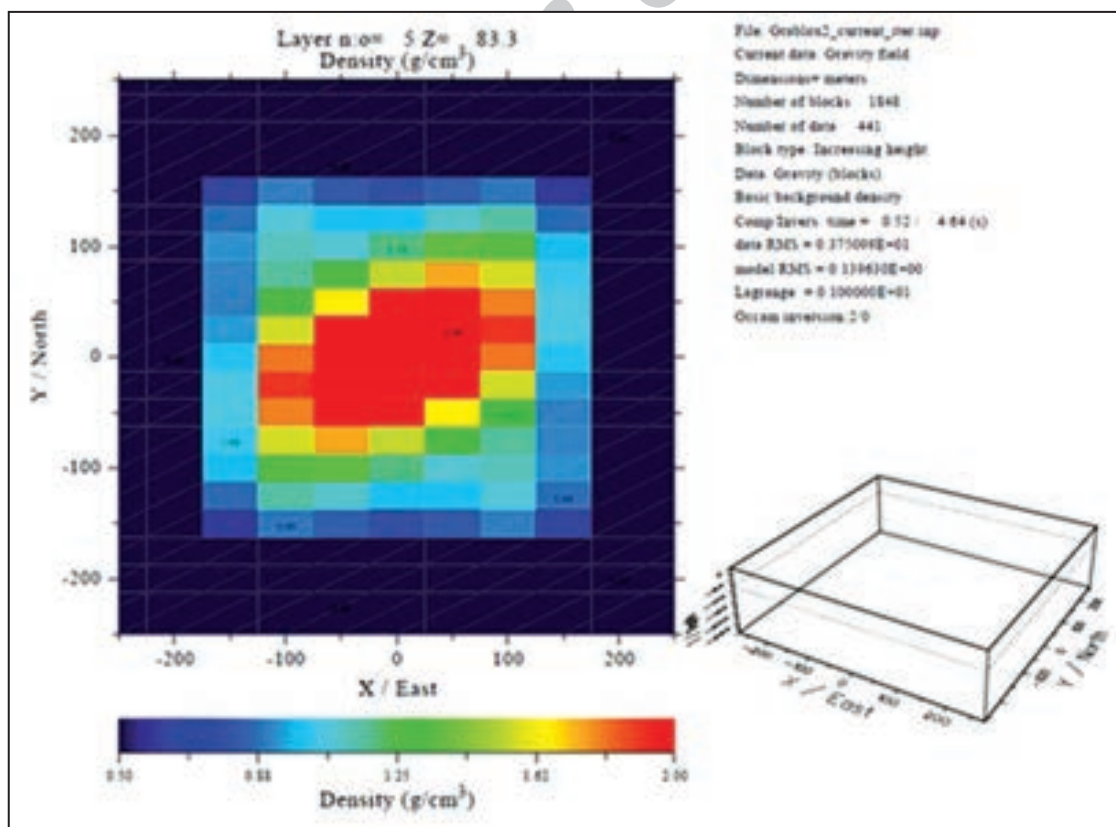
شکل ۴- تفاوت گرانی حاصل از مدل مصنوعی واقعی (شامل اثر منطقه ای) و وارون.



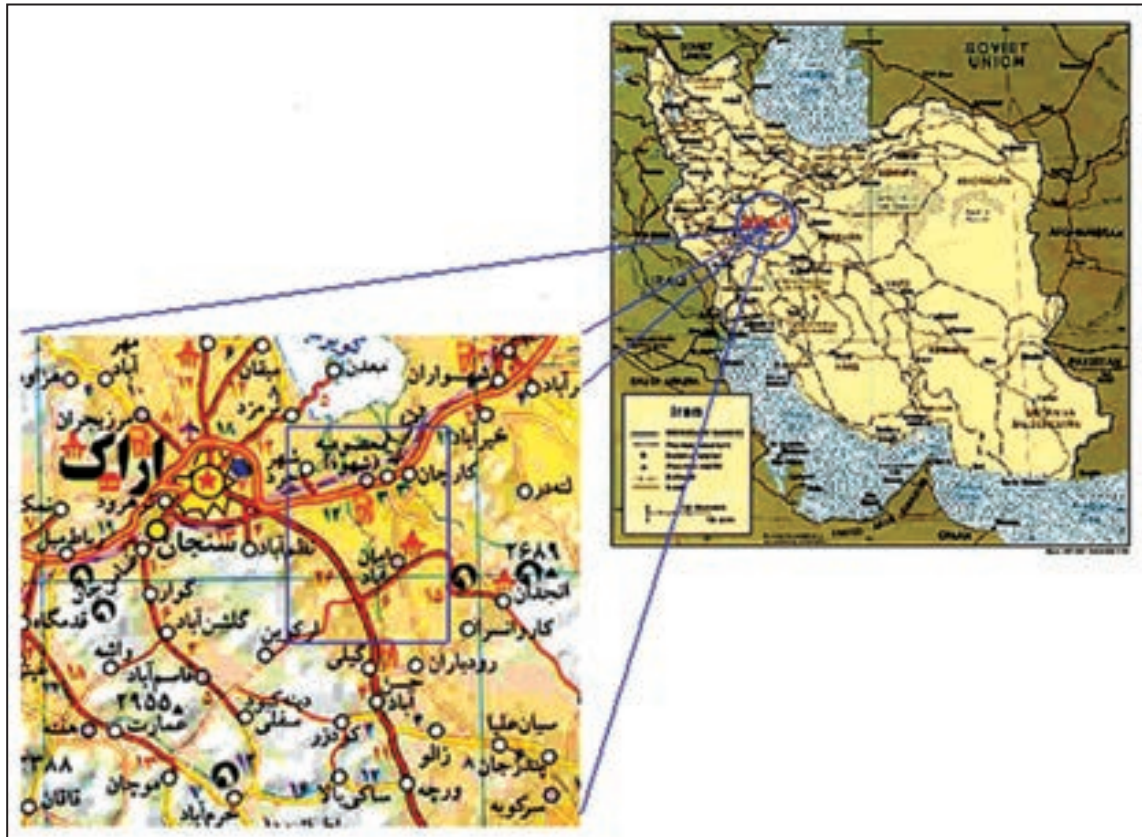
شکل ۵- نیمرخ انتخابی، موازی محور یها که در آن داده‌های واقعی با دایره، پاسخ مدل با خط پر و اثر منطقه‌ای با خطوط نقطه‌چین نمایش داده شده است.



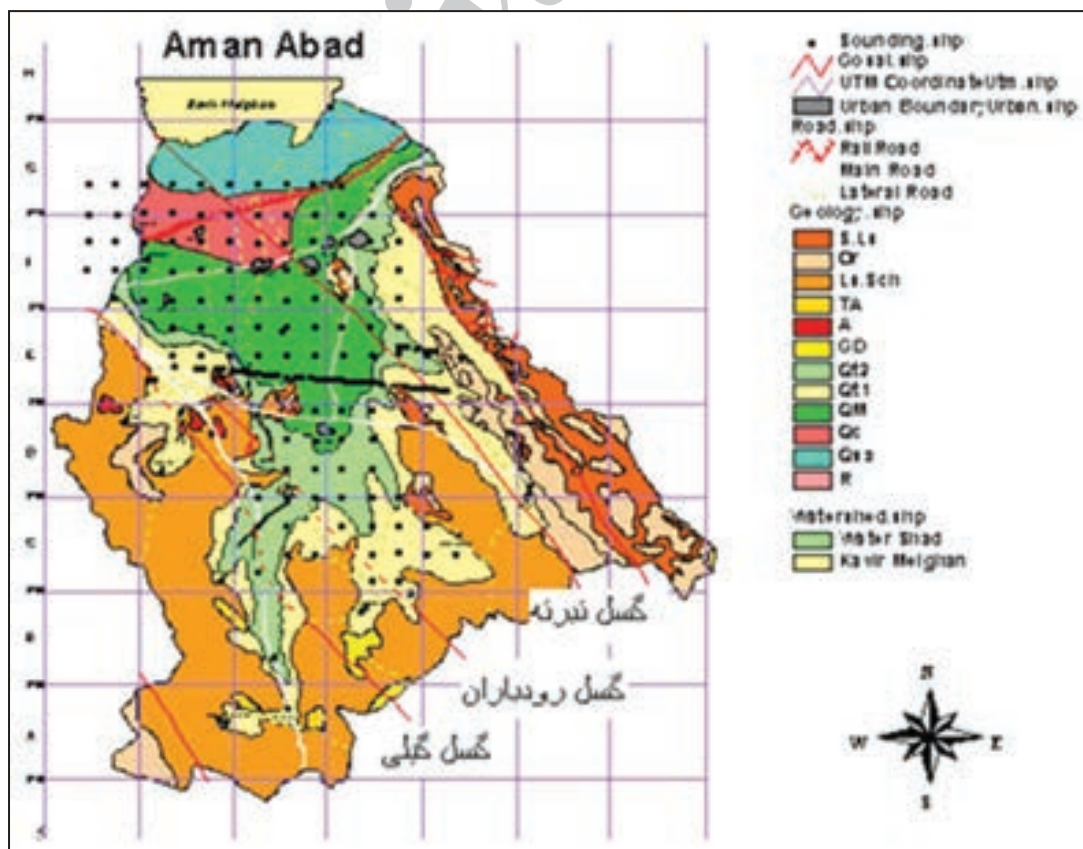
شکل ۶- توزیع جرم حجمی دوبعدی در امتداد نیمرخ انتخابی حاصل از وارون‌سازی داده‌ها.



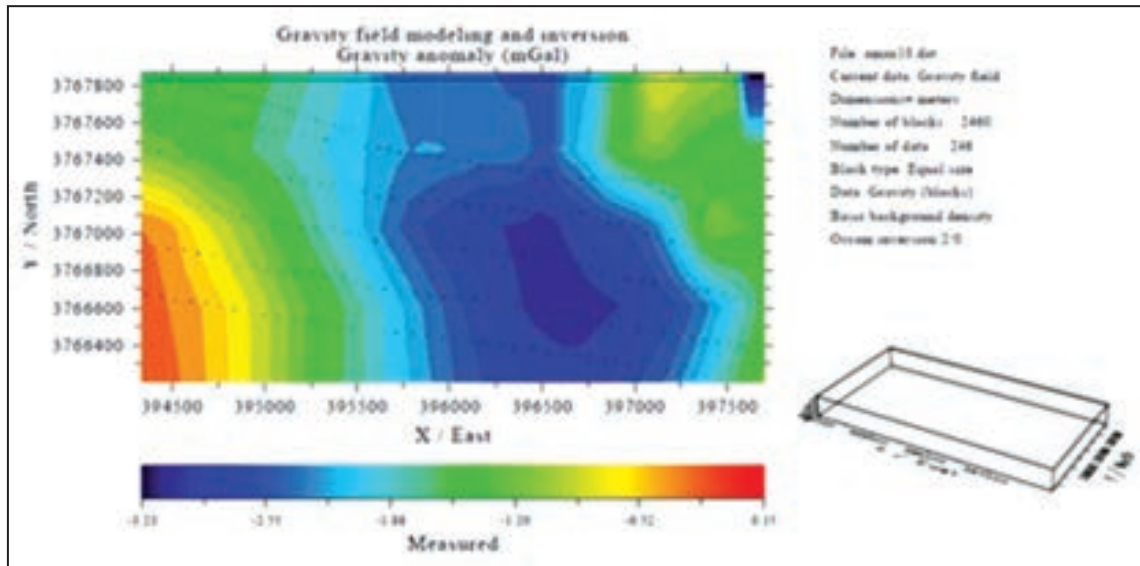
شکل ۷- توزیع جرم حجمی در سطح افقی در ژرفای تقریبی ۸۳ متری، ناشی از جسم بی‌هنگام منشوری شکل.



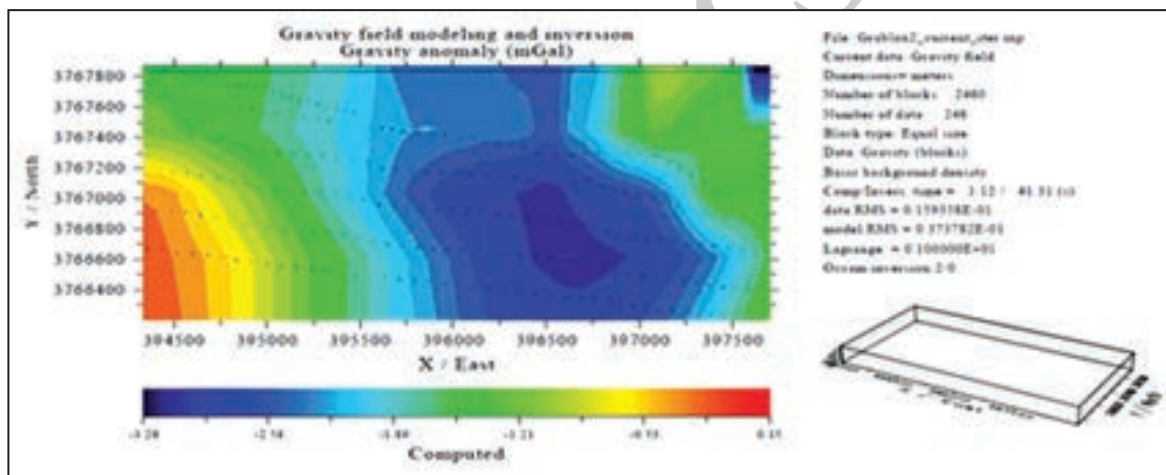
شکل ۸- موقعیت ناحیه مورد مطالعه در کشور و در سطح استان. ناحیه برداشت داده‌ها در محدود مستطیل نشان داده شده قرار دارد.



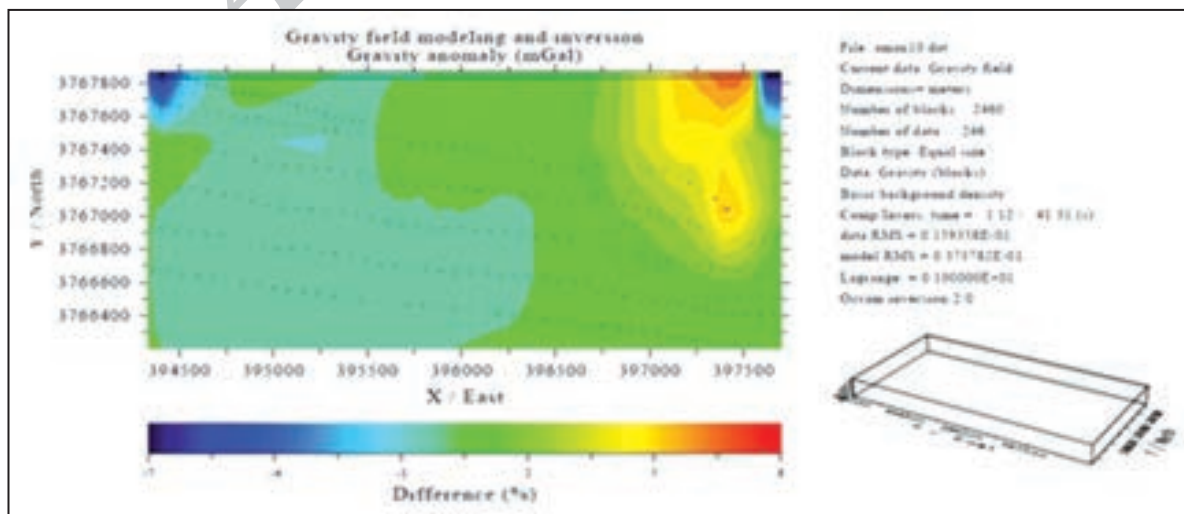
شکل ۹- نقشه زمین‌شناسی منطقه امان‌آباد (میرزایی و یوسفی‌راد، ۱۳۸۵).



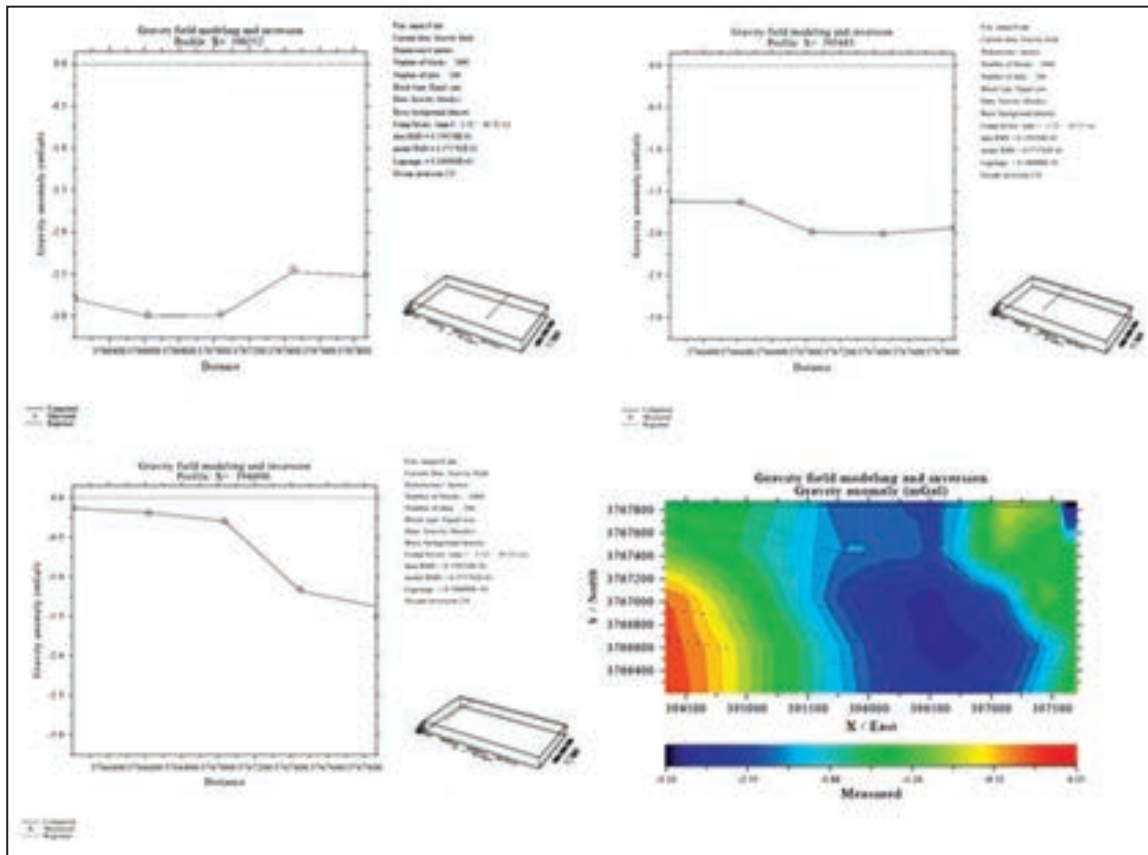
شکل ۱۰- خطوط پربندی بی‌هنجاری گرانی به همراه نقاط برداشت شده در امتداد نیمرخ‌ها.



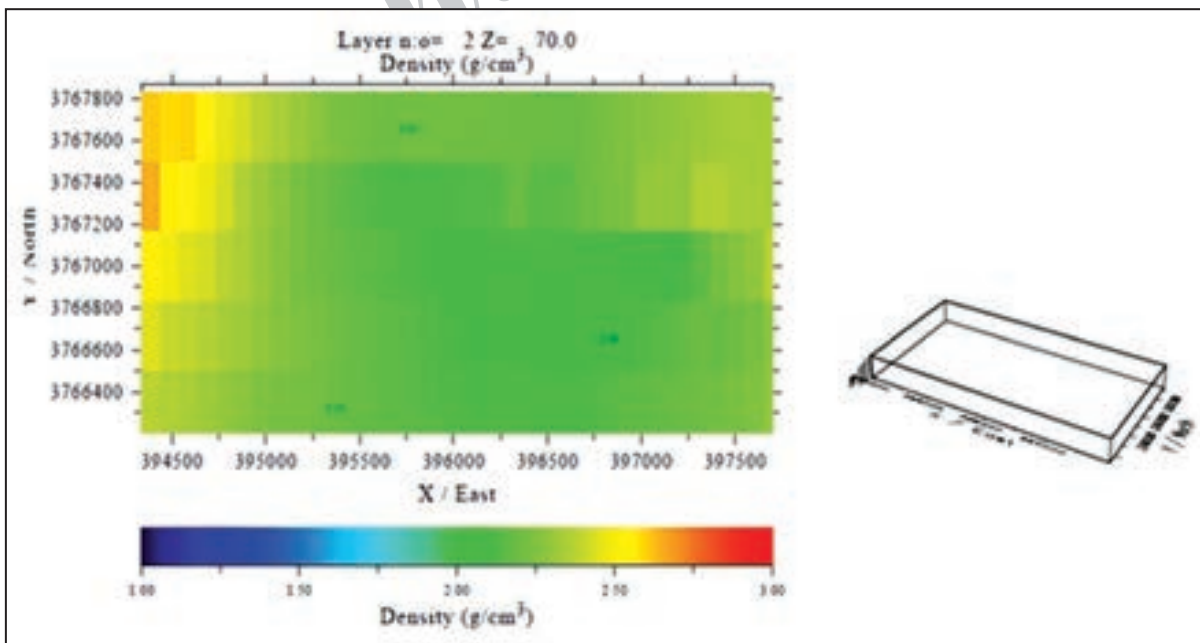
شکل ۱۱- خطوط پربندی مقادیر بی‌هنجاری‌های گرانی به دست آمده ناشی از مدل وارون بر حسب میلی‌گال.



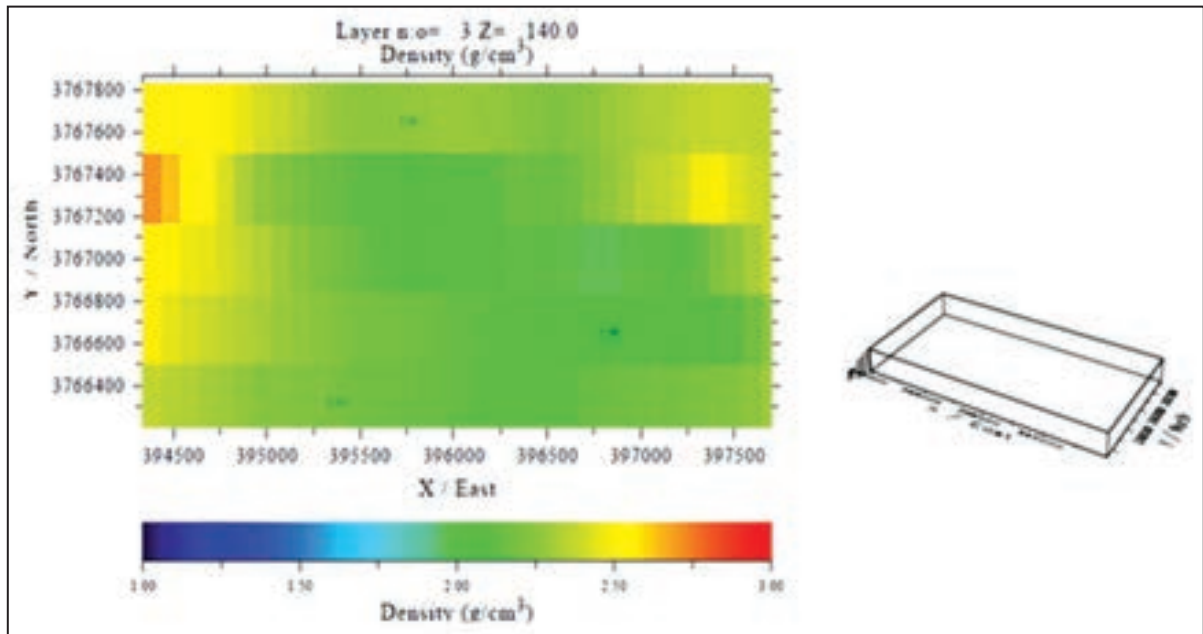
شکل ۱۲- خطوط پربندی مقادیر بی‌هنجاری‌های گرانی ناشی از اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و به دست آمده ناشی از مدل وارون بر حسب میلی‌گال.



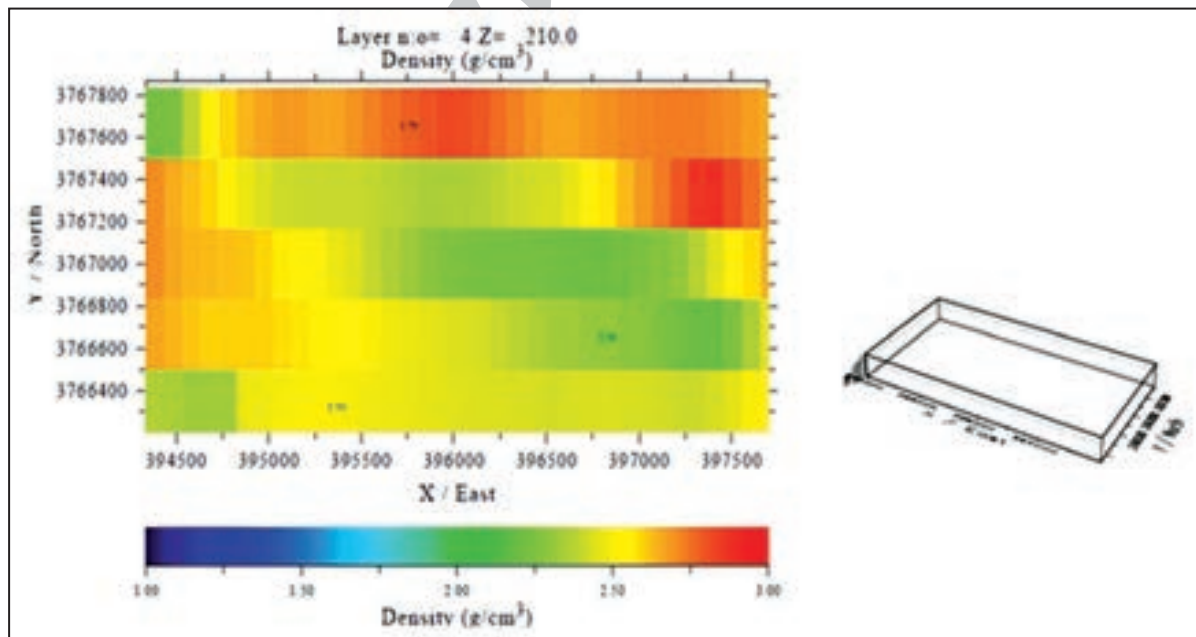
شکل ۱۳- نمایش سه نیمرخ گرانی انتخابی که موقعیت آنها در شکل نمایش داده شده است.



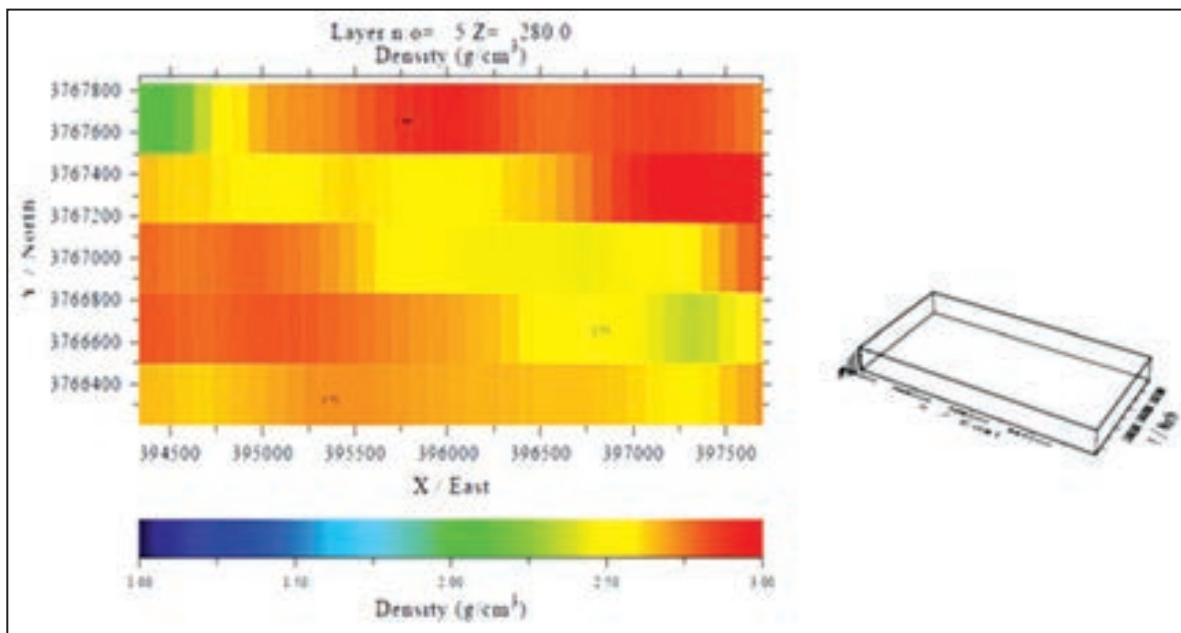
شکل ۱۴- مقطع افقی توزیع جرم حجمی‌های برآورده شده ناشی از مدل واون، در ژرفای ۷۰ متری.



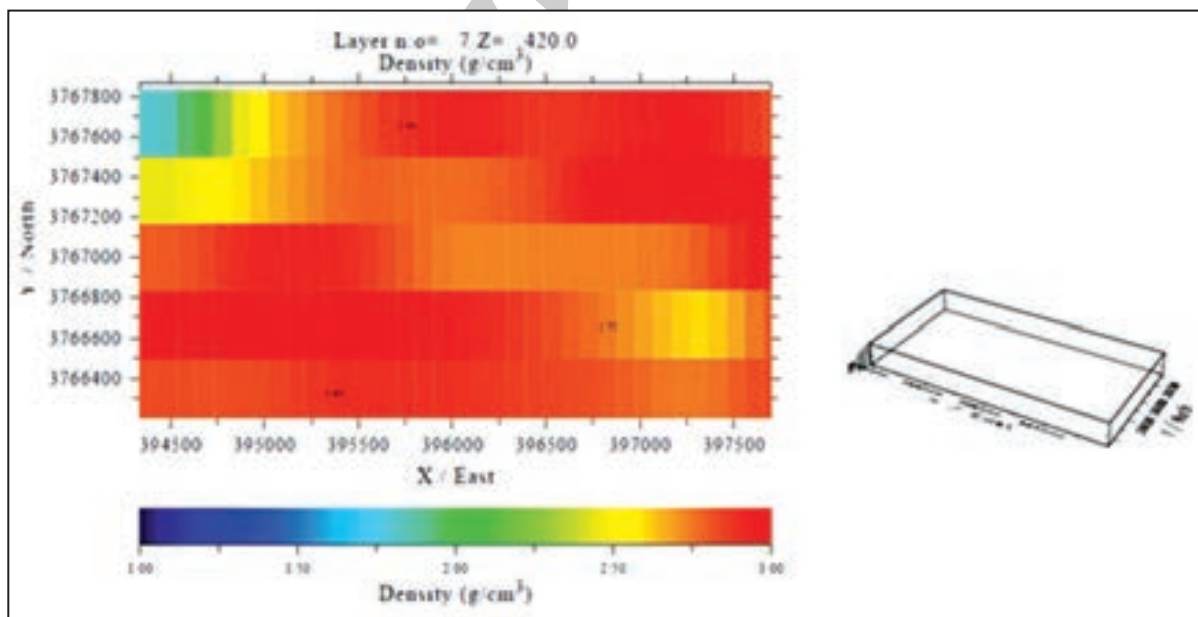
شکل ۱۵- مقطع افقی توزیع جرم حجمی‌های برآورده شده ناشی از مدل واون، در ژرفای ۱۴۰ متری.



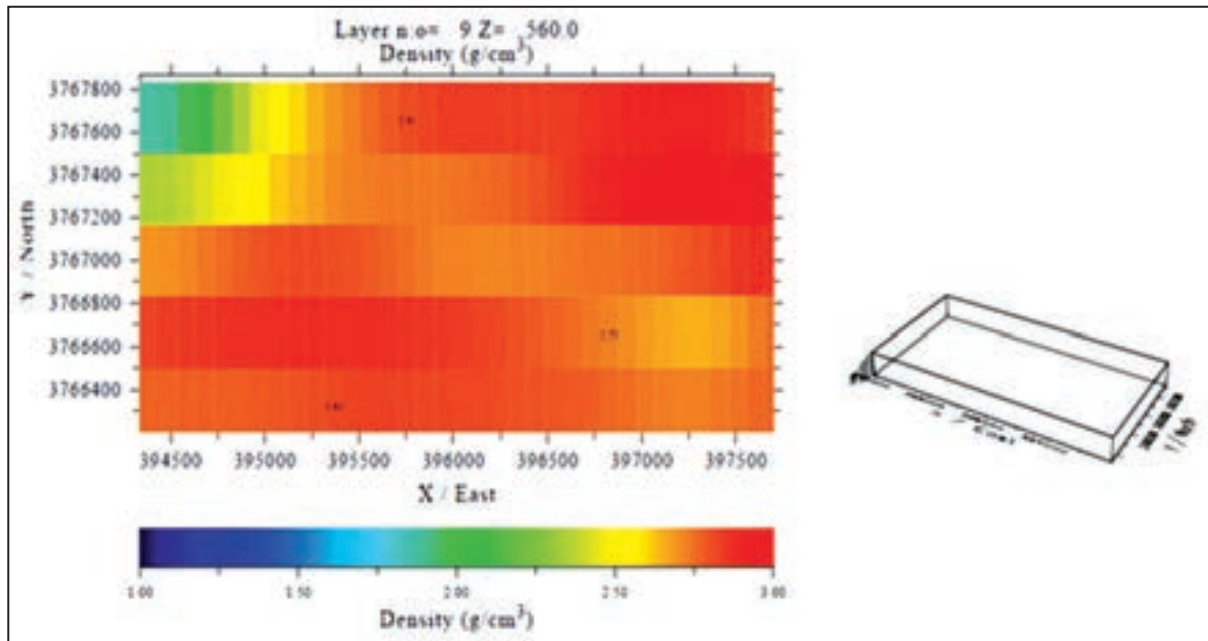
شکل ۱۶- مقطع افقی توزیع جرم حجمی‌های برآورده شده ناشی از مدل واون، در ژرفای ۲۱۰ متری.



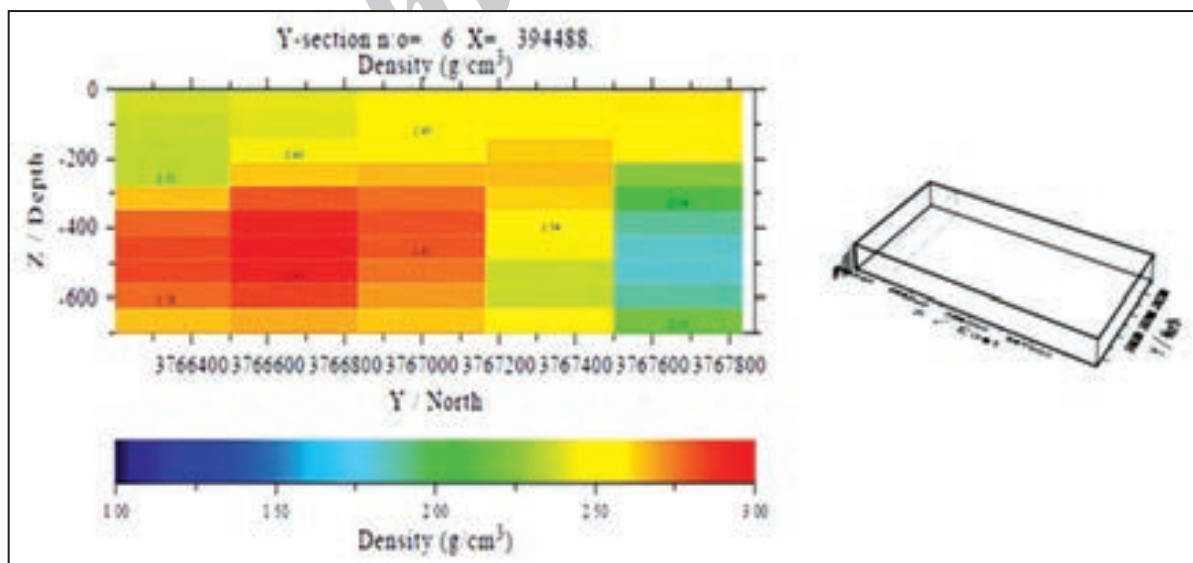
شکل ۱۷- مقطع افقی توزیع جرم حجمی های برآورده شده ناشی از مدل واون، در ژرفای ۲۸۰ متری.



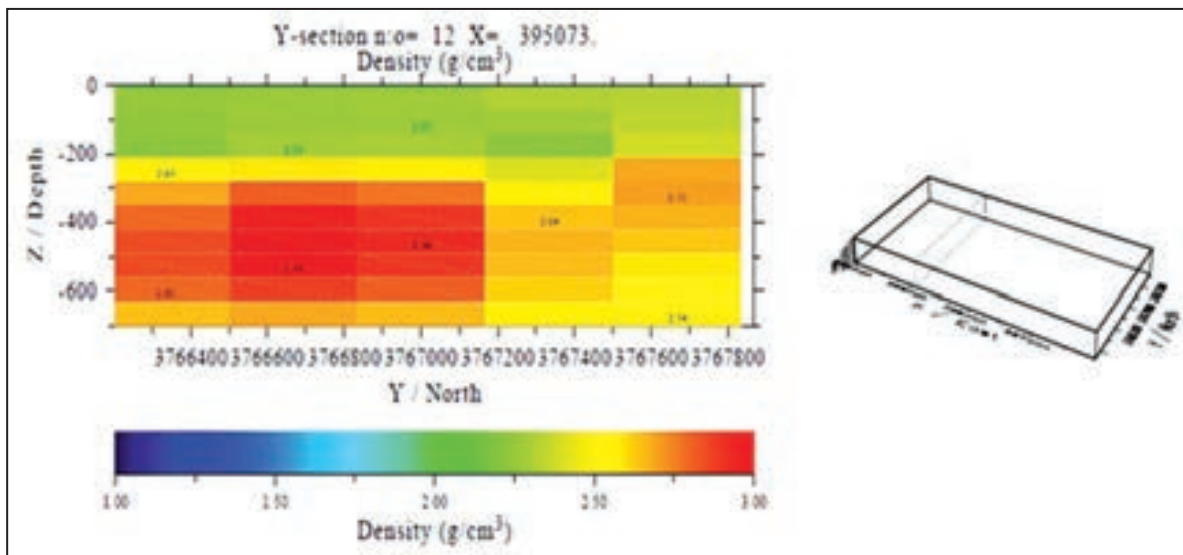
شکل ۱۸- مقطع افقی توزیع جرم حجمی های برآورده شده ناشی از مدل واون، در ژرفای ۴۲۰ متری.



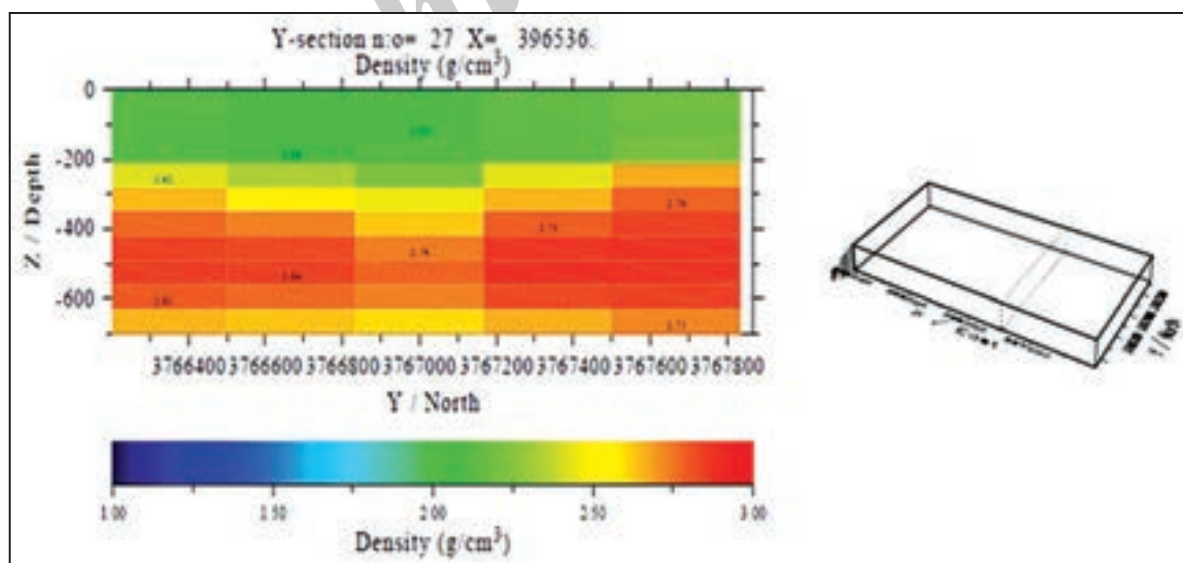
شکل ۱۹- مقطع افقی توزیع جرم حجمی‌های برآورده شده ناشی از مدل واون، در ژرفای ۵۶۰ متری.



شکل ۲۰- مقطع قائم توزیع جرم حجمی‌های برآورده شده ناشی از مدل واون، موازی محور ۹ها، در موقعیت $X = 394488$ متر.



شکل ۲۱- مقطع قائم توزیع جرم حجمی های برآورده شده ناشی از مدل واون، موازی محور Y ها، در موقعیت $X=395073$ متر.



شکل ۲۲- مقطع قائم توزیع جرم حجمی های برآورده شده ناشی از مدل واون، موازی محور Y ها، در موقعیت $X=396536$ متر.

کتابنگاری

میرزایی، م. و یوسفی‌راد، م.، ۱۳۸۵- گزارش مدل ریاضی دشت امان‌آباد، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان مرکزی، ۱۷۸ ص.

References

- Camacho, A. G., Montesinos, F. G. & Vieira, R., 2002- A 3-D gravity inversion tool based on exploration of model possibilities, *Computers & Geosciences*, V. 28, p. 191.
- Chai, Y. & Hinze, W. J., 1988- Gravity inversion of an interface above which the density contrast varies exponentially with depth, *Geophysics*, V. 53, p. 837.
- Constable, S. C., Parker, R. L. & Constable, C. G., 1987- Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data; *Geophysics*, V. 52, NO. 3, p. 289.
- DeGroot-Hedlin, C. & Constable, S., 1990- Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data, *Geophysics*, V. 55, NO. 12, P. 1613.
- DeGroot-Hedlin, C. & Constable, S., 1993- Occam's inversion and the north American central plains electrical anomaly, *J. Geomag. Geoelectr.*, V. 45, p. 985.
- Ekinci, Y. L., 2008- 2D focusing inversion of gravity data with the use of parameter variation as a stopping criterion, *Journal of Balkan geophysical society*, V. 11, No. 1, p. 1.
- Guillen, A. & Menichetti, V., 1984- Gravity and magnetic inversion with minimization of a specific functional, *Geophysics*, V. 49, p. 1354.
- Guspi, F., 1992- Three-dimensional Fourier gravity inversion with arbitrary density contrast, *Geophysics*, V. 57, p. 131.
- Hinze, W. J., 1990- The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies, *Geotechnical and Environmental Geophysics*, V. 1, p. 75.
- Last, B. J. & Kubik, K., 1983- Compact gravity inversion, *Geophysics*, V. 48, p. 713.
- Li, Y. & Oldenburg, D. W., 1998 - 3-D inversion of gravity data, *Geophysics*, V. 63, p. 109.
- Oldenburg, D. W., 1974- The inversion and interpretation of gravity anomalies, *Geophysics*, V. 39, p. 394.
- Paterson, N. R. & Reeves, C. V., 1985- Applications of gravity and magnetic surveys: The state-of-the-art in 1985: *Geophysics*, V. 50, p. 2558.
- Pedersen, L. B., 1977- Interpretation of potential field data: A generalized inverse approach, *Geophysics Prospecting*, V. 25, p. 199.
- Pirttijarvi, M., 2008- GRABLOX gravity interpretation and modeling software based on a 3-D block model, User's guide to version 1.6, University of Oulu, Department of Physical Sciences, Division of Geophysics, 60 pages.
- Pirttijarvi, M., 2014- GRABLOX2 gravity interpretation and modeling software based on a 3-D block model, User's guide to version 2.1, University of Oulu, Department of Physical Sciences, Division of Geophysics, 63 pages.
- Reamer, S. K. & Ferguson, J. F., 1989- Regularized two-dimensional Fourier gravity inversion method with application to the Silent Canyon Caldera, Nevada, *Geophysics*, V. 54, p. 486.
- Russell, B., 1946- History of western philosophy: George Allen & Unwin, Ltd.
- Shamsipour, P., Chouteau, M., Marcotte, D. & Keating, P., 2010- 3D stochastic inversion of borehole and surface gravity data using Geostatistics; EGM International Workshop Adding new value to Electromagnetic, Gravity and Magnetic Methods for Exploration Capri, Italy.
- Ward, S. H. (Ed), 1990- Geotechnical and environmental geophysics Soc. Expl. Geophys., South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Marine Micropaleontology* 2, p. 121.

Reconnaissance of Subsurface Structures and Fractures of Aman Abad Plain in Southeast of Arak by Inverting Gravity Data

M. Mirzaei ^{1*}, L. Soheili ², V. Ebrahimzadeh Ardestani ³ & A. Teymorian Motlagh ⁴

¹ Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

² M.Sc., Department of Geophysics, Islamic Azad University, Hamedan Branch, Hamedan, Iran

³ Professor, Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geophysics, Islamic Azad University, Hamedan Branch, Hamedan, Iran

Received: 2013 January 02

Accepted: 2015 May 10

Abstract

The main objective of interpretation of acquired gravity data on the Earth's surface is to determine the contrasts in density or shape/dimension of mass anomalies. Interpretation of gravity data can be done through an inversion process. In this research, a block model has been considered for the subsurface anomalous mass. By considering a constant initial density (about 2.6 gr/cm³) for all blocks and by using inversion method, distribution of density of the anomalous mass was estimated and interpreted. In this research, Occam method is used to invert 246 gravity data collected in 2007. Results of the gravity data inversion show sufficient fit between observed and calculated gravity data. Using this inversion method, distribution of density in the subsurface layers related to sediments and basement are estimated in this area. Since there is a density contrast between sedimentary layers and basement, the estimated density distribution can help to explore the lithology of formations as well as the discontinuities in them. Densities less than 2 gr/cm³ in horizontal and vertical sections obtained from the inversion are attributed to the alluviums. The depth of these sediments, which include sand, silt and clay of different percentages, is estimated to be less than about 200 m. Unequal density distribution along the layers is taken to indicate fractures. In fact, these fractures are associated with part of the Tabarteh fault in this area, which caused numerous earthquakes (but less than 5 Richters in magnitude) around the Arak and Dawood Abad cities in past years.

Keywords: Gravity data, Density distribution, Inversion, Occam method, Fault.

For Persian Version see pages 85 to 100

*Corresponding author: M. Mirzaei, E-mail: m-mirzaei@araku.ac.ir

Archive of SQUJG