

مقید کردن مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی با استفاده از اطلاعات مرز منابع موجد آنومالی گرانی

میترا محمدزاده شادمهری^{۱*}، محمدعلی شریفی^۲، وحید ابراهیمزاده اردستانی^۳، عبدالرضا صفری^۴،
امین باغانی^۴

^۱ کارشناس ارشد ژئودزی - دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
m_mohammadzade@ut.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران
{sharifi, asafari}@ut.ac.ir

^۳ دانشیار گروه فیزیک و زمین - مؤسسه ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران
ebrahimz@ut.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری فتوگرامتری - دانشکده مهندسی نقشه برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
amin_baghani@mail.kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۵، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۵)

چکیده

در داده های گرانی محل وقوع تغییرات ناگهانی آنامولی، لبه را می سازد، که با روش های کشف و آشکار سازی این لبه ها در داده های گرانی می توان به موقعیت و مرز یک توده جرم در زیر زمین دست یافت. هدف از این پژوهش، به کارگیری اطلاعات موقعیت و مرز یک توده جرم در زیر زمین جهت مقید کردن مدل سازی معکوس داده های گرانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان به منظور بهبود عدم یکتایی و اجتناب از همگرایی زودرس و یا همگرا شدن به بهینه های محلی می باشد. جهت ارزیابی روش پیشنهادی، ابتدا مدل سازی داده های گرانی سنجی بر روی یک مدل مصنوعی با هندسه نامنظم پلکانی بدون بهره گرفتن از اطلاعات جانبی لبه پیاده سازی گردید. در مرحله دوم از اطلاعات جانبی لبه ها جهت مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی مدل مصنوعی فوق الذکر، بهره گرفته شد. نتایج بدست آمده نشان داد با استفاده از این قیود، توانستیم فضای جستجو را محدود سازیم، در نتیجه کارایی های الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان در حل این مساله افزایش یافته و قادر خواهیم بود در مدت زمان کمتری به یک نتیجه قابل اعتماد دست یابیم. در نهایت روش پیشنهادی بر روی یک مجموعه داده واقعی مربوط منطقه گتوند نیز پیاده سازی گردید.

واژگان کلیدی: داده گرانی سنجی، مدل سازی معکوس، الگوریتم کلونی مورچگان، استخراج لبه

۱- مقدمه

مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی، به فرآیند شبیه سازی آنومالی اندازه گیری شده توسط آنومالی محاسبه شده به وسیله تکنیک های عددی و تحلیلی از یک مدل فرضی در زیرزمین و تخمین پارامترهای هندسی و فیزیکی آنومالی اطلاق می گردد که یکی از مهم ترین و حساس ترین مراحل تفسیر داده ها است [۹].

روش های حل مسائل معکوس به دو دسته تقسیم می شوند: (۱) روش های جستجوی محلی، این روش ها بر مبنای دیفرانسیل گیری مسائل معکوس را به صورت تحلیلی حل می کنند. شرط استفاده از این روش در اختیار داشتن اطلاعات گرادیان تابع هدف است. این روش ها سرعت همگرایی بالایی در برآورد پارامترهای مدل دارند اما مناسب بودن آن ها برای تابع هدف هایی که تنها یک کمینه محلی دارند، از محدودیت های آن به شمار می رود. [۱۲] و [۵] و [۱۳] (۲) روش های جستجوی کلی، در صورتی که تابع هدف چندین کمینه محلی داشته باشد بایستی از روش های بهینه کلی استفاده شود. از جمله این روش ها می توان شبکه های عصبی و الگوریتم های تکاملی را نام برد [۱۴]. در این راستا، برای مدل سازی معکوس غیرخطی که هدف تعیین هندسه منابع ایجاد کننده آنومالی می باشد، از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک ^۱GA [۸]، الگوریتم بهینه سازی گروهی ذرات ^۲PSO [۱۳] و الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان ^۳ACO [۱۲] استفاده شده است، مقایسه ی بین این سه الگوریتم و همچنین الگوریتم تبرید شبیه سازی SA^۴ نشان می دهد که الگوریتم ACO و PSO دارای دقت و سرعت همگرایی بالاتری نسبت به GA و SA هستند [۱۳]. در صورتی که هدف از معکوس سازی تعیین تباین چگالی باشد، ما با یک مسئله خطی روبه رو هستیم. [۲] جهت مدل سازی معکوس خطی انواع مدل های مصنوعی برای اولین بار، از الگوریتم بهینه سازی ACO استفاده کرد.

از آنجایی که یکی از مشکلات اساسی در مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی، عدم یکتایی جواب می باشد و باتوجه به اهمیت تفسیر داده های گرانی سنجی

در کاربردهای استخراج نفت و هیدروکربن ها، تعیین حفره های زیرسطحی، تعیین ضخامت لایه های رسوبی و تعیین شکل زمین، می توان از برخی روش های تفسیر کیفی داده های گرانی سنجی از جمله الگوریتم های استخراج لبه به منظور دستیابی به موقعیت مکانی و شکل منابع آنومالی گرانی، به عنوان اطلاعات جانبی در روش های مدل سازی معکوس بر مبنای الگوریتم های تکاملی استفاده کرد تا با استفاده از آن، مسأله عدم یکتایی جواب ها را از طریق مقید کردن فضای جستجو، بهبود بخشید.

[۷] با استفاده از فیلترهایی بر مبنای گرادیان افقی و عمودی، اقدام به استخراج لبه از داده های گرانی کرد. از آنجایی که فیلترهای گرادیان افقی و عمودی، توانایی کشف لبه های مورب را ندارند، بنابراین این فیلتر را نمی توان یک روش جامع و کلی برای استخراج لبه در نظر گرفت. [۳] از الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان و دو فیلتر Sobel و Perwitt جهت آشکار سازی مرز منابع ایجاد کننده آنومالی گرانی استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان داد، الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان قابلیت بالاتری در کشف لبه نسبت به دو فیلتر Sobel و Perwitt دارد.

هدف از تحقیق حاضر، بهره گرفتن از اطلاعات بدست آمده از استخراج لبه های منابع ایجاد کننده آنومالی گرانی در مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی با استفاده از الگوریتم ACO می باشد. جهت ارزیابی و مقایسه کارایی روش پیشنهادی، ابتدا مدل سازی داده های گرانی سنجی بر روی یک مدل مصنوعی با هندسه نامنظم بدون بهره گرفتن از اطلاعات جانبی مرز پیاده سازی گردید. در مرحله دوم از اطلاعات جانبی مرزها جهت مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی مدل مصنوعی فوق الذکر، بهره گرفته شد. در نهایت روش پیشنهادی بر روی یک مجموعه داده واقعی مربوط منطقه گتوند نیز پیاده سازی گردید. در پایان نتایج مربوط به هر بخش ارزیابی و مورد مقایسه قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

۲-۱- استخراج لبه منابع آنومالی گرانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان

به منظور ارتباط دادن این الگوریتم با پیکسل های سازنده لبه یک تصویر، می بایست پیکسل های سازنده لبه

^۱ Genetic Algorithm

^۲ Partical Swarm Optimization

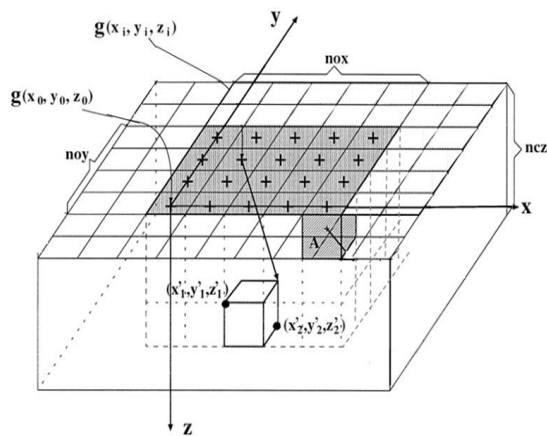
^۳ Ant Colony Optimization

^۴ Simulated Annealing

$$V_m(I_{i,j}) = |I_{i-1,j-1} - I_{i+1,j+1}| + |I_{i-1,j} - I_{i+1,j}| + |I_{i-1,j+1} - I_{i+1,j-1}| + |I_{i,j-1} - I_{i,j+1}| \quad (3)$$

۲-۲- مدل سازی داده های گرانی سنجی با استفاده از کلونی مورچگان

مدلی که در اینجا به کار رفته است، مجموعه ای از بلوک های مکعبی برای تقریب شکل فرضیه می باشد. این تقریب سه بعدی در شکل ۲ نشان داده شده است. هر یک از این بلوک ها می توانند اختلاف چگالی دلخواهی با محیط اطراف داشته باشند؛ بنابراین طبق اصل جمع پذیری اثر داده های گرانی، آنومالی گرانی در هر نقطه را می توان به صورت تقریبی از مجموع اثر هر کدام از بلوک ها دانست ([۶]).



شکل ۲- مدل تشکیل شده از بلوک های قائم که نشان می دهد آنومالی مشاهده شده در هر ایستگاه (+) مجموع اثرات ناشی از هر یک از بلوک های مجزا در آن ایستگاه است و ایستگاه های $g(x_i, y_i, z_i)$ در مرکز وجه بالایی مکعبها واقع شده اند که noy , noz , nox تعداد مشاهدات و تعداد بلوک ها در راستای x, y, z است ([۱۱]).

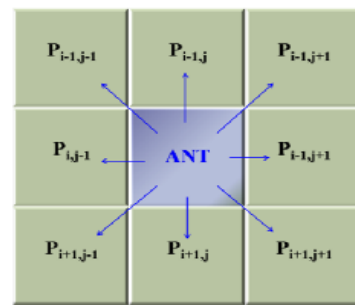
یک منشور چهاروجهی با چگالی یکنواخت ρ و با ابعاد مشخص شده در محدوده $x_1 \leq x \leq x_2$, $y_1 \leq y \leq y_2$ و $z_1 \leq z \leq z_2$ در مرکز مختصات، دارای جاذبه قائم به صورت زیر است:

$$g = G \rho \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z'}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} dx' dy' dz', \quad (4)$$

که پلوف ([۱۰]) با محاسبه عددی انتگرال بالا، فرمول زیر را عرضه کرد ([۶]):

$$g = G \rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 u_{ijk} \left[z_k \arctan \frac{x_i y_j}{z_k R_{ijk}} - x_i \log(R_{ijk} + y_i) - y_j \log(R_{ijk} + x_j) \right] \quad (5)$$

را بشناسیم. یک تصویر می تواند به صورت یک ماتریس دو بعدی متشکل از پیکسل هایی با شدت روشنایی مشخص باشد. نحوه حرکت از یک پیکسل به پیکسل های مجاور توسط گراف شکل ۱ نمایش داده شده است. مولفه های این گراف پیکسل های تصویر هستند، حرکت از یک پیکسل به پیکسل های مجاور ۸ مسیر گوناگون را می سازد که برای رسیدن به پیکسل های سازنده لبه یا گوشه ها به هم متصل می شوند. مورچه ها گراف را با حرکت از یک پیکسل به پیکسل مجاور می پیمایند.



شکل ۱- جستجوی محلی مورچه ها

هشت انتخاب برای جابجایی مورچه به پیکسل مجاورش وجود دارد که احتمال حرکت از یک مکان مانند S_i به مکان همسایگی مانند S_j در معادله ۱ تعریف می شود:

$$p_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{s_j \in Allowed} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} & \text{if } s_j \in A \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن $\tau_{ij}(t)$ وزن شاخه (مقادیر فرمون) ما بین S_i و S_j در لحظه t است. مقدار α تأثیر فرمون و مقدار β داده های اکتشافی را به ترتیب کنترل می کنند و A مجموعه ای از مکان های همسایگی است که توسط مورچه ای بازدید نشده است. همچنین η_{ij} اطلاعات مربوط به جستجو در مورد پیکسل (نوز) توسط تابع زیر تعریف معرفی می شود:

$$\eta_{ij} = \frac{V_m(I_{i,j})}{V_{max}} \quad (2)$$

که $I_{i,j}$ مقدار شدت پیکسل (نوز) است. V_{max} ماکزیمم مقدار شدت در پیکسل های کل تصویر است و مقدار $V_m(I_{i,j})$ از رابطه زیر بدست می آید:

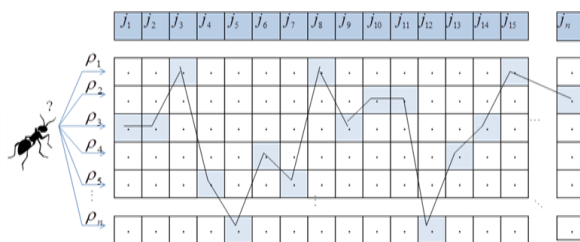
$$u_{ijk} = (-1)^i(-1)^j(-1)^k \text{ و } R_{ijk} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2} \text{ که:}$$

در حالت کلی می توان اثر بلوک های تولید کننده آنومالی گرانی را به صورت ضرب ماتریسی زیر نشان داد:

$$g_i = \sum_{j=1}^M A_{ij} \rho_j \quad (6)$$

که g_i جاذبه قائم در نقطه اندازه گیری i ، ρ_j چگالی قسمت j و A_{ij} جاذبه گرانشی در نقطه i مربوط به قسمت j با چگالی واحد است. از آنجایی که هدف در این تحقیق مدل سازی خطی می باشد، ماتریس ρ_j (تباین چگالی هر بلوک مکعبی) مجهول می باشد که بایستی با استفاده از الگوریتم ACO بدست آورد.

اولین مرحله در حل مسائل بوسیله الگوریتم فراابتکاری ACO ساختاردهی راه حل های موجود در قالب یک گراف می باشد ([16])، گراف مورد نظر برای مسئله مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی مطابق شکل ۳ طراحی شد.



شکل ۳- نحوه پیمایش مورچه ها در گراف ساخت حل مساله

در این گراف هر ستون نشان دهنده یک بلوک مکعبی است، در واقع یک گره که مورچه باید آن را ببیند و سطرها نیز مقادیر مختلفی از تباین چگالی می باشد که از مطالعات زمین شناسی در آن منطقه به عنوان اطلاعات اولیه وارد مسئله شدند. به منظور تصمیم گیری در خصوص انتخاب مقدار تباین چگالی

برای هر بلوک مکعبی، بایستی رابطه ای طراحی گردد که نه تنها بر اساس احتمال کار می کند بلکه بتوان انتخاب هایی براساس تصادف نیز داشته باشیم، بدین منظور رابطه γ متناسب با هدف مورد نظر طراحی گردید. با استفاده از این رابطه مورچه ها می توانند بر اساس احتمال یا تصادف تصمیم بگیرند که کدام گره بایستی به عنوان گره بعدی انتخاب شود (چه چگالی ای برای هر بلوک مکعبی انتخاب شود).

$$G_i = \begin{cases} \text{Max}\{ph_i(t)\} & \text{if } q_0 > q_i \\ J & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (7)$$

که $ph_i(t)$ میزان فرومون (وزن) موجود بر روی گره i ام در تکرار t ام می باشد و $\text{Max}\{ph_i(t)\}$ نیز نشان دهنده انتخاب گره ای است که از بیشترین فرومون انباشته شده بر روی خود (وزن بیشتر)، برخوردار است. در رابطه بالا J یک تابع تصافی است، در واقع این تابع برداری است به ابعاد تعداد سطرهای گراف که هر کدام از داریه های این بردار منتسب به یکی از گره های یک ستون از گراف می باشد. اعداد این بردار به صورت کاملاً تصادفی پر می شوند به طوری که تمامی اعداد آن صفر و تنها یکی از داریه های آن یک می باشد. گره مربوط به داریه ای که عدد یک به آن منتسب می شود بایستی توسط مورچه ها به عنوان گره بعدی بازدید شود. در رابطه فوق، q_i یک مقدار تصادفی متعلق به بازه $[0, 1]$ می باشد که برای هر بلوک مکعبی در هر تکرار تولید می شود و با q_0 که پارامتر مسئله است، مقایسه می گردد. q_0 عددی است در بازه $[0, 1]$ که با توجه به شرایط مسئله به صورت آزمون و خطا تعیین می گردد و در تمامی تکرارها ثابت باقی می ماند، در واقع با استفاده از این پارامتر می توان درصد دخیل بودن تصادف یا احتمال در انتخاب گره بعدی را تغییر داد، اتخاذ مقادیر بالای این پارامتر (بیشتر از $0/5$) منجر به انتخاب گره ای می شود که احتمال بالاتری نسبت به سایر گره ها را دارد (گره ای که فرومون بیشتری دارد) و مقادیر کوچک q_0 (کمتر از $0/5$) باعث می شود مورچه ها گره بعدی جهت پیمایش را به صورت تصادف انتخاب کنند، در نتیجه نقش احتمال در این حالت کم رنگ خواهد شد.

هر مورچه با پیمایش کل گراف ماتریس ρ ای می سازد که با قرار دادن این ماتریس در رابطه ۶، آنومالی گرانی برای تمام ایستگاه ها محاسبه می شود. در ادامه بایستی کیفیت جواب های بدست آمده توسط مورچه ها مورد ارزیابی قرار گیرد. تابع برازندگی مورد استفاده در این تحقیق، مطابق رابطه ۸ طراحی گردید:

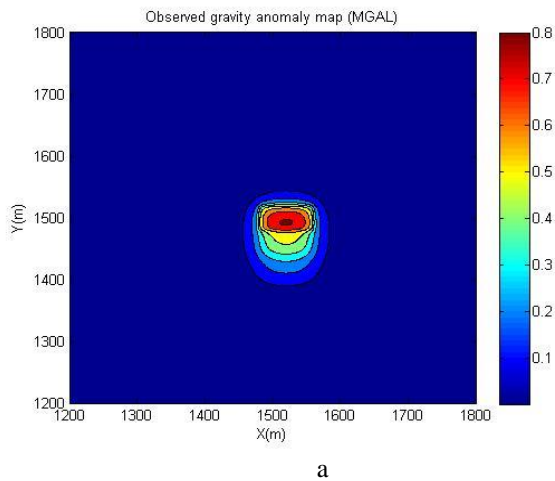
$$\Delta ph_i^k = \frac{1}{(e^{\text{Sum of Error}^k})^{0.5}} \quad (8)$$

که: $\text{Sum of Error} = \sum_{i=1}^N |g^o - g^c|$

در رابطه بالا، N تعداد ایستگاه مشاهداتی و Δph_i^k میزان فرومون (برازندگی) منتسب به چگالی انتخاب شده برای بلوک های مکعبی توسط k امین مورچه را نشان

ACO بر روی یک مدل مصنوعی با هندسه نامنظم بدون بهره گرفتن از اطلاعات جانبی مرز پیاده‌سازی می‌شود و در مرحله دوم از اطلاعات جانبی مرزها جهت مدل‌سازی معکوس مدل مصنوعی فوق الذکر، استفاده می‌شود. در هر دو حالت ماکزیمم عمق و مینیمم ماکزیمم مقدار تباین چگالی در منطقه به عنوان اطلاعات اولیه وارد مسأله می‌شود.

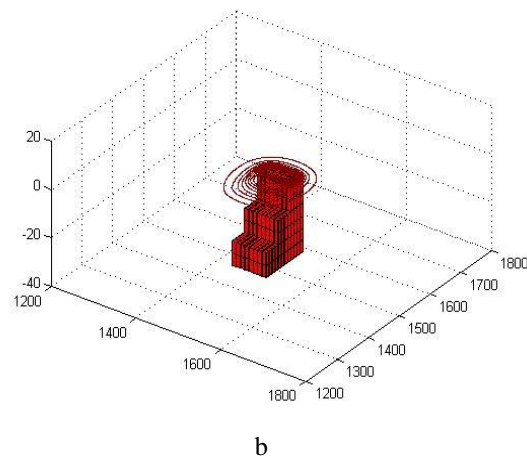
مدل مورد نظر با تباین چگالی 1000 kg/m^3 در شبکه‌ای به ابعاد 600×600 متر با فواصل نقاط برداشت شده، 40 متر در نظر گرفته شده است. مدل به همراه آنومالی حاصل از آن در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین شکل ۵-a، تصویر درجه خاکستری ایجاد شده از داده‌های گرانی مربوط به مدل پلکانی شکل ۴-a را نشان می‌دهد و شکل ۵-b، نیز نتایج حاصل از الگوریتم ACO ویژه سازی شده به منظور کشف مرز منابع ایجاد کننده آنومالی آورده شده است.



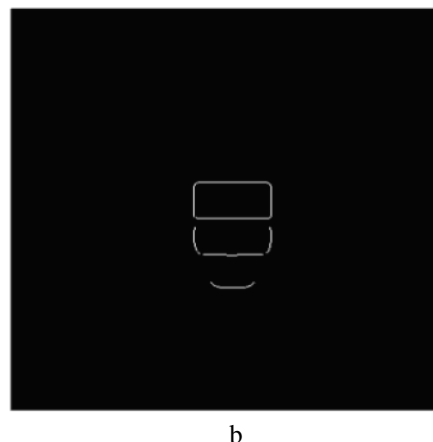
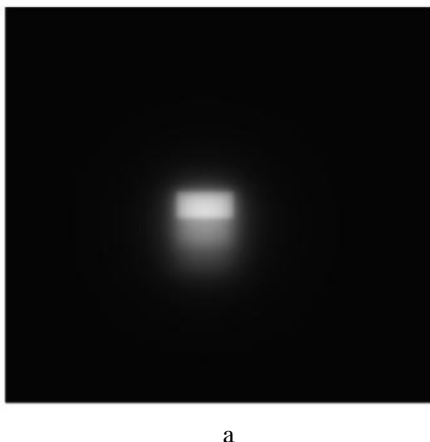
می‌دهد. g^o آنومالی گرانی اندازه‌گیری شده توسط گراویمتر می‌باشد که به عنوان مشاهده وارد الگوریتم می‌شود و g^c آنومالی گرانی محاسبه شده از رابطه ۶ را نشان می‌دهد. با استفاده از تابع برازندگی بالا هرچه میزان مجموع قدر مطلق خطای مسیر پیمایش شده توسط یک مورچه کمتر باشد، میزان فرومون محاسبه شده جهت تعلق گرفتن به مسیر پیموده شده توسط آن مورچه بیشتر خواهد بود. در نهایت پس از چندین تکرار تمامی مورچه‌ها به مدلی که میزان مجموع خطاهای آن کمتر است همگرا می‌شوند و مدل به عنوان جواب بهینه مسأله مورد نظر انتخاب می‌شود.

۳- مدل‌سازی معکوس داده‌های مصنوعی

در این تحقیق، جهت ارزیابی و مقایسه کارایی روش پیشنهادی، ابتدا مدل‌سازی معکوس با استفاده از الگوریتم

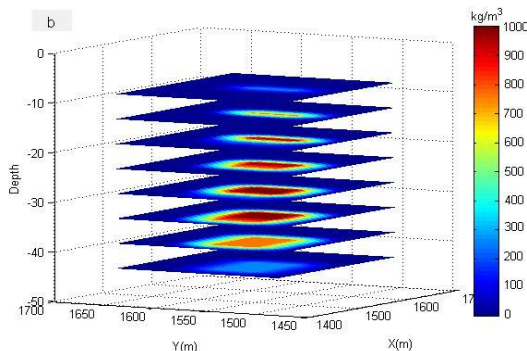
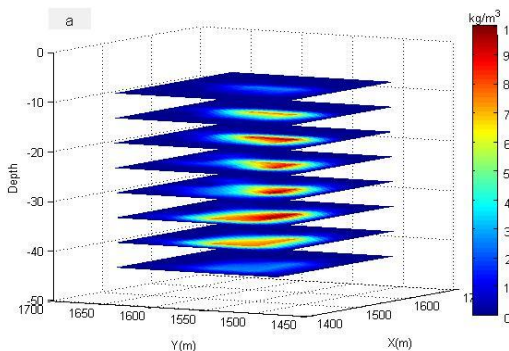


شکل ۴- (a) آنومالی حاصل از مدل پلکانی (b) مدل مصنوعی پلکانی

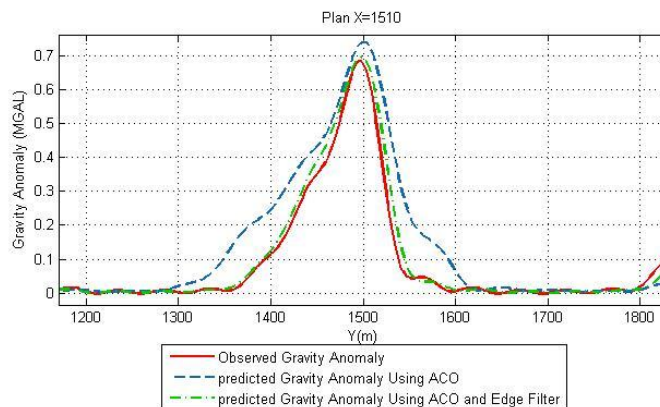


شکل ۵- (a) تصویر درجه خاکستری ایجاد شده از داده‌های گرانی مربوط به مدل پلکانی (b) نتایج حاصل از الگوریتم ACO ویژه سازی شده به منظور کشف مرز منابع ایجاد کننده آنومالی

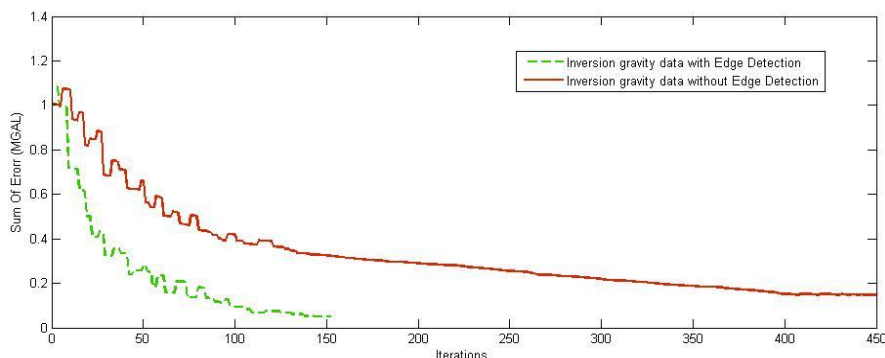
مرز و همچنین آنومالی پیش بینی شده با استفاده از الگوریتم ACO با بکارگیری اطلاعات مرز، برای مقطع $X=1520$ مدل پلکانی در شکل ۷ نشان داده شده است. در شکل ۸ مقایسه ای دیگر از لحاظ مجموع باقیمانده خطاها و همچنین تعداد تکرارهای لازم برای اجرای الگوریتم ACO به منظور مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی در دو حالت با استفاده از اطلاعات موقعیت مرز و بدون استفاده از اطلاعات مرز نشان داده شده است.



شکل ۶- (a) مدل چگالی بدست آمده از نتایج وارون سازی داده ها بدون اطلاعات مرز
(b) مدل چگالی بدست آمده از نتایج وارون سازی داده ها با استفاده از اطلاعات مرز



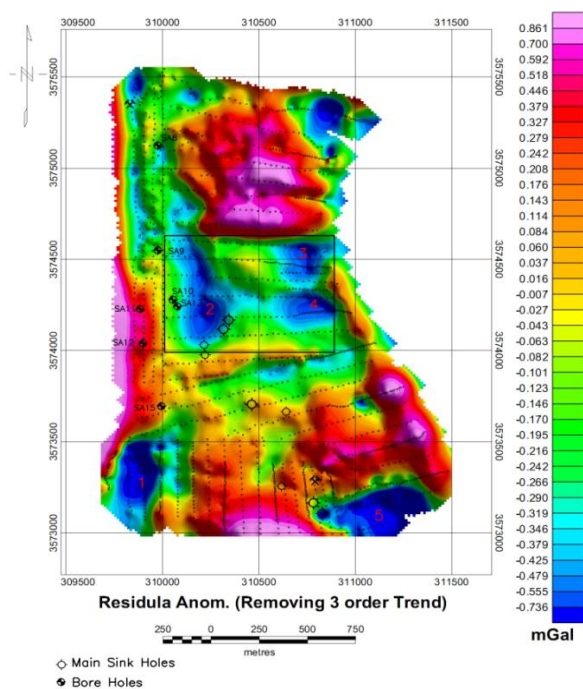
شکل ۷- اختلاف آنومالی مشاهده شده (منحنی قرمز) با آنومالی پیش بینی شده با استفاده از الگوریتم ACO بدون اطلاعات استخراج لبه (منحنی آبی) و همچنین آنومالی پیش بینی شده با استفاده از الگوریتم ACO با بکارگیری اطلاعات مرز (منحنی سبز) در مقطع $X=1520$



شکل ۸- مقایسه مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی با بکارگیری اطلاعات موقعیت مرز و بدون بکارگیری این اطلاعات از لحاظ مجموع باقیمانده خطاها و تعداد تکرار لازم در اجرای الگوریتم

۴- مدل سازی معکوس داده های واقعی

قبلی 1000 kg/m^3 و 10 kg/m^3 + به عنوان اطلاعات اولیه از منطقه به الگوریتم معرفی شده است.



شکل ۹- آنومالی باقی مانده، مستطیل مشکی ناحیه منتخب برای وارون سازی [۴]

مدل تباین چگالی بدست آمده از مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی با بهره گیری از اطلاعات موقعیت مرز منابع ایجاد کننده آنومالی در الگوریتم ACO در مقاطع عمقی مختلف در شکل ۱۰ آورده شده است. در ادامه میزان اختلاف آنومالی مشاهده ای با آنومالی پیش بینی شده با استفاده از روش پیشنهادی برای دو مقطع $X=310200$ و $X=310700$ به همراه مدل تباین چگالی این دو مقطع در شکل ۱۲ آورده شده است.

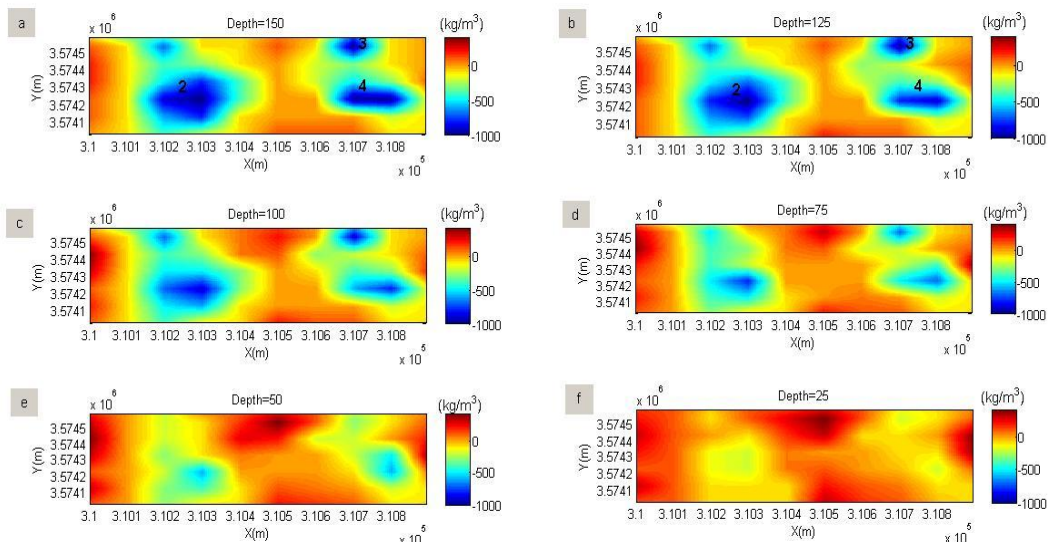
در این بخش به مدل سازی داده های واقعی می پردازیم. منطقه مورد مطالعه، ساخت گاه سد گتوند در استان خوزستان است که عملیات داده برداری آن را بخش گرانی سنجی مؤسسه ژئوفیزیک تهران به انجام رسانده است. هدف از این تحقیق، بررسی خصوصیات ژئوفیزیکی ساختگاه سد گتوند می باشد. از آنجایی که در داده های منطقه آنومالی منفی وجود دارد و با توجه به اطلاعات زمین شناسی منطقه حدس می زنیم حفره های^۱ در منطقه موجود باشند که در اثر انحلال لایه های نمکی بوجود می آیند.

از لحاظ زمین شناسی، گسترده مورد بررسی تا فاصله سه تا پنج کیلومتری جوانب مخزن سد، سازند بختیاری و پس از آن سازند گچساران و آغا جاری واقع شده اند؛ در واقع در فاصله حدود پنج تا هفت کیلومتری از دیواره سد و در مخزن سد، سازند گچساران به مساحت تقریبی سه کیلومتر مربع قرار دارد. عمده تشکیلات زمین شناسی موجود در ناحیه رسوبات دوران سوم (میوسن، پلیوسن) مربوط به تشکیلات گچساران و میشان می باشد. ناحیه مورد نظر برای مطالعه عمدتاً از تشکیلات گچساران متشکل از مارل، ژپس، انیدریت، نمک و لایه های نمکی تشکیل شده است.

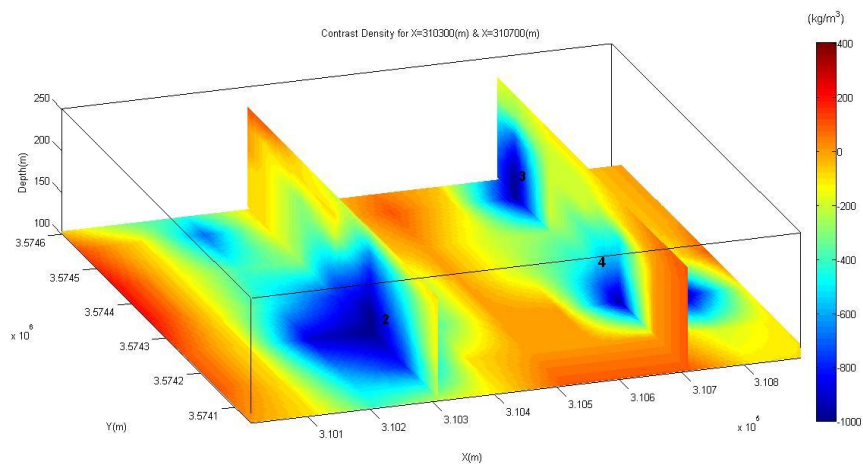
آنومالی گرانی مورد نظر بعد از تصحیح داده های برداشت شده و حذف اثر روند ناحیه ای در شکل ۹ نشان داده شده است. بیشینه اختلاف آنومالی باقی مانده به حدود ۱/۵ میلی گال می رسد. با استفاده از الگوریتم ACO ویژه سازی شده به منظور کشف دانسیته با محدود کردن ناحیه مدل سازی روی سطح زمین، تعداد پارامترهای مدل کاهش می یابد و دقت مدل سازی تا حد زیادی افزایش پیدا می کند. همچنین این امر زمان لازم برای اجرای برنامه را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می دهد. همان طور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود.

ناحیه ای که با مستطیل مشکی مشخص شده و شامل آنومالی های عمده منفی ۲ و ۳ و ۴ است، جهت وارون سازی سه بعدی در این تحقیق انتخاب شده است. عمق بیشینه آنومالی در این منطقه با استفاده از روش اوپلر ۱۵۰ متر و محدوده چگالی طبق اطلاعات

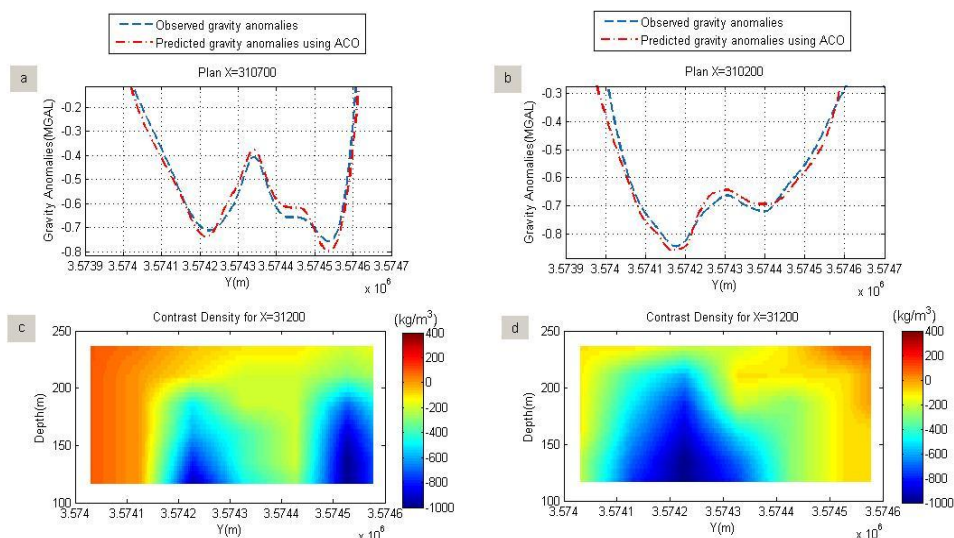
^۱ Cavity



شکل ۱۰- مدل تباين چگالی حاصل از روش پیشنهادی (a) تباين چگالی عمق ۱۵۰ (b) تباين چگالی عمق ۱۲۵ (c) تباين چگالی عمق ۱۰۰ (d) تباين چگالی عمق ۷۵ (e) تباين چگالی عمق ۵۰ (f) تباين چگالی عمق ۲۵



شکل ۱۱- مدل تباين چگالی برای دو مقطع در راستای محور X



شکل ۱۲- (a) میزان اختلاف آنومالی مشاهده‌ای با آنومالی پیش‌بینی شده با استفاده از روش پیشنهادی برای مقطع X=310700 (b) میزان اختلاف آنومالی مشاهده‌ای با آنومالی پیش‌بینی شده با استفاده از روش پیشنهادی برای مقطع X=310200 (c) مدل تباين چگالی مقطع X=310700 (d) مدل تباين چگالی مقطع X=31200

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، جهت مدل سازی معکوس داده های گرانی سنجی با استفاده از الگوریتم های کلونی مورچگان به منظور بهبود عدم یکتایی جواب ها و همچنین اجتناب از همگرایی زودرس و یا همگرا شدن به بهینه های محلی از قیود عمق بیشینه آنومالی به منظور مقید کردن مسئله در عمق، که منجر به جواب های واقعی تری در عمق می شود و همچنین بیشینه و کمینه مقدار چگالی در آن منطقه به عنوان اطلاعات اولیه استفاده شدند. علاوه بر این تأثیر افزودن اطلاعات جانبی دیگری از جمله موقعیت مرز منابع ایجاد کننده آنومالی گرانی برای داده های مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که با استفاده از این قیود، توانستیم فضای جستجو را محدود سازیم و مساله عدم یکتایی نتایج را نیز به میزان خوبی بهبود بخشیم، در نتیجه کارایی های الگوریتم ACO در حل این مساله

مراجع

- [۱] تقوی فرد، م. ت.، آریانزاد، م. ق.، و خلیلی دامغانی، ک.، (۱۳۸۷). "بهینه سازی توسط کلونی مورچگان". دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات، تهران.
- [۲] محمدزاده شادمهری، م.، شریفی، م. ع.، ابراهیم زاده اردستانی، صفری، ع. ا. و باغانی، ا. (۱۳۹۳). "مدل سازی معکوس سه بعدی مدل های گرانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه ها". مجله ژئوفیزیک ایران، ۸ (۱)، ۱۰۲-۱۲۵.
- [۳] محمدزاده شادمهری، باغانی، ا. م.، شریفی، م. ع.، ابراهیم زاده اردستانی، و. صفری، ع. ا. (۱۳۹۲). "ارائه روشی نوین در استخراج مرز افقی منبع آنومالی گرانی با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان". کنفرانس ژئوماتیک ۹۲.
- [4] Ardestani, V. E. (2013). "Detecting, delineating and modeling the connected solution cavities in a dam site via microgravity data". *Acta Geod Geophys*, 48(2), 123-138.
- [5] Barbosa, V. C. F., & Joao, B. (1994). "Generalized compact gravity inversion". *GEOPHYSICS*, 59, 57-68.
- [6] Blakely, R. J. (1995). "Potential Theory in Gravity and Magnetic Application". Cambridge University Press.
- [7] Gunn, P. J. (1975). "Linear transformation of gravity and magnetic fields". *Geophysical Prospecting* 23(2), 300-312
- [8] Montesinos, F. G., Arnosó, J. & Vieira, R., (2005). "Using a genetic algorithm for 3D inversion of gravity data in Fuerteventura (Canary Islands)". *International Journal of Earth Sciences*, 92, 301-316.
- [9] Ning, Q. & al, e., (2009). "Gravity Data Inversion Based Genetic Algorithm and Generalized Least Squares". *IEEE*.
- [10] Plouff, D., (1976). "Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections". *Geophysics*, 41, 727-741.
- [11] Rama Rao, P., Swamy, K. V. & Radhakrishna Murthy, I., (1999). "Inversion of gravity anomalies of three-dimensional density Interfaces". *Computers & Geosciences* 25, 887-896.
- [12] Sanyi, Y. et al., (2008). "Nonlinear Geophysical Inversion Based on ACO with Hybrid Techniques". *Fourth International Conference on Natural Computation IEEE*.
- [13] Sanyi, Y., Shangxu, W. & Nan, T., (2009). "Swarm intelligence optimization and its application in geophysical data inversion". *APPLIED GEOPHYSICS*, 6, 166-174.
- [14] Snopek, K., (2005). "Inversion of gravity data with application to density modeling of the Hellenic subduction zone". PhD Thesis, Department of Geosciences at the Ruhr University