

اکتشاف تله‌های هیدروکربوری طبس با روش جدید وارون‌سازی سه‌بعدی داده‌های گرانی

علی مرادزاده*، فرامرز دولتی‌ارده‌جانی*، آزاده آگاه* و سیدهاشم طباطبایی**

*دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، صندوق پستی ۳۱۶

**بخش اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، صندوق پستی ۱۰۶۵

(دریافت مقاله: ۱۳/۱۲/۱۵، پذیرش مقاله: ۱۴/۸/۲۴)

چکیده

به منظور اکتشاف ذخایر هیدروکربوری، عملیات گرانی‌سنجی در طول ۲۸ پروفیل در ۱۱۱۵ ایستگاه در منطقه طبس صورت گرفته است. پس از اعمال تصحیحات و پردازش‌های لازم و حذف اثرات ناحیه‌ای، نقشه آنومالی باقی‌مانده گرانی تهیه شد. با توجه به وجود آنومالی‌های تاقدیسی و نقش آن‌ها در تجمع ذخایر هیدروکربوری، تعیین پارامترهای هندسی آن‌ها از مسائل مهم در تفسیر کمی نتایج گرانی‌سنجی برای تصمیم‌گیری‌های بعدی است. از این رو در مقاله حاضر امکان‌پذیری مدل‌سازی معکوس سه‌بعدی پارامتری همزمان چندین آنومالی برای نیل به اهداف مورد نظر بررسی می‌شود. برای مدل‌سازی از نرم‌افزار Modelvision Pro استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که در ناحیه مورد بررسی تعداد چهار ساختمان تاقدیسی و هفت ساختمان ناودیسی وجود دارد که از بین آن‌ها یکی از تاقدیس‌ها از عمق و ابعاد قابل توجه‌تری برخوردار است و لذا می‌توان آن را از نظر تجمع منابع هیدروکربوری، تله مناسبی تلقی کرد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی معکوس پارامتری، آنومالی‌های دو و سه‌بعدی، گرانی‌سنجی، پارامترهای هندسی

۱ مقدمه

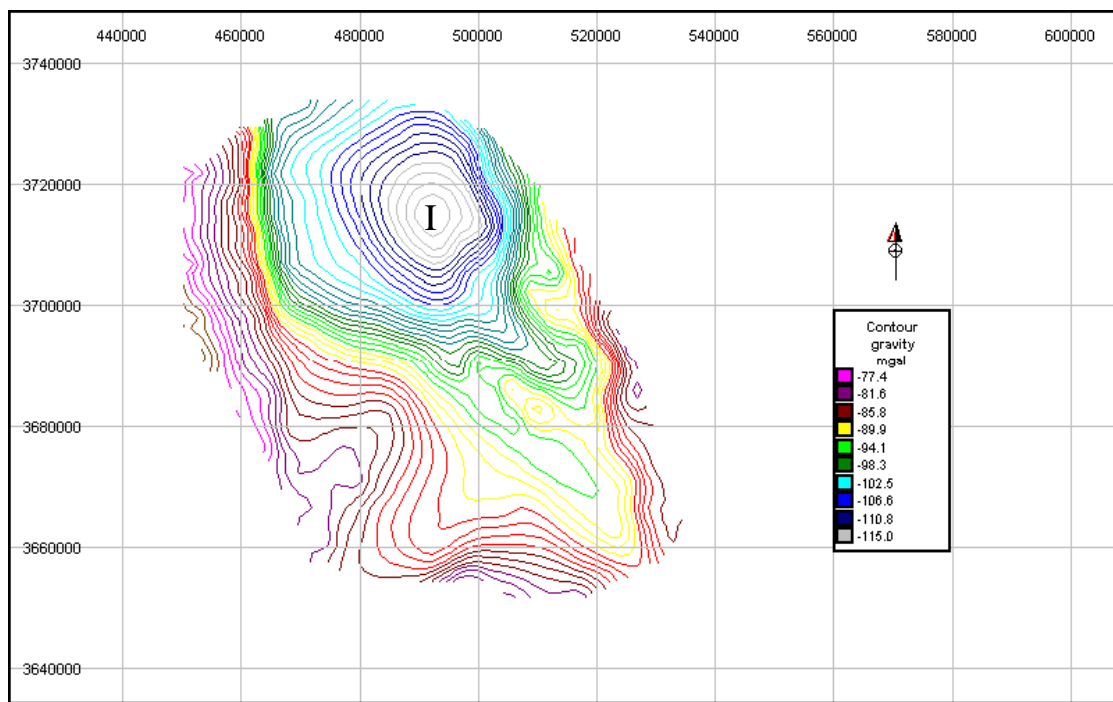
نبود برازش مناسب، تغییر پارامترهای مدل و تکرار محاسبات تا حصول به برازش لازم پاسخ مدل روی داده‌های اندازه‌گیری شده با در نظر گرفتن خطای کمینه ادامه می‌یابد. این روش مدل‌سازی در تفسیر داده‌های گرانی محققین زیادی به کار گرفته‌اند (هابرت، ۱۹۴۸؛ تالوانی و همکاران، ۱۹۵۹؛ تالوانی و اوینگک، ۱۹۶۰؛ گرنٹ و وست، ۱۹۶۵؛ ون و بویز، ۱۹۸۷). در مدل‌سازی وارون، داده‌های اندازه‌گیری شده به مثابه ورودی به برنامه داده می‌شوند و سپس با اجرای محاسبات مربوط به نظریه وارونه‌سازی بر روی آنها پارامترهای مدل درحکم خروجی سامانه دریافت می‌شوند (مرادزاده و عرب‌امیری، ۱۳۸۳). در زمینه به کارگیری این روش مدل‌سازی در تفسیر نتایج گرانی‌سنجی الگوریتم‌های متفاوتی ارائه شده است (پترسون و ریوز، ۱۹۸۵؛ پیلکینگتون، ۱۹۹۷؛ لی و

روش گرانی‌سنجی در شناسایی انواع ساختمان‌های زیرسطحی که می‌توانند از نظر پتانسیل هیدروکربوری نقش مؤثری داشته باشند از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از مسائل مهم در تفسیر داده‌های گرانی پس از حذف اثرات ناحیه‌ای و تهیه نقشه‌های باقی‌مانده، تعیین پارامترهای هندسی تله‌های مدفون برای عملیات اکتشاف هیدروکربوری است که این امر با مدل‌سازی‌های مناسب امکان‌پذیر است. مدل‌سازی داده‌های گرانی با روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که می‌توان آنها را به دو دسته پیش‌رو و وارون (معکوس) تقسیم‌بندی کرد (هینز، ۱۹۹۰). فرایند مدل‌سازی پیش‌رو دو و یا سه‌بعدی را با انتخاب مدل فرضی اولیه آغاز می‌کنند، با استفاده از روابط ریاضی مشخص پاسخ آن را تعیین می‌سازند و با داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کنند. در صورت

استفاده از داده‌های گرانی، نقشه آنومالی بوگه منطقه طبس با فواصل خطوط ۱ میلی‌گال تهیه و در شکل ۱ نشان داده شده است.

در نقشه یادشده یک آنومالی منفی I در شمال منطقه طبس دیده می‌شود که منعکس‌کننده ساختمان ناودیدی احتمالاً عمیقی است که دامنه و طول موج بزرگی دارد و محدوده وسیعی را اشغال کرده است. در نقشه یادشده اگر چه منحنی‌های تراز، در بخش‌های جنوبی، جنوب غرب و جنوب شرق منطقه اغتشاشاتی از خود نشان می‌دهند، اما آنومالی‌هایی را که قابل تشخیص باشند مشخص نمی‌سازند. همچنین در این نقشه دو گسل احتمالی در قسمت غرب و شرق آنومالی I با روند تقریباً شمالی-جنوبی مشاهده می‌شود. حرکت گسل‌های یادشده احتمالاً سبب پایین افتادن آنومالی I شده است.

اولدنبرگ، (۱۹۹۸). در همه روش‌های فوق، عملیات مدل‌سازی برای توده منفرد دو و یا سه‌بعدی صورت می‌گیرد که در جای خود در بعضی از موارد می‌تواند قابل استفاده باشد. از آن‌جا که در کاوش‌های نفتی در یک حوضه وسیع رسوبی چندین ساختمان دو و یا سه‌بعدی ممکن است وجود داشته باشد مدل‌سازی هر یک از آنها به‌طور جداگانه پارامترهای مدل را به‌درستی ارائه نمی‌دهد. در چنین مواردی در نظر گرفتن اثرات احتمالی ساختارهای مجاور در مدل‌سازی برای دستیابی به جواب مطمئن‌تر، ضروری به نظر می‌رسد. به همین جهت در مطالعه حاضر هدف اصلی این است تا مشکل فوق با به‌کارگیری روش جدیدی موسوم به مدل‌سازی وارون پارامتری، در قالب نرم افزار Modelvision Pro (شرکت فناوری انکام، ۲۰۰۳) برطرف شود. در همین راستا ابتدا با



شکل ۱. نقشه آنومالی بوگه منطقه مورد مطالعه.

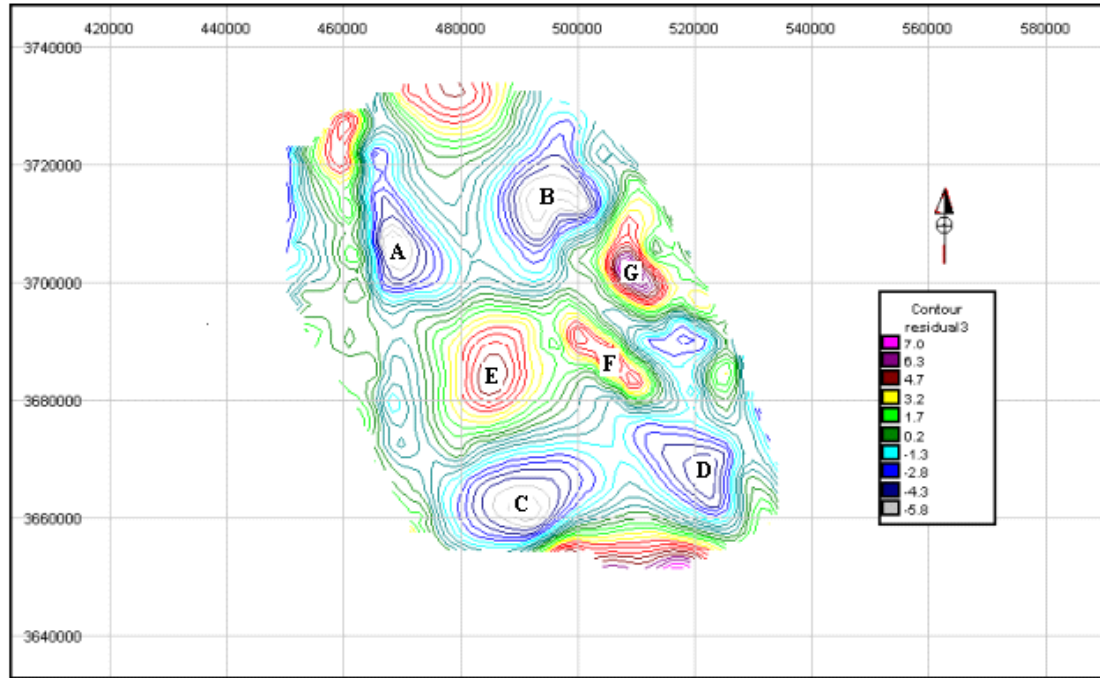
حاصل از فیلتر روند سطحی درجه ۳ که در شکل ۲ آمده است استفاده می‌شود.

۲ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه طبس

برداشت اکتشاف گرانی‌سنجی طبس محدوده‌ای به وسعت ۴۵۴۵ کیلومتر مربع بین طول‌های جغرافیایی $۵۶^{\circ}۳۷'$ و $۵۷^{\circ}۲۰'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $۳۳^{\circ}۰۰'$ و $۳۳^{\circ}۴۵'$ شمالی را شامل می‌شود. منطقه یادشده قسمت شرقی چهارگوش طبس و قسمت غربی چهارگوش بشرویه را دربر می‌گیرد. در این منطقه تعداد ۱۱۱۵ ایستگاه گرانی با چگالی شبکه $۳ \times ۱/۵$ کیلومتر در طول ۲۸ پروفیل برداشت شد.

ناحیه مورد مطالعه، بخشی از حوضه رسوبی بلوک طبس با رسوبات آبرفتی عهد حاضر است. همچنین در بخش‌هایی از دشت، بیرون‌زدگی‌هایی از لایه‌های قرمز

قبل از مدل‌سازی لازم است تا با استفاده از روش‌های مناسب، اثرات آنومالی ناحیه‌ای از آنومالی بوگه حاصل کسر شود تا آنومالی باقی‌مانده که هدف اصلی اکتشاف است شناسایی شود. به همین جهت، نقشه آنومالی بوگه منطقه با اعمال فیلترهای مختلف به مؤلفه‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده تفکیک شد (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۳). بررسی‌های صورت گرفته روی نقشه‌های باقی‌مانده تهیه شده با فیلترهای متوسط وزنی، گسترش رو به بالا و پایین نشان می‌دهد که این نقشه‌ها در تطابق خوبی با نقشه آنومالی‌های به دست آمده با فیلتر روند سطحی است. علاوه بر آن آزمون آماری F، نقشه باقی‌مانده با روند درجه ۳ را مناسب‌ترین نقشه تفکیک آنومالی‌ها در بین نقشه‌های تهیه شده با سطوح روند متفاوت تشخیص داد. به همین دلیل برای مدل‌سازی حاضر از نقشه آنومالی باقی‌مانده



شکل ۲. نقشه آنومالی باقی‌مانده گرانی منطقه با روند سطحی درجه ۳.

شده است. این روش برای مدل سازی ساختارهای پیچیده مناسب است زیرا می تواند نتایج دقیق تری از ساختارهای زیرزمینی را ارائه دهد. در این روش زمین مورد مطالعه به ردیفی از المان های حجمی تقسیم می کنند و سپس با استفاده از روش تالوانی و اوینگ (۱۹۶۰) و با بهره گیری از روش های عددی، اجزای محدود پاسخ مدل برای یک حدس اولیه را محاسبه می نمایند. با تکرار محاسبات و تغییر مرحله ای پارامترهای هندسی و فیزیکی مدل و در نظر گرفتن خطای هدف، اختلاف گرانی محاسبه شده و اندازه گیری شده به صورت زیر با استفاده از روش حداقل مربعات، کمینه می شود. اگر تعداد M پارامتر مجهول مدل زیرسطحی با بردار P نشان داده شود و مطابق فرمول زیر با تابع غیرخطی F به کمیت اندازه گیری شده C (مانند تغییرات گرانی) مرتبط شود:

$$C = F(\vec{P}, \vec{X}) \quad (1)$$

که در آن X بردار پارامترهای معلوم مدل است. با بسط سری تیلور مرتبه اول معادله غیرخطی (۱) به N معادله خطی با M مجهول تبدیل می شود. (اینمن، ۱۹۷۵):

$$\begin{aligned} \Delta F &= A \Delta P + \varepsilon \\ [\Delta F]_i &= F(P, X^i) - F(P^\circ, X^i); \quad i = 1, \dots, N \\ [A]_{ij} &= \left. \frac{\partial F(P, X)}{\partial P_j} \right|_{P=P^\circ} \\ [\Delta P]_j &= P_j - P_j^\circ; \quad j = 1, \dots, M \end{aligned} \quad (2)$$

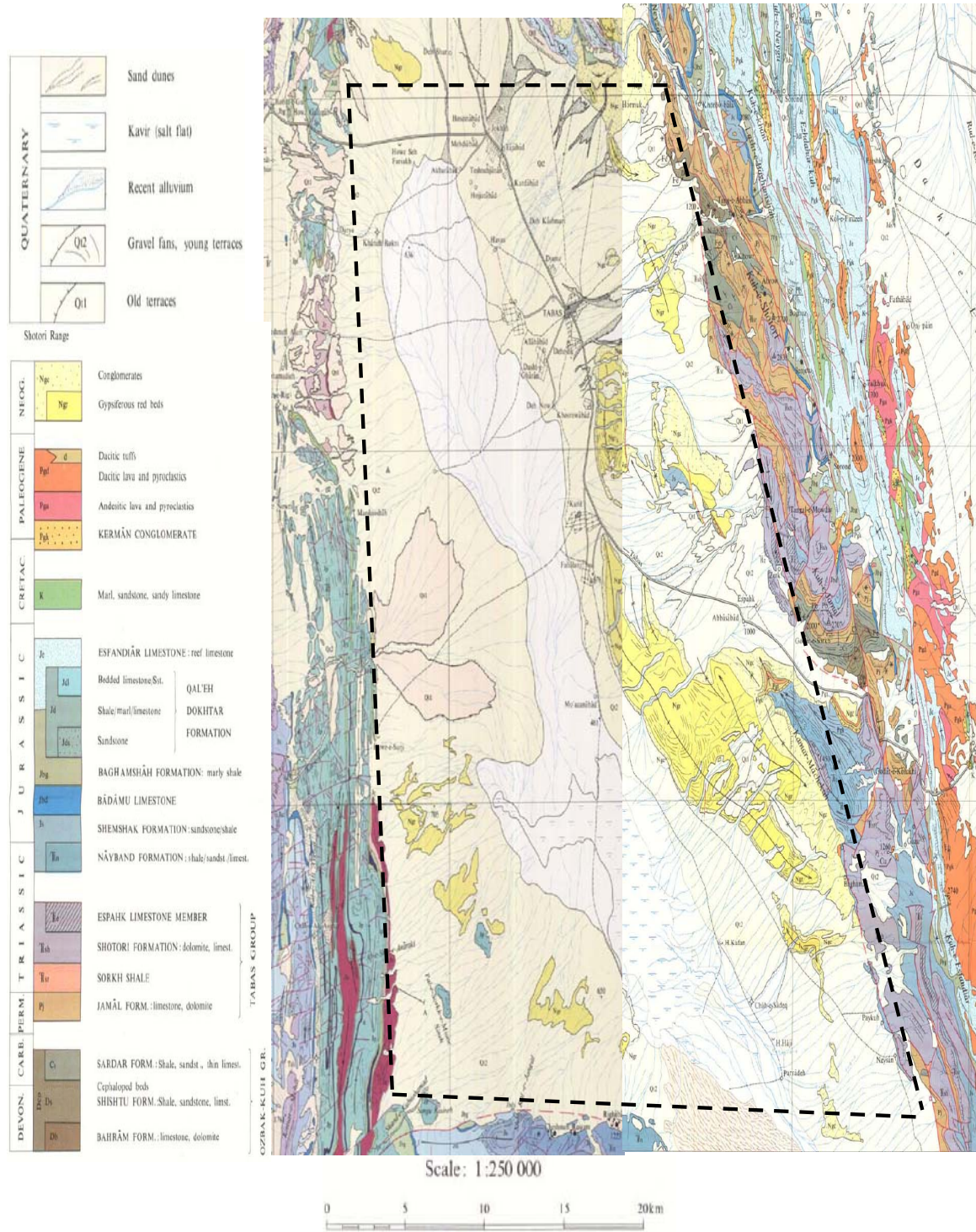
که در آن P بردار پارامتر مجهول، P° حدس اولیه برای پارامترهای مجهول، X^i امین پارامتر معلوم، $F(P^\circ, X^i)$ گرانی پیش بینی شده بر اساس حدس اولیه، $F(P, X^i)$ گرانی اندازه گیری شده، A_{ij} مؤلفه های ماتریس مشتقات جزئی F نسبت به پارامترهای مجهول، ε بردار خطا، ΔF اختلاف بین گرانی اندازه گیری شده و

همراه با ژیبس، کنگلومرا و ماسه سنگ نئوژن مشاهده می شود. در سمت شرق منطقه، رشته کوه هایی با روند غالب شمال غرب- جنوب شرق وجود دارند که اکثراً از رسوبات سازندهای گروه ازبک کوه (با سن دونین و کربنیفر)، گروه طبس و سازندهای قلعه دختر تشکیل شده اند که به شدت چین خورده و گسل دارند به طوری که مجموعه ای از تاقدیس و ناودیس را به وجود آورده اند. رشته کوه های واقع در غرب منطقه مشابه بخش شرقی، دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی است و در شمال غرب رخ نمون های سنگی غالباً شامل دولومیت و آهک های تریاس و سازندهای لایه قرمز همراه با مارن، کنگلومرا و ژیبس ژوراسیک است (آگاه و همکاران، ۱۳۸۳). در مطالعات کارشناسان شرکت نفت، سازند مناسب از لحاظ سنگ منشأ، سازند سردار از گروه ازبک کوه و سازند جمال از گروه طبس در حکم سنگ مخزن معرفی شده است (حسن زاده شریف، ۱۹۸۵). شکل ۳ نقشه زمین شناسی منطقه و محدوده مورد مطالعه (محدوده خط چین شده) را نشان می دهد.

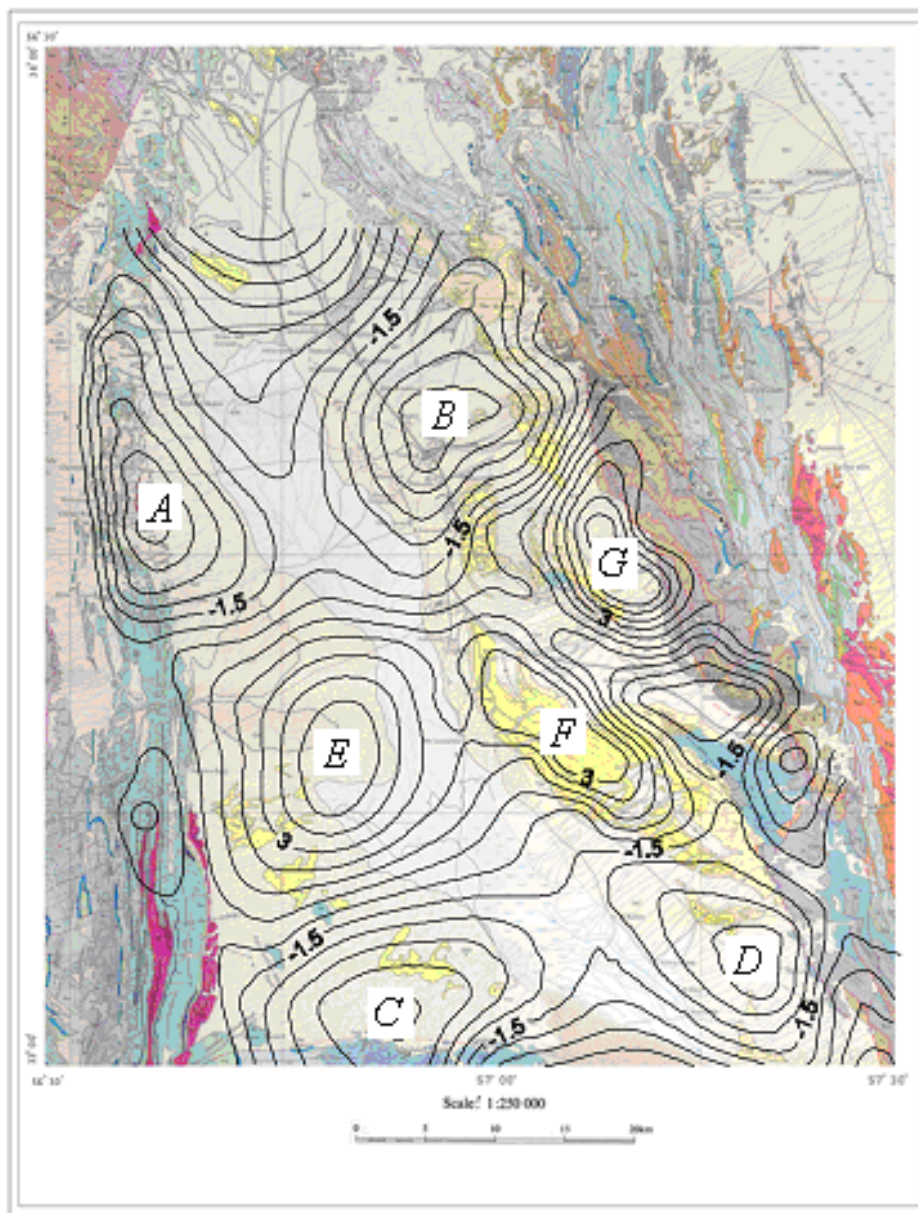
برای نمایش محل آنومالی های شناسایی شده شکل ۲ و برای مقایسه روند ساختارهای گرانی به دست آمده با وضعیت زمین شناسی ناحیه، تلفیق نقشه های زمین شناسی و آنومالی باقی مانده گرانی در شکل ۴ آمده است. همان طور که شکل ۴ نشان می دهد، منطقه پوشیده از رسوبات عهد حاضر است و با عملیات گرانی وضعیت ساختمان زیر سطحی اصلی به صورت آنومالی های منفی (ساختمان های ناودیس) C, B, A و آنومالی های مثبت (ساختمان های تاقدیس) F, E و G مشخص شده اند. در این مقاله هدف تعیین ابعاد و عمق قرارگیری آنها است.

۳ روش مدل سازی

همان طور که اشاره شد در مطالعه حاضر از روش وارونه سازی پارامتری برای مدل سازی داده های گرانی استفاده



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه همراه با محدوده مورد مطالعه (کادر خط‌چین شده) (سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۹۶۹ و ۱۹۷۴، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طیس).



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی ناحیه همراه با آنومالی‌های باقی‌مانده حاصل از روند سطحی درجه ۳.

از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های حداقل مربعات، روش شبه نیوتنی، روش گاوس- نیوتن و یا روش رگرسیون ریج (مارکوآرت) اشاره کرد که این روش‌ها از نظر سرعت و دقت متفاوت‌اند (لوک و بارکر، ۱۹۹۶؛ اینمن، ۱۹۷۵). در مدل‌سازی حاضر، نرم‌افزار مورد استفاده برای

گرانی محاسبه شده از مدل اولیه و ΔP اختلاف بین پارامترهای مجهول و حدس اولیه این پارامترها است. در مدل‌سازی معکوس هدف یافتن پارامترهای مجهول است به نحوی که ΔF کمینه شود. روش‌های متفاوتی برای کمینه کردن تابع خطا (ΔF) وجود دارد که

در قدم اول، مدل‌سازی معکوس دوبعدی پارامتری را مرادزاده و همکاران (۱۳۸۴) طی کار تحقیقاتی جداگانه روی تعدادی از آنومالی‌ها عملی ساختند که از نتایج آن در این مطالعه استفاده می‌شود.

بررسی نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی دوبعدی (ستون سوم جدول ۱) نشان می‌دهد که اعماق به‌دست آمده تاقدیس‌های F و G تا حدودی قابل قبول‌اند. چرا که نتایج تفکیک آنومالی‌ها، این دو ساختمان را نیز به صورت دو تاقدیس سطحی مشخص کردند ولی برای تاقدیس E عمق به دست آمده مورد تردید جدی است (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۳). علاوه بر آن اعماق به‌دست آمده برای ناودیس‌های C و D احتمالاً بیش از مقدار واقعی به نظر می‌رسد. که این مطلب نیز با تفسیرهای صورت گرفته در مرحله تفکیک آنومالی‌ها در تناقض است. از طرفی دیگر با بررسی مجدد نقشه آنومالی باقی‌مانده روند ۳ گرانی (شکل ۲) به‌نظر می‌رسد که برخی از ساختمان‌های موجود در منطقه دارای گسترش سه‌بعدی‌اند. لذا احتمالاً به این دلیل، مدل‌سازی دوبعدی در مورد آنها جواب قابل قبولی نداده است. برای تأیید صحت این موضوع، مدل‌سازی سه‌بعدی وارون روی کلیه آنومالی‌شناسایی شده به‌طور همزمان صورت می‌گیرد تا اثرات آنومالی‌های مجاور آن نیز در مدل‌سازی دخالت داده شود.

با توجه به اینکه چگالی رسوبات برای اعمال تصحیحات بوگه و توپوگرافی $2/1$ گرم بر سانتی‌متر مکعب انتخاب شده بود (طباطبایی و نصرت ماکویی، ۱۳۷۲) بنابراین برای شروع مدل‌سازی مقدار چگالی زمینه $2/1$ و مقدار آن درحکم فرض اولیه برای آنومالی‌ها $2/3$ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. سپس مطابق شکل ۵ و با استفاده از نتایج مدل‌سازی دوبعدی و وضعیت ساختاری زیرسطحی نشان داده شده در شکل ۲، روی هر آنومالی موجود روی نقشه، یک چند ضلعی رسم، پاسخ

به حداقل رساندن خطای محاسباتی و پایداری بیشتر مدل‌سازی، از روش رگرسیون ریج (اینمن، ۱۹۷۵؛ مجو، ۱۹۹۲) استفاده می‌نماید که در زیر به شرح مختصر آن می‌پردازیم.

تخمینی که با روش حداقل مربعات از ΔP اولیه به دست می‌آید به‌صورت زیر است (اینمن، ۱۹۷۵).

$$\Delta \hat{P} = (A^t A)^{-1} A^t \Delta F \quad (3)$$

در رابطه فوق، A^t ، ترانواده ماتریس A است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که وقتی $A^t A$ به وضعیت یگانه (تکین) نزدیک می‌شود (هورل و کنارد، ۱۹۷۰) اختلاف بین $\Delta \hat{P}$ تخمین زده شده با ΔP اولیه، شروع به بزرگ شدن می‌کند. برای جلوگیری از پیش آمدن این وضعیت، از روش رگرسیون ریج به‌صورت زیر استفاده می‌شود.

$$\Delta \hat{P}^* = (A^t A + kI)^{-1} A^t \Delta F \quad (4)$$

I ماتریس یکانی است و $k \geq 0$ است.

مقادیر ویژه ماتریس $(A^t A + kI)$ برابر با $(\lambda_i^2 + k)$ است. اضافه کردن پارامتر k به عناصر قطری ماتریس $A^t A$ باعث می‌شود که مقادیر ویژه کوچک در روش حداقل مربعات با فاکتور k در این روش افزایش یابند. این امر باعث می‌شود که معکوس ماتریس پایدارتر شود. بهترین مقدار برای k مقداری است که منجر به حداقل خطا شود. این امر می‌تواند از راه آزمون و خطا میسر شود (کافمن و کلر، ۱۹۸۱). به این ترتیب مقدار خطا به ازای مقادیر متفاوت k محاسبه و روی یک نمودار رسم می‌شود که آن را نمودار اثر ریج می‌نامند.

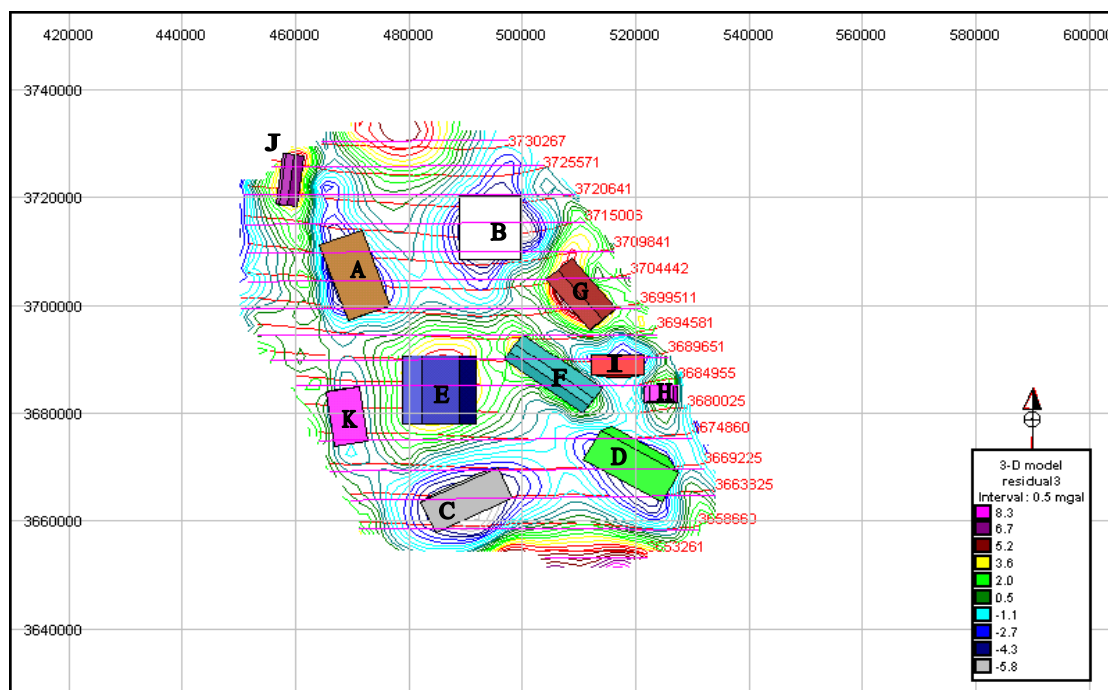
۴ مدل‌سازی و تفسیر آنومالی‌ها

از آنجا که به نظر می‌رسید برخی از ساختمان‌های موجود در منطقه از جمله تاقدیس F دارای گسترش دوبعدی‌اند،

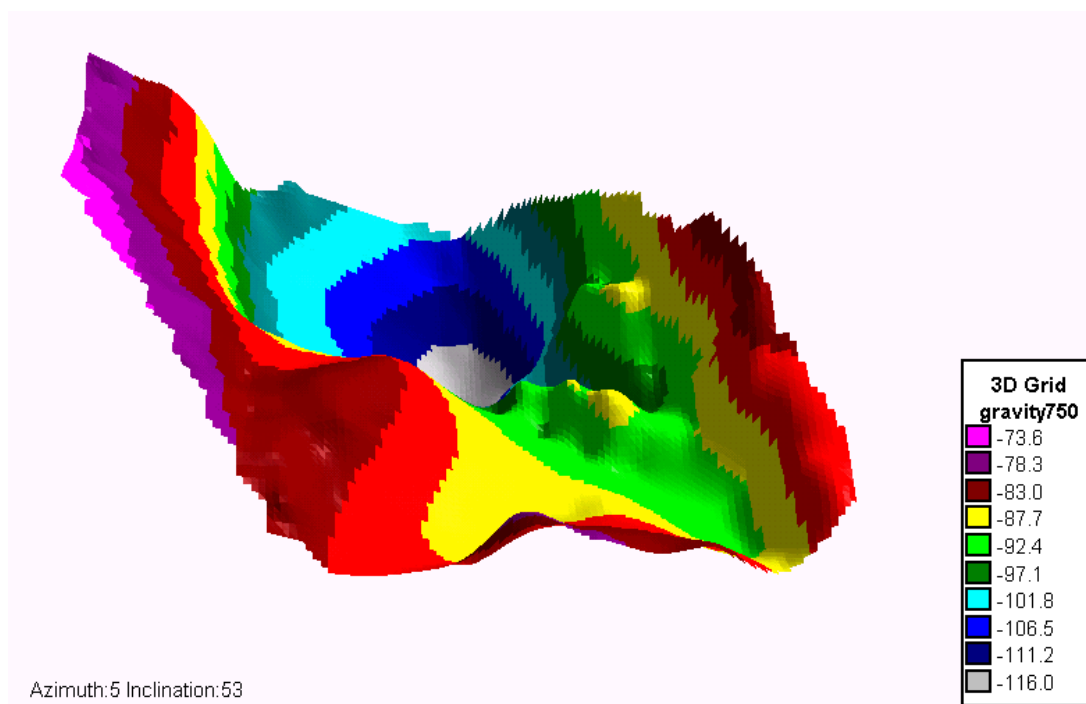
حصول نتیجه دقیق‌تر و کاهش یکتایی مدل، مدل‌سازی معکوس سه‌بعدی به صورت فرایندی مرحله‌ای به اجرا درآمد. روال کار بدین صورت بود که در وهله اول فقط یک پارامتر، مانند عمق، آزاد گرفته می‌شد در حالی که بقیه پارامترها ثابت انتخاب می‌شدند تا با مدل‌سازی معکوس، خطای مدل‌سازی به خطای هدف نزدیک شود. پس از آنکه مشاهده می‌شد دیگر خطای مدل‌سازی کاهش نمی‌یابد، پارامتر آزاد موردنظر ثابت فرض می‌شد و در مرحله بعد با آزاد کردن پارامتر دیگری از آنومالی‌ها، مانند چگالی، و فرایند مدل‌سازی برای کمینه کردن خطا ادامه می‌یافت. عمل آزاد گذاشتن پارامترهای مدل، یکی پس از دیگری به صورت تکراری ادامه یافت تا آنکه پس از ۲۰ مرحله تکرار فرایند، نهایتاً مقدار خطای مدل‌سازی به $2/875$ رسید. شکل ۶ مدل سه‌بعدی ساختارهای زیر سطحی حاصل از مدل‌سازی را نشان می‌دهد.

آنها با مدل‌سازی پیش‌رو سه‌بعدی محاسبه و با داده‌های مشاهده شده مقایسه شد. و همچنین خطای مدل‌سازی نیز به دست آمد.

پس از تعیین خطای هدف ($RMS=3\%$)، مشخص شد که خطای مدل‌سازی اولیه از آن بیشتر است. لذا در مرحله بعد به منظور انطباق پاسخ مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده و کاهش خطا، از مدل‌سازی معکوس پارامتری استفاده شد. با توجه به اینکه مدل‌سازی معکوس برای تعدادی محدود از داده‌های اندازه‌گیری شده حاوی نوفه صورت می‌گیرد، نتیجه مدل‌سازی یکتا نیست. بررسی‌ها نشان می‌دهد که یکتا نبودن مدل به دست آمده با افزایش تعداد پارامترهای آزاد، رابطه مستقیم دارد (راهنمای نرم‌افزار رزیکس، ۱۹۹۹؛ هورستن و همکاران، ۱۹۹۸). از این رو با توجه به اینکه همه آنومالی‌ها به‌طور همزمان مورد مدل‌سازی قرار می‌گیرند و تعداد پارامترهای آزاد، همچون ابعاد، عمق و چگالی آنها، زیاد است، برای



شکل ۵. نمایش مدل‌سازی سه‌بعدی آنومالی‌های گرانی.



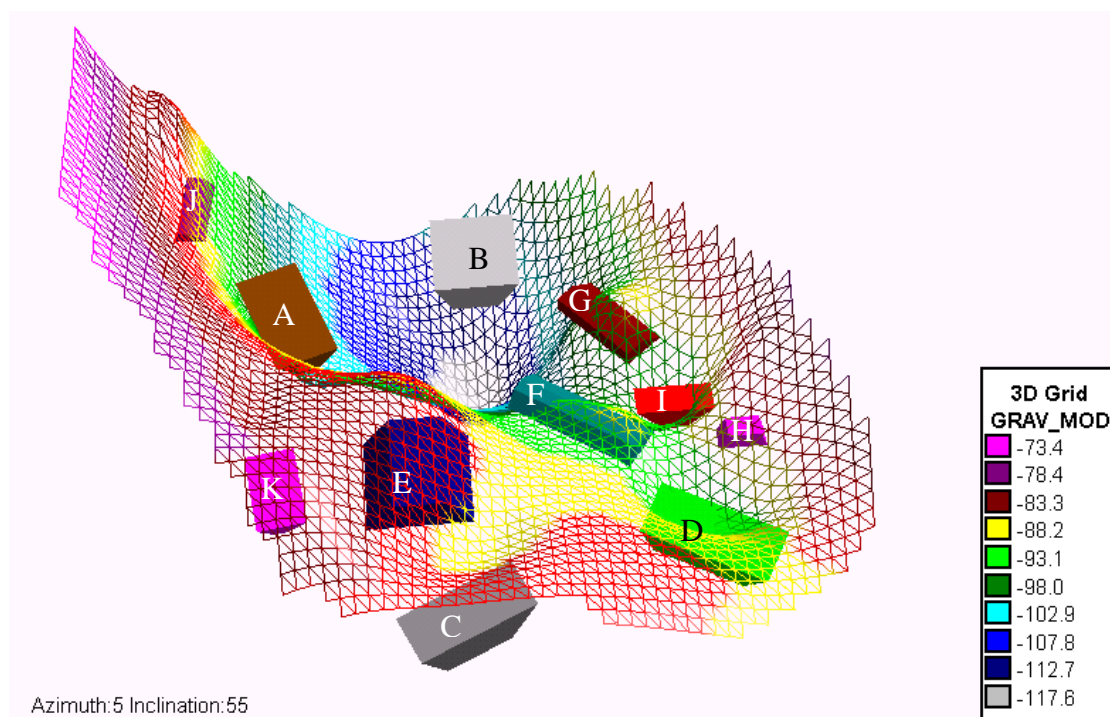
شکل ۶. مدل حاصل از معکوس‌سازی سه‌بعدی پارامتری همراه با پاسخ آنومالی‌های حاصل.

که آنومالی‌های یادشده به ترتیب، وضعیت ساختمانی تاقدیس و ناودیس دارند. شکل ۶ نیز نشان دهنده چنین ساختارهایی است. با توجه به جدول ۱، آنومالی‌های تاقدیسی J, G, H, F نسبت به تاقدیس E دارای ابعاد و عمق کمتری اند و در نتیجه از نظر اکتشافات نفتی کم اهمیت‌تر هستند. بنابراین با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل هیدروکربوری خوبی است، احتمال وجود هیدروکربورها در این تاقدیس وجود دارد. مطالعات قبلی صورت گرفته (طباطبایی و نصرت ماکویی، ۱۳۷۲) برای تاقدیس E عمق تقریبی معادل ۴۰۰۰ متر را نشان می‌دهد که با عمق حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی حاضر نسبتاً هم‌خوانی دارد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در نظر نگرفتن اثرات آنومالی‌های مجاور روی یکدیگر ضمن مدل‌سازی ممکن است منجر به پدید آمدن چنین اختلافی در تخمین عمق مطالعات قبلی باشد.

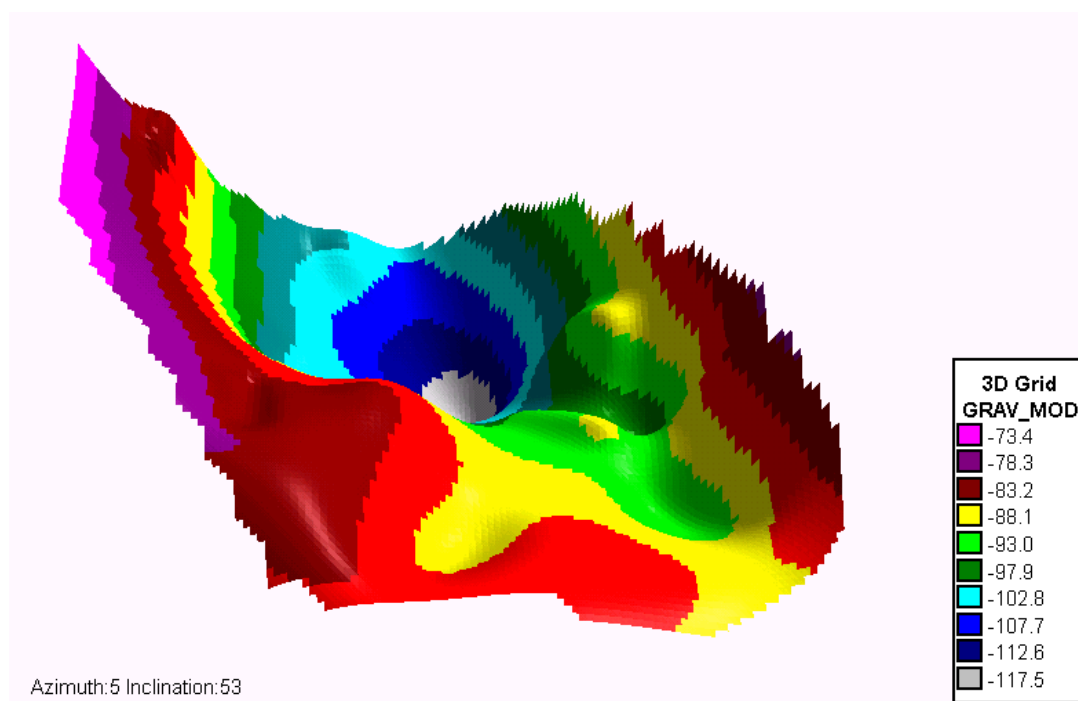
برای مقایسه بهتر، مقادیر گرانی اندازه‌گیری شده و مقادیر گرانی محاسبه شده (پاسخ مدل سه‌بعدی) به صورت سه‌بعدی، به ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر محاسبه‌ای تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارند. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که مدل نشان داده شده در شکل ۶ با اطمینان قابل قبولی به خوبی آنومالی‌های شناسایی شده در نقشه آنومالی باقی‌مانده را توجیه می‌کند.

علاوه بر آن، نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی صورت گرفته همراه با نتایج مدل‌سازی دوبعدی در جدول ۱ نشان داده شده است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی (شکل ۵) مشخص می‌شود که آنومالی‌های J, H, G, F و E نسبت به زمینه دارای چگالی بالاتر و آنومالی‌های I, K, D, C, B و A دارای چگالی پایین‌تری اند، بنابراین مشخص می‌شود



شکل ۷. نمایش سه بعدی مقادیر گرانی باقی مانده (داده های اندازه گیری شده).



شکل ۸. نمایش سه بعدی مقادیر گرانی محاسبه شده (پاسخ مدل).

جدول ۱. نتایج حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی.

ابعاد (متر)	دانشیه (gr.cm^{-3})	عمق (متر)		نوع آنومالی	آنومالی
		نتیجه مدل‌سازی سه‌بعدی	نتیجه مدل‌سازی دوبعدی		
۱۲۶۷/۱*۱۲۹۱۹	۲/۲۳	۵۱۹۶/۴	۲۰۰۳/۶	تاقدیس	E
۵۸۹۳/۸*۱۷۲۲۹/۴	۲/۲۳	۱۵۶۴	۹۳۱	تاقدیس	F
۶۱۰۸/۳*۱۲۱۶۶/۹	۲/۳۱	۲۲۷۰/۳	۹۳۱	تاقدیس	G
۲۹۳۸/۹*۵۸۱۷/۹	۲/۲۴	۲۲۷۰/۳	۵۹۸۷/۱	تاقدیس	H
۳۹۴۱/۹*۹۵۰۸/۲	۲/۴۱	۱۴۱۲/۶	۱۹۶۶/۶	تاقدیس	J
۷۸۸۳/۱*۱۴۸۱۴/۶	۱/۹۲	۱۱۶۵۰/۲	۶۹۶۸/۸	ناودیس	A
۱۰۸۹۸/۵*۱۱۵۷۲	۱/۹۲	۱۱۸۵۴/۵	۶۸۱۷/۳	ناودیس	B
۶۳۲۵/۷*۱۵۰۳۶/۲	۱/۸۷	۱۱۳۶۴/۴	-	ناودیس	C
۶۲۴۳/۱*۱۵۹۳۲/۹	۱/۹۹	۱۱۴۷۸/۷	-	ناودیس	D
۵۹۴۰*۱۰۰۷۰/۶	۲/۰۱	۲۷۲۴/۳	-	ناودیس	K
۳۹۸۰/۳*۹۴۲۹	۱/۷۸	۶۱۵۴/۹	-	ناودیس	I

ابعاد قابل توجهی برخوردار است و می‌توان آن را تله مناسبی برای تجمع ذخایر هیدروکربوری قلمداد کرد. علاوه بر آن شواهد زمین‌شناسی، نتایج ژئوفیزیکی و ضخامت قابل توجه رسوبات، اهمیت تاقدیس یادشده را از نظر تجمع ذخایر هیدروکربوری بیشتر نمایان می‌سازد. بنابراین اجرای عملیات لرزه‌نگاری انعکاسی برای تعیین دقیق‌تر مشخصات ساختمان یادشده و روشن کردن وضعیت لایه‌ها پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

داده‌های مورد نیاز برای این کار پژوهشی از بخش غیرلرزه‌ای شرکت ملی نفت ایران در اختیار قرار گرفت که لازم است در این زمینه از مساعدت‌ها و زحمات آقایان مهندس خراسانی، رئیس محترم اداره ژئوفیزیک صمیمانه تشکر و قدردانی شود.

همچنین با بررسی اعماق به دست آمده از مدل‌سازی سه‌بعدی برای ناودیس‌های A,B,C,D مشخص می‌شود که دو ناودیس A,B در شمال منطقه نسبت به دو ناودیس C,D در جنوب ناحیه از عمق بیشتری برخوردارند. این مطلب نشان دهنده افزایش عمق رسوبات در شمال منطقه مورد مطالعه است که تأییدی بر تفسیرهای صورت گرفته در مرحله تفکیک آنومالی‌ها است (آگاه و همکاران، ۱۳۸۳).

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج بررسی‌ها و مدل‌سازی‌های صورت گرفته نشان دهنده این مطلب است که روش گرانی‌سنجی در تعیین محل ساختارهای زیر سطحی پوشیده در مراحل اولیه اکتشافات نفتی بسیار مؤثر است. همچنین مدل‌سازی سه‌بعدی استفاده شده در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تاقدیس E نسبت به دیگر تاقدیس‌ها از عمق و

منابع

- Hinze, W. J., 1990, The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In: Ward (Ed), Geotechnical and environmental geophysics: the Society of Exploration Geophysicists, 75-126.
- Hoerl, A. E., and Kennard, R.W., 1970, Ridge regression: Based estimation for no orthogonal problems: *Technometric*, **12**, 55-67.
- Hoversten, G. M., Morrison, H. F., and Constable, S. C., 1998, Marine magnetotellurics for petroleum exploration, part 2: Numerical analysis of subsalt resolution: *Geophys.*, **63**, 826-840.
- Hubbert, M. K., 1948, A line-integral method of computing the gravimetric effects of two-dimensional masses: *Geophys.*, **13**, 215-225.
- Inman, J. R., 1975, Resistivity inversion with ridge regression. *Geophys.*, **40**, 798-817.
- Interpex, Ltd., 1999, Users manual of RESIX IP2DI, 2-D resistivity and induced polarization data interpretation software. Interpex Ltd., USA.
- Kaufman, A. A., and Keller, G. V., 1981, The magnetotelluric sounding method. Elsevier, 595.
- Li, Y. and Oldenburg, D. W., 1998, 3-D inversion of gravity data: *Geophys.*, **63**, 109-119.
- Loke, M. H., and Barker, R. D., 1996, Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method: *Geophys Prospect.*, **44**, 131-152.
- Meju, M. A., 1992, An effective ridge regression procedure for resistivity data inversion: *Comput Geosci.*, **18**, 99-118.
- Paterson, N. R., and Reeves, C. V., 1985, Applications of gravity and magnetic surveys: The state-of-the-art in 1985: *Geophys.*, **50**, 2558-2594.
- Pilkington, M., 1997, 3-D magnetic imaging using conjugate gradients: *Geophys.*, **62**, 1132-1142.
- Talwani, M., and Ewing, M., 1960, Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape: *Geophys.*, **25**, 203-225.
- Talwani, M., Worzel, J. I., and Landisman, M., 1959, Rapid gravity computation for tow-dimensional bodies with application to the Mendicino submarine fracture zone: *Geophys. Res.*, **64**, 49-59.
- Won, I. J., and Bevis, M., 1987, Computing the gravitational and magnetic anomalies due to polygon: Algorithms and Fortran subroutines: *Geophys.*, **52**, 232-238.
- آگاه، آ.، دولتی اردجانی، ف.، مرادزاده، ع. و طباطبایی رئیسی، ه.، ۱۳۸۳، تلفیق داده‌های مغناطیس هوایی و زمینی جهت شناسایی پتانسیل‌های نفتی ناحیه طبس: هشتمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- طباطبایی، ه. و نصرت ماکویی، ت.، ۱۳۷۲، گزارش تعبیر و تفسیر گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی ناحیه طبس: اداره ژئوفیزیک مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۷.
- مرادزاده، ع.، دولتی اردجانی، ف.، آگاه، آ. و طباطبایی رئیسی، ه.، ۱۳۸۳، اکتشاف تله‌های هیدروکربوری منطقه طبس به کمک داده‌های گرانی: کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۰۹۷-۲۱۰۸.
- مرادزاده، ع.، دولتی اردجانی، ف.، آگاه، آ. و طباطبایی رئیسی، ه.، ۱۳۸۴، مدل‌سازی دوبعدی معکوس داده‌های گرانی منطقه طبس: نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- مرادزاده، ع. و عرب‌امیری، ع. ر.، ۱۳۸۳، مدل‌سازی معکوس پارامتری داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه اندیس معدنی پاینده: هشتمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۸۷-۱۹۴.
- Encom Technology Pty Ltd, 2003, (b) Modelvision Pro Microsoft, The 3D workbench for magnetic and gravity interpretation, version 5.
- Grant, F. S., and West, G. F., 1965, Interpretation theory in applied geophysics. McGraw-Hill Book Co.
- Hassan-Zadeh Sharif, B., 1985, Source rock evaluation and sedimentary basin study of Tabas region: International conference on Petroleum Geochemistry and exploration in Afro-Asian region. India.

