

مدل سازی غیرخطی داده‌های گرانی با استفاده از عمق‌های برآورد شده از همه مقادیر s برای هر فاکتور شکل

مرضیه ولی اقبال^۱ و وحید ابراهیم‌زاده اردستانی^{۲*}

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ایران
^۲ مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۳)

چکیده

الگوریتم جدیدی برای برآورد عمق و پارامترهای مدل فرضی (ضریب دامنه) یک جسم بی‌هنگار با استفاده از همه داده‌های اندازه‌گیری شده گرانی بیان شده است. ضریب دامنه شامل پارامترهای هندسی و فیزیکی بوده و به همراه عمق می‌تواند دید کاملی از وضعیت هندسی و فیزیکی بی‌هنگاری زیر زمینی در اختیار مفسر بگذارد. مسئله برآورد عمق از داده مشاهده شده به یک معادله غیرخطی $F(z)=0$ تبدیل شده است (عیسی، ۲۰۱۱). این معادله را می‌توان برای عمق Z با کمینه کردن یک تابع هدف به روش کمترین مربعات با روش‌های تکرار استاندارد حل کرد. با استفاده از عمق برآورد شده، ضریب دامنه نیز قابل محاسبه است. روش بر پایه تعیین مجذور میانگین ریشه (کمترین مربعات) از عمق‌های برآورد شده با استفاده از همه مقادیر s برای هر فاکتور شکل است. کمینه مقدار کمترین مربعات به منزله معیاری برای برآورد شکل صحیح و عمق ساختار مدفون به کار برده می‌شود. وقتی فاکتور شکل صحیح به کار برده شود، کمترین مربعات عمق‌ها همیشه کمتر از کمترین مربعات محاسبه شده از فاکتورهای شکل نادرست است. تقریب پیشنهادی برای مجموعه‌ای از اجسام بی‌هنگاری با شکل هندسی ساده قابل استفاده است. روش کمترین مربعات به صورت کاملاً محاسباتی و پیشرو برای داده‌های نیم‌رخ قابل اعمال می‌باشد. بنابر این بایستی قبل از به کار بردن روش، داده‌های گرانی در امتداد یک نیم‌رخ که از دامنه بیشینه اثر گرانی آن میگذرد در نظر گرفته شوند. این روش برای مدل‌های مصنوعی مانند استوانه قائم نامتناهی، استوانه افقی و کره برای به دست آوردن پارامترهای مجهول هندسی مانند شکل، عمق و فیزیکی مانند تباین چگالی به کار برده شده است. این شکل‌های هندسی می‌توانند درصد بالایی از بی‌هنگاری‌های زیر سطحی را همانند سازی کنند. همچنین برای داده‌های مصنوعی آغشته به نوفه نیز از روش مذکور استفاده شده است. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی برای داده واقعی مربوط به اکتشاف باریت در منطقه استان فارس نزدیک شهر آباده به کار رفته است. پارامترهای به دست آمده حاصل از روش معرفی شده در این مقاله در مقایسه با نتایج حاصل از روش اویلر برای عمق و همچنین نتایج حاصل از حفاری هماهنگی خوبی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تفسیر گرانی، روش کمترین مربعات، اجسام هندسی ساده، برآورد عمق، پارامترهای مدل فرضی

The nonlinear modelling of gravity data using estimated depths from all s -values for each shape factor

Marzie Valieghbal¹ and Vahid Ebrahimzadeh Ardestani^{2*}

¹ Islamic Azad University, Hamedan, Iran
² Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 25 December 2012, accepted: 24 November 2014)

Summary

An inversion algorithm was developed to estimate the depth and the associated model parameters of the anomalous bodies from the gravity measured data (Essa, 2011).

These parameters including geometrical and physical ones are defined as the amplitude coefficient and will be estimated through the method which is defined in this paper. One of the most important parameters is the depth of the causative bodies.

The problem of depth (z) estimation from the observed data was transformed into a nonlinear equation of the form $F(z) = 0$. This equation was then solved for z by minimizing an objective functional in the least-squares sense through standard iterative methods. These standard iterative methods can solve the problem very readily and in the shortest time. However other numerical methods can also be used for solving the equation and the more accurate method gives more precise results. Therefore solving the nonlinear equation is a vital step in obtaining the more precise results.

Using the estimated depth, the amplitude coefficient was computed from the measured gravity data. The method was based on determining the root mean square (RMS) of the depths estimated by using all s -values for each shape factor. The primary shape factors for these simple geometrical shapes are defined as the a priori information and are assumed known before the process. The minimum RMS was used as a criterion for estimating the correct shape and depth of the buried structure. When the correct shape factor was used, the RMS of the depths is less than the RMS computed using wrong shape factors. These correct shape factors are actually estimated through the method and are different from the prior ones and reflect the closest shape to the real shape of the subsurface anomaly.

In other words, the RMS of the correct shape factor is the least one. The proposed approach was applicable to a class of geometrically simple anomalous bodies, such as the semi-infinite vertical cylinder, the horizontal cylinder and the sphere which can simulate the shape of the most causative bodies. The method is tested for synthetic models with and without random noise. The method gives precise results for synthetic models contaminated by 5 to 10 per cent random noise which is quite acceptable and promising.

This technique was also successfully applied to real data for mineral exploration. The applied real data belongs to an area with hilly topography located in the Fars Province close to the Abadeh city where the barite deposit is under exploration.

The method is used for a profile of real data that is provided from the residual anomalies and passed from the main detected positive anomaly in the area. It was found that the estimated depths and the associated model parameters were in good agreement with the results obtained through Euler method and drilling.

The simple equations of the method and the precise results show its usefulness for obtaining the unknown parameters of causative bodies in gravity data interpretation. Therefore, the method is quite promising in obtaining the unknown parameters for different causative bodies and specially in cases that the shape of the anomaly is close to sphere and cylinder. This is usually the case in ore bodies detection and delineation.

Keywords: Gravity interpretation, least-squares method, RMS, simple geometric bodies, depth and associated model parameters estimation

۱ مقدمه

داده گرانی به روش‌های زیادی برای حل مسائل گوناگون اکتشاف که به ساختگاه زمین‌شناسی و پارامترهای سنگ وابسته‌اند، به کار می‌رود. روش گرانی برای اکتشاف معدن، اکتشاف نفت، مهندسی کاربردی و دیگر موارد به کار برده شده است. اجسام شکل‌های هندسی متفاوتی دارند که می‌توانند روی سطح زمین میدان‌های گرانی یکسانی را ایجاد کنند. در عمل، در زمین‌شناسی، اجسام شکل هندسی ساده‌ای ندارند ولی معمولاً برای تحلیل بسیاری از منابع بی‌هنجاری، اگر اجسام را به صورت شکل هندسی ساده در نظر بگیریم کافی است. (نتلتون، ۱۹۷۶؛ سالم و همکاران، ۲۰۰۴) برای تفسیر گرانی به منظور تعیین عمق و شکل ساختار مدفون و دیگر پارامترهای مدل فرضی، دو روش وجود دارد. این دو پارامتر (شکل و عمق) را به منزله مهم‌ترین مسئله در اکتشاف ژئوفیزیکی در نظر می‌گیرند. اولین طبقه‌بندی شامل مدل‌سازی پوسته دو بُعدی و سه بُعدی و روش‌های وارون است (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۱). برای حل به این روش‌ها، به اطلاعات چگالی برای گرانی نیاز است. علاوه بر آن اطلاعات زمین‌شناسی و دیگر اطلاعات ژئوفیزیکی نیز مورد نیاز است. بنابراین نتیجه‌گیری مدل، وابستگی زیادی به این فاکتورها دارد. طبقه‌بندی دوم، روش‌های هندسی ساده‌ای در مورد کره، استوانه افقی و استوانه قائم است که شکل مدل و عمق ساختارهای مدفون را با استفاده از داده مشاهده‌ای و یا باقی‌مانده برآورد می‌کند. چندین روش برای طبقه‌بندی دوم در تفسیر داده گرانی با استفاده از شکل‌های هندسی ساده وجود دارد (عبدالرحمن و همکاران، ۱۹۸۹، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴؛ عبدالرحمن و العربی، ۱۹۹۳؛ عیسی و همکاران، ۲۰۰۸). الگوریتم جدیدی برای وارون‌سازی گرانی با موفقیت بسط داده شده است (عیسی، ۲۰۱۱). با استفاده از این الگوریتم می‌توان عمق و دیگر پارامترهای مدل فرضی ساختار مدفون را تعیین کرد.

این الگوریتم را نگارندگان در محیط نرم‌افزار مت‌کب (MATLAB) گدگذاری کرده‌اند. با استفاده از داده اندازه‌گیری شده می‌توان عمق و ضریب دامنه را به دست آورد. این روش به مجذور میانگین ریشه کمترین مربعات، (روش کمترین مربعات به) عمق‌های برآورد شده با استفاده از همه مقادیر S برای هر فاکتور شکل بستگی دارد. کمینه مقدار کمترین مربعات در حکم معیاری برای تعیین شکل صحیح و عمق نمونه‌های تصادفی و بدون آن اجرا می‌شود. این روش همچنین با موفقیت برای داده واقعی در اکتشاف به کار رفته است و می‌توان دریافت که عمق‌های برآورد شده و پارامترهای مدل فرضی توافق خوبی با مقادیر واقعی دارند.

۲ روش تحقیق

بیان بی‌هنجاری گرانی با توجه به ساختار زمین‌شناسی ساده در امتداد نیم‌رُخی که روی جسم در نظر گرفته شده، به صورت زیر داده شده است (عیسی، ۲۰۱۰):

$$J(x_i, z) = A \frac{cx_i (\cos \theta)^n + z^p (\sin \theta)^m}{(x_i^2 + z^2)^q}, \quad (1)$$

$$i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots, \pm k,$$

که Z عمق جسم برحسب متر است. A یک فاکتور دامنه است که به پارامترهای فیزیکی منبع وابسته است. θ در مورد گرانی قائم و رو به پایین است. X_i مختصات افقی و برحسب متر و q فاکتوری بی‌بعد است که به شدت به شکل ساختار وابسته است. مقادیر c، m، n، p و q در جدول ۱ داده شده است. برای مثال، فاکتورهای شکل برای کره (سه بُعدی)، استوانه افقی (دو بُعدی) و استوانه قائم (دو بُعدی) به ترتیب ۱/۵، ۱ و ۰/۵ است. موقعیت این اجسام هندسی ساده در شکل‌های الف تا ج آورده شده است.

با استفاده از رابطه (۱) در
 $x_i = \pm s, s = 1, 2, 3, \dots, k,$ رابطه (۴) را به صورت
 زیر به دست می آوریم:

(۴)

$$J(+s) = A \frac{cs(\cos\theta)^n + z^p(\sin\theta)^m}{(s^2 + z^2)^q}, \quad x_i = +s,$$

$$J(-s) = A \frac{-cs(\cos\theta)^n + z^p(\sin\theta)^m}{(s^2 + z^2)^q}, \quad x_i = -s,$$

که s شاخص فاصله گذاری است.

حال تابع F را به صورت رابطه (۵) تعریف می کنیم.

$$F = \frac{J(+s)}{J(-s)}, \quad (۵)$$

رابطه (۱) را می توان با استفاده از رابطه های (۲) و (۵)
 به صورت رابطه (۶) نوشت:

(۶)

$$J(x_i, z) = \frac{J(0)[x_i(F-1) + s(F+1)] \left(\frac{z^2}{x_i^2 + z^2} \right)^q}{s(F+1)},$$

برای همه شکل ها (که تابعی از q هستند) رابطه (۱)
 نسبت زیر را در مبدأ نتیجه می دهد:

$$A = \frac{J(0)z^{2q-p}}{(\sin\theta)^m}, \quad (۲)$$

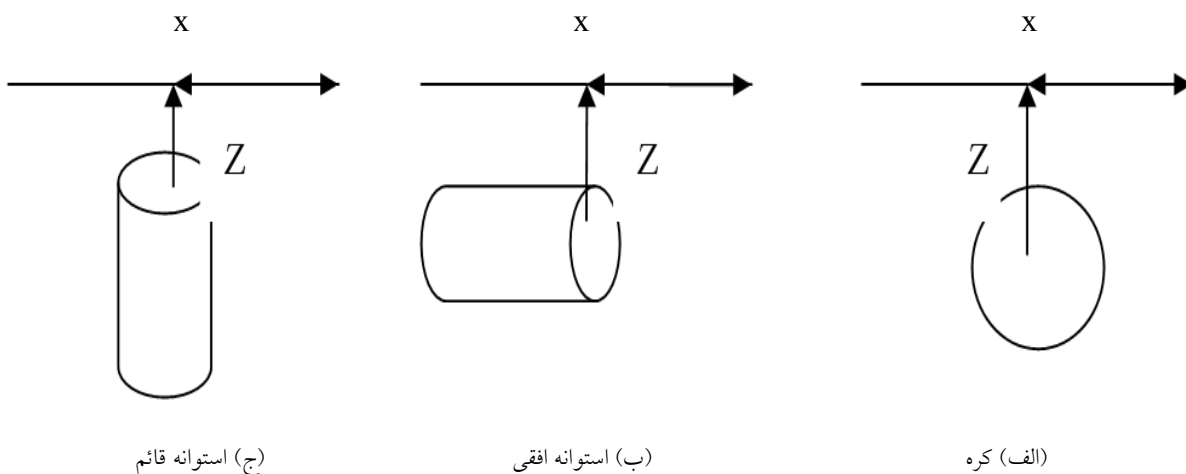
که $J(0)$ مقدار بی هنجاری در مبدأ است.

برای گرانی $c=0, m=0, n=0$ و با استفاده از رابطه (۲)،
 رابطه (۱) ساده می شود به:

جدول ۱. مقادیر p, c, m, n در مورد گرانی برای اجسام گوناگون.

شکل	C	m	n	P
کره ($q = 1/5$)	0	0	0	1
استوانه افقی ($q = 1/0$)	0	0	0	1
استوانه قائم ($q = 0/5$)	0	0	0	0

$$J(x_i, z) = J(0) \frac{z^{2q}}{(x_i^2 + z^2)^q}, \quad (۳)$$



(الف) کره

(ب) استوانه افقی

(ج) استوانه قائم

شکل ۱. موقعیت اجسام هندسی ساده. (الف) کره (ب) استوانه افقی (ج) استوانه قائم.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=-k}^k [L(x_i) - J(x_i, z)]^2}{2k+1}}, \quad (10)$$

که $2k+1$ تعداد نقاط مشاهده شده است، $L(x_i)$ و $J(x_i, z)$ به ترتیب بی‌هنجاری‌های گرانی مشاهده شده و محاسبه شده هستند. کمینه کمترین مربعات در حکم معیاری برای تعیین فاکتور شکل صحیح ساختار مدفون به کار می‌رود. وقتی فاکتور شکل صحیح باشد، کمترین مربعات کمتر از کمترین مربعات محاسبه شده با فاکتور شکل، نادرست است. در روش گرانی، بیشینه اصلی یا کمینه اصلی، مقادیر نیم‌رخ‌ها را می‌توان به مثابه موقعیت مبدأ جسم در نظر گرفت.

۳ نمونه‌های مصنوعی

نمونه‌های عددی با استفاده از روش مورد نظر بررسی شده است. برای نشان دادن کارایی این روش، مدل‌های کروی، استوانه افقی و استوانه قائم انتخاب شده‌اند که این مدل‌ها و اثر گرانی هر یک را در شکل‌های زیر می‌بینیم. با توجه به روش ذکر شده، عمق و پارامتر شکل محاسبه شده است که توافق خوبی با مدل‌های مصنوعی دارد. یک خطای تصادفی ۵٪ به مجموعه داده‌های فرضی اضافه شده است که نشان می‌دهد با این روش، با وجود نوفه نیز به جواب درستی خواهیم رسید.

۳-۱ مدل مصنوعی، کره

مدل مصنوعی کره‌ای است با تباین چگالی kg/m^3 ۱۰۰۰ که عمق از مرکز آن تا سطح زمین ۳ m است (شکل‌های ۳-الف و ۳-ب).

با استفاده از جدول ۲ می‌توان دریافت که کمینه مقدار کمترین مربعات به‌ازای شکل کره به‌دست آمده است و عمق آن با داده‌های مصنوعی بدون نوفه فقط ۵ میلی‌متر

عمق نامعلوم (z) در رابطه (۶) را می‌توان با کمینه کردن $\phi(z)$ به‌دست آورد:

$$\phi(z) = \sum_{i=-k}^k \left[L(x_i) - A \left(\frac{z^2}{x_i^2 + z^2} \right)^q \right]^2, \quad (7)$$

$$A = \frac{J(0)[x_i(F-1) + s(F+1)]}{s(F+1)}$$

که $L(x_i)$ بر بی‌هنجاری گرانی در x_i دلالت دارد.

(۸)

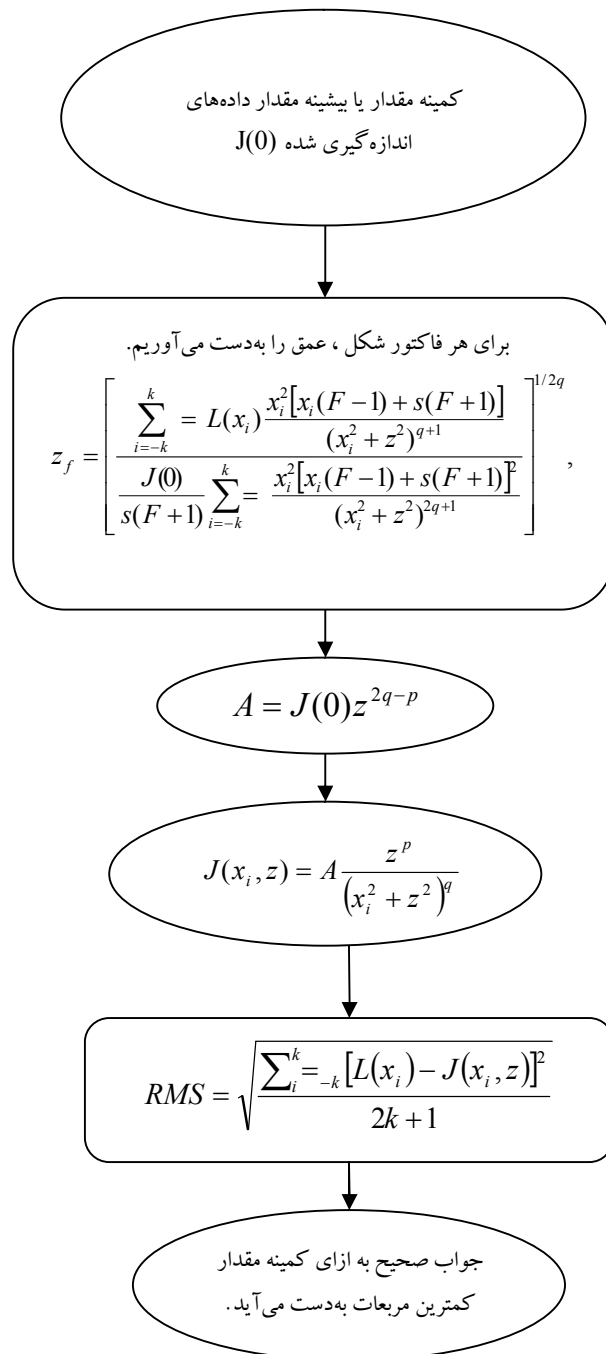
$$z_f = \left[\frac{\sum_{i=-k}^k L(x_i) \frac{x_i^2 [x_i(F-1) + s(F+1)]}{(x_i^2 + z^2)^{q+1}}}{\frac{J(0)}{s(F+1)} \sum_{i=-k}^k \frac{x_i^2 [x_i(F-1) + s(F+1)]^2}{(x_i^2 + z^2)^{2q+1}}} \right]^{1/2q}$$

رابطه (۸) را می‌توان برای z با استفاده از روش تکرار نقطه ثابت حل کرد (موستوو باری، ۱۹۸۸) و صورت تکرارش را می‌توان به‌صورت رابطه (۹) بیان کرد.

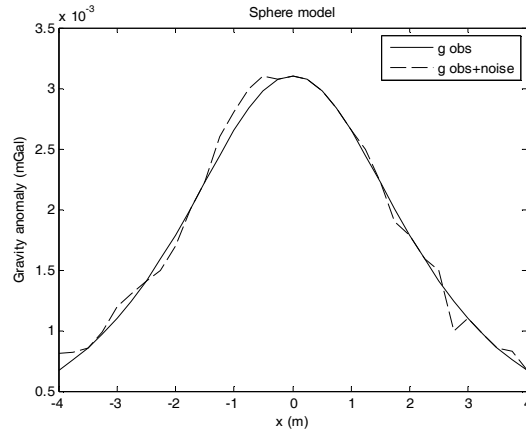
$$z_f = f(z_i), \quad (9)$$

که Z_f و Z_i عمق‌های اولیه و نهایی هستند. فرایند تکرار وقتی اجرا می‌شود که $|z_f - z_i| \leq \varepsilon$ باشد. ε یک عدد حقیقی کوچک نزدیک به صفر است. هر فرض اولیه برای z به‌خوبی عمل می‌کند چون فقط یک کمینه کلی وجود دارد. هیچ محدودیتی برای حدس اولیه پارامتر عمق موجود نیست. با دانستن z ، فاکتور دامنه را می‌توان تعیین کرد. با استفاده از پارامترهای مدل میانگین برای هر فاکتور شکل، کمترین مربعات (رابطه (۱۰)) اختلاف بین بی‌هنجاری گرانی مشاهده شده و محاسبه شده را حساب می‌کند.

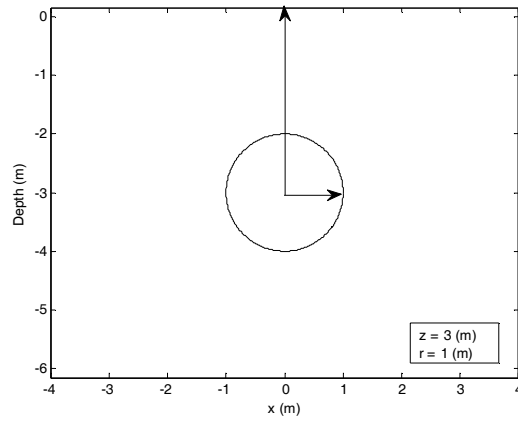
اختلاف دارد. با وجود خطای تصادفی ۰.۵٪، عمق ۳/۰۱۷ متر الگوریتم تعریف شده: به دست آمده که درصد خطای عمق ۰.۵۶٪ است.



شکل ۲. نمودار گردش برنامه رایانه‌ای.



(الف)

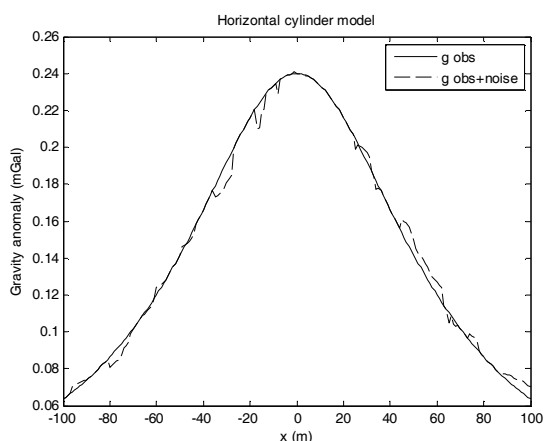


(ب)

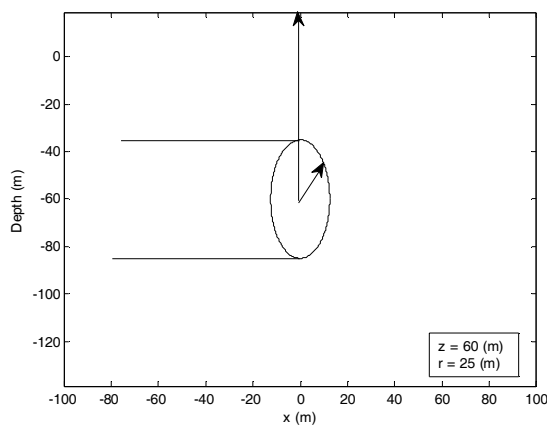
شکل ۳. (الف) اثر گرانی کره. (ب) کره‌ای به شعاع ۱ متر و در عمق ۳ متر.

جدول ۲. نتایج عددی حاصل از اثر گرانی مدل مصنوعی کره با وجود نوفه تصادفی ۵٪ و بدون نوفه تصادفی.

	بدون نوفه تصادفی	داده مصنوعی	
برای مدل استوانه قائم ($q = 0/5$)	برای مدل استوانه افقی ($q = 1$)	برای مدل کره ($q = 1/5$)	
۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۷۰	۰/۰۲۷۸	مقدار میانگین A
۱/۲۹۳	۲/۲۶۶	۲/۹۹۵	عمق (متر)
$۱/۶۳ \times ۱۰^{-۴}$	$۴/۷۶ \times ۱۰^{-۵}$	$۲/۲۰ \times ۱۰^{-۶}$	کمترین مربعات (میلی گال)
	نوفه تصادفی ۵٪	داده مصنوعی با	
۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۷۱	۰/۰۲۸۳	مقدار میانگین A
۱/۳۱۲	۲/۲۸۶	۳/۰۱۷	عمق (متر)
$۱/۸۲ \times ۱۰^{-۴}$	$۹/۳۶ \times ۱۰^{-۵}$	$۸/۲۸ \times ۱۰^{-۵}$	کمترین مربعات (میلی گال)



(الف)

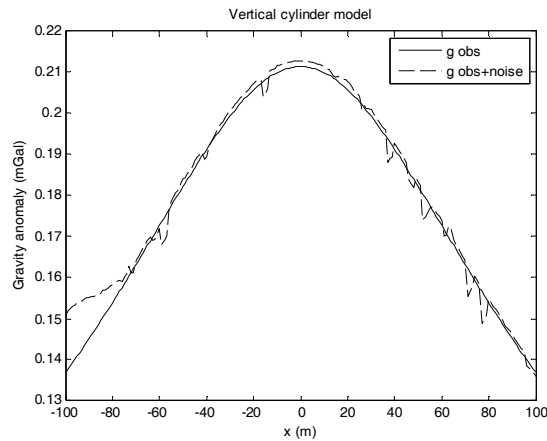


(ب)

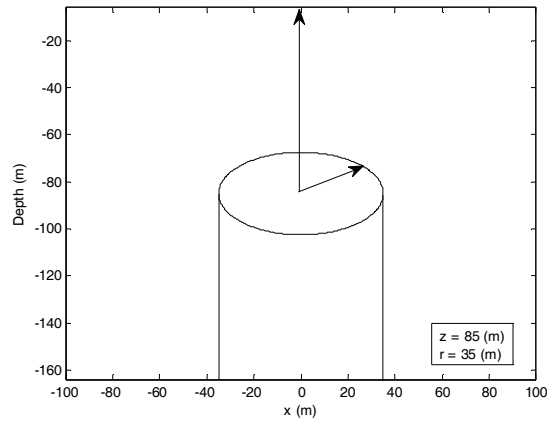
شکل ۴. (الف) اثر گرانی استوانه افقی. (ب) استوانه افقی به شعاع ۲۵ متر و در عمق ۶۰ متر.

جدول ۳. نتایج عددی حاصل از اثر گرانی مدل مصنوعی استوانه افقی با وجود نوفه تصادفی ۵٪ و بدون نوفه تصادفی.

	بدون نوفه تصادفی	داده مصنوعی	
برای مدل استوانه قائم ($q = 0/5$)	برای مدل استوانه افقی ($q = 1$)	برای مدل کره ($q = 1/5$)	
۸/۳۰۸۰	۱۴/۴۰۵۴	۱۵۰۰	مقدار میانگین A
۳۴/۶۰۲	۵۹/۹۹۷	۷۹/۰۴۱	عمق (متر)
۰/۰۰۸۲	۴/۶۰×۱۰-۶	۰/۰۰۳۳	کمترین مربعات (میلی گال)
	نوفه تصادفی ۵٪	داده مصنوعی با	
۸/۳۳۶۷	۱۴/۴۸۰۰	۱۵۱۲/۵	مقدار میانگین A
۳۴/۶۲۱	۶۰/۱۲۳	۷۹/۲۵۴	عمق (متر)
۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۵۷	کمترین مربعات (میلی گال)



(الف)



(ب)

شکل ۵. (الف). اثر گرانی استوانه قائم. (ب). استوانه قائمی به شعاع ۳۵ متر و در عمق ۸۵ متر.

جدول ۴. نتایج عددی حاصل از اثر گرانی مدل مصنوعی استوانه قائم با وجود نوفه تصادفی ۵٪ و بدون نوفه تصادفی.

	بدون نوفه تصادفی	داده مصنوعی	
برای مدل استوانه قائم ($q = 0/5$)	برای مدل استوانه افقی ($q = 1$)	برای مدل کره ($q = 1/5$)	
۱۷/۹۶۷۶	۲۷/۵۸۴۳	۵۷۱۲/۵	مقدار میانگین A
۸۴/۹۹۶	۱۳۰/۴۸۸	۱۶۴/۳۸۷	عمق (متر)
۲/۴۰×۱۰-۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۲	کمترین مربعات (میلی گال)
	نوفه تصادفی ۵٪	داده مصنوعی با	
18/3423	28/1807	5925/5	مقدار میانگین A
۸۶/۱۹۸	۱۳۲/۴۳۳	۱۶۶/۸۷۳	عمق (متر)
۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۵	کمترین مربعات (میلی گال)

است که عمق آن با داده‌های مصنوعی بدون نوفه فقط ۴ میلی‌متر اختلاف دارد و با وجود خطای تصادفی ۵٪، عمق ۸۶/۱۹۸ متر به دست آمده که خطای محاسبه آن ۱/۴۱٪ است.

۴ داده حقیقی، منطقه آباده

۴-۱ موقعیت جغرافیایی

شهرستان آباده در شمال استان فارس به مرکزیت شهر آباده قرار دارد. این شهرستان از شرق به شهرستان ابرکوه در استان یزد، از جنوب به شهرستان خرمید، از غرب به شهرستان اقلید و سمیرم و از شمال به استان اصفهان متصل است. فاصله مرکز شهرستان تا شیراز ۲۷۵ کیلومتر است و در فاصله ۲۰۰ کیلومتری جنوب مرکز استان اصفهان قرار دارد.

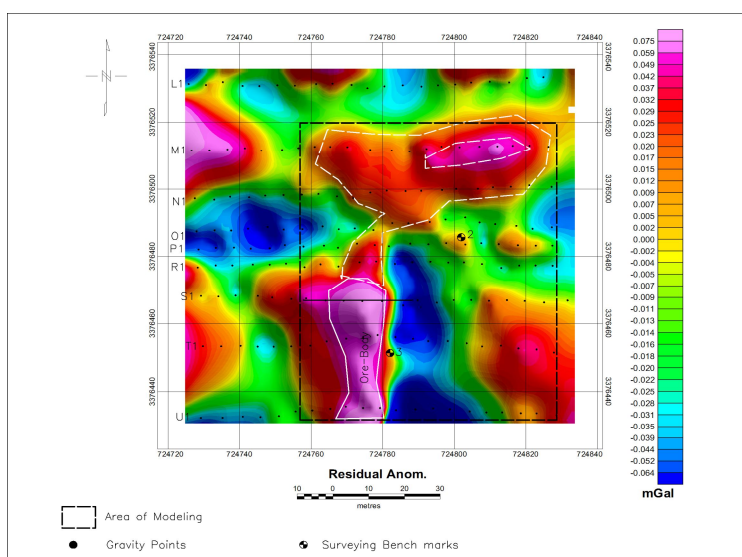
این شهرستان در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۲۱ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است.

۳-۲ مدل مصنوعی، استوانه افقی (دو بُعدی)

مدل مصنوعی استوانه‌ای افقی است با تباین چگالی 550 kg/m^3 که عمق از مرکز آن تا سطح زمین ۶۰ m است (شکل‌های ۴-الف و ۴-ب). با استفاده از جدول ۳ می‌توان دریافت که کمینه مقدار کمترین مربعات به‌ازای شکل استوانه افقی به دست آمده است که عمق آن با داده‌های مصنوعی بدون نوفه فقط ۳ میلی‌متر اختلاف دارد و با وجود یک خطای تصادفی ۵٪، عمق ۶۰/۱۳۳ متر به دست آمده که خطای محاسبه عمق ۰/۲۲٪ است.

۳-۳ مدل مصنوعی، استوانه قائم (دو بُعدی)

مدل مصنوعی استوانه‌ای قائم است با تباین چگالی 700 kg/m^3 که عمق از مرکز آن تا سطح زمین ۸۵ m است (شکل‌های ۵-الف و ۵-ب). با استفاده از جدول ۴ می‌توان دریافت که کمینه مقدار کمترین مربعات به‌ازای شکل استوانه قائم به دست آمده

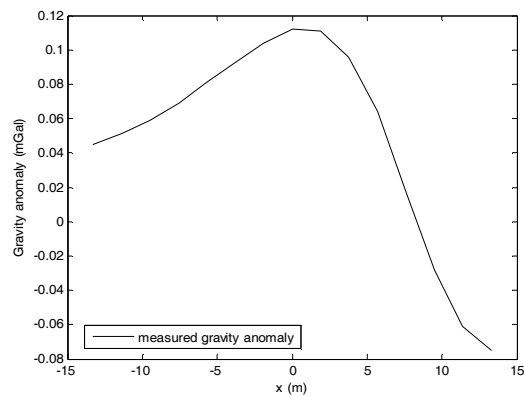


شکل ۶. نقشه گرانی باقی مانده بی‌هنجاری بوگه معدن باریت.

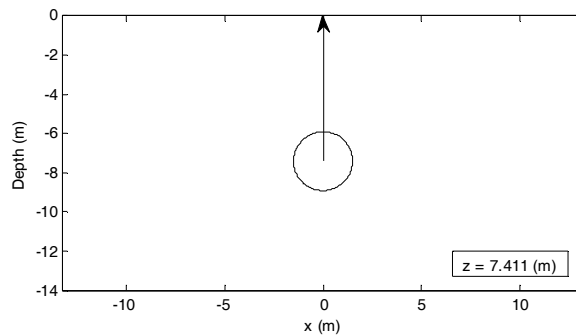
۲-۴ زمین‌شناسی

هدف اکتشافی در این منطقه معدن باریت و عمدتاً تشکیلات زمین‌شناسی موجود در ناحیه رسوبات دوران دوم (ژوراسیک و کرتاسه) است. قدیمی‌ترین واحد تشکیلات با جنس سیلت استون، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های آذرین مربوط به

دوران ژوراسیک است که با یک رورانندگی در کنار تشکیلات سنگ آهکی کرتاسه قرار گرفته است. بیرون‌زدگی‌های کانسار باریت عمدتاً در سنگ آهک بلوری مربوط به دوران سوم دیده شده است که با یک رورانندگی در کنار واحدهای با سن ژوراسیک قرار گرفته است.



(الف)

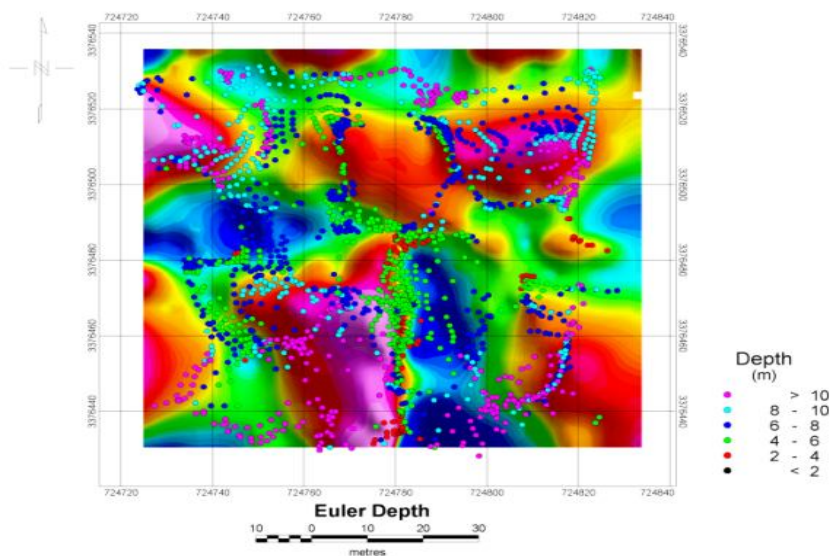


(ب)

شکل ۷. (الف) نمودار بی‌هنجاری باقی‌مانده معدن باریت (ب) مدل بی‌هنجاری.

جدول ۵. نتایج عددی حاصل از اثر گرانی معدن باریت.

برای مدل استوانه قائم ($q = 0/5$)	برای مدل استوانه افقی ($q = 1$)	برای مدل کره ($q = 1/5$)	
۰/۲۳۸۷	۰/۶۱۸۰	۶/۱۵۱۴	مقدار میانگین A
۲/۱۳۱	۵/۵۱۸	۷/۴۱۱	عمق (متر)
۰/۰۴۴	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹	کمترین مربعات (میلی گال)



شکل ۸. عمق به دست آمده به روش اویلر برای معدن باریت.

است. همچنین برای داده حقیقی، توافق خوبی با واقعیت دارد.

منابع

Abdelrahman, E. M., Bayoumi, A. I., Abdelhady, Y. E., Gobashy, Y. E., Gobashy, M. M., and EL-Araby, H. M., 1989, Gravity interpretation using correlation factors between successive least-squares residual anomalies: *Geophysics*, **54**, 1614-21.

Abdelrahman, E. M., El-Araby, T. M., 1993, A least-squares minimization approach to depth determination from moving average residual gravity anomalies: *Geophysics*, **59**, 1779-84.

Abdelrahman, E. M., El-Araby, H. M., Hassanein, A. G., and Haféz, M. A., 2003, New methods for shape and depth determinations from SP data: *Geophysics*, **68**, 1202-10.

Abdelrahman, E. M., Saber, H. S., Essa, K. S., and Fouda, M. A., 2004, A least-squares approach to depth determination from numerical horizontal self-potential gradients: *Pure Appl. Geophysics*, **161**, 399-411.

Essa, K., Mehane, S., and Smith, P. D., 2008, A new inversion algorithm for estimating the best fitting parameters of some geometrically simple body to measured self-potential anomalies: *Explor. Geophys.*, **39**, 155-63

Mustoe, L. R., and Barry, M. D., J, 1998, *Mathematics in Engineering and Science* (New York: Wiley), 756 pp.

شکل ۶ نقشه بی‌هنجاری بوگه معدن باریت است و طول نیم‌رُخ با خط مشکی در شکل مشخص شده است. جزئیات نیم‌رُخ معدن باریت در شکل‌های ۷-الف و ۷-ب آورده شده است.

با استفاده از جدول ۵ می‌توان دریافت که کمینه مقدار کمترین مربعات به‌ازای شکل کره به دست آمده است که عمق از مرکز آن ۷/۴۱۱ متر است.

شکل ۸ عمق به دست آمده به روش اویلر را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل می‌بینیم، عمق به دست آمده از روش مورد بحث در این تحقیق، تطابق خوبی با عمق حاصل از روش اویلر دارد.

۵ نتیجه‌گیری

الگوریتم پیشنهادی برای تفسیر داده گرانی برای ساختار مدفون ساده همچون یک استوانه قائم، استوانه افقی و یک کره بسط داده شده است. روش پیشنهادی نیمه‌خودکار است و فرض می‌کند که شکل جسم با استفاده از اطلاعات ژئوفیزیکی و یا زمین‌شناسی قبلی شناخته شده است. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی روی نمونه‌های مصنوعی با وجود نوفه تصادفی و بدون آن آزموده شده

- Essa, K. S., 2010, A generalized algorithm for gravity or self potential data inversion with application to mineral exploration: 21st Australian Society of Exploration Geophysicists (ASEG) Conf and Exhibition, Expanded Abstracts, Session: Innovations in Geophysical Inversion, **1**, 1-4.
- Essa, K., 2011, A new Algorithm for gravity or self-potential data interpretation: IOP Publishing, **8**, 434-446.
- Nettleton, L. L., 1976, Gravity and Magnetism in Oil Prospecting (New York: McGraw-Hill), 464 pp.
- Salem, A., Ravat, D., Mushayandebve, M. F., and Ushijima, K., 2004, Linearized least-squares method for interpretation of potential-field data from sources of simple geometry: Geophysics, **69**, 783-8.
- Zhang, J., Zhong, B., Zhou, X., and Dai, Y., 2001, Gravity anomalies of 2D bodies with variable density contrast: Geophysics, **66**, 809-13.
(this part is for before part related to Essa 2008).