

تفسیر داده‌های گرانی با استفاده از الگوریتم مشتق چهارم افقی و منحنی-S

فائزه بهرامی^{۱*} و وحید ابراهیم‌زاده اردستانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ایران
^۲ استاد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۱۰/۲۴، پذیرش نهایی: ۹۲/۷/۱۶)

چکیده

در این تحقیق، یک الگوریتم برای تفسیر کمی سریع داده‌های گرانی تولید شده از شکل اجسام هندسی ساده و برآورد عمق و دیگر پارامترهای یک ساختار مدفون، توسعه داده شده است. این الگوریتم مشتق عددی افق چهارم محاسبه شده از بی‌هنجاری گرانی مشاهده شده را با استفاده از صافی‌های متوالی طول پنجره برای برآورد عمق و شکل ساختار مدفون مورد استفاده قرار می‌دهد. برای یک طول پنجره ثابت شده، عمق با استفاده از یک فرمول ساده برای هر نوع شکل برآورد، و تغییر در عمق‌های محاسبه شده نسبت به انواع شکل روی یک نمودار رسم می‌شود. همه نقاط برای یک طول پنجره ثابت با یک منحنی پیوسته (منحنی-S) به هم وصل می‌شوند و برای تعیین عمق و شکل ساختار مدفون، محل تلاقی مشترک از منحنی-S خوانده می‌شود. این روش برای داده‌های مصنوعی با و بدون خطاهای تصادفی در یک میدان نمونه در ایران به کار برده شد. در موارد مربوط به آزمایش، عمق‌های به دست آمده تطابق خوبی با مقادیر واقعی دارند.

واژه‌های کلیدی: بی‌هنجاری گرانی، عمق و شکل برآورد شده، منحنی-S، مشتق عددی افقی چهارم

Gravity data interpretation using the algorithm fourth horizontal derivatives and s- curves method

Bahrami, F.¹ and Ardestani, E. V.²

¹M. Sc. Student of Geophysics, Islamic Azad University, Hamadan, Iran

²Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 13 Jan 2013, Accepted: 08 Oct 2013)

Summary

The gravity method is one of the first geophysical techniques used in oil and gas exploration. An algorithm is developed for a fast quantitative interpretation of gravity data generated by geometrically simple but also the estimated depths and other model parameters of a buried structure.

Following Abdelrahman et al (1989). The general gravity anomaly expression produced by a sphere, an infinite long horizontal cylinder and a semi- infinite vertical cylinder can be represented by the following equation

$$g(x_i, z, q) = A \frac{z^m}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (1)$$

where

$$A = \begin{cases} \frac{4}{3}\pi G\sigma R^3 \\ 2\pi G\sigma R^2 \\ \pi G\sigma R^2 \end{cases}, m = \begin{cases} 1 \\ 1 \\ 0 \end{cases}, q = \begin{cases} \frac{3}{2} & \text{برای کره} \\ 1 & \text{برای استوانه افقی} \\ \frac{1}{2} & \text{برای استوانه قائم} \end{cases}$$

and z is the depth of the body, x_i is the horizontal position coordinate, σ is the density contrast, G is the universal gravitational constant and R is the radius and q is factor related to the shape of the buried structure and is equal to 0.5, 1.0, and 1.5 for the semi-infinite vertical cylinder, horizontal cylinder and the sphere respectively.

Consider nine observation point $(x_i - 4s)$, $(x_i - 3s)$, $(x_i - 2s)$, $(x_i - s)$, (x_i) , $(x_i + s)$, $(x_i + 2s)$, $(x_i + 3s)$, $(x_i + 4s)$, along the anomaly profile where $s=1, 2, 3, M$ spacing units and is called the window length.

Using equation (1) the simplest first numerical horizontal gravity gradient (dg/dx),

$$g_x(x_i, z, q, s) = \frac{A}{2s} \left\{ \frac{1}{((x_i+s)^2+z^2)^q} - \frac{1}{((x_i-s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (2)$$

the second horizontal derivative gravity anomaly is obtained from equation (2) as

$$g_{xx}(x_i, z, q, s) = \frac{A}{4s^2} \left\{ \frac{1}{((x_i+2s)^2+z^2)^q} - \frac{2}{((x_i)^2+z^2)^q} + \frac{1}{((x_i-2s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (3)$$

the third horizontal gradient is(3)

$$g_{xxx}(x_i, z, q, s) = \frac{A}{8s^3} \left\{ \frac{1}{((x_i+3s)^2+z^2)^q} - \frac{3}{((x_i+s)^2+z^2)^q} + \frac{3}{((x_i-s)^2+z^2)^q} - \frac{1}{((x_i-3s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (4)$$

Similarly, the fourth horizontal gradient is (4)

$$g_{xxxx}(x_i, z, q, s) = \frac{A}{16s^4} \left\{ \frac{1}{((x_i+4s)^2+z^2)^q} - \frac{4}{((x_i+2s)^2+z^2)^q} + \frac{6}{((x_i)^2+z^2)^q} - \frac{4}{((x_i-2s)^2+z^2)^q} + \frac{1}{((x_i-4s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (5)$$

Which yields;

$$z = \left\{ \frac{F[z^{2q}(4s^2+z^2)^q + 3(4s^2+z^2)^q(16s^2+z^2)^q - 4z^{2q}(16s^2+z^2)^q](s^2+z^2)^q(9s^2+z^2)^q(25s^2+z^2)^q}{[(s^2+z^2)^q(9s^2+z^2)^q - 3(s^2+z^2)^q(25s^2+z^2)^q + 2(25s^2+z^2)^q(9s^2+z^2)^q](4s^2+z^2)^q(16s^2+z^2)^q} \right\}^{1/2q} \quad (6)$$

Where

$$F = \frac{g_{xxxx}(s) + g_{xxxx}(-s)}{g_{xxxx}(0)} \quad (7)$$

Equation (5) can also be solved using a simple iteration method.

Equations (5) can be used to determine the depth and the shape of a buried structure using the window curves method. The validity of the method is tested on synthetic data white and without random errors.

The method was applied to a gravity anomaly from the Abade of Iran .The results shows that the s -curves intersect each other in a narrow region where $7.220 < z < 7995$ m and $1.40 < q < 1.51$;

The central point of this region occurs at the location $z = 7.6900$ m and $q = 1.43$.

The aim of the present study is to develop a simple method (s -curves method) for analysis of gravity anomalies due to derivative calculations that can be used to estimate the depth and the shape of the causative bodies. In all cases examined, the estimated depths are found to be in good agreement with the actual values.

Keywords: Gravity anomalies, Depth and shape estimation, Numerical fourth horizontal derivative, The s - curves method

۱ مقدمه

یکی از اولین روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده در اکتشاف نفت و گاز، روش گرانی است که دارای اهمیت و گاهی قید تعیین‌کننده در نواحی اکتشافی است. در اکتشاف نفت، روش گرانی به‌طور کلی در حوزه‌های نمکی، کمربندهایی با دامنه کم و تراست، در حوضه‌های اکتشافی و اهداف مورد نظر زیر مناطق سرعت زیاد به کار می‌رود. روش گرانی گاهی اوقات در استخراج معدن برای نقشه زیرسطحی زمین‌شناسی و در محاسبه ذخایر کانی برای تعدادی توده کانی سولفیدی جرم استفاده می‌شود. بیشتر ساختارهای زمین‌شناسی در اکتشاف نفت و مواد معدنی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شود کره‌ها، استوانه افقی و استوانه قائم. این سه شکل ساده هندسی برای ساختارهای زمین‌شناسی که اغلب با آنها در تفسیر داده گرانی روبه‌رو می‌شویم تقریب‌های مناسبی هستند، هرچند تفسیر داده‌های گرانی همیشه موضوعی مبهم است. شکل‌های هندسی گوناگون از جرم‌های زیرسطحی، عامل ایجاد بی‌هنجاری گرانی در سطح هستند. با وجود این حقیقت، یک روش منحصر به فرد می‌تواند زمانی که تباین چگالی ثابت و سطح مشترک دارای یک شکل شناخته شده باشد، به داده گرانی برسد.

مشکل ابهام در تفسیر داده‌ای میدان پتانسیل را نمی‌توان با هر فرآیند یا روش تفسیر حل کرد (روی، ۱۹۶۲). تعدادی از روش‌هایی که برای تعیین شکل و ساختار مدفون یک بی‌هنجاری گرانی باقی‌مانده رشد پیدا کرده‌اند؛ از جمله روش تبدیل والش (شاو و آگاروال، ۱۹۹۰)، روش گرافیکی (روی و همکاران، ۱۹۹۹)، روش حداقل مربعات (عبدالرحمن و همکاران، ۲۰۰۱b)، روش منحنی‌های پنجره (عبدالرحمن و همکاران، ۲۰۰۱a) و استفاده از یک عامل تلفیق

بین باقی‌مانده‌های حداقل مربعات (عبدالرحمن و العربی، ۱۹۹۳). در این تحقیق عمق و فاکتور شکل با استفاده از روش مشتق چهارم افقی و به کمک منحنی-S محاسبه می‌شود. این روش به‌منزله مکمل روش‌های موجود و پوشاندن کاستی‌های آنها می‌تواند عمل کند.

۲ مدل به کار رفته

هدف تحقیق حاضر، توسعه یک روش ساده (منحنی-S) برای بررسی بی‌هنجاری گرانی بوگه وابسته به چشمه‌های معجزا است. برای برآورد عمق و شکل جسم عامل، از روش مشتق چهارم افقی استفاده می‌شود (خالد عیسی، ۲۰۰۷).

بسط بی‌هنجاری گرانی تولید شده از کره، استوانه افقی نامتناهی و استوانه قائم نیمه نامتناهی به‌صورت زیر تعریف می‌شود (عبدالرحمن و همکاران، ۱۹۸۹):

$$g(x_i, z, q) = A \frac{z^m}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (1)$$

درحالی‌که:

$$A = \begin{cases} \frac{4}{3} \pi G \sigma R^3 & \text{for a sphere} \\ 2\pi G \sigma R^2 & \text{for a horizontal} \\ \pi G \sigma R^2 & \text{cylinder} \\ 0 & \text{for a vertical} \\ & \text{cylinder} \end{cases}, m = \begin{cases} 1 & \text{for a sphere} \\ 1 & \text{for a horizontal} \\ 1 & \text{cylinder} \\ 0 & \text{for a vertical} \\ 0 & \text{cylinder} \end{cases}, q = \begin{cases} \frac{3}{2} & \text{for a sphere} \\ 1 & \text{for a horizontal} \\ 1 & \text{cylinder} \\ \frac{1}{2} & \text{for a vertical} \\ \frac{1}{2} & \text{cylinder} \end{cases}$$

در معادله (۱)، Z عمق جسم، q ضریب ساختار، x_i مختصات موقعیت افقی، σ تباین چگالی، G ثابت جهانی گرانش و R شعاع است. نه نقطه مشاهده در طول نیم‌رخ بی‌هنجاری در نظر می‌گیریم:

$$(x_i - 4s), (x_i - 3s), (x_i - 2s), (x_i - s), (x_i),$$

$$(x_i + s), (x_i + 2s), (x_i + 3s), (x_i + 4s)$$

طول یا فاصله شبکه‌بندی است، گرادیان افقی گرانی عددی اول را داریم: $M, s = 1, 2, 3, \dots$ درحالی‌که:

کرد:

$$Z = \left\{ \frac{\begin{matrix} F[z^{2q}(4s^2+z^2)^q + \\ 3(4s^2+z^2)^q(16s^2+z^2)^q - \\ 4z^{2q}(16s^2+z^2)^q] \\ (s^2+z^2)^q(9s^2+z^2)^q(25s^2+z^2)^q \\ (s^2+z^2)^q(9s^2+z^2)^q - \\ 3(s^2+z^2)^q(25s^2+z^2)^q \\ + 2(25s^2+z^2)^q(9s^2+z^2)^q \\ (4s^2+z^2)^q(16s^2+z^2)^q \end{matrix}}{1/2q} \right\} \quad (۸)$$

معادله (۸) برای Z با روش تکرار نقطه ثابت حل خواهد شد، فرم تکرارش می تواند به صورت رابطه (۹) بیان شود:

$$Z_f = f(Z_i) \quad (۹)$$

که Z_f و Z_i عمق های اولیه و نهایی هستند. فرایند تکرار وقتی اجرا می شود که $|Z_f - Z_i| \leq \varepsilon$ باشد، ε یک عدد حقیقی کوچک نزدیک به صفر است. هر فرض اولیه برای Z به خوبی عمل می کند چون فقط یک کمینه کلی وجود دارد. هیچ محدودیتی برای حدس اولیه پارامتر عمق وجود ندارد. معادله (۸) را می توان برای برآورد عمق و همچنین به طور هم زمان برای برآورد شکل ساختار مدفون به کار برد.

۳ حل با استفاده از روش منحنی S_{-}

این روش به صورت زیر است:

۱- رقمی کردن نیم رخ بی هنجاری گرانی در چندین نقطه شامل نقطه اصلی ($x_i = 0$).

۲- کنترل مقادیر رقمی شده از یک روش جداسازی با استفاده از روش مقدار عددی مشتق چهارم. مقدار گرانی مشتق قائم عددی چهارم در نقطه x_i از داده گرانی مشاهده ای $\Delta g(x_i)$ با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$\Delta g_{xxxx}(x_i) = \frac{\begin{pmatrix} \Delta g(x_i + 4s) - 4\Delta g(x_i + 2s) \\ + 6\Delta g(x_i) \\ - 4\Delta g(x_i - 2s) + \Delta g(x_i - 4s) \end{pmatrix}}{16s^4}$$

۳- چندین فیلتر مشتق چهارم افقی با طول پنجره متوالی برای داده های ورودی به کار می رود. پنجره های

$$g_x(x_i, Z, q, s) = \frac{A}{2s} \left\{ \frac{1}{((x_i+s)^2+z^2)^q} - \frac{1}{((x_i-s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (۲)$$

بی هنجاری گرانی مشتق عددی افقی دوم از معادله (۲) به دست می آید:

$$g_{xx}(x_i, Z, q, s) = \frac{A}{4s^2} \left\{ \frac{1}{((x_i+2s)^2+z^2)^q} - \frac{2}{((x_i)^2+z^2)^q} + \frac{1}{((x_i-2s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (۳)$$

و مشتق سوم از معادله (۳) به دست می آید.

$$g_{xxx}(x_i, Z, q, s) = \frac{A}{8s^3} \left\{ \frac{1}{((x_i+3s)^2+z^2)^q} - \frac{3}{((x_i+s)^2+z^2)^q} + \frac{3}{((x_i-s)^2+z^2)^q} - \frac{1}{((x_i-3s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (۴)$$

و در حالی که ($i=1,2,3, \dots, N$) با اجرای محاسبات لازم بی هنجاری گرانی مشتق عددی افقی چهارم به صورت زیر به دست می آید (خالده عیسی، ۲۰۰۷):

$$g_{xxxx}(x_i, Z, q, s) = \frac{A}{16s^4} \left\{ \frac{1}{((x_i+4s)^2+z^2)^q} - \frac{4}{((x_i+2s)^2+z^2)^q} + \frac{6}{((x_i)^2+z^2)^q} - \frac{4}{((x_i-2s)^2+z^2)^q} + \frac{1}{((x_i-4s)^2+z^2)^q} \right\} \quad (۵)$$

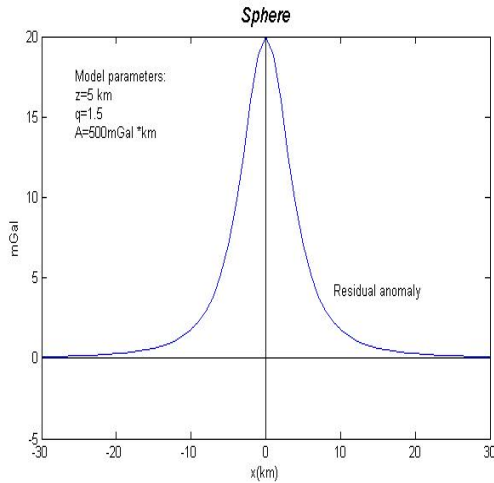
با قرار دادن $x_i = 0$ خواهیم داشت:

$$g_{xxxx}(0) = \frac{A}{16s^4} \left\{ \frac{2}{(16s^2+z^2)^q} - \frac{8}{(4s^2+z^2)^q} + \frac{6}{z^{2q}} \right\} \quad (۶)$$

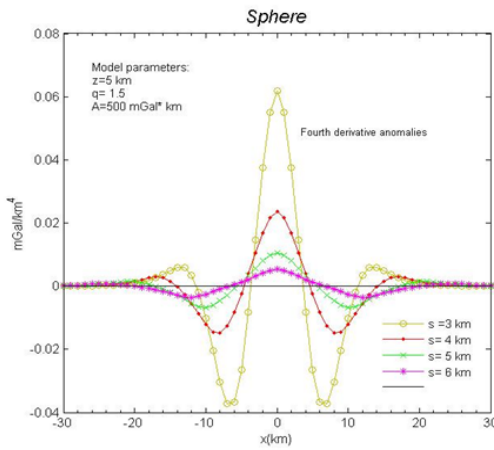
در اینجا $g_{xxxx}(0)$ مقدار بی هنجاری مشتق افقی چهارم در نقطه ($x_i = 0$) است. در اینجا دو نقطه مشاهده ($x_i = s$) و ($x_i = -s$) را در طول نیم رخ بی هنجاری در نظر می گیریم. و به کمک آنها می توان به دست آورد:

$$F = \frac{g_{xxxx}(s) + g_{xxxx}(-s)}{g_{xxxx}(0)} \quad (۷)$$

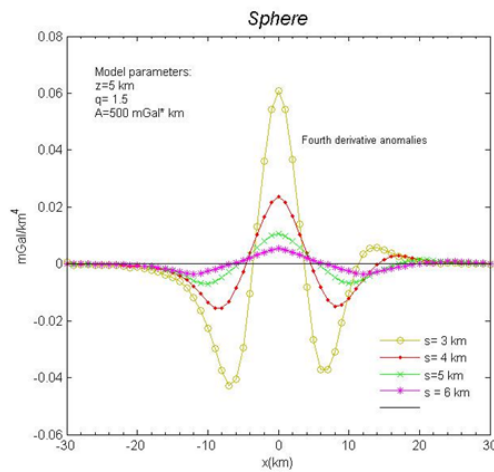
F یک مقدار عددی معلوم است که با استفاده از بی هنجاری گرانی اندازه گیری شده در سه نقطه روی نیم رخ که $x = 0$ و $x = \pm s$ است، محاسبه می شود. با استفاده از معادله بالا نیز می توان معادله را برای Z حل



شکل ۱. بی‌هنجاری گرانی ناشی از کره معادله (۱۰).



شکل ۲. تحلیل داده‌های شکل ۱ به‌دست آمده شده به روش مشتق چهارم افقی.



شکل ۳. تحلیل داده‌های شکل ۱ به‌دست آمده از منحنی-۵.

مشتق چهارم افقی با $s = 1, 2, 3, \dots, M$ مشخص می‌شوند. با استفاده از این روش چندین بی‌هنجاری گرانی مشتق عددی چهارم افقی به‌دست می‌آید (خالد عیسی، ۲۰۰۷).

معادله (۸) با استفاده از روش مشتق چهارم، عمق را به‌ازای هر فاکتور ساختار ممکن محاسبه می‌کند. عمق محاسبه شده در مقابل ضریب شکل رسم می‌شود و یک منحنی پیوسته (منحنی-S) به‌دست می‌دهد؛ منحنی S باید در یک نقطه قطع شود، یعنی مقدار q در نقطه قطع، فاکتور ساختار و مقدار Z در نقطه قطع مقدار عمق ساختار مدفون را نشان می‌دهد.

منحنی S باید پاسخ درستی را نشان دهد، زیرا معادله (۸) فقط دو عامل مجهول (z, q) دارد که باید برآورد شوند. همچنین ضریب A را با استفاده از معادله (۶) می‌توانیم به آسانی به‌دست بیاوریم.

۴ مدل‌سازی داده‌های مصنوعی

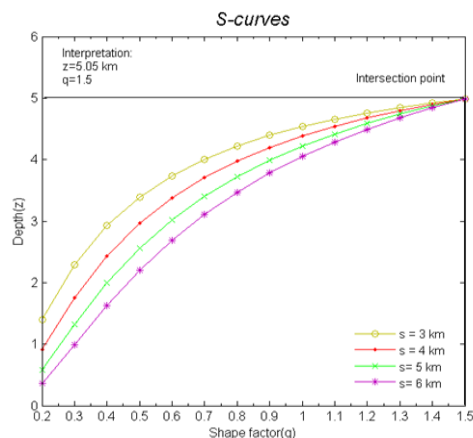
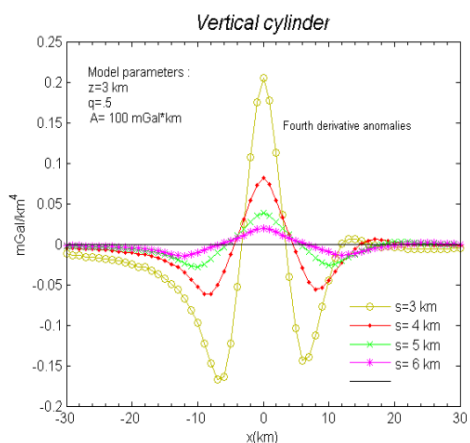
سه میدان گرانی متفاوت، حاصل از مدل‌های کره، استوانه افقی و استوانه قائم محاسبه شده است. این بی‌هنجاری را در یک نیم‌رخ به طول ۶۰ کیلومتر با فاصله ۱ کیلومتر در نظر گرفتیم و با استفاده از روش مشتق چهارم افقی چهار طول پنجره متوالی $s = 3, 4, 5, 6$ km برای مجموعه داده‌های ورودی به‌کار بردیم. برای مدل کره و استوانه قائم به ترتیب داریم:

$$\Delta g_1(x_i) = \frac{2500}{(x_i^2 + 5^2)^{1.5}} \quad (10)$$

$$\Delta g_2(x_i) = \frac{100}{(x_i^2 + 3^2)^{1/2}} \quad (11)$$

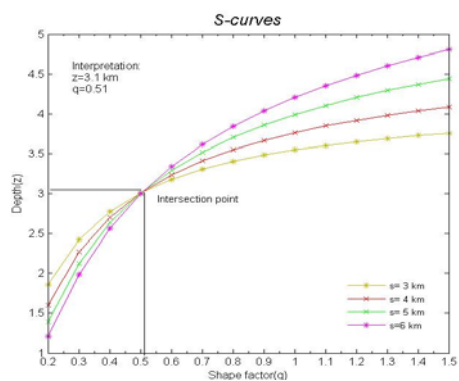
و برای مدل استوانه افقی داریم:

$$\Delta g_3(x_i) = \frac{4000}{(x_i^2 + 5^2)^1} \quad (12)$$

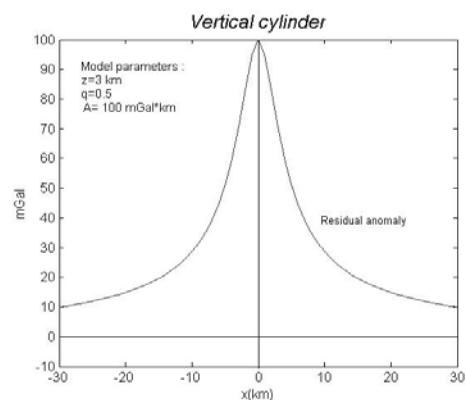


شکل ۴. تحلیل داده‌های شکل ۲ به روش مشتق چهارم افقی حای نوفه تصادفی ۰.۵٪.

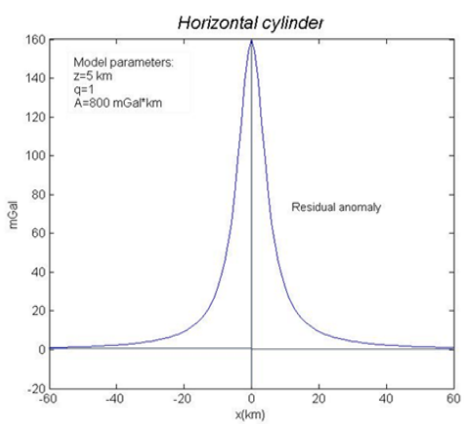
شکل ۵. تفسیر داده‌های شکل ۴ به روش مشتق چهارم افقی حای نوفه تصادفی ۰.۵٪.



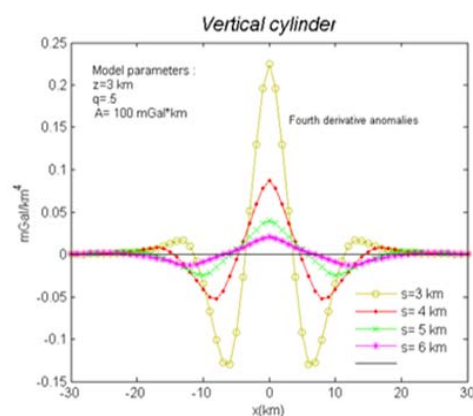
شکل ۶. تفسیر داده‌های شکل ۵ به روش مشتق چهارم افقی حای نوفه تصادفی ۰.۵٪.



شکل ۷. تفسیر داده‌های شکل ۶ به روش مشتق چهارم افقی حای نوفه تصادفی ۰.۵٪.



شکل ۸. تفسیر داده‌های شکل ۷ به روش مشتق چهارم افقی حای نوفه تصادفی ۰.۵٪.



شکل ۹. تفسیر داده‌های شکل ۸ به روش مشتق چهارم افقی حای نوفه تصادفی ۰.۵٪.

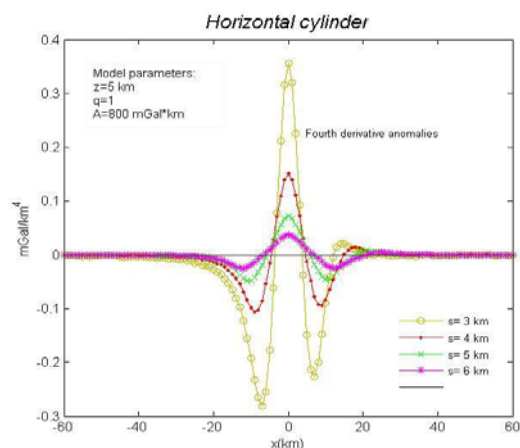
سه میدان گرانی محاسبه شده در شکل‌های (۵، ۱، ۹) ارائه شده است که نشان می‌دهد نقاط برداشت نسبت به مبدا، متقارن‌اند. با استفاده از روش مشتق چهارم افقی هر میدان گرانی (Δg) با اعداد متفاوت دسته‌بندی شده است و از پنجره‌های متوالی مشتق چهارم افقی ($s=3, 4, 5, 6$ km) برای مجموعه داده‌های ورودی استفاده شد (شکل‌های (۱۰، ۶، ۲). در ادامه یک خطای تصادفی $\pm 0.5\%$ به داده‌ها اضافه شد. با استفاده مجدد از روش مشتق چهارم افقی و پنجره‌های متوالی مشتق چهارم افقی، نیم‌رخ‌های مشتق چهارم افقی رسم می‌شوند (شکل‌های ۱۱، ۷، ۳). با استفاده از معادله (۸) برای نیم‌رخ‌های مشتق چهارم افقی، عمق‌های دقیقی برای هر فاکتور ساختار به دست می‌آید و در نهایت برای تفسیر با رسم مقادیر عمق‌های محاسبه شده در مقابل فاکتور ساختار منحنی پیوسته منحنی - S نمایش داده می‌شود که محل تلاقی این منحنی‌ها عمق و فاکتور ساختار واقعی را نشان می‌دهد. نتایج در شکل‌های (۱۲، ۸، ۴) خلاصه شده است. همان‌طور که در شکل‌ها نشان داده شده است، در همه موارد این روش برای شکل و عمق مطابقت بسیار خوبی با پارامترهای داده شده در معادلات دارد.

۵ مدل‌سازی داده واقعی

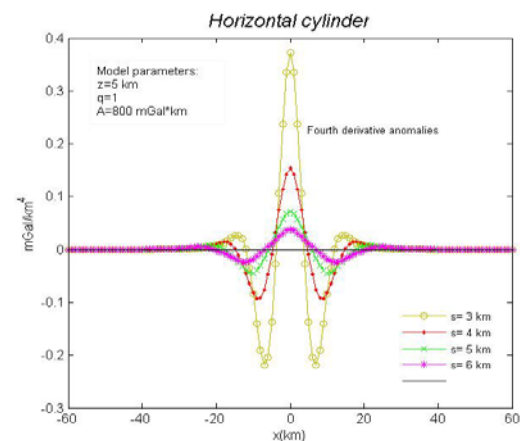
برای ارزیابی بهتر و امتحان کاربرد روش پیشنهاد شده، میدان واقعی داده شده است. نمونه: بی‌هنجاری گرانی آباد، ایران.

۱-۵ زمین‌شناسی

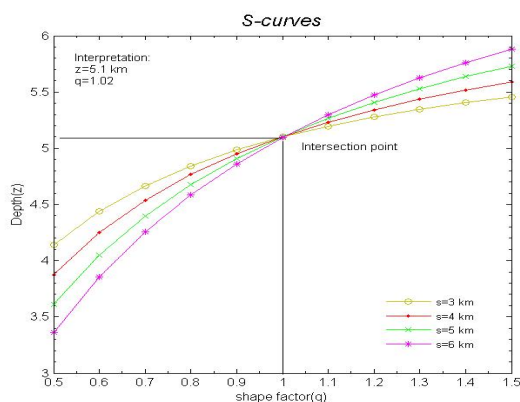
عمده تشکیلات زمین‌شناسی موجود در ناحیه رسوبات دوران دوم (ژوراسیک و کرتاسه) است. قدیمی‌ترین واحد تشکیلات با جنس سیلت استون، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های آذرین مربوط به دوران ژوراسیک است که با یک رو راندگی در کنار تشکیلات سنگ



شکل ۹. تحلیل داده‌های شکل ۹ به دست آمده به روش مشتق چهارم افقی.



شکل ۱۰. تحلیل داده‌های شکل ۹ به دست آمده به روش مشتق چهارم افقی حاوی نوفه تصادفی ۰.۵٪.



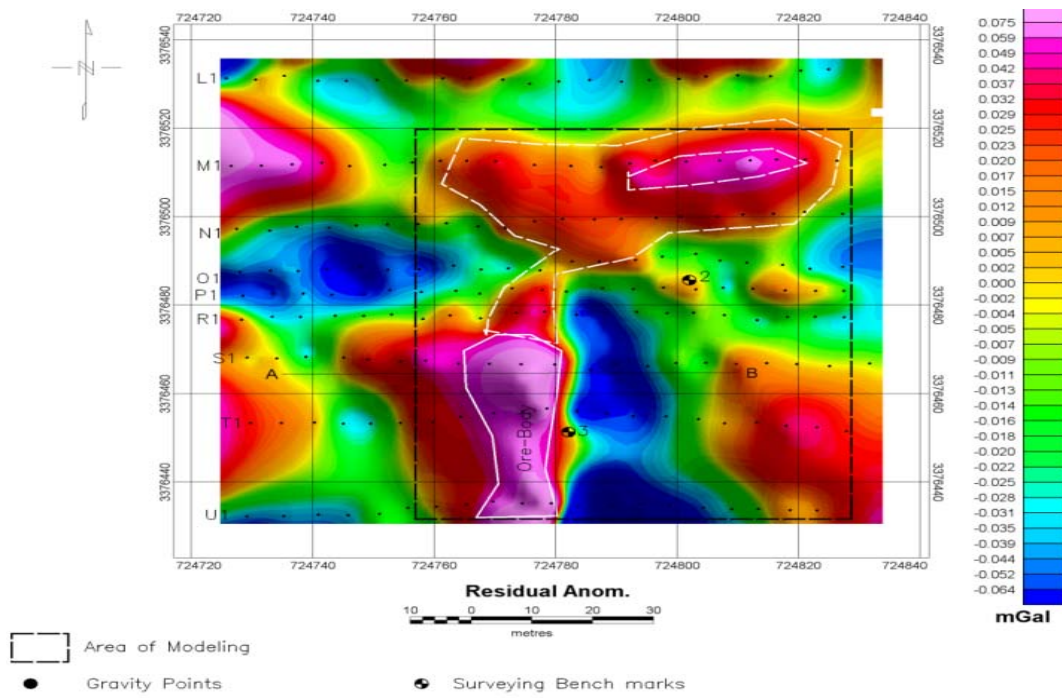
شکل ۱۱. تفسیر داده‌های شکل ۱۰ با استفاده از روش منحنی - S.

آهکی کرتاسه قرار گرفته است.

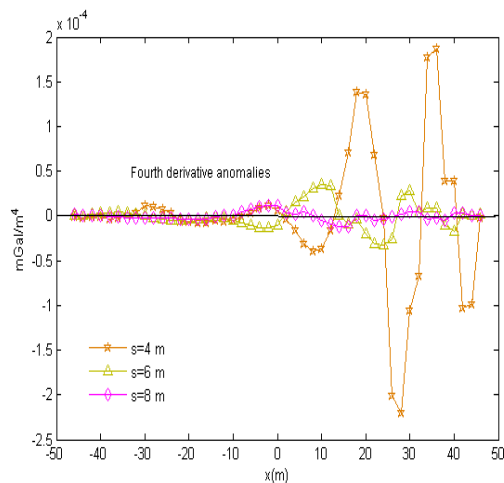
گرفته است.

بیرون زدگی‌های کانسار باریت عمدتاً در سنگ آهک بلورین مربوط به دوران سوم دیده شده است که با یک روراندگی در کنار واحدهای با سن ژوراسیک قرار

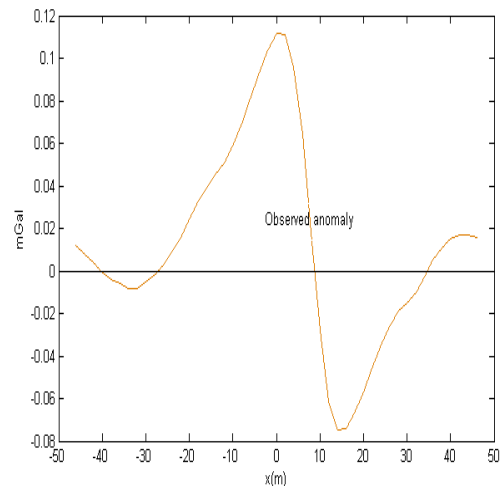
نقشه بی‌هنجاری گرانی مشاهده شده مربوط به این منطقه در نرم‌افزار ژئوسافت رسم شده است. یک نیم‌رخ به طول AB در این منطقه در نظر گرفته شد.



شکل ۱۳. نقشه بی‌هنجاری گرانی مشاهده شده مربوط به این منطقه در نرم‌افزار ژئوسافت.



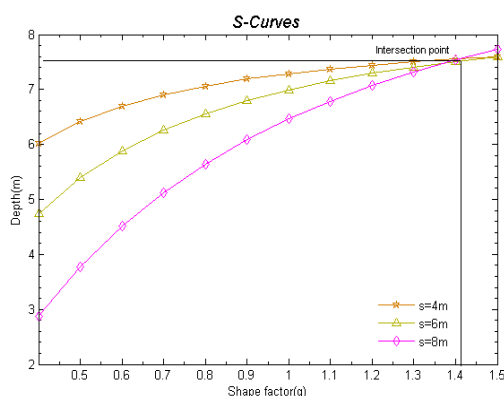
شکل ۱۵. تحلیل داده‌های شکل ۱۴ به دست آمده به روش مشتق چهارم افقی.



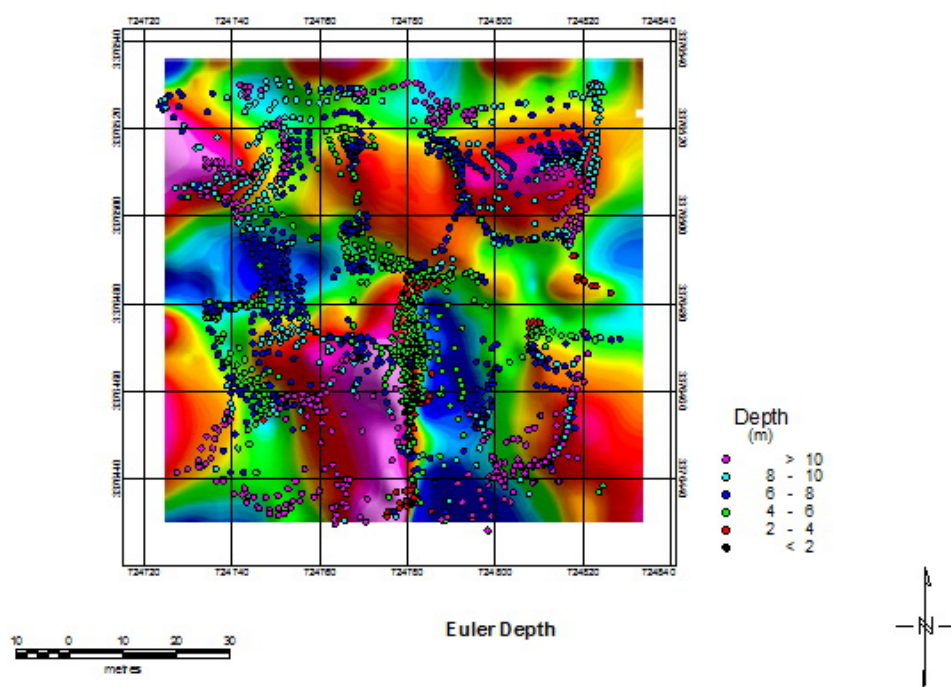
شکل ۱۴. بی‌هنجاری گرانی ناشی از بی‌هنجاری مشاهده شده.

ساختار بی‌هنجاری گرانی مورد بررسی است. شکل ۱۶ نشان می‌دهد که مقدار عمق $Z < 7,7995$ و مقدار فاکتور ساختار بین $1,40 < q < 1,51$ واقع شده است. مرکز این اتصال دارای عمق متر $7,6900$ و فاکتور ساختار $1,43$ است که توافق خوبی بین این مقادیر با مقدار اصلی عمق و فاکتور ساختار به دست آمده در شکل ۱۷ مربوط به منطقه و عمق حفاری دارد.

شکل نیم‌رخ بی‌هنجاری گرانی به طول ۱۰۰ متر و با فاصله دو متر در نظر گرفته شده است. روش مشتق چهارم افقی برای سه طول پنجره $s = 4, 6, 8$ m مورد استفاده قرار گرفت و با استفاده از گرادیان مشتق چهارم شکل تحلیل داده‌های گرانی مربوط به آباده با طول پنجره‌های ذکر شده ترسیم شد. شکل منحنی S - مربوط به این داده‌ها نیز به صورت زیر ترسیم می‌شود که بیانگر عمق و فاکتور



شکل ۱۶. تفسیر داده‌های نمودار ۱۴ با استفاده از روش منحنی S .



شکل ۱۷. عمق‌های اویلر مربوط به بی‌هنجاری مشاهده شده.

- Abdelrahman, E. M., Bayoumi, AI, Abdelhady, YE, Gobash, M. M. and El- Araby, HM., 1989, Gravity interpretation using correlation factors between successive least squares residual anomalies, *Geophysics*, **54**, 1614-1621.
- Abdelrahman, E. M. and El-Araby, H. M., 1993, Shape and depth solutions from gravity data using correlation factors between successive least-squares residuals, *Geophysics*, **59**, 1785-1791
- Abdelrahman, E. M., El-Araby, H. M., El-Araby, T. M. and Abo-Ezz, E. R., 2001a, Three least-squares minimization approaches to depth, shape and amplitude coefficient determination from gravity data, *Geophysics*, **66**, 1105-1109.
- Abdelrahman, E. M., El-Araby, T. M., El-Araby, H. M. and Abo-Ezz, E. R., 2001b, A new method for shape and depth determinations from gravity data, *Geophysics*, **66**, 1774-1780.
- Esaa, K. S., Gravity data interpretation using the s-curves method, *J. Geophys. Eng*, 2007, **4**, 204-213.
- Roy, A, 1962, Ambiguity in geophysical interretation, *Geophysics*, **27**, 90-99.
- Roy, L., Agarwal, B. N. and Shaw, R. K, 1999, Estimation of shape factor and depth from gravity anomalies due to some simple sources, *Geophys, Prospect*, **47**, 41-58.
- Shaw, R. K. and Agarwal B. N. P., 1990, The application of Walsh transforms to interpret gravity anomalies due to some simple geometrically shaped causative sources, A feasibility study, *Geophysics*, **55**, 843-850.

۶ نتیجه گیری

در این تحقیق گرادیان افقی چهارم برای تفسیر کمی داده‌های گرانی به کار رفت تا پارامترهای مدل تعیین شود. در این تحقیق گرادیان افقی چهارم برای تفسیر کمی داده‌های گرانی به کار برده شد تا پارامترهای مدل تعیین شود. این یک روش خودکار است و مزیت این روش تعیین هم‌زمان عمق و شکل در نیم‌رخ‌های کوتاه و بلند است، زیرا تعیین هم‌زمان این پارامترها ابزاری قدرتمند برای به‌دست آوردن اطلاعاتی از ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی است. استفاده از این روش روی مدل‌های مصنوعی، کارایی روش را مورد تأیید قرار می‌دهد. همچنین این روش برای نخستین بار در ایران برای تفسیر داده‌های گرانی منطقه آبادیه مورد بررسی قرار گرفت که منجر به تعیین عمق و شکل توده موردنظر در این منطقه شد. روش منحنی-S روشی دقیق و ساده است و حتی زمانی که داده‌ها همراه خطا هستند، به خوبی کار می‌کند.

مراجع

ابراهیم‌زاده اردستانی، و.، ۱۳۸۹، گرانی‌سنجی کاربردی، موسسه انتشارات دانشگاه تهران.