

استفاده از اشکال وابستگی گرادیان‌های قائم و افقی در تفسیر کمی داده‌های گرانی

محمد علی احمدی^{۱*} و وحید ابراهیم زاده اردستانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
^۲ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری و مقابله با سوانح طبیعی، تهران، ایران
(دریافت: ۸۷،۲،۴، پذیرش نهایی: ۸۷،۱،۵)

چکیده

در این مقاله روشن می‌شود که ارتباط خاصی میان گرادیان‌های افقی و قائم داده‌های گرانی و همچنین بین مولفه‌های قائم و افقی میدان مغناطیسی در برخی از منبع‌های دوبعدی گرانی یا مغناطیسی وجود دارد که این ارتباط، با رسم گرادیان افقی برحسب گرادیان قائم داده‌های گرانی و یا مولفه‌های افقی برحسب مولفه‌های قائم داده‌های میدان مغناطیسی، در یک دستگاه مختصات دکارتی به صورت یک منحنی نمایش داده خواهد شد که آن را "شکل وابستگی" می‌نامیم. از این منحنی در جهت تفسیر کمی دوبعدی شکل هندسی و پارامترهای منبع استفاده می‌شود. این روش ابتداءً برای تعیین پارامترهای مدل‌های مصنوعی و سپس برای داده‌های واقعی به کار رفته که در نهایت تفاوت‌های ناشی از نتایج نظری و کاربردی مقاله قابل توجه است. واژه‌های کلیدی: گرادیان‌های قائم و افقی، تبدیل هیلبرت، شکل وابستگی.

Using relation figures of horizontal and vertical gradient in quantitative interpretation of gravity data

Ahmadi, M. A.¹ and Ardestani, E. V.²

¹M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran
²Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran and Center of Excellence in Survey Engineering and Disaster Management, Tehran, Iran

(Received: 23 April 2008, Accepted: 24 Jan 2009)

Abstract

In this paper, it has been shown that there is a special relation between horizontal and vertical gradients of gravity data and the vertical and horizontal components of magnetic data for some of 2-D sources. It has been shown that the Hilbert transform is useful in calculating the vertical gradient of gravity and magnetic anomalies from the horizontal gradient for transformation of gravity and magnetic anomalies and to estimate the parameters of sources.

The plot of horizontal component versus vertical component in Cartesian coordinates is named the relation figure which is introduced by Werner (1953) as the polar plot of the vertical and the horizontal component of the field. The relation figure is used for qualitative interpretation of source parameters.

We have shown the relation figures by plotting the horizontal gradient of gravity versus its Hilbert transform. We have presented here the properties of relation figures of some two-dimensional models of simple geometry such as; thick dike, dip step, vertical step, horizontal step. The relation figures for these models are found to be ellipse or circle with different properties. In the first step, these properties may be used to distinguish whether the source is a dike or other model and then depth, width (for dike), dip, and radius (for horizontal cylinder) of the models. Finally, synthetic and real data is examined. Real data has been measured institute geophysics of Tehran University. There

are some differences in the results of the synthetic and real data which are interesting and noticeable. In conclusion these differences and their reasons have been explained.

Key words: Vertical and horizontal gradients, Hilbert transform, Relation figure

۱ مقدمه

نظری درباره هر کدام از مدل‌های ذکر شده بحث خواهد شد. در جدول ۱ نمادها و پارامترهایی که مورد استفاده قرار گرفته است، معرفی می‌شود:

با توجه به (رام‌بابو و آتچوتا راثو، ۱۹۹۱):

$$\Delta H(x) \overset{HT}{\longleftrightarrow} \Delta Z(x)$$

$$\Delta G(x) \overset{HT}{\longleftrightarrow} \Delta GH(x)$$

بنابراین می‌توانیم $FH(x)$ را معادل $\Delta H(x)$ برای منبع‌های مغناطیسی، و $\Delta G(x)$ برای منبع‌های گرانی، در نظر بگیریم؛ که برای مدل دایک ضخیم، (شکل ۱b) و پله شیب‌دار، (شکل ۱c) به صورت زیر دنبال خواهد شد. (نبیقان، ۱۹۷۲؛ آتچوتا راثو و رام‌بابو، ۱۹۸۲):

$$F(x) = P((\phi_B - \phi_A) \cos Q + \ln(\frac{r_B}{r_A})) \sin Q \quad (1)$$

که تبدیل هیلبرت آن به شکل زیر است (رام‌بابو و آتچوتا راثو، ۱۹۹۱):

$$FH(x) = P((\phi_B - \phi_A) \sin Q - \ln(\frac{r_B}{r_A})) \cos Q \quad (2)$$

پارامترهای P و Q ، برای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و گرانی در جدول ۲ آورده شده است (رام‌بابو و آتچوتا راثو، ۱۹۹۱).

جدول ۲. کمیت‌های P و Q برای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و گرانی برای دایک ضخیم، پله شیب‌دار و استوانه افقی

Anomaly	P	Q
ΔT	$2KTb_1b_0^2$	$I_j + I_e - d - 90$
ΔZ	$2KTb_1b_0$	$I_j - d$
ΔH	$2KTb_1b_0 \cos D_e$	$I_j - d - 90$
ΔG	$2\gamma\sigma b_1$	$-d$

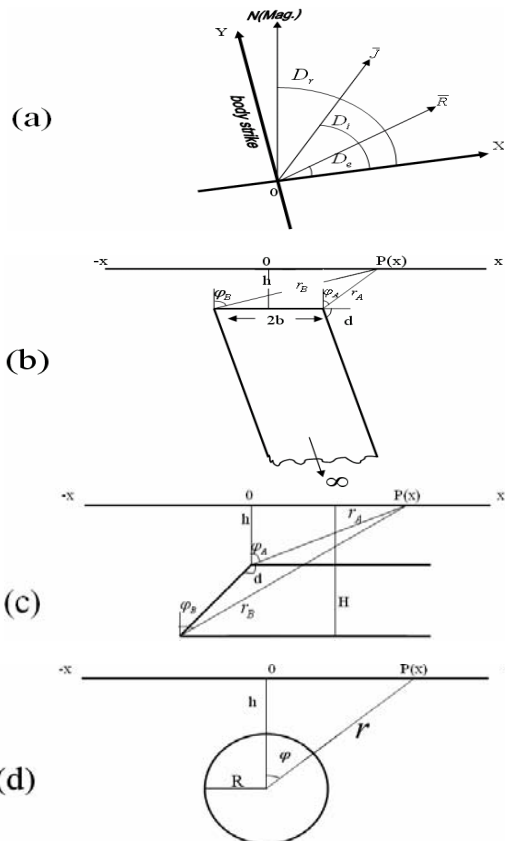
شکل وابستگی (relation figure) را اولین بار ورنر (۱۹۵۳) برای تفسیر کمی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و گرانی معرفی شده است محققان دیگر از جمله؛ استانی و گرین (۱۹۷۶)، آتچوتا راثو و رام‌بابو (۱۹۸۰b)، رام‌بابو (۱۹۸۲) نیز از آن استفاده کرده‌اند. از جمله خواص تبدیل هیلبرت (Hilbert Transform, HT) محاسبه گرادیان قائم از گرادیان افقی است (نبیقان، ۱۹۷۲ و ۱۹۸۵؛ استانی و گرین، ۱۹۷۶)، که از این خاصیت در محاسبه گرادیان قائم گرانی یا مولفه افقی میدان مغناطیسی استفاده می‌کنیم و شکل وابستگی مربوط به منبع را به دست می‌آوریم. در این مقاله ابتدا به طور نظری جزئیاتی از شکل‌های وابستگی تعدادی از مدل‌های دوبعدی شکل‌های هندسی ساده برای منبع‌های مغناطیسی و گرانی دایک ضخیم، پله قائم (vertical)، پله شیب‌دار (sloping stag)، استوانه قائم بحث خواهد شد، و مدل‌های دوبعدی مصنوعی و سپس داده‌های واقعی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و در پایان به گردآوری نتایج پرداخته می‌شود.

۲ تبدیل هیلبرت

منبعی را در نظر می‌گیریم که در یک بعد گسترش نامتناهی دارد. آنگاه در راستای عمود بر آن اندازه‌گیری مغناطیس‌سنجی یا گرانی‌سنجی را صورت می‌دهیم و دستگاه مختصات دکارتی xyz را طوری تعیین می‌کنیم که جهت محور y آن، در امتداد گسترش نامتناهی منبع، محور x ، در امتداد نیم‌رخ و محور z ، در امتداد عمق منبع باشد. همان‌طور که ذکر شد این منبع ممکن است یک دایک ضخیم، پله یا استوانه‌ای افقی باشد، ابتدا به صورت

جدول ۱. معرفی نمادها

y	امتداد گسترش نامتناهی منبع	\dot{i}_R	زاویه میل میدان مغناطیسی باقی مانده
x	امتداد نیم‌رخ	\dot{i}_j	زاویه میل مغناطیس‌شوندگی برآیند
z	امتداد عمق منبع	D_e	زاویه بین امتداد محور X و شمال میدان مغناطیسی زمین
P	ضریب دامنه	D_j	زاویه انحراف مغناطیس‌شدگی برآیند
Q	پارامتر شاخص	D_R	زاویه انحراف میدان مغناطیسی باقی مانده
K	تباين حساسیت مغناطیسی	I_e	زاویه میل موثر میدان مغناطیسی القایی در صفحه XZ
γ	ثابت جهانی گرانش	I_j	زاویه میل موثر میدان مغناطیسی برآیند در صفحه XZ
ΔT	بی‌هنجاری مغناطیسی	F(x)	نمایش تابع بی‌هنجاری
T	شدت میدان مغناطیسی زمین	FH(x)	تبدیل هیلبرت F(x)
σ	تباين چگالی	$\Delta Z(x)$	مولفه قائم میدان مغناطیسی بی‌هنجاری
\bar{R}	میدان مغناطیسی باقی مانده	$\Delta H(x)$	مولفه افقی میدان مغناطیسی بی‌هنجاری
\bar{J}	مغناطیس‌شوندگی برآیند	$\Delta G(x)$	گرادیان افقی گرانی
\dot{i}_e	زاویه میل میدان مغناطیسی زمین	$\Delta GH(x)$	تبدیل هیلبرت گرادیان افقی گرانی (گرادیان قائم گرانی)



شکل ۱. (a) نمایش اجمالی منبع (b) سطح مقطع دایک ضخیم با گسترش عمق بی‌نهایت (c) پله قائم و (d) استوانه افقی

که داریم (رام بابو و آتچوتا راتو ۱۹۹۱):

$$b_0 = (1 - \cos^2 i_e \cos^2 D_e)^{1/2}$$

$$I_j = \arctan\left(\frac{\tan i_j}{\cos D_j}\right), I_e = \arctan\left(\frac{\tan i_e}{\cos D_e}\right)$$

برای استوانه و مغناطیس القایی به ترتیب، $d = 0$ ، $I_j = I_e$ خواهند بود. در جدول ۳ نیز مقدار b_1 برای هر کدام از مدل‌ها معرفی شده است (رام بابو و آتچوتا راتو، ۱۹۹۱):

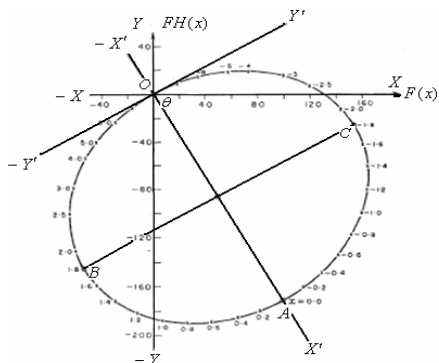
جدول ۳. مقدار b_1 برای هر یک از مدل‌ها

	دایک ضخیم	پله ی شیبدار	استوانه افقی
b_1	$\sin d$	$-\sin d$	R^2

در شکل ۱، P(x)، موقعیت ایستگاه‌ها یا نقاط برداشت داده های مغناطیسی یا گرانی روی نیم‌رخ است و X، فاصله ایستگاه تا مبدا 0، (با توجه به شکل ۱) است:

۳ شکل‌های وابستگی

:۱۹۸۲

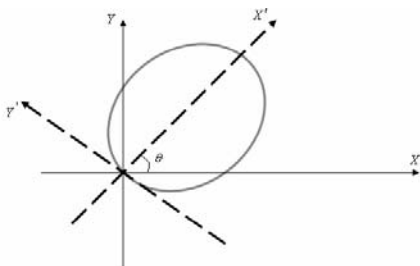


شکل ۲. نمایش شکل وابستگی برای دایک ضخیم با گسترش عمق بی‌نهایت

* ایستگاه‌های B و C، $(Y' = 0)$ یا ماکسیم یا مینیم و X' نصف ماکسیم) در $x = \pm(b^2 + h^2)^{1/2}$ واقع است.
* ایستگاه O، $(X' = Y' = 0)$ ، در $x = \pm\infty$ واقع است.

* ایستگاه A، $(X' = 0)$ یا ماکسیم و $(Y' = 0)$ ، در مبدا $(x = 0)$ ، واقع است.

بایستی خاطر نشان کرد، بسته به اینکه منبع یا بی‌هنجاری گرانی یا مغناطیسی مد نظر باشد مقدار Q و در نتیجه مقدار زاویه θ (جدول ۲)، تعیین می‌شود، که برای منبع گرانی فقط به شیب دایک ضخیم بستگی دارد. در زیر شکل مربوط به آن رسم شده است (رام بابو و همکاران، ۱۹۸۲):



شکل ۳. نمایش شکل وابستگی برای دایک ضخیم با گسترش عمق بی‌نهایت برای بی‌هنجاری گرانی

برای مدل دایک ضخیم و پله قائم، مقدار نسبت بین طول محورهای تقارن بیضی را با m نشان می‌دهیم، که از

اکنون به جزئیات شکل وابستگی مربوط به هر کدام از مدل‌ها می‌پردازیم. در همه شکل‌ها محور قائم برحسب گرادیان افقی داده‌های گرانی و یا مولفه افقی داده‌های میدان مغناطیسی و محور افقی برحسب گرادیان قائم داده‌های گرانی، یا مولفه قائم داده‌های میدان مغناطیسی است. محور افقی با X، یا $F(x)$ و محور قائم با Y، یا $FH(x)$ ، نمایش داده شده و همچنین دستگاه مختصات دکارتی جدیدی، شامل محورهای OX' و OY' است برای تحلیل بیشتر مسئله رسم شده است.

به این خاطر که شکل‌های وابستگی مدل‌های مربوطه (شکل‌های ۲ تا ۶)، در حالت کلی رسم شده‌اند بنابراین در ابتدا به نکته زیر می‌پردازیم (رام بابو و آتچوتا رائو، ۱۹۹۱):

$$\theta = Q \frac{1}{2}$$

که θ ، زاویه بین محور X و X' و Q، پارامتر شاخص است که این رابطه برای همه مدل‌های ذکر شده صدق می‌کند، از این رو با توجه به نکته بالا و با استفاده از جدول ۲، مشخص است که تعریف زاویه θ در تفسیر بی‌هنجاری‌های گرانی و بی‌هنجاری‌های مغناطیسی متفاوت است، که این مورد برای هر مدل جداگانه توضیح داده خواهد شد.

۳-۱ دایک ضخیم

در شکل ۲، برای مدل دایک ضخیم شکل وابستگی به صورت بیضی است (استانلی و گرین، ۱۹۷۶)، همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، محورهای OX' و OY' موازی محورهای تقارنی بیضی است (رام بابو و همکاران، ۱۹۸۲): در شکل نقاط روی منحنی، نمایش ایستگاه‌های مشاهده‌ای هستند. به لحاظ نظری و شکل ۲، معلومات زیر به دست می‌آید که در آن x، فاصله ایستگاه‌های مشاهده‌ای از ایستگاه مبدا است (رام بابو و همکاران،

* ایستگاه‌های E و F، (X' ماکسیمم و مینیمم است).
فاصله مبدا (x=0) از ایستگاه B برابر است
با $-h \cot d$ بنابراین می‌توانیم ایستگاه مبدا را تعیین کنیم.
که از سه معادله زیر سه پارامتر مجهول مدل به دست
می‌آید (رام بابو و آتچوتا راتو، ۱۹۹۱):

$$D1 = \frac{(H+h)}{\sin(2d)} \quad (۳)$$

$$D2 = \frac{\sqrt{Hh}}{\sin(d)} \quad (۴)$$

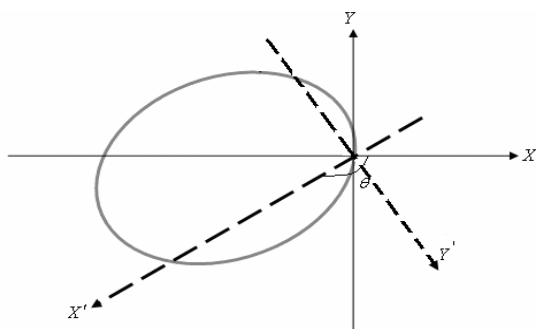
$$D3^2 = D1^2 + D2^2 \quad (۵)$$

D1، فاصله میان ایستگاه‌هایی است که، $X'=0$ و
 $Y'=0$.

D2، فاصله میان ایستگاه‌هایی است که، $Y'=0$ و Y' ،
ماکسیمم یا مینیمم است.

D3، فاصله میان ایستگاه‌هایی است که، $X'=0$ و X' ،
ماکسیمم یا مینیمم است.

در حالتی که منبع گرانی مد نظر باشد شکل وابستگی
آن (شکل ۶) چنین است (رام بابو و آتچوتا راتو، ۱۹۹۱):

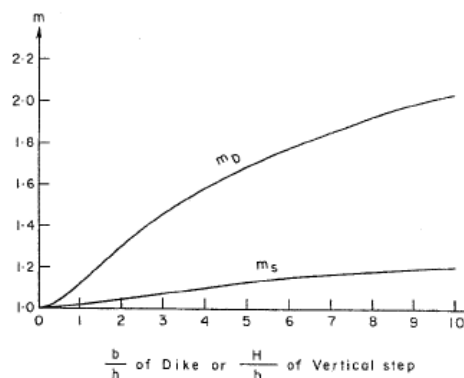


شکل ۶. نمایش شکل وابستگی برای پله شیب‌دار مربوط به چشمه گرانی

۳-۳ پله قائم

شکل وابستگی پله قائم، ($d=90$)، به صورت زیر است:
شکل ۵ حالتی کلی تر از شکل ۷ است که برای شکل ۷
(رام بابو و همکاران، ۱۹۸۲):
* به ترتیب ایستگاه‌های E و F بر ایستگاه‌های A
و O، منطبق می‌شوند.

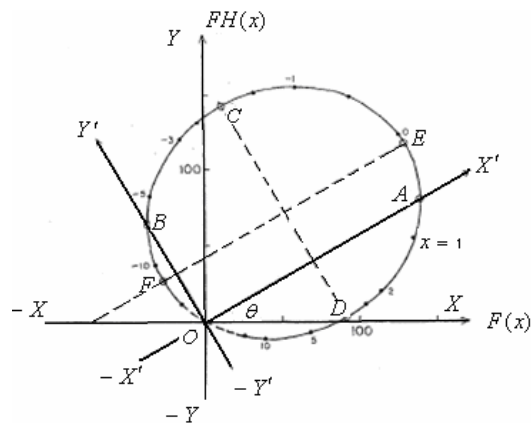
مقدار Q مستقل است. در شکل ۳، تغییرات m، نسبت
به b/h (برای دایک ضخیم) و H/h (برای پله قائم) رسم
شده است.



شکل ۴. نمودار تغییرات m برحسب b/h یک دایک ضخیم یا H/h یک
پله قائم

۲-۳ پله شیب‌دار

شکل وابستگی مدل پله شیب‌دار به شکل بیضی است که
به صورت زیر رسم شده است (استانلی و گرین، ۱۹۷۶):



شکل ۵. نمایش شکل وابستگی برای پله ی شیب‌دار

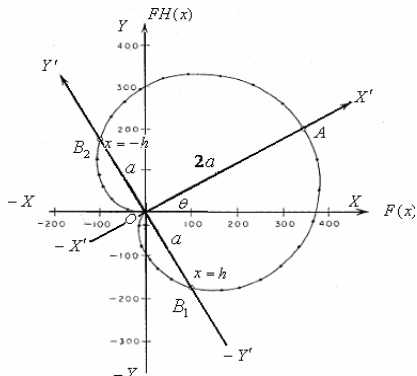
برای این مدل نیز از نتایج نظری و شکل، به دست
می‌آید

* ایستگاه A، ($Y'=0$).

* ایستگاه B، ($X'=0$).

* ایستگاه‌های C و D، (Y' ماکسیمم و مینیمم است).

پارامترهای P و Q در جدول ۲ داده شده‌اند. شکل وابستگی به صورت دل‌وار، (شکل ۹)، است (آتچوتا رانو و رام بابو، ۱۹۸۰):



شکل ۹. نمایش شکل وابستگی برای استوانه افقی که به صورت دل‌وار است

برای این مدل نیز با توجه به نظریه مسئله، چهار نکته قابل بیان است (رام بابو و آتچوتا رانو، ۱۹۹۱):

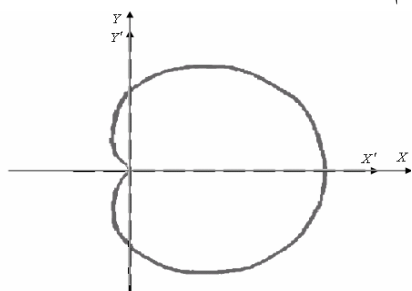
* ایستگاه A، یا نقطه ی مرکزی، (X')، ماکسیم و (Y'=0)، که در x=0 قرار دارد.

* ایستگاههای B₁ و B₂، (X'=0 و Y'=±a (نصف ماکسیم یا مینیم مقدار X')) در x=±h قرار دارد.

* ایستگاه O، (X'=Y'=0) در x=±∞ قرار دارد.

* با تعیین مقدار 2a (با توجه به شکل)، مقدار P، به دست آمده و آن‌گاه با فرض معلوم بودن K یا σ و با استفاده از جدول ۲، شعاع استوانه، R، تعیین خواهد شد.

در این حالت نیز با توجه به جدول ۲، در صورتی که منبع گرانی باشد آن‌گاه، θ = -d = 0 پس بایستی محور X' بر محور X منطبق باشد، در زیر شکل مربوط به آن رسم شده است:



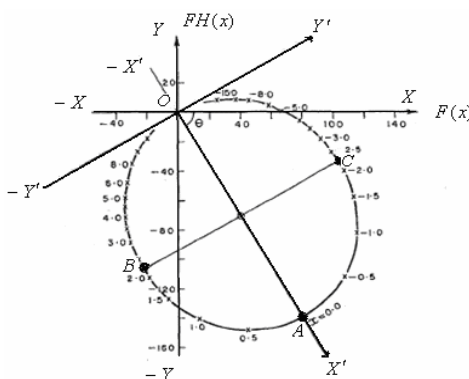
شکل ۱۰. نمایش شکل وابستگی برای استوانه افقی مربوط به منبع گرانی

* محور Y' در ایستگاه O، بر منحنی مماس خواهد شد (شکل ۷).

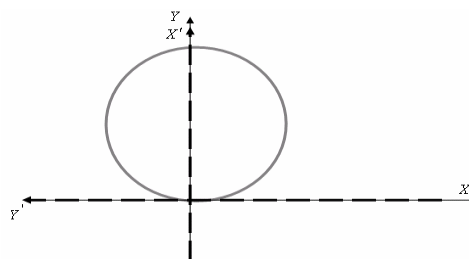
* فاصله بین ایستگاه‌های B و C، برابر 2√Hh است.

* از شکل ۴، با توجه به مقدار m مقدار H/h قابل محاسبه است.

در این مدل به خاطر اینکه، d=90، بنابراین برای چشمه گرانی، θ = -90 آن‌گاه محور X'، بر محور Y منطبق خواهد شد، در زیر شکل مربوط به آن رسم شده است:



شکل ۷. نمایش شکل وابستگی برای پله ی قائم



شکل ۸. نمایش شکل وابستگی برای پله قائم مربوط به بی‌هنجاری گرانی

۴-۳ استوانه افقی

برای این مدل فرمول کلی F(x) و FH(x) به صورت زیر است (رام بابو و آتچوتا رانو، ۱۹۹۱):

$$F(x) = R(x) \cos(Q + \beta(x)) \quad (۶)$$

$$FH(x) = R(x) \sin(Q + \beta(x)) \quad (۷)$$

که:

$$R(x) = \frac{P}{(x^2 + h^2)}, \beta(x) = \arctan\left(\frac{h^2 - x^2}{2xh}\right)$$

۴ تهیه مدل‌های مصنوعی

$$g(x) = \frac{2\pi\gamma\sigma R^2 z}{x^2 + z^2} \quad (۹)$$

در این بخش با استفاده از مدل‌های مصنوعی دایک ضخیم، پله شیب‌دار، پله قائم و استوانه افقی و به کمک برنامه نویسی در محیط‌های FORTRAN و MATLAB، داده‌های مصنوعی تولید و با توجه به نظریه، شکل وابستگی مربوط به هر مدل را رسم کرده‌ایم، آن‌گاه پارامترهای مدل را تعیین مقدار شده و با مقادیر واقعی آن در جدول‌های مربوط به هر مدل آورده شده است. لازم به ذکر است در اینجا مدل‌ها یا منبع‌های مصنوعی در نظر گرفته شده منبع‌های گرانی هستند نه منبع‌های مغناطیسی.

۴-۱ دایک ضخیم

در زیر شکل وابستگی مربوط به مدل مصنوعی دایک ضخیم و شکل مدل آن ترسیم شده است، مدل مصنوعی در نظر گرفته شده یک متوازی الاضلاع است که نسبت طول اضلاع بزرگ به اضلاع کوچک و نسبت به عمق آن، به مراتب بزرگ در نظر گرفته شده است.

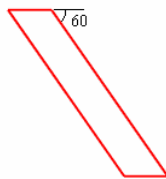
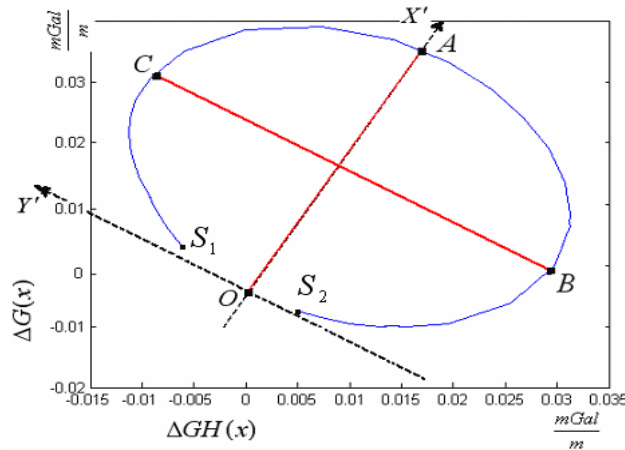
برای تولید داده‌های مصنوعی دوبعدی از فرمول ریاضی تالوانی استفاده شده است (بلکلی، ۱۹۹۵):

$$g(x) = 2\gamma\sigma \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\pi}{2} (z_{n+1} - z_n) + (z_n \arctan \frac{z_n}{x_n} - z_{n+1} \arctan \frac{z_{n+1}}{x_{n+1}}) + \frac{\beta_n}{1 + \alpha_n^2} \left[\log \frac{\sqrt{x_{n+1}^2 + z_{n+1}^2}}{\sqrt{x_n^2 + z_n^2}} - \alpha_n (\arctan \frac{z_{n+1}}{x_{n+1}} - \arctan \frac{z_n}{x_n}) \right] \right\} \quad (۸)$$

که:

$$\alpha_n = \frac{x_{n+1} - x_n}{z_{n+1} - z_n}, \beta_n = x_n - \alpha_n z_n$$

و x_n و z_n مختصات گوشه n ام چندضلعی است. البته برای مدل استوانه افقی از رابطه زیر استفاده می‌کنیم (عبدالرحمن، ۲۰۰۱):



شکل ۱۱. نمایش شکل وابستگی به دست آمده از مدل مصنوعی دایک ضخیم و شکل مدل آن

به شکل ۱۲ و از جدول ۲ انتظار می‌رود که زاویه θ به ۱۳۵- درجه نزدیک باشد که در شکل ۱۲ این امر صحت دارد. در جدول زیر پارامترهای حاصل از این مدل به صورت زیر به دست آمده است:

جدول ۵. مقادیر واقعی و به دست آمده پارامترها برای مدل پله شیب‌دار

	مقدار واقعی	مقدار به دست آمده
H (m)	۱۲۰	۱۱۴٫۶
h (m)	۲۰	۱۹
d (degree)	۴۵	۴۲٫۵

۳-۴ پله قائم

در زیر شکل وابستگی مربوط به مدل مصنوعی پله قائم و شکل مدل آن به صورت زیر است.

در شکل بالا زاویه بین محورهای X و X' به ۹۰- درجه (با توجه به شکل ۸) تمایل دارد که با توجه به اینکه در مدل پله قائم، زاویه شیب پله قائم، زاویه‌ای قائمه است، چنین نتیجه‌ای قابل قبول است. در جدول زیر پارامترهای حاصل از این مدل به صورت زیر به دست آمده است:

جدول ۶. مقادیر واقعی و به دست آمده پارامترها برای مدل پله قائم

	مقدار واقعی	مقدار به دست آمده
H (m)	۵۰	۵۳
h (m)	۱۰	۷٫۹۶

شیب دایک ضخیم با توجه به زاویه بین محورهای X و X' به دست می‌آید، شیب واقعی دایک ضخیم برابر ۶۰ درجه است بنابراین با توجه به شکل ۱۱ و جدول ۲ انتظار داریم زاویه θ به ۶۰- درجه نزدیک باشد که در شکل ۱۱ با توجه به زاویه بین محورهای X و X' این ادعا صحت دارد.

S₁ و S₂ ایستگاه‌های دو انتهای نیم‌رخ‌اند. در جدول زیر پارامترهای حاصل از دایک ضخیم به این صورت به دست آمده است:

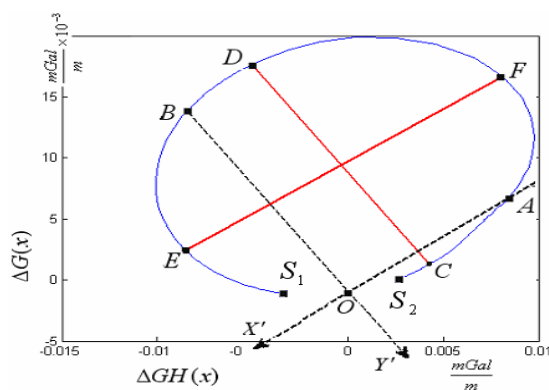
جدول ۷. مقادیر واقعی و به دست آمده پارامترها برای مدل دایک ضخیم

	مقدار واقعی	مقدار به دست آمده
H (m)	۱۰	۱۳٫۳
h (m)	۲۵	۲۸٫۷
d (degree)	۶۰	۶۴

۲-۴ پله شیب‌دار

در زیر شکل وابستگی مربوط به مدل مصنوعی پله شیب‌دار و شکل مدل آن ترسیم شده است، که برای مدل مصنوعی از دو متوازی الاضلاع مشابه استفاده شده است که نسبت طول اضلاع بزرگ به اضلاع کوچک آن و نسبت به عمق آن، به مراتب بزرگ در نظر گرفته شده است.

شیب واقعی پله برابر ۱۳۵ درجه است، بنابراین با توجه



شکل ۱۲. نمایش شکل وابستگی به دست آمده از مدل مصنوعی پله شیب‌دار و شکل مدل آن

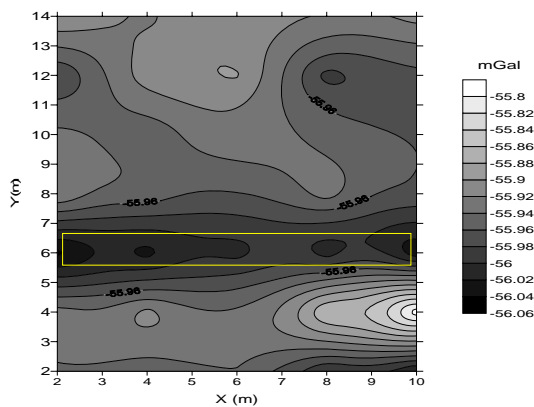
جدول ۷. مقادیر واقعی و به‌دست آمده پارامترها برای مدل استوانه افقی

	مقدار واقعی	مقدار به‌دست آمده
h (m)	۵۰	۵۱٫۲
R (m)	۲۰	۲۳

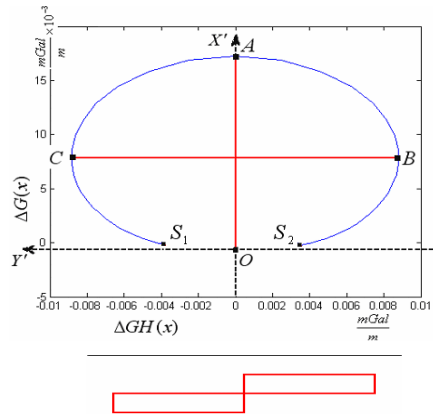
برای همه مدل‌های بالا با اعمال نوفه (۸ درصد) به داده‌ها، نتایج به این صورت است که نسبت سیگنال به نوفه (S/N) با دور شدن از مبدا یا به عبارتی با نزدیک شدن به ابتدا و انتهای نیم‌رخ بیشتر می‌شود.

۵ اعمال داده‌های واقعی

داده های واقعی، داده های برداشت شده گرانی با دستگاه CG3M و با دقت یک میکروگال روی شبکه‌ای با فواصل نقاط ۲ متر در مجموع حدود ۳۲ نقطه است. این شبکه روی یک تونل قناتی واقع در موسسه ژئوفیزیک قرار دارد. از آنجا که شکل قنات را می‌توان به صورت استوانه افقی مجسم کرد، بنابراین از این روش برای به‌دست آوردن پارامترهای منبع (قنات) استفاده شده است. بعد از تصحیح‌های مربوطه شامل تصحیح دریفت، جزر و مد، هوای آزاد، بوگه، توپوگرافی مقادیر بی‌هنجاری بوگه محاسبه و در شکل ۱۵ نشان داده شده است (در شکل مستطیل رسم‌شده، گسترش و راستای قنات را نشان می‌دهد).



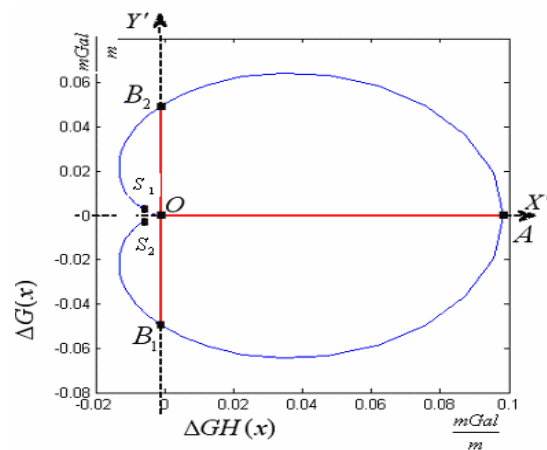
شکل ۱۵. نقشه گرانی بی‌هنجاری بوگه قنات



شکل ۱۳. نمایش شکل وابستگی به‌دست آمده از مدل مصنوعی پله قائم و شکل مدل آن

۴-۴ استوانه افقی

در زیر شکل وابستگی مربوط به مدل مصنوعی استوانه افقی و شکل مدل آن به صورت زیر است:



شکل ۱۴. نمایش شکل وابستگی به‌دست آمده از مدل مصنوعی استوانه افقی و شکل مدل آن

در شکل بالا زاویه θ ، به صفر نزدیک است که با توجه به جدول ۲، برای منبع گرانی مدل استوانه افقی ($d=0$)، چنین نتیجه‌ای قابل انتظار است. در جدول زیر پارامترهای حاصل از این مدل به صورت زیر به‌دست آمده است:

ناهمگنی محیط و اینکه دقت تصحیح‌های گرانی صورت گرفته و حذف نوفه روی داده‌ها تا چه حد باشد، می‌تواند بر دقت محاسبات تأثیر بگذارد علاوه بر این:

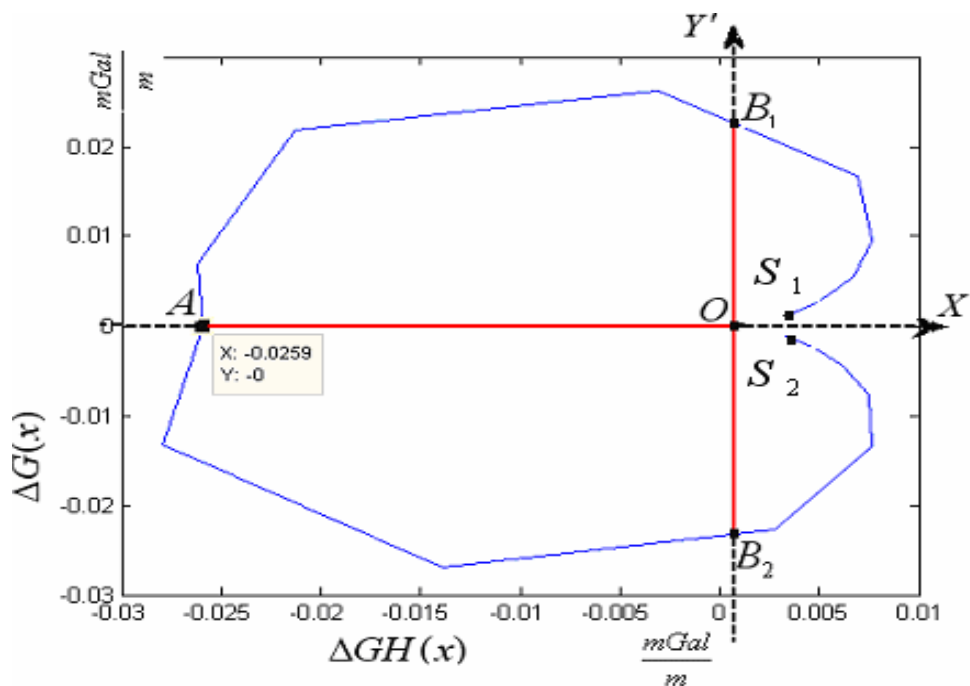
* سطح مقطع قنات، دایره‌ای نیست بلکه تا حدودی به شکل بیضی تمایل دارد.

* به خاطر اینکه بخشی از قنات دارای آب و بخشی از آن دارای هوا و بخشی نیز شامل ته‌نشست‌هایی (به دلیل نفوذ آب در دیواره قنات) است، بنابراین چگالی یکنواختی ندارد.

* شعاع و عمق قنات در امتداد طول قنات متفاوت است.

* طول نیم‌رخ زده شده محدود است.

شکل ۱۶، شکل وابستگی قنات را نشان می‌دهد (تباین چگالی منفی است). نکته‌ای که باید متذکر شد این است که در ابتدای مقاله فرض کرده‌ایم که تباین چگالی مثبت است. در صورتی که این تباین منفی باشد، منحنی نسبت به ایستگاه O قرینه خواهد شد. برای قنات، تباین چگالی منفی است (به خاطر وجود آب و هوا)، از این رو با مقایسه شکل ۱۶ با شکل ۱۰ چنین نتیجه‌ای حاصل شده است. در جدول ۸ نتایج به دست آمده، از این روش با نتایج حاصل از برآورد عمق به روش اوپلر آورده شده است.



شکل ۱۶. نمایش شکل وابستگی به دست آمده برای قنات

جدول ۸ نتایج به دست آمده از این نظریه و مقایسه آن با نتایج به دست آمده از روش‌های دیگر

	مقدار به دست آمده از این روش	مقدار به دست آمده از برآورد عمق به روش اوپلر
h (m)	۳	۰٫۲۴
R (m)	۰٫۳۷	۰٫۵

۶ نتیجه‌گیری

در بخش ۴، برای داده‌های واقعی نیز از این روش برای تعیین شکل و پارامترهای چشمه استفاده شده است اما با وجود نبود تشابه کامل قنات با مدل یک استوانه افقی ایدئال و ناهمگنی محیط زمینه و مواردی که در این بخش ذکر شد، نتایج مناسبی با توجه به شکل ۱۶ و جدول ۸ به دست آمده است. در پایان پیشنهاد می‌شود که پس از کسب اطلاعات زمین‌شناسی، این روش می‌تواند برای دسترسی به اطلاعات بیشتر در مورد منبع‌های دوبعدی، برای کمک به مفسر، قبل از به انجام رساندن مراحل نهایی تفسیر داده‌ها مفید واقع شود.

منابع

- Abdelrahman, E. M., El- Araby, T. M., and Abo-Ezz E.R., 2001, Three least squares minimization amplitude coefficient determination from gravity data, *Geophysics*, **66**, 1105-1109.
- Atchuta Rao, D., and Ram Babu, H. V., 1980, Properties of the relation figure between the vertical and horizontal field magnetic anomalies over a long horizontal cylindrical ore body. *Curr Sci.*, **49**, 584-585 .
- Atchuta Rao, D., and Ram Babu, H. V. 1981, Nomograms for rapid evaluation of magnetic anomalies over long tabular bodies. *Pure Appl Geophys*, **119**, 1037-1050.
- Atchuta Rao, D., Ram Babu, H. V. and D. CH. Vaenkata Raja. 1985, Inversion of gravity and magnetic anomalies over some bodies of simple Geometric shape *PAGEOPH*, **123**.
- Blakely, R. J. 1995, *Potential theory in gravity and magnetic applications*.
- Nabighian, M.N, 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section- Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, **37**, 507- 517.
- Nabighian, M.N., 1985, Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transform: Fundamental relations. *Geophysics*, **49**(6), 780-786.
- Ram Babu, H.V and Atchuta Rao, D. 1991, Application of the Hilbert transform for gravity and magnetic interpretation. *PAGEOPH* **135**, 4.

در این مقاله، برای چند مدل متفاوت دوبعدی، شکل‌های وابستگی رسم و نتایج حاصل از آنها در نظریه و بخش مدل‌سازی ارائه شد. با کمک اطلاعات زمین‌شناسی اولیه از منبع و با توجه به شکل وابستگی مربوط به منبع می‌توان شکل هندسی دوبعدی منبع را، اعم از اینکه پله، دایک ضخیم، یا استوانه افقی باشد، شناسایی کرد که مطابق با بخش ۲، شکل منحنی برای مدل دایک و پله به شکل بیضی و برای استوانه افقی به شکل دل‌وار است، همچنین با توجه به نقاطی که با حروف بزرگ روی منحنی‌ها مشخص شده است و براساس مطالب ارائه شده، پارامترهای منبع قابل برآورد کردن است، همانند نتایجی که برای هر مدل در بخش ۳ و ۴، در جدول‌های ۴ تا ۸ آمده است.

در بخش ۲، فرض بر این است که طول نیم‌رخ عمود بر امتداد نامتناهی منبع از دو سمت نامحدود است و بر این اساس تعداد ایستگاه‌های برداشت نیز بی‌شمار خواهد بود. پس انتظار می‌رود که نتایج حاصل از بخش‌های ۳ و ۴ با نظریه به‌طور کامل مطابقت نداشته باشد. بنابراین در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ و ۱۶ منحنی به دست آمده باز است (منحنی از S_1 تا S_2 ادامه دارد) بر خلاف شکل‌های ۳، ۶، ۸ و ۱۰ در بخش ۲، که در آن S_1 و S_2 در نقطه O بر هم منطبق‌اند).

ایستگاه O، در بی‌نهایت ریاضی نسبت به مبدا ($x = 0$) قرار دارد که از این رو در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ و ۱۶ ایستگاهی فرضی است. با دنبال کردن منحنی در نقاط S_1 و S_2 ، در جایی که این دو بر هم انطباق پیدا می‌کنند نقطه O تعیین خواهد شد که به نظر از جمله محدودیت‌های این روش است، چون این کار به طور دستی صورت می‌گیرد. بنابراین نمی‌توان ایستگاه O را به طور دقیق تعیین کرد.

- Stanly, J. M., and Green, R., 1976, Gravity gradients and the interpretation of the truncated plate. *Geophysics*, **41**, 1370-1376.
- Werner, S., 1953, Interpretation of magnetic anomalies of sheet like bodies. *Sveriges geologist under Ser. C. C, Arobok* **43**(6).