محاسبهٔ بی‌هنجاری گرانی منطقه‌ای به روش المان محدود

دکترحسین زمردیان۱ و فاطمه میرپناهی۲

چکیده

بی‌هنجاری‌های گرانی اندازه‌گیری شده شامل مجموع اثرهایی (ترکیبی از ساختارهایی با چگالی‌ها و عمقهای مختلف) از منطقه مورد مطالعه و فراتر از آن هستند. جداسازی میدان پتانسیل منطقه‌ای – محلی یک موضوع جالب توجه در میان ژئوفیزیکدانان حتی در زمان حال می‌باشد. روشی که در این مقاله برای جداسازی میدان‌های باقیمانده و منطقه‌ای به کار رفته روش المان محدود است که چند دههٔ اخیر در تفسیر میدان پتانسیلی مورد استفاده قرار گرفته است و مسائل پیچیده را به آسانی و با دقت قابل حل می‌سازد .

بی‌هنجاری گرانی منطقه‌ای براساس توابع درونیاب المان مورد استفاده در آنالیز المان محدود بدست آمده است. اولین مرحله از این روش انتخاب المان است و سپس تصمیم در مورد شرایط مرزی فضای حل مسئله می‌باشد. در این مرحله فضای حل به المانهایی تقسیم می‌شود. بعد از تعیین ساختار هندسی فضای حل مسئله، بایستی مناسبترین المانها برای این ساختار هندسی انتخاب شوند. سازگاری بین هندسه و المانها برای رسیدن به بهترین حل ممکن مهم می‌باشد .

در این مقاله، روش ذکر شده هم بر روی مدل ساختگی و هم بر روی داده‌های حقیقی به کار رفته است و بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای از بی‌هنجاری‌های محلی جدا سازی شده است .

کلید واژه ها: روش المان محدود، بی‌هنجاری منطقه‌ای – محلی، تابع درونیاب

Computation of regional gravity anomaly by finite element method

Dr.Hossein, Zomorrodian and Fattemeh, Mirpanahi

Abstract

Gravity anomalies always include the total effects (combination of the structures which have different densities and depths) of the study area and beyond.

The regional – residual resolution of the potential field continues to be a topic of considerable interest among geophycists even to a present time. In spite of a large number of sophisticated analytical techniques both in the space and frequency domain, there are instances where interpreters are not satisfied with the regional and residual components obtained by this method.

The finite element method (FEM), which has been used in potential field interpretation for decades, makes complex problems to be solved easily and accurately.

A regional gravity anomaly, based on element shape functions used in finite element analysis, is developed. The first step of FEM is to identify the elements and then to decide on

۱– عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد ، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران (e-mail : hzomorod@ut.ac.ir)

۲– دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد ژئوفیزیک ، دانشگاه آزاد، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران (e-mail: f_mirpanahi@yahoo.ie)

Archive of SID

www.SID.ir

the boundary of the solution space, the solution space is divided into elements. After determination of the geometrical structure of the solution space, the most suitable elements should be chosen for this geometrical structure. The agreement between the geometry and the elements is quite important for the convergence to the best possible solution.

In this work FEM was applied to a theoretical model and to gravity data from salt dome structure in Qom to produce the regional and residual anomalies.

Keywords: Finite element method; Regional/ residual separation; shape functions

مقدمه:

روشهای مختلف پردازش داده‌های ژئوفیزیکی قابلیت آشکار سازی خصوصیات ساختاری کلی یک منطقه را دارا هستند.

علی‌رغم مزایای روشهای جدا سازی بی‌هنجاری‌های باقیمانده از منطقه‌ای برروی داده‌های گرانی، وبا وجود اصلاحاتی که در این روشها انجام شده و بهبودهایی که با ورود رایانه‌های پر سرعت در امکان طراحی فیلترها، و نیز برازش چند جمله‌ای‌های با مرتبه‌های بالاتر برای دسته داده‌های بزرگ دو بعدی ایجاد شده است، از آنجا که در این روشها همهٔ داده‌های گرانی مشاهده شده برای محاسبهٔ میدان منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، میدان منطقه‌ای بدست آمده از این روشها هنوز هم شامل تأثیرات بی‌هنجاری‌های باقیمانده می‌باشند.

در این مقاله با استفاده از روش المان محدود امکان حذف اثرات بی‌هنجاری‌های باقیمانده از بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای البته تا جایی که تئوری پتانسیل اجازه دهد فراهم می‌شود. روش المان محدود در ابتدا توسط چوئانگ و یئو، ۱۹۶۷ و زینکوویچ، ۱۹۶۷ برای حل مسائل مهندسی و ریاضی فیزیکی مورد استفاده قرارگرفته است. سپس این روش توسط مالیک وسارما، ۱۹۹۲ در ژئوفیزیک شاخهٔ لرزه شناسی استفاده شد. روش المان محدود توسط مالیک وشارما، ۱۹۹۹ برای محاسبهٔ بی‌هنجاری‌های گرانی منطقه‌ای به کار رفته است.

در این روش هشت مقدار گرانی مشاهده شده در المان هم پارامتر چارگوش که روی نقشهٔ گرانی بوگه واقع شده است، برای محاسبه بی‌هنجاری منطقه‌ای مورد نیاز است.

دیگر مقادیر گرانی مشاهده شده بکار گرفته نمی‌شوند.

۱- محاسبهٔ داده گرانی:

داده‌های گرانی مشاهده شده مجموع اثرهای ساختارهای سطحی و عمیق هستند و می‌توان نوشت (پائولوسکی، ۱۹۹۴):

$$g(x,y) = g_s(x,y) + g_d(x,y) \qquad (۱)$$

که $g(x,y)$ داده‌های گرانی مشاهده شده، $g_s(x,y)$ اثر گرانی ساختارهای با طول موج کوتاه و $g_d(x,y)$ اثر گرانی ساختارهای با طول موج بلند است.

هدف در تفسیر داده‌های گرانی جداسازی بی‌هنجاری‌های باقیمانده از منطقه‌ای است. که تعریف دقیق ساختارها بر مبنای آنها است. تکنیک‌های مختلفی برای محاسبهٔ بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای از داده‌های گرانی مشاهده شده وجود دارد و اگر چه در دهه‌های گذشته بهبودهایی در این تکنیک‌ها به وجود آمده است. اما جداسازی اثرهای باقیمانده از میدانهای منطقه‌ای بدلیل خواص ذاتی تئوری پتانسیل به طور دقیق ممکن نبوده است .

همانطور که پیشتر ذکر شد، روش المان محدود در اینجا برای تعیین بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای به کار رفته است این روش مزایایی را نسبت به سایر روشهای مرسوم دارد برای نمونه فقط یک تعداد نقاط مشاهده‌ای محدود در نقشهٔ بی‌هنجاری بوگه برای محاسبهٔ بی‌هنجاری منطقه‌ای مورد نیاز است .

روش المان محدود را می‌توان برای هر اندازه‌ای از نقشهٔ گرانی به کار برد. علاوه بر آن نشان داده خواهد شد که بی‌هنجاری منطقه‌ای محاسبه شده شامل کمترین اثرات

Archive of SID

www.SID.ir

بی‌هنجاری باقیمانده می‌باشد (مالیک وشارما، ۱۹۹۹).

۲- تئوری روش المان محدود

دهه‌هایی است که روش المان محدود به طور موفقیت آمیزی برای مسائل مدل سازی مختلف در جهان علمی شامل ژئوفیزیک بکار رفته است. در این مقاله روش المان محدود برای جداسازی بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای و باقیمانده به وسیلهٔ کاربرد توابع درونیاب استفاده شده است.

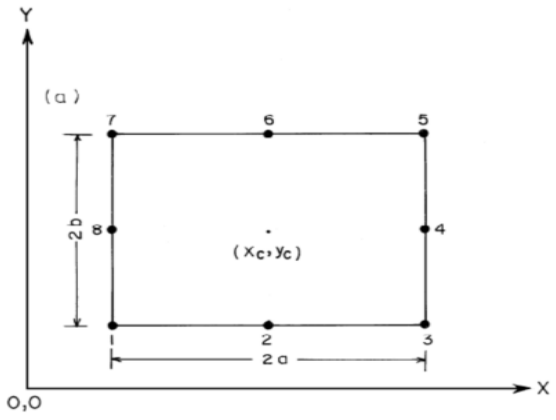
این توابع درونیاب نقش بسیار مهمی در تبدیل صفحه مرجع ایفا می‌کنند. کاربرد این روش نتایج بهتری را نسبت به سایر روشهای مرسوم بدست می‌دهد، در حالی که مقادیر گرانی کمتری نیز مورد نیاز است. برای نمونه فقط ۸ گره با توابع درونیاب برای محاسبهٔ بی‌هنجاری منطقه‌ای مورد استفاده می‌باشد (کافتان، ۲۰۰۵).

بی‌هنجاری منطقه‌ای از فرمول (۲) محاسبه می‌شود (مالیک وسارما ،۱۹۹۲):

$$g(x,y)=\sum_{i=1}^{8} N_i(x,y)g_i \qquad (۲)$$

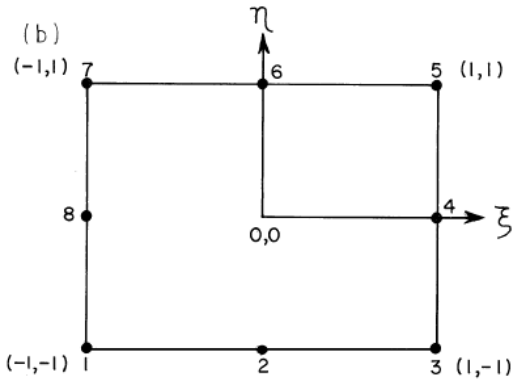
که $g(x,y)$ میدان منطقه‌ای $N_i(x,y)$ تابع درونیاب و g_i مقادیر گرانی گره‌ها را نشان می دهد.

در شکل ۱ یک المان چارگوش ۸ گره‌ای نشان داده شده است که درفضای نقشهٔ واقعی (x_c,y_c) مرکز المان چارگوش ۸ گره‌ای را نشان می‌دهد. که طول اضلاع آن $2a$ و $2b$ است.



شکل ۱ . المان چارگوش ۸ گره‌ای (مالیک وشارما ، ۱۹۹۹).

در شکل ۲ یک المان چارگوش ۸ گره‌ای در صفحه مختصات بدون بعد (ξ,η) نشان داده شده است.



شکل ۲. یک المان چارگوش ۸ گره‌ای در صفحه مختصات بدون بعد (ξ,η) (مالیک وشارما ، ۱۹۹۹).

این صفحهٔ مرجع جدید برای محاسبه توابع درونیاب مورد استفاده قرار گرفته است.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است ، تبدیل مختصات (x,y) صفحه موجود به مختصات صفحه (ξ,η) یک مرحلهٔ ضروری است .مختصات صفحهٔ (ξ,η) ی جدید به صورت رابطهٔ (۳) قابل بیان می‌باشد (مالیک وشارما، ۱۹۹۹):

$$\xi=\frac{x-x_c}{a} \quad , \quad \eta=\frac{y-y_c}{b} \qquad (۳)$$

توابع درونیاب از ۱ تا ۸ گره در شکل ۲ را می‌توان به صورت روابط(۴ – الف) ، (۴ – ب) و (۴ – ج) نوشت (مالیک وشارما، ۱۹۹۹):

برای $i=1,3,5,7$: (۴– الف)،

$$N_i(\xi,\eta)=\frac{(1+\xi\xi_i)(1+\eta\eta_i)(\xi\xi_i+\eta\eta_i-1)}{4}$$

برای $i=2,6$: (۴– ب)،

$$N_i(\xi,\eta)=\frac{(1-\xi^2)(1+\eta\eta_i)}{2}$$

برای $i=4,8$: (۴– ج)،

$$N_i(\xi,\eta)=\frac{(1+\xi\xi_i)(1-\eta^2)}{2}$$

که ξ_i و η_i مختصات گرهٔ i ام در صفحهٔ مختصات بدون بعد (ξ,η) است.

Archive of SID

www.SID.ir

بایستی توجه کرد که $N_i(\xi,\eta)=1$ در i امین گره است و برای سایر گره‌ها صفر می‌باشد. بنابراین $\Sigma N_i(\xi,\eta)=1$ است. پس گرانی منطقه‌ای به وسیلهٔ توابع درونیاب به این صورت قابل بیان می‌باشد(مالیک وشارما ، ۱۹۹۹):

$$g(\xi,\eta)=\sum_{i=1}^{8}N_i(\xi,\eta)g_i \qquad (۵)$$

که g_i مقادیر گرانی ۸ گره را نشان می‌دهد و $N_i(\xi,\eta)$ توابع درونیاب را مشخص می‌کند .

بر اساس صفحهٔ مرجع جدید ، مختصات جدید را می‌توان به شکل زیر بدست آورد (مالیک وشارما، ۱۹۹۹):

$$x(\xi,\eta)=\sum_{i=1}^{8}M_i(\xi,\eta)x_i \qquad (۶\text{- الف})$$

$$y(\xi,\eta)=\sum_{i=1}^{8}M_i(\xi,\eta)y_i \qquad (۶\text{- ب})$$

که $M_i(\xi,\eta)$ توابع درونیاب را نشان می‌دهد. x_i و y_i مختصات گره‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۲ و معادلات (۵) و (۶) تبدیل بی‌هنجاری منطقه‌ای محاسبه شده از صفحه مرجع (ξ,η) به صفحه واقعی (x,y) را فراهم می‌کنند (مالیک وشارما، ۱۹۹۹).

در معادلات (۵) و (۶- الف) و (۶- ب) به وضوح دیده می‌شود که برای مختصات هر نقطهٔ داده شده و تغییرات میدان از توابع درونیاب یکسان استفاده می‌شود. یعنی، $N_i(\xi,\eta)=M_i(\xi,\eta)$ به همین دلیل المانهای هم پارامتر نامیده می‌شوند.

۳- دقت روش:

دقت روش اساساً به دو عامل بستگی دارد :

۱ - انتخاب بهینهٔ المان مرجع یعنی تعیین ابعاد المان(a,b)، بنابراین فضای اندازه‌گیری مد نظر بسیار مهم می‌باشد.

۲ - انتخاب موقعیت گره‌ها .این مسئله بسیار مهم است، زیرا مقادیر گرانی بوگه در گره‌ها میدان منطقه‌ای را تقریب زنی می‌کند.

در مواقعی که زون بی‌هنجاری با موقعیت تعدادی از گره‌های المان محدود همپوشانی داشته باشد این مسئله با فرض ذکر شده در مقدمه تناقض پیدا خواهد کرد. برای غلبه بر این مشکل دو راه وجود دارد (مالیک وشارما، ۱۹۹۹):

۱- اگر فضای نقشه گرانی طوری گسترده شده است که به طور کامل شامل بی‌هنجاری است و یا اگر مقادیر گرانی در دسترس نیستند ، موقعیت گره‌های المان را می‌توان به طور مناسب به منطقه‌ای دور از زون بی‌هنجار منتقل کرد، و می‌توان از اشکال گوناگونی برای المانها نظیر (مربع یا مستطیل) استفاده کرد.

۲- می‌توان المانهای محدود را با هم ترکیب کرد. که در این حالت یک لبهٔ المان ممکن است دارای چهار گره، لبهٔ دیگر سه گره و یا حتی دو گره باشد. در چنین حالتی توابع درونیاب (توابع وزنی) نیاز به تعریف مجدد دارند، و شرط معادلات (۴)، برای گرهٔ i ام ، $N_i(\xi,\eta)=1$، و صفر در سایر گره‌ها، باید رعایت شود ،علاوه بر این شرط $\Sigma N_i(\xi,\eta)=1$ باید برقرار باشد .

۴- کاربرد روش المان محدود روی داده‌های گرانی:

این روش را هم روی داده‌های مصنوعی و هم داده‌های واقعی اجرا می‌کنیم . همانطور که قبلاً گفته شد المان چارگوش را روی نقشهٔ بی‌هنجاری گرانی بوگه قرار می‌دهیم و مراحل زیر را انجام می‌دهیم (مالیک وشارما ، ۱۹۹۹):

۱ – یک المان چارگوش ۸ گره‌ای با ابعاد معین، روی نقشهٔ بی‌هنجاری بوگه قرار می‌دهیم. المان را طوری قرار می‌دهیم که بهترین پوشش را روی نقشه داشته باشد.

۲ – مقادیر گره‌ها همان مقدارهای گرانی منطقه‌ای است که گره‌ها از ۱ تا ۸ در المان مرجع در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. مقدار گرانی منطقه‌ای در هر نقطهٔ (ξ,η) در مختصات مرجع بوسیله معادله (۵) محاسبه می‌شود.

Archive of SID

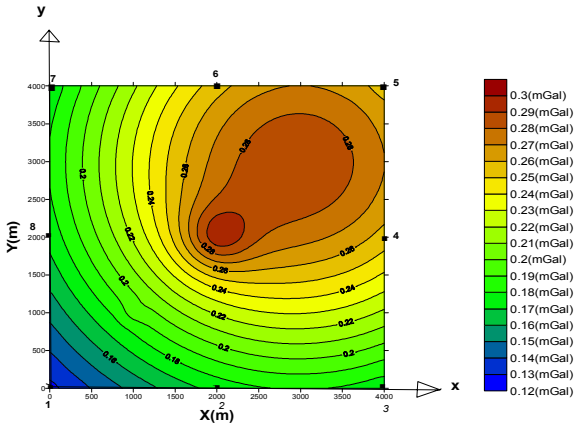
www.SID.ir

۳ – در این مرحله مقدار گرانی منطقه‌ای در مختصات (ξ,η) نیاز به تبدیل به مختصات واقعی (x,y) دارد. این عملیات به کمک محاسبه مختصات x,y از معادلات (۶) انجام می‌شود .که یک بار دیگر از همان فاکتورهای وزنی که برای محاسبهٔ $g(\xi,\eta)$ استفاده کردیم ، استفاده می‌شود. این یکی از مزایای استفاده از المانهای هم پارامتر است .

۴ – محاسبهٔ گرانی منطقه‌ای که در مرحلهٔ دوم انجام شد برای نقاطی با مختصات (ξ,η) است که به صورت تصادفی انتخاب شده، و یا روی یک شبکه منظم توزیع شده‌اند. که در نهایت به مختصات (x,y) تبدیل شوند .

۵ – کاربرد روی داده‌های مصنوعی :

سه سازهٔ کروی با شعاع های ۴۰، ۴۰۰، ۴۰۰۰ متر و تباین چگالی‌های ۸۰۰، ۶۰۰، ۴۰۰ (Kg/m^3) و در عمق‌های ۵۰، ۵۰۰، ۵۰۰۰ متری انتخاب شده‌اند. اثر بی‌هنجاری گرانی بوگه این سازه‌ها در برنامه متلب (Matlab) محاسبه شده و سپس نقشه بی‌هنجاری بوگه ترسیم شده است. در این مدل اثر منطقه‌ای مربوط به کرهٔ با شعاع ۴۰۰۰ متر است، که در عمق ۵۰۰۰ متری قرار دارد.(شکل ۳)



شکل ۳. نقشه بی‌هنجاری گرانی مدل مصنوعی در صفحه مختصات (x,y) گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

با کاربرد روش المان محدود میدان منطقه‌ای به این ترتیب محاسبه می‌شود:

۱– المان هشت گره‌ای چارگوش را روی نقشه منطبق می‌کنیم .گره‌ها را همانطور که در شکل۱ نشان داده شده از ۱ تا ۸ شماره گذاری می‌کنیم.

۲– مقادیر گرانی و مختصات مربوط به هر گره را از روی نقشه بدست می‌آوریم. هر کدام از این هشت مقدار، یعنی x_i ها، y_i ها و g_i ها را بصورت ماتریس‌های ستونی که هشت سطر دارند می‌نویسیم .

۳– نقشه را مطابق شکل ۲، به صفحهٔ مختصات بدون بعد (ξ,η) انتقال می‌دهیم .

۴– توابع درونیاب مربوط به هر گره را با توجه به شمارهٔ هر گره و مختصات (ξ,η) آن گره با استفاده از معادلات(۴) محاسبه می‌کنیم.

این هشت مقدار عبارتند از:

$$N_1(-1,-1)=(1-\xi)(1-\eta)(-\xi-\eta-1)/4$$
$$N_2(0,-1)=(1-\xi^2)(1-\eta)/2$$
$$N_3(1,-1)=(1+\xi)(1-\eta)(\xi-\eta-1)/4$$
$$N_4(1,0)=(1+\xi)(1-\eta^2)/2$$
$$N_5(1,1)=(1+\xi)(1+\eta)(\xi+\eta-1)/4$$
$$N_6(0,1)=(1-\xi^2)(1+\eta)/2$$
$$N_7(-1,1)=(1-\xi)(1+\eta)(-\xi+\eta-1)/4$$
$$N_8(-1,0)=(1-\xi)(1-\eta^2)/2$$

که یک ماتریس سطری که هشت ستون دارد را تشکیل می‌دهند. و به صورت

$$N_i(\xi,\eta)=[N_1,N_2,N_3,N_4,N_5,N_6,N_7,N_8]$$

است .در مدل مصنوعی توابع درونیاب و ماتریس های x_i و y_i و g_i به صورت زیر است:

$$x_i=\begin{bmatrix}0\\2000\\4000\\4000\\4000\\2000\\0\\0\end{bmatrix}\quad و\quad y_i=\begin{bmatrix}0\\0\\0\\2000\\4000\\4000\\4000\\2000\end{bmatrix}\quad و\quad g_i=\begin{bmatrix}0/127\\0/173\\0/173\\0/255\\0/255\\0/255\\0/173\\0/174\end{bmatrix}$$

به عنوان مثال در نقطهٔ $\xi=0,\eta=0$

Archive of SID

www.SID.ir

$N_i(0,0)=[-0/25\ 0/5\ -0/25\ 0/5\ -0/25\ 0/5\ -0/25\ 0/5]$

است و حاصل‌ضرب ماتریسی $N_i(0,0)$ در g_i مقدار میدان منطقه‌ای در این نقطه است که برابر با ۰/۲۹۸میلی‌گال می‌باشد .مقادیر x,y نیز به همین ترتیب برای نقطهٔ مورد نظر محاسبه می‌شوند:

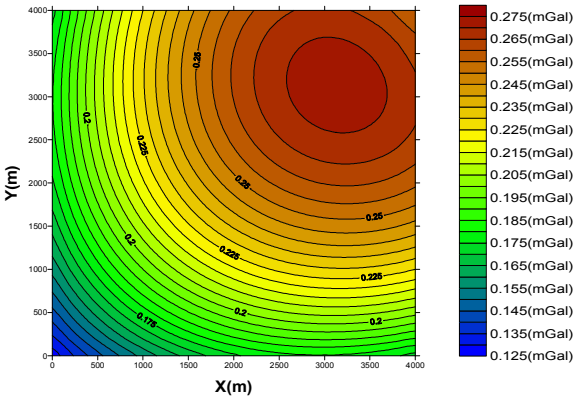
$x=2000, y=200($ متر است.

۵- اگر (ξ,η) هر مقدار دلخواهی در بازهٔ (۱ و۱-) بگیرد، با جای گذاری این مقدار در $N_i(\xi,\eta)$ و ضرب ماتریسی آن در ماتریس های x_i و y_i و g_i مقادیر x,y,g برای نقطهٔ مدنظر بدست می‌آید .که مقدار g مقدار میدان منطقه‌ای برای آن نقطه است .

۶- با یک شبکه بندی منظم در صفحهٔ مختصات (ξ,η)،مقدار x,y,g را برای تمام نقاط شبکه به کمک نرم افزار متلب (Matlab) بدست آمده است .

۷- از مقادیر g بدست آمده از مرحلهٔ قبل میدان منطقه‌ای را ترسیم می‌کنیم .

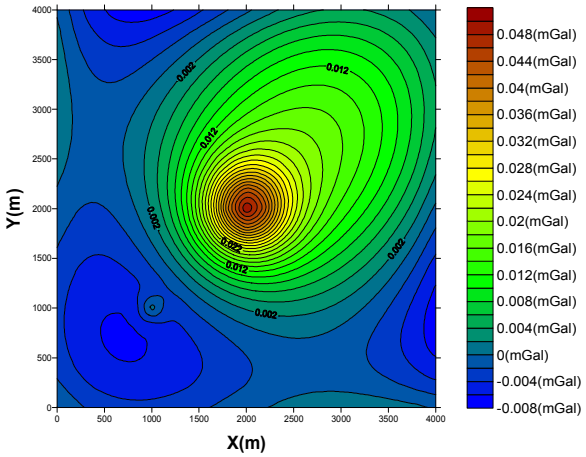
اثر منطقه‌ای مربوط به عمیق‌ترین کره است، که در شکل ۴ نشان داده شـده است. اثر بـی‌هنجاری‌های محلی ناشی از دو کرهٔ کوچکتر و سطحی‌تر حذف شده‌اند.



شکل ۴ . اثر منطقه‌ای مدل مصنوعی محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

۸- با کم کردن میدان منطقه‌ای از بی‌هنجاری بوگه به اثر محلی می‌رسیم.

اثر محلی ناشی از ساختارهای زیر سطحی است ،که در مدل مصنوعی ذکر شده دو کره به شعاع‌های ۴۰ و۴۰۰ متر آن را ایجاد می‌کنند. که در شکل ۵ نشان داده شده و اثر منطقه‌ای حذف شده است.



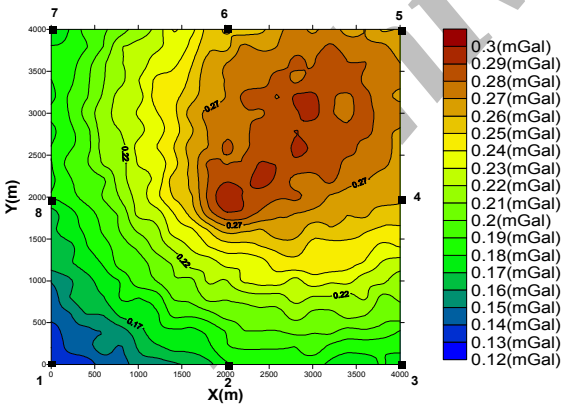
شکل ۵ . اثر محلی مدل مصنوعی ،محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

۶- کاربرد روش المان محدود روی داده‌های مصنوعی همراه با نوفه(noise)

با اعمال نوفه روی داده‌های مصنوعی و کاربرد روش المان محدود اثرات منطقه‌ای و محلی را به دست می‌آوریم.

۶-۱ اعمال ۵٪ نوفه

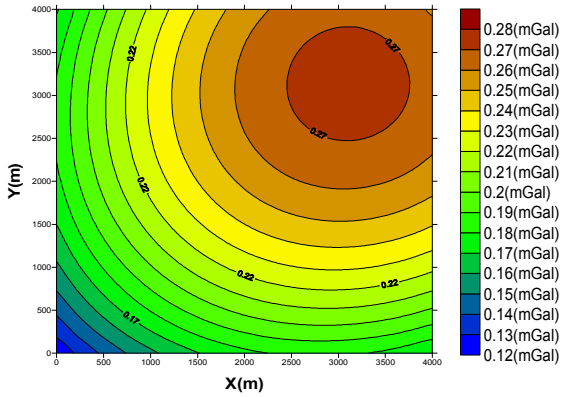
با اعمال ۵٪ نوفه روی داده‌های مدل مصنوعی نقشهٔ بی‌هنجاری گرانی بوگه به صورت شکل۶ خواهد شد.



شکل ۶ . نقشهٔ بی‌هنجاری گرانی بوگه مدل مصنوعی با اعمال ۵٪ نوفه، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

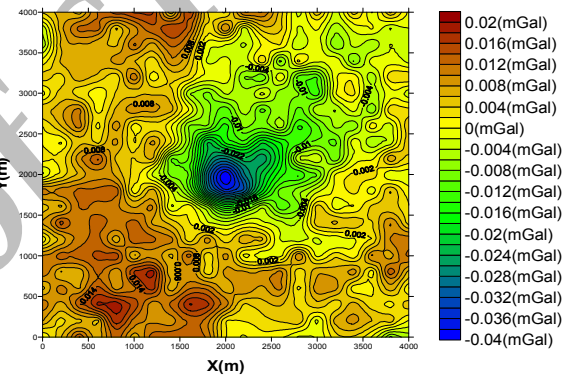
با کاربرد روش المان محدود بی‌هنجاری گرانی منطقه‌ای بدست می‌آید که در شکل۷ نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷ . اثر منطقه‌ای مدل مصنوعی با ۵٪ نوفه محاسبه شده به روش المان محدود ، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

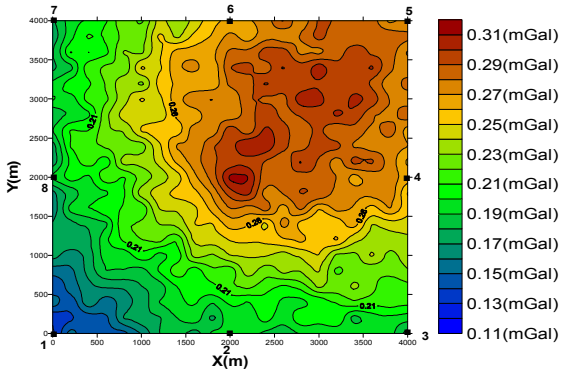
با کم کردن میدان منطقه‌ای از بی‌هنجاری بوگه، اثر محلی بدست می‌آید(شکل۸).



شکل ۸ . اثر محلی مدل مصنوعی با ۵٪ نوفه محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

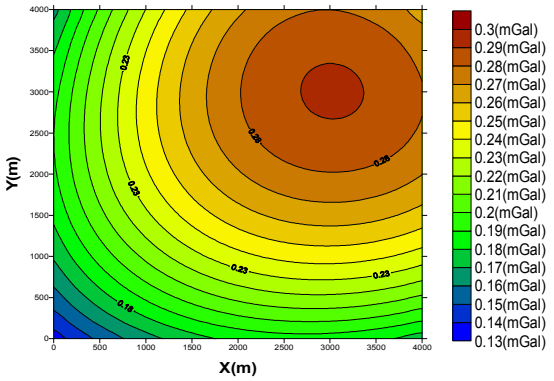
۶-۲ اعمال ۱۰٪ نوفه

با اعمال ۱۰٪ نوفه روی داده‌های مدل مصنوعی نقشهٔ بی‌هنجاری گرانی بوگه به صورت شکل ۹ خواهد شد.



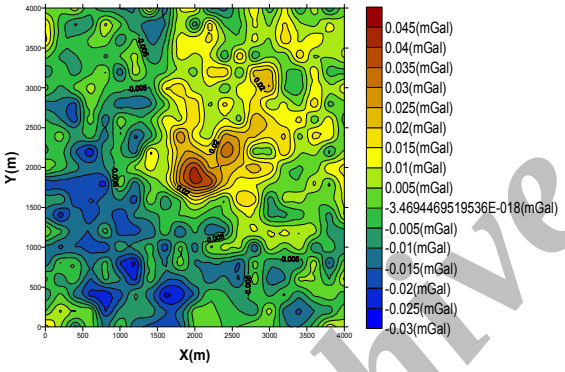
شکل ۹ . نقشهٔ بی‌هنجاری گرانی بوگه مدل مصنوعی با اعمال ۱۰٪ نوفه، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

با کاربرد روش المان محدود بی‌هنجاری گرانی منطقه‌ای بدست می‌آید.



شکل ۱۰ . اثر منطقه‌ای مدل مصنوعی با ۱۰٪ نوفه محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

با کم کردن میدان منطقه‌ای از بی‌هنجاری بوگه به اثر محلی می‌رسیم (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. اثر محلی مدل مصنوعی با نوفه ۱۰٪ محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال و فاصلهٔ خطوط شبکه ۵۰۰ متر.

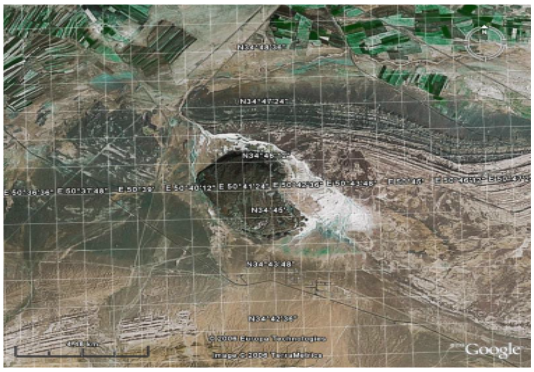
۷- کاربرد المان محدود روی داده‌های واقعی:

به عنوان داده‌های واقعی از داده‌های گنبد نمکی قم استفاده شده است.

در شکل۱۲ تصویر ماهواره‌ای منطقه نشان داده شده است، گنبد نمکی در مرکز تصویر (در غرب شهرستان قم)قرار دارد. سمت شرق گنبد دارای ساختار سنگی و سمت غرب دارای ساختار رسوبی می‌باشد.

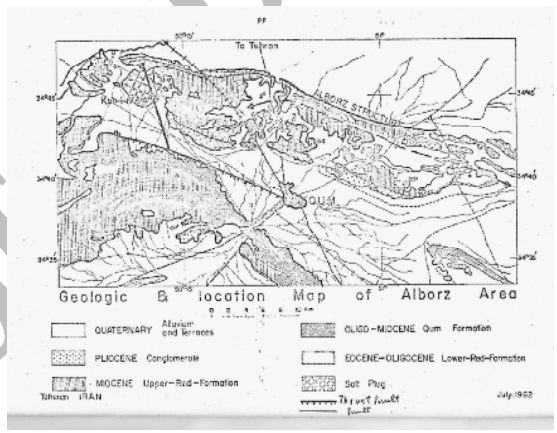
Archive of SID

www.SID.ir



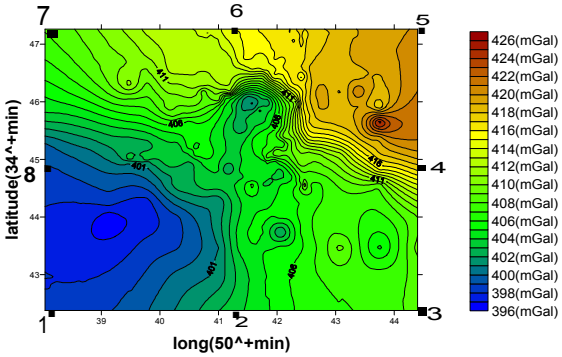
شکل ۱۲ . تصویر ماهواره‌ای منطقه‌ای

در شکل ۱۳ نقشهٔ زمین شناسی منطقه نشان داده شده است.



شکل۱۳ . نقشه زمین شناسی منطقه

در شکل ۱۴ نقشهٔ بی‌هنجاری بوگهٔ کامل گنبد نمکی قم نشان داده شده است. یک المان مستطیلی هشت گره‌ای روی نقشه واقع شده که موقعیت گره‌ها از ۱ تا ۸ شماره گذاری شده است.



شکل ۱۴ . نقشهٔ بی‌هنجاری گرانی بوگهٔ کامل گنبد نمکی قم، گرانی بر حسب میلی‌گال، گره‌های المان از ۱تا ۸ شماره گذاری شده‌اند

برای جداسازی اثرات منطقه‌ای از محلی روش المان محدود را به کار می‌بریم.

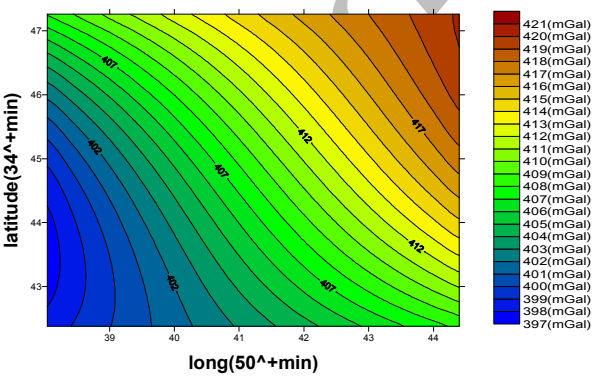
مقادیر ماتریس های x_i و y_i و g_i در این حالت عبارتند از:

$$x_i = \begin{bmatrix} 38/04 \\ 41/22 \\ 44/4 \\ 44/4 \\ 44/4 \\ 41/22 \\ 38/04 \\ 38/04 \end{bmatrix} \quad \text{و} \quad y_i = \begin{bmatrix} 42/38 \\ 42/38 \\ 42/38 \\ 44/82 \\ 47/26 \\ 47/26 \\ 47/26 \\ 44/82 \end{bmatrix}$$

$$\text{و} \quad g_i = \begin{bmatrix} 398/41 \\ 403/46 \\ 408/24 \\ 417/16 \\ 420/14 \\ 414/88 \\ 408/1 \\ 398/86 \end{bmatrix}$$

$$N_i(\xi,\eta) = [N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8]$$

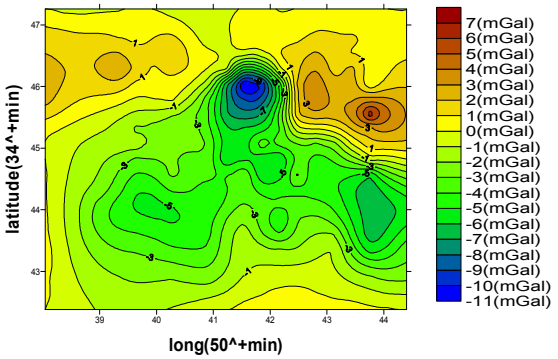
است. تمام مراحل ذکر شده در بخش ۵ رااجرا می‌کنیم، میدان منطقه‌ای در شکل ۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۱۵. نقشه بی‌هنجاری گرانی منطقه‌ای گنبد نمکی قم محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال.

با کم کردن اثر منطقه‌ای از بی‌هنجاری بوگه ،اثر محلی بدست خواهد آمد .که در شکل۱۶ نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۱۶ . اثر محلی گنبد نمکی قم محاسبه شده به روش المان محدود، گرانی بر حسب میلی‌گال .

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به شکلهای ارائـه شـده، روش المـان محـدود توانسته است میدان منطقه‌ای را بطور مشخص نشان دهد. این روش طول موج های بلند را به وضوح نمایان می‌کند.

از آنجا که در روش المان محدود با کاربرد یک المـان چارگوش هشت گره‌ای فقط هشت مقدار گرانی از نقـشه بی‌هنجاری گرانی بوگه در محاسبهٔ میـدان منطقـه‌ای بکـار رفته است، امکان دخالت خطاهـای انـدازه‌گیـری در ایـن روش بسیار کمتر است .

روش المان محدود حتی اثر نوفه های اعمـال شـده را از بین برده، و برای هر اندازه ای از نقـشه گرانـی و بـرای هر نوع شبکه بندی منظم و نامنظم قابل کاربرد است.

برای محاسبهٔ بی‌هنجاری‌های منطقه‌ای به روش المان محدود ،عوامل زیر در تفکیک اثر محلی دخیل هستند:

۱ – انتخاب نوع المان بکار رفته با توجه به شکل نقشه، تا بتواند بهترین همپوشانی را با نقشه داشته باشد .

۲ – گره‌های المان به دور از زون بی هنجار واقع در نقشه قرارگیرند ، تا کمترین اثری از زون بی هنجار در محاسبهٔ میدان منطقه‌ای وارد نشود .

۳ – با توجه به بندهای ۱و۲ ذکر شده در بالا آشنایی با خصوصیات زمین شناسی منطقه کمک زیادی در بهبود محاسبات خواهد کرد.

تشکر و قدردانی:

از همهٔ افرادی که با پیشنهادات سازنده و یا فراهم آوردن داده‌ها این پژوهش را یاری داده‌اند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم.

منابع

- Cheung, Y.K., Yeo, M.F., 1979, A Practical Introduction to Finite Element Analysis. Pitman Publishing, Marshfield, MA, p. 180.
- Kaftan, I., 2003, Application of Finite Element Method on gravity data in Western Anatolia, Dokuz eylul University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences (Master Thesis, in Turkish).
- Kaftan, I., and Salk, M., Sari, C., 2005,Application of the Finite Element Method to gravity data. Journal of Geodynamics 39,431-443.
- Mallick, K., Sharma, K.K., 1999, A Finite Element Method for Computation of the regional gravity anomaly. Geophysics 64(2), 461-469.
- Mallick, K., and Sarma, G. S., 1992, Finite Element formulation for Seimicwave propagation in oil bearing geological formation.
- Pawlowski, R. S., 1994, Green's equivalent-layer concept in gravity band-pass filter design. Geophysics 59, 69.

Archive of SID

www.SID.ir