



تهیه مجموعه نرم افزاری QuantInt برای تفسیر کمی و دقیق داده‌های مغناطیسی و گرانی سنجی و یک نمونه تفسیری در اکتشاف اورانیوم

محمد احسان حکمتیان *

امور اکتشاف و استخراج، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران-ایران

چکیده: در اکتشافات معدنی، پی‌جویی‌های زیرزمینی برای تعیین شکل و ابعاد و عمق توده‌های معدنی، در مکانهایی از سطح زمین که برون‌زدگی کانساری وجود ندارد یا برون‌زدگی‌ها برای بررسی شکل و ابعاد توده‌های معدنی کافی نیست اهمیت اساسی دارند. پی‌جویی‌های زیرزمینی، صرف‌نظر از عملیات حفاری که هزینه زیاد دارد، محدود به تفسیرهای کمی اطلاعات ژئوفیزیکی می‌شود، علاوه بر این، مناسبترین محل‌های حفاری هم به وسیله همین تفسیرهای ژئوفیزیکی معین می‌شوند. برای این منظور، مجموعه نرم‌افزار QuantInt که مشتمل بر حدود ۱۰۰۰۰ خط برنامه نویسی به زبان "Visual Basic" است با قابلیت تفسیر کمی در حوضه داده‌های مغناطیسی و گرانی سنجی تهیه شده است. این نرم‌افزار، علاوه بر چنین قابلیت، توان تصحیح زمینگان و محاسبه چگالی متوسط سنگ‌ها را هم دارد. در این مقاله یک نمونه تفسیر کمی که به وسیله این نرم‌افزار با هدف اکتشاف اورانیوم صورت گرفته، ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: نرم‌افزار QuantInt، تفسیر کمی ژئوفیزیکی، پی‌جویی زیرزمینی

Software Package Preparation Entitled: QuantInt, to be used for Quantitative Interpretation of Magnetic and Gravitational Data and one Sample Interpretation in Exploration of Uranium

M. E. Hekmatian*

Exploration and Mining Division, AEOL, P.O.Box: 14155-1339, Tehran-Iran

Abstract: Underground exploration, in particular in places with no outcrops is a very important task. The only indirect way for defining shape, dimensions and depth of ore bodies which are buried underground is the quantitative interpretation of the geophysical data. Also finding a best point for drilling is defined mainly by quantitative interpretation of the relevant geophysical data. In this way, a software package entitled "QuantInt" including about 10,000 lines programming by Visual Basic language was prepared for quantitative interpretation of geomagnetic and gravity data. This package also has the ability for calculation of terrain correction and average density of rocks. As an example for application of this package, exploration of uranium ore has been demonstrated.

Keywords: software QuantInt, geophysical quantitative interpretation, underground exploration



۱ - مقدمه

برای این منظور شبکه‌های مختلفی طراحی شده است، مثلاً شبکه Kane (شکل ۱) یکی از آنهاست و در نرم‌افزار QuantInt هم از این شبکه استفاده شده است [۲]. در این شبکه تا شعاع چند کیلومتر پستی و بلندیهای زمین مدل می‌شود، به عبارت دیگر این شبکه از تعدادی خانه درست شده است و در هر خانه میانگین ارتفاع‌های مناطق واقع شده در آن منظور می‌شود و هر خانه به عنوان یک حجم با یک ارتفاع معین بالاتر یا پایین‌تر از ایستگاه اندازه‌گیری در محاسبات تصحیح زمینگان دخالت داده می‌شود (شکل ۱). در این شبکه مربع شکل که طول ضلع آن ۴۰ کیلومتر است چهار نوع خانه دیده می‌شود که سه نوع آنها مربع شکل به طول ضلع‌های ۱ و ۲ و ۴ کیلومتر می‌باشند. خانه چهارم از نوع مثلثی است که در ۴ مربع مرکزی هاشور خورده قرار گرفته است. رابطه ریاضی مربوط به خانه‌های مربعی به صورت زیر است [۲]:

$$g = \frac{GDA (1.26A) + \sqrt{(R - 0.63A)^2 + H^2}}{1.26 R} - S$$

$$S = \sqrt{R + 0.63A^2 + H^2} \quad (1)$$

که در آن:

R = فاصله مرکز خانه مربعی تا ایستگاه اندازه‌گیری

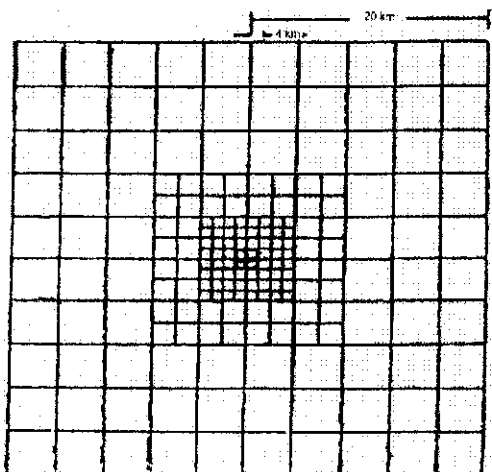
g = شدت میدان گرانی ناشی از هر خانه شبکه کین

H = ارتفاع میانگین خانه مربعی

G = ثابت گرانی

D = چگالی متوسط سنگهای محدوده شبکه

A = طول ضلع خانه مربعی



شکل ۱ - طرح ساده‌ای از شبکه «کین»

نیاز به بررسیهای کمی و دقیق به منظور اکتشاف مواد معدنی، به ویژه اورانیوم سبب شده است که نرم‌افزار QuantInt تهیه شود [۱]، تا بدین وسیله، هم یک نرم‌افزار ایرانی تهیه شده باشد و هم تسلط کاملی بر روی برنامه، کارکردن با آن، آموزش به دیگران و در صورت لزوم بالابردن توان نرم‌افزار میسر باشد.

این نرم‌افزار شامل دو بخش کلی است:

- بخش محاسبه تصحیحات^(۱): این بخش مربوط به تصحیح زمینگان^(۲) در روش گرانی سنجی و محاسبه چگالی متوسط سنگها است که در همین روش گرانی سنجی بکار می‌رود.
- بخش تفسیر کمی^(۳): که شامل تفسیر کمی در روشهای گرانی سنجی و مغناطیسی است. این تفسیر در هر دو مورد برای بعضی از شکل‌ها دو بعدی، برای بعضی دیگر سه بعدی و برای بعضی هم دو و نیم بعدی است. منظور از ۲/۵ بعدی این است که بعد سوم با امتداد دادن همان مقطع دو بعدی به طور کاملاً یکنواخت مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

در نمونه تفسیری بکار رفته، از تفسیر کمی داده‌های مغناطیسی، آن هم فقط از شکل استوانه افقی بهره‌گیری شده است.

۲ - تئوری

۲-۱ تصحیح زمینگان و چگالی متوسط سنگهای منطقه مورد اندازه‌گیری

زمین مسطح نیست و پستی و بلندیهای متعدد دارد. بلندیها با توجه به وجود جرم نسبتاً زیادشان نسبت به مناطق پست‌تر، ربایش رو به بالا دارند؛ و پستی‌ها به علت عدم وجود ماده (جرم) باعث کاهش ربایش رو به پایین هستند و عملاً مانند ربایش رو به بالا اثر می‌کنند. بنابراین اگر در محلی نیروی گرانش اندازه‌گیری شود، هم بلندیها و هم پستیهای اطراف آن به گونه‌ای عمل می‌کنند که اندازه گرانش را در آن نقطه کاهش می‌دهند، زیرا هر دو عامل ربایش رو به بالا هستند در صورتی که شتاب ثقل متوجه مرکز زمین است، بنابراین، اندازه گرانی را کاهش می‌دهند. برای انجام دادن این تصحیح، در فواصلی از هر ایستگاه اندازه‌گیری که در حد دقت عملیات گرانی سنجی موردنظر است، پستی و بلندیها را باید در تصحیح زمینگان دخالت داد.



۲-۲ تفسیر کمی روش گرانی سنجی

پس از انجام دادن تصحیح‌های لازم، تهیه نقشه گرانی بوگه و تفکیک اثرهای منطقه‌ای و باقی مانده بر روی آن، می‌توان به تفسیر کمی اثر گرانی شکل‌های مختلف اقدام کرد. شکل‌هایی که برای تفسیر کمی «گرانی سنجی» در نظر گرفته شده‌اند، در عین سادگی با تقریب نسبتاً خوبی برای تفسیر کمی بسیاری از شکل‌های معدنی قابل استفاده‌اند. این شکل‌ها عبارتند از:

- کره: تقریبی برای تمام شکل‌های گنبدی
- میله باریک: تقریبی برای شکل‌های میله‌ای مدفون که قطرشان کمتر از فاصله سطح بالایی آنها نسبت به سطح زمین باشد مانند رگه‌ها یا طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های عمیق،
- میله افقی: تقریبی برای شکل‌های میله‌ای افقی که قطرشان از عمق رویه بالایی آنها نسبت به سطح زمین کمتر باشد مانند ساختارهای رگه‌ای افقی یا طاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های عمیق افقی.

- استوانه ضخیم قائم: نشان دهنده هر شکل جای گیرنده درون استوانه قائم اعم از کوچک یا بزرگ، عمقی یا سطحی را شامل می‌شود.

- ورقه نازک شیب‌دار: تقریبی برای هر ساختار رگه‌ای با فرض گسترش محدود یا نامحدود فیزیکی به صورت ورقه‌ای، به طوری که ضخامت رگه از عمق بالایی آن کمتر باشد.

- منشور ضخیم: نشان دهنده هر ساختار منشوری شکل اعم از عمیق یا کم عمق مانند دایک‌ها

- تخته افقی یکسوی بی‌نهایت: نشان دهنده هر ساختار افقی شیبه به تخته که از یک سو تا بی‌نهایت فیزیکی ممتد باشد.

- گسل: معرف گسل‌های هنجار (نرمال)، معکوس و عمودی است که یک لایه زیرزمینی را قطع کرده باشد.

توضیح کامل تئوری این موارد با توجه به حجم زیادی که در برمی‌گیرد و خارج از ظرفیت این مقاله است به مرجع [۲] ارجاع داده می‌شود و به عنوان نمونه، فقط میله نازک در ادامه بحث به صورت کامل تر توضیح داده شده است.

و محاسبات مربوط به خانه‌های مثلثی در نزدیکی ایستگاه بر اساس رابطه زیر است [۲]:

$$g = \frac{\pi G D}{4} \left(R - \sqrt{R^2 + H^2} + H \sin B \right) \quad (2)$$

پارامترهای این رابطه عبارتند از:

R = فاصله انتهای خانه مثلثی از رأس مثلث (محل ایستگاه)

g = شدت میدان گرانی ناشی از هر خانه

H = حداکثر ارتفاع خانه مثلثی

G = ثابت گرانی

B = زاویه بین سطح بالایی از سطح افقی

D = چگالی متوسط سنگهای محدوده شبکه

برای محاسبه چگالی متوسط سنگها رابطه زیر را در نظر می‌گیریم [۳]:

$$\delta g_B = \delta g \pm dg_L + dg_{FA} - \alpha \sigma + T \sigma \quad (3)$$

در این رابطه، δg_B تغییرات گرانی در اثر تغییر چگالی را نشان می‌دهد و «مقدار گرانی بوگه» نامیده می‌شود؛ dg_L تصحیح عرض جغرافیایی، dg_{FA} تصحیح هوای آزاد، $\alpha \sigma$ تصحیح تخته بوگه و $T \sigma$ تصحیح زمینگان است. δg مقدار قرائت نسبی مربوط به اندازه‌گیری شتاب جاذبه زمین به وسیله دستگاههای سنجش است. این رابطه را با تغییر جای پارامترها می‌توان به صورت زیر نوشت [۳]:

$$(\delta g \pm dg_L + dg_{FA}) - \delta g_B = (\alpha - T) \sigma \quad (4)$$

چون بنا به فرض در جستجوی چگالی متوسط هستیم، تغییرات چگالی را صفر گرفته‌ایم؛ بنابراین $\delta g_B = 0$ و رابطه (۴) به صورت ساده زیر در می‌آید [۳]:

$$Y = \sigma X \quad (5)$$

که در آن $Y = \delta g \pm dg_L + dg_{FA}$ و $X = \alpha - T$ است. با اندازه‌گیری‌های صحرائی، مقدار σ قابل محاسبه است و ملاک عمل در مجموعه QuantInt برای محاسبه چگالی متوسط سنگ‌ها نیز همین روش بوده است [۳].



حال در مثلث OPB داریم [۴]:

$$r^2 = (1+Z \operatorname{Cosec} \alpha)^2 + X^2 + 2X(1+Z \operatorname{Cosec} \alpha) \operatorname{Cos} \alpha \quad (۸)$$

$$\operatorname{Sin} \theta = (1+Z \operatorname{Cosec} \alpha)^2 \frac{(\operatorname{Sin} \alpha)}{r} \quad (۹)$$

حدود تغییرات l از O تا L است، بنابراین اثر کل میله برابر است با [۴]:

$$g = \gamma \sigma A \operatorname{Sin} \alpha \int_0^l \frac{(1+Z \operatorname{Cosec} \alpha) dl}{[k^2 + 2Xk \operatorname{Cos} \alpha + X^2]^{3/2}} \quad (۱۰)$$

$$k = (1+Z \operatorname{Cosec} \alpha)$$

که با کاربرد واحدهای میلی گال، متر و gr/cm^3 برای g ، فاصله و چگالی، جواب انتگرال فوق پس از چند مرحله تغییر و تحویل به صورت زیر در می آید [۴]:

$$g = C \left[\frac{X + Z \cot \alpha}{(Z^2 \operatorname{Cosec}^2 \alpha + 2XZ \cot \alpha + X^2)^{1/2}} \right] - \left[\frac{X + Z \cot \alpha + L \operatorname{Cos} \alpha}{[(L + Z \operatorname{Cosec} \alpha)^2 + X^2 + 2Xu]^{1/2}} \right]$$

$$C = \frac{6.672 \times 10^{-3} \sigma A}{X \operatorname{Sin} \alpha}, u = (L \operatorname{Cos} \alpha + Z \cot \alpha) \quad (۱۱)$$

این رابطه در برنامه QuantInt برای تفسیر کمی میله نازک مورد استفاده قرار گرفته است.

در شکل ۲ محور افقی فاصله x است که نسبت به عمق بالایی Z نرمال شده است، بنابراین محور افقی بدون واحد بوده و محور عمودی هم مقدار g_z (مؤلفه قائم شدت میدان کلی گرانی) را نشان می دهد که نسبت به حداکثر آن نرمال شده و محور عمودی هم بدون بعد است.

۳-۲ تفسیر کمی روش مغناطیس سنجی

با مدل شکلهای ساده می توان با تقریب نسبتاً خوبی، همانند روش گرانی سنجی، به تفسیر کمی مغناطیسی پرداخت. تفسیر کمی مغناطیسی، در صورت وجود پسماند مغناطیسی، مشکل تر است، زیرا در برنامه QuantInt، با فرض اینکه پسماند مغناطیسی

تفسیر کمی میله نازک

میله نازک مورد نظر دارای زاویه شیب α و سطح مقطع A می باشد. با توجه به شکل ۲، اثر گرانی در نقطه P ناشی از جزء dl برابر است با [۴]:

$$\delta g_r = \gamma \sigma A \frac{dl}{r^2} \quad (۶)$$

مؤلفه قائم عبارتست از [۴]:

$$\delta g_v = \gamma \sigma A dl \frac{\operatorname{Sin} \theta}{r^2} \quad (۷)$$

که در آن:

δg_r = شدت میدان کلی گرانی

δg = مؤلفه قائم شدت میدان کلی گرانی

γ = ثابت جاذبه عمومی

σ = اختلاف چگالی میله نازک نسبت به محیط اطراف

A = سطح مقطع میله نازک

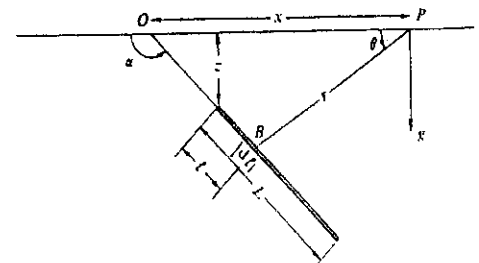
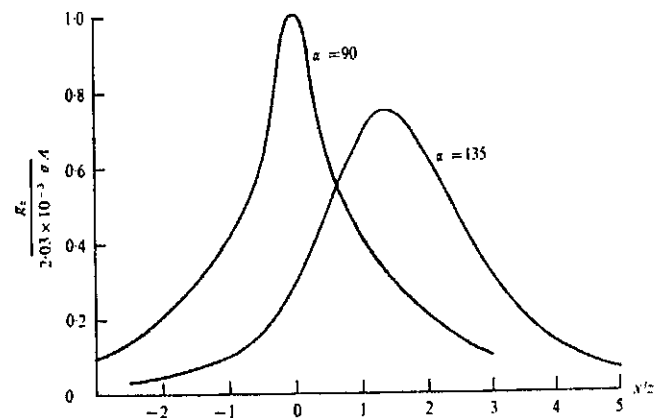
α = زاویه شیب میله نازک

dl = المان طول میله نازک

X, r, θ, l, L = مقادیری که با توجه به شکل مربوط به میله

نازک مشخص شده اند

Z = عمق بالایی میله نازک



شکل ۲- شکل مربوط به میله نازک



این رابطه بین پتانسیل گرانی U و پتانسیل مغناطیسی A مربوط به یک حجم، در صورتی وجود دارد که چگالی σ و گشتاور دوقطبی در واحد حجم ϕ ثابت باشند؛ α_1 بردار واحد در راستای قطبش و $g\alpha$ مؤلفه گرانی در همان راستا است. دستگاه مختصات مربوط به کره در شکل ۳ نشان داده شده است [۴]. مرکز کره مبدأ مختصات است و بنا به فرض، کره فقط در اثر القا به طور یکنواخت در میدان کُلی زمین (F_0)، دارای خاصیت مغناطیسی شده است زیرا I شدت مغناطیس شدن، موازی F_0 است. (فرض می‌شود که پسماند مغناطیسی وجود ندارد)، α_1 در رابطه (۱۲) را در راستای F می‌گیریم، در این صورت خواهیم داشت [۴]:

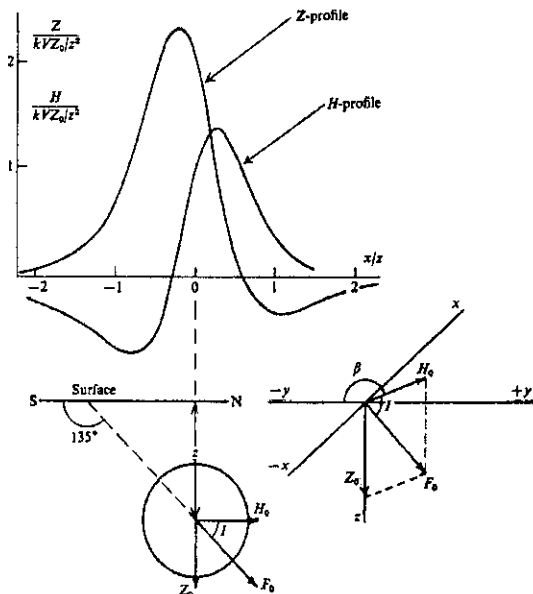
$$A = \frac{\phi}{\gamma \sigma} \frac{\partial U}{\partial \alpha} = \frac{-\phi}{\gamma \sigma} \nabla U,$$

$$\alpha_1 = \frac{-1}{\gamma \sigma} \nabla U \cdot I = -\frac{1}{\gamma \sigma} \left(\phi_x \frac{\partial U}{\partial x} + \phi_y \frac{\partial U}{\partial y} + \phi_z \frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad (13)$$

اگر مؤلفه قائم میدان مغناطیسی زمین را به Z_0 و مؤلفه افقی آن را به H_0 نشان دهیم در رابطه فوق خواهیم داشت [۴]:

$$\left. \begin{aligned} \phi_x &= KH_0 \sin \beta \\ \phi_y &= -KH_0 \cos \beta \\ \phi_z &= KZ_0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

بنابراین مؤلفه قائم میدان عبارت است از [۴]:



شکل ۳- کره قطبیده شده در میدان زمین، منحنی‌های H و Z

وجود ندارد شکل‌ها مدل‌سازی می‌شوند، و فرض عدم وجود پسماند مغناطیسی در بسیاری از حالت‌ها این مدل‌سازی را به نتایج مطلوب می‌رساند. علاوه بر این اگر پسماند هم وجود داشته باشد می‌توان آن را برای تصحیح مدل‌سازی در آخر وارد اطلاعات کرد. قبل از مدل‌سازی هم باید نقشه مؤلفه قائم میدان کُلی مغناطیسی زمین تهیه شود، زیرا مدل‌سازی در برنامه QuantInt براساس مؤلفه قائم این میدان است.

شکلهایی که برای تفسیر کُلی میدان مغناطیسی در نظر گرفته شده‌اند در عین سادگی، درست مانند شکلهای مربوط به تفسیر کُلی به روش گرانی سنجی، با تقریب نسبتاً خوبی برای تفسیر کُلی بسیاری از شکلهای معدنی هم بکار می‌روند. همچنین، بعضی از شکلهای مشترک بین این شکلهای و شکلهای مربوط به تفسیر کُلی گرانی به ما امکان می‌دهند که با دو روش به تفسیر کُلی پردازیم و از این نظر دقت کار بیشتر می‌شود. شکلهایی که در این مجموعه نرم‌افزاری با تفسیر کُلی مغناطیسی قابل تفسیرند عبارتند از:

- ۱- تک قطبی
 - ۲- کره
 - ۳- استوانه افقی
 - ۴- دایک
 - ۵- ورقه محدود (رگه)
 - ۶- ورقه افقی
 - ۷- گسل عادی و معکوس و قائم
 - ۸- گسل امتداد لغز یا همبری
- در این مقاله به سبب محدودیت نوشتاری فقط به تبیین شکل کره پرداخته شده است [۲].

تئوری تفسیر کُلی کره با روش مغناطیس سنجی

نتایج حاصل از گرانی سنجی را می‌توان برای تعیین اثرهای مغناطیسی شکلهای هندسی هم ارز بکار برد. این عمل با معادله پواسن صورت می‌گیرد. مدل‌سازی عوارض دو بعدی معمولاً با این معادله انجام‌پذیر است. ولی ساختارهای سه بعدی، غیر از کره، چنین نیستند [۴].

$$A = \frac{\phi}{\gamma \sigma} \frac{\partial U}{\partial \alpha} = \frac{-\phi}{\gamma \sigma} \nabla U, \quad \alpha_1 = \frac{-\phi}{\gamma \sigma} g\alpha \quad (12)$$



به H هم فقط به صورت شماتیک ترسیم شده است.

$$F = -\frac{\partial A}{\partial Z} = \left(\frac{K}{\gamma\sigma}\right) \frac{\partial}{\partial z} \left(H_0 \sin\beta \frac{\partial U}{\partial x} - H_0 \cos\beta \frac{\partial U}{\partial y} + Z_0 \frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad (15)$$

۳- روش کار و نمونه تفسیری

روش کار در تهیه مجموعه نرم افزار به این ترتیب بود که در محیط بیسیک بصری^(۴)، کد مربوط به هر شکل در بخش تفسیر کمی و فرم های نرم افزار و شکل های مربوط به آن تهیه و به مجموعه نرم افزار اتصال داده می شد به طوری که هر قسمت در حکم یک زیرروال^(۵) بود. در بخش تصحیحات هم چهار زیرروال تهیه شد. در واقع، این مجموعه نرم افزار جمعاً دارای ۲۰ قسمت مجزا یا زیرروال است که به هم متصل شده اند و در یک مجموعه نرم افزاری به نام QuantInt قرار گرفته اند. اما در رابطه با روش کار در مورد یک نمونه تفسیری در اکتشاف اورانیوم باید گفت:

با استفاده از عملیات تفسیر کمی روی داده های مغناطیسی هوایی و با استفاده از مجموعه نرم افزاری QuantInt، شکل و عمق و خودپذیری توده مغناطیسی مدفون در مجاورت کانسار اورانیوم تحلیل شده و با استفاده از عملیات آماری به تعیین نقاط پرتوزای سطحی مجاور با توده مغناطیسی مذکور پرداخته شده است. محدوده مورد بررسی در گوشه جنوب غربی نقشه آبریز به شماره ۷۰۵۴II است که چهارگوش این نقشه بین طولهای جغرافیایی «E ۱۵° و «E ۵۵° تا «E ۳۰° و «E ۵۵° و عرضهای جغرافیایی «N ۳۲° تا «N ۱۵° و «N ۳۲° واقع شده است و چهارگوش تقریبی در برگرفته این محدوده در دستگاه مختصات [Datum = Eur. 1950 (Iran)] Utm برحسب متر عبارتست از:

$$\begin{cases} X = ۳۳۵۰۰۰ \text{ تا } x = ۳۴۱۰۰۰ \\ Y = ۳۵۴۸۰۰۰ \text{ تا } y = ۳۵۵۷۰۰۰ \end{cases}$$

برای سهولت کار، این محدوده را به نام (آنومالی) شماره ۱ نامیده ایم و در شکل های ۴ و ۵ مشخص شده است.

در نابهنجاری شماره ۱، هشت نوع اطلاعات هوایی مورد بررسی قرار گرفته است که عبارتند از: شدت کلی میدان مغناطیسی؛ غلظت های اورانیوم، توریم، پتاسیوم و غلظت کلی مواد رادیواکتیو؛ نسبت های U/K، U/Th، و Th/k. برداشت تمام اطلاعات به روش هوایی، روی خطوط پروازی که فاصله آنها از هم ۵۰۰ متر بوده صورت گرفته است و فواصل برداشت روی هر

اینک مقادیر مربوط به گرادیان ها و انحناهای مختلف در مورد کره به سادگی قابل استخراج است [۴]. چون داریم $U = \frac{\gamma M}{r} = \frac{\gamma \sigma V}{r}$

$$\begin{cases} U_{xz} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} = \gamma \sigma V \left(\frac{3xz}{r^5} \right) \\ U_{yz} = \gamma \sigma V \left(\frac{3yz}{r^5} \right) \\ U_{zz} = \gamma \sigma V \left(\frac{3z^2 - r^2}{r^5} \right) \end{cases} \quad (16)$$

که در آنها V حجم کره و $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$ است.

$$\phi = |\bar{I}| = \frac{|\bar{M}|}{V} = \frac{\text{مقدار اسکالر گشتاور دوقطبی مغناطیسی}}{\text{حجم}}$$

γ = ثابت جاذبه عمومی

σ = اختلاف چگالی شکل نسبت به محیط اطراف

k = اختلاف خودپذیری مغناطیسی شکل نسبت به محیط اطراف

V = پتانسیل گرانی

A = پتانسیل مغناطیسی

α = راستای قطبش مغناطیسی

$$U_{xz} = \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$$

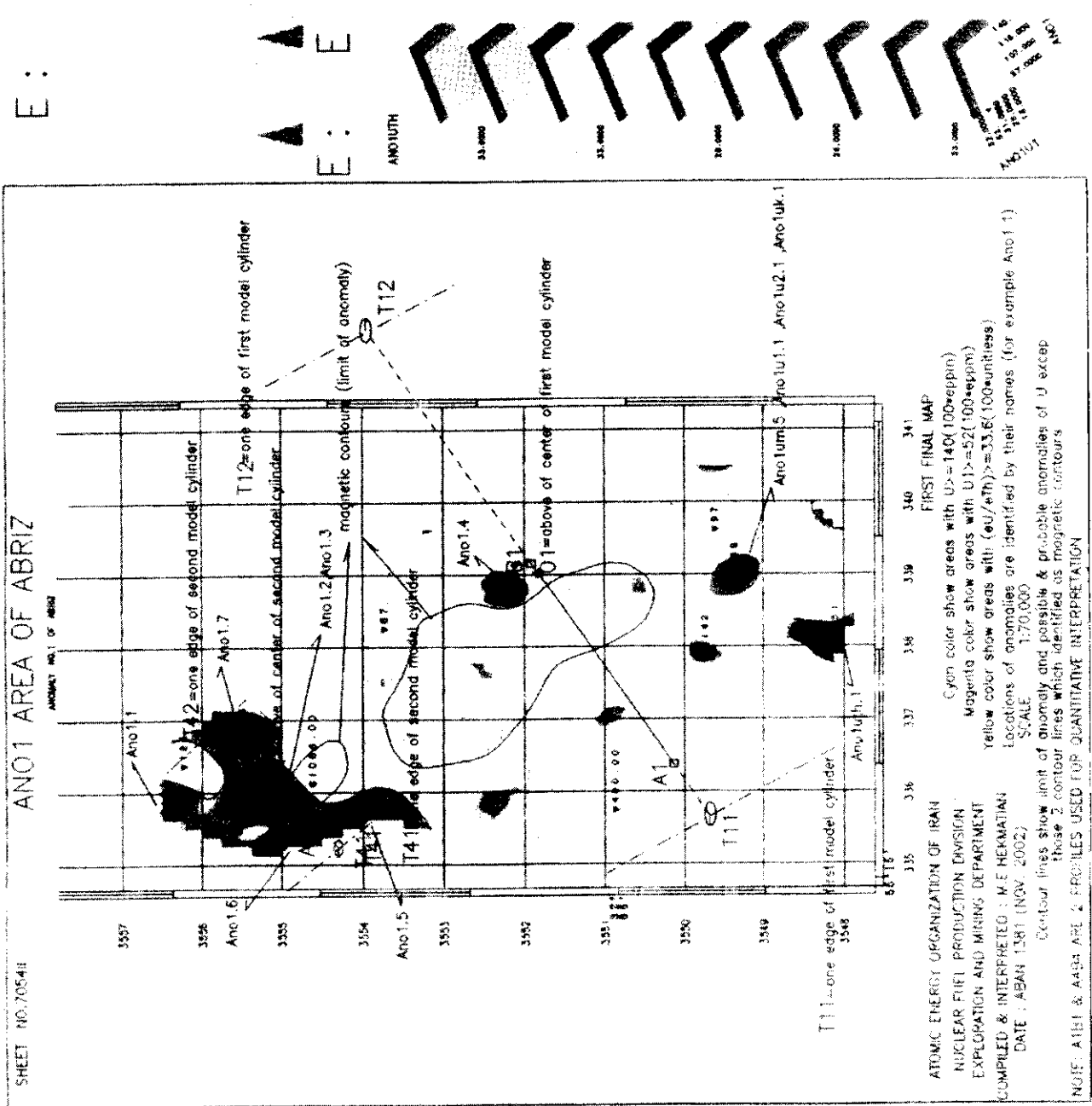
$$U_{yz} = \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$$

$$U_{zz} = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}$$

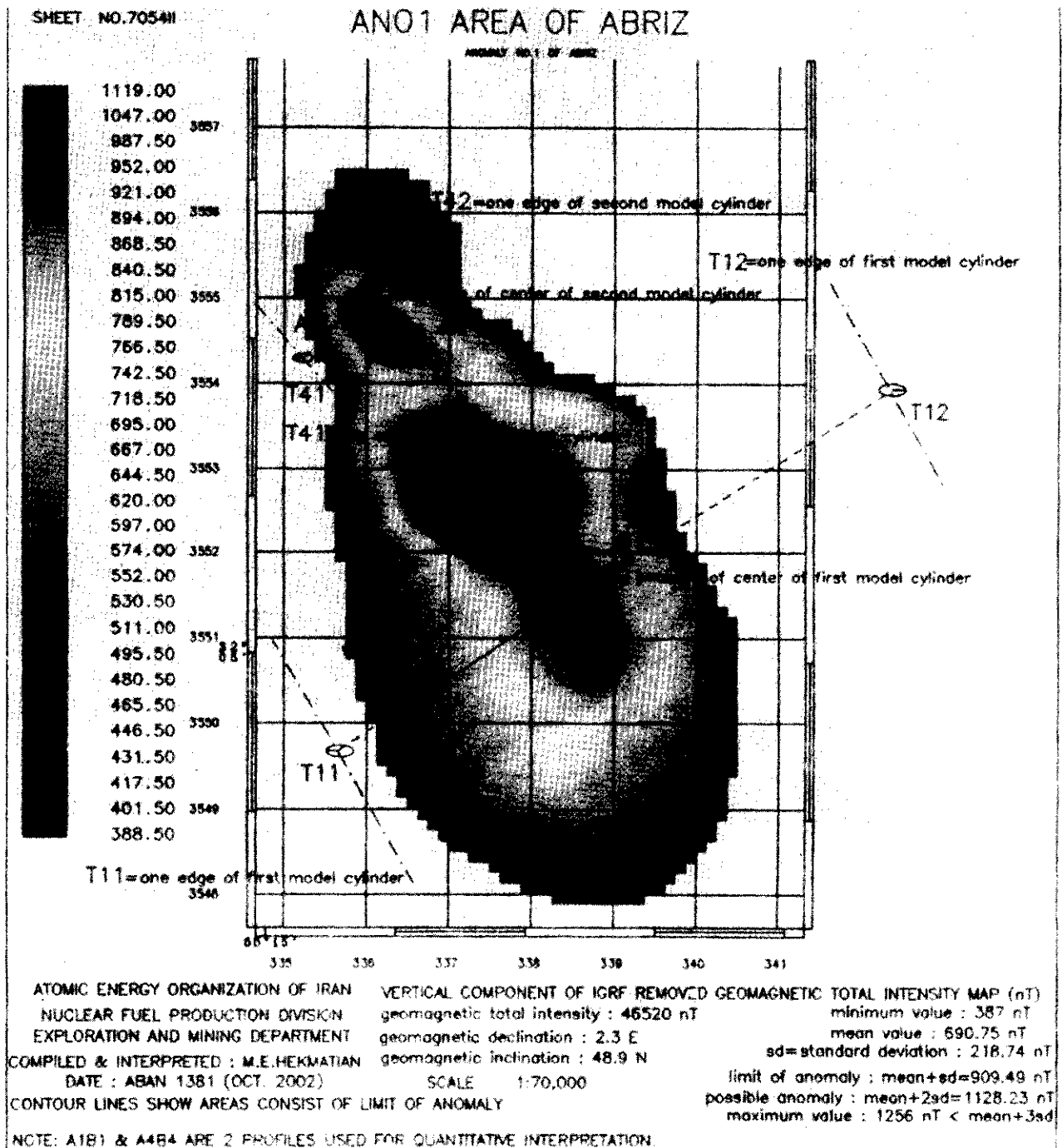
سایر پارامترها در شکل مربوط به کره مغناطیسی مشخص است.

رابطه (۱۵) به عنوان معادله کره قطبیده در برنامه QuantInt بکار رفته است.

در شکل ۳، محور افقی فاصله x است که نسبت به عمق مرکز کره نرمال شده است، بنابراین، محور افقی بدون بعد و محور عمودی هم مقدار نرمال شده مؤلفه قائم میدان مغناطیسی است که نسبت به مقدار KVZ_0/Z^2 نرمال شده و پروفیل مربوط



شکل ۴ - یکی از نقشه‌های ترکیبی مربوط به ناهنجاری ۱ ناحیه آبریز که اطلاعات مربوط به رادیومتر و مغناطیسی به صورت ترکیبی بر روی آن آمده است



شکل ۵ - نقشه مؤلفه عمودی شدت میدان مغناطیسی زمین ناهنجاری ناحیه آبریز که تصحیح IGRF روی آن اعمال شده است

نرم افزاری QuantInt بر اساس مؤلفه قائم شدت میدان مغناطیسی عملیات تفسیر کمی را انجام می دهد. بر روی سایر نقشه ها هم با عملیات آماری، به فرض توزیع لگاریتمی نرمال، حد وسط و انحراف معیار محاسبه شد تا محل های ناهنجاری سطحی آماری را بتوان مشخص کرد؛ همچنین نقشه های اورانیوم اولیه، اورانیوم

خط پرواز به طور متوسط ۱۲۵ متر بوده است.

تفسیر اطلاعات به این ترتیب صورت گرفت که ابتدا مؤلفه قائم شدت میدان مغناطیسی تعیین شد، سپس دو مقطع یا پروفیل در آن مورد تفسیر کمی قرار گرفت (علت تبدیل کردن شدت کلی میدان مغناطیسی به مؤلفه قائم این است که مجموعه



جابجا شده، پارامتر U_1 و پارامتر U_2 هم تهیه شد و بر روی آنها هم برای پیدا کردن محل‌های نابهنجاری سطحی آماری عناصر پرتوزا عملیات آماری صورت گرفت. نکته حائز اهمیت این است که از میان اطلاعات ژئوفیزیکی هوایی گردآوری شده، مانند غلظت اورانیوم و مواد رادیوآکتیو دیگر، همچنین از میان اطلاعاتی که از پردازش‌های بعدی این اطلاعات به دست آمده‌اند، مانند غلظت اورانیوم جابجا شده، هیچکدام برای بحث درباره کانسارهای زیرزمینی کافی نیستند، مگر اینکه نقشه شدت میدان مغناطیسی و موارد دیگری مانند شدت میدان گرانی و عوامل دیگری که نشان دهنده وضعیت معادن زیرزمینی هستند، در اطلاعات هوایی در دسترس باشند و با آنها امکان بررسی و تحلیل کانسارهای زیرزمینی وجود داشته باشد. بنابراین در ارتباط با تحلیل و تفسیر معادن زیرزمینی، ملاک اصلی در اطلاعات هوایی، اطلاعات درباره شدت میدان مغناطیسی است و تفسیر کمی آنها نقش اول را دارد.

۴ - یافته‌ها و بحث

آنچه در رابطه با نرم‌افزار QuantInt به دست آمده، تهیه خود نرم‌افزار و ایجاد مجموعه نرم‌افزاری کاملاً کاربردی در اکتشافات و پی‌جویی‌های زیرزمینی است که در این مقاله معرفی و در مباحث تئوری آن مطالبی عرضه شده است. در ارتباط با یافته‌های نمونه تفسیری در اکتشاف اورانیوم باید گفت: برای تفسیر بر روی نقشه مؤلفه قائم شدت میدان کلی مغناطیسی در محدوده نابهنجاری ۱، دو مقطع (پروفیل) A_1B_1 و A_2B_2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که درباره هر یک مباحثی مطرح می‌شود:

پروفیل A_1B_1 بین دو نقطه A_1 و B_1 با مختصات [Datum = Eur.1950(Iran)] Utm زیر قرار گرفته است:

$$A_1 = \begin{cases} x = 336382m \\ y = 3550133m \end{cases} \quad B_1 = \begin{cases} x = 339158m \\ y = 3551917m \end{cases}$$

تجزیه و تحلیل مقطع A_1B_1 ، یک استوانه افقی مدفون را معرفی می‌کند؛ استوانه افقی را، در مفهوم زمین‌شناسی، می‌توان یک طاق‌دیس افقی مدفون در نظر گرفت. مشخصات این

طاق‌دیس به قرار زیر است:

تفاوت خودپذیری استوانه مدل یا طاق‌دیس نسبت به خودپذیری نقاطی که مؤلفه قائم شدت میدان مغناطیسی آنها صفر است، در نقشه ۱:۵۰۰۰۰ آبریز (۷۰۵۴II): $\Delta K = 0.004$ (در سیستم C.G.S)

عمق بالایی استوانه مدل یا طاق‌دیس = ۲۰ m

شعاع مقطع استوانه مدل یا طاق‌دیس = ۴۰۰۰ m

طول استوانه یا طاق‌دیس = ۱۰۰۰۰ m

پروفیل A_2B_2 که مختصات دو سر آن در سیستم [Datum = Eur.1950 (Iran)] Utm به قرار زیر است:

$$A_2 = \begin{cases} x = 3354650m \\ y = 3554506m \end{cases} \quad B_2 = \begin{cases} x = 336274m \\ y = 3555399m \end{cases}$$

تفسیر کمی آن یک استوانه افقی را ارائه می‌دهد که می‌تواند نشانگر یک طاق‌دیس مدفون باشد.

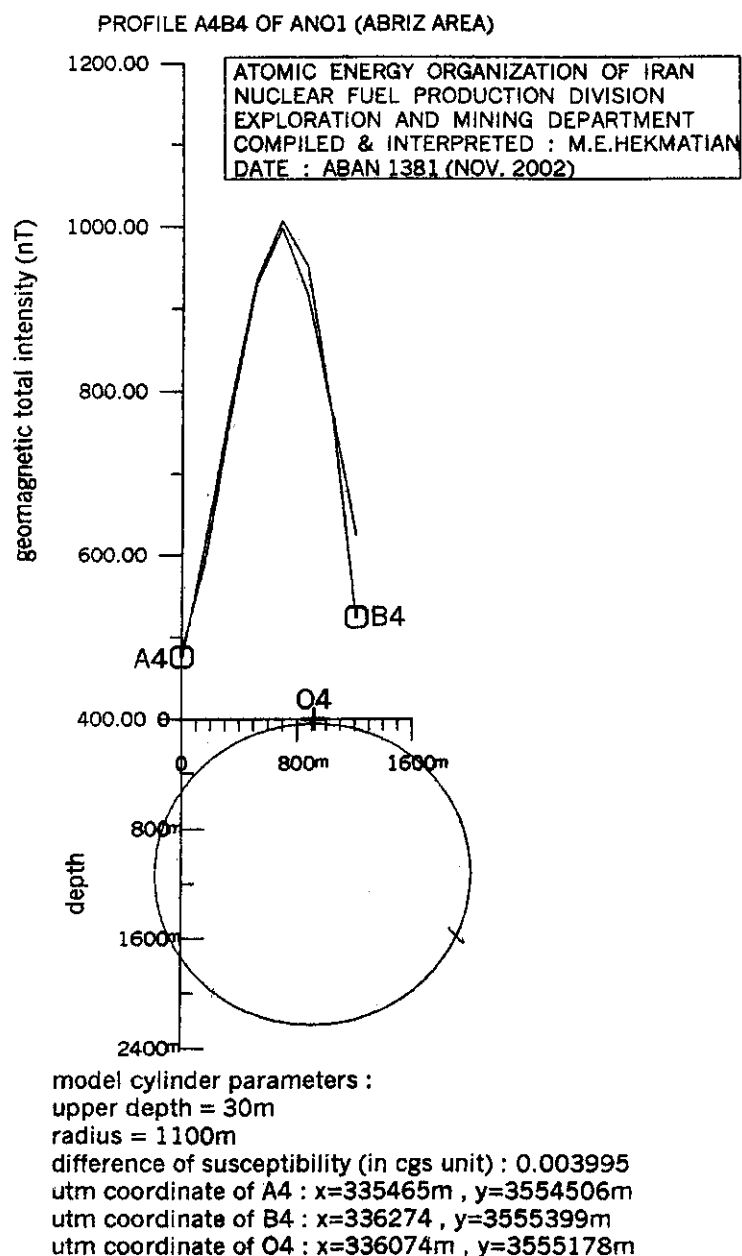
تفاوت خودپذیری استوانه مدل یا طاق‌دیس نسبت به خودپذیری نقاط دارای مؤلفه قائم شدت میدان مغناطیسی صفر در نقشه ۱:۵۰۰۰۰ محدوده آبریز (۷۰۵۴II): $\Delta K = 0.003995$ (در سیستم Cgs)

عمق بالایی استوانه مدل یا طاق‌دیس = ۳۰ متر

شعاع استوانه مدل یا مقطع طاق‌دیس = ۱۱۰۰ متر

طول استوانه = ۱۵۰۰ متر

وضعیت استوانه مدل و پروفیل A_2B_2 به عنوان نمونه در شکل ۶ نشان داده شده است. با کارهای آماری که بر اساس اطلاعات رادیومتری مختلف انجام گرفت، محل‌های نابهنجاری آماری تعیین شدند که در واقع میانگین بعلاوه یک انحراف معیار به عنوان حد نابهنجاری، میانگین بعلاوه دو انحراف معیار به عنوان نابهنجاری ممکن و میانگین بعلاوه سه انحراف معیار به عنوان نابهنجاری محتمل در نظر گرفته شد. سپس از ترکیب تمام اطلاعات، بهترین محل‌ها برای ادامه پی‌جویی‌های دقیق‌تر، یا حفاری مشخص شدند. لازم به ذکر است که در تهیه این مقاله، علاوه بر استفاده از نرم‌افزار QuantInt که در واقع تنها نقش را در شناخت کانسار مدفون داشت، از نرم‌افزارهای دیگری مانند geopack، artacad، عملیات شبکه و grapher هم استفاده

شکل ۶- مقطع A₄B₄ از ناهنجاری ناحیه آبریز

وسیله مناسبی است و مثال آن در پی جویی کانسار اورانیوم بیان شد. اما در رابطه با نتیجه گیری در مورد نمونه تفسیری ذکر شده باید اضافه کرد که: بنا به مرجع شماره ۶، اگر در ناحیه ای مقدار خودپذیری بین ۰/۰۱۷۸۰ و ۰/۶۳۳۰۰ (در سیستم SI) باشد، آن ناحیه برای کانی سازی اورانیوم مطلوب است. مقدار خودپذیری که در تفسیر کمی برای طاقدیس زیرزمینی به دست آوردیم برابر ۰/۰۰۳۹۹۵ تا ۰/۰۰۴ در سیستم CGS است که در سیستم SI، 4π

شد. تمام این موارد نشان می دهند که به وسیله برنامه QuantInt می توان کانسارهای زیرزمینی را با روش مغناطیس سنجی و یا گرانی سنجی شناسایی کرد و به تنهایی یا در ترکیب با سایر اطلاعات به نتایج اکتشافی قابل توجهی رسید.

۵ - نتیجه گیری

مجموعه نرم افزاری QuantInt در پی جویی های زیرزمینی



U_1 به بالا با رنگ ارغوانی و همچنین از مقدار حد نابهنجاری eU/eTh به بالا با رنگ زرد نشان داده شده است (منظور eU/eTh همان U/Th است ولی چون از هم‌ارز U و هم‌ارز Th در این نسبت استفاده می‌شود، eU/eTh برای نمایش آن بکار رفته است). جاهایی که این موارد به صورت مشترک حضور دارند، با ترکیب رنگ‌ها مشخص شده‌اند. مثلاً جاهایی که هر سه مورد وجود دارند به رنگ سیاه دیده می‌شود. علت اینکه این سه مورد انتخاب شده‌اند، اهمیت آنها در امر اکتشاف است. همچنین بر روی این نقشه کران‌نماهای^(۱) نشان دهنده حد نابهنجاری مغناطیسی و پروفیل‌های تفسیر کمی A_1B_1 و A_2B_2 و تصویر مدل‌های محاسباتی آنها بر روی نقشه نشان داده شده است. علاوه بر این، بر روی این نقشه مراکز نابهنجاری‌های مهم ذکر شده و با علامت پیکان، با ذکر نام نشان داده شده‌اند. تفسیر کمی مغناطیسی بدست آمده به کمک نرم‌افزار QuantInt در ترکیب با سایر اطلاعات ژئوفیزیکی به عنوان نتیجه نهایی اثر مطلوبی در رابطه با نتایج اکتشافی اورانیوم دارد؛ همچنین در مواردی که تفسیر کمی اطلاعات مغناطیس سنجی و گرانی سنجی به صورت جداگانه یا با هم استفاده شود نتایج مطلوبی در اکتشاف کانسارهای مغناطیسی و گرانی سنجی عرضه می‌دارد و نرم‌افزار QuantInt هم وسیله مناسبی در این راستا می‌باشد.

برابر این مقادیر، یعنی حدود ۰/۰۵ می‌باشد که بین مقادیر مطلوب است.

بنابراین، براساس مقایسه نتایج آماری و تفسیر کیفی نقشه‌های رادیومتری با تفسیر کمی مقطع A_2B_2 دو ناحیه مناسب برای عملیات زمینی معرفی می‌گردد که این دو ناحیه، دو چهار گوش با محدوده‌های مختصات در سیستم [Datum = Eur. 1950 (Iran)] Utm زیر هستند:

$$1: \begin{cases} x = 335500m \\ y = 3556200m \end{cases} \quad \text{تا} \quad \begin{cases} x = 336000m \\ y = 3557000m \end{cases}$$

$$2: \begin{cases} x = 335700m \\ y = 3554800m \end{cases} \quad \text{تا} \quad \begin{cases} x = 336200m \\ y = 3555500m \end{cases}$$

عمق محدوده ۱ بین ۴۵ تا ۵۵ متر و عمق محدوده ۲ بین ۳۷۰ تا ۸۸۸ متر است.

در نقشه‌ای که First Final Map نامیده شده و در شکل ۴ نشان داده شده است، محدوده نابهنجاری ۱ با علامت Anol نمایش داده شده و محدوده مختصاتی روی محورها در سیستم [Datum = Eur. 1950 (Iran)] Utm برحسب کیلومتر مشخص شده است و از مقدار حد نابهنجاری اورانیوم در محدوده نابهنجاری ۱ به بالا با رنگ آبی آسمانی و از مقدار حد نابهنجاری



پی نوشت‌ها:

- ۱- Correntions Calculation
- ۲- Terrain
- ۳- Quantitative Interpretation

- ۴- Visual Basic
- ۵- Subroutine
- ۶- Contours

References:

۱. م. ا. حکمتیان، "مجموعه برنامه‌های رایانه‌ای QuantInt"، گزارش اکتشافی شماره ۵۴۷، دفتر اکتشاف و استخراج سازمان انرژی اتمی ایران (۱۳۸۱).
2. M. F. Kane, "Comprehensive System of Terrain Corrections Using a Digital Compure," *Geophysics*, 27, 455-462 (1962).
3. D. S. Parasnis, "Principles of Applied Geophysics London," Methuen (1986).
4. W. M. Telford, L. P. Geldart, R. F. Sheriff, D. A. Keys, "Applied Geophysics," Cambridge University Press (1982).
5. L. P. Geldart, D. E. Gill, B. Shama, "Gravity Anomalies of Two Dimensional Faults," *Geophysics*, 31, 372-97 (1966).
6. C. Huanmin, Y. Xianjin, W. Fei, "The Final Report on Deep Geophysical Survey in Anomaly one and Anomaly Two of Saghand Area," report of Exploration Affairs of AEOI submitted by Chinese Experts (1991).