مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۴، شماره ۲، ۱۳۸۷، صفحهٔ ۴۳- ۵۱

پردازش داده‌های مغناطیس هوایی منطقهٔ بصیران با استفاده از اسپلاین مکعبی

غلامعباس فنایی خیرآباد[۱*]، ناصر حسین‌زاده گویا[۲]، لقمان نمکی[۳] و بی‌بی رابعه صداقت[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
[۲] دانشیار گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
[۳] دانشجوی دکتری ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
[۴] کارشناس مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۵/۳/۲۳ ، پذیرش نهایی: ۸۶/۱۰/۲۵)

چکیده

داده‌های مغناطیس هوایی قبل از تفسیر نیازمند تصحیحات متعددی‌اند. پس از ویرایش اولیهٔ داده‌ها، میدان هسته زمین با تصحیح IGRF از داده‌ها حذف می‌شود. سپس با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه ثابت زمینی، تصحیح تغییرات روزانه صورت می‌گیرد. پس از اعمال این تصحیحات، مرحلهٔ اصلی پردازش یعنی هم‌سطح‌سازی به انجام می‌رسد. در این مقاله از برازش اسپلاین‌های نوع B و مکعبی روی مقادیر تفاوت با دو پارامتر متغیر کشش و نرمی استفاده شد که در این مرحله مقدار جزئی تفاوت باقی‌مانده در نقاط تقاطع در فاصله دو نقطه برخورد سرشکن می‌شود. به‌طور کلی پردازش داده‌های مغناطیس هوایی با تحلیل آماری داده‌ها و اعمال جابه‌جایی ثابت و سپس استفاده از اسپلاین‌های نوع B و مکعبی نتایج بسیار خوبی در بر داشته است. برای آزمودن توانایی روش ارائه شده در حذف اثرات نامطلوب از داده‌های ژئوفیزیک هوایی منطقهٔ بصیران واقع در جنوب بیرجند که در سال گذشته از سوی سازمان زمین‌شناسی کشوری و با بالگرد برداشت شده است، استفاده شد. فاصله خطوط پرواز بستگی به نوع هدف و مرحله اکتشاف دارد که در این منطقه ۲۵۰ متر است. مقایسه نقشه‌های پردازش شدهٔ نهایی با نقشه‌های خام اولیه نشان از توانمندی روش ارائه شده در هم‌سطح‌سازی نقشه‌های ژئوفیزیک هوایی دارد.

واژه‌های کلیدی: پردازش، اسپلاین مکعبی، هم‌سطح سازی، مغناطیس هوایی، بصیران

Aeromagnetic data processing of Basiran Area using cubic splines

Fanaee Kheirabad, Gh[1]., Hosseinzadeh Guya, N[2]., Namaki, L[3]. and Sedaghat, B. R[4].

[1]*M.Sc. student of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[2]*Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[3]*Ph.D. student of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[4]*Expert, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*

(Received: 13 Jun 2006 , Accepted: 15 Jan 2008)

Abstract

Airborne data are gathered along flight lines perpendicular to geologic strike.

Aeromagnetic data has been widely used for many geological applications such as tectonics, petroleum, ore body delineation, etc.

Preparing a suitable map which contains the informative data without interference from noise is the main purpose of airborne data processing.

To reach this aim, the acquired data should be corrected for different non-geological effects. These are

*نگارنده رابط: تلفن: ۰۹۱۵-۵۵۹۰۱۲۰ دورنگار: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۵۴۸ E-mail: afanaee@ut.ac.ir

1. Diurnal correction to remove time varying parts of the magnetic field.
2. IGRF correction to remove the field of earth core and upper mantle response.

After these stages, sometimes some artifacts remain as magnetic lineation along the survey lines. Leveling techniques should be used to remove these artifacts. In this paper we used the cubic spline method to level the aeromagnetic maps.

To remove the remainder of the diurnal activities and to check the validity of data, the tie-lines are flown perpendicular to the main lines, with wider spacing. So, two values exist, at each intersection point, their deference called miss-tie.

The leveling objective is to minimize the sum of the whole differences of values between lines and tie-line at intersection points. Two stages are implemented to minimize the miss-tie values.

First the average of the miss-ties along tie lines are reduced from the tie line data, then the tension splines are utilized to remove a flat and smooth curve interpolated to the reminder of the miss-ties from the line data. The results of implemented the stated procedures are satisfactory on the aeromagnetic map of southern Birjand.

Key words: Aeromagnetic, Processing, Splines, Basiran

۱ مقدمه

داده‌های ژئوفیزیک هوایی در امتداد خطوط مستقیم برداشت می‌شوند که این خطوط معمولاً بر راستای ساختارهای زمین‌شناسی منطقه عمودند. به علت حجم زیاد داده‌های برداشت شده و وجود عوامل مزاحم فراوان از جمله اثرات مغناطیسی ایجاد شده با هواپیما یا بالگرد، تغییرات زمانی میدان مغناطیسی، اثرات فضایی، نوفه‌ها و دریفت‌های دستگاهی و اثرات ناشی از تغییر ارتفاع پرواز و مانند آن، لازم است تصحیحات گوناگونی روی داده‌ها صورت گیرد. برای کنترل مقادیر ثبت شدهٔ میدان و حذف اثرات و خطاهای موجود، پروازهایی عمود بر خطوط اصلی و با فواصل ۲ تا ۵ برابر آن صورت می‌گیرد که به آنها خطوط کنترل یا Tie Line می‌گویند. بنابراین در نقاط تقاطع خطوط اصلی و کنترل دو مقدار خوانده شده از میدان مغناطیسی موجود است که از آنها درحکم مبنای کار تصحیحات استفاده می‌شود (حیدریان شهری، ۱۳۸۲).

به‌طور کلی میدان مغناطیسی خوانده شده در یک نقطه از سه منشأ عمده ناشی می‌شود:

- میدان هسته زمین
- میدان القا شده در مواد مغناطیسی پوسته (بی‌هنجاری)
- اثرات فضایی و تغییرات زمانی

خطای موجود در اندازه‌گیری‌ها را می‌توان به روش دستی یا استفاده از هم‌سطح‌سازی و ریز هم‌سطح‌سازی حذف کرد. منشأ اصلی ایجاد خطاهایی که ناچار به سرشکن کردن آنها می‌شویم عبارت‌اند از تغییرات بلندمدت میدان، فصول مغناطیسی با شدت میدان‌های متفاوت و نوفه‌های دستگاهی و مانند آن که نحوهٔ تأثیر آنها قاعده‌مند نیست. از طرف دیگر، برداشت داده‌های یک منطقه گاهی ممکن است تا چند ماه به طول بیانجامد که در این‌صورت با تغییرات فصلی میدان مواجه هستیم (دوبرین ۱۹۸۸).

اهمیت هم‌سطح‌سازی در این است که با استفاده از آن هر گونه اثرات باقی‌ماندهٔ نامطلوب در داده‌ها را می‌توان حذف کرد. از طرفی هرگونه اعمال نادرست فیلترهای متفاوت در مرحله هم‌سطح‌سازی نه فقط اثرات باقی‌مانده در داده‌ها را از بین نمی‌برد بلکه منجر به حذف و تضعیف بی‌هنجاری‌های اصلی و در نهایت نیز منجر به تحلیل‌های غلط در منطقه می‌شود.

بنابراین لازم است همهٔ مراحل پردازش با دقت زیاد و استفاده از ضرایب تصحیح مناسب صورت پذیرد.

۲ روش

تغییرات مکانی با تصحیح IGRF و تغییرات زمانی با استفاده از داده‌های ثبت شده با مغناطیس‌سنج موجود در ایستگاه مبنا از داده‌ها حذف می‌شوند. در واقع تصحیح IGRF اثر مغناطیس هسته زمین را از داده‌ها حذف می‌کند که به آن تصحیح منطقه‌ای نیز می‌گویند.

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب شبکه مربوط به داده‌های خام اولیه و خطوط پرواز اصلی و کنترل را نشان می‌دهند.

در تصحیح IGRF به مجموعه اطلاعات منطقه از قبیل ارتفاع از سطح دریا، سال برداشت داده، طول و عرض جغرافیایی منطقه برداشت و نظیر آن، نیاز است که ما این اطلاعات را به‌مثابهٔ ورودی به نرم‌افزار ژئوسافت می‌دهیم و خروجی آن شدت میدان مغناطیسی کرهٔ زمین و مؤلفه‌های میدان در آن منطقه است. شکل ۳ میدان هسته را در منطقهٔ بصیران نشان می‌دهد.

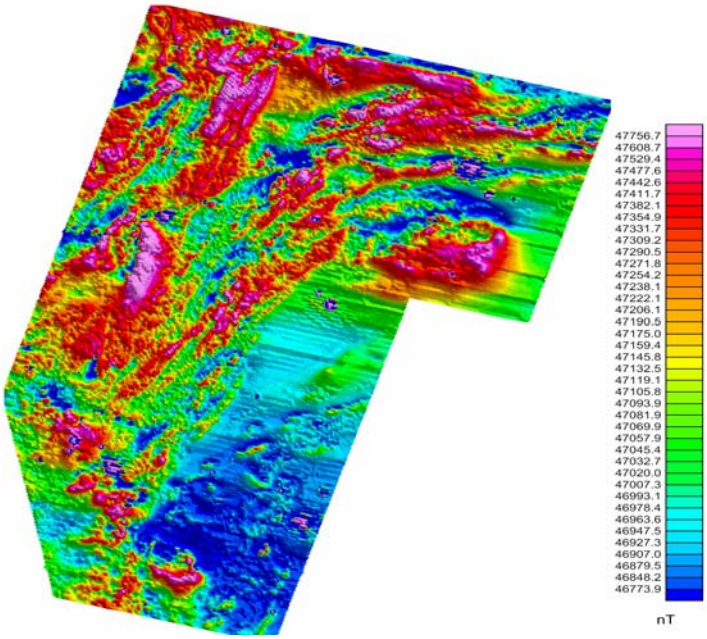
در نقاط تقاطع خطوط اصلی و کنترل، دو بار مقدار میدان مغناطیسی خوانده شده است که ظاهراً باید یکسان باشند اما درعمل، هنوز مقداری تفاوت بین این دو خوانش وجود دارد که با آن mis–tie گفته می‌شود و در پردازش داده‌های مغناطیس هوایی، این مقادیر تفاوت درحکم مبنای کار تصحیحات خواهند بود. ابتدا از مقادیر تفاوت در طول هر خط پرواز، میانگین می‌گیریم که یک عدد در بازه تغییرات میدان می‌شود و با رسم آن یک خط راست از داده‌ها عبور داده می‌شود.

به دلیل اینکه داده‌های IGRF از میدان خوانده شده کم می‌شود، درعمل این تصحیح را با فرمول زیر عملی می‌سازیم، یعنی میانگین میدان تصحیح منطقه‌ای را به داده‌ها می‌افزاییم تا داده‌های باقی‌مانده در حدود میدان اصلی منطقه باشد (راهنمای نرم‌افزار ژئوسافت).

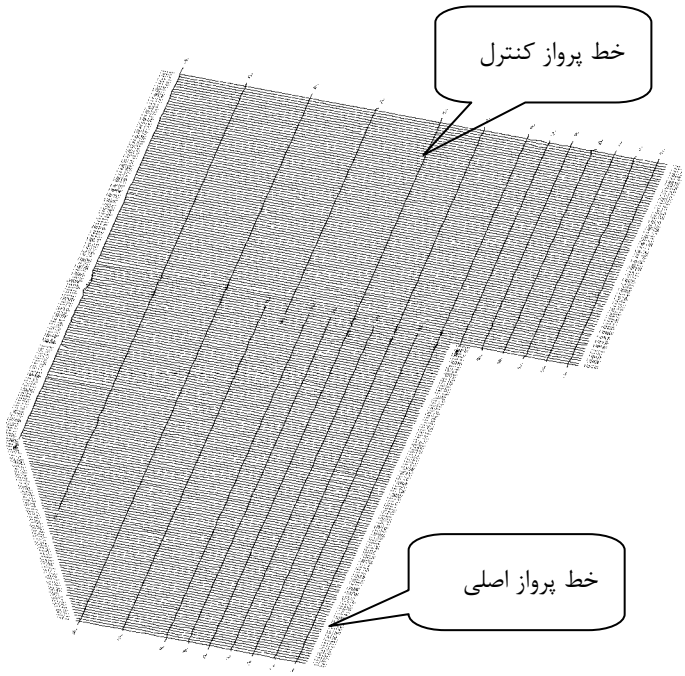
داده IGRF – داده خام = داده تصحیح شده

مقدار میانگین IGRF +

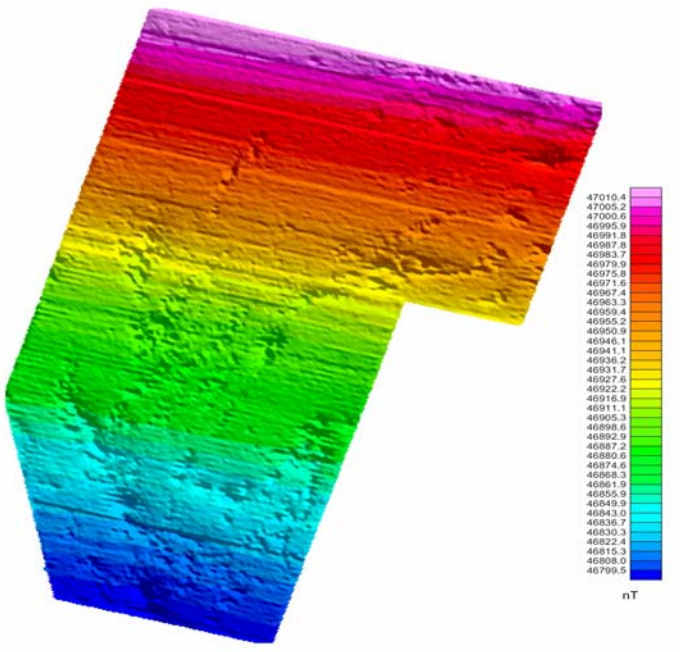
شکل ۴ شبکه حاصل از به انجام رسیدن این مرحله است.



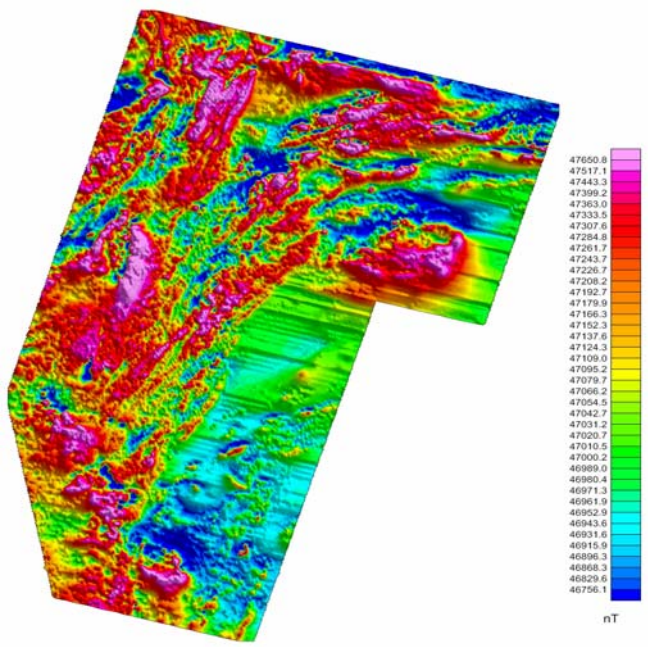
شکل ۱. شبکهٔ داده‌های خام اولیه منطقه بصیران.



شکل ۲. شبکهٔ خطوط پروازاصلی و کنترل ویرایش شده.



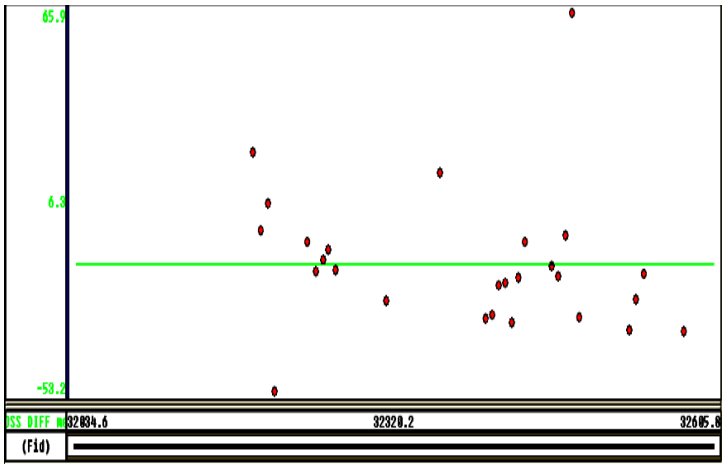
شکل ۳. میدان هسته (IGRF) در بلوک بصیران.



شکل ٤. شبکهٔ داده پس از تصحیح IGRF.

از نظر ریاضی مجازیم همهٔ داده‌ها را به اندازهٔ مقدار میانگین جابه‌جا کنیم بدون اینکه تأثیری در ماهیت داده‌ها داشته باشد. شکل ۵ اجرای این مرحله را برای داده‌های یک خط پرواز اصلی نشان می‌دهد.

اگر $\Delta a_1, \Delta a_2, \Delta a_3, ... \Delta a_N$ مقادیر تفاوت در نقاط برخورد باشند و $\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta a_i = \overline{\Delta a}$ مقدار جابه‌جایی برای هر داده در نقطهٔ برخورد $\left|\Delta a_i - \overline{\Delta a}\right|$



شکل ۵. جابه‌جایی ثابت داده‌ها به میزان میانگین مقادیر اختلاف.

۳ نظریهٔ اسپلاین

فکر اصلی درون‌یابی به روش اسپلاین‌های مکعبی مبتنی بر برازش یک منحنی روی مجموعه نقاط ناپیوسته با توزیع کاتوره‌ای است.

اصول ریاضی حاکم بر اسپلاین‌ها یکسان است و تقریباً در همهٔ آنها نقاط دارای وزن‌های متفاوت به صورت ضرایب چندجمله‌ای‌های مکعبی به‌کار گرفته شده در درون‌یابی است.

تغییر این ضرایب موجب افزایش انحنا در منحنی برازش و جلوگیری از رفتار نامنظم یا شکستگی در منحنی می‌شود.

فرایند درون‌یابی برای داده‌ها در فواصل گوناگون بر مبنای برازش تابعی درجه سوم با ضابطه زیر است (مک کینلی و لوین، ۱۹۹۸).

$$S(x)=\begin{cases} s_1(x) & \text{if} \quad x_1 \le x < x_2 \\ s_2(x) & \text{if} \quad x_2 \le x < x_3 \\ \vdots & \\ s_{n-1}(x) & \text{if} \quad x_{n-1} \le x < x_n \end{cases} \qquad (۱)$$

s_iها چندجمله‌ای از درجه سوم‌اند که به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شوند.

$$s_i(x)=a_i(x-x_i)^3+b_i(x-x_i)^2+c_i (x-x_i)+d_i \quad (i=1,2,3,\ldots,n-1) \qquad (۲)$$

محاسبه مشتقات مرتبه اول و دوم $n-1$ معادلهٔ حاصل برای این فرایند ضروری و به‌صورت روابط ۳ و ۴ است:

$$s_i'(x)=3a_i(x-x_i)^2+2b_i(x-x_i)+c_i \qquad (۳)$$

$$s_i''(x)=6a_i(x-x_i)+2b_i \quad (i=1,2,\ldots,n-1) \qquad (۴)$$

همچنین اسپلاین انتخابی باید در شرایط ریاضی زیر صدق کند:

۱. تابع مقطعی $s(x)$ همهٔ داده‌ها را در نقاط گوناگون پوشش دهد.

۲. تابع $s(x)$ در بازهٔ $[x_1, x_n]$ پیوسته باشد.

۳. تابع $s'(x)$ در بازهٔ $[x_1, x_n]$ پیوسته باشد.

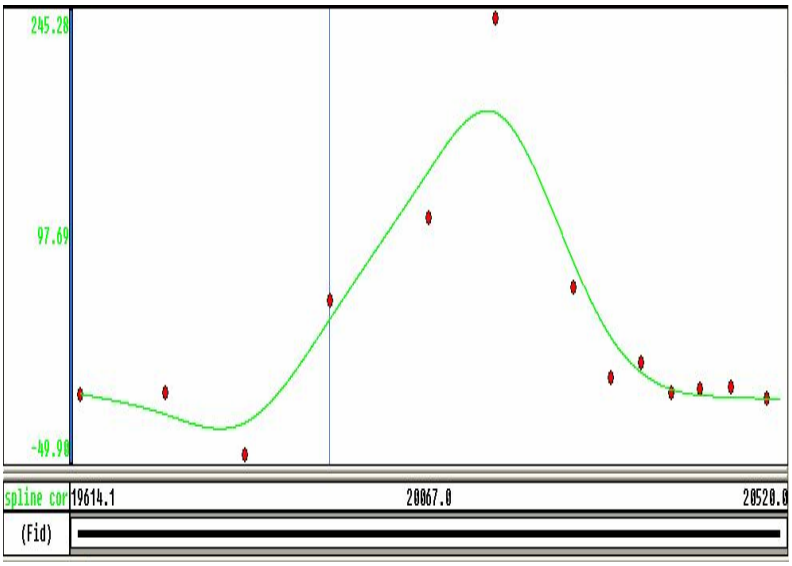
۴. تابع $s''(x)$ در بازهٔ $[x_1, x_n]$ پیوسته باشد.

اکنون با توجه به کاتوره‌ای بودن داده‌ها، با اسپلاین مکعبی و اسپلاین نوع B به بهترین نحو ممکن قادر به هم‌سطح‌سازی هستیم. اسپلاین‌های B دارای مقادیر متفاوت کشش و نرمی‌اند که وقتی این مقادیر صفر باشند اسپلاین به نوع مکعبی تبدیل می شود. شکل ۶ درون‌یابی با اسپلاین را برای یک خط پرواز نشان می‌دهد.

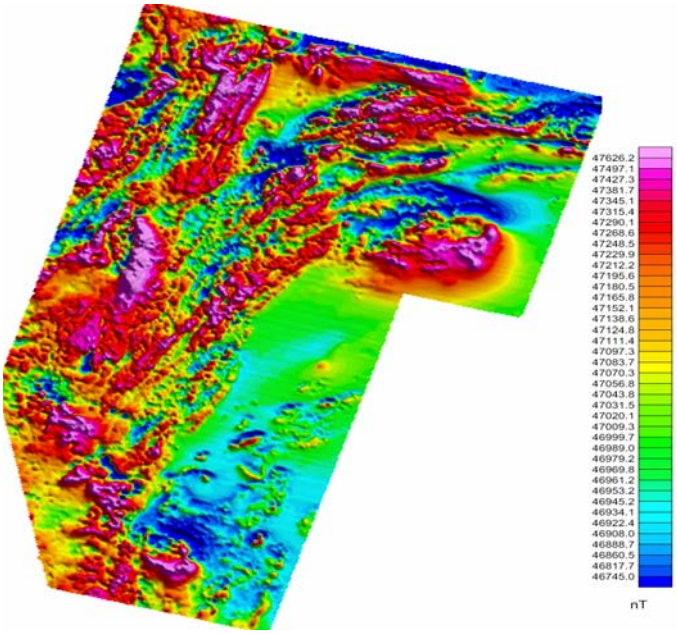
همچنین برای داده‌های بصیران از اسپلاین B با ضریب کشش ۰/۲ و نرمی ۰/۸ استفاده شد که در این حالت مقادیر تصحیح قابل قبول و انتهای خطوط پرواز نیز کمتر دچار خطا شده است. نتیجه حاصل از این مرحله در شکل ۷ نشان داده شده است.

اگر مراحل صورت گرفته تا این مرحله صحیح و دقیق به انجام رسیده باشد عملاً کار پردازش تمام شده تلقی می‌شود. اما اگر اثرات خطی در شبکه مشاهده شود باید از مرحله ریز هم‌سطح‌سازی نیز استفاده کنیم. این اثرات نامطلوب برای داده‌های بصیران چندان زیاد نبود ولی در بعضی خطوط پرواز اثراتی مشاهده می‌شد که با انتخاب خط پرواز مربوطه و دسترسی به داده‌های آن، این اثرات تا حد زیادی بهبود داده شد. نتایج در شکل ۸ نشان داده شده است.

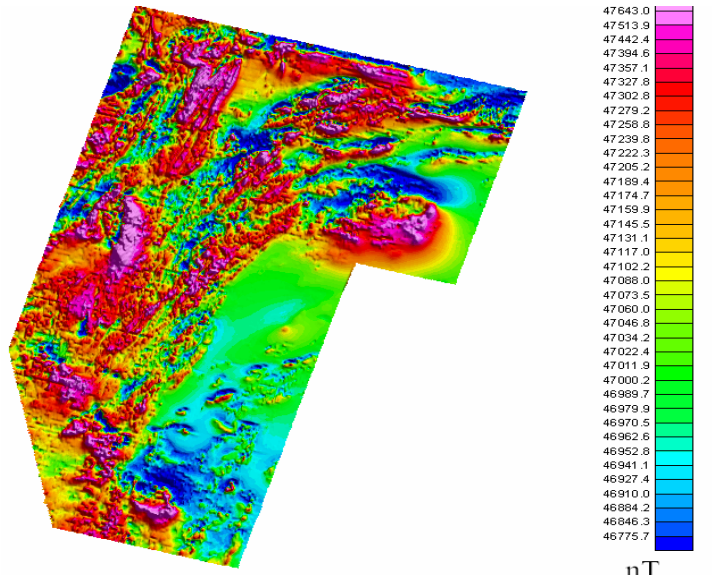
شکل‌های ۸ و ۱ که به ترتیب مربوط به شبکه پردازش‌شده نهایی و داده‌های خام اولیه‌اند، حذف اثرات نوفه‌ای خطی در امتداد خطوط پرواز کاملاً واضح است. این موضوع برای ناحیه با شدت میدان مغناطیسی کم (ناحیه سمت راست منطقه مورد بررسی) که در آن پرواز خطوط کنترل با فواصل نزدیک‌تر صورت و تعداد داده‌های مقادیر تفاوت بیشتر است، نسبت به سایر قسمت‌های بلوک مشهودتر است.



شکل ٦. درون‌یابی مقادیر تفاوت با اسپلاین مکعبی.



شکل ۷. شبکهٔ داده پس از هم‌سطح‌سازی با اسپلاین B.



شکل ۸ شبکهٔ داده‌های پردازش شدهٔ نهایی.

۴ نتیجه‌گیری

اعمال روش اسپلاین‌های مکعبی و B به صورت قابل قبولی اثرات نامطلوب در امتداد خطوط پرواز را از نقشه‌های مغناطیسی هوایی حذف کرده است. وجود دو پارامتر قابل تغییر در این نوع اسپلاین‌ها، پردازش‌گر را قادر می‌سازد تا به خوبی توان علمی و تجربی خود را در هم‌سطح‌سازی خطوط پرواز به‌کار برده و نتایج خوبی به‌دست آورد. از آنجاکه کار هم‌سطح‌سازی نیازمند تجربه زیادی است، استفاده از اسپلاین‌ها، به دلایل ذکر شده می‌تواند این وابستگی را کمتر کند و پردازشگر می‌تواند فقط با شناخت وضعیت و مشخصات داده‌های موجود، اقدام به این کار کند و به نتایج قابل اطمینانی برسد. در تحقیق اخیر نیز، اعمال این روش به نقشه‌های مغناطیسی خام، به شکل قابل توجهی، اثرات مزبور در نقشه‌ها از میان رفته و نقشه‌های نهایی به‌راحتی برای تفسیر و مدل‌سازی قابل استفاده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که دو عامل خیلی مهم در این کار، تغییرات ارتفاع پرواز و تراکم خطوط کنترل در نقشه‌ها است که می‌تواند اثر زیادی در نتایج هم‌سطح‌سازی داشته باشد. در داده‌های منطقه بصیران، حتی در مناطق غربی که تراکم خطوط پرواز نیز به مراتب کمتر است، این روش نتایج خوبی دربرداشته است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان برخورد لازم می‌دانند از سازمان زمین‌شناسی کشور به سبب فراهم آوردن امکانات برای انجام این پژوهش که در قالب پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، کمال تشکر را داشته باشند. همچنین از آقای پروفسور برایان مینتی عضو گروه ژئوفیزیک هوایی کشور استرالیا برای ارائه دیدگاه و ارسال مقالاتشان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

حیدریان شهری، م.، ۱۳۸۲، مبانی اکتشاف ژئوفیزیک، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

فنایی خیرآباد، غ.، ۱۳۸۵، پردازش داده‌های مغناطیس هوایی منطقهٔ بصیران با استفاده از اسپلاین‌های مکعبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

Dobrin, M. B., and Savit, C. H., 1988, Fourth Edition, Introduction to Geophysical prospecting, McGraw-Hill.

Ferraccioli, F., and Gambetta, M. E., 1998, Microlevelling procedures applied to regional aero magnetic data, Geophys. Prospect., **1**, 177-196.

Green, A., 1983, A comparison of adjustment procedures for leveling aeromagnetic survey data, Geophysics, **48**, 745-753.

Help of the Geosoft software.

Luyendyk, A. P., 1997, AGSO, Processing of airborne magnetic data, Geophysics, **17**(2), 31-38.

Mc Kinley, S., and Levine, M., 1998, Math45; linear Algebra; Cubic spline interpolation.

Mauring, E., Beard, L., and Smethurst, k., 2002, A comparisons of aeromagnetic leveling techniques with an introduction to median leveling, Geophys. Prospect., **50**, 43-54.

Minty, B. R. S., 1991, Simple micro Leveling for Aeromagn. Data, **22**, 541-542.

Stephen, J. S., Michael, J., 2003, Leveling of Aeromagnetic Data, Canadian J. Expl. Geophys., **34**, 9-15.