

استفاده از فیلترهای دورسنجی در پردازش تصاویر میدان پتانسیل

عبدالحمید انصاری^{۱*} و کمال علمدار^۲

^۱ استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، ایران

^۲ دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۹/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۷، دسترسی برخط: ۱۳۸۹/۱۲/۲۵)

چکیده

پردازش تصویر را می‌توان درحکم نگاشتی از فضای تصویر به فضای اطلاعات دانست که موجب آماده‌سازی تصویر برای آنالیزهای بعدی می‌شود. این کار با فیلترهای گوناگونی صورت می‌گیرد که عمده مزیت آنها نبود نیاز به انتقال داده‌ها از حوزه‌ای به حوزه دیگر است. این فیلترها کاربرد گسترده‌ای در مبحث دورسنجی دارند. از مهم‌ترین این فیلترها می‌توان به فیلترهای سایه‌روشن، حوزه دید و آشکارساز لبه اشاره کرد. عمده مزیت استفاده از این فیلترها نبود برجستگی نوفه‌های محیطی و مصنوعی در تصویر فیلتر شده است. در مورد داده‌های میدان پتانسیل معمولاً از فیلترهای مشتق (مشتق افقی، مشتق قائم) برای پردازش تصاویر استفاده می‌شود و محاسبات مربوط به آن از راه انتقال داده‌ها به حوزه بسامد (فوریه) صورت می‌پذیرد. مشکل این فیلترها، نبود تعادل بین سیگنال و نوفه‌ها در تصویر فیلتر شده است. به عبارت دیگر هم‌زمان با برجسته شدن سیگنال‌ها نوفه‌های موجود در تصویر نیز برجسته می‌شوند. در این نوشته کارایی فیلترهای دورسنجی در پردازش تصاویر ژئوفیزیکی از نوع میدان پتانسیل شرح داده می‌شود. این فیلترها روی داده‌های مغناطیس مصنوعی مدل منشوری در دو حالت بدون نوفه و با نوفه به کار رفته است. در حالتی که داده‌ها به نوفه آلوده شده‌اند مهم‌ترین مشکل، نبود تعادل بین نوفه و سیگنال در تصویر فیلتر شده است. همچنین فیلترهای فوق روی داده‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی هوایی جنوب غرب انگلستان به کار رفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پردازش تصویر، دورسنجی، میدان پتانسیل، سایه‌روشن، حوزه دید، لاپلاس، جنوب غرب انگلستان

Using of remote sensing filters in processing of the potential filed images

Abdolhamid Ansari^{1*}, and Kamal Alamdar²

¹Department of Mining and Metallurgy Engineering, Yazd University, Iran

²School of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering, Shahroud University, Iran

(Received: 01 December 2009, accepted: 28 December 2010, available online: 16 March 2011)

Summary

Remote sensing is the science and art of the gathering information about an object, area or phenomena by means of a device that is not in contact with the object, area and phenomena under investigation. In remote sensing, the interaction between an energy source (electromagnetic) and surface features (trees, rocks, soil) is recorded. Image processing can be considered as an image-to-information-mapping procedure, which provides the image for future analysis. Image processing techniques usually employ a

*Corresponding author:

h.ansari@yazduni.ac.ir

*نگارنده رابط:

filter for selecting desired information. Filters are used for spatial image enhancement, for example, to reduce noise or to sharpen blurred images. Such a processing technique works on pixel values and produces a filtered image which the pixel values of which depend on its former neighbors. In this regard, the sunshading, viewshed, edge enhancement, and majority filters are most commonly used as image processing filters. In contrast with remote sensing, geophysical methods employ human agents for data collection and interpretation. Potential geophysical field data, such as aeromagnetic and gravity data are collected by both government Geological Surveys and mineral exploration companies for a wide range of purposes, including geological mapping and mineral exploration. Since the measured data are presented in the form of a contour map, it can be considered as an image and image processing can apply on it. In addition, these images possess a large number of geological features, such as dykes, faults, and folding, which can disappear with disturbing noises. Consequently, the use of image processing techniques for the purposes of noise reduction and edge enhancement of different geological features is necessary. In geophysical literature, derivative filters and local phase filters are the most applicable filters applied on potential field images. The main intent of this study is to develop remote sensing filters, mentioned above, on potential files images.

Sunshading is a process in which the observed data are considered as topography data that is illuminated by a light source, such as sun. The elevation and azimuth of a 'sun', or light source, are chosen by the interpreter, and the resulting reflectance from the data surface (the elevations of which are proportional to the values of the data to be interpreted) is calculated. Linear features that lie at 90 degrees of the azimuth are enhanced, while those which lie parallel to it become less apparent. The selection of the azimuth and elevation of the sun is normally done in an interactive manner by the interpreter. There are many different algorithms for determining the reflectance from the surface based on a variety of physical models. In this regard, the Lambertian reflector is most admissible regarding geosciences data is given by

$$R = \frac{1 + p_0 p + q_0 q}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} + \sqrt{1 + p_0^2 + q_0^2}},$$

where $p_0 = -\cos \varphi \tan \theta$, $q_0 = -\sin \varphi \tan \theta$, θ is the sun elevation (measured from the vertical), and φ is the azimuth (measured anticlockwise from East). Notably, p and q are any two orthogonal gradients of the data, and may be calculated in either the space or frequency domains.

The viewshed of a dataset is the region around a given observation point that is visible from that location. The viewshed is used here as a data enhancement tool to aid in the interpretation of geophysical potential field data. The fraction of the area of a moving window visible from each point on the dataset (considered as if it were topography) is computed.

Edge enhancement is particularly suited to the analysis of the potential field data. First, edges are naturally what human eyes focus on in the analysis of any kind of image. Second, edges in a gravity/magnetic map mimic the sketches which geophysicists usually draw on potential field maps to guide their interpretation. Edge enhancement filters are divided on two main groups, including high-pass filters and Laplacian filters. With high-pass filters, the high frequency features are passed and those of low frequency suppressed. Since the edge can be considered as a high frequency feature which occupies a portion of the image densely, this kind of filter is admissible. High-pass filters are capable to run either as directional or perpendicular. In the other hand, Laplacian filters enhance the edge in all directions. These filters are logical filters. The main idea of these filters is to

replace the central pixel with the pixel having the maximum observed quantity. In fact, the application of these filters led to removing undesirable features.

In this paper, these filters were successfully applied on the synthetic magnetic data from prismatic model. Additionally, filters were applied on gravity and magnetic data from southwest England in which the output results relevant to causative granite bodies have a broad correlation with those from the geological map.

Key words: Image processing, remote sensing, potential field, sunshading, viewshed, laplacian filter, southwest England

۱ مقدمه

سنجش از دور از زمره روش‌های جمع‌آوری داده‌ها محسوب می‌شود که در آن‌ها تماس مستقیم فیزیکی با اشیاء مورد اندازه‌گیری در حداقل ممکن نگه داشته می‌شود. تصاویر سنجش از دور حاصل از ثبت تعامل انرژی الکترومغناطیسی (منبع انرژی) و اشیاء (پدیده‌های روی زمین مانند درختان، سنگ‌ها، خاک و...) است. پردازش (آنالیز) تصاویر دورسنجی به منظور استخراج اطلاعات مورد نیاز صورت می‌گیرد و می‌توان آن را به منزله نگاشتی از تصویر به فضای اطلاعات دانست. این پردازش‌ها بسیار متنوع‌اند و طیف وسیعی از عملیات‌ها مانند حذف خطا، بهبود کنتراست و اعمال فیلترها را در بر می‌گیرد (هارنبی و همکاران، ۱۹۹۹). این گونه پردازش‌ها به عملیات‌های طیفی معروف‌اند که بیشتر با مقادیر پیکسل‌ها کار می‌کنند. پیکسل کوچک‌ترین جزء یک تصویر است که با یک سطر و ستون شناخته می‌شود، در نتیجه تصویر را می‌توان شبکه‌ای منظم از اعداد در نظر گرفت که این اعداد نشان دهنده میزان انرژی الکترومغناطیسی ثبت شده‌اند. عملکرد فیلترها روی پیکسل‌های یک تصویر به گونه‌ای است که عوارض موجود در تصویر از نظر رنگ، بافت، اشیا همسایه و پارامترهایی از این قبیل برجسته می‌شود. از مهم‌ترین فیلترها در زمینه پردازش تصاویر می‌توان به فیلتر سایه‌روشن (Sunshading)، فیلتر حوزه دید (Viewshed)

فیلتر آشکارساز لبه (Edge detector filter) و فیلتر

اکثریت (Majority filter) اشاره کرد (هورن، ۱۹۸۲).

در مقابل روش دورسنجی روش‌های زمینی چون روش ژئوفیزیک اکتشافی وجود دارد که کاربردهایی از اکتشاف معدن، اکتشاف نفت، بررسی‌های باستان‌شناسی، بررسی‌های مهندسی و مانند آن را شامل می‌شود. روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در حکم روش‌های میدان پتانسیل، از پرکاربردترین روش‌های ژئوفیزیکی هستند که سازمان زمین‌شناسی کشورها و همچنین شرکت‌های اکتشاف معدن در جهت اهداف گسترده‌ای چون تهیه نقشه ژئوفیزیکی عوارض زمین‌شناسی و اکتشاف معادن به کار می‌گیرند (علمدار و انصاری، ۱۳۸۸). یکی از روش‌های عرضه داده‌های حاصل در روش‌های میدان پتانسیل نقشه‌های هم‌مقدار گرانی و مغناطیسی است و می‌توان آنها را در حکم تصویر در نظر گرفت. در نتیجه استفاده از فن پردازش تصویر، ضروری به نظر می‌رسد. در عمل پردازش تصاویر ژئوفیزیکی معمولاً با دو هدف اصلی کاهش نوفه تصویر برجستگی و برآورد مرز عوارض زمین‌شناسی موجود در آن صورت می‌گیرد (لیم، ۱۹۹۰). در مباحث ژئوفیزیکی دو نوع فیلتر شامل فیلترهای گرادیان و فیلترهای فازی وجود دارد که نویسندگان زیادی روی نقشه‌های میدان پتانسیل به کار برده‌اند (تلفورد و همکاران، ۱۹۹۵). هدف از این نوشته معرفی مهم‌ترین فیلترهای تخصصی پردازش

تعدادی از انواع فیلترها که در پردازش تصویر در سنجش از دور کاربرد بیشتری دارند پرداخته می‌شود.

۱-۲ فیلتر سایه‌روشن

فیلتر سایه‌روشن یکی از عمومی‌ترین فیلترها در زمینه برجسته‌سازی ساختارهای خطی است. در این فیلتر داده‌ها (در اینجا داده‌های میدان پتانسیل) به مثابه داده‌های توپوگرافی در نظر گرفته می‌شوند که با یک منبع نورانی (مانند خورشید) روشن شده‌اند و سپس بازتاب نور از سطح داده‌ها اندازه‌گیری می‌شود (کالیتزین و همکاران، ۲۰۰۱؛ کوپر، ۲۰۰۳). محاسبه بازتاب از راه مدل‌های بازتابی گوناگونی صورت می‌گیرد که یکی از پرکاربردترین آنها مدل لامبریتان (Lambertian model) است.

$$R = \frac{1 + p_0 p + q_0 q}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} + \sqrt{1 + p_0^2 + q_0^2}}, \quad (1)$$

که در آن

$$q_0 = -\sin \varphi \tan \theta, \quad p_0 = -\cos \varphi \tan \theta$$

، θ ارتفاع منبع نورانی از سطح داده‌ها که نسبت به راستای قائم سنجیده می‌شود، φ آزیموت منبع نورانی که در جهت خلاف عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری می‌شود و p و q گرادیان‌های داده‌ها به ترتیب در امتدادهای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی است.

۲-۲ فیلتر حوزه دید

محاسبه ناحیه قابل رؤیت در اطراف یک نقطه مشاهده‌ای سابقه طولانی در طرح‌های تحقیقی سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) دارد. از کاربردهای عمده این فن می‌توان به جانمایی بهینه فرستنده‌های رادیویی و همچنین کنترل تغییرات محیط زیست در اثر تغییر کاربری اراضی اشاره کرد.

تصاویر در زمینه دورسنجی و کاربرد آنها روی تصاویر ژئوفیزیکی میدان پتانسیل است. در این راستا، از فیلترهای پیش‌گفته روی داده‌های مغناطیسی مدل منشوری و همچنین داده‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی هوایی واقعی جنوب غرب انگلستان استفاده می‌شود.

۲ فیلترهای پردازش تصویر

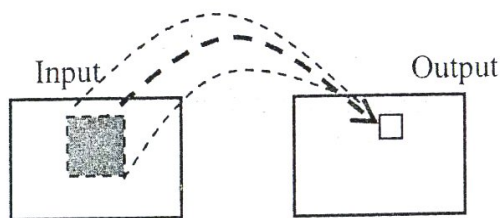
تبدیل‌های همسایگی معمولاً در حکم فیلتر شناخته می‌شوند. این نام‌گذاری به این دلیل است که همانند اصطلاح واقعی فیلتر (صافی)، فیلترهای تصویری نیز بخشی از اطلاعات تصویر را می‌گیرند و بخشی دیگر را باقی می‌گذارند (علمدار و همکاران، ۱۳۸۸). یک فیلتر را می‌توان عملگری در نظر گرفت که از راه محاسبات روی یک پیکسل و همسایگان آن در یک محدوده تعریف شده، یک مقدار مشخص برای پیکسل در تصویر خروجی تولید می‌کند. در نتیجه یک فیلتر باید به طور یکسان روی تک تک پیکسل‌های تصویر اعمال شود و برای هر کدام محاسبات را تکرار کند. برای هر فیلتر یک محدوده عملکرد تعریف می‌شود که در آن مشخص است چه تعداد از پیکسل‌های همسایه باید در محاسبات وارد شوند. بنابراین فیلترها به صورت ماتریسی با ابعاد مشخص (معمولاً اعداد فرد) تعریف می‌شوند (کنی، ۱۹۸۶). مرکز ماتریس فیلتر روی پیکسل مورد نظر قرار می‌گیرد (چون ابعاد ماتریس فرد انتخاب می‌شود همیشه یک مرکز وجود دارد که وسط ماتریس قرار می‌گیرد) و محاسبات مورد نظر صورت می‌گیرد و در نهایت نتیجه محاسبات به پیکسل متناظر در تصویر خروجی نسبت داده می‌شود (شکل ۱). به‌طور کلی کاربرد فیلترها در مواقعی است که پدیده‌های موجود تصویر می‌باید از لحاظ خصوصیات مکانی آنالیز شوند. مواردی نظیر لبه‌ها، عوارض خطی و نوفه همگی خصوصیات مکانی ویژه‌ای دارند که به کمک فیلترهای گوناگون، از اطرافشان جدا می‌شوند. در ادامه به

در امتداد ۸ گانه تقریبی از میزان ناهمسانگردی حوزه دید را برای نقطه مشاهده‌ای در اختیار می‌گذارد. میزان ناهمسانگردی برای نقاطی که در لبه قله‌ها قرار دارند بسیار زیاد است. چون میزان حوزه دید در ۸ امتداد را می‌توان به صورت ۸ بردار در نظر گرفت که اندازه آنها میزان حوزه دید و جهت آنها امتداد محاسبه حوزه دید است در نتیجه جهت و اندازه بردار بر این ۸ بردار نیز می‌تواند عارضه‌ای از تصویر را مشخص کند. هنگامی که مقدار حوزه دید در ۸ امتداد تقریباً مساوی باشد، اندازه بردار بر ایند کوچک است. این مسئله زمانی رخ می‌دهد که داده‌ها در آن محدوده از لحاظ شدت هموار باشند. در مقابل هنگامی که نقطه در نزدیکی قله قرار داشته باشد، اندازه بردار بر ایند بزرگ خواهد بود (کوپر و کوان، ۲۰۰۶؛ کوپر، ۲۰۰۵).

در مورد داده‌های میدان پتانسیل به دلیل وسعت قابل توجه ناحیه برداشت، بهتر است که گرادیان قائم مرتبه اول و دوم حوزه‌های دید نیز با فرمول زیر محاسبه شود:

$$\frac{dv}{dz} = \frac{v_{\Delta z} - v_0}{\Delta z}, \quad \frac{d^2v}{dz^2} = \frac{-v_0 + 2v_{\Delta z} - v_{2\Delta z}}{\Delta z^2}, \quad (2)$$

که در آن $v_{\Delta z}$ حوزه دید در ارتفاع Δz از سطح داده‌ها و v_0 حوزه دید در سطح داده‌ها است.

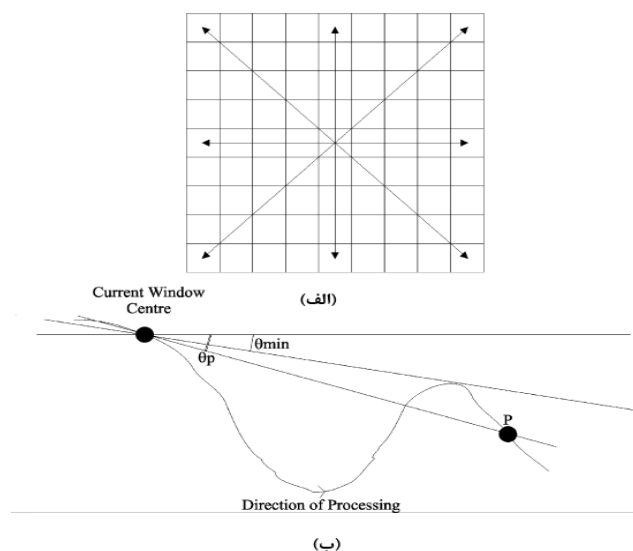


تبدیل همسایگی

شکل ۱. نتیجه اعمال فیلتر روی یک تصویر.

محاسبه حوزه دید مربوط به یک نقطه انتخابی از راه الگوریتم‌های دقیق از لحاظ سرعت محاسبات (حتی با وجود رایانه) تقریباً وقت‌گیر است. بنابراین از الگوریتم‌های تقریبی جایگزین استفاده می‌شود. در این الگوریتم‌ها حوزه دید نقطه مورد نظر، با یک پنجره متحرک با ابعاد قابل تنظیم و در ۸ امتداد متفاوت با فاصله ۴۵ درجه محاسبه می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مرکز پنجره روی نقطه انتخابی قرار می‌گیرد. ابتدا نقاط همسایه (مجاور) نقطه مرکزی در محاسبات شرکت می‌کنند و سپس پنجره به طرف بیرون حرکت می‌کند. برای بار اول الگوریتم، زاویه بین نقطه مرکزی و اولین نقطه مجاور آن را در صفحه قائم محاسبه می‌کند و تحت عنوان θ_{min} ذخیره می‌شود. در مرحله بعد این کار برای نقطه مجاور دوم تکرار می‌شود و زاویه اندازه‌گیری شده تحت عنوان θ_p ذخیره می‌شود. در صورتی که θ_{min} کوچک‌تر باشد نقطه دوم قابل دید و مقدار θ_{min} مساوی با θ_p ($\theta_{min} = \theta_p$) انتخاب و عملیات برای نقطه بعدی با میزان جدید θ_{min} تکرار می‌شود. در صورتی که θ_{min} بزرگ‌تر باشد نقطه دوم غیر قابل دید در نظر گرفته می‌شود و عملیات برای نقطه بعدی با همان مقدار اولیه θ_{min} تکرار می‌شود. در شکل ۲ $\theta_{min} < \theta_p$ در نتیجه نقطه p به منزله نقطه غیر قابل دید ذخیره می‌شود.

محاسبات در ۸ امتداد تکرار می‌شود که گستره وسیعی از متغیرها را در اختیار می‌گذارد. برای مثال در بین ۸ مقدار حوزه دید در ۸ امتداد گوناگون کمینه، بیشینه، مقدار کل، میانه و میانگین حسابی آنها را می‌توان نام برد. علاوه بر پارامترهای فوق، تفاوت بین دو مقدار حوزه دید در دو امتداد با زاویه ۱۸۰ درجه نسبت به هم (مثلاً شمالی - جنوبی) عوارض با امتداد ۹۰ درجه (شرقی - غربی) را برجسته می‌کند. محاسبه انحراف استاندارد حوزه‌های دید



شکل ۲. (الف) پنجره متحرک مورد استفاده در محاسبه حوزه دید و امتداد ۸ گانه محاسبه آن و (ب) نمونه‌ای از چگونگی محاسبه حوزه دید. در این مورد به دلیل بزرگ‌تر بودن θ_p نسبت به θ_{min} ، نقطه p غیر قابل دید تلقی می‌شود.

۳-۲ فیلترهای آشکارساز لبه

مهم‌ترین فیلترهای کشف لبه پرداخته می‌شود. تفاوت اصلی فیلترهای آشکارساز لبه با فیلترهای گرادیان در نحوه عملکرد آنها است. بدین معنی که عملکرد فیلترهای گرادیان محاسبه مشتق داده‌ها در حوزه بسامد (حوزه فوریه) است. درحالی‌که یک فیلتر آشکارساز لبه از آرایه‌ای (معمولاً ۳×۳) از ضرایب یا وزن‌های گوناگون تشکیل می‌شود که از این جهت می‌توان آن را کرنل نامید. البته آرایه‌های ۷×۷ و ۹×۹ و اعداد فرد بزرگ‌تر نیز به کار برده می‌شوند؛ بزرگ‌تر بودن اندازه فیلتر بزرگ‌تر بودن ناحیه تأثیر فیلتر را نتیجه می‌دهد. فیلتر همانند پنجره متحرکی عمل می‌کند که پیکسل به پیکسل و ردیف به ردیف روی تصویر حرکت می‌کند. هر پیکسل از تصویر در مقدار متناظر ضریب فیلتر که روی آن واقع شده است ضرب می‌شود و ۹ (یا ۲۵، یا ۴۹ و...) مقدار حاصل با یکدیگر جمع و عدد حاصل به پیکسل مرکزی نسبت داده می‌شود. این عملیات هم‌گردش (Convolution) تابع فیلتر در تابع تصویر نام دارد.

تغییرات ناگهانی در مقادیر درجات خاکستری در یک تصویر، بیانگر لبه است. به عبارت دیگر لبه عبارت از آن قسمت از تصویر است که چشم بیننده به محض مشاهده به آن متمرکز می‌شود. در ژئوفیزیک لبه به صورت طرحی که مفسر برای متمرکز کردن عملیات تفسیر روی نقشه میدان پتانسیل ایجاد می‌کند تعریف می‌شود. لبه‌ها گاه منطبق بر عوارض زمینی خطی مانند جاده، رودخانه، مرز مزارع، عوارض ساخته بشری و گاه منطبق بر مرزهای زمین‌شناسی است. بنابراین کشف و استخراج آنها در بارزسازی اطلاعات و جزئیات هندسی تصویر بسیار راهگشا است (مالت و زانگ، ۱۹۹۲؛ بوستی و همکاران، ۲۰۰۰). کشف لبه معمولاً به سه روش صورت می‌گیرد: استفاده از فیلترهای کشف لبه، محاسبه گرادیان‌های مرتبه اول و محاسبه گرادیان‌های مرتبه دوم داده‌ها. از آنجاکه هدف اصلی این نوشتار بیان فیلترهای کشف لبه است و فیلترهای گرادیان را نویسندگان بسیاری روی داده‌های میدان پتانسیل به کار برده‌اند، لذا در این قسمت به شرح

در روش گرانی‌سنجی چگالی توده‌های زیرسطحی و اختلاف خودپذیری توده‌ها با جوانب وجه‌تمایز بین توده‌ها در روش مغناطیس‌سنجی است. با وجود شباهت‌های بسیاری که بین دو روش گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی وجود دارد، تفسیر کمی بی‌هنجاری‌های مغناطیس‌سنجی دشوارتر از بی‌هنجاری‌های گرانی است. آشکارسازی مرز توده‌های مولد بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل عمدتاً با فیلترهای مشتق و فیلترهای فاز محلی صورت می‌گیرد. در این نوشته سعی می‌شود تا فیلترهای مورد استفاده در روش دورسنجی برای پردازش و برآورد مرز بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل استفاده شود.

(ب)			(الف)		
۰	+۱	+۱	-۱	۰	+۱
-۱	۰	+۱	-۱	۰	+۱
-۱	-۱	۰	-۱	۰	+۱

(د)			(ج)		
۰	-۱	۰	+۱	+۱	۰
-۱	۴	-۱	+۱	۰	-۱
۰	-۱	۰	۰	-۱	-۱

(ه)		
۰	-۱	۰
-۱	۸	-۱
۰	-۱	۰

شکل ۳. مهم‌ترین فیلترهای آشکارساز لبه، (الف) فیلتر آشکارساز لبه عمودی، (ب) فیلتر آشکارساز لبه جهتی، این فیلتر لبه‌های مورب را استخراج می‌کند، (ج) فیلتر آشکارساز لبه جهتی، این فیلتر لبه‌های مورب را استخراج می‌کند، (د) فیلتر آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه اول، این فیلتر یک فیلتر همه‌جهته است و (ه) فیلتر آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه دوم، این فیلتر نیز یک فیلتر همه‌جهته است.

فیلترهای آشکارساز لبه به دو دسته فیلتر بالاگذر و لاپلاس تقسیم می‌شوند. فیلتر بالاگذر عوارض با بسامدهای زیاد را عبور می‌دهد و عوارض با بسامدهای کم را متوقف می‌سازد. معمولاً در محل لبه، گرادیان داده‌ها بیشینه است به عبارت دیگر لبه جایی است که تعداد دفعات تکرار کمیت گرادیان بیشینه است (پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها نیز در مقایسه با پیکسل‌های کناری دارای شدت بیشتری‌اند). در نتیجه لبه دارای بسامد زیاد است و حجم کمی از تصویر را اشغال می‌کند. به همین دلیل فیلتر بالاگذر به منزله فیلتر آشکارساز لبه کارایی دارد. این فیلتر گاه به صورت جهتی و گاه به صورت عمودی تعریف می‌شود. فیلترهای جهتی در جهتی خاص مانند X یا Y عمل می‌کنند و فقط آن دسته از لبه‌ها را آشکار می‌کنند که در امتداد مورد نظر قرار گرفته باشند. فیلترهای لبه عمودی مشابه با فیلتر لاپلاس، معمولاً باعث برجسته‌سازی لبه‌ها در تمام جهات می‌شوند و کل محدوده توده را برجسته می‌سازند. شکل‌های ۳-الف تا ۳-ه به ترتیب فیلترهای آشکارساز لبه عمودی، جهتی، لاپلاس مرتبه اول و لاپلاس مرتبه دوم را نشان می‌دهند (ترامپت و همکاران، ۲۰۰۳).

۲-۴ فیلترهای اکثریت

فیلترهای اکثریت از جمله فیلترهای منطقی به شمار می‌روند. منطق کلی این فیلترها این است که مقدار پیکسل مرکزی با پیکسلی که دارای بیشترین تعداد تکرار در پنجره فیلتر است جایگزین می‌شود. در حقیقت فیلترهای اکثریت باعث حذف جزئیاتی می‌شوند که فرض می‌شود دلخواه ما نیستند (سالیک و گیلبرت، ۲۰۰۷).

۳ تصاویر میدان پتانسیل

روش‌های ژئوفیزیکی گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی از روش‌های میدان پتانسیل هستند. عامل فیزیکی تأثیرگذار

۴ کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های مصنوعی

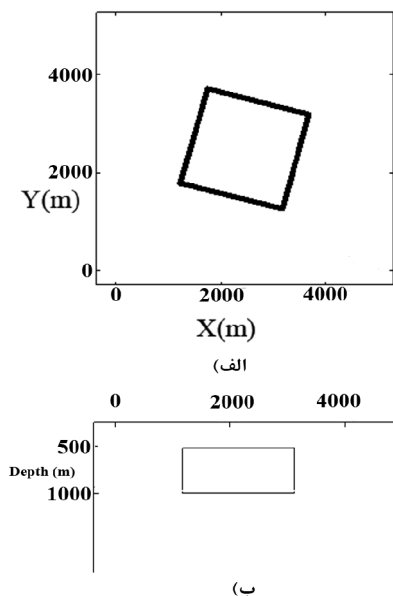
مدل

به منظور بررسی کارایی فیلترهای دورسنجی در پردازش تصاویر میدان پتانسیل، فیلترهای فوق روی داده‌های مصنوعی مغناطیس‌سنجی یک مدل اعمال می‌شود. مدل پیش‌گفته منشور قائمی است با ضخامت ۱۰۰۰ متر، ابعاد ۲۰۰۰ × ۲۰۰۰ متر که در عمق ۵۰۰ متری از سطح زمین قرار دارد و امتداد آن با راستای شمال زاویه ۳۰ درجه می‌سازد (شکل ۴). بی‌هنجاری مغناطیسی مدل به ازای زاویه میل و انحراف به ترتیب برابر با ۷۰ و ۱۵ درجه تولید شده که در شکل ۵، الف نشان داده شده است. برای اعمال فیلترهای گوناگون دورسنجی که در این مقاله توضیح داده شده‌اند؛ برنامه‌های رایانه‌ای به زبان نرم‌افزار مطلب نوشته شد که در این قسمت نتایج استفاده از آن روی داده‌های مصنوعی مدل آمده است.

شکل ۵-ب نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های مغناطیسی مدل منشوری که در شکل ۵-الف آمده است را نشان می‌دهد. آزمایشات منبع نورانی برای تولید این نقشه ۹۰ درجه انتخاب شده است. شکل‌های ۵-ج و ۵-د به ترتیب مربوط به کاربرد فیلترهای حوزه دید و مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید است که با پنجره‌ای به ابعاد ۵ × ۵ پیکسل تولید شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو تصویر، مرز توده مشخص شده است ولی مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید مرز توده را با دقت بیشتری مشخص می‌کند. شکل‌های ۵-ه و ۵-و نتیجه فیلترهای آشکارساز لبه از نوع مورب (جهتی) را نشان می‌دهد که در آنها به ترتیب مرزهای قائم (شرقی-غربی) و افقی (شمالی-جنوبی) توده مشخص شده است. شکل ۵-ز نقشه فیلتر آشکارساز لبه عمودی را نشان می‌دهد که به منزله یک فیلتر همه‌جانبه (در مقابل جهتی) محدوده توده را برجسته کرده است. شکل‌های ۵-ح و ۵-ط به ترتیب فیلترهای آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه اول و دوم را نشان

می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نقشه فیلتر لاپلاس مرتبه دوم اثر کجی ناشی از گوشه‌ها از بین رفته و مرز توده با اطراف به طور تیز مشخص شده است. در نهایت در شکل ۵-ی برای مقایسه با سایر فیلترهای معرفی شده، نقشه فیلتر مشتق افقی کل داده‌های مغناطیسی قسمت الف آمده است. در حالت دوم فیلترهای پیش‌گفته روی داده‌های مغناطیسی نوفه‌دار مدل منشور قائم مثال اول آزمایش می‌شود. برای بررسی اثر نوفه بر نتایج روش پیش‌گفته، نوفه‌ای با توزیع گوسی و با میانگین صفر و انحراف استاندارد ۲ نانو تسلا به داده‌های مغناطیسی اضافه شده است. شکل ۶-الف داده‌های مغناطیسی مصنوعی آلوده به نوفه مدل منشور قائم را نشان می‌دهد. شکل ۶-ب نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های مغناطیسی قسمت الف را نشان می‌دهد که از پنجره‌ای به ابعاد ۵ × ۵ پیکسل و با آزمایشات منبع نورانی ۹۰ درجه تولید شده است. نتیجه فیلتر سایه‌روشن به دلیل وجود نوفه اضافه شده مغشوش شده است و نوفه‌ها نیز به همراه مرزهای توده برجسته شده‌اند. شکل‌های ۶-ج و ۶-د به ترتیب مربوط به فیلترهای حوزه دید و مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید با پنجره‌ای به ابعاد ۵ × ۵ پیکسل است که بر خلاف مثال اول (داده‌های بدون نوفه) شکل ۶-ج مرز توده را بهتر مشخص می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شکل ۶-د محدوده توده کاملاً با نوفه پوشیده شده است. دلیل این امر آن است که در این شکل از مشتق قائم مرتبه دوم استفاده شده است و هم‌زمان با توده، نوفه‌ها نیز برجسته شده‌اند و تعادل بین سیگنال و نوفه برهم خورده است. شکل‌های ۶-ه و ۶-و نتیجه فیلترهای آشکارساز لبه از نوع مورب (جهتی) را نشان می‌دهد که در آنها به ترتیب مرزهای قائم (شرقی-غربی) و افقی (شمالی-جنوبی) توده مشخص شده است. وجود نوفه باعث شده تا مرزهای توده به صورت پخش و با جابه‌جایی نسبت به مرزهای واقعی توده (کادر سیاه) مشخص شود. شکل ۶-ز نقشه

بهترین بافت‌نگار به شمار می‌رود. همچنین هرچه تعداد پیکسل‌های مربوط به یک درجه خاکستری در کل دامنه (۰ تا ۲۵۵) گسترده شده باشد حکایت از واریانس زیاد در تصویر است و بنابراین حجم اطلاعات بیشتر و با وضوح و کنتراست بیشتری قابل دریافت است. شکل ۷ بافت‌نگار تصویرهای شکل ۶ را نشان می‌دهد. شکل ۷-الف بافت‌نگار مربوط به نقشه شکل ۶-ز (فیلتر آشکارساز لبه عمودی) است که در آن توزیع پیکسل‌ها نرمال نیست اما واریانس آنها زیاد است. شکل ۷-ب بافت‌نگار مربوط به نقشه شکل ۶-ح (فیلتر لاپلاس مرتبه اول) را نشان می‌دهد. در این بافت‌نگار توزیع پیکسل‌ها نرمال و واریانس آنها زیاد است. شکل ۷-ج بافت‌نگار مربوط به نقشه شکل ۶-د (فیلتر مشتق قائم مرتبه دوم زاویه تیلت) است که در آن واریانس پیکسل‌ها کم است و به همین خاطر کنتراست تصویر با اطراف کم است. شکل ۷-د مربوط به نقشه شکل ۶-ط (فیلتر لاپلاس مرتبه دوم) است که هم توزیع پیکسل‌ها نرمال و هم واریانس آنها زیاد است و کنتراست آن با اطراف زیاد است.

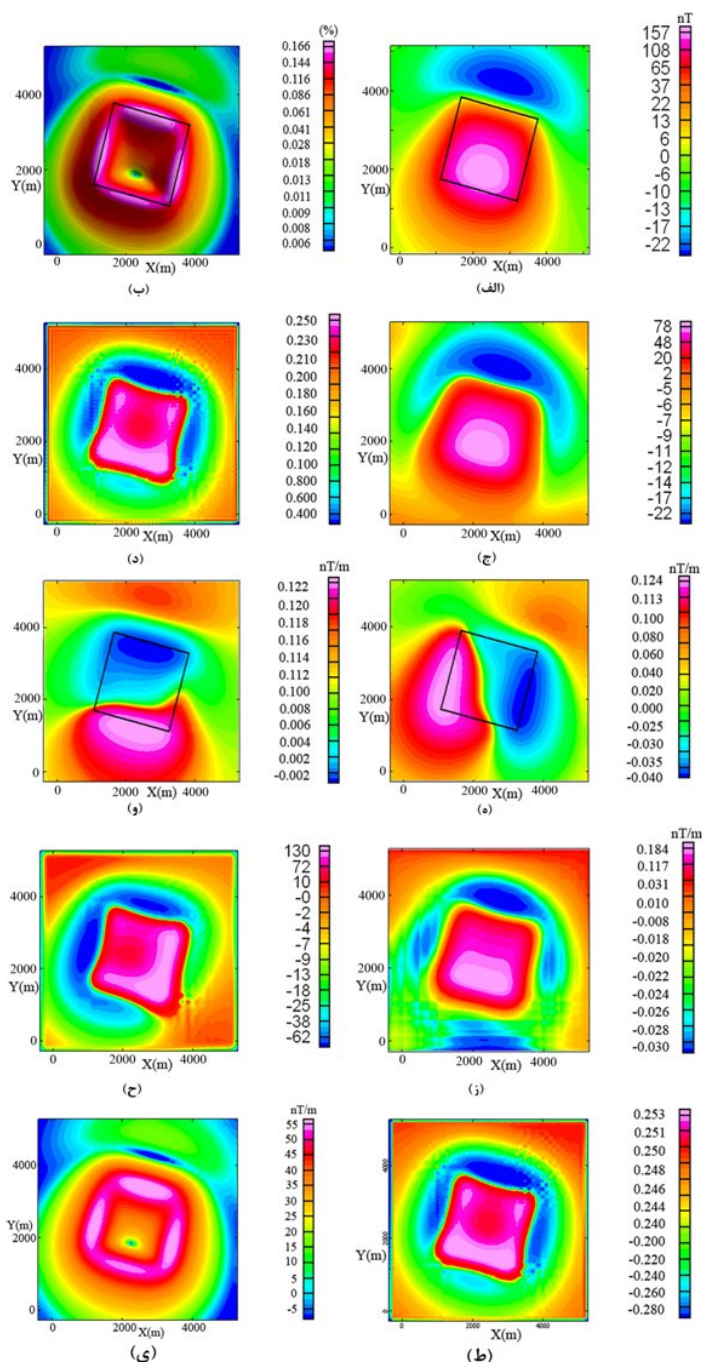


شکل ۴. الف) نقشه مدل منشور قائم و ب) مقطع عمود بر امتداد مدل منشوری.

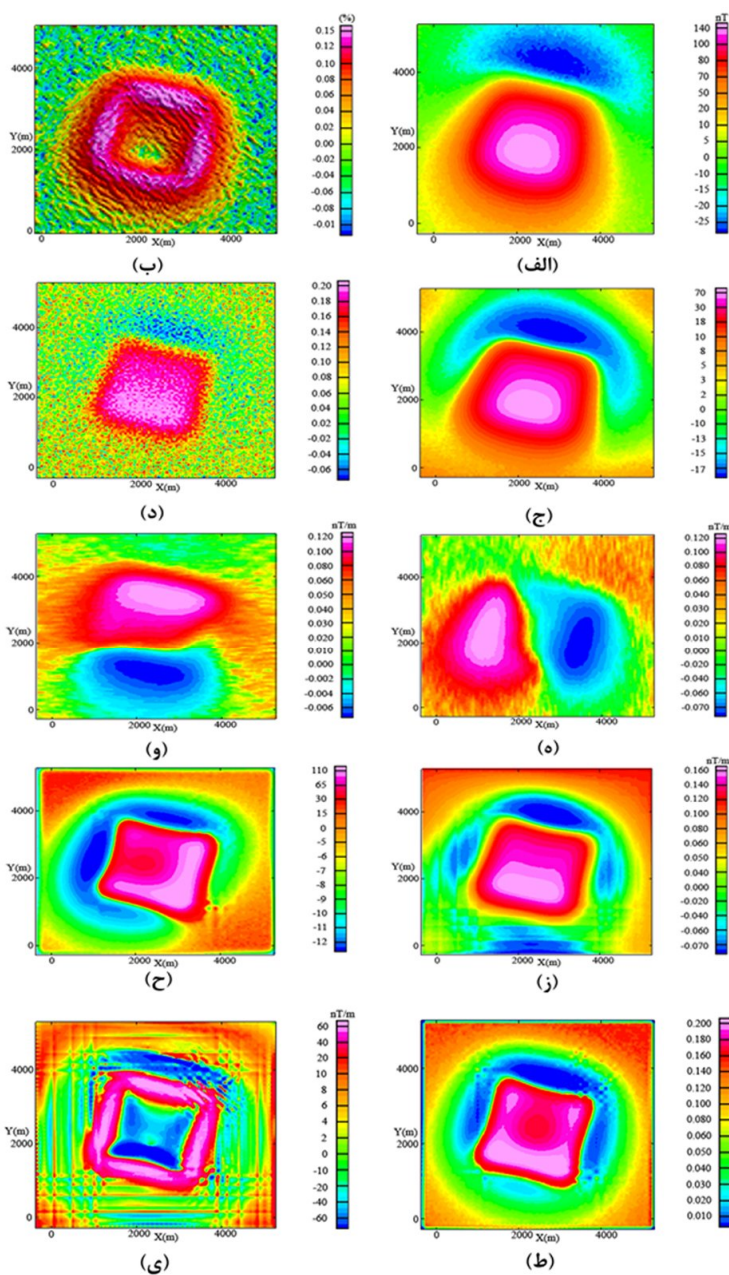
فیلتر آشکارساز لبه عمودی را نشان می‌دهد که به منزله یک فیلتر همه‌جانبه (در مقابل جهتی) محدوده توده را برجسته کرده است. شکل‌های ۶-ح و ۶-ط به ترتیب فیلترهای آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه اول و دوم را نشان می‌دهد. نکته قابل توجه اینکه در این سه شکل اثر نوفه بر نتیجه فیلترها در مقایسه با فیلترهای دیگر حداقل است و مرز توده با دقت بیشتری نسبت به اطراف مشخص شده است. در شکل ۶-ی نقشه فیلتر مشتق افقی کل داده‌های مغناطیسی قسمت الف را نشان می‌دهد که در این شکل بیشینه مقدار مشتق افقی کل، مرزهای توده رامشخص می‌سازد.

بنابراین می‌توان گفت همه فیلترهای دورسنجی در پردازش تصاویر میدان پتانسیل مؤثر هستند ولی از این بین فیلترهای سایه‌روشن، فیلتر آشکارساز لبه عمودی و فیلترهای لاپلاس مرتبه اول و دوم کارایی بهتری دارند. با اضافه شدن نوفه مصنوعی به داده‌ها، فیلتر مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید کارایی خود را در برآورد مرز، از دست می‌دهد اما استفاده از این فیلتر هنگامی که نوفه داده‌ها حداقل است (قابل صرف نظر کردن است) در مقایسه با فیلتر حوزه دید، سبب برآورد مرز توده با دقت بیشتری می‌شود برای مواردی که از بین فیلترهای فوق، فیلترهای آشکارساز لبه از نوع مورب و عمودی به ترتیب معادل فیلترهای ژئوفیزیکی مشتق از نوع جهتی و قائم هستند، فیلترهای سایه‌روشن، حوزه دید و لاپلاس خاص روش‌های دورسنجی هستند و معادلی در فیلترهای ژئوفیزیکی ندارند.

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های تصویر، بافت‌نگار (هیستوگرام) نمودار فراوانی درجات خاکستری یک تصویر است. اگر تعداد پیکسل‌های مربوط به یک درجه خاکستری را در مقابل درجه خاکستری آن ترسیم کنیم نموداری به دست می‌آید که بافت‌نگار تصویر نامیده می‌شود. بافت‌نگار یک تصویر با توزیع آماری نرمال



شکل ۵. کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های مغناطیسی مدل منشور قائم. مدل پیش گفته در عمق ۵۰۰ متری قرار دارد و ابعاد آن ۲۰۰۰ × ۲۰۰۰ متر و با امتداد آن نسبت به راستای قائم زاویه ۳۰ درجه می‌سازد. بی‌هنجاری مغناطیسی مدل به ازای زاویه میل و انحراف به ترتیب ۷۰ و ۱۵ درجه تولید شده است. (الف) پاسخ مغناطیسی مدل منشور قائم، (ب) نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های مغناطیسی قسمت الف برای منبع نورانی با آزیموت ۹۰ درجه، (ج) نقشه چگونگی تغییرات حوزه دید داده‌های قسمت الف توسط پنجره‌ای به ابعاد ۵ × ۵، (د) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید قسمت ج، (ه) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع مورب (جهتی). در این شکل مرزهای قائم توده برجسته شده است، (و) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع مورب. این شکل مرزهای افقی توده را برجسته کرده است، (ز) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع عمودی، (ح) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه اول و (ط) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه دوم. (ی) نقشه مشتق افقی کل داده‌های مغناطیسی قسمت الف. ابعاد پنجره مورد استفاده برای همه فیلترها ۵ پیکسل انتخاب شده است.



شکل ۶. کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های مغناطیسی مدل منشور قائم. مدل پیش‌گفته در عمق ۵۰۰ متری قرار دارد و ابعاد آن 2000×2000 متر و با امتداد آن نسبت به راستای قائم زاویه 30° درجه می‌سازد. برای بررسی اثر نوفه بر نتایج، نوفه گوسی با میانگین صفر و انحراف استاندارد ۲ نانوتسلا به داده‌ها اضافه شده است. بی‌هنجاری مغناطیسی مدل به ازای زاویه میل و انحراف به ترتیب 70° و 15° درجه تولید شده است، (الف) پاسخ مغناطیسی مدل منشور قائم، (ب) نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های مغناطیسی قسمت الف برای منبع نورانی با آزیموت 90° درجه، (ج) نقشه چگونگی تغییرات حوزه دید داده‌های قسمت الف توسط پنجره‌ای به ابعاد 5×5 ، (د) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید قسمت ج. وجود نوفه سبب پوشیده شدن محدوده توده شده است، (ه) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع مورب (جهتی). در این شکل مرزهای قائم توده برجسته شده است، (و) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع مورب. این شکل مرزهای افقی توده را برجسته کرده است، (ز) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع عمودی، (ح) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه اول، (ط) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه دوم. ابعاد پنجره مورد استفاده برای همه فیلترها 5×5 پیکسل انتخاب شده است و (ی) نقشه مشتق افقی کل داده‌های مغناطیسی قسمت الف. در همه موارد ابعاد پنجره مورد استفاده برای فیلترها 5×5 پیکسل انتخاب شده است.

۵ کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های میدان

پتانسیل واقعی در جنوب غرب بریتانیا

به منظور بررسی کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های میدان پتانسیل واقعی، منطقه جنوب غرب انگلستان انتخاب و روش‌های موردنظر روی داده‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی این منطقه اعمال شد. دلیل این انتخاب این است که منطقه موردنظر یکی از مناطق نمونه جهان است که در آن رشته‌ای از توده‌های عظیم گرانیت در خشکی رخنمون دارند و به سمت جنوب غرب در بستر اقیانوس اطلس ادامه می‌یابند و مجموعه داده‌های دقیق و کامل گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی از این منطقه در دسترس است. نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد بررسی در شکل ۸ آمده است. گوشه ضلع جنوب غربی انگلستان رشته‌کوه کورنوبین (Cornubian Massif) خوانده می‌شود که از سمت شمال و جنوب، به ترتیب با دریاهای کلتیک (Celtic Sea) و کانال انگلیسی (English Channel) دریای مانس محصور شده است. در این رشته پنج رخنمون اصلی گرانیت از منطقه دارتمور (Dartmoor) تا جزایر سیلی (Scilly Isles) وجود دارد. همچنین تعدادی رخنمون کوچک و با شکل نامنظم دیگر نیز وجود دارد. جزایر سیلی و سون استون (Seven Stone) متشکل از توده‌های گرانیتی هستند که در ادامه رشته‌کوه پیش‌گفته در دریا قرار گرفته‌اند. در همه‌موارد گرانیت‌ها در اسلیت‌های خاکستری دونین و کرنیفر نفوذ کرده‌اند. این باتولیت‌های گرانیتی باعث ایجاد یک بی‌هنجاری منفی بزرگ با روند شمال شرقی- جنوب غربی شده‌اند که ناشی از چگالی کم گرانیت است (انصاری، ۲۰۰۲). باتولیت گرانیتی جنوب غرب انگلستان قبلاً با استفاده از داده‌های گرانی‌سنجی مدل‌سازی شده است. براین اساس پهنای توده گرانیتی در سطح زمین حدود ۱۰ کیلومتر و بین ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر در قاعده است

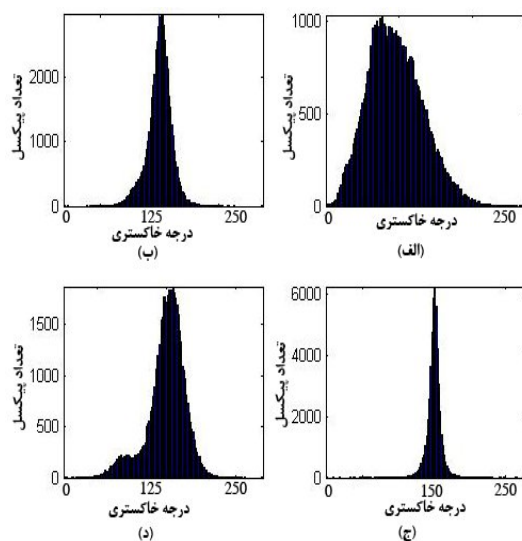
(ادوارد، ۱۹۸۴؛ انصاری، ۲۰۰۲). در حاشیه شمالی توده‌های گرانیتی، سنگ‌های آتشفشانی بازیک نفوذ کرده‌اند و در بسیاری موارد به سطح زمین رسیده‌اند که این سنگ‌ها باعث ایجاد بی‌هنجاری مغناطیسی بالا شده‌اند. همچنین چندین بی‌هنجاری مغناطیسی در محدوده کانال انگلیسی دریای مانس و اقیانوس اطلس پدیدار شده‌اند که مربوط به توده‌های بازیک در بستر دریا هستند.

برای کاربرد فیلترهای دورسنجی روی داده‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی جنوب غرب انگلستان از کد نرم‌افزار مطلب بسط داده شده در این مقاله استفاده شده است. برای فیلتر حوزه دید پارامتر ورودی و مؤثر ابعاد پنجره محاسبات است که برای داده‌های جنوب غرب انگلستان برابر با 11×11 پیکسل انتخاب شد. در مورد فیلتر سایه‌روشن پارامتر ورودی عبارت از آزمون منبع نورانی است که در مورد داده‌های واقعی منطقه مورد بررسی برابر با ۹۰ درجه انتخاب شد. در مورد فیلترهای اپلاس، آشکارساز لبه عمودی و اکثریت پارامتر ورودی مؤثر فقط ابعاد پنجره مورد استفاده است که در این مورد هم برابر با 11×11 پیکسل انتخاب شد. پارامترهای ورودی برای فیلترهای آشکارساز لبه جهتی پارامترهای ورودی عبارت از ابعاد پنجره محاسبات و آزمون (امتداد) محاسبه مشتق است که برای بررسی موردی جنوب غرب انگلستان 11×11 پیکسل انتخاب و نتایج یک بار به ازای آزمون ۹۰ درجه و بار دیگر آزمون ۰ درجه محاسبه و جداگانه نمایش داده شده‌اند.

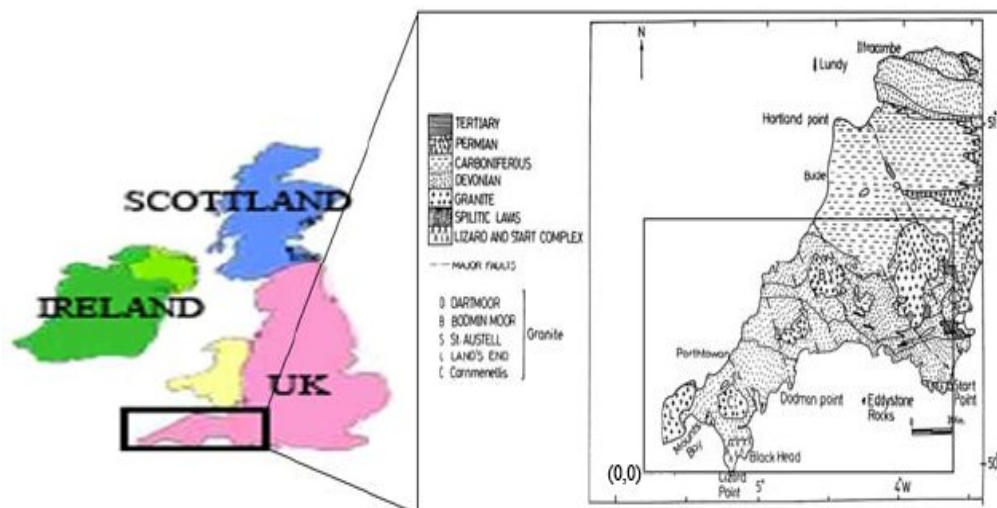
شکل ۹-الف نقشه هم‌مقدار مغناطیسی جنوب غرب انگلستان را نشان می‌دهد. شکل ۹-ب نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های مغناطیسی قسمت الف را نشان می‌دهد. در این شکل ساختار رشته‌کوه کورنوبین با دقت زیادی برجسته شده است. شکل‌های ۹-ج و ۹-د به ترتیب نقشه حوزه دید و مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید داده‌های

کورنوبین نسبت به اطراف برجسته شده است. شکل‌های ۹-ز و ۹-ح به ترتیب کاربرد فیلترهای آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه اول و دوم را نشان می‌دهند که دود منابع مولد بی‌هنجاری مغناطیسی نسبت به اطراف تیز تعیین شده است. در نهایت در شکل ۹-ط کاربرد فیلتر اکثریت باعث برجستگی بی‌هنجاری مغناطیسی شده است.

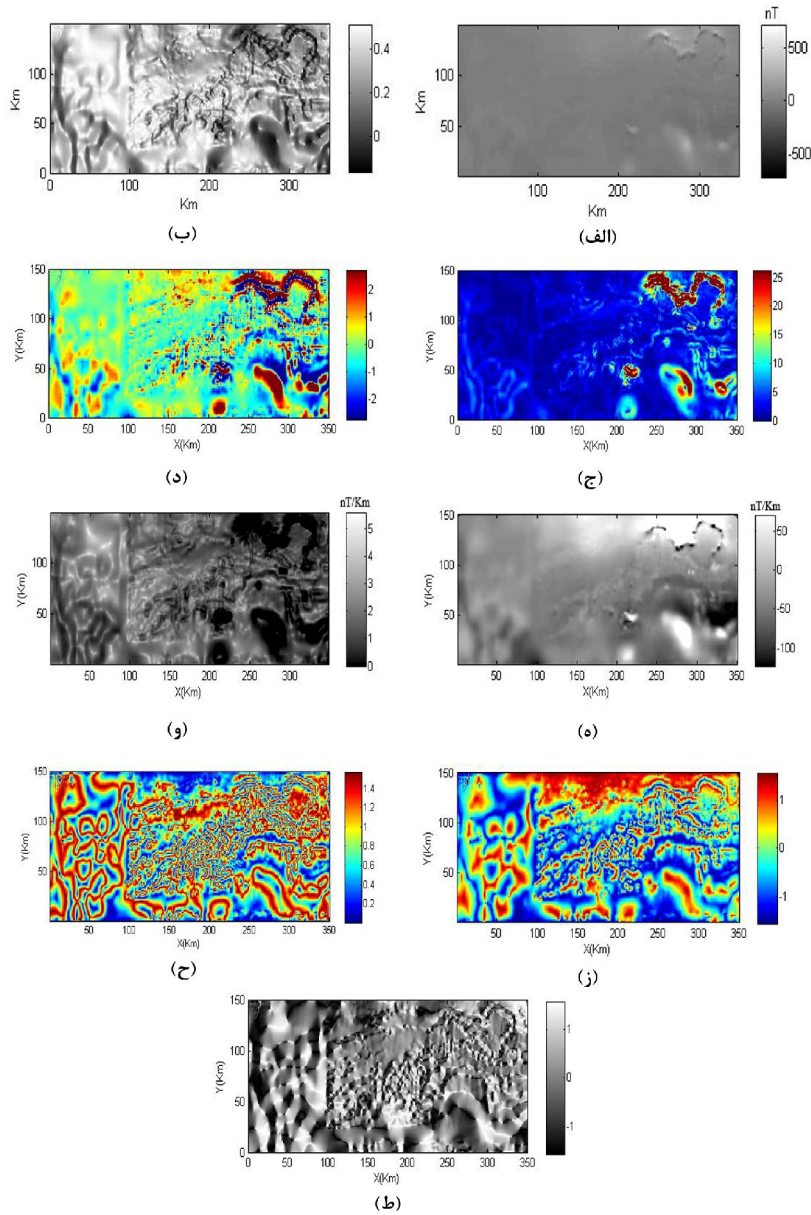
مغناطیسی را نشان می‌دهد. در هر دو شکل منابع مولد بی‌هنجاری مغناطیسی برجسته شده است؛ با این حال دقت شکل ۹-د بیشتر است. در شکل ۹-ه نقشه فیلتر آشکارساز لبه مورب آمده است. در این شکل مرزهای شمال شرقی بی‌هنجاری مشخص شده است. شکل ۹-و مربوط به فیلتر آشکارساز لبه از نوع عمودی است که محدوده رشته کوه



شکل ۷. مقایسه آماری تصاویر شکل ۶، (الف) بافت‌نگار آماری فیلتر آشکارساز لبه عمودی (شکل ۶-ز)، (ب) بافت‌نگار آماری فیلتر لاپلاس مرتبه اول (شکل ۶-ح)، (ج) بافت‌نگار آماری فیلتر مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید (شکل ۶-د) و (د) بافت‌نگار آماری فیلتر لاپلاس مرتبه اول (شکل ۶-ط).



شکل ۸. نقشه زمین‌شناسی ساده شده جنوب غرب انگلستان، کادر سیاه رنگ موقعیت برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوایی را نشان می‌دهد.



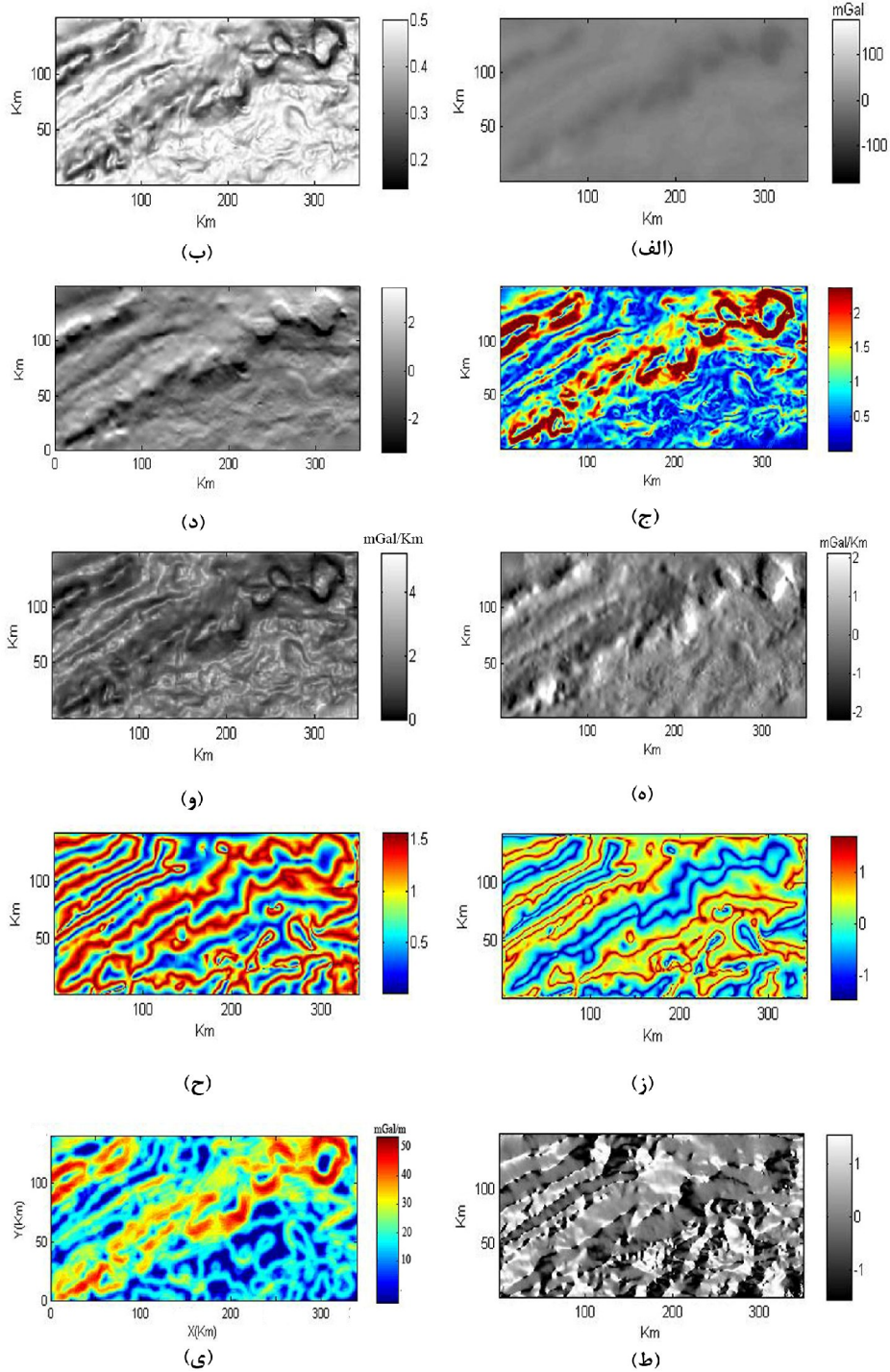
شکل ۹. کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های مغناطیسی هوایی جنوب غرب انگلستان، (الف) نقشه هم‌مقدار مغناطیسی منطقه مورد بررسی که در شکل ۷ تعیین شده است، (ب) نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های قسمت الف با منبع نورانی با آزیموت ۹۰ درجه، (ج) نقشه فیلتر حوزه دید داده‌های قسمت الف، (د) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم داده‌های حوزه دید قسمت ج، (ه) فیلتر آشکارساز لبه از نوع جهتی، (و) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع عمودی، (ز) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه اول، (ح) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه دوم و (ط) نقشه فیلتر اکثریت داده‌های مغناطیسی قسمت الف. ابعاد پنجره مورد استفاده در همه فیلترها ۱۱ × ۱۱ پیکسل انتخاب شد.

ممکن است با اهمیت هم باشند، به طور ناخواسته حذف شده‌اند. اما این مشکل در مورد فیلترهای دورسنجی مشاهده نمی‌شود و بی‌هنجاری‌ها با هر شدتی در تصور فیلتر شده نسبت به اطراف متمایز خواهند شد.

۶ نتیجه‌گیری

در این نوشته از فیلترهای خاص پردازش تصاویر دورسنجی در تفسیر تصاویر میدان پتانسیل استفاده شده است. همه این فیلترها به شیوه هم‌گردش روی تصاویر اعمال می‌شوند. مهم‌ترین عامل در تولید نتایج قابل قبول در این فیلترها انتخاب درست ابعاد فیلتر است که معمولاً به شیوه سعی و خطا صورت می‌گیرد. در این مقاله فیلترهای فوق روی داده‌های مصنوعی مدل منشور قائم در حالت بدون نوفه و با نوفه به کار رفته است. هنگامی که داده‌ها به نوفه آلوده هستند، نبود تعادل بین سیگنال و نوفه در تصویر فیلتر شده باعث می‌شود تا محدوده توده با نوفه پوشیده بماند. این مطلب به‌ویژه در نتیجه فیلتر مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید قابل مشاهده است. همچنین کاربرد این فیلترها روی داده‌های مغناطیس واقعی جنوب غرب انگلستان سبب بارزسازی ساختار کورنوبین نسبت به اطراف شده است. در بین فیلترهای معرفی شده، فیلترهای سایه‌روشن و فیلتر آشکارساز لبه از نوع عمودی و لاپلاس مرتبه دوم کارایی به مراتب بهتری دارند. بنابراین در تعبیر و تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در تحقیقات زمین‌شناسی و اکتشافی علاوه بر فیلترهای معمول ژئوفیزیکی برای برآورد کردن حدود توده مولد بی‌هنجاری می‌توان از فیلترهای دورسنجی معرفی شده در این تحقیق نیز بهره جست و آنها را درحکم روش مکمل به کار گرفت.

شکل ۱۰-الف نقشه هم‌مقدار گرانی جنوب غرب انگلستان را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود رشته باتولیت‌های گرانی با بی‌هنجاری کم ظاهر شده‌اند. شکل ۱۰-ب کاربرد فیلتر سایه‌روشن روی داده‌های گرانی‌سنجی قسمت الف را نشان می‌دهد. در این شکل موقعیت توده‌های گرانی از دارتمور تا لندز اند (Lands End) برجسته شده است. شکل‌های ۱۰-ج و ۱۰-د به ترتیب نقشه‌های حوزه دید و مشتق قائم مرتبه دوم حوزه دید داده‌های گرانی را نشان می‌دهند که در آن، حدود رشته‌کوه کورنوبین و گرانی‌ها مشخص شده است؛ با این حال تفکیک بین توده‌های متفاوت گرانی در شکل ۱۰-د با دقت بیشتری صورت گرفته است. در شکل ۱۰-ه نقشه فیلتر آشکارساز لبه مورب در امتداد شمالی-جنوبی آمده است. شکل ۱۰-و، مربوط به کاربرد فیلتر آشکارساز لبه عمودی است که در آن توده‌های گرانی نسبت به اطراف برجسته شده‌اند. در شکل‌های ۱۰-ز و ۱۰-ح به ترتیب نتیجه فیلترهای آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه اول و دوم آمده است که در آن مرز و حدود کورنوبین و موقعیت توده‌های گرانی به خوبی بارز شده است. در شکل ۹-ط کاربرد فیلتر اکثریت باعث برجستگی محدوده بی‌هنجاری نسبت به اطراف شده است. شکل ۱۰-ی نقشه مشتق افقی کل داده‌های گرانی‌سنجی قسمت الف را نشان می‌دهد. در این شکل حدود توده‌های پنج‌گانه گرانی با بیشینه مقدار مشتق افقی کل مشخص شده است. مشکل استفاده از مشتق افقی کل این است که در مواردی که دامنه تغییرات داده‌ها زیاد است یعنی داده‌های با شدت زیاد در کنار داده‌های شدت کم قرار گرفته‌اند، نتیجه مشتق افقی کل نقشه‌ای است که در آن فقط عوارض با شدت زیاد برجسته شده است و عوارض کم‌شدت که



شکل ۱۰. کاربرد فیلترهای گوناگون روی داده‌های گرانی سنجی هوایی جنوب غرب انگلستان، (الف) نقشه هم‌مقدار گرانی منطقه مورد بررسی که در شکل ۷ تعیین شده است، (ب) نقشه فیلتر سایه‌روشن داده‌های قسمت الف با منبع نورانی با آزیموت ۹۰ درجه. (ج) نقشه فیلتر حوزه دید داده‌های قسمت الف، (د) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم داده‌های حوزه دید قسمت ج، (ه) فیلتر آشکارساز لبه از نوع جهتی، (و) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع عمودی، (ز) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه اول، (ح) نقشه فیلتر آشکارساز لبه از نوع لاپلاس مرتبه دوم، (ط) نقشه فیلتر اکثریت داده‌های گرانی قسمت الف و (ی) نقشه مشتق افقی کل داده‌های قسمت الف. ابعاد پنجره مورد استفاده در همه فیلترها ۱۱ × ۱۱ پیکسل انتخاب شد.

- Edwards, J. W. F., 1984, Interpretation of seismic and gravity surveys over the eastern part of the cornubian platform: in Variscan tectonics of the North Atlantic region, Hutton, D. H. W., and Sanderson, D. H., (Editors), Geological Society Special publication, **14**, 119-124.
- Hornby, P., Boschetti, F., and Horowitz, F., 1999, Analysis of potential field data in the wavelet domain: *Geophys. J. Int.*, **137**, 175-196.
- Horn, B. K. P., 1982, Hill shading and the reflectance map: *Geo-Processing*, **2**, 65-146.
- Kalitzin, S., Staal, J., Ter Haar Romeny, M., and Viergever, M., 2001, A computational method for segmenting topological point-sets and application to image analysis: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **23**, (5), 447-459.
- Lim, J. S., 1990, Two-dimensional signal and image processing: Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 478- 688.
- Mallat, S., and Zhong, S., 1992, Characterization of signals from multistage edges: *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence*, **14**, 710-732.
- Sailhac, P., and Gilbert, D., 2007, Identification of sources of potential fields with the continuous wavelet transform: two-dimensional wavelets and multipolar approximations: *J. Geophys. Res.*, **108**, (B5), 262-273.
- Trompat, H., Boschetti, F., and Hornby, P., 2003, Improved downward continuation of potential field data: *Exploration Geophysics*, **3**, (4), 249-256.
- Telford W. M., Geldart L. P., and Sheriff R. E., 1995, *Applied Geophysics*: Cambridge University Press.
- منابع
علمدار، ک.، و انصاری، ع. ح.، ۱۳۸۸، تعیین مرز بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل با استفاده از فیلترهای فاز محلی: *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۳۶**، (۱)، ۴۷-۵۸.
- علمدار، ک.، انصاری، ع. ح.، نمیرانیان، ا.، و کوهساری، ا. ح.، ۱۳۸۸، بررسی گسترش سنگ‌های افیولیتی در منطقه انار از روی شواهد مغناطیس‌سنجی هوایی: *هفدهمین کنفرانس انجمن کانی‌شناسی و بلورشناسی ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان.*
- Ansari, A. H., 2002, Geophysical investigations of the southwest British Isles: Ph.D thesis, University of Bristol, UK, pp, 350.
- Boschetti, F., Horowitz, F. G., Hornby, P., Archibald, N., Holden, and D., Hill, J., 2000, Improved edge detection in potential field maps and graphical estimation of depth-to-the-top: *SEG expanded abstracts*, 231-239.
- Canny, J., 1986, A computational approach to edge detection: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI*, **8**, (6), 679-698.
- Cooper, G. R. J., and Cowan, D. R., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase: *Computers & Geosciences*, **32**, (10), 1585-1591.
- Cooper, G. R. J., 2003, Feature detection using sunshading: *Computers & Geosciences* **29**, (8), 941-948.
- Cooper, G. R. J., 2005, Analyzing potential field data using visibility: *Computers & Geosciences*, **31**, (5), 877-881.