

تحلیل سطح روند با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات و به‌کارگیری نرم L₁: بررسی موردی روی داده‌های گرانی منطقه نکا استان مازندران

فرشاد ژولیده‌سر^۱، غلامرضا نوروزی^{۱*}، ارسلان نجفی و مسلم جهان‌تیغ^۱

^۱دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه بیرجند، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۲)

چکیده

یکی از روش‌های حذف بی‌هنجاری ناحیه‌ای از مقادیر برداشت شده در روش‌های ژئوفیزیکی، روش تحلیل سطح روند است. در این روش مختصات نقاط در حکم متغیر مستقل و مقادیر قرانت شده در حکم متغیر وابسته عمل می‌کند. برای یافتن مطلوب‌ترین سطح روند از روش‌های بهینه‌سازی استفاده می‌شود. در این مقاله برای بهینه‌سازی، از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات استفاده شده است. این الگوریتم، یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت است و ایده اصلی در آن، مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار و حرکت گروهی پرندگان در جست‌وجوی غذا است. در الگوریتم اجتماع ذرات هر یک از ذرات به‌مثابه یک کاندیدای حل برای جواب نهایی در فضای چندبُعدی مسئله هستند. تابعی که در این روش باید بهینه شود (تابع هدف) معادله صفحه‌ای است که نزدیک‌ترین و یا به عبارتی کمترین فاصله را با داده‌های برداشت شده دارد. بهمین علت برای کمینه‌سازی، احتیاج به معیارهای طول است. نرم، یکی از معیارهای طول محسوب می‌شود. بهترین نرمی که می‌توان با استفاده از آن جواب‌های دقیق به‌دست آورد، نرم ۱ است ولی در روش‌هایی که تاکنون از آنها استفاده شده به‌خاطر به‌کارگیری مشتق در روند بهینه‌سازی، نمی‌توان از نرم ۱ استفاده کرد. در این تحقیق از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات استفاده شده و تابع هدف برپایه نرم ۱ نوشته شده است. با مقایسه نتایج به‌دست آمده از این الگوریتم با نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار ژئوسافت روی داده‌های گرانی برداشت شده از منطقه حدفاصل بین نکا و قائم‌شهر در استان مازندران، کارایی این روش نسبت به روش کمترین مربعات و نتایج نرم‌افزار ژئوسافت مشخص شده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سطح روند، نرم ۱، الگوریتم اجتماع ذرات، بی‌هنجاری ناحیه‌ای، داده‌های گرانی، نیروگاه برق نکا

Trend surface analysis using particle swarm optimization algorithm and L₁ norm: a case study on gravity data of Neka in Mazandaran Province

Farshad Joulidehsar¹, Gholamreza Nowrouzi^{1*}, Arsalan Najafi and Moslem Jahantigh¹

¹Mine Eng. Dep., University of Birjan, Iran

(Received: 10 July 2011, accepted: 12 March 2013)

Summary

Bouguer anomaly fields are often characterized by a broad, gently varying, regional anomaly on which local anomalies with shorter wavelengths may be superimposed. In gravity surveying, it is usually the local anomalies that are of prime interest and the first step of interpretation is to remove the regional field to isolate the residual anomalies. Several analytical methods of regional field analysis are available which include the trend

*Corresponding author:

gnowrouzi@birjand.ac.ir

*نگارنده رابط:

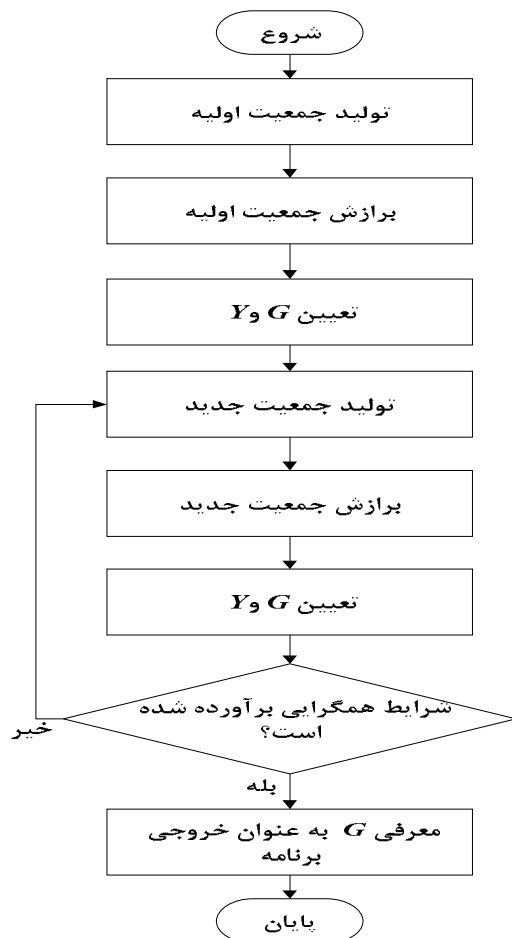
surface analysis (fitting a surface to the observed data in geophysical surveys) and low-pass filtering. Because the regional changes have a large extent, the regional trend is mostly smooth and uniform. As a result, the trend surface analysis is a good method for identifying regional and residual anomalies. Trend surface analysis is a method for removing regional anomalies in geophysical surveying. In this method, the coordinates of the points are independent variables and the dependent variable is the measured value. Such procedures must be used critically as fictitious residual anomalies and sometimes arise when the regional field is subtracted from the observed data due to the employed mathematical procedures. In this paper a trend surface method is proposed that uses Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm for the most desirable surface. PSO algorithm is based on the individual (i.e., particles or agents) behavior of a swarm. Its roots are in zoologist's modeling of the movement of individuals (e.g., fishes, birds, or insects) within a group. It has been noticed that members within a group seem to share information among them, a fact that leads to increased efficiency of the group. The PSO algorithm searches in parallel, using a group of individuals similar to other. The main idea in this method is to model and simulate the movement and behavior of birds in food searching. Each particle in Particle Swarm Optimization algorithm is one candidate for final result in problem's multidimensional space. The main advantages of the PSO algorithm are summarized as: simple concept, easy implementation, robustness to control parameters, and computational efficiency when compared with mathematical algorithm and other heuristic optimization techniques. The function that must be optimized is an equation for the nearest surface to the measured data as the objective function requires a standard length. For Description objective function need to standard lengths and norm is one of the length standards. The L_1 norm is the best norm that can be used until gently resulting accurate. But in the methods used so far, L_1 norm cannot be used because of employing derivatives in an optimization process. Procuring of the nearest result to the actual value of the regional anomalies is an advantage of this method. At first, this algorithm was coded in MATLAB software and then it was run on the gravity data measured during a gravity surveying around Neka and Ghaem Shahr cities in Mazandaran province. The results were compared by the least squares method and Geosoft software. The L_2 norm is used in this method. Simulation results show a better convergence to the optimum surface of this algorithm rather than the least squares method. Providing the optimum surface with different norms and steps is another advantage of this algorithm.

Keywords: Trend surface analysis, L_1 norm, particle swarm optimization algorithm, regional anomaly, gravity Data, Neka power plant

۱ مقدمه

یکی از روش‌های حذف بی‌هنجاری ناحیه‌ای از مقادیر برداشت شده در روش‌های ژئوفیزیکی، روش تحلیل سطح روند است. در این روش مختصات نقاط درحکم متغیر مستقل و مقدار قرائت شده درحکم متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود (حیدریان و رنجبر، ۱۳۸۵). کاران و هوب (۱۹۷۱) چنین بیان داشته‌اند که با به‌کارگیری روش تحلیل سطح روند می‌توان سهم عواملی نظیر تغییر جنس

سنگ‌ها و توپوگرافی را روی مقادیر داده‌های ژئوفیزیکی ارزیابی و سپس اثر آنها را از روی این مقادیر حذف کرد. بدیهی است این امر موجب می‌شود تا سهم عواملی نظیر کانی‌سازی احتمالی در تغییرات ژئوفیزیکی ناحیه‌ای و یا محلی به‌طور بارزی مشخص شود (حسنی‌پاک، ۱۳۸۳). در عمل مقدار مشاهده شده هر داده به دو مولفه سطح روند و مقادیر باقی‌مانده تجزیه می‌شود. مولفه باقی‌مانده که خارج از سطح روند قرار می‌گیرد می‌تواند مربوط به تغییرات



شکل ۱. نمودار گردش الگوریتم کلاسیک تجمع ذرات.

در الگوریتم PSO کلاسیک، هر ذره i دارای دو قسمت اصلی، شامل موقعیت فعلی ذره (X_i) و سرعت فعلی ذره (V_i) است که در فضای n بُعدی مسئله بهینه‌سازی به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$x_i(t) = (x_i^1(t), x_i^2(t), \dots, x_i^n(t)), \quad (1)$$

$$V_i(t) = (v_i^1(t), v_i^2(t), \dots, v_i^n(t)), \quad (2)$$

موقعیت بعدی هر ذره در فضای جست‌وجو با موقعیت فعلی و سرعت بعدی آن تعیین می‌شود. سرعت بعدی هر ذره نیز از راه چهار عامل اصلی یعنی، سرعت فعلی ذره، موقعیت فعلی ذره، بهترین موقعیت قبلی ذره $(Y_i(t))$ که تاکنون تجربه شده باشد و در حافظه آن نیز ذخیره می‌شود و بهترین موقعیت در میان ذرات گروه $(G(t))$ ، که

محلی نظیر کانی‌سازی باشد و بسیار با ارزش است. رابطه این سطح می‌تواند از درجه یک، دو و یا بالاتر باشد. بدیهی است هرچه درجه این سطح بالاتر باشد برآزش بین این سطح و داده‌های برداشت شده بیشتر است. ولی عیبی که این سطوح درجه بالاتر دارند این است که دیگر نمی‌توانند نشان‌دهنده روند ناحیه‌ای باشند بلکه فقط روند کلی تغییرات را نشان می‌دهند (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).

در این مقاله ابتدا الگوریتم اجتماع ذرات توضیح داده می‌شود و سپس این الگوریتم در پیدا کردن سطح روند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه برای نشان دادن کارایی این روش نسبت به روش‌های متداول، از جمله روش کمترین مربعات، این الگوریتم بر روی داده‌های گرانی مصنوعی و داده‌های گرانی برداشت شده از ناحیه نکا و قائم‌شهر، اعمال و نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از نرم‌افزار ژئوسافت مقایسه شده است.

۲ روش تحقیق

۱-۲ الگوریتم کلاسیک اجتماع ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (particle swarm optimization)، یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت است که اولین بار کندی و ابرهارت (۱۹۹۵) آن را پیشنهاد کردند. ایده اصلی در الگوریتم PSO، مدل‌سازی و شبیه‌سازی حرکت و رفتار گروهی پرندگان در جست‌وجوی غذا است. در PSO هر یک از ذرات درحکم یک کاندیدای حل برای جواب نهایی در فضای چندبُعدی مسئله هستند. از مهم‌ترین ویژگی‌های این الگوریتم، اجرای آسان و نبود نیاز آن به اطلاعات مربوط به مشتق معادلات مسئله است. علاوه بر آن، الگوریتم قابلیت کاربرد در طیف وسیعی از مسئله‌های گوناگون بهینه‌سازی را دارد (کندی و ابرهارت، ۱۹۹۵).

همکاران، ۲۰۱۰). نمودار گردشی الگوریتم کلاسیک PSO در شکل ۱ نشان داده شده است (پارک و همکاران، ۲۰۰۵؛ سلواکومار و تانوشکودی، ۲۰۰۷).

چون هدف از این تحقیق، یافتن بهینه‌ترین روند سطحی است بدین منظور برای تعریف تابع هدف احتیاج به معیارهای طول است. در ادامه به بررسی معیارهای طول و تاثیر هریک، در روند محاسبات پرداخته شده است.

۲-۲ معیارهای اندازه‌گیری طول

طول هندسی یک بردار e در یک فضای N بعدی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$L = \left(\sum_{i=1}^N e_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (8)$$

اما طول هندسی تنها روش ممکن نیست برای مثال یکی از راه‌های دیگر برای محاسبه طول یک بردار، جمع کردن تک‌تک عناصر یک بردار به صورت قدر مطلق با یکدیگر است.

$$L' = \left(\sum_{i=1}^N |e_i| \right), \quad (9)$$

عبارت L' به معنی محاسبه طول یا اندازه یک بردار است که به صورت $\|e\|$ یعنی طول یا L' بردار e تعریف می‌شود. معمولاً L' یک بردار e به صورت جمع همه عناصر با توان n است که از حاصل جمع ریشه n م گرفته می‌شود بنابراین داریم:

$$\begin{aligned} L_1 \text{norm} \quad \|e\|_1 &= \left[\sum_i |e_i| \right], \\ L_2 \text{norm} \quad \|e\|_2 &= \left[\sum_i |e_i|^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \\ L_n \text{norm} \quad \|e\|_n &= \left[\sum_i |e_i|^n \right]^{\frac{1}{n}}, \end{aligned} \quad (10)$$

اگر بردار e اختلاف بین سطح برازش شده با داده‌های برداشت شده باشد، آن‌گاه L' های متفاوت این بردار می‌تواند در حکم کمیت آماری در فرایند برازش در نظر

در حکم تجربه گروهی یاد می‌شود، تعیین می‌شود. با توجه به تعاریف ذکر شده، سرعت بعدی هر ذره i با رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$v_{i,j}(t+1) = (wv_{i,j}(t) + c_1 \text{rand}(\cdot)[y_{i,j}(t) - x_{i,j}(t)] + c_2 \text{rand}(\cdot)[g_i(t) - x_{i,j}(t)]), \quad (3)$$

که w ضریب لختی ذره برای حرکت با سرعت قبلی، c_1 و c_2 به ترتیب ضرایب یادگیری فردی و گروهی ذره، $\text{rand}(\cdot)$ و $\text{rand}(\cdot)$ عددهای تصادفی در بازه صفر و یک در جهت حفظ خاصیت احتمالی الگوریتم هستند (ژاکوب راگلند و همکاران، ۲۰۱۰). با تعیین سرعت بعدی هر ذره، موقعیت بعدی آن نیز از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1), \quad (4)$$

در رابطه (۳)، $y_{i,j}(t)$ بعد L' م بهترین موقعیت ذره i و $g_j(t)$ بعد L' م بهترین موقعیت در میان ذرات گروه است. این پارامترها از راه ارزیابی هر ذره با تابع هدف قابل دستیابی‌اند و برای کمیته‌سازی تابع هدف از طریق زیر تعیین می‌شوند.

$$Y_i(t+1) = \begin{cases} Y_i(t) & \text{if} \\ : F(Y_i(t)) \leq F(X_i(t+1)) \\ X_i(t+1) & \text{if} \\ : F(Y_i(t)) > F(X_i(t+1)) \end{cases}, \quad (5)$$

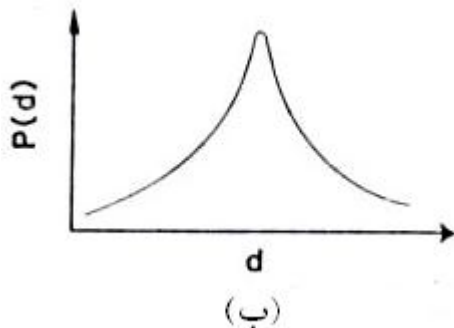
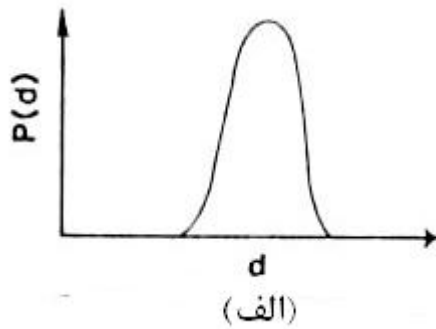
که $F(\cdot)$ تابع برازندگی است و همچنین داریم:

$$G(t) = \min(Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_i(t), \dots, Y_N(t)), \quad (6)$$

که N ، تعداد کل ذرات است. ضریب لختی w در تعیین جواب بهینه و همگرایی الگوریتم بسیار موثر است و با رابطه (۷) تعیین می‌شود.

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{Iter_{\max}} Iter, \quad (7)$$

که w_{\max} و w_{\min} به ترتیب حداقل و حداکثر ضریب لختی، $Iter_{\max}$ حداکثر تعداد تکرار فرایند الگوریتم و $Iter$ شماره تکرار فعلی الگوریتم هستند (پارک و



شکل ۳. (الف) توزیع با دنباله کوتاه (ب) توزیع با دنباله بلند، محور افقی نشان دهنده داده‌ها و محور قائم نشان‌دهنده احتمال وقوع یک داده است. (منکه، ۱۹۸۹).

هرگاه روش کمترین مربعات برای توزیع‌هایی که از توزیع گاوسی بسیار دورند، به کار برده شود که به‌طور معمول در برداشت‌های ژئوفیزیکی با آنها برخورد می‌کنیم، پاسخ‌ها با خطای زیاد همراه خواهند بود. در مورد این مسائل از نرم L_1 (norm) استفاده می‌شود و روش‌های مبتنی بر این مبنای، جواب‌های واقعی‌تری به دست خواهند داد.

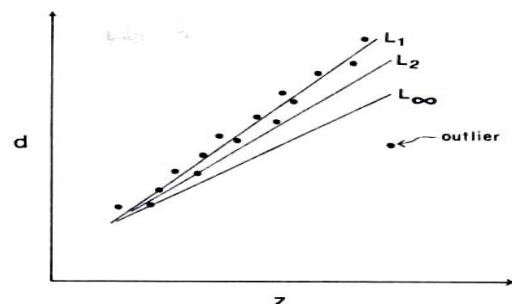
از آنجاکه خط یا صفحه برازش شده در نرم L_1 به اکثریت داده‌ها نزدیک است، به خوبی می‌تواند معرف روند ناحیه‌ای باشد. به همین علت در روند اجرایی الگوریتم، نرم L_1 مبنای تعریف تابعی است که باید کمینه شود (تابع هدف).

گرفته شود. روش‌هایی که بر کمینه کردن یک تابع ارزش بنا شده‌اند در واقع نرم خاصی از بردار e را کمینه می‌کنند. نرم‌های بالاتر بردار e به معنای اختصاص وزن بیشتر به مولفه‌های بزرگ‌تر بردار e هستند. در حالت خاص وقتی $n \rightarrow \infty$ تنها بزرگ‌ترین مولفه بردار e دارای وزن غیرصفر است و همه مولفه‌های دیگر، وزنی برابر صفر دارند. این عمل معادل انتخاب مولفه‌های بزرگ یک بردار، برای محاسبه طول آن خواهد بود.

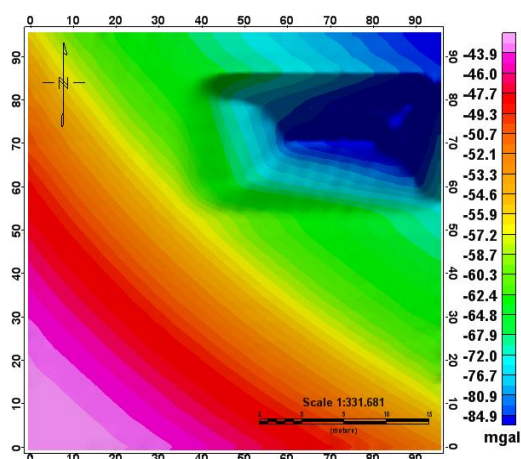
$$L_{\infty} \text{norm} \quad \|e\|_{\infty} = \max_i |e_i|, \quad (11)$$

در محاسباتی که نرم‌افزارهای گوناگون برای بهینه‌سازی از آن استفاده می‌کنند، روش کمترین مربعات که براساس نرم L_2 (norm) بنا شده است، به کار می‌رود. نرم‌های بالاتر به خطاهای بزرگ‌تر وزن بیشتری می‌دهند، درحالی‌که نرم‌های کوچک‌تر به خطاها با اندازه‌های متفاوت، وزن‌های یکسان نسبت می‌دهند (شکل ۲).

توزیع‌هایی با دنباله کوتاه دارای حداقل نقاط پراکنده هستند (شکل ۳-الف) در صورتی که توزیع‌هایی با دنباله بلند دارای نقاط پراکنده زیادی هستند (شکل ۳-ب). بنابراین انتخاب نرم دقیقاً تابع توزیع داده‌ها است. کیفیت برازش یک خط به مجموعه‌ای از داده‌ها به نحوه توزیع داده‌ها بستگی دارد (منکه، ۱۹۸۹).



شکل ۲. برازش خط به مجموعه‌ای از نقاط با استفاده از نرم‌های متفاوت، مشاهده می‌شود که نرم L_1 کمترین وزن را به یک نقطه منفرد می‌دهد (منکه ۱۹۸۹).



شکل ۴. بی‌هنجاری بوگه حاصل شده از درجه‌بندی داده‌های مصنوعی.

۳-۲ تحلیل سطح روند

تحلیل سطح روند نوع خاصی از تحلیل داده‌ها است که در آن مختصات نقاط متغیر مستقل و مقدار قرائت شده در حکم متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. هدف در این روش تحلیل، یافتن سطحی است که کمترین فاصله را با داده‌های قرائت شده داشته باشد که از لحاظ هندسی می‌تواند به صورت صفحه‌ای مسطح یا خمیده باشد. در حالت کلی برای یافتن این سطح، از وایازی چندگانه و برای کمینه‌سازی از روش کمترین مربعات، که نرم ۲ را به کار می‌برد، استفاده می‌شود. با توجه به شکل ۲ می‌توان فهمید که با افزایش نرم، خط یا منحنی برازش شده به سمت داده‌ای که حداکثر اختلاف را دارد میل می‌کند که این امر سبب افزایش خطا در محاسبات می‌شود. به همین علت هرچه نرم کم‌تر باشد تحلیل دقیق‌تر و جواب‌های حاصل به واقعیت نزدیک‌ترند. در روش‌های مبتنی بر وایازی چندگانه چون در روند بهینه‌سازی از مشتق استفاده می‌شود امکان استفاده از نرم ۱ در آنها وجود ندارد ولی در روند به کاررفته در این الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توان تابع را طوری تعریف کرد که از نرم ۱ استفاده شود.

پارامترهایی که باید در این تحلیل محاسبه شوند، همان ضرایب صفحه (سطح روند) هستند که با افزایش درجه صفحه، تعداد آنها افزایش می‌یابد. با توجه به جدول ۱ که جملات صفحات با درجه‌های متفاوت را نمایش می‌دهد، می‌توان تعداد پارامترهای موردنیاز برای هر صفحه را تعیین کرد.

جدول ۱. جملات سطح روند تا درجه ۳.

درجه	جملات
۱	x, y, c
۲	x^2, y^2, xy, x, y, c
۳	$x^3, y^3, x^2y, y^2x, x^2, y^2, xy, x, y, c$

هریک از سطوحی که در جدول ۱ آورده شده تعبیر و تفسیر خاصی را دنبال می‌کنند که عبارت‌اند از:
 ۱- سطح روند درجه ۱ در محدوده‌هایی به کار می‌رود که بیشینه و کمینه مقادیر، منطبق بر لبه‌های نقشه هستند و در این موارد، خطی که نقطه شروع و پایان را به هم وصل می‌کند می‌تواند معرف روند ناحیه‌ای باشد (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).

۲- سطح روند درجه ۲ مختص مناطقی است که مقادیر بیشینه و کمینه داخل محدوده نقشه قرار می‌گیرند (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).

۳- سطح روند درجه ۲ به بالا بعلا اینکه روند کلی تغییرات را در محدوده نشان می‌دهند، نمی‌توانند معرف خوبی برای کانی‌سازی باشند به همین علت از این سطوح کمتر استفاده می‌شود (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).
 در هنگام استفاده از تحلیل سطح روند، باید به نکاتی دقت شود که باعث بروز خطا در فرایند تفسیر داده‌ها می‌شوند که این موارد عبارتند از:

- در اکثر موارد سطوح روند با درجات بالا، تغییرات شدیدی در گوشه‌ها و کناره‌ها تولید می‌کنند که به روند کلی تغییرات ارتباطی ندارد که به آنها اثر حاشیه‌ای می‌گویند (حسینی پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴).

x و y مختصات ایستگاه‌های برداشت، n تعداد قرائت‌ها است و A, B, C, D, E و F ضرایب صفحه‌ای هستند که بهینه‌ترین فاصله را با داده‌های برداشت شده دارند.

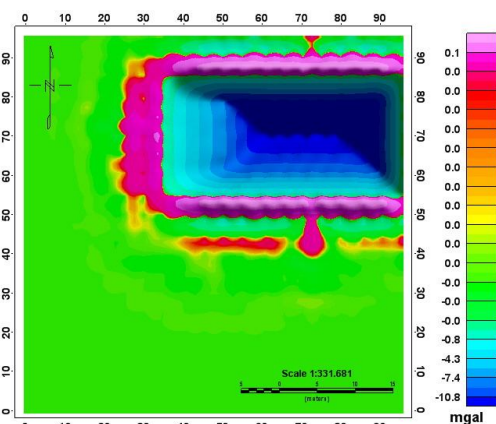
۴-۲ مدل‌سازی مصنوعی

بمنظور بررسی دقت و کارایی الگوریتم، ابتدا الگوریتم بر روی داده‌های مصنوعی اعمال شد. بدین منظور ۴۰۰ داده در نظر گرفته شد که شرایط بی‌هنجاری ناحیه‌ای و همچنین بی‌هنجاری باقی‌مانده شناخته شده بود. در شکل ۴ درجه‌بندی داده‌های مورد استفاده در این مدل‌سازی نشان داده شده است.

باتوجه به شکل، یک روند کلی که می‌توان آن را با صفحه درجه ۲ برآورد کرد و همچنین یک بی‌هنجاری در گوشه بالایی سمت راست مشاهده می‌شود. برای تفکیک این بی‌هنجاری‌ها الگوریتم روی داده‌ها اعمال شد. رابطه (۱۴) معادله صفحه نمایانگر روند بی‌هنجاری ناحیه‌ای است.

$$Z = -0/0002x^2 - 0/0004y^2 - 0/002xy - 0/125x - 0/138y - 39/5, \quad (14)$$

نتایج پس از درجه‌بندی در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده‌است. با مشاهده این شکل‌ها با اطمینان می‌توان به کارایی این روش اعتماد کرد.



شکل ۴. بی‌هنجاری باقی‌مانده پس از حذف بی‌هنجاری ناحیه‌ای از روی داده‌های مصنوعی.

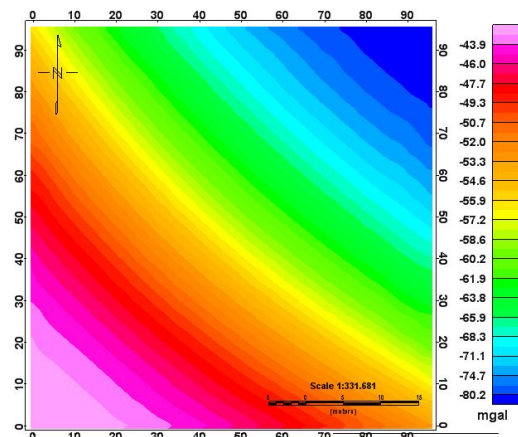
سطح روند با درجه بالا شامل درجات بالایی از x و y است، که مقادیر x و y مختصات نقاط هستند و معمولاً دارای مقادیر بزرگ هستند که با به توان رسیدن، عددهای بسیار بزرگی تولید می‌کنند. از طرفی بزرگی مقادیر x و y نسبت به Z باعث می‌شود که برای توازن دو طرفه رابطه، باید ضرایب جملات خیلی کوچک باشند تا با ضرب شدن در مقادیر بزرگ به حد متعارفی که نزدیک به مقدار Z است، برسند. این خصوصیت باعث می‌شود که اهمیت به کار بردن عددها با دقت مضاعف در نظر گرفته شود که البته گاهی کفایت نمی‌کند. این مشکل با تغییر مقیاس مقادیر x و y قابل حل است (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴). در این تحقیق از مقیاس $1/1000$ استفاده شده است.

در روش به کار رفته در این مقاله، برای بهینه‌سازی از الگوریتم PSO و از نرم ۱ (رابطه ۱۲) استفاده شده است. تابعی که باید برای یافتن ضرایب سطح روند از درجه ۲، بهینه شود (تابع هدف) به صورت رابطه (۱۳) است.

$$K(i) = \left| \frac{z(i) - (Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F)}{Dx + Ey + F} \right|, \quad (12)$$

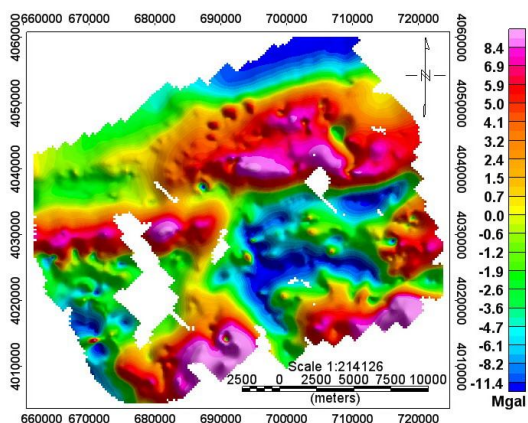
$$L = \sum_{i=1}^n K(i), \quad (13)$$

که $Z(i)$ مقدار بی‌هنجاری بوگه در هر ایستگاه مشاهده‌ای،



شکل ۵. بی‌هنجاری ناحیه‌ای حاصل شده از داده‌های مصنوعی پس از درجه‌بندی نتایج حاصل از صفحه درجه ۲ الگوریتم به کاررفته.

به علت جنگلی بودن محدوده و وجود توپوگرافی نسبتاً شدید، امکان برداشت در امتداد نیم‌رخ‌های منظم وجود نداشته است. داده‌ها در راستای ۲۱ نیم‌رخ و در ۲۰۰۶ ایستگاه برداشت شده‌اند. نقشه بی‌هنجاری بوگه برای این منطقه به همراه ایستگاه‌های برداشت در شکل ۸ آورده شده است.



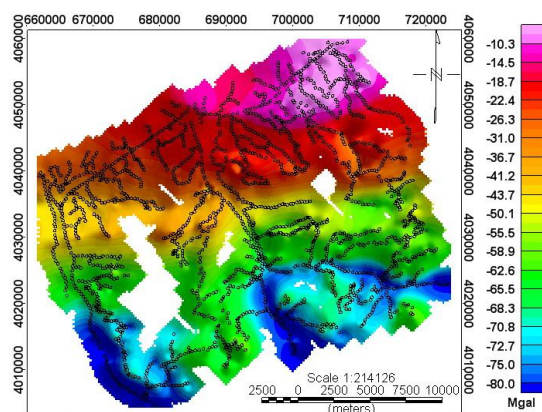
شکل ۸. نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده حاصل از تفکیک بی‌هنجاری ناحیه‌ای صفحه درجه ۲ با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت.

برای بررسی دقت روش‌ها، ابتدا تفسیرها با نرم‌افزار ژئوسافت صورت گرفت که نقشه بی‌هنجاری ناحیه‌ای و مقادیر باقی‌مانده به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. به منظور تفکیک بی‌هنجاری ناحیه‌ای از محلی از یک صفحه درجه ۲ در حکم بی‌هنجاری ناحیه‌ای استفاده شده است.

با اعمال الگوریتم روی داده‌ها، رابطه سطحی به صورت رابطه (۱۵) برای عرضه سطح روند ناحیه‌ای در حکم یک بهینه نسبی پیشنهاد شد.

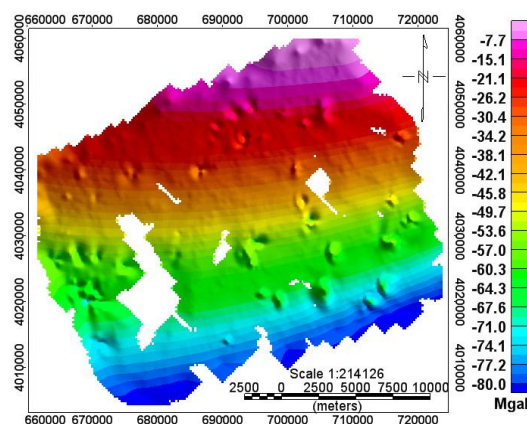
$$Z = -0.008x^2 + 0.011y^2 + 0.009xy + 0.053x + 0.881y - 81.393. \quad (15)$$

شکل ۱۱ روند همگرا شدن تابع هدف به یک مقدار بهینه را نمایش می‌دهد. محور افقی نشان‌دهنده تعداد تکرارها و محور قائم نشان‌دهنده مقدار نُرَم در هر تکرار است. با نگاهی به این شکل مشاهده می‌شود که نمودار از تکرار ۳۳۰م به بعد، به مقدار بهینه همگرا شده است که نتیجه



شکل ۹. نقشه بی‌هنجاری بوگه به همراه ایستگاه‌های برداشت.

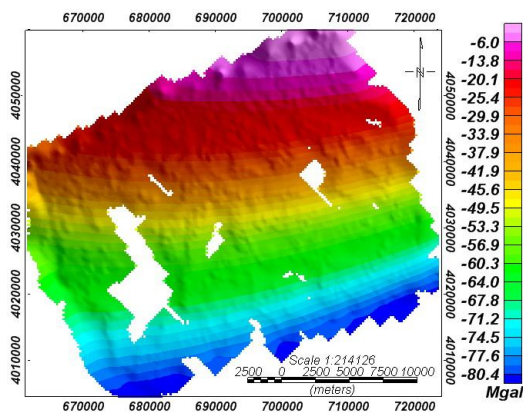
با حصول اطمینان از کارایی و عملکرد درست الگوریتم و روش به کار رفته، الگوریتم روی داده‌های واقعی اعمال شد. در ادامه به بررسی نتایج حاصل از الگوریتم و مقایسه نتایج آن با خروجی نرم‌افزار ژئوسافت پرداخته شده است.



شکل ۱۰. نقشه بی‌هنجاری ناحیه‌ای با به کارگیری یک صفحه درجه ۲ با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت.

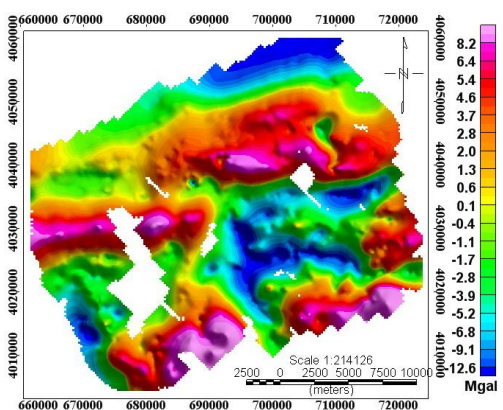
۲-۵ بررسی نتایج حاصل از الگوریتم روی داده‌های واقعی

محدوده مورد بررسی در شمال ایران و در استان مازندران، در ورقه یک‌صد هزارم پل سفید نکا قرار دارد. این محدوده در حد فاصل شهرهای نکا و قائم‌شهر واقع است. شکل ۷ محدوده مورد بررسی را نشان می‌دهد.



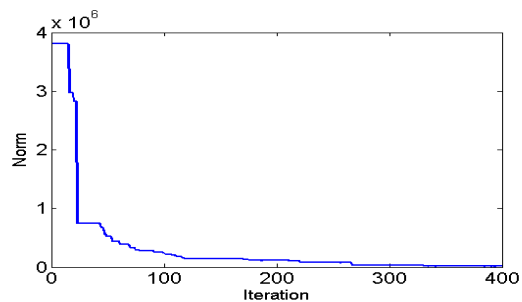
شکل ۱۲. نقشه بی‌هنجاری ناحیه‌ای حاصل از اعمال الگوریتم PSO روی داده‌های منطقه با در نظر گرفتن صفحه درجه ۲.

سپس برای اطمینان بیشتر از روند محاسبات، با توجه به جدول و مقایسه مقدار نرم در هر دو روش، مشخص می‌شود که صفحه درجه دویی که از راه این الگوریتم به دست آمده دارای نرم کمتری است و به داده‌های برداشت شده نزدیک‌تر خواهد بود، در نتیجه به صورت بسیار خوبی روند ناحیه‌ای را به نمایش گذاشته و مقدار بی‌هنجاری ناحیه‌ای و بالتبع بی‌هنجاری باقی‌مانده را دقیق‌تر از روش‌های قبلی نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده حاصله از اعمال الگوریتم PSO بر روی داده‌های منطقه با در نظر گرفتن صفحه درجه ۲.

آن تابعی است که در رابطه (۱۵) آورده شده است. شکل ۱۲ نقشه بی‌هنجاری ناحیه‌ای حاصل از به کارگیری الگوریتم PSO را نشان می‌دهد. در شکل ۱۳ نیز نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده حاصل از حذف بی‌هنجاری ناحیه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱۱. تغییرات نرم در طی تکرارهای متوالی.

برای بررسی بهتر نتایج و همچنین میزان اختلاف نتایج این دو روش، مقدار نرم حاصل از این دو روش در جدول ۲ آورده شده است.

در نرم‌افزار ژئوسافت از نرم ۲ در تعریف تابع هدف استفاده شد. یکی دیگر از مزیت‌های این الگوریتم این است که قابلیت برنامه‌ریزی در نرم‌های گوناگون را دارد. برای نشان دادن این مزیت نتایج با نرم ۲ محاسبه شد. رابطه (۱۶) نتیجه حاصل از این کار است. با محاسبه مقادیر بی‌هنجاری ناحیه‌ای و باقی‌مانده از رابطه (۱۶) همان نتایج حاصل از نرم‌افزار ژئوسافت به دست آمد.

$$Z = -0/007x^2 + 0/011y^2 + 0/007xy + 0/028x + 0/909y - 80/918, \quad (16)$$

جدول ۲. مقادیر نرم حاصل از اعمال دوروش روی داده‌ها.

	با نرم افزار ژئوسافت (به کارگیری نرم ۲)	الگوریتم به کار رفته در این تحقیق
مقدار نرم (مجموع بی‌هنجاری‌های باقی‌مانده)	۸۷۷۸/۴۴۱	۸۶۳۲/۴۷۶

۳ نتیجه گیری

- ۱- از آنجا که منطقه مورد بررسی وسعت زیادی داشته و در نتیجه تغییرات ناحیه‌ای نیز دارای وسعت زیادی بوده است و از آنجا که تغییرات ناحیه‌ای عمدتاً یکنواخت و هموار است، تحلیل روند سطحی روش خوبی برای مشخص کردن بی‌هنجاری محلی محسوب می‌شود.
- ۲- یکی از معیارهای محاسبه طول (فاصله بین داده‌های برداشت شده و صفحه برازش شده)، نرم یک است و به علت اینکه سطح برازش شده با استفاده از این نرم نسبت به نرم‌های بالاتر، به داده‌های برداشت شده از محل نزدیک‌تر است، مقادیر بی‌هنجاری ناحیه‌ای از این نرم به دست آمده و بی‌هنجاری محلی براساس آن مشخص شده است.
- ۳- از آنجا که در الگوریتم تجمع ذرات، برای بهینه‌سازی از مشتق توابع استفاده نمی‌شود، می‌توان این الگوریتم را برای بهینه‌سازی توابعی که از نرم یک استفاده می‌کنند به کار گرفت.
- ۴- نتایج حاصل از این روش قابل مقایسه و کاراتر از نتایج حاصل از نرم‌افزار ژئوسافت است که در روند بهینه‌سازی، از روش کمترین مربعات استفاده می‌کند.
- ۵- نتایج الگوریتم با استفاده از نرم ۲ در روند بهینه‌سازی، همان نتایج نرم‌افزار ژئوسافت است و کارایی این روش را نشان می‌دهد.
- ۶- با استفاده از این روش می‌توان صفحات بهینه با درجات و نرم‌های متفاوت را به دست آورد.

منابع

- حسینی پاک، ع. ا.، ۱۳۸۳، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.
- حسینی پاک، ع. ا.، شرف‌الدین، م.، ۱۳۸۴، تحلیل داده‌های اکتشافی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- حیدریان، ع.، رنجبر، ح.، ۱۳۸۵، مقایسه کاربرد آنالیز روند در سه روش ژئوفیزیک هوایی، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳(۲)، ۲۳-۳۰.
- Cameron, E. M. and Hobbs, O., 1971, computerized method for interpreting reconnaissance geochemical surveys, *Geochemical exploration (boyle, tech. ed.): canadian institute of mining and metallurgy*, **11**, 509.
- Jacob Raglend, I., Raghuvver, C., RakeshAvinash, G., Padhy, N. P. and Kothari, D. P., 2010, *Solution to Profit Based Unit Commitment Problem Using Particle Swarm Optimization*: Elsevier press.
- Kennedy, J., and Eberhart, R., 1995, *Particle swarm optimization*: IEEE International Conference on Neural Networks Proceedings, **4**, 1942-1948.
- Menke, W., 1989, *Geophysical Data Analysis Discrete Inverse Theory*: Academic Press, Inc.
- Park, J. B., Lee, K. S., Shin, J. R. and Lee, K. Y., 2005, A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions: *IEEE Transactions on Power Systems*, **20**(1), V34-V42.
- Park, J. B., Jeong Y., Shin, W., Rin, J., and Lee, K. Y., 2010, An improved particle swarm optimization for nonconvex economic dispatch problems: *IEEE Transactions on Power Systems*, **25**(1), V156-V166.
- Selvakumar, A. I., and Thanushkodi, K., 2007, A new particle swarm optimization solution to nonconvex economic dispatch problems: *IEEE Transactions on Power Systems*, **22**(1), V42-V51.